วว.

โครงการวิจัยที่ ภ. 52-09 / ย. 1 / รายงานฉบับที่ 1 (ฉบับสมบูรณ์)

การศึกษาคุณสมบัติและการใช้งาน บรรจุภัณฑ์อ่อนตัวหลายชั้น (multi-layer flexible packaging) สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความชื้น

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

โครงการที่ ภ. 52-09
การพัฒนาบรรจุภัณฑ์เพื่อเพิ่มศักยภาพอุตสาหกรรมอาหาร

โครงการย่อยที่ 1
การศึกษาคุณสมบัติและการใช้งานบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวหลายชั้น
(multi-layer flexible packaging) สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความชื้น

รายงานฉบับที่ 1 (ฉบับสมบูรณ์)
การศึกษาคุณสมบัติและการใช้งานบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวหลายชั้น
(multi-layer flexible packaging)
สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความชื้น

โดย
พัชทรา มณีสินธุ์
กัลย์สุดา วังชนะชัย ฉวี สีบุบผา
วิจิตร รัตนถาวรกิติ ไพศักดิ์ อนันต์นุกูล
ธันยกร อารีรัชชกุล พลวัฒน์ ชูหอยทอง

บรรณาธิการ วว., ปทุมธานี 2556
ลิขิต หาญจางสิทธิ์
บุญเรียม น้อยชุมแพ
สลิลดา พัฒนศิริ

สงวนลิขสิทธิ์

รายงานฉบับนี้ได้รับการอนุมัติให้พิมพ์โดย
ผู้ว่าการสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

(นายยงวุฒิ เสาวพฤกษ์)
ผู้ว่าการ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณ บริษัท เทคนิฟู้ด อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัดที่สนับสนุนตัวอย่างครูตอง และบริษัท โรงงานผลิตภัณฑ์อาหารไทย จำกัด ที่ให้การสนับสนุนตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป เพื่อใช้ในการศึกษาอายุการเก็บ, บริษัท แอมคอร์เฟลกซิเบิล จำกัด (มหาชน), บริษัท พริ้นท์มาสเตอร์ จำกัด, บริษัท ปทุมเฟลกแพ็คเกจจิ้ง จำกัด ตลอดจนผู้ผลิตและผู้ใช้บรรจุภัณฑ์อ่อนตัวหลายรายที่ช่วยสนับสนุนตัวอย่างบรรจุภัณฑ์เพื่อทดสอบคุณสมบัติ ในการจัดทำฐานข้อมูล และศึกษาอายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหาร.

นอกจากนี้รายงานการวิจัยนี้จะสมบูรณ์ไปไม่ได้ ถ้าขาดผลการประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหาร คณะผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบคุณคณะผู้ประเมินทางประสาทสัมผัสและพนักงาน วว. ทุกท่านที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าช่วยเหลือในงานวิจัยนี้.

คำย่อ

Al foil	แผ่นเปลวอะลูมิเนียม (Aluminum foil)
ASLT	การประเมินอายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารในสภาวะเร่ง (Accelerated shelf life test)
a_w	ปริมาณน้ำอิสระ (water activity)
BOPP	ไบออเรียนเท็ดพอลิโพรพิลีนหรือพอลิโพรพิลีนถูกจัดเรียงสองทิศทาง (Bioriented polypropylene)
CPP	คาสต์พอลิโพรพิลีนหรือพอลิโพรพิลีนชนิดหล่อ (Cast polypropylene)
HVP	Half-Value period หรือระยะเวลาที่ใช้ในการที่ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงจะเพิ่มขึ้นครึ่งทางระหว่างความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสมดุลภายใต้สภาวะนั้นๆ
LDPE	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene)
LLDPE	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นตรง (Linear low density polyethylene)
MCPP	เมทัลไลซ์คาสต์พอลิโพรพิลีนหรือพอลิโพรพิลีนชนิดหล่อเคลือบไออะลูมิเนียม (Metallized cast polypropylene)
MPET	เมทัลไลซ์พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตหรือพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตเคลือบไออะลูมิเนียม (Metallized polyethylene terephthalate)
OPP	ออเรียนเท็ดพอลิโพรพิลีนหรือพอลิโพรพิลีนถูกจัดเรียงทิศทางเดียว (Oriented polypropylene)
PE	พอลิเอทิลีน (Polyethylene)
PET	พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate)
PP	พอลิโพรพิลีน (Polypropylene)
PVC	พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride)
TBA	กรดไทโอบาร์บิทูริก (Thioibarbituric acid)

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ก
คำย่อ	ข
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูป	ฉ
ABSTRACT	1
บทคัดย่อ	2
1. บทนำ	4
2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ	7
3. ผลการทดลองและวิจารณ์	22
4. สรุปผลการทดลอง	122
5. ผลการศึกษาเบื้องต้นทางด้านตลาดและผลกระทบของโครงการ	124
6. ข้อเสนอแนะ	126
7. เอกสารอ้างอิง	127
ภาคผนวก	129

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1. รหัสและคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการวิจัย 8
ตารางที่ 2. น้ำหนักบรรจุของอาหารแต่ละชนิด 12
ตารางที่ 3. ระยะเวลาในการสุ่มตัวอย่าง 14
ตารางที่ 4. ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากสารละลายเกลืออิ่มตัว 20
ตารางที่ 5. ค่าการซึมผ่านไอน้ำและออกซิเจนของฟิล์มพลาสติกบางชนิด 23
ตารางที่ 6. ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำและออกซิเจนของฟิล์มพลาสติกหลายชั้นที่ใช้บรรจุอาหารไวความชื้นในประเทศ 24
ตารางที่ 7. องค์ประกอบโดยประมาณ (proximate analysis) ข้าวเกรียบข้าวโพดอบ 26
ตารางที่ 8. คุณภาพข้าวเกรียบข้าวโพดอบบรรจุในบรรจุภัณฑ์ 4 ชนิด ภายหลังเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 56 วัน 40
ตารางที่ 9. คุณภาพด้านประสาทสัมผัสข้าวเกรียบข้าวโพดอบบรรจุในบรรจุภัณฑ์ 4 ชนิด ภายหลังเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 56 วัน 42
ตารางที่ 10. อายุการเก็บข้าวเกรียบข้าวโพดอบภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง 42
ตารางที่ 11. องค์ประกอบโดยประมาณ (proximate analysis) ข้าวแต๋น 43
ตารางที่ 12. คุณภาพข้าวแต๋นบรรจุในบรรจุภัณฑ์ 4 ชนิด ภายหลังเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 21 วัน 54
ตารางที่ 13. คุณภาพด้านประสาทสัมผัสข้าวแต๋นบรรจุในบรรจุภัณฑ์ 4 ชนิด ภายหลังเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 21 วัน 55
ตารางที่ 14. อายุการเก็บข้าวแต๋นภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง 56
ตารางที่ 15. องค์ประกอบโดยประมาณ (proximate analysis) คุกกี้เนย 56
ตารางที่ 16. คุณภาพคุกกี้เนยบรรจุในบรรจุภัณฑ์ 4 ชนิด ภายหลังเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 21 วัน 69
ตารางที่ 17. คุณภาพด้านประสาทสัมผัสคุกกี้เนยบรรจุในบรรจุภัณฑ์ 4 ชนิด ภายหลังเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 21 วัน 70
ตารางที่ 18. อายุการเก็บคุกกี้เนยภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง 71
ตารางที่ 19. องค์ประกอบโดยประมาณ (proximate analysis) ครูตอง 71

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 20. คุณภาพครูตองบรรจุในบรรจุภัณฑ์ 4 ชนิด ภายหลังเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 21 วัน 82

ตารางที่ 21. คุณภาพด้านประสาทสัมผัสครูตองบรรจุในบรรจุภัณฑ์ 4 ชนิดภายหลังเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 21 วัน 83

ตารางที่ 22. อายุการเก็บครูตองภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง 84

ตารางที่ 23. องค์ประกอบโดยประมาณ (proximate analysis) บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป 85

ตารางที่ 24. คุณภาพบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปบรรจุในบรรจุภัณฑ์ 4 ชนิด ภายหลังเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 21 วัน 98

ตารางที่ 25. คุณภาพด้านประสาทสัมผัสบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปบรรจุในบรรจุภัณฑ์ 4 ชนิด ภายหลังเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 21 วัน 100

ตารางที่ 26. อายุการเก็บบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง 100

ตารางที่ 27. อายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหาร 103

ตารางที่ 28. อายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารเป้าหมายเก็บที่อุณหภูมิห้องคำนวณจากค่าคงที่ปฏิกิริยา 104

ตารางที่ 29. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์กับความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิ 27 °ซ. 110

ตารางที่ 30. อายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารที่อุณหภูมิ 37°ซ. ประเมินโดยวิธี HVP 113

ตารางที่ 31. อายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารเป้าหมายคาดคะเนด้วยสมการอายุการเก็บที่อุณหภูมิ 27 °ซ., 65% RH 114

ตารางที่ 32. อายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารเป้าหมายคาดคะเนด้วยสมการอายุการเก็บที่อุณหภูมิห้อง 115

ตารางที่ 33. อายุการเก็บผลิตภัณฑ์เมื่อคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 121

ตารางที่ 34. อายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหาร 123

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1. แผนการวิจัย 10
รูปที่ 2. น้ำหนักบรรจุของอาหารแต่ละชนิด 12
รูปที่ 3. ปริมาณออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ข้าวเกรียบข้าวโพดอบ 27
รูปที่ 4. ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ข้าวเกรียบข้าวโพดอบ 28
รูปที่ 5. ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบ 29
รูปที่ 6. ความชื้นของตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบ 30
รูปที่ 7. การเปลี่ยนแปลงสีของตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบ 31
รูปที่ 8. แรงกดสูงสุดที่ใช้ในการตัดตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบ 32
รูปที่ 9. การยืดตัวของข้าวเกรียบข้าวโพดอบเมื่อถูกกด 33
รูปที่ 10. ค่า TBA ของข้าวเกรียบข้าวโพดอบ 34
รูปที่ 11. คะแนนลักษณะปรากฏของข้าวเกรียบข้าวโพดอบภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง 35
รูปที่ 12. คะแนนกลิ่นของข้าวเกรียบข้าวโพดอบภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง 36
รูปที่ 13. คะแนนรสชาติของข้าวเกรียบข้าวโพดอบภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง 37
รูปที่ 14. คะแนนเนื้อสัมผัสของข้าวเกรียบข้าวโพดอบภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง 38
รูปที่ 15. คะแนนการยอมรับรวมของข้าวเกรียบข้าวโพดอบภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง 39
รูปที่ 16. ปริมาณออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ข้าวแต๋น 44
รูปที่ 17. ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ข้าวแต๋น 45
รูปที่ 18. ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของตัวอย่างข้าวแต๋น 46
รูปที่ 19. ความชื้นของตัวอย่างข้าวแต๋น 47
รูปที่ 20. แรงกดสูงสุดที่ใช้ในการตัดตัวอย่างข้าวแต๋น 48
รูปที่ 21. ค่า TBA ของข้าวแต๋น 49
รูปที่ 22. คะแนนลักษณะปรากฏของข้าวแต๋นภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง 50
รูปที่ 23. คะแนนกลิ่นของข้าวแต๋นภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง 50
รูปที่ 24. คะแนนรสชาติของข้าวแต๋นภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง 51
รูปที่ 25. คะแนนเนื้อสัมผัสของข้าวแต๋นภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง 52
รูปที่ 26. คะแนนการยอมรับรวมของข้าวแต๋นภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง 53
รูปที่ 27. ปริมาณออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์คุกกี้ 57

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 28. ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์คุกกี้ 58
รูปที่ 29. ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของตัวอย่างคุกกี้ 59
รูปที่ 30. ความชื้นของตัวอย่างคุกกี้ 60
รูปที่ 31. แรงกดสูงสุดที่ใช้ในการตัดตัวอย่างคุกกี้ 61
รูปที่ 32. ค่า TBA ของคุกกี้ 62
รูปที่ 33. คะแนนลักษณะปรากฏของคุกกี้ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง 63
รูปที่ 34. คะแนนกลิ่นของคุกกี้ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง 64
รูปที่ 35. คะแนนกลิ่นหืนของคุกกี้ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง 65
รูปที่ 36. คะแนนรสชาติของคุกกี้ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง 66
รูปที่ 37. คะแนนเนื้อสัมผัสของคุกกี้ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง 67
รูปที่ 38. คะแนนการยอมรับรวมของคุกกี้ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง 68
รูปที่ 39. ปริมาณออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ครูตอง 72
รูปที่ 40. ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ครูตอง 73
รูปที่ 41. ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของตัวอย่างครูตอง 74
รูปที่ 42. ความชื้นของตัวอย่างครูตอง 75
รูปที่ 43. แรงกดสูงสุดที่ใช้ในการตัดตัวอย่างครูตอง 76
รูปที่ 44. ค่า TBA ของครูตอง 77
รูปที่ 45. คะแนนลักษณะปรากฏของครูตองภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง 78
รูปที่ 46. คะแนนกลิ่นและรสชาติของครูตองภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง 79
รูปที่ 47. คะแนนเนื้อสัมผัสของครูตองภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง 80
รูปที่ 48. คะแนนการยอมรับรวมของครูตองภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง 81
รูปที่ 49. ปริมาณออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป 86
รูปที่ 50. ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป 87
รูปที่ 51. ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป 88
รูปที่ 52. ความชื้นของตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป 89
รูปที่ 53. การเปลี่ยนสีของตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป 90
รูปที่ 54. แรงกดสูงสุดที่ใช้ในการตัดตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป 91
รูปที่ 55. ค่า TBA ของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป 92

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 56. ค่า acid value ของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป 93
รูปที่ 57. คะแนนลักษณะปรากฏของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง 94
รูปที่ 58. คะแนนกลิ่นและรสชาติของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง 95
รูปที่ 59. คะแนนเนื้อสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง 96
รูปที่ 60. คะแนนการยอมรับรวมของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง 97
รูปที่ 61. Sorption isotherm ของข้าวเกรียบข้าวโพดที่อุณหภูมิ 27°ซ. 106
รูปที่ 62. Sorption isotherm ของข้าวแต๋นที่อุณหภูมิ 27°ซ. 107
รูปที่ 63. Sorption isotherm ของคุกกี้เนยที่อุณหภูมิ 27°ซ. 108
รูปที่ 64. Sorption isotherm ของครูตองที่อุณหภูมิ 27°ซ. 109
รูปที่ 65. Sorption isotherm ของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่อุณหภูมิ 27°ซ. 110
รูปที่ 66. หน้าจอเริ่มต้น 117
รูปที่ 67. ฐานข้อมูลบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว 118
รูปที่ 68. การประเมินอายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารเสื่อมเสียด้วยความชื้น 119
รูปที่ 69. การออกแบบบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารเสื่อมเสียด้วยความชื้น 120

STUDY ON PROPERTIES AND PERFORMANCE OF MULTI-LAYER FLEXIBLE PACKAGING FOR MOISTURE SENSITIVE FOOD PRODUCTS

Pattra Maneesin, Gansuda Wangchanachai, Chawee Seebuppha, Wichit Rattanathawornkiti, Phaisak Anannukul, Thanyakorn Areerachakul and Pollawat Chohoithong

ABSTRACT

In this study, the database on water vapor and oxygen permeability of flexible packaging used for moisture sensitive foods in Thailand was established. More than 100 samples of mono and multi-layer flexible films were collected and tested for their barrier properties. The database would provide useful information to either food or packaging manufacturers and played important role on shelf life prediction by mathematical model. In addition, shelf-life of five moisture sensitive food products i.e. corn chips, rice crackers, butter cookies, instant noodles (oriental style) and croutons was determined using actual storage test, accelerated shelf-life test (ASLT) as well as mathematical model. Each food product was packed under N_2 flushing using three different packaging materials i.e. OPP/CPP, OPP/PE/MPET/CPP and PET/Al/LLDPE prior to storage at 27, 37 47°C and room temperature. In addition, the food samples packed in PP pouches under atmospheric condition were used as control samples. The samples were periodically taken in order to determine their physical and chemical attributes, such as moisture content, water activity (a_w), crispness, TBA value as well as sensory characteristics. Finally, the shelf-life data and barrier properties of the films were used to develop a software programme in order to estimate shelf-life of moisture sensitive food products. The results showed that the targeted food samples had different shelf-life depending on product characteristics, packaging films and storage conditions. For example, off-odor from rancidity might occur to the products containing high fat content in addition to deterioration occurred only from moisture gain or loss. High barrier packaging films i.e. OPP/PE/MPET/CPP and PET/Al/LLDPE could help slow down product deterioration better than low barrier films i.e. PP and OPP/CPP. The food samples packaged using PET/Al/LLDPE had longer shelf life than those packaged using OPP/PE/MPET/CPP, OPP/CPP and PP, respectively. Besides, the food samples stored at 27°C had longer shelf life than those stored at 37 and 47°C, respectively. At low temperature storages (27°C and room temperature), the food samples tended to lose their quality due to lose moisture gain while the samples were unacceptable by the consumers due to off-odor at high temperature storages. In order to reduce storage time and cost, shelf life prediction of five food products might be carried out by either accelerated shelf life test (ASLT) or mathematical models.

การศึกษาคุณสมบัติและการใช้งานบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวหลายชั้น (multi-layer flexible packaging) สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความชื้น

พัชทรา มณีสินธุ์[1], กัลย์สุดา วังชนะชัย[1], ฉวี สีบุบผา[1], วิจิตร รัตนถาวรกิติ[1], ไพศักดิ์ อนันต์นุกูล[1], ธันยกร อารีรัชชกุล[2] และ พลวัฒน์ ชูหอยทอง[2]

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ได้รวบรวมข้อมูลคุณสมบัติด้านการสกัดกั้นไอน้ำและออกซิเจนของฟิล์มหรือบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว, เพื่อจัดทำฐานข้อมูลบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวสำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารที่เสื่อมเสียได้ง่ายด้วยความชื้น, โดยได้รวบรวมตัวอย่างฟิล์มพลาสติกชั้นเดียวและหลายชั้นมากกว่า 100 ตัวอย่างจากผู้ผลิตและผู้ใช้ในประเทศ และทดสอบสมบัติการป้องกันความชื้นและออกซิเจนของฟิล์มก่อนจัดทำฐานข้อมูลเพื่อไว้ให้บริการแก่ผู้ประกอบการอาหารและบรรจุภัณฑ์ ตลอดจนผู้สนใจทั่วไป. นอกจากนี้ ข้อมูลดังกล่าวยังนำไปใช้ประกอบในการประเมินอายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารที่เสื่อมเสียได้ง่ายด้วยความชื้น จากการคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ได้อีกด้วย. ในขณะเดียวกันได้ทำการศึกษาอายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารที่เสื่อมเสียได้ง่ายด้วยความชื้น 5 ชนิด ได้แก่ ข้าวเกรียบข้าวโพดอบ, ข้าวแต๋น, คุกกี้เนย, ครูตอง และบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป (รสดั้งเดิม) ด้วยการทดลองเก็บรักษาจริง (actual storage test), การเร่งสภาวะการเก็บรักษา (accelerated shelf life test) และการคาดคะเนอายุการเก็บด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ (mathematical model). ตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิดจะถูกบรรจุภายใต้ก๊าซไนโตรเจน (N_2 flushing) ด้วยฟิล์มหรือบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว 3 ชนิด ได้แก่ OPP/CPP, OPP/PE/MPET/CPP and PET/Al/LLDPE ก่อนนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 27, 37, 47°ซ. ควบคู่ไปกับตัวอย่างอาหารที่บรรจุด้วยฟิล์ม PP ภายใต้บรรยากาศปกติที่ใช้เป็นตัวอย่างควบคุม. ภายหลังการเก็บรักษา ตัวอย่างอาหารเป้าหมายจะถูกสุ่มตัวอย่างเป็นระยะเพื่อตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพและเคมี เช่น ความชื้น, ค่า water activity, การเปลี่ยนแปลงสี, เนื้อสัมผัส, กรดไทโอบาร์บิทูริก (TBA) และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส. นอกจากนี้ยังได้นำผลการวิจัยที่ได้และฐานข้อมูลบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวมาใช้ในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับประเมินอายุการเก็บหรือออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมในการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความชื้นอีกด้วย. ผลการศึกษา พบว่า ผลิตภัณฑ์อาหารเป้าหมายมีอายุการเก็บแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิด, ส่วนประกอบและลักษณะการเสื่อมเสีย, บรรจุภัณฑ์ และสภาวะการเก็บรักษา

---

[1] ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)
[2] กองเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, วว

เช่น ผลิตภัณฑ์อาหารเป้าหมายที่มีไขมันสูง นอกจากจะเสื่อมเสียเนื่องจากได้รับหรือสูญเสียความชื้นแล้ว ยังเสื่อมเสียเนื่องจากเกิดกลิ่นแปลกปลอมหรือกลิ่นหืนอีกด้วย. บรรจุภัณฑ์ที่มีการสกัดกั้นสูงกว่ามีส่วนช่วยชะลอการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์. โดยผลิตภัณฑ์อาหารที่บรรจุด้วย PET/Al/LLDPE มีอายุการเก็บนานกว่าผลิตภัณฑ์อาหารที่บรรจุด้วย OPP/PE/MPET/CPP, OPP/CPP และ PP ตามลำดับ. ในขณะที่ผลิตภัณฑ์อาหารเป้าหมายเก็บที่อุณหภูมิ 27°ซ. มีอายุการเก็บนานกว่าเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 37 และ 47°ซ. ตามลำดับ. โดยผลิตภัณฑ์อาหารจะเสื่อมเสียเนื่องจากได้รับความชื้น จะไม่กรอบ, นิ่มหรืออ่อนตัว เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 27°ซ. แต่ผลิตภัณฑ์อาหารจะเสื่อมเสียเนื่องจากเกิดกลิ่นแปลกปลอมก่อน เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 37 และ 47°ซ. การประเมินอายุการเก็บด้วยสภาวะเร่งและการประเมินอายุการเก็บด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ทั้ง 2 วิธี สามารถช่วยลดเวลาในการประเมินอายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารได้.

1. บทนำ

เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่า อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์เป็นปัจจัยหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร. ทั้งนี้คุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารภายหลังการผลิตจะลดลงตามระยะเวลาเนื่องจากผลิตภัณฑ์อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพ, เคมี และจุลินทรีย์. โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการเสื่อมเสีย ทั้งจากปัจจัยภายใน ได้แก่ องค์ประกอบ, คุณสมบัติและลักษณะของอาหาร ตลอดจนปัจจัยภายนอก ได้แก่ วัสดุบรรจุภัณฑ์และวิธีการบรรจุที่เลือกใช้, สภาวะการขนส่ง, เก็บรักษา และจัดจำหน่าย. ดังนั้นการประเมินอายุการเก็บจึงเป็นกระบวนการที่ค่อนข้างซับซ้อน.

เนื่องจากจะต้องระบุวันที่ผลิตผลิตภัณฑ์หรือวันที่หมดอายุลงบนผลิตภัณฑ์ เพื่อสร้างความมั่นใจให้แก่ผู้บริโภค. การทดสอบอายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารก่อนการวางจำหน่ายจึงเป็นสิ่งจำเป็น. อย่างไรก็ตามการทดสอบอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ในสภาวะการเก็บหรือวางจำหน่ายจริงจะใช้ระยะเวลานานและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย. ผู้ประกอบการจึงมักคาดคะเนอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ของตนจากข้อมูลที่ได้จากผลิตภัณฑ์อื่นๆ และเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่มีอยู่เดิมหรือเคยใช้อยู่, ทำให้อายุการเก็บที่ระบุไว้ขาดความน่าเชื่อถือ, ไม่ตรงต่อความเป็นจริง อาจส่งผลให้ผลิตภัณฑ์หมดอายุก่อนกำหนด ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค, ทำให้ผู้บริโภคไม่พอใจหรือยอมรับคุณภาพสินค้า ส่งผลให้ถูกยกเลิกการสั่งซื้อ หรือเรียกคืนผลิตภัณฑ์ในที่สุด.

ในปัจจุบันบรรจุภัณฑ์พลาสติกมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้มีการผลิตและนำเข้าวัสดุบรรจุภัณฑ์ใหม่ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า โดยเฉพาะบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวหลายชั้น (multi-layer flexible packaging), ซึ่งมีการใช้งานอย่างกว้างขวางในการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร โดยเฉพาะกลุ่มผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความชื้น (moisture-sensitive food products) ได้แก่ ขนมขบเคี้ยว เช่น ถั่ว, ข้าวเกรียบ, มันฝรั่งทอด, ขนมอบ เช่น คุกกี้, บิสกิต ตลอดจนขนมไทยอบแห้งต่างๆ เช่น ทองม้วน เป็นต้น ซึ่งเป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการขยายตัวอย่างรวดเร็ว. ทั้งนี้ตลาดขนมขบเคี้ยวเพียงอย่างเดียวมีมูลค่า 15,200 ล้านบาทในปี พ.ศ. 2553 โดยมีอัตราการขยายตัวร้อยละ 9.3 (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย 2553). ผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความชื้นเหล่านี้จึงนับเป็นตลาดหลักที่สำคัญของบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวหลายชั้น.

การเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์นับเป็นสิ่งจำเป็น, ซึ่งนอกจากจะช่วยป้องกันความเสียหายของผลิตภัณฑ์อาหารจากสิ่งแวดล้อมต่างๆ, ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีอายุการเก็บตามต้องการแล้ว, ใน

ขณะเดียวกันยังส่งผลต่อต้นทุนการผลิตของผลิตภัณฑ์อาหารชนิดนั้นๆ อีกด้วย. อย่างไรก็ตาม ผู้ประกอบการของไทยยังขาดความรู้ความเข้าใจในการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์อย่างถูกต้องเหมาะสม โดยเฉพาะวิสาหกิจขนาดกลางและย่อม ที่มีข้อจำกัดทั้งด้านความรู้และเงินทุนในการวิจัยและพัฒนาด้วยตนเอง. นอกจากนี้ยังไม่มีฐานข้อมูลชนิดและคุณสมบัติบรรจุภัณฑ์ที่จะช่วยในการออกข้อกำหนดหรือเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ให้เหมาะสมได้ด้วยตนเองอีกด้วย.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) โดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย (ศบท.) ในฐานะหน่วยงานหลักที่รับผิดชอบการบรรจุหีบห่อของชาติ, นอกจากจะได้สั่งสมประสบการณ์ในการวิจัยและพัฒนาบรรจุภัณฑ์เพื่อการส่งออกและวางจำหน่ายผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิด ได้แก่ ผลิตผลทางการเกษตร และผลิตภัณฑ์อาหารแล้ว ยังมีประสบการณ์ในการศึกษาอายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารมาเป็นระยะเวลานาน โดยมีความพร้อมทั้งด้านบุคลากร, อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดสอบสมบัติของวัสดุและบรรจุภัณฑ์ เพื่อให้บริการแก่ทั้งภาครัฐและเอกชน จึงเล็งเห็นความจำเป็นในการจัดทำโครงการวิจัย เพื่อจัดทำฐานข้อมูลชนิดและคุณสมบัติบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวหลายชั้นสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความชื้นขึ้น. ในขณะเดียวกันจะได้พัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูป, เพื่อช่วยในการคาดคะเนอายุการเก็บหรือเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ดังกล่าว, เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของภาคอุตสาหกรรมในการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ให้ถูกต้อง, อันจะนำไปสู่การเสริมสร้างศักยภาพของกลุ่มผู้ประกอบการอาหารของไทยต่อไป.

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ

จัดทำฐานข้อมูลชนิดและคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวหลายชั้นสำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความชื้นทั้งที่ผลิตเพื่อจำหน่ายในประเทศและส่งออก, ประเมินอายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความชื้น 5 ชนิด ได้แก่ ข้าวเกรียบข้าวโพดอบ, ข้าวแต๋น, คุกกี้เนย, ครูตอง และบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ด้วยการทดลองเก็บรักษาจริง (actual storage test), การเร่งสภาวะการเก็บรักษา (accelerated shelf life test) และการคาดคะเนอายุการเก็บด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ (mathematical model) ตลอดจนพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้คาดคะเนอายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความชื้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ, เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้งานบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวหลายชั้นสำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความชื้นให้เหมาะสมต่ออายุการเก็บที่ต้องการ และต้นทุนการผลิตสินค้า.

โดยมีขอบเขตการศึกษาดังต่อไปนี้ :

1. ดำเนินการสำรวจ รวบรวม และทดสอบคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวหลายชั้นที่ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความชื้นที่มีใช้งานในประเทศ เพื่อจัดทำฐานข้อมูลชนิดและคุณสมบัติบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในประเทศ.

2. ดำเนินการศึกษาและประเมินอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความชื้นอย่างน้อย 5 ประเภท ในบรรจุภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติในการสกัดกั้นในระดับที่แตกต่างกัน โดยเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของระยะเวลาการเก็บกับคุณสมบัติบรรจุภัณฑ์ที่ใช้บรรจุและสภาวะการเก็บรักษา เช่น อุณหภูมิ เป็นต้น.

3. ดำเนินการศึกษาและพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปที่สามารถใช้คาดคะเนอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความชื้นทั้ง 5 ประเภทที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวประเภทต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ.

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัสดุ และอุปกรณ์

2.1.1 วัสดุ และอุปกรณ์ในการบรรจุ เตรียมตัวอย่าง และเก็บรักษา

2.1.1.1 ผลิตภัณฑ์อาหารเป้าหมาย 5 ชนิด ได้แก่ :

1. ข้าวเกรียบข้าวโพดอบผลิตสดใหม่ (กรุงเทพฯ).
2. ข้าวแต๋นผลิตสดใหม่ (กลุ่มแม่บ้าน จ.นครราชสีมา).
3. คุกกี้เนยผลิตสดใหม่ (บริษัท เซ็นทรัลเบเกอรี จำกัด).
4. บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปรสดั้งเดิมผลิตใหม่สด (บริษัท โรงงานผลิตภัณฑ์อาหารไทย จำกัด จ.นครปฐม).
5. ครูตองผลิตสดใหม่ (บริษัท เทคนิฟู้ด อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด จ.ปราจีนบุรี).

2.1.1.2 บรรจุภัณฑ์อ่อนตัวหรือฟิล์มพลาสติก 4 ชนิด ได้แก่ :

1. พอลิโพรพิลีน (PP) หนา 37 ไมครอน.
2. ออเรียนเท็ดพอลิโพรพิลีนหนา 20 ไมครอน ประกบกับคาสต์พอลิโพรพิลีนหนา 40 ไมครอน (OPP20/CPP40).
3. ออเรียนเท็ดพอลิโพรพิลีนหนา 20 ไมครอน ประกบกับพอลิเอทิลีนหนา 18 ไมครอน, เมทัลไลซ์พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตหนา 12 ไมครอน และคาสต์พอลิโพรพิลีนหนา 20 ไมครอน (OPP20/PE18/MPET12/CPP20).
4. พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตหนา 12 ไมครอน ประกบกับแผ่นเปลวอะลูมิเนียมหนา 7 ไมครอน และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นตรงหนา 90 ไมครอน (PET12/Al7/LLDPE 90).

รหัสและคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการวิจัย ดังแสดงในตารางที่ 1.

2.1.1.3 เครื่องบรรจุและเติมก๊าซไนโตรเจน (Henkovac, ประเทศเนเธอร์แลนด์).

2.1.1.4 เครื่องปิดผนึกด้วยความร้อนชนิด impulse sealer (FS-300, ประเทศไทย).

2.1.1.5 ตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (Labtech®, ประเทศเกาหลี).

2.1.1.6 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Binder, ประเทศเยอรมนี).

2.1.1.7 เครื่องชั่งที่มีความละเอียด ±0.05 ก. (CP224S, Sartorius, ประเทศเยอรมนี).

2.1.1.8 เดซิเคเตอร์ (Durand, ประเทศสหรัฐอเมริกา).

2.1.1.9 อุปกรณ์วัดความชื้น (Hygrometer) Testo 608-H2 (Testo AG, ประเทศเยอรมนี).

2.1.1.10 เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ (Hygro/Thermograph) NSII-Q (Shinko, ประเทศญี่ปุ่น).

ตารางที่ 1. รหัสและคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการวิจัย

ชนิดบรรจุภัณฑ์	รหัส	ความหนา (ไมครอน)	การซึมผ่านไอน้ำ (ก.-ไมครอน/ (ตร.ม.)(วัน)) ที่ 38°ซ., 90%RH	การซึมผ่านออกซิเจน (ลบ.ซม.-ไมครอน/ (ตร.ม.) (วัน) (บรรยากาศ)) ที่ 23°ซ., 0%RH
PP	PP	37	240	93,647
OPP20/CPP40	OPP	62	159	59,892
OPP20/PE18/MPET12/CPP20	MPET	67	13.4	81.1
PET12/Al7/LLDPE90	Al	107	5.4	6.4

2.1.2 สารเคมี

1. Lithium Chloride AR grade (Merck, Germany).
2. Calcium Chloride AR grade (Merck, Germany).
3. Potassium carbonate AR grade (Merck, Germany).
4. Sodium Chloride AR grade (Merck, Germany).
5. Potassium sulfate AR grade (Merck, Germany).

2.1.3 เครื่องมือทดสอบคุณสมบัติบรรจุภัณฑ์

1. ไมโครมิเตอร์ ID-C112 (Mitutoyo Corp, ประเทศญี่ปุ่น).

2. เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านไอน้ำ (Water Vapor Permeability tester) Lyssy =L80-4000 (PBI Dansensor A/S, ประเทศเดนมาร์ก).

3. เครื่องวัดอัตราการซึมผ่านก๊าซออกซิเจน, Illinois 8000 Oxygen Permeation analyzer (Illinois Instrument Inc., ประเทศสหรัฐอเมริกา).

4. เครื่องวัดความต้านแรงดึงขาด (Universal Testing Machine) Instron 1123 (Instron Corp., ประเทศสหรัฐอเมริกา).

2.1.4 เครื่องมือวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพและเคมีตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหาร

1. เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ (headspace gas analyzer) Oxy baby V O_2/CO_2 (WITT-Gasetechnik, ประเทศเยอรมนี).

2. เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (a_w) AquaLab Series 3TE (Decagon Ltd., ประเทศสหรัฐอเมริกา).

3. เครื่องวัดสี (Chroma meter) CR-200 (Minolta Ltd., ประเทศญี่ปุ่น).

4. เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) HunterLab CFEZ-45 (Hunterlab, ประเทศสหรัฐอเมริกา).

5. เครื่อง Universal testing machine พร้อมหัวกดแบบต่างๆ เช่น กลม, สี่เหลี่ยม หัวเจาะ, และเครเมอร์เชียร์เซลล์ (Kramer shear cell) Instron 1123 (Instron Corp., ประเทศสหรัฐอเมริกา).

6. เครื่องชั่งน้ำหนักที่มีความละเอียด ±0.05 กรัม และ ±0.0005 กรัม (Sartorius CP3202S และ CP224S, ประเทศเยอรมนี).

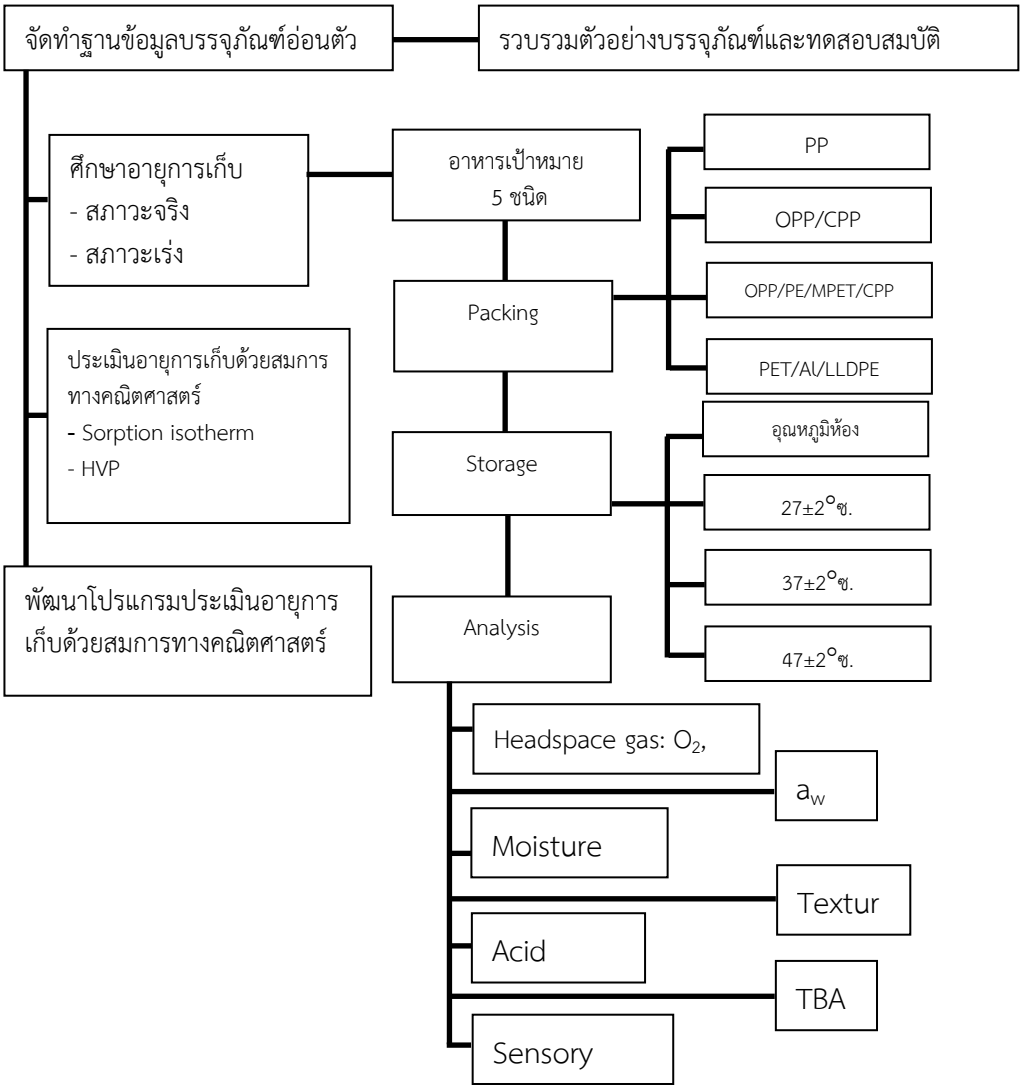
7. ตู้อบลมร้อนและควบคุมอุณหภูมิ (Binder, ประเทศเยอรมนี).

8. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบชิม ได้แก่ จาน, ถ้วย, แก้วน้ำ, ป้ายสติ๊กเกอร์, เป็นต้น.

2.2 วิธีการทดลอง

รูปที่ 1 แสดงแผนการวิจัย โดยงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ :

1. การจัดทำฐานข้อมูลสมบัติฟิล์มหรือบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว.
2. การศึกษาอายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหาร.
3. การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อประเมินอายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหาร.



รูปที่ 1. แผนการวิจัย.

หมายเหตุ : ทำการวิเคราะห์ค่า acid value เฉพาะตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป

2.2.1 การจัดทำฐานข้อมูลคุณสมบัติฟิล์มหรือบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว

รวบรวมตัวอย่างบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวที่ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์อาหารแห้งหรืออาหารที่เสื่อมเสียได้ง่ายด้วยความชื้นจากผู้ผลิตและผู้ใช้ในประเทศมากกว่า 100 ตัวอย่าง. ก่อนวิเคราะห์ความหนาฟิล์มตามมาตรฐาน ISO 4593 ด้วยเครื่องไมโครมิเตอร์ (Mitutoyo, ประเทศญี่ปุ่น), และการป้องกันไอน้ำของฟิล์มที่อุณหภูมิ 38°ซ. และความชื้นสัมพัทธ์ 90%RH ตามมาตรฐาน ISO 15106-1 ด้วยเครื่องวัดอัตราการซึมผ่านไอน้ำ (Water Vapor Permeability tester) Lyssy L80-4000 (PBI Dansensor A/S, ประเทศเดนมาร์ก). ตลอดจนวิเคราะห์การป้องกันออกซิเจนของฟิล์มที่

อุณหภูมิ 23°ซ. และความชื้นสัมพัทธ์ 0%RH ตามมาตรฐาน ASTM D 3985 ด้วยเครื่องวัดอัตราการซึมผ่านก๊าซออกซิเจน (Oxygen Permeation analyzer) รุ่น Illinois 8000 (Illinois Instrument Inc., ประเทศสหรัฐอเมริกา).

2.2.2 การศึกษาอายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหาร

การทดลองนี้ ได้ทำการศึกษาอายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารที่เสื่อมเสียได้ง่ายด้วยความชื้น อาหารเป้าหมายจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ ข้าวเกรียบข้าวโพดอบ, ข้าวแต๋น, คุกกี้เนย, ครูตอง และบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป (รสดั้งเดิม) ด้วยการเก็บภายใต้สภาวะจริงคือ การเก็บที่อุณหภูมิห้อง (ambient temperature), ซึ่งสภาวะแวดล้อมในช่วงเวลาทดลองอยู่ระหว่าง 32±2°ซ., ความชื้น 75±5%RH, การเก็บในสภาวะเร่งด้วยอุณหภูมิสูงคือ 27, 37 และ 47°ซ. ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์อาหารเป้าหมายจะถูกบรรจุภายใต้ก๊าซไนโตรเจนและปิดผนึกด้วยบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ OPP/CPP, OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ควบคู่กับผลิตภัณฑ์อาหารบรรจุฟิล์ม PP ภายใต้บรรยากาศปกติเป็นตัวอย่างควบคุม ก่อนเก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกันดังกล่าว แล้วสุ่มตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ, เคมี และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส. ในขณะเดียวกันได้ทำการประเมินอายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ควบคู่ไปด้วย, โดยการศึกษาสมบัติการดูดความชื้นของอาหาร (Sorption isotherm) แล้วเลือกสมการที่เหมาะสมในการทำนายสมบัติการดูดความชื้นของอาหาร และการประเมินอายุการเก็บด้วยวิธี half-value period (HVP).

2.2.2.1 การศึกษาอายุการเก็บสภาวะจริง (Actual storage test) และสภาวะเร่ง (Accelerated Shelf life test, ASLT)

1. การบรรจุและเตรียมตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างอาหารแต่ละชนิดที่ผลิตสดใหม่ทันทีภายหลังการผลิต โดยบรรจุถุงพลาสติกพอลิโพรพิลีน รัดปากถุง และอาจบรรจุหรือไม่บรรจุกล่องกระดาษลูกฟูกอีกครั้ง ก่อนขนส่งมายังห้องปฏิบัติการศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย, วว. (กรุงเทพฯ) ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (Proximate analysis) (AOAC 2000) แล้วเริ่มการทดลองศึกษาอายุการเก็บทันที. โดยตัวอย่างอาหารจะถูกบรรจุภายใต้ก๊าซไนโตรเจนด้วยบรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด ได้แก่ OPP/CPP, OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ด้วยเครื่องบรรจุและเติมก๊าซไนโตรเจน (Henkovac, ประเทศเนเธอร์แลนด์) ควบคู่กับตัวอย่างอาหารบรรจุด้วยฟิล์ม PP ภายใต้บรรยากาศปกติเป็นตัวอย่างควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 2. เนื่องจากบรรจุภัณฑ์มีขนาดเท่ากันคือ 15.80x11.6 ซม. แต่ผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิดมีขนาดแตกต่างกัน ทำให้บรรจุผลิตภัณฑ์อาหารได้ไม่เท่ากัน โดยน้ำหนักบรรจุของอาหารแต่ละชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2.

ตารางที่ 2. น้ำหนักบรรจุของอาหารแต่ละชนิด

ชนิดอาหาร	น้ำหนักบรรจุ, กรัม
ข้าวเกรียบข้าวโพดอบ	10
ข้าวแต๋น	25
คุกกี้เนย	40
บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป	50
ครูตอง	25

ข้าวเกรียบข้าวโพดอบ PP OPP/CPP MPET Al บรรจุซอง

ข้าวแต๋นบรรจุซอง PP OPP/CPP MPET Al

รูปที่ 2. ตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารภายหลังการบรรจุ.

คุกกี้บรรจุซอง	PP	OPP/CPP	MPET	Al

บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปบรรจุซอง	PP	OPP/CPP	MPET	Al

ครูตองบรรจุซอง	PP	OPP/CPP	MPET	Al

รูปที่ 2. (ต่อ)

2.2.2.2 การสุ่มตัวอย่างและการเก็บรักษา

ตัวอย่างอาหารที่บรรจุแล้วจะถูกเก็บที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 27, 37 และ 47 °ซ. และสุ่มตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหลืออยู่ในซอง ก่อนวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ, เคมี และคุณภาพด้านประสาทสัมผัส เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและเหมาะสมต่อการเสื่อมเสียของอาหาร ตลอดจนความสามารถในการสกัดกั้นของฟิล์มที่ใช้ในการบรรจุ. ระยะเวลาในการสุ่มตัวอย่างจึงแตกต่างกันไปขึ้นกับชนิดของอาหาร, บรรจุภัณฑ์ที่ใช้บรรจุ ตลอดจนอุณหภูมิในการเก็บรักษา ระยะเวลาในการสุ่มตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 3.

ตารางที่ 3. ระยะเวลาในการสุ่มตัวอย่าง

ตัวอย่างอาหาร	สภาวะเก็บรักษา	แผนการตรวจ
ข้าวเกรียบข้าวโพดอบ	27°ซ. และอุณหภูมิห้อง	PP และ OPP สุ่มตัวอย่างทุก 14 วัน และวันที่ 21
		MPET และ Al สุ่มตัวอย่างทุก 28 วัน และวันที่ 21
	37°ซ., 47°ซ.	PP และ OPP สุ่มตัวอย่างทุก 10 วัน และวันที่ 21
		MPET และ Al สุ่มตัวอย่างทุก 30 วัน และวันที่ 21
ข้าวแต๋น	อุณหภูมิห้อง	PP และ OPP ตรวจทุก 7 วัน และวันที่ 21
		MPET สุ่มตัวอย่างครั้งแรกภายหลังเก็บนาน 21 และ 42 วัน หลังจากนั้นสุ่มตัวอย่างทุก 14 วัน คือ 56, 70 และ 84 วัน
		Al ตรวจทุก 42 วัน และวันที่ 21
	27°ซ.	PP สุ่มตัวอย่างทุก 7 วัน และวันที่ 21
		OPP สุ่มตัวอย่างทุก 14 วัน และวันที่ 21
		MPET และ Al สุ่มตัวอย่างทุก 42 วัน และวันที่ 21
	37°ซ.	PP และ OPP สุ่มตัวอย่างทุก 7 วัน และวันที่ 21
		MPET สุ่มตัวอย่างทุก 21 วัน
		Al สุ่มตัวอย่างครั้งแรกภายหลังเก็บนาน 21 และ 42 วัน หลังจากนั้นสุ่มตัวอย่างทุก 14 วัน คือ 56, 70 และ 84 วัน
	47°ซ.	PP สุ่มตัวอย่างวันที่ 3, 5, 7 วัน และวันที่ 21
		OPP สุ่มตัวอย่างวันที่ 7, 10, 14 วัน และวันที่ 21
		MPET สุ่มตัวอย่างครั้งแรกภายหลังเก็บนาน 14 วัน หลังจากนั้นสุ่มตัวอย่างทุก 7 วัน คือ 21, 28 และ 35 วัน
		Al เริ่มสุ่มตัวอย่างครั้งแรกภายหลังเก็บนาน 21 วัน หลังจากนั้นสุ่มตัวอย่างทุก 14 วัน คือ 35 และ 49 วัน

ตารางที่ 3. (ต่อ)

ตัวอย่างอาหาร	สภาวะเก็บรักษา	แผนการตรวจ
คุกกี้เนย	27°ซ. และอุณหภูมิห้อง	PP สุ่มตัวอย่างภายหลังเก็บนาน 3, 7, 10, 14, 17, 21 และ 35 วัน OPP สุ่มตัวอย่างทุก 7 วัน MPET สุ่มตัวอย่างครั้งแรกภายหลังเก็บนาน 21 วัน หลังจากนั้นสุ่มตัวอย่างทุก 28 วัน Al สุ่มตัวอย่างครั้งแรกภายหลังเก็บนาน 21 วัน หลังจากนั้นสุ่มตัวอย่างทุก 42 วัน
	37°ซ. และ 47°ซ.	PP สุ่มตัวอย่างภายหลังเก็บนาน 3, 7, 10, 14, 17, 21 และ 35 วัน OPP สุ่มตัวอย่างทุก 7 วัน MPET สุ่มตัวอย่างเก็บนาน 14, 21, 35 และ 56 วัน Al สุ่มตัวอย่างเก็บนาน 21, 28, 49, 63, 77 และ 84 วัน
บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป	27°ซ. และอุณหภูมิห้อง 37°ซ. และ 47°ซ.	PP สุ่มตัวอย่างทุก 10 วัน และวันที่ 21 OPP สุ่มตัวอย่างทุก 21 วัน MPET สุ่มตัวอย่างครั้งแรกภายหลังเก็บนาน 21 วัน หลังจากนั้นสุ่มตัวอย่างทุก 42 วัน Al สุ่มตัวอย่างครั้งแรกภายหลังเก็บนาน 21 วัน หลังจากนั้นสุ่มตัวอย่างทุก 90 วัน
ครูตอง	27°ซ. และอุณหภูมิห้อง	PP และ OPP สุ่มตัวอย่างทุก 14 วัน และวันที่ 21 MPET และ Al สุ่มตัวอย่างครั้งแรกภายหลังเก็บนาน 21 วัน หลังจากนั้นสุ่มตัวอย่างทุก 60 วัน
	37°ซ. และ 47°ซ.	PP สุ่มตัวอย่างทุก 7 วัน OPP สุ่มตัวอย่างทุก 14 วัน และวันที่ 21 MPET สุ่มตัวอย่างทุก 30 วัน และวันที่ 21 Al สุ่มตัวอย่างทุก 60 วัน และวันที่ 21

2.2.2.3 การวิเคราะห์คุณภาพบรรจุภัณฑ์และผลิตภัณฑ์อาหาร

ภายหลังการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิดจะถูกสุ่มตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหลืออยู่ในซอง ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส และตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ตามรายละเอียดต่อไปนี้ :

ผลิตภัณฑ์	คุณภาพที่ถูกประเมิน					
	a_w	ความชื้น	สี	เนื้อสัมผัส	TBA value	Acid value
ข้าวเกรียบข้าวโพดอบ	✓	✓	✓	✓	✓	
ข้าวแต๋น	✓	✓		✓	✓	
คุกกี้เนย	✓	✓		✓	✓	
บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ครูตอง	✓	✓		✓	✓	

1. ปริมาณก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหลือในบรรจุภัณฑ์

แปะซิลิโคนเซพทัมบนผิวซองบรรจุอาหารด้านนอก ใช้เข็มเจาะทะลุซอง, เพื่อเก็บตัวอย่างก๊าซก่อนวิเคราะห์ปริมาณก๊าซภายในบรรจุภัณฑ์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณก๊าซ Headspace gas analyzer (Oxybaby V O_2/CO_2, WITT-Gasetechnik ประเทศเยอรมัน), อ่านและบันทึกค่าที่ได้, รายงานผลปริมาณ O_2 และ CO_2 เป็นร้อยละ.

2. ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)

บดตัวอย่างอาหารให้ละเอียด ใส่ลงในถ้วยใส่ตัวอย่าง แล้ววิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระที่อุณหภูมิ 25± 1°ซ. ด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) รุ่น AquaLab Series 3TE (Decagon devices Ltd., ประเทศสหรัฐอเมริกา) อ่านและบันทึกค่าที่ได้.

3. ความชื้น (Moisture content)

ทำการวิเคราะห์ความชื้นของตัวอย่างอาหารตาม AOAC (2000) โดยบดตัวอย่างอาหารให้ละเอียด, ชั่งน้ำหนักตัวอย่างอาหารเริ่มต้นประมาณ 3-5 กรัม ใส่ลงในถ้วยหาความชื้น, บันทึกน้ำหนักเริ่มต้น, อบจนแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 ± 2°ซ. จนน้ำหนักคงที่ บันทึกน้ำหนักสุดท้าย ทำการทดลอง 3 ซ้ำ คำนวณความชื้น (%) ได้ตามสมการ :

$$\text{ความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักสุดท้าย}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100$$

4. การเปลี่ยนสี

วิเคราะห์การเปลี่ยนสีของตัวอย่างอาหารด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) หรือเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) และรายงานผลเป็นค่า L*, a*, b* (ค่า L* ระบุค่าความสว่าง, ค่า a* ระบุค่าสีแดง และค่า b* ระบุค่าสีเหลือง) ตามรายละเอียดดังนี้ :

4.1 ค่าสีของข้าวเกรียบข้าวโพดอบ สุ่มตัวอย่าง 10 ชิ้น, วางชิ้นตัวอย่างด้านนูนให้แนบสนิทกับหัววัด วัด 3 จุด ต่อ 1 ตัวอย่าง, วิเคราะห์ค่าสีของตัวอย่างทีละชิ้นด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) รุ่นChroma CR-200 (Konica Minolta Optics, Inc., ประเทศญี่ปุ่น) รายงานผลเป็นค่า L*, a*, b*.

4.2 ค่าสีของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปก่อนต้มสุก โดยใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ HunterLab CFEZ-45 (Hunter Associates Laboratory Inc., ประเทศสหรัฐอเมริกา) รายงานผลเป็นค่า L*, a*, b* ทำการทดลอง 5 ซ้ำ ในแต่ละตัวอย่าง โดย สุ่มชิ้นตัวอย่างบะหมี่ 5 ชิ้น นำชิ้นบะหมี่วางซ้อนกัน 2 ชิ้น วัด 3 จุด ต่อ 1 ชิ้นตัวอย่าง.

5. เนื้อสัมผัส

เนื่องจากผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิดมีรูปทรงและขนาดแตกต่างกัน เพื่อความเหมาะสมการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิดด้วยเครื่อง Universal testing machine Instron 1123 (Instron Instrument Corp., ประเทศสหรัฐอเมริกา) จึงแตกต่างกันไปตามลักษณะและรูปทรงของอาหาร บันทึกค่าแรงสูงสุดที่ตัวอย่างรับได้หรือที่ระยะยุบ 40% (คุกกี้เนย), ขนาดตัวอย่าง, ลักษณะของหัวกด, และความเร็วในการกด ดังแสดงในตารางด้านล่าง.

ชนิดอาหาร	**ขนาดตัวอย่าง**	**ชนิดและขนาดหัวกด**	**ความเร็วในการกด (มม./นาที)**	**จำนวนตัวอย่าง (ชิ้น)**
ข้าวเกรียบข้าวโพดอบ	กลม รี $\phi\approx$ 2-3 ซม.	กลม ϕ = 3 ซม.	13	10
ข้าวแต๋น	กลม $\phi \approx$ 5 ซม.	กลม ϕ = 3 ซม.	13	10
คุกกี้เนย	กลม $\phi \approx$ 3ซม.	กลม ϕ = 6 มม.	200	10
บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป	สี่เหลี่ยม $\approx$ 8x8 ซม.	สี่เหลี่ยม = 10x10 ซม.	13	10
ครูตอง	สี่เหลี่ยมลูกเต๋า $\approx$ 1x1x1 ซม. บรรจุเต็มกล่อง	Kramer shear cell	13	10

6. Thiobarbituric acid (TBA) value

กรดไทโอบาร์บิทูริกหรือ Thiobarbituric acid (TBA) เป็นการวิเคราะห์ปริมาณของมาโลนัลดีไฮด์ (Malonaldehyde) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากการเกิดออกซิเดชันของไขมัน. โดยทั่วไปการวิเคราะห์ค่า TBA นิยมใช้เพื่อประเมินคุณภาพทางด้านการหืนของผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันหรือน้ำมันเป็นองค์ประกอบมากกว่าที่จะใช้ทดสอบคุณภาพไขมันโดยตรง. ทำการวิเคราะห์ตาม Liu *et al.* (2005) เริ่มจากชั่งตัวอย่างอาหารน้ำหนัก 10 ± 0.01 กรัม เติมน้ำ 20 มล. ปั่นผสมให้เข้ากันเทใส่ใน distillation flask ล้างโถปั่นด้วยน้ำกลั่น 47.5 มล. แล้วเทผสมรวมกัน เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 4 M เพื่อปรับ pH ให้อยู่ระหว่าง 1.1-1.5 ต่อชุดกลั่น แล้วกลั่นอย่างรวดเร็ว, เพื่อให้ได้ของเหลวจากการกลั่นประมาณ 50 มล. ปิเปตต์ของเหลวที่กลั่นได้จำนวน 5 มล. ลงในหลอดทดสอบที่มีฝาปิด เติม TBA reagent จำนวน 5 มล. ปิดจุกเขย่าให้เข้ากัน ก่อนนำไปต้มในน้ำเดือดนาน 35 นาที แล้วทำให้เย็นลงทันที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่ 538 นาโนเมตร (OD_{538}) เปรียบเทียบกับ blank (น้ำกลั่น 5 มล.) และคำนวณค่า TBA ได้ตามสมการ:

TBA (mg malonaldehyde/1 kg sample) = $7.8 \times OD_{538}$

7. ค่าความเป็นกรด (acid value)

วิเคราะห์ความเป็นกรดของตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปตามวิธีของ Cox and Pearson (1962).

8. การประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัส

การทดสอบชิมทำโดยใช้ผู้ชิมกึ่งฝึกฝนที่มีความคุ้นเคยกับผลิตภัณฑ์อาหารเป้าหมาย จำนวน 15 คน ชิมตัวอย่างอาหารแล้วให้คะแนนด้านลักษณะปรากฏ, กลิ่น, รสชาติ, เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม ตามรายละเอียดดังนี้ :

8.1 ข้าวเกรียบข้าวโพดอบ ประเมินด้านลักษณะปรากฏ, กลิ่น, รสชาติ, เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม โดยการให้คะแนน (scoring) ตามคุณลักษณะเรียงลำดับตั้งแต่ 1-5 โดย 1 สำหรับลักษณะที่ไม่ดีที่สุด และ 5 สำหรับลักษณะที่ดีที่สุด.

8.2 ข้าวแต๋น ประเมินลักษณะปรากฏ, กลิ่น, รสชาติ, เนื้อสัมผัส (ความพองกรอบ) และการยอมรับโดยรวม ด้วยการให้คะแนนความชอบ (hedonic scale) ตั้งแต่ 1 – 5 โดย 1 ไม่ชอบที่สุด และ 5 ชอบมากที่สุด.

8.3 คุกกี้เนย ประเมินสี, กลิ่นเนย, กลิ่นหืน, รสชาติ, เนื้อสัมผัส (ความกรอบ) และการยอมรับโดยรวม โดยการให้คะแนนเรียงลำดับตั้งแต่ 1-9 โดย 1 สำหรับลักษณะที่มีน้อยหรือไม่ยอมรับที่สุด และ 9 สำหรับลักษณะที่มีมากหรือยอมรับที่สุด.

8.4 บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ประเมินสี, กลิ่นและรสชาติ, เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม ด้วยการให้คะแนนความชอบ (hedonic scale) ตั้งแต่ 1 – 9 โดย 1 ไม่ชอบที่สุด และ 9 ชอบมากที่สุด.

8.5 ครูตอง ประเมินลักษณะปรากฏ, กลิ่นและรสชาติ, เนื้อสัมผัส (ความพองกรอบ) และการยอมรับโดยรวม ด้วยการให้คะแนนความชอบ (hedonic scale) ตั้งแต่ 1 – 9 โดย 1 ไม่ชอบที่สุด และ 9 ชอบมากที่สุด.

อย่างไรก็ตามแบบทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดดังแสดงในภาคผนวก

9. การวิเคราะห์ผลการทดลอง นอกจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสและการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสที่ได้ระบุจำนวนซ้ำไปแล้ว การวิเคราะห์ทางกายภาพและเคมีอื่นๆ จะทำการทดลองอย่างน้อย 3 ซ้ำ ก่อนวิเคราะห์ความแปรปรวนและความแตกต่างทางสถิติของข้อมูลที่ได้ด้วย Analysis of Variance (ANOVA) และ Duncan's New Multiple Rank test (DMRT) ด้วยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS version 11.0.

2.2.2.4 การประเมินอายุการเก็บด้วยสมการทางคณิตศาสตร์

1. Sorption isotherm

Sorption isotherm เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นอาหารที่สมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ที่สมดุลที่อุณหภูมิคงที่ ซึ่งมีประโยชน์อย่างยิ่งในการอธิบายสมบัติการดูดซับความชื้นและการประเมินอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารที่เสื่อมเสียได้ง่ายด้วยความชื้น.

เตรียมสารละลายเกลืออิ่มตัว 5 ชนิด ได้แก่ lithium chloride, calcium chloride, potassium carbonate, sodium chloride และ potassium sulfate ใส่ในเดซิกเคเตอร์ที่ปิดสนิท นำไปใส่ในตู้หรือห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 27 ± 2, 37 ± 2 และ 47 ± 2°ซ. จนกระทั่งสมดุล วัดความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (ERH) ที่ได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.

ตารางที่ 4. ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากสารละลายเกลืออิ่มตัว

สารละลายเกลืออิ่มตัว	ความชื้นสัมพัทธ์ (ERH), %		
	27°ซ.	37°ซ.	47°ซ.
Lithium chloride	13.8	15.9	17.9
Calcium chloride	28.3	28.5	29.2
Potassium carbonate	43.5	46.6	47.8
Sodium chloride	73.5	75.0	75.4
Potassium sulfate	93.7	94.9	95.6

วิเคราะห์ความชื้นเริ่มต้น (Mo) ของผลิตภัณฑ์อาหารเป้าหมาย ก่อนชั่งน้ำหนักถ้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ และใส่ตัวอย่างอาหารน้ำหนักประมาณ 3-5 กรัม ในถ้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ ใส่ลงในเดซิกเคเตอร์ที่มีสารละลายเกลืออิ่มตัวที่เตรียมไว้ แล้วเก็บในตู้หรือห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 27 $\pm$ 2, 37 $\pm$ 2 และ 47 $\pm$ 2°ซ. ชั่งตัวอย่างอาหารจนกระทั่งสมดุล หรือน้ำหนักตัวอย่างคงที่ และคำนวณค่าความชื้นสมดุล (EMC) ได้ตามสมการ :

$$EMC = \frac{(w_f - w_i) + (\%H_2O/100) \times w_i}{w_i\,(100 - \%H_2O)/100} = \frac{\text{g water}}{\text{g solid}}$$

เมื่อ w_i = น้ำหนักเริ่มต้นของอาหาร, กรัม

w_f = น้ำหนักสุดท้ายของอาหาร, กรัม

$\%\ H_2O$ = ความชื้นเริ่มต้นของอาหาร, % wet basis

สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (ERH) เป็นแกน x และความชื้นสมดุล (EMC) ของอาหารแต่ละชนิดในแกน y.

2. Half-Value Period (HVP)

HVP เป็นระยะเวลาที่ความชื้นของอาหารเพิ่มขึ้นเป็นครึ่งหนึ่งของระยะเวลาที่ความชื้นของอาหารเพิ่มขึ้นจากความชื้นเริ่มต้นจนกระทั่งสมดุล สามารถใช้เพื่อประเมินอายุการเก็บอาหารหรือเปรียบเทียบความสามารถในการสกัดกั้นของบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิดได้.

ทำการทดลองเช่นเดียวกันข้อ 2.2.2.1 (ข้อ 1) เพื่อให้ได้ค่าความชื้นวิกฤตของผลิตภัณฑ์อาหารและบรรจุตัวอย่างอาหารเป้าหมายแต่ละชนิดในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว ปิดผนึกซอง ชั่งน้ำหนักเริ่มต้น เก็บในห้องควบคุมอุณหภูมิ 37±2°ซ. และความชื้น 95±5% ชั่งน้ำหนักซองบรรจุอาหารเป็นระยะ (ประมาณ 2 สัปดาห์) ก่อนตัดซองเปิดปากถุง ชั่งน้ำหนักตัวอย่างจนคงที่ สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง log ของผลต่างระหว่างน้ำหนักอาหารที่จุดสมดุล (we) และจุดเริ่มต้น ($\log_{10}$ (we-w)) เป็นแกน y และเวลา (วัน) เป็นแกน x แล้วนำค่า slope ที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวไปใช้คำนวณหาค่า HVP ได้ตามสมการ :

$$HVP = \frac{(\text{Log}_{10}2)}{\text{Slope}}$$

เมื่อได้ค่า HVP สามารถคาดคะเนอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ตามวิธีของ Paine (1969) ได้จากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า HVP ที่ได้กับปริมาณความชื้นเริ่มต้น, ปริมาณความชื้นวิกฤต และความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์อาหารชนิดนั้น.

2.2.3 การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับประเมินอายุการเก็บผลิตภัณฑ์

ข้อมูลการซึมผ่านไอน้ำและออกซิเจนของบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว, สมบัติการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์อาหาร และข้อมูลสภาวะเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร ได้ถูกนำมาใช้ประเมินอายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม ด้วยการเขียนโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อใช้ในการคำนวณด้วยภาษาซีชาร์ป (C#).

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 การจัดทำฐานข้อมูลคุณสมบัติฟิล์มหรือบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว

ตารางที่ 5 แสดงค่าการซึมผ่านไอน้ำที่อุณหภูมิ 38°ซ. และความชื้นสัมพัทธ์ 90% RH ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 15106-1 และการซึมผ่านออกซิเจนที่อุณหภูมิ 23°ซ. และความชื้นสัมพัทธ์ 0% RH ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 3985 ของตัวอย่างฟิล์มพลาสติกชั้นเดียวที่ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์อาหารที่เสื่อมเสียได้ง่ายด้วยความชื้นจากผู้ผลิตและผู้ใช้ในประเทศ ซึ่งได้นำไปรวบรวมไว้เป็นฐานข้อมูล เพื่อให้บริการแก่ผู้สนใจต่อไป.

ฟิล์มพลาสติกชั้นเดียวที่ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี ได้แก่ OPP, BOPP, CPP, LLDPE และ LDPE, เป็นต้น. โดย OPP และ BOPP ป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดีกว่า CPP, LLDPE และ LDPE ตามลำดับ เนื่องจาก OPP และ BOPP ยอมให้ไอน้ำซึมผ่านได้เพียง 80 กรัม-ไมครอน/(ตร.ม.)(วัน). ในขณะที่ฟิล์มพลาสติกชั้นเดียวที่ป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนได้ดี ได้แก่ ไนลอน และ PET เป็นต้น. โดยไนลอนป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนได้ดีกว่า PET เนื่องจากไนลอนและ PET ยอมให้ออกซิเจนซึมผ่านได้ 952 และ 1,681 ลบ.ซม.-ไมครอน/(ตร.ม.)(วัน)(บรรยากาศ) ตามลำดับ. แต่ถ้าหากต้องการการสกัดกั้นที่สูงขึ้นก็อาจเลือกใช้ฟิล์มเคลือบไออะลูมิเนียม (ฟิล์มเมทัลไลซ์), ซึ่งช่วยปรับปรุงสมบัติการป้องกันไอน้ำหรือก๊าซให้ดีขึ้นมากหรือน้อยขึ้นกับสมบัติของฟิล์มที่ถูกเคลือบ เช่น MCPP ป้องกันการซึมผ่านไอน้ำและออกซิเจนได้ดีกว่า CPP มากกว่า 40 เท่า. ในขณะที่ MPET ป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดีกว่า PET ประมาณ 35 เท่า แต่ป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนได้ดีกว่า PET ประมาณ 14 เท่า ดังแสดงในตารางที่ 5.

ตารางที่ 5. ค่าการซึมผ่านไอน้ำและออกซิเจนของฟิล์มพลาสติกบางชนิด

ชนิดฟิล์ม	ความหนา (ไมครอน)	อัตราการซึมผ่านไอน้ำ (ก./(ตร.ม.)(วัน)) ที่ 38°ซ., 90%RH	ค่าคงที่การซึมผ่านไอน้ำ (ก.-ไมครอน/(ตร.ม.)(วัน)) ที่ 38°ซ., 90%RH	อัตราการซึมผ่านออกซิเจน (ลบ.ซม./(ตร.ม.)(วัน)(บรรยากาศ)) ที่ 23°ซ., 0%RH	ค่าคงที่การซึมผ่านออกซิเจน (ลบ.ซม.-ไมครอน/(ตร.ม.)(วัน)(บรรยากาศ)) ที่ 23°ซ., 0%RH
LDPE	54	6.61	357	3,946	213,084
LLDPE	65	3.65	237	2,462	160,046
CPP	20	14.00	280	4,730	94,604
OPP	20	3.93	79	2,134	42,682
BOPP	20	4.10	82	2,038	40,764
PVC	35	16.38	573	143	5,022
PET	12	42.02	504	140	1,681
Nylon	15	309.00	4,635	63	952
MCPP	25	0.20	5	83	2,063
MPET	12	1.19	14	10	120

หมายเหตุ : MCPP = metallized CPP, MPET = metallized PET

ตารางที่ 6 แสดงค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำที่อุณหภูมิ 38°ซ. และความชื้นสัมพัทธ์ 90% RH ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 15106-1 และอัตราการซึมผ่านออกซิเจนที่อุณหภูมิ 23°ซ. และความชื้นสัมพัทธ์ 0%RH ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 3985 ของตัวอย่างฟิล์มพลาสติกหลายชั้นที่ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์อาหารที่เสื่อมเสียได้ง่ายด้วยความชื้นจากผู้ผลิตและผู้ใช้ในประเทศ. ตัวอย่างฟิล์มที่บรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่ ข้าวเกรียบ, คุกกี้เนย, มันฝรั่งทอด, อาหารว่างจากแป้ง, บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป, เป็นต้น ซึ่งได้นำไปรวบรวมไว้เป็นฐานข้อมูล เพื่อให้บริการแก่ผู้สนใจต่อไป.

ฟิล์มพลาสติกหลายชั้นที่นิยมใช้บรรจุผลิตภัณฑ์อาหารไวความชื้น เนื่องจากต้องป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดี จึงมักมีโครงสร้างที่ป้องกันความชื้นได้ดี เช่น OPP, CPP และ PE เป็นส่วนประกอบ. ในขณะที่อาหารบางประเภทที่มีไขมันสูง อาจเกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากออกซิเจน จึงต้องการโครงสร้างฟิล์มที่ป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนได้ดี เช่น PET มาเป็นส่วนประกอบ และถ้าต้องการป้องกันแสงก็มักจะมีโครงสร้างของแผ่นเปลวอะลูมิเนียมหรือฟิล์มเคลือบไออะลูมิเนียม (ฟิล์มเมทัลไลซ์) เป็นส่วนประกอบ.

ฟิล์มพลาสติกหลายชั้นที่นิยมใช้บรรจุผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบ ได้แก่ OPP/CPP, OPP/PET/CPP และ OPP/PE/MPET/CPP โดยมีการใช้โครงสร้างส่วนประกอบฟิล์มที่เหมือนกัน แต่มีความหนาแตกต่างกันไปไม่มากก็น้อย, เช่นเดียวกับบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่มีอายุการเก็บไม่นานมากนัก (3-6 เดือน) นิยมบรรจุด้วยฟิล์ม OPP/CPP และ OPP/MCPP. ในขณะที่ OPP/CPP, OPP/MCPP, PET/MCPP และ OPP/MPET/PE, OPP/MCPP/PE, PET/PE ที่มีความหนาแตกต่างกันไปนิยมใช้บรรจุคุกกี้เนย. นอกจากนี้มันฝรั่งทอดที่ต้องป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนและแสงได้ดี เพื่อช่วยยืดอายุผลิตภัณฑ์ มีการใช้แผ่นเปลวอะลูมิเนียมหรือฟิล์มเคลือบไออะลูมิเนียม (ฟิล์มเมทัลไลซ์) เป็นส่วนประกอบ เช่น OPP/PE/Al/PE/CPP และ OPP/PE/MPET/PE/CPP, เช่นเดียวกับอาหารว่างจากแป้งที่มีองค์ประกอบหลากหลาย จึงมีการใช้ส่วนประกอบหลากหลายทั้งป้องกันไอน้ำได้ดีเพียงอย่างเดียว เช่น OPP/CPP, OPP/PE/CPP, เป็นต้น และฟิล์มที่สามารถป้องกันไอน้ำ ออกซิเจน และแสงได้ดี เช่น PET/MPET/LLDPE, OPP/PE/Al/PE, เป็นต้น.

ตารางที่ 6. ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำและออกซิเจนของฟิล์มพลาสติกหลายชั้นที่ใช้บรรจุอาหารไวความชื้นในประเทศ

อาหาร	ชนิดฟิล์ม	อัตราการซึมผ่านไอน้ำ (ก./(ตร.ม.)(วัน)) ที่ 38°ซ., 90%RH	อัตราการซึมผ่านออกซิเจน (ลบ.ซม./ (ตร.ม.)(วัน)) ที่ 23°ซ., 0%RH
ข้าวเกรียบ	OPP40/CPP30	1.78	742
	OPP20/CPP50	1.15	761
	OPP40/PET12/CPP25	1.81	119
	OPP20/PET12/CPP30	3.19	116
	OPP40/PET12/CPP30	1.65	113
	OPP40/PET12/CPP25	2.3	130
	OPP20/MPET12/CPP30	0.37	1.41
	OPP40/MCPP25	0.18	19.7
	OPP20/PE12/MPET12/PE20	0.31	1.56
	OPP20/PE15/MPET12/CPP25	0.4	2.72
	OPP20/PE18/VMPET12/CPP20	0.19	3.66
	OPP20/PE15/VMPET12/CPP20	0.22	1.78
	OPP20/MPET12/CPP30	0.3	1.38
	OPP20/MPET12/LLDPE45	0.2	1.65

ตารางที่ 6. (ต่อ)

อาหาร	ชนิดฟิล์ม	อัตราการซึมผ่านไอน้ำ (ก./(ตร.ม.)(วัน)) ที่ 38°ซ., 90%RH	อัตราการซึมผ่านออกซิเจน (ลบ.ซม./(ตร.ม.)(วัน)) ที่ 23°ซ., 0%RH
คุกกี้เนย	OPP20/CPP20	4.2	1,600
	OPP20/CPP30	4	1,500
	OPP40/CPP30	1.6	700
	PET12/MCPP25	0.21-0.34	7.5-17
	OPP20/MPET12/PE40	0.43	0.68
	OPP20/MCPP25	0.12	6.52
	OPP20/MCPP12/PE30	0.86	1.26
	PET12/PE32	6.5	1.2
มันฝรั่งทอด	OPP20/PE15/Al17/PE15/CPP20	0.08	0.07
	OPP20/PE15/MPET12/PE20/CPP20	0.27	1.66
อาหารว่างจากแป้ง	OPP30/PE15/CPP20	1.67	750
	PET12/MPET12/LLDPE30	0.88	2.5
	OPP20/PE15/MPET12/PE30	0.13	1.86
	OPP/20MPET12/LLDPE40	0.3	0.9
	OPP20/PE20/Al12/PE45	0.08	0.07
	OPP40/CPP20	1.35	752
	OPP20/MPET12/CPP30	0.37	1.75
	OPP20/PE15/MPET12/PE30	0.24	2.39
	OPP20/PE20/MPET12/PE20	0.28	0.73
บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป	OPP20/CPP20	3.98	1505
	OPP20/CPP22	4.13	1640
	OPP20/CPP30	4.16	1564
	OPP20/MCPP25	0.38	31.8

หมายเหตุ : OPP20/CPP20 หมายถึง ออเรียนเท็ดพอลิโพรพิลีนหนา 20 ไมครอน ประกบกับคาสต์พอลิโพรพิลีนหนา 20 ไมครอน

อย่างไรก็ตามการค่าที่รายงานเป็นค่าการซึมผ่านไอน้ำที่ทดสอบที่อุณหภูมิ 38°ซ. และความชื้นสัมพัทธ์ 90% RH และค่าการซึมผ่านออกซิเจนที่ทดสอบที่อุณหภูมิ 23°ซ. และความชื้นสัมพัทธ์ 0% RH. ดังนั้นถ้าอุณหภูมิและความชื้นในการใช้งานแตกต่างไป ค่าการซึมผ่านไอน้ำและออกซิเจนก็แตกต่างกันไปด้วย เช่น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โมเลกุลของก๊าซหรือไอน้ำจะเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น ค่าการซึมผ่านไอน้ำและก๊าซจะสูงขึ้น. ในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงขึ้น มีผลให้ความแตกต่างความดันระหว่างด้านนอกและด้านในผิวฟิล์มสูงขึ้นทำให้การซึมผ่านไอน้ำดีขึ้น (Hernandez *et al*. 2000).

ทั้งนี้ข้อมูลดังกล่าวนี้ได้อยู่ในโปรแกรมฐานข้อมูล, ซึ่งเชื่อมต่อกับโปรแกรมการประเมินอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นโดย ศบท., เพื่อให้ผู้ประกอบการสามารถประเมินอายุการเก็บหรือทราบความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติการสกัดกั้นของบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวกับอายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความชื้นได้ เช่น สามารถประเมินอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ด้วยตนเอง หากทราบชนิดของบรรจุภัณฑ์ และสมบัติการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ ตลอดจนสามารถออกแบบหรือเลือกบรรจุภัณฑ์ได้ด้วยตนเอง ตามอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ, เนื่องจากฟิล์มแต่ละชนิดมีความสามารถในการสกัดกั้นความชื้น และออกซิเจนได้แตกต่างกันไป.

3.2. การศึกษาอายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหาร

3.2.1 การศึกษาอายุการเก็บสภาวะจริง (Actual storage test)

3.2.1.1 ข้าวเกรียบข้าวโพดอบ

ตารางที่ 7 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณข้าวเกรียบข้าวโพดอบ พบว่า ข้าวเกรียบข้าวโพดอบมีความชื้นประมาณร้อยละ 2.64 เนื่องจากมีความชื้นต่ำมาก, จึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมเสียได้ง่ายด้วยความชื้น. ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มที่จะดูดความชื้นอย่างรวดเร็ว, ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบลดลง ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค. นอกจากนี้แม้ว่าจะใช้การอบแทนการทอด แต่ข้าวเกรียบข้าวโพดอบก็มีไขมันเป็นส่วนประกอบในปริมาณค่อนข้างสูงประมาณร้อยละ 27.41 รองจากส่วนประกอบหลักคือคาร์โบไฮเดรต (67.25%) ทำให้อาจเกิดการเสื่อมเสีย, เนื่องจากเกิดกลิ่นหืนได้เช่นกัน โดยเฉพาะหากเก็บที่อุณหภูมิสูงหรือสัมผัสโดยตรงกับแสง.

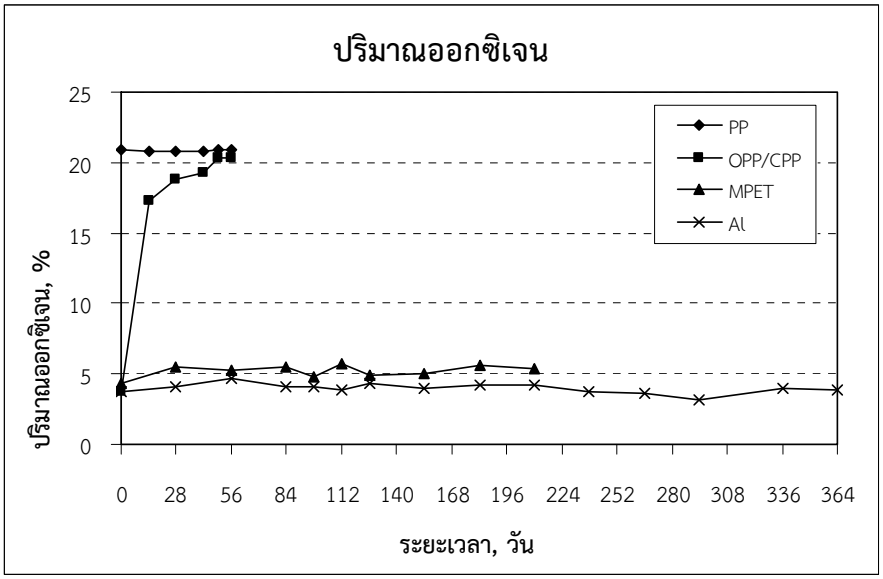
ตารางที่ 7. องค์ประกอบโดยประมาณ (proximate analysis) ข้าวเกรียบข้าวโพดอบ

ส่วนประกอบ	ร้อยละ
ความชื้น	2.64
คาร์โบไฮเดรต	67.25
โปรตีน	2.09
ไขมัน	27.41
เถ้า	0.61

ผลการประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ ภายหลังบรรจุและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้ผลดังต่อไปนี้ :

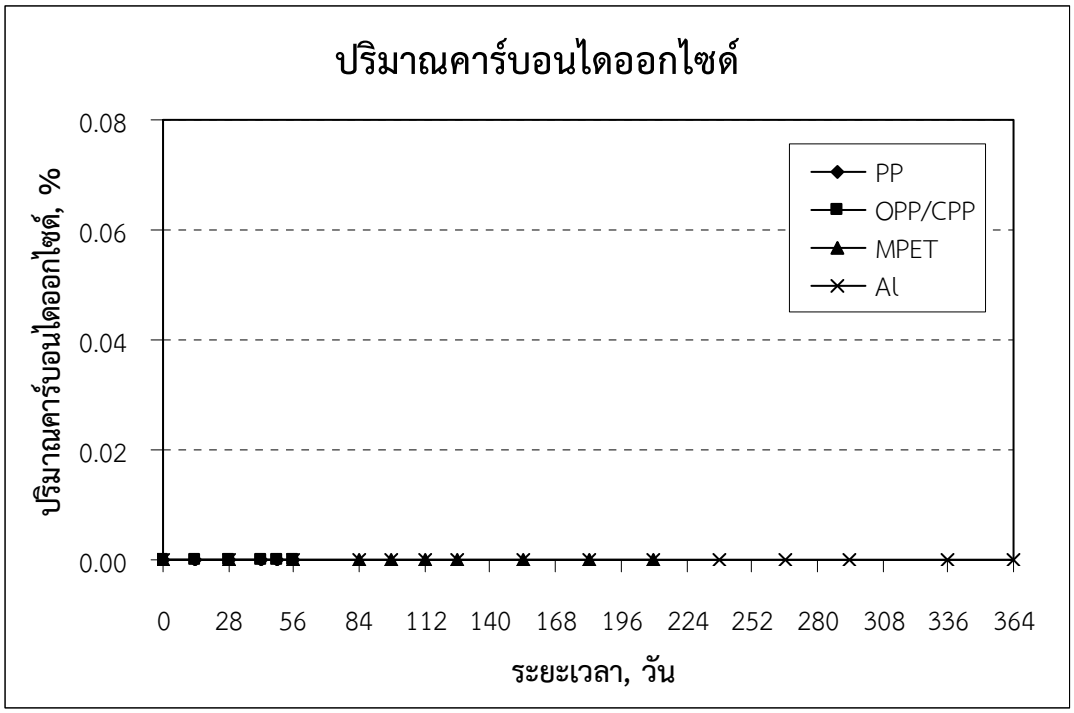
1. ปริมาณก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์

รูปที่ 3 แสดงปริมาณออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ข้าวเกรียบข้าวโพดอบภายหลังบรรจุและเก็บรักษา พบว่า สำหรับการบรรจุภายใต้ก๊าซไนโตรเจนในซอง OPP/CPP, OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ที่มีปริมาณ O_2 เริ่มต้นประมาณร้อยละ 4 ปริมาณออกซิเจนภายในซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ภายหลังการบรรจุ แม้ว่าจะเก็บนานมากกว่า 6 เดือน. อย่างไรก็ตามปริมาณออกซิเจนภายในซอง OPP/CPP เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายในหนึ่งเดือนแรกภายหลังการบรรจุ จนกระทั่งใกล้เคียงกับปริมาณออกซิเจนภายในบรรยากาศที่มีอยู่ประมาณร้อยละ 21 (Parry 1993) เนื่องจาก OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE สามารถป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนได้ดีกว่า OPP/CPP ดังแสดงในตารางที่ 1 (การซึมผ่านออกซิเจนของ OPP/CPP, OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ที่อุณหภูมิ 23°ซ. และความชื้นสัมพัทธ์ 0% เท่ากับ 59,892, 81.1 และ 6.4 ลบ.ซม.-ไมครอน/(ตร.ม.)(วัน)(บรรยากาศ) ตามลำดับ), ทำให้ออกซิเจนจากภายนอกที่มีความเข้มข้นสูงกว่าภายในซอง ไม่สามารถซึมผ่านเข้าภายในซองได้รวดเร็วเท่ากับซอง OPP/CPP. ในขณะที่ปริมาณออกซิเจนภายในซอง PP ที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ มีปริมาณออกซิเจนประมาณร้อยละ 21 ตลอดอายุการเก็บรักษา, เนื่องจาก PP ป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนได้ไม่ดี (การซึมผ่านออกซิเจนของ PP ที่อุณหภูมิ 23°ซ. และความชื้นสัมพัทธ์ 0% = 93,647 ลบ.ซม.-ไมครอน/(ตร.ม.)(วัน)(บรรยากาศ)), ทำให้มีการซึมผ่านหรือแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างภายในและภายนอกบรรจุภัณฑ์อย่างรวดเร็ว.



รูปที่ 3. ปริมาณออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ข้าวเกรียบข้าวโพดอบ.

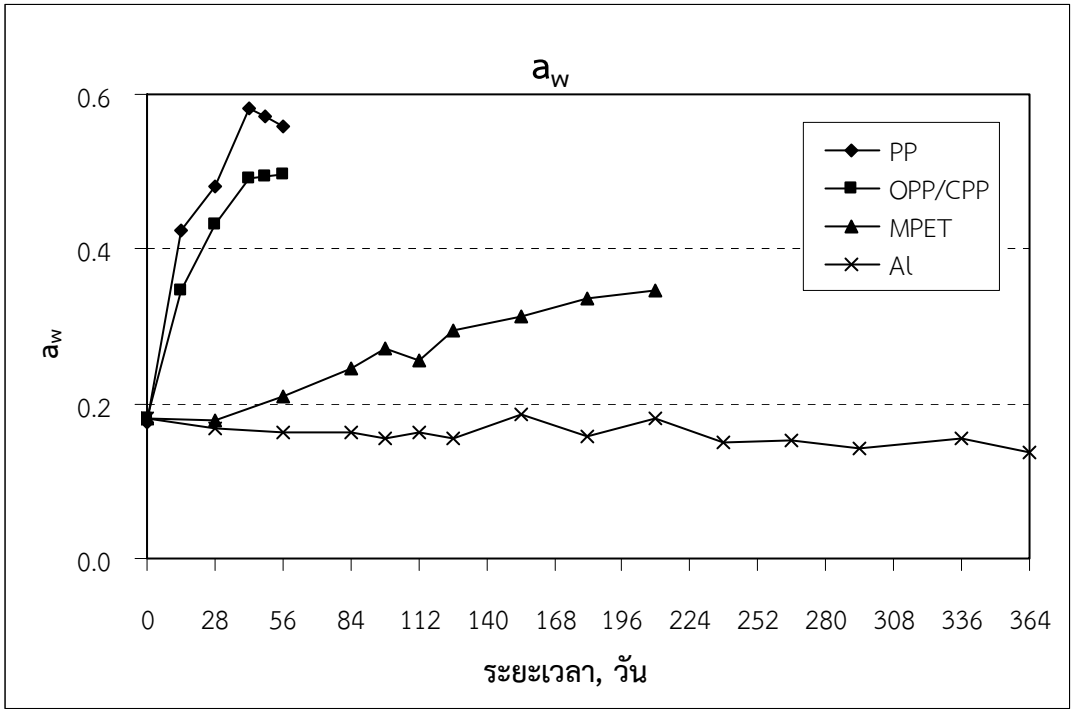
สำหรับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ข้าวเกรียบข้าวโพดอบภายหลังบรรจุและเก็บรักษา พบว่า มีปริมาณต่ำมาก (<ร้อยละ 0.01) และมีปริมาณใกล้เคียงกันในทุกบรรจุภัณฑ์ทั้งการบรรจุภายใต้บรรยากาศปกติและภายใต้ก๊าซไนโตรเจน ดังแสดงในรูปที่ 4, เนื่องจากในบรรยากาศปกติมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำมากประมาณร้อยละ 0.04 เท่านั้น (Parry 1993).



รูปที่ 4. ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ข้าวเกรียบข้าวโพดอบ.

2. ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)

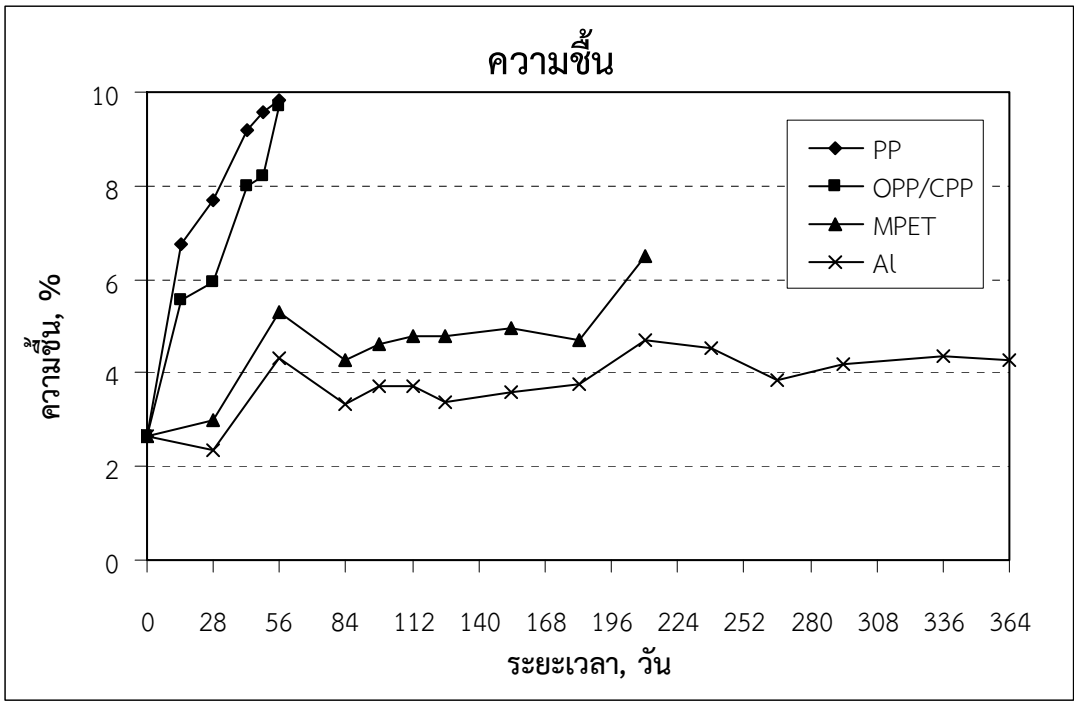
รูปที่ 5 แสดงปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบภายหลังบรรจุและเก็บรักษา พบว่า ภายหลังการเก็บรักษา ตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมเสียง่ายด้วยความชื้น มีค่า a_w เพิ่มสูงขึ้น. โดยตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุซอง PP และ OPP/CPP มีค่า a_w เพิ่มสูงขึ้นรวดเร็วกว่าตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE โดยเฉพาะในช่วงหนึ่งเดือนแรกภายหลังการบรรจุ, เนื่องจาก OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE สามารถป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดีกว่า PP และ OPP/CPP ดังแสดงในตารางที่ 1. การซึมผ่านไอน้ำที่อุณหภูมิ 38°ซ. และความชื้นสัมพัทธ์ 90% ของ PP, OPP/CPP, OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE มีค่าเท่ากับ 240, 159, 13.4 และ 5.4 กรัม-ไมครอน/(ตร.ม.)(วัน) ตามลำดับ, ทำให้มีปริมาณไอน้ำซึมผ่านเข้าไปในซองได้น้อยกว่า.



รูปที่ 5. ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบ.

3. ความชื้น (Moisture content)

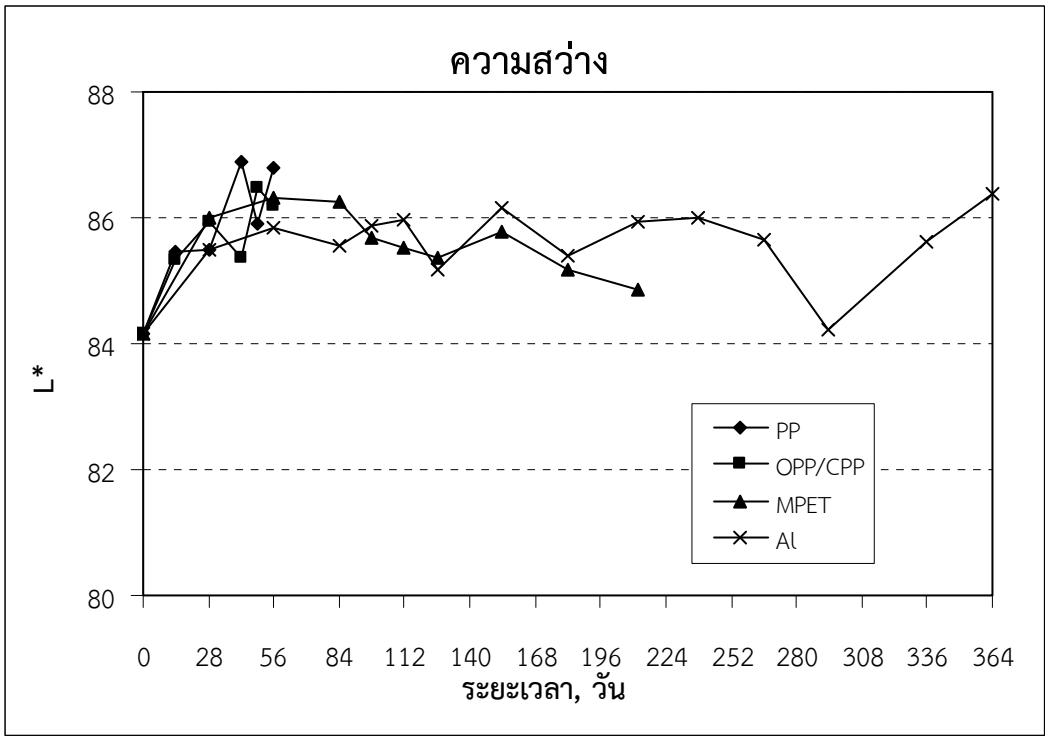
รูปที่ 6 แสดงความชื้นของตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบภายหลังบรรจุและเก็บรักษา พบว่า ภายหลังการเก็บรักษา เช่นเดียวกับค่าปริมาณน้ำอิสระ ตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมเสียง่ายด้วยความชื้น มีค่าความชื้นเพิ่มสูงขึ้น. โดยตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุซอง PP และ OPP/CPP มีค่าความชื้นเพิ่มสูงขึ้นรวดเร็วกว่าตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE โดยเฉพาะในช่วงหนึ่งเดือนแรกภายหลังการบรรจุ, เนื่องจาก OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE สามารถป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดีกว่า PP และ OPP/CPP ดังแสดงในตารางที่ 1. การซึมผ่านไอน้ำที่อุณหภูมิ 38°ซ. และความชื้นสัมพัทธ์ 90% ของ PP, OPP/CPP, OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE มีค่าเท่ากับ 240, 159, 13.4 และ 5.4 กรัม-ไมครอน/(ตร.ม.)(วัน) ตามลำดับ, ทำให้มีปริมาณไอน้ำซึมผ่านเข้าไปในซองได้น้อยกว่า.

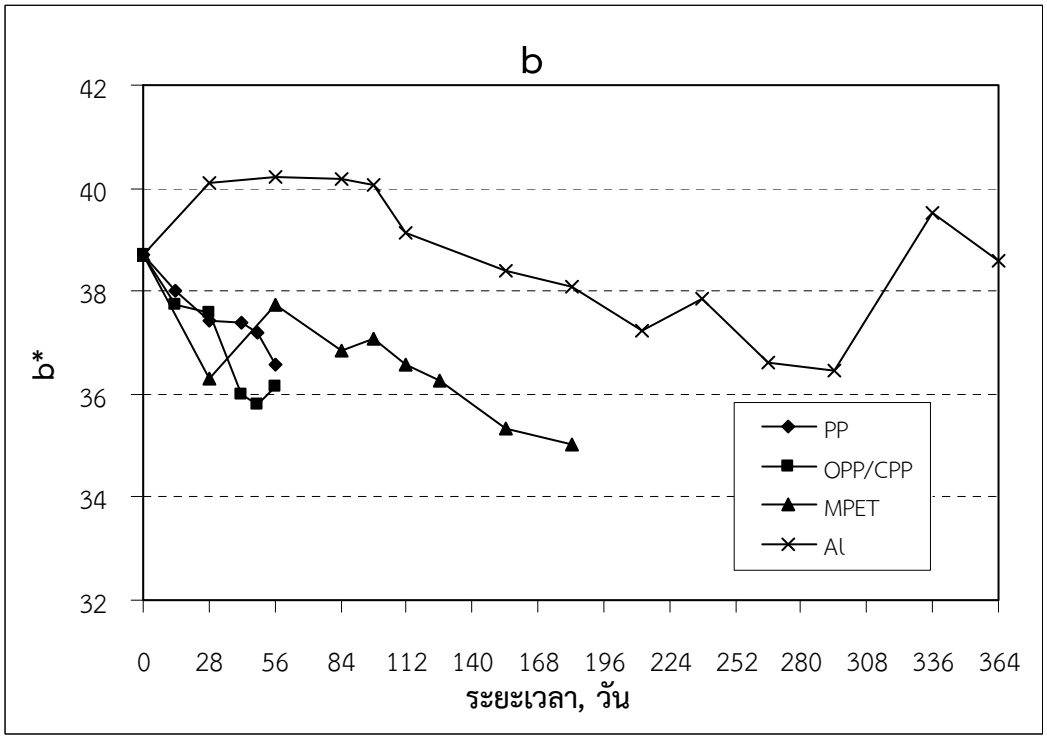


รูปที่ 6. ความชื้นของตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบ.

4. การเปลี่ยนสี

รูปที่ 7 แสดงค่าสี ซึ่งรายงานผลเป็นค่าความสว่าง (L*) และค่าสีเหลือง (yellowness) หรือ ค่า b* ของตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบภายหลังบรรจุและเก็บรักษา. โดยทั่วไปภายหลังการเก็บรักษาข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่มีสีเหลืองอ่อนจะมีสีซีดลง, ทำให้มีแนวโน้มที่ค่า L* จะสูงขึ้น, แต่ค่า b* หรือ yellowness น่าจะลดต่ำลง, แม้ว่าจะมีความแปรปรวนเนื่องจากข้าวเกรียบข้าวโพดอบแต่ละชิ้นมีสีแตกต่างกันไป (ไม่ได้วัดค่าสีตัวอย่างชิ้นเดิม), เนื่องจากกระบวนการผลิตและส่วนประกอบ เช่น ปริมาณเครื่องเทศ เป็นต้น. โดยตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุซอง PP และ OPP/CPP มีค่า L* สูงกว่าตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE โดยเฉพาะในช่วงหนึ่งเดือนแรกภายหลังการบรรจุ, เนื่องจาก OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE สามารถป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนและแสงได้ดีกว่า PP และ OPP/CPP จึงช่วยชะลอปฏิกิริยาการเปลี่ยนสีทั้งที่เกิดเนื่องจากออกซิเจนและแสงได้ดีกว่าการบรรจุในซอง PP และ OPP/CPP, ซึ่งเป็นซองใสและป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนได้ไม่ดี. ในทำนองเดียวกันค่า b* ของตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุในซอง PP และ OPP/CPP มีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วภายหลังการบรรจุเพียงไม่ถึง 2 เดือน, แต่ค่า b* ของตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุในซอง PET/Al/LLDPE มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย.

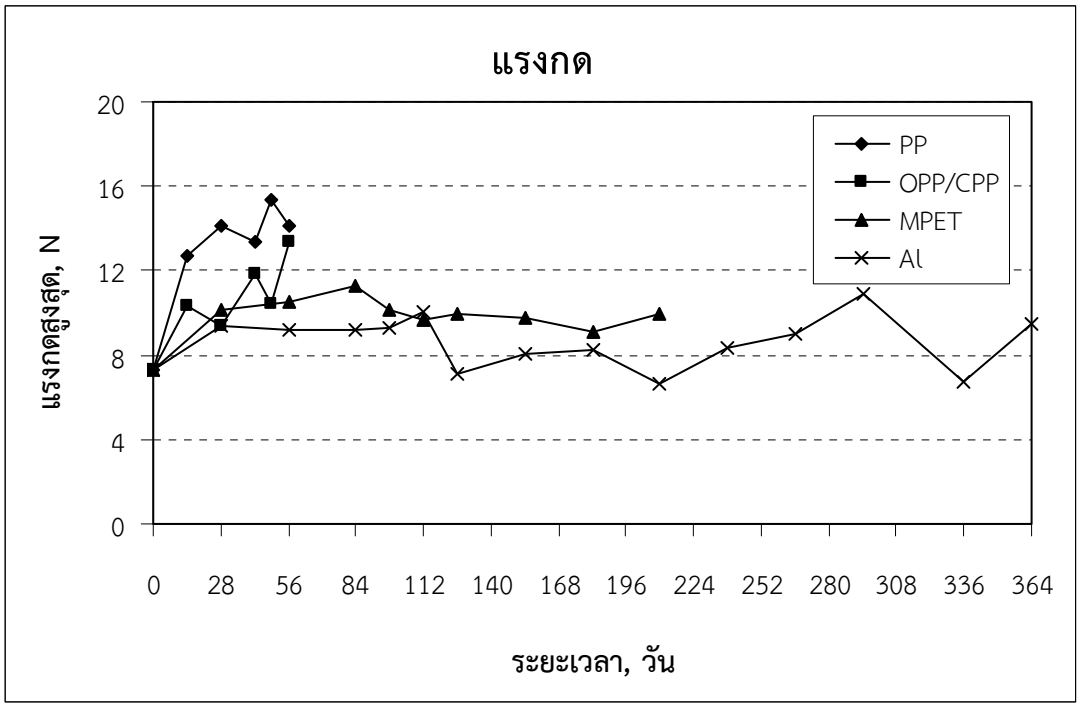




รูปที่ 7. การเปลี่ยนแปลงสีของตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบ.

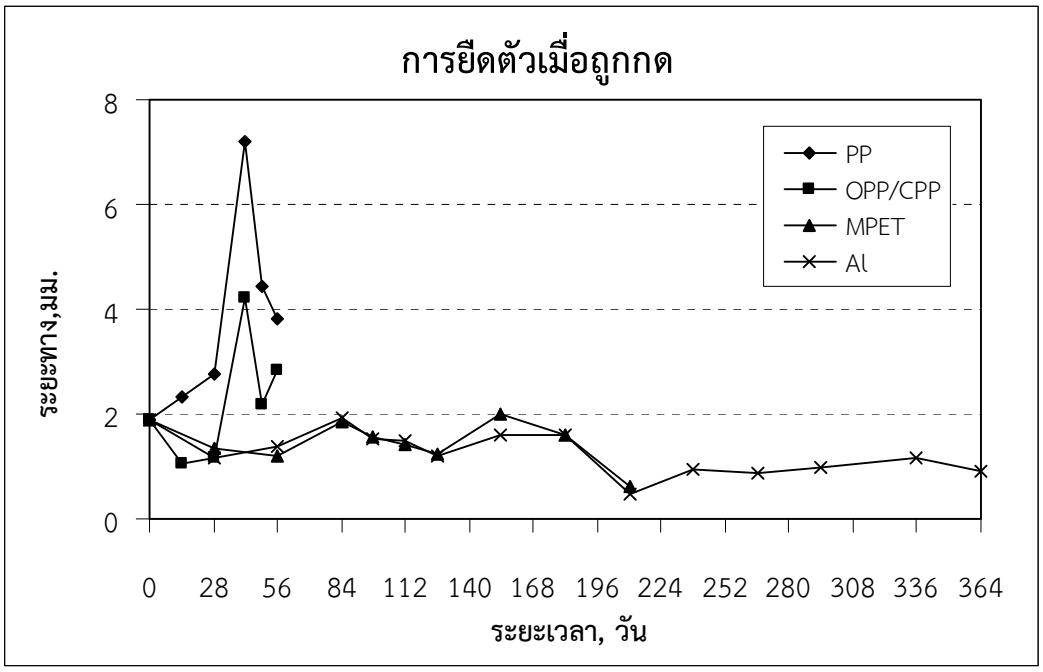
5. เนื้อสัมผัส

โดยทั่วไปภายหลังการเก็บรักษาข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่มีความกรอบ เนื่องจากมีความชื้นต่ำ จะดูดความชื้น ทำให้ความกรอบลดลง, แข็งหรือเหนียวขึ้น จึงจำเป็นต้องใช้แรงในการกดหรือตัดให้ขาดสูงขึ้นหรือสามารถยืดตัวได้สูงขึ้น, ดังแสดงในรูปที่ 8 แสดงค่าแรงกดสูงสุดที่ใช้ในการตัดข้าวเกรียบข้าวโพดอบ ภายหลังบรรจุและเก็บรักษา พบว่า เมื่อเก็บตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบไว้นานขึ้น มีแนวโน้มต้องใช้แรงมากขึ้นในการกดให้ข้าวเกรียบข้าวโพดอบแตกออก, เนื่องจากข้าวเกรียบข้าวโพดอบมีความกรอบลดลงโดยเฉพาะตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุในซอง PP และ OPP/CPP, เนื่องจากทั้ง PP และ OPP/CPP ยอมให้ไอน้ำซึมผ่านจากภายนอกเข้าไปภายในซองได้สูงกว่า, ทำให้ตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบดูดความชื้นเร็วกว่า จึงสูญเสียความกรอบเร็วกว่าตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุในซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE. อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของชิ้นตัวอย่าง และเป็นการทดสอบที่ทำลายตัวอย่าง ไม่สามารถใช้ตัวอย่างชิ้นเดียวกันมาทดสอบได้ ทำให้มีการลดลงของค่าแรงกดเมื่อเก็บตัวอย่างไว้ด้วย.



รูปที่ 8. แรงกดสูงสุดที่ใช้ในการตัดตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบ.

รูปที่ 9 แสดงค่าการยืดตัวของตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบเมื่อถูกกด ภายหลังบรรจุและเก็บรักษา พบว่า ข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุในซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE มีการยืดตัวเพียงเล็กน้อยในระหว่างการกดจนแตกหัก. ในขณะที่ข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุในซอง PP และ OPP/CPP มีแนวโน้มจะยืดตัวได้มากกว่าก่อนถูกกดจนแตก ทั้งนี้ก็เนื่องจากภายหลังดูดความชื้น ข้าวเกรียบข้าวโพดอบมีความเหนียว ยืดตัวได้มากขึ้น จึงกดให้แตกได้ยากขึ้น, แต่เมื่อดูดน้ำมากขึ้น ทำให้ตัวอย่างเปื่อยยุ่ย แยกจากกันได้ง่ายขึ้น จึงรับแรงกดได้น้อยลง. นอกจากนี้เช่นเดียวกับค่าแรงกดมีความแปรปรวนในระหว่างค่าที่ได้ เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของชิ้นตัวอย่าง, เนื่องจากเป็นการทดสอบที่ทำลายตัวอย่าง ไม่สามารถใช้ตัวอย่างชิ้นเดียวกันมาทดสอบได้ ทำให้มีการลดลงของค่าการยืดตัวเมื่อเก็บตัวอย่างไว้ด้วย.

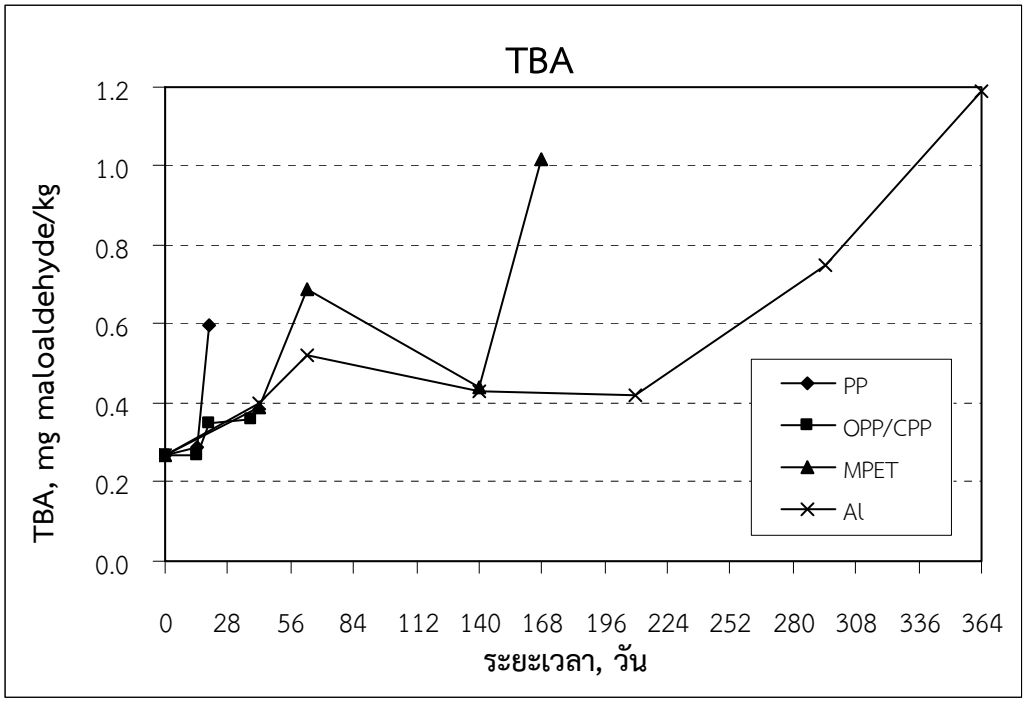


รูปที่ 9. การยืดตัวของข้าวเกรียบข้าวโพดอบเมื่อถูกกด.

6. กรดไทโอบาร์บิทูริกหรือ Thiobarbituric acid (TBA) value

รูปที่ 10 แสดงค่า TBA ซึ่งแสดงถึงความหืนหรือกลิ่นแปลกปลอมที่ไม่ยอมรับ ในหน่วยปริมาณของมาโลนัลดีไฮด์ต่อ กก. ภายหลังบรรจุและเก็บรักษา พบว่า ค่า TBA ของตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นภายหลังการเก็บรักษา, เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันหรือน้ำมันที่เป็นส่วนประกอบ. โดยตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบมีปริมาณไขมันอยู่ประมาณร้อยละ 27.41 ดังแสดงในตารางที่ 7. ส่วนตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุในซอง PP และ OPP/CPP

มีค่า TBA สูงกว่าตัวอย่างที่บรรจุในซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE. โดยตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุในซอง PET/Al/ LLDPE มีค่า TBA เมื่อเก็บไว้นานกว่า 6 เดือนน้อยกว่าตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุในซอง OPP/PE/MPET/CPP, เนื่องจาก PET/Al/LLDPE สามารถป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนและแสงที่เป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืนได้ดีกว่า OPP/PE/MPET/CPP.

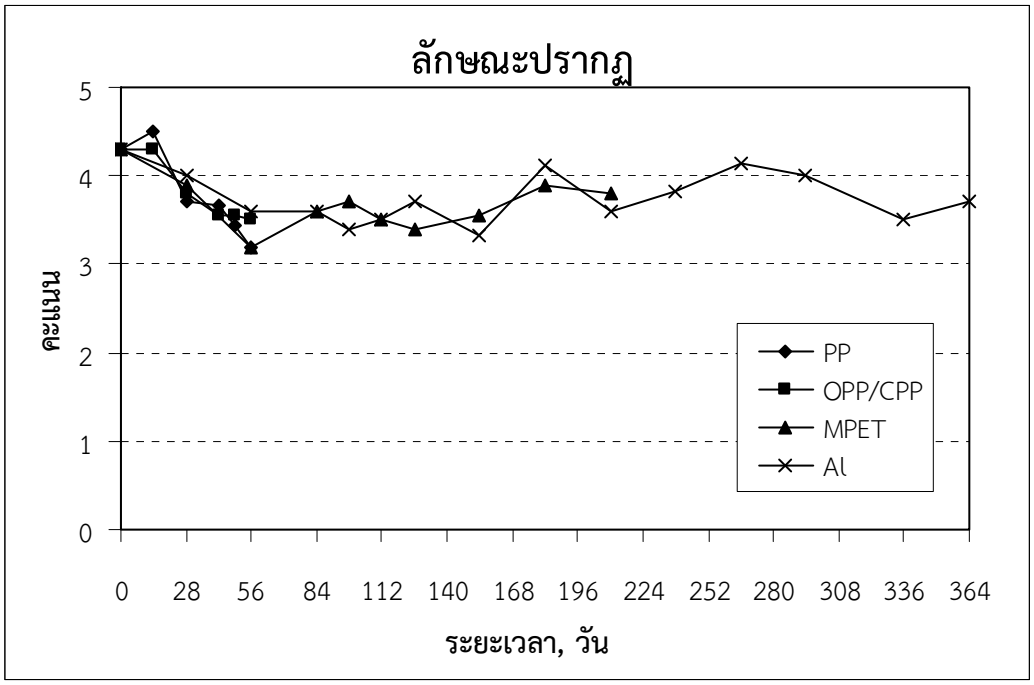


รูปที่ 10. ค่า TBA ของข้าวเกรียบข้าวโพดอบ.

7. การประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัส

รูปที่ 11-15 แสดงผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ลักษณะปรากฏ, กลิ่น, รสชาติ, เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมของข้าวเกรียบข้าวโพดอบภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ข้าวเกรียบข้าวโพดอบมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏอย่างช้าๆ, แม้ว่าข้าวเกรียบข้าวโพดอบจะมีสีซีดลง มีการเกาะตัวของผงเครื่องเทศที่ชิ้นขนม ภายหลังการเก็บ แต่ต้องใช้ระยะเวลานานกว่าจะสังเกตเห็น (> 2 เดือน) ในขณะที่การดูดความชื้น, ทำให้ข้าวเกรียบข้าวโพดอบมีความกรอบลดลง การแตกหักเสียหายก็ลดลงด้วย. ดังนั้นจะเห็นว่า ตัวอย่างขนมที่บรรจุในซองหลายชั้นทุกตัวอย่างได้คะแนนลักษณะปรากฏลดลงเพียงเล็กน้อย. แม้แต่ตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุในซอง PP และ OPP/CPP เก็บที่อุณหภูมินาน 56 วัน, ตัวอย่างขนมที่บรรจุในซอง

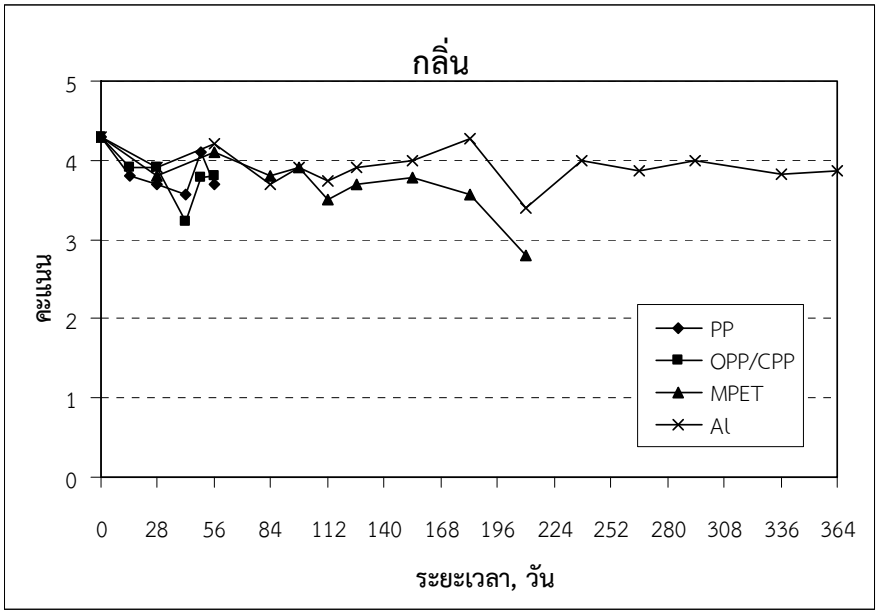
OPP/PE/MPET/CPP นาน 200 วัน และตัวอย่างขนมที่บรรจุในซอง PET/Al/LLDPE นานประมาณ 1 ปี ยังได้คะแนนลักษณะปรากฏไม่ต่ำกว่า 3 ดังแสดงในรูปที่ 11 ซึ่งถือว่ายังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้.



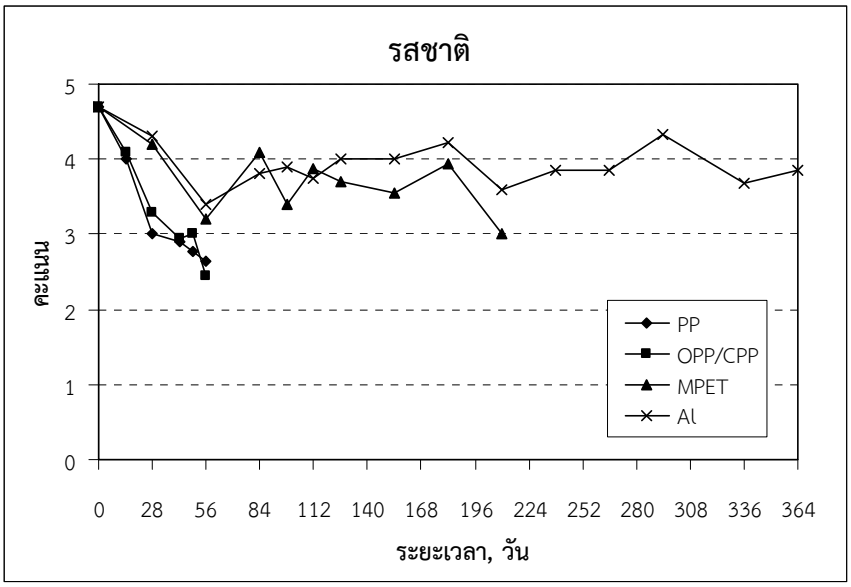
รูปที่ 11. คะแนนลักษณะปรากฏของข้าวเกรียบข้าวโพดอบภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง.

รูปที่ 12 แสดงค่าคะแนนกลิ่นของข้าวเกรียบข้าวโพดอบภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ภายหลังการเก็บรักษา กลิ่นหอมของเครื่องเทศและส่วนผสมอื่นๆ จะลดลง และข้าวเกรียบข้าวโพดอบมีแนวโน้มจะมีกลิ่นแปลกปลอมเกิดขึ้น. ภายหลังเก็บนาน 2 เดือน ข้าวเกรียบข้าวโพดอบบรรจุซอง PP และ OPP/CPP มีค่าคะแนนกลิ่นลดลงอย่างรวดเร็วกว่าข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุซอง PP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE. จากการประเมินการเปลี่ยนแปลงกลิ่นของตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบอาจบอกได้ว่าตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบบรรจุในซอง OPP/PE/MPET/CPP สามารถเก็บได้นานน้อยกว่า 224 วัน (ประมาณ 205 วัน), เนื่องจากได้คะแนนกลิ่นน้อยกว่า 3. ในขณะที่ตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุในซอง PET/Al/LLDPE ได้คะแนนกลิ่นลดลงเพียงเล็กน้อย, แม้ว่าจะเก็บตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบนานประมาณ 1 ปี การเพิ่มขึ้นของค่าคะแนนกลิ่น อาจเกิดเนื่องจากความแปรปรวนของชิ้นตัวอย่าง.

รูปที่ 13 แสดงค่าคะแนนรสชาติของข้าวเกรียบข้าวโพดอบภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง พบว่า เช่นเดียวกับคะแนนกลิ่น ภายหลังการเก็บรักษากลิ่นหอมของเครื่องเทศและส่วนผสมอื่นๆ จะลดลง และข้าวเกรียบข้าวโพดอบมีแนวโน้มจะมีกลิ่นแปลกปลอมเกิดขึ้น และเกิดการเปลี่ยนแปลงอื่นๆ เช่น กรอบน้อยลง ทำให้ความอร่อยลดลง คะแนนรสชาติจึงลดลงด้วย, พบว่าตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบบรรจุซอง PP และ OPP/CPP มีค่าคะแนนรสชาติลดลงอย่างรวดเร็วกว่าข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE. ทั้งนี้ภายหลังการเก็บนาน 56 วัน ตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบบรรจุซอง PP และ OPP/CPP มีค่าคะแนนรสชาติต่ำกว่า 3 หรืออาจกล่าวได้ว่า ผู้บริโภคไม่ยอมรับรสชาติตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบบรรจุซอง PP และ OPP/CPP ภายหลังการเก็บนาน 56 วัน, แต่ยังยอมรับรสชาติตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบบรรจุในซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE แม้ว่าจะเก็บนาน 196 และ 364 วัน ตามลำดับ.

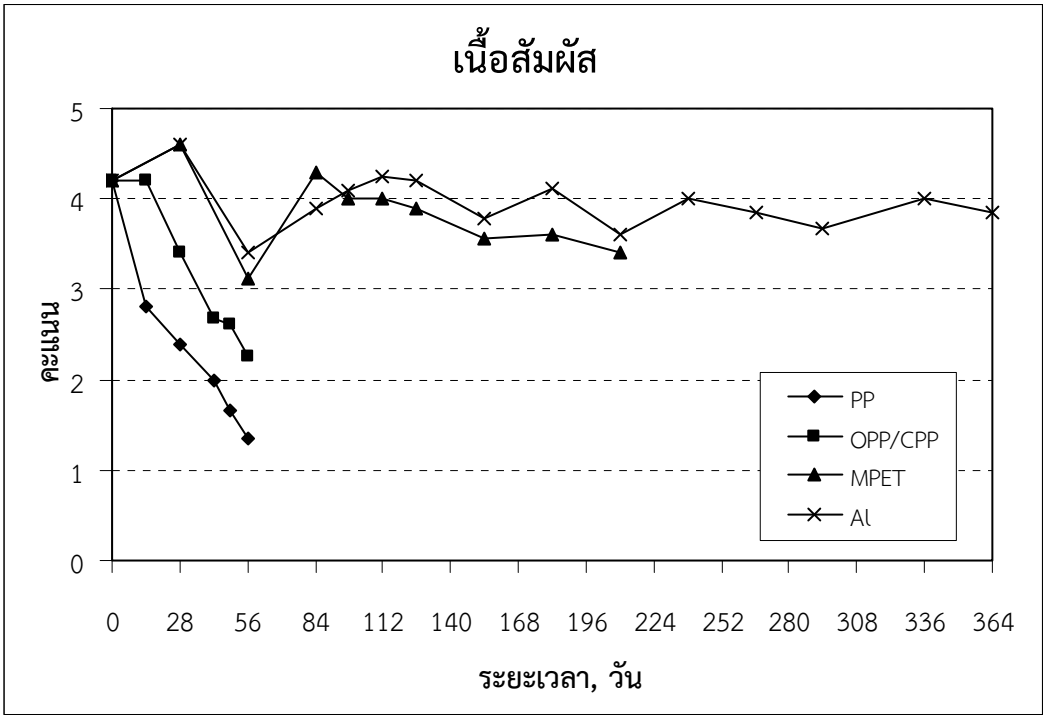


รูปที่ 12. คะแนนกลิ่นของข้าวเกรียบข้าวโพดอบภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง.



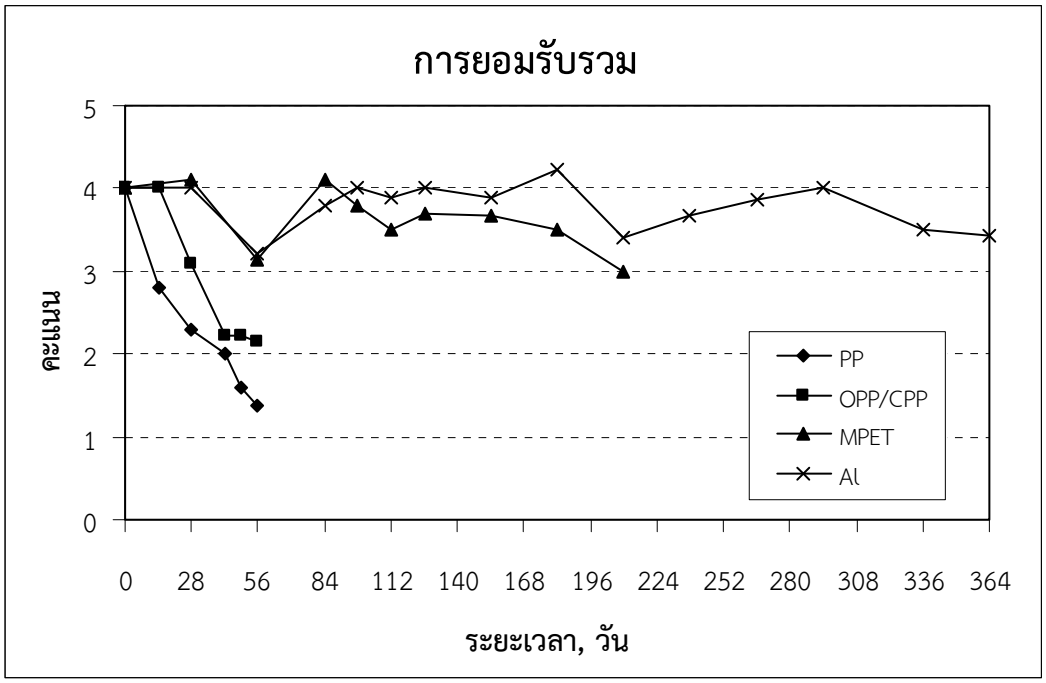
รูปที่ 13. คะแนนรสชาติของข้าวเกรียบข้าวโพดอบภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง.

รูปที่ 14 แสดงค่าคะแนนเนื้อสัมผัสของข้าวเกรียบข้าวโพดอบ ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ภายหลังดูดความชื้น ตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบมีความกรอบลดลง คะแนนเนื้อสัมผัสจึงลดลงด้วย. จะเห็นว่า ตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุซองที่ป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดี เช่น OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE มีคะแนนเนื้อสัมผัสไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก, แต่ตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบบรรจุซอง PP และ OPP/CPP ภายหลังการเก็บนานไม่เกิน 2 เดือน มีคะแนนเนื้อสัมผัสลดลงอย่างรวดเร็ว จนผู้บริโภคไม่ยอมรับ (คะแนน < 3). โดยตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบบรรจุซอง PP มีคะแนนเนื้อสัมผัสลดลงเร็วกว่าตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบบรรจุซอง OPP/CPP, เนื่องจาก OPP/CPP ป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดีกว่า PP นั่นเอง. การเพิ่มขึ้นของค่าคะแนนกลิ่น อาจเกิดเนื่องจากความแปรปรวนของชิ้นตัวอย่าง.



รูปที่ 14. คะแนนเนื้อสัมผัสของข้าวเกรียบข้าวโพดอบภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง.

รูปที่ 15 แสดงค่าคะแนนการยอมรับรวมของข้าวเกรียบข้าวโพดอบภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง พบว่า เช่นเดียวกับคะแนนเนื้อสัมผัส เมื่อตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบมีความกรอบลดลง, เนื่องจากดูดความชื้น คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคจึงลดลงด้วย. จะเห็นว่า ตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุในซองที่ป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดีกว่า เช่น OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE มีคะแนนการยอมรับรวมไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก, แต่ตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบบรรจุซอง PP และ OPP/CPP ภายหลังการเก็บนานไม่เกิน 2 เดือน มีคะแนนการยอมรับรวมลดลงอย่างรวดเร็ว. โดยตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบบรรจุซอง PP, OPP/CPP มีคะแนนการยอมรับรวมน้อยกว่า 3 เมื่อเก็บนานน้อยกว่า 1 เดือน (ประมาณ 10 วัน) และ 2 เดือน (ประมาณ 30 วัน) ตามลำดับ. จึงอาจกล่าวได้ว่า เมื่อพิจารณาจากคะแนนการยอมรับรวม ตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบบรรจุซอง PP และ OPP/CPP มีอายุการเก็บประมาณ 10 และ 30 วัน ตามลำดับ.



รูปที่ 15. คะแนนการยอมรับรวมของข้าวเกรียบข้าวโพดอบภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง.

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติคุณภาพข้าวเกรียบข้าวโพดอบบรรจุในบรรจุภัณฑ์แตกต่างกัน 4 ชนิด ที่อุณหภูมิห้อง แสดงดังตารางที่ 8. เนื่องจากข้าวเกรียบข้าวโพดอบเป็นผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมเสียง่ายด้วยความชื้น จึงเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ภายหลังการเก็บนาน 56 วัน ตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกันมีค่า a_w แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$). โดยตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่มีค่า a_w เริ่มต้นเท่ากับ 0.18 เมื่อบรรจุซอง PP มีค่า a_w เพิ่มขึ้นมากที่สุดเท่ากับ 0.559 ซึ่งสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับค่า a_w ของตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุซอง OPP/CPP, OPP/PE/MPET/CPPและ PET/Al/LLDPE ตามลำดับ, เนื่องจาก PP ยอมให้ไอน้ำซึมผ่านได้สูงกว่าฟิล์มชนิดอื่นๆ นั่นเอง.

ตารางที่ 8. คุณภาพข้าวเกรียบข้าวโพดอบบรรจุในบรรจุภัณฑ์ 4 ชนิด ภายหลังเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 56 วัน

บรรจุภัณฑ์	คุณภาพ				
	a_w	ความชื้น, %	แรงกดสูงสุด, N	ความสว่าง (L*)	b*
PP	0.559±0.007^{d}	9.81±0.03^{c}	15.15±5.82^{b}	86.79±1.27^{a}	36.58±1.43^{a}
OPP/CPP	0.496±0.002^{c}	9.70±0.13^{c}	12.80±2.80^{ab}	86.18±1.68^{a}	36.15±1.70^{a}
OPP/PE/MPET/CPP	0.208±0.002^{b}	5.29±0.21^{b}	10.26±2.82^{a}	86.32±1.36^{a}	37.72±1.38^{a}
PET/Al/LLDPE	0.164±0.015^{a}	4.34±0.11^{a}	11.31±4.41^{a}	85.83±1.22^{a}	40.22±1.63^{b}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ค่าความชื้นข้าวเกรียบข้าวโพดอบบรรจุในบรรจุภัณฑ์แตกต่างกัน 4 ชนิด ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 56 วัน แสดงดังตารางที่ 8. เช่นเดียวกับค่า a_w เมื่อมีไอน้ำซึมผ่านเข้าบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากข้าวเกรียบข้าวโพดอบเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำ ข้าวเกรียบข้าวโพดอบจะดูดความชื้น. จึงเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่มีความชื้นเริ่มต้นเพียงร้อยละ 2.64 มีความชื้นเพิ่มสูงขึ้นรวดเร็วเกือบร้อยละ 10 เมื่อบรรจุซอง PP และ OPP, แต่มีความชื้นประมาณร้อยละ 4 และ 5 เมื่อบรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ตามลำดับ. โดยตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุซอง PP และ OPP/CPP มีค่าความชื้นสูงกว่าตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$), เนื่องจาก PP และ OPP/CPP ยอมให้ไอน้ำซึมผ่านได้สูงกว่า OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE.

ค่าแรงกดสูงสุดข้าวเกรียบข้าวโพดอบบรรจุในบรรจุภัณฑ์แตกต่างกัน 4 ชนิด ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 56 วัน แสดงดังตารางที่ 8 พบว่า เมื่อข้าวเกรียบข้าวโพดอบดูดความชื้น, ทำให้ความกรอบลดลง, เหนียวขึ้น จึงต้องใช้แรงเพิ่มขึ้นเพื่อกดให้แตก. ดังนั้นตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุซอง PP จึงมีค่าแรงกดสูงสุดสูงกว่าตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุซอง OPP/CPP, OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ตามลำดับ. ทั้งนี้ตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE รับแรงกดได้ต่ำกว่าตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุซอง PP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$).

ค่าสีข้าวเกรียบข้าวโพดอบบรรจุในบรรจุภัณฑ์แตกต่างกัน 4 ชนิด ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 56 วัน แสดงดังตารางที่ 8 พบว่า แม้ว่าค่าความสว่าง (L*) ของตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบจะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$), ซึ่งส่วนหนึ่งอาจเกิดจากความแปรปรวนระหว่างชิ้นตัวอย่าง. อย่างไรก็ตามตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุซอง PP มีค่า L* สูงกว่าตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุซอง OPP/CPP, OPP/PE/MPET/CPP และ PET/ Al/LLDPE ตามลำดับ, เนื่องจากภายหลังการเก็บเป็นระยะเวลานาน ตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบมีสีซีดลง, ซึ่งจะเห็นว่าตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบมีค่า b* หรือค่าสีเหลืองลดลง. โดยตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุซอง PP มีค่า b* ต่ำกว่าตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุซอง OPP/CPP, OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ตามลำดับ และตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุซอง PET/Al/LLDPE มีค่า b* สูงกว่าตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุซองชนิดอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$).

ผลการประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสข้าวเกรียบข้าวโพดอบบรรจุในบรรจุภัณฑ์แตกต่างกัน 4 ชนิด ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 56 วัน ดังแสดงในตารางที่ 9 พบว่า แม้ว่าตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบบรรจุซอง PP และ OPP/CPP จะได้คะแนนลักษณะปรากฏต่ำกว่าตัวอย่างอื่นๆ, เนื่องจากตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบมีสีซีดจางลง, แต่คะแนนลักษณะปรากฏก็ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$), ทั้งนี้น่าจะเกิดเนื่องจากความแปรปรวนระหว่างชิ้นตัวอย่าง และสังเกตความแตกต่างได้ยากด้วยสายตา. อย่างไรก็ตามตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ได้คะแนนเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมสูงกว่าตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุซอง PP และ OPP/CPP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจากข้าวเกรียบข้าวโพดที่บรรจุซอง PP และ OPP/CPP มีความกรอบลดลงอย่างเห็นได้ชัด, ทั้งนี้เมื่อเก็บตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่อุณหภูมิห้องนาน 56 วัน มีเพียงตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ที่มีคะแนนเนื้อสัมผัสและการยอมรับรวมยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (ประมาณที่ระดับ 3 คะแนน).

ตารางที่ 9. คุณภาพด้านประสาทสัมผัสข้าวเกรียบข้าวโพดอบบรรจุในบรรจุภัณฑ์ 4 ชนิด ภายหลังเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 56 วัน

บรรจุภัณฑ์	คุณภาพ				
	ลักษณะปรากฏ	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	การยอมรับรวม
PP	3.20±1.14[a]	3.70±1.06[a]	2.65±0.88[ab]	1.36±0.39[a]	1.38±0.46[a]
OPP/CPP	3.20±1.03[a]	3.80±1.03[a]	2.45±1.01[a]	2.25±0.63[b]	2.15±0.75[b]
OPP/PE/MPET/CPP	3.50±0.97[a]	4.10±0.88[a]	3.20±0.92[ab]	3.12±0.35[c]	3.13±0.31[c]
PET/Al/LLDPE	3.60±1.07[a]	4.20±0.63[a]	3.40±0.52[b]	3.40±0.52[c]	3.22±0.42[c]

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

อายุการเก็บข้าวเกรียบข้าวโพดอบ

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบอายุการเก็บข้าวเกรียบข้าวโพดอบบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน 4 ชนิด ภายหลังเก็บที่อุณหภูมิห้อง. เมื่อพิจารณาจากคุณภาพทางกายภาพ, เคมี และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า เนื่องจากข้าวเกรียบข้าวโพดอบเป็นผลิตภัณฑ์ไวต่อความชื้น เมื่อบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้แตกต่างกัน, ส่งผลให้ข้าวเกรียบข้าวโพดอบมีอายุการเก็บแตกต่างกัน. นอกจากนี้เนื่องจากข้าวเกรียบข้าวโพดอบ อาจเกิดการเสื่อมเสียอื่นๆ เช่น การเปลี่ยนสี และเกิดกลิ่นแปลกปลอม เป็นต้น. ดังนั้นนอกจากต้องสามารถป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดีแล้ว บรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนและป้องกันแสงได้ดี จะช่วยยืดอายุผลิตภัณฑ์ได้นานขึ้นด้วย. โดยตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุซอง PET/Al/LLDPE มีอายุการเก็บนานกว่าตัวอย่างข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP, OPP/CPP และ PP ตามลำดับ, เนื่องจาก PET/Al/LLDPE สามารถป้องกันการซึมผ่านไอน้ำและออกซิเจน ตลอดจนป้องกันแสงได้ดีกว่า OPP/PE/MPET/CPP, OPP/CPP และ PP ตามลำดับ.

ตารางที่ 10. อายุการเก็บข้าวเกรียบข้าวโพดอบภายหลังเก็บที่อุณหภูมิห้อง

บรรจุภัณฑ์	อายุการเก็บ, วัน
PP	10
OPP/CPP	30
OPP/PE/MPET/CPP	210
PET/Al/LLDPE	>364

3.2.1.2 ข้าวแต๋น

ตารางที่ 11 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณของข้าวแต๋น พบว่าข้าวแต๋นมีความชื้นประมาณร้อยละ 3.28 เนื่องจากมีความชื้นต่ำมาก, จึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมเสียได้ง่ายด้วยความชื้น. ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มที่จะดูดความชื้นอย่างรวดเร็ว, ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบลดลง ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และอีกทั้งข้าวแต๋นยังผ่านกรรมวิธีการทอดจึงทำให้มีไขมันเป็นส่วนประกอบในปริมาณค่อนข้างสูงประมาณร้อยละ 15.24, รองจากส่วนประกอบหลักคือคาร์โบไฮเดรต (75.57%) ทำให้อาจเกิดการเสื่อมเสีย เนื่องจากเกิดกลิ่นหืนได้เช่นกัน, โดยเฉพาะหากเก็บที่อุณหภูมิสูงหรือสัมผัสโดยตรงกับแสง.

ตารางที่ 11. องค์ประกอบโดยประมาณ (proximate analysis) ข้าวแต๋น

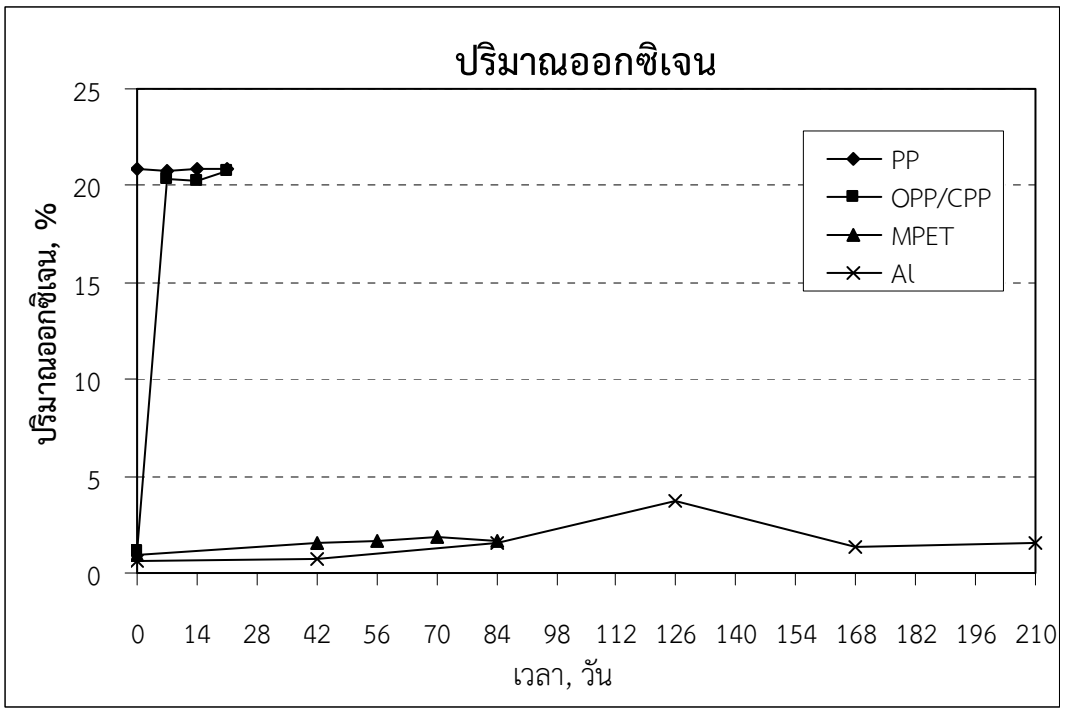
ส่วนประกอบ	ร้อยละ
ความชื้น	3.28
คาร์โบไฮเดรต	75.57
โปรตีน	5.00
ไขมัน	15.24
เถ้า	0.91

ผลการประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ ภายหลังบรรจุและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้ผลดังต่อไปนี้ :

1. ปริมาณก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์

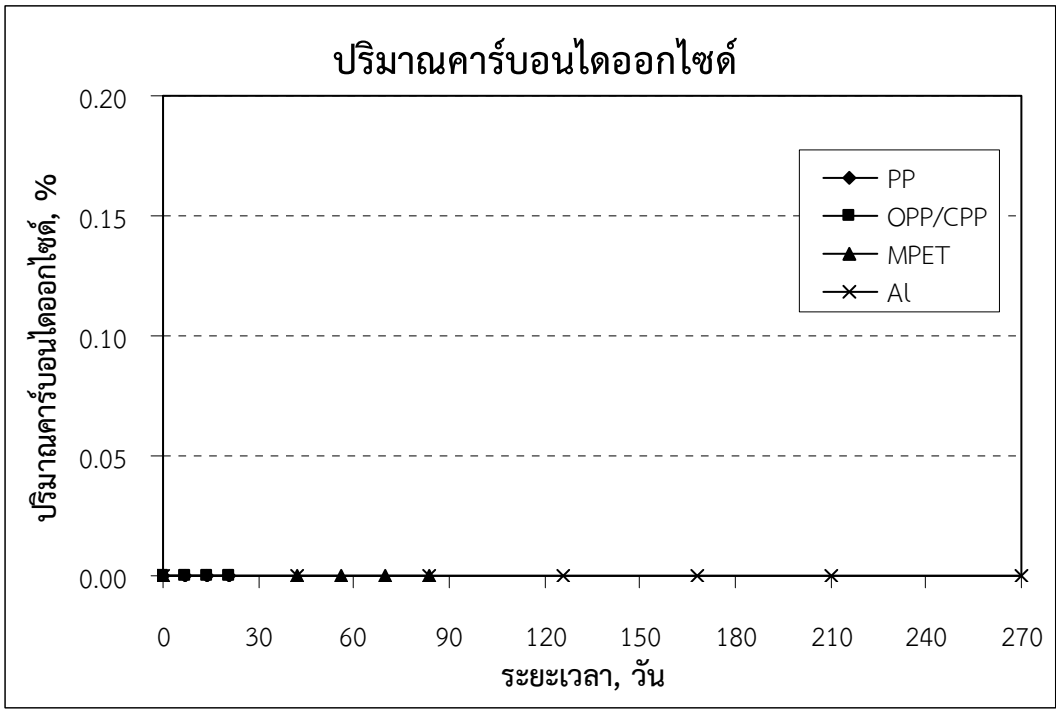
รูปที่ 16 แสดงปริมาณออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ข้าวแต๋นภายหลังบรรจุและเก็บรักษา พบว่า สำหรับการบรรจุภายใต้ก๊าซไนโตรเจน ปริมาณออกซิเจนภายในซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ภายหลังการบรรจุ แม้ว่าจะเก็บนานมากกว่า 2 เดือน. อย่างไรก็ตามปริมาณออกซิเจนภายในซอง OPP/CPP เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายในหนึ่งสัปดาห์แรกภายหลังการบรรจุ จนใกล้เคียงกับปริมาณออกซิเจนภายในบรรยากาศที่มีประมาณร้อยละ 21, เนื่องจาก OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE สามารถป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนได้ดีกว่า OPP/CPP ดังแสดงในตารางที่ 1 (การซึมผ่านออกซิเจนของ OPP/CPP, OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ที่อุณหภูมิ 23°ซ. และความชื้นสัมพัทธ์ 0% เท่ากับ 59,892, 81.1 และ 6.4 ลบ.ซม.-ไมครอน/(ตร.ม.)(วัน)(บรรยากาศ) ตามลำดับ), ทำให้ออกซิเจนจากภายนอกที่มีความเข้มข้นสูงกว่าภายในซองไม่สามารถซึมผ่านเข้าภายในซองได้รวดเร็วเท่ากับซอง OPP/CPP. ในขณะที่ปริมาณ

ออกซิเจนภายในซอง PP ที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ มีปริมาณออกซิเจนใกล้เคียงกับร้อยละ 21 ตลอดอายุการเก็บรักษา, เนื่องจาก PP ป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนได้ไม่ดี (การซึมผ่านออกซิเจนของ PP ที่อุณหภูมิ 23°ซ. และความชื้นสัมพัทธ์ 0% = 93,647 ลบ.ซม.-ไมครอน/(ตร.ม.)(วัน)(บรรยากาศ)), ทำให้มีการซึมผ่านหรือแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างภายในและภายนอกบรรจุภัณฑ์อย่างรวดเร็ว.



รูปที่ 16. ปริมาณออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ข้าวแต๋น.

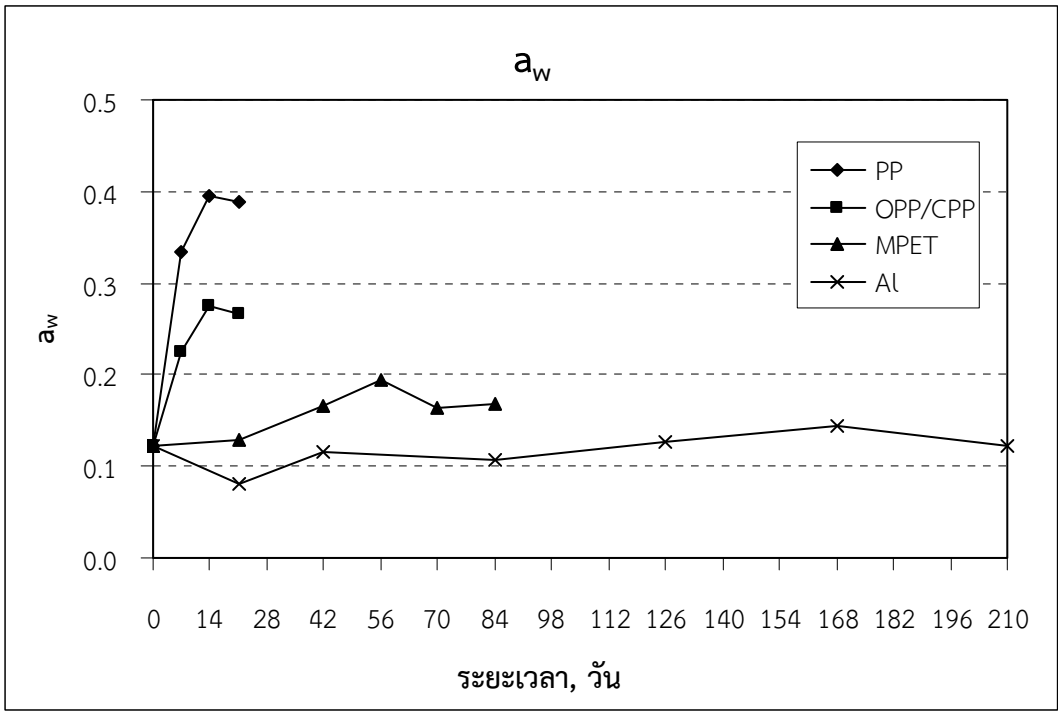
สำหรับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ข้าวแต๋นภายหลังบรรจุและเก็บรักษา พบว่ามีปริมาณต่ำมาก (< ร้อยละ 0.01) และมีปริมาณใกล้เคียงกันในทุกบรรจุภัณฑ์ทั้งการบรรจุภายใต้บรรยากาศปกติและภายใต้ก๊าซไนโตรเจน ดังแสดงในรูปที่ 17, เนื่องจากในบรรยากาศปกติมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำมากประมาณร้อยละ 0.04 เท่านั้น (Parry 1993).



รูปที่ 17. ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ข้าวแต๋น.

2. ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)

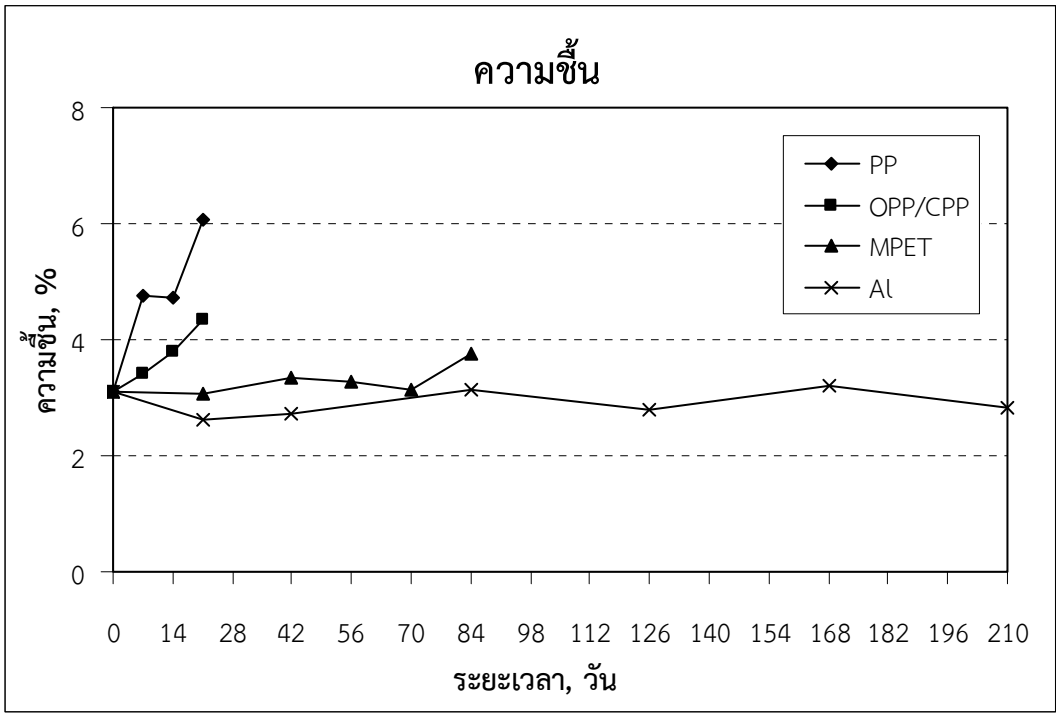
รูปที่ 18 แสดงปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของตัวอย่างข้าวแต๋นภายหลังบรรจุและเก็บรักษา พบว่า ภายหลังการเก็บรักษา ตัวอย่างข้าวแต๋นซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมเสียง่ายด้วยความชื้น มีค่า a_w เพิ่มสูงขึ้น. โดยตัวอย่างข้าวแต๋นที่บรรจุซอง PP และ OPP/CPP มีค่า a_w เพิ่มสูงขึ้นรวดเร็วกว่าตัวอย่างข้าวแต๋นที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE, เนื่องจาก OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE สามารถป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดีกว่า PP และ OPP/CPP ดังแสดงในตารางที่ 1. การซึมผ่านไอน้ำที่อุณหภูมิ 38°ซ. และความชื้นสัมพัทธ์ 90% ของ PP, OPP/CPP, OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE มีค่าเท่ากับ 240, 159, 13.4 และ 5.4 กรัม-ไมครอน/(ตร.ม.)(วัน) ตามลำดับ, ทำให้มีปริมาณไอน้ำซึมผ่านเข้าไปในซองได้น้อยกว่า.



รูปที่ 18. ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของตัวอย่างข้าวแต๋น.

3. ความชื้น (Moisture content)

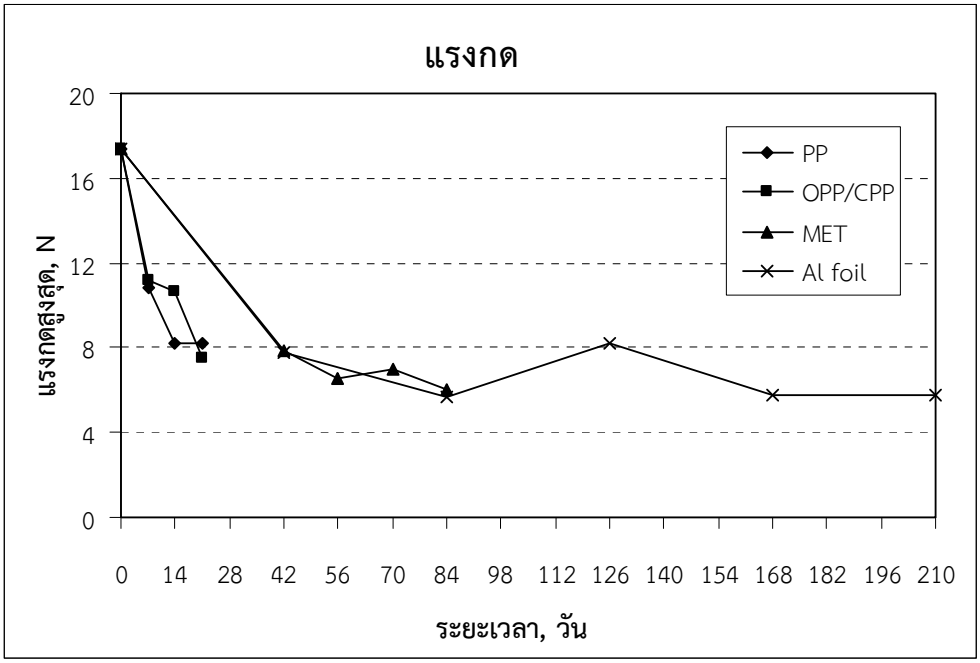
รูปที่ 19 แสดงความชื้นของตัวอย่างข้าวแต๋นภายหลังบรรจุและเก็บรักษา พบว่าภายหลังการเก็บรักษา ในทำนองเดียวกับค่าปริมาณน้ำอิสระตัวอย่างข้าวแต๋นซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมเสียง่ายด้วยความชื้น มีค่าความชื้นเพิ่มสูงขึ้น. โดยตัวอย่างข้าวแต๋นที่บรรจุซอง PP และ OPP/CPP มีค่าความชื้นเพิ่มสูงขึ้นรวดเร็วกว่าตัวอย่างข้าวแต๋นที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE, เนื่องจาก OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE สามารถป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดีกว่า PP และ OPP/CPP ดังแสดงในตารางที่ 1. การซึมผ่านไอน้ำที่อุณหภูมิ 38°ซ. และความชื้นสัมพัทธ์ 90% ของ PP, OPP/CPP, OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE มีค่าเท่ากับ 240, 159, 13.4 และ 5.4 กรัม-ไมครอน/(ตร.ม.)(วัน) ตามลำดับ, ทำให้มีปริมาณไอน้ำซึมผ่านเข้าไปในซองได้น้อยกว่า. อย่างไรก็ตามการลดลงของค่า a_w และความชื้นของตัวอย่างข้าวแต๋น อาจเกิดเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของชิ้นตัวอย่างที่นำมาทดสอบ, เนื่องจากไม่ได้ใช้ตัวอย่างเดิม และไม่ได้สุ่มตัวอย่างจากบรรจุภัณฑ์เดิมมาวิเคราะห์ค่า a_w และความชื้น.



รูปที่ 19. ความชื้นของตัวอย่างข้าวแต๋น.

4. เนื้อสัมผัส

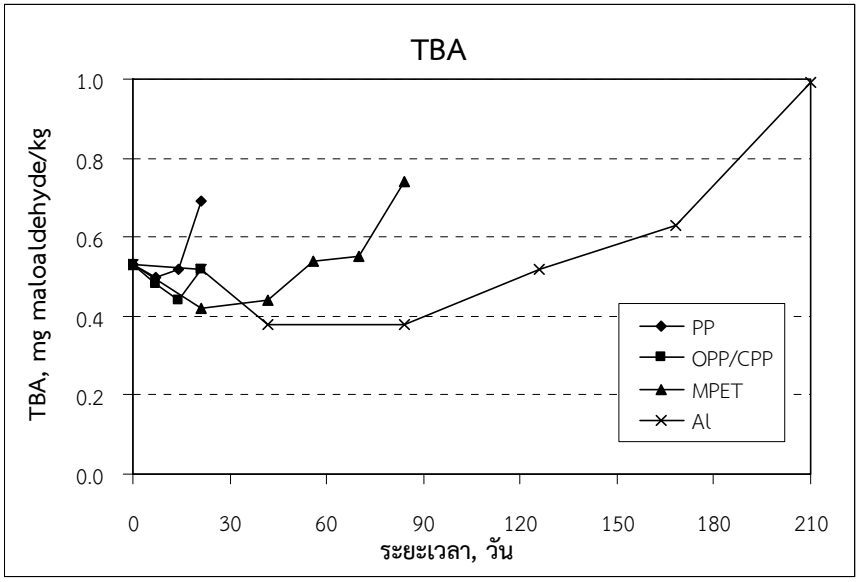
โดยทั่วไปภายหลังการเก็บรักษาข้าวแต๋นที่มีความกรอบ เนื่องจากมีความชื้นต่ำ จะดูดความชื้น ทำให้ความกรอบลดลง แข็งหรือเหนียวขึ้น. นอกจากนี้ความชื้นยังทำให้การยึดเกาะกันระหว่างเม็ดข้าวลดลง ส่งผลให้ต้องใช้แรงในการกดหรือตัดให้ข้าวแต๋นแยกจากกันต่ำลง, ดังแสดงในรูปที่ 20 แสดงค่าแรงกดสูงสุดที่ใช้ในการกดข้าวแต๋นให้แยกจากกัน ภายหลังบรรจุและเก็บรักษา พบว่า เมื่อเก็บตัวอย่างข้าวแต๋นไว้นานขึ้น มีแนวโน้มต้องใช้แรงกดลดลง, เพื่อให้ข้าวแต๋นแยกออกจากกัน, โดยเฉพาะตัวอย่างข้าวแต๋นที่บรรจุในซอง PP และ OPP/CPP มีค่าแรงกดสูงสุดลดลงเร็วกว่าการใช้แรงกดตัวอย่างข้าวแต๋นบรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE, เนื่องจากทั้ง PP และ OPP/CPP ยอมให้ไอน้ำซึมผ่านจากภายนอกเข้าไปภายในซองได้สูงกว่า, ทำให้ตัวอย่างข้าวแต๋นดูดความชื้นได้เร็วกว่า, จึงสูญเสียความสามารถในการยึดเกาะกันระหว่างเม็ดข้าวในชิ้นตัวอย่างเร็วกว่าตัวอย่างข้าวแต๋นที่บรรจุในซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE. อย่างไรก็ตามเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของชิ้นตัวอย่าง และเป็นการทดสอบที่ทำลายตัวอย่าง ไม่สามารถใช้ตัวอย่างชิ้นเดียวกันมาทดสอบได้ จึงพบว่ามีการเพิ่มขึ้นของค่าแรงกดเมื่อเก็บตัวอย่างไว้ด้วย.



รูปที่ 20. แรงกดสูงสุดที่ใช้ในการตัดตัวอย่างข้าวแต๋น.

5. กรดไทโอบาร์บิทูริกหรือ Thiobarbituric acid (TBA) value

รูปที่ 21 แสดงค่า TBA ซึ่งแสดงถึงความหืนหรือกลิ่นแปลกปลอมที่ไม่ยอมรับ ในหน่วยปริมาณของมาโลนัลดีไฮด์ต่อ กก. ภายหลังบรรจุและเก็บรักษา พบว่า ค่า TBA ของตัวอย่างข้าวแต๋นมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นภายหลังการเก็บรักษา, เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันหรือน้ำมันที่เป็นส่วนประกอบ. โดยตัวอย่างข้าวแต๋นมีปริมาณไขมันอยู่ประมาณร้อยละ 15.24 ดังแสดงในตารางที่ 11. นอกจากนั้นยังใช้น้ำมันในการทอดข้าวแต๋นอีกด้วย. โดยค่า TBA ของตัวอย่างข้าวแต๋นที่บรรจุในซอง PP และ OPP/CPP เพิ่มขึ้นเร็วกว่าค่า TBA ของตัวอย่างข้าวแต๋นที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE. นอกจากนี้ตัวอย่างข้าวแต๋นที่เก็บไว้นาน 2 เดือนบรรจุซอง PET/Al/LLDPE มีค่า TBA ต่ำกว่าตัวอย่างข้าวแต๋นที่บรรจุในซอง OPP/PE/MPET/CPP, เนื่องจาก PET/Al/LLDPE สามารถป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนและป้องกันแสงที่เป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดกลิ่นหืนได้ดีกว่า OPP/PE/MPET/CPP, OPP/CPP และ PP ตามลำดับ (PP และ OPP/CPP เป็นซองใส แต่ OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE เป็นซองทึบแสง). อย่างไรก็ตามการลดลงของค่า TBA ของตัวอย่างข้าวแต๋นในช่วง 1 สัปดาห์หรือ 1 เดือนแรกสำหรับตัวอย่างข้าวแต๋นที่บรรจุซอง PP, OPP/CPP, OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ตามลำดับ น่าจะเกิดจากมีปริมาณน้ำมันบางส่วนแยกจากตัวอย่างข้าวแต๋นเกาะติดที่ผิวบรรจุภัณฑ์ด้านใน, ซึ่งเป็นลักษณะปรากฏที่ไม่ยอมรับโดยผู้บริโภค เมื่อมีน้ำมันเกาะที่ซองหรือบนชิ้นตัวอย่างข้าวแต๋น.

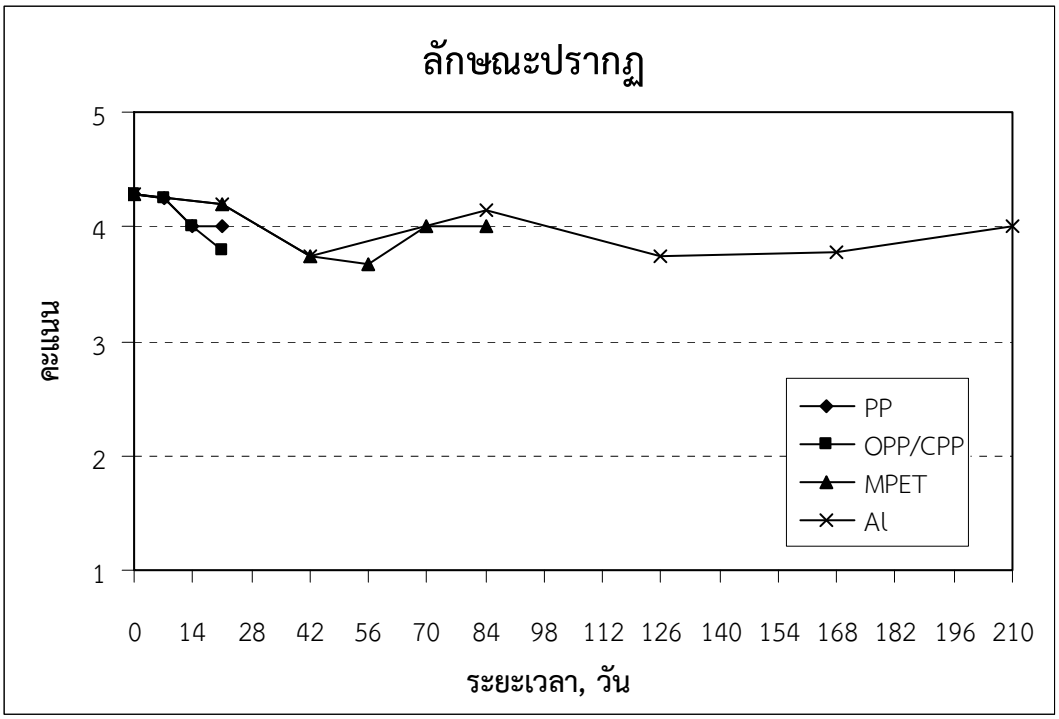


รูปที่ 21. ค่า TBA ของข้าวแต๋น.

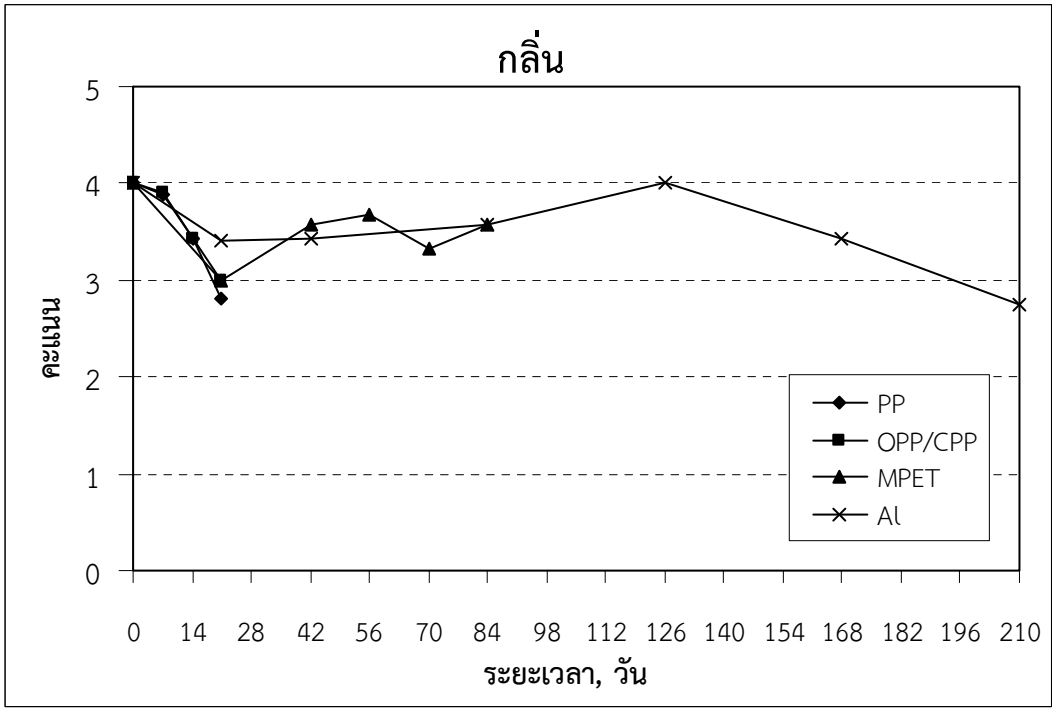
6. การประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัส

รูปที่ 22-26 แสดงผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ลักษณะปรากฏ, กลิ่น, รสชาติ, เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมของข้าวแต๋นภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง พบว่าข้าวแต๋นมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏโดยมีการเกาะตัวของน้ำมันที่ชิ้นขนมภายหลังการเก็บ, โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวอย่างข้าวแต๋นที่บรรจุซอง PP และ OPP/CPP. ส่วนตัวอย่างขนมที่บรรจุในซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE มีคะแนนลักษณะปรากฏลดลงเพียงเล็กน้อยและลดลงช้ากว่าตัวอย่างข้าวแต๋นที่บรรจุซอง PP และ OPP/CPP. อย่างไรก็ตามตัวอย่างข้าวแต๋นทุกตัวอย่างได้คะแนนลักษณะปรากฏไม่ต่ำกว่า 3 ซึ่งถือว่ายังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้โดยผู้บริโภค ภายหลังเก็บนาน 21, 21, 84 วัน และ 7 เดือน สำหรับตัวอย่างข้าวแต๋นบรรจุซอง PP, OPP/CPP, OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 22.

รูปที่ 23 แสดงค่าคะแนนกลิ่นของข้าวแต๋นภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง พบว่าภายหลังเก็บรักษา กลิ่นหอมของข้าวแต๋นลดลง และมีกลิ่นแปลกปลอมเกิดขึ้น, โดยเฉพาะข้าวแต๋นบรรจุซอง PP และ OPP/CPP มีค่าคะแนนกลิ่นลดลงอย่างรวดเร็วกว่าข้าวแต๋นที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE และเมื่อประเมินจากคะแนนกลิ่นของตัวอย่างข้าวแต๋นอาจบอกได้ว่า ตัวอย่างข้าวแต๋นบรรจุซอง PP, OPP/CPP และ OPP/PE/MPET/CPP มีอายุการเก็บนาน <21, >21 และ >84 วัน ตามลำดับ, เนื่องจากมีคะแนนกลิ่นสูงกว่า 3 แสดงว่ายังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค. ในขณะที่ตัวอย่างข้าวแต๋นบรรจุซอง PET/Al/LLDPE สามารถเก็บได้นานน้อยกว่า 210 วัน, เนื่องจากได้คะแนนกลิ่นน้อยกว่า 3.

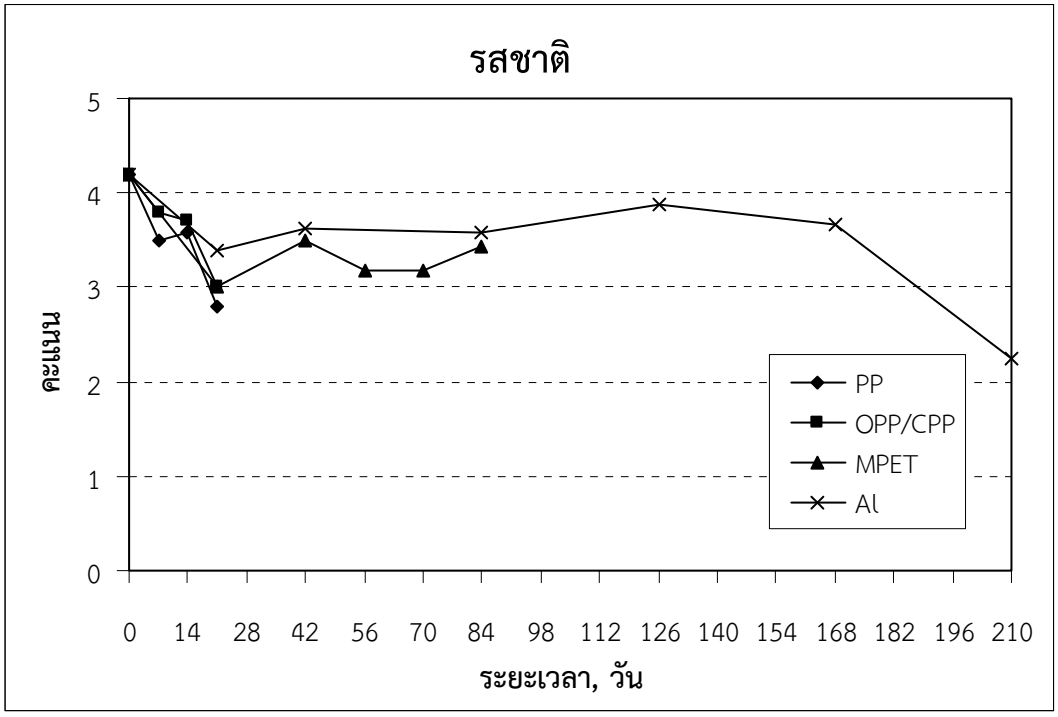


รูปที่ 22. คะแนนลักษณะปรากฏของข้าวแต๋นภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง.



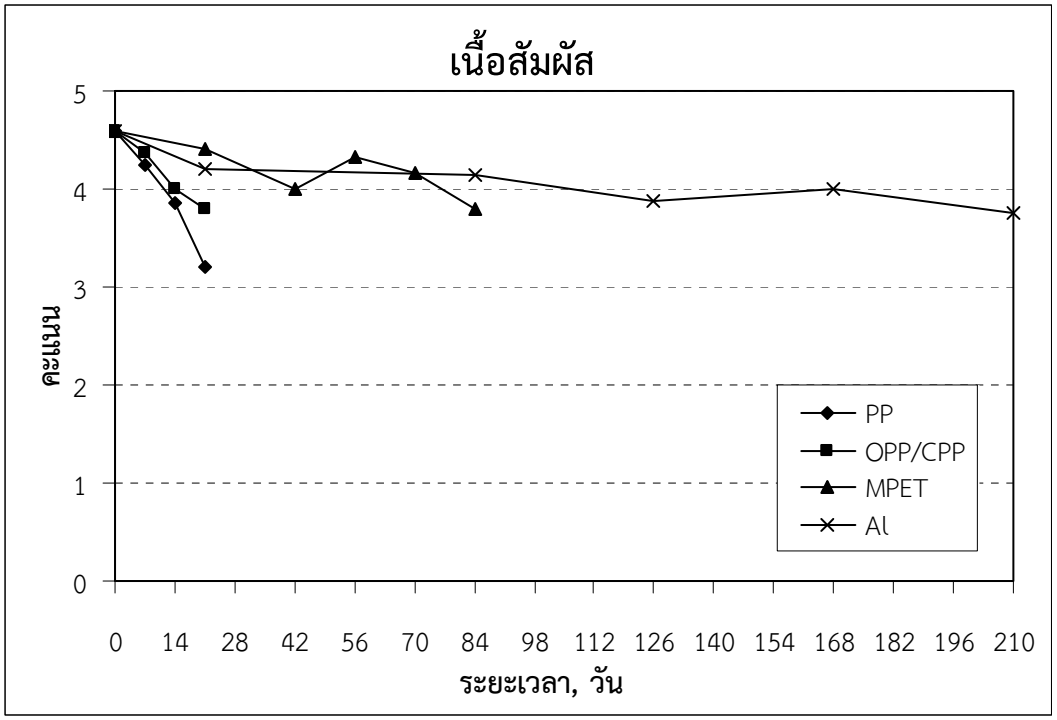
รูปที่ 23. คะแนนกลิ่นของข้าวแต๋นภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง.

จากรูปที่ 24 แสดงว่าค่าคะแนนรสชาติของข้าวแต๋นภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง พบว่าเช่นเดียวกับคะแนนกลิ่นภายหลังเก็บรักษา กลิ่นหอมของข้าวแต๋นลดลง และจะมีกลิ่นแปลกปลอมเกิดขึ้น และเกิดการเปลี่ยนแปลงอื่นๆ เช่น กรอบน้อยลง, เหนียวขึ้น, ทำให้ความอร่อยลดลง, คะแนนรสชาติจึงลดลงด้วย พบว่าตัวอย่างข้าวแต๋นบรรจุซอง PP และ OPP/CPP มีค่าคะแนนรสชาติลดลงอย่างรวดเร็วกว่าข้าวแต๋นที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE. ทั้งนี้ตัวอย่างข้าวแต๋นบรรจุซอง PP และ PET/Al/LLDPE ภายหลังการเก็บนาน 21 วัน และ 7 เดือน มีค่าคะแนนรสชาติต่ำกว่า 3 หรืออาจกล่าวได้ว่า ผู้บริโภคไม่ยอมรับรสชาติตัวอย่างข้าวแต๋นบรรจุซอง PP และ PET/Al/LLDPE ภายหลังการเก็บนาน 21 วัน และ 7 เดือน ตามลำดับ.



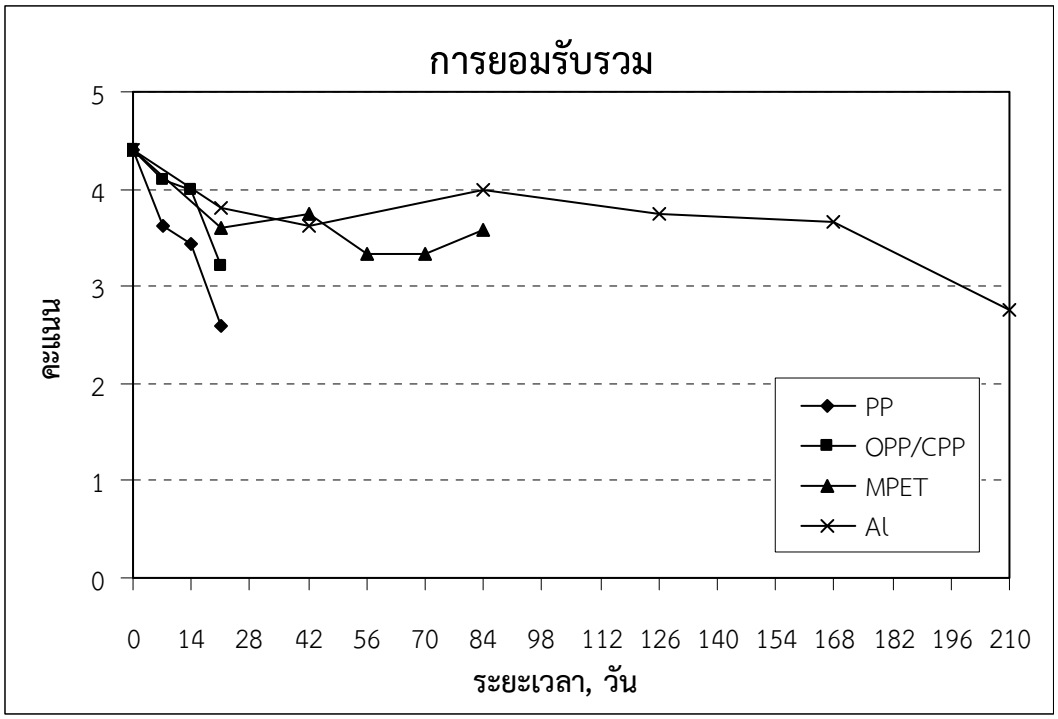
รูปที่ 24. คะแนนรสชาติของข้าวแต๋นภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง.

จากรูปที่ 25 แสดงว่าค่าคะแนนเนื้อสัมผัสของข้าวแต๋น ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ภายหลังดูดความชื้น ตัวอย่างข้าวแต๋นมีความกรอบลดลง, คะแนนเนื้อสัมผัสจึงลดลงด้วย จะเห็นว่าตัวอย่างข้าวแต๋นที่บรรจุซองที่ป้องกันการซึมผ่านไอน้ำและออกซิเจนได้ดี เช่น OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE มีคะแนนเนื้อสัมผัสไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก, แต่ตัวอย่างข้าวแต๋นบรรจุซอง PP และ OPP/CPP ภายหลังการเก็บนาน 21 วัน มีคะแนนเนื้อสัมผัสลดลงอย่างรวดเร็ว. โดยตัวอย่างข้าวแต๋นบรรจุซอง PP มีคะแนนเนื้อสัมผัสลดลงเร็วกว่าตัวอย่างข้าวแต๋นบรรจุซอง OPP/CPP, เนื่องจาก OPP/CPP ป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดีกว่า PP.



รูปที่ 25. คะแนนเนื้อสัมผัสของข้าวแต๋นภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง.

รูปที่ 26 แสดงค่าคะแนนการยอมรับรวมของข้าวแต๋นภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง พบว่าเช่นเดียวกับคะแนนลักษณะปรากฏ, กลิ่น, รสชาติ และเนื้อสัมผัส เมื่อตัวอย่างข้าวแต๋นมีความกรอบลดลง เนื่องจากดูดความชื้น และคุณภาพอื่นๆ ลดลง เช่น กลิ่นหอมของความสดใหม่ลดลง, คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคจึงลดลงด้วย. จะเห็นว่า ตัวอย่างข้าวแต๋นที่บรรจุในซองที่ป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดี เช่น OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE มีคะแนนการยอมรับรวมไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก. แต่ตัวอย่างข้าวแต๋นบรรจุซอง PP และ OPP/CPP มีคะแนนการยอมรับรวมลดลงอย่างรวดเร็ว. โดยตัวอย่างข้าวแต๋นบรรจุซอง PP มีคะแนนการยอมรับรวมน้อยกว่า 3 เมื่อเก็บนาน 21 วัน และข้าวแต๋นบรรจุซอง PET/Al/LLDPE ภายหลังการเก็บนาน 7 เดือน มีคะแนนการยอมรับรวมน้อยกว่า 3 จึงอาจกล่าวได้ว่าตัวอย่างข้าวแต๋นบรรจุซอง PP และ PET/Al/LLDPE มีอายุการเก็บน้อยกว่า 21 วัน และ 7 เดือน ตามลำดับ.



รูปที่ 26. คะแนนการยอมรับรวมของข้าวแต๋นภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง.

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติคุณภาพข้าวแต๋นบรรจุในบรรจุภัณฑ์แตกต่างกัน 4 ชนิด ที่อุณหภูมิห้อง แสดงดังตารางที่ 12, เนื่องจากข้าวแต๋นเป็นผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมเสียง่ายด้วยความชื้น จึงเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ภายหลังการเก็บนาน 21 วัน ตัวอย่างข้าวแต๋นบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกันมีค่า a_w แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$). โดยตัวอย่างข้าวแต๋นที่มีค่า a_w เฉลี่ยเริ่มต้นเท่ากันประมาณ 0.122 เมื่อบรรจุซอง PP มีค่า a_w เพิ่มขึ้นสูงที่สุดเท่ากับ 0.389 ซึ่งสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับค่า a_w ของตัวอย่างข้าวแต๋นที่บรรจุซอง OPP/CPP, OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ตามลำดับ, เนื่องจาก PP ยอมให้ไอน้ำซึมผ่านได้สูงกว่าฟิล์มชนิดอื่นๆ นั่นเอง.

ตารางที่ 12. คุณภาพข้าวแต๋นบรรจุในบรรจุภัณฑ์ 4 ชนิด ภายหลังเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 21 วัน

บรรจุภัณฑ์	a_w	ความชื้น, %	แรงกดสูงสุด, N	TBA, มิลลิกรัม มาโลนัลดีไฮด์ต่อ กก.
PP	0.389±0.011^{d}	6.08±0.19^{d}	9.54±1.32^{a}	0.690±0.030^{c}
OPP/CPP	0.266±0.015^{c}	4.36±0.13^{c}	10.00±1.96^{a}	0.520±0.010^{b}
OPP/PE/MPET/CPP	0.129±0.007^{b}	3.06±0.16^{b}	10.51±1.12^{a}	0.417±0.010^{a}
PET/Al/LLDPE	0.081±0.004^{a}	2.63±0.06^{a}	9.11±2.03^{a}	0.407±0.010^{a}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ค่าความชื้นข้าวแต๋นบรรจุในบรรจุภัณฑ์แตกต่างกัน 4 ชนิด ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 21 วัน แสดงดังตารางที่ 12 เช่นเดียวกับค่า a_w เมื่อมีไอน้ำซึมผ่านเข้าบรรจุภัณฑ์, เนื่องจากข้าวแต๋นเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำ ข้าวแต๋นจะดูดความชื้น, จึงเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ตัวอย่างข้าวแต๋นที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 3 มีความชื้นเพิ่มสูงขึ้นเกือบ 2 เท่าของความชื้นเริ่มต้น ประมาณร้อยละ 6.08 เมื่อบรรจุซอง PP และมีความชื้นเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 4.36 เมื่อบรรจุซอง OPP/CPP, แต่มีความชื้นเพียงประมาณร้อยละ 3 เมื่อบรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE. โดยตัวอย่างข้าวแต๋นที่บรรจุซอง PP มีค่าความชื้นสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับค่าความชื้นของตัวอย่างข้าวแต๋นที่บรรจุซอง OPP/CPP, OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ตามลำดับ, เนื่องจาก PP ยอมให้ไอน้ำซึมผ่านได้สูงกว่าฟิล์มชนิดอื่นๆ นั่นเอง.

ค่าแรงกดสูงสุดของข้าวแต๋นบรรจุในบรรจุภัณฑ์แตกต่างกัน 4 ชนิด ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 21 วัน แสดงดังตารางที่ 12 พบว่า ตัวอย่างข้าวแต๋นที่บรรจุบรรจุภัณฑ์ต่างชนิดกันมีค่าแรงกดแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$). ทั้งนี้สำหรับตัวอย่างข้าวแต๋นที่บรรจุซอง PP และ OPP/CPP อาจเกิดเนื่องจากเมื่อข้าวแต๋นดูดความชื้น จึงสูญเสียความสามารถในการยึดเกาะกันระหว่างเม็ดข้าวในชิ้นตัวอย่าง ทำให้แตกหรือหลุดจากกันได้ง่าย จึงต้องการแรงกดไม่สูงมากเพื่อกดให้แยกจากกัน, แต่สำหรับข้าวแต๋นที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE, เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ทั้งสองชนิดนี้สามารถป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดีกว่า ทำให้มีไอน้ำซึมเข้าไปในบรรจุภัณฑ์ไม่มากนัก ตัวอย่างข้าวแต๋นยังกรอบ จึงใช้แรงกดไม่สูงนักในการกดตัวอย่างข้าวแต๋นให้แตกหักออกจากกัน, นอกจากนี้ยังมีผลจากความแปรปรวนของชิ้นตัวอย่างที่นำมาทดสอบ ทำให้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างค่าที่ได้.

ค่า TBA ของข้าวแต๋นบรรจุในบรรจุภัณฑ์แตกต่างกัน 4 ชนิด ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 21 วัน แสดงดังตารางที่ 12 พบว่าภายหลังการเก็บนาน 21 วัน ตัวอย่างข้าวแต๋นที่บรรจุซอง PP มีค่า TBA สูงกว่าตัวอย่างข้าวแต๋นที่บรรจุซอง OPP/CPP และ OPP/PE/MPET/CPP กับ PET/Al/LLDPE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$), เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ทั้งสามชนิดนี้สามารถป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนได้ดีกว่า PP.

ผลการประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสข้าวแต๋นบรรจุในบรรจุภัณฑ์แตกต่างกัน 4 ชนิด ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 21 วัน แสดงดังตารางที่ 13 พบว่า ตัวอย่างข้าวแต๋นที่บรรจุซอง PP เพียงตัวอย่างเดียวมีคะแนนกลิ่น, รสชาติ และการยอมรับรวมต่ำกว่า 3 หรือไม่ยอมรับโดยผู้บริโภค, นอกจากนี้ยังได้คะแนนเนื้อสัมผัสและการยอมรับรวมต่ำกว่าตัวอย่างข้าวแต๋นที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$). ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากผลการประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัส ข้าวแต๋นบรรจุซอง PP เก็บที่อุณหภูมิห้องมีอายุการเก็บน้อยกว่า 21 วัน.

ตารางที่ 13. คุณภาพด้านประสาทสัมผัสข้าวแต๋นบรรจุในบรรจุภัณฑ์ 4 ชนิด ภายหลังเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 21 วัน

บรรจุภัณฑ์	คุณภาพ				
	ลักษณะปรากฏ	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	การยอมรับรวม
PP	4.00±0.67[a]	2.80±1.23[a]	2.80±0.79[a]	3.20±1.23[a]	2.60±0.84[a]
OPP/CPP	3.80±1.03[a]	3.00±1.15[a]	3.00±0.67[a]	3.80±1.23[ab]	3.20±0.79[ab]
OPP/PE/MPET/CPP	4.20±0.79[a]	3.00±1.15[a]	3.00±0.67[a]	4.40±0.52[b]	3.60±0.84[b]
PET/Al/LLDPE	4.20±0.79[a]	3.40±0.84[a]	3.40±0.84[a]	4.20±0.79[b]	3.80±0.42[b]

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

อายุการเก็บข้าวแต๋น

ตารางที่ 14 เปรียบเทียบอายุการเก็บข้าวแต๋นบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน 4 ชนิด ภายหลังเก็บที่อุณหภูมิห้อง เมื่อพิจารณาจากคุณภาพทางกายภาพ, เคมี และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า เนื่องจากข้าวแต๋นเป็นผลิตภัณฑ์ไวความชื้น เมื่อบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้แตกต่างกัน ส่งผลให้ข้าวแต๋นมีอายุการเก็บแตกต่างกัน. นอกจากนี้

เนื่องจากข้าวแต๋นอาจเกิดการเสื่อมเสียอื่นๆ เช่น การเกิดกลิ่นแปลกปลอม เป็นต้น. ดังนั้นนอกจากต้องสามารถป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดีแล้ว บรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนและป้องกันแสงได้ดี จะช่วยยืดอายุผลิตภัณฑ์ได้นานขึ้นด้วย. โดยตัวอย่างข้าวแต๋นที่บรรจุซอง PET/Al/LLDPE มีอายุการเก็บนานกว่าตัวอย่างข้าวแต๋นที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP, OPP/CPP และ PP ตามลำดับ, เนื่องจาก PET/Al/LLDPE สามารถป้องกันการซึมผ่านไอน้ำและออกซิเจน ตลอดจนป้องกันแสงได้ดีกว่า OPP/PE/ MPET/CPP, OPP/ CPP และ PP ตามลำดับ.

ตารางที่ 14. อายุการเก็บข้าวแต๋นภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง

บรรจุภัณฑ์	อายุการเก็บ, วัน
PP	17
OPP/CPP	28
OPP/PE/MPET/CPP	168
PET/Al/LLDPE	200

3.2.1.3 คุกกี้เนย

ตารางที่ 15 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณคุกกี้เนย พบว่า คุกกี้มีความชื้นประมาณร้อยละ 3.03 เนื่องจากมีความชื้นต่ำ, จึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมเสียได้ง่ายด้วยความชื้น. ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มที่จะดูดความชื้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบลดลง, นิ่ม, อ่อนตัว, ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค แม้ว่าคุกกี้จะผ่านการแปรรูปด้วยการอบ, แต่เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีไขมันเป็นส่วนประกอบในปริมาณสูงถึงร้อยละ 30.13 รองจากส่วนประกอบหลักคือคาร์โบไฮเดรต (55.89%) จึงทำให้อาจเกิดการเสื่อมเสีย, เนื่องจากเกิดกลิ่นแปลกปลอมหรือกลิ่นหืนได้เช่นกัน โดยเฉพาะหากเก็บที่อุณหภูมิสูงหรือสัมผัสโดยตรงกับแสง.

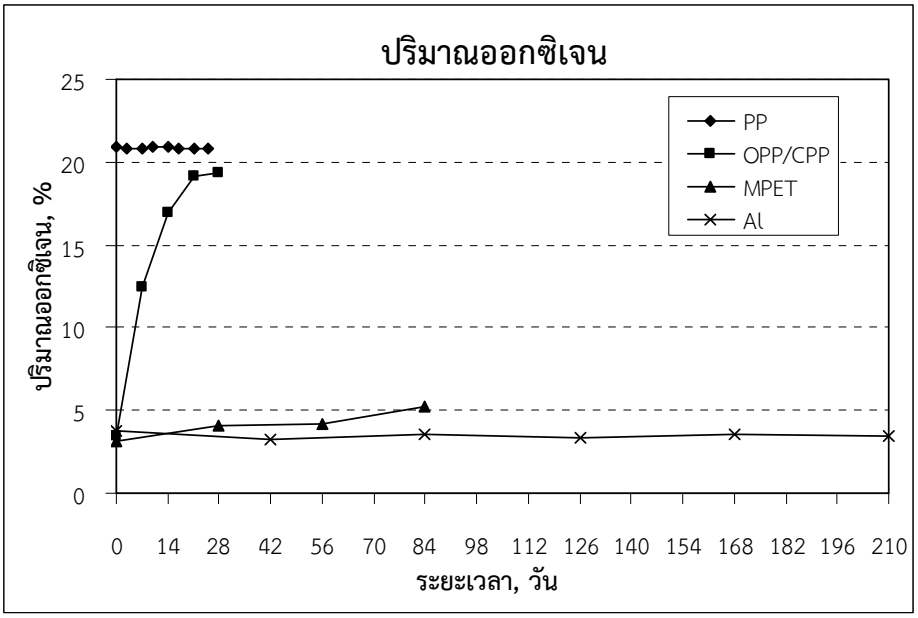
ตารางที่ 15. องค์ประกอบโดยประมาณ (proximate analysis) คุกกี้เนย

ส่วนประกอบ	ร้อยละ
ความชื้น	3.03
คาร์โบไฮเดรต	55.89
โปรตีน	9.18
ไขมัน	30.13
เถ้า	1.77

ผลการประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์. ภายหลังบรรจุและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้ผลดังต่อไปนี้ :

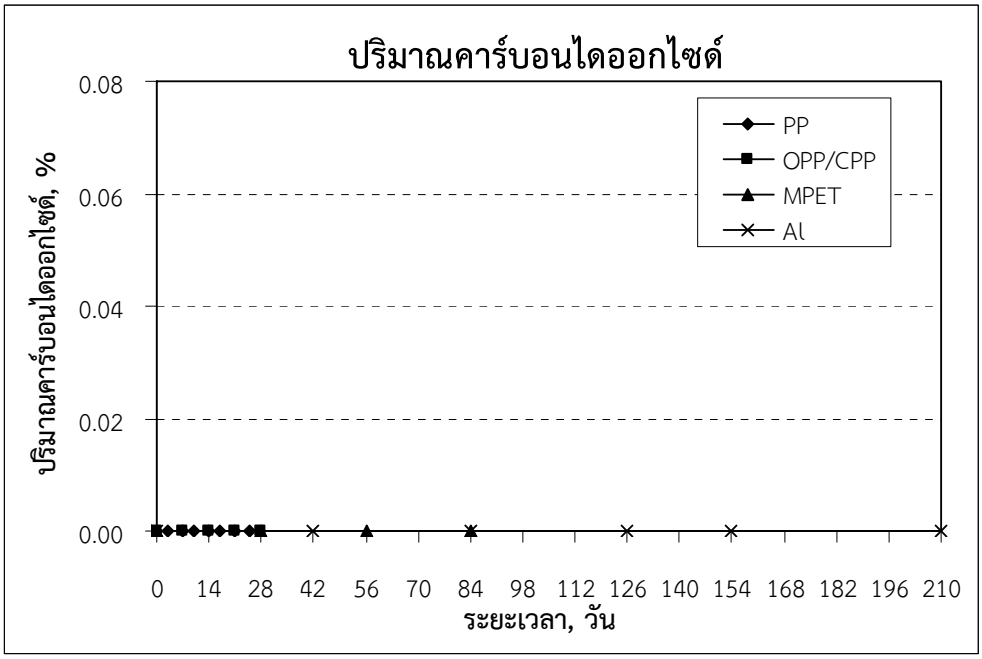
1. ปริมาณก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์

รูปที่ 27 แสดงปริมาณออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์คุกกี้ภายหลังบรรจุและเก็บรักษา พบว่าสำหรับการบรรจุภายใต้ก๊าซไนโตรเจน ปริมาณออกซิเจนภายในซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยภายหลังการบรรจุ แม้ว่าจะเก็บนานมากกว่า 2 เดือน. อย่างไรก็ตามปริมาณออกซิเจนภายในซอง OPP/CPP เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 1 เดือนภายหลังการบรรจุ, จนกระทั่งใกล้เคียงกับปริมาณออกซิเจนภายในบรรยากาศที่มีประมาณร้อยละ 21, เนื่องจาก OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE สามารถป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนได้ดีกว่า OPP/CPP ดังแสดงในตารางที่ 1 (การซึมผ่านออกซิเจนของ OPP/CPP, OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ที่อุณหภูมิ 23°ซ. และความชื้นสัมพัทธ์ 0% เท่ากับ 59,892, 81.1 และ 6.4 ลบ.ซม.-ไมครอน/(ตร.ม.)(วัน)(บรรยากาศ) ตามลำดับ), ทำให้ออกซิเจนจากภายนอกที่มีความเข้มข้นสูงกว่าภายในบรรจุภัณฑ์ ไม่สามารถซึมผ่านเข้าภายในซองได้รวดเร็วเท่ากับซอง OPP/CPP. ในขณะที่ปริมาณออกซิเจนภายในซอง PP ที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ มีปริมาณออกซิเจนใกล้เคียงร้อยละ 21 ตลอดอายุการเก็บรักษา, เนื่องจาก PP ไม่สามารถป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนได้ (การซึมผ่านออกซิเจนของ PP ที่อุณหภูมิ 23°ซ. และความชื้นสัมพัทธ์ 0% = 93,647 ลบ.ซม.-ไมครอน/(ตร.ม.)(วัน)(บรรยากาศ)), ทำให้เกิดการซึมผ่านหรือแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างภายในและภายนอกบรรจุภัณฑ์อย่างรวดเร็วภายหลังบรรจุ.



รูปที่ 27. ปริมาณออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์คุกกี้.

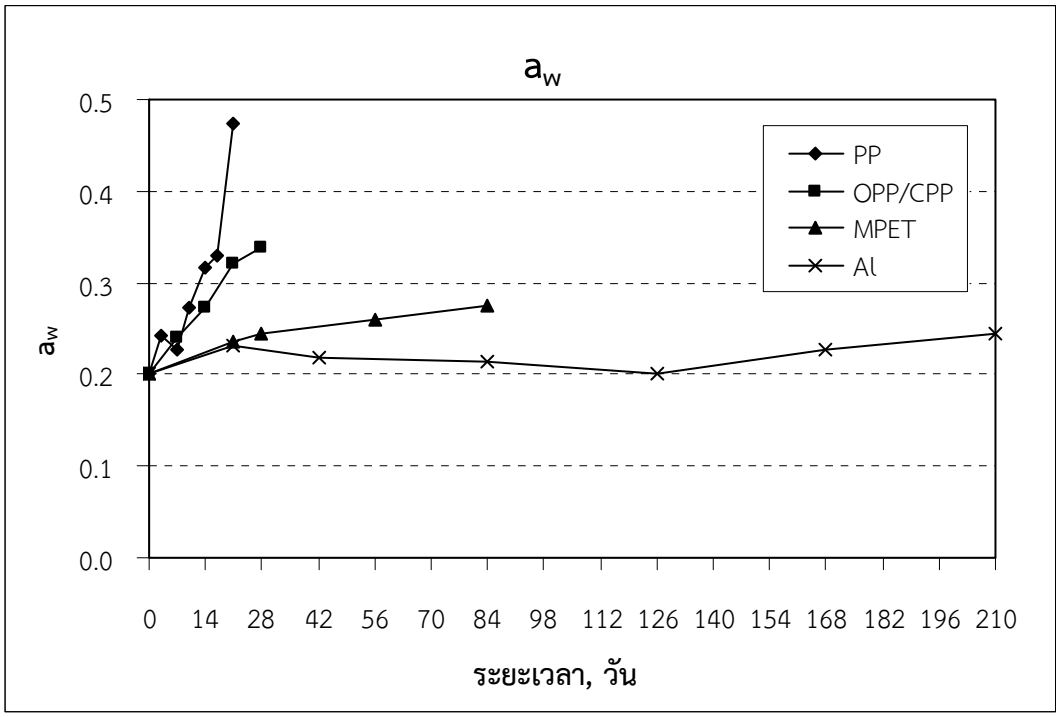
สำหรับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์คุกกี้ภายหลังบรรจุและเก็บรักษา พบว่า มีปริมาณต่ำมาก (<ร้อยละ 0.01) และมีปริมาณใกล้เคียงกันในทุกบรรจุภัณฑ์ทั้งการบรรจุภายใต้บรรยากาศปกติและภายใต้ก๊าซไนโตรเจน ดังแสดงในรูปที่ 28, เนื่องจากในบรรยากาศปกติมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำมากประมาณร้อยละ 0.04 เท่านั้น (Parry 1993).



รูปที่ 28. ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์คุกกี้.

2. ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)

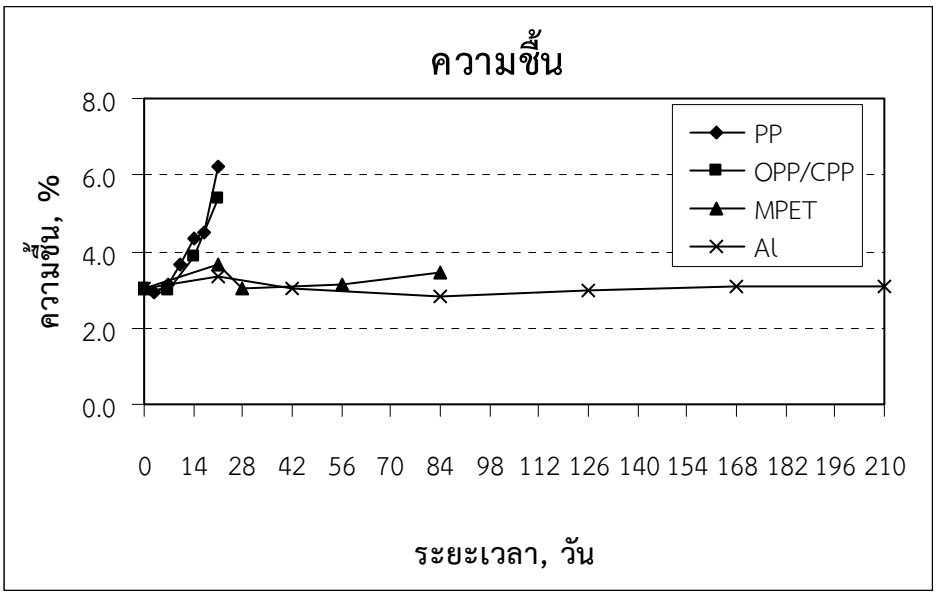
รูปที่ 29 แสดงปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของตัวอย่างคุกกี้ภายหลังบรรจุและเก็บรักษา พบว่า ภายหลังการเก็บรักษา ตัวอย่างคุกกี้ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมเสียง่ายด้วยความชื้น มีค่า a_w เพิ่มสูงขึ้น. โดยตัวอย่างคุกกี้ที่บรรจุซอง PP และ OPP/CPP มีค่า a_w เพิ่มสูงขึ้นรวดเร็วกว่าตัวอย่างคุกกี้ที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE, เนื่องจาก OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE สามารถป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดีกว่า PP และ OPP/CPP ดังแสดงในตารางที่ 1. การซึมผ่านไอน้ำที่อุณหภูมิ 38°ซ., 90%RH ของ PP, OPP/CPP, OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE มีค่าเท่ากับ 240, 159, 13.4 และ 5.4 กรัม-ไมครอน/(ตร.ม.)(วัน) ตามลำดับ, ทำให้มีปริมาณไอน้ำซึมผ่านเข้าไปในซองได้น้อยกว่า.



รูปที่ 29. ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของตัวอย่างคุกกี้.

3. ความชื้น (Moisture content)

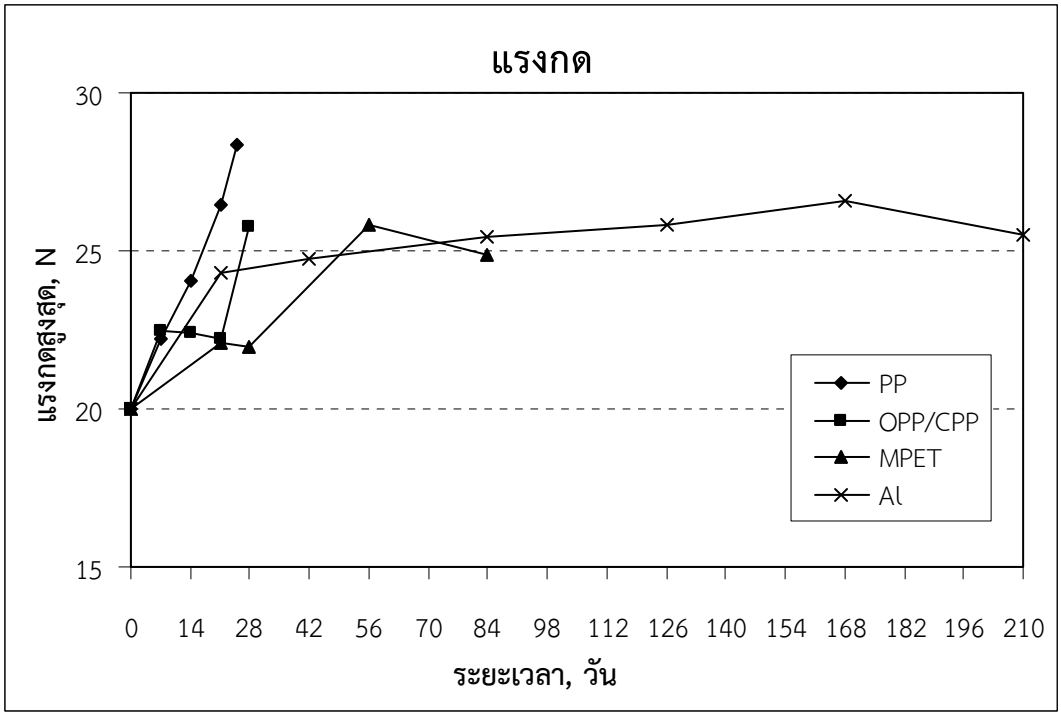
รูปที่ 30 แสดงความชื้นของตัวอย่างคุกกี้ภายหลังบรรจุและเก็บรักษา พบว่า ภายหลังการเก็บรักษา เช่นเดียวกับค่าปริมาณน้ำอิสระ ตัวอย่างคุกกี้ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมเสียง่ายด้วยความชื้น มีค่าความชื้นเพิ่มสูงขึ้น. โดยตัวอย่างคุกกี้ที่บรรจุซอง PP และ OPP/CPP มีค่าความชื้นเพิ่มสูงขึ้นรวดเร็วกว่าตัวอย่างคุกกี้ที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE, เนื่องจาก OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE สามารถป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดีกว่า PP และ OPP/CPP ดังแสดงในตารางที่ 1. การซึมผ่านไอน้ำที่อุณหภูมิ 38°ซ. และความชื้นสัมพัทธ์ 90% ของ PP, OPP/CPP, OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE มีค่าเท่ากับ 240, 159, 13.4 และ 5.4 กรัม-ไมครอน/(ตร.ม.)(วัน) ตามลำดับ, ทำให้มีปริมาณไอน้ำซึมผ่านเข้าไปในซองได้น้อยกว่า. อย่างไรก็ตามการลดลงของค่า a_w และความชื้นของตัวอย่างคุกกี้เนยที่บรรจุซองภายหลังเก็บนาน 7 วัน อาจเกิดเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของชิ้นตัวอย่างที่นำมาทดสอบ, เนื่องจากไม่ได้ใช้ตัวอย่างเดิมและไม่ได้สุ่มตัวอย่างจากบรรจุภัณฑ์เดิมมาวิเคราะห์ค่า a_w และความชื้น.



รูปที่ 30. ความชื้นของตัวอย่างคุกกี้.

4. เนื้อสัมผัส

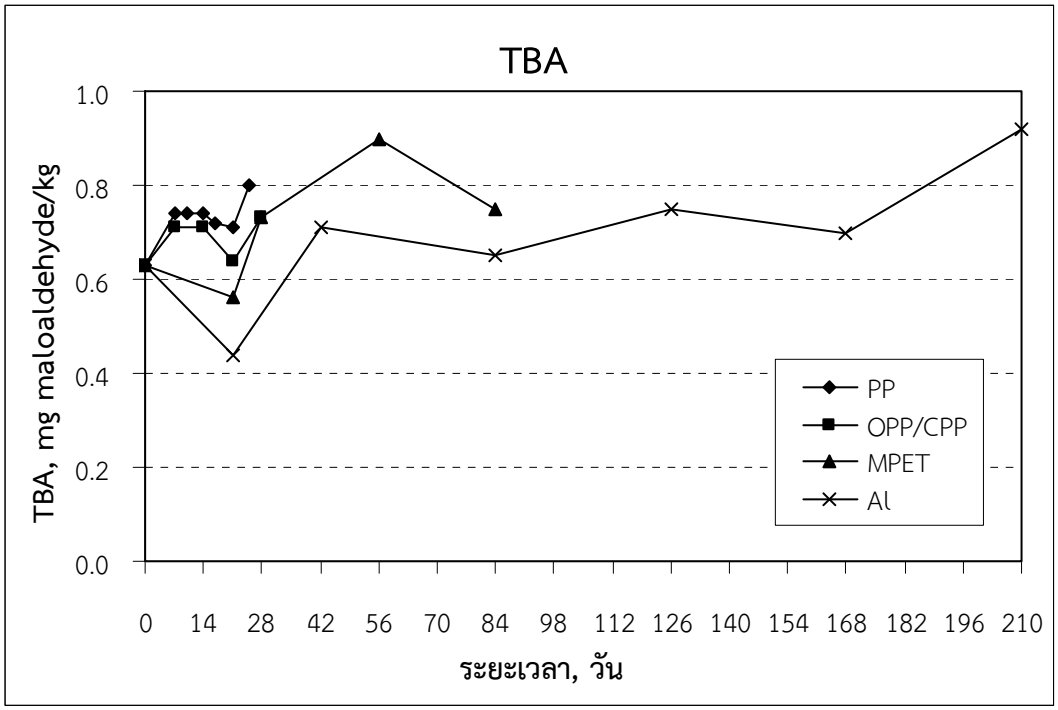
โดยทั่วไปภายหลังการเก็บรักษาคุกกี้ที่มีความกรอบ, แตกง่าย, เนื่องจากมีความชื้นต่ำจะดูดความชื้น ทำให้ความกรอบลดลง, ทำให้นิ่ม จึงจำเป็นต้องใช้แรงในการตัดให้ขาดสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 31 แสดงค่าแรงกดสูงสุดที่ใช้ในการตัดคุกกี้ ภายหลังบรรจุและเก็บรักษา พบว่า เมื่อเก็บตัวอย่างคุกกี้ไว้นานขึ้น มีแนวโน้มต้องใช้แรงมากขึ้นในการกดให้คุกกี้แตกหรือแยกออกจากกัน, เนื่องจากคุกกี้มีความกรอบลดลง โดยเฉพาะตัวอย่างคุกกี้ที่บรรจุในซอง PP และ OPP/CPP, เนื่องจากทั้ง PP และ OPP/CPP ยอมให้ไอน้ำซึมผ่านจากภายนอกเข้าไปภายในซองได้สูงกว่า, ทำให้ตัวอย่างคุกกี้ดูดความชื้นเร็วกว่า จึงสูญเสียความกรอบเร็วกว่าตัวอย่างคุกกี้ที่บรรจุในซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE. อย่างไรก็ตามเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของชิ้นตัวอย่าง และเป็นการทดสอบที่ทำลายตัวอย่าง ไม่สามารถใช้ตัวอย่างชิ้นเดียวกันมาทดสอบได้ ทำให้มีการลดลงของค่าแรงกดเมื่อเก็บตัวอย่างไว้ด้วย เช่น ตัวอย่างคุกกี้เนยบรรจุซอง PET/Al/LLDPE.



รูปที่ 31. แรงกดสูงสุดที่ใช้ในการตัดตัวอย่างคุกกี้.

5. กรดไทโอบาร์บิทูริกหรือ Thiobarbituric acid (TBA) value

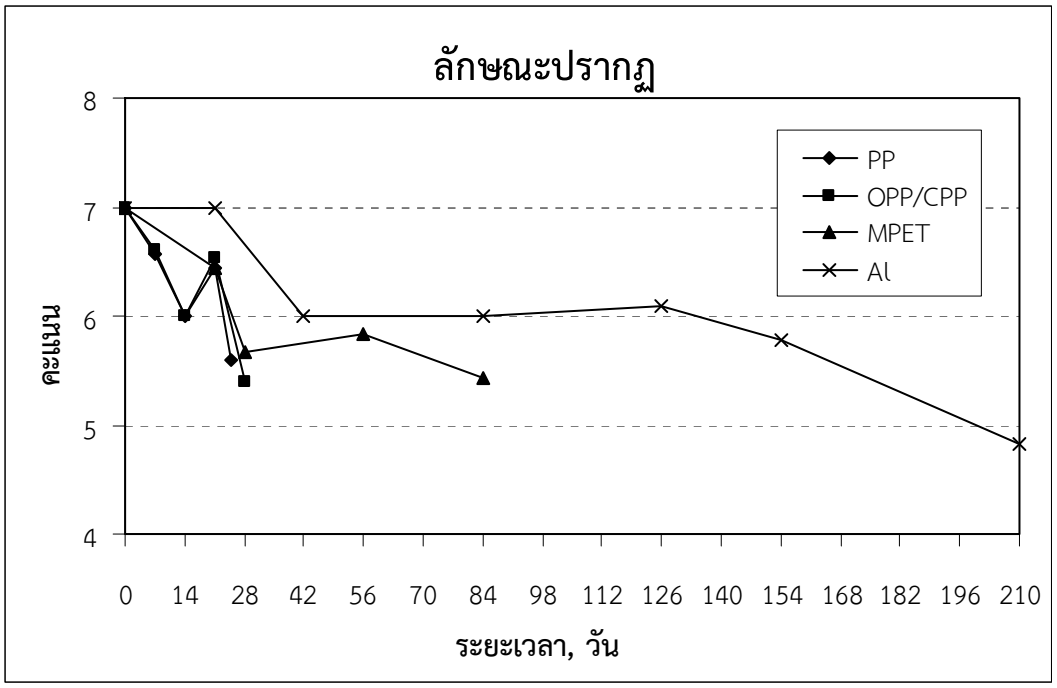
รูปที่ 32 แสดงค่า TBA ซึ่งแสดงถึงความหืนหรือกลิ่นแปลกปลอมที่ไม่ยอมรับ ในหน่วยปริมาณของมาโลนัลดีไฮด์ต่อ กก. ภายหลังบรรจุและเก็บรักษา พบว่า ค่า TBA ของตัวอย่างคุกกี้มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นภายหลังการเก็บรักษา, แม้ว่าจะมีความแปรปรวนในระหว่างชิ้นตัวอย่าง เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันหรือน้ำมันที่เป็นส่วนประกอบ, โดยตัวอย่างคุกกี้มีปริมาณไขมันสูงถึงประมาณร้อยละ 30.13 ดังแสดงในตารางที่ 15. ค่า TBA ของตัวอย่างคุกกี้ที่บรรจุในซอง PP และ OPP/CPP สูงกว่าและเพิ่มขึ้นรวดเร็วกว่าตัวอย่างที่บรรจุในซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE และตัวอย่างคุกกี้ที่บรรจุในซอง PET/Al/LLDPE มีค่า TBA เมื่อเก็บไว้นานกว่า 2 เดือนน้อยกว่าตัวอย่างคุกกี้ที่บรรจุในซอง OPP/PE/MPET/CPP, เนื่องจาก PET/Al/LLDPE สามารถป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนและแสงที่เป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืนได้ดีกว่า OPP/PE/MPET/CPP.



รูปที่ 32. ค่า TBA ของคุกกี้.

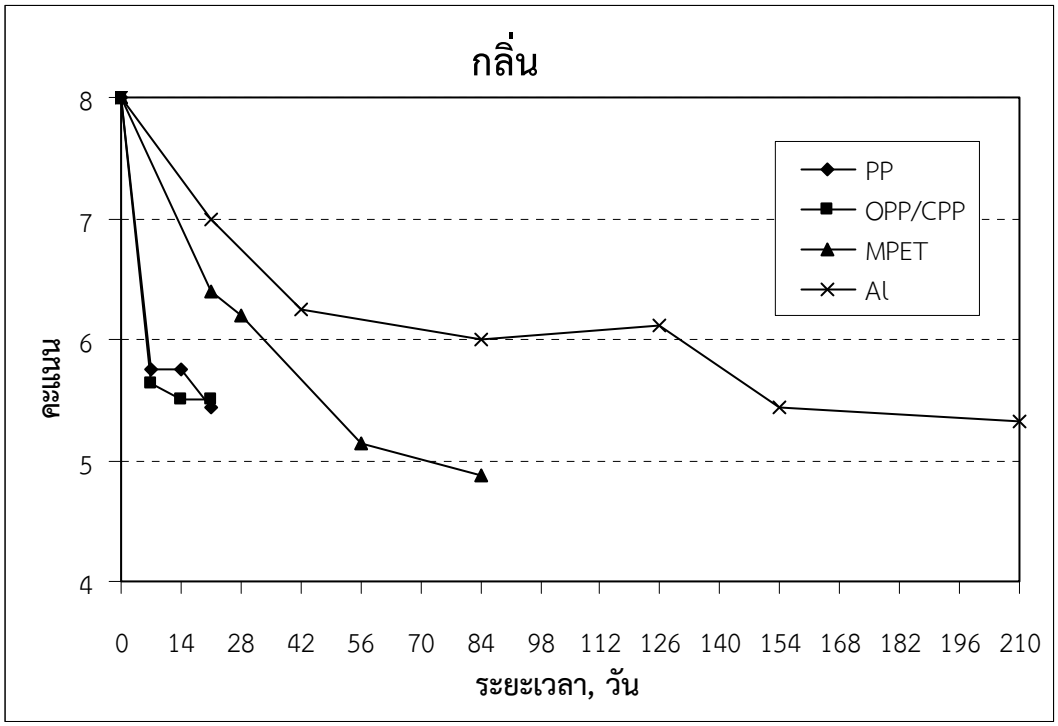
6. การประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัส

รูปที่ 33-38 แสดงผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ลักษณะปรากฏ, กลิ่น, รสชาติ, เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมของคุกกี้ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง พบว่า คุกกี้มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏภายหลังการเก็บเพียงเล็กน้อย. โดยตัวอย่างคุกกี้ที่บรรจุในซองทั้ง 4 ชนิด มีคะแนนลักษณะปรากฏลดลงเพียงเล็กน้อย, ทั้งนี้คุกกี้เนยยังมีลักษณะปรากฏเป็นที่ยอมรับแม้ว่าจะสิ้นสุดระยะเวลาเก็บหรือสุ่มตัวอย่าง. อย่างไรก็ตามคะแนนลักษณะปรากฏของตัวอย่างคุกกี้ที่บรรจุในซอง PP และ OPP/CPP ลดลงเร็วกว่าคะแนนลักษณะปรากฏของตัวอย่างคุกกี้ที่บรรจุในซอง OPP/ PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ดังแสดงในรูปที่ 33.



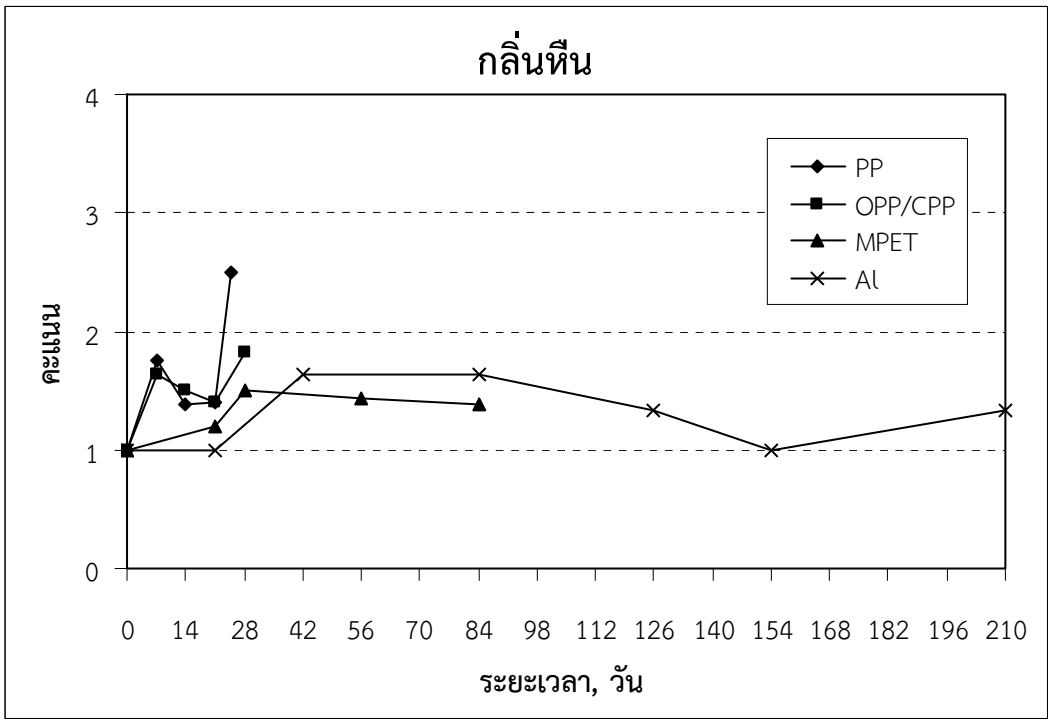
รูปที่ 33. คะแนนลักษณะปรากฏของคุกกี้ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง.

รูปที่ 34 แสดงค่าคะแนนกลิ่นของตัวอย่างคุกกี้ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง พบว่าภายหลังเก็บรักษา กลิ่นหอมของคุกกี้ ได้แก่ กลิ่นเนยและวานิลลาลดลง และเริ่มจะมีกลิ่นแปลกปลอมเกิดขึ้น, โดยเฉพาะตัวอย่างคุกกี้บรรจุซอง PP และ OPP/CPP มีค่าคะแนนกลิ่นลดลงอย่างรวดเร็วกว่าคุกกี้ที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE, เนื่องจากฟิล์มทั้งสองชนิดนี้สามารถป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนที่จะเข้ามาทำปฏิกิริยากับคุกกี้เนยให้เกิดกลิ่นแปลกปลอมและป้องกันการซึมผ่านขององค์ประกอบของกลิ่นที่เป็นสารระเหยง่ายไปสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกได้ดีกว่า PP และ OPP/CPP และเมื่อประเมินจากคะแนนกลิ่นของตัวอย่างคุกกี้อาจบอกได้ว่า ตัวอย่างคุกกี้บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP มีอายุการเก็บนาน <84 วัน (ประมาณ 70 วัน), เนื่องจากมีคะแนนกลิ่นน้อยกว่า 5. ในขณะที่ตัวอย่างคุกกี้ที่บรรจุซอง PET/Al/LLDPE แม้ว่าจะเก็บตัวอย่างคุกกี้นานประมาณ 7 เดือน ก็ยังได้คะแนนกลิ่นเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค.



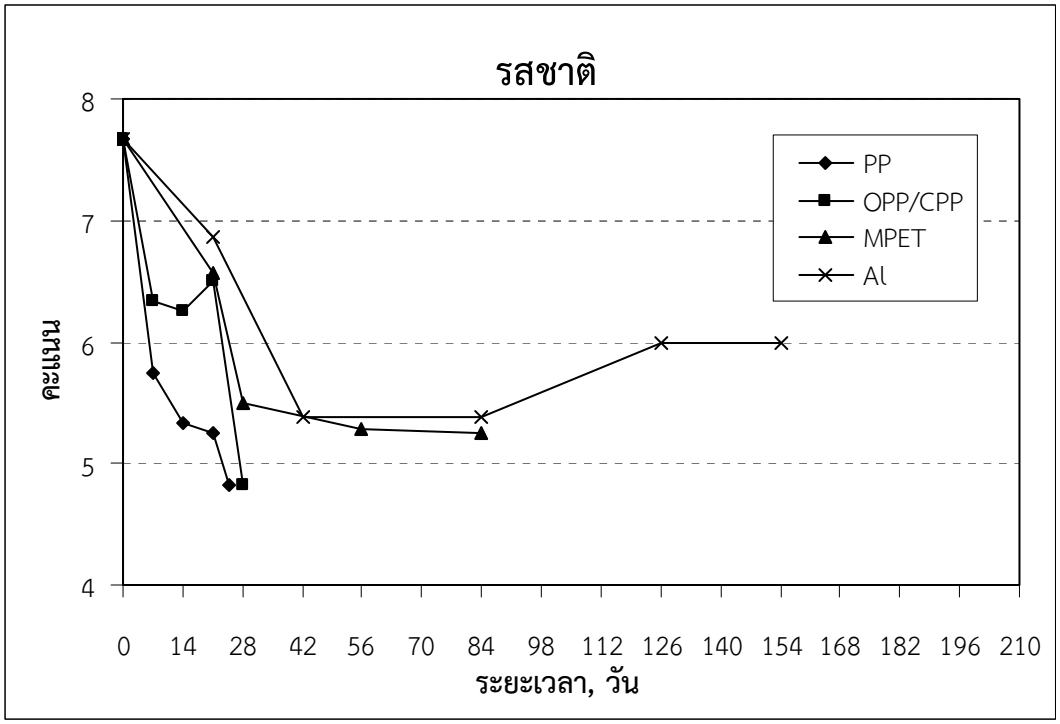
รูปที่ 34. คะแนนกลิ่นของคุกกี้ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง.

นอกจากนี้ รูปที่ 35 แสดงค่าคะแนนกลิ่นหืนของตัวอย่างคุกกี้ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ภายหลังบรรจุและเก็บรักษา คุกกี้เริ่มมีกลิ่นที่ไม่ยอมรับ, เนื่องจากเริ่มจะมีกลิ่นแปลกปลอมเกิดขึ้น โดยเฉพาะตัวอย่างคุกกี้บรรจุซอง PP และ OPP/CPP มีค่าคะแนนกลิ่นหืนเพิ่มขึ้นรวดเร็วกว่าคุกกี้ที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE, เนื่องจากฟิล์มทั้งสองชนิดนี้สามารถป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนที่จะเข้ามาทำปฏิกิริยากับคุกกี้เนยให้เกิดกลิ่นแปลกปลอมได้ดีกว่า PP และ OPP/CPP ดังที่กล่าวมาแล้ว.



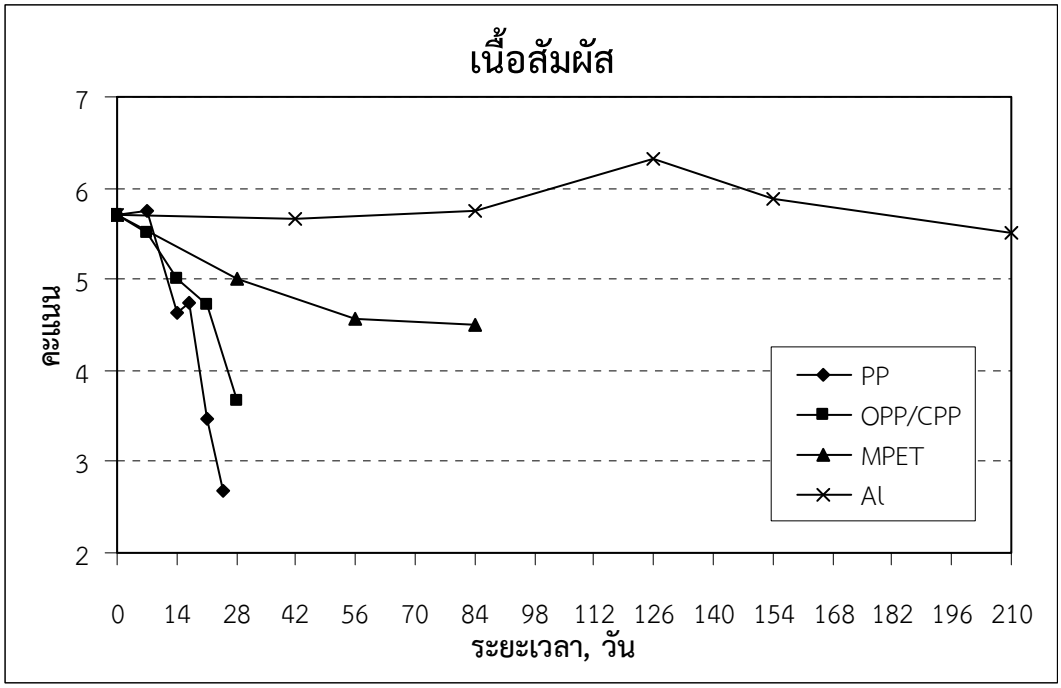
รูปที่ 35. คะแนนกลิ่นหืนของคุกกี้ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง.

รูปที่ 36 แสดงค่าคะแนนรสชาติของตัวอย่างคุกกี้ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ในทำนองเดียวกับคะแนนกลิ่น คะแนนรสชาติของตัวอย่างคุกกี้เนยลดลงภายหลังการเก็บ เช่น กลิ่นหอมลดลง มีกลิ่นแปลกปลอม, มีความกรอบน้อยลง, ทำให้ความอร่อยลดลง, คะแนนรสชาติจึงลดลงด้วย. ดังนั้นตัวอย่างคุกกี้บรรจุซอง PP และ OPP/CPP มีคะแนนรสชาติลดลงรวดเร็วกว่าคุกกี้ที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE, เนื่องจากฟิล์มทั้งสองชนิดนี้สามารถป้องกันการซึมผ่านไอน้ำและออกซิเจนได้ดีกว่า PP และ OPP/CPP จึงช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ทั้งเนื่องจากความชื้นและออกซิเจนได้ดีกว่า. ทั้งนี้เมื่อพิจารณาเฉพาะคะแนนรสชาติตัวอย่างคุกกี้บรรจุซอง PP และ OPP/CPP ภายหลังการเก็บนาน 14 และ 28 วัน มีค่าคะแนนรสชาติต่ำกว่า 5 หรืออาจกล่าวได้ว่า ผู้บริโภคไม่ยอมรับรสชาติตัวอย่างคุกกี้บรรจุซอง PP และ OPP/CPP ภายหลังการเก็บนาน 14 (ประมาณ 7 วัน) และ 28 วัน (ประมาณ 21 วัน) ตามลำดับ. ในขณะที่ผู้บริโภคยังคงยอมรับรสชาติตัวอย่างคุกกี้บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ภายหลังเก็บนาน 84 และ 210 วัน ตามลำดับ.



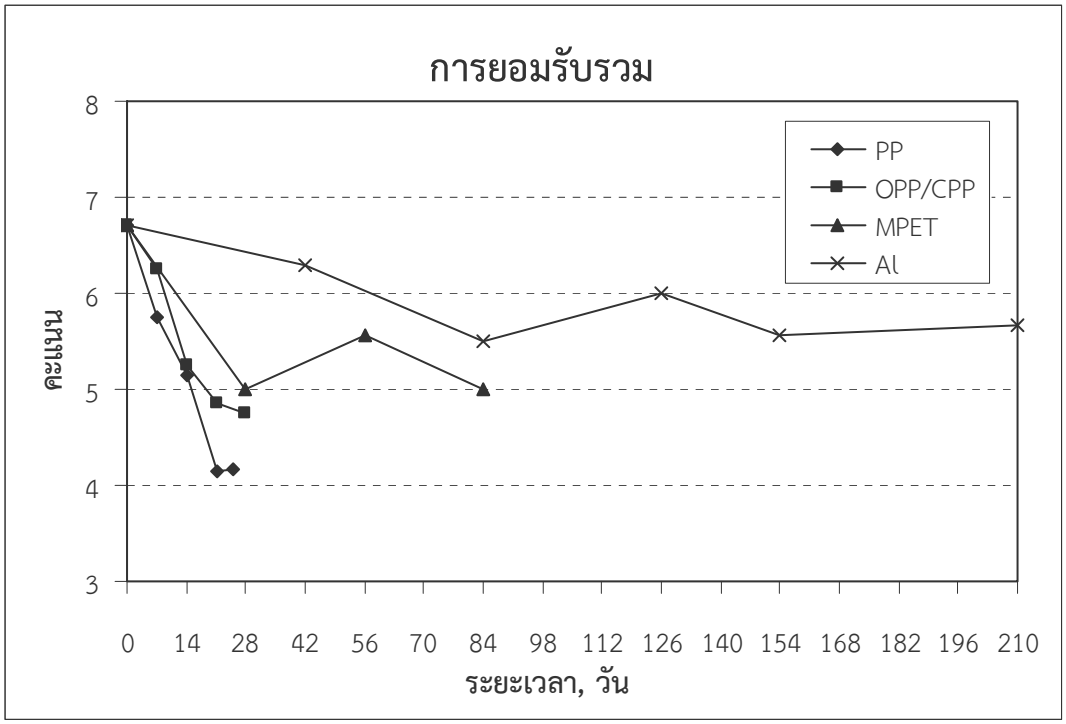
รูปที่ 36. คะแนนรสชาติของคุกกี้ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง.

รูปที่ 37 แสดงค่าคะแนนเนื้อสัมผัสของคุกกี้ ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ภายหลังดูดความชื้น ตัวอย่างคุกกี้มีความกรอบลดลง, คะแนนเนื้อสัมผัสจึงลดลงด้วย จะเห็นว่า ตัวอย่างคุกกี้บรรจุซอง PP มีคะแนนเนื้อสัมผัสลดลงรวดเร็วกว่าตัวอย่างคุกกี้ที่บรรจุซอง OPP/CPP, OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ตามลำดับ. ในขณะที่คะแนนเนื้อสัมผัสของตัวอย่างคุกกี้ที่บรรจุซอง OPP/PE/ MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักตลอดอายุการเก็บ, เนื่องจาก PET/Al/LLDPE ป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดีกว่า OPP/PE/MPET/CPP, OPP/CPP และ PP ตามลำดับ. ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจากคะแนนเนื้อสัมผัสของตัวอย่างคุกกี้บรรจุซอง PP, OPP/CPP และ OPP/PE/MPET/CPP มีอายุการเก็บนาน <14, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ, เนื่องจากได้คะแนนเนื้อสัมผัสต่ำกว่า 5. อย่างไรก็ตามตัวอย่างคุกกี้บรรจุซอง PET/Al/LLDPE ยังได้คะแนนเนื้อสัมผัสสูงกว่า 5 ภายหลังสิ้นสุดการสุ่มตัวอย่างนาน 210 วัน.



รูปที่ 37. คะแนนเนื้อสัมผัสของคุกกี้ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง.

รูปที่ 38 แสดงค่าคะแนนการยอมรับรวมของคุกกี้ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง พบว่าเช่นเดียวกับคะแนนเนื้อสัมผัส เมื่อตัวอย่างคุกกี้มีความกรอบลดลง เนื่องจากดูดความชื้น และอาจเกิดกลิ่นแปลกปลอม เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคจึงลดลงด้วย. จะเห็นว่าตัวอย่างคุกกี้ที่บรรจุในซองที่ป้องกันการซึมผ่านไอน้ำและออกซิเจนได้ดี เช่น OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE มีคะแนนการยอมรับรวมเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าตัวอย่างคุกกี้ PP และ OPP/CPP ซึ่งตัวอย่างคุกกี้บรรจุซอง PP และ OPP/CPP มีคะแนนการยอมรับรวมลดลงอย่างรวดเร็วกว่าตัวอย่างคุกกี้ที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE. ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจากคะแนนการยอมรับรวม ตัวอย่างคุกกี้บรรจุซอง PP, OPP/CPP และ OPP/PE/MPET/CPP มีอายุการเก็บนาน 18, 21 และ 28 วัน ตามลำดับ, เนื่องจากได้คะแนนการยอมรับรวมต่ำกว่า 5. อย่างไรก็ตามตัวอย่างคุกกี้บรรจุซอง PET/Al/LLDPE ยังได้คะแนนการยอมรับรวมสูงกว่า 5 ภายหลังสิ้นสุดการสุ่มตัวอย่างนาน 210 วัน.



รูปที่ 38. คะแนนการยอมรับรวมของคุกกี้ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง.

ตารางที่ 16 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของคุณภาพคุกกี้เนยบรรจุในบรรจุภัณฑ์แตกต่างกัน 4 ชนิด เก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 21 วัน, เนื่องจากคุกกี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมเสียง่ายด้วยความชื้น จึงเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ภายหลังการเก็บนาน 21 วัน ตัวอย่างคุกกี้บรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกันมีค่า a_w แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$). โดยตัวอย่างคุกกี้ที่มีค่า a_w เริ่มต้นเท่ากันประมาณ 0.2 เมื่อบรรจุซอง PP มีค่า a_w เพิ่มขึ้นมากที่สุดเท่ากับ 0.473 ซึ่งสูงกว่าค่า a_w ของตัวอย่างคุกกี้ที่บรรจุซอง OPP/CPP, OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ตามลำดับ, เนื่องจาก PP ยอมให้ไอน้ำซึมผ่านได้สูงกว่าฟิล์มชนิดอื่นๆ. อย่างไรก็ตามภายหลังการเก็บนาน 21 วัน ค่า a_w ของตัวอย่างคุกกี้บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$).

ตารางที่ 16. คุณภาพคุกกี้เนยบรรจุในบรรจุภัณฑ์ 4 ชนิด ภายหลังเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 21 วัน

บรรจุภัณฑ์	a_w	ความชื้น, %	แรงกดสูงสุด, N	TBA, มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์ต่อกก.
PP	0.473±0.005^{c}	6.21±0.29^{d}	26.47±0.19^{b}	0.720±0.010^{d}
OPP/CPP	0.321±0.016^{b}	5.38±0.01^{c}	22.22±0.37^{a}	0.645±0.010^{c}
OPP/PE/MPET/CPP	0.235±0.005^{a}	3.93±0.17^{b}	22.07±1.99^{a}	0.560±0.000^{b}
PET/Al/LLDPE	0.231±0.004^{a}	3.36±0.14^{a}	22.39±1.10^{a}	0.440±0.010^{a}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ค่าความชื้นคุกกี้บรรจุในบรรจุภัณฑ์แตกต่างกัน 4 ชนิดภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 21 วัน ดังแสดงในตารางที่ 16. เช่นเดียวกับค่า a_w เมื่อมีไอน้ำซึมผ่านเข้าบรรจุภัณฑ์, เนื่องจากคุกกี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำ คุกกี้จะดูดความชื้น จึงเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ตัวอย่างคุกกี้ที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 3 มีความชื้นเพิ่มสูงขึ้นเป็นร้อยละ 6.21 และ 5.38 เมื่อบรรจุซอง PP และ OPP/CPP ตามลำดับ, แต่มีความชื้นเพียงร้อยละ 4.1 และ 3.4 เมื่อบรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ตามลำดับ. โดยตัวอย่างคุกกี้ที่บรรจุซอง PP มีค่าความชื้นสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับตัวอย่างคุกกี้ที่บรรจุซอง OPP/CPP, OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ตามลำดับ.

ค่าแรงกดสูงสุดของคุกกี้บรรจุในบรรจุภัณฑ์แตกต่างกัน 4 ชนิด ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง นาน 21 วัน ดังแสดงในตารางที่ 16 พบว่า ภายหลังการเก็บรักษา ตัวอย่างคุกกี้รับแรงกดได้มากขึ้น โดยเมื่อเริ่มต้นเก็บรักษา ตัวอย่างคุกกี้สามารถรับแรงกดสูงสุดได้ประมาณ 21.38 นิวตัน, แต่เมื่อเก็บนานขึ้นมีแนวโน้มว่าคุกกี้สามารถรับแรงกดได้สูงขึ้น, ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องจาก เมื่อคุกกี้บรรจุซองที่ป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ไม่ดี เช่น PP คุกกี้จะดูดความชื้น, ทำให้ความกรอบลดลง, กดไม่แตก, เนื้อคุกกี้อัดแน่นเกาะติดกันจึงสามารถรับแรงกดได้สูงขึ้น. ในขณะที่คุกกี้ที่บรรจุซองที่ป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดี เช่น OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ยังมีความกรอบ จึงรับแรงกดได้น้อยกว่าตัวอย่างคุกกี้ที่บรรจุซอง PP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$).

ผลการประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสคุกกี้บรรจุในบรรจุภัณฑ์แตกต่างกัน 4 ชนิด ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 21 วัน ดังแสดงในตารางที่ 17 พบว่า ตัวอย่างคุกกี้บรรจุซอง PP ได้คะแนนเนื้อสัมผัสและการยอมรับรวมต่ำกว่า 5 และต่ำกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($p<0.05$). ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากคะแนนเนื้อสัมผัสและการยอมรับรวม คุกกี้เนยบรรจุซอง PP มีอายุการเก็บน้อยกว่า 21 วัน. นอกจากนี้แม้ว่าตัวอย่างคุกกี้บรรจุซอง OPP/CPP จะยังได้คะแนนการยอมรับรวมสูงกว่า 5 แต่ก็มีคะแนนเนื้อสัมผัสต่ำกว่า 5 ซึ่งต่ำกว่าตัวอย่างคุกกี้ที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$). ดังนั้นคุกกี้บรรจุซอง OPP/CPP น่าจะมีอายุการเก็บใกล้เคียง 21 วัน และต่ำกว่าคุกกี้บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$).

ตารางที่ 17. คุณภาพด้านประสาทสัมผัสคุกกี้เนยบรรจุในบรรจุภัณฑ์ 4 ชนิด ภายหลังเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 21 วัน

บรรจุภัณฑ์	คุณภาพ				
	ลักษณะปรากฏ	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	การยอมรับรวม
PP	6.40 ± 1.13^{a}	5.43 ± 0.80^{a}	5.25 ± 0.78^{a}	1.40 ± 0.52^{a}	4.00 ± 1.33^{a}
OPP/CPP	6.51 ± 1.10^{a}	5.50 ± 0.41^{a}	6.50 ± 0.47^{b}	3.60 ± 1.07^{b}	5.20 ± 1.03^{b}
OPP/PE/MPET/CPP	6.60 ± 1.59^{a}	6.40 ± 0.26^{b}	6.57 ± 0.93^{b}	6.60 ± 1.58^{c}	6.50 ± 0.71^{c}
PET/Al/LLDPE	7.00 ± 0.71^{a}	7.00 ± 0.45^{b}	6.62 ± 0.56^{b}	7.20 ± 1.23^{c}	7.00 ± 0.82^{c}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

อายุการเก็บคุกกี้เนย

ตารางที่ 18 เปรียบเทียบอายุการเก็บคุกกี้เนยบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน 4 ชนิด ภายหลังเก็บที่อุณหภูมิห้อง เมื่อพิจารณาจากคุณภาพทางกายภาพ, เคมี และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า เนื่องจากคุกกี้เนยเป็นผลิตภัณฑ์ไวความชื้น เมื่อบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้แตกต่างกัน ส่งผลให้คุกกี้เนยมีอายุการเก็บแตกต่างกัน. นอกจากนี้เนื่องจากคุกกี้เนยอาจเกิดการเสื่อมเสียอื่นๆ เช่น การเกิดกลิ่นแปลกปลอม เนื่องจากมีไขมันสูง เป็นต้น. ดังนั้นนอกจากต้องสามารถป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดีแล้ว บรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนและป้องกันแสงได้ดี จะช่วยยืดอายุผลิตภัณฑ์ได้นานขึ้นด้วย. โดยตัวอย่างคุกกี้เนยที่บรรจุซอง PET/Al/LLDPE มีอายุการเก็บนานกว่าตัวอย่างคุกกี้เนยที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP, OPP/CPP และ PP ตามลำดับ, เนื่องจาก PET/Al/LLDPE สามารถป้องกันการซึมผ่านไอน้ำและออกซิเจน ตลอดจนป้องกันแสงได้ดีกว่า OPP/PE/MPET/CPP, OPP/CPP และ PP ตามลำดับ.

ตารางที่ 18. อายุการเก็บคุกกี้เนยภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง

บรรจุภัณฑ์	อายุการเก็บ, วัน
PP	18
OPP/CPP	21
OPP/PE/MPET/CPP	28
PET/Al/LLDPE	>210

3.2.1.4 ครูตอง

ตารางที่ 19 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณครูตอง พบว่า ครูตองมีความชื้นประมาณร้อยละ 2.90 เนื่องจากมีความชื้นต่ำมาก จึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมเสียได้ง่ายด้วยความชื้น. ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มที่จะดูดความชื้นอย่างรวดเร็ว, ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบลดลงไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค. นอกจากนี้แม้ว่าจะใช้การอบแทนการทอด แต่ครูตองก็มีไขมันเป็นส่วนประกอบในปริมาณค่อนข้างสูงประมาณร้อยละ 23.21 รองจากส่วนประกอบหลักคือคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 58.56 ทำให้อาจเกิดการเสื่อมเสีย, เนื่องจากเกิดกลิ่นแปลกปลอมได้เช่นกันโดยเฉพาะหากเก็บที่อุณหภูมิสูงหรือสัมผัสโดยตรงกับแสง.

ตารางที่ 19. องค์ประกอบโดยประมาณ (proximate analysis) ครูตอง

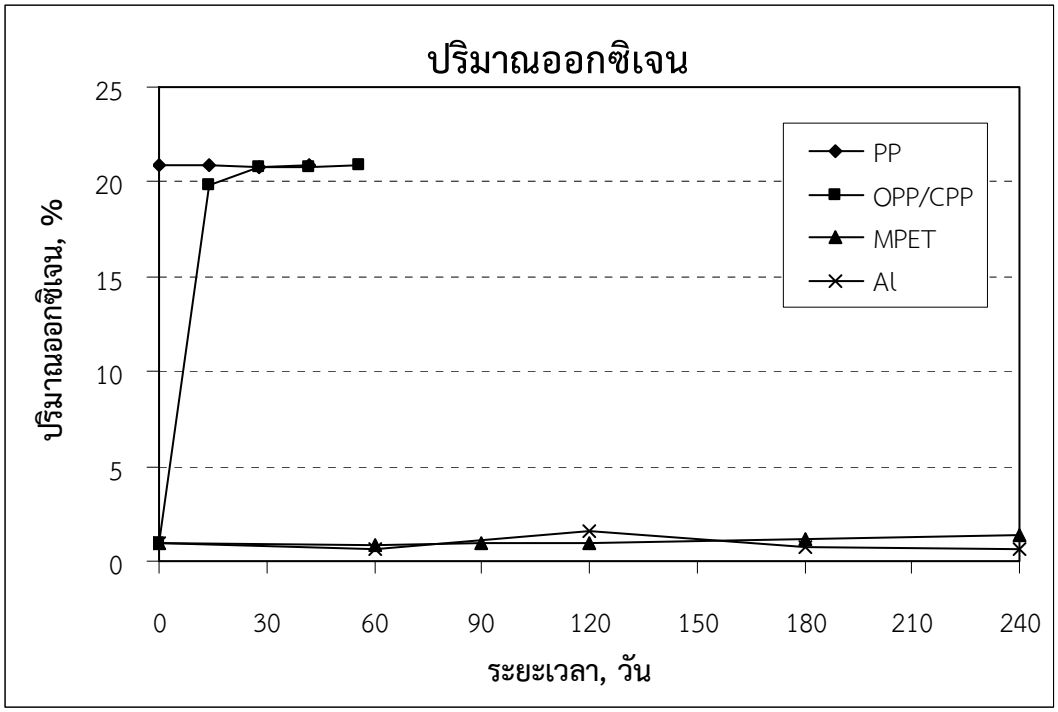
ส่วนประกอบ	ร้อยละ
ความชื้น	2.90
คาร์โบไฮเดรต	58.56
โปรตีน	12.27
ไขมัน	23.21
เถ้า	3.06

ผลการประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ ภายหลังบรรจุและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้ผลดังต่อไปนี้ :

1. ปริมาณก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์

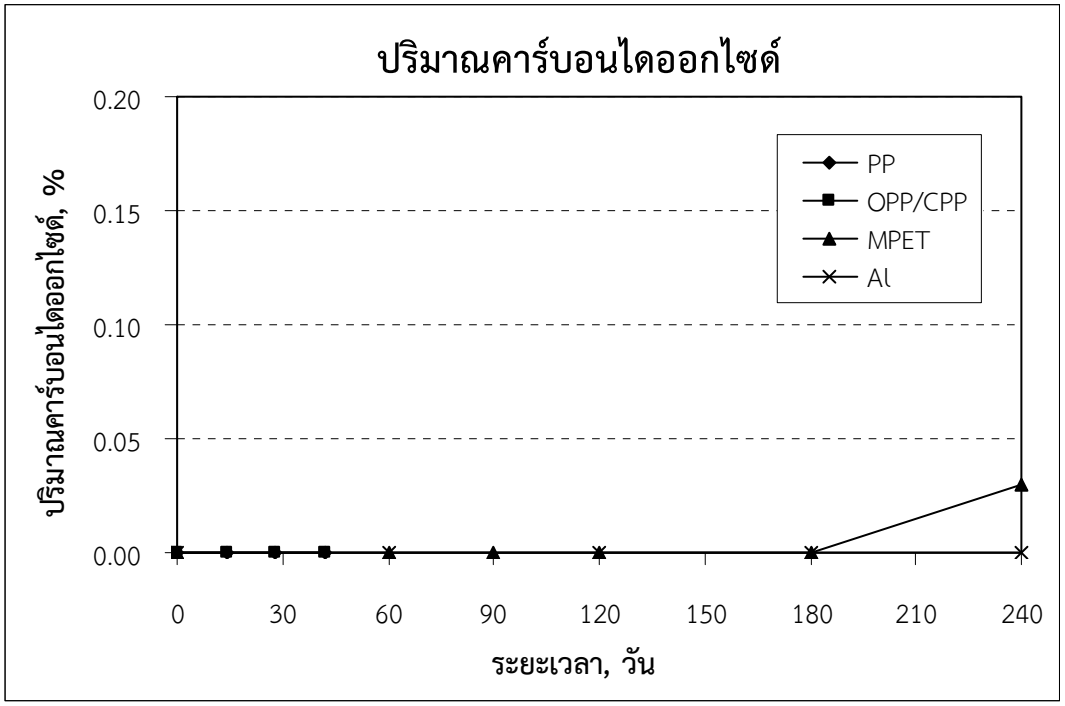
รูปที่ 39 แสดงปริมาณออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ครูตองภายหลังบรรจุและเก็บรักษา พบว่า สำหรับการบรรจุภายใต้ก๊าซไนโตรเจน ปริมาณออกซิเจนภายในซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยภายหลังการบรรจุ แม้ว่าจะเก็บนานมากถึง 8 เดือน.

อย่างไรก็ตามปริมาณออกซิเจนภายในซอง OPP/CPP เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายในสองสัปดาห์แรกภายหลังการบรรจุ จนใกล้เคียงกับปริมาณออกซิเจนภายในบรรยากาศที่มีประมาณร้อยละ 21 (Parry 1993), เนื่องจาก OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE สามารถป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนได้ดีกว่า OPP/CPP ดังแสดงในตารางที่ 1 (การซึมผ่านออกซิเจนของ OPP/CPP, OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ที่อุณหภูมิ 23ซ. และความชื้นสัมพัทธ์ 0% เท่ากับ 59,892, 81.1 และ 6.4 ลบ.ซม.-ไมครอน/(ตร.ม.)(วัน)(บรรยากาศ) ตามลำดับ), ทำให้ออกซิเจนจากภายนอกที่มีความเข้มข้นสูงกว่า ไม่สามารถซึมผ่านเข้าภายในซองได้รวดเร็วเท่ากับซอง OPP/CPP. ในขณะที่ปริมาณออกซิเจนภายในซอง PP ที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ มีปริมาณออกซิเจนใกล้เคียงกับร้อยละ 21 ตลอดอายุการเก็บรักษา, เนื่องจาก PP ป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนได้ไม่ดี (การซึมผ่านออกซิเจนของ PP ที่อุณหภูมิ 23°ซ. และความชื้นสัมพัทธ์ 0% = 93,647 ลบ.ซม.-ไมครอน/(ตร.ม.)(วัน)(บรรยากาศ)), ทำให้มีการซึมผ่านหรือแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างภายในและภายนอกบรรจุภัณฑ์อย่างรวดเร็ว.



รูปที่ 39. ปริมาณออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ครูตอง.

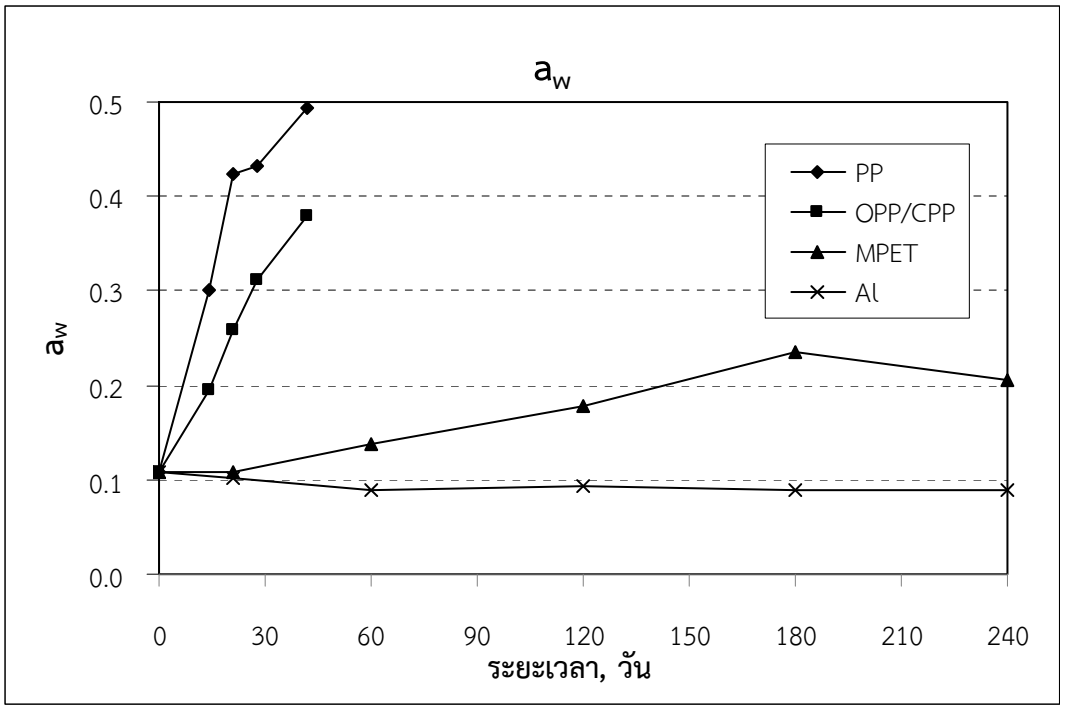
สำหรับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ครูตองภายหลังบรรจุและเก็บรักษา พบว่ามีปริมาณต่ำมาก (< ร้อยละ 0.01) และมีปริมาณใกล้เคียงกันในทุกบรรจุภัณฑ์ทั้งการบรรจุภายใต้บรรยากาศปกติและภายใต้ก๊าซไนโตรเจน ดังแสดงในรูปที่ 40, เนื่องจากในบรรยากาศปกติมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำมากประมาณร้อยละ 0.04 เท่านั้น (Parry 1993).



รูปที่ 40. ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ครูตอง.

2. ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)

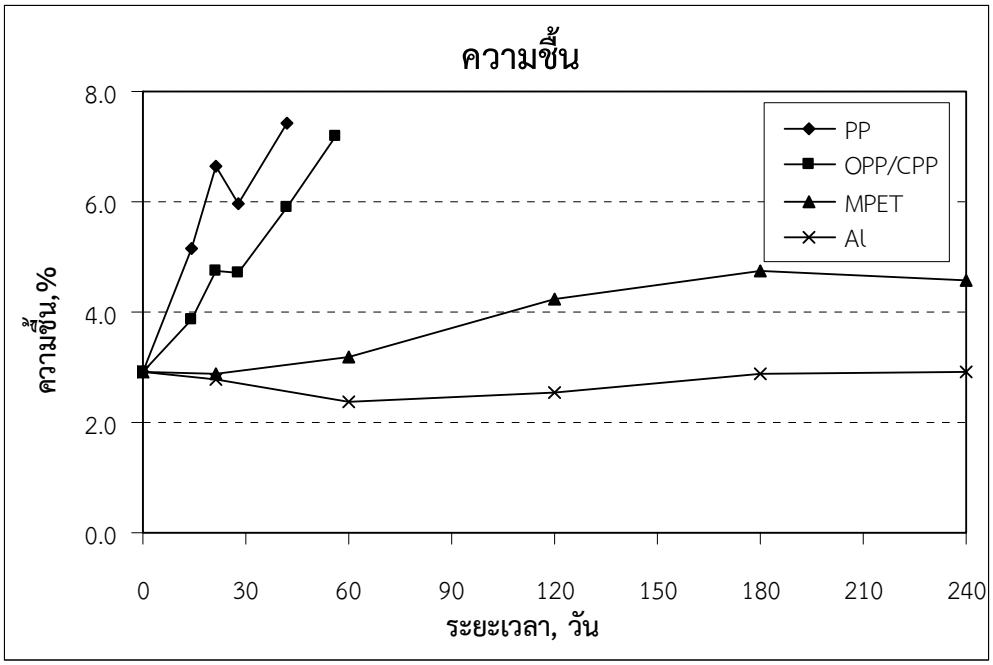
รูปที่ 41 แสดงปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของตัวอย่างครูตองภายหลังบรรจุและเก็บรักษา พบว่า ภายหลังการเก็บรักษา ตัวอย่างครูตองซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมเสียง่ายด้วยความชื้น มีค่า a_w เพิ่มสูงขึ้น. โดยตัวอย่างครูตองที่บรรจุซอง PP และ OPP/CPP มีค่า a_w เพิ่มสูงขึ้นรวดเร็วกว่าตัวอย่างครูตองที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE โดยเฉพาะในช่วงหนึ่งเดือนแรกภายหลังการบรรจุ, เนื่องจาก OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE สามารถป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดีกว่า PP และ OPP/CPP ดังแสดงในตารางที่ 1. การซึมผ่านไอน้ำที่อุณหภูมิ 38°ซ. และความชื้นสัมพัทธ์ 90% ของ PP, OPP/CPP, OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE มีค่าเท่ากับ 240, 159, 13.4 และ 5.4 กรัม-ไมครอน/(ตร.ม.)(วัน) ตามลำดับ, ทำให้มีปริมาณไอน้ำซึมผ่านเข้าไปในซองได้น้อยกว่า.



รูปที่ 41. ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของตัวอย่างครูตอง.

3. ความชื้น (Moisture content)

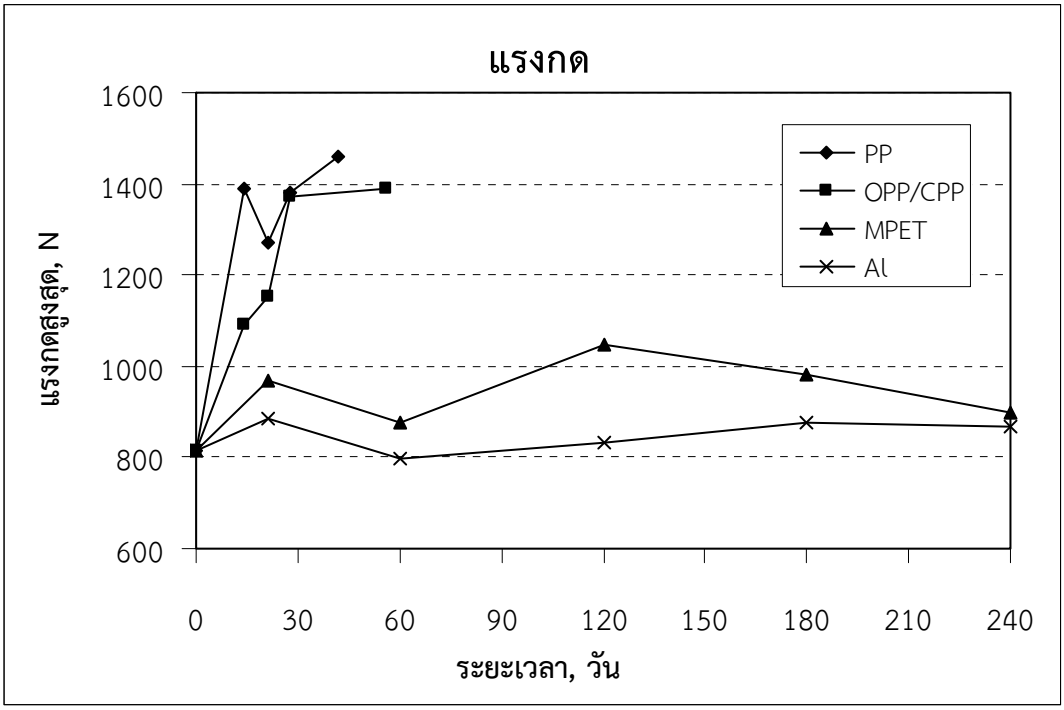
รูปที่ 42 แสดงความชื้นของตัวอย่างครูตองภายหลังบรรจุและเก็บรักษา พบว่า ภายหลังการเก็บรักษา เช่นเดียวกับค่าปริมาณน้ำอิสระตัวอย่างครูตองซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมเสียง่ายด้วยความชื้น มีค่าความชื้นเพิ่มสูงขึ้น. โดยตัวอย่างครูตองที่บรรจุซอง PP และ OPP/CPP มีค่าความชื้นเพิ่มสูงขึ้นรวดเร็วกว่าตัวอย่างครูตองที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE โดยเฉพาะในช่วงหนึ่งเดือนแรกภายหลังการบรรจุ, เนื่องจาก OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE สามารถป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดีกว่า PP และ OPP/CPP ดังแสดงในตารางที่ 1. การซึมผ่านไอน้ำที่อุณหภูมิ 38°ซ. และความชื้นสัมพัทธ์ 90% ของ PP, OPP/CPP, OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE มีค่าเท่ากับ 240, 159, 13.4 และ 5.4 กรัม-ไมครอน/(ตร.ม.)(วัน) ตามลำดับ, ทำให้มีปริมาณไอน้ำซึมผ่านเข้าไปในซองได้น้อยกว่า. อย่างไรก็ตามการลดลงของความชื้นครูตองที่บรรจุซอง PP น่าจะเกิดจากความแปรปรวนของตัวอย่าง.



รูปที่ 42. ความชื้นของตัวอย่างครูตอง.

4. เนื้อสัมผัส

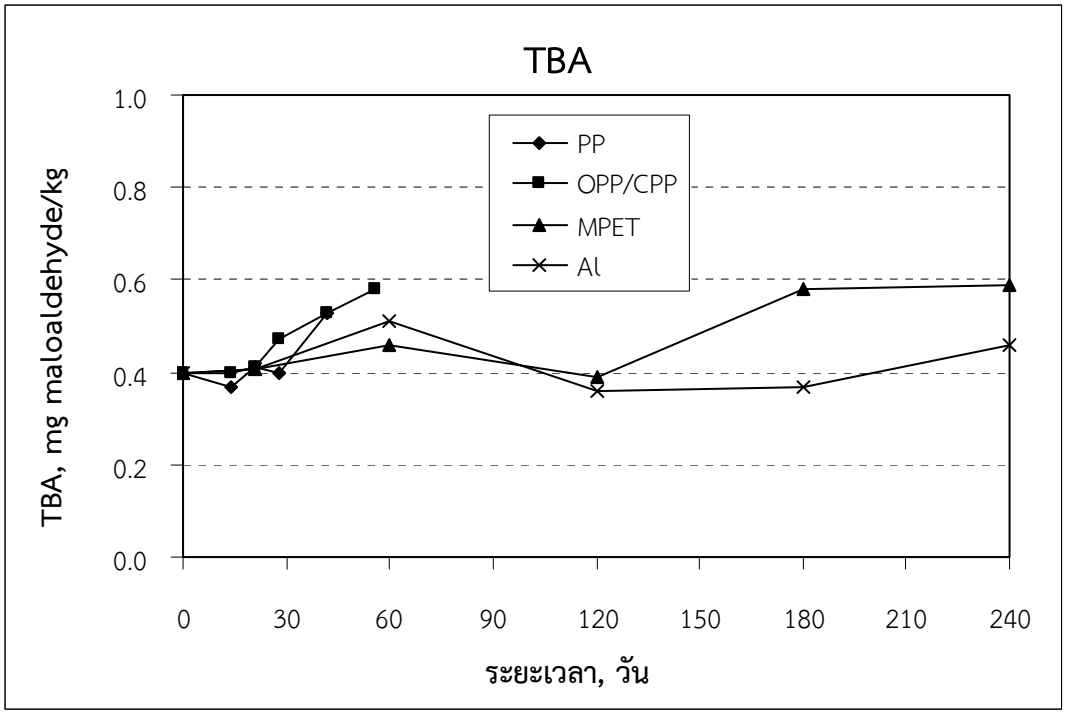
โดยทั่วไปภายหลังการเก็บรักษาครูตองที่มีความกรอบ เนื่องจากมีความชื้นต่ำ จะดูดความชื้น ทำให้ความกรอบลดลง, แข็งหรือเหนียวขึ้น จึงจำเป็นต้องใช้แรงกดหรือตัดให้แยกจากกันสูงขึ้น. ดังแสดงในรูปที่ 43 แสดงค่าแรงกดสูงสุดที่ใช้ในการตัดครูตอง ภายหลังบรรจุและเก็บรักษา พบว่า เมื่อเก็บตัวอย่างครูตองไว้นานขึ้น มีแนวโน้มต้องใช้แรงมากขึ้นในการกดให้ครูตองแตกออกจากกัน, เนื่องจากครูตองมีความกรอบลดลง โดยเฉพาะตัวอย่างครูตองที่บรรจุในซอง PP และ OPP/CPP, เนื่องจากทั้ง PP และ OPP/CPP ยอมให้ไอน้ำซึมผ่านจากภายนอกเข้าไปภายในซองได้สูงกว่า, ทำให้ตัวอย่างครูตองดูดความชื้นเร็วกว่า จึงสูญเสียความกรอบเร็วกว่าตัวอย่างครูตองที่บรรจุในซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE. อย่างไรก็ตามเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของชิ้นตัวอย่าง และเป็นการทดสอบที่ทำลายตัวอย่าง ไม่สามารถใช้ตัวอย่างชิ้นเดียวกันมาทดสอบได้, ทำให้พบว่ามีการลดลงของค่าแรงกดเมื่อเก็บตัวอย่างไว้ด้วย.



รูปที่ 43. แรงกดสูงสุดที่ใช้ในการตัดตัวอย่างครูตอง.

5. กรดไทโอบาร์บิทูริกหรือ Thiobarbituric acid (TBA) value

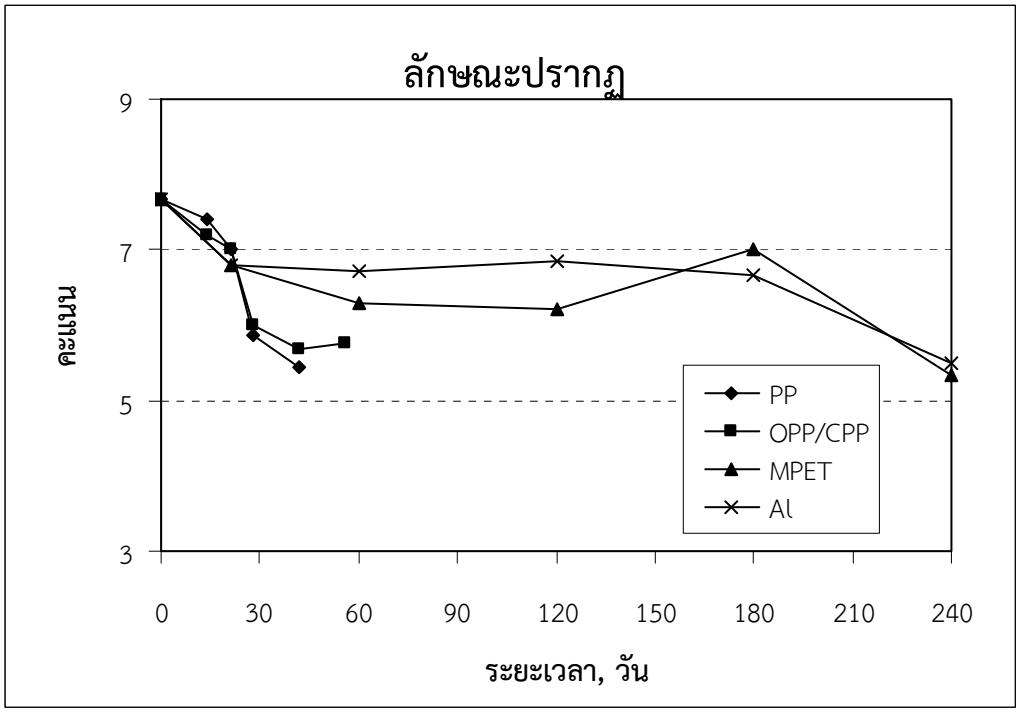
รูปที่ 44 แสดงค่า TBA ซึ่งแสดงถึงความหืนหรือกลิ่นแปลกปลอมที่ไม่ยอมรับ ในหน่วยปริมาณของมาโลนัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม. ภายหลังบรรจุและเก็บรักษา พบว่า ค่า TBA ของตัวอย่างครูตองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นภายหลังการเก็บรักษา, เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันหรือน้ำมันที่เป็นส่วนประกอบ. โดยตัวอย่างครูตองมีปริมาณไขมันอยู่ประมาณร้อยละ 23.21 ดังแสดงในตารางที่ 19. โดยเมื่อเก็บนาน 2 เดือน ตัวอย่างครูตองที่บรรจุในซอง OPP/CPP มีค่า TBA สูงกว่าตัวอย่างที่บรรจุซอง OPP/PE/ MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE และตัวอย่างครูตองที่บรรจุในซอง PET/ Al/LLDPE เมื่อเก็บไว้นาน 8 เดือน มีค่า TBA น้อยกว่าตัวอย่างครูตองที่บรรจุซอง OPP/PE/ MPET/CPP, เนื่องจาก PET/Al/LLDPE สามารถป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนและป้องกันแสงที่เป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดกลิ่นหืนได้ดีกว่า OPP/PE/MPET/CPP และ OPP/CPP ตามลำดับ.



รูปที่ 44. ค่า TBA ของครูตอง.

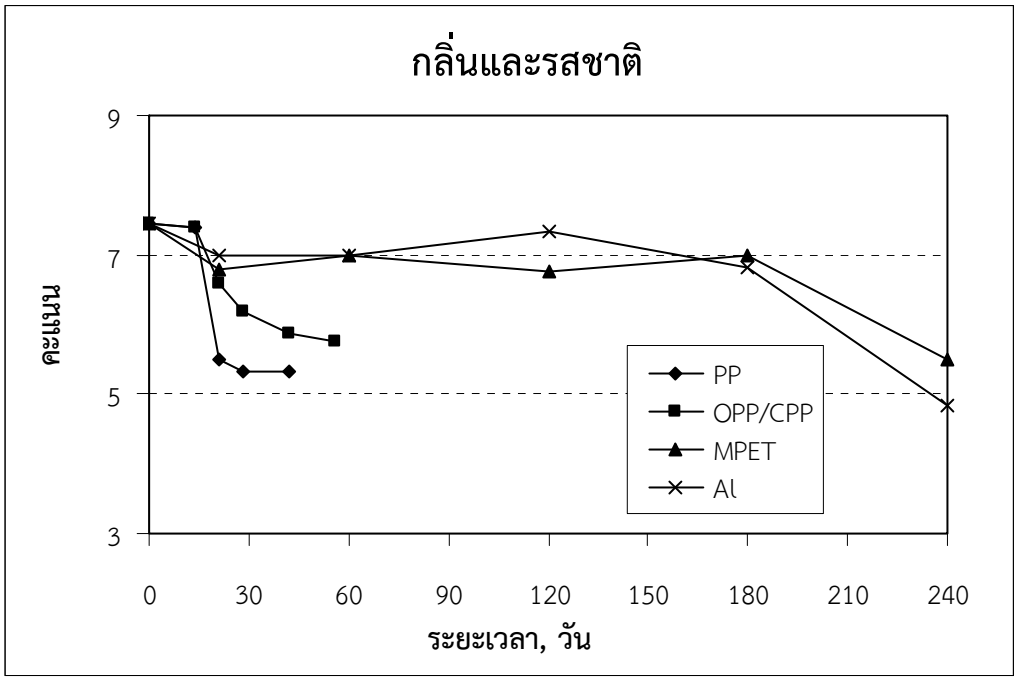
6. การประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัส

รูปที่ 45-48 แสดงผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ลักษณะปรากฏ, กลิ่นและรสชาติ, เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมของครูตองภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง พบว่าครูตองมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏภายหลังการเก็บ ได้แก่ มีการเกาะตัวของผงเครื่องเทศที่ชิ้นครูตอง ซึ่งสังเกตเห็นค่อนข้างยาก, เนื่องจากพื้นผิวของชิ้นขนมปังไม่สม่ำเสมอ และผงเครื่องเทศที่ใช้เป็นส่วนประกอบมีสีไม่สม่ำเสมอ, จึงค่อนข้างใช้ระยะเวลานานที่จะสังเกตเห็น (มากว่า 2 เดือน). ในขณะที่การดูดความชื้น ทำให้ครูตองมีความกรอบลดลง, การแตกหักเสียหายก็ลดลงด้วย. ดังนั้นจะเห็นว่า ตัวอย่างครูตองที่บรรจุในซองหลายชั้นทุกตัวอย่างได้คะแนนลักษณะปรากฏลดลงเพียงเล็กน้อย. โดยตัวอย่างครูตองที่บรรจุในซอง PP และ OPP/CPP เก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 42 และ 60 วัน ตามลำดับ และตัวอย่างครูตองที่บรรจุในซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE นานประมาณ 8 เดือน ยังได้คะแนนลักษณะปรากฏไม่ต่ำกว่า 5, ซึ่งถือว่ายังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้โดยผู้บริโภค ดังแสดงในรูปที่ 45. อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของคะแนนลักษณะปรากฏ อาจเกิดเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของตัวอย่าง, ตัวอย่างแต่ละชิ้นมีผงเครื่องเทศติดมากน้อยไม่เท่ากัน, ทำให้มีสีแตกต่างกันบ้าง เล็กน้อย, เนื่องจากไม่ได้ใช้ตัวอย่างชิ้นเดียวกันในการทดสอบ.



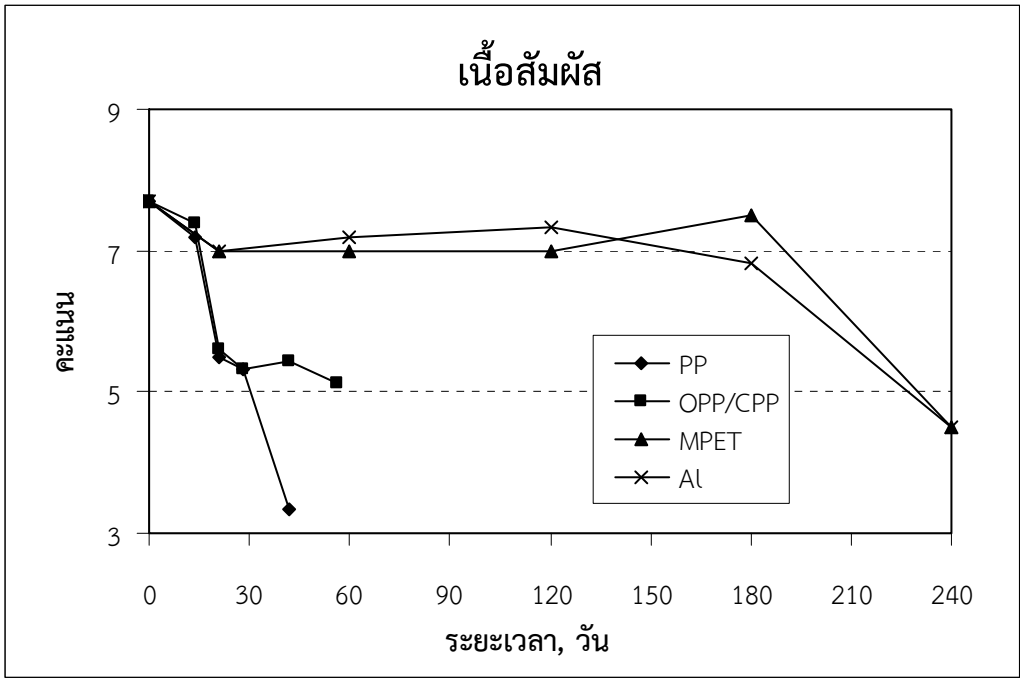
รูปที่ 45. คะแนนลักษณะปรากฏของครูตองภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง.

รูปที่ 46 แสดงค่าคะแนนกลิ่นและรสชาติของครูตองภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง พบว่าภายหลังเก็บรักษา กลิ่นหอมของเครื่องเทศและส่วนผสมอื่นๆ จะลดลง และครูตองอาจจะมีกลิ่นรสแปลกปลอมเกิดขึ้น, โดยเฉพาะครูตองบรรจุซอง PP และ OPP/CPP มีค่าคะแนนกลิ่นและรสชาติลดลงอย่างรวดเร็วกว่าครูตองที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE, เนื่องจากฟิล์มทั้งสองชนิดนี้สามารถป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนที่จะเข้ามาทำปฏิกิริยากับครูตอง, ทำให้เกิดกลิ่นแปลกปลอมและป้องกันการซึมผ่านขององค์ประกอบของกลิ่นที่เป็นสารระเหยง่ายไปสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกได้ดีกว่า PP และ OPP/CPP. อย่างไรก็ตามตัวอย่างครูตองทุกตัวอย่าง ยังได้คะแนนกลิ่นและรสชาติไม่ต่ำกว่า 5 ซึ่งถือว่ายังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้โดยผู้บริโภค ภายหลังสิ้นสุดการเก็บตัวอย่าง.



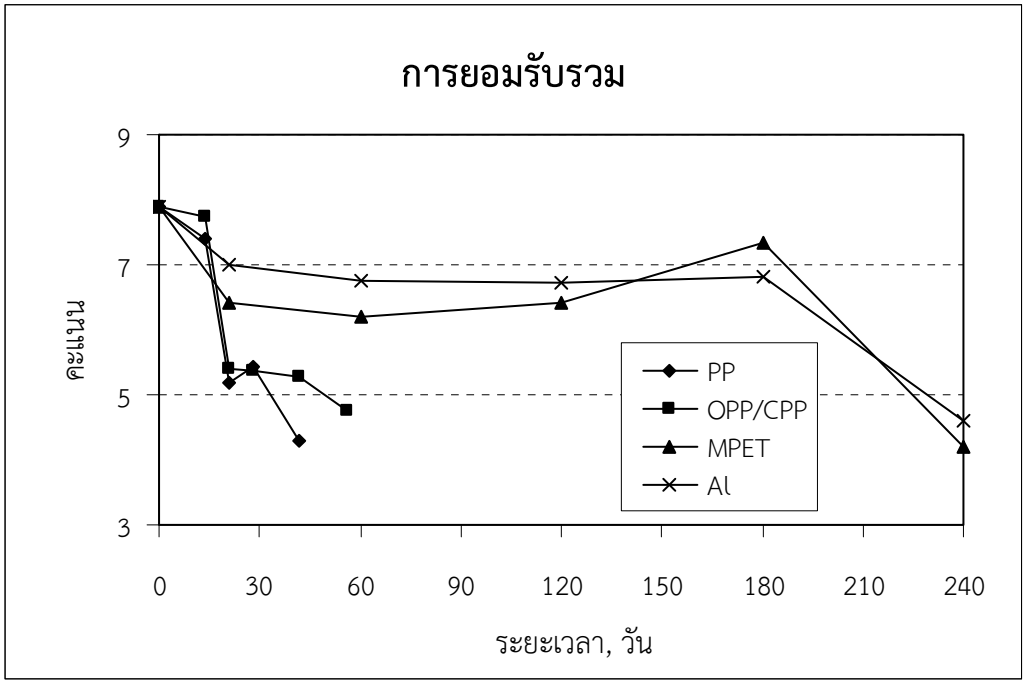
รูปที่ 46. คะแนนกลิ่นและรสชาติของครูตองภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง.

รูปที่ 47 แสดงค่าคะแนนเนื้อสัมผัสของครูตอง ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง พบว่าภายหลังดูดความชื้น ตัวอย่างครูตองมีความกรอบลดลง, คะแนนเนื้อสัมผัสจึงลดลงด้วย. ทั้งนี้ตัวอย่างครูตองที่บรรจุในซองที่ป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดีกว่า เช่น OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE มีคะแนนเนื้อสัมผัสไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แม้จะเก็บตัวอย่างไว้นาน 6 เดือน, แต่ตัวอย่างครูตองบรรจุซอง PP และ OPP/CPP ภายหลังการเก็บนานไม่เกิน 2 เดือน มีคะแนนเนื้อสัมผัสลดลงอย่างรวดเร็ว. โดยตัวอย่างครูตองบรรจุซอง PP มีคะแนนเนื้อสัมผัสลดลงเร็วกว่าตัวอย่างครูตองบรรจุซอง OPP/CPP, เนื่องจาก OPP/CPP ป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดีกว่า PP นั่นเอง. นอกจากนี้ตัวอย่างครูตองบรรจุ PP ได้คะแนนเนื้อสัมผัสน้อยกว่า 5 เมื่อเก็บนาน 34 วัน, ในขณะที่ตัวอย่างครูตองบรรจุซอง OPP/CPP ได้คะแนนเนื้อสัมผัสต่ำกว่า 5 เมื่อเก็บนาน 56 วัน.



รูปที่ 47. คะแนนเนื้อสัมผัสของครูตองภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง.

รูปที่ 48 แสดงค่าคะแนนการยอมรับรวมของครูตอง ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง พบว่าเช่นเดียวกับคะแนนเนื้อสัมผัส เมื่อตัวอย่างครูตองมีความกรอบลดลง เนื่องจากดูดความชื้น, กลิ่นหอมและความอร่อยลดลง, ทำให้คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคลดลงด้วย. จะเห็นว่า ตัวอย่างครูตองที่บรรจุในซองที่ป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดีกว่า เช่น OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE มีคะแนนการยอมรับรวมไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แม้จะเก็บตัวอย่างไว้นาน 6 เดือน. ในขณะที่ตัวอย่างครูตองบรรจุซอง PP และ OPP/CPP ภายหลังการเก็บนาน 2 เดือน มีคะแนนการยอมรับรวมลดลงอย่างรวดเร็ว. โดยตัวอย่างครูตองบรรจุซอง PP, OPP/CPP, OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ได้คะแนนการยอมรับรวมน้อยกว่า 5 เมื่อเก็บนานน้อยกว่า 42 วัน, 56 วัน, 8 เดือน และ 8 เดือน ตามลำดับ. จึงอาจกล่าวได้ว่าตัวอย่างครูตองบรรจุซอง PP, OPP/CPP, OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE มีอายุการเก็บน้อยกว่า 42 วัน (ประมาณ 34 วัน), 50 วัน, 223 วัน และ 231 วัน ตามลำดับ.



รูปที่ 48. คะแนนการยอมรับรวมของครูตองภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง.

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติคุณภาพครูตองบรรจุในบรรจุภัณฑ์แตกต่างกัน 4 ชนิด เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง ดังแสดงในตารางที่ 20. เนื่องจากครูตองเป็นผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมเสียง่ายด้วยความชื้น จึงเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ภายหลังการเก็บนาน 21 วัน ตัวอย่างครูตองบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกันมีค่า a_w แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$). โดยตัวอย่างครูตองมีค่า a_w เริ่มต้นเท่ากันที่ค่าเฉลี่ยประมาณ 0.109 เมื่อบรรจุซอง PP มีค่า a_w เพิ่มขึ้นมากที่สุดเท่ากับ 0.424 ซึ่งสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเทียบกับค่า a_w ของตัวอย่างครูตองที่บรรจุซอง OPP/CPP, OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ตามลำดับ, เนื่องจาก PP ยอมให้ไอน้ำซึมผ่านได้สูงกว่าฟิล์มชนิดอื่นๆ. อย่างไรก็ตามไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ระหว่างค่า a_w ของตัวอย่างครูตองบรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ภายหลังเก็บนาน 21 วันที่อุณหภูมิห้อง.

ตารางที่ 20. คุณภาพครูตองบรรจุในบรรจุภัณฑ์ 4 ชนิด ภายหลังเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 21 วัน

บรรจุภัณฑ์	คุณภาพ			
	a_w	ความชื้น, %	แรงกดสูงสุด, N	TBA, มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์ต่อ กก.
PP	0.424±0.013[c]	6.62±0.22[c]	1,270.55±60.43[b]	0.410±0.010[a]
OPP/CPP	0.258±0.007[b]	4.74±0.04[b]	1,153.09±35.56[b]	0.410±0.010[a]
OPP/PE/MPET/CPP	0.109±0.002[a]	2.89±0.02[a]	968.00±59.67[a]	0.407±0.000[a]
PET/Al/LLDPE	0.101±0.003[a]	2.79±0.08[a]	884.26±55.26[a]	0.405±0.040[a]

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ค่าความชื้นครูตองบรรจุในบรรจุภัณฑ์แตกต่างกัน 4 ชนิด ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 21 วัน แสดงดังตารางที่ 20 เช่นเดียวกับค่า a_w เมื่อมีไอน้ำซึมผ่านเข้าบรรจุภัณฑ์, เนื่องจากครูตองเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำ ครูตองจะดูดความชื้น ตัวอย่างครูตองบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกันมีค่าความชื้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$). โดยตัวอย่างครูตองที่มีค่าความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 3 เมื่อเก็บนาน 21 วัน มีความชื้นเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นร้อยละ 6.62 และ 4.74 เมื่อบรรจุซอง PP และ OPP/CPP ตามลำดับ, แต่มีความชื้นประมาณร้อยละ 2.89 และ 2.79 เมื่อบรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ตามลำดับ. ทั้งนี้ตัวอย่างครูตองบรรจุซอง PP มีค่าความชื้นสูงกว่าตัวอย่างครูตองบรรจุซอง OPP/CPP และ OPP/PE/MPET/CPP กับ PET/Al/LLDPE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$). ในขณะที่ภายหลังเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 21 วัน ยังสังเกตไม่เห็นความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ระหว่างค่าความชื้นของครูตองที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE, เนื่องจากฟิล์มทั้งสองชนิดนี้ป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ใกล้เคียงกัน.

ค่าแรงกดสูงสุดของครูตองบรรจุในบรรจุภัณฑ์แตกต่างกัน 4 ชนิด ภายหลังเก็บที่อุณหภูมิห้อง นาน 21 วัน แสดงดังตารางที่ 20 พบว่า ภายหลังการเก็บ ถ้าครูตองบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่ป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ไม่ดี ครูตองจะดูดความชื้น ทำให้ความกรอบลดลง ทำให้รับแรงกดได้สูงขึ้น. ดังนั้นตัวอย่างครูตองบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่ป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ไม่ดี เช่น PP และ OPP/CPP สามารถรับแรงกดได้สูงกว่าตัวอย่างครูตองที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่ป้องกันการสกัดกั้นได้ดี เช่น OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$).

อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ระหว่างค่า TBA ที่ได้จากครูตองที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์แตกต่างกัน ภายหลังเก็บนาน 21 วัน ดังแสดงในตารางที่ 20, ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากภายหลังการเก็บในระยะเวลาไม่นานนักที่อุณหภูมิห้อง ครูตองเกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากความชื้นก่อนการเกิดกลิ่นหืน.

ผลการประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสครูตองบรรจุในบรรจุภัณฑ์แตกต่างกัน 4 ชนิด ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 21 วัน แสดงดังตารางที่ 21 พบว่า ผู้บริโภคยังยอมรับตัวอย่างครูตองที่นำมาทดสอบทุกตัวอย่าง โดยตัวอย่างครูตองทุกตัวอย่างมีคะแนนลักษณะปรากฏไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เพราะสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ยากเนื่องจากผิว, สีและเครื่องเทศบนตัวอย่างครูตอง. อย่างไรก็ตามครูตองบรรจุซอง PP ได้คะแนนกลิ่นและรสชาติต่ำกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$). ในขณะที่ตัวอย่างครูตองบรรจุซอง PP และ OPP/CPP ได้คะแนนเนื้อสัมผัสต่ำกว่าตัวอย่างครูตองบรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และเมื่อพิจารณาจากคะแนนการยอมรับรวมพบว่าภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 21 วัน ตัวอย่างครูตองบรรจุซอง PET/Al/LLDPE ได้คะแนนการยอมรับรวมสูงกว่าตัวอย่างครูตองบรรจุซอง PP และ OPP/CPP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$). ดังนั้นน่าจะคาดได้ว่า ตัวอย่างครูตองบรรจุซอง PET/Al/LLDPE มีอายุการเก็บนานกว่าตัวอย่างครูตองบรรจุซอง PP และ OPP/CPP.

ตารางที่ 21. คุณภาพด้านประสาทสัมผัสครูตองบรรจุในบรรจุภัณฑ์ 4 ชนิด ภายหลังเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 21 วัน

บรรจุภัณฑ์	คุณภาพ			
	ลักษณะปรากฏ	กลิ่นและรสชาติ	เนื้อสัมผัส	การยอมรับรวม
PP	7.00±0.67[a]	5.50±1.07[a]	5.50±1.23[a]	5.25±1.13[a]
OPP/CPP	7.00±0.67[a]	6.60±0.84[b]	5.60±1.26[a]	5.40±1.43[ab]
OPP/PE/MPET/CPP	6.80±0.42[a]	6.80±0.79[b]	7.00±0.94[b]	6.40±1.07[bc]
PET/Al/LLDPE	6.80±1.03[a]	7.00±0.67[b]	7.00±0.67[b]	7.00±0.67[c]

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

อายุการเก็บครูตอง

ตารางที่ 22 เปรียบเทียบอายุการเก็บครูตองบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน 4 ชนิด ภายหลังเก็บที่อุณหภูมิห้อง เมื่อพิจารณาจากคุณภาพทางกายภาพ, เคมี และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า เนื่องจากครูตองเป็นผลิตภัณฑ์ไวความชื้น เมื่อบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้แตกต่างกัน ส่งผลให้ครูตองมีอายุการเก็บแตกต่างกัน. นอกจากนี้เนื่องจากครูตองอาจเกิดการเสื่อมเสียอื่นๆ เช่น เครื่องเทศเปลี่ยนสีหรือเกาะตัว และการเกิดกลิ่นแปลกปลอม เป็นต้น. ดังนั้นนอกจากต้องสามารถป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดีแล้ว บรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนและป้องกันแสงได้ดี จะช่วยยืดอายุผลิตภัณฑ์ได้นานขึ้นด้วย. ดังนั้นตัวอย่างครูตองที่บรรจุซอง PET/Al/LLDPE มีอายุการเก็บนานกว่าตัวอย่างครูตองที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP, OPP/CPP และ PP ตามลำดับ, เนื่องจาก PET/Al/LLDPE ป้องกันการซึมผ่านไอน้ำและออกซิเจน ตลอดจนป้องกันแสงได้ดีกว่า OPP/PE/MPET/CPP, OPP/CPP และ PP ตามลำดับ.

ตารางที่ 22. อายุการเก็บครูตองภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง

บรรจุภัณฑ์	อายุการเก็บ, วัน
PP	34
OPP/CPP	50
OPP/PE/MPET/CPP	223
PET/Al/LLDPE	231

3.2.1.5 บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป

ตารางที่ 23 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป พบว่า บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปมีความชื้นประมาณร้อยละ 1.75 เนื่องจากมีความชื้นต่ำ จึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมเสียได้ง่ายด้วยความชื้น. ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มที่จะดูดความชื้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบลดลง, ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และอีกทั้งบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปยังผ่านกรรมวิธีการทอดจึงทำให้มีไขมันเป็นส่วนประกอบในปริมาณประมาณร้อยละ 10.68 รองจากส่วนประกอบหลักคือ คาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 76.08 ทำให้อาจเกิดการเสื่อมเสีย, เนื่องจากเกิดกลิ่นหืนได้เช่นกัน โดยเฉพาะหากเก็บที่อุณหภูมิสูงหรือสัมผัสโดยตรงกับแสง.

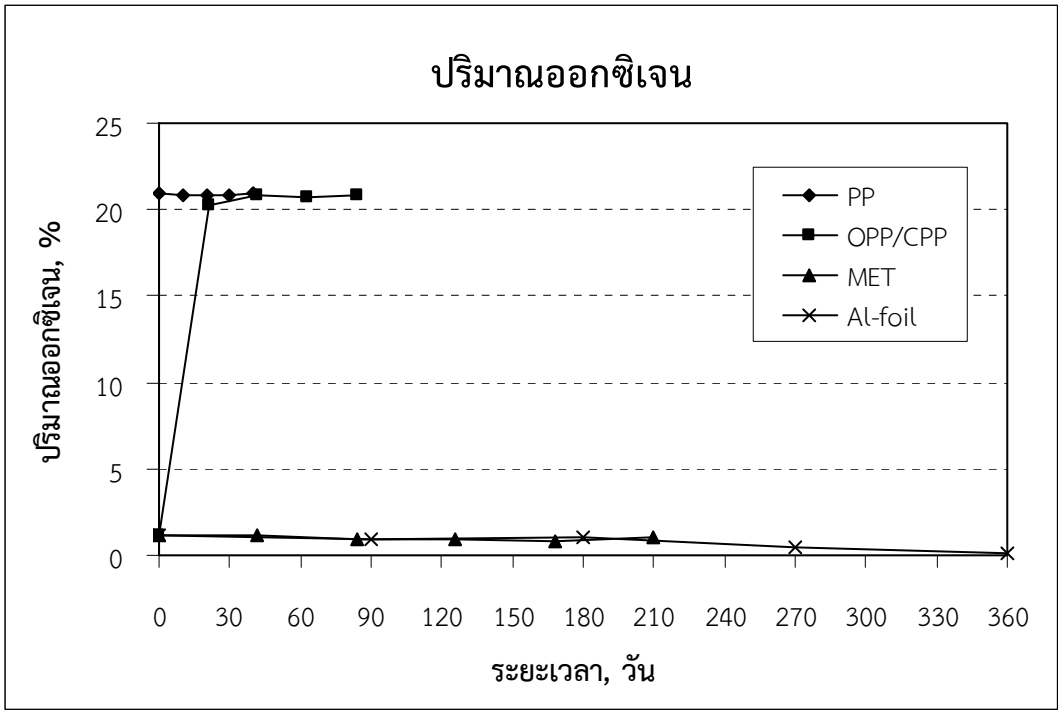
ตารางที่ 23. องค์ประกอบโดยประมาณ (proximate analysis) บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป

ส่วนประกอบ	ร้อยละ
ความชื้น	1.75
คาร์โบไฮเดรต	76.08
โปรตีน	10.41
ไขมัน	10.68
เถ้า	1.08

ผลการประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ภายหลังบรรจุและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ได้ผลดังต่อไปนี้ :

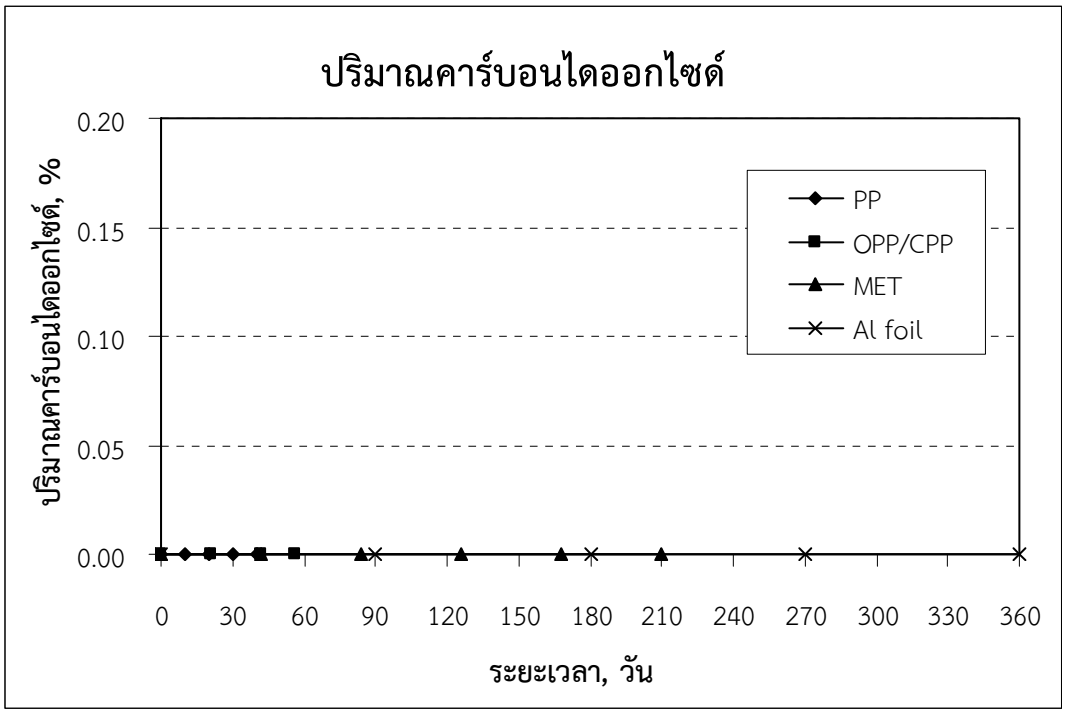
1. ปริมาณก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์

รูปที่ 49 แสดงปริมาณออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปภายหลังบรรจุและเก็บรักษา พบว่า สำหรับการบรรจุภายใต้ก๊าซไนโตรเจน ปริมาณออกซิเจนภายในซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ภายหลังการบรรจุ แม้ว่าจะเก็บนานมากกว่า 1 ปี. อย่างไรก็ตามปริมาณออกซิเจนภายในซอง OPP/CPP เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 21 วัน ภายหลังการบรรจุ จนกระทั่งใกล้เคียงกับปริมาณออกซิเจนภายในบรรยากาศที่มีประมาณร้อยละ 21, เนื่องจาก OPP/CPP ไม่สามารถป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนได้ดีนัก ดังแสดงในตารางที่ 1 (การซึมผ่านออกซิเจนของ OPP/CPP, OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ที่อุณหภูมิ 23°ซ. และความชื้นสัมพัทธ์ 0% เท่ากับ 59,892, 81.1 และ 6.4 ลบ.ซม.-ไมครอน/(ตร.ม.)(วัน)(บรรยากาศ) ตามลำดับ), ทำให้ออกซิเจนจากภายนอกที่มีความเข้มข้นสูงกว่าภายในซองสามารถซึมผ่านเข้าภายในซองได้อย่างรวดเร็ว. ในขณะที่ปริมาณออกซิเจนภายในซอง PP ที่บรรจุภายใต้บรรยากาศปกติ มีปริมาณออกซิเจนใกล้เคียงกับร้อยละ 21 ตลอดอายุการเก็บรักษา, เนื่องจาก PP ไม่สามารถป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนได้ (การซึมผ่านออกซิเจนของ PP ที่อุณหภูมิ 23 °ซ. และความชื้นสัมพัทธ์ 0% = 93,647 ลบ.ซม.-ไมครอน/(ตร.ม.)(วัน)(บรรยากาศ)), ทำให้มีการซึมผ่านหรือแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างภายในและภายนอกบรรจุภัณฑ์อย่างรวดเร็ว.



รูปที่ 49. ปริมาณออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป.

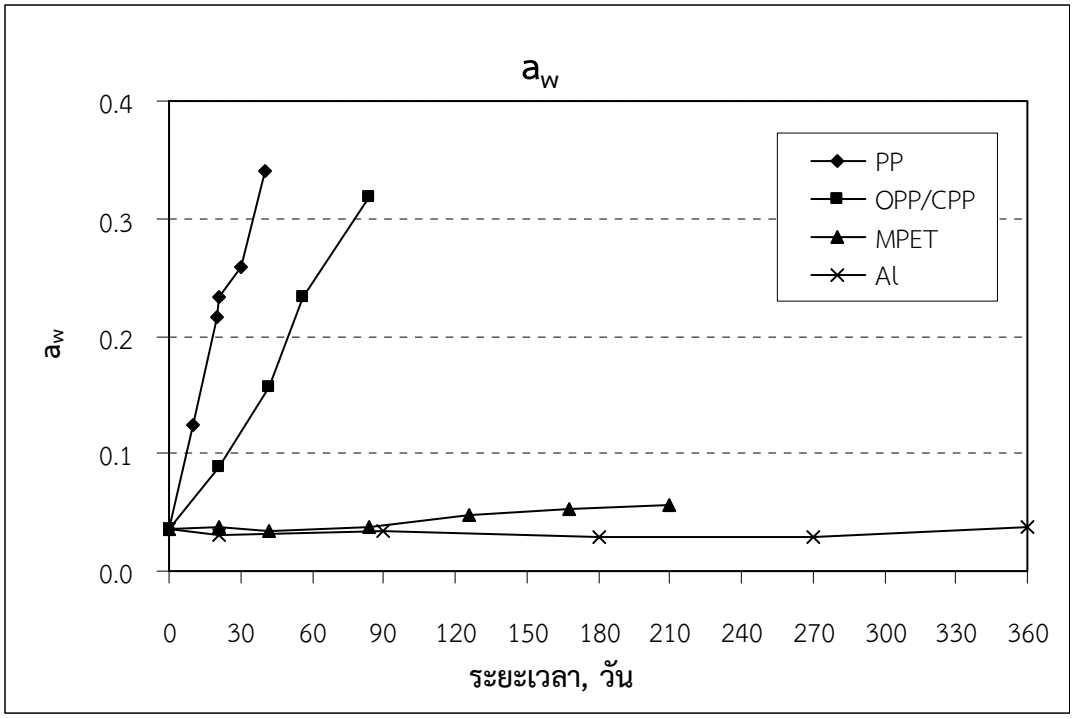
สำหรับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปภายหลังบรรจุและเก็บรักษา พบว่า มีปริมาณต่ำมาก (<ร้อยละ 0.01) และมีปริมาณใกล้เคียงกันในทุกบรรจุภัณฑ์ทั้งการบรรจุภายใต้บรรยากาศปกติและภายใต้ก๊าซไนโตรเจน ดังแสดงในรูปที่ 50, เนื่องจากในบรรยากาศปกติมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำมากประมาณร้อยละ 0.04 เท่านั้น (Parry 1993).



รูปที่ 50. ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป.

2. ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)

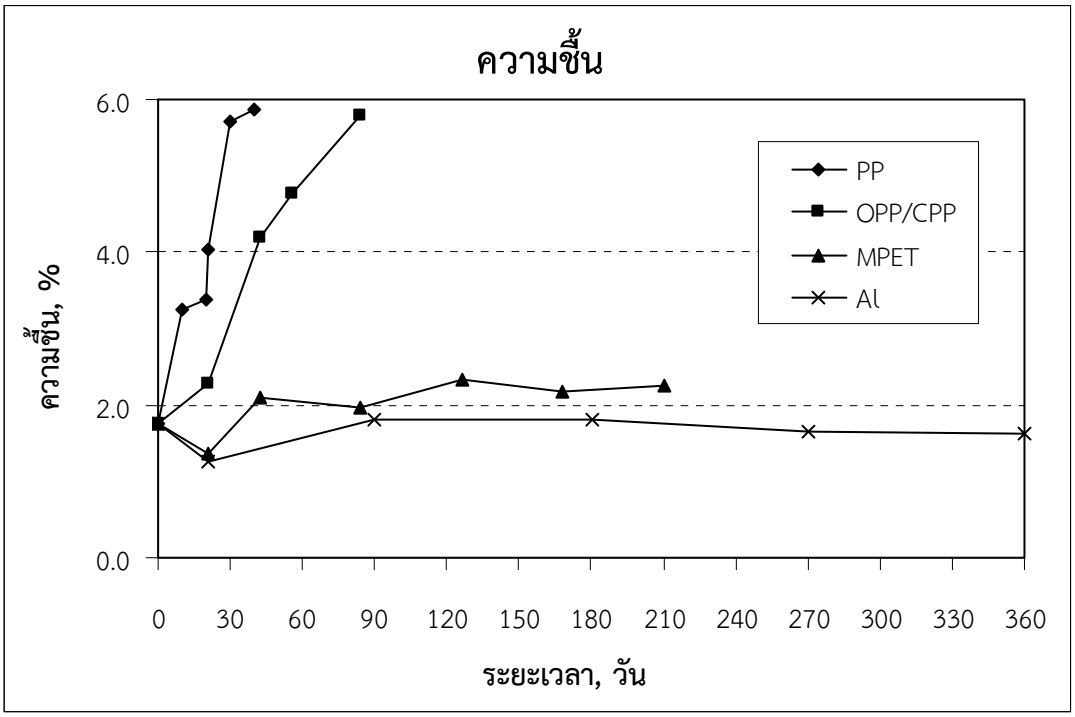
รูปที่ 51 แสดงปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปภายหลังบรรจุและเก็บรักษา พบว่า ภายหลังการเก็บรักษา ตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมเสียง่ายด้วยความชื้น มีค่า a_w เพิ่มสูงขึ้น. โดยภายหลังการเก็บ 1-2 เดือนแรก จะเห็นได้ชัดว่า ตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุซอง PP และ OPP/CPP มีค่า a_w เพิ่มสูงขึ้นรวดเร็วกว่าตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE, เนื่องจาก OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE สามารถป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดีกว่า PP และ OPP/CPP ดังแสดงในตารางที่ 1. การซึมผ่านไอน้ำที่อุณหภูมิ 38°ซ., 90%RH ของ PP, OPP/CPP, OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE มีค่าเท่ากับ 240, 159, 13.4 และ 5.4 กรัม-ไมครอน/(ตร.ม.)(วัน) ตามลำดับ, ทำให้มีปริมาณไอน้ำซึมผ่านเข้าไปในซองได้น้อยกว่า.



รูปที่ 51. ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป.

3. ความชื้น (Moisture content)

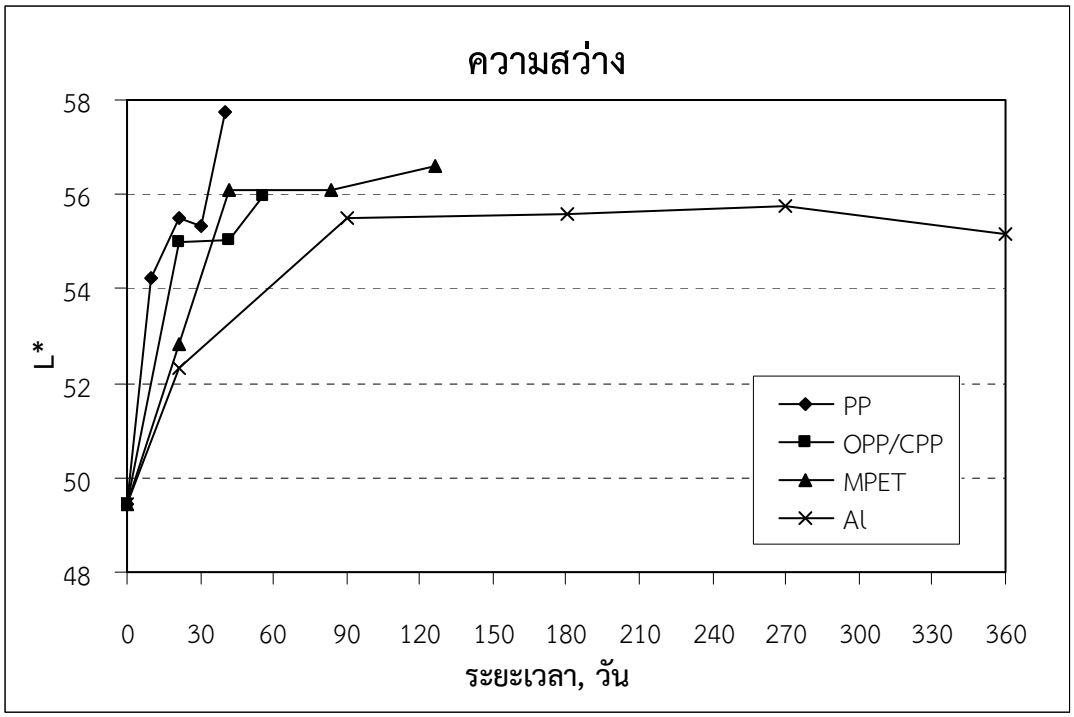
รูปที่ 52 แสดงความชื้นของตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปภายหลังบรรจุและเก็บรักษา พบว่า ภายหลังการเก็บรักษา เช่นเดียวกับค่าปริมาณน้ำอิสระตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมเสียง่ายด้วยความชื้น มีค่าความชื้นเพิ่มสูงขึ้น. โดยตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุซอง PP และ OPP/CPP มีค่าความชื้นเพิ่มสูงขึ้นรวดเร็วกว่าตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุซอง OPP/PE/ MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE, เนื่องจาก OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE สามารถป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดีกว่า PP และ OPP/CPP ดังแสดงในตารางที่ 1. การซึมผ่านไอน้ำที่อุณหภูมิ 38°ซ. และความชื้นสัมพัทธ์ 90% ของ PP, OPP/CPP, OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE มีค่าเท่ากับ 240, 159, 13.4 และ 5.4 กรัม-ไมครอน/(ตร.ม.)(วัน) ตามลำดับ, ทำให้มีปริมาณไอน้ำซึมผ่านเข้าไปในซองได้น้อยกว่า.



รูปที่ 52. ความชื้นของตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป.

4. การเปลี่ยนสี

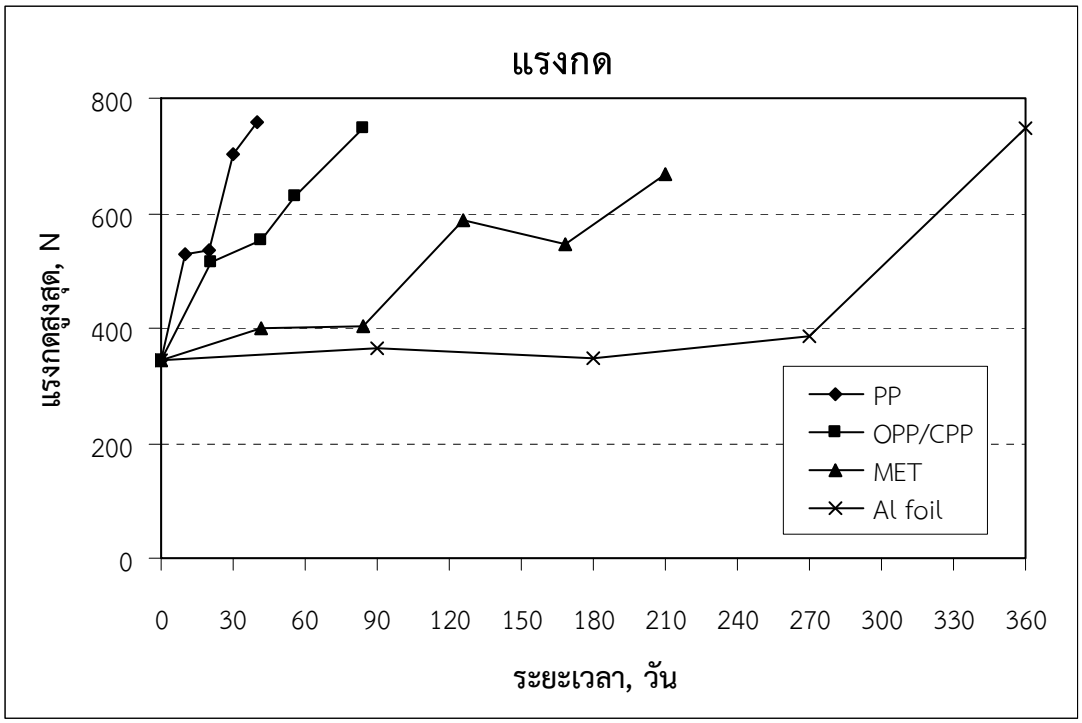
รูปที่ 53 แสดงค่าสี ซึ่งรายงานผลเป็นค่าความสว่างของตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปภายหลังบรรจุและเก็บรักษา. โดยทั่วไปภายหลังการเก็บรักษาบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปมีสีซีดลง ทำให้มีแนวโน้มที่ค่า L* จะสูงขึ้น แม้ว่าจะมีความแปรปรวนเนื่องจากบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแต่ละชิ้นมีสีแตกต่างกันไป (ไม่ได้วัดค่าสีตัวอย่างชิ้นเดิม), เนื่องจากกระบวนการผลิตและส่วนประกอบ เช่น ระดับความร้อนและระยะเวลาในการทอด เป็นต้น. โดยตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุซอง PP และ OPP/CPP มีค่า L* สูงกว่าตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE, เนื่องจาก OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ช่วยป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนและแสงได้ดีกว่า PP และ OPP/CPP จึงช่วยชะลอการเปลี่ยนสีทั้งที่เกิดเนื่องจากออกซิเจนและแสงได้ดีกว่าการบรรจุในซอง PP และ OPP/CPP ซึ่งเป็นซองใสและป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนได้ไม่ดี. ทั้งนี้การลดลงของความ L* อาจเกิดเนื่องจากความแปรปรวนของตัวอย่าง.



รูปที่ 53. การเปลี่ยนสีของตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป.

5. เนื้อสัมผัส

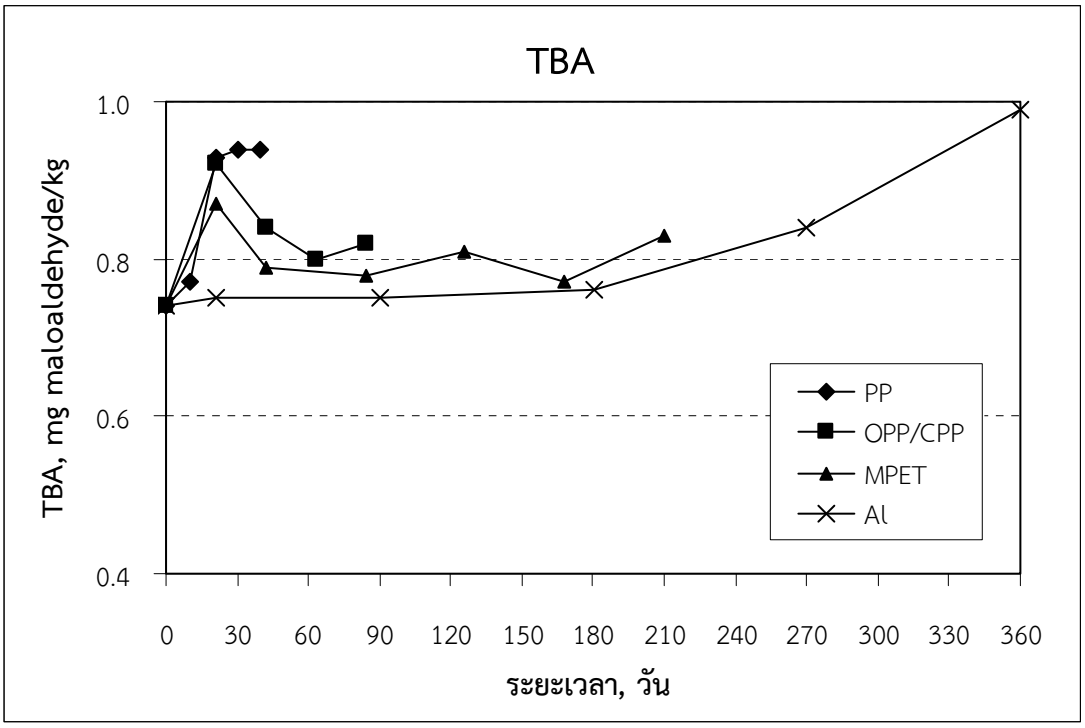
โดยทั่วไปภายหลังการเก็บรักษาบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่มีความกรอบ เนื่องจากมีความชื้นต่ำ จะดูดความชื้น ทำให้ความกรอบลดลง, แข็งหรือเหนียวขึ้น จึงจำเป็นต้องใช้แรงในการตัดให้ขาดสูงขึ้น หรือสามารถยืดตัวได้สูงขึ้น. รูปที่ 54 แสดงค่าแรงกดสูงสุดที่ใช้ในการตัดบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ภายหลังบรรจุและเก็บรักษา พบว่า เมื่อเก็บตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปไว้นานขึ้น มีแนวโน้มต้องใช้แรงมากขึ้นในการกดให้บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแตกหรือแยกออกจากกัน, เนื่องจากบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปมีความกรอบลดลง โดยเฉพาะตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุในซอง PP และ OPP/CPP, เนื่องจากทั้ง PP และ OPP/CPP ยอมให้ไอน้ำซึมผ่านจากภายนอกเข้าไปภายในซองได้สูงกว่า, ทำให้ตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปดูดความชื้นเร็วกว่า เห็นได้จากค่า a_w และความชื้นที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงสูญเสียความกรอบเร็วกว่าตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุในซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE (ภายใน 2 เดือน). ในขณะที่ค่าแรงกดสูงสุดที่ใช้ในการกดหรือความกรอบของตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/ LLDPE เกือบไม่เปลี่ยนแปลง แม้ว่าจะเก็บนาน 3 และ 9 เดือน ตามลำดับ.



รูปที่ 54. แรงกดสูงสุดที่ใช้ในการตัดตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป.

6. กรดไทโอบาร์บิทูริกหรือ Thiobarbituric acid (TBA) value

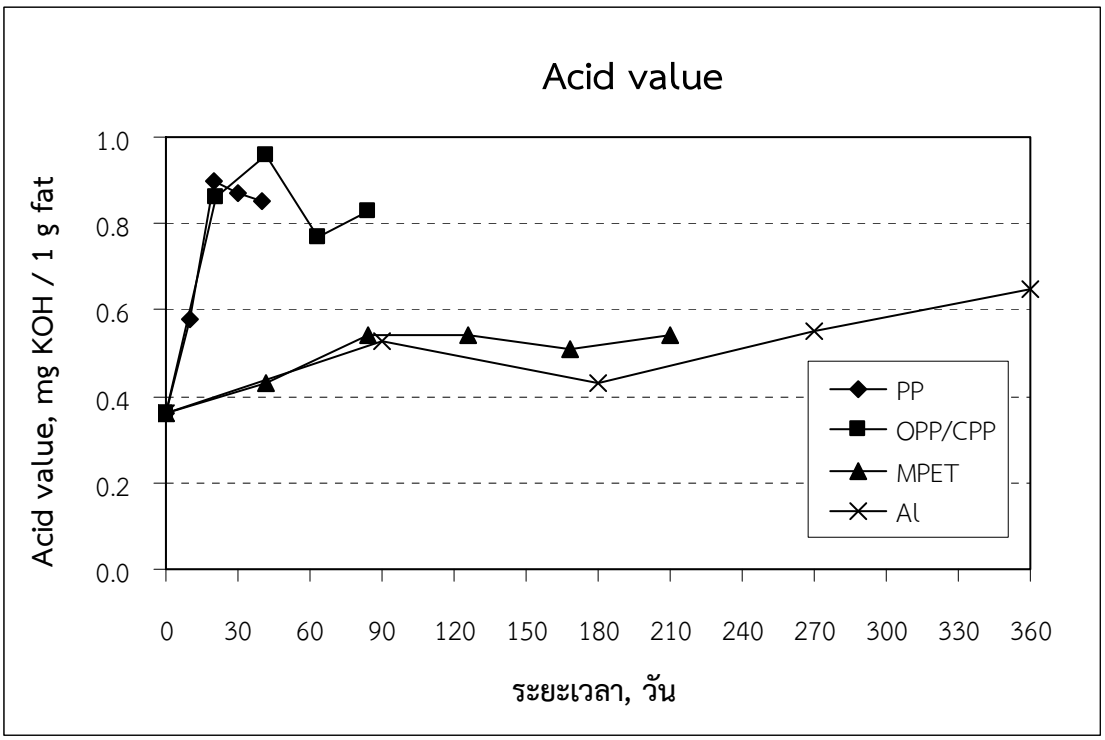
รูปที่ 55 แสดงค่า TBA ซึ่งแสดงถึงความหืนหรือกลิ่นแปลกปลอมที่ไม่ยอมรับ ในหน่วยปริมาณของมาโลนัลดีไฮด์ต่อ กก. ภายหลังบรรจุและเก็บรักษา พบว่า ค่า TBA ของตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นภายหลังการเก็บรักษา, เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันหรือน้ำมันที่เป็นส่วนประกอบ โดยตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปมีปริมาณไขมันอยู่ประมาณร้อยละ 10.68 ดังแสดงในตารางที่ 23. จะเห็นว่า ค่า TBA ของตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุในซอง PP และ OPP/ CPP มีค่าสูงกว่าตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุในซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/ LLDPE. โดยตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุในซอง PET/Al/LLDPE มีค่า TBA เมื่อเก็บไว้นานกว่า 6 เดือน น้อยกว่าตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุในซอง OPP/PE/MPET/CPP, เนื่องจาก PET/Al/LLDPE สามารถป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนและป้องกันแสงที่เป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดกลิ่นหืนได้ดีกว่า OPP/PE/MPET/CPP. อย่างไรก็ตามการลดลงของค่า TBA ของตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปอาจเกิดเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของตัวอย่างดังที่ได้กล่าวมาแล้ว.



รูปที่ 55. ค่า TBA ของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป.

7. ค่ากรดไขมัน (acid value)

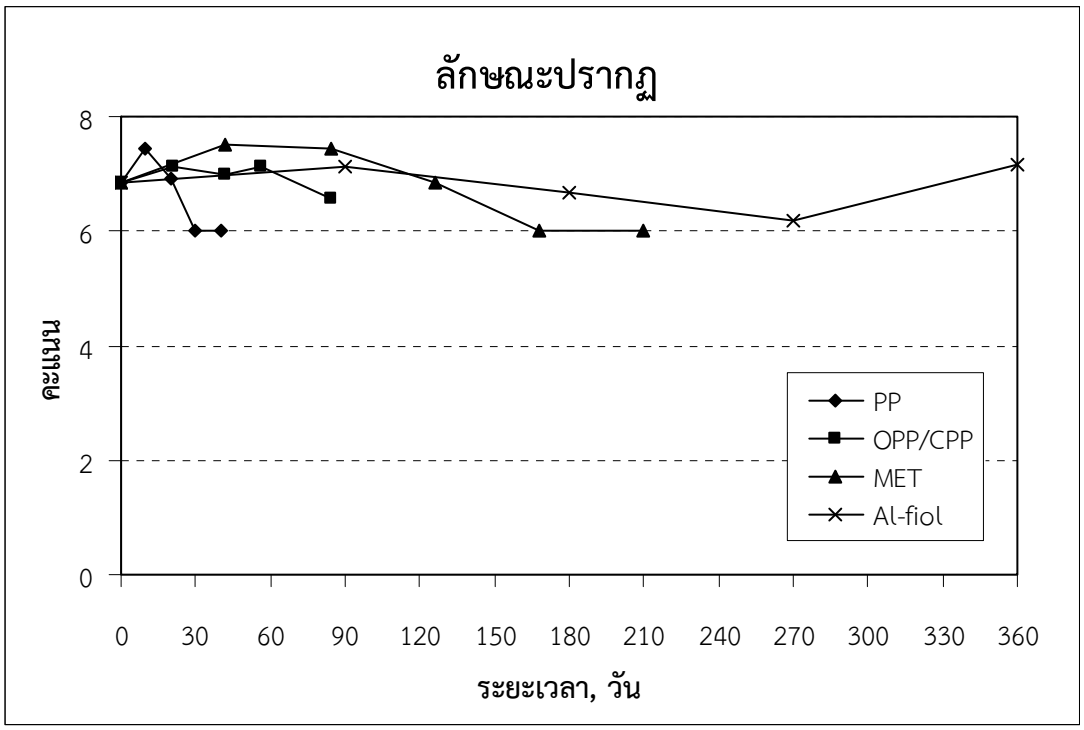
รูปที่ 56 แสดงค่า acid value หรือปริมาณกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) ซึ่งอาจก่อให้เกิดกลิ่นหืนหรือกลิ่นแปลกปลอมที่ไม่ยอมรับ ในหน่วยมิลลิกรัม KOH ต่อปริมาณไขมัน 1 กรัม พบว่า ค่า acid value ของตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นภายหลังบรรจุและเก็บรักษา, เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันหรือน้ำมันที่เป็นส่วนประกอบ. โดยตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปมีปริมาณไขมันอยู่ประมาณร้อยละ 10.68 ดังแสดงในตารางที่ 23 เช่นเดียวกับค่า TBA ค่า acid value ของตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุซอง PP และ OPP/CPP มีค่าสูงกว่าและเพิ่มขึ้นเร็วกว่าตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE อย่างเห็นได้ชัด. โดยตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุในซอง PET/Al/LLDPE มีค่า TBA เมื่อเก็บไว้นานกว่า 6 เดือน ต่ำกว่าตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุในซอง OPP/PE/MPET/CPP, เนื่องจาก PET/Al/LLDPE สามารถป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนและป้องกันแสงที่เป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดกลิ่นหืนได้ดีกว่า OPP/PE/MPET/CPP. อย่างไรก็ตามการลดลงของค่า acid value ของตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปอาจเกิดเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของตัวอย่างดังที่ได้กล่าวมาแล้ว.



รูปที่ 56. ค่า acid value ของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป.

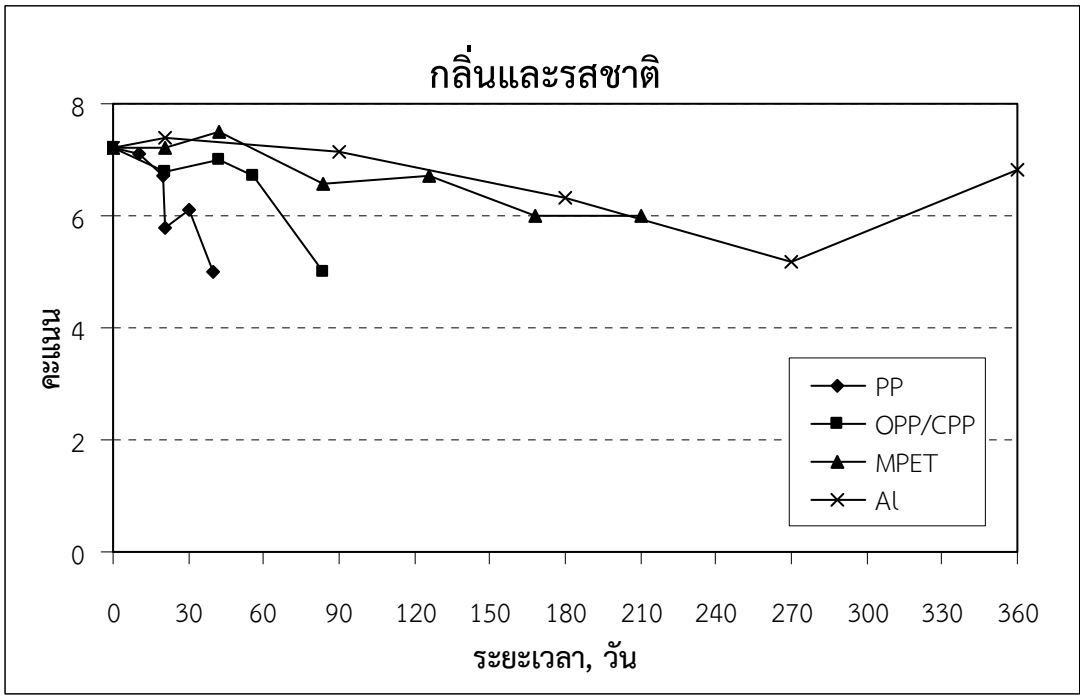
8. การประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัส

รูปที่ 57-60 แสดงผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ลักษณะปรากฏ, กลิ่นและรสชาติ, เนื้อสัมผัสและการยอมรับรวมของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง พบว่าบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏอย่างช้าๆ แม้ว่าบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปจะมีสีซีดจางลงบ้าง แต่ก็สังเกตได้ยาก เนื่องจากผิวไม่เรียบและมีสีไม่สม่ำเสมอ จึงต้องใช้ระยะเวลานานกว่าจะสังเกตเห็น. ดังนั้นจะเห็นว่า ตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปทุกตัวอย่างมีคะแนนลักษณะปรากฏลดลงเพียงเล็กน้อย, เนื่องจากสังเกตความแตกต่างได้ยาก. โดยภายหลังสิ้นสุดการสุ่มตัวอย่าง ตัวอย่างทุกตัวอย่าง ได้แก่ ตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุในซอง PP เก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 56 วัน, ตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุในซอง OPP/CPP นาน 84 วัน, ตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุในซอง OPP/PE/MPET/CPP นาน 210 วัน และตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุในซอง PET/Al/LLDPE นานประมาณ 1 ปี มีคะแนนลักษณะปรากฏไม่ต่ำกว่า 5 ซึ่งถือว่ายังยอมรับโดยผู้บริโภค ดังแสดงในรูปที่ 57.



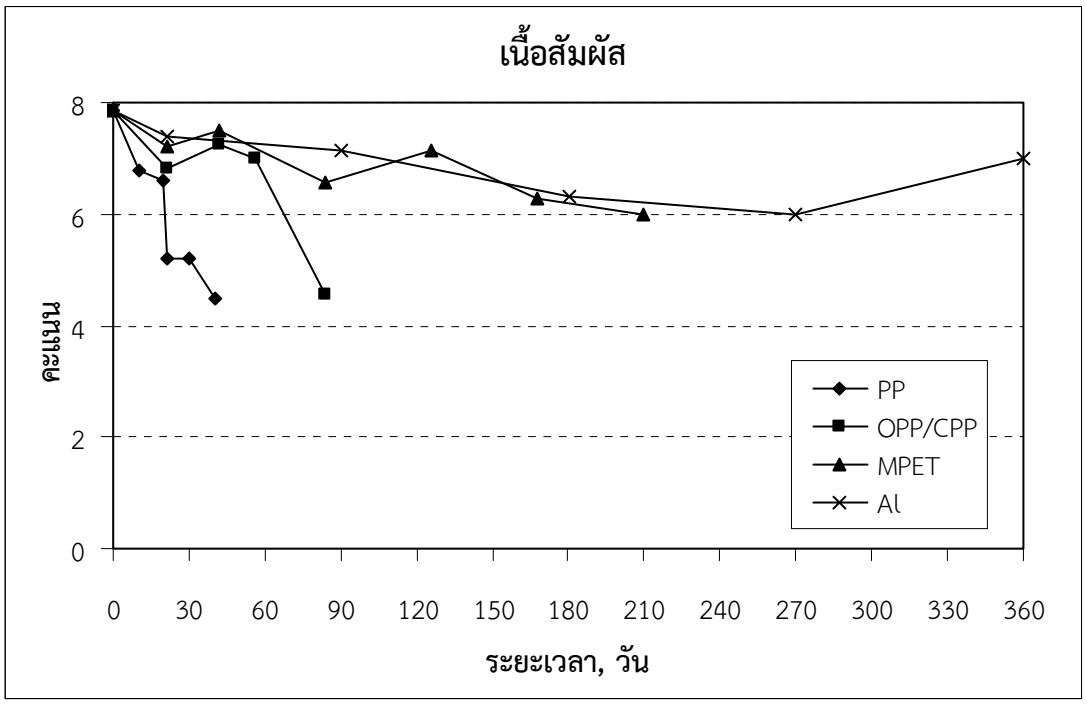
รูปที่ 57. คะแนนลักษณะปรากฏของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง.

รูปที่ 58 แสดงค่าคะแนนกลิ่นและรสชาติของตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ภายหลังเก็บรักษา กลิ่นหอมของตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่มีความสดใหม่จะลดลง และตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปอาจจะมีกลิ่นแปลกปลอมเกิดขึ้น. โดยเฉพาะบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปบรรจุซอง PP มีค่าคะแนนกลิ่นและรสชาติลดลงอย่างรวดเร็วกว่าตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุซอง OPP/CPP, OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ตามลำดับ. โดยตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปบรรจุซอง PP และ OPP/CPP มีค่าคะแนนกลิ่นและรสชาติต่ำกว่า 5 ภายหลังเก็บนาน 40 และ 84 วัน ตามลำดับ. ในขณะที่ตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุในซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE มีคะแนนกลิ่นและรสชาติลดลงเพียงเล็กน้อย แม้ว่าจะเก็บตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปนานถึง 7 เดือน หรือ 1 ปี, เนื่องจาก OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ช่วยป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนที่จะก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ดีกว่า ทั้งยังช่วยป้องกันการสูญเสียองค์ประกอบของกลิ่นและรสชาติ ซึ่งเป็นสารระเหยง่ายได้ดีกว่า PP และ OPP/CPP.



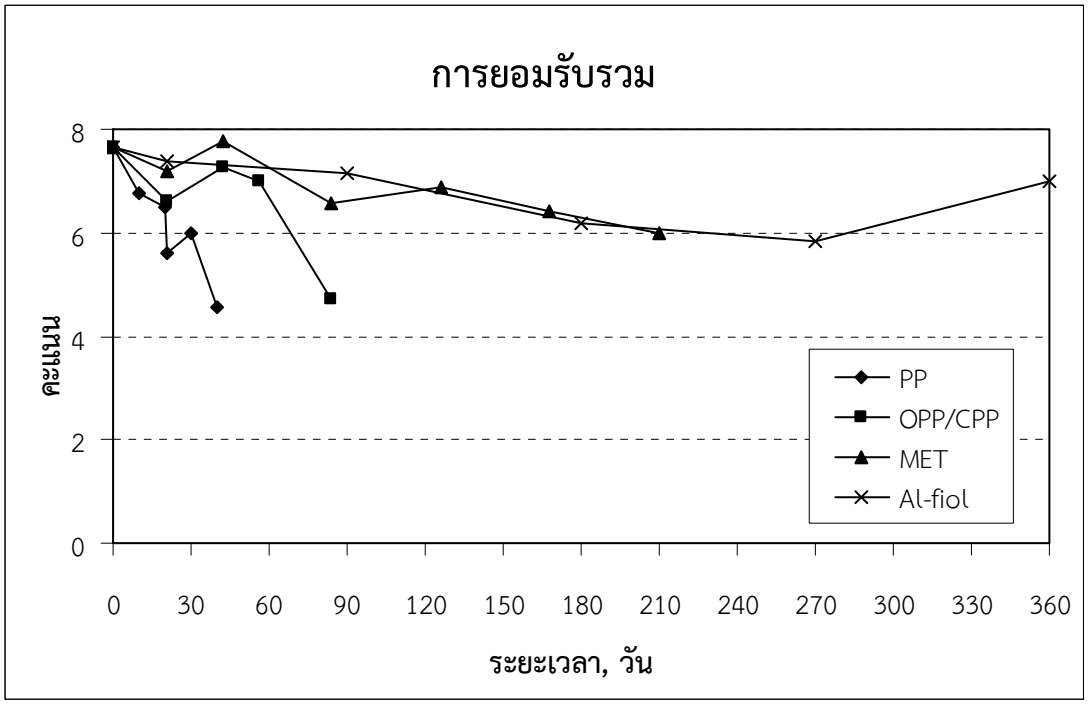
รูปที่ 58. คะแนนกลิ่นและรสชาติของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง.

รูปที่ 59 แสดงค่าคะแนนเนื้อสัมผัสของตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง พบว่า เช่นเดียวกับคะแนนกลิ่นและรสชาติ ภายหลังดูดความชื้น ตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปมีความกรอบลดลง, คะแนนเนื้อสัมผัสจึงลดลงด้วย จะเห็นว่า ตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุในซองที่ป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดีกว่า เช่น OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE มีคะแนนเนื้อสัมผัสไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก, แต่ตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปบรรจุซอง PP และ OPP/CPP ภายหลังการเก็บนานไม่เกิน 40 และ 84 วัน ตามลำดับ มีคะแนนเนื้อสัมผัสลดลงอย่างรวดเร็ว. โดยตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปบรรจุซอง PP มีคะแนนเนื้อสัมผัสลดลงเร็วกว่าตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปบรรจุซอง OPP/CPP, เนื่องจาก OPP/CPP ป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดีกว่า PP นั่นเอง. จากการประเมินการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปอาจบอกได้ว่า ตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปบรรจุในซอง PP และ OPP/CPP สามารถเก็บได้นานน้อยกว่า 40 วัน (ประมาณ 36 วัน) และ 84 วัน (ประมาณ 81 วัน) ตามลำดับ, เนื่องจากได้คะแนนเนื้อสัมผัสน้อยกว่า 5. ในขณะที่ตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุในซอง PET/Al/LLDPE มีคะแนนเนื้อสัมผัสลดลงเพียงเล็กน้อย แม้ว่าจะเก็บตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปนานประมาณ 1 ปีก็ตาม.



รูปที่ 59. คะแนนเนื้อสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง.

รูปที่ 60 แสดงค่าคะแนนการยอมรับรวมของตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง พบว่า เช่นเดียวกับคะแนนกลิ่นและรสชาติ และเนื้อสัมผัส เมื่อตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปมีความกรอบและความอร่อยลดลง เนื่องจากดูดความชื้น ทำให้คะแนนการยอมรับรวมของผู้บริโภคจึงลดลงด้วย. จะเห็นว่า ตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุในซองที่ป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดีกว่า เช่น OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE มีคะแนนการยอมรับรวมไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่ตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปบรรจุซอง PP และ OPP/CPP มีคะแนนการยอมรับรวมลดลงอย่างรวดเร็วภายหลังการเก็บนานไม่เกิน 40 และ 84 วัน ตามลำดับ. โดยตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปบรรจุซอง PP และ OPP/CPP มีคะแนนการยอมรับรวมน้อยกว่า 5 เมื่อเก็บนาน 40 และ 84 วัน ตามลำดับ จึงอาจกล่าวได้ว่าตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปบรรจุซอง PP และ OPP/CPP มีอายุการเก็บน้อยกว่า 40 วัน (ประมาณ 36 วัน) และ 84 วัน (ประมาณ 81 วัน) ตามลำดับ. ในขณะที่ตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปบรรจุ OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE มีอายุการเก็บนานกว่า 210 และ 360 วัน ตามลำดับ.



รูปที่ 60. คะแนนการยอมรับรวมของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง.

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติคุณภาพบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปบรรจุในบรรจุภัณฑ์แตกต่างกัน 4 ชนิด เก็บที่อุณหภูมิห้อง ดังแสดงในตารางที่ 24, เนื่องจากบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมเสียง่ายด้วยความชื้น. จึงเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ภายหลังการเก็บนาน 21 วัน ตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกันมีค่า a_w แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ยกเว้นตัวอย่างบะหมี่สำเร็จรูปในบรรจุภัณฑ์ OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)). โดยตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่มีค่า a_w เริ่มต้นประมาณ 0.03 เมื่อบรรจุซอง PP มีค่า a_w เพิ่มขึ้นมากที่สุดเท่ากับ 0.233 ซึ่งสูงกว่าค่า a_w ของตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุซอง OPP/CPP, และ OPP/PE/MPET/CPP กับ PET/Al/LLDPE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$), เนื่องจาก PP ยอมให้ไอน้ำซึมผ่านได้สูงกว่าฟิล์มชนิดอื่นๆ ทำให้บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปดูดความชื้นได้เร็วกว่านั่นเอง.

ตารางที่ 24. คุณภาพบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปบรรจุในบรรจุภัณฑ์ 4 ชนิด ภายหลังเก็บที่อุณหภูมิห้อง นาน 21 วัน

บรรจุภัณฑ์	คุณภาพ				
	a_w	ความชื้น, %	แรงกดสูงสุด, N	ความสว่าง (L*)	TBA, มิลลิกรัมมาโลนัลดีไฮด์ต่อ กก.
PP	0.233±0.012^{c}	4.04±0.01^{c}	543.32±44.87^{c}	55.50±0.46^{b}	0.930±0.010^{c}
OPP/CPP	0.088±0.006^{b}	2.28±0.11^{b}	453.77±52.48^{b}	55.01±0.47^{b}	0.920±0.030^{c}
OPP/PE/MPET/CPP	0.037±0.005^{a}	1.35±0.13^{a}	312.29±54.46^{a}	52.84±0.31^{a}	0.867±0.050^{b}
PET/Al/LLDPE	0.030±0.001^{a}	1.27±0.01^{a}	372.96±26.30^{a}	52.32±1.77^{a}	0.747±0.010^{a}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ค่าความชื้นบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปบรรจุในบรรจุภัณฑ์แตกต่างกัน 4 ชนิด ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 21 วัน ดังแสดงในตารางที่ 24 เช่นเดียวกับค่า a_w เมื่อมีไอน้ำซึมผ่านเข้าบรรจุ-ภัณฑ์ เนื่องจากบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำ บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปจะดูดความชื้น จึงเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่มีความชื้นเริ่มต้นเพียงร้อยละ 1.75 มีความชื้นเพิ่มสูงขึ้นรวดเร็วประมาณร้อยละ 4 เมื่อบรรจุซอง PP และมีความชื้นประมาณร้อยละ 2.28 เมื่อบรรจุซอง OPP/CPP. ในขณะที่บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE มีการสูญเสียความชื้นในระหว่างการเก็บรักษา โดยมีความชื้นลดลงเหลือเพียงประมาณร้อยละ 1.3. ทั้งนี้ตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุซอง PP และ OPP/CPP มีค่าความชื้นสูงกว่าตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$), เนื่องจาก PP และ OPP/CPP ยอมให้ไอน้ำซึมผ่านได้สูงกว่า OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ตามลำดับ. อย่างไรก็ตาม ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 21 วัน ยังไม่สังเกตเห็นความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ระหว่างค่า a_w และ ความชื้นของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE เนื่องจากฟิล์มทั้งสองชนิดนี้ป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ใกล้เคียงกัน.

ค่าแรงกดสูงสุดบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปบรรจุในบรรจุภัณฑ์แตกต่างกัน 4 ชนิด ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 21 วัน แสดงดังตารางที่ 24 พบว่า เมื่อบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปดูดความชื้น ทำให้ความกรอบลดลง จึงสามารถรับแรงกดได้สูงขึ้น. ดังนั้นจึงต้องใช้แรงกดสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p <0.05$) ในการกดตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุซอง PP ให้แยกจากกัน เมื่อเทียบกับตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุซอง OPP/CPP และ OPP/PE/MPET/CPP กับ PET/Al/LLDPE ตามลำดับ ทั้งนี้ตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ยังมีความกรอบ, แตกหักง่าย จึงรับแรงกดได้น้อยกว่าตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุซอง PP และ OPP/CPP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$).

ค่าสีบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปบรรจุในบรรจุภัณฑ์แตกต่างกัน 4 ชนิด ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง นาน 21 วัน แสดงดังตารางที่ 24 ในค่าความสว่าง (L*) พบว่า บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปมีแนวโน้มจะมีสีซีดลง ทำให้มีค่า L* สูงขึ้น. โดยตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปบรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ซึ่งเป็นบรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกันแสงได้ดี มีค่า L* ต่ำหรือเกิดสีซีดจางช้ากว่าบะหมี่ที่บรรจุซองใส เช่น PP และ OPP/CPP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจากการบรรจุซองทึบแสงช่วยชะลอการเปลี่ยนสีได้ดีกว่า. อย่างไรก็ตามพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ระหว่างค่า L* ที่ได้จากตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปบรรจุซอง PP และ OPP/CPP. และระหว่างค่า L* ที่ได้จากตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปบรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE.

ค่า TBA ของตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปบรรจุในบรรจุภัณฑ์แตกต่างกัน 4 ชนิด ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 21 วัน แสดงดังตารางที่ 24 พบว่า PET/Al/LLDPE ที่ป้องกันแสงและออกซิเจนได้ดีกว่าฟิล์มชนิดอื่น ช่วยป้องกันการเกิดกลิ่นแปลกปลอมได้ดีกว่าฟิล์มชนิดอื่นๆ ทำให้ค่า TBA ที่ได้จากตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปบรรจุซอง PET/Al/LLDPE ต่ำกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยเฉพาะตัวอย่างบะหมี่ที่บรรจุซองใส เช่น PP และ OPP/CPP, เนื่องจาก PET/Al/LLDPE ป้องกันแสงและการซึมผ่านออกซิเจนที่เป็นสาเหตุหลักของการเกิดออกซิเดชันได้ดีกว่า.

ผลการประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปบรรจุในบรรจุภัณฑ์แตกต่างกัน 4 ชนิด ภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 21 วัน แสดงดังตารางที่ 25 พบว่า ตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปทุกตัวอย่างยังได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค เนื่องจากได้คะแนนสูงกว่า 5. อย่างไรก็ตามตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปบรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ได้คะแนนกลิ่นและรสชาติสูงกว่าตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป บรรจุซอง PP และ OPP/CPP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$). ในขณะที่ตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปบรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ได้คะแนนเนื้อสัมผัสสูงกว่าตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปบรรจุซอง PP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปบรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE ได้คะแนนการยอมรับรวมสูงกว่าตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปบรรจุซอง PP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$). จึงน่าจะกล่าวได้ว่า เมื่อพิจารณาจากคะแนนการประเมินด้านประสาทสัมผัสตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปบรรจุซอง OPP/CPP OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE น่าจะมีอายุการเก็บนานกว่าบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปบรรจุซอง PP, เนื่องจากฟิล์มทั้ง 3 ชนิด ช่วยรักษาคุณภาพบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปได้ดีกว่า.

ตารางที่ 25. คุณภาพด้านประสาทสัมผัสบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปบรรจุในบรรจุภัณฑ์ 4 ชนิด ภายหลังเก็บที่อุณหภูมิห้องนาน 21 วัน

บรรจุภัณฑ์	คุณภาพ			
	ลักษณะปรากฏ	กลิ่นและรสชาติ	เนื้อสัมผัส	การยอมรับรวม
PP	6.80±0.42[a]	5.80±0.79[a]	5.20±0.79[a]	5.60±1.07[a]
OPP/CPP	7.00±0.00[ab]	6.80±0.79[a]	6.80±0.79[ab]	6.60±0.57[a]
OPP/PE/MPET/CPP	7.20±0.42[b]	7.20±0.42[b]	7.20±0.79[b]	7.20±0.79[b]
PET/Al/LLDPE	6.80±0.42[a]	7.40±0.52[b]	7.40±0.52[b]	7.40±0.52[b]

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

อายุการเก็บบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป

ตารางที่ 26 เปรียบเทียบอายุการเก็บบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน 4 ชนิด ภายหลังเก็บที่อุณหภูมิห้อง เมื่อพิจารณาจากคุณภาพทางกายภาพ, เคมี และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า เนื่องจากบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปเป็นผลิตภัณฑ์ไวความชื้น เมื่อบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้แตกต่างกัน ส่งผลให้บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปมีอายุการเก็บแตกต่างกัน. นอกจากนี้เนื่องจากบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปอาจเกิดการเสื่อมเสียอื่นๆ เช่น การเปลี่ยนสี และการเกิดกลิ่นแปลกปลอม เป็นต้น. ดังนั้นนอกจากต้องสามารถป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดีแล้ว บรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกันการซึมผ่านออกซิเจนและป้องกันแสงได้ดี จะช่วยยืดอายุผลิตภัณฑ์ได้นานขึ้นด้วย ดังนั้นตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุซอง PET/Al/LLDPE มีอายุการเก็บนานกว่าตัวอย่างบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่บรรจุซอง OPP/PE/MPET/CPP, OPP/CPP และ PP ตามลำดับ, เนื่องจาก PET/Al/LLDPE สามารถป้องกันการซึมผ่านไอน้ำและออกซิเจน ตลอดจนป้องกันแสงได้ดีกว่า OPP/PE/MPET/CPP, OPP/CPP และ PP ตามลำดับ.

ตารางที่ 26. อายุการเก็บบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปภายหลังการเก็บที่อุณหภูมิห้อง

บรรจุภัณฑ์	อายุการเก็บ, วัน
PP	36
OPP/CPP	81
OPP/PE/MPET/CPP	>7 เดือน

PET/Al/LLDPE	>12 เดือน

3.2.2 การประเมินอายุการเก็บสภาวะเร่ง (Accelerated shelf life test)

3.2.2.1 อายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารในสภาวะเร่ง

ตารางที่ 27 แสดงอายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารเป้าหมายทั้ง 5 ชนิด บรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน 4 ชนิด ภายหลังเก็บที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 27, 37 และ 47 °ซ. เมื่อพิจารณาจากคุณภาพทางกายภาพ, เคมี และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิดมีอายุการเก็บแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดอาหารที่มีองค์ประกอบแตกต่างกัน, ชนิดบรรจุภัณฑ์ที่มีโครงสร้างแตกต่างกัน และสภาวะเก็บรักษาที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน.

ชนิดอาหารที่มีองค์ประกอบแตกต่างกัน เช่น ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำ น่าจะดูดความชื้นได้เร็วกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูงกว่า, ผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบสูง น่าจะเสื่อมเสียจากการเกิดกลิ่นแปลกปลอม, เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันด้วย. การแปรรูปด้วยการทอดทำให้มีน้ำมันเกาะอยู่ที่ชิ้นผลิตภัณฑ์อาหารน่าจะเกิดกลิ่นแปลกปลอมได้ง่ายกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแปรรูปด้วยการอบ เช่น บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปมีอายุการเก็บเฉลี่ยนานกว่าตัวอย่างอาหารชนิดอื่น, เนื่องจากมีปริมาณไขมันต่ำกว่า และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าวแต๋นทอดและข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่มีความชื้นใกล้เคียงกัน, แม้ว่าข้าวเกรียบข้าวโพดอบจะมีปริมาณไขมันสูงกว่า แต่กลับพบว่าข้าวแต๋นที่ผ่านการทอด มีอายุการเก็บโดยเฉลี่ยสั้นกว่าข้าวเกรียบข้าวโพดอบ (ยกเว้นตัวอย่างที่บรรจุซอง PP).

สภาวะการเก็บรักษา เช่น อุณหภูมิ และความชื้นก็มีผลต่ออายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิสูง. การเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ด้วยปฏิกิริยาเคมีต่างๆ จะเกิดเร็วขึ้น (Labuza and Schmidt 1985) เช่น การเกิดกลิ่นหืน เนื่องจากออกซิเดชันจะเกิดเร็วขึ้นที่อุณหภูมิสูง. ดังนั้นผลิตภัณฑ์อาหารเป้าหมายทุกชนิดมีอายุการเก็บสั้นลง เมื่อเก็บที่อุณหภูมิสูง กล่าวคือ ผลิตภัณฑ์อาหารที่เก็บที่อุณหภูมิ 47°ซ. มีอายุการเก็บสั้นกว่าผลิตภัณฑ์อาหารที่เก็บที่อุณหภูมิ 37 และ 27°ซ. ตามลำดับ นอกจากนี้การเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่างกันมีผลให้ผลิตภัณฑ์อาหารเป้าหมายเกิดการเสื่อมเสียแตกต่างกันไปด้วย เช่น การเก็บผลิตภัณฑ์เป้าหมายที่อุณหภูมิ 27°ซ. และอุณหภูมิห้องผลิตภัณฑ์เป้าหมายจะเสื่อมคุณภาพ เนื่องจากการดูดความชื้น เช่น ไม่กรอบ, นิ่ม, เหนียว, และอ่อนตัว, เป็นต้น. แต่หากเก็บที่อุณหภูมิสูง เช่น 37 และ 47 °ซ. จะพบว่าผลิตภัณฑ์อาหารยังคงมีความกรอบหรือแห้ง, แข็งขึ้น แต่จะมีกลิ่นแปลกปลอมที่ไม่ยอมรับเกิดขึ้นก่อนแทน, เนื่องจากภายในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 37 และ 47 °ซ. มีความชื้นค่อนข้างต่ำประมาณ 40±5%

เท่านั้น. ดังนั้นผลิตภัณฑ์อาหารจึงดูดความชื้นได้อย่างๆ ช้า, แต่การเสื่อมคุณภาพด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งถูกเร่งด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้น จึงปรากฏชัดเจน เมื่อผลิตภัณฑ์ถูกเก็บที่อุณหภูมิสูง.

3.2.2.2 การประเมินอายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารในสภาวะเร่ง

การเลือกพารามิเตอร์ในการประมาณอายุการเก็บเป็นเรื่องสำคัญ, เนื่องจากในระหว่างการเก็บมีการเปลี่ยนแปลงหลายอย่างกับผลิตภัณฑ์เป้าหมาย เช่น กลิ่นแปลกปลอม, การเปลี่ยนสี เพราะผลิตภัณฑ์อาหารเป้าหมายมีองค์ประกอบซับซ้อน และต้องเลือกพารามิเตอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป, เนื่องจากผลิตภัณฑ์ทั้ง 5 ชนิด มีไขมันเป็นส่วนประกอบสำคัญรองมาจากคาร์โบไฮเดรตหลัก จึงน่าจะเกิดกลิ่นแปลกปลอมได้ง่าย และสังเกตได้ชัดเจนมากกว่าการเปลี่ยนสี. ดังนั้นจึงเลือกการเกิดกลิ่นหืนซึ่งบอกได้จากค่า TBA หรือ acid value (กรณีบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป) จะเกิดเร็วขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Labuza and Schmidt 1985). ดังนั้นจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของปฏิกิริยา (k) ของการเกิดกลิ่นหืนโดยวิเคราะห์ผลจากค่า TBA หรือค่า acid value ที่เพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 27, 37 และ 47 °ซ. จากปฏิกิริยาอันดับศูนย์หรืออันดับหนึ่งสามารถคำนวณค่า k ที่ใช้ประมาณอายุการเก็บที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 32±2 °ซ.) เพื่อใช้คำนวณอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้องได้.

ตารางที่ 28 แสดงอายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารเป้าหมายโดยเก็บที่อุณหภูมิห้อง คำนวณจากค่าคงที่ปฏิกิริยา (k) พบว่า ในทำนองเดียวกับผลการประเมินอายุการเก็บจริง ผลิตภัณฑ์เป้าหมายที่บรรจุซอง PET/Al/LLDPE มีอายุการเก็บนานกว่าการบรรจุ OPP/PE/MPET/CPP, OPP/CPP และ PP ตามลำดับ. นอกจากนี้การเลือกพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันจะให้ผลอายุการเก็บที่คำนวณได้แตกต่างกัน ดังแสดงด้วยอายุการเก็บของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปประมาณด้วยค่า acid value และ ค่า TBA.

ตารางที่ 27. อายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหาร

ผลิตภัณฑ์	อุณหภูมิเก็บ, °ซ.	บรรจุภัณฑ์			
		PP	OPP/CPP	OPP/PE/MPET/CPP	PET/Al/LLDPE
ข้าวเกรียบข้าวโพดอบ	อุณหภูมิห้อง	10 วัน	30 วัน	210 วัน	>364 วัน*
	27 ± 2	14 วัน	34 วัน	210 วัน	>364 วัน*
	37± 2	7 วัน	20 วัน	120 วัน	210 วัน
	47± 2	7 วัน	20 วัน	60 วัน	90 วัน
ข้าวแต๋น	อุณหภูมิห้อง	17 วัน	28 วัน	168 วัน	200 วัน
	27 ± 2	28 วัน	33 วัน	168 วัน	>266 วัน*
	37± 2	14 วัน	14 วัน	63 วัน	84 วัน
	47± 2	7 วัน	14 วัน	35 วัน	49 วัน
คุกกี้เนย	อุณหภูมิห้อง	18 วัน	21 วัน	84 วัน	210 วัน
	27 ± 2	25 วัน	28 วัน	>84 วัน*	>210 วัน*
	37± 2	17 วัน	17 วัน	56 วัน	77 วัน
	47± 2	14 วัน	17 วัน	56 วัน	63 วัน
ครูตอง	อุณหภูมิห้อง	34 วัน	50 วัน	223 วัน	231 วัน
	27 ± 2	42 วัน	56 วัน	227 วัน	232 วัน
	37± 2	21 วัน	42 วัน	180 วัน	180 วัน
	47± 2	14 วัน	21 วัน	150 วัน	180 วัน
บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป	อุณหภูมิห้อง	36 วัน	81 วัน	> 210 วัน*	> 360 วัน*
	27 ± 2	40 วัน	96 วัน	> 210 วัน*	> 360 วัน*
	37± 2	21 วัน	42 วัน	168 วัน	360 วัน
	47± 2	20 วัน	14 วัน	126 วัน	270 วัน

หมายเหตุ : * ผลิตภัณฑ์อาหารยังเป็นที่ยอมรับโดยผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส เมื่อสิ้นสุดการสุ่มตัวอย่าง

ตารางที่ 28. อายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารเป้าหมายเก็บที่อุณหภูมิห้องคำนวณจากค่าคงที่ปฏิกิริยา

ผลิตภัณฑ์อาหาร	บรรจุภัณฑ์	ประมาณอายุการเก็บ, วัน	อายุการเก็บจริง (วัน)	ความแตกต่าง (%)
ข้าวเกรียบ	PP	36	10	71.4
ข้าวโพดอบ	OPP/CPP	43	30	53.6
	OPP/PE/MPET/CPP	244	210	16.2
	PET/Al/LLDPE	261	>364	22.3
ข้าวแต๋น	PP	20	17	42.9
	OPP/CPP	82	28	290.5
	OPP/PE/MPET/CPP	268	168	59.5
	PET/Al/LLDPE	291	200	73.2
คุกกี้เนย	PP	17	18	19.0
	OPP/CPP	105	21	275.0
	OPP/PE/MPET/CPP	239	84	184.5
	PET/Al/LLDPE	526	210	150.5
ครูตอง	PP	23	34	17.9
	OPP/CPP	93	50	121.4
	OPP/PE/MPET/CPP	192	223	6.7
	PET/Al/LLDPE	780	231	271.4
บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป	PP	38	36	26.7
คำนวณจากค่า acid	OPP/CPP	40	81	28.6
value	OPP/PE/MPET/CPP	719	210	242.4
	PET/Al/LLDPE	746	360	107.2
บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป	PP	19	36	36.7
คำนวณจากค่า TBA	OPP/CPP	66	81	17.9
	OPP/PE/MPET/CPP	183	210	60.5
	PET/Al/LLDPE	274	360	79.4

อย่างไรก็ตามการประเมินอายุการเก็บด้วย ASLT มีความคลาดเคลื่อนหลายประการทำให้ค่าที่คำนวณได้แตกต่างจากค่าอายุการเก็บจริง นอกเหนือจากการเลือกพารามิเตอร์ที่เป็นตัวแทนความเสื่อมเสีย ซึ่งยุ่งยากมาก, เนื่องจากความซับซ้อนขององค์ประกอบอาหาร และค่าอายุการเก็บที่ได้จริงเมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง เลือกใช้อุณหภูมิในช่วงศึกษาที่อยู่ระหว่าง 32±2 °ซ. แต่ทั้งนี้อุณหภูมิในการเก็บจริงมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างกลางวันและกลางคืนตลอดเวลา โดยอาจขึ้นสูงมากกว่า 40 °ซ., ทั้งยังมีความชื้นไม่สม่ำเสมออีกด้วย. ทำให้ค่าที่คำนวณได้มากกว่าอายุการเก็บจริง. นอกจากนี้ Labuza and Schmidt (1985) ได้ระบุถึงปัญหาและข้อผิดพลาดที่มักเกิดขึ้นในการประเมินอายุการเก็บในสภาวะเร่งที่ต้องคำนึงถึง ซึ่งจะทำให้ได้ค่าอายุการเก็บที่คลาดเคลื่อนไป ได้แก่:

1. เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์อาหารในที่ที่มีอุณหภูมิสูง อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะขององค์ประกอบของผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิดได้.

2. อาจเกิดตกผลึกของคาร์โบไฮเดรตบางตัว ทำให้อายุการเก็บสั้นลง

3. การละลายของก๊าซ เช่น ออกซิเจนในน้ำหรือไขมันลดลง 25% เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 °ซ.

4. ถ้าผลิตภัณฑ์ไม่ถูกเก็บในบรรจุภัณฑ์ที่สกัดกั้นที่ดี การเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิสูงและความชื้นต่ำ จะทำให้เกิดการสูญเสียความชื้น ส่งผลให้อัตราการเสื่อมเสียลดลง. ทั้งนี้ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไป โครงสร้างของโปรตีนอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้.

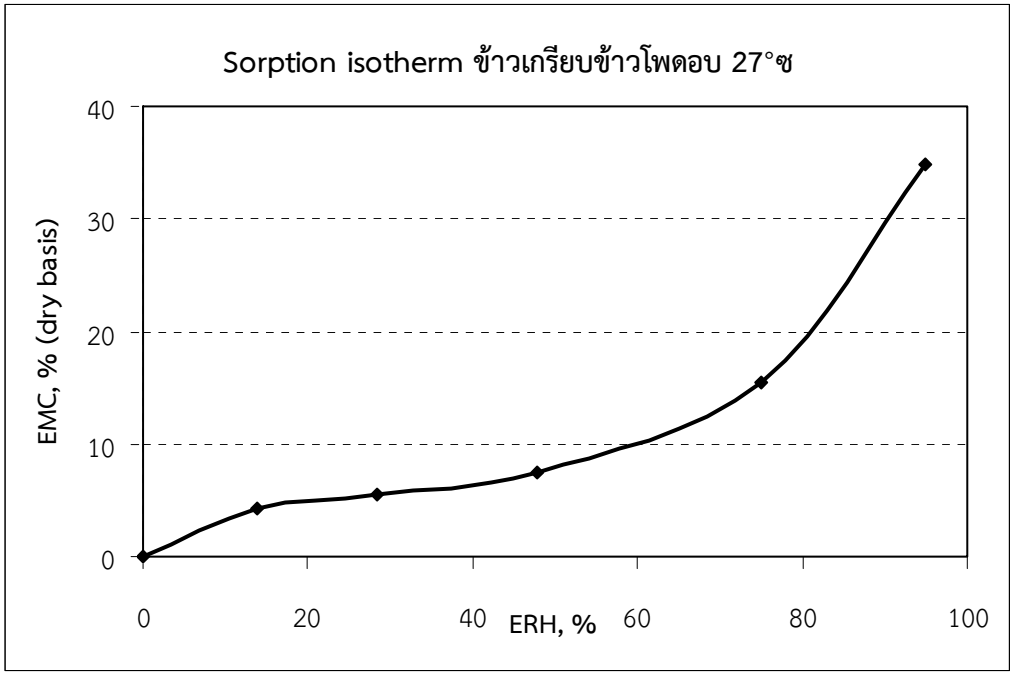
3.2.3 การประเมินอายุการเก็บด้วยสมการทางคณิตศาสตร์

3.2.3.1 สมบัติการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์อาหาร

สมบัติการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์อาหาร คือ การที่ผลิตภัณฑ์อาหารนั้นมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นหรือลดลง เมื่อความชื้นสัมพัทธ์เปลี่ยนแปลงไปที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ใดๆ. เมื่อผลิตภัณฑ์อาหารมีน้ำหนักคงที่แสดงว่าผลิตภัณฑ์อาหารมีความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content, EMC) หรืออธิบายได้ด้วย “Sorption isotherm” ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นอาหารที่สมดุลกับ a_w หรือความชื้นสัมพัทธ์ที่สมดุล (equilibrium relative humidity, ERH) ที่อุณหภูมิคงที่ (Bell and Labuza 2000). ผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิดมีพฤติกรรมการดูดความชื้นเฉพาะตัว ทำให้มี sorption isotherm ที่แตกต่างกันไป ซึ่งมีประโยชน์อย่างยิ่งในการอธิบายสมบัติการดูดความชื้น ตลอดจนประเมินอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารที่เสื่อมเสียได้ง่ายด้วยความชื้น.

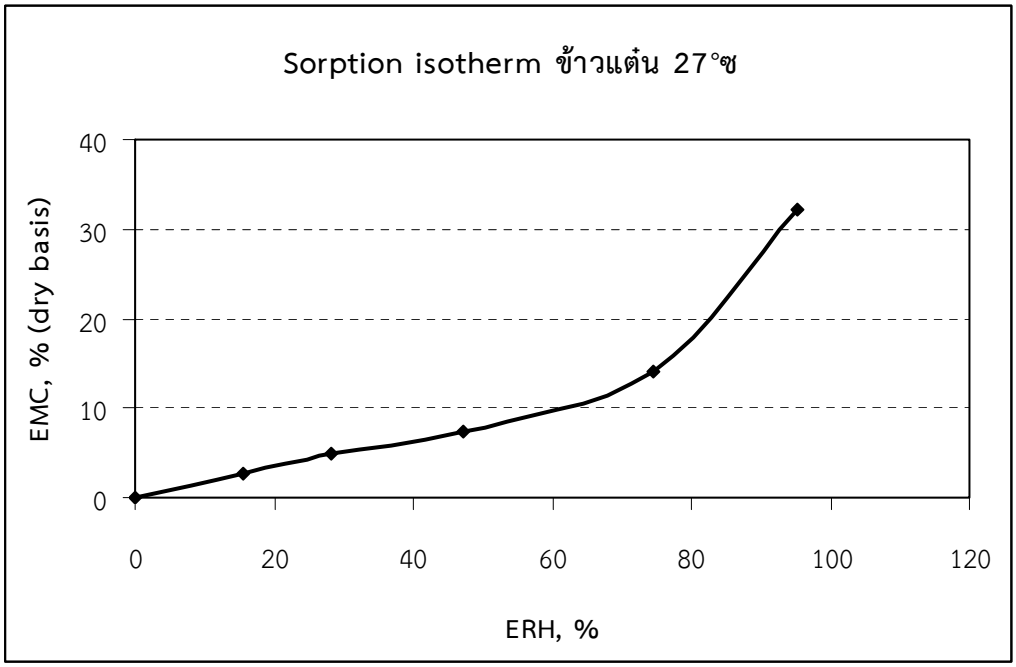
รูปที่ 61 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นอาหารที่สมดุล (EMC) กับความชื้นสัมพัทธ์ที่สมดุล (ERH) ของข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่อุณหภูมิ 27 °ซ. พบว่า sorption isotherm ของข้าวเกรียบข้าวโพดอบมีลักษณะเป็นเส้นโค้งรูปตัวเอส (sigmoid curve) หรือเป็น isotherm ประเภทที่ II (Bell and Labuza 2000) ซึ่งเป็นลักษณะของ isotherm ผลิตภัณฑ์อาหารส่วนใหญ่ ซึ่งการดูดความชื้นเกิดขึ้นเนื่องจาก colligative effects, capillaries effects และ surface-water interaction และมีช่วงโค้ง 2 ช่วงหลัก ในช่วง ERH = 20-40% และ 65-75%, เนื่องจากข้าวเกรียบข้าวโพดอบมีองค์ประกอบที่ซับซ้อน โดยมีความชื้นประมาณร้อยละ 2.64, คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 67.25 และไขมันประมาณร้อยละ 27. ข้าวเกรียบข้าวโพดอบมีความชื้นเริ่มต้นต่ำมากประมาณร้อยละ 2.64, ซึ่งตรงกับความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 7.8 โดยเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 27 °ซ. ข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่ได้รับความชื้นจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งถึงจุดสมดุล. ทั้งนี้เมื่อได้รับ

ความชื้น ข้าวเกรียบข้าวโพดอบจะเสื่อมสภาพ โดยเปลี่ยนจากแข็งกรอบเป็นนิ่ม, อ่อนตัว และมีการเจริญของเชื้อรา เมื่อความชื้นสัมพัทธ์สูงมาก.



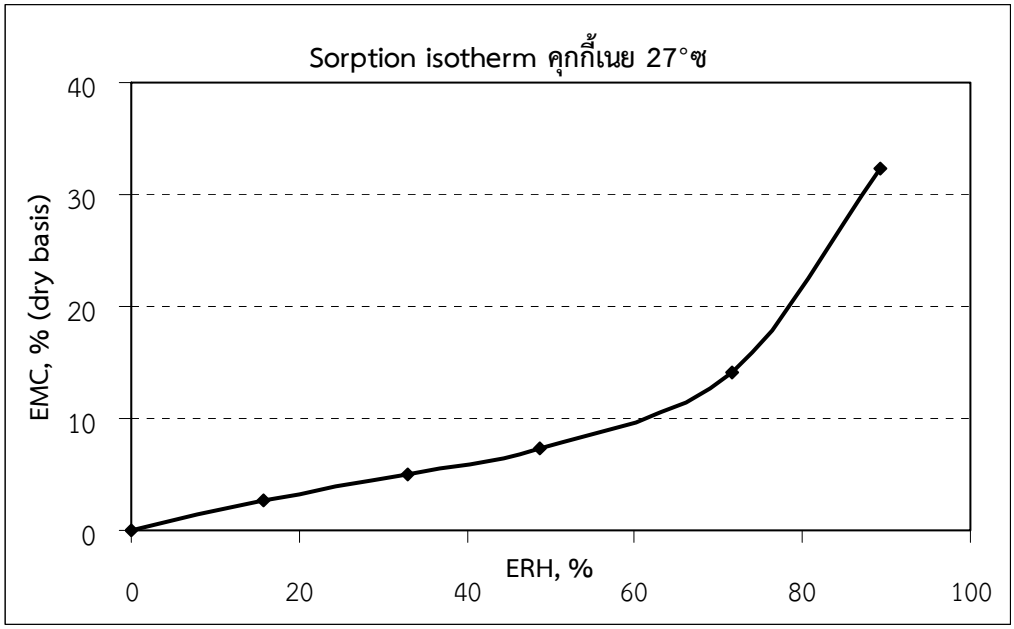
รูปที่ 61. Sorption isotherm ของข้าวเกรียบข้าวโพดอบที่อุณหภูมิ 27 °ซ.

รูปที่ 62 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นอาหารที่สมดุล (EMC) กับความชื้นสัมพัทธ์ที่สมดุล (ERH) ของข้าวแต๋นที่อุณหภูมิ 27 °ซ. พบว่า sorption isotherm ของข้าวแต๋นมีลักษณะเป็นเส้นโค้งรูปตัวเอส (sigmoid curve) หรือเป็น isotherm ประเภทที่ II (Bell and Labuza 2000) ซึ่งเป็นลักษณะของ isotherm อาหารส่วนใหญ่ซึ่งการดูดความชื้นเกิดขึ้นเนื่องจาก colligative effects, capillaries effects และ surface-water interaction และมีช่วงโค้ง 2 ช่วง หลักในช่วง ERH = 20-40% และ 65-75%, เนื่องจากข้าวแต๋นมีองค์ประกอบที่ซับซ้อน โดยมีความชื้นประมาณร้อยละ 3.28, คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 75.57 และไขมันประมาณร้อยละ 15. ข้าวแต๋นมีความชื้นเริ่มต้นต่ำมากประมาณร้อยละ 3.28 ซึ่งตรงกับความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 20.0 โดยเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 27°ซ. ข้าวแต๋นที่ได้รับความชื้นจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งถึงจุดสมดุล. ทั้งนี้เมื่อได้รับความชื้น ข้าวแต๋นจะเสื่อมสภาพ โดยเปลี่ยนจากแข็งกรอบเป็นนิ่ม, อ่อนตัว และอาจมีการเจริญของเชื้อรา เมื่อความชื้นสัมพัทธ์สูงมาก.



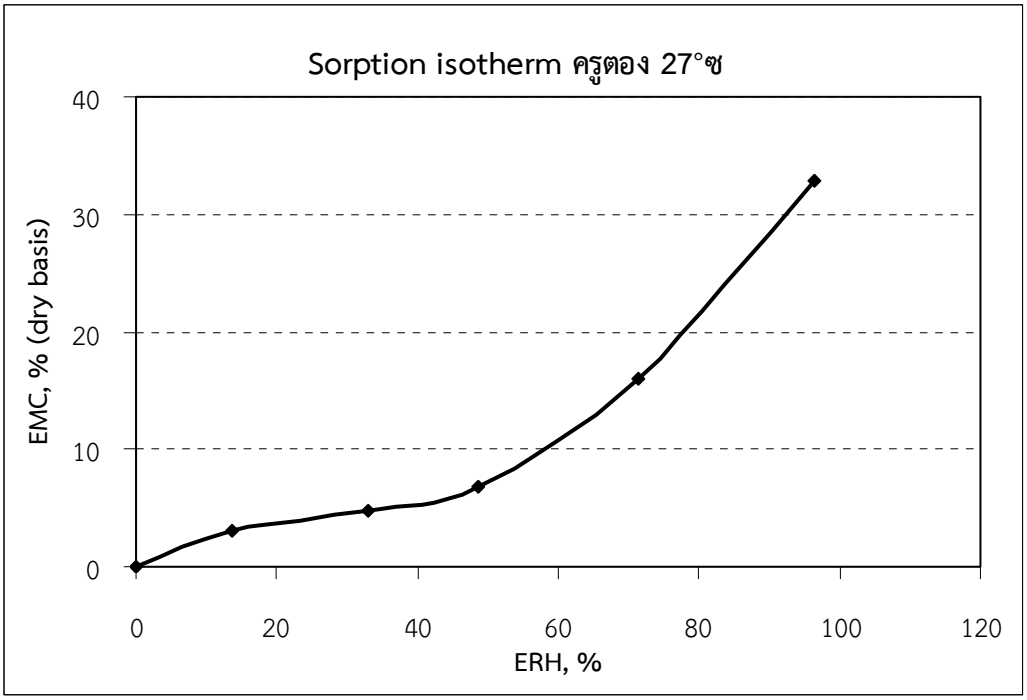
รูปที่ 62. Sorption isotherm ของข้าวแต๋นที่อุณหภูมิ 27 °ซ.

รูปที่ 63 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นอาหารที่สมดุล (EMC) กับความชื้นสัมพัทธ์ที่สมดุล (ERH) ของคุกกี้เนยที่อุณหภูมิ 27 °ซ. พบว่า sorption isotherm ของคุกกี้เนยมีลักษณะเป็นเส้นโค้งรูปตัวเอส (sigmoid curve) หรือเป็น isotherm ประเภทที่ II (Bell and Labuza 2000) ซึ่งเป็นลักษณะของ isotherm อาหารส่วนใหญ่ ซึ่งการดูดความชื้นเกิดขึ้นเนื่องจาก colligative effects, capillaries effects และ surface-water interaction และมีช่วงโค้ง 2 ช่วง หลักในช่วง ERH = 20-40% และ 65-75%, เนื่องจากคุกกี้เนยมีองค์ประกอบที่ซับซ้อน โดยมีความชื้นประมาณร้อยละ 3.03, คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 55.89 และไขมันประมาณร้อยละ 30. คุกกี้เนยมีความชื้นเริ่มต้นต่ำประมาณร้อยละ 3.03 ซึ่งตรงกับความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 20.0 โดยเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 27 °ซ. คุกกี้เนยที่ได้รับความชื้นจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งถึงจุดสมดุล, ทั้งนี้เมื่อได้รับความชื้น คุกกี้เนยจะเสื่อมสภาพ โดยเปลี่ยนจากแข็งกรอบเป็นนิ่ม, อ่อนตัว และมีการเจริญของเชื้อรา เมื่อความชื้นสัมพัทธ์สูงมาก.



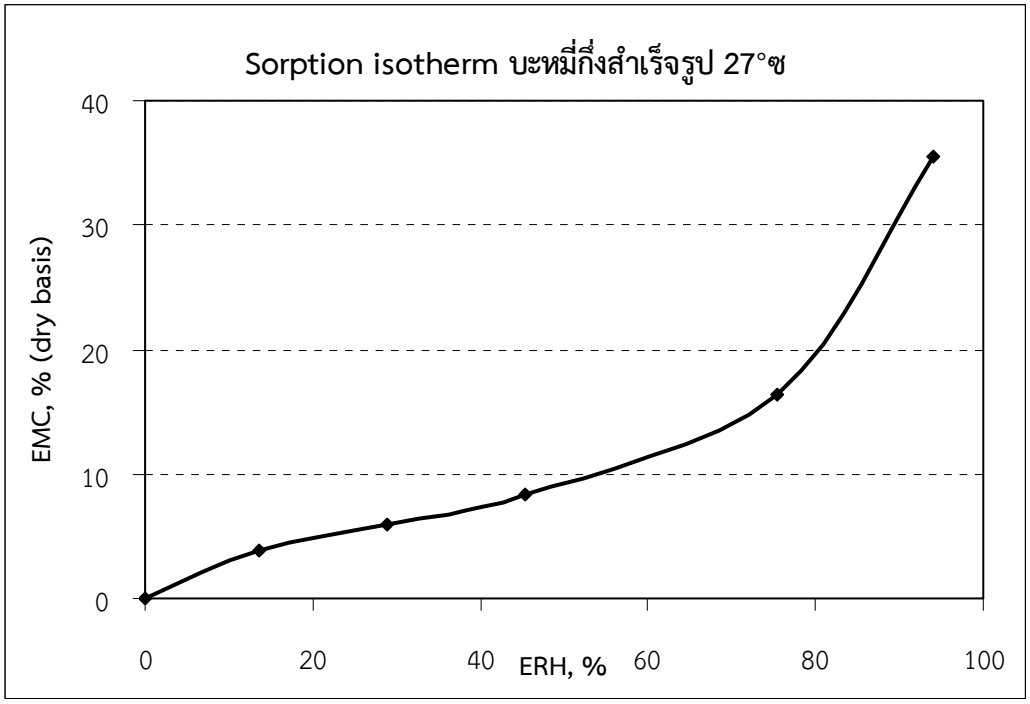
รูปที่. 63 Sorption isotherm ของคุกกี้เนยที่อุณหภูมิ 27°ซ.

รูปที่ 64 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นอาหารที่สมดุล (EMC) กับความชื้นสัมพัทธ์ที่สมดุล (ERH) ของครูตองที่อุณหภูมิ 27°ซ. พบว่า sorption isotherm ของครูตองมีลักษณะเป็นเส้นโค้งรูปตัวเอส (sigmoid curve) หรือเป็น isotherm ประเภทที่ II (Bell and Labuza 2000) ซึ่งเป็นลักษณะของ isotherm อาหารส่วนใหญ่ซึ่งการดูดความชื้นเกิดขึ้นเนื่องจาก colligative effects, capillaries effects และ surface-water interaction และมีช่วงโค้ง 2 ช่วง หลักในช่วง ERH = 20-40% และ 65-75%, เนื่องจากครูตองมีองค์ประกอบที่ซับซ้อน โดยมีความชื้นประมาณร้อยละ 2.90, คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 58.56, ไขมันและโปรตีนประมาณร้อยละ 23 และ 12 ตามลำดับ. ครูตองมีความชื้นเริ่มต้นต่ำประมาณร้อยละ 2.90 ซึ่งตรงกับความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 13.9 โดยเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 27°ซ. ครูตองที่ได้รับความชื้นจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งถึงจุดสมดุล, ทั้งนี้เมื่อได้รับความชื้น ครูตองจะเสื่อมสภาพ โดยเปลี่ยนจากแข็งกรอบเป็นนิ่มและอ่อนตัว เมื่อความชื้นสัมพัทธ์สูงมาก.



รูปที่ 64. Sorption isotherm ของครูตองที่อุณหภูมิ 27 °ซ.

รูปที่ 65 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นอาหารที่สมดุล (EMC) กับความชื้นสัมพัทธ์ที่สมดุล (ERH) ของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่อุณหภูมิ 27 °ซ. พบว่า sorption isotherm ของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปมีลักษณะเป็นเส้นโค้งรูปตัวเอส (sigmoid curve) หรือเป็น isotherm ประเภทที่ II (Bell and Labuza 2000) ซึ่งเป็นลักษณะของ isotherm อาหารส่วนใหญ่ ซึ่งการดูดความชื้นเกิดขึ้นเนื่องจาก colligative effects, capillaries effects และ surface-water interaction และมีช่วงโค้ง 2 ช่วงหลักในช่วง ERH = 20-40% และ 65-75%, เนื่องจากบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปมีองค์ประกอบที่ซับซ้อน โดยมีความชื้นประมาณร้อยละ 1.75, คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 76.08, โปรตีนและไขมันประมาณร้อยละ 10.68 และ 10.41 ตามลำดับ. บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปมีความชื้นเริ่มต้นต่ำประมาณร้อยละ 1.75 ซึ่งตรงกับความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 4.8. โดยเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 27 °ซ. บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่ได้รับความชื้นจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งถึงจุดสมดุล. ทั้งนี้เมื่อได้รับความชื้น บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปจะเสื่อมสภาพ โดยเปลี่ยนจากแข็งกรอบเป็นนิ่มและอ่อนตัว เมื่อความชื้นสัมพัทธ์สูงมาก.



รูปที่ 65. Sorption isotherm ของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่อุณหภูมิ 27 °ซ.

เนื่องจากผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิดมีค่าความชื้นเริ่มต้น และความชื้นวิกฤตที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับแตกต่างกัน, เนื่องจากมีส่วนประกอบแตกต่างกัน. จาก sorption isotherm ของผลิตภัณฑ์อาหารเป้าหมายทั้ง 5 ชนิด พบว่า เมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์อาหารมีความชื้นเพิ่มขึ้น, ทำให้สามารถหาค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่สัมพันธ์กับค่าความชื้นเริ่มต้น (mo) และความชื้นวิกฤต (mc) เพื่อใช้ในการประเมินอายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารด้วยสมการคณิตศาสตร์ได้ ดังแสดงในตารางที่ 29.

ตารางที่ 29. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์กับความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิ 27 °ซ.

ผลิตภัณฑ์	mo, %	RHo, %	mc, %	RHc, %
ข้าวเกรียบข้าวโพดอบ	2.64	7.8	5.92	51.5
ข้าวแต๋น	3.28	20.0	8.69	61.0
คุกกี้เนย	3.03	20.0	4.59	45.0
ครูตอง	2.90	13.9	10.08	70.5
บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป	1.75	4.8	10.37	55.5

หมายเหตุ : RHo = ความชื้นสัมพัทธ์เริ่มต้น, RHc = ความชื้นสัมพัทธ์วิกฤต

3.2.3.2 การประเมินอายุการเก็บด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ (Mathematical modeling)

การประเมินอายุการเก็บด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ สามารถคำนวณได้หลายวิธี อาทิ half value period (HVP) ดังที่อธิบายโดย Paine (1969). สมการการซึมผ่านไอน้ำและ sorption isotherm (Hernandez, Selke and Culter 2000) สำหรับการประเมินอายุการเก็บด้วยสมการคณิตศาสตร์มีข้อดีหลายประการ เช่น คำนวณอายุการเก็บได้รวดเร็ว, ใช้เวลาสั้น, แต่ผลที่ได้มีความคลาดเคลื่อนขึ้นกับสมมติฐานที่เลือกใช้ ดังที่ภาคลำเจียก (2525) คาดคะเนอายุการเก็บของขนมขบเคี้ยวโปรตีนสูงสำหรับเด็ก ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ดูดความชื้น และมีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 4.0 บรรจุในถุงพอลิโพรพิลีน โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ พบว่า อายุการเก็บที่ได้คลาดเคลื่อนจากอายุการเก็บจริงร้อยละ 2-5 ขึ้นกับขนาดของถุงที่บรรจุ, เนื่องจากสมติฐานที่ตั้งขึ้น. อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ให้ความสะดวก รวดเร็ว และเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการทดสอบอายุการเก็บในสภาวะเร่ง.

- การประเมินอายุการเก็บโดยวิธี Half-Value period (HVP)

Half-Value period หรือ HVP หมายถึง ระยะเวลาที่ใช้ในการที่ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุงจะเพิ่มขึ้นครึ่งทางระหว่างความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสมดุลภายใต้สภาวะนั้นๆ (สวัสดิทัตและปฐมโยธิน 2522). การหาค่า HVP ที่บรรยากาศกำหนดนั้นมักจะใช้สภาวะของบรรยากาศในเขตร้อนคือที่อุณหภูมิ 38 °ซ. และความชื้นสัมพัทธ์ 90%. การคาดคะเนอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ตามวิธีของ Paine (1969) สามารถคำนวณได้จากค่า HVP, ปริมาณความชื้นเริ่มต้น, ปริมาณความชื้นวิกฤต และความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์อาหารชนิดนั้น เช่น สวัสดิทัตและปฐมโยธิน (2522) คาดคะเนอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความชื้น 3 ชนิด ได้แก่ ข้าวเกรียบกุ้ง, ถั่วโอชา และเครื่องดื่มผง บรรจุในถุงพอลิโพรพิลีน โดยศึกษาคุณสมบัติในการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ (moisture sorption isotherm) และใช้วิธีของ Paine (1969) คำนวณหาค่า Half-value period พบว่า ข้าวเกรียบกุ้ง, ถั่วโอชา และเครื่องดื่มผง มีอายุการเก็บประมาณ 17, 29 และ 38 วัน ที่อุณหภูมิ 27 °ซ., 65% RH.

ผลการประเมินอายุการเก็บอาหารเป้าหมายทั้ง 5 ชนิดโดยวิธี HVP แสดงดังตารางที่ 30, เนื่องจากพารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ในการประเมินอายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารไวความชื้นด้วยวิธีดังกล่าวคือ ความสามารถในการดูดหรือคายความชื้นของผลิตภัณฑ์. ดังนั้นสมบัติการสกัดกั้นไอน้ำหรือความสามารถในการป้องกันไอน้ำของบรรจุภัณฑ์ จึงมีผลโดยตรงต่ออายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารไวความชื้นเป้าหมาย พบว่า ผลิตภัณฑ์ทั้ง 5 ชนิดที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่ป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดีกว่าจะมีอายุการเก็บนานกว่าการบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่ป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ไม่ดี กล่าวคือ ผลิตภัณฑ์อาหารที่บรรจุซอง PET/Al/LLDPE มีอายุการเก็บนานกว่า OPP/PE/MPET/CPP, OPP/CPP และ PP ตามลำดับ.

อย่างไรก็ตามอายุการเก็บที่คำนวณได้ด้วยวิธีดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนจากอายุการเก็บจริงไม่มากก็น้อย ขึ้นกับองค์ประกอบและการเสื่อมเสียของอาหาร ตลอดจนสมมติฐานที่ใช้ดังที่กล่าวมาแล้ว. ทั้งนี้มีการใช้สมมติฐานว่า อาหารไวความชื้นเสื่อมเสียด้วยความชื้นเพียงอย่างเดียวเพื่อใช้ในการคำนวณ, ในขณะที่องค์ประกอบอาหารแต่ละชนิดมีความซับซ้อนแตกต่างกันไป และผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น ข้าวเกรียบข้าวโพดอบ, ข้าวแต๋น, คุกกี้เนย และครูตองมีปริมาณไขมันค่อนข้างสูง ทำให้อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงอื่นๆ เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันควบคู่ไปด้วย เช่น เปลี่ยนสี และเกิดกลิ่นแปลกปลอม เป็นต้น ทำให้การประเมินอายุการเก็บด้วยวิธีนี้เกิดความคลาดเคลื่อน.

การประเมินอายุการเก็บด้วยวิธีนี้ ให้ผลใกล้เคียงกว่าเมื่อเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่ป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ไม่ดี หรือยอมให้ไอน้ำซึมผ่านได้มากกว่า เช่น PP และ OPP/CPP, เนื่องจากการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารด้วยบรรจุภัณฑ์ดังกล่าว ผลิตภัณฑ์อาหารจะเสื่อมเสียด้วยไอน้ำหรือความชื้นเป็นหลัก, ทำให้การใช้สมการในการประเมินอายุการเก็บได้ค่าใกล้เคียงมากกว่าหรือมีร้อยละความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า. ในขณะที่บรรจุภัณฑ์ที่ป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดี เช่น PET/Al/LLDPE และ OPP/PE/MPET/CPP ผลิตภัณฑ์อาหารเป้าหมายมีแนวโน้มว่าผลิตภัณฑ์อาหารจะเสื่อมเสียจากสาเหตุอื่นๆ นอกจากความชื้น อาทิ การเกิดกลิ่นหืน, การเปลี่ยนสี ทำให้ค่าที่ประเมินได้มีความคลาดเคลื่อนสูงกว่า.

- Sorption isotherm และสมการการซึมผ่านไอน้ำ

จากสมการการซึมผ่านไอน้ำ และความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลของอาหารและความชื้นสัมพัทธ์สมดุลจาก Sorption isotherm ของผลิตภัณฑ์อาหารเป้าหมาย สำหรับ Sorption isotherm ไม่เป็นเส้นตรงในช่วง ERH = 20-60% สามารถคำนวณอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ได้ตามสมการที่ 1 (Hernandez Selke and culter 2000).

$$\text{อายุการเก็บ (SL)} = \frac{ql}{PA\,\Delta p} \quad \text{..... สมการที่ 1}$$

เมื่อ q = Moisture uptake

P = Package permeability

A = ขนาดพื้นที่ซอง

l = ความหนาฟิล์ม

Δp = partial pressure difference

ตารางที่ 30. อายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารที่อุณหภูมิ 37 °ซ. ประเมินโดยวิธี HVP

ผลิตภัณฑ์	บรรจุภัณฑ์	อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 37°ซ., วัน	
		HVP	Actual storage
ข้าวเกรียบข้าวโพดอบ	PP	7	7
	OPP/CPP	11	20
	OPP/PE/MPET/CPP	91	120
	PET/Al/LLDPE	529	210
ข้าวแต๋น	PP	16	14
	OPP/CPP	35	14
	OPP/PE/MPET/CPP	312	63
	PET/Al/LLDPE	98,489	84
คุกกี้เนย	PP	11	17
	OPP/CPP	19	17
	OPP/PE/MPET/CPP	98	56
	PET/Al/LLDPE	39,315	77
ครูตอง	PP	19	21
	OPP/CPP	32	42
	OPP/PE/MPET/CPP	379	180
	PET/Al/LLDPE	6,847	180
บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป	PP	25	21
	OPP/CPP	60	42
	OPP/PE/MPET/CPP	681	168
	PET/Al/LLDPE	18,803	360

ดังนั้นอายุการเก็บของข้าวเกรียบข้าวโพดอบในบรรจุภัณฑ์ทั้ง 4 ชนิด สามารถคาดคะเนได้ดังแสดงในตารางที่ 31. ในทำนองเดียวกับการคำนวณด้วยวิธี HVP, เนื่องจากการคำนวณอายุการเก็บ วิธีนี้ใช้สมการการซึมผ่านไอน้ำเป็นหลักในการคำนวณ บรรจุภัณฑ์ที่ยอมให้ไอน้ำซึมได้น้อยมีอายุการเก็บนานกว่าบรรจุภัณฑ์ที่ยอมให้ไอน้ำซึมได้มาก. อย่างไรก็ตามยังมีความคลาดเคลื่อนจากอายุการเก็บจริง, เนื่องจากสาเหตุหลายประการ อาทิ ชนิด, องค์ประกอบ และลักษณะการเสื่อมเสียของอาหาร และมีการใช้สมมติฐานหลายจุดในการคำนวณ เช่น การซึมผ่านของไอน้ำเป็น steady state และเกิดขึ้นทันที ผลิตภัณฑ์อาหารเข้าสู่สมดุลทันทีพร้อมกับความชื้นสัมพัทธ์เหนืออาหารและไม่ย้อนกลับ, ไม่คำนึงถึงไอน้ำที่มีอยู่เดิมภายในช่องว่างเหนืออาหาร (Hernandez Selke and Culter

2000) และไม่ทราบค่าที่แน่นอนของ ERH ภายใน แต่ประมาณจากค่าความชื้นสมดุลภายในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งคำนวณจากค่าเฉลี่ยระหว่างความชื้นเริ่มต้นและความชื้นวิกฤต. นอกจากนี้ยังมีความคลาดเคลื่อนจากการอ่านและประมาณค่าจาก sorption isotherm อีกด้วย.

ตารางที่ 31. อายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารเป้าหมายคาดคะเนด้วยสมการอายุการเก็บที่อุณหภูมิ 27 °ซ., 65% RH

ผลิตภัณฑ์อาหาร	บรรจุภัณฑ์	อายุการเก็บ, วัน	
		Actual storage	สมการอายุการเก็บ
ข้าวเกรียบข้าวโพดอบ	PP	14	9
	OPP/CPP	34	24
	OPP/PE/MPET/CPP	210	314
	PET/Al/LLDPE	364	1,245
ข้าวแต๋น	PP	28	44
	OPP/CPP	33	111
	OPP/PE/MPET/CPP	168	1,429
	PET/Al/LLDPE	>266	5,665
คุกกี้เนย	PP	25	22
	OPP/CPP	28	56
	OPP/PE/MPET/CPP	>84	729
	PET/Al/LLDPE	>210	2,890
ครูตอง	PP	42	57
	OPP/CPP	56	144
	OPP/PE/MPET/CPP	227	1,855
	PET/Al/LLDPE	232	7,352
บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป	PP	40	84
	OPP/CPP	96	214
	OPP/PE/MPET/CPP	>210	2,755
	PET/Al/LLDPE	>365	10,920

อายุการเก็บที่อุณหภูมิห้องคาดคะเนด้วยสมการทางคณิตศาสตร์แสดงดังตารางที่ 32. ในทำนองเดียวกับการคำนวณด้วยวิธี HVP อายุการเก็บที่คำนวณได้จากบรรจุภัณฑ์ที่ป้องกันการซึมผ่าน

ไอน้ำได้ไม่ดี จะให้ผลการคำนวณใกล้เคียงกว่าบรรจุภัณฑ์ที่มีการสกัดกั้นสูง ดังได้กล่าวมาแล้ว. อย่างไรก็ตามพบว่ายังมีความแตกต่างสูง, เนื่องจากเหตุผลหลายประการ นอกเหนือจากการใช้สมมติฐานและเหตุผลดังที่กล่าวมาแล้ว ได้มีการนำ sorption isotherm ที่อุณหภูมิ 37 °ซ. มาใช้ในการคำนวณ แทนการใช้ sorption isotherm ที่อุณหภูมิ 32±2 °ซ. (ซึ่งไม่สามารถทำได้ เนื่องจากอุณหภูมิห้องไม่คงที่ตลอดการวิจัย).

ตารางที่ 32. อายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารเป้าหมายคาดคะเนด้วยสมการอายุการเก็บที่อุณหภูมิห้อง

ผลิตภัณฑ์อาหาร	บรรจุภัณฑ์	อายุการเก็บ, วัน	
		Actual storage	สมการอายุการเก็บ
ข้าวเกรียบข้าวโพดอบ	PP	10	5
	OPP/CPP	30	13
	OPP/PE/MPET/CPP	210	174
	PET/Al/LLDPE	>364	692
ข้าวแต๋น	PP	17	23
	OPP/CPP	28	60
	OPP/PE/MPET/CPP	168	771
	PET/Al/LLDPE	200	3,058
คุกกี้เนย	PP	18	12
	OPP/CPP	21	31
	OPP/PE/MPET/CPP	84	405
	PET/Al/LLDPE	210	1,607
ครูตอง	PP	34	30
	OPP/CPP	50	75
	OPP/PE/MPET/CPP	223	974
	PET/Al/LLDPE	231	3,861
บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป	PP	36	48
	OPP/CPP	81	121
	OPP/PE/MPET/CPP	>210	1,561
	PET/Al/LLDPE	>360	6,188

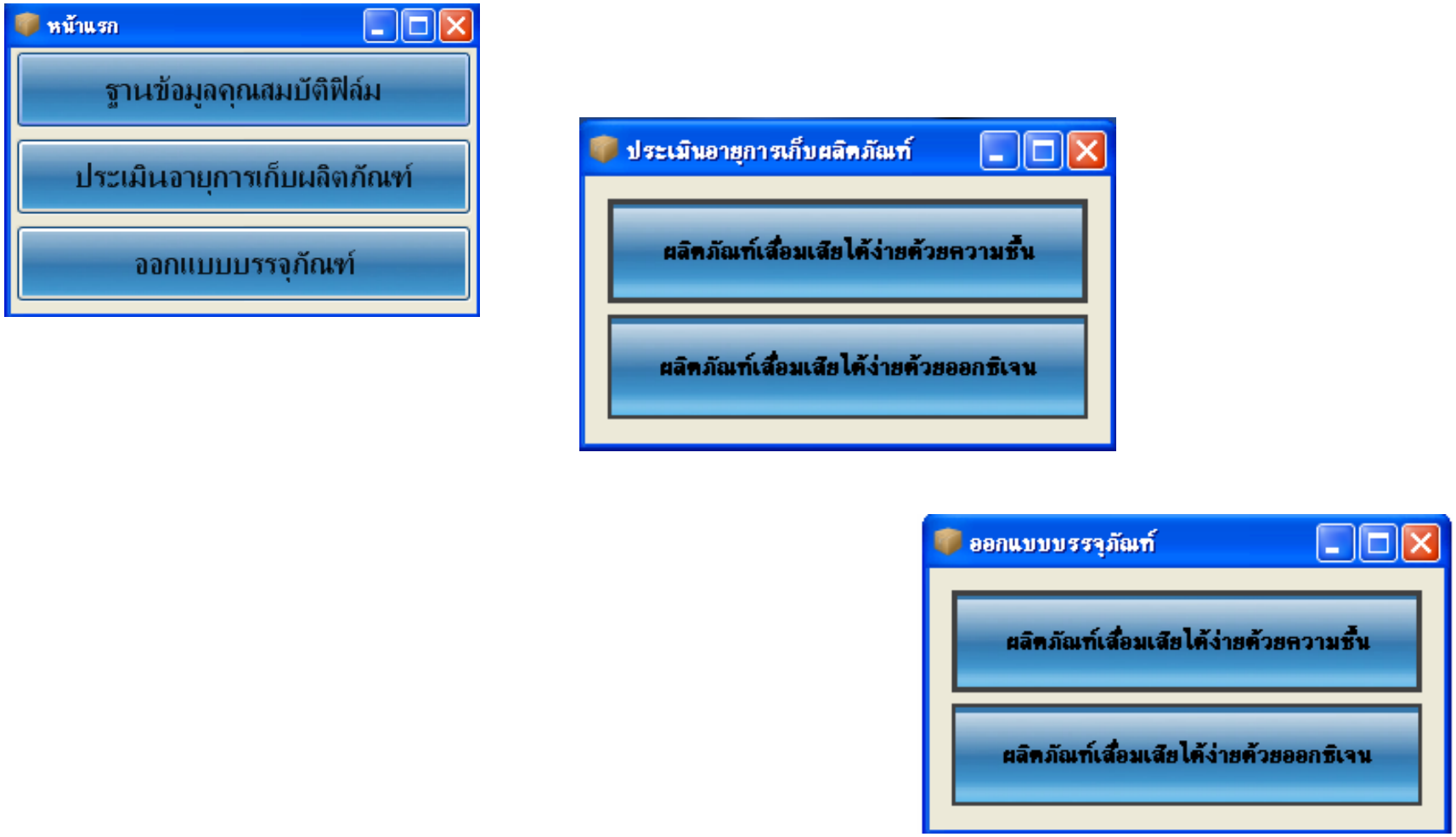
3.2.4 โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับประเมินอายุการเก็บผลิตภัณฑ์

รูปที่ 66-69 แสดงหน้าจอโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับประเมินอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ที่ได้พัฒนาขึ้น โดยประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก เพื่อให้เลือกใช้งาน.

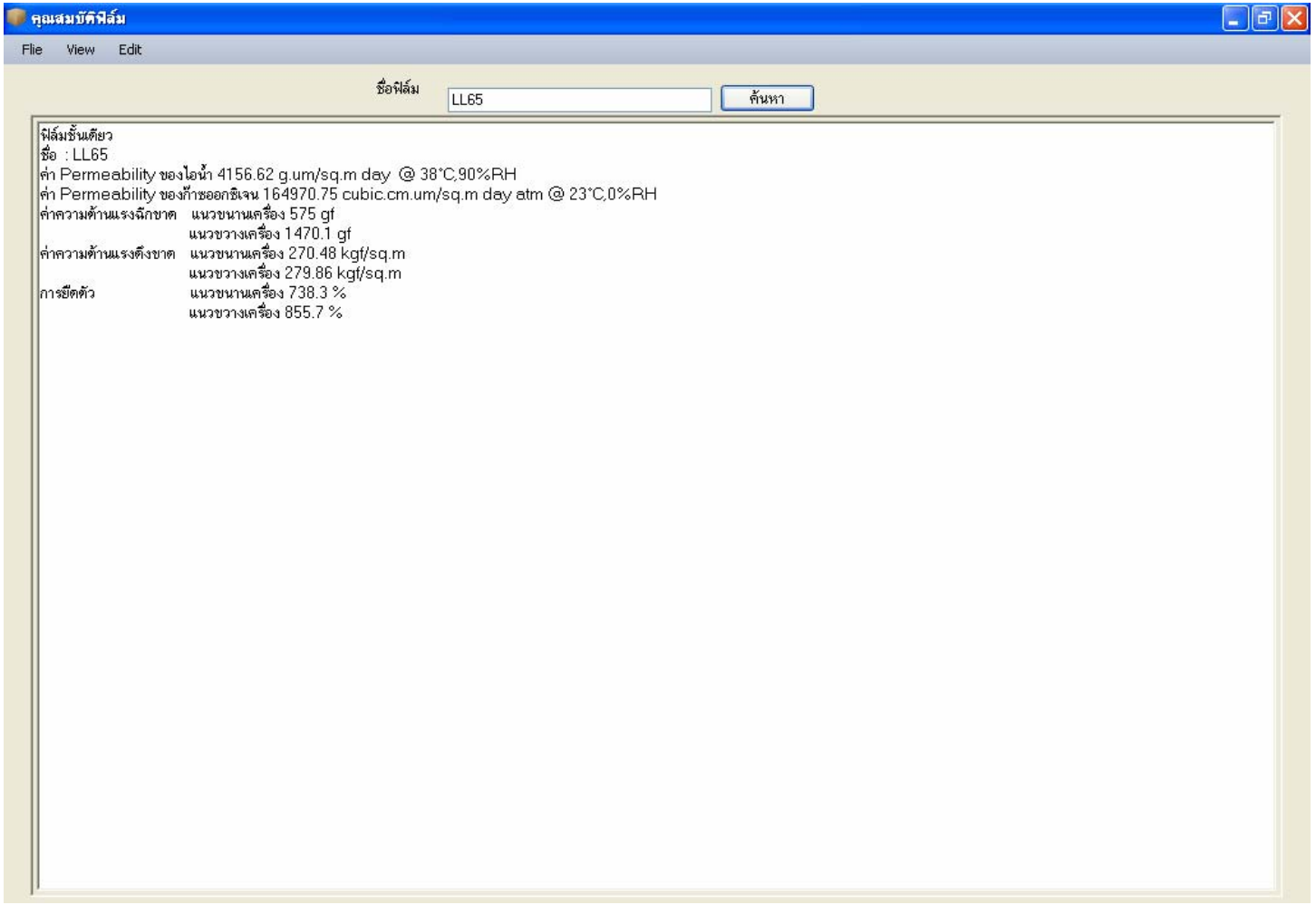
1. ส่วนฐานข้อมูลบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว ได้แก่ ข้อมูลการซึมผ่านไอน้ำและออกซิเจนของฟิล์มชั้นเดียวและฟิล์มหลายชั้นที่ใช้ในประเทศ การใช้งานโปรแกรมทำได้โดยกรอกชื่อหรือเลือกชนิดฟิล์มที่ต้องการทราบ ข้อมูลการซึมผ่านไอน้ำและออกซิเจนจะปรากฏขึ้นมา ดังแสดงในรูปที่ 67.

2. ส่วนการประเมินอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ จากข้อมูลผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ที่เลือกใช้ตลอดจนสภาวะเก็บรักษาที่ใช้วางจำหน่าย การใช้งานโปรแกรมทำได้โดยเลือกว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมเสียได้ง่ายด้วยความชื้นหรือออกซิเจน กรอกข้อมูลพารามิเตอร์ที่ต้องการ ได้แก่ ชนิดผลิตภัณฑ์, น้ำหนักบรรจุ, ค่าความชื้นสูงสุดที่ผลิตภัณฑ์รับได้ก่อนที่ผู้บริโภคจะไม่ยอมรับ, ขนาดและความหนาของบรรจุภัณฑ์ ตลอดจนสภาวะเก็บรักษา ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้น จากนั้นทำการประเมินผลจะได้อายุการเก็บ ดังแสดงในรูปที่ 68.

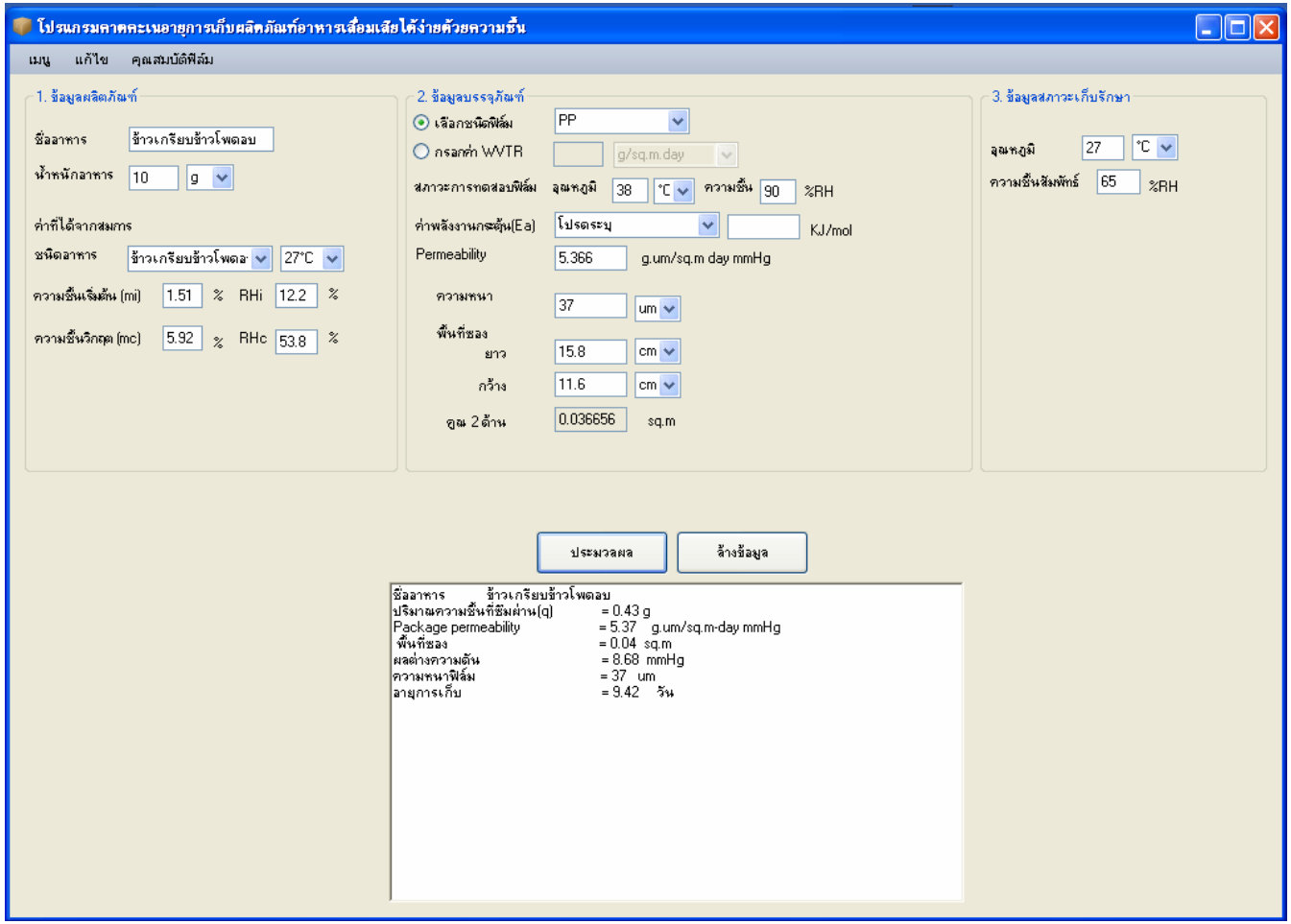
3. ส่วนออกแบบผลิตภัณฑ์ เมื่อทราบอายุการเก็บที่ต้องการ และต้องการเลือกใช้วัสดุบรรจุภัณฑ์ให้เหมาะสม การใช้งานโปรแกรมทำได้โดยเลือกว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมเสียได้ง่ายด้วยความชื้นหรือออกซิเจน กรอกข้อมูลพารามิเตอร์ที่ต้องการ ได้แก่ ชนิดผลิตภัณฑ์, น้ำหนักบรรจุ, ค่าความชื้นและออกซิเจนสูงสุดที่ผลิตภัณฑ์รับได้, ขนาดและความหนาของบรรจุภัณฑ์ และสภาวะเก็บรักษา ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้น จากนั้นทำการประเมินผลจะได้อายุการเก็บ ดังแสดงในรูปที่ 69.



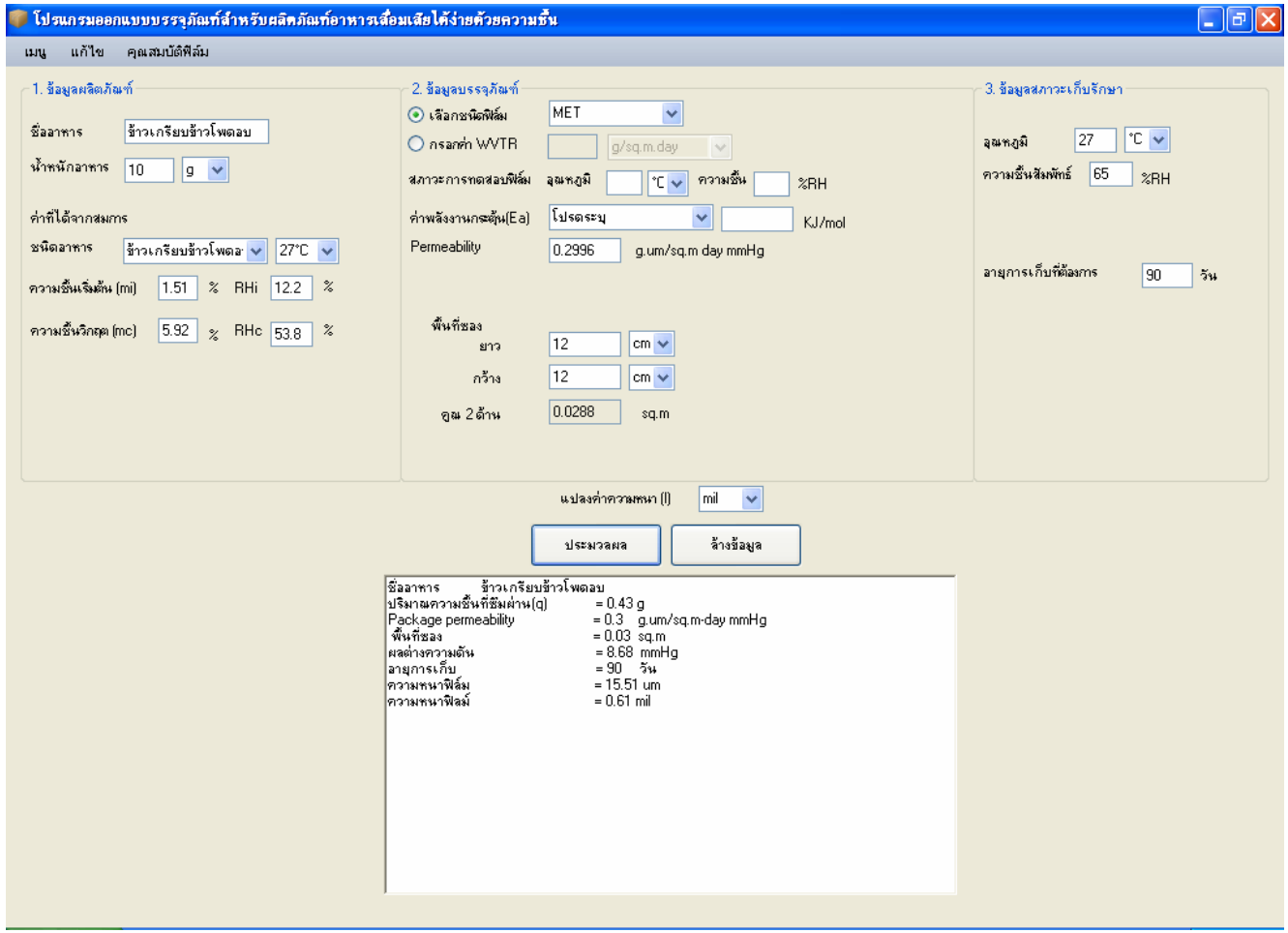
รูปที่ 66. หน้าจอเริ่มต้น.



รูปที่ 67. ฐานข้อมูลบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว.



รูปที่ 68. การประเมินอายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารเสื่อมเสียด้วยความชื้น.



รูปที่ 69. การออกแบบบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารเสื่อมเสียด้วยความชื้น.

อายุการเก็บที่อุณหภูมิห้องคาดคะเนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 33 พบว่า ในทำนองเดียวกับการประเมินอายุการเก็บด้วยสมการการซึมผ่านไอน้ำ และกราฟความสัมพันธ์ sorption isotherm ของผลิตภัณฑ์ไวความชื้นเป้าหมาย ซึ่งใช้เป็นส่วนสำคัญในการสร้างโปรแกรม, ทำให้ค่าอายุการเก็บที่ได้มีความแตกต่างกับการประเมินอายุการเก็บในสภาวะจริง. เช่นเดียวกับการใช้สมการการซึมผ่านไอน้ำ, เนื่องจากเหตุผลหลายประการ นอกเหนือจากการใช้สมมติฐานดังกล่าวแล้ว ยังมีการใช้ค่าความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (ERH) กับความชื้นสมดุล จากการใช้สมการที่เป็นตัวแทน sorption isotherm ที่ดีที่สุดด้วย GAB model แทนการอ่านค่าจาก sorption isotherm โดยตรง. อย่างไรก็ตามค่าที่คำนวณได้โดยตรงจากสมการยังใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณ ดังแสดงในตารางที่ 31 และตารางที่ 32.

ตารางที่ 33. อายุการเก็บผลิตภัณฑ์เมื่อคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ผลิตภัณฑ์อาหาร	บรรจุภัณฑ์	อายุการเก็บ, วัน	
		สภาวะการเก็บ 27°ซ. , 65% RH	สภาวะการเก็บ อุณหภูมิห้อง, 75% RH
ข้าวเกรียบข้าวโพดอบ	PP	9	5
	OPP/CPP	23	13
	OPP/PE/MPET/CPP	305	174
	PET/Al/LLDPE	1,210	689
ข้าวแต๋น	PP	44	24
	OPP/CPP	111	61
	OPP/PE/MPET/CPP	1,430	791
	PET/Al/LLDPE	5,668	3,135
คุกกี้เนย	PP	22	12
	OPP/CPP	56	32
	OPP/PE/MPET/CPP	725	413
	PET/Al/LLDPE	2,874	1,638
ครูตอง	PP	57	30
	OPP/CPP	144	77
	OPP/PE/MPET/CPP	1,853	997
	PET/Al/LLDPE	7,347	3,953
บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป	PP	84	49
	OPP/CPP	214	124
	OPP/PE/MPET/CPP	2,745	1,594
	PET/Al/LLDPE	10,885	6,319

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้สามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้ :

1. ผลิตภัณฑ์อาหารเป้าหมายมีอายุการเก็บแตกต่างกันไป ขึ้นกับชนิด, ส่วนประกอบและการเสื่อมเสีย, บรรจุภัณฑ์ และสภาวะการเก็บรักษา โดยส่วนประกอบ เช่น ปริมาณไขมันที่มีอยู่ค่อนข้างสูงในอาหารทั้ง 5 ชนิด, ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเป้าหมายมีการเสื่อมเสียอื่นๆ เช่น กลิ่นแปลกปลอม นอกเหนือจากการได้รับหรือสูญเสียความชื้นเพียงอย่างเดียว. บรรจุภัณฑ์ที่มีการสกัดกั้นสูงกว่ามีส่วนช่วยชะลอการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์. โดยผลิตภัณฑ์อาหารที่บรรจุด้วย PET/Al/LLDPE มีอายุการเก็บนานกว่า OPP/PE/MPET/CPP, OPP/CPP และ PP ตามลำดับ. ในขณะที่ผลิตภัณฑ์อาหารเป้าหมายเก็บที่อุณหภูมิ 27 °ซ. มีอายุการเก็บนานกว่าเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 37 และ 47 °ซ. ตามลำดับ. โดยผลิตภัณฑ์อาหารจะเสื่อมเสียเนื่องจากได้รับความชื้น, มีความกรอบลดลง, นิ่ม, อ่อนตัว เมื่อเก็บอุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 27 ซ. แต่ผลิตภัณฑ์อาหารจะเสื่อมเสียเนื่องจากเกิดกลิ่นแปลกปลอม เมื่อเก็บอุณหภูมิ 37 และ 47 ซ. โดยอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารเป้าหมายในสภาวะจริง แสดงดังตารางที่ 34.

2. การประเมินอายุการเก็บด้วยสภาวะเร่ง (ASLT) เป็นแนวทางที่ช่วยให้ได้ค่าอายุการเก็บรวดเร็วขึ้น แต่ยังมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่มากก็น้อย ทั้งนี้ขึ้นกับปัจจัยหรือพารามิเตอร์ที่เลือกใช้เป็นตัวแทนการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหารในการประเมินอายุการเก็บ. นอกจากนี้การบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่มีการสกัดกั้นไม่ดีนัก เช่น PP และ OPP/CPP จะได้ผลอายุการเก็บที่คลาดเคลื่อนน้อยกว่าการบรรจุ OPP/PE/MPET/CPP และ PET/Al/LLDPE.

3. การประเมินอายุการเก็บด้วยสมการทางคณิตศาสตร์แต่ละวิธี เป็นแนวทางที่ช่วยให้ได้อายุการเก็บในเวลารวดเร็ว ลดค่าใช้จ่าย แต่ยังมีค่าคลาดเคลื่อนสูง, เนื่องจากสมมติฐานที่เลือกใช้และอาหารแต่ละชนิดมีองค์ประกอบซับซ้อนแตกต่างกันไป ไม่ได้เสื่อมคุณภาพ เนื่องจากความชื้นเพียงอย่างเดียวเท่านั้น. นอกจากนี้เช่นเดียวกับการประเมินอายุการเก็บด้วยสภาวะเร่ง (ASLT) บรรจุภัณฑ์ที่มีการสกัดกั้นไม่ดีนัก เช่น PP และ OPP/CPP จะให้ผลอายุการเก็บที่ใกล้เคียงมากกว่า.

4. โปรแกรมฐานข้อมูลบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว ประเมินอายุการเก็บ และออกแบบบรรจุภัณฑ์สามารถเป็นแนวทางในการเลือกใช้งาน และออกแบบบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์ไวความชื้นให้มีอายุการเก็บตามต้องการได้ด้วยความรวดเร็ว เพื่อช่วยอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ประกอบการหรือผู้สนใจทั่วไป.

ตารางที่ 34. อายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหาร

ผลิตภัณฑ์	อุณหภูมิเก็บ, °ซ	บรรจุภัณฑ์			
		PP	OPP/CPP	OPP/PE/MPET/CPP	PET/Al/LLDPE
ข้าวเกรียบข้าวโพดอบ	อุณหภูมิห้อง	10 วัน	30 วัน	210 วัน	>364 วัน*
	27 ± 2	14 วัน	34 วัน	210 วัน	>364 วัน*
	37± 2	7 วัน	20 วัน	120 วัน	210 วัน
	47± 2	7 วัน	20 วัน	60 วัน	90 วัน
ข้าวแต๋น	อุณหภูมิห้อง	17 วัน	28 วัน	168 วัน	200 วัน
	27 ± 2	28 วัน	33 วัน	168 วัน	>266 วัน*
	37± 2	14 วัน	14 วัน	63 วัน	84 วัน
	47± 2	7 วัน	14 วัน	35 วัน	49 วัน
คุกกี้เนย	อุณหภูมิห้อง	18 วัน	21 วัน	84 วัน	210 วัน
	27 ± 2	25 วัน	28 วัน	>84 วัน*	>210 วัน*
	37± 2	17 วัน	17 วัน	56 วัน	77 วัน
	47± 2	14 วัน	17 วัน	56 วัน	63 วัน
ครูตอง	อุณหภูมิห้อง	34 วัน	50 วัน	223 วัน	231 วัน
	27 ± 2	42 วัน	56 วัน	227 วัน	232 วัน
	37± 2	21 วัน	42 วัน	180 วัน	180 วัน
	47± 2	14 วัน	21 วัน	150 วัน	180 วัน
บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป	อุณหภูมิห้อง	36 วัน	81 วัน	> 210 วัน*	> 360 วัน*
	27 ± 2	40 วัน	96 วัน	> 210 วัน*	> 360 วัน*
	37± 2	21 วัน	42 วัน	168 วัน	360 วัน
	47± 2	20 วัน	14 วัน	126 วัน	270 วัน

หมายเหตุ : * ผลิตภัณฑ์อาหารยังเป็นที่ยอมรับโดยผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส เมื่อสิ้นสุดการสุ่มตัวอย่าง

5. ผลการศึกษาเบื้องต้นทางด้านตลาดและผลกระทบของโครงการ

ประโยชน์ที่จะได้รับจากฐานข้อมูล และอายุการเก็บที่ได้ ได้แก่ :

1. ฐานข้อมูลชนิดและคุณสมบัติบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวหลายชั้น, อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความชื้น ตลอดจนข้อแนะนำในการเลือกใช้งานบรรจุภัณฑ์จะถูกตีพิมพ์และเผยแพร่ให้แก่ผู้ผลิตและผู้ใช้บรรจุภัณฑ์, เพื่อเสริมสร้างความรู้แก่ผู้ประกอบการในการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ของตน, ส่งผลให้ผู้บริโภคเกิดความปลอดภัยในการบริโภคอาหาร และลดต้นทุนการผลิตสินค้า, เนื่องจากเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่ไม่สามารถคุ้มครองสินค้าได้ หรือเลือกใช้บรรจุ-ภัณฑ์ดีเกินไป.

2. ฐานข้อมูลสมบัติบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวที่พัฒนาขึ้น สามารถให้บริการแก่ผู้ประกอบการอาหารและผู้ผลิตบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว ตลอดจนนักศึกษาและผู้สนใจทั่วไป, ช่วยประหยัดต้นทุนในการทดสอบบรรจุภัณฑ์ โดยเฉพาะกลุ่มวิสาหกิจชุมชน และกลุ่มวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม.

3. ฐานข้อมูลสมบัติบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวที่พัฒนาขึ้น ซึ่งเชื่อมต่อกับโปรแกรมการประเมินอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้น จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้ประกอบการ, เพื่อให้สามารถประเมินอายุการเก็บหรือทราบความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติการสกัดกั้นของบรรจุภัณฑ์อ่อนตัวกับอาหาร, การเก็บผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความชื้นได้ เช่น สามารถประเมินอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ด้วยตนเอง หากทราบชนิดของบรรจุภัณฑ์ และคุณลักษณะการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์, สามารถออกแบบหรือเลือกบรรจุภัณฑ์ได้ด้วยตนเอง ตามอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ.

4. ข้อมูลอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์เป้าหมายทั้ง 5 ชนิด จะเป็นข้อมูลและแนวทางสำคัญในการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม ตลอดจนการระบุอายุการเก็บโดยผู้ประกอบการ, ซึ่งมีส่วนสำคัญในการช่วยลดต้นทุนการผลิตและประหยัดเวลาในการศึกษาอายุการเก็บด้วยตนเอง โดยเฉพาะกลุ่มวิสาหกิจชุมชน และกลุ่มวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม.

5. วว. สามารถให้คำแนะนำในการแก้ปัญหา และให้บริการประเมินอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อความชื้นต่อผู้ประกอบการอาหารด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปที่พัฒนาขึ้น ตลอดจนจัดฝึกอบรมแนะนำแนวทางการเลือกในการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์, เพื่อยืดอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ประเภทที่ไวต่อความชื้นแก่ทั้งผู้ผลิตบรรจุภัณฑ์และผู้ประกอบการอาหาร.

ดังนั้นโครงการนี้จึงมีผลกระทบ ดังต่อไปนี้ :

- ผลกระทบด้านเศรษฐกิจ

1. ลดความสูญเสีย จากการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหาร อันเนื่องมาจากการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่ไม่เหมาะสม.

2. ลดต้นทุนการผลิตสินค้า, เนื่องจากการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงเกินความจำเป็น ไม่เหมาะสมกับอายุการเก็บสินค้าที่ต้องการ และลดการนำเข้าฟิล์มจากต่างประเทศ โดยการเลือกใช้ฟิล์มที่ผลิตในประเทศที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงมาทดแทน.

3. ลดค่าใช้จ่ายและเวลาในการศึกษาอายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารให้แก่ผู้ประกอบการอาหาร โดยเฉพาะวิสาหกิจขนาดกลางและย่อม.

- ผลกระทบด้านสังคม

1. เสริมสร้างความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องให้แก่ผู้ประกอบการในการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์อาหาร. ในขณะเดียวกันฐานข้อมูลและโปรแกรมสำเร็จรูปที่พัฒนาขึ้น จะช่วยให้ผู้ประกอบการสามารถเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ให้เหมาะสมกับสินค้าได้อย่างถูกต้อง และรวดเร็ว.

2. ยกระดับคุณภาพชีวิตของกลุ่มผู้บริโภคจากการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่ช่วยรักษาคุณภาพและมีอายุการเก็บจริงตามที่ระบุบนฉลากหรือบรรจุภัณฑ์, เพิ่มความปลอดภัยและลดความเสี่ยงในการบริโภคอาหาร.

6. ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้ :

1. ควรทำงานวิจัยเพิ่มเติม ให้ครอบคลุมอาหารไวความชื้นชนิดอื่น และครอบคลุมฟิล์มพลาสติกชนิดอื่น โดยเฉพาะฟิล์มพลาสติกที่มีสมบัติสกัดกั้นระหว่าง OPP/CPP และ OPP/ PE/MPET/CPP เช่น OPP/MCPP เพื่อให้ผลการวิจัยที่ได้ใช้งานได้กว้างขวางยิ่งขึ้น.

2. พัฒนาหรือเพิ่มขีดความสามารถของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นด้วยการเชื่อมโยงและ/หรือเปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์แบบต่างๆ เพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำใกล้เคียงความจริงมากที่สุด.

3. เผยแพร่ผลงานวิจัยให้แก่ผู้ประกอบการอาหารและบรรจุภัณฑ์โดยเฉพาะวิสาหกิจชุมชนและวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม เพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิต และประหยัดเวลาในการประเมินอายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารไวความชื้น.

7. เอกสารอ้างอิง

ภาคลำเจียก, มยุรี. 2525. การคาดคะเนอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารโดยการใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, รายงานฉบับที่ 10, โครงการวิจัยที่ ภ. 21-22.

ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. 2553. K-Econ Analysis. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://www.kasikorn research.com, [เข้าถึงเมื่อ 1 มิถุนายน 2555].

สวัสดิทัต, อมรรัตน์และปฐมโยธิน, วิวัธน์. 2522. การเลือกใช้วัสดุ (flexible packaging materials) ให้สอดคล้องกับเวลาที่ต้องการเก็บผลิตภัณฑ์อาหาร. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, รายงานฉบับที่ 5, โครงการวิจัยที่ ภ. 21-22.

สิริภัทราวรรณ, อุบลรัตน์และจันทวัฒน์, พันธิพา. 2549. การทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมคุณภาพเนื่องจากความชื้นโดยใช้ ANN. กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษาและสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์).

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2000. Official method of analysis. 17th ed. Washington DC : Association of Official Analytical Chemists.

Bell, L.N. and Labuza, T.P., 2000. Moisture sorption: Practical aspects of isotherm measurement and use. St. Paul : American Association of Cereal Chemists, pp. 25-50.

Calligaris, S., Pieve, S.D., Kravina, G., Manaocco, L. and Nicoli, C.M., 2008. Shelf life prediction of bread sticks using oxidation indices: A validation study. *Journal of Food Science*, **73**(2), pp. E52-6.

Cox, H.E. and Pearson, D., 1962. The Chemical Analysis of Foods. New York: Chemical Publishing, p. 420.

Hernandez, R.J., Selke, S.E.M. and Culter, J.D., 2000. Plastics Packaging. Cincinati : Hanser., 425 p.

Labuza, T.P., Tannenbaum, S.R. and Karel, M., 1970. Water content and stability of low moisture and intermediate-moisture foods. *Food Technology*, **24**(3), pp. 543-544.

Labuza, T.P., 1971. Kinetics of lipid oxidation in foods. *CRC Critical Review of Food Technology*, **2**(10), pp. 355-405.

Labuza, T.P. and Schmidt, M.K., 1985. Accelerated Shelf-Life Testing of Foods. *Food Technology*, **39**(9), pp. 57-62, 64.

Liu, L.Y., Yang, M.H., Lin, J.H. and Lee, M.H., 2005. Lipid profile and oxidative stability of commercial egg products. *J Food Drug Anal*, **13**(1), pp. 78-83.

Paine, F.A., 1969. Shelf life of Packaged Articles. *In* : F.A. Paine, ed. *Fundamentals of Packaging*. London: Blackie & Son Ltd., pp. 275-290.

Palou, E., Lopez-Malo, A. and Argaiz, A., 1997. Effect of temperature on the moisture sorption isotherms of some cookies and corn snacks. *Journal of Food Engineering*, **31**(4), pp. 85-93.

Parry, R.T., 1993. Introduction. *In* : R.T. Parry, ed. *Principles and Applications of Modified Atmosphere Packaging of Foods.* Glasgow: Blackie Academic & Professional, pp. 1-8.

Singh, T.K. and Cadwallader, K.R., 2004. Ways of measuring shelf life and spoilage. *In* : R. Steele, ed. *Understanding and measuring the shelf-life of food.* Cambridge: Woodhead Publishing Ltd., pp. 165-183.

Taoukis, P.S., Meskine A.E. and Labuza, T.P., 1988. Moisture transfer and shelf Life of packaged Foods. *In* : JH Hotchkiss, ed. *Food and Packaging Interactions*. New York : American Chemical Society, pp. 244-261.

Tuomy, J.M., Hinnergardt, L.C., Helmer, R.L., 1970. Effect of storage temperature on the oxygen uptake of cooked, freeze-dried combination foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **18**(5), pp. 899-901.

ภาคผนวก

แบบประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสข้าวเกรียบข้าวโพดอบ

การทดสอบครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสภาวะการเก็บรักษาที่มีผลต่อคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบข้าวโพดอบ โปรดประเมินตัวอย่างที่ท่านได้รับนี้ด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม โดยใช้ตารางข้างล่างนี้เป็นแนวทางในการให้คะแนนคุณลักษณะที่ท่านคิดว่าใกล้เคียงกับความรู้สึกมากที่สุดลงไปในแบบทดสอบ ขอขอบคุณในความร่วมมือ

คะแนน / คุณลักษณะ	5	4	3	2	1
ลักษณะปรากฏ	เนื้อขนมมีสีเหลือง ผงเครื่องเทศเป็นผงไม่เกาะตัวขนมฟู พอง มีขนาดใหญ่	เนื้อขนมมีสีเหลืองเมื่อสัมผัสไม่มีผงเครื่องเทศติดมือขนมฟู พอง มีขนาดใหญ่	เนื้อขนมมีสีเหลืองผงเครื่องเทศเริ่มเกาะตัวขนมเริ่มมีขนาดลดลง	เนื้อขนมมีสีเหลืองเข้ม/อ่อนซีดลงผงเครื่องเทศเกาะตัวขนมมีขนาดลดลง แฟบเล็กน้อย	เนื้อขนมมีสีเหลืองเข้ม/อ่อนลงผงเครื่องเทศเกาะตัวชิ้นชัดเจนขนมมีขนาดเล็ก แฟบลงชัดเจน
กลิ่น	ได้กลิ่นหอมของชัดเจน	ได้กลิ่นหอมของเล็กน้อย	ไม่มีกลิ่นหอมปราศจากกลิ่นแปลกปลอม	เริ่มได้กลิ่นหืนหรือกลิ่นแปลกปลอมอื่นๆ	เริ่มได้กลิ่นหืนหรือกลิ่นแปลกปลอมอื่นๆ ชัดเจน
รสชาติ	สดใหม่ อร่อย มีกลิ่นหอมปราศจากรสชาติแปลกปลอม	ความสดลดลง ความหวานหอมลดลง ปราศจากรสชาติแปลกปลอม	ไม่มีกลิ่น รสหอมปราศจากรสชาติแปลกปลอม	เริ่มมีกลิ่นหืน	มีกลิ่นหืนชัดเจน
เนื้อสัมผัส	กรอบ แตกง่าย มีเสียงดังชัดเจนเมื่อชิ้นขนมสัมผัสกันขนมฟู พอง มีขนาดใหญ่	กรอบลดลง เสียงดังลดลงเมื่อชิ้นขนมสัมผัสกัน	เริ่มไม่กรอบ ยังมีเสียงดังบ้างเมื่อชิ้นขนมสัมผัสกัน	ไม่กรอบ ไม่มีเสียงดังเมื่อชิ้นขนมสัมผัสกัน	ขนมนิ่ม เหนียว ไม่กรอบ
การยอมรับโดยรวม	ยอมรับได้ดีมาก	ยอมรับได้ดี	ยอมรับได้ปานกลาง	ค่อนข้างไม่ยอมรับ	ไม่สามารถยอมรับได้

แบบประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสข้าวเกรียบข้าวโพดอบ

ชื่อผู้ทดสอบ..... เพศ ..... วันที่.....

คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่างจากซ้ายไปขวาแล้วให้คะแนนแต่ละคุณลักษณะ ตามตาราง

ปัจจัยคุณภาพ	คะแนนความชอบ				
	รหัส	รหัส.....	รหัส	รหัส	รหัส .....
ลักษณะปรากฏ					
กลิ่น					
รสชาติ					
เนื้อสัมผัส					
การยอมรับโดยรวม					

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

แบบประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสข้าวแต๋น

ชื่อ..... เพศ ..... วันที่.....

คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่างจากซ้ายไปขวาแล้วให้คะแนนตามความชอบที่มีต่อตัวอย่าง

การให้คะแนน : ชอบมากที่สุด = 5 ชอบ = 4 เฉยๆ = 3 ไม่ชอบ = 2 ไม่ชอบมากที่สุด = 1

รหัสตัวอย่าง	ลักษณะปรากฏ	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส (ความพองกรอบ)	การยอมรับโดยรวม	หมายเหตุ (ระบุว่ามีกลิ่นหืนหรือไม่)
.....						
.....						
.....						
.....						
.....						
.....						
.....						

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

แบบประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสคุกกี้เนย

การทดสอบครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสภาวะการเก็บรักษาที่มีผลต่อคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของคุกกี้เนย โปรดประเมินตัวอย่างที่ท่านได้รับนี้ด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม โดยใช้ตารางข้างล่างนี้เป็นแนวทางในการให้คะแนนคุณลักษณะที่ท่านคิดว่าใกล้เคียงกับความรู้สึกมากที่สุดลงไปในแบบทดสอบ ขอขอบคุณในความร่วมมือ

1. สี

สีเหลืองทอง

1	2	3	4	5	6	7	8	9
เหลืองทอง								เข้ม

2. กลิ่น

กลิ่นเนย

1	2	3	4	5	6	7	8	9
น้อย								มาก

กลิ่นหืน

1	2	3	4	5	6	7	8	9
น้อย								มาก

3. รสชาติ

รสมันเนย

1	2	3	4	5	6	7	8	9
น้อย								มาก

4. เนื้อสัมผัส

ความกรอบ

1	2	3	4	5	6	7	8	9
น้อย								มาก

5. การยอมรับโดยรวม

1	2	3	4	5	6	7	8	9
การยอมรับโดยรวม น้อย								มาก

แบบประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสคุกกี้เนย

ชื่อ..... เพศ ..... วันที่.....

คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่างจากซ้ายไปขวาแล้วให้คะแนนแต่ละคุณลักษณะ ตามตาราง

รหัสตัวอย่าง	ลักษณะปรากฏ (สีเหลืองทอง)	กลิ่น		รสชาติ (รสมันเนย)	เนื้อสัมผัส (ความกรอบ)	การยอมรับรวม
		(กลิ่นเนย)	(กลิ่นหืน)			
.....						
.....						
.....						
.....						
.....						
.....						
.....						

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

แบบประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสครูตอง

ชื่อ..... เพศ ..... วันที่.....

คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่างจากซ้ายไปขวาแล้วให้คะแนนตามความชอบที่มีต่อตัวอย่าง

การให้คะแนน : ชอบมากที่สุด = 9 ชอบมาก = 8 ชอบปานกลาง = 7

ชอบเล็กน้อย = 6 เฉยๆ = 5 ไม่ชอบเล็กน้อย = 4

ไม่ชอบปานกลาง = 3 ไม่ชอบมาก = 2 ไม่ชอบมากที่สุด = 1

รหัสตัวอย่าง	ลักษณะปรากฏ	กลิ่นและรสชาติ	เนื้อสัมผัส (ความพองกรอบ)	การยอมรับโดยรวม	หมายเหตุ (ระบุว่ามีกลิ่นหืนหรือไม่)
.....					
.....					
.....					
.....					
.....					

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

แบบประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป

ชื่อ..... เพศ ..... วันที่.....

คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่างจากซ้ายไปขวาแล้วให้คะแนนตามความชอบที่มีต่อตัวอย่าง

การให้คะแนน : ชอบมากที่สุด = 9 ชอบมาก = 8 ชอบปานกลาง = 7

ชอบเล็กน้อย = 6 เฉยๆ = 5 ไม่ชอบเล็กน้อย = 4

ไม่ชอบปานกลาง = 3 ไม่ชอบมาก = 2 ไม่ชอบมากที่สุด = 1

รหัสตัวอย่าง	สี	กลิ่นและรสชาติ	เนื้อสัมผัส	การยอมรับโดยรวม	หมายเหตุ (ระบุว่ามีกลิ่นหืนหรือไม่)
.....					
.....					
.....					
.....					
.....					

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....