

การศึกษาระเบียบอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศ

โดย

นายคงวุฒิ นรินทร์สุข

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

SHELF LIFE DETERMINATION OF VACUUM FRIED MANGO CHIPS

By

Kongwut Niruntasuk

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

MASTER OF SCIENCE

Department of Food Technology

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2006

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “การศึกษาการประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสูญญากาศ” เสนอโดย นายคงวุฒิ นรินทร์สุข เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ชินะตั้งกูร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต อินถวงค์
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณศรี ลีจรรย์เนียร
3. อาจารย์ ดร.บุศราภรณ์ มหาโยธี

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ คูวิจิตรจาวู)

...../...../.....

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต อินถวงค์)

...../...../.....

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณศรี ลีจรรย์เนียร)

...../...../.....

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.บุศราภรณ์ มหาโยธี)

...../...../.....

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ประมุข ภาระกุลสุขสถิตย์)

...../...../.....

47403203 : สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

คำสำคัญ : ออกซิเดชันของไขมัน/มะม่วงทอด/การทดสอบอายุการเก็บรักษา/จลนศาสตร์

/เครื่องจุ่มกิโลเล็กทรอนิกส์

คงวุฒิ นรินทร์สุข : การศึกษาการประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอด
สุญญากาศ. อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ : ผศ.ดร.บัณฑิต อินณวงศ์ , ผศ.ดร.อรุณศรี
ลีจรรย์เนียร และ อ.ดร.บุศราภรณ์ มหาโยธี. 70 หน้า.

การศึกษากการประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ผลไม้ทอดสุญญากาศในครั้งนี้ใช้
มะม่วงเป็นตัวแทนของการศึกษาดังกล่าว เนื่องจากได้รับการสนับสนุนตัวอย่างจากผู้ผลิตซึ่งมี
ศักยภาพในการผลิตมะม่วงทอดสุญญากาศส่งออกจำหน่ายไปยังต่างประเทศ โดยในการศึกษา
พบว่าอายุของน้ำมันทอดที่แตกต่างกัน (83 และ 166 ชั่วโมง) ไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของ
คุณภาพโดยรวมทั้งทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์ และเมื่อนำมาวิเคราะห์หาดัชนีชี้วัดที่
เหมาะสมต่อการติดตามการเปลี่ยนแปลง พบว่าค่า TBA และ p-AV เป็นดัชนีที่ดีในการติดตาม
ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงจากการเกิดออกซิเดชันของไขมันเนื่องจากมีลักษณะการเปลี่ยนแปลง
ตามระยะเวลาเป็นเส้นตรง ($r = 0.95$ และ 0.95 ตามลำดับ) สำหรับการพยากรณ์ด้วยหลัก
จลนศาสตร์พบว่าค่า TOTOX เป็นดัชนีที่เหมาะสมต่อการนำมาพยากรณ์อายุการเก็บรักษาของ
ผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศ ซึ่งมีอันดับของปฏิกิริยาการเกิดเป็นอันดับหนึ่ง โดยพบว่า
ค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ เท่ากับ 0.056
0.076 และ 0.127 เดือน⁻¹ ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อนำเครื่องจุ่มกิโลเล็กทรอนิกส์มาตรวจวิเคราะห์
รูปแบบของกลิ่นที่เกิดขึ้นและเปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเก็บรักษา พบว่าสามารถแยกความ
แตกต่างของชุดข้อมูลกลิ่นที่ระยะเวลาต่างๆ ได้อย่างชัดเจน และเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์กับการ
เปลี่ยนแปลงของดัชนีทางเคมี (ค่า TBA และ p-AV) พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง
($r = 0.86$ และ 0.92 สำหรับค่า TBA และ p-AV ตามลำดับ) กับสัญญาณตอบสนองจากเครื่อง
จุ่มกิโลเล็กทรอนิกส์ จึงชี้ให้เห็นถึงศักยภาพในการประยุกต์ใช้เครื่องมือดังกล่าวในการติดตามการ
เปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาได้

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2549

ลายมือชื่อนักศึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ 1. 2. 3.

47403203 : MAJOR : FOOD TECHNOLOGY

KEY WORD : LIPID OXIDATION/FRIED MANGO CHIP/SHELF LIFE
TESTING/KINETIC/ELECTRONIC NOSE

KONGWUT NIRUNTASUK : SHELF LIFE DETERMINATION OF VACUUM
FRIED MANGO CHIPS. THESIS ADVISORS : ASST.PROF.BHUNDIT INNAWONG
,Ph.D.,ASST.PROF. ARUNSRI LEEJEERAJUMNEAN,Ph.D.,AND BUSARAKORN
MAHAYOTHEE,Ph.D. 70 pp.

Vacuum fried mango chips, which encouraged from Thai manufacturer, were investigated for shelf life evaluation. The primary results showed that there was no difference in the chemical and physical characteristics between products fried at half life of frying oil (83 h) and at near-end life of frying oil (166 h). The appropriate indexes for investigating the quality changes were TBA and *p*-AV, which were linearly correlated with storage time ($r = 0.95$ and 0.95 respectively). Accelerated shelf life testing was conducted to evaluate and to predict the shelf life of the product using a kinetic approach. The TOTOX value potentially displayed as an appropriate index to facilitate the changes of the product during storage under various conditions of temperature. The order of reaction for the TOTOX was a simple first-order reaction kinetic. The reaction rate constants (k) were 0.056, 0.076, and 0.127 month⁻¹ at storage temperatures 30, 40, and 50 °C respectively. The electronic nose was additionally employed to pursue the color changes with respect to the rancidity. The electronic nose could discriminate obviously the odor profiles for each storage condition and time. The data obtained from electronic nose and chemical indexes (TBA and *p*-AV) provided good linear correlations (r) at 0.86 and 0.92 for TBA and *p*-AV respectively. This result indicated that the electronic nose could potentially be an instrument to comply with product quality inspection during storage.

Department of Food Technology Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2006

Student's signature

Thesis Advisors' signature 1. 2. 3.

กิตติกรรมประกาศ

ผมขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต อินณวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำปรึกษา และคำแนะนำที่ดี ตลอดจนโอกาสในการทำงานต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาศักยภาพ พร้อมทั้งไม่ตรีจิตที่แสดงถึงการช่วยเหลือมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณศรี ลีจีจำเนียร อาจารย์ ดร.บุศราภรณ์ มหาโยธี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ คุวิจิตรจากรุ และ อาจารย์ ดร.ประมุข ภระภูลสุขสถิต ที่ร่วมให้คำปรึกษา และคำแนะนำที่ดีต่อการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ รวมถึงอาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากรทุกท่าน ที่เคยให้คำปรึกษาต่างๆ ที่ดีเสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และน้องๆ ที่เป็นครอบครัวอันแสนอบอุ่น และเป็นกำลังใจให้กันตลอดมา

ขอขอบพระคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่สนับสนุนให้งบประมาณในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ บริษัท สหเจริญเอ็นเตอร์ไพรซ์ จำกัด ที่สนับสนุนตัวอย่างในการทำวิจัย และคำแนะนำที่ดีจากคุณรุ่งอรุณ (พี่รุ่ง) ตลอดระยะเวลาการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ บริษัท สิทธิพร แอสเซตีเอส จำกัด ที่สนับสนุนเครื่องจุ่มกิโลกรัมอิเล็กทรอนิกส์ในการทำวิจัย และการโอกาสที่ดีต่างๆ จากคุณพิสิฐ และการร่วมมือในการทำวิจัยที่ดีจากคุณสายชล คุณโก้ และคุณกวาง มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณพี่ๆ นักวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาเทคโนโลยีอาหารทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยที่ดีมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ เพื่อนออย เพื่อนที่คอยช่วยเหลือในทุกสิ่งทุกอย่าง และเป็นเพื่อนคู่คิดที่ดีมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ น้องแนน ผู้ที่ให้กำลังใจอย่างดีในการดำเนินชีวิตเรื่อยมา

และสุดท้าย ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ชาวเทคโนโลยีอาหารทุกคนที่แบ่งปันความรู้สึกที่ดีให้กันตลอดมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ณ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
2.1 อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร.....	2
2.2 อาหารทอด และการเสื่อมเสียของอาหารทอด.....	3
2.3 การประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารทอด.....	9
2.4 เครื่องจุ่มกิลด์ทรอนิกส์.....	13
2.5 เอกสารอ้างอิง.....	25
3 การเปลี่ยนแปลงปัจจัยทางด้านเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศ.	27
3.1 บทคัดย่อ.....	27
3.2 บทนำ.....	28
3.3 วัตถุประสงค์ อุปกรณ์ และวิธีการ.....	29
3.4 ผลการทดลอง และการวิจารณ์.....	31
3.5 สรุปผลการทดลอง.....	40
3.6 เอกสารอ้างอิง.....	41
4 การพยากรณ์อายุการเก็บรักษาด้วยหลักจลนศาสตร์ของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอด สุญญากาศ.....	43
4.1 บทคัดย่อ.....	43
4.2 บทนำ.....	44
4.3 วัตถุประสงค์ อุปกรณ์ และวิธีการ.....	45
4.4 ผลการทดลอง และการวิจารณ์.....	46

บทที่	หน้า
4.5 สรุปผลการทดลอง.....	51
4.6 เอกสารอ้างอิง.....	52
5 การประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศด้วยเครื่องจุ่ม อิเล็กโทรนิคส์.....	54
5.1 บทคัดย่อ.....	54
5.2 บทนำ.....	55
5.3 วัตถุประสงค์ ขอบข่าย และวิธีการ.....	57
5.4 ผลการทดลอง และการวิจารณ์.....	60
5.5 สรุปผลการทดลอง.....	65
5.6 เอกสารอ้างอิง.....	66
6 บทสรุป.....	68
ประวัติผู้วิจัย.....	70

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1	การจำแนกกลิ่นของมนุษย์ และเครื่องจุ่มกิโลลิทริกซ์..... 15
2.2	ส่วนประกอบของเครื่อง MOSESII with headspace sampler..... 18
2.3	Metal oxide semiconductor sensors..... 20
2.4	หลักการทำงานของ Metal oxide semiconductor sensors..... 21
2.5	Piezoelectric crystal sensors (Balk acoustic wave; BAW sensors)..... 22
2.6	Surface acoustic wave (SAW) sensors..... 23
2.7	Conducting organic polymer sensor (CP)..... 24
3.1	การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอด สูญญากาศที่เก็บไว้ในสภาวะปกติ (อุณหภูมิห้อง)..... 31
3.2	การเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอกติวิตีของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสูญญากาศที่เก็บ ไว้ในสภาวะปกติ (อุณหภูมิห้อง)..... 32
3.3	การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น (ฐานแห้ง) ของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอด สูญญากาศที่เก็บไว้ในสภาวะปกติ (อุณหภูมิห้อง)..... 33
3.4	การเปลี่ยนแปลงค่าผลต่างรวมของสี (ΔE) ของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสูญญากาศ ที่เก็บไว้ในสภาวะปกติ (อุณหภูมิห้อง)..... 34
3.5	การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสูญญากาศที่เก็บ ไว้ในสภาวะปกติ (อุณหภูมิห้อง)..... 35
3.6	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสูญญากาศที่ เก็บไว้ในสภาวะปกติ (อุณหภูมิห้อง)..... 35
3.7	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสูญญากาศ ที่เก็บไว้ในสภาวะปกติ (อุณหภูมิห้อง)..... 36
3.8	การเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณกรดไขมันอิสระของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสูญญากาศ ที่เก็บไว้ในสภาวะปกติ (อุณหภูมิห้อง)..... 37
3.9	การเปลี่ยนแปลงค่า TBA ของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสูญญากาศที่เก็บไว้ในสภาวะ ปกติ (อุณหภูมิห้อง)..... 38

ภาพที่	หน้า
3.10 การเปลี่ยนแปลงค่า p -AV ของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศที่เก็บไว้ใน สภาวะปกติ (อุณหภูมิห้อง).....	39
4.1 ค่า TBA ของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศที่ระดับอุณหภูมิในการเก็บรักษา ต่างกันเป็นระยะเวลา 12 เดือน.....	48
4.2 ค่า TOTOX ของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศที่ระดับอุณหภูมิในการเก็บ รักษาต่างกันเป็นระยะเวลา 12 เดือน.....	48
4.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า TOTOX ภายใต้เวลาการเก็บรักษาและอุณหภูมิ ต่างๆ.....	50
5.1 เครื่องจุ่มอ็อกซิเจน (Alpha M.O.S. Model FOX 3000).....	58
5.2 การเปลี่ยนแปลงดัชนีทางเคมีของการเกิดออกซิเดชันของไขมัน (ค่า TBA และ p -AV) ณ เวลาการเก็บรักษาต่างๆ ในผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศ..	61
5.3 การแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลกลิ่นในผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศที่ได้ จากเครื่องจุ่มอ็อกซิเจนที่เวลาการเก็บรักษาต่างๆ ด้วยเทคนิค PCA.	63
5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีจากการเกิดออกซิเดชันของไขมันกับสัญญาณ ตอบสนองที่ได้จากเครื่องจุ่มอ็อกซิเจนในผลิตภัณฑ์มะม่วงทอด สุญญากาศ.....	64

บทที่ 1

บทนำ

ผลิตภัณฑ์อาหารทอดจัดเป็นอาหารอีกกลุ่มหนึ่งที่ผู้บริโภคทั่วไปให้ความสนใจ เนื่องจากมีลักษณะของกลิ่นรสที่โดดเด่นเฉพาะตัว รวมถึงลักษณะเนื้อสัมผัสที่กรอบ แต่หากมองในแง่ของผู้ผลิตแล้วพบว่าอาหารทอดนั้นจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับการเสื่อมเสียอันเนื่องมาจากน้ำมันทอดที่ใช้เป็นสำคัญ เนื่องจากน้ำมันที่ถูกดูดซับเข้าไปในตัวอาหารเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารทอดโดยตรง ดังนั้นการทำความเข้าใจกับลักษณะการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจึงมีความสำคัญ โดยเฉพาะกับผู้ที่ทำหน้าที่ผลิต

กระบวนการทอดแบบสูญญากาศก็เป็นกระบวนการหนึ่งที่เราเริ่มเข้ามามีบทบาทในการช่วยควบคุมหรือลดปริมาณการดูดซับน้ำมันในอาหาร อีกทั้งยังให้ลักษณะเนื้อสัมผัส สี และกลิ่นรสที่ดีกว่าการทอดแบบน้ำมันท่วมในสภาพบรรยากาศปกติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับผลิตภัณฑ์ประเภทผักและผลไม้ อย่างไรก็ตามกระบวนการดังกล่าวในประเทศไทยก็ยังไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก เนื่องจากต้องอาศัยการลงทุนระบบหม้อทอดที่มีราคาสูง ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์หลังการทอดแบบสูญญากาศ จึงมีความจำเป็น ทั้งนี้เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพ ตลอดจนเพื่อนำปัจจัยเหล่านั้นไปใช้ประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ต่อไปได้

ทั้งนี้แม้แบบการศึกษาของผลิตภัณฑ์อาหารทอดสูญญากาศในประเทศไทยส่วนใหญ่ คงต้องมุ่งเน้นไปที่ผลิตภัณฑ์ประเภทผักและผลไม้เป็นหลัก เนื่องจากประเทศไทยมีแหล่งอาหารกลุ่มดังกล่าวเป็นจำนวนมากที่มีศักยภาพและความเหมาะสมในการที่จะนำมาแปรรูปด้วยวิธีการดังกล่าว โดยมะม่วงก็เป็นแม่แบบตัวหนึ่งที่ทางผู้วิจัยได้หยิบยกขึ้นมาเป็นตัวแทนในการศึกษาคุณลักษณะต่างๆ เนื่องจากได้มีการผลิตในเชิงพาณิชย์และส่งออกไปยังต่างประเทศแล้ว ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อที่จะศึกษาการเปลี่ยนแปลงในด้านต่างๆ และคัดเลือกหาดัชนีที่เหมาะสมในการนำมาติดตามการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาและจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์ ตลอดจนการนำเทคโนโลยีใหม่เข้ามาร่วมตรวจวิเคราะห์เพื่อลดเวลาในการประเมินคุณภาพและอายุของผลิตภัณฑ์ อันจะเป็นการชี้ให้เห็นช่องทางที่หลากหลายมากขึ้นของการประยุกต์ใช้เครื่องมือสมัยใหม่กับการตรวจติดตามผลิตภัณฑ์อาหารในประเทศไทย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โดยทั่วไปแล้วอาหารจัดเป็นสิ่งที่สามารถเสื่อมเสียได้ตามธรรมชาติ ทั้งนี้ระยะเวลาในการเสื่อมเสียดังกล่าวขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างประกอบกัน เช่น วัตถุประสงค์ กระบวนการผลิต ขั้นตอนการเก็บรักษา ฯลฯ โดยในช่วงต่างๆ นั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงในอาหารเกิดขึ้นมากมาย ซึ่งล้วนแล้วแต่ส่งผลกระทบต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารชนิดนั้นๆ โดยตรง แต่การบ่งชี้ว่าเมื่อใดอาหารดังกล่าวจะอยู่ในสถานะที่ไม่เหมาะสมแก่การบริโภค หรือหมดอายุ นั้น คงต้องอาศัยเกณฑ์ หรือดัชนีชี้วัดที่เหมาะสมในการเป็นตัวแทนของการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญในผลิตภัณฑ์นั้นๆ ได้

2.1 อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร

อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารเป็นการบ่งบอกถึงระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์นั้นยังมีความปลอดภัยต่อการบริโภค รวมถึงยังมีลักษณะทางประสาทสัมผัส เคมี กายภาพ และชีวภาพเป็นที่พึงพอใจ และคงไว้ซึ่งคุณค่าทางโภชนาการตามที่ได้ระบุไว้ในฉลากโภชนาการ (Kilcast และ Subramaniam, 2000) ทั้งนี้ต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขของการเก็บรักษาตามสถานะที่เหมาะสม นอกจากนี้หากพิจารณาถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารแล้ว สามารถแบ่งได้เป็น 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่ ปัจจัยภายใน (Intrinsic factors) ซึ่งเป็นปัจจัยที่แสดงถึงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (Water activity: a_w) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าความเป็นกรดโดยรวม (Total acidity) ปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ แร่ธาตุต่างๆ ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นที่มีอยู่ การใช้สารป้องกันการเสื่อมเสีย (Food preservatives) องค์ประกอบของสารกลุ่มชีวเคมีต่างๆ เป็นต้น และปัจจัยภายนอก (Extrinsic factors) เช่น การควบคุมอุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษาและการจัดจำหน่าย ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในระหว่างกระบวนการผลิต การเก็บรักษา และการจัดจำหน่าย การสัมผัสกับแสงต่างๆ (อัลตราไวโอเล็ต อินฟราเรด) ในระหว่างกระบวนการ การจัดการของผู้บริโภค เป็นต้น (Kilcast และ Subramaniam, 2000)

ทั้งปัจจัยภายใน และปัจจัยภายนอกของผลิตภัณฑ์อาหาร นั้นต่างๆ ก็มีปฏิสัมพันธ์กัน ทั้งในแง่ของการยับยั้ง หรือการกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่ส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาโดยตรง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงต่างๆ เหล่านี้สามารถแบ่งแยกได้ดังนี้ (Man และ Jones, 1994)

(1) **การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ** - การเปลี่ยนแปลงส่วนนี้มักมีสาเหตุมาจากความผิดพลาดในการจัดการกับอาหาร ในขั้นตอนของการเก็บเกี่ยว กระบวนการผลิต และการขนส่ง ตัวอย่างของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ได้แก่ การซ้ำของผัก ผลไม้ การแตกหักของของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบ หรือ ขนมทอดกรอบ (Snacks) การสูญเสียความกรอบของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

(2) **การเปลี่ยนแปลงทางเคมี** - การเปลี่ยนแปลงนี้สามารถเกิดได้ทั้งขั้นตอนการผลิตและการเก็บรักษา โดยปฏิกิริยาเคมีส่วนมากจะเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบภายในของอาหาร ที่มีปัจจัยแวดล้อมภายนอกมาเป็นส่วนช่วยในการเกิดปฏิกิริยา ทั้งนี้ปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญในอาหาร ได้แก่ ปฏิกิริยาจากเอนไซม์ (Enzymatic reactions) ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reactions) โดยเฉพาะการเกิดออกซิเดชันของไขมัน (Lipid oxidation) สำหรับตัวอย่างของการเปลี่ยนแปลงจากปฏิกิริยาทางเคมี ได้แก่ การเกิดกลิ่นหืน การเกิดสีน้ำตาล เป็นต้น

(3) **การเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์** - การเปลี่ยนแปลงลักษณะนี้ต้องอาศัยปัจจัยที่เพียงพอประกอบด้วย จึงจะสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้ เช่น ความออสโมติกในผลิตภัณฑ์อาหาร ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล หรือเกลือ (Osmotic concentration) ค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิที่ทำการเก็บรักษา เป็นต้น ลักษณะตัวอย่างของการเปลี่ยนแปลงจากจุลินทรีย์ ได้แก่ การบูดเน่าของของผลิตภัณฑ์อาหารสดจากจุลินทรีย์ เป็นต้น

2.2 อาหารทอด และการเสื่อมเสียของอาหารทอด

อาหารทอดเป็นอาหารที่เกี่ยวข้องกับการใช้น้ำมัน ซึ่งเป็นตัวกลางในการให้ความร้อน โดยจะทำให้เกิดลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่เฉพาะตัว ได้แก่ มีความกรอบ มีสีเหลืองทองน่ารับประทาน ซึ่งสามารถอธิบายปรากฏการณ์ดังกล่าวได้ว่า ในระหว่างการทอดเมื่ออาหารสัมผัสกับน้ำมันซึ่งมีอุณหภูมิสูง จะทำให้อุณหภูมิที่บริเวณผิวหน้าของอาหารนั้นเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จากนั้นน้ำที่บริเวณผิวหน้าก็จะเริ่มเดือดอย่างทันทีทันใด ทำให้น้ำมันบริเวณรอบๆ นั้นถูกทำให้เย็นลงเนื่องจากไอน้ำที่ระเหยออกมา แต่อุณหภูมิที่ลดลงของน้ำมันนี้จะได้รับทดแทนจากการพาความร้อนของแหล่งความร้อนที่ให้อย่างน้ำมันทำให้น้ำที่บริเวณผิวหน้าของอาหารนั้นเกิดการเดือดและระเหยกลายเป็นไอน้ำออกมาได้อีก เป็นผลให้ที่บริเวณผิวหน้าของอาหารนั้นเกิดลักษณะที่แห้ง

และการระเหยของน้ำนี้เอง ทำให้ที่บริเวณผิวนั้นเกิดลักษณะที่เป็นรูพรุน และขรุขระ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ้าน้ำนั้นเกิดการระเหยออกมารวดเร็วจนเกินไปจะทำให้เกิดรูพรุนที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งจะก่อให้เกิดโอกาสการดูดซับน้ำมันได้ค่อนข้างมาก

ทั้งนี้ในระหว่างกระบวนการดังกล่าว ยังได้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพมากมาย เช่น การเกิดรีโทรเกรดชัน (Retrogradation) ของแป้ง ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) การเกิดสภาวะกลาสทรานสิชัน (Glass transition) เป็นต้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ จะก่อให้เกิดผลต่อคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส และสีของผลิตภัณฑ์อาหารทอดโดยตรง

การทอดแบบสุญญากาศ

กระบวนการแปรรูปอาหารด้วยการทอดทั้งการทอดแบบน้ำมันท่วม และการทอดแบบสุญญากาศจะใช้น้ำมันเป็นตัวกลางในการพาความร้อนไปยังอาหารทำให้อาหารสูญเสียความชื้น และเกิดการดูดซับน้ำมันเข้าสู่ชิ้นอาหาร (Krokida และคณะ, 2000) โดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกับผลิตภัณฑ์ระหว่างการทอดคือ การเกิดเจลของสตาร์ช การเกิดเปลือกแข็ง การระเหยของน้ำ และการเกิดกลิ่นรส (Ngdi และ Correia, 1995) โดยการทอดแบบสุญญากาศเป็นเทคนิคหนึ่งในการแปรรูปที่ช่วยลดการดูดซับของน้ำมัน ช่วยรักษาความกรอบ สีและกลิ่นของผลิตภัณฑ์ให้คงธรรมชาติ (Shyu และคณะ, 1998) ซึ่งสอดคล้องกับการการศึกษาของ Shyu และ Hwang (2001) เกี่ยวกับผลของสภาวะการผลิตต่อลักษณะของแผ่นแอปเปิ้ลในการทอดแบบสุญญากาศ และการศึกษาของ Garayo และ Moriera (2002) เกี่ยวกับลักษณะของมันฝรั่งแผ่นทอดแบบสุญญากาศ

การทอดแบบสุญญากาศเป็นการทอดในระบบปิดภายใต้ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ซึ่งจะส่งผลให้จุดเดือดของน้ำลดต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส น้ำในอาหารจึงระเหยอย่างรวดเร็ว เมื่ออุณหภูมิของน้ำมันสูงถึงจุดเดือดของน้ำ (Garayo และ Moriera, 2002) จากการศึกษาพบว่า การทอดแบบสุญญากาศเป็นกระบวนการหนึ่งที่ใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบสูง เช่น กัฉวย ขนุน มะละกอ มะม่วง เป็นต้น

การทอดแบบสุญญากาศช่วยให้ผลิตภัณฑ์กรอบ ลดการดูดซับของไขมัน ช่วยรักษาสีและกลิ่นให้คงธรรมชาติมากกว่าการทอดแบบจุ่ม (Shyu และคณะ, 1998) ช่วยลดเวลาและอุณหภูมิของกระบวนการ (Garayo และ Moriera, 2002) และส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมันน้อย (Garayo และ Moriera, 2002) การศึกษาการทอดแบบสุญญากาศในผลิตภัณฑ์

มันฝรั่งแผ่นพบว่าที่อุณหภูมิ 144 องศาเซลเซียสและความดัน 3.115 กิโลปาสคาล ผลิตภัณฑ์หดตัวน้อยลง การดูดซับน้ำมันลดลง ปริมาตรการหดตัวเพิ่มขึ้น สี และเนื้อสัมผัสดีกว่ามันฝรั่งแผ่นที่ทอด ณ สภาวะบรรยากาศที่อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส ในขณะที่ Shyu และ Hwang (2001) ศึกษาผลของสภาวะการผลิตต่อลักษณะของแผ่นแอปเปิลทอดแบบสูญญากาศที่อุณหภูมิ 90 100 และ 110 องศาเซลเซียส ความดัน 3.115 กิโลปาสคาล แล้วนำมาเหวี่ยง 30 นาที ที่ 350 รอบต่อนาที หลังจากนั้นเก็บรักษาในถุงพอลิเอทิลีน (Polyethylene) ที่อุณหภูมิ -30 องศาเซลเซียส พบว่าความชื้นและแรง ณ จุดแตกหักของแผ่นแอปเปิลลดลง แต่การดูดซับน้ำมันสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการทอด

การเสื่อมเสียของอาหารทอด

อาหารทอดเป็นอาหารที่มีองค์ประกอบของน้ำมันร่วมอยู่ด้วย ซึ่งเป็นปัจจัยหลักอย่างหนึ่งต่อการเสื่อมเสียของอาหารทอด อันเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาของน้ำมัน หรือไขมัน ที่มีอยู่ในอาหาร ทำให้เกิดลักษณะของกลิ่นหืน ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคผลิตภัณฑ์อาหารทอด ทั้งนี้ในระหว่างการทอดนั้นจะมีปฏิกิริยาเกิดขึ้นมากมาย ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านเคมี และกายภาพของน้ำมัน โดยจะส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารทอดที่ได้

ทั้งนี้ปฏิกิริยาหลักที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสีย อันเนื่องมาจากองค์ประกอบของน้ำมัน หรือไขมันในอาหารทอด ระหว่างการเก็บรักษา คือ การเกิดออกซิเดชันของไขมัน (Lipid oxidation) ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวในอาหารนั้น จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของกรดไขมันที่มีอยู่ในระบบ ที่มีความแตกต่างกันทั้งสมบัติทางกายภาพ และทางเคมี รวมทั้งความไวต่อการเกิดปฏิกิริยา นอกจากนี้ส่วนประกอบอื่นๆ ในอาหารอาจทำหน้าที่ร่วมออกซิไดซ์ (Co-oxidation) หรือทำปฏิกิริยากับไขมันที่ถูกออกซิไดซ์แล้ว หรือผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการออกซิเดชัน ดังนั้นปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันของไขมันจึงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและซับซ้อน ทั้งนี้ปัจจัยที่มีผลดังกล่าวสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ - เนื่องจากชนิดของกรดไขมันในโมเลกุลไขมันและน้ำมัน มีผลกระทบต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยอัตราในการนั้นแตกต่างกันตามชนิดของกรดไขมัน กรดไขมันที่มีพันธะคู่มากจะเกิดได้เร็วกว่าที่มีพันธะคู่น้อย
2. ปริมาณกรดไขมันอิสระ - กรดไขมันที่อยู่ในรูปกรดไขมันอิสระจะถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายกว่าที่อยู่ในรูปเอสเทอร์ (Ester) กับกลีเซอรอล (Glycerol)

3. ความเข้มข้นของออกซิเจน - ในภาวะที่มีออกซิเจนมากอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของออกซิเจน แต่ในภาวะที่มีออกซิเจนน้อยอัตราการเกิดออกซิเดชันจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของออกซิเจน อย่างไรก็ตามผลของออกซิเจนยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นด้วยไม่ว่าจะเป็น อุณหภูมิ และพื้นที่ผิวสัมผัส

4. อุณหภูมิ - อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และอุณหภูมียังมีผลต่อความดันย่อยของออกซิเจนด้วย เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นการเปลี่ยนแปลงความดันย่อยของออกซิเจนจะมีอิทธิพลเพียงเล็กน้อยต่ออัตราเร็วของการเกิดออกซิเดชัน เพราะการละลายของออกซิเจนในน้ำมัน หรือไขมัน และน้ำจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

5. พื้นที่ผิว - อัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่ผิวของน้ำมัน หรือไขมันที่สัมผัสกับอากาศ ดังนั้นหากอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรเพิ่มมากขึ้นการเกิดก็จะเร็วขึ้น

6. ความชื้น - อัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นอยู่กับค่าออกเตอร์แอคทิวิตี โดยในอาหารแห่งที่มีความชื้นต่ำมาก (ค่าออกเตอร์แอคทิวิตีน้อยมาก ประมาณ 0.1) ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว เมื่อค่าออกเตอร์แอคทิวิตีเพิ่มขึ้นถึง 0.3 จะยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวให้เกิดขึ้นน้อยสุด อย่างไรก็ตามเมื่อค่าออกเตอร์แอคทิวิตีเพิ่มมากขึ้นอยู่ในช่วง 0.55-0.85 อัตราการเกิดจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่งเนื่องจากมีปริมาณน้ำมากพอที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) และออกซิเจน

7. การเกิดอิมัลชัน (Emulsification) - ในอาหารที่เป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Oil in water emulsion) หยดนํ้ามันจะกระจายตัวอยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำ ออกซิเจนจะต้องแพร่กระจายผ่านตัวกลางที่เป็นน้ำเข้าไปสู่หยดนํ้ามันผ่านชั้นระหว่างผิวของน้ำกับน้ำมัน ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจึงขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ร่วมด้วย เช่น ชนิดและความเข้มข้นของอิมัลซิฟายเออร์ (Emulsifier) ขนาดของอนุภาคหยดนํ้ามัน พื้นที่ผิวระหว่างหยดนํ้ามันกับน้ำที่เป็นตัวกลาง ความหนืดของน้ำที่เป็นตัวกลาง ค่าความเป็นกรด-ด่าง ส่วนประกอบและคุณสมบัติของตัวกลาง เป็นต้น

8. โปรออกซิแดนซ์ (Pro-oxidants) - แร่ธาตุหรือโลหะบางชนิด เช่น โคบอลต์ ทองแดง เหล็ก แมงกานีส มีสมบัติเป็นโปรออกซิแดนซ์ได้แม้ที่ความเข้มข้นเพียง 0.1 ส่วนต่อล้านส่วน ซึ่งอาจจะปนเปื้อนมาจากดินที่ปลูก หรือหลุดมาจากอุปกรณ์โลหะต่างๆ

9. แสงและรังสีต่างๆ - มีผลช่วยในการเร่งให้เกิดการปฏิกิริยาออกซิเดชัน

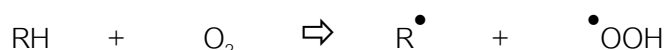
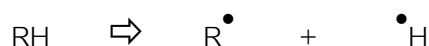
10. สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) - สารต้านอนุมูลอิสระจะช่วยยับยั้ง หรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ซึ่งมีทั้งสารจากธรรมชาติ เช่น วิตามินอีในน้ำมันพืช และสารจากการสังเคราะห์ เช่น บีเอชเอ (BHA) บีเอชที (BHT) เป็นต้น

ผลของค่าวอเตอร์แอกติวิตีในอาหารต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

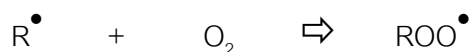
อาหารทอดจัดเป็นอาหารที่ระดับของค่าวอเตอร์แอกติวิตีค่อนข้างต่ำ ซึ่งช่วงดังกล่าวความว่องไวต่อการเกิดออกซิเดชันของไขมันที่แตกต่างกัน โดยสามารถแบ่งออกเป็น 5 ช่วงได้ดังนี้

1. ค่าวอเตอร์แอกติวิตีน้อยกว่า 0.2 - เป็นระยะที่ปฏิกิริยาออกซิเดชัน เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว โดยปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นแบบปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยทั่วไป คือ เป็นการหืนที่เกิดขึ้นเนื่องจากพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนในอากาศเกิดลักษณะการเชื่อมตัวกับเพอร์ออกไซด์ (Peroxide linkage) ที่บริเวณระหว่างพันธะคู่ โดยปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาเมื่อไขมัน หรือน้ำมันสัมผัสกับก๊าซออกซิเจนในอากาศ ทั้งนี้การเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวไม่สามารถยับยั้งได้โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยา มีค่าพลังงานกระตุ้น (Activation energy) ต่ำมาก ประมาณ 4-6 กิโลแคลอรีต่อโมล ในขั้นตอนแรก และ ประมาณ 6-14 กิโลแคลอรีต่อโมล ในขั้นตอนที่สอง ทั้งนี้การเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวจะประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

1.1 ขั้นตอนการเกิดอนุมูลอิสระ (Initiation)



1.2 ปฏิกิริยาต่อเนื่องของอนุมูลอิสระ (Propagation)



1.3 ปฏิกิริยาสุดท้ายที่ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช่อนุมูลอิสระ (Termination)



2. ค่าวอเตอร์แอกติวิตีเท่ากับ 0.2 - จะมีความคงตัวมากที่สุด เนื่องจากน้ำจะอยู่เป็นชั้นระดับเดียว (monolayer) ที่ผิวโมเลกุล จึงปิดบังไม่ให้ออกซิเจนเคลื่อนตัวผ่านไปไขมัน หรือเข้าไปแย่งออกซิเจน ในบริเวณที่จะเกิดการดูดซับกับไขมัน

3. ค่าวอเตอร์แอกติวิตีช่วงระหว่าง 0.2-0.5 - เพอร์ออกไซด์ที่แตกตัวแล้ว (Active peroxides) จะมีความเข้มข้นต่ำ เนื่องจากจะถูกน้ำจับเอาไว้ เช่นเดียวกับตัวเร่งที่เป็นโลหะ (Metallic catalyst) จะถูกล้อมรอบไปด้วยน้ำ (Hydration) ในขณะที่เดียวกันโมเลกุลของสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) จะเคลื่อนที่ได้ดี และว่องไวในการทำปฏิกิริยา

4. ค่าวอเตอร์แอกติวิตีช่วงระหว่าง 0.5-0.9 - จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงขึ้น เนื่องจากมีน้ำมากขึ้นทำให้อาหารเกิดการพองตัวมีพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถเข้าไปสัมผัสกับอาหาร จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น

5. ค่าวอเตอร์แอกติวิตีมากกว่า 0.9 - จะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันลดลง เนื่องจากปริมาณน้ำที่มีมาก จะทำหน้าที่ในการเจือจางตัวเร่งปฏิกิริยาลง ทำให้โอกาสทำปฏิกิริยาลดน้อยลง นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ในการตกตะกอนตัวเร่งปฏิกิริยาและพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) ของน้ำจะจับกับไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxides) ทำให้ไม่เกิดปฏิกิริยาต่อไป และส่งเสริมให้อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นรวมตัวกัน

ผลที่เกิดขึ้นมาจากการเกิดออกซิเดชันของไขมัน

1. เกิดการปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) ของไขมัน ซึ่งเกิดจากการรวมตัวของอนุมูลของไขมัน (Lipid radical) ทำให้ สี และความหนืดของน้ำมันเปลี่ยนแปลงไป
2. การเกิดกลิ่นหืน (Rancidity) ซึ่งเกิดจากสารประกอบคาร์บอนิล (Carbonyl compound) ซึ่งทำให้เกิดกลิ่น และอาจเกิดสารเชิงซ้อนกับโปรตีนทำให้ลดการละลาย และการย่อยได้ของโปรตีนลง
3. เร่งการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) เนื่องจากมีสารประกอบคาร์บอนิลเพิ่ม จึงทำให้เข้าทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนได้เพิ่มมากขึ้น
4. การทำลายกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) ซึ่งมีบทบาทในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant)

2.3 การประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารทอด

การประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารโดยทั่วไปนั้นสามารถกระทำได้ด้วยวิธีการ 4 วิธี คือ การใช้ข้อมูลที่เคยมีอยู่แล้วมาประเมิน (Literature values) การหาฟังก์ชันของ Distribution turnover time การใช้สภาวะที่ไม่ปกติ (Abuse test) และการทดสอบที่สภาวะเร่ง (Accelerated shelf life testing: ASLT) ในที่นี้จะมุ่งเน้นไปที่การประเมินอายุการเก็บรักษาโดยการทดสอบที่สภาวะเร่งเป็นหลัก เนื่องจากวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการที่เหมาะสม และนิยมใช้กับผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ไม่เคยทำการประเมินมาก่อน โดยเฉพาะกับผลิตภัณฑ์สุดท้าย (Final product)

สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารทอดนั้นเป็นที่ทราบกันดีว่าลักษณะการเสื่อมเสียหลักคือการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบไขมันที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ ทั้งที่มาจากกระบวนการทอด และที่มีอยู่แล้วในวัตถุดิบ (กรณีที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัตว์เป็นหลัก) ซึ่งจะส่งผลต่อลักษณะการยอมรับของผู้บริโภคในแง่ของกลิ่น หิน อันเนื่องมาจากการเกิดออกซิเดชันของไขมัน และในแง่ของเนื้อสัมผัสที่มีความกรอบลดลง ที่มีสาเหตุมาจากการดูดเอาความชื้นจากภายนอกเข้ามาในตัวผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตามจะไม่ขอกล่าวถึงการมุ่งประเด็นไปที่ความกรอบของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากผลิตภัณฑ์อาหารทอดที่ทำการวิจัยอยู่ในบรรจุภัณฑ์ที่เป็นระบบปิด ซึ่งมีการป้องกันความชื้นจากภายนอกได้เป็นอย่างดี

การทดสอบที่สภาวะเร่ง (Accelerated shelf life testing: ASLT)

หลักการของการทดสอบที่สภาวะเร่งจะมุ่งประเด็นไปที่การวัดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นทั้งในแง่ของการสลาย (Degradation) และการสร้าง (Formation) ทั้งในแง่กายภาพ เคมี ชีวภาพ หรือประสาทสัมผัส ในผลิตภัณฑ์อาหาร ภายใต้ภาวะปัจจัยของผลิตภัณฑ์ (Composition factors) และปัจจัยแวดล้อมต่างๆ (Environmental factors) ณ ระยะเวลาหนึ่งๆ แล้วจะอาศัยหลักการทางจลนศาสตร์ (Kinetic approach) เพื่อคำนวณหาอัตราการเปลี่ยนแปลงของสิ่งที่สนใจ จากนั้นจึงนำไปประเมิน และพยากรณ์หาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารต่อไป

เมื่อพิจารณาถึงผลิตภัณฑ์อาหารทอดแล้ว การวัดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นสำหรับการทดสอบที่สภาวะเร่ง คงต้องมุ่งประเด็นไปที่การเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมีเป็นหลัก เพราะสาเหตุหลักของการเกิดกลิ่น หิน ก็มาจากปฏิกิริยาทางเคมีเป็นสำคัญ

หลักกลศาสตร์กับการประเมินอายุการเก็บรักษาในผลิตภัณฑ์อาหาร

ในระบบของผลิตภัณฑ์อาหารทอดทั่วไปที่มีบรรจุภัณฑ์เป็นองค์ประกอบอยู่นั้น การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะเป็นผลมาจากปฏิกิริยาเคมีเป็นหลัก ซึ่งเกิดขึ้นมาจากสิ่งเร้าภายใน และภายนอก ภายใต้ระยะเวลาหนึ่งๆ ดังสมการ

$$\pm \frac{dA}{dt} = f\{C_x, E_x\}$$

โดยที่	A	คือ ปัจจัยการเปลี่ยนแปลงที่ทำกรวด
	t	คือ ระยะเวลา
	-	คือ การเปลี่ยนแปลงในลักษณะการสลาย (Degradation or loss)
	+	คือ การเปลี่ยนแปลงในลักษณะการสร้าง (Formation or gain)
	C _x	คือ ปัจจัยภายในของผลิตภัณฑ์ (Composition factors) เช่น ปริมาณ ตัวเร่งปฏิกิริยา ค่าความเป็นกรด-ด่าง ความชื้น
	E _x	คือ ปัจจัยภายนอกของผลิตภัณฑ์ (Environmental factors) เช่น อุณหภูมิ แสง ความชื้นสัมพัทธ์ ออกซิเจน เป็นต้น

ปัจจัยภายนอก หรือปัจจัยแวดล้อมจะเป็นสิ่งที่ใช้ในการควบคุมเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของดัชนีที่ต้องการศึกษา ในกรณีของผลิตภัณฑ์อาหารทอดซึ่งมุ่งไปที่การติดตามการเปลี่ยนแปลงของดัชนีจากการเกิดออกซิเดชันของไขมัน พบว่าปัจจัยภายนอกที่ส่งผลต่อปฏิกิริยามากที่สุดคือ อุณหภูมิ ดังนั้นในการทดสอบที่สภาวะเร่งจึงต้องทำการแปรผันระดับของอุณหภูมิให้แตกต่างกัน โดยจะต้องควบคุมปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ ให้คงที่ ทั้งนี้ Labuza และ Schmidl (1985) ได้เสนอช่วงของอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์อาหารบางประเภทไว้คือ ในกรณีที่เป็นอาหารแห้ง (Dried foods) ให้ใช้อุณหภูมิในช่วง 20 ถึง 45 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิควบคุม (Control) ที่ 4 องศาเซลเซียส ส่วนอาหารแช่แข็ง (Frozen foods) ให้ใช้ในช่วง -15 ถึง -5 องศาเซลเซียส และควบคุมที่ -40 องศาเซลเซียส และอาหารกระป๋อง (Canned foods) ให้ใช้ในช่วง 20 ถึง 40 องศาเซลเซียส และควบคุมไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส

อัตราและกลไกที่เกิดขึ้นของปฏิกิริยาเคมีที่สนใจนั้น ในทางจลนศาสตร์ จะต้องถูกระบุออกมาในรูปอันดับของปฏิกิริยา (Reaction order) ซึ่งจะทำให้เราสามารถทราบถึงอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้ โดยสามารถแสดงเป็นสมการโดยสรุปของอันดับปฏิกิริยาต่างๆ ได้ดังตาราง

ตารางที่ 2.1 สมการพื้นฐานของอันดับปฏิกิริยาต่างๆ ตามหลักจลนศาสตร์

อันดับของปฏิกิริยา (n)	สมการสำหรับปฏิกิริยาแบบสร้าง (Formation: A)	สมการสำหรับปฏิกิริยาแบบสลาย (Degradation: B)
0	$A_0 - A_t = kt$	$B_t - B_0 = kt$
1	$\ln\left(\frac{A_0}{A_t}\right) = kt$	$\ln\left(\frac{B_t}{B_0}\right) = kt$
$n \neq 1$	$\frac{1}{A_t^{n-1}} - \frac{1}{A_0^{n-1}} = (n-1)kt$	$\frac{1}{B_0^{n-1}} - \frac{1}{B_t^{n-1}} = (n-1)kt$

ตัวอย่างของระบบอาหารกับอันดับปฏิกิริยาทางจลนศาสตร์ มีดังนี้ ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ (Zero-order kinetic) ส่วนมากจะพบในการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารแช่แข็ง (Frozen foods) และการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่ใช่เอนไซม์ (Non-enzymatic browning reaction) ส่วนปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (First-order kinetic) จะพบในการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น การสูญเสียของปริมาณวิตามิน การเปลี่ยนแปลงสี การเกิดกลิ่นเหม็น รวมไปถึงจากการเพิ่มหรือลดจำนวนของจุลินทรีย์ (Labuza และ Schmidl, 1985)

อิทธิพลของอุณหภูมิต่อค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยา (k)

ปัจจัยด้านอุณหภูมิที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่อัตรา (k) ของปฏิกิริยาที่อันดับใดๆ นั้นสามารถอธิบายได้ด้วยความสัมพันธ์จากสมการของ Arrhenius

$$k = k_0 \exp\left[-\frac{E_A}{RT}\right]$$

โดยที่	k	คือ ค่าคงที่อัตรา
	k_0	คือ ค่าของ Pre-exponential factor
	E_A	คือ ค่าพลังงานกระตุ้น หรือ พลังงานก่อกัมมันต์ (Activation energy)
	R	คือ ค่าคงที่ของก๊าซในอุดมคติ มีค่าเท่ากับ $8.314472 \text{ จูล}\cdot\text{เคลวิน}^{-1}\cdot\text{โมล}^{-1}$
	T	คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (มีหน่วยเป็น เคลวิน)

นอกจากนี้ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าคงที่อัตรา (k) ยังสามารถคำนวณหาออกมาได้ในรูปของค่า Q_{10} ซึ่งหมายถึง อัตราส่วนของค่าคงที่อัตรา ณ อุณหภูมิที่มีความแตกต่างกัน 10 องศาเซลเซียส โดยสามารถแสดงเป็นสมการได้คือ

$$Q_{10} = \frac{\text{ค่าคงที่อัตราที่อุณหภูมิ } (T + 10)^\circ \text{C}}{\text{ค่าคงที่อัตราที่อุณหภูมิ } T^\circ \text{C}}$$

นอกจากนี้ค่า Q_{10} ยังมีความสัมพันธ์กับค่าพลังงานกระตุ้น (E_A) (Singh และ Heldman, 1993) ดังสมการ

$$\log Q_{10} = \frac{E_A}{2.303R} \left[\frac{10}{T_1 (T_1 + 10)} \right]$$

โดยที่ T_1 คือ อุณหภูมิอ้างอิง (หน่วยเป็น เคลวิน)

ปัญหาของการประเมินอายุการเก็บรักษาด้วยการทดสอบที่สภาวะเร่ง

ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทดสอบที่สภาวะเร่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเด็นหลัก ได้แก่ ประเด็นแรก คือ การทดสอบวิธีนี้จะไม่มีการยืด หรือกำหนดปัจจัยทางด้านจลนศาสตร์ที่ชัดเจนแน่นอน เพราะยังไม่มีขั้นตอนการทดสอบที่สภาวะเร่งที่สามารถบ่งชี้ถึงตัวแปรทางจลนศาสตร์ที่ชัดเจนได้ ประเด็นที่สอง คือ แบบจำลองทางจลนศาสตร์ที่ได้จะใช้ได้กับสภาวะที่ศึกษาเท่านั้น และประเด็นสุดท้าย คือ การทดสอบนี้ไม่ถือว่ามี ความถูกต้อง แม่นยำทั้งหมด

2.4 เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์

เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic nose) เป็นนวัตกรรมที่พัฒนาขึ้นมาในช่วงทศวรรษนี้ เพื่อใช้ในการตรวจวัดกลิ่นของวัตถุดิบ หรือผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้อย่างรวดเร็วแทนการทำงานของจมูกมนุษย์โดยให้ความแม่นยำสูง และสามารถเชื่อถือได้ เครื่องดังกล่าวยังเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดกลิ่นในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ ไม่ว่าจะอยู่ในสถานะที่เป็นของแข็งของเหลว หรือแก๊สที่เกิดในผลิตภัณฑ์ประเภทอาหาร หรือเครื่องดื่มก็ตาม อีกทั้งยังมีความสามารถในการวิเคราะห์ความแตกต่างของสารแต่งกลิ่น ในปัจจุบันเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ยังได้รับความนิยมไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นเครื่องสำอาง ยา บรรจุภัณฑ์ พลาสติก และสารเคมี เป็นต้น

หากเปรียบเทียบการทำงานระหว่างเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์กับจมูกของคน (Biological nose) เป็นที่ทราบกันว่า การรับรู้กลิ่น (Odor) ที่เราสัมผัสทางจมูกนั้นมักถูกทำงานเริ่มต้นจากประสาทรับกลิ่นนั้นส่งรหัสสัญญาณตอบสนองต่อสารให้กลิ่นไปยังสมอง โดยสมองจะทำหน้าที่ประมวลผลตอบสนองนั้นจากความรู้สึกและประสบการณ์การเรียนรู้เพื่อที่จะจำแนกกลิ่นที่สัมผัสนั้น คือกลิ่นอะไร ดีหรือไม่ หอมหรือเหม็น แต่หลายครั้งการจำแนกกลิ่นยังขึ้นกับความรู้สึกของผู้จำแนกด้วย ว่าชอบหรือไม่ชอบ จากสาเหตุที่มีสภาวะอารมณ์และความรู้สึกเข้ามาเกี่ยวข้องกับการรับกลิ่น ส่งผลให้จมูกของมนุษย์มีการตอบสนองต่อกลิ่นต่างๆ ในอาหารแตกต่างกันออกไป และบางครั้งเกิดความผิดพลาดในการรับกลิ่น อีกทั้งมีกลิ่นบางอย่างที่คนเราก็ไม่สามารถจำแนกได้ เช่น แก๊สมีเทน (CH_4) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หรือไนโตรเจน (N_2) เป็นต้น รวมทั้งไม่สามารถบอกถึงระดับปริมาณความเข้มข้นของกลิ่น หรือแก๊สที่เป็นอันตราย หรือแก๊สพิษ แต่เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์สามารถใช้ในกรณีศึกษาดังกล่าวได้เป็นอย่างดี

สำหรับกรณีของเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ กลิ่นหรือไอระเหย (Volatile) จะผ่านเข้าสัมผัสกับส่วน Sensor array ของเครื่องวัดกลิ่น และ Sensor เหล่านั้นจะส่งสัญญาณ (Signal) ผ่านไปยังระบบวิเคราะห์ เพื่อวัดสัญญาณเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ทราบ (Training) จากนั้นเครื่องจะประมวลผลให้เราทราบถึงชนิดประเภท หรือสารประกอบของกลิ่น และคุณภาพของกลิ่นว่าดีหรือไม่ หรือกลิ่นที่ทดสอบนั้นตรงตามมาตรฐานที่อ้างอิงหรือไม่ อย่างไร และระดับความเข้มข้นของกลิ่นที่วัดนั้นมีค่ามากหรือน้อยเท่าใด

จะเห็นได้ว่าการประยุกต์ใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ในวงการอุตสาหกรรมมีข้อดีหลายประการ เช่น เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบ ลดความผิดพลาดในการรับรู้กลิ่น

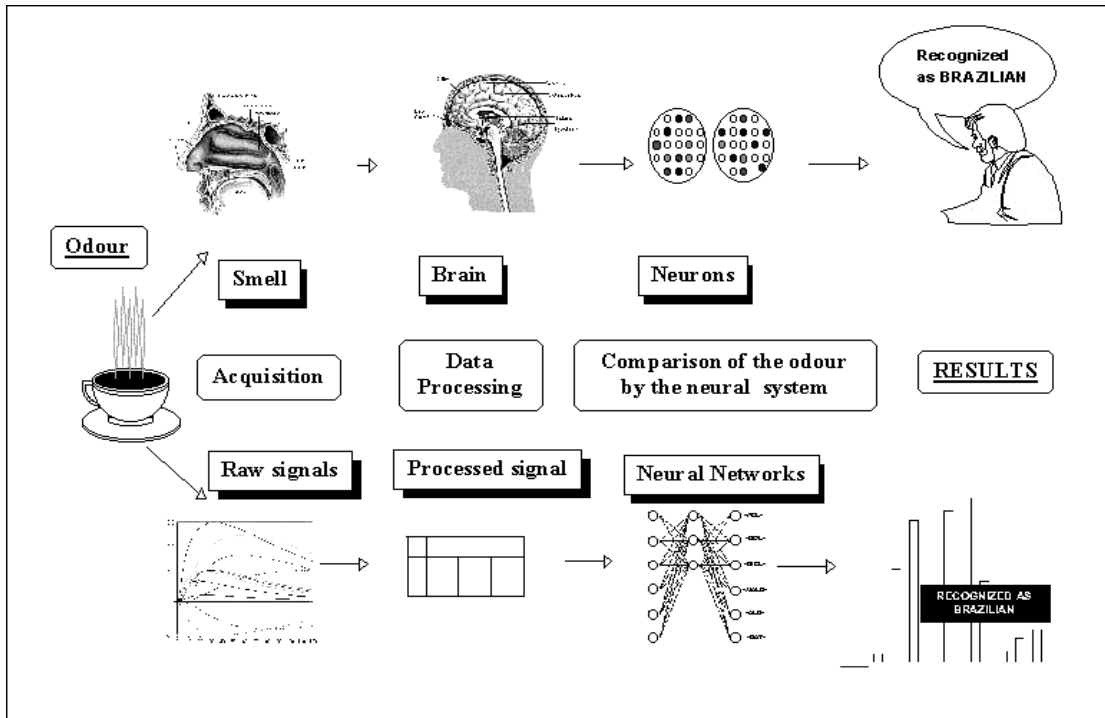
เนื่องจากความแตกต่างของผู้ที่ทดสอบกลิ่น อีกทั้งยังสามารถให้ข้อมูลทั้งในแง่เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ

ความแตกต่างของระบบการรับรู้กลิ่นในมนุษย์กับเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์

ระบบการรับรู้กลิ่นของมนุษย์นั้นได้รับการพัฒนามากกว่า 1,000 ปี ทั้งนี้ระบบการรับรู้กลิ่นของมนุษย์นั้นจะประกอบไปด้วยบริเวณสำหรับการวิเคราะห์กลิ่นอยู่ 3 บริเวณหลักๆ คือ บริเวณรับสัญญาณกลิ่น (Sensing) บริเวณแปลสัญญาณกลิ่น (Processing of signal) และบริเวณการจดจำกลิ่น (Recognition)

ส่วนที่เป็นการรับสัญญาณกลิ่น คือส่วนของเซลล์ที่รับการดมกลิ่น (Olfactory receptor cells) ส่วนที่เป็นการแปลสัญญาณกลิ่น คือ กระบวนการที่ทำหน้าที่แปลรหัสสัญญาณโดยใช้อวัยวะที่มีลักษณะคล้ายกระเปาะ และส่วนสุดท้ายคือส่วนของการจดจำกลิ่น คือส่วนของการรับรู้กลิ่นโดยมีสมองเป็นอวัยวะสำคัญในการจดจำกลิ่นต่างๆ

กระบวนการแปลสัญญาณนั้นเริ่มจาก เซลล์ที่ใช้รับการดมกลิ่นที่อยู่ในส่วนบนสุดของจมูกซึ่งมีโปรตีนบรรจุอยู่ ต่อมากลิ้นก็จะถูกนำเข้ามาสู่เซลล์ประสาทแล้วเข้าสู่กระบวนการรับรู้และจดจำเพื่อชี้บอกว่า กลิ่นเหล่านั้นคือกลิ่นอะไรและมีสารอะไรบ้างที่เป็นองค์ประกอบ ระบบการรับรู้กลิ่นของมนุษย์สามารถแยกกลิ่นแต่ละกลิ่นได้แม้ว่าจะมีสารประกอบให้กลิ่นเป็นจำนวนมากมาย อย่างไรก็ตามเพื่อความแน่นอนระบบสัญญาณประสาทจะส่งไปยังอวัยวะรับรู้กลิ่นส่วนในซึ่งมีลักษณะเป็นกระเปาะซึ่งการทำงานของอวัยวะส่วนนี้จะมีหน้าที่ลดระดับสัญญาณลงแล้วจึงปรับความเข้มของสัญญาณเพื่อให้ได้สัญญาณที่มีความจำเพาะเจาะจง และง่ายต่อการจำแนกความแตกต่างของกลิ่น จากนั้นสัญญาณก็จะถูกส่งต่อไปยังสมองเป็นอันดับสุดท้ายที่จะมีการจำแนกกลิ่นและส่งไปยังประสาทเพื่อบอกว่าเป็นกลิ่นอะไร โดยมีพื้นฐานการตัดสินใจจากประสบการณ์ ถึงแม้ว่ากลิ่นจะมีองค์ประกอบที่หลากหลายแต่มนุษย์ก็สามารถจำแนกได้ว่าเป็นกลิ่นอะไร และแม้ว่าจะมีกลิ่นใหม่ที่ไม่เคยรู้มาก่อน แต่มนุษย์ก็สามารถจดจำกลิ่นนั้นเอาไว้ได้ใหม่อีกด้วย ภาพที่ 2.1 เป็นการเปรียบเทียบการทำงานของจมูกมนุษย์และเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์



ภาพที่ 2.1 การจำแนกกลิ่นของมนุษย์และเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ถึงแม้ว่าการทำงานของระบบแปลสัญญาณของระบบประสาทมนุษย์และเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์จะทำงานได้คล้ายคลึงกันแต่การวิเคราะห์กลิ่นของมนุษย์กับเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ก็ยังมีส่วนที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้เพราะเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์นั้นจะสร้างจากหลักการพื้นฐานของระบบการรับรู้กลิ่นของมนุษย์เท่านั้น หากแต่ระบบการรับรู้กลิ่นของเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์นั้นจะเป็นการวิเคราะห์จากการคำนวณความแตกต่างทางสถิติที่จะต้องอาศัยการฝึกฝน สำหรับกลิ่นที่ไม่เคยตรวจเสียก่อนจนกว่าเครื่องจะสามารถจดจำกลิ่นต่างๆได้

จากการเปรียบเทียบระบบการรับรู้กลิ่นของมนุษย์ กับเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์จะเห็นว่า ระบบการรับรู้กลิ่นทั้งสองระบบ จะมีตัวตรวจวัดซึ่งทำการตรวจวัดกลิ่น โดยในระบบของมนุษย์จะมีตัวตรวจวัดซึ่งมีความจำเพาะเจาะจงมากโดยในระบบการรับรู้กลิ่นของมนุษย์จะใช้โปรตีน แต่ในส่วนของเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์นั้นจะมีตัวตรวจวัดได้หลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดก็จะมีควมไวต่อการจำแนกสารได้แตกต่างกันไปตามความจำเพาะของสารแต่ละชนิดซึ่งมีการตอบสนองต่อสารเคมีที่ระเหยได้แตกต่างกันตามกระบวนการทางเคมีของสารนั้นๆ ทั้งนี้ขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น พื้นที่ผิว หรือ ขนาดโมเลกุล เป็นต้น

ในเครื่องจุ่มกิลีทริก อิเล็กทรอนิกส์ กระแสสัญญาณจะถูกควบคุมโดยกระบวนการทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเมื่อได้รับสัญญาณแล้วในเบื้องต้นจะมีการปฏิบัติต่อข้อมูล เป็นกระบวนการที่ทำกับสัญญาณที่จะเข้ามา มีการอธิบายลักษณะที่สำคัญของสัญญาณอย่างรวบรัด กระบวนการดังกล่าวเปรียบได้กับกระบวนการทางชีววิทยาที่เกิดขึ้นในระบบการรับรู้กลิ่นของมนุษย์ และจากนั้นระบบข้อมูลก็จะถูกพาเข้าไปในส่วนที่เป็นระบบของการจดจำซึ่งใช้ในการควบคุมและแยกธรรมชาติของกลิ่นต่างๆ ตามองค์ประกอบของชนิดนั้นๆ ที่จะมีความสัมพันธ์กับข้อมูลของสัญญาณที่มาจากกลิ่นของตัวอย่าง ในส่วนนี้เมื่อเทียบกับระบบการรับรู้กลิ่นของมนุษย์แล้วจะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกัน

ในระบบของมนุษย์นั้นจะใช้ประสบการณ์เป็นเทคนิคของการจดจำกลิ่นได้ จากนั้นก็จะนำข้อมูลที่ได้เข้าสู่เซลล์ที่รับข้อมูลโดยข้อมูลที่ถูกลำเลียงมาจะมีความสัมพันธ์กับสัญญาณของกลิ่น ในส่วนของการจดจำของเครื่องจุ่มกิลีทริก อิเล็กทรอนิกส์นั้น กระบวนการส่งสัญญาณและทำการจดจำสารประกอบของข้อมูลจะเป็นตัววิเคราะห์ของสารประกอบเชิงซ้อนโดยจะทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลเก่าซึ่งจะทำการเปรียบเทียบจากตัวที่องค์ประกอบเหมือนกันตามความจำเพาะต่างๆ ของกลิ่นนั้นๆ

ด้วยเหตุนี้เครื่องจุ่มกิลีทริก อิเล็กทรอนิกส์จึงสามารถใช้เทคนิคทางสถิติที่หลากหลายในการจำแนกความแตกต่างของความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งสอง การวิเคราะห์ข้อมูลนั้นส่วนมากจะทำการเลียนแบบมาจากระบบการรับรู้กลิ่นของมนุษย์ แต่เครื่องจุ่มกิลีทริก อิเล็กทรอนิกส์จะมีความได้เปรียบมากกว่าระบบการรับรู้กลิ่นของมนุษย์ในเรื่องของการจำแนกความแตกต่างของกลิ่น

การเริ่มใช้เครื่องจุ่มกิลีทริก อิเล็กทรอนิกส์ในอุตสาหกรรมอาหาร

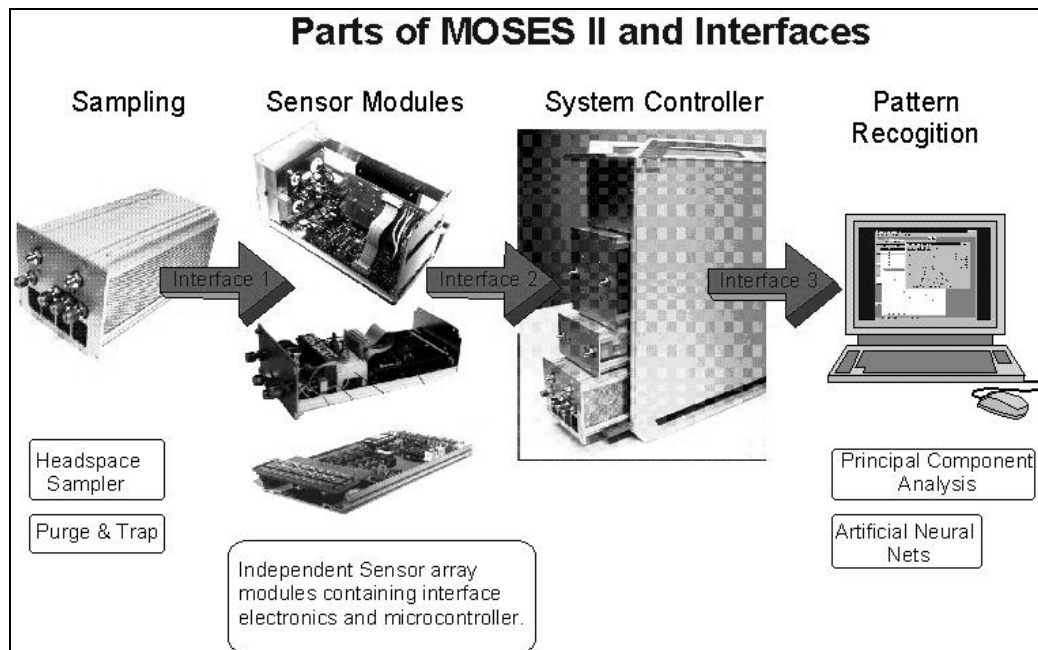
ปัจจุบันโรงงานอาหารได้ประยุกต์ใช้เครื่องจุ่มกิลีทริก อิเล็กทรอนิกส์ร่วมกับเครื่องมือต่างๆ ในกระบวนการผลิตทั้งที่เป็นแบบต่อเนื่องและแบบกึ่งต่อเนื่อง ทั้งนี้เนื่องจากเป็นวิธีการทดสอบตัวอย่างอาหารที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลิตภัณฑ์น้อยมาก อีกทั้งไม่สิ้นเปลืองตัวอย่างในการวิเคราะห์โดยนำเครื่องจุ่มกิลีทริก อิเล็กทรอนิกส์ไปใช้ในการทดสอบคุณภาพของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์สุดท้าย การควบคุมกระบวนการผลิต และตรวจสอบความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์อาหารนั้นๆ

ในกระบวนการผลิตไม่ว่าจะเป็นกระบวนการหมัก บี้บ่ง ย่าง หรือการผสม แต่ละกระบวนการบางครั้งมีความจำเป็นที่ต้องการตรวจสอบคุณภาพทางด้านกลิ่นทั้งสิ้น ซึ่งเทคนิคของเครื่องจุ่มกิลีทริก อิเล็กทรอนิกส์นั้นสามารถประยุกต์ใช้เป็นกรณีพิเศษสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร

ที่หันมาใช้เครื่องจุ่มอเล็กทรอนิกส์เพื่อช่วยในการเพิ่มปริมาณการผลิตให้สูงสุด และควบคุมคุณภาพกลิ่นในผลิตภัณฑ์อาหารให้คงที่ เช่น กลิ่นที่มีอยู่ในเครื่องเทศต่างๆ และสารแต่งกลิ่นที่ใส่ลงในอาหาร เป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบได้ ในปัจจุบันนี้เครื่องจุ่มอเล็กทรอนิกส์จะนิยมใช้กันมากในแผนกวิจัยและพัฒนา สำหรับหาสูตรอาหาร และปรับปรุงกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์อาหารให้ตรงกับความต้องการของลูกค้า พร้อมทั้งวิเคราะห์ผลที่ได้จากการเติมสารให้กลิ่นชนิดใหม่ลงในสูตร

ส่วนประกอบของเครื่องจุ่มอเล็กทรอนิกส์

เครื่องจุ่มอเล็กทรอนิกส์ประกอบด้วย ส่วนประกอบต่างๆมากมาย ดังแสดงรายละเอียดของส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่อง MOSES II ในภาพที่ 2.2 ซึ่งเครื่องมือวิเคราะห์ชนิดนี้ออกแบบระบบให้ใช้ได้ในระยะยาว แต่สามารถวิเคราะห์หาองค์ประกอบของสารประกอบกลิ่นตัวอย่างได้ในระยะเวลาอันสั้น อีกทั้งสามารถหาปริมาณความแตกต่างของกลิ่นตัวอย่าง เทคโนโลยีของเครื่องมือนี้มักใช้กับการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร เมื่อมีการตรวจสอบในกระบวนการแล้วก็จะมีการแปรผลออกมาในรูปของค่าสถิติ ซึ่งทำให้เครื่องจุ่มอเล็กทรอนิกส์สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์อาหารได้เป็นอย่างดี องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่องจุ่มอเล็กทรอนิกส์ คือ ส่วนที่เป็น Hardware และ Software โดยในส่วนแรกคือส่วนที่ใช้ในการเตรียมสาร และส่วนที่สองคือส่วนของ Sensor ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป และส่วนสุดท้ายเป็นส่วนของการแปลผล



ภาพที่ 2.2 ส่วนประกอบของเครื่อง MOSESII with headspace sampler

เซนเซอร์ (Sensors)

Sensor ทุกชนิดจะทำหน้าที่แสดงผลกระทบของแก๊สที่วัดได้ ซึ่งอาจเป็นผลกระทบทางฟิสิกส์หรือทางเคมีที่เกิดจากสารประกอบระเหยผ่าน Sensor แล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงสมดุลของสารประกอบที่ระเหยนั้นที่ผิวของ Sensor

หลักการของ Sensor ในเครื่องจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์

Sensor ที่มีความไวสูงจะใช้ตรวจวัดสารประกอบเคมีของกลิ่นโดยทำหน้าที่คล้ายกับจมูกของคน แต่ Sensor ที่ไว้น้อยจะใช้กับสารให้กลิ่นที่มีความแปรปรวนเนื่องจากความชื้นและอุณหภูมิเป็นส่วนใหญ่ ส่วน Sensor ที่ไวปานกลางจะใช้กับสารประกอบที่มีอยู่ใน Headspace sensor ชนิดนี้จะมีความเสถียรสูง มีความน่าเชื่อถือ มีปฏิกิริยาสั้น มีความแข็งแรงและคงทน ง่ายต่อการปรับ ง่ายต่อข้อมูลที่ส่งออก (Output data) ของกระบวนการที่มีขนาดเล็ก

Sensor ที่ออกแบบเพื่อจุดประสงค์สำหรับใช้ในโรงงานอาหารโดยเฉพาะในระบบ Online นั้น ควรจะเป็น Sensor ที่ทำงานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ มีความปลอดภัยสูงและมีราคาต่ำ โดยส่วนมากโรงงานส่วนใหญ่มักจะมองหา Sensor ที่มีความไวสูง ในกรณีของเครื่องจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ สารประกอบทุกชนิดที่อยู่ในแก๊สจะถูกตรวจสอบโดย Sensor อย่างน้อยหนึ่งตัว ถ้ามีสารประกอบตัวใหม่ถูกเติมในสารผสมจะต้องเพิ่ม Sensor อย่างน้อยอีกหนึ่งตัวเพื่อเพิ่มความถูกต้องให้มากขึ้น แต่ถ้าหากใช้ Sensor จำนวนมากเกินไปก็อาจนำไปสู่ระบบที่มากเกินไปจนทำให้ราคาเครื่องที่ใช้สูงเกิน

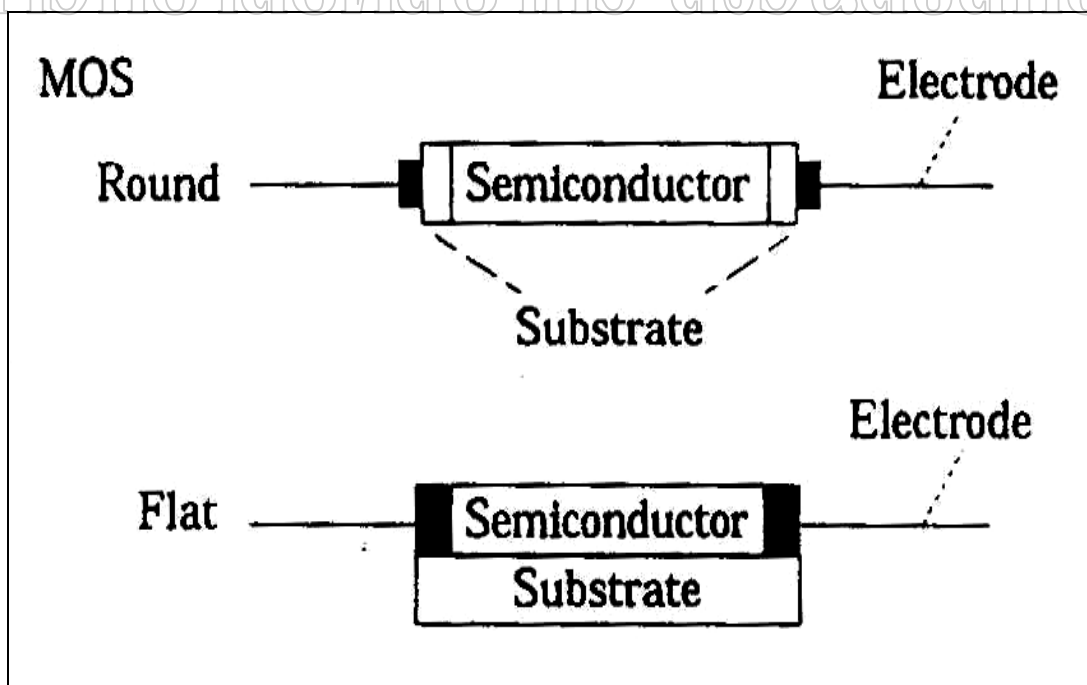
ตัว Sensor สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ Hot และ Cool โดยตัว Sensor ที่สามารถทำงานได้ดีในอุณหภูมิสูง ตัวอย่างเช่น MOS ส่วน Sensor ที่ทำงานได้ดีในอุณหภูมิต่ำ เช่น CP SAW และ BAW

1. Metal oxide gas sensors (MOS) - Metal oxide gas sensors (ภาพที่ 2.3) ได้มีการพัฒนาขึ้นในปี 1971 โดยนายทาคุชิ ตัว Sensor ชนิดนี้ในทางอุตสาหกรรมนั้นจะทำจากเซรามิกส์และมีการเคลือบด้วยฟิล์มกึ่งตัวนำซึ่งใช้ดีบุกออกไซด์เป็นตัวเคลือบ ตัวฟิล์มนี้จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้โลหะเปลี่ยนไปเป็นสเปกตรัม (Spectrum) เพื่อให้ง่ายต่อการแยกชนิดของสารประกอบเคมีแต่ละสารที่มีในกลิ่นทดสอบ ปัจจุบันได้พัฒนาให้ Sensor ชนิดนี้สามารถทำตรวจสอบได้ในที่อุณหภูมิตั้งแต่ 50-400 องศาเซลเซียส ดังนั้นชนิดของตัว Sensor แต่ละตัวที่ใช้ใน

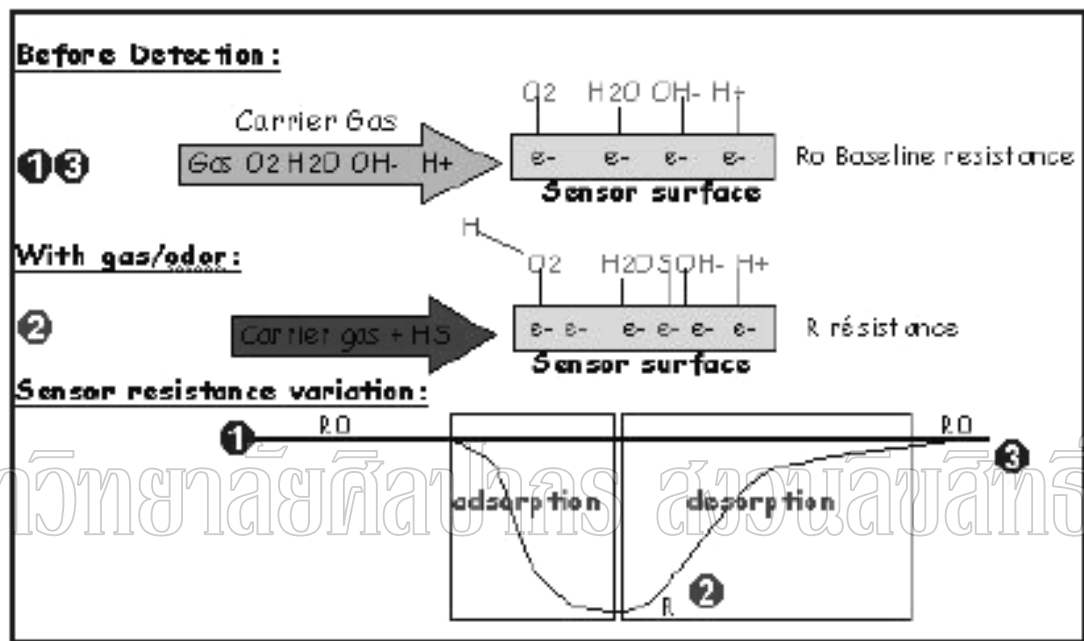
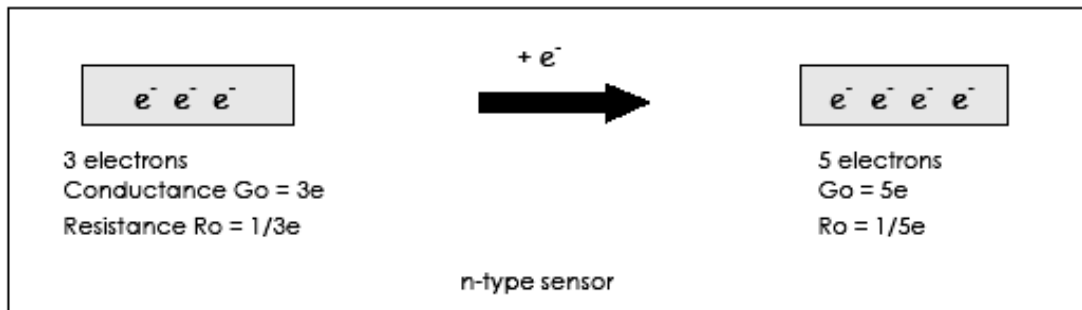
เครื่องควรมีความไวในการทำปฏิกิริยาต่อสารเคมีแต่ละตัวที่ไม่เท่ากันทั้งนี้เพื่อที่จะได้ครอบคลุมสารเคมีชนิดต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของกลิ่นที่ทดสอบ และในที่สุดสามารถที่จะจำแนกชนิดของกลิ่น โดยหลักการแล้วผลตอบสนองของทางเคมีของกลิ่นที่มีต่อ Sensor จะถูกเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์

ชนิดของสารกึ่งตัวนำที่ใช้มีอยู่ 2 ชนิด คือ n-type semiconductors (Zinc, iron oxide) ใช้ในปฏิกิริยา Reducing compound อีกชนิดคือ p-type semiconductors (Nickel, Cobalt oxide) ใช้กับปฏิกิริยา Oxidizing compound ตัว Sensor จะนำออกซิเจนจากอากาศเข้ามา ออกซิเจนจะสามารถจับกับอิเล็กตรอนอิสระจากการนำพาของฟิล์ม จึงทำให้ความเป็นตัวนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 2.4) และจะลดลงเมื่อมีการเข้าร่วมกับ Reducing gas เพื่อทำปฏิกิริยาการดูดซับออกซิเจน (Mielle,1996)

Sensor ชนิดนี้มีความสามารถในการตรวจจับสารให้กลิ่นได้เป็นอย่างดีเนื่องจากมีความไวในการทำปฏิกิริยาสูง โดยเฉพาะตัวอย่างทดสอบที่มีความแปรปรวนเนื่องจากความชื้น และมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของตัวอย่างได้ง่าย แต่ก็มีข้อเสียคือ มักทำงานช้า และทำงานได้ไม่ดีในสารที่มีองค์ประกอบขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก



ภาพที่ 2.3 Metal oxide semiconductor sensors

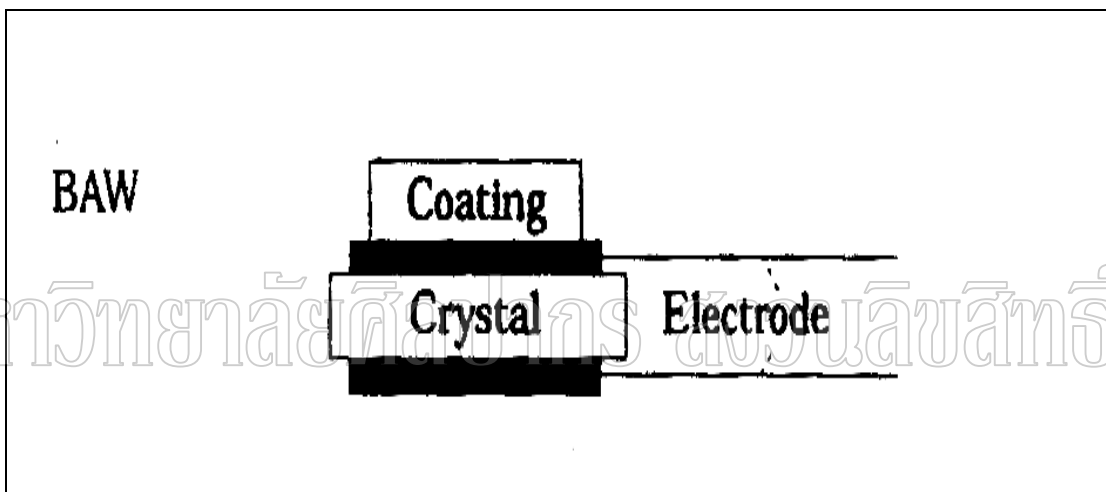


ภาพที่ 2.4 หลักการทำงานของ Metal oxide semiconductor sensors

2. Piezoelectric crystals (Bulk acoustic wave sensor; BAW sensors) -

Piezoelectric crystals (ภาพที่ 2.5) มักทำจากควอตซ์ (Quartz) ซึ่งมีความทนทานต่อเสียงก้องของคลื่นวิทยุได้เป็นอย่างดีโดยเฉพาะเมื่อยามที่มีการเพิ่มระดับของคลื่นเสียงภายในตัว Crystal ตามปกติชนิดของ Crystal ที่ใช้ในเครื่องนี้จะขึ้นอยู่กับความถี่หรือเวลาที่ใช้อ้างอิง Piezoelectric crystals นี้จะถูกเคลือบด้วยตัวเคลือบที่ไวสูงโดยมีความหนาประมาณ 2-3 ไมโครเมตร ซึ่งตัวเคลือบที่ใช้จะต้องมีความทนต่อสารเคมีและความร้อน ปกติแล้ว Piezoelectric crystals จะมีหลักการง่ายๆ คือ เมื่อปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิ หรือมวลของสารประกอบก่อกวนที่ทดสอบ เกิดการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลให้ความถี่ของคลื่นเสียงที่ตอบสนองเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อสารประกอบก่อกวนถูกดูดซับที่บริเวณผิวหน้าของตัวเคลือบก่อให้เกิดการสะท้อนของ

คลื่นเสียงที่มีความถี่ต่างๆ อีกทั้งระดับของความถี่สะท้อนก็เปลี่ยนไป การเปลี่ยนแปลงทั้งความถี่และระดับของความถี่สะท้อนล้วนมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักของสารประกอบคลื่นต่างๆ แต่ถึงอย่างไรก็ตามที่ความเข้มข้นสูง ๆ การเปลี่ยนแปลงจะสวนทางกับระดับของความถี่สะท้อนจึงมีความจำเป็นต้องใช้วิธีอื่นในการทดสอบแทน ความว่องไวของตัว Sensor ชนิดนี้จะสัมพันธ์กับกระบวนการให้ความถี่ โดยทั่วไปจะให้ความถี่ในช่วง 10 ถึง 30 เมกะเฮิร์ต ส่วนมากจะใช้ในการวัดความจำเพาะของแก๊ส และวิธีเลือกใช้นั้นจะขึ้นกับจำนวนองค์ประกอบของสารประกอบคลื่น การใช้ Sensor ชนิดนี้จึงยากในการควบคุมไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิ หรือความชื้นของแก๊สเองก็ตาม (Mielle,1996)

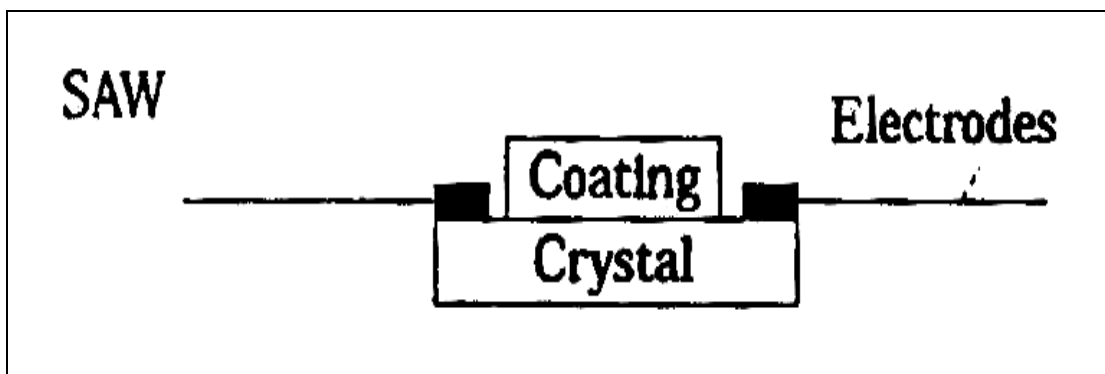


ภาพที่ 2.5 Piezoelectric crystal sensors (Balk acoustic wave; BAW sensors)

3. Surface acoustic wave (SAW) sensors - กระบวนการหลัก ๆ ของ SAW (ภาพที่ 2.6) และ BAW จะมีความคล้ายกันเว้นแต่ในกรณีของ SAW การเปลี่ยนคลื่นความถี่วิทยุจะเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงจากสนามไฟฟ้า สร้างขั้วไฟฟ้าที่บริเวณผิวหน้าของ Sensor และจะไม่เข้าไปข้างใน การใช้ความถี่ในช่วงตั้งแต่ 100-1000 เมกะเฮิร์ต สื่อของคลื่นจะมีการเปลี่ยนแปลงโดยเข้าร่วมในการดูดซับโมเลกุลของตัวอย่างบนตัว Sensor ด้วย การเปลี่ยนแปลงความถี่จะสัมพันธ์กับจำนวนของการดูดซับของตัวอย่างที่บนชั้นผิวหน้าของ Sensor

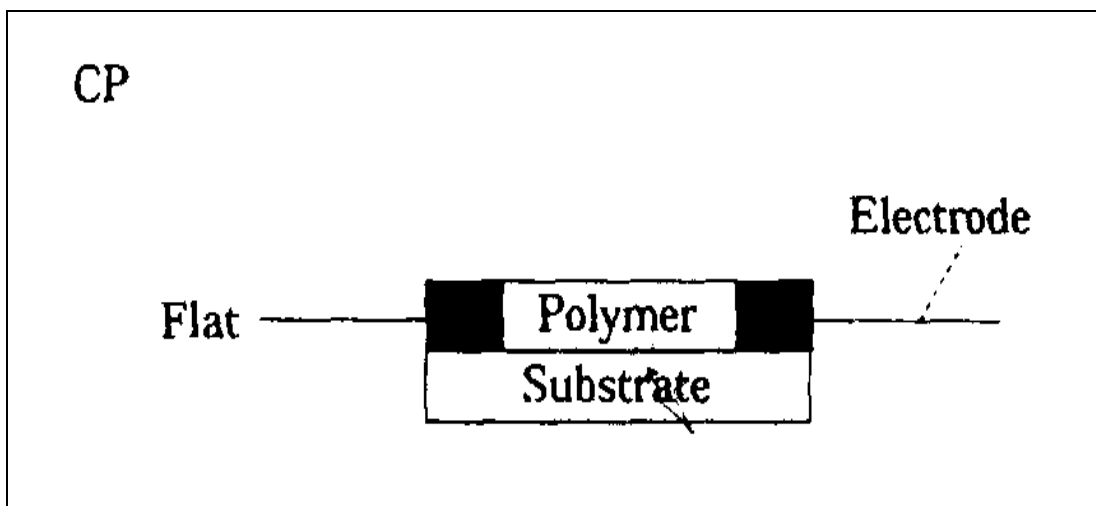
ในส่วนของตัว Sensor ซึ่งมักจะทำจากควอตซ์ (Quart) หรือลิเธียม (Lithium) มักจะเคลือบโดยตัวเคลือบ 2 ชนิด ซึ่งมักจะทำจากอลูมิเนียม โดยมีความสมบัติในการแพร่และการสะท้อนคลื่น โดยชนิดแรกใช้ในการเป็นตัว Sensor และอีกชนิดหนึ่งจะใช้เป็นตัวอ้างอิง โดยใน

ระบบของตัวอ้างอิงของตัว Sensor ชนิดนี้จะคล้ายกับการเปลี่ยนรูปของสารซัลเฟอร์ ความไวของ Sensor ชนิดนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการของการให้คลื่นความถี่ คือ ความถี่ของคลื่นเสียงที่ใช้ต้องมีความถี่สูงและมีความสัมพันธ์ของสัญญาณไฟฟ้า สำหรับการผลิต Sensor ชนิดนี้นั้นจะใช้สารซิลิคอน (Silicon) ที่มีราคาแพง เพราะว่าจำเป็นต้องใช้ในกระบวนการที่มีความถี่สูงมาก เพราะในการผลิตแต่ละครั้งต้องมีการควบคุมเพื่อให้ในกระบวนการมีความผิดพลาดของผลผลิตน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ (Mielle, 1996)



ภาพที่ 2.6 Surface acoustic wave (SAW) sensors

4. Conducting organic polymer (CP) - Conducting organic polymer sensors (ภาพที่ 2.7) ได้มาจากกระบวนการ Electro polymerization โดยให้ฟิล์มของพอลิเมอร์ไปเกาะตัวอยู่บนแผ่นอิเล็กโทรด (Electrode) ที่ทำจากทอง ความสามารถในการนำไฟฟ้าของฟิล์มจะขึ้นอยู่กับชนิดโมเลกุลที่ดูดซับอยู่บนพื้นผิวนั้น โดยมากแล้วพอลิเมอร์จะมีหมู่ฟังก์ชันที่แตกต่างกัน การตอบสนองของ Sensor นั้นจะไม่ขึ้นอยู่กับความยาวและขนาดของฟิล์มพอลิเมอร์ และใช้ได้กับตัวอย่างของสารประกอบที่เป็นซั้ว โดยทั่วไป Sensor จะประกอบอยู่ในรูปแบบของพอลิเมอร์ต่างชนิดกัน แล้วแต่ขนาดโมเลกุล โดยส่วนใหญ่ที่นิยมใช้มักจะมีขนาดเล็กมาก เช่น ประกอบด้วย Sensor ถึง 32 ตัว อยู่บนผิวหน้าแค่ 2-3 ตารางไมโครเมตร ข้อได้เปรียบของ Sensor นี้คือสามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิห้อง อย่างไรก็ตาม การใช้เวลาวัดจะนานอยู่ในช่วงประมาณ 20-40 วินาที และมีข้อเสียในการตรวจสอบเมื่อใช้วิเคราะห์ผลซ้ำๆ โดยจะใช้เวลามากขึ้นและอุณหภูมิภายในก็จะสูงขึ้น (Mielle, 1996)



ภาพที่ 2.7 Conducting organic polymer sensors (CP)

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

2.5 เอกสารอ้างอิง

Allen JC, Hamilton RJ. 1994. Rancidity in foods. 3rd ed. Glasgow: Blackie Academic and Professional. 290 p.

Bartlett PN, Elliot JM, Gardner JW. 1997. Electronic noses and their application in food industry. Food Tech. 51:44-48.

Blumenthal MM. 1987. Optimum Frying: Theory and Practice. 2nd ed. New Jersey: Libra Laboratories, Inc.

Blumenthal MM. 1991. A new look at the chemistry and physics of deep-fat frying. Food Technol 45(2):68-71, 94.

Eskin NAM, Robinson DS. 2001. Food shelf life stability: chemical, biological, and microbiological changes. Florida: CRC Press. 370 p.

Gamble MH, Rice P. 1987. Effect of pre-drying of oil uptake and distribution in potato chip manufacture. Int J food Sci Tech 22:535-40.

Garayo J, Moreira R. 2002. Vacuum frying of potato chips. J Food Eng 55(2): 181-91.

Hein M, Henning N, Isengard HD. 1998. Determination of total polar parts with new methods for the quality survey of frying fats and oils. Talanta 44:7-54.

Kilcast D, Subramaniam P. 2000. The stability and shelf-life of food. Cambridge: Woodhead Publishing. 340 p.

Krokida MK, Oreopoulou V, Maroulis ZB, Marinos-Kouris D. 2001. Effect of osmotic dehydration pre-treatment on quality of french fries. J Food Eng 49:339-45.

Krokida MK, Oreopoulou V, Maroulis ZB. 2000. Water loss and oil uptake as a function of frying time. J Food Eng 44:39-46.

Labuza TP. 1982. Shelf life dating of foods. Connecticut: Food and Nutrition Press.

Labuza TP, Schmidl MK. 1985. Accelerated shelf-life testing of foods. Food Tech. September. 134:57-64.

Man CMD, Jones AA. 1994. Shelf life evaluation of foods. Glasgow: Blackie Academic and Professional. 321 p.

- Mielle P. 1996. "Electronic noses" towards the objective instrumental characterization of food aroma. *Food Sci Tech*. 7:432-38.
- Moreira RG, Castell-Perez EM, Barrufet MA. 1999. *Deep-fat frying: Fundamentals and Applications*. Maryland: Aspen Publishers, Inc. 350 p.
- Moreira RG, Sun X, Chen Y. 1995. The mechanism of oil absorption in tortilla chips. *CoFE*: 112-6.
- Pinthus EJ, Saguy IS. 1994. Initial interfacial tension and oil uptake by deep-fat fried foods. *J Food Sci* 59(4):804-7, 823.
- Pinthus EJ, Weinberg P, Saguy IS. 1995. Oil uptake in deep fat frying as affected by porosity. *J Food Sci* 60:767-9.
- Rogers EK. 1997. *Handbook of biosensors and electronic noses: medicine, food, and the environment*. Florida: CRC Press. 695 p.
- Saguy IS, Pinthus EJ. 1995. Oil uptake during deep-fat frying: Factors and mechanism. *Food Technol* 49(4):142-5, 152.
- Schaller E, Bosset JO, Escher F. 1998. *Electronic noses and their application to food*. Swiss Federal Institute of Tech: (ETH) Institute of Food Sci. 305-16.
- Shyu SL, Hwang LS. 2001. Effects of processing conditions on the quality of vacuum fried apple chips. *Food Res Int* 34(2/3):133-42.
- Singh RP, Heldman DR. 1993. *Introduction to food engineering*. San Diego: Academic Press.
- Walstra P. 2003. *Physical chemistry of foods*. New York: Marcel Dekker, Inc. 807 p.

บทที่ 3

การเปลี่ยนแปลงปัจจัยทางด้านเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ มะม่วงทอดสุญญากาศ

3.1 บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปัจจัยทางด้านเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศที่ทอดโดยศึกษาอายุของน้ำมันทอดใน 2 ช่วงเวลา โดยแบ่งเป็นน้ำมันที่ผ่านการทอดมาเป็นระยะเวลา 83 ชั่วโมง (Half life) และน้ำมันที่ผ่านการทอดเป็นระยะเวลา 166 ชั่วโมง (Full life) หลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทอดโดยใช้น้ำมันทั้ง 2 ช่วงเวลามาเก็บรักษาไว้ในสภาวะปกติ (อุณหภูมิห้อง) จากการทดลอง พบว่าอายุการใช้ของน้ำมันที่แตกต่างกันนั้นไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างกันของคุณภาพโดยรวมทั้งในทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์ทอดจากน้ำมันทั้ง 2 ประเภทเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 12 เดือน พบว่าปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์ ค่าวอเตอร์แอกติวิตี และปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ไม่มีความแตกต่างกันตลอดระยะเวลาการศึกษา ในขณะที่สีของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มซีดจางลง เนื่องจากค่าความสว่าง (L^*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้พบว่าการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพยังไม่สามารถเป็นดัชนีที่เหมาะสมต่อการติดตามการเปลี่ยนแปลงอายุการเก็บรักษาได้ ในขณะที่ค่ากรดไทโอบาร์บิทอริก (TBA) และค่าพาราอะนิซิดีน (p -AV) ซึ่งเป็นคุณลักษณะทางเคมี กลับให้ลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่เป็นเส้นตรง ($r = 0.95$ และ 0.95 ตามลำดับ) ซึ่งมีศักยภาพในการติดตามการเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์ในแง่การเกิดออกซิเดชันของไขมันได้

คำสำคัญ: การทอดแบบสุญญากาศ ออกซิเดชันของไขมัน การวิเคราะห์คุณภาพไขมัน

3.2 บทนำ

ปัจจุบันการขยายตัวด้านการแปรรูปผักและผลไม้เป็นไปอย่างรวดเร็วและเพิ่มมากขึ้นทุกปี เพื่อตอบสนองความต้องการของตลาดต่างประเทศ การทอดสูญญากาศจึงเป็นกระบวนการแปรรูปอาหารวิธีหนึ่งซึ่งช่วยปรับปรุงคุณภาพการบริโภคของอาหาร ทำให้เกิดลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์อาหารทอด เนื่องจากการแลกเปลี่ยนความร้อนและมวล (Krokida และคณะ, 2000)

โดยทั่วไปแล้วผลิตภัณฑ์อาหารทอดจะมีการดูดซับน้ำมันเข้าไปในตัวผลิตภัณฑ์ดังกล่าว คุณภาพของน้ำมันที่ใช้ทอดจะส่งผลโดยตรงต่อคุณลักษณะและคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารทอด (Rossell, 2000) การเสื่อมเสียที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์อาหารนั้นสามารถเกิดขึ้นได้หลายทาง แต่โดยแล้วปกติสามารถแบ่งการเสื่อมเสียที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์อาหารได้ 3 รูปแบบ คือ การเสื่อมเสียทางกายภาพ เช่น การสูญเสียความชื้น การดูดซับความชื้น การสูญเสียความกรอบ เป็นต้น การเสื่อมเสียทางเคมี เช่น การเกิดสีน้ำตาลขึ้นในผลิตภัณฑ์ การหืน การออกซิเดชันของไขมัน เป็นต้น และการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ เช่น การบูดเน่าของผลิตภัณฑ์อาหารสดจากจุลินทรีย์ เป็นต้น

การที่ผลิตภัณฑ์อาหารจะเกิดการเสื่อมเสียจากปัจจัยต่างๆ นั้นนอกจากองค์ประกอบของตัวอาหารแล้ว ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) เป็นดัชนีที่สำคัญดัชนีหนึ่งซึ่งสามารถบ่งชี้ว่าอาหารนั้นจะเกิดการเสื่อมเสียจากปัจจัยใดได้บ้าง โดยในผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสูญญากาศนั้นเป็นผลิตภัณฑ์ที่จัดอยู่ในประเภท อาหารแห้งมาก (Very dry food) โดยมีค่าวอเตอร์แอกติวิตีอยู่ในช่วง 0.20-0.30 ซึ่งในอาหารที่มีค่าวอเตอร์แอกติวิตีอยู่ในช่วงนี้จุลินทรีย์จะไม่สามารถเจริญเติบโตได้ (Jay, 1996) ดังนั้นมะม่วงทอดสูญญากาศจึงเกิดการเสื่อมเสียได้ทางเคมีและทางกายภาพเท่านั้น โดยสามารถแบ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อการเสื่อมเสียของมะม่วงทอดสูญญากาศออกเป็น 2 ปัจจัยคือปัจจัยภายใน เช่น องค์ประกอบของมะม่วง ชนิดของน้ำมัน คุณภาพของน้ำมัน ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) และปัจจัยภายนอก เช่น สภาวะการเก็บรักษาต่างๆ

สำหรับงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปัจจัยทางด้านเคมีกายภาพต่างๆ ภายใต้การเก็บรักษาที่สภาวะปกติ (อุณหภูมิห้อง) โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ทอด ณ อายุของน้ำมันทอดครึ่งหนึ่ง (Half life oil) และอายุน้ำมันทอดก่อนทิ้ง (Full life oil) ซึ่งจะทำให้ทราบลักษณะการเปลี่ยนแปลงลักษณะคุณภาพต่างๆ ของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสูญญากาศในระหว่างการเก็บรักษา และคัดเลือกดัชนีที่เหมาะสมในการนำไปประกอบการประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวต่อไป

3.3 วัตถุประสงค์ อุปกรณ์ และวิธีการ

3.3.1 ผลิตรภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศ และการตรวจวัด

มะม่วงทอดสุญญากาศบรรจุในถุงลามิเนต (LLDPE-PET-AI) และดัดแปรสภาพบรรยากาศให้มีปริมาณก๊าซออกซิเจนร้อยละ 9 ถึง 10 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 90 ถึง 91 โดยจะถูกแบ่งผลิตรภัณฑ์ออกเป็น 2 ประเภท ตามช่วงอายุของน้ำมันที่ใช้ทอดผลิตรภัณฑ์ คือ ผลิตรภัณฑ์ที่ผ่านการทอด ณ อายุน้ำมันทอดครึ่งหนึ่งของการทอด (Half life oil) ซึ่งอยู่ที่ประมาณ 83 ชั่วโมง และผลิตรภัณฑ์ที่ผ่านการทอด ณ อายุน้ำมันทอดก่อนทิ้ง (Full life oil) ซึ่งอยู่ที่ประมาณ 166 ชั่วโมง โดยเก็บรักษาภายใต้สภาวะปกติ (เก็บที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 28-30 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 12 เดือน โดยสุ่มตรวจสอบทุกๆ 1 เดือน

การตรวจสอบผลิตรภัณฑ์จะประกอบด้วย ปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์ ปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี ค่าสี ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่ากรดไทโอบาร์บิทอริก (TBA) และค่าพาราอะนิซิ-ดีน (*p*-AV)

3.3.2 การวัดปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์

ผลิตรภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศจะถูกวัดปริมาณก๊าซด้วยเครื่องวัดก๊าซ (Gas detector) รุ่น MFA 3 S โดยการสุ่มตัวอย่างไปเจาะผ่านบรรจุภัณฑ์เพื่อวัดปริมาณก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่ภายในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งจะทำให้การวัดจำนวน 6 ซ้ำ

3.3.3 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Moisture content)

ผลิตรภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศจะถูกอบ แล้วชั่งลงในถ้วยอบหาความชื้น (Moisture can) ประมาณ 2 กรัม แล้วเข้าอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 12-14 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ โดยเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 0.005 กรัม ทั้งนี้ทำการวิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำ

3.3.4 การวัดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (Water activity: a_w)

ผลิตรภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศจะถูกอบ แล้วนำไปชั่งให้มีน้ำหนัก 2.5 กรัม จากนั้นนำไปวัดด้วยเครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี รุ่น Thermoconstanter โดยทำการวิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำ

3.3.5 การวัดค่าสี (Color)

ผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสูญญากาศจะถูกลบดให้ละเอียด แล้วนำไปวัดค่าสีด้วยเครื่อง Color view™ Spectrophotometer รุ่น 9000 Gardner USA โดยใช้ตัวอย่างประมาณ 10 กรัม และกำหนดระบบการวัดที่แหล่งกำเนิดแสงเป็นประเภท D65 ซึ่งรายงานผลออกมาในรูปของ ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) โดยทำการวิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำ

3.3.6 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid)

ผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสูญญากาศจะถูกนำมาสกัดไขมันด้วยวิธี Soxhlet ตามมาตรฐาน AOAC (1995) จากนั้นไขมันที่สกัดจะถูกนำมาวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระ โดยอ้างอิงวิธีวิเคราะห์ตามมาตรฐานของ AOCS (1990)

3.3.7 การวิเคราะห์ค่ากรดไทโอบาร์บิทูริก (TBA)

ค่า TBA เป็นการวัดผลิตภัณฑ์อันดับสองที่เกิดขึ้นจากการเกิดออกซิเดชันของไขมัน ที่บ่งชี้ถึงผลิตภัณฑ์กลุ่มที่สามารถระเหยได้ (Volatile decomposition product) จากการทำปฏิกิริยาแล้วเกิดสารประกอบที่เรียกว่า malonaldehyde โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีขึ้น ซึ่งสามารถวัดได้โดยนำผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการบดให้ละเอียดอย่างสม่ำเสมอมาจำนวน 1 กรัม แล้วเติมสารละลายผสมระหว่างกรดไตรคลอโรอะซีติก (Trichloroacetic acid หรือ TCA) เข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และกรดไทโอบาร์บิทูริก (Thiobarbituric acid หรือ TBA) เข้มข้นร้อยละ 0.375 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.2 นอร์มอล (N) จากนั้นนำไปต้มในน้ำเดือดอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 10 นาที แล้วทำให้เย็นทันที ก่อนที่จะนำไปหมนเหวี่ยงด้วยเครื่องสัดแรงเหวี่ยงที่มีความเร็ว 8,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นจึงเก็บส่วนใสมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร (ดัดแปลงจาก Jayasingh และคณะ, 2003)

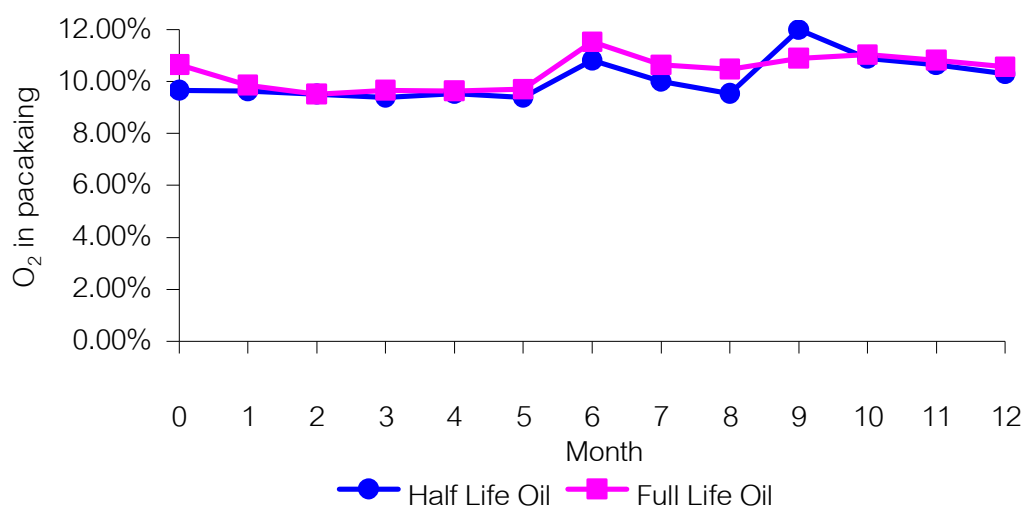
3.3.8 การวัดค่าพาราอะนิซิดีน (*p*-AV)

การวัด *p*-AV เป็นการวัดผลิตภัณฑ์อันดับสองที่เกิดขึ้นจากการเกิดออกซิเดชันของไขมัน ที่บ่งชี้ถึงผลิตภัณฑ์กลุ่มที่ไม่สามารถระเหยได้ (Non-volatile decomposition products) ได้แก่ 2-alkenals และ 2,4-dienals ซึ่งสามารถวัดได้ตามวิธีของ AOCS ที่ Cd 18-90 (AOCS, 1996)

3.4 ผลการทดลอง และการวิจารณ์

3.4.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศ (ภาพที่ 3.1) พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น ปริมาณก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยจากปริมาณก๊าซออกซิเจนเริ่มต้น ทั้งการทอดที่น้ำมัน Half life และ Full life แต่จะเห็นว่าตั้งแต่เดือนที่ 6 เป็นต้นไปเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซออกซิเจนที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งมาจากการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนภายนอกถุง โดยจากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นว่าบรรจุภัณฑ์มีประสิทธิภาพในการควบคุมการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนได้ดี เนื่องจากมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR) ที่ต่ำคือ 0.07 ซม³/ม³/วัน (ข้อมูลจากผู้ผลิตถุงบรรจุภัณฑ์) ทั้งนี้การควบคุมคุณภาพในการฟลัช (Flush) ก๊าซไนโตรเจนก่อนการบรรจุก็นับเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่ส่งผลต่อการควบคุมอัตราส่วนของก๊าซในบรรจุภัณฑ์ทางหนึ่งด้วย และหากพิจารณาจากผลกระทบของการเกิดปฏิกิริยาเคมีพบว่าผลของปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันที่ใช้ทอดจากการเกิดออกซิเดชันของไขมันยังไม่ส่งผลให้เห็นชัดเจนต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซออกซิเจน เนื่องจากปริมาณก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ยังคงรักษาระดับที่ค่อนข้างคงที่

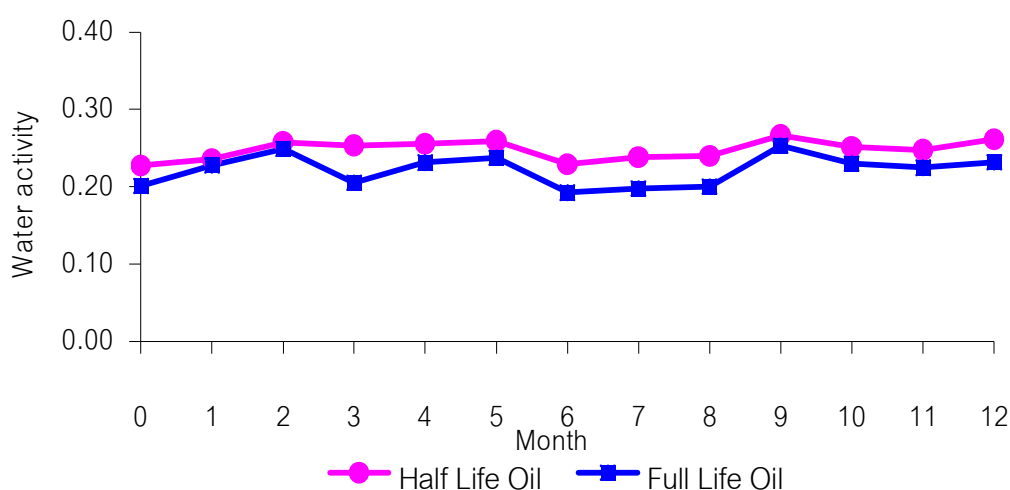


ภาพที่ 3.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศที่เก็บไว้ในสภาวะปกติ (อุณหภูมิห้อง)

สำหรับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ยังไม่มี การเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลา 12 เดือน ทั้งผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทอดในน้ำมัน Half life และ Full life ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศมีค่าวอเตอร์แอกติวิตี อยู่ในช่วง 0.20-0.23 โดยเป็นช่วงที่เสี่ยงกับการเกิดออกซิเดชันของไขมัน (Sensitivity point) อีกทั้งยังมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดต่ำ (Labuza, 1996) ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่ต่ำนี้เอง จึงทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาดังกล่าวมีน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงได้

3.4.2 การเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w)

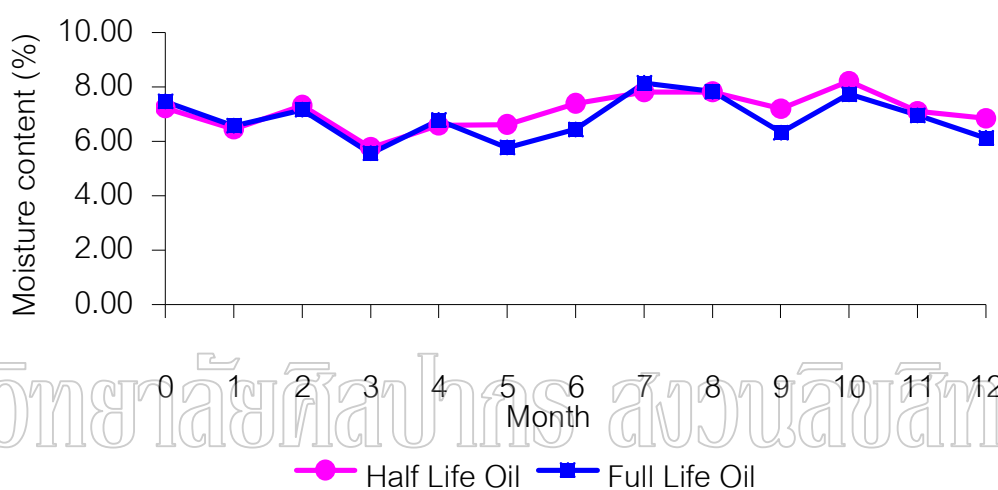
ค่าวอเตอร์แอกติวิตีของผลิตภัณฑ์ที่ทอดในน้ำมัน Half life และ Full life นั้นค่าวอเตอร์แอกติวิตีของผลิตภัณฑ์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าคุณค่าวอเตอร์แอกติวิตีของผลิตภัณฑ์ นั้นค่อนข้างต่ำอยู่ที่ประมาณ 0.20-0.23 ซึ่งปกติแล้วโมเลกุลของน้ำในอาหารระดับนี้ จะจับตัวกันในลักษณะโมโนเลเยอร์ (Monolayer) โดยโมเลกุลน้ำที่อยู่ในชั้นนี้นั้นจะมีความคงตัวมาก และมีพฤติกรรมบางอย่างคล้ายของแข็ง มีการเกาะกันอย่างเหนียวแน่น มีระเบียบ และมีรูปทรง ทำให้น้ำนี้ไม่สามารถถูกนำไปใช้เป็นตัวทำละลายได้ (นิธิยา, 2539) และไม่สามารถทำให้เป็นน้ำแข็งได้ ไม่ว่าจะป็นอุณหภูมิใด (Duckworth, 1974) ซึ่งโมเลกุลในลักษณะดังกล่าวจะส่งผลให้ค่าวอเตอร์แอกติวิตีของผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย (ภาพที่ 3.2)



ภาพที่ 3.2 การเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอกติวิตีของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศที่เก็บไว้ในสภาวะปกติ (อุณหภูมิห้อง)

3.4.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น

จากผลการศึกษาผลของอายุน้ำมันที่ใช้ทอดต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศ (ภาพที่ 3.3) พบว่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ทอดในน้ำมัน Half life และ Full life นั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เพียงร้อยละ 0.4 และ 0.6 ตามลำดับ เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ นั้นเป็นลามิเนตซึ่งมีอะลูมิเนียมฟอยล์ประกอบอยู่ด้วย โดยอะลูมิเนียมฟอยล์นั้นเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการป้องกันการผ่านเข้าออกของก๊าซและไอน้ำได้อย่างดีเยี่ยม (ปุ่น และสมพร, 2541)



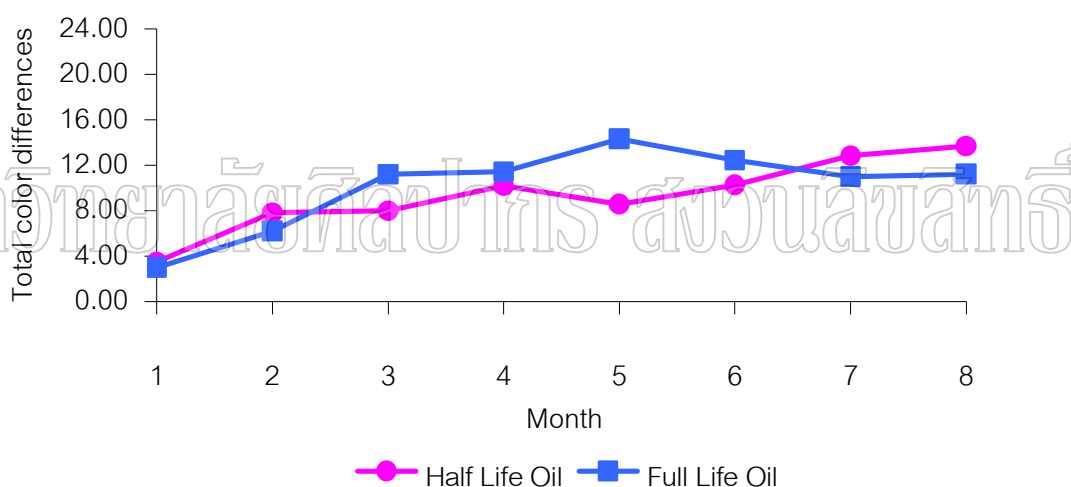
ภาพที่ 3.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น (ฐานแห้ง) ของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศที่เก็บไว้ในสภาวะปกติ (อุณหภูมิห้อง)

เมื่อเปรียบเทียบที่ระยะเวลาในการเก็บรักษาเดียวกัน พบว่าปริมาณร้อยละความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทอดในน้ำมัน Half life ส่วนใหญ่จะมีค่ามากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทอดในน้ำมัน Full life ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันเมื่อมีการใช้ไปเป็นเวลานานจะมีสารลดแรงตึงผิวเกิดขึ้น ซึ่งเป็นผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดการดูดซับน้ำมันเข้าไปแทนที่น้ำในผลิตภัณฑ์ในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง (Stier และ Blumenthal, 1990)

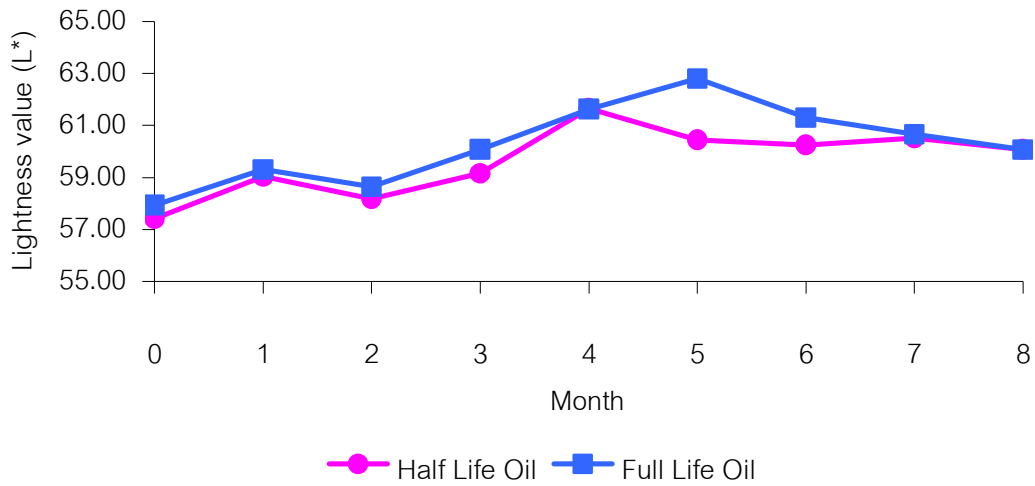
3.4.4 การเปลี่ยนแปลงค่าสี

ผลของอายุน้ำมันที่ใช้ทอดต่อการเปลี่ยนแปลงค่าผลต่างรวมของสีในผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศภายใต้สภาวะปกติ (ภาพที่ 3.4) พบว่าค่าผลต่างรวมของสีของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศที่ผ่านการทอดในน้ำมัน Half life และ Full life นั้นมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 13.70 และ

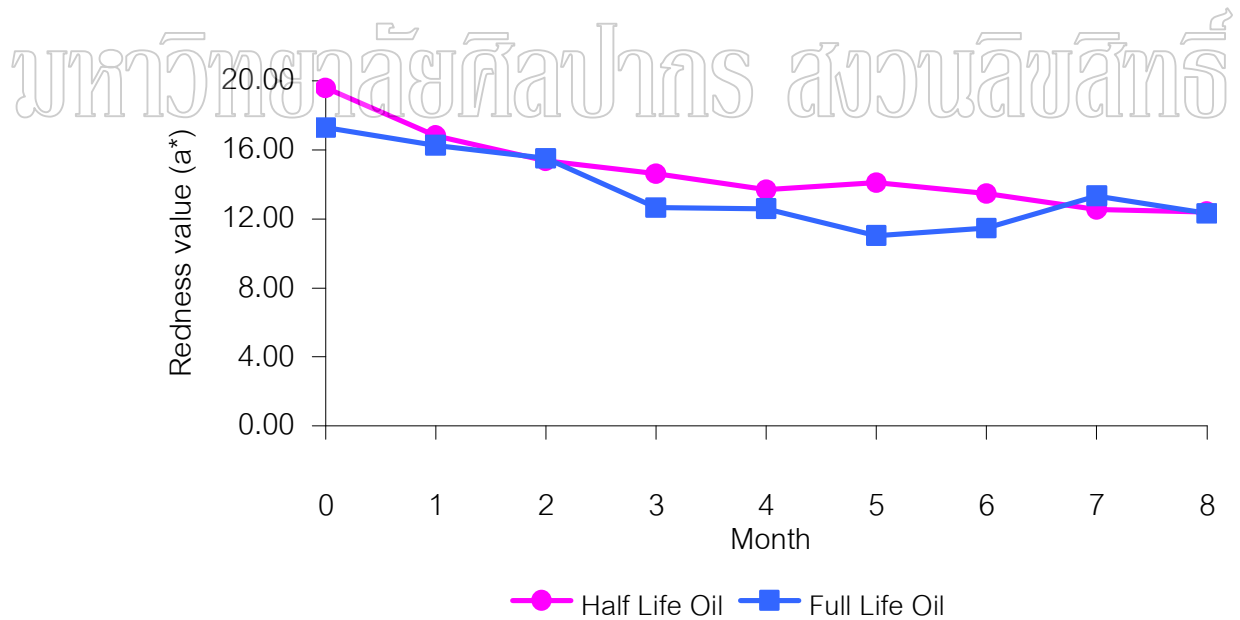
11.26 ตามลำดับ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 8 เดือน ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่าผลต่างรวมของสีนี้เป็นผลมาจากการที่ผลิตภัณฑ์มีลักษณะค่าความสว่างที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 3.5) และค่าความเป็นสีเหลืองมีแนวโน้มลดลง (ภาพที่ 3.7) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่าง และความเป็นสีเหลืองนี้ เป็นผลจากสารประกอบพวกแคโรทีนอยด์ซึ่งองค์ประกอบที่มีอยู่มากในมะม่วงนั้น มีความไม่อิ่มตัวค่อนข้างสูง จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน (Isomerization) และออกซิเดชัน (Oxidation) ได้ ประกอบกับผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศนั้นมีความเป็นกรดต่างอยู่ที่ประมาณ 5 จึงส่งเสริมให้สารประกอบพวกแคโรทีนอยด์ในมะม่วงซึ่งอยู่ในรูปทรานส์ (trans-form) นั้น เกิดปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชันมาอยู่ในรูปซิส (cis-form) เป็นผลให้ผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศมีลักษณะสีที่ซีดจางลง (Della และ Amaya, 2001)



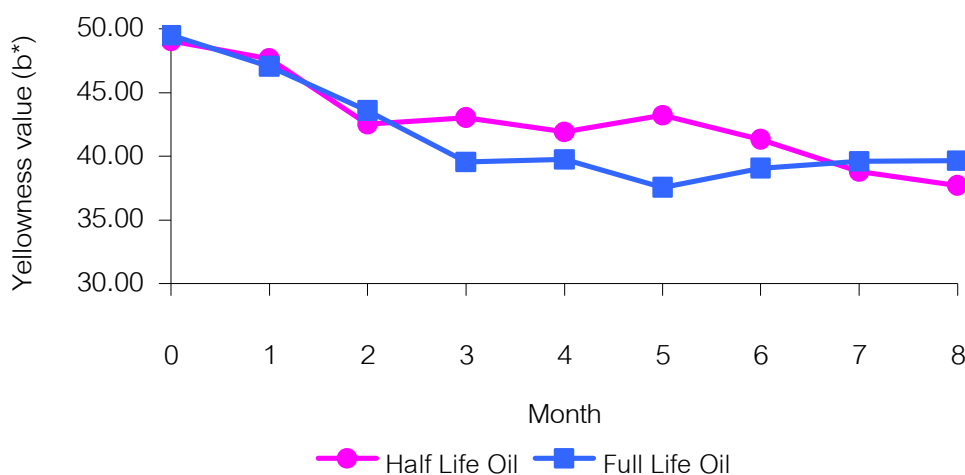
ภาพที่ 3.4 การเปลี่ยนแปลงค่าผลต่างรวมของสี (ΔE) ของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศที่เก็บไว้ในสภาวะปกติ (อุณหภูมิห้อง)



ภาพที่ 3.5 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศ ที่เก็บไว้ในสภาวะปกติ (อุณหภูมิห้อง)



ภาพที่ 3.6 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศที่เก็บไว้ในสภาวะปกติ (อุณหภูมิห้อง)



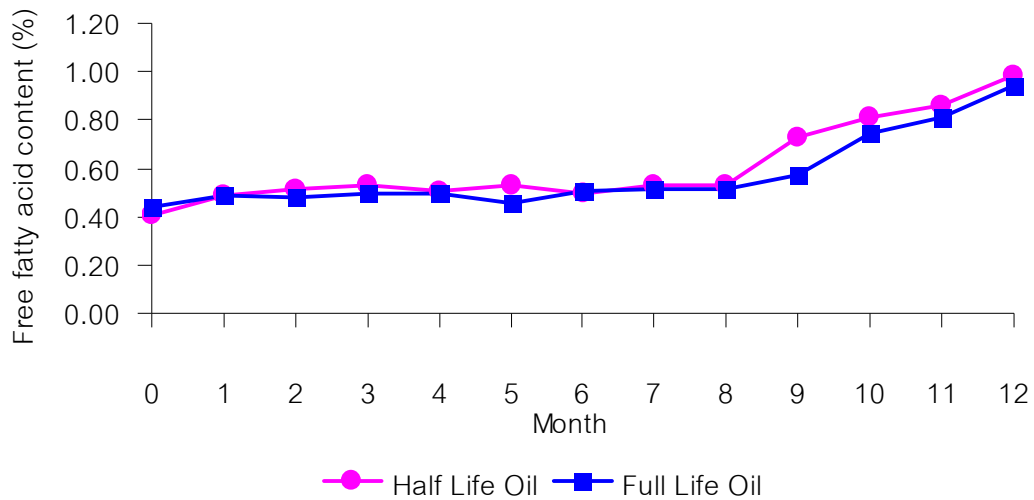
ภาพที่ 3.7 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอด
สุญญากาศที่เก็บไว้ในสภาวะปกติ (อุณหภูมิห้อง)

อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบที่ระยะเวลาในการเก็บรักษาเดียวกันของค่าผลต่างรวมของ
สีผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทอดในน้ำมัน Half life และ Full life พบว่ามีค่าผลต่างรวมสีไม่แตกต่างกัน
เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของค่าความสว่าง และการลดลงของค่าความเป็นสีเหลือง ของผลิตภัณฑ์
มะม่วงทอด ที่ทอดในน้ำมันทั้ง 2 ชนิดนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นผลมาจากค่าความเป็นกรดต่าง
ของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดที่ใช้ น้ำมัน Half life และ Full life นั้นมีค่าใกล้เคียงกัน คือ 5.2 และ 4.8
ตามลำดับ จึงส่งผลให้สารพวกแคโรทีนอยด์ในมะม่วงซึ่งอยู่ในรูปทรานส์ (trans-form) นั้น
เกิดปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชันมาอยู่ในรูปซิส (cis-form) เปลี่ยนไปในปริมาณที่ไม่แตกต่างกันมาก
นัก ทำให้ผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศมีลักษณะสีที่ซีดจางลง (Della และ Amaya, 2001)
ไม่แตกต่างกัน

3.4.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันอิสระ

จากผลการศึกษาผลของอายุน้ำมันที่ใช้ทอดต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันอิสระ
ของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศ (ภาพที่ 3.8) พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมัน
อิสระค่อนข้างคงที่โดยมีการเพิ่มขึ้นมาเล็กน้อยในเดือนที่ 1 จากนั้นคงที่ต่อไปจนถึงเดือนที่ 8
เนื่องจากกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นนั้นเป็นเพียงสารตั้งต้นในการเกิดการออกซิเดชันจึงสามารถที่จะ
เปลี่ยนแปลงไปเป็นสารตัวอื่นได้ (Haminton, 1994) การที่ปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีในผลิตภัณฑ์
มะม่วงทอดสุญญากาศมีค่าค่อนข้างคงที่ นั้นเนื่องมาจากอัตราการเกิดและอัตราการ

เปลี่ยนแปลงเป็นสารตัวอื่นของกรดไขมันอิสระมีค่าคงที่ ทั้งนี้เนื่องมาจากอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาไม่สูงมากนักและระยะเวลาการเก็บรักษาอาจไม่ยาวนานพอที่จะทำให้เห็นการการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างชัดเจน



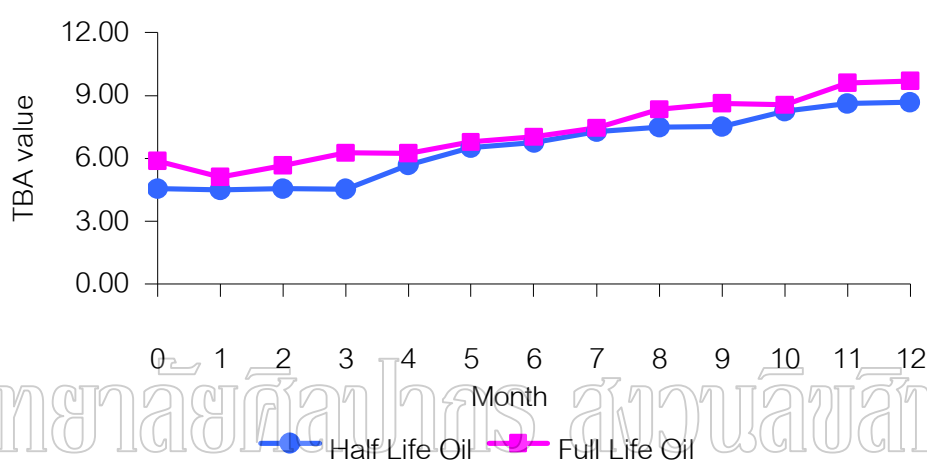
ภาพที่ 3.8 การเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณกรดไขมันอิสระของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอด

สุญญากาศที่เก็บไว้ในสภาวะปกติ (อุณหภูมิห้อง)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างร้อยละของปริมาณกรดไขมันอิสระที่สกัดได้จากมะม่วงทอดสุญญากาศจากน้ำมัน Half life และ น้ำมัน Full life พบว่ามีปริมาณกรดไขมันอิสระมีค่าใกล้เคียงกันมากทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิที่ใช้ในการทอดสุญญากาศค่อนข้างต่ำประมาณ 85 องศาเซลเซียส (ภายใต้ความดัน 11.3 กิโลปาสคาล) และน้ำมันที่ใช้เป็นน้ำมันปาล์มสเตียรินซึ่งมีความคงตัวสูง เนื่องจากมีส่วนของกรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid) อยู่สูงถึงร้อยละ 53-88 จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันทอดน้อยกว่าการทอดทั่วไป (Rossell, 2001) แต่แนวโน้มตั้งแต่เดือนที่ 9 แสดงให้เห็นว่าปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันทั้ง 2 ประเภทเริ่มมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการบรรจุผลิตภัณฑ์ลงบรรจุภัณฑ์ให้ได้ตามสภาวะที่กำหนด จึงช่วยให้ไม่เกิดการทำปฏิกิริยาระหว่างสิ่งร่ายภายนอก เช่น ความชื้น ก๊าซออกซิเจน เป็นต้น รวมไปถึงยังบ่งชี้ถึงคุณภาพน้ำมันทอดที่ใช้อีกทางหนึ่งด้วย อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณกรดไขมันอิสระนี้อาจยังไม่เหมาะสมสำหรับติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเพื่อประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์นี้ได้

3.4.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดโทโอบาร์บิทอริก (TBA)

จากผลการวิเคราะห์ค่า TBA ในผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศ พบว่ามีระดับการเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเส้นตรงทั้งผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทอดด้วยน้ำมัน Half life และ Full life ($r = 0.95$ และ 0.94 ตามลำดับ) ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของค่า TBA นั้นเป็นดัชนีชี้ให้เห็นถึงระดับการเกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์โดยตรงที่มีสาเหตุมาจากสารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำมัน (Kilcast และ Subramaniam, 2000) ดังนั้นค่า TBA นี้จึงมีศักยภาพในการนำมาใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวได้ รวมถึงการนำไปช่วยประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์



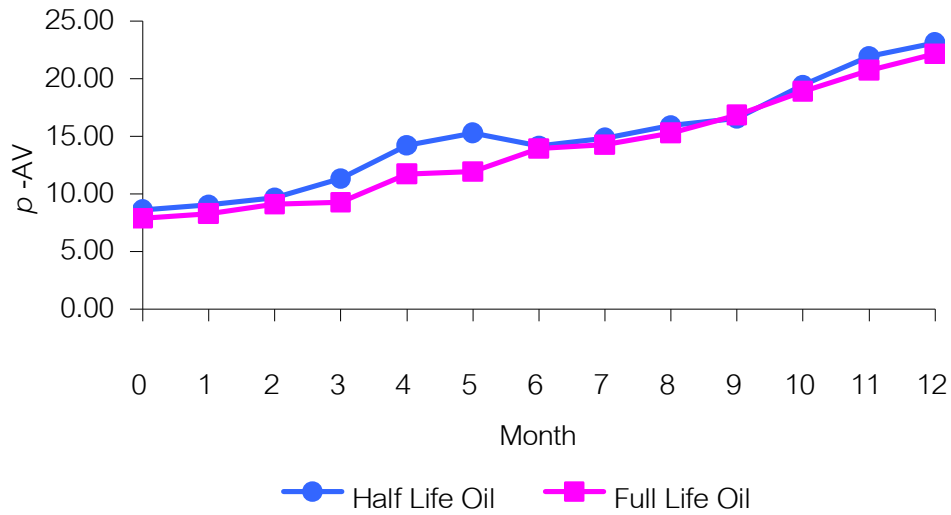
ภาพที่ 3.9 การเปลี่ยนแปลงค่า TBA ของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศที่เก็บไว้ในสภาวะปกติ (อุณหภูมิห้อง)

อย่างไรก็ตามการนำค่า TBA มาใช้เป็นดัชนีเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงอายุการเก็บรักษาในผลิตภัณฑ์นั้น ควรพิจารณาถึงลักษณะการจัดการกับผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละชนิดด้วย ทั้งในแง่ของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ สภาวะการเก็บรักษา เป็นต้น เพราะค่าดังกล่าวเป็นเพียงการวัดในส่วนของสารประกอบที่ระเหยได้ ซึ่งสารประกอบเหล่านี้สามารถที่จะสลายไปได้ในระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษาได้

3.4.7 การเปลี่ยนแปลงค่าพาราอะนิซิทิน (p -AV)

จากผลการวิเคราะห์ p -AV ในผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศ พบว่ามีระดับการเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเส้นตรงทั้งผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทอดด้วยน้ำมัน Half life และ Full life ($r = 0.93$ และ 0.97 ตามลำดับ) ทั้งนี้เนื่องจากการวัด p -AV เป็นการวิเคราะห์ในส่วนของสารประกอบที่ไม่สามารถระเหยได้ในผลิตภัณฑ์ โดยถูกวัดในรูปของ 2-alkenals และ 2,4-dienals กล่าวคือค่า

ดังกล่าวจะเป็นตัวแทนในการบ่งชี้ถึงระดับการเกิดออกซิเดชันด้วยเช่นกัน (Sikorski และ Kolakowska, 2003) ดังนั้น p -AV นี้จึงมีศักยภาพในการนำมาใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวได้ รวมถึงการนำไปช่วยประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 3.10 การเปลี่ยนแปลง p -AV ของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศที่เก็บไว้ในสภาวะปกติ (อุณหภูมิห้อง)

3.5 สรุปผลการทดลอง

การเปลี่ยนแปลงปัจจัยทางด้านเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศที่ทอดด้วยน้ำมันปาล์มสเตียริน ณ ชั่วโมงการทอดที่ 83 ชั่วโมง (Half life oil) และ 166 ชั่วโมง (Full life oil) ไม่ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกันทางคุณลักษณะต่างๆ เท่าใดนัก และยังไม่แตกต่างจากค่าเริ่มต้นเมื่อเก็บรักษาไว้ภายใต้สภาวะปกติ (อุณหภูมิห้อง) ที่ระยะเวลา 12 เดือน ซึ่งหากพิจารณาในแง่ของผู้ผลิตแล้วแสดงว่า น้ำมันที่ใกล้ทั้งนั้นยังสามารถใช้ต่อไปได้อีก เนื่องจากยังไม่ส่งผลต่อคุณภาพโดยรวมของผลิตภัณฑ์อย่างเห็นได้ชัด เพราะคุณภาพของน้ำมันทั้ง 2 ช่วงไม่มีความแตกต่างกัน ทั้งนี้เมื่อพิจารณาถึงผลการวิเคราะห์ ชี้ให้เห็นว่ายังไม่มีการวิเคราะห์ทางด้านกายภาพตัวใดที่เหมาะสมเพียงพอต่อการเป็นดัชนีที่เหมาะสมสำหรับติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ และอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศ เนื่องจากดัชนีส่วนใหญ่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด ตลอดระยะเวลาการศึกษา แต่ก็เป็นที่บ่งชี้ให้เห็นถึงความคงตัวของกายภาพอย่างหนึ่งของผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะในแง่ความกรอบ ซึ่งเป็นคุณลักษณะเด่นของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศ ในขณะที่การวิเคราะห์ค่าทางด้านเคมีกลับแสดงให้เห็นถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับเวลาอย่างชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่า TBA และ *p*-AV ที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่เป็นเส้นตรง ซึ่งดัชนีทั้งสองนี้ต่างเป็นตัวบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์อันเนื่องมาจากการเกิดออกซิเดชันของไขมัน จึงทำให้ค่าดังกล่าวมีศักยภาพในการเป็นดัชนีที่ดีสำหรับการติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ และประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศได้ ทำให้สามารถสรุปได้ว่าการติดตามการเปลี่ยนแปลงเพื่อประเมินอายุการเก็บรักษานี้ควรอาศัยดัชนีชี้วัดจากการเกิดออกซิเดชันของไขมันเป็นหลัก

3.6 เอกสารอ้างอิง

- นิธิยา รัตนานพนนท์. 2539. เคมีอาหาร. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์, หน้า 14-15, 93-95.
- ปุ่น คงเจริญเกียรติ และ สมพร คงเจริญเกียรติ. 2541. บรรจุภัณฑ์อาหาร. กรุงเทพฯ หน้า 60-62.
- Allen JC, Hamilton RJ. 1994. Rancidity in foods. 3rd ed. Glasgow: Blackie Academic and Professional. 290 p.
- AOAC Assoc. Official Analytical Chemists. 1995. The official methods of analysis. 16th ed., vol. 2, Arlington, Va.: AOAC.
- Blumenthal MM. 1987. Optimum Frying: Theory and Practice. 2nd ed. Newjersey: Libra Laboratories, Inc.
- Blumenthal MM. 1991. A new look at the chemistry and physics of deep-fat frying. Food Technol 45(2):68-71, 94.
- Fennema OR. 1996. Food chemistry. 3rd ed. New York: Marcel Dekker, Inc. 1069 p.
- Gamble MH, Rice P. 1987. Effect of pre-drying of oil uptake and distribution in potato chip manufacture. Int J food Sci Tech 22:535-40.
- Garayo J, Moreira R. 2002. Vacuum frying of potato chips. J Food Eng 55(2): 181-91.
- Hamilton RJ. 1995. Development in oils and fats. Glasgow: Blackie Academic and Professional. 269 p.
- Hein M, Henning N, Isengard HD. 1998. Determination of total polar parts with new methods for the quality survey of frying fats and oils. Talanta 44:7-54.
- Krokida MK, Oreopoulou V, Maroulis ZB, Marinos-Kouris D. 2001. Effect of osmotic dehydration pre-treatment on quality of french fries. J Food Eng 49:339-45.
- Krokida MK, Oreopoulou V, Maroulis ZB. 2000. Water loss and oil uptake as a function of frying time. J Food Eng 44:39-46.
- Lawson H. 1995. Food oils and fats: technology, utilization, and nutrition. New York: Chapman & Hall. 339 p.
- Moran DPJ, Rajah KK. 1994. Fats in food products. Glasgow: Blackie Academic and Professional. 415 p.

Moreira RG, Castell-Perez EM, Barrufet MA. 1999. Deep-fat frying: Fundamentals and Applications. Maryland: Aspen Publishers, Inc. 350 p.

Moreira RG, Sun X, Chen Y. 1995. The mechanism of oil absorption in tortilla chips. CoFE:112-6.

Pinthus EJ, Saguy IS. 1994. Initial interfacial tension and oil uptake by deep-fat fried foods. J Food Sci 59(4):804-7, 823.

Pinthus EJ, Weinberg P, Saguy IS. 1995. Oil uptake in deep fat frying as affected by porosity. J Food Sci 60:767-9.

Rajah KK. 2002. Fats in food technology. Sheffield: Sheffield Academic Press Ltd. 379 p.

Saguy IS, Pinthus EJ. 1995. Oil uptake during deep-fat frying: Factors and mechanism. Food Technol 49(4):142-5, 152.

Shyu SL, Hwang LS. 2001. Effects of processing conditions on the quality of vacuum fried apple chips. Food Res Int 34(2/3):133-42.

Sikorski ZE, Kolakowska A. 2003. Chemical and functional properties of food lipids. Florida: CRC Press. 388 p.

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

บทที่ 4

การพยากรณ์อายุการเก็บรักษาด้วยหลักจลนศาสตร์ของ ผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศ

4.1 บทคัดย่อ

การศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศด้วยการใช้ดัชนีชี้วัดจาก การเกิดออกซิเดชันของไขมันในผลิตภัณฑ์ที่เก็บไว้เป็นเวลา 12 เดือน ภายใต้อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส พบว่าค่า TOTOX และค่า TBA ต่างมีการเพิ่มขึ้นของดัชนีทั้งสองเมื่อเก็บไว้ที่ ระยะเวลาและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทั้งนี้พบว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสจะมีการเพิ่มขึ้นของดัชนีทั้ง สองอย่างเห็นได้ชัด โดยค่า TBA จะมีค่าสูงขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 30.3 และ 26.2 เมื่อเปรียบเทียบที่ อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนค่า TOTOX จะสูงขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 30.5 และ 23.6 เมื่อเปรียบเทียบที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อนำมาวิเคราะห์ โดยใช้หลักจลนศาสตร์พบว่าดัชนีทั้งสองต่างเป็นปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง อย่างไรก็ตามค่า TOTOX กลับเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการพิจารณาด้วยหลักดังกล่าวเนื่องจากค่าคงที่อัตราของการ เปลี่ยนแปลงนั้นมีแนวโน้มที่เป็นเส้นตรง เมื่ออุณหภูมิของระบบเพิ่มสูงขึ้น โดยค่าคงที่อัตราของ ปฏิกิริยาการเกิด TOTOX ที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียสเท่ากับ 0.056 0.076 และ 0.127 เดือน⁻¹ ตามลำดับ

คำสำคัญ: ออกซิเดชันของไขมัน จลนศาสตร์ การทดสอบการเก็บรักษาภายใต้สภาวะเร่ง

4.2 บทนำ

กระบวนการทอดนั้นเป็นกระบวนการที่มีน้ำมันเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยจะมีบทบาทในแง่ของการก่อให้เกิดกลิ่นรสที่เฉพาะตัว และสร้างลักษณะเนื้อสัมผัสที่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้ผ่านการทอด คุณภาพของอาหารทอดเองก็ขึ้นกับปริมาณของน้ำมันที่ถูกดูดซับเข้าไปในระหว่างการทอด เนื่องจากน้ำมันดังกล่าวจะเป็นตัวการสำคัญที่ชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในอาหารทอดโดยตรง โดยปฏิกิริยาอันเนื่องมาจากความร้อน และปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส จัดเป็นปฏิกิริยาที่มีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารทอด (Houhoula D.P. และ Oreopoulou V., 2004) ทั้งนี้ในการที่จะทดสอบเพื่อพยากรณ์อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารทอดนั้นจะต้องคำนึงถึงลักษณะทางด้านคุณภาพเป็นสำคัญ ซึ่งการที่จะได้มาซึ่งดัชนีที่เหมาะสมสำหรับใช้บ่งชี้การเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์นั้นต้องผ่านการศึกษาในแง่ของความสัมพันธ์กับเวลา ที่ตรวจประเมินจากการเปลี่ยนแปลงของดัชนีชี้วัดเหล่านั้น ทั้งในคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส ทางจุลินทรีย์ และทางเคมีกายภาพ (Achour M., 2006)

ในการวิจัยครั้งนี้ผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศจะถูกนำขึ้นมาเป็นตัวแทนในการศึกษาอายุการเก็บรักษา โดยปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออายุการเก็บรักษาดังกล่าวจะขึ้นกับ 2 ประเด็นหลักๆ คือ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ (เช่น คุณภาพของวัตถุดิบ สภาวะในการผลิต) และสภาวะในการเก็บรักษา (เช่น อุณหภูมิ ลักษณะบรรยากาศภายในบรรจุภัณฑ์) อย่างไรก็ตามพบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาจะถูกพิจารณาเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดต่ออายุการเก็บรักษา (Zanoni B. และคณะ, 2006)

การใช้แบบจำลองสำหรับการพยากรณ์เป็นเครื่องมือที่ประโยชน์เครื่องมือหนึ่งที่จะสามารถใช้ทั้งบ่งชี้ปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา และรวมไปถึงใช้ในการปรับปรุงและคัดเลือกสภาวะในการเก็บรักษาที่เหมาะสม ซึ่งแบบจำลองที่ได้รับความนิยมตัวหนึ่งคือ แบบจำลองที่ได้มาจากหลักทางจลนศาสตร์ เนื่องจากสามารถนำมาใช้ศึกษาภายใต้สภาวะที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาได้หลายๆ สภาวะ เช่น การประยุกต์ใช้กับเทคนิคการศึกษาอายุการเก็บรักษาภายใต้สภาวะเร่ง (ASLT: Accelerated Shelf Life Testing) เป็นต้น

สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงการเกิดออกซิเดชันของไขมัน โดยอาศัยหลักทางจลนศาสตร์ มาใช้ในการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยา เพื่อประเมินแนวโน้มต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ส่งผลต่ออายุการเก็บรักษา

4.3 วัตถุประสงค์ อุปกรณ์และวิธีการ

4.3.1 ผลกระทบต่อมะม่วงทอดสุญญากาศ และการสุ่มตรวจ

มะม่วงทอดสุญญากาศบรรจุในถุงลามิเนต (LLDPE-PET-AI) และตัดแปรสภาพบรรจุอากาศให้มีปริมาณก๊าซออกซิเจนร้อยละ 9 ถึง 10 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 90 ถึง 91 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส ภายในเครื่องอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ เป็นระยะเวลา 12 เดือน สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ดัชนีการเปลี่ยนแปลงของการเกิดออกซิเดชันของไขมัน (ค่า TBA และ ค่า TOTOX) ทุกเดือน

4.3.2 การวัดค่า TBA

ค่า TBA เป็นการวัดผลิตภัณฑ์อันดับสองที่เกิดขึ้นจากการเกิดออกซิเดชันของไขมัน ที่บ่งชี้ถึงผลิตภัณฑ์กลุ่มที่สามารถระเหยได้ (Volatile decomposition product) จากการทำปฏิกิริยาแล้วเกิดสารประกอบที่เรียกว่า Malonaldehyde โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีขึ้น ซึ่งสามารถวัดได้โดยนำผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการบดให้ละเอียดอย่างสม่ำเสมอมาจำนวน 1 กรัม แล้วเติมสารละลายผสมระหว่างกรดไตรคลอโรอะซีติก (Trichloroacetic acid หรือ TCA) เข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และกรดไทโอบาร์บิทูริก (Thiobarbituric acid หรือ TBA) เข้มข้นร้อยละ 0.375 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.2 นอร์มอล (N) จากนั้นนำไปต้มในน้ำเดือดอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 10 นาที แล้วทำให้เย็นทันที ก่อนที่จะนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องสไลด์แรงเหวี่ยงที่ความเร็ว 8,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นจึงเก็บส่วนใสมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร (ดัดแปลงจาก Jayasingh และคณะ, 2003)

4.3.2 การวัดค่า TOTOX (Total Oxidation)

ค่า TOTOX เป็นการบ่งชี้การเกิดออกซิเดชันทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ (Total Oxidation) ซึ่งต้องอาศัยการวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (PV) ซึ่งเป็นตัวแทนของผลิตภัณฑ์ปฐมภูมิ (Primary oxidation products) และค่าพาราอะนิซินิน (*p*-AV) ที่เป็นตัวแทนของผลิตภัณฑ์อันดับสอง (Secondary oxidation products) ของปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทั้งนี้การวัดค่า PV นั้นจะวัดด้วยวิธีการไตเตรทซึ่งอ้างอิงตามวิธีมาตรฐานของ AOCS ที่ Cd 8-53 (AOCS, 1990) ส่วนการวัด *p*-AV จะทำได้โดยการนำตัวอย่างไปสกัดไขมันด้วยวิธี Co-methanol (ดัดแปลงจากวิธีการของ Folch และคณะ, 1957) แล้วนำไปวัดการดูดกลืนแสงซึ่งอ้างอิงตามวิธีมาตรฐานของ AOCS ที่ Cd

18-90 (AOCS, 1996) จากนั้นนำค่าที่ได้ทั้งสองมาคำนวณหาค่า TOTOX ได้จากสมการ

$$\text{TOTOX} = 2\text{PV} + p\text{-AV}$$

4.3.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของข้อมูล เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยอาศัยหลัก จลนศาสตร์ ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel 2003

4.4 ผลการทดลอง และการวิจารณ์

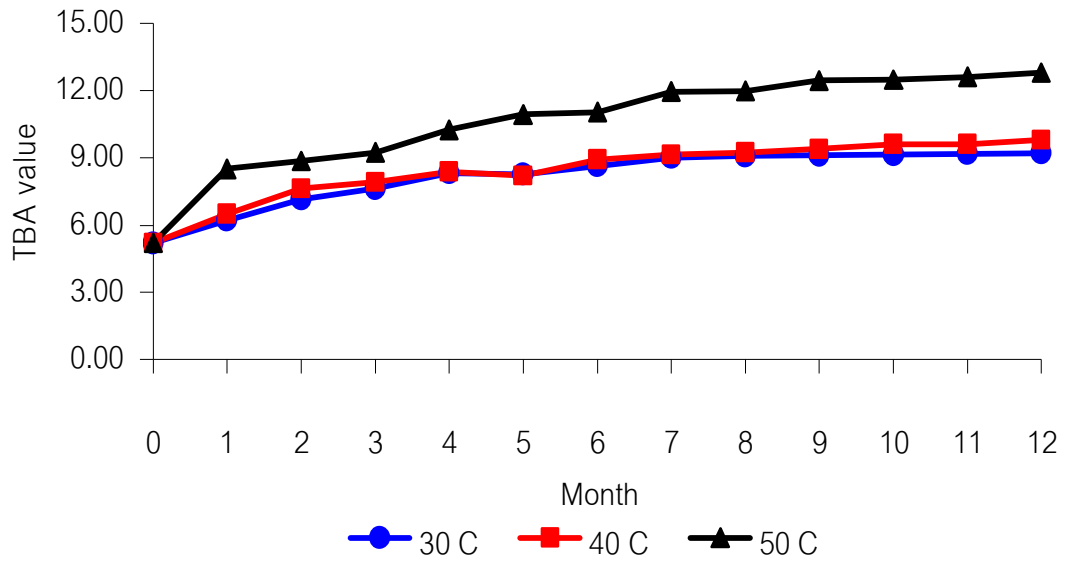
4.4.1 การเปลี่ยนแปลงของดัชนีชี้วัดออกซิเดชันของไขมัน

ผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศที่ถูกเก็บไว้ภายใต้สภาวะ 3 อุณหภูมิ ได้แก่ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 12 เดือน โดยถูกสุ่มตรวจสอบดัชนีบ่งชี้ทางเคมีทุกๆ 1 เดือน คือ ค่า TBA และค่า TOTOX (ตารางที่ 4.1) โดยค่า TBA เป็นตัวบ่งชี้ถึงผลิตภัณฑ์อันดับที่สองของการเกิดออกซิเดชันของไขมัน โดยแสดงให้เห็นถึงปริมาณของสารประกอบที่ระเหยได้ (Volatile Decomposition Products) จากปฏิกิริยา หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นดัชนีที่ชี้วัดตามระดับการเกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศ ส่วนค่า TOTOX (Total Oxidation) เป็นดัชนีสำหรับ บ่งชี้ภาพรวมของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ ซึ่งถือว่าเป็นปัจจัยอันดับสอง (Secondary Parameter) ในการตรวจติดตามการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าว เนื่องจากต้องอาศัยการ ตรวจวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (PV: Peroxide Value) และค่าพารา-อะนิซิดีน (p -AV: p -Anisidine Value) ซึ่งเป็นตัวแทนของผลิตภัณฑ์อันดับหนึ่งและสองของการเกิดออกซิเดชันของ ไขมันตามลำดับ

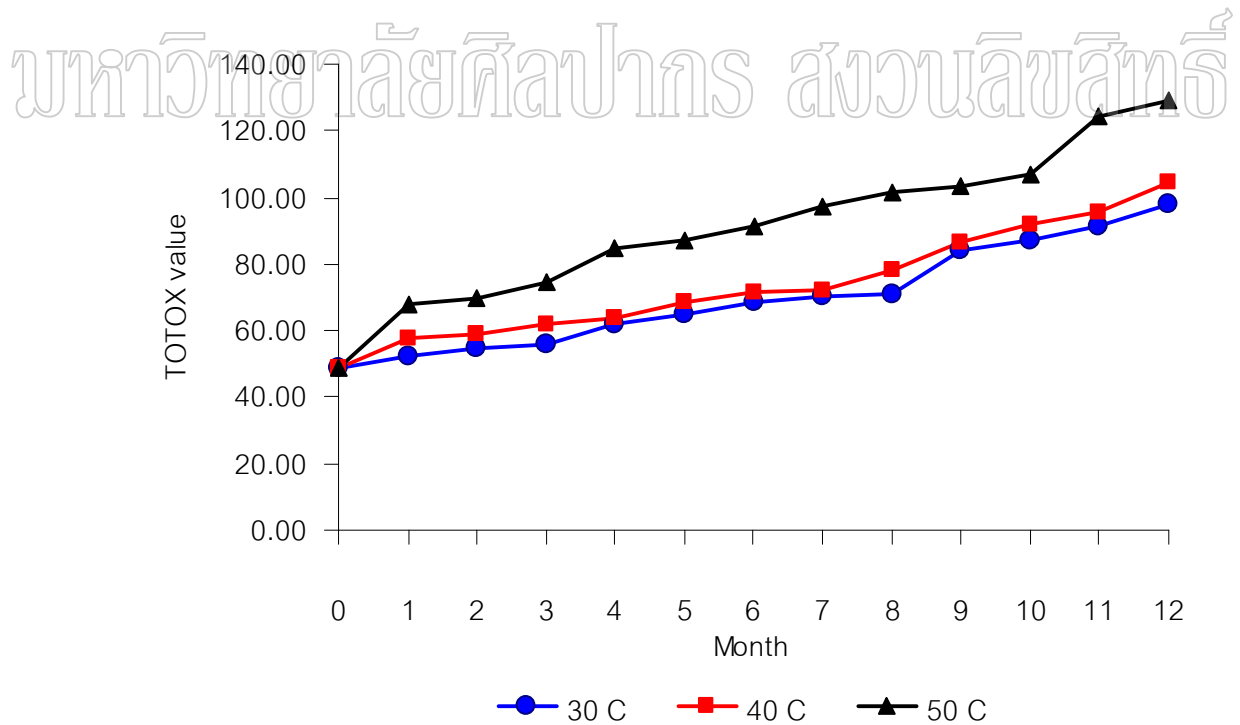
ตารางที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงของค่า TBA และ TOTOX ในผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศ
ซึ่งเก็บรักษาที่เวลา และอุณหภูมิต่างๆ

เวลาในการ เก็บรักษา (เดือน)	ค่า TBA			ค่า TOTOX		
	30°C	40°C	50°C	30°C	40°C	50°C
0	5.21	5.21	5.21	48.82	48.82	48.82
1	6.19	6.48	8.50	52.29	57.81	68.14
2	7.15	7.62	8.84	54.39	59.18	69.57
3	7.62	7.91	9.23	55.80	61.85	74.43
4	8.31	8.37	10.23	61.72	63.77	84.96
5	8.26	8.20	10.94	64.97	68.36	86.97
6	8.64	8.92	11.03	68.74	71.34	91.63
7	9.02	9.15	11.95	70.50	72.22	97.14
8	9.07	9.23	11.97	71.18	78.12	101.64
9	9.09	9.39	12.43	84.37	86.78	103.26
10	9.14	9.60	12.49	86.94	92.22	106.94
11	9.17	9.63	12.61	91.40	95.30	124.40
12	9.21	9.79	12.80	98.13	104.53	128.98

จากผลการศึกษาเมื่อพิจารณาจากกราฟแสดงผลพบว่าดัชนีชี้วัดทั้งสองต่างมีแนวโน้ม
ของค่าที่สูงขึ้นเมื่อเก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4.1 และ 4.2)



ภาพที่ 4.1 ค่า TBA ของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศที่ระดับอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่างกันเป็นระยะเวลา 12 เดือน



ภาพที่ 4.2 ค่า TOTOX ของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศที่ระดับอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่างกันเป็นระยะเวลา 12 เดือน

ทั้งนี้เมื่อพิจารณาที่ผลของระดับอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงดัชนีต่างๆ พบว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสจะมีการเพิ่มขึ้นของดัชนีทั้งสองอย่างเห็นได้ชัด โดยในส่วนของค่า TBA จะมีค่าสูงขึ้นโดยเฉลี่ยร้อยละ 30.3 และ 26.2 เมื่อเปรียบเทียบที่ระดับอุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และค่า TOTOX พบว่าสูงขึ้นโดยเฉลี่ยร้อยละ 30.5 และ 23.6 เมื่อเปรียบเทียบที่ระดับอุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

4.4.2 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยหลักจลนศาสตร์

การศึกษาเกี่ยวกับจลนศาสตร์ของการเกิดออกซิเดชันของไขมันนั้น โดยส่วนมากจะเป็นปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง (First-order kinetics) (Rotstein E, Singh RP และ Valentas KJ, 1997) ซึ่งจากการนำข้อมูลที่ได้มาหาความสัมพันธ์พบว่าค่า TOTOX จะมีความสัมพันธ์ได้ดังสมการ

$$\ln\left(\frac{B_t}{B_0}\right) = kt$$

โดยที่ B_0 คือ ค่า TOTOX ณ เวลาเริ่มต้นของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิหนึ่งๆ

B_t คือ ค่า TOTOX ณ เวลา t ใดๆ ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิหนึ่งๆ

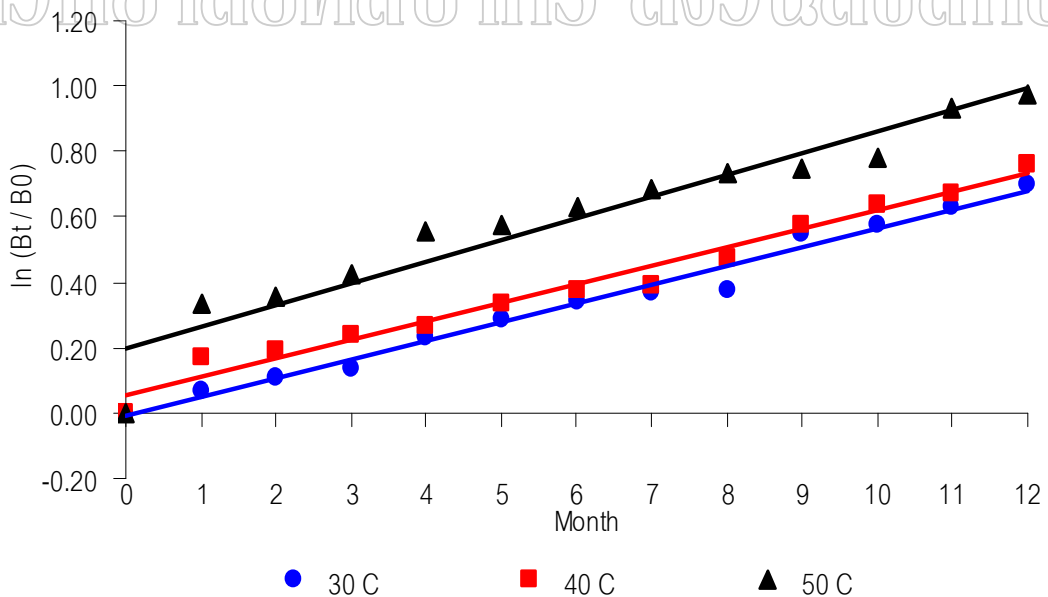
k คือ อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า TOTOX ต่อเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิหนึ่งๆ (เดือน⁻¹)

t คือ เวลาของการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ (เดือน) ภายใต้สภาวะอุณหภูมิหนึ่งๆ

ทั้งนี้เมื่อวิเคราะห์หาสหสัมพันธ์ (r) ของสมการดังกล่าวที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส จะได้ค่าเท่ากับ 0.984 0.978 และ 0.923 ตามลำดับ (ภาพที่ 4.3) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า TOTOX ที่ได้มีระดับความน่าเชื่อถืออยู่ในเกณฑ์ที่ดี โดยเมื่อคำนวณอัตรา (k) การเพิ่มขึ้นของค่า TOTOX พบว่าที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียสมีค่าเฉลี่ยอัตราอยู่ที่ 0.056 0.076 และ 0.127 เดือน⁻¹ ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจาก 30 เป็น 40 องศาเซลเซียสจะทำให้อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า TOTOX ร้อยละ 35.71 ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจาก 40 เป็น 50 องศาเซลเซียส อัตราที่ได้กลับมีค่าเพิ่มขึ้นสูงถึงร้อยละ 67.11 อย่างไรก็ตามเมื่อนำค่า TBA มาคำนวณหาความสัมพันธ์ด้วยสมการในลักษณะเดียวกัน ซึ่ง Labuza (1982) ได้เสนอความสัมพันธ์ทางจลนศาสตร์ของค่า TBA ดังกล่าวตามสมการ

$$\ln \left(\frac{B_{\text{Max}} - B_0}{B_{\text{Max}} - B_t} \right) = kt$$

โดย B_{Max} คือ ค่า TBA ของผลิตภัณฑ์ที่ระยะเวลามากที่สุด แต่ทั้งนี้สมการความสัมพันธ์ดังกล่าวยังไม่สามารถบ่งชี้ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอัตราได้อย่างชัดเจน แม้ว่าสัมพันธ์ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส จะมีค่าเท่ากับ 0.979 0.970 และ 0.966 ตามลำดับก็ตาม โดยพบว่าค่าคงที่อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า TBA ไม่มีความเป็นเส้นตรง (0.361 0.292 และ 0.321 เดือน⁻¹ ที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียสตามลำดับ) ซึ่งเหตุผลดังกล่าวอาจมาจากค่า TBA เป็นการแสดงถึงองค์ประกอบที่ระเหยได้ของผลิตภัณฑ์จากการเกิดออกซิเดชันของไขมัน ทำให้การติดตามการเปลี่ยนแปลงจากค่าดังกล่าวอาจคลาดเคลื่อนได้ เพราะมีโอกาสสลายไปได้จากขั้นตอนการผลิตและการเก็บรักษา จึงมีความว่องไวต่อการเปลี่ยนแปลงมากกว่าค่า TOTOX (Sikorski ZE และ Kolakowska A, 2002) ด้วยเหตุนี้การใช้ค่า TBA อาจไม่เหมาะสมสำหรับการติดตามการเปลี่ยนแปลงภายใต้การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ระยะเวลาสั้นเกินไป



ภาพที่ 4.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า TOTOX ภายใต้เวลาการเก็บรักษาและอุณหภูมิต่างๆ

ผลการวิจัยดังกล่าวยังสามารถต่อยอดเพื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า TOTOX กับอุณหภูมิต่างๆ ซึ่งเป็นอิทธิพลสำคัญจากปัจจัยแวดล้อม นอกเหนือจากขอบเขตที่ได้ทำการศึกษาไว้ โดยสามารถนำสมการของ Arrhenius มาร่วมคำนวณ เพื่อหาค่าพลังงานก่อกัมมันต์ (Activation Energy: E_A) ของปฏิกิริยาที่สนใจนั้นๆ ได้ ดังสมการ

$$\ln k = \ln k_A - \frac{E_A}{R} \left(\frac{1}{T} \right)$$

โดยที่ k คือ ค่าคงที่อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า TOTOX

k_A คือ ค่าคงที่ของสมการ Arrhenius

E_A คือ ค่าพลังงานก่อกัมมันต์ในการเกิด TOTOX (จูล โมล⁻¹)

R คือ ค่าคงที่ของก๊าซมีค่าเท่ากับ 8.314 จูล โมล⁻¹ เคลวิน⁻¹

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (เคลวิน)

โดยจากการคำนวณหาค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาการเกิด TOTOX โดยการนำ ข้อมูลที่ได้จากจลนศาสตร์ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln k$ และ $1/T$ ทำให้ได้ค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาดังกล่าวเท่ากับ 29.52 กิโลจูล โมล⁻¹ ซึ่งถือว่ามีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับระดับของพลังงานดังกล่าวในกลุ่มของการเกิดออกซิเดชันของไขมันที่จะมีระดับพลังงานทั่วไปอยู่ในช่วง 40-100 กิโลจูล โมล⁻¹ (Labuza, 1982) จึงเป็นดัชนีบ่งชี้อีกประการหนึ่งว่า ปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้ง่าย เพราะมีระดับพลังงานกระตุ้นที่ต่ำ

4.5 สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์หาดัชนีชี้วัดที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ด้วยหลักจลนศาสตร์พบว่าค่า TOTOX เป็นดัชนีที่มีความเหมาะสมต่อการนำมาพยากรณ์อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศ โดยพบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้อัตราของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งสามารถนำลักษณะดังกล่าวไปประยุกต์ใช้งานต่อไปได้ ทั้งนี้การนำดัชนีดังกล่าวมาใช้จริงในระบบอุตสาหกรรมอาหารนั้นจำเป็นต้องอาศัยการทวนสอบข้อมูลจริง จากสภาวะการผลิต และการเก็บรักษาจริงของผลิตภัณฑ์ แล้วพิจารณากลับไปยังหลักจลนศาสตร์ที่ศึกษามาได้ เพื่อที่จะหาความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างตัวแปรทางจลนศาสตร์ กับค่าความเป็นจริงที่ได้จากการวัดวิเคราะห์ เพื่อสร้างแบบจำลองที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานจริงได้ในที่สุด

4.6 เอกสารอ้างอิง

- AOAC. 1995. Official methods of analysis of AOAC international. 16th ed., Vol. 2. Arlington, VA: AOAC.
- AOCS. 1996. Official and tentative methods of the American oil chemists's society methods. 5th ed., Vol. 1. Champaign: AOCS.
- Chang SS, Peterson RJ, Ho CT. 1978. Chemical reaction involved in deep-fat frying of foods. J Am Oil Chem Soc 55:718-27.
- Eskin NAM, Robinson DS. 2001. Food shelf life stability: chemical, biological, and microbiological changes. Florida: CRC Press. 370 p.
- Folch et al. 1957. J Biol Chem. 226, 497.
Available online at <http://www.cyberlipid.org/extract/extr0005.htm#1>
- Fritsch CW. 1981. Measurement of frying fat deterioration: A brief review. J Am Oil Chem Soc 58:272-274.
- Houhoula DP, Oreopoulou V. 2004. Predictive study for the extent of deterioration of potato chips during storage. J Food Eng 65:427-32.
- Houhoula DP, Oreopoulou V, Tzia C. 2002. A kinetic study of oil deterioration during frying and a comparison with heating. J Am Oil Chem Soc 79(2):133-7.
- Jayasingh P, Cornforth DP. 2003. Comparison of antioxidant effects of milk mineral, butylated hydroxytoluene and sodium tripolyphosphate in raw and cooked ground pork. Meat Sci 66:83-9.
- Kilcast D, Subramaniam P. 2000. The stability and shelf-life of food. Cambridge: Woodhead Publishing. 340 p.
- Labuza TP. 1982. Shelf-life dating of foods. Connecticut: Food and Nutrition Press.
- Labuza TP, Schmidl MK. 1985. Accelerated shelf-life testing of foods. Food Tech. September. 134:57-64.
- Man CMD, Jones AA. 1994. Shelf life evaluation of foods. Glasgow: Blackie Academic and Professional. 321 p.
- Min DB, Schweizer DQ. 1983. Lipid oxidation in potato chips. J Am Oil Chem Soc 60(9): 1662-5.

Rossel JB. 2001. Frying improving quality. Cambridge: Woodhead Publishing, Ltd.

Rotstein E, Singh RP, Valentas KJ. 1997. Handbook of food engineering practice.

Florida: CRC Press LLC.

Sikorski ZE, Kolakowska A. 2003. Chemical and functional properties of food lipids.

New York: CRC Press LLC.

Singh RP, Heldman DR. 1993. Introduction to food engineering. San Diego: Academic

Press.

Walstra P. 2003. Physical chemistry of foods. New York: Marcel Dekker, Inc. 807 p.

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

บทที่ 5

การประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศ ด้วยเครื่องจุ่มกิโลอิเล็กทรอนิกส์

5.1 บทคัดย่อ

เครื่องจุ่มกิโลอิเล็กทรอนิกส์ (Alpha M.O.S. รุ่น FOX 3000) เป็นเครื่องมือที่มีหลักการทำงานเสมือนระบบการตกผลึกของมนุษย์ ซึ่งมีองค์ประกอบของ metal oxide semiconductors (MOS) จำนวน 12 ตัว มีประสิทธิภาพในการประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศ และบ่งชี้ถึงระดับการเปลี่ยนแปลงการเกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์ได้ โดยนำเทคนิค principal component analysis (PCA) มาใช้ในการจัดการและลดความซับซ้อนของข้อมูลเพื่อวิเคราะห์และแปลผล ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ร่วมกับดัชนีของการเกิดออกซิเดชันของไขมัน (ค่า TBA และ *p*-AV) และเมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์พบว่าสามารถแยกความแตกต่างของชุดข้อมูลที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ ได้อย่างชัดเจนโดยอาศัยระดับการเกิดกลิ่นหืนเป็นตัวชี้วัดร่วม ทั้งนี้พบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ($r = 0.86$ และ 0.92 ตามลำดับ) ระหว่างสัญญาณตอบสนองจากเครื่องจุ่มกิโลอิเล็กทรอนิกส์กับดัชนีทางเคมีทั้งสอง (ค่า TBA และ *p*-AV) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการประยุกต์ใช้เครื่องจุ่มกิโลอิเล็กทรอนิกส์ในการติดตามการเกิดออกซิเดชันของไขมัน และการประเมินอายุการเก็บรักษาในระหว่างการเก็บและจัดจำหน่ายของผลิตภัณฑ์ผลไม้ทอด

คำสำคัญ: เครื่องจุ่มกิโลอิเล็กทรอนิกส์ เทคนิค PCA ออกซิเดชันของไขมัน

5.2 บทนำ

การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญอย่างหนึ่งต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลไม้ทอดคือการเกิดกลิ่นหืน ที่เกิดเนื่องจากการเกิดออกซิเดชันของไขมัน (Lipid oxidation) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการติดตามการเปลี่ยนแปลงจากปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถประเมินได้จากหลายๆ วิธีการ เช่น การวัดปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid content หรือ FFA content) การวัดค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value หรือ PV) การวัดค่าพาราอะนิซีน (*p*-Anisidine value หรือ *p*-AV) การวัดค่ากรดไทโอบาร์บิทูริก (Thiobarbituric acid value หรือ TBA value) การวัดค่าความเป็นขี้ทั้งหมัด (Total polar material หรือ TPM) เป็นต้น Jaswir และคณะ (2000) พบว่าปฏิกิริยาดังกล่าวไม่เพียงส่งผลต่อคุณภาพและความปลอดภัยของน้ำมันที่ใช้ทอดเท่านั้น แต่ยังมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์อาหารทอดด้วย ทั้งนี้หากพิจารณาถึงความคาดหวังของผู้บริโภคต่ออายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผลไม้ทอด แน่นนอนว่าความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ต่อการบริโภคตลอดช่วงเวลาดังกล่าวย่อมเป็นความต้องการขั้นต้นต่อผู้บริโภคทุกคน มากไปกว่านั้นการเปลี่ยนแปลงที่ส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลงต้องมีให้น้อยที่สุดเช่นกัน ทั้งหมดนี้จะเห็นว่าการเกิดออกซิเดชันของไขมันจึงเป็นปฏิกิริยาหนึ่งที่สำคัญต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ผลไม้ทอด

เป็นที่ทราบกันดีว่าผลิตภัณฑ์ผลไม้ทอดจัดเป็นผลิตภัณฑ์ในกลุ่มที่มีความขึ้นตำ ไม่เน่าเสียง่าย (Non-perishable foods) เหมือนกับผลิตภัณฑ์พวกผักหรือผลไม้สด ดังนั้นเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจึงมุ่งไปที่การเปลี่ยนแปลงปัจจัยทางด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสเป็นหลัก (Kilcast และ Subramaniam, 2000) จากปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมานั้นพบว่าการเปลี่ยนแปลงทางด้านประสาทสัมผัสนับเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการประเมินอายุการเก็บรักษา เนื่องจากมันสามารถเป็นตัวแทนในการบ่งชี้ได้อย่างแท้จริงต่อการยอมรับของผลิตภัณฑ์ในภาพรวม ดังนั้นการประเมินจากการเปลี่ยนแปลงทางด้านกลิ่นรสจึงมีบทบาทสำคัญต่อการติดตามการเกิดกลิ่นหืนที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ผลไม้ทอด นอกเหนือจากการประเมินทางด้านรสชาติ ทั้งนี้การประเมินปัจจัยดังกล่าวสามารถกระทำได้ 2 วิธีการ ได้แก่ การประเมินด้วยมนุษย์ (Subjective methods) และการประเมินด้วยเครื่องมือ (Objective methods) อย่างไรก็ตามการประเมินด้วยมนุษย์นั้นมักเกิดความแปรปรวนสูงในระหว่างการทดสอบ เนื่องจากมาตรฐานการประเมินที่แตกต่างกัน ความยากในการฝึกฝนให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกัน และความไม่สม่ำเสมอในการประเมินแต่ละครั้ง สิ่งต่างๆ เหล่านี้ย่อมส่งผลโดยตรงต่อการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสด้วยมนุษย์ (Berna และคณะ, 2004)

จากปัญหาดังกล่าวการประเมินด้วยเครื่องมือจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในการลดความแปรปรวนดังกล่าว โดยได้มีการพัฒนาเครื่องมือชนิดหนึ่งขึ้นมา เรียกว่า “เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic nose หรือ e-nose)” ซึ่งหลักการการทำงานจะอาศัยการเลียนแบบลักษณะการรับกลิ่นของจมูกมนุษย์ ด้วยชุดของอุปกรณ์ที่เป็นตัวรับและตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้น (Sensors) ทางเคมี โดยอุปกรณ์ดังกล่าวจะถูกออกแบบให้มีความจำเพาะเจาะจงต่อการตรวจวัดกลุ่มของสารระเหยต่างๆ จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดมาสร้างแบบแผนของข้อมูลด้วยเทคนิคทางสถิติหรือคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการแปลผลการวิเคราะห์ต่อไป (Gardner และ Bartlett, 1994) โดยทั่วไปเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่มีใช้ในทางการค้าจะมี sensors อยู่หลายชนิด เช่น metal oxide semiconductors (MOS) conducting polymer (CP) bulk acoustic wave (BAW) surface acoustic wave (SAW) และ quartz-microbalance (QMB) เป็นต้น (Innawong และคณะ, 2004)

ชุดของ sensors ในเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้จะให้ข้อมูลในปริมาณมากซึ่งยากต่อการนำไปวิเคราะห์และแปลผล ดังนั้นการใช้เทคนิคทางสถิติจึงมีบทบาทสำคัญในการวิเคราะห์เพื่อนำไปสู่การแปลผลข้อมูล เทคนิคหนึ่งที่สำคัญและมีการใช้อย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์ข้อมูลจากเครื่องดังกล่าวคือ principal component analysis หรือ PCA ซึ่งสามารถสร้างแบบแผนของกลิ่นรสที่เกิดขึ้นและเปลี่ยนแปลงไปในอาหารแต่ละชนิดได้ตามการเปลี่ยนแปลงของเวลา (Capone และคณะ, 2001) ทั้งนี้พบว่ามีงานวิจัยหลายงานที่ศึกษาการใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ในอาหาร และ/หรือองค์ประกอบของอาหาร เช่น Innawong และคณะ (2004) ทำการศึกษาคุณภาพของน้ำมันทอดที่เปลี่ยนแปลงไปด้วย QMB sensor และพบว่าเครื่องดังกล่าวมีศักยภาพที่ดีในการแยกและบ่งชี้ถึงคุณภาพของน้ำมันในแต่ละช่วงอายุการทอดได้ เช่นเดียวกับ Rajamaki และคณะ (2006) ที่สามารถใช้เครื่องดังกล่าวในการตรวจสอบระดับของจุลินทรีย์ที่พบในผลิตภัณฑ์เนื้อไก่ในบรรจุภัณฑ์ที่ผ่านการดัดแปรสภาพบรรยากาศ ด้วย MOS sensor นอกจากนี้ Dutta และคณะ (2003) พบว่า MOS sensor สามารถใช้ในการจำแนกคุณภาพของขามาตรฐานแต่ละชนิดภายใต้ผู้ผลิต และกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน มากไปกว่านั้น Trihaas และคณะ (2005) ได้ใช้ MOS sensor เช่นกันในการสร้างแบบจำลองของการบ่ม Danish blue cheese ซึ่งพบว่าสามารถใช้บ่งชี้ระยะ maturation ของการบ่มได้รวมถึงพยากรณ์ลักษณะทางคุณภาพที่เกิดขึ้นได้ และในแง่ของการประเมินกลิ่นเหินพบว่า Vinaixa และคณะ (2005) ได้ใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ร่วมกับเครื่อง Mass spectrometry (MS) และ Gas sensor (GS) สำหรับการตรวจสอบกลิ่นเหินอย่างรวดเร็วในมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบที่แบ่งช่วงการเหินออกเป็น 4 ช่วง โดย

พบว่าการใช้ร่วมกับเครื่อง MS จะให้ระดับการแยกกลิ่นหืนได้ดีกว่าการใช้ร่วมกับเครื่อง GS ถึงร้อยละ 32

สำหรับงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบ MOS sensor สำหรับประเมินความแตกต่างของผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศที่มีการผลิตเชิงการค้า ณ อายุการเก็บรักษาต่างๆ โดยมุ่งเน้นไปที่การเปลี่ยนแปลงจากการเกิดออกซิเดชันของไขมันที่เกิดขึ้น และทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีที่ใช้ติดตามปฏิกิริยาดังกล่าวกับข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์

5.3 วัตถุประสงค์ อุปกรณ์ และวิธีการ

5.3.1 ผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศ และการตรวจวิเคราะห์

มะม่วงทอดสุญญากาศบรรจุในถุงลามิเนท (LLDPE-PET-AI) และดัดแปรสภาพบรรยากาศให้มีปริมาณก๊าซออกซิเจนร้อยละ 9 ถึง 10 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 90 ถึง 91 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 12 เดือน สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ดัชนีการเปลี่ยนแปลงของการเกิดออกซิเดชันของไขมัน (TBA value และ p -AV) และวิเคราะห์ด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ทุกๆ 3 เดือน และวิเคราะห์ p -AV ของน้ำมันที่สกัดจากมะม่วงทอดสุญญากาศโดยวิธี Soxhlet ตามมาตรฐาน AOAC (1995)

5.3.2 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์

เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Alpha M.O.S. รุ่น FOX 3000) ประกอบด้วย MOS sensor จำนวน 12 ตัว ได้แก่ LY/LG LY/G LY/AA LY/Gh LY/gCTI LY/gCT T30/1 P10/1 P10/2 P40/1 T70/2 และ PA2 ซึ่งเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องเก็บตัวอย่างอัตโนมัติ (Auto sampler) รุ่น HS 100 (ภาพที่ 5.1) ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศจะนำมาบดให้ละเอียดอย่างสม่ำเสมอ แล้วชั่งให้ได้น้ำหนัก 1 กรัมใส่ในขวดแก้ว (Glass vial) ขนาด 5 มิลลิลิตร แล้วปิดด้วยฝาให้สนิทเพื่อป้องกันความแปรปรวนจากการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นรสก่อนการวิเคราะห์ แล้วจึงนำขวดแก้วแต่ละขวดมาวางลงในถาดบรรจุเพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการบดผลิตภัณฑ์ก่อนการวิเคราะห์คือ 50 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที จากนั้นข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA เพื่อแยกความแตกต่างของกลิ่นรสในผลิตภัณฑ์ที่ได้ในแต่ละช่วงอายุการเก็บรักษา

ทั้งนี้เครื่องจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ดังกล่าวจะอาศัยการเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละ Sensor เพื่อเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของสารระเหยที่ได้จากช่วงอายุผลิตภัณฑ์ต่างๆ



ภาพที่ 5.1 เครื่องจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ (Alpha M.O.S. Model FOX 3000)

5.3.3 การวัดค่ากรดไทโอบาร์บิทูริก (TBA)

ค่า TBA เป็นการวัดผลิตภัณฑ์อันดับสองที่เกิดขึ้นจากการเกิดออกซิเดชันของไขมัน ที่บ่งชี้ถึงผลิตภัณฑ์กลุ่มที่สามารถระเหยได้ (Volatile decomposition product) จากการทำปฏิกิริยาแล้วเกิดสารประกอบที่เรียกว่า malonaldehyde โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีขึ้น ซึ่งสามารถวัดได้โดยนำผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการบดให้ละเอียดอย่างสม่ำเสมอจำนวน 1 กรัม แล้วเติมสารละลายผสมระหว่างกรดไตรคลอโรอะซีติก (Trichloroacetic acid หรือ TCA) เข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และกรดไทโอบาร์บิทูริก (Thiobarbituric acid หรือ TBA) เข้มข้นร้อยละ 0.375 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.2 นอร์มอล (N) จากนั้นนำไปต้มในน้ำเดือดอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา

อย่างน้อย 10 นาที แล้วทำให้เย็นทันที ก่อนที่จะนำไปหมนเหียงด้วยเครื่องสไลด์แรงเหียงที่ความเร็ว 8,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นจึงเก็บส่วนใสมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร (ดัดแปลงจาก Jayasingh และคณะ, 2003)

5.3.4 การวัดค่าพารา-อะนิซีติน (*p*-AV)

การวัด *p*-AV เป็นการวัดผลิตภัณฑ์อันดับสองที่เกิดขึ้นจากการเกิดออกซิเดชันของไขมันที่บ่งชี้ถึงผลิตภัณฑ์กลุ่มที่ไม่สามารถระเหยได้ (Non-volatile decomposition products) ได้แก่ 2-alkenals และ 2,4-dienals ซึ่งสามารถวัดได้ตามวิธีของ AOCS ที่ Cd 18-90 (AOCS, 1996)

5.3.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลที่ได้จากการวัดดัชนีของการเกิดออกซิเดชันของไขมันด้วยแบบจำลองเชิงเส้นตรง (General linear model หรือ GLM) ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel รุ่น 11 ส่วนข้อมูลที่ได้จากเครื่องจุ่มอุณหภูมิลดลงจะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA ด้วยโปรแกรม Win-DAS (Wiley, Chichester, U.K.) เพื่อแยกความแตกต่างของข้อมูล ทั้งนี้เทคนิค linear discriminate analysis หรือ LDA จะถูกใช้ในการตรวจสอบความสามารถในการแยกความแตกต่างข้อมูล โดยอาศัยวิธีการของ Mahalanobis distance metric (Kemsley, 1998)

5.4 ผลการทดลอง และการวิจารณ์

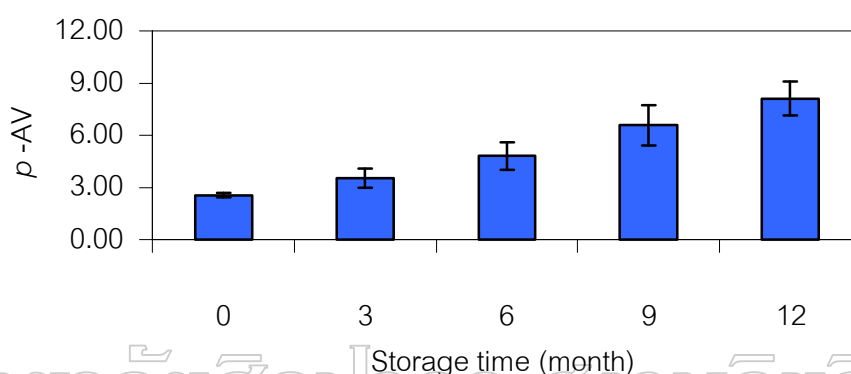
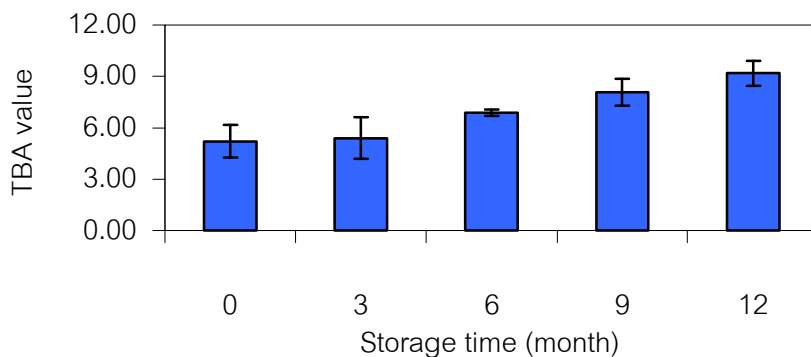
5.4.1 การเปลี่ยนแปลงดัชนีของการเกิดออกซิเดชันของไขมัน

จากผลการวิเคราะห์ค่า TBA และ *p*-AV ในผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศทุก 3 เดือนพบว่ามีการเพิ่มขึ้นของค่าทั้งสองเทียบกับเวลาในการเก็บในเชิงเส้นตรง ($r = 0.96$ และ 0.99 ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ภาพที่ 5.2) ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของค่า TBA นั้นเป็นดัชนีให้เห็นถึงระดับการเกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์โดยตรงที่มีสาเหตุมาจากสารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำมัน (Kilcast และ Subramaniam, 2000) อย่างไรก็ตามค่า TBA นี้ไม่ได้เป็นดัชนีที่สมบูรณ์ในแง่ของการวัดคุณภาพของน้ำมัน เพราะเป็นเพียงการวัดในส่วนที่เป็นสารประกอบที่ระเหยได้เท่านั้น ซึ่งสารประกอบเหล่านี้สามารถที่จะสลายไปได้ในระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษา ดังนั้นการวัด *p*-AV จึงสามารถให้ข้อมูลเพิ่มเติมได้ในส่วนที่เป็นสารประกอบที่ไม่สามารถระเหยได้ ซึ่งจะถูกวัดในรูปของ 2-alkenals และ 2,4-dienals กล่าวคือค่าดังกล่าวจะเป็นตัวแทนในการบ่งชี้ถึงระดับการเกิดออกซิเดชันด้วย (Sikorski และ Kolakowska, 2003) และจากผลการวิเคราะห์ค่าทั้งสองได้แสดงให้เห็นว่าสามารถเป็นดัชนีที่ดีในการติดตามการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากการเกิดออกซิเดชันของไขมันในผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศได้

5.4.2 การประเมินอายุการเก็บรักษาด้วยเครื่องจุมุกอิเล็กทรอนิกส์

การวัดสัญญาณตอบสนองที่ได้จาก MOS sensor ทั้ง 12 ตัวนั้นจะเกิดขึ้นภายใต้กระบวนการ 2 ขั้นตอนกล่าวคือ ขั้นแรกค่าความต้านทานทางไฟฟ้าของ Sensor ในสถานะที่เป็นอากาศบริสุทธิ์จะถูกวัดขึ้นเพื่อเป็นเก็บค่าเริ่มต้น (Baseline) จากนั้นสารประกอบที่ระเหยได้จากผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศจะถูกพาให้เข้าไปทำปฏิกิริยากับ Sensor แล้ววัดค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไป ภายใต้การควบคุมอุณหภูมิและระยะเวลาที่กำหนดไว้ ทั้งนี้สัญญาณตอบสนองที่นำมาใช้จะได้จากการคำนวณโดยปรับค่าเข้ากับสัญญาณจากค่าเริ่มต้นดังสมการ

$$(R_{\text{Baseline}} - R_{\text{Sample}}) / R_{\text{Baseline}}$$



มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

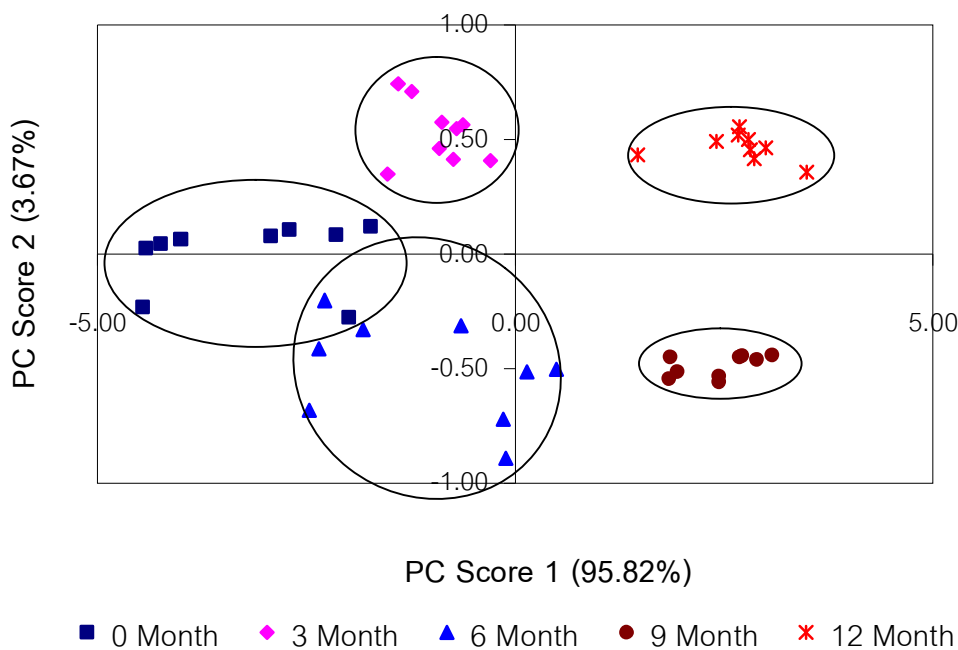
ภาพที่ 5.2 การเปลี่ยนแปลงดัชนีทางเคมีของการเกิดออกซิเดชันของไขมัน (ค่า TBA

และ p-AV) ณ เวลาการเก็บรักษาต่างๆ ในผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศ

จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA ได้แสดงให้เห็นว่าเครื่องจุ่มเกลือที่รอนิกส์ดังกล่าวสามารถแยกความแตกต่างของสารประกอบระเหยที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ ได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากเทคนิค PCA เป็นเทคนิคที่ใช้ในการจัดการข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรง (Kemsley, 1998) ซึ่งจากการนำข้อมูลที่ได้แต่ละ Sensor มาหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงโดยเปรียบเทียบกับระยะเวลาการเก็บ พบว่า Sensor ชุด LY ได้แก่ LY/LG LY/G LY/AA LY/Gh LY/gCTI และ LY/gCT (ตัวที่ 1 ถึง 6 ตามลำดับ) ให้ลักษณะแบบแผนข้อมูลที่ไม่เป็นเส้นตรง ซึ่งส่งผลต่อความผันแปรต่อการนำไปสร้างแบบแผนของข้อมูล ในขณะที่ Sensor ชุด P และ T ได้แก่ T30/1 P10/1 P10/2 P40/1 T70/2 และ PA2 (ตัวที่ 7 ถึง 12 ตามลำดับ) มีความสัมพันธ์ของสัญญาณตอบสนองเทียบกับระยะเวลาการเก็บที่เป็นเส้นตรงในทุกๆ ตัว ดังนั้นในการสร้างแผนภาพ PCA จึงนำ Sensor เพียง 6 ตัวที่อยู่ในชุด P และ T มาทำการสร้าง โดยแผนภาพที่ถูกวิเคราะห์ขึ้นจะแสดงในอันดับของ PC score ที่ 2 อันดับแรก (PC score 1

และ PC score 2) ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีระดับของความผันแปรในอันดับทั้งสองสูงถึงร้อยละ 95.82 และ 3.67 ตามลำดับ (ภาพที่ 5.3) นั้นแสดงให้เห็นว่าอันดับ PC score ทั้งสองสามารถเป็นตัวแทนในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลของรูปแบบกลิ่นในผลิตภัณฑ์โดยภาพรวมได้อย่างครอบคลุม (Sivakesava และ Irudayaraj, 2001) และเมื่อวิเคราะห์ด้วย LDA โดยใช้วิธี Mahalanobis distance metric เพื่อตรวจสอบความสามารถในการแยกความแตกต่างของชุดข้อมูลทั้ง 5 กลุ่ม พบว่าสามารถแยกความแตกต่างของชุดข้อมูลที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ ได้มากกว่าร้อยละ 95 ทั้งนี้มีจุดที่น่าสนใจประการหนึ่งจากลักษณะการซ้อนเหลื่อมกันของชุดข้อมูล ณ ตอนเริ่มต้นของการเก็บรักษา และที่ระยะเวลาการเก็บ 6 เดือน กล่าวคือข้อมูลในช่วงดังกล่าวมีการกระจายตัวของข้อมูลที่สูงกว่าการเก็บรักษาที่ระยะเวลาอื่นๆ (ภาพที่ 5.3) ซึ่งอาจเป็นผลสืบเนื่องมาจากความผันแปรของวัตถุดิบมะม่วงที่ใช้ในการผลิต โดยจะส่งผลต่อลักษณะของสารประกอบระเหยที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศตั้งแต่กระบวนการผลิตจนถึงระหว่างการเก็บรักษา

ทั้งนี้เมื่อพิจารณาถึงข้อมูลทางเทคนิคของ Sensor ที่ใช้ในแง่ของความจำเพาะเจาะจงต่อกลุ่มสารประกอบทางเคมีแล้วพบว่าในชุด P และ T นี้จะมีความไวต่อสารประกอบอินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกลิ่นที่เพิ่มขึ้น เช่น สารประกอบกลุ่มอัลดีไฮด์ (Aldehydes) เป็นต้น ในขณะที่ข้อมูลในชุด LY ที่ไม่ได้นำมาใช้นั้นพบว่าเป็นกลุ่มที่มีความไวต่อสารประกอบกลุ่มอนินทรีย์มากกว่า เช่น ก๊าซพิษต่างๆ เป็นต้น (Alpha M.O.S., 2003) จากเหตุผลดังกล่าวนี้นับเป็นผลดีในเชิงเศรษฐศาสตร์ต่อการลงทุนใช้เครื่องจุ่มอิเล็กทรอนิกส์สำหรับผู้ประกอบการหรืองานวิจัย เนื่องจากสามารถเลือกใช้ Sensor ที่เหมาะสมกับลักษณะงานที่สนใจได้ แต่ทั้งนี้เทคนิคและกระบวนการที่จะใช้ในการแยกความแตกต่างของข้อมูลก็นับเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึงเช่นกัน เนื่องจากจะเป็นประโยชน์ในกรณีที่มีจำนวนของกลุ่มข้อมูลมีขนาดใหญ่ และ/หรือกลุ่มข้อมูลที่ได้ยังไม่สามารถวิเคราะห์ได้อย่างชัดเจน ดังนั้นประโยชน์ที่ได้จากการเลือกใช้เทคนิคและกระบวนการในการจัดการข้อมูลที่เหมาะสมจะนำมาซึ่งความยืดหยุ่นในการวิเคราะห์ คือ การใช้เวลาสำหรับการวิเคราะห์ที่น้อยลง การเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ และการแปลผลการวิเคราะห์ที่ดีขึ้น (Pardo และคณะ, 2000)

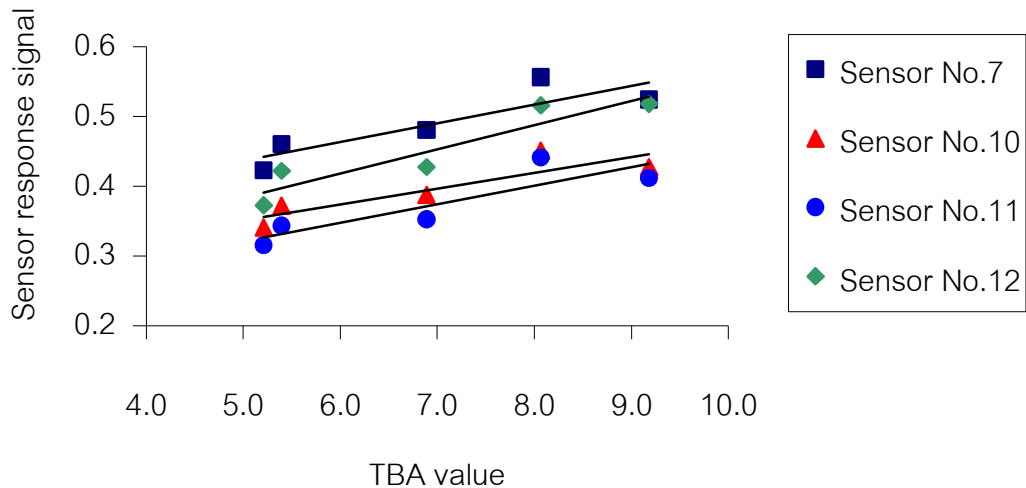


ภาพที่ 5.3 การแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลกลิ่นในผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศที่ได้จากเครื่องจุ่มอิเล็กทรอนิกส์ที่เวลาการเก็บรักษาต่างๆ ด้วยเทคนิค PCA

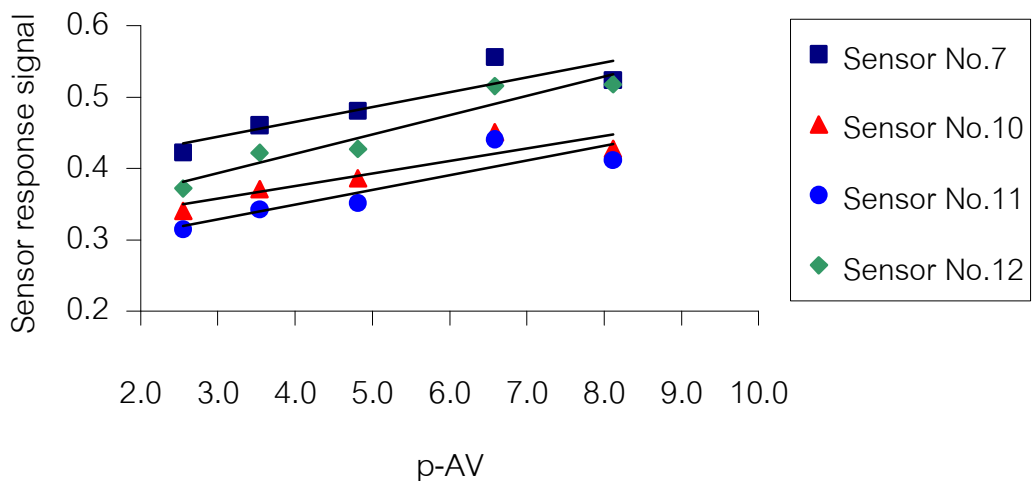
นอกจากนี้พบว่า การเปลี่ยนแปลงดัชนีของการเกิดออกซิเดชันของไขมันในผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์ในลักษณะการเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับสัญญาณตอบสนองที่ได้จากเครื่องจุ่มอิเล็กทรอนิกส์ ทั้งนี้ความแตกต่างในการตอบสนองของ Sensor จะขึ้นอยู่กับระดับความจำเพาะเจาะจงต่อ Sensor แต่ละตัว และความเป็นขั้วของสารประกอบระเหยที่เกิดขึ้น ณ ส่วนบนของขวดแก้ว (Headspace) ในระหว่างการวิเคราะห์ด้วย (Innawong และคณะ, 2004) ซึ่งเมื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์พบว่า Sensor ตัวที่ 7 10 11 และ 12 ให้ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่ดี (r) กับดัชนีของการเกิดออกซิเดชันของไขมัน ตั้งแต่ 0.76 ถึง 0.92 (ภาพที่ 5.4) โดย Sensor ตัวที่ 12 ให้ลักษณะความสัมพันธ์ที่ดีที่สุดทั้งค่า TBA และ p -AV ($r = 0.86$ และ 0.92 ตามลำดับ) นั่นแสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะประเมินการเปลี่ยนแปลงดัชนีของการเกิดออกซิเดชันของไขมันทั้งสองค่าด้วยค่าตอบสนองจากเครื่องจุ่มอิเล็กทรอนิกส์

เครื่องจุ่มอิเล็กทรอนิกส์สามารถเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการติดตามการเกิดออกซิเดชันของไขมันในผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศได้ และมีศักยภาพที่จะนำมาใช้ประเมินอายุการเก็บรักษาในระหว่างการเก็บรักษาและจำหน่าย ทั้งนี้ต้องอาศัยการเก็บและพัฒนาข้อมูล

ให้เพิ่มมากขึ้นเพื่อให้สามารถรองรับในการตรวจสอบได้ครอบคลุมในทุกๆ ความผันแปรของผลิตภัณฑ์ รวมถึงต้องทำการทวนสอบความถูกต้องโดยใช้ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากหลายๆ ช่วงการผลิตมาประเมินจริงเพื่อดูความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของชุดข้อมูลที่ถูกพัฒนาขึ้นมา ซึ่งจะเป็นการสร้างเชื่อมั่นให้กับการใช้งานจากชุดข้อมูล



มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



ภาพที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีจากการเกิดออกซิเดชันของไขมันกับสัญญาณตอบสนองที่ได้จากเครื่องจุ่มกิโลกรัมในผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศ

การศึกษาต่อเพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบรวมกับการวิเคราะห์เชิงปริมาณด้วยเครื่อง Gas chromatography-mass spectroscopy (GC-MS) จึงเป็นประเด็นที่ควรศึกษาต่อยอด เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่เป็นประโยชน์มากขึ้นในการประเมินการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา รวมถึงการศึกษาด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีชนิดของ Sensors ที่แตกต่างกันออกไป เพื่อใช้บ่งชี้ถึงความเหมาะสมของ Sensors แต่ละชนิดในการใช้งานลักษณะต่างๆ ต่อไป

5.5 สรุปผลการทดลอง

เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนนับเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการติดตามการเกิดออกซิเดชันของไขมันในผลิตภัณฑ์ผลไม้ทอด รวมถึงการประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เหล่านั้น ซึ่งจากผลการเลือกใช้ Sensor ที่เหมาะสม และการใช้เทคนิค PCA ในการวิเคราะห์ ทำให้สามารถแยกความแตกต่างของรูปแบบกลิ่นที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศได้อย่างชัดเจน อีกทั้งยังแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างข้อมูลที่ได้จากเครื่องดังกล่าวกับดัชนีทางเคมีที่เปลี่ยนแปลงไปจากการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้อย่างดี

5.6 เอกสารอ้างอิง

Alpha MOS. 2002. Technical note: Sensors used in the FOX. Toulouse, France: Alpha MOS.

AOAC. 1995. Official methods of analysis of AOAC international. 16th ed., Vol. 2. Arlington, VA: AOAC.

AOCS. 1996. Official and tentative methods of the American oil chemists's society methods. 5th ed., Vol. 1. Champaign: AOCS.

Berna AZ, Lammertyn J, Saevels S, Natale CD, Nicolai BM. 2004. Electronic nose systems to study shelf life and cultivar effect on tomato aroma profile. *Sens Actuators B Chem* 97:324-33.

Capone S, Epifani M, Quaranta F, Siciliano P, Taurino A, Vasanelli L. 2001. Monitoring of rancidity of milk by means of an electronic nose and a dynamic PCA analysis. *Sens Actuators B Chem* 78:174-9.

Dutta R, Kashwan KR, Bhuyan M, Hines EL, Gardner JW. 2003. Electronic nose based tea quality standardization. *Neural Networks* 16:847-53.

Gardner J, Bartlett P. 1994. A brief history of electronic nose. *Sens Actuator B Chem* 18/19:211.

Innawong B, Mallikarjunan P, Marcy JE. 2004. The determination of frying oil quality using a chemosensory system. *Lebensm-Wiss Technol* 37:35-41.

Jaswir I, Che Man YB, Kitts DD. 2000. Use of natural antioxidants in refined palm olein during repeated deep-fat frying. *Food Res Int* 33(6):501-8.

Jayasingh P, Cornforth DP. 2003. Comparison of antioxidant effects of milk mineral, butylated hydroxytoluene and sodium tripolyphosphate in raw and cooked ground pork. *Meat Sci* 66:83-9.

Kemsley EK. 1998. Case Studies. In: Kemsley E.K. Discriminant Analysis and Class modeling of spectroscopic data. Chichester, U.K.: John Wiley & Sons Ltd. 179 p.

- Kilcast D, Subramaniam P. 2000. The stability and shelf-life of food. Cambridge, England: Wood Head Publishing. 340 p.
- Martin YG, Oliveros MCC, Pavon JLP, Pinto CG, Cordero BM. 2001. Electronic nose based on metal oxide semiconductor sensors and pattern recognition techniques: characterisation of vegetable oils. *Anal Chem Acta* 449:69-80.
- Natale CD, Macagnano A, Paolesse R, Mantini A, Tarizza E, D'Amico A, Sinesio F, Bucarelli M, Moneta E, Quaglia GB. 1998. Electronic nose and sensorial analysis: comparison of performances in selected cases. *Sens Actuators B Chem* 50:242-52.
- Pardo M, Sberveglieri G, Gardini S, Dalcanale E. 2000. A hierarchical classification scheme for an Electronic Nose. *Sens Actuators B Chem* 69:359-65.
- Rajamaki T, Alakomi HL, Ritvanen T, Skytta E. 2006. Application of an electronic nose for quality assessment of modified atmosphere packed poultry meat. *J Food Control* 17:5-13.
- Sikorski ZE, Kolakowska A. 2003. Chemical and functional properties of food lipids. Washington, D.C., U.S.A.: CRC Press. 664 p.
- Sivakesava S, Irudayaraj J. 2001. Prediction of inverted cane sugar adulteration of honey by Fourier transform infrared spectroscopy. *J. Food Sci* 66(7):972-8.
- Trihaas J, Vognsen L, Nielsen PV. 2005. Electronic nose: New tool in modeling the ripening of Danish blue cheese. *Int. Dairy J* 15:679-91.
- Vinaixa M, Vergara A, Duran C, Llobet E, Badia C. 2005. Fast detection of rancidity in potato crisps using e-nose based on mass spectrometry or gas sensors. *Sens Actuators B Chem* 106:67-75.

บทที่ 6

บทสรุป

การศึกษาเกี่ยวกับอายุการเก็บรักษาในผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศจำเป็นต้องเข้าใจถึงปัจจัยที่เป็นดัชนีบ่งชี้ต่อการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เพราะการเสื่อมคุณภาพย่อมส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาโดยตรง ทั้งนี้ลักษณะการเสื่อมเสีย หรือเสื่อมคุณภาพอันเนื่องมาจากจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ดังกล่าวไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณา เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่แห้งคือมีค่าวอเตอร์แอกติวิตีต่ำกว่า 0.6 ดังนั้นการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และทางเคมีจึงเป็นสิ่งสมควรให้ความสำคัญ เพราะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพนั้นส่งผลต่อคุณลักษณะด้านความกรอบ และสี ของผลิตภัณฑ์ ส่วนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจะส่งผลต่อคุณลักษณะด้านกลิ่น โดยเฉพาะการเกิดกลิ่นหืน เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำมันเป็นองค์ประกอบ โดยจากการวิจัย พบว่าประสิทธิภาพในการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ และควบคุมขั้นตอนการบรรจุที่ดี สามารถป้องกันการเปลี่ยนแปลง หรือเสื่อมคุณภาพทางกายภาพได้เป็นอย่างดีตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ดังนั้นการพิจารณาเพื่อหาดัชนีบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์จึงมุ่งประเด็นไปที่การเปลี่ยนแปลงจากปฏิกิริยาเคมีเป็นสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันของไขมัน

การเกิดออกซิเดชันของไขมันเป็นปฏิกิริยาที่มีหลายช่องทางการเกิด และมีสารประกอบเกิดขึ้นจากการเกิดปฏิกิริยาย่อยหลายๆ ปฏิกิริยา การวัดปฏิกิริยาดังกล่าวในผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศจึงมุ่งไปที่การวัดผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย (Final oxidative products) เนื่องจากเป็นสารประกอบที่มีโอกาสการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างได้น้อย ทำให้สามารถตรวจติดตามได้อย่างมีประสิทธิภาพ ค่ากรดโทโอบาร์บิทอริก (TBA) และค่าพารา-อะนิซินิน (*p*-AV) ต่างก็เป็นการวัดถึงปริมาณสารประกอบจากผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายของการเกิดออกซิเดชันของไขมัน ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการติดตามอายุการเก็บรักษาได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่เป็นเส้นตรงที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ แต่การจะนำค่าดังกล่าวมาใช้พยากรณ์นั้นจำเป็นต้องมีข้อมูลที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์เป็นจำนวนมาก เพื่อให้รูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่ได้มีความชัดเจน และสามารถครอบคลุมได้ในทุกๆ กรณีของความผันแปรจากสภาวะกระบวนการผลิต และสภาวะการเก็บรักษา

นอกจากนี้ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักจลนศาสตร์สามารถช่วยให้เราสามารถประเมินถึงการเปลี่ยนแปลงการเกิดออกซิเดชันของไขมันเมื่อสภาวะการเก็บรักษามีความผันแปร โดยเฉพาะอุณหภูมิในการเก็บรักษา ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศ เนื่องจากอุณหภูมิจัดเป็นตัวเร่งการเกิดออกซิเดชันของไขมันที่ดี และจากการวิจัยพบว่าค่า TOTOX หรือค่าการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้งหมด (Total Oxidation คำนวณได้จาก ค่าเปอร์ออกไซด์ + (2 x พาราอะนิซีน)) สามารถนำมาใช้วิเคราะห์เพื่อประเมินหาอัตราการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาได้อย่างชัดเจน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยพบว่าที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส ค่าคงที่อัตราปฏิกิริยา (k) ไม่แตกต่างกันมากนัก (เพิ่มขึ้นร้อยละ 35.7) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียสพบว่าการเพิ่มขึ้นของค่าคงที่อัตราปฏิกิริยาอย่างเห็นได้ชัดถึงร้อยละ 67.1 แสดงให้เห็นว่าการควบคุมอุณหภูมิมีบทบาทสำคัญอย่างมากต่อการควบคุมอายุการเก็บรักษา เพราะอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย อาจส่งผลให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้นเป็นเท่าตัว

การนำเทคโนโลยีเข้ามาใช้สำหรับติดตามอายุการเก็บรักษาก็เป็นอีกกระบวนการหนึ่งที่ต้องให้ความสนใจ เพราะใช้เวลาในการวิเคราะห์ที่เร็ว และให้ความแม่นยำสูง หากมีการจัดการข้อมูลที่ดี ซึ่งเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic nose) จัดเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่น่าสนใจนำมาใช้เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบกลิ่นที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศ ซึ่งได้ทำการมุ่งประเด็นไปที่ลักษณะของกลิ่นที่เกิดจากออกซิเดชันของไขมัน โดยทำการศึกษาความสัมพันธ์ร่วมกับการวัดค่าทางเคมี ซึ่งพบว่ามีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาที่ไปในทิศทางเดียวกันกับค่าตอบสนองที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ จากผลการทดลองนี้ทำให้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการนำเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์มาประยุกต์ใช้ในแง่การติดตามการเปลี่ยนแปลงรูปแบบกลิ่นในผลิตภัณฑ์อาหารได้ ซึ่งหากมีการนำไปใช้จริงก็ควรที่จะเก็บข้อมูลของผลิตภัณฑ์ให้มากมายเพียงพอ เพื่อสร้างแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบกลิ่นได้อย่างแม่นยำ ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาในการตรวจติดตาม และประเมินคุณภาพ และอายุการเก็บรักษาได้มาก

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นายคงวุฒิ นรินทร์สุข
ที่อยู่	114/29 ถนนบ้านปากแตร ตำบลบ้านโป่ง อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี รหัสไปรษณีย์ 70110 โทรศัพท์ 085-827-2860
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2541	สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย (วิทย์-คณิต) โรงเรียนรัตนราษฎร์บำรุง อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี
พ.ศ. 2545	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
พ.ศ. 2547	ศึกษาต่อระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2549	ผู้จัดการทั่วไป บริษัท ฟู้ด อินโนเวชั่น แอนด์ ดีไซน์ จำกัด
พ.ศ. 2548	อาจารย์พิเศษ ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
พ.ศ. 2547	ผู้ช่วยอาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
พ.ศ. 2546	หัวหน้าส่วนงานว่าจ้างผลิต (Outsourcing) บริษัท มาลีสามพราน จำกัด (มหาชน)
ผลงานทางวิชาการ	
พ.ศ. 2549 (31 ส.ค.)	วิทยากรบรรยาย เรื่อง “เทคนิคการยืดอายุและประเมินอายุการเก็บ รักษาในผลิตภัณฑ์อาหาร” บริษัท ฟู้ด อินโนเวชั่น แอนด์ ดีไซน์ จำกัด โรงแรม เอส.ดี. อเวนิว กรุงเทพมหานคร
พ.ศ. 2549 (15-16 มิ.ย.)	การนำเสนอโปสเตอร์ทางวิชาการ เรื่อง “การประเมินอายุการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศด้วยเครื่องจุ่มกิโลลิทรอนิกส์” การประชุมสัมมนาวิชาการอุตสาหกรรมอาหาร ครั้งที่ 8
พ.ศ. 2549 (30 ม.ค.-2 ก.พ.)	การบรรยายทางวิชาการ เรื่อง “การประเมินอายุการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์มะม่วงทอดสุญญากาศด้วยเครื่องจุ่มกิโลลิทรอนิกส์” การประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 44 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์