



# ใบรับรองวิทยานิพนธ์

เรื่อง

**การศึกษาระยะการเก็บของแอม้งลิ้นห่านที่อบในถุงพลาสติกอามิเนต**  
**A Study on Shelf-life of Cashew Nut in Laminated Pouch**

โดย **นางสาว รวรวดี เตชะกุล**

ได้รับพิจารณาเห็นชอบจาก

..... (นาม) **ธีระวิทย์** ..... 30/1/2501.34 อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์  
( ทท (นาม) **ธีระวิทย์** )

..... **[Signature]** ..... 2/พค. 34 กรรมการของภาควิชา  
( นส. / นส. **วิมลทิพย์ สรรพคุณ** )

..... **[Signature]** ..... 6/พค. 34 กรรมการของภาควิชา  
( **ผยวราจณี อรุณ** )

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

..... **[Signature]** .....  
( **วิมลทิพย์ สรรพคุณ** )  
หัวหน้าภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

รพ.  
ร 158ก  
๒๕๓๓

วันที่ **๖** เดือน **พ.ค.** ..... พ.ศ. **๒๕๓๔**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



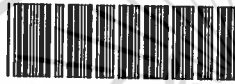
14081

ปัญหาพิเศษ (45497)

เรื่อง

การศึกษาระยะการเก็บของมะม่วงหิมพานต์ทอดในถุงพลาสติกลามิเนท

(A Study on Shelf-life of Cashew Nut in Laminated Pouch)



T097095

โดย

นางสาว รวมาตี เลขากุล

เสนอ

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตเจ้าคุณทหาร

ลาดกระบัง

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

รฟ.

ธ 158 ก

2534

(อุตสาหกรรมเกษตร)

พ.ศ. 2534

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 97095

วันเดือนปี

งานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การศึกษาอายุการเก็บของมะม่วงหิมพานต์ โดยเก็บมะม่วงหิมพานต์ที่

ผ่านการทอดแล้วนำมาเก็บในถุงพลาสติกลามิเนท OPPPE 22 $\mu$ /aluminium 20 $\mu$ /PE 20  $\mu$ /OPPE 22  $\mu$  ภายนะบรรจุชนิดนี้มีคุณภาพดีสามารถป้องกันการซึมผ่านของความชื้นและก๊าซ โดยก่อนทำการเก็บที่อุณหภูมิ 3 C, 30 C และ 40 C นาน 8 สัปดาห์ โดยสุ่มตัวอย่างทุก ๆ สัปดาห์เพื่อวิเคราะห์ผลทางประสาทสัมผัส และทางเคมี (ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าความเป็นกรด) ผลการทดลองทางประสาทสัมผัสพบว่าสามารถเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 3 C และ 30 C ได้นาน 2 เดือนแต่ไม่สามารถทำนายระยะการเก็บของผลิตภัณฑ์นี้โดย Arrhenius equation ได้เนื่องจากระยะเวลาในการทดลองเก็บรักษาผลิตภัณฑ์สั้นเกินไป และในช่วงระยะการเก็บนี้ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์ออกไซด์กับเวลา

การศึกษาเบื้องต้นของอายุการเก็บมะม่วงหิมพานต์ครั้งนี้จะเป็นแนวทางที่สามารถนำไปปรับปรุงและเพิ่มเติมสำหรับการทดลองขั้นต่อไป โดยควรเลือกใช้ระยะเวลาในการศึกษานานกว่า 8 สัปดาห์เสนอไว้ 4 เดือน หรือ/และใช้อุณหภูมิในการเร่งปฏิกิริยามากกว่า 40 C และในการวัดค่าเปอร์ออกไซด์ควรทดสอบสัปดาห์ละ 2 ครั้ง เพื่อที่จะใช้สมการ Arrhenius ในการคำนวณระยะการเก็บได้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำนิยม

สำหรับความสำเร็จของปัญหาพิเศษฉบับนี้ ขอขอบพระคุณอาจารย์  
วรรณาทัง เจริญชัย อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำในด้านต่าง ๆ รวมทั้ง  
เพื่อน ๆ และรุ่นน้องภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและ  
ความบันเทิงใจ เจ้าหน้าที่ธุรการที่ให้ความสะดวกในด้านงานเอกสารต่าง ๆ  
ขอบคุณเพื่อนเก่า จิราภา และสมฤทัย รวมทั้ง นพรัตน์ ขอขอบคุณบริษัท  
ศิริชัยมาบุญครองจำกัด ที่สนับสนุนทางด้านวัสดุรวมทั้งศูนย์บรรจุหีบห่อไทย ที่ให้  
บริการทดสอบภาชนะบรรจุ  
และท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัวที่ให้การอบรมสั่งสอน และสนับสนุน  
ด้านปัจจัยต่าง ๆ เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ  
รวมวดี เลชะกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

ชื่อเรื่อง	หน้า
คำนำ	1
ตรวจเอกสาร	
- มะม่วงหิมพานต์	3
- กลไกและผลของปฏิกิริยาการเสื่อมเสียในอาหารอันเนื่องมาจากออกซิเดชัน	4
- ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและการเกิดความหืนในอาหาร	8
- การวัดค่าความหืน	14
- การเร่งปฏิกิริยาเพื่อศึกษาระยะการเก็บของอาหาร	20
- ภาชนะบรรจุ	23
อุปกรณ์และวิธีการ	
- การเตรียมตัวอย่าง	31
- การวิเคราะห์ทางเคมี	
ค่าเปอร์ออกไซด์	31
ค่าความเป็นกรด (Free fatty acid)	34
ปริมาณความชื้น	36
- การวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส	36
- การทำนายอายุการเก็บ	37
ผลการทดลอง.	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
วิจารณ์ผล	
- การประเมินผลทางเคมี	
ค่าเปอร์ออกไซด์	48
ค่าความเป็นกรด (Free fatty acid)	49
ปริมาณความชื้น	50
- การประเมินค่าทางประสาทสัมผัส	
กลิ่นหืน (off-flavor)	52
เนื้อสัมผัส(texture)	53
- การทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์	54
สรุป	56
เอกสารอ้างอิง	58
ภาคผนวก	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 Basic properties of the various polyethylenes	24



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ตารางที่	หน้า
2 ตารางแสดงผลของการวัดค่าทางเคมีและทางประสาทสัมผัสของมะม่วงหิมพานต์ทอดในถุงลามิเนท เมื่อทำการเก็บรักษาเป็นระยะ 8 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 30 C	65
3 ตารางแสดงผลของการวัดค่าทางเคมีและทางประสาทสัมผัสของมะม่วงหิมพานต์ทอดในถุงลามิเนท เมื่อทำการเก็บรักษาเป็นระยะ 8 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 30 C	66
4 ตารางแสดงผลของการวัดค่าทางเคมีและทางประสาทสัมผัสของมะม่วงหิมพานต์ทอดในถุงลามิเนท เมื่อทำการเก็บรักษาเป็นระยะ 8 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 40 C	67
ภาคผนวก ข. การเตรียมตัวอย่าง	68
ภาคผนวก ค. คุณสมบัติของภาชนะบรรจุ	72
ภาคผนวก ง. 6-Point Hedonic Scale	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำนำ

มะม่วงหิมพานต์ทอด เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมบริโภคกันมากในปัจจุบันเนื่องจากกลิ่นรส ความกรอบมัน ซึ่งสามารถรับประทานเป็นอาหารว่าง หรือนำมาทำประกอบเป็นอาหารคาวก็ได้ แต่เนื่องจากมะม่วงหิมพานต์เป็นเมล็ดพืชที่มีราคาแพง ดังนั้นเมื่อนำมาแปรรูปเพื่อทำการจัดจำหน่ายและเก็บรักษาเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เริ่มต้นที่ผลิตเสร็จใหม่ ๆ จึงจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาระยะการเก็บของมะม่วงหิมพานต์ทอด ซึ่งจะต้องเริ่มจากการศึกษาถึงปัจจัยที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ และหาสภาวะการเก็บผลิตภัณฑ์ที่สามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์หรือยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ไว้ให้นานที่สุด

Accelerated Shelf Life Testing (ASLT) เป็นวิธีหนึ่งซึ่งนักวิทยาศาสตร์ใช้สำหรับการทำนายระยะเวลาเก็บของอาหารโดยใช้ระยะเวลาสั้นแทนการรอให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมเสียตามธรรมชาติ สิ่งสำคัญในการศึกษาโดยใช้ ASLT คือ การทราบถึงการเสื่อมเสียซึ่งเป็นปัจจัยที่จำกัดระยะเวลาเก็บของอาหาร (Labuza and Schmidl, 1985) ดังนั้นสภาวะการเก็บที่ทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นเสื่อมเสียได้เร็วขึ้นจึงถูกนำมาใช้ในการทดลองเพื่อเร่งการเสื่อมเสีย และทำให้ได้ผลการทดลองอย่างรวดเร็ว ผลที่ได้จะใช้ในการทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์เมื่อถูกเก็บในอุณหภูมิที่แตกต่างกันไป

ได้มีรายงานว่าสาเหตุของการเกิดการเสื่อมเสียที่รวดเร็วและการเกิดกลิ่นหืนขึ้นในถั่วและผลิตภัณฑ์ของถั่ว คือ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Ory, et.al, 1985) มะม่วงหิมพานต์ทอดซึ่งมีลักษณะ

เช่นเดียวกับกับถั่วชนิดอื่น ๆ ซึ่งมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว เช่น Oleic acid อยู่ในปริมาณสูงกว่ากรดไขมันชนิดอื่น

แม้ว่าการทดลองมะม่วงหิมพานต์จะช่วยทำให้เกิดกลิ่นรสหอมมารับประทาน ความร้อนจากการทอดสามารถมีผลต่อองค์ประกอบของน้ำมันที่ใช้ทอด เช่น ทำลาย antioxidant ตามธรรมชาติคือวิตามินอีในเมล็ด (ชูศักดิ์, 2532) จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีแนวโน้มที่จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และเกิดกลิ่นหืนขึ้นได้

ความคงทนต่อการเก็บของอาหารขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายชนิดด้วยกันรวมทั้งสภาวะแวดล้อมในการเก็บ เช่น อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน แสง equilibrium moisture content (EMC) ของผลิตภัณฑ์ คุณสมบัติการยอมให้สารซึมผ่าน และลักษณะของภาชนะบรรจุ ซึ่ง Quast and Karel (1972) ได้ศึกษาผลของสภาวะแวดล้อมต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันของมันฝรั่งทอดและ Lima (1988) ใช้ EMC (Equilibrium moisture content) ในการประมาณอายุการเก็บของกล้วยแช่แข็งที่บรรจุในฟิล์มรวมทั้งได้มีการศึกษาผลของทางภาชนะบรรจุต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาการเหม็นหืน (rancidification) ปัจจัยสำคัญที่ควรพิจารณาเลือกภาชนะบรรจุมะม่วงหิมพานต์เพื่อยืดอายุการเก็บ คือคุณสมบัติของการยอมให้ไอน้ำ และออกซิเจนจากภายนอกซึมผ่านภาชนะบรรจุได้น้อยที่สุด

วัตถุประสงค์ของการศึกษาครั้งนี้มีดังนี้ คือ

1. เพื่อศึกษาอายุการเก็บของมะม่วงหิมพานต์ในถุงลามิเนท
2. เพื่อทำนายอายุการเก็บของมะม่วงหิมพานต์ โดยการคำนวณเพื่อนำมา

ประกอบกับผลจากการทดสอบด้วยประสาทสัมผัส และการวิเคราะห์ทางเคมี

## ตรวจเอกสาร

### มะม่วงหิมพานต์ (cashew nut)

มะม่วงหิมพานต์ (cashew nut) เป็นไม้ยืนต้นที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อน (tropical zone) อยู่ในตระกูล Anacardiaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Acardium Occidentale L. ที่นับว่าเป็นพืชที่มีบทบาททางเศรษฐกิจและมีแนวโน้มที่จะได้รับการพัฒนาเป็นพืชอุตสาหกรรมมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเป็นไม้เอนกประสงค์คือทุก ๆ ส่วนสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์ และอุตสาหกรรมได้ ส่วนที่ใช้ประโยชน์ในแง่ทางการค้ามากที่สุดคือ เมล็ดเนื้อในมะม่วงหิมพานต์และน้ำมันจากเปลือกของเมล็ด เมล็ดเนื้อในเหมาะสำหรับการบริโภคมีคุณค่าทางอาหารสูง เช่น ไขมัน 47% , โปรตีน 21% , คาร์โบไฮเดรต 26% ฟอสฟอรัส 0.45% , แคลเซียม 0.05% , เหล็ก 5 มิลลิกรัม และวิตามิน เอ บี และอีตามลำดับ เมื่อนำเมล็ดไปสกัดน้ำมันจะได้น้ำมันที่มีสีเหลืองอ่อน มีคุณภาพสูงเหมาะสำหรับใช้ทำน้ำมันสลัด และส่วนผสมในเครื่องสำอางค์ที่มีราคาแพง นอกจากนี้ยังใช้ในอุตสาหกรรมชอกโกแล็ตเนื่องจากเป็นตัวช่วยทำให้ชอกโกแล็ตแข็งตัวเร็วขึ้น

เนื่องจากมะม่วงหิมพานต์มีไขมันที่เก็บสะสมภายในเมล็ด ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบหลักของไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides) และไขมันประกอบอื่น ๆ (functional lipids) ซึ่งได้แก่ phospholipid, glycolipid และ sulfolipids, sterols และอนุพันธ์ triglyceride ที่มีปริมาณถึง 90-95% ของน้ำหนักของไขมันและน้ำมันซึ่งสามารถมีผลต่อการเหม็นหืนของอาหารเมื่อสัมผัสกับออกซิเจน (Hamilton, 1983, Ory et. al, 1985) และผลของปฏิกิริยาของกรดไขมันไม่อิ่มตัว เช่น linoleic, oleic, linoleic ทำให้เกิดกลิ่นหืนในอาหารได้เป็นอย่างดี (St. Angelo, 1977) โดยเฉพาะ oleic acid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

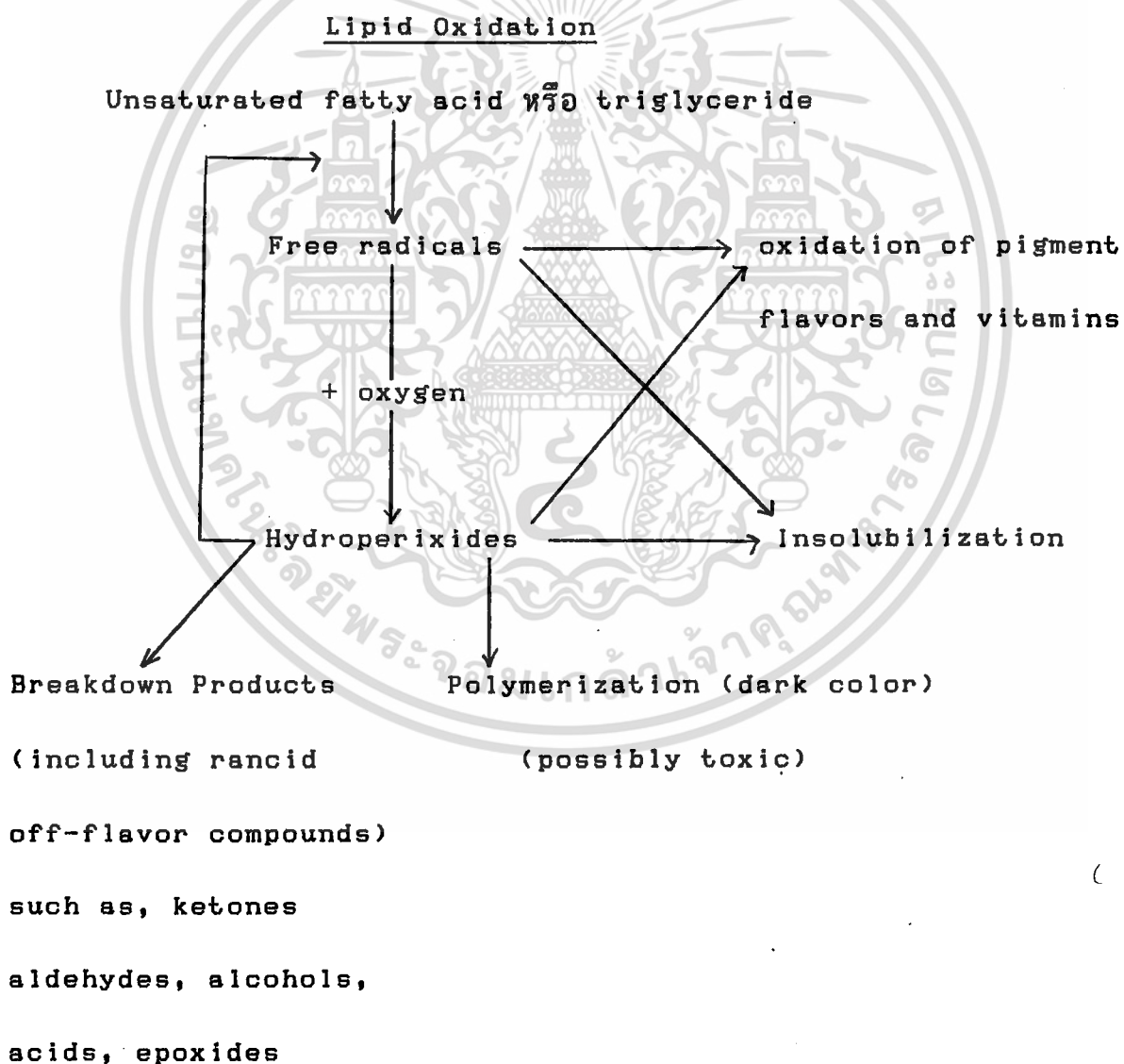
ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีปริมาณมากที่สุดในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

(Maia and Stull, 1977)

กลไกและผลของปฏิกิริยาการเสื่อมเสียในอาหารอันเนื่องมาจากออกซิเดชัน

กลไกทั้งหมดของปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (lipid oxidation)

แสดงได้ดังภาพที่ 1



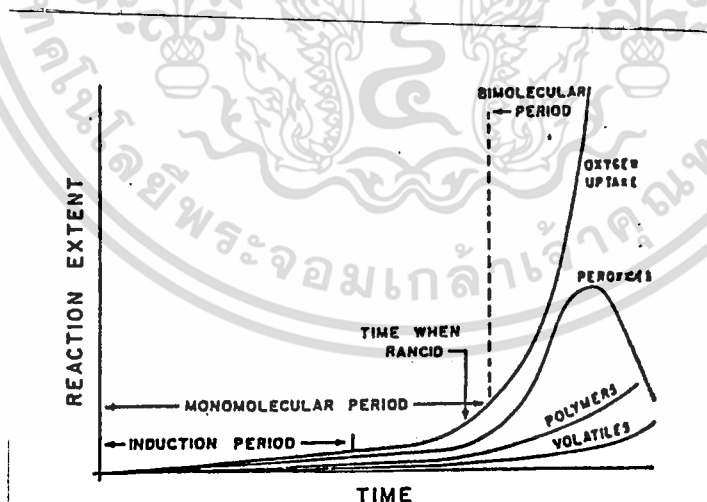
ภาพที่ 1 แสดงกลไกของปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (Labuza, 1971)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแผนภาพที่ 1 เป็นที่ยอมรับกันว่าเริ่มแรกนั้นจะเกิด free radicals ที่มีอิเล็กตรอนอิสระ ซึ่งสามารถจะเคลื่อนตัวหรือให้อิเล็กตรอนแก่โมเลกุลข้างเคียงได้ง่าย free radicals จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ได้เป็นสารประกอบเปอร์ออกไซด์ หรือ ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นสารตัวกลาง (intermediate) ที่ไม่เสถียร และสามารถแตกตัวออกเป็นโมเลกุลขนาดเล็กที่มีผลให้เกิดกลิ่นหืน (rancid off-flavours) ปกติกลไกของการสร้างกลิ่นหืนสามารถเกิดได้จาก 2 กลไกดังต่อไปนี้

1. Classical free radical mechanism ซึ่งสามารถเกิดได้โดยไม่ต้องอาศัยแสง
2. Photo-oxidation mechanism สามารถเกิดขึ้นเมื่อสัมผัสกับแสง (Hamilton, 1988)

การขยายตัวของปฏิกิริยาออกซิเดชันเมื่อเวลาผ่านไป แสดงดังภาพที่ 2

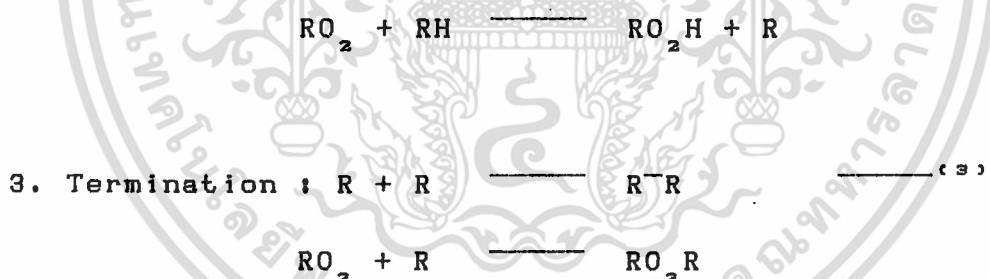


ภาพที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเมื่อเวลาผ่านไป (Labuza, 1971)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 2 จะเห็นได้ว่าขณะการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปริมาณเปอร์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับปริมาณ  $O_2$ -uptake ที่เพิ่มขึ้นเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่ง หลังจากนั้นก็จะสลายตัวให้สารระเหย (volatiles) และสารประกอบอื่น ๆ จึงทำให้รูปกราฟโค้งลงในขณะที่กราฟแสดงปริมาณสารระเหย และ polymers ต่าง ๆ สูงขึ้น

กลไกของ free radicals ในปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันไม่อิ่มตัวประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังต่อไปนี้



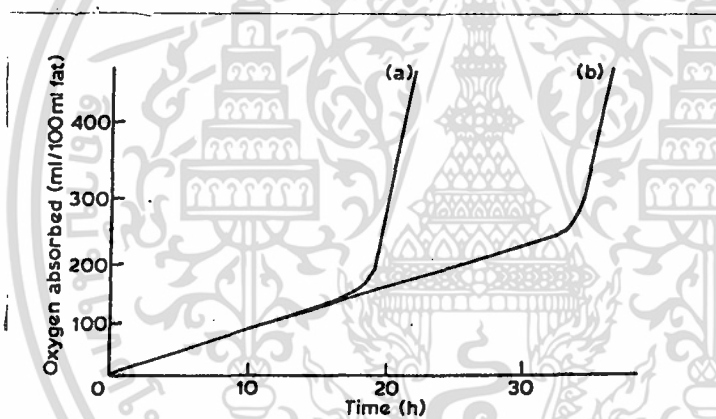
เมื่อ  $RH$  = ไขมันไม่อิ่มตัว

$R$  = lipid radical

$RO_2$  = lipid peroxy radical

จากสมการเหล่านี้พบว่า ในการลดอัตราการเกิดขั้นตอน initiation ของ free radicals นั้นมีความสำคัญที่ควรจะต้องยับยั้ง ก่อนที่จะเกิดขั้นตอนอื่นตามมาซึ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีผลเกิดความเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ โดยพบว่าถ้าอัตราการเกิดในขั้น initiation สูงอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันก็จะสูงเช่นกัน (Karel, 1985) ในการทดลองโดยทำการวัดปริมาณการดูดกลืนออกซิเจนหรือค่าเปอร์ออกไซด์ พบว่า ในขั้นตอนการเกิดออกซิเดชันจะพบ 2 ขั้นตอนที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด คือ ในขั้นตอนแรก ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ที่ระดับคงที่ แต่เมื่อถึงจุดหนึ่ง เพื่อจะเข้าสู่ขั้นตอนที่สองอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลายเท่า เมื่อเทียบกับขั้นตอนแรก (Hamilton, 1983) โดยในขั้นตอนแรกเรียกว่า induction period ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงปริมาณออกซิเจนที่ถูกดูดกลืนในน้ำมันข้างโพด เมื่อเวลาเปลี่ยนไปโดย (a) น้ำมันข้าวโพด (b) น้ำมันข้าวโพดที่เติม antioxidant (Hamilton, 1983)

จากภาพ (a), (b) แสดงอัตราการดูดซึมออกซิเจนใน 10-17 ชั่วโมงแรกที่คล้ายกัน แต่น้ำมันข้าวโพด (a) มีแนวโน้มการดูดซึมออกซิเจนได้เร็วหลังจาก 17 ชั่วโมง (สังเกตความชันของเส้น) ในขณะที่ (b) แสดงผลอันเนื่องมาจาก antioxidant ที่ชะลอการดูดกลืนออกซิเจนอย่างได้ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและการเกิดกลิ่นในอาหาร

อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันไม่อิ่มตัวมีผลเนื่องมาจากสิ่งแวดล้อม และปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

### (1) แสง

แสงสว่างที่มีผลต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันนั้น เป็นแสงสว่างที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่าความยาวคลื่นที่อยู่ในช่วงตาสามารถมองเห็น (visible light) และอยู่ในช่วงแสง uv ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับ water activity ( $a_w$ ) ของอาหาร โดยปริมาณ  $a_w$  สูงจะทำให้แสงมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากขึ้น ในปีค.ศ. 1971 Fuller พบว่าแสงฟลูออเรสเซนต์สามารถเร่งการเสื่อมเสียของไขมันฝรั่งทอด และน้ำมันที่ใช้ทอดในขณะเก็บ และจากผลการศึกษาของ Quast และ Karel (1972) พวกเขาพบว่าแสงมีผลอย่างเห็นได้เด่นชัดต่ออัตราการใช้ออกซิเจนของไขมันฝรั่งทอด แต่ในกรณีที่เก็บผลิตภัณฑ์ในภาชนะบรรจุนั้นพบว่าจะศึกษาผลของแสงสว่างที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาจะทำได้ยากเนื่องจากขึ้นอยู่กับพื้นที่สัมผัสกับแสงสว่าง และคุณสมบัติตามธรรมชาติของวัสดุที่ใช้ทำภาชนะบรรจุ (packaging material)

### (2) ออกซิเจน

ออกซิเจนมีผลต่อความเสถียรของน้ำมัน และผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น อาหารว่าง (snack foods) ถั่ว, เนื้อสัตว์ และปลา ทั้งนี้เนื่องมาจากปฏิกิริยาการเกิดเปอร์ออกไซด์ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยผลของออกซิเจนต่อ ปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกซิเดชันของไขมันในระหว่างขบวนการผลิตและการเก็บรักษาขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ (available oxygen) ที่จะเข้าทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบในอาหารนั้น แต่ถ้าปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่นี้ถูกจำกัดอยู่ที่ระดับหนึ่งซึ่งไม่ทำให้เกิดผลกระทบต่ออาหาร และไม่มีออกซิเจนจากภายนอกเข้าไปสัมผัสกับอาหารแล้ว อัตราการเกิดปฏิกิริยาก็จะไม่เป็นไปตามความสัมพันธ์ดังกล่าว

การขจัดออกซิเจนออกด้วยการดูดอากาศออก (deaeration), การใช้ก๊าซเฉื่อยเข้าแทนที่ออกซิเจน หรือการไล่อากาศออกด้วยไอน้ำ พบว่ามีผลอย่างมากในการลดความหืนเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน การควบคุมปริมาณออกซิเจนในช่องว่างเหนือภาชนะบรรจุ พบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษามันฝรั่งทอด (Quast and Karel, 1972) และถั่วทอด (Cavaletto *et. al.*, 1966; dela Cruz *et. al.*, 1966; Weiss, 1970; Mc Watters *et. al.*, 1971; Woodroof, 1973)

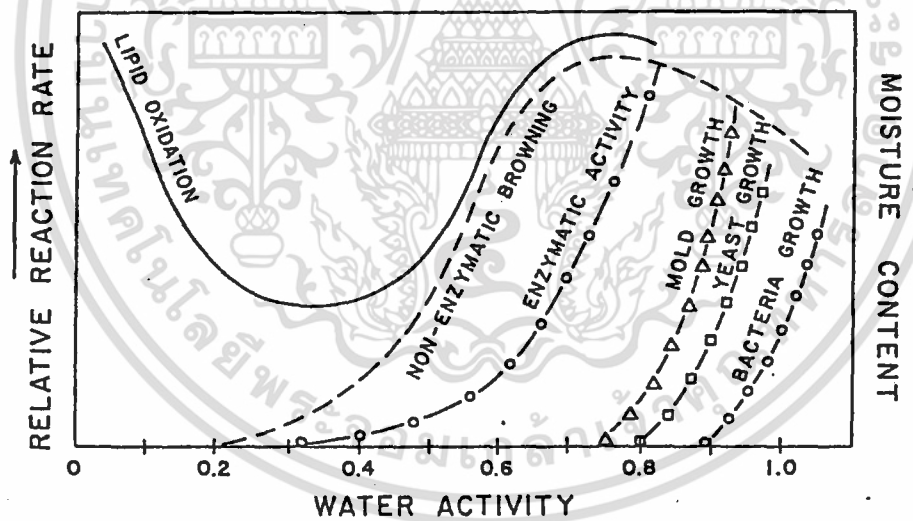
### (3) อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาการเสื่อมเสียในอาหารทั้งทางด้าน ชีววิทยา เคมี และทางกายภาพ และยังเป็นปัจจัยหลักในการเร่งการศึกษาปฏิกิริยาออกซิเดชันในอาหาร การสูญเสียคุณค่าทางอาหาร และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เนื่องจากมันสามารถจะเร่งปฏิกิริยาต่าง ๆ เหล่านี้ได้ ที่อุณหภูมิสูงปริมาณออกซิเจนจะมีผลอย่างมากโดยเฉพาะกับไขมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณสูงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Ragnarsson และ Labuza, 1977)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## (4) Water activity และความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity)

ผลของ  $a_w$  ต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและจุลชีว แสดงดังภาพที่ 4 จะเห็นได้ว่า optimum  $a_w = 0.3$  สามารถป้องกัน หรืออย่างน้อยที่สุดสามารถลด อัตราการเกิดปฏิกิริยาการเหม็นหืนขณะทำการเก็บรักษา ทั้งนี้ เนื่องจากที่ optimum  $a_w$  free radical เข้าทำปฏิกิริยากับกรดไขมันไม่อิ่มตัวได้น้อยลง เพราะว่าโมเลกุลของน้ำจำกัดความอิสระของ free radicals ในการเข้าทำปฏิกิริยากับ  $O_2$



ภาพที่ 4 ภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเปลี่ยนแปลงทางเคมีชีววิทยาเมื่อ  $a_w$  เปลี่ยนไป (Rockland, 1969)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบของน้ำในอาหารได้รับผลกระทบมาจากองค์ประกอบของน้ำในบรรยากาศ ดังนั้น ถ้าภาชนะบรรจุอาหารไม่สามารถต้านการซึมผ่านของน้ำและไอน้ำได้ การสูญเสียความชื้นและการรับความชื้นจากภายนอกก็สามารถเกิดขึ้นได้กับผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งทั้ง 2 กรณีนี้ทำให้ความเสถียรของอาหารต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันเปลี่ยนไปเนื่องจากสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis rancidity) ได้สารที่เกิดกลิ่นที่ไม่ดีต่าง ๆ (Hamilton, 1983) จึงทำให้น้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการเร่งหรือยับยั้งปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว

#### (5) ขบวนการผลิต

ขบวนการผลิตที่แตกต่างกันสามารถเร่งหรือยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและการเกิดกลิ่นหืน ดังเช่น เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการทอดหรืออาหารว่างต่าง ๆ โดยถ้าใช้อุณหภูมิสูงเท่าไร อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันก็จะรวดเร็วขึ้นเท่านั้น

นอกจากอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้วยังมีปัจจัยอื่น ๆ เช่น

1. อัตราการดูดซับน้ำมันของอาหาร
2. พื้นผิวสัมผัสระหว่างไขมันกับออกซิเจน
3. ปริมาณของโลหะ เช่น ทองแดง และทองเหลืองซึ่งสามารถจะเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ หรือ เรียกโลหะเหล่านี้ว่า

pro-oxidants

4. คุณภาพของน้ำมันที่ใช้ทอด

5. ปริมาณสาร antioxidant ที่ยังคงหลงเหลืออยู่ที่อุณหภูมิสูง เช่น methyl silicone ซึ่งสามารถลดอัตราการเกิดออกซิเดชันได้

ดังนั้นในขั้นตอนการผลิตอาหารที่ไม่ทนต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงควรพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเสถียรและมีระยะเวลาเก็บที่ยาวนาน (Lawson, 1985)

(6) ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำภาชนะบรรจุ

ภาชนะบรรจุมีผลต่อการควบคุมคุณภาพของอาหาร ระดับของปัจจัยที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับขั้นตอนการผลิต การเก็บรักษา และการขนส่ง ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะมีผลโดยตรงกับองค์ประกอบของอาหารภายในภาชนะบรรจุ (Karel, 1975) โดยวัตถุประสงค์หลักของภาชนะบรรจุอาหารก็เพื่อจะรักษาคุณภาพของอาหารหลังการผลิตให้ใกล้เคียงกับคุณภาพเมื่อถึงมือผู้บริโภค จึงทำให้ภาชนะบรรจุเป็นส่วนหนึ่งของคุณภาพของผลิตภัณฑ์ สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันสูง ปัจจัยสำคัญในการเลือกชนิดของวัสดุที่ใช้ในการทำภาชนะบรรจุ คือ ความสามารถในการซึมผ่านของออกซิเจน ไอน้ำ และการทะลุผ่านของแสง ซึ่งเมื่อทราบค่าเหล่านี้ ก็จะสามารถนำไปคำนวณหาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารที่เก็บในภาชนะบรรจุชนิดต่าง ๆ กันได้ (Eichner, 1986)

ได้มีการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แทนที่อากาศในถุงพลาสติกลามิเนต (laminated plastic pouch) เพื่อเก็บถั่วลิสง และถั่ว pecan พบว่าสามารถยืดอายุการเก็บถั่วเหล่านี้ได้นานกว่าการเก็บในสภาพปกติมาก (Holaday, et.al, 1979) ผู้ผลิตผลิตภัณฑ์อาหารว่างได้สังเกตระยะเวลาเก็บอาหารประเภทนี้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา 12 สัปดาห์โดยใช้ฟิล์มยืดชนิด โพลีโพรไพลีน (polypropylene flexible film) ทั้งที่ใช้การเคลือบหรือใช้การรีดร่วม(coextrusion) ในการป้องกันการเสื่อมเสียของอาหาร (Burdon, 1983) ต่อมา Read (1988) กล่าวว่า ฟิล์มที่ใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารว่าง เช่น ถั่วลิสงทอดควรจะมีโครงสร้างหลายชั้นตัวอย่างเช่น PE/foil/PE, PE/PVDC/nylon, PE/PVDC/foil หรือ PE/PVDC/PP (laminated plastic)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การวัดค่าความหืน

ได้มีเทคนิคและวิธีวัดปริมาณการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ตั้งแต่การใช้วิธีทางประสาทสัมผัสจนถึงการใช้วิธีทางเคมี และวิธีทางกายภาพ ซึ่งพบว่าไม่มีวิธีทางเคมีวิธีใดที่จะมีความสัมพันธ์ที่ดีกับวิธีทางประสาทสัมผัสในการตรวจพบออกซิเดชันของไขมัน การเลือกวิธีที่ใช้วัดค่าออกซิเดชันของไขมันขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อตัวอย่าง รวมทั้งลักษณะทางธรรมชาติของตัวอย่าง อย่างไรก็ตามในการตัดสินใจเลือกวิธีที่จะใช้ต้องคำนึงถึงความสอดคล้องกันของการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านการเกิดกลิ่นหืน กับวิธีทางเคมีที่เลือกใช้ (Gray, 1978)

### (1) การวัดค่าทางประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation)

ผู้บริโภคมักใช้การประเมินค่าทางประสาทสัมผัสในการตัดสินคุณภาพของไขมันและน้ำมัน และการเหม็นหืนก็เป็นกลิ่นซึ่งผู้บริโภคไม่ยอมรับอันเนื่องมาจากการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันการทดสอบกระทำได้ง่าย คล้ายกับการชิม และการดมกลิ่นน้ำมัน (Gray, 1978)

Quast and Karel (1972) ได้หาความสัมพันธ์ที่ 1200 ไมโครลิตรของ  $O_2$  (STP)/g ในมันฝรั่งทอดพบว่ามันฝรั่งทอดมีคุณภาพต่ำเนื่องจากการมีกลิ่นหืนที่เกิดขึ้นอย่างรุนแรง การเปลี่ยนแปลงของความหืน กรดไขมันอิสระ และปริมาณสารเปอร์ออกไซด์ มีผลต่อกลิ่นรสของพายถั่วผสม (Mcwaters *et.al.*, 1971) นอกจากนี้ Burdon (1983) ยังได้รายงานว่าระดับของความหืนในอาหารว่างระหว่างการเก็บรักษาสามารถจะตรวจวัดได้โดยใช้การวัดค่าทางประสาทสัมผัส Mulutinovic (1970) ใช้ 9-point Hedonic scale เพื่อจะจัดลำดับและ

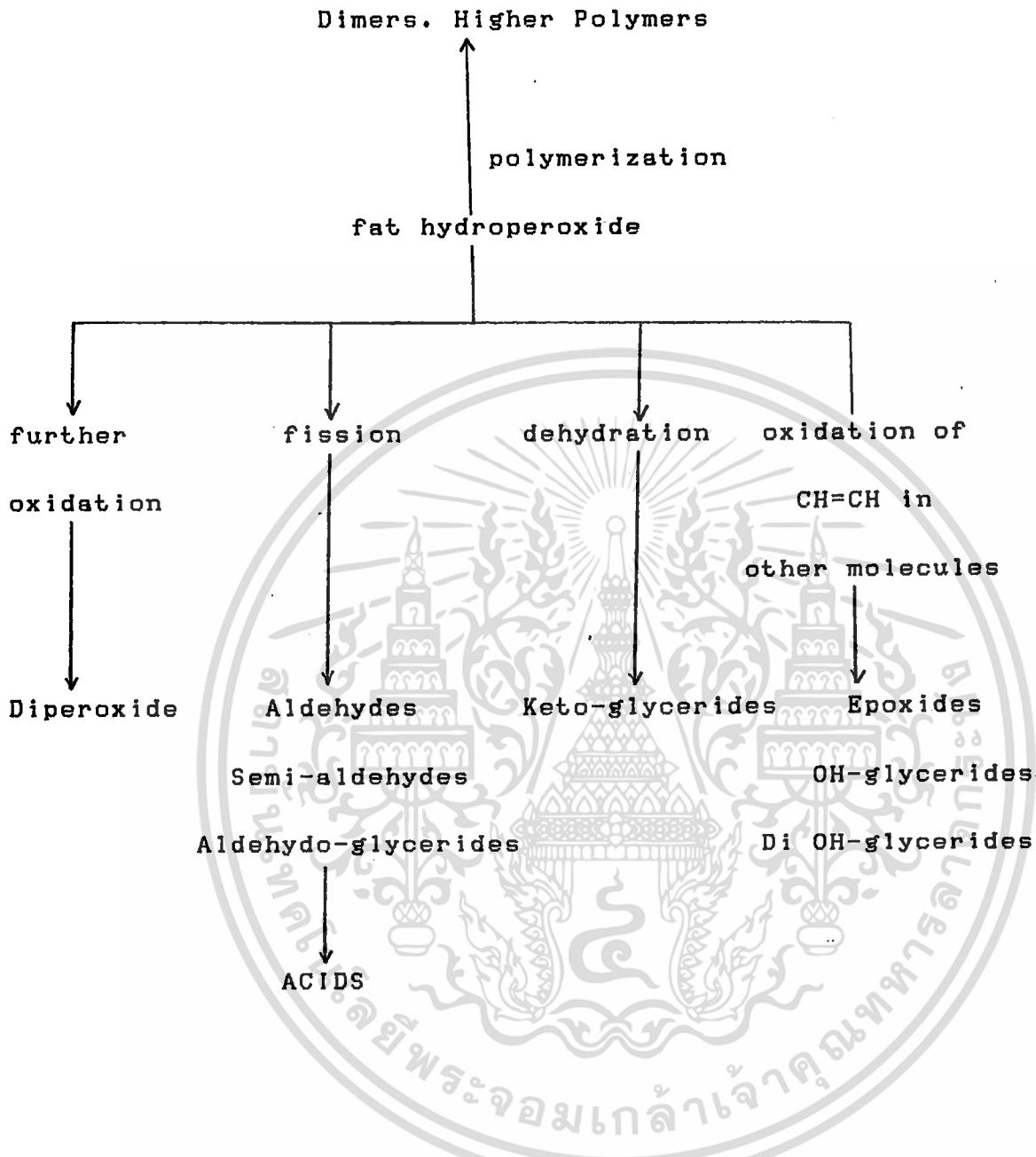
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงให้เห็นความแตกต่างระหว่างตัวอย่างถั่วลิสงที่ใช้เวลาทอดต่าง ๆ กัน โดยผลจากการวัดค่าทางประสาทสัมผัสสามารถสัมพันธ์ได้กับผลที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือ Young *et. al* (1976) ได้ใช้ Triangle test ก่อนการใช้ 9-point Hedonic scale เพื่อจะกำจัดผลทางจิตวิทยาของผู้ตัดสิน สำหรับ Gray (1978) ใช้ผู้ตัดสินจำนวนมากในการประเมินค่ากลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ เพื่อจะลดอคติ (bias) และความผิดพลาดที่เกิดจากผู้ตัดสิน ร่วมกับการใช้การสุ่มตัวอย่างทางสถิติ

แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีข้อเสียคือ ใช้เวลามากและ ให้ผลการวัดไม่สม่ำเสมอจึงได้มีการพัฒนาวิธีทางเคมี เพื่อจะปรับปรุงผลจากการวัด, ความไวในการวัด และ quantitativensess ซึ่งผลทางเคมีเหล่านี้ก็จะนำมาประกอบกับผลทางประสาทสัมผัส

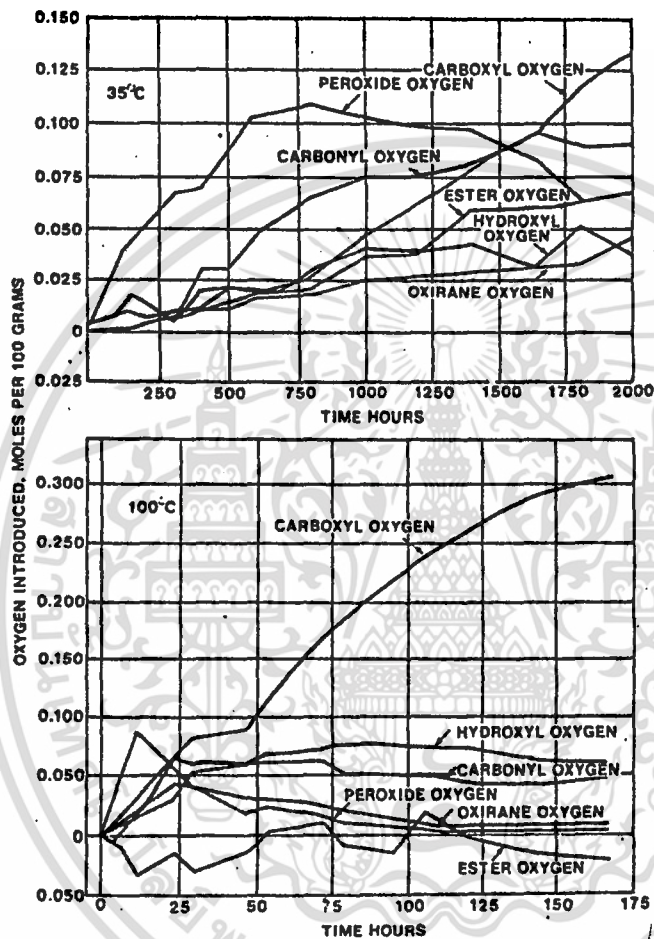
## (2) การวัดค่าทางเคมี (Chemical Measurement)

จากภาพที่ 1 จะเห็นได้ว่าสิ่งที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันคือ สารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ซึ่งมักจะหมายถึงเปอร์ออกไซด์ ดังนั้นจึงใช้ปริมาณเปอร์ออกไซด์เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณการเกิดออกซิเดชัน อย่างไรก็ตามทฤษฎีนี้มีข้อจำกัดเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติของเปอร์ออกไซด์ ดังภาพที่ 5 เปอร์ออกไซด์เป็นสารตัวกลาง (intermediate product) ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นสารประกอบ คาร์บอนิล และไฮดรอกซี ความสัมพันธ์ระหว่างหมู่ที่มีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบกับเวลาในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน แสดงในภาพที่ 6 ซึ่งเห็นได้ชัดว่ากราฟของค่า เปอร์ออกไซด์มีจุดที่สูงสุดแล้วค่อย ๆ ลดต่ำลง และจะเปลี่ยนแปลงได้ง่ายเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ



ภาพที่ 5 แสดงการสลายตัวของสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Gray, 1978)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ของ oxygen-containing functional groups ในการออกซิไดซ์ของ methyl oleate ที่ 35 C และ 100 C (Gray, 1978)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่าเปอร์ออกไซด์ในมันฝรั่งทอดสามารถใช้เป็นดัชนีในการบอกถึง ปริมาณของการเสื่อมเสียเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในระยะแรก (Quast and Karel, 1972; Min and Schweyer, 1983) ในถั่วลิสงทอดค่าเปอร์ออกไซด์ก็ ใช้เป็นสิ่งที่บอกถึงการเหม็นหืนในถั่ว (St. Angelo, 1977; McWatters *et.al.*, 1971) และจากการรายงานของ U.S. Department of Agriculture พบ ความสัมพันธ์อย่างสอดคล้องระหว่างค่าเปอร์ออกไซด์และความคงทนของกลิ่นรสใน น้ำมันถั่วเหลือง (Lea, 1962) ในการหาค่าเปอร์ออกไซด์นั้น สามารถทำได้หลาย วิธี เช่น Iodometric method, ferric thiocyanate (Lea, 1931; Wheeler, 1932) 2,6-dichloropheno lindophenol method (Lea, 1952) และอื่น ๆ ซึ่งผลที่ได้จากแต่ละวิธีได้จากสภาวะในการทดลองและสารเคมีที่ใช้เป็นตัว รีดิทิวซึ่งที่แตกต่างกันจะให้ผลที่แตกต่างกัน (Gray, 1978) นอกจากการหา ค่าเปอร์ออกไซด์แล้ว มีค่าที่ใช้บอกถึงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้ คือ การวัดค่า thiobarbituric acid (TBA) สัมพันธ์กับปริมาณของ Malonadehyde ซึ่งเป็น secondary product ตลอดจนมีความเสถียรมากกว่า hydroperoxide ในน้ำมันแต่เนื่องจากค่า TBA และการพัฒนาของกลิ่นที่ไม่ดีในน้ำมันไม่สามารถสร้าง ความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกันได้ (Gray, 1978) มักใช้วัดค่าในตัวอย่างเนื้อเยื่อ จากสัตว์แต่ก็ยังให้ผลดีกับพืชบางชนิด เช่น ถั่วเหลือง (Tungjaroenchai, 1990)

การวัดค่า Kreis test ก็เป็นค่าหนึ่งที่ใช้ประเมินค่าการเกิดปฏิกิริยา ของไขมันเกี่ยวกับการสร้างสีแดงเมื่อ phloroglucinol เข้าไปทำปฏิกิริยากับ ไขมันที่ถูกออกซิไดซ์ในสารละลายกรด (Rossell, 1983) จุดประสงค์หลักของ การใช้วิธีนี้คือการเพิ่มขึ้นของสีแดงซึ่งมักจะ ไม่สัมพันธ์กับการพัฒนาของกลิ่นหืนดังนั้น จึงไม่ใช่เป็นดัชนีในการบอกถึงสภาพการเหม็นหืนของอาหาร ได้มีผู้ทดลองใช้ค่า

fat acidity เป็นดัชนีในการบอกถึงความเสื่อมเสียของอาหารไขมัน ดังเช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Labuza (1985) และ Tungjaroenchai (1990) ซึ่งค่า fat acidity หรือค่าความเป็นกรดนี้เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณ free fatty acid ที่ถูก neutralize ด้วย KOH

ส่วนวิธีการอื่นซึ่งใช้ในการวัดค่าการเหม็นหืนในอาหาร คือ การใช้ gas chromatography โดยวัดผลิตภัณฑ์ในขั้นที่สองของปฏิกิริยาออกซิเดชัน (สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ระเหยได้) ซึ่งได้แก่ pentane และ hexanol ข้อเสียในการใช้วิธีนี้คือความยุ่งยากในการบอกค่า และการทำมาตรฐานของเส้นกราฟที่แยกออกมาจึงไม่เหมาะที่จะใช้ควบคุมคุณภาพของอาหารที่มีปริมาณมาก

นอกจากวิธีทางเคมีแล้ว ยังสามารถบอกถึงการเหม็นหืนในอาหารด้วยวิธีทางกายภาพซึ่งได้แก่ วิธี Conjugated Diene, Fluorescence, infra-red spectroscopy และ refractometry ซึ่งรายละเอียดของวิธีต่าง ๆ สามารถอธิบายได้โดย Gray (1978)

## การเร่งปฏิกิริยาเพื่อศึกษาระยะการเก็บของอาหาร

(Accelerated shelf life testing of food , ASLT)

ระยะเวลาเก็บของอาหารถูกให้คำนิยามว่าเป็นระยะเวลาระหว่างหลังการผลิตจนถึงการจำหน่ายอาหาร (IFT , 1974) ซึ่งระยะระหว่างนี้อาหารจะถูกพิจารณาว่าปลอดภัยและยังคงเป็นที่ดึงดูดใจของผู้บริโภค

การหาระยะการเก็บของอาหารได้กลายเป็นส่วนหนึ่งของแผนการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิด และเพื่อที่จะหลีกเลี่ยงระยะเวลาของการเก็บตัวอย่างสำหรับการทดลองนานเกินไป นิยมทำการทดลองในสภาวะเร่งแต่สามารถให้ผลที่เป็นแนวที่บอกอายุการเก็บของอาหารในสภาวะปกติ ก่อนอื่นควรทราบถึงรูปแบบของการเสื่อมเสียของอาหาร ซึ่งอาจเป็นปัจจัยทางคุณภาพของอาหาร เช่น การสูญเสียคุณค่าทางอาหาร การเปลี่ยนแปลงทางเคมี-ฟิสิกส์ ที่ไม่พึงปรารถนา หรืออาจเป็นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในอาหาร

ข้อมูลที่ได้จาก ASLT มักจะแสดงอยู่ในรูปกราฟ kinetic plot เพื่อจะหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาการเสื่อมเสียที่สภาวะการเก็บหนึ่ง ดังนั้นในการทราบค่าคงที่ของปฏิกิริยาที่สภาวะหนึ่งก็สามารถทำนายการเกิดปฏิกิริยาที่เวลาใด ๆ ได้

โดยทั่วไปพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเร่งอัตราการเสื่อมเสียของอาหาร ได้แก่ อุณหภูมิ ความดันของออกซิเจน Equilibrium Relative Humidity (ERH) water activity และความเข้มข้นของสารตั้งต้นการใช้ Isothermal accelerated stability test เป็นวิธีที่ใช้กันมากในรอบหลายปีที่ผ่านมา (Saguy and Karel , 1980)



รูปแบบของสมการที่ใช้ในการศึกษาการเร่งโดยใช้อุณหภูมิ มักใช้

Arrhenius model ( Ragnarsson and Labuza ,1977 ; Saguy and Karel, 1980; Labuza, 1984; Labuza and Schmidl , 1985) โดยผลของอุณหภูมิมีความสัมพันธ์กับค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยาการเสื่อมเสียดังสมการ

$$k = k_0 e^{-E_a/RT}$$

หรือ  $\ln k = \ln k_0 - E_a/RT$

เมื่อ  $k_0$  = pre-exponential factor

$E_a$  = activate energy

$k$  = constant rate

$R$  = gas constant

$T$  = อุณหภูมิ ( K)

$\ln$  = log ฐาน e

เมื่อพลอตกราฟระหว่าง  $\ln k$  กับส่วนกลับของอุณหภูมิในหน่วยองศาเคลวิน กราฟที่ได้แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา ความชันของกราฟคือ  $E_a$  ซึ่งแสดง sensitivity ของปฏิกิริยาต่ออุณหภูมิ

จากความสัมพันธ์ของสมการอาร์เรเนียสสามารถทราบค่าคงที่  $k$  ของอุณหภูมิที่ต่างกัน 3 อุณหภูมิ ทำให้ได้เส้นตรงที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\ln k$  กับ  $1/T$  ซึ่งสามารถใช้ในการอ่านค่า  $k$  ที่อุณหภูมิอื่นได้ จึงสามารถศึกษาระยะการเก็บของอาหารที่อุณหภูมิต่าง ๆ ได้จากข้อมูลที่ได้จาก ASLT อย่างไรก็ตามการนำข้อมูลไปใช้ควรพิจารณาอย่างถี่ถ้วนถ้าอุณหภูมินั้นอยู่เกินช่วงที่ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ที่เกิน ขีดนี้ **ต้องสมกคณะเทคโนโลยีการเกษตร** อิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**| สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง |**

ในการศึกษาโดยเร่งปฏิบัติการเสื่อมเสียของมะม่วงหิมพานต์ทอด  
 ในถุงพลาสติกลามิเนต น้ำมันที่ใช้ในการทอดมะม่วงหิมพานต์เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้  
 เกิดกลิ่นรสผิดปกติหรือกลิ่นหืนในมะม่วงหิมพานต์ทอด Read (1988) และ Mcwatters  
 (1971) พิจารณาการเสื่อมเสียเหล่านี้ว่าเป็น limiting factor ของระยะเวลาการ  
 เก็บอาหารและการยอมรับของผู้บริโภคของถั่วลิสงทอด และในการทดลองนี้การ  
 เหม็นหืนเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันก็ถูกพิจารณาว่าเป็นสิ่งที่บ่งถึงข้อจำกัดของการ  
 เก็บมะม่วงหิมพานต์โดยใช้อุณหภูมิในการเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และ  
 การเกิดกลิ่นรสหืนในผลิตภัณฑ์มะม่วงหิมพานต์ทอดในถุงพลาสติกลามิเนต

ขั้นตอนแรกของเทคนิค ASLT คือ เลือกวิธีที่สามารถประเมินค่าการ  
 เสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหารที่พิจารณาซึ่งในการทดลองนี้ก็คือ การเหม็นหืนเนื่อง  
 จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน และเนื่องจากการเหม็นหืนนี้สามารถระบุได้จากการเกิดกลิ่น  
 รสหืน จึงใช้การประเมินค่าทางประสาทสัมผัส (subjective evaluation) โดย  
 ใช้ผู้ทดสอบ (taste panel) เนื่องจากข้อมูลที่ได้เป็นสิ่งที่ผู้ทดสอบซึ่งเป็นตัวแทน  
 ของผู้บริโภคได้รับอย่างแท้จริง (Lea, 1962; Buckholz et.al, 1980; Rossel  
 , 1983)

อีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการหาปริมาณการเหม็นหืนในอาหารที่มีน้ำมันอยู่ใน  
 ปริมาณสูง คือการวิเคราะห์ทางเคมีซึ่งการหาค่าเปอร์ออกไซด์ (PV) เป็นวิธีที่  
 นิยมใช้กันในการบอกถึงปริมาณสารที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Quast and  
 Karel ,1971 ; Mcwatters, 1971; St. Angelo, 1977) ถึงแม้ว่าไม่สามารถ  
 หาค่าที่สามารถบอกถึงการเกิดกลิ่นหืนในอาหารได้โดยตรง แต่จากความรู้เกี่ยวกับ  
 ปฏิกิริยาการเกิดสารเปอร์ออกไซด์ระหว่างการเก็บรักษาซึ่งเป็นสารที่เกิดก่อนที่จะ  
 เกิดสารที่ทำให้เกิดกลิ่นหืนหรือกลิ่นที่ไม่ดีต่างๆในอาหาร (Read, 1988; Robard  
 et.al., 1988)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่า การเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์ออกไซด์ในระหว่างการเก็บอาหารที่มีไขมันสูงนั้นมีความสัมพันธ์อย่างสอดคล้องกันกับข้อมูลที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส (Quast and Karel, 1971; Hitchcock and Hammond, 1980; Read, 1988) ซึ่งข้อมูลที่ได้จากความสัมพันธ์ของการวัดค่าทั้งสองนี้มีความสำคัญต่อปัจจัยที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียและนำไปสร้างกราฟเพื่อหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาการเสื่อมเสีย ณ.สภาวะในการเก็บรักษาหนึ่ง และจากค่าคงที่  $k$  ที่ได้สามารถคำนวณระยะเวลาการเก็บของมะม่วงหิมพานต์ที่การเก็บใน 3 สภาวะ ( 3 อุณหภูมิ ) ทำให้สามารถทำนายระยะเวลาการเก็บของมะม่วงหิมพานต์ที่อุณหภูมิอื่นได้ในภาวะบรรยากาศเดียวกัน (Hitchcock and Hammond, 1980; Labuze, 1982; Labuze and Schmidl, 1985)

### ภาชนะบรรจุ

(Packaging Material)

ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ภาชนะบรรจุเป็นสิ่งสำคัญประการหนึ่งในการเก็บรักษาเพื่อให้ผลิตภัณฑ์นั้นมีอายุการเก็บยาวนานขึ้น packaging material ที่นิยมใช้ได้แก่

Polyethylene (PE) เป็นพลาสติกชนิด thermoplastic ที่ประกอบด้วยโมโนเมอร์ของ ethylene จัดเรียงตัวแบบต่าง ๆ กันทำให้ได้พลาสติกที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน โดยสามารถแบ่งได้เป็นชนิดต่าง ๆ คือ Low density film (มีความหนาแน่นตั้งแต่  $0.914-0.925 \text{ g/cm}^3$ ) Medium density film (ความหนาแน่น  $0.93-0.94 \text{ g/cm}^3$ ) และ High density film ( $0.95-0.96 \text{ g/cm}^3$ ) ซึ่งฟิล์มเหล่านี้มีคุณสมบัติแตกต่างกัน (คุณสมบัติการยอมให้น้ำก๊าซซึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่าน, Tensile strenght ตลอดจนอุณหภูมิที่ใช้ในการปิดผนึกและอื่น ๆ )

ดังตารางที่ 1 (Tungcharoenchai, 1980)

ตารางที่ 1 Basic properties of the various polythylenes (PE)

Type of PE	Moisture Vapour Transmission (1)	Gas		Tensile Strenght	heat sealing range( C)
		O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>		
		Transmission(2)			
Low Density	1.4	500	1350	17	120-180
Medium Density	0.6	225	500	25	120-180
High Density	0.3	125	350	40	135-180

(1) g/100 in<sup>2</sup>/d/atmos. at 38 C, 90% RH for 1 mil film

(2) ml/100 in<sup>2</sup>/d at 25 C for 1 ml film

(3) 100 psi

ที่มา : Robertson (1978)

และเนื่องจาก low density film มีคุณสมบัติเด่นในด้านการป้องกัน  
ความชื้นได้ดี และการดูดซึมไอน้ำได้ต่ำมากจึงนำมาใช้ในการบรรจุอาหารโดยอยู่ในรูป  
ของแผ่นฟิล์มหรือนำมา ลามิเนท กับวัสดุชนิดอื่น การลามิเนท (Lamination)  
หมายถึงการนำวัสดุชนิดหนึ่งมาทาบติดกับวัสดุอีกชนิดหนึ่งด้วยวิธีการต่าง ๆ เพื่อให้  
ได้โครงสร้างใหม่ ที่มีประโยชน์ในการทำงาน โดยจะประสานข้อดีของวัสดุทั้งสอง  
เข้าด้วยกัน ตัวอย่างเช่น การใช้ aluminium foil มา ลามิเนทกับสิ่งทอหรือฟิล์ม  
พลาสติกสามารถจะรักษาสภาพความชื้นต่ำ และ high germination ของเมล็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถั่วเหลืองในการเก็บได้ถึง 2 ปี ในขณะที่ถ้าเก็บเมล็ดไว้ในถุงกระดาษเพียง 6 เดือน เมล็ดจะตาย ตัวอย่างของการ ลามิเนชันชนิดอื่น เช่น paper/aluminium foil/ polyethylene, polyester/polyvinyl film

Polypropylene (PP) เป็น thermoplastic ที่ประกอบด้วย โมโนเมอร์ของ propylene เป็นพลาสติกที่มีน้ำหนักเบาอีกชนิดหนึ่ง มีความหนาแน่น  $0.905 \text{ g/cm}^3$  มีคุณสมบัติในการยอมให้ก๊าซและไอน้ำผ่านต่ำมาก และไม่ยอมให้น้ำมันและไขมันซึมผ่าน PP ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมี 2 ชนิดคือ CPP (cast polypropylene) และ OPP (oriented polypropylene) ซึ่ง OPP นั้นในการเชื่อมปิดด้วยความร้อนทำได้ยากต้องใช้ร่วมกับพลาสติกอื่น ๆ เช่น ในการทดลองนี้ใช้ OPPPE ที่มีความหนา 22  $\mu$

Aluminium เป็นโลหะที่สามารถนำมารีดเป็นแผ่นบาง ๆ ในรูปของ aluminium foil ใช้ในการหีบห่อหรือ ลามิเนทกับพลาสติกอื่น ๆ จะสามารถอุดรูพรุน (pinholes) ที่เกิดขึ้นในแผ่น aluminium foil ได้ดีสามารถป้องกันการซึมผ่านของไขมันและน้ำมันได้ดีทนต่อแรงดึงได้สูง

นอกจากการเลือกชนิดของวัสดุที่ใช้ทำภาชนะบรรจุสิ่งจำเป็นอีกประการหนึ่ง คือ การทราบคุณสมบัติด้านการซึมผ่านของภาชนะบรรจุ (permeability) โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบสูง และผลิตภัณฑ์ที่ไม่เสถียรต่อความชื้น ดังนั้นคุณสมบัติของภาชนะในด้านการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ และ ออกซิเจนจึงเป็นคุณสมบัติที่จำเป็นต่อการเลือกใช้ภาชนะบรรจุ

Robertson (1978) กล่าวว่า มี 2 ขบวนการที่ก๊าซและไอน้ำสามารถซึมผ่านชั้นของภาชนะได้คือ

- i) ผลของรูบนภาชนะ เนื่องจากภาชนะบรรจุมีขนาดเล็กทำให้ก๊าซสามารถซึมผ่านเข้าไปได้
- ii) ผลของการละลาย ก๊าซสามารถละลายเข้ากับองค์ประกอบของภาชนะด้านหนึ่งแล้วแพร่ผ่านและระเหยจากอีกด้านหนึ่ง ลักษณะนี้เรียกว่า solution diffusion process ซึ่งสามารถอธิบายได้ในลักษณะเป็น true permeability

ฟิล์มที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ส่วนใหญ่มักจะเกิดในลักษณะทั้งแบบที่ i และ ii ในขณะที่พอลิโพลีเอทิลีนจะเกิดขึ้นในลักษณะ ii เท่านั้นซึ่งความเป็นรูปพรุนลดลงเมื่อความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้นความหนาของชั้นฟิล์มที่ทำให้ไม่มีรูรั่วเลยนั้น ขึ้นกับชนิดของฟิล์มที่ใช้ แต่สำหรับ true permeability ไม่สามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้จากการเพิ่มความหนาของแผ่นฟิล์มเพียงอย่างเดียว

(Tungcharoenchai, 1990)

การซึมผ่านของน้ำและไอน้ำของภาชนะบรรจุแสดงในเทอมของ Water Vapour Transmission Rate (WVTR) ของภาชนะบรรจุมีหน่วยเป็น  $\text{g}/\text{m}^2 \text{ day}$  (ที่ 37.8 C, 100% RH- 0%RH) สำหรับคุณสมบัติการซึมผ่านของก๊าซ ซึ่งมักหมายถึงถึงก๊าซออกซิเจน แสดงในเทอมของ Gas Transmission Rate มีหน่วยเป็น  $\text{ml}/\text{cm}^2 \text{ day}$  (ที่ 37.8 C, 100%RH-0%RH) ค่า WVTR และ GTR ของภาชนะบรรจุแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน และขึ้นกับทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ฟิล์มลามิเนต โดยเฉพาะที่เป็นการ ลามิเนตระหว่าง aluminium foil กับฟิล์มพลาสติกมีคุณสมบัติในการยอมให้น้ำและก๊าซผ่านได้ต่ำมากสามารถใช้ค่า WVTR และ GTR ในการเปรียบเทียบคุณสมบัติในการป้องกันการผ่านเข้าออกของน้ำและก๊าซของภาชนะบรรจุได้

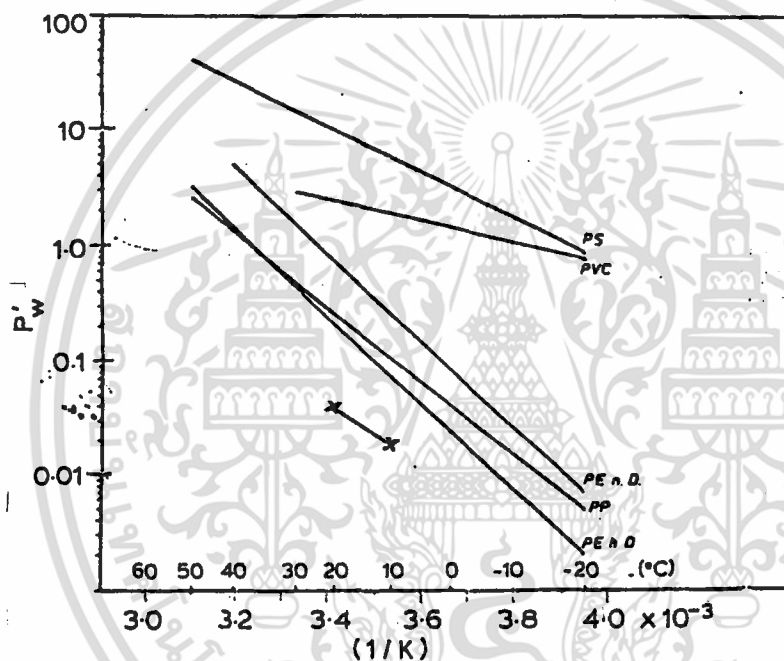
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาวะบรรจุที่เหมาะสมจะถูกเลือกใช้ในการรักษาคุณภาพของอาหารภายในระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งจากค่า WVTR และ GTR สามารถใช้เป็นพื้นฐานในการคำนวณหาระยะการเก็บที่ควรจะเป็นของอาหารแต่ละชนิดในภาวะบรรจุที่แตกต่างกัน (Eichner, 1986)

Eichner (1986) แสดงผลของอุณหภูมิจาก Arrhenius diagram ต่อการซึมผ่านของไอน้ำของภาวะบรรจุชนิดต่าง ๆ ดังภาพที่ 7 พบว่าการซึมผ่านของไอน้ำขึ้นกับอุณหภูมิ และเป็นไปในทำนองเดียวกันกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้ระยะเวลาเก็บของอาหารสั้นลง เนื่องจากอาหารในภาวะได้รับความชื้นจากการซึมผ่านของความชื้นจากภายนอก นอกจากนี้ยังสามารถอธิบายได้ว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้ water activity ของอาหารภายในภาวะเพิ่มขึ้นในขณะที่ water activity ของอากาศภายนอกทำให้ potential สำหรับการซึมผ่านของไอน้ำลดลง จึงทำให้เกิด Countercurrent effect ขึ้น และจากภาพที่ 8 แสดงการซึมผ่านของออกซิเจนในหน่วย  $N \cdot cm^3 / m^2 \cdot day \cdot bar$  ที่มีผลเนื่องมาจากอุณหภูมิในภาวะบรรจุชนิดต่าง ๆ Eichner กล่าวว่า ภาวะบรรจุที่ใช้บรรจุอาหารประเภท sensitive low moisture food ค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนควรต่ำกว่า  $10 N \cdot cm^3 / m^2 \cdot day \cdot bar$  ซึ่งเห็นได้จากภาพไม่มีพลาสติกชนิดใดที่มีคุณสมบัติดังกล่าวครบถ้วน จึงทำให้มีการใช้พลาสติกเชื่อมติดกันหลายชั้นซึ่งมักใช้เชื่อมติดกับ polyvinylidene chloride (PVDC) หรือ aluminium foil สำหรับภาวะบรรจุที่อากาศไม่สามารถเข้าไปได้ (hermetical package) ทำให้ไม่มีรูรั่วในการปิดผนึกหรือในตัวภาวะบรรจุเอง หรือในบางครั้งอาจใช้ polyethylene film ที่มีค่า  $WVTR = 1.3 \text{ g} / m^2 \cdot day$  (ที่  $20^\circ C \cdot a_w = 0.85$ ) หนา  $50 \mu m$  ซึ่งจะเทียบเท่ากับค่าการซึมผ่านของออกซิเจนเท่ากับ  $84,000 N \cdot cm^3 / m^2 \cdot day \cdot bar$  ในการบรรจุ low moisture food

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่สำหรับ Oxygen sensitive food การเลือกใช้ภาชนะบรรจุควรเลือกที่มีค่า WVTR และ GTR มากกว่าที่ใช้ในการบรรจุ low moisture food จึงจะนำมาใช้ได้ ดังนั้นภาชนะบรรจุที่มีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำเข้าสู่ภาชนะ ยังไม่เพียงพอสำหรับการป้องกัน Oxygen-sensitive foods (Eichner, 1986)



ภาพที่ 7 Water vapour permeabilities  $P'_w$  (g/m<sup>2</sup>d) of different plastic films (thickness 100 $\mu$ m) dependent on temperature.

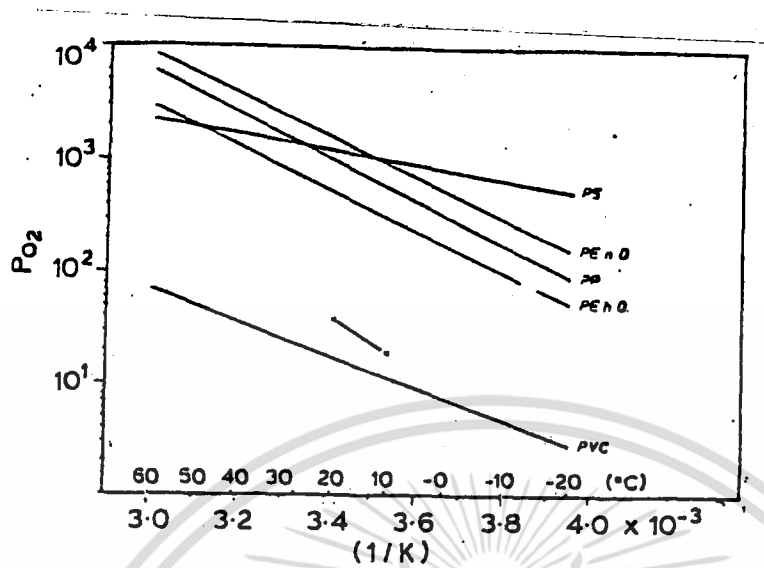
Testing conditions:  $a_w = 0.85$  against  $a_w = 0$  at the respective temperature. (The line x—x corresponds to a  $Q_{10}$  value of 2)

PS = polystyrene; PE h.D. = low density polyethylene;

PE h.D. = high density polyethylene; PP = polypropylene;

PVC = polyvinyl chloride.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 8 Oxygen permeabilities  $P_{O_2}$  ( $N \cdot cm^3 / m^2 \cdot d \cdot bar$ ) of different packaging materials (film thickness 100  $\mu m$ ) dependent on temperature.

ในการทดลองเพื่อศึกษาระยะการเก็บมะม่วงหิมพานต์ทอดในถงลามิเนตซึ่งประกอบด้วย OPPPE 22 $\mu$ /aluminium 20 $\mu$ /PE 20 $\mu$ /OPPPE 22 $\mu$  โดยเมื่อนำภาชนะบรรจุชนิดนี้ไปทำการวิเคราะห์หาค่า WVTR และ GTR ที่ 38 C RH = 90% ได้ผลคือ

$$WVTR = 0.78 \text{ g/cm}^3/\text{วัน}$$

$$GTR = 7.6 \text{ ml/cm}^3/\text{วัน}$$

และจากการวัดค่าทั้งสองนี้ที่สภาวะเดียวกันของภาชนะบรรจุถง LPPE ได้ค่า

$$WVTR = 5.7 \text{ g/cm}^3/\text{วัน}$$

$$GTR = 152 \text{ ml/cm}^3/\text{วัน}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำถุงที่บรรจุผลิตภัณฑ์คูกี้ พบว่าที่สภาวะการเก็บที่อุณหภูมิ 30 C และ 40 C taste panel สามารถบอกถึงความหืนของผลิตภัณฑ์ได้ เมื่อเก็บไว้นาน 40 วัน แต่จากการใช้ถุงลามิเนทบรรจุมะม่วงหิมพานต์ทอดเป็นเวลา 2 เดือนที่อุณหภูมิ 30 C ยังไม่สามารถบอกถึงความหืนได้ แต่ที่อุณหภูมิ 40 C taste panel เริ่มบอกได้เล็กน้อยซึ่งจากข้อความดังกล่าวสอดคล้องกับค่า WVTR และGTR เมื่อเปรียบเทียบกัน แต่เนื่องจากเป็นการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์คนละชนิดกัน การเปรียบเทียบที่ได้จึงไม่เด่นชัดนัก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## อุปกรณ์และวิธีการ

### การเตรียมตัวอย่าง

มะม่วงหิมพานต์ที่นำมาศึกษาได้ผ่านการแปรรูปเป็นมะม่วงหิมพานต์ทอดโดยบริษัท ศิริชัยมาบุญครอง จำกัด ซึ่งกรรมวิธีการทอดได้แสดงในภาคผนวก ก 1.1 จากนั้นมะม่วงจะถูกนำบรรจุในถุงพลาสติกลามิเนท คุณสมบัติของภาชนะบรรจุแสดงในภาคผนวก ง บรรจุถุงลามิเนท OPPPE/aluminium/PE/OPPPE ที่มีขนาด  $12 \times 13 \text{ cm}^2$  ถูกละ 100 กรัม และมีปริมาณออกซิเจนภายใน 28.8 ml วางแผนการทดลองแบบ Complete Randomize Design เก็บไว้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันคือ 3 C, 30 C และ 40 C เก็บเพื่อทำการศึกษาเป็นระยะเวลา 2 เดือน (8 สัปดาห์) ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

### การวิเคราะห์ทางเคมี

(1) การหาค่าเปอร์ออกไซด์ (AOAC, 1990)

#### ก. การบดตัวอย่าง

ซึ่งตัวอย่าง 30 กรัม บดให้ละเอียด ด้วย Blender Mill ด้วยเครื่องบด หรือใช้เวลาบดประมาณ 10 วินาที ใส่ลงใน Erlenmeyer flask ปิดไม่ให้อากาศเข้า

#### ข. การสกัดไขมัน (fat extraction)

ปิโตรเลียมอีเทอร์ Analytical grade เป็น solvent 150 ml.

ใส่ลงในตัวอย่าง 30 กรัม จากนั้นปิดจุก flask เพื่อไม่ให้ปิโตรเลียมอีเทอร์ระเหย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกไป นำไปเขย่าบน rotary shaker นาน 18 ชั่วโมง จากนั้นนำมาผ่านการกรองด้วยสูญญากาศใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 นำสารที่กรองได้ใส่ใน evaporating flask เพื่อทำการระเหยใน rotary evaporator (BUSHI ROTAVAPOR R110) ที่ความดัน 650 มิลลิเมตรปรอทนาน 7 นาที ที่อุณหภูมิ 35 C ซึ่งน้ำหนักน้ำมันที่เหลือใน evaporating flask ใส่ใน erlenmeyer flask น้ำหนักที่ได้คิดเป็น 33% ของน้ำหนักเริ่มต้น

### ค. การหาค่าเปอร์ออกไซด์

#### อุปกรณ์

1. Erlenmeyer flask 250ml
2. burette 5ml
3. pipette 1ml

#### สารเคมี

1. สารละลายผสมระหว่าง glacial acetic acid กับ chloroform ในอัตราส่วน 3:2 (V/V)
2. สารละลายโพแตสเซียมไอโอไดด์อิ่มตัว เตรียมโดยใส่น้ำกลั่นต้มใหม่ทิ้งไว้ให้เย็นในภาชนะปิดสนิท เติมน้ำโพแตสเซียมไอโอไดด์ลงไปจนกระทั่งเกิดผลึกที่ไม่ละลาย เก็บไว้ในที่มืด และไม่สัมผัสกับอากาศ ทดสอบก่อนใช้ทุกวัน โดยการหยดสารละลายน้ำแข็ง ลงใน 0.5 ml ของสารละลายโพแตสเซียมไอโอไดด์อิ่มตัวใน 30 ml ของสารละลายผสม (acetic acid-chloroform) ถ้ามีสีน้ำเงินเกิดขึ้น และใช้ปริมาณ 0.2 N ของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตเกิน 1 หยด แสดงว่าจะต้องเตรียมสารใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.001 N และ 0.01N ซึ่งเตรียมจากสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1N
5. สารละลายน้ำแข็ง 1.0% เป็นอินดิเคเตอร์ ; ละลายแข็ง 1 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

#### วิธีทำการทดลอง

1. นำน้ำมันที่สกัดได้ซึ่งใส่ใน Erlenmeyer flask เติมสารละลายผสม (acetic acid chloroform) 30 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
2. เติม สารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์อิ่มตัว 0.5 ml เขย่าอย่างรุนแรง นาน 1 นาที
3. เติม น้ำกลั่นต้ม 30 มิลลิลิตร
4. หยดน้ำแข็ง สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน นำไปไตเตรทจนไม่มีสีด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.01 N หรือ 0.001 N
5. ทำ titration blank โดยไม่ต้องเติมตัวอย่าง

ค่าเปอร์ออกไซด์สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$PV = [ (S-B) * N * 1000 ] / \text{น้ำหนักของน้ำมันที่สกัดได้}$$

S = มิลลิลิตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้กับตัวอย่าง

B = มิลลิลิตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้กับblank

N = Normality ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) การหาค่าความเป็นกรดของไขมัน (fat acidity)

วิธีการที่ใช้ประยุกต์จาก วิธีการของ Baker et.al (1957) และ

AOAC (1984)

อุปกรณ์

1. Rotary Shaker
2. Erlenmeyer flask 250 ml.
3. Blender mill
4. bushner funnel
5. suction flask
6. กระจกกรองเบอร์ 1
7. บีกเกอร์ขนาด 400 ml.
8. pipette 10 ml.
9. burette 5 ml.
10. ลูกยาง
11. สล้าลีและกระดาษอลูมิเนียมฟอยด์

สารเคมี

1. สารละลาย ethanol 95% (commercial grade)
2. สารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.05 N
3. petroleum ether ( commercial grade)
4. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 0.01%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### วิธีทำ

1. บดตัวอย่างด้วยเครื่องบดประมาณ 20 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 400 ml อบที่ 105 C นาน 5 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นใน dessicator
2. ชั่งตัวอย่างใส่ใน Erlenmeyer flask 20 +/- 0.0001 กรัม
3. เติมสารละลาย petroleum ether 50 ml นำไปเขย่าในเครื่อง Rotary shaker นาน 8 นาที โดยใช้สำลีและกระดาษ อลูมิเนียมฟอยด์ปิดแน่นป้องกันการระเหยของ petroleum ether
4. นำมากรองด้วย vacuum filter โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1
5. บีบเอาสารละลายให้ที่ได้ 10 ml ใส่ใน Erlenmeyer flask ที่มี สารละลาย ethanol 95% 10 ml และสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 2 หยด
6. นำไปไทเทรตกับสารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.05 N จนกระทั่งสีของสารละลาย เปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีชมพูอมเหลือง
7. ทำ blank โดยใช้ 10 ml ของทั้ง ethanol 95% และ petroleum ether

ค่า fat acidity คำนวณออกมาในเทอมของจำนวนมิลลิกรัมของ โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ในการทำให้เป็นกลางของกรดไขมันอิสระจาก 100 กรัมของมะม่วงหิมพานต์ จากสูตร

$$\% \text{ fat acidity} = \frac{\text{ml}(\text{titrant-blank}) * 0.05 \text{ N KOH} * 56.11 * 5 * 100}{\text{.....}}$$

น.น ตัวอย่างที่แห้ง

56.11 คือ มวลโมเลกุลของโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์

5 เป็น ค่าที่คิดจากการบีบ 10 ml

จากสารที่ได้จากการทดลอง (Solution factor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) การหาค่าความชื้น (AOAC, 1990)

ชั่งตัวอย่าง 1-2 ๘ +/- 0.0001 ๘ ใส่ใน aluminium dish อบ  
ในตู้อบใช้อุณหภูมิ 100-105 C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง นำมาทำให้เย็นใน dessicator  
ชั่งด้วยเครื่องชั่งละเอียดบันทึกน้ำหนักก่อนทำแห้งและหลังทำแห้ง

$$\% \text{ Moisture} = \frac{(\text{น้ำหนักของตัวอย่างก่อนทำแห้ง} - \text{น้ำหนักของตัวอย่างหลังทำแห้ง}) * 100}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างก่อนทำแห้ง}}$$

การวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส

ตัวอย่างมะม่วงหิมพานต์ที่เก็บที่สภาวะต่างกันเป็นระยะเวลาต่างกัน จะ  
ถูกนำไปให้ผู้ทดสอบ (panelist) ซึ่งเป็นนักศึกษาภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร  
คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง  
การทดสอบจะใช้ 6 - Point Hedonic scale ในการศึกษาถึงการเกิดกลิ่นหืน  
(off-flavor หรือ rancid flavor) และเนื้อสัมผัส (texture) ของมะม่วง  
หิมพานต์ การทดสอบจะกระทำภายหลังจากผู้ทดสอบรับประทานอาหารกลางวันแล้ว  
2 ชั่วโมง score sheet แสดงในภาคผนวก ข.

## การทำนายอายุการเก็บ

ก. ความสัมพันธ์ระหว่างวิธีวิเคราะห์ทางเคมี กับ การวิเคราะห์ทาง  
 ประสาทสัมผัส

ในการทำนายระยะเวลาการเก็บของมะม่วงหิมพานต์ทอดที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ จะต้องทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (ซึ่งวัดค่าในเทอมของค่าเปอร์ออกไซด์) และคะแนนการยอมรับของผู้ทดสอบ เริ่มจากข้อสันนิษฐานที่ว่า เวลาที่ผลิตภัณฑ์เสื่อมเสียนั้นเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ และค่าเปอร์ออกไซด์จึงต้องใช้การวิเคราะห์เชิงถดถอย (regression analysis) ในการค้นหาว่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บกับค่าเปอร์ออกไซด์ใด เป็นความสัมพันธ์ที่ควรนำมาใช้ในการคำนวณข้อสันนิษฐานประการที่สองคือ ระดับของการเสื่อมเสียในตัวอย่างใดที่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบเป็นฟังก์ชันของเวลา กับอุณหภูมิ จะใช้การวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้น (standard linear regression analysis) เพื่อสร้างความสัมพันธ์โดยจะทำการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์ออกไซด์ และข้อมูลทางประสาทสัมผัสในทุกความสัมพันธ์ที่น่าจะเป็นไปได้

ข. การคำนวณหาค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา

Labuza (1982) และ Sastry (1980) ได้รายงานว่าการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารก็มักจะจะเป็นไปตามสมการทั้งสองดังกล่าว ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของการเสื่อมเสียนั้น

สมการคณิตศาสตร์ zero-order reaction คือ

$$C = C_0 + k_x t$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการคณิตศาสตร์ first-order reaction คือ

$$\ln C = \ln C_0 + k_1 t$$

เมื่อ  $C_0$  = ความเข้มข้นของปัจจัยคุณภาพนั้นที่เวลาเริ่มต้น

$C$  = ความเข้มข้นของปัจจัยคุณภาพนั้นที่เวลาใด ๆ

$t$  = เวลา (วัน)

$k_2$  = ค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยาลำดับศูนย์ (ความเข้มข้น / เวลา)

$k_1$  = ค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยาลำดับหนึ่ง (1/เวลา)

ในการเลือกว่าเป็นลำดับสมการแบบใดนั้น จะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ที่แสดงความสัมพันธ์ของค่าทั้งสอง หรือค่า  $r^2$  โดยจะพลอตระหว่างค่าเปอร์ออกไซด์กับเวลา (ลำดับศูนย์) และค่าลอการิทึม  $e$  ของค่าเปอร์ออกไซด์ ( $\ln PV$ ) กับเวลา (first-order) จากนั้นจึงนำค่า  $r^2$  มาเปรียบเทียบกัน

ผลของอุณหภูมิต่อค่าคงที่  $k$  สามารถอธิบายโดยใช้ Arrhenius Equation

$$k = k_0 e^{-E_a/RT}$$

$$\text{หรือ } \ln k = \ln k_0 - E_a/RT$$

และเมื่อพลอตระหว่าง  $\ln k$  กับส่วนกลับของอุณหภูมิในหน่วยองศาเคลวิน ซึ่งสามารถหาค่า  $E_a$  จากกราฟ

ค. การคำนวณระยะเวลาการเก็บ

ในการหาระยะการเก็บของมะม่วงหิมพานต์ทอดที่อุณหภูมิต่าง ๆ จะหาได้จากการทราบค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา ของสารเปอร์ออกไซด์ ที่เวลาที่เกิดกลิ่นรสที่ไม่เป็นที่ยอมรับ สมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าระยะเวลาการเก็บคือ

$$k = \Delta C / \theta s$$

เมื่อ  $\Delta C$  คือ ค่าเปอร์ออกไซด์ที่ทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ยอมรับ

$\theta s$  คือ ระยะเวลาเก็บ (วัน)

$k$  คือ ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิหนึ่ง ที่ใช้ทดลอง

โดยจะทำการพลอตกราฟ ระหว่าง  $\ln \theta s$  กับส่วนกลับของอุณหภูมิในหน่วยองศาเคลวิน และหลังจากทำการวิเคราะห์เชิงถดถอย ก็จะได้สมการทั่วไปที่ใช้ในการคาดคะเนระยะเวลาเก็บของอาหารที่อุณหภูมิใด ๆ และสามารถหา accelerating factor  $Q_{10}$  ได้จากสมการ

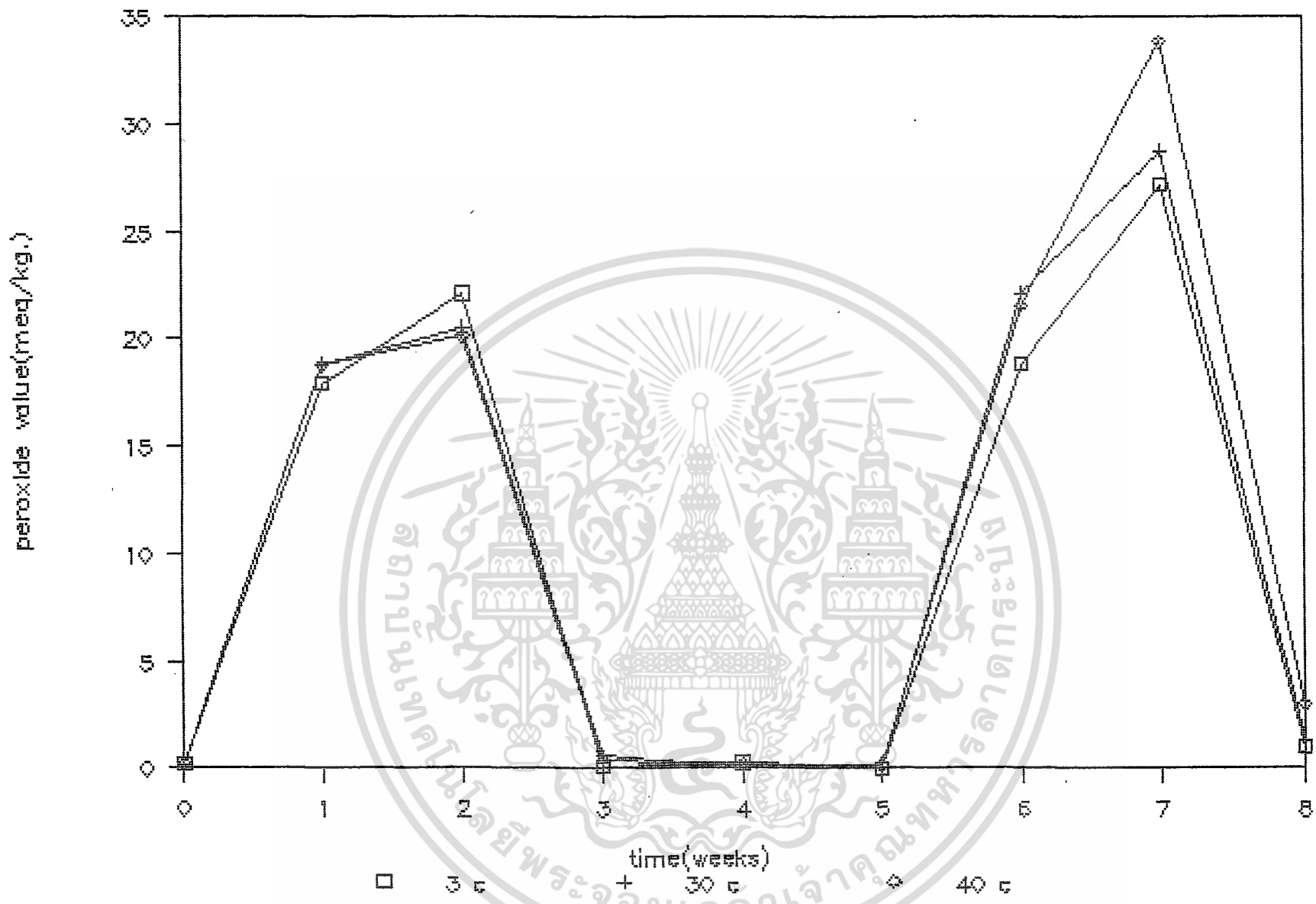
$$Q_{10} = \frac{\text{ระยะเวลาเก็บที่อุณหภูมิ } T + 10 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{ระยะเวลาเก็บที่อุณหภูมิ } T \text{ } ^\circ\text{C}}$$

### ผลการทดลอง

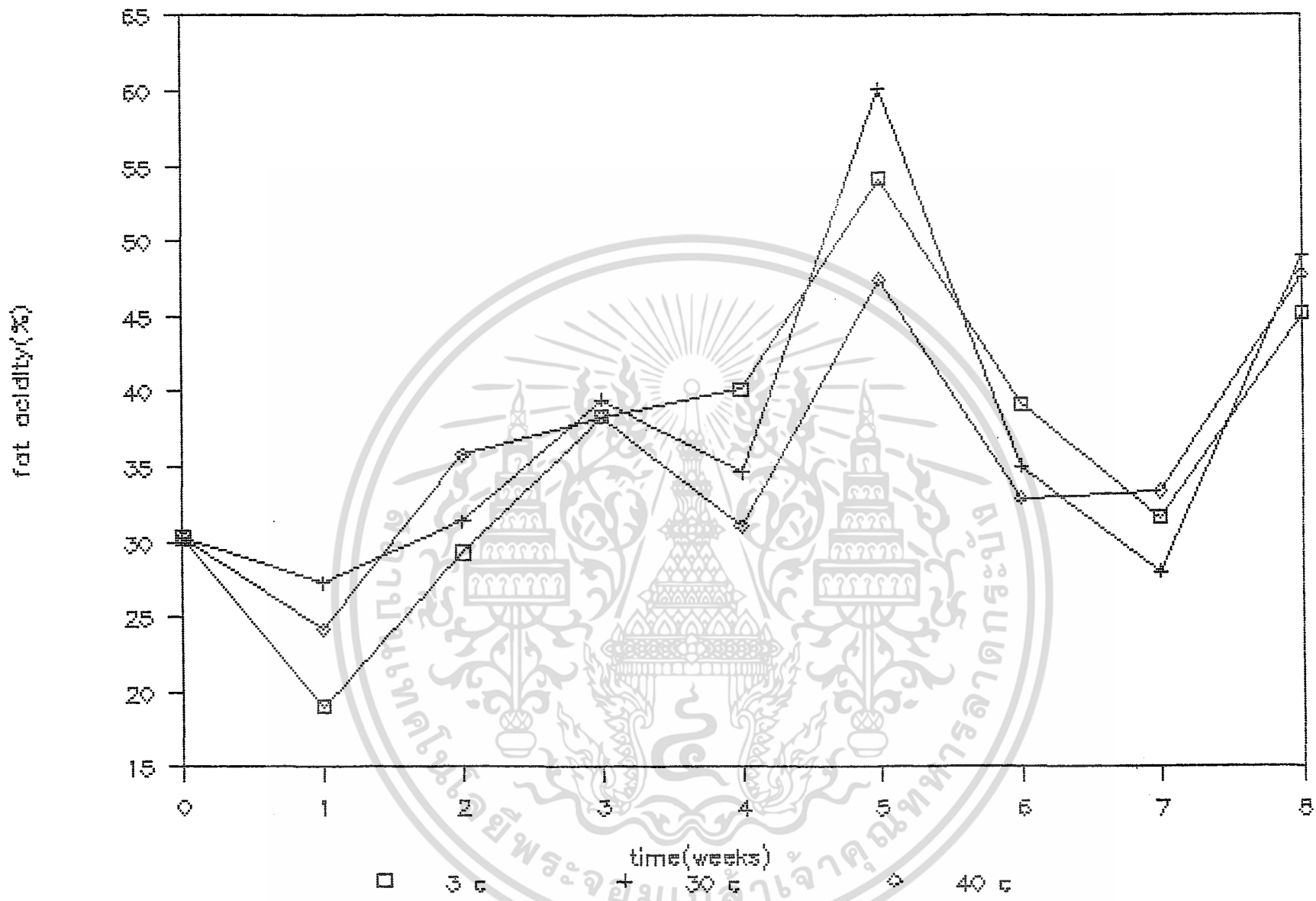
ผลจากการนำตัวอย่างมะม่วงหิมพานต์เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 3 C , 30 C และ 40 C ทุกสัปดาห์สุ่มตัวอย่างมาทำการตรวจวิเคราะห์ ได้ผลของปริมาณความชื้น ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าความเป็นกรด การเกิดกลิ่นหืน และ ลักษณะเนื้อสัมผัสดังแสดงในตารางที่ 2,3 และ 4 ในภาคผนวก ก และจากข้อมูล ดังกล่าวสามารถแสดงผลได้ดังรูปกราฟต่อไปนี้



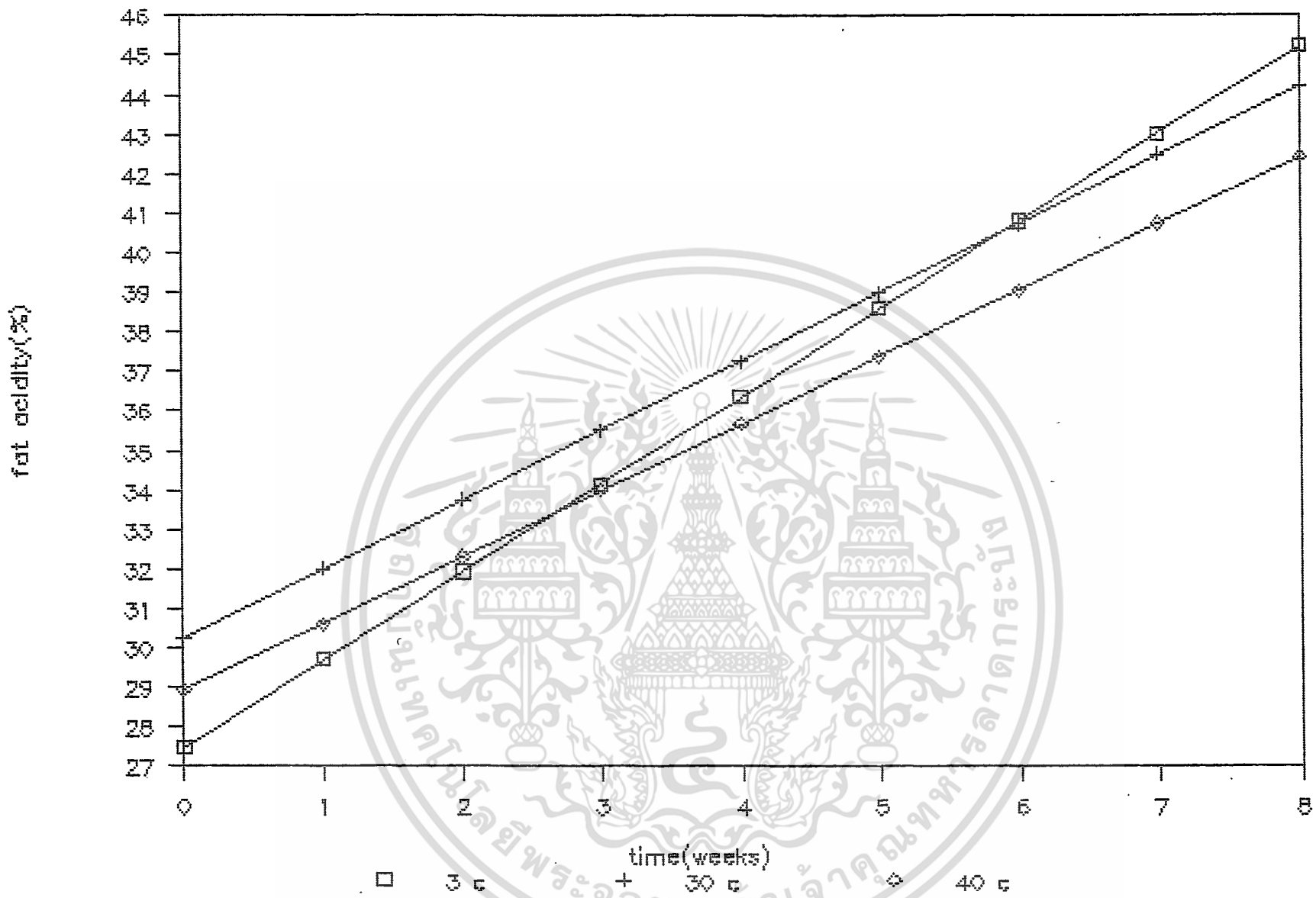
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



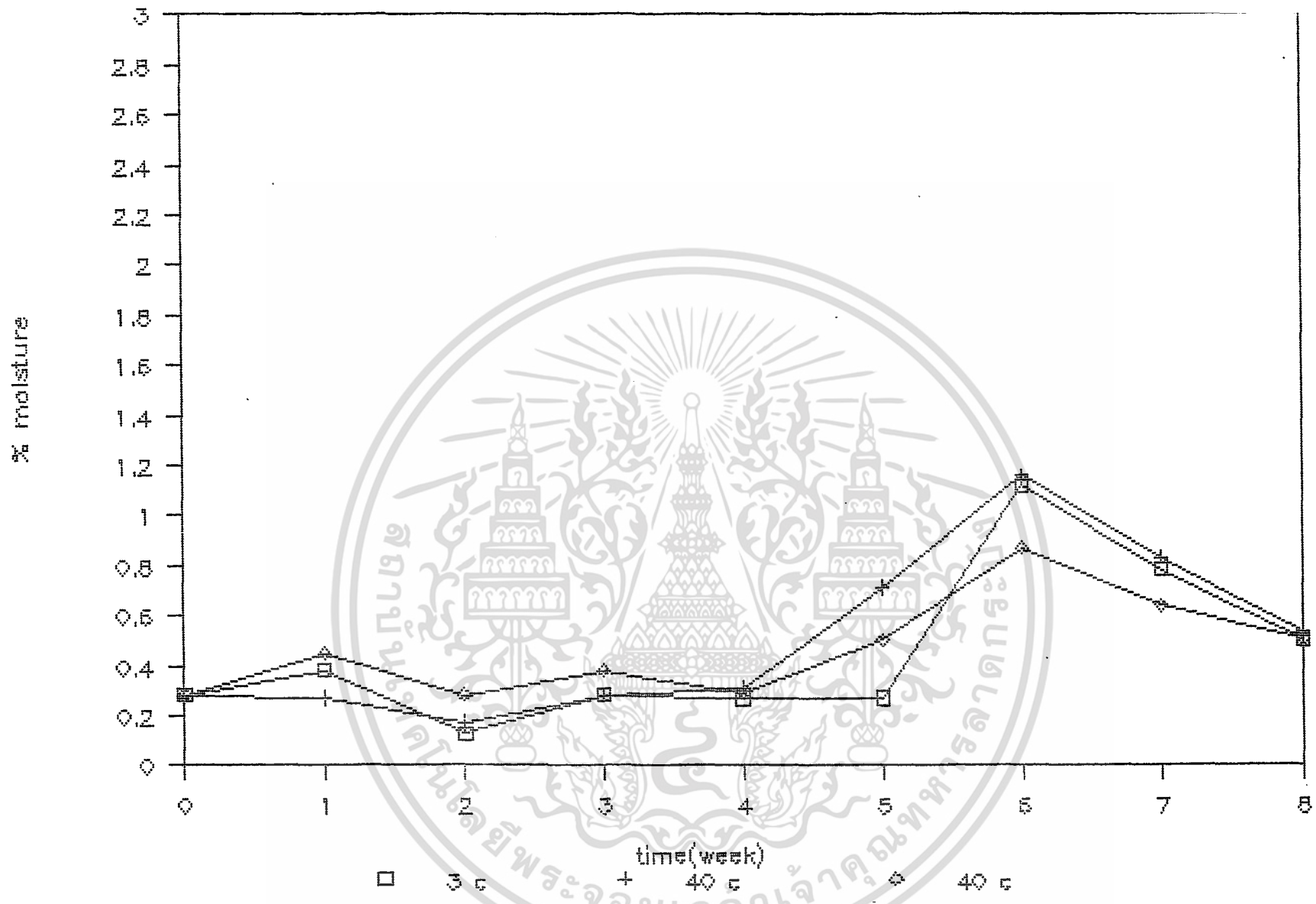
ภาพที่ 9 กราฟแสดงผลของเวลาต่อค่าเปอร์ออกไซด์ที่สภาวะการเก็บต่าง ๆ



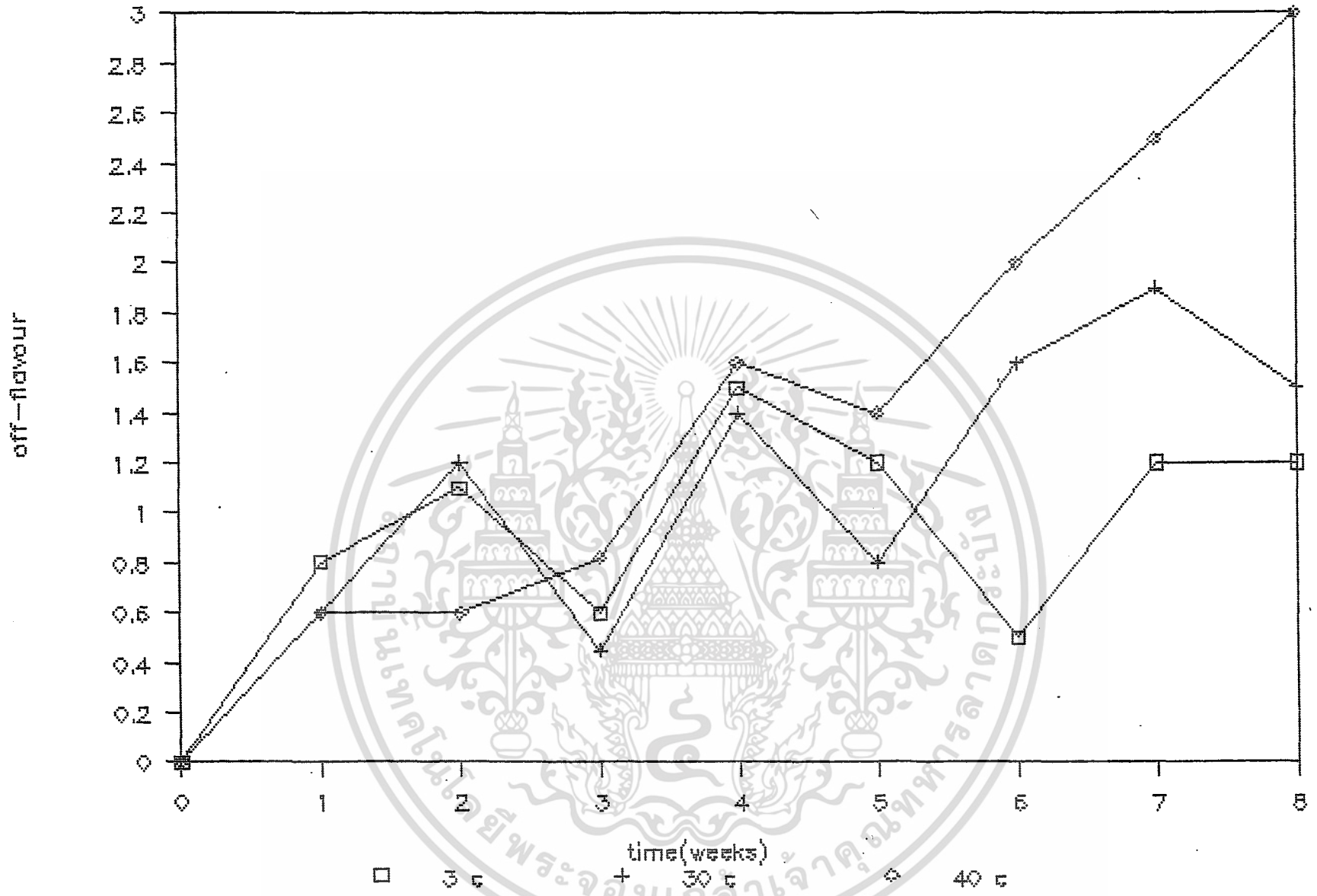
ภาพที่ 10 กราฟแสดงผลของเวลาต่อค่าความเป็นกรดที่สภาวะการเก็บต่าง ๆ



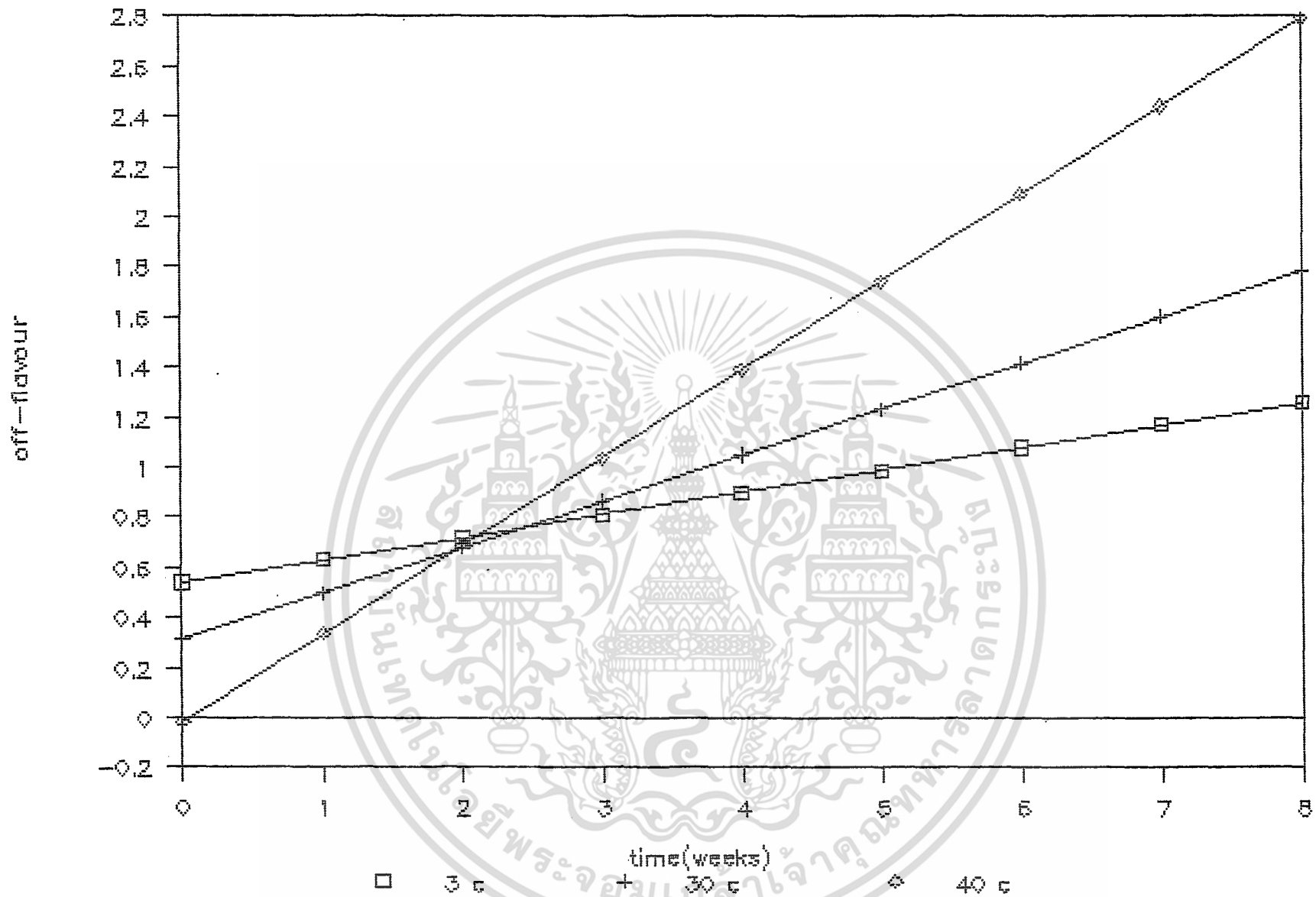
ภาพที่ 11 กราฟแสดงผลของเวลาต่อค่าความเป็นกรดที่สภาวะการเก็บต่าง ๆ เมื่อทำ linear regression



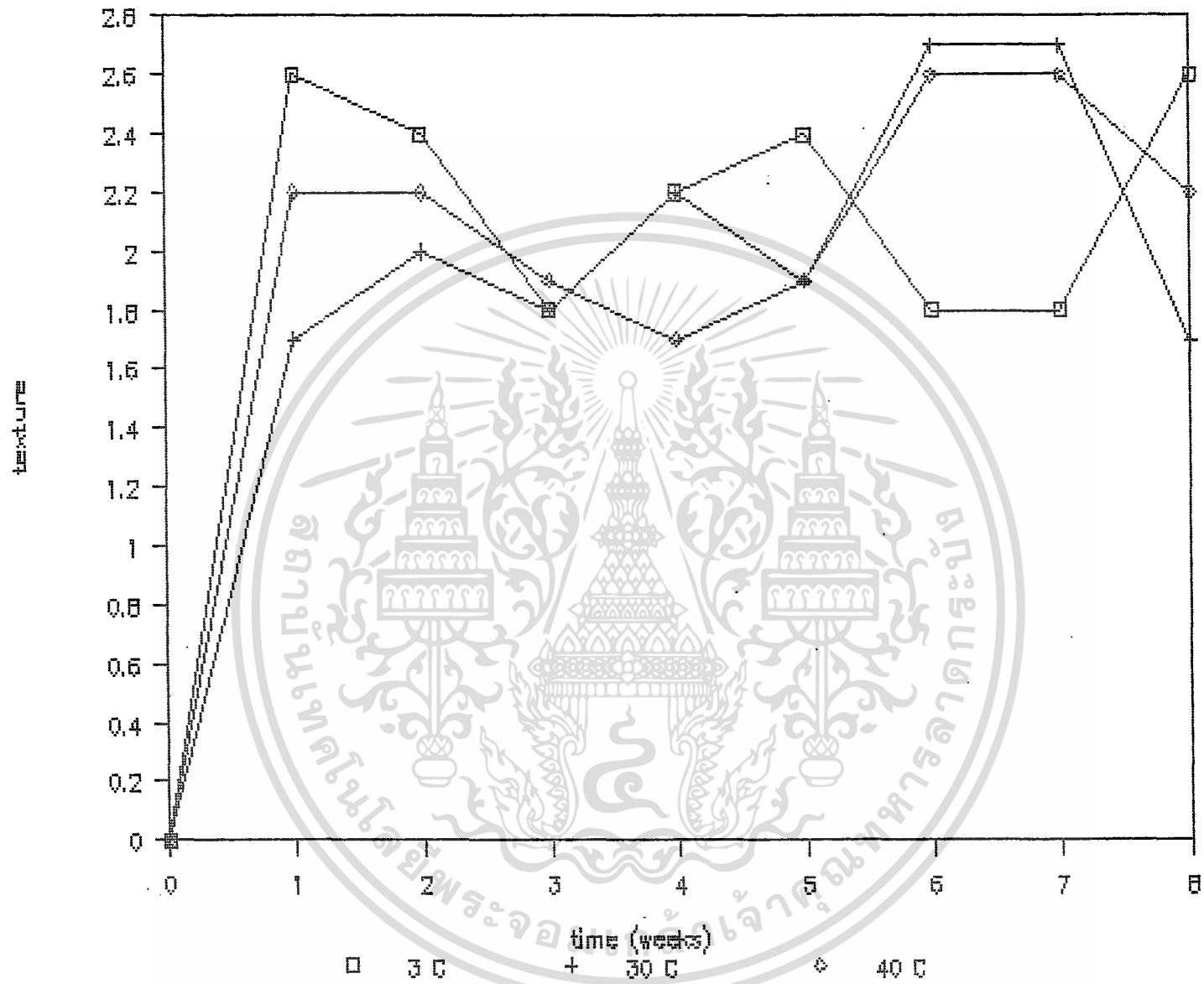
ภาพที่ 12 กราฟแสดงผลของเวลาต่อปริมาณความชื้นที่สภาวะการเก็บต่าง ๆ



ภาพที่ 13 กราฟแสดงผลของเวลาต่อการเกิดกลิ่นหืนที่สภาวะการเก็บต่าง ๆ



ภาพที่ 14 กราฟแสดงผลของเวลาต่อการเกิดกลิ่นที่สภาวะการเก็บต่าง ๆ เมื่อทำ linear regression



ภาพที่ 15 กราฟแสดงผลของเวลาต่อลักษณะ เนื้อสัมผัสของมะม่วงหิมพานต์ที่สภาวะการเก็บต่าง

## วิจารณ์ผล

### การประเมินผลทางเคมี

#### (1) ค่าเปอร์ออกไซด์

ผลของค่าเปอร์ออกไซด์ของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ทอดในอุณหภูมิแห้งเมื่อเวลาผ่านไป 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิการเก็บรักษาแตกต่างกัน แสดงดังภาพที่ 9 พบว่าในช่วง 1 ถึง 2 สัปดาห์แรกค่าเปอร์ออกไซด์สูงขึ้นอย่างรวดเร็วประมาณ 17 meq/kg ทั้งนี้เนื่องจากผลของออกซิเจนที่มีอยู่ภายในถุงหลังการปิดผนึกต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งพบว่าสอดคล้องกับการทดลองของ Tannafranca (1990) ที่ทดลองในถั่วลิสงทอด และในช่วง 3 ถึง 5 สัปดาห์ ค่าเปอร์ออกไซด์ลดต่ำลง เมื่อปริมาณออกซิเจนภายในถุงถูกใช้หมดไปจึงทำให้ปฏิกิริยาการเกิดสารเปอร์ออกไซด์ลดต่ำลง และจากสมมุติฐานของ Fennema (1985) ได้เสนอไว้ว่าใน Termination stage จะมี free radicals น้อยลงซึ่งเนื่องมาจาก free radical เข้าทำปฏิกิริยากันเองได้เป็นสารประกอบที่เสถียรกว่า ประกอบกับการสลายตัวของสารเปอร์ออกไซด์ (peroxide decomposition) ซึ่งพบว่าเป็น precursor ของการเกิดสารที่ทำให้เกิดกลิ่นหืนในอาหาร (Hudson, 1983)

สำหรับในช่วงตั้งแต่สัปดาห์ที่ 5 จนถึงสัปดาห์ที่ 8 พบว่ามีแนวโน้มของรูปกราฟคล้ายกับสัปดาห์ที่ 1 ถึง สัปดาห์ที่ 3 อาจเป็นไปได้ที่การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันยังคงสูงอยู่เนื่องจากเมื่อพิจารณาปริมาณความชื้น ในช่วงนี้ให้ค่า water activity ที่ทำให้อัตราการเกิด lipid oxidation ยังคงเกิดขึ้นในระดับหนึ่ง ทำให้การเกิดสารเปอร์ออกไซด์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นได้ และจากคำกล่าวของ Labuza

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ Schmidl (1985) ที่ว่าค่าเปอร์ออกไซด์เปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา คือสามารถให้ค่าที่เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุด และให้ค่าที่ต่ำจนเข้าใกล้ศูนย์ ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของค่า PV ในช่วงนี้อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงที่ไม่คงที่ของค่า PV ดังกล่าว ซึ่งการที่ค่าเปอร์ออกไซด์มีค่าต่ำนั้นไม่เสมอไปที่จะบอกถึงความไม่มีกลิ่นหืนของอาหาร และค่าเปอร์ออกไซด์ที่บอกถึงความหืนของอาหารแต่ละชนิดนั้นจะแตกต่างกันพบว่าค่าเปอร์ออกไซด์มีความสัมพันธ์กับเวลาในระดับที่ต่ำคือมีค่า correlation coefficient ที่อุณหภูมิ 3 C, 30 C และ 40 C เป็น 0.095, 0.141 และ 0.123 ตามลำดับ ดังนั้นจากการทดลองที่ได้การเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ไม่สามารถใช้ประกอบการตัดสินใจในการเลือกใช้เป็นดัชนีในการทำนายอายุการเก็บได้

## (2) ค่าความเป็นกรด (fat acidity)

พบว่า fat acidity เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเก็บนานขึ้นเมื่อพิจารณาภาพที่ 10 และพบความสัมพันธ์ระหว่างค่า fat acidity กับ เวลา โดยให้ค่า correlation coefficient ที่อุณหภูมิ 3 C, 30 C และ 40 C เป็น  $r=0.596$  0.441 และ 0.591 ตามลำดับ (กราฟรูปที่ 11) โดยรูปกราฟมีแนวโน้มที่สูงขึ้นซึ่งสามารถสังเกตได้อย่างชัดเจน ซึ่งเป็นผลจากการทำ linear regression ของผลการทดลองที่ได้

จากกราฟภาพที่ 10 สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ free fatty acid ได้คือ ในการเพิ่มขึ้นของค่า fat acidity ในสัปดาห์ที่ 5 นั้นเมื่อนำข้อมูลนี้ไปเปรียบเทียบผลที่ได้จากค่าเปอร์ออกไซด์ ซึ่งมีค่าต่ำ (เข้าใกล้ศูนย์) ในสัปดาห์นั้นสามารถอธิบายได้จาก การสลายตัวของสารประกอบเปอร์ออกไซด์ได้เป็นสาร intermediate ซึ่งต่อมาให้สารประกอบที่มีฤทธิ์เป็นกรด (schultz,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1971; Gray, 1978) ในช่วงสัปดาห์ที่ 6 และ 7 พบว่ามีปริมาณ free fatty acid ต่ำลงซึ่งสอดคล้องกับการที่ taste panel สามารถบอกถึงกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์ได้มาก

นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ระหว่างค่า fat acidity กับ ความชื้น โดยมีค่า correlation coefficient ที่อุณหภูมิ 3 C, 30 C และ 40 C คือ 0.417, 0.418 และ 0.319 ตามลำดับ

### (3) ปริมาณความชื้น (moisture content)

พบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นกับเวลาดังภาพที่ 12 พบว่า ในช่วง 1 ถึง 4 สัปดาห์แรกไม่พบความแตกต่างของความชื้นในทุกตัวอย่าง สามารถอธิบายได้ว่าในช่วงต้นของการเก็บตัวอย่าง เป็นช่วงที่ความชื้นในตัวอย่าง และความชื้นของอากาศภายในห้องพยายามปรับเข้าสู่ Equilibrium moisture content และหลังจากสัปดาห์ที่ 4 มีการเพิ่มขึ้นของความชื้นที่อุณหภูมิ 30 C และ 40 C ไม่พบความแตกต่าง (ระดับความเชื่อมั่น 95 %) แต่ที่สภาวะการเก็บที่อุณหภูมิ 3 C พบปริมาณความชื้นในตัวอย่างในระหว่างการเก็บเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) เมื่อพิจารณาควบคู่ไปกับค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าความเป็นกรด พบว่าที่สัปดาห์ที่ 6 และ 7 ไม่มีความแตกต่างของค่าเปอร์ออกไซด์ระหว่างสามอุณหภูมิซึ่งให้ผลเช่นเดียวกันกับค่าความเป็นกรดรวมทั้งเมื่อพิจารณาจากทฤษฎี (Eichner, 1986) พบว่าที่อุณหภูมิต่ำภาชนะบรรจุมีค่า WVTR ต่ำคือปริมาณการซึมผ่านของน้ำต่ำจึงเป็นไปได้ที่ว่าการเพิ่มขึ้นของค่าความชื้นที่อุณหภูมิ 3 C นั้นเกิดจากการผิดพลาดขณะทำการวิเคราะห์

จากผลการทดลองปริมาณความชื้นในภาชนะบรรจุค่อนข้างคงที่ คือ ไม่พบความแตกต่างของความชื้นเมื่อเวลาผ่านไปในแต่ละอุณหภูมิ (โดยพิจารณาว่าที่ ๑ C เป็นข้อผิดพลาด) จึงอาจกล่าวได้ว่า ภาชนะบรรจุที่ใช้มีคุณภาพดีสามารถป้องกันการซึมผ่านของความชื้นได้ดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การประเมินค่าทางประสาทสัมผัส

### (1) การเกิดกลิ่นหืน (off-flavor)

ผลของการทดสอบโดยผู้ทดสอบจำนวน 10 คน ที่ระยะการเก็บที่อุณหภูมิต่าง ๆ ตั้งแต่ 0-8 สัปดาห์แสดงดังภาพที่ 13 สามารถกล่าวได้ว่าระยะเวลาและอุณหภูมิมีผลต่อการเกิดกลิ่นหืนขณะเก็บ โดยค่าเฉลี่ยของการเกิดกลิ่นหืนเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นโดยมี correlation ที่อุณหภูมิ 3 C, 30 C, และ 40 C เป็น 0.528, 0.810 และ 0.978 ตามลำดับ ดังจะเห็นได้จากภาพที่ 14 เมื่อทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 C จะให้คะแนน และอัตราการเหม็นหืนได้มาก และเร็วกว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 30 C และ 3 C ตามลำดับจึงอาจกล่าวได้ว่าอุณหภูมิสูงมีผลในการเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยจากการศึกษาพบว่าอัตราการเปลี่ยนของสารเปอร์ออกไซด์ไปเป็น secondary product เช่น aldehyde, ketone ซึ่งเป็นตัวที่ทำให้เกิดกลิ่นหืนในอาหาร (Fennema, 1985) เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นซึ่งจากการทดลองระดับความหืนที่ผู้ทดสอบบอกได้เพียงคะแนนเท่ากับ 3 เท่านั้น ในสัปดาห์ที่ 8 ซึ่งยังไม่ถึง time of failure ซึ่งกำหนดให้เท่ากับ 5 ดังนั้นในการศึกษาต่อไป ควรทำการเก็บมะม่วงหิมพานต์ทอดที่สภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงกว่า 40 C หรือเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานกว่า 8 สัปดาห์ จึงสามารถที่จะนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้ในการทำนายระยะการเก็บของอาหาร

(2) เนื้อสัมผัส (texture)

เนื้อสัมผัสของมะม่วงหิมพานต์ทอด แสดงในรูปของความกรอบของผลิตภัณฑ์ดังภาพที่ 15 พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บอาหารเพิ่มขึ้นคะแนนของเนื้อสัมผัสก็เพิ่มขึ้นด้วย คือมีความกรอบลดลง โดยมี correlation coefficient กับเวลาที่อุณหภูมิ 3 C, 30 C และ 40 C เป็น 0.420, 0.648 และ 0.63 ตามลำดับ แต่จากความกรอบของผลิตภัณฑ์ในระดับนี้เป็นความกรอบซึ่งผู้บริโภคสามารถยอมรับได้ดีที่ระยะเวลาการเก็บ 8 สัปดาห์ ซึ่งจะสอดคล้องกับปริมาณความชื้นที่คงที่ตลอดการเก็บ ดังนั้นภาชนะบรรจุชนิดนี้จึงมีคุณสมบัติสามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี

### การทำนายอายุการเก็บ

ในการทำนายระยะเวลาการเก็บของอาหารด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์จำเป็นที่จะต้องใช้ค่าคงที่ (k) ที่ได้จากการพลอตกราฟระหว่างค่าเปอร์ออกไซด์ และคะแนนของ off-flavor ที่ผู้ทดสอบ detect ได้ ในกรณีที่ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์ออกไซด์และคะแนน off-flavor กับเวลาเป็นเส้นตรงหรือมีความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกันหรือมีค่า correlation coefficient ใกล้เคียง 1 (Tannafranca, 1990) แต่สำหรับการทดลองนี้การเกิดค่าเปอร์ออกไซด์ไม่มีความสัมพันธ์อย่างเด่นชัดกับเวลาเมื่อเทียบกับ ความสัมพันธ์ ระหว่างคะแนน กลิ่นหืนกับเวลา ข้อมูลที่ได้จากการทดลองเหล่านี้จึงเป็นอุปสรรคที่ไม่สามารถใช้สมการ Arrhenius ในการคำนวณเพื่อหาค่าพลังงานกระตุ้นและทำนายระยะเวลาการเก็บของมะม่วงหิมพานต์ทอดด้วย accelerate test โดยใช้อุณหภูมิ

ความเป็นไปได้ในการใช้สมการ Arrhenius ในการทำนายระยะเวลาการเก็บของมะม่วงหิมพานต์ทอดนั้นควรใช้เวลาในการศึกษานานขึ้น หรือ/และใช้อุณหภูมิในการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันมากกว่า 40 C รวมทั้งในการวัดค่าเปอร์ออกไซด์ควรทำซ้ำแต่ละ 2 ครั้ง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงที่ไม่คงที่ของค่าเปอร์ออกไซด์ซึ่งอาจทำให้เกิดการผิดพลาดในการใช้เป็นดัชนีที่บอกถึงปฏิกิริยาออกซิเดชันในการเกิดกลิ่นหืนของอาหาร

แต่จากการทดลองสามารถใช้ค่าทางประสาทสัมผัสของการ detect กลิ่นหืน (off-flavor) ของผู้ทดสอบใช้เป็นดัชนีในการบอกถึงความเสื่อมเสียของอาหารได้เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่าง off - flavor กับเวลาที่ผ่านไปมี correlation ที่ดีและการ develop off-flavor ของผลิตภัณฑ์จะเห็นได้ชัดที่อุณหภูมิ 40 C ซึ่งให้ correlation coefficient ที่สูงและเนื่องจากค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

fat acidity ให้ correlation coefficient กับเวลาที่ค่อนข้างต่ำ (0.4-0.6) จึงไม่สามารถเลือกใช้ค่านี้เป็นดัชนีในการทำนายระยะเวลาเก็บของมะม่วงหิมพานต์ทอดในถลุงลามิเนต ด้วยสมการ Arrhenius ได้

สำหรับผลการวิเคราะห์ทางเคมีอื่นที่ใช้ในการบอกถึงความเสื่อมเสียของมะม่วงหิมพานต์ทอด จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันโดยค่าที่ได้จะต้องมีความสอดคล้องกับการวัดค่าทางประสาทสัมผัสซึ่งยังต้องทำการทดลองต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุป

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. หากจะเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะม่วงหิมพานต์ทอดในอุณหภูมิเนชชนิดนี้ที่ภาวะการเก็บที่อุณหภูมิ 3 C และ 30 C สามารถเก็บไว้ได้ 2 เดือนโดยใช้ผลจากการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส และทางเคมี สำหรับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 C ที่เวลา 2 เดือนผลิตภัณฑ์มีกลิ่นหืนเกิดขึ้น
2. จากการทดลองพบความสัมพันธ์ของการเกิดกลิ่นหืนกับเวลาที่ค่อนข้างดีในทุกอุณหภูมิการเก็บ แต่จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์ออกไซด์กับเวลาให้ความสัมพันธ์ที่ไม่ดี ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้ค่าเปอร์ออกไซด์เป็นดัชนีสำหรับการทำนายอายุการเก็บของมะม่วงหิมพานต์ได้ สำหรับค่าความเป็นกรด ( fat acidity ) พบความสัมพันธ์กับเวลาที่ค่อนข้างดีแต่ไม่เพียงพอที่จะใช้เป็นดัชนีได้ (ค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ไม่สูงพอ)
3. ในการทำนายอายุการเก็บด้วยสมการทางคณิตศาสตร์โดยใช้ ASLT นั้นสามารถใช้สมการ Arrhenius Equation ในการทำนายได้ โดยทำการทดลองที่สภาวะการเก็บ 3 อุณหภูมิขึ้นไปเพื่อค่าคงที่ของปฏิกิริยาจากความสัมพันธ์แบบ zero-order หรือ first-order ระหว่างค่าที่ใช้บอกความเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์กับระยะเวลาเก็บ จากนั้นจะใช้ความสัมพันธ์ของ Arrhenius ในการพลอตระหว่าง  $\log$  ของค่าคงที่กับอุณหภูมิในหน่วยองศาเคลวิน เพื่อจะทำนายอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิอื่นได้ (Labuza and Schmidl, 1985) และเมื่อสามารถสร้าง Arrhenius plot ดังกล่าวแล้ว ก็จะสามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง  $\log$  ของเวลาที่หมดอายุการเก็บกับอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส ซึ่งเรียกกราฟนี้ว่า shelf-life plot ซึ่งใช้ในการทำนายระยะเวลาเก็บของผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ที่อุณหภูมิอื่นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่จากการทดลอง มีข้อจำกัดต่าง ๆ ดังนี้

1. ระยะเวลาในการทดลองเก็บรักษาผลิตภัณฑ์น้อยเกินไป
2. ในช่วงระยะเวลาการเก็บพบความสัมพันธ์น้อยมากระหว่างค่าเปอร์ออกไซด์กับเวลา

นี้ได้

สำหรับผู้ที่ จะทำการทดลองต่อไป ควรใช้เวลาในการศึกษานานกว่า 8 สัปดาห์ (4 เดือน) และ/หรือ ใช้อุณหภูมิในการเร่งปฏิกิริยา มากกว่า 40 C และในการวัดค่าเปอร์ออกไซด์ควรทำสัปดาห์ละ 2 ครั้ง เพื่อสามารถสังเกตความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์ออกไซด์เมื่อเวลาผ่านไปได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ ควรเลือกใช้ภาชนะบรรจุให้สอดคล้องกับระยะเวลาที่ใช้ศึกษา และควรทำการปิดผนึกให้แน่ใจว่าจะไม่เกิดข้อผิดพลาดจากภาชนะบรรจุ

4. ค่าเปอร์ออกไซด์ เริ่มต้นที่ได้จากการทดลองกับผลิตภัณฑ์มะม่วงหิมพานต์ทอดมีค่าต่ำมากเกือบเป็นศูนย์ซึ่งต่างจากค่าที่ได้จากผลิตภัณฑ์คุกกี้และผลิตภัณฑ์หมูแผ่น คือค่าเปอร์ออกไซด์ เริ่มต้นของผลิตภัณฑ์คุกกี้มีค่าสูงจากนั้นจึงลดลง และสำหรับผลิตภัณฑ์หมูแผ่นค่าเปอร์ออกไซด์ เริ่มต้นมีค่าต่ำและมีแนวโน้มสูงขึ้นและคงที่ในช่วงสุดท้าย

## เอกสารอ้างอิง

- ชูศักดิ์ แสงธรรม. 2532. มะม่วงหิมพานต์, น. 57-59 ศูนย์ผลิตตำรา  
เกษตรเพื่อชนบท
- วุฒิชัย นาครักษา .2532. เอกสารประกอบการสอนวิชาหลักการบรรจุ. โครงการทาง  
วิชาการคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณ  
ทหารลาดกระบัง.
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis of the  
Association of official Analytical Chemists 15th ed.
- Buckholz, L. , Daun, H. and Trot, R. 1980. Influence of  
roasting time on sensory attributes of fresh  
roasted peanuts. J. Food Sci. 45: 547 pp.
- Burdon, T.A. 1983. Rancidity in Snack foods In: Rancidity  
in Foods, Edited by Allen, J. and Hamilton, R. Applied  
Science Pub. : 131 pp.
- Cavaletto, C. et.al 1966. Factors affecting macadamia  
nut stability. 2. Roasted kernels. Food Sci. 20:  
1217 pp.
- Dela Cruz, A. , Cavaletto, C.G. , Yamamoto, H.Y. and Ross,  
E. 1966. Factors affecting macadamia nut stability:  
Roasted Kernels. J. Food Tech. 20: 1217 pp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Eichner, K. 1986. The influence of water content and water and water activity on foods. In: Food Packaging Preservation: Theory and Practice. Edited by Mathlouthi, Mi Elsevier Applied Sci. Pub.
- Fennema, O. 1985. Water and Ice. In: Food Chemistry. Edited by Fennema, O. Marcel Dekker, Inc. N. Z.
- Fuller, G. et.al 1971, . Evaluation of oleic safflower oil in frying of potato chips. J. Food Sci. 36: 43 pp.
- Gray, J. 1978. Measurement of Lipid Oxidation: A review. JOACS. 55: 539-545 pp.
- Hamilton, R.J. 1983 . The Chemistry of rancidity in foods. In: Rancidity in Foods. Edited by Allen, J. and Hamilton R. Applied Science Pub.
- Harry, W. Lawson. 1985. Deep fat frying. In: Standard for fats and oils. AVI Pub. Co. Inc. , Westport, Connecticut
- Hitchcock, C. , and Hammond, E. 1980. The determination of lipids in foods. In: Developments in Food Analysis Techniques. Edited by King, R.D. Applied Sci. Pub. Ltd. cited by Tannafranca, D.E. 1990.
- Holaday, C. , Pearson, J. and Slay, W. 1979. A new packaging method for peanuts and pecans. J. Food Science. 44: 1530-1533 pp.

- Hudson, B.J.F. 1983. Evaluation of oxidative rancidity in foods. In: Rancidity in Foods. Edited by Allen, J. and Hamilton, R. Applied Science Pub. : 47-50 pp.
- IFT Expert Panel and CPI. 1974. Shelf life of foods. Food Technol. 8. cited by Tannafranca, D.E. 1990.
- Karel, M. 1975. Protective packaging of foods. In: Physical Principles of Food Preservation Edited by Karel, M. , Fennema, O. and Land, D. Marcel Dekker, Inc. :399 pp.
- Karel, M. 1985. Environmental effects on Chemical changes in foods. In: Chemical Changes in Food During Processing. Edited by Richardson, T. and Finley, J. IFT Basic Symposium Series. AVI Pub. Co. Inc. , Westport, Connecticut.
- Labuza, T.P. 1971. Kinetic of lipid Oxidation. Critical Reviews in Food Technol. 2(3): 355-366 pp.
- Labuza, T.P. 1982. Theory and application of Arrhenius kinetics to the prediction of nutrient losses in foods: 66 pp. cited by Tannafranca, D.E. 1990.
- Labuza, T.P. 1984. Moisture Sorption: Practical Aspects of Isotherm Measurement and use. American Assoc. of Cereal Cereal Chem. St. Paul, Minnesota. cited by Tannafranca, D.E. 1990.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Labuza, T.P. and Schmidl, M.K. 1985. Accelerated shelf-life testing of foods. *Food Tech.* 39(9): 57-65 pp.
- Labuza, H.W. 1985. Deep fat frying. In: *Standard for fats and oils.* AVI Pub. Co. Inc. , Westport, Connecticut.
- Lea, C.H. 1931. *Proc. Royal Soc. London* 108 B: 175 pp.cited by Tannafranca, D.E. 1990.
- Lea, C.H. 1952. *J. Sci. Food Agric.* 3: 586 pp. cited by Tannafranca, D.E. 1990.
- Lea, C.H. 1962. The Oxidative deterioration of food lipids, In: *Symposium on Foods: Lipids and Their Oxidation.* Edited by Schultz, H. AVI Pub. Co. Inc. : 3-15 pp.
- Lima, 1986. cited by Tannafranca, D.E.
- Maia, Geraldo Arraes; Stull, J.W. 1977. Fatty acid and lipid Composition of cashews (Anacardium Occidentale L. , *Cent. Cienc. Agrar.* , Univ. Fed. Gears, Fortaleza, Brazil. 7(1-2)
- Martinez, F. 1968. Effect of moisture content on rate of deterioration of freeze-dried salmon. *J. Food Sci.* 33: 242 pp.
- McWatters, K. , Heaton, E. and Cecil, E. 1971. Storage Stability of peanut pie mixes. *Food Prod. Dev.:*69pp. cited by Tannafranca, D.E. 1990.
- Min, D.B. and Schweizer, D.Q. 1983. *JOACS* 60(9): 1662 pp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Mulutinovic, L. et.al 1970. Comparison of flavors and volatiles of tomato products and peanuts. J. Food Sci 35: 224 pp.
- Ory, R. et.al 1985. Oxidation-induced changes in foods In: Chemical Changes in Food during Processing. Edited by Richardson, T. and Finley, J. IFT Basic Symposium Series. AVI Pub. Co. Inc. , Westport, Connecticut. cited by Tannafranca, D.E. 1990.
- Paine , F.A.1962.Principle of Packaging in Fundamental of Packaging. Blackie and Son Ltd., London. 1-17 pp.cited by Tungcharoenchai,W.1990.
- Quast, D. and M. Karel. 1972. Effects of environmental factors on the oxidation of potato Chips. J. Food Sci. 37: 584 pp.
- Ragnarsson, J. and Labuza, T. 1977. Accelerated shelf life testing for oxidative rancidity in foods. A review. Food Chem. 2: 291 pp.
- Read, M.J. 1988. Performance testing of snack packaging Food Technol. Aust. 40(3): 92 pp.
- Robards, K. 1988. Headspace gas analysis as a measure of rancidity in corn chips. JOACS. 68(10)
- Robertson,G.1978.An Tntroduction to Packaging for Food Technologist.Massey University,Palmerston North. 158pp. cited by Tungcharoenchai,W.1990.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Rockland, L. 1980. Water activity and stability. J. Food Technol. 23: 11-18 pp.
- Rossel, J.B. 1983. Measurement of rancidity. In: Rancidity in Foods. Edited by Allen J. and Hamilton, R. App. Sci. Pub. :21 pp.
- Sadler, G. 1987. Aseptic chemistry. In: Principles of Aseptic Processing and Packaging. Edited by Nelson, p. , Chamber, J. and Rodriguez, J. The Food Proc. Inc. Washinngton, D.C.
- Saguy, I. and Karel, M. 1980. Modeling of quality deterioration during food processing and storage. Food Tech. : 78 pp.
- St. Angelo, J. 1977. Enzymes and Oxidation stability of peanut products. In: Enzymes in Food and Beverage Processing. Edited by Ory, R. and St. Angelo, J. AVI Pub. Co. Inc. , Westport, Connecticut.
- Tannafranca, D.E. 1990. Shelf life prediction of roasted salted peanuts packed in polymeric films. postgrad. diploma thesis Massey Univ. , New Zealand.
- Tungjaroenchai, W. 1990. The use of an oxygen absorber in soybean (Glycine max (L) Merrill) packaging. ,postgrad. diploma. thesis, Massey Univ. , Palmerston North New Zealand.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Weiss, T. 1970. Food Oils and Their Uses.

Wheeler, D.H. 1932. Oil Soap. 9: 89 pp. cited by Tannafranca, D.E. 1990.

Woodroof, J. 1973. Peanuts: Production, Processing, Products. 2nd edn. AVI Pub. Co. Inc. , Westport, Connecticut. cited by Tannafranca, D.E. 1990.

Young, C.T. , Young, T.G. and Cherry, J.P. 1976. The effect of roasting methods on the flavor and composition of peanut butter. J. Amer. Peanut Res. Educ. Assoc. 4(1): 8 cited by Tannafranca, D.E. 1990.

## ภาคผนวก ก.

**ตารางที่ 2** ตารางแสดงผลของการวัดค่าทางเคมีและทางประสาทสัมผัสของมะม่วง  
หิมพานต์ทอดในอุณหภูมิเนกเมื่อทำการเก็บรักษาเป็นระยะ 8 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 3 C

ระยะเวลา (สัปดาห์)	%Moisture	peroxide value (mcq/kg)	%fat acidity	flavor	texture
0	0.28	0.178	30.27	0	0
1	0.38	17.92	19.05	0.8	2.6
2	0.13	22.12	29.29	1.1	2.4
3	0.28	0.06	38.31	0.6	1.8
4	0.27	0.27	40.18	1.5	2.2
5	0.27	0.04	54.19	1.2	2.4
6	1.12	18.84	39.24	0.5	1.8
7	0.78	27.2	31.63	1.2	1.8
8	0.50	0.98	45.17	1.2	2.6

**หมายเหตุ :** ค่าที่ปรากฏในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจาก 3 replicates

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 3** ตารางแสดงผลของการวัดค่าทางเคมีและทางประสาทสัมผัสของมะม่วงหิมพานต์ทอดในอุณหภูมิเนกเมื่อทำการเก็บรักษาเป็นระยะ 8 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 30 C

ระยะเวลา (สัปดาห์)	%Moisture	peroxide value (mcq/kg)	%fat acidity	flavor	texture
0	0.28	0.178	30.27	0	0
1	0.27	18.86	27.3	0.6	1.7
2	0.17	20.53	31.39	1.2	2.0
3	0.28	0.57	39.46	0.45	1.8
4	0.31	0.015	34.67	1.4	2.2
5	0.71	0.058	60.13	0.8	1.9
6	1.16	22.15	35.03	1.6	2.7
7	0.83	28.8	28.02	1.9	2.7
8	0.53	1.32	48.99	1.5	1.7

**หมายเหตุ:** ค่าที่ปรากฏในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจาก 3 replicates

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.  
การเตรียมตัวอย่าง



เมล็ดดิบ

นำมาทอดในน้ำมันข้าวโพดที่อุณหภูมิ 180 C ใช้เวลาประมาณ 3.5-4 นาที



เอกสารนี้เป็นเอกสารของงานวิจัยที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งการนำเอกสารของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตั้งทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำมัน



คลุกด้วยเนย 3% (น้ำหนักเมล็ดดิบ)



ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องนาน 1 ถึง 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิได้อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรจุในถุงพลาสติกลามิเนท ถุงละ 100 กรัม



ปิดผนึกถุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนนำไปเก็บรักษาที่เอกสารไว้ที่นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สภาวะการเก็บที่อุณหภูมิ 3 C

2. สภาวะการเก็บที่อุณหภูมิ 30 C



3. สภาวะการเก็บที่อุณหภูมิ 40 C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาและเพื่อเผยแพร่ความรู้สู่สาธารณชนโดยไม่แสวงหากำไร ผู้ใช้สามารถนำเนื้อหาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค.

คุณสมบัติของภาชนะบรรจุ (ถุงลามิเนท)

อัตราการซึมผ่านของ  $O_2 = 7.6$  มิลลิลิตร/ตารางเมตร/วัน

(หรือ = 0.23 มิลลิลิตร/พื้นที่ ภาชนะบรรจุ/วัน)

อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ = 0.78 กรัม/ตารางเมตร/วัน

(หรือ = 0.024 กรัม/พื้นที่ ภาชนะบรรจุ/วัน)

ที่ 38 C RH = 90%

ความจุของถุงลามิเนท (ขนาด 12\*13 ตารางเซนติเมตร) = 247 มิลลิลิตร

ปริมาณ  $O_2$  ในถุงลามิเนท = 28.8 มิลลิลิตร

องค์ประกอบของถุง

OPPPE / aluminium / PE / OPPPE : 22/20/20/22  $\mu$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง

## 6-POINT HEDONIC SCORE SHEET (Hudson, 1983)

ชื่อ :

วันที่ :

ผลิตภัณฑ์ :

กรุณาให้คะแนนแก่ตัวอย่างตามความรู้สึกของท่านเมื่อดมกลิ่นและรับประทาน

ตัวอย่าง

คะแนน(off-flavor)

คะแนน(texture)

-----

-----

-----

คำอธิบาย (off-flavor)

ระดับคะแนน

คำอธิบาย (texture)

ปกติ

0

กรอบมากที่สุด

สงสัยว่าจะมีกลิ่นผิดปกติ

1

กรอบมาก

เริ่มรับรู้ แต่ยังเป็นปริมาณเล็กน้อย

2

กรอบ

รู้สึกมากขึ้นว่ามีกลิ่นผิดปกติ

3

ไม่ค่อยกรอบ

รู้สึกว่ามีการผิดปกติอย่างเด่นชัด

4

เริ่มนิ่ม

มีกลิ่นผิดปกติมากและเหม็นหืน

5

นิ่มและไม่กรอบ

มีกลิ่นผิดปกติมากที่สุดและเหม็นหืนมาก

6

นิ่มมากและไม่กรอบ

