

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวบรรจุถุงปิดสนิท :

กรณีศึกษาทุเรียนทอดกรอบ

PREDICTING SHELF LIFE OF PACKED SNACK FOOD PRODUCTS :

CASE STUDY ON DURIAN CHIPS



โดย
นางสาวกนกวรรณ บัวจันทร์
นายกฤษชัย ถนอมสุข
นางสาวณัฐฉาพร จิระกิจกุล

อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์
อาจารย์เอกสิทธิ์ ศรีธรรม

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... **61723**
วัน,เดือน,ปี. **2.1 ก.ค. 2549**

b. **11583885**
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอาหาร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2547

ภาควิชา วิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวบรรจุถุงปิดสนิท :

กรณีศึกษาทุเรียนทอดกรอบ

PREDICTING SHELF LIFE OF PACKED SNACK FOOD PRODUCTS :

CASE STUDY ON DURIAN CHIPS

ผู้จัดทำ

- | | | |
|-----------------------------|--------------|----------|
| 1. นางสาวกนกรรณ บัวจันทร์ | รหัสประจำตัว | 44010629 |
| 2. นายกฤษชัย ถนอมสุข | รหัสประจำตัว | 44010634 |
| 3. นางสาวณัฐฐาพร จิระกิจกุล | รหัสประจำตัว | 44010689 |

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์

(ผศ.ดร. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ. เอกสิทธิ์ ศรีธรรม)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวบรรจุถุงปิดสนิท :

กรณีศึกษาทุเรียนทอดกรอบ

นางสาวกนกวรรณ บัวจันทร์

นายกฤษชัย ถนอมสุข

นางสาวณัฐฐาพร จิระกิจกุล

ผศ.ดร. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์เอกสิทธิ์ ศรีธรรม อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2548

บทคัดย่อ

กราฟไอโซเทอร์มแบบดูความชื้นของทุเรียนทอดกรอบที่อุณหภูมิ 20 , 40 และ 60 องศาเซลเซียส สามารถอธิบายได้ดีด้วยแบบจำลองของ Modified Halsey เมื่อนำกราฟที่ได้ เปรียบเทียบกับเส้นกราฟของขนมขบเคี้ยวชนิดอื่นได้แก่ แอปเปิลอบกรอบ มันฝรั่งทอดกรอบ และขนมข้าวโพดอบกรอบ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่าในช่วงวอเตอร์แอกติวิตีต่ำกว่า 0.25 ความชื้นของผลิตภัณฑ์ทุกชนิดจะมีค่าไม่แตกต่างกันมาก แต่เมื่อช่วงวอเตอร์แอกติวิตีที่มีค่าสูงกว่า 0.25 ความชื้นของทุเรียนทอดกรอบ จะเพิ่มขึ้นน้อยกว่าแอปเปิลอบกรอบ แต่มากกว่าของมันฝรั่งทอดกรอบ และขนมข้าวโพดอบกรอบ จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าทุเรียนทอดกรอบมีค่าความชื้นวิกฤต (M_c) ซึ่งผลิตภัณฑ์มีความกรอบไม่เป็นที่ยอมรับ เท่ากับ 4.90 กรัม/กรัมของแห้ง มีค่าวอเตอร์แอกติวิตีเท่ากับ 0.323 ได้แสดงการประยุกต์ใช้กราฟ ไอโซเทอร์มแบบดูความชื้น และค่าความชื้นวิกฤตเพื่อทำนายอายุการเก็บของทุเรียนทอดกรอบในบรรจุภัณฑ์ชนิด และขนาดบรรจุต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PREDICTING SHELF LIFE OF PACKED SNACK FOOD PRODUCTS :
CASE STUDY ON DURIAN CHIPS

Miss Kanokwan Buajan

Mr. Kritchai Thanomsuk

Miss Nutthaporn Jirakitkul

Assist. Prof. Pimpen Pornchaloempong Advisor

Lec. Eakasit Srithum Advisor

2005

Abstract

Modified Halsey's model gave the best description of the experiment data of water adsorption isotherm in durian chips at temperature of 20 , 40 และ 60 °C. The water adsorption isotherm of durian chips and those of apple chips, potato chips and corn snacks at 20 °C were compared. At water activity less than 0.25, moisture content of these products were almost the same. However, at water activity higher than 0.25 increasing of the moisture content in durian chips was lower than apple chips but higher than potato chips and corn snacks. The critical moisture content, which the durian chip had unaccepted crispiness was found at 4.90 gH₂O/g solid at water activity 0.323. Application of found value for shelf life prediction of durian chips in different package were demonstrated.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรเล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากท่านอาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ. ดร. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะ ช่วยตรวจสอบและแก้ไขปัญหา
ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดี

ขอขอบพระคุณ อ. เอกสิทธิ์ ศรีธรรม อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ
ตลอดจนข้อชี้แนะต่างๆ

ขอขอบคุณคุณอมรรัตน์ ที่ช่วยพาไปซื้อทุเรียนทอดกรอบจากแหล่งผลิต

ขอขอบคุณสวนยายคา อ.เมือง จ.ระยอง สำหรับทุเรียนทอดกรอบที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณพี่น้ำ พี่แมน และ พี่บุญนำ ที่อำนวยความสะดวกเรื่องการใช้สถานที่และการ
ใช้อุปกรณ์ต่างๆระหว่างทำการทดลอง

สุดท้ายต้องขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อน้องและเพื่อนๆ ภาควิชาวิศวกรรมอาหารที่ช่วยเหลือใน
การทดสอบทางประสาทสัมผัส

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากปริญญาบัตรเล่มนี้ ขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่ง
เป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอด
ประสบการณ์ที่ดีมากมาย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูปภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับทุเรียน	3
2.2 ความชื้น	5
2.3 วอเตอร์แอกติวิตีในอาหาร	6
2.4 ไอโซเทอร์มแบบคู่ความชื้น	11
2.5 บรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร	15
2.6 ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร	18
บทที่ 3 การทดลอง	20
3.1 ตัวอย่างทุเรียนทอดกรอบ	20
3.2 วิธีการทดลอง	20
3.3 การทดสอบความถูกต้อง	23
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	24
4.1 ไอโซเทอร์มแบบคู่ความชื้นของทุเรียนทอดกรอบ	24
4.2 การหาความชื้นวิกฤต	31
4.3 การหาค่าความกรอบ	32
4.4 การทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุแล้ว	34
4.5 การทดสอบความถูกต้อง	36
4.6 การนำเสนอการมาประยุกต์ใช้	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	41
บรรณานุกรม	42
ภาคผนวก	44
ภาคผนวก ก.	45
ภาคผนวก ข.	51
ภาคผนวก ค.	58
ภาคผนวก ง.	70
ภาคผนวก จ.	72
ภาคผนวก ฉ.	74
ประวัติผู้เขียน	76



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เนื้อที่ ผลผลิต ผลผลิตต่อไร่ ของทุเรียน ปีเพาะปลูก 2536/37-2545/46	3
2.2 คุณค่าทางโภชนาการของทุเรียนพันธุ์หมอนทอง และก้านยาว	4
2.3 ตัวอย่างจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหารที่ระดับ a_w ต่าง	9
2.4 สมการสำหรับวิเคราะห์ไอโซเทอร์ม	13
4.1 ความชื้นของทุเรียนทอดกรอบที่อุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์สมดุลต่างๆ	24
4.2 เปรียบเทียบค่าประมาณของตัวแปรต่างๆ โดยใช้แบบจำลองของทุเรียนทอดกรอบ แสดงคะแนนการยอมรับความกรอบและความชอบผลิตภัณฑ์ทุเรียนทอดกรอบ ที่ระดับความชื้นต่างๆ	31
4.4 แสดงค่าความกรอบและความแข็งของทุเรียนทอดกรอบที่ค่าวอเตอร์แอกติวิตีต่างๆ	33
4.5 อายุการเก็บของทุเรียนทอดกรอบที่ได้จากการทำนายโดยใช้สมการเปรียบเทียบกับอายุการเก็บที่ได้จากการเก็บทดสอบจริง	35
ก.1 ค่า k_1 และ k_2 ของสารละลายเกลือ	46
ก.2 ค่าวอเตอร์แอกติวิตีของทุเรียนทอดกรอบที่อุณหภูมิต่างๆ	47
ก.3 ข้อมูลจากการทดลองหาความชื้นสมดุลของตัวอย่างทุเรียนทอดกรอบที่อุณหภูมิต่างๆ	48
ก.4 ความชื้นสมดุลของตัวอย่างทุเรียนทอดกรอบเปรียบเทียบกับความชื้นจากการทำนายโดยใช้แบบจำลองของ Halsey ที่อุณหภูมิต่างๆ	49
ก.5 แสดงความชื้นที่วัดได้จากการเก็บทดสอบจริง	50
ข.1 แสดงค่า K ของบรรจุภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ ในหน่วย $gH_2O \cdot mm / m^2 \cdot day$	54
ข.2 แสดงค่า K ของบรรจุภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ ในหน่วย $gH_2O / m^2 \cdot 24h$	55
ข.3 แสดง Permeability Units Conversion	56
ข.4 แสดงค่า K ของบรรจุภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ ในหน่วย $gH_2O \cdot m / m^2 \cdot day \cdot mmHg$	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 อิทธิพลของวอเตอร์แอกติวิตี ต่ออัตราการเสื่อมเสียคุณภาพของอาหาร	8
2.2 การสูญเสียความกรอบของอาหารในค่า a_w ต่าง ๆ กัน	10
2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ปริมาณความชื้น และค่าวอเตอร์แอกติวิตี	11
2.4 ตัวอย่าง ไอโซเทอร์มแบบคูดและคายความชื้น ซึ่งมีรูปแบบ Sigmoidal	12
2.5 ไอโซเทอร์มของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยว	14
2.6 การถ่ายเทความชื้นผ่านบรรจุภัณฑ์อาหาร	16
3.1 การกดหัวคดลงบนตัวอย่างทุเรียนทอดกรอบที่วางอยู่บน Support insert	22
4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (EMC) และความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (ERH) ของทุเรียนทอดกรอบที่อุณหภูมิต่างๆ	25
4.2 การกระจายของ residual error สำหรับทุเรียนทอดกรอบทำนายโดยใช้แบบจำลองของ Modified Henderson	26
4.3 การกระจายของ residual error สำหรับทุเรียนทอดกรอบทำนายโดยใช้แบบจำลองของ Modified Chung-Pfost	27
4.4 การกระจายของ residual error สำหรับทุเรียนทอดกรอบทำนายโดยใช้แบบจำลองของ Modified Halsey	27
4.5 การกระจายของ residual error สำหรับทุเรียนทอดกรอบทำนายโดยใช้แบบจำลองของ Modified Oswin	28
4.6 การกระจายของ residual error สำหรับทุเรียนทอดกรอบทำนายโดยใช้แบบจำลองของ Modified GAB	28
4.7 เส้นกราฟไอโซเทอร์มแบบคูดความชื้นของทุเรียนทอดกรอบที่อุณหภูมิต่างๆ ทำนายโดยแบบจำลองของ Halsey เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองจริง	29
4.8 เปรียบเทียบกราฟไอโซเทอร์มแบบคูดความชื้นของแอปเปิลอบกรอบ มันฝรั่งทอดกรอบ ขนมข้าวโพดอบกรอบและทุเรียนทอดกรอบ	30
4.9 ผลของความชื้นที่มีต่อคะแนนความกรอบผลิตภัณฑ์ทุเรียนทอดกรอบ	31
4.10 ผลของความชื้นที่มีต่อคะแนนความชอบผลิตภัณฑ์ทุเรียนทอดกรอบ	32
4.11 ผลของวอเตอร์แอกติวิตีที่มีต่อความกรอบของทุเรียนทอดกรอบ	33
4.12 ผลของวอเตอร์แอกติวิตีที่มีต่อความแข็งของทุเรียนทอดกรอบ	34
4.13 แสดงค่า M_i , M_c และ M_e บนเส้นกราฟไอโซเทอร์ม	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 เปรียบเทียบความชื้นที่ได้จากการทำนาย และความชื้นที่ได้จากการเก็บจริง ของบรรจุภัณฑ์ชนิด Polypropylene (PP) ขนาด 5" x 8"	36
4.15 เปรียบเทียบความชื้นที่ได้จากการทำนาย และความชื้นที่ได้จากการเก็บจริง ของบรรจุภัณฑ์ชนิด Polypropylene (PP) ขนาด 7" x 11"	37
4.16 เปรียบเทียบความชื้นที่ได้จากการทำนายและความชื้นที่ได้จากการเก็บจริง ของบรรจุภัณฑ์ชนิด Isotactic Polypropylene (IPP) ขนาด 5" x 8"	37
4.17 เปรียบเทียบความชื้นที่ได้จากการทำนายและความชื้นที่ได้จากการเก็บจริง ของบรรจุภัณฑ์ชนิด Isotactic Polypropylene (IPP) ขนาด 7" x 11"	38
4.18 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บและความหนาของบรรจุภัณฑ์ชนิด Aluminum metallized PET/PE ซึ่งมีค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ (K) เท่ากับ $0.6475 \times 10^{-6} \text{ gH}_2\text{O} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{day} \cdot \text{mmHg}$ ขนาดเล็ก 21 กรัม และใหญ่ 95 กรัม ของทุเรียนทอดกรอบและมันฝรั่งทอดกรอบ	39
4.19 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บและน้ำหนักของทุเรียนทอดกรอบที่ บรรจุในบรรจุภัณฑ์ชนิด Isotactic Polypropylene (IPP) ขนาด 5" x 8" และ 7" x 11"	40
ง.1 การวิเคราะห์ค่าความกรอบจากกราฟ	71
ง.2 การวิเคราะห์ค่าความแข็งจากกราฟ	71
ฉ.1 ทุเรียนทอดกรอบในถุงปิดสนิท	74
ฉ.2 เครื่องวัดเนื้อสัมผัสของอาหาร	74
ฉ.3 เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี	75
ฉ.4 บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลอง	75

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ทุเรียนทอดเป็นผลิตภัณฑ์ผลไม้แปรรูปที่มักพบเห็นวางขายทั่วไป ในรูปของการบรรจุใส่ในถุงพลาสติกบางใส ตามตลาดต่างจังหวัดแถบภาคตะวันออก และภาคใต้ เนื่องจากเป็นแหล่งผลิตทุเรียนดิบของประเทศไทย การแปรรูปทุเรียนโดยการทอด นอกจากจะยืดอายุการเก็บแล้ว ยังเพิ่มมูลค่า และได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะต่างไปจากผลิตภัณฑ์เดิม ซึ่งเหมาะกับผู้ที่ไม่สามารถรับประทานทุเรียนสดได้ เนื่องจากกลิ่นที่ฉุน

ปัจจุบันได้มีผู้คิดพัฒนาผลิตภัณฑ์ทุเรียนทอดกรอบให้แตกต่างจากเดิม ทั้งรูปแบบบรรจุภัณฑ์ รสชาติ ทั้งมาตรฐานความสะอาด ที่สามารถส่งออกได้ทั้งในยุโรป และเอเชีย

เนื่องจากทุเรียนทอดกรอบเป็นผลิตภัณฑ์อาหารประเภทไวต่อความชื้น (Moisture sensitive food product) ซึ่งจะดูดความชื้นจากอากาศ ทำให้มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นเป็นสาเหตุของการเสื่อมคุณภาพจนไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ปริมาณความชื้นจึงเป็นสิ่งที่กำหนดการยอมรับของผู้บริโภค หรืออายุการเก็บ ดังนั้นการเลือกใช้ภาชนะบรรจุที่เหมาะสมสำหรับทุเรียนทอดกรอบ นอกจากจะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของทุเรียนทอดกรอบแล้ว จำเป็นต้องทราบถึงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำภาชนะบรรจุด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติด้านการยอมให้อิอน้ำซึมผ่านได้ (Water vapor permeability) ของวัสดุ เพื่อให้สอดคล้องกับอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ ซึ่งอายุการเก็บจะนานเพียงใด ขึ้นกับความต้องการของผู้ผลิต สภาพการวางขายและตลาด การศึกษาอายุการเก็บมีหลายวิธี เช่น การบันทึกจำนวนวันที่ใช้เก็บจริง การใช้วิธีเร่งสภาวะการเก็บ (Accelerated test) หรือการใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical models) เป็นต้น (มยุรี ภาคกล้าเจียก)

เนื่องจากการศึกษาอายุการเก็บผลิตภัณฑ์โดยการบันทึกจำนวนวันที่ใช้เก็บจริงจะใช้ระยะเวลาอันยาวนานและยุ่งยาก เนื่องจากมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องหลายชนิด เช่น คุณสมบัติในการยอมให้อิอน้ำซึมผ่านได้ ขนาดและความหนาของบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น ดังนั้นจึงมีการนำรูปแบบทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุภายในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิทชนิดต่างๆ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการทำนายอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ทุเรียนทอดกรอบที่บรรจุภายในถุงปิดสนิทชนิดต่างๆ โดยวิธีการใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์ พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลที่ได้จากการบันทึกจำนวนวันที่ใช้เก็บจริง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวประเภทอื่นที่บรรจุในถุงปิดสนิทชนิดต่างๆ ได้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาคุณสมบัติในการดูความชื้นของผลิตภัณฑ์ทุเรียนทอดกรอบ โดยการหาไอโซเทอร์มแบบดูความชื้นของผลิตภัณฑ์ทุเรียนทอดกรอบที่อุณหภูมิ 20 ,40 และ 60 องศาเซลเซียส
2. เลือกใช้สมการที่เหมาะสมในการอธิบายลักษณะของกราฟ ไอโซเทอร์มแบบดูความชื้น
3. ทำนายอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ทุเรียนทอดกรอบที่บรรจุภายในถุงปิดสนิทชนิดต่างๆ โดยวิธีการใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์ พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลที่ได้จากการบันทึกจำนวนวันที่ใช้เก็บจริง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถทำนายอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ทุเรียนทอดกรอบที่บรรจุภายในถุงปิดสนิทและเก็บรักษาในสภาวะอุณหภูมิต่างๆ โดยวิธีการใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม
2. สามารถเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ทุเรียนทอดกรอบ เพื่อให้ได้อายุการเก็บที่นานที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับทุเรียน

ทุเรียนมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Durio zibethinus* Linn. อยู่ในวงศ์ Bombaceae เป็นไม้ผลยืนต้นขนาดใหญ่ที่ชอบอากาศร้อนชื้น ผลมีหนามแหลม เปลือกหนา เนื้อในสุกหวานหอม กลิ่นฉุนมาก ใ้รับประทานเป็นอาหาร ปลูกได้ทุกภาคในประเทศไทย ขยายพันธุ์โดยใช้วิธีตอนกิ่ง หรือใช้เมล็ด นอกจากนี้ใช้ในการบริโภคแล้ว ยังนำทุเรียนนำมาใช้เป็นยาสมุนไพรรักษาโรคได้เป็นอย่างดี

2.1.1 การผลิตทุเรียนของไทย

ทุเรียนเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของจังหวัดในภาคตะวันออก และภาคใต้ เนื่องจากสภาพที่เหมาะสมในการปลูกทุเรียน คือ มีความชื้นในอากาศสูง ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตทุเรียนรายใหญ่ของโลก มีเกษตรกรผู้ทำสวนทุเรียนกว่า 90000 ครัวเรือน ธุรกิจค้าส่งทุเรียนมีมูลค่ารวมกันทั้งสิ้น 17594.7 ล้านบาท และอาจมีมูลค่ามากกว่า 20000 ล้านบาท เมื่อแปลงเป็นมูลค่าธุรกิจค้าปลีก ทุเรียนที่นิยมปลูกในประเทศนั้น ได้แก่ พันธุ์หมอนทอง ชะนี ก้านยาว

ตารางที่ 2.1 เนื้อที่ ผลิตผล ผลิตต่อไร่ ของทุเรียน ปีเพาะปลูก 2536/37 - 2545/46

ปีเพาะปลูก	เนื้อที่เพาะปลูก (ไร่)	ผลิตผล (ไร่)	ผลิตผลต่อไร่ (กก.)
2536/37	639957	749330	1171
2537/38	644178	772561	1199
2538/39	658828	849940	1290
2539/40	671544	917689	1367
2540/41	678223	916025	1351
2541/42	693261	463942	669
2542/43	700630	780918	1115
2543/44	761225	648904	852
2544/45	781751	826366	1263
2545/46	787396	889534	1329

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 คุณลักษณะของทุเรียน

ทุเรียนที่มีลักษณะคั้นนั้น ผลควรมีขนาดไม่เล็กเกินไป มีรูปทรงและลักษณะผลตรงตามพันธุ์ เปลือกผลบาง เนื้อหนา เมล็ดมีขนาดเล็กหรือเมล็ดตาย เนื้อผลละเอียดสีเหลืองจัด รสหวานอมมัน กลิ่นไม่ฉุนจัด ทุเรียนนอกจากใช้ในการบริโภคแล้ว เกือบทุกส่วนของทุเรียนนำมาใช้เป็นยาสมุนไพรรักษาโรคได้เป็นอย่างดี นำนำมาอาบแก้โรคผิวหนังเป็นยาบำรุงร่างกาย เป็นยาแก้ปวดเสียดเสี้ย หรือ รักษาโรคผิวหนังก็ได้ ทุเรียนนั้นเป็นผลไม้ที่ให้พลังงานและไขมันสูง จึงไม่เหมาะกับคนที่ เป็นโรคเนื่องจากความอ้วน แต่ทุเรียนยังมีวิตามิน แร่ธาตุที่เป็นประโยชน์อยู่มาก

ตารางที่ 2.2 คุณค่าทางโภชนาการของทุเรียนพันธุ์หมอนทอง และก้านยาว

องค์ประกอบ	หน่วย	หมอนทอง (100 กรัม)	ก้านยาว (100 กรัม)
พลังงาน	กิโลแคลอรี	156	144
น้ำ	กรัม	62.5	57.3
คาร์โบไฮเดรต	กรัม	29.6	33.7
โปรตีน	กรัม	2.1	2.5
ไขมัน	กรัม	3.3	4.1
กาก	กรัม	1.4	1.7
แคลเซียม	มิลลิกรัม	29	18
ฟอสฟอรัส	มิลลิกรัม	34	36
เหล็ก	มิลลิกรัม	1.1	0.8
เบต้า-แคโรทีน	ไมโครกรัม	46	143
วิตามินบีหนึ่ง	มิลลิกรัม	0.16	0.22
วิตามินบีสอง	มิลลิกรัม	0.23	0.18
ไนอาซีน	มิลลิกรัม	2.5	2.8
วิตามินซี	มิลลิกรัม	35	34

ที่มา : สถาบันการแพทย์แผนไทย (2547)

2.1.3 การแปรรูปทุเรียน (การทอด)

การแปรรูปทุเรียนโดยการทอด นอกจากจะยืดอายุการเก็บแล้ว ยังเพิ่มมูลค่า และได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะต่างไปจากผลิตภัณฑ์เดิม ซึ่งเหมาะกับผู้ที่ไม่สามารถรับประทานทุเรียนสดได้ เนื่องจากกลิ่นที่ฉุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการผลิตทุเรียนทอด จะมีทั้งหมดโดยสรุป 2 ขั้นตอนหลัก คือ

ขั้นตอนที่ 1 เลือกเฉพาะทุเรียนพันธุ์หมอนทองขนาดจัมโบ้ สาเหตุที่ต้องใช้ทุเรียนหมอนทองเพราะว่าเนื้อของหมอนทองจะมีแป้งมากได้เนื้อเป็นแผ่นใหญ่เมื่อทอดแล้วจะไม่หดตัวมาก ใช้เครื่องมือสไลด์เนื้อทุเรียนเป็นแผ่นบาง ๆ จากนั้นนำไปทอดด้วยน้ำมันปาล์ม แล้วเข้าเครื่องอบให้แห้งสะเด็ดน้ำมัน นำเข้าเก็บในตู้เย็น อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส การแช่ตู้เย็นนี้จะทำให้คุณภาพคงที่ได้เป็นปี สามารถนำออกมาทยอยปรุงรสได้ตลอดปี

ขั้นตอนที่ 2 การปรุงรส สามารถปรุงได้หลายรสชาติ เช่น เค็ม (Classic) หวาน (Mellow) และคาราเมล (Caramel) การปรุงรสจะเลือกใช้เครื่องปรุงที่มีคุณภาพทั้งหมด และเน้นความสะดวก การปรุงรสต้องสังเกตว่าผู้บริโภคชอบรสไหน เช่น ญี่ปุ่น เมื่อปรุงเสร็จแล้วจะให้ทดลองชิมก่อน แล้วจึงจะผลิตตามรสนั้น ๆ จากนั้นต้องคัดคุณภาพก่อนนำไปบรรจุซอง คือคัดเลือกเฉพาะแผ่นที่มีสีเหลืองสม่ำเสมอ ที่ไหม้เกรียมสีน้ำตาลหรือแผ่นเล็ก ๆ ที่แตกคัดออก (กาญจนา จินตกานนท์. 2547)

2.2 ความชื้น

2.2.1 ความหมายของความชื้นในอาหาร

ปริมาณความชื้น (Moisture Content) เป็นปริมาณน้ำทั้งหมดที่มีอยู่ในอาหาร ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนของน้ำที่เกาะติดกับอาหาร หรือถูกใช้ไปในการสร้างพันธะต่าง ๆ เช่น พันธะไอออนิก พันธะไฮโดรเจน และอีกส่วนคือ ปริมาณน้ำอิสระที่ไม่ได้ถูกนำไปใช้ในการเกิดพันธะใด ๆ และจะอยู่ภายในช่องว่างของอาหาร (เครือข่ายข้อมูลวิทยากรหลังการเก็บเกี่ยว. 2547)

2.2.2 การหาปริมาณความชื้น (นิรนาม¹. 2547)

การหาปริมาณความชื้น โดยหลักการแล้วสามารถทำได้โดยนำวัตถุดิบที่ต้องการหาความชื้นมาชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกค่าไว้เป็น มวลวัตถุเริ่มต้น จากนั้นจึงนำมาอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลงจากนั้นบันทึกค่าไว้เป็น มวลวัตถุที่แห้ง แล้วนำมาคำนวณดังนี้

$$\% \text{ ความชื้น (โดยน้ำหนักเปียก)} = \frac{(\text{มวลวัตถุเริ่มต้น} - \text{มวลวัตถุที่แห้ง}) \times 100}{\text{มวลวัตถุเริ่มต้น}}$$

$$\% \text{ ความชื้น (โดยน้ำหนักแห้ง)} = \frac{(\text{มวลวัตถุเริ่มต้น} - \text{มวลวัตถุที่แห้ง}) \times 100}{\text{มวลวัตถุที่แห้ง}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่การใช้ตู้อบนั้นจะใช้เวลานานซึ่งส่วนใหญ่จะใช้เวลามากกว่า 4 ชั่วโมงในการอบ โดยปัจจุบันนี้มีเครื่องมือในการหาปริมาณความชื้นมากมาย

2.2.3 ความชื้นสัมพัทธ์ (ธนพลวานิช. 2547)

หน่วยวัดที่นิยมใช้ ในการวัดระดับความชื้นในอากาศ ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity - RH) ซึ่งหมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาณความชื้นที่มีอยู่จริงในอากาศกับปริมาณความชื้นที่อากาศขณะนั้นจะมีได้ ณ อุณหภูมิเดียวกัน

$$\text{ความชื้นสัมพัทธ์ (\%)} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศ} \times 100}{\text{ปริมาณน้ำที่อากาศนั้นจะมีได้ ณ อุณหภูมิเดียวกัน}}$$

ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอากาศ หรือ absolute humidity อาจเปลี่ยนแปลงไปได้ตามสภาพพื้นที่และฤดูกาล ส่วนปริมาณน้ำที่อากาศจะพึงมีได้ หรือปริมาณน้ำ ณ จุดอิ่มตัว (saturation) หรืออีกนัยหนึ่งปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอากาศซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ 100% นั้น จะเป็นค่าคงที่ ณ อุณหภูมิหนึ่งๆ หากระดับไอน้ำ ณ ขณะนั้นมากเกินกว่าความสามารถของอากาศจะรองรับได้ (> 100%) ไอน้ำจะควบแน่น (Condensation) และกลายเป็นหยดน้ำในที่สุด แรงดันไอน้ำและความสามารถในการรองรับปริมาณไอน้ำ ณ อุณหภูมิที่สูงกว่า จะมีมากกว่าแรงดันไอน้ำและความสามารถในการรองรับปริมาณไอน้ำ ณ อุณหภูมิที่ต่ำกว่า โดยเหตุนี้ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะมีผลโดยตรงต่อแรงดันไอน้ำและความสามารถดังกล่าว

หากเราทราบถึง ระดับความชื้นสัมพัทธ์ ของอากาศ ในระหว่างการบรรจุ การจัดเก็บ และการขนส่งสินค้า ก็สามารถคำนวณได้ว่า ปริมาณไอน้ำ ที่จะส่งผลเสียหายต่อสินค้านั้น มีมากน้อยเพียงไร

2.3 วอเตอร์แอกติวิตีในอาหาร

2.3.1 ความหมายของวอเตอร์แอกติวิตี

วอเตอร์แอกติวิตี (Water Activity) เป็นปริมาณน้ำอิสระที่ไม่ได้ถูกนำไปใช้ในการเกิดพันธะใด ๆ และจะอยู่ภายในช่องว่างของอาหาร เป็นโมเลกุลของน้ำที่พร้อมจะเปลี่ยนสภาวะจากของเหลวไปเป็นไอ

วอเตอร์แอกติวิตี เป็นอัตราส่วนระหว่างความดันไอในสารละลายหรือวัสดุอาหาร (p_w) และความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ (p_w^0) ที่อุณหภูมิเดียวกัน ดังนั้นที่สภาวะสมดุล วอเตอร์แอกติวิตี จะสัมพันธ์กับ ความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (Equilibrium Relative Humidity : ERH) ของสิ่งแวดล้อม ดังสมการ (Decagon device. 2004)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

a_w	=	$\frac{p_w}{p_w^0}$
ERH	=	$a_w \times$

2.3.2 ความสำคัญของวอเตอร์แอกติวิตี

วอเตอร์แอกติวิตี มีผลต่อการควบคุมอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร (เครือข่ายข้อมูลวิทยาศาสตร์การเกษตร. 2547) เนื่องจากค่าวอเตอร์แอกติวิตี เป็นปัจจัยที่สำคัญในการควบคุมและป้องกันการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหาร จึงมีผลโดยตรงต่อการกำหนดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร ในขณะที่อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และปัจจัยอื่น ๆ มีผลกระทบต่อความเร็วในการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหาร

ในระหว่างการแปรรูป การขนส่ง และการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะและคุณภาพ ซึ่งรวมถึงสี กลิ่นรส รูปร่าง ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร และคุณค่าทางโภชนาการ ผลจากกลไกเหล่านี้อาจก่อให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหาร ทำให้คุณภาพของอาหารเปลี่ยนไปอยู่ในระดับที่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคหรืออาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้ และทำให้อาหารมีอายุการเก็บสั้นลงลง ดังนั้นผู้ผลิตอาหารจึงพยายามศึกษาและหาสาเหตุที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียกับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด เพื่อทำการออกแบบและควบคุมกระบวนการผลิต เช่น การควบคุมอุณหภูมิ เวลา และความเร็วในกระบวนการผลิตให้มีมาตรฐาน สามารถควบคุมป้องกันการเสื่อมเสียของอาหาร และสามารถประเมินอายุการเก็บของอาหารให้ได้ตามระยะเวลาที่กำหนด

นอกจากการควบคุมค่าวอเตอร์แอกติวิตีแล้ว สภาวะการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ต่างกัน เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ยังส่งผลต่ออายุการเก็บด้วยเช่นกัน ตัวอย่างเช่น การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บของเค้ก กับค่าวอเตอร์แอกติวิตี เมื่อเก็บที่สภาวะอุณหภูมิต่างกัน ถ้าเค้กมีค่าวอเตอร์แอกติวิตี 0.81 จะสามารถป้องกันการเจริญของเชื้อราได้นาน 14 วัน เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส และ 24 วันเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส แต่ถ้าเค้กมีค่าวอเตอร์แอกติวิตี เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเป็น 0.85 จะพบว่าอายุการเก็บจะลดลงจากเดิมมากเหลือเพียง 8 วัน เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส และ 12 วันเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส

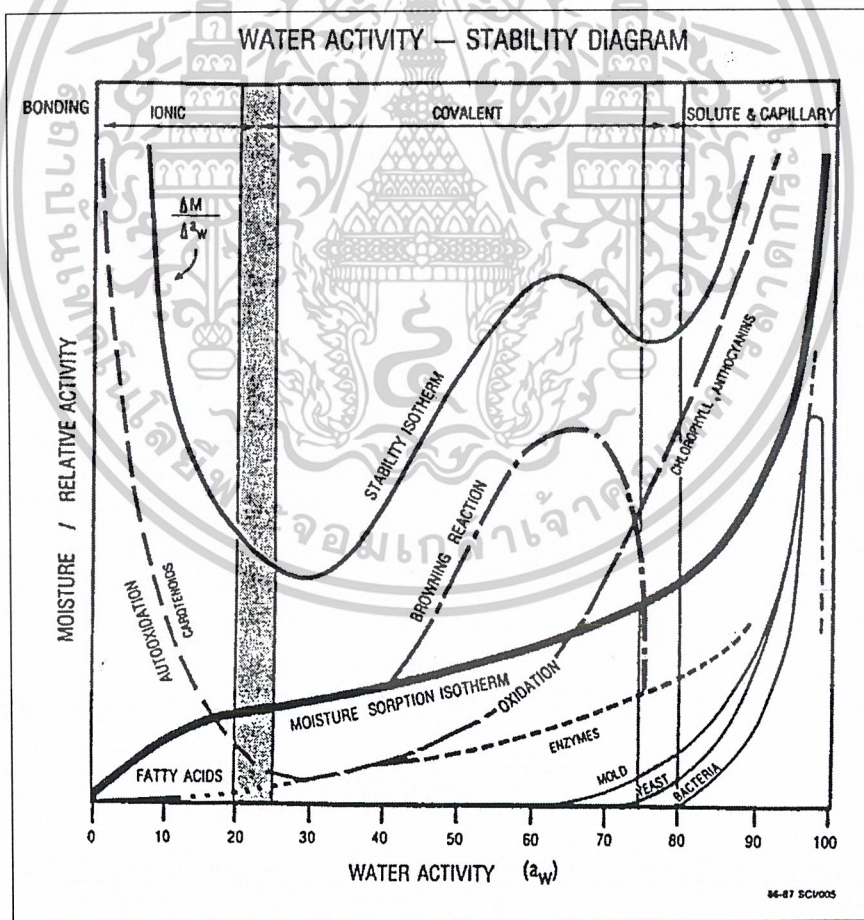
อย่างไรก็ตามเมื่อได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายแล้ว ก่อนการจำหน่ายผู้ผลิตควรมีการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ในแต่ละขั้นตอน เพื่อให้มั่นใจว่าผลิตภัณฑ์มีคุณภาพตามมาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นเครื่องมือที่ดีในการตรวจสอบคุณภาพดังกล่าว เช่น การวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี ต้องสามารถอ่านผลได้อย่างรวดเร็ว เพื่อให้ผู้ผลิตสามารถกำกับ ดูแล และควบคุมค่าวอเตอร์แอกติวิตี ณ จุดที่ทำการผลิต ทำให้สามารถปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตให้เหมาะสมและทันการณ์ได้ในระหว่างที่ทำการ

ผลิต ซึ่งการกระทำดังกล่าวถือเป็นความรับผิดชอบอย่างหนึ่งของผู้ผลิต ที่ควรคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้บริโภค

2.3.3 ผลของวอเตอร์แอกติวิตี ต่อการเสื่อมเสียของอาหาร

2.3.3.1 ความสำคัญของวอเตอร์แอกติวิตีทางด้านชีวเคมี

อาหารในธรรมชาติหรือยังไม่ผ่านการแปรรูปมีน้ำประกอบอยู่ในปริมาณมาก เช่น เนื้อสัตว์มีน้ำประกอบอยู่ 50-60% ผลไม้ 74-95% และผักสด 74-95% น้ำในอาหารดังกล่าวเป็นปัจจัยของการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี ปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในอาหารที่สำคัญ ได้แก่ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (lipid oxidation) ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolytic reaction) การเกิดสีน้ำตาล (browning reaction) รวมทั้งความสามารถของเอนไซม์ในการเร่งปฏิกิริยา (enzyme activity) ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงสี รส และกลิ่นของอาหารอย่างชัดเจน อัตราการเกิดขึ้นของปฏิกิริยาจะสอดคล้องกับปริมาณความชื้นที่มีในอาหารและค่าวอเตอร์แอกติวิตี ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ผลของวอเตอร์แอกติวิตี ต่ออัตราการเสื่อมเสียคุณภาพของอาหาร

ที่มา: Rockland and Beuchat (1987)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.2 ความสำคัญของวอเตอร์แอกติวิตีทางด้านจุลินทรีย์

การเสื่อมเสียของอาหาร โดยส่วนใหญ่เกิดจากการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ไม่ว่าจะเป็นแบคทีเรีย ยีสต์ และรา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและส่วนประกอบที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์อาหาร แต่ละชนิดที่แตกต่างกัน จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในผลิตภัณฑ์ที่มีวอเตอร์แอกติวิตีในระดับที่พอเหมาะ เรียกว่า Optimal Water Activity เมื่อวอเตอร์แอกติวิตีลดลงการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะลดลงไปด้วย จนถึงค่าวอเตอร์แอกติวิตีในระดับหนึ่ง ซึ่งจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ จุลินทรีย์แต่ละชนิดมีความต้องการปริมาณน้ำที่ใช้ประโยชน์ หรือวอเตอร์แอกติวิตีไม่เท่ากัน ระดับวอเตอร์แอกติวิตีต่ำสุดที่จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้เรียกว่า Minimal Water Activity (Minimal a_w)

เนื่องจากค่าวอเตอร์แอกติวิตีเป็นปัจจัยที่ชี้ระดับปริมาณน้ำต่ำสุดในอาหารที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ดังนั้นจึงสามารถใช้ค่าวอเตอร์แอกติวิตี ในการประเมินว่าเชื้อจุลินทรีย์ชนิดใดเป็นหรือไม่เป็นสาเหตุที่ทำให้อาหารเสีย ตลอดจนใช้ในการควบคุมและป้องกันการเสื่อมเสียของอาหารที่เกิดขึ้นจากเชื้อจุลินทรีย์ได้ เพราะเชื้อจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ภายใต้ค่าวอเตอร์แอกติวิตีที่จำกัด โดยเราจะทำให้อาหารมีค่าระดับวอเตอร์แอกติวิตีต่ำกว่าที่เชื้อจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ การผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีค่าวอเตอร์แอกติวิตีต่ำกว่า 0.6 จะช่วยควบคุมการเสียเนื่องจากจุลินทรีย์เหล่านี้ได้ ตัวอย่างของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหารและระดับของวอเตอร์แอกติวิตีที่จุลินทรีย์เหล่านี้สามารถเจริญเติบโตได้แสดงในตารางที่ 2.3 วิธีที่ง่ายที่สุดในการลดวอเตอร์แอกติวิตีในอาหารคือการกำจัดน้ำในอาหาร เช่น การทำให้สุก การอบ หรือการทำให้แห้ง กระบวนการ ที่ใช้อุณหภูมิสูง

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหารที่ระดับวอเตอร์แอกติวิตีต่าง ๆ

วอเตอร์แอกติวิตี (a_w)	จุลินทรีย์ที่ถูกยับยั้ง	ตัวอย่างอาหาร
0.800	<i>Mycotoxigenic penicillia</i> , <i>Staphylococcus aureus</i>	น้ำผลไม้เข้มข้นเกือบทุกชนิด นม ชั้นหวาน ข้าว แป้ง เค้กผลไม้ เค้กที่ใส่น้ำตาลมาก
0.750	<i>Halophilic bacteria</i> , <i>mycotoxigenic aspergilli</i>	แยม มาร์มาเลด
0.650	Osmophilic yeasts และ ราวบางชนิด	ผลไม้แห้งความชื้นประมาณ 15- 20% น้ำผึ้ง ทอฟฟี่ คาราเมล
0.600	Xerophilic molds	เยลลี่ โมลาส ถั่ว ผลไม้อบแห้งบาง ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

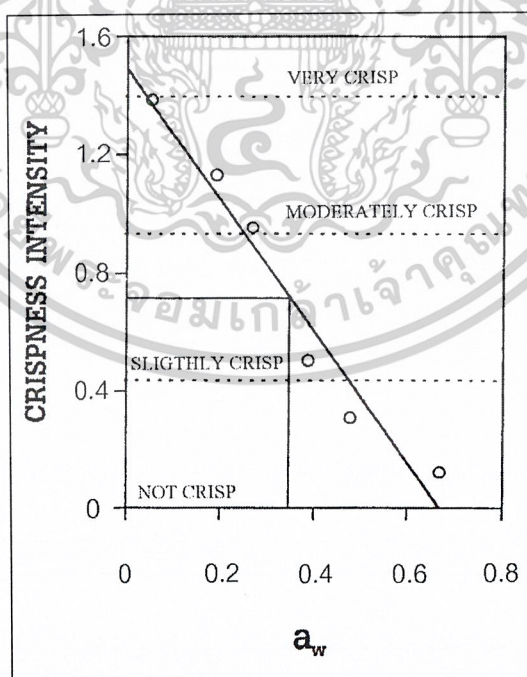
ตารางที่ 2.3 (ต่อ) ตัวอย่างจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหารที่ระดับวอเตอร์แอกติวิตีต่าง ๆ

วอเตอร์แอกติวิตี (a_w)	จุลินทรีย์ที่ถูกยับยั้ง	ตัวอย่างอาหาร
0.500		เครื่องเทศความชื้นประมาณ 10% ก๋วยเตี๋ยวความชื้นประมาณ 12%
0.400	จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้	ไข่ผง ความชื้นประมาณ 5%
0.300		คุกกี้ แครกเกอร์ความชื้นประมาณ 3-5%

ที่มา: รัตน์นท์ พรรณารุโณทัย (2547)

2.3.3.3 ความสำคัญของวอเตอร์แอกติวิตีทางด้านกายภาพ

ค่าวอเตอร์แอกติวิตีนอกจากจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่าง ๆ ในอาหารแล้ว ค่าวอเตอร์แอกติวิตียังมีผลต่อคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของอาหารด้วย ได้แก่ ในด้านความกรอบ (Crispness) ของผลิตภัณฑ์อาหารจากธัญญาพืช (Cereal-Base Product) เช่น แครกเกอร์ ขนมทอดกรอบ (Fried Snacks) และในด้านความแข็ง (Hardness) ของผลิตภัณฑ์ (วิฑูรย์ พิมพ์สวัสดิ์, 2539) แนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างค่าวอเตอร์แอกติวิตีและความกรอบของผลิตภัณฑ์อาหารดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การสูญเสียความกรอบของอาหารในค่าวอเตอร์แอกติวิตีต่าง ๆ กัน

ที่มา: Rockland and Beuchat (1987)

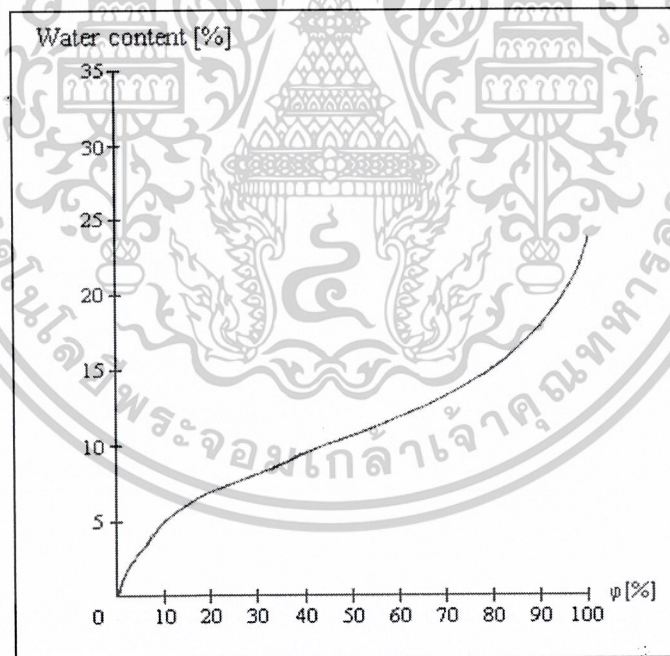
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ไอโซเทอร์มแบบดูดความชื้น

2.4.1 ความหมาย

ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (Moisture Content) และวอเตอร์แอกติวิตีเป็นเรื่องซับซ้อน เราสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และค่าวอเตอร์แอกติวิตี ของผลิตภัณฑ์หนึ่ง ๆ ได้จากการทดลองวัดค่าทั้งสองของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ณ อุณหภูมิที่คงที่ค่าหนึ่งเท่านั้น แล้วบันทึกค่าทั้งสองเปรียบเทียบกันในรูปกราฟ เรียกรูปกราฟความสัมพันธ์ที่ได้ว่า Moisture Sorption Isotherm (เครือข่ายข้อมูลวิทยาคารหลังการเก็บเกี่ยว. 2547)

วิธีการหากราฟความสัมพันธ์ (สร้างได้จากการทำการทดลองเท่านั้น) สามารถทำได้โดยนำอาหารไปใส่ในภาชนะที่ทราบค่าความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งควบคุมความชื้นสัมพัทธ์โดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัวชนิดต่าง ๆ ใส่ลงไป ในภาชนะแต่ละใบ ภาชนะที่ใช้ต้องสามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ได้เป็นอย่างดี เพื่อให้มีความชื้นสัมพัทธ์ ณ จุดต่าง ๆ จากนั้น ตั้งอาหารทิ้งไว้จนเข้าสู่สภาวะสมดุล ซึ่ง ณ จุดสมดุลนี้จะทราบค่า วอเตอร์แอกติวิตี จากนั้นวัดค่าปริมาณความชื้น (Moisture Content) แล้วนำค่าทั้งสองไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ปริมาณความชื้น และค่าวอเตอร์แอกติวิตี

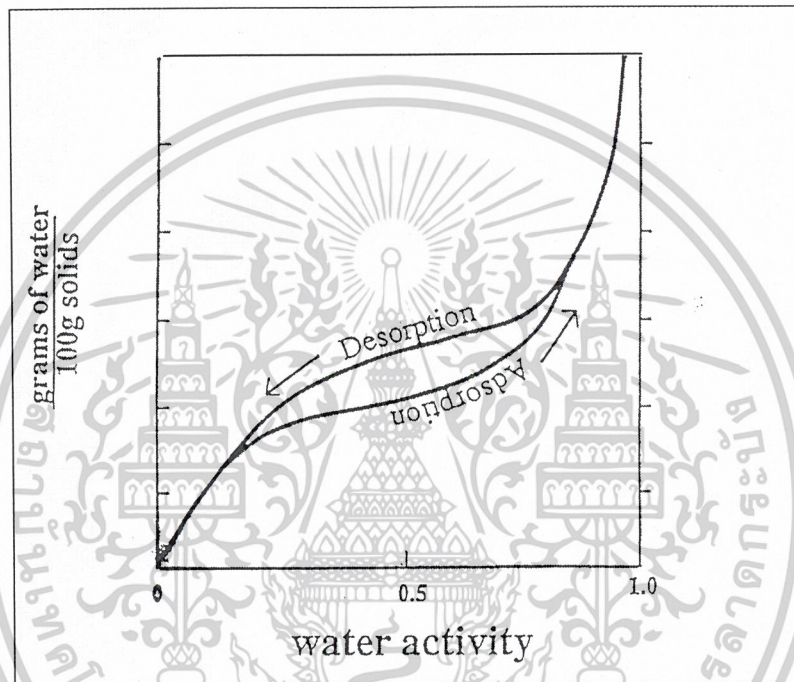
ที่มา: Transport Information Service (2004)

จากกราฟจะพบว่าเมื่อค่าปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ค่าวอเตอร์แอกติวิตี มักเพิ่มขึ้นด้วย แต่เป็นการเพิ่มแบบไม่เป็นเส้นตรง นอกจากนี้กราฟไอโซเทอร์ม ของผลิตภัณฑ์ต่างชนิดกันจะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความดันไอของโมเลกุลของน้ำในช่องว่างเนื้อผลิตภัณฑ์ และพลังงานของการจับพันธะของน้ำในผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด

กราฟไอโซเทอร์มสำหรับอาหาร แทบทุกชนิดจะมีรูปร่างแบบ Sigmoidal ดังแสดงในรูปที่ 2.4 แต่อาหารที่มีปริมาณน้ำตาลมากหรือมีโมเลกุลที่ละลายได้น้อย จะได้กราฟไอโซเทอร์มรูปคล้ายตัว J กราฟไอโซเทอร์มจากการทดลองซึ่งเริ่มต้นจากผลิตภัณฑ์ที่แห้งแล้วเพิ่มความชื้นมากขึ้นเรื่อยๆ (Adsorption) ไม่จำเป็นต้องเหมือนกับกราฟไอโซเทอร์มจากการทดลองผลิตภัณฑ์เดียวกัน ในสภาพชื้นแล้วลดความชื้นลงเรื่อยๆ (Desorption)



รูปที่ 2.4 ตัวอย่าง ไอโซเทอร์มแบบดูดและคายความชื้น ซึ่งมีรูปแบบ Sigmoidal ที่มา: รัตนินท์ พรธรรุโณทัย (2547)

2.4.2 สมการที่ใช้วิเคราะห์ไอโซเทอร์ม

การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อที่จะสร้างกราฟไอโซเทอร์มแบบดูดความชื้น จะใช้สมการสำหรับวิเคราะห์ไอโซเทอร์ม โดยรูปแบบสมการที่ใช้มี 5 สมการ ได้แก่ Modified Henderson, Modified Chung-Pfost, Modified Halsey, Modified Oswin และ Modified GAB (Guggenheim-Anderson-de Boer) ดังแสดงในตารางที่ 2.4

สมการทั้ง 5 สมการถูกยอมรับให้เป็นสมการมาตรฐานโดย The American Society of Agricultural Engineering สำหรับอธิบายไอโซเทอร์มแบบดูดความชื้น (Aviara et al., 2004)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 สมการสำหรับวิเคราะห์ไอโซเทอร์ม

Name of model	Equilibrium moisture content model	Water activity model
Modified Henderson	$M \approx \left[\frac{-\ln(1 - a_w)}{A(T+B)} \right]^{1/C}$	$a_w \approx 1 - \exp[-A(T+B)M^C]$
Modified Chung-Pfost	$M \approx -\frac{1}{C} \ln \left[-\frac{(T+B)}{A} \ln a_w \right]$	$a_w \approx \exp \left[-\frac{A}{(T+B)} \exp(-CM) \right]$
Modified Halsey	$M \approx \left[\frac{-\ln a_w}{\exp(A+BT)} \right]^{-1/C}$	$a_w \approx \exp[-\exp(A+BT)M^{-C}]$
Modified Oswin	$M \approx (A+BT) \left[\frac{a_w}{1-a_w} \right]^C$	$a_w \approx \frac{1}{\left[\frac{(A+BT)}{M} \right]^C + 1}$
Modified GAB (Guggenheim-Anderson-de Boer)	$M \approx \frac{AB \left(\frac{C}{T} \right) a_w}{\left(1 - Ba_w \right) \left(1 - Ba_w + \left(\frac{C}{T} \right) Ba_w \right)}$	$a_w \approx \frac{2 + \frac{C}{T} \left(\frac{A}{M} - 1 \right) - \left[\left(2 + \frac{C}{T} \left(\frac{A}{M} - 1 \right) \right)^2 - 4 \left(1 - \frac{C}{T} \right) \right]^{1/2}}{2B \left(1 - \frac{C}{T} \right)}$

M – ความชื้น (% โดยน้ำหนักแห้ง)

a_w - วอเตอร์แอกติวิตี (จำนวนทศนิยม)

T – อุณหภูมิ, องศาเซลเซียส

A, B และ C – ค่าคงที่ ซึ่งมีค่าเฉพาะตัวของแต่ละสมการ

ที่มา: Aviara et al. (2004)

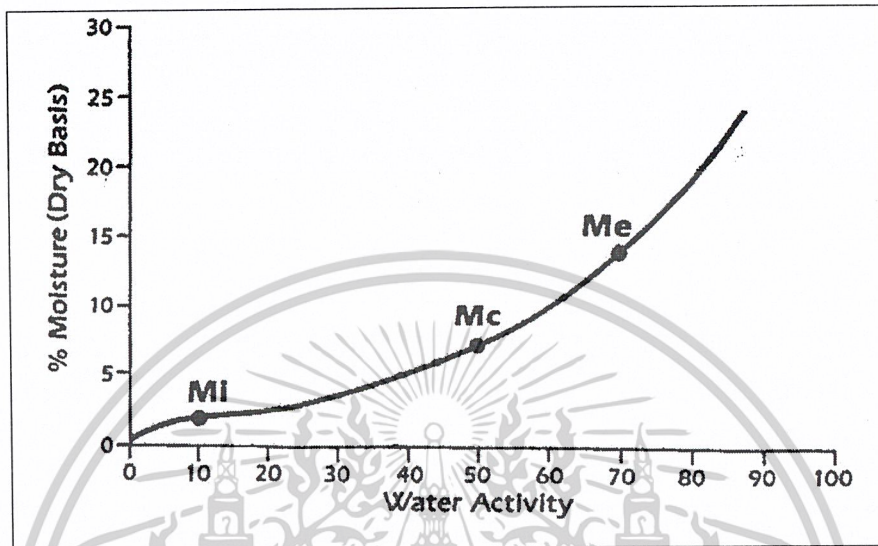
2.4.3 ความสำคัญของไอโซเทอร์ม

2.4.3.1 ทำนายเกี่ยวกับอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร

ผลิตภัณฑ์อาหารประเภทไวต่อความชื้น เช่น ขนมขบเคี้ยว อาหารอบแห้ง เป็นต้น จะดูดความชื้นจากอากาศ ทำให้อาหารมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นจนทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพจนไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และชีววิทยาในอาหารนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และอาจเกิดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ ปริมาณความชื้นของอาหารประเภทนี้จึงเป็นสิ่งที่กำหนดการยอมรับของผู้บริโภค หรืออายุการเก็บนั่นเอง ค่าของปริมาณความชื้นของอาหาร ณ จุดที่เกิดการเสื่อมคุณภาพจนไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เรียกว่า ปริมาณความชื้นวิกฤต (Critical moisture content) ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ไอโซเทอร์มของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยว

M_i = ปริมาณความชื้นเริ่มแรกเมื่อบรรจุของผลิตภัณฑ์อาหาร

M_c = ปริมาณความชื้นวิกฤตของผลิตภัณฑ์อาหาร

M_e = ปริมาณความชื้นเมื่อสัมผัสกับสภาวะบรรยากาศภายนอกบรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์อาหาร

ที่มา: Rockland and Beuchat (1987)

สมการที่ใช้ในการทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิทที่ระดับความชื้นวิกฤต (Rockland and Beuchat , 1987) เป็นดังนี้

$$\theta_c = \text{Days to } M_c = \frac{\ln\left(\frac{M_c - M_i}{M_c - M_e}\right)}{\left(\frac{K}{X}\right)\left(\frac{A}{W_s}\right)\left(\frac{P_o}{B}\right)} \quad (1)$$

เมื่อ M_c = ได้จากการอ่านค่าความชื้นที่อยู่บนเส้นตรงที่เป็นส่วน extrapolate ไปจากส่วนกลางของกราฟต่อไปที่จุดที่สัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์สมดุลของสภาวะบรรยากาศที่ใช้เก็บตัวอย่าง, กรัมของน้ำ / กรัมของอาหารแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- M_c = ปริมาณความชื้นวิกฤตของผลิตภัณฑ์อาหาร , กรัมของน้ำ / กรัมของอาหารแห้ง
- M_i = ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์อาหารเริ่มแรกเมื่อบรรจุ , กรัมของน้ำ / กรัมของอาหารแห้ง
- K = การยอมให้น้ำซึมผ่านได้ (Permeability) ของบรรจุภัณฑ์ ,
(กรัมของน้ำ)(เมตร)

(วัน)(ตารางเมตร)(มิลลิเมตรปรอท)
- X = ความหนาของบรรจุภัณฑ์ , เมตร
- A = พื้นที่ผิวบรรจุของบรรจุภัณฑ์ , ตารางเมตร
- P_0 = ความดันไอน้ำอิ่มตัว ณ สภาวะการเก็บรักษา , มิลลิเมตรปรอท
- W_s = น้ำหนักแห้งของผลิตภัณฑ์อาหารที่บรรจุ , กรัม
- B = ความชันของเส้นตรงที่ได้จากกราฟไอโซเทอร์มแบบคู่ความชื้น
- θ_c = อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิท ณ จุดเริ่มต้นจนกระทั่งถึงจุดวิกฤต , วัน

2.4.3.2 การทำนายเกี่ยวกับการบรรจุหีบห่อ

เมื่อทราบค่าอวเตอร์แอกติวิตี สามารถใช้หาค่าความชื้นเพิ่ม หรือ ความชื้นลดลงสูงสุดได้จากสภาวะเริ่มต้น ไอโซเทอร์มสามารถใช้หาค่าความชื้นวิกฤตหรือจุดที่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และสามารถเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่สามารถเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ได้

2.5 บรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร

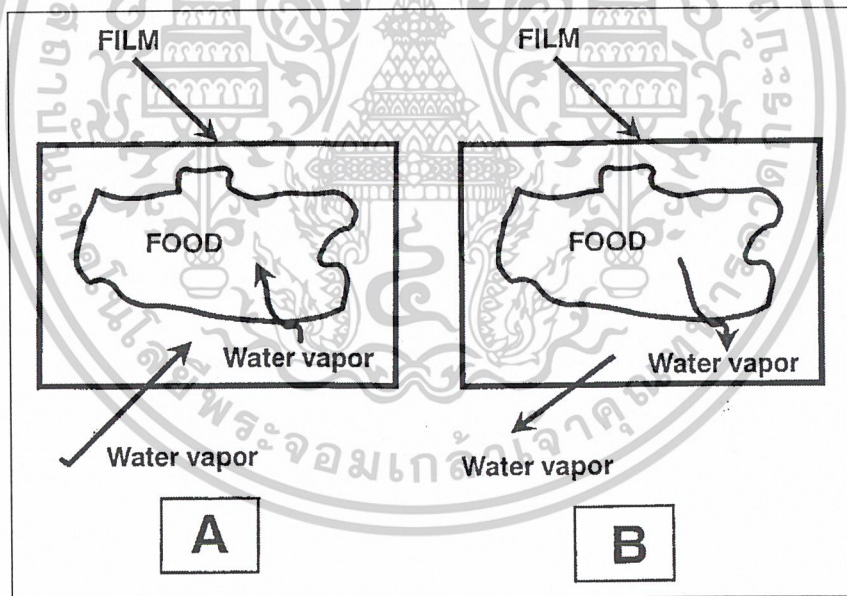
ปัจจุบันวัสดุบรรจุภัณฑ์ และเทคโนโลยีการผลิตอาหาร ได้มีการพัฒนาขึ้นสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา ในบางผลิตภัณฑ์อาจจะยืดอายุการเก็บรักษาด้วยกรรมวิธีการบรรจุอาหารลงบรรจุภัณฑ์ เช่น การปรับสภาพความดันอากาศภายในบรรจุภัณฑ์ของเส้นพาสต้า เพื่อให้ผลิตภัณฑ์นั้นมีลักษณะเหมือนของสดใหม่อยู่ตลอดเวลา ซึ่งกรรมวิธีการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารนั้นจะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของผลิตภัณฑ์

การไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์จากผู้บริโภคเกิดจากคุณภาพของอาหารที่ลดลงเนื่องจากเก็บเป็นระยะเวลานาน โดยไม่คำนึงถึงวิธีการเก็บรักษา และสภาวะที่เหมาะสม คุณภาพของอาหารที่เปลี่ยนแปลงอย่างไม่พึงประสงค์ที่เกิดขึ้นอาจจะส่งผลกระทบต่อ ลักษณะเนื้อสัมผัสรสชาติ สี ลักษณะที่ปรากฏโดยรวมทั้งหมด คุณค่าทางโภชนาการ และความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์อาหาร อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารเหล่านั้นสามารถลดลงได้โดยการเลือกบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม เพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วยควบคุมปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเสื่อมเสียของอาหาร ได้แก่ ความชื้น ออกซิเจน แสง อุณหภูมิ และกลิ่น

การศึกษาอายุการเก็บรักษาจะตั้งอยู่บนพื้นฐานทางการประเมินทางฟิสิกส์ เคมี และ/หรือ การเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัสของคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมักจะถูกรบกวนเมื่อเก็บที่อุณหภูมิสูง คุณสมบัติของอาหารที่มีความสำคัญในการเก็บรักษาอาหารคือ การดูดความชื้นของอาหาร ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียเนื่องจาก จุลินทรีย์ ออกซิเจน เอนไซม์ หรือการเสื่อมเสียที่เกิดจากปฏิกิริยาที่ไม่มีเอนไซม์มาเกี่ยวข้อง โดยอาหารจะมีความสัมพันธ์กันระหว่างวอเตอร์แอกติวิตีและความชื้น ที่เรียกว่า moisture sorption isotherm เมื่ออาหารถูกเก็บที่อุณหภูมิเดียวกับความชื้นโดยรอบ จะมีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของน้ำในอาหารซึ่งจะทำให้อาหารนั้นมีความชื้นถึงความชื้นวิกฤตที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย การต่อต้านการซึมผ่านของไอน้ำของบรรจุภัณฑ์สามารถทำให้อัตราการเพิ่มขึ้นหรือสูญเสียจากผลิตภัณฑ์ลดลง จึงทำให้โอกาสที่อาหารจะเสื่อมเสียลดลง และทำให้สามารถควบคุมอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้ ดังนั้น ลักษณะทางกายภาพของบรรจุภัณฑ์นั้นเป็นอิทธิพลสำคัญของการทำนายอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ในสภาวะที่เหมาะสม



รูปที่ 2.6 การถ่ายเทความชื้นผ่านบรรจุภัณฑ์อาหาร

A : วอเตอร์แอกติวิตี ของอาหารต่ำกว่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม

B : วอเตอร์แอกติวิตี ของอาหารสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม

ที่มา: Shafiur (1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 พลาสติกบรรจุอาหาร

ฟิล์มพลาสติกและบรรจุภัณฑ์พลาสติกมีประโยชน์ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารมากกว่า แก้ว โลหะ และกระดาษ ในแง่ของรูปร่าง และขนาดที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ น้ำหนักเบา ทนทาน ราคาวัสดุต่ำ สามารถนำเข้าเตาไมโครเวฟได้ และใช้ต้นทุนในการผลิตและขนส่งต่ำ แต่ข้อจำกัดในการใช้พลาสติกบรรจุอาหาร และเครื่องดื่ม คือ ค่าการซึมผ่านของไอน้ำ ก๊าซ และแสง เช่น โมเลกุลของก๊าซสามารถแทรกซึมและแพร่กระจายผ่านพลาสติกได้ และสามารถซึมเข้าหรือออกจากบรรจุภัณฑ์ที่ปิดสนิทได้

อย่างไรก็ตามสมบัติการซึมผ่านของก๊าซก็สามารถนำมาใช้ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารบางประเภทได้ เช่น ผักกาดสด ที่ต้องการให้เกิดการแทรกซึมออกของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ฟิล์มพลาสติกและบรรจุภัณฑ์พลาสติกมีประสิทธิภาพในการรักษาผลิตภัณฑ์แตกต่างกันขึ้นอยู่กับ วัสดุของบรรจุภัณฑ์ จึงได้มีการประยุกต์ใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกอย่างมากมาย การใช้วัสดุ mono-layer ได้ถูกทดแทนการใช้โดย multi-layer ที่ทำเป็นแผ่นบาง ๆ และฟิล์มที่เคลือบด้วยไอโพลีโธลีนได้ถูกนำมาใช้เพื่อป้องกันแสง และออกซิเจน เทคนิคการผลิตบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ ได้นำมาผลิตพลาสติกแบบ multi-layer เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องการให้มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานกว่าปกติ (Eskin et al., 2001) ตัวอย่างเช่น การเคลือบไอโพลีโธลีนฟิล์ม Oriented Polypropylene (OPP) สำหรับการบรรจุมันฝรั่งทอดที่ต้องการการป้องกันแสง และออกซิเจน เพื่อป้องกันการเหม็นหืน และป้องกันไอน้ำเพื่อป้องกันความชื้นที่ส่งผลต่อความกรอบของผลิตภัณฑ์ แม้ว่าฟิล์ม OPP จะมีความหนาสามารถลดการซึมผ่านของไอน้ำ และออกซิเจนได้แล้ว การเคลือบไอโพลีโธลีน และ/หรือ เคลือบวัสดุอื่นที่ป้องกันการซึมผ่าน เช่น Polyvinylidene Chloride (PVDC) และ Acrylic Polymers ยังสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันการซึมผ่านได้อีกด้วย

ตัวอย่างฟิล์มพลาสติกบรรจุอาหารว่าง ได้แก่

- อายุการเก็บสั้น (ประมาณ 2 สัปดาห์) เช่น Low-Density Polyethylene (LDPE), Cast Polypropylene (CPP) เป็นต้น
- อายุการเก็บปานกลาง (ประมาณ 2 เดือน) เช่น Polyethylene Terephthalate หรือ Polyester (PET) เคลือบ Polyvinylidene Chloride (PVDC) และ Polyethylene (PE), Polypropylene (PP) เคลือบด้วย PVDC เป็นต้น
- อายุการเก็บนาน (ประมาณ 5 เดือนหรือมากกว่า) เช่น PP เคลือบไอโพลีโธลีน เป็นต้น

2.6 ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร

2.6.1 ลักษณะของเนื้อสัมผัส

ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร (Food Texture) มีความสำคัญต่อการยอมรับในคุณภาพอาหารของผู้บริโภคซึ่งส่วนใหญ่ได้รับความรู้สึกทางปากหรือจากการกิน การกัดครั้งแรก ความรู้สึกเมื่อเคี้ยวอาหาร และความรู้สึกเมื่อบดอาหารในปาก ลักษณะของอาหารที่แสดงคุณภาพของเนื้อสัมผัสทางปากได้แก่

- ความแข็ง
- ความกรอบ
- ความยืดหยุ่น
- ความหนืด
- ความเกาะตัว
- การเคี้ยวออก
- ความรู้สึกมีเส้นใย หรือเป็นกาก

ความกรอบของอาหาร เป็นคุณลักษณะที่สำคัญมากอย่างหนึ่งในการบ่งบอกถึงลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร ซึ่งความกรอบ เป็นสิ่งที่แสดงถึงความสดของอาหาร เช่น อาหารจำพวกผักผลไม้ รวมถึงอาหารขบเคี้ยว (Snacks) ซึ่งอาหารเหล่านี้จะมีคุณภาพดีและเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค เมื่อยังคงมีลักษณะเนื้อแน่นและกรอบ ความกรอบเป็นสิ่งที่สำคัญมากเพราะจะนำไปสู่ความพอใจเมื่อได้บริโภคอาหาร และจะส่งผลให้เกิดการบริโภคในครั้งต่อไป

2.6.2 การวัดค่าเนื้อสัมผัส

2.6.2.1 การวิเคราะห์โดยใช้ประสาทสัมผัสของมนุษย์

การทดสอบคุณภาพในอดีตเป็นการทดสอบโดยใช้ประสาทสัมผัส (Sensory evaluation) ของมนุษย์ อย่างไรก็ตามมนุษย์แต่ละคนมีความรู้สึกนึกคิดแตกต่างกันออกไป อาจเนื่องมาจากมนุษย์แต่ละคนมีประสบการณ์ และสภาพร่างกายและจิตใจไม่เหมือนกัน ดังนั้นการใช้ประสาทสัมผัสของมนุษย์ในการทดสอบอาจให้ผลที่มีความแปรปรวนสูง

2.6.2.2 การวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือในการวัดค่า

การวัดค่าเนื้อสัมผัสโดยเครื่องมือส่วนใหญ่เป็นเครื่องมือวัดค่าแรงต้านที่เกิดจากการสัมผัส โดยจะพิจารณาถึงโครงสร้างและตามคุณสมบัติเชิงกายภาพ การวัดค่าแรงต้านการสัมผัสนี้อาจวัดค่าแรงเดียว หรือแรงต้านร่วมที่เกิดจากการสัมผัส เช่นการวัดแรงต้านการเคี้ยวอาหาร ซึ่งเป็นการวัดค่าแรง shear-pressure การวัดค่าแรงต้านการสัมผัสมีการวัดค่าแรงต่อไปนี้ (นฤตม บุญ-หลง และ จินตนา อุปติสสกุล. 2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แรงกด (compression force) คือ การวัดค่าแรงที่เกิดจากการกด หรือบีบ ไม่เหมาะสมกับอาหารที่มีความยืดหยุ่นสูง และไม่แตกหักในระหว่างการทดสอบ

- แรงเฉือนแยก (shear force) คือ การวัดค่าแรงที่ทำให้เกิดการแยกตัวโดยการเลื่อนออกจากกัน ซึ่งส่วนหนึ่งของตัวอย่างจะแยกออกจากส่วนเดิม

- แรงตัด (cutting force) คือ การวัดค่าแรงที่ทำให้ตัวอย่างขาดออกจากกัน โดยแต่ละส่วนที่แยกออกไปนั้นจะคงรูปเดิมอยู่ เพียงแต่ขาดออกเป็น ส่วน ๆ มีรอยแยกเรียบเป็นระเบียบ

- แรงฉีก (tensile strength) คือ การวัดค่าแรงที่ทำให้ตัวอย่างแยกออกจากกัน ด้วยการออกแรงไปในทิศทางตรงกันข้ามกัน ทำให้เกิดการแบ่งแยกออกจากกัน โดยมีรอยแยกไม่เป็นระเบียบ สิ่งที่ต้านแรงแยก คือความเหนียว (toughness)

- แรงกด-แยก (shear-pressure) คือ การวัดค่าแรงร่วมของแรงสองอย่าง คือ แรงแยกกด (compression) และ แรงแยกตัว (shear) ซึ่งเกิดขึ้นกับตัวอย่างในเวลาเดียวกัน เช่นแรงที่เกิดจากการเคี้ยวอาหารด้วยฟันของมนุษย์

การวัดเนื้อสัมผัสของอาหาร เป็นการพิจารณาถึงโครงสร้างและคุณสมบัติเชิงกายภาพ การวัดค่าเนื้อสัมผัสของอาหาร โดยการใช้แรงกดเจาะลงไปยังตัวอย่างอาหารจนทะลุ (แรงกด-แยก) จะได้ค่าที่บ่งบอกถึง ความแข็ง ความแน่นเนื้อ ความเหนียว ของอาหารขบเคี้ยว รวมถึงความกรอบเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่สามารถนำมาวัดเพื่ออธิบายลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารได้เช่นกัน

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 ตัวอย่างทุเรียนทอดกรอบ

ตัวอย่างทุเรียนทอดกรอบซื้อจากแหล่งผลิต อ.เมือง จ.ระยอง นำมาวัดค่าความชื้นเริ่มต้นและความกรอบโดยการวัดความชื้นจะวัดเป็นมาตรฐานแห้ง การเตรียมตัวอย่างเพื่อวัดความชื้นจะนำทุเรียนทอดมาบดให้เป็นชิ้นเล็กๆ ก่อน ส่วนตัวอย่างที่นำมาวัดความกรอบเลือกทุเรียนที่มีลักษณะแผ่นเรียบ ขนาดและความหนาสม่ำเสมอ

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การทำไอโซเทอร์มแบบดูดความชื้น

ใช้ตัวอย่างทุเรียนทอดกรอบที่บดให้เป็นชิ้นเล็กๆ ตัวอย่างละ 5 ± 0.05 กรัม ใส่ในภาชนะที่วางไว้ในขวดโหลปิดสนิทที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศด้วยสารละลายเกลืออิ่มตัว 7 ชนิด ได้แก่ LiCl, CH_3COOK , MgCl_2 , K_2CO_3 , NaBr, NaCl และ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (ปริมาตร 100 มิลลิลิตร) ภายในขวดโหลมีหลอดแก้วขนาด 10 มิลลิลิตร บรรจุสารละลายโทลูอิน 1.5 มิลลิลิตร เพื่อป้องกันการเกิดราบนตัวอย่าง (Mcminn & Magee, 2003) วางขวดโหลในห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 20, 40 และ 60 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักตัวอย่างทุก 15 วัน จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ (± 0.001 กรัม) ตัวอย่างจะเข้าสู่ความชื้นสมดุล หลังจากนั้นจึงนำไปหาความชื้นโดยการอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Kawas & Moreira, 2001)

3.2.2 การหาสมการที่เหมาะสมของไอโซเทอร์มแบบดูดความชื้น

นำค่าวอเตอร์แอกติวิตี และปริมาณความชื้นมาแทนในสมการทั้งห้าดังแสดงในตารางที่ 2.4 เพื่อวิเคราะห์หาค่าคงที่ของสมการโดยใช้วิธี non-linear regression ในโปรแกรม STATISTIC A/w 5.0 และเลือกสมการที่ให้ค่า coefficient of determination, R^2 สูงสุด ค่า mean relative percent deviation, P (%) และ standard error of estimate, E_s ต่ำสุด และมีการกระจายตัวของ residual error น้อยที่สุดมาใช้ในการสร้างกราฟไอโซเทอร์ม ค่าทั้งสามแสดงในสมการที่ (2) ถึง (4)

$$P = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{M_i - \bar{M}_i}{M_i} \right) \quad (2)$$

$$E_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M}_i)^2}{df}} \quad (3)$$

$$e_i = M_i - \bar{M}_i \quad (4)$$

เมื่อ M_i และ \bar{M}_i คือ ความชื้นที่ได้จากการทดลองและที่ได้จากการทำนายโดยสมการ คิดเป็นมาตรฐานแห้ง ($I = 1 \dots 7$ RH), N คือ จำนวนค่าสังเกต และ df คือ degree of freedom (จำนวนค่าสังเกตลบด้วยจำนวนค่าคงที่ในสมการ)

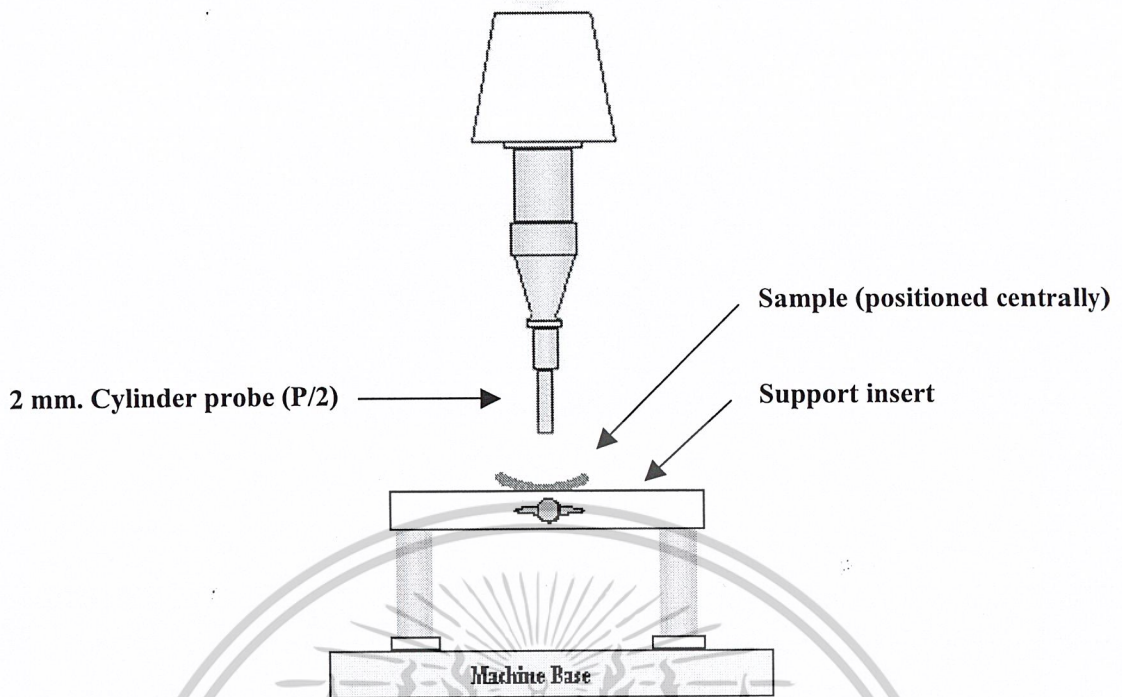
3.2.3 การหาความชื้นวิกฤต

แบ่งตัวอย่างทุเรียนทอดกรอบเป็น 7 ส่วน มาปรับค่าความชื้นให้ได้ 7 ระดับ โดยอยู่ในช่วง 1-7 % ฐานแห้ง โดยนำทุเรียนทอดกรอบที่ลดความชื้นแล้วมาวางในภาชนะปิดสนิทที่มีน้ำบริสุทธิ์อยู่ด้านล่าง ปิดฝาภาชนะที่บรรจุให้แน่น ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนได้ระดับความชื้นตามที่ต้องการ จากนั้นนำไปทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยการทดสอบการยอมรับความกรอบและความชอบผลิตภัณฑ์ โดยอาศัยกลุ่มตัวแทนผู้บริโภคเป้าหมายจำนวน 15 คน ให้คะแนนการยอมรับผลิตภัณฑ์ในด้านความกรอบและความชอบ หลังจากนั้นนำคะแนนที่ได้มาทำการประเมินเพื่อหาความชื้นวิกฤต หรือความชื้นที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ

3.2.4 การหาค่าความกรอบ

นำตัวอย่างทุเรียนทอดกรอบที่ค่าวอเตอร์แอกติวิตีต่าง ๆ มาวัดค่าความแข็งและความกรอบด้วยเครื่อง Texture Analyzer ยี่ห้อ STABLE MICRO SYSTEM รุ่น TA-XT plus โดยใช้หัวกดสแตนเลสทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร (P/2) ความเร็ว 10 มิลลิเมตรต่อวินาที ดังแสดงในรูปที่ 3.1 กดลงบนตัวอย่างที่วางอยู่บน support insert จนทะลุผ่านตัวอย่าง โดยระยะทางที่หัวกดเคลื่อนที่ลงในตัวอย่าง 1.5 มิลลิเมตร การวัดความแข็งจะวัดค่าแรงสูงสุดที่ใช้ รายงานผลหน่วยเป็นนิวตัน (N) และการวัดความกรอบจะวัดค่าความชันของกราฟ ในช่วงที่หัวกด กดลงบนตัวอย่างเป็นระยะทาง 0.05-0.10 มิลลิเมตร โดยใช้ค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง (ทำการทดลอง 12 ซ้ำ) แล้วเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความกรอบ และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความแข็ง หลังจากนั้นนำผลของค่าความชื้นที่จุดวิกฤตมาเปรียบเทียบกับกราฟที่ได้จากการวัดความกรอบ เพื่อหาค่าความกรอบที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 การกดหัวกดลงบนตัวอย่างทุเรียนทอดกรอบที่วางอยู่บน Support insert

3.2.5 การทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุแล้ว

นำค่าความชื้นเริ่มต้น ความชื้นวิกฤต และความชื้นสมดุลของตัวอย่างทุเรียนทอดกรอบมาแทนในสมการที่ใช้ในการทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวในบรรจุภัณฑ์ปีตสนิท ดังนี้

$$\Theta_c = \text{Days to } M_c = \frac{\ln\left(\frac{M_c - M_i}{M_c - M_e}\right)}{\left(\frac{K}{X}\right)\left(\frac{A}{W_s}\right)\left(\frac{P_o}{B}\right)} \quad (1)$$

ซึ่งค่าความชื้นทั้งสามนี้ได้จาก

- ความชื้นเริ่มต้น (M_i) ได้จากการวัดปริมาณความชื้น (มาตรฐานแห้ง) ของตัวอย่างทุเรียนทอดกรอบหลังจากชั่งจากแหล่งผลิต
- ความชื้นวิกฤต (M_c) ได้จากการทดสอบการยอมรับความชอบผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค
- ความชื้นสมดุล (M_e) ได้จากการอ่านค่าความชื้นที่อยู่บนเส้นตรงที่เป็นส่วน extrapolate ไปจากส่วนกลางของกราฟต่อไปที่จุดที่สัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์สมดุลของสภาวะบรรยากาศที่ใช้เก็บตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทดสอบความถูกต้อง

นำตัวอย่างทุเรียนทอดกรอบบรรจุลงในถุง 2 ชนิด คือ Polypropylene และ Isotactic Polypropylene ชนิดละ 2 ขนาด โดยมีขนาด 5" x 8" และ 7" x 11" แล้วปิดผนึกให้สนิทเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำออกมาวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี ความชื้น และความกรอบทุก 15 วัน พร้อมบันทึกจำนวนวันที่ทำการเก็บจริงเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำนายโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ไอโซเทอร์มแบบดูดความชื้น ของทุเรียนทอดกรอบ

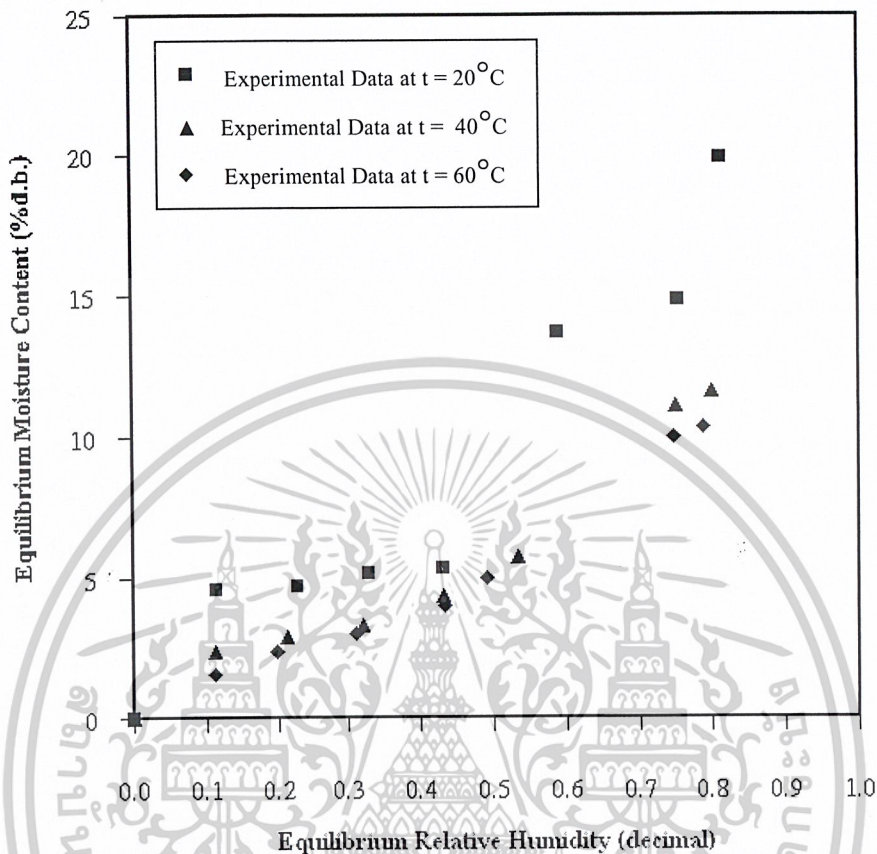
ผลการทดลองค่าความชื้นของทุเรียนทอดกรอบที่ค่าวอเตอร์แอกติวิตี และสภาวะการเก็บต่างๆ สามารถแสดงค่าในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความชื้นของทุเรียนทอดกรอบที่อุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์สมดุลต่างๆ

Temperature (°C)	Equilibrium Relative Humidity (decimal)	Equilibrium Moisture Contents (%d.b.)
20	0.1128	4.5931
	0.2279	4.6888
	0.3291	5.1658
	0.4316	5.3636
	0.5891	13.7023
	0.7544	14.8646
	0.8132	19.9181
40	0.1125	2.3579
	0.2119	2.8856
	0.3184	3.3285
	0.4319	4.3217
	0.5343	5.7628
	0.7506	11.1058
	0.7997	11.6076
60	0.1123	1.5655
	0.1987	2.3845
	0.3093	3.0325
	0.4321	3.9967
	0.4903	4.9672
	0.7473	9.9671
	0.7880	10.3326

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลที่ได้นำมาเขียนความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์สมดุลที่อุณหภูมิต่างๆ จะได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (EMC) และความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (ERH) ของทุเรียนทอดกรอบที่อุณหภูมิต่างๆ

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 4.1 มาหาความสัมพันธ์โดยใช้แบบจำลองทั้งห้า ได้ผลเปรียบเทียบในแต่ละแบบจำลองสำหรับอธิบายไอโซเทอร์มแบบดูดความชื้นดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบค่าประมาณของตัวแปรต่างๆ โดยใช้แบบจำลองของทุเรียนทอดกรอบ

Parameter	Modified Henderson	Modified Chung-Pfost	Modified Halsey	Modified Oswin	Modified GAB
A	0.0013	180.8484	2.4900	9.7479	13.7359
B	15.9305	34.0896	-0.0175	-0.0838	0.5741
C	1.2163	0.1828	1.2141	1.7114	51.9203
R ²	0.9343	0.8802	0.9415	0.9299	0.9170

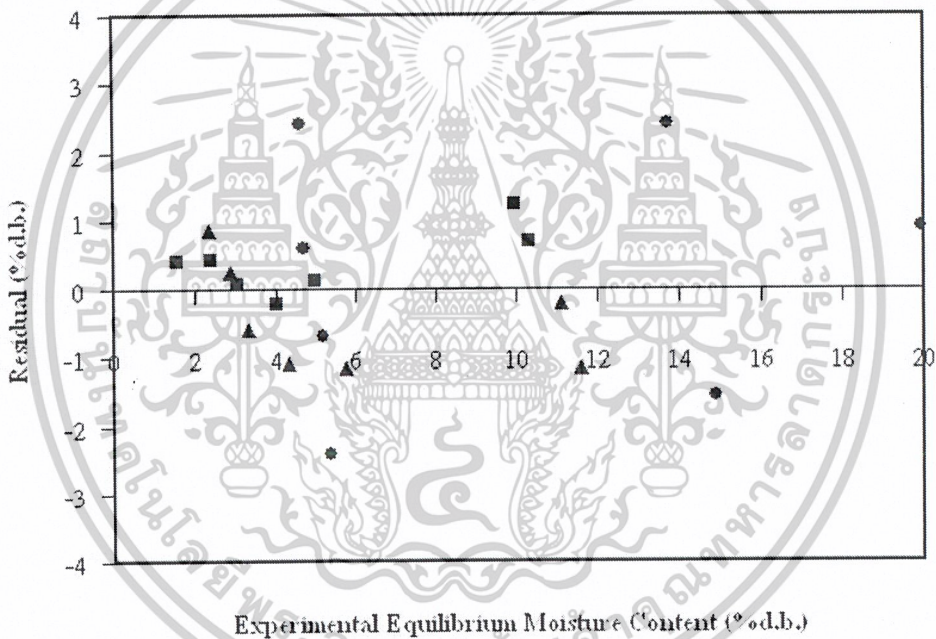
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) เปรียบเทียบค่าประมาณของตัวแปรต่างๆ โดยใช้แบบจำลองของทุเรียนทอดกรอบ

Parameter	Modified Henderson	Modified Chung-Pfost	Modified Halsey	Modified Oswin	Modified GAB
P (%)	16.5706	29.4482	12.6131	14.2901	20.4276
E_s	1.2704	1.9476	1.4858	1.4206	1.4164

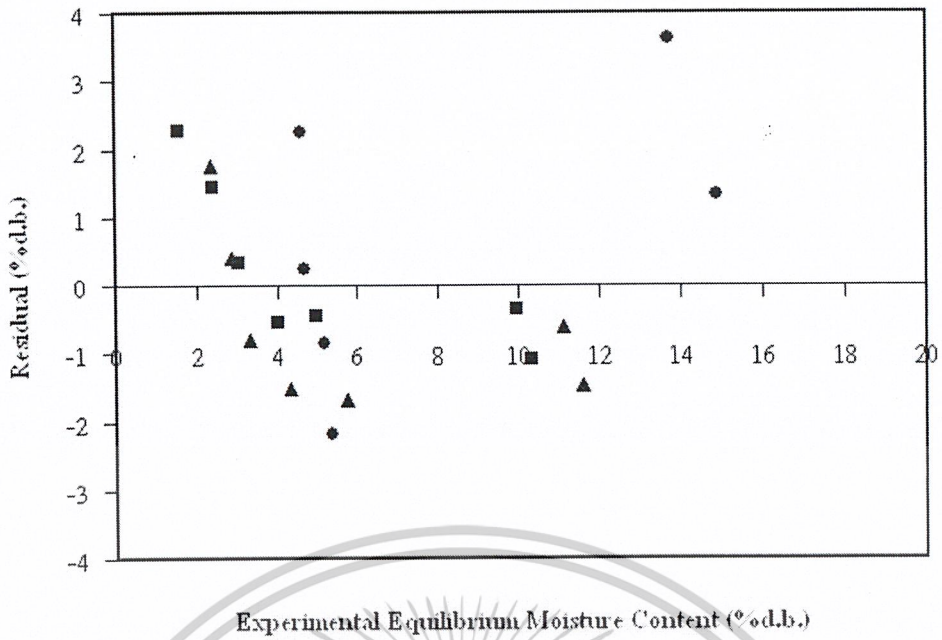
A, B และ C , ค่าคงที่ ; R^2 , coefficient of determination ; P, mean relative percent deviation (%) ;
 E_s , standard error of estimate

เมื่อเขียนแผนภาพการกระจายตัวของค่า residual error ของแบบจำลองทั้งห้า แสดงดังรูป
 ที่ 4.2-4.6

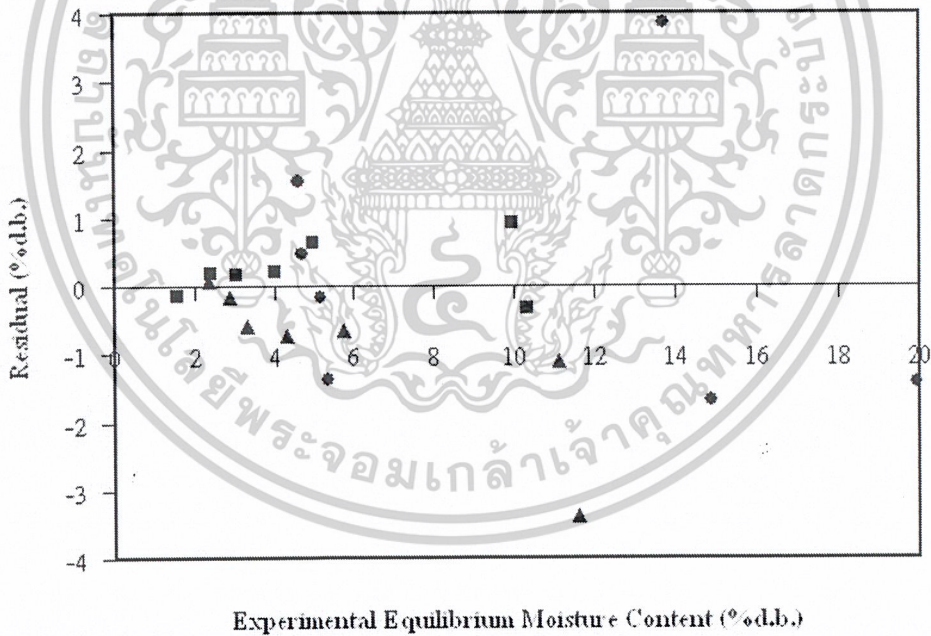


รูปที่ 4.2 การกระจายของ residual error สำหรับทุเรียนทอดกรอบ โดยใช้แบบจำลองของ
 Modified Henderson (●, 20°C ; ▲, 40°C ; ■, 60°C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

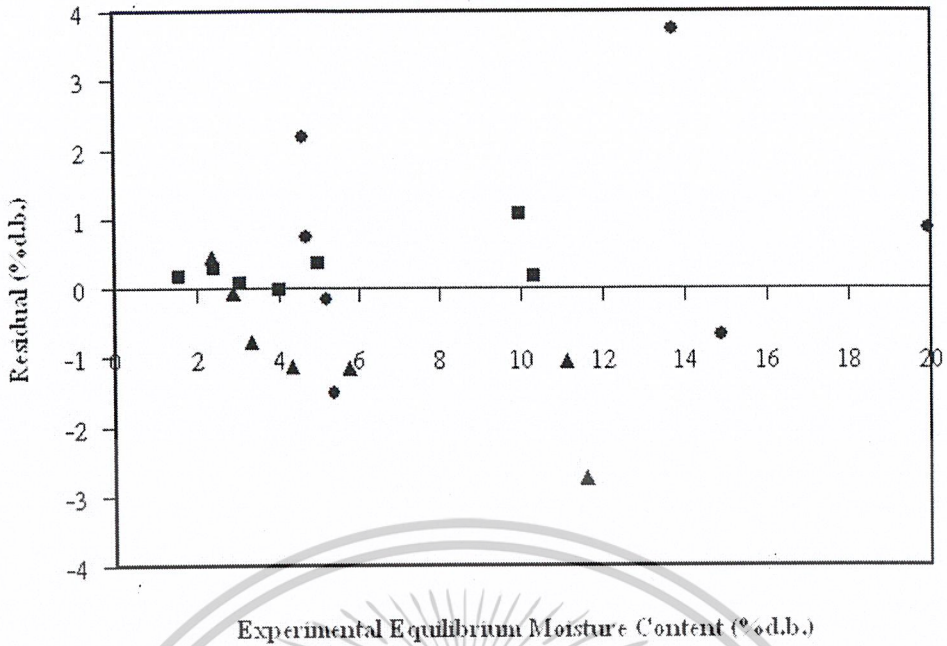


รูปที่ 4.3 การกระจายของ residual error สำหรับทุเรียนทอดกรอบโดยใช้แบบจำลองของ Modified Chung-Pfost (●, 20°C; ▲, 40°C; ■, 60°C)

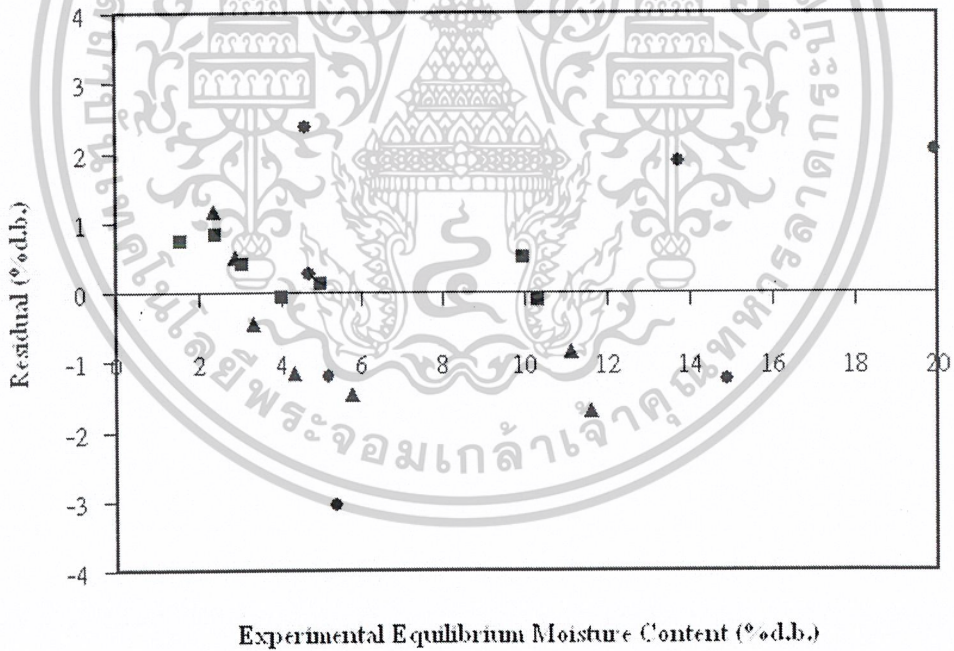


รูปที่ 4.4 การกระจายของ residual error สำหรับทุเรียนทอดกรอบโดยใช้แบบจำลองของ Modified Halsey (●, 20°C; ▲, 40°C; ■, 60°C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 การกระจายของ residual error สำหรับทุเรียนทอดกรอบโดยใช้แบบจำลองของ Modified Oswin (●, 20°C ; ▲, 40°C ; ■, 60°C)



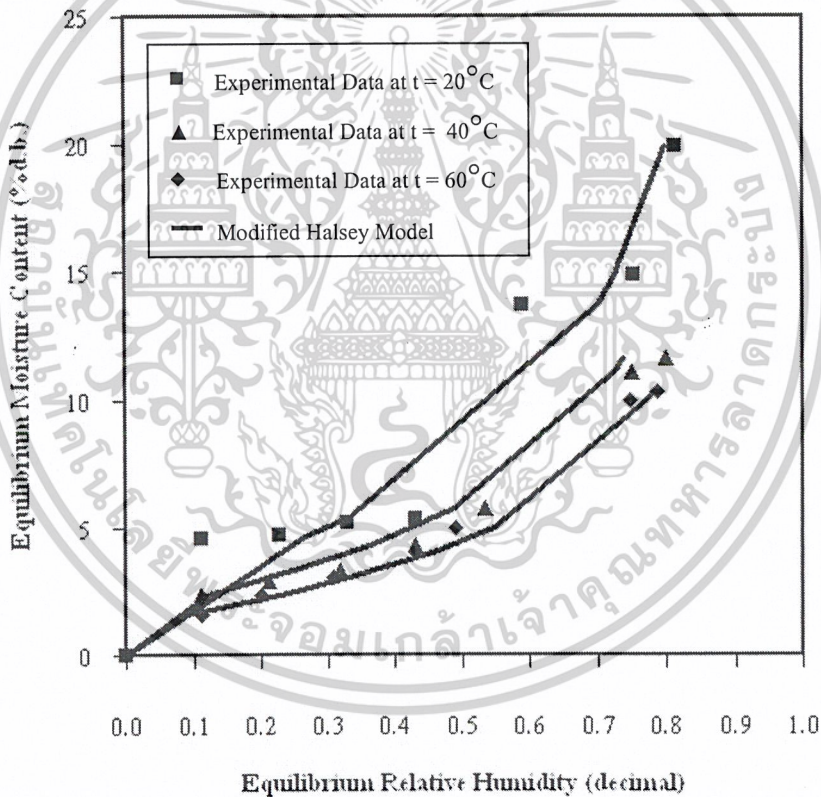
รูปที่ 4.6 การกระจายของ residual error สำหรับทุเรียนทอดกรอบโดยใช้แบบจำลองของ Modified GAB (●, 20°C ; ▲, 40°C ; ■, 60°C)

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าประมาณของตัวแปรต่าง ๆ ในแต่ละแบบจำลอง โดยเปรียบเทียบด้วยค่า coefficient of determination (R^2), standard error of estimate (E_s) และ mean relative เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

percent deviation (P) และจากการเปรียบเทียบการกระจายของ residual error แล้วพบว่าแบบจำลองของ Halsey ให้ค่า R^2 มากที่สุด (0.9415) และให้ค่า P ซึ่งคือ mean relative percent deviation (%) น้อยที่สุด (12.6131) และมีการกระจายตัวของค่า residual error น้อยที่สุด โดยจะมีการกระจายตัวน้อยในช่วงที่ค่าความชื้นต่ำกว่า 10 %ฐานแห้ง แต่จะกระจายตัวมากในช่วงที่ค่าความชื้นสูง ดังนั้น น่าจะเป็นสมการที่เหมาะสมที่สุดในการทำนายค่าความชื้นสมดุลและสามารถเขียนเป็นสมการในรูปของวอเตอร์แอกติวิตี้ได้ดังนี้

$$a_w \approx \exp[-\exp(2.4900 - 0.0175T)M^{-1.2141}] \quad (5)$$

ไอโซเทอร์มแบบดูดความชื้นของทุเรียนทอดกรอบที่อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งทำนายโดยใช้แบบจำลองของ Halsey ตามสมการที่ 5 แสดงดังรูปที่ 4.7 พบว่าสมการมีรูปร่างแบบ Sigmoidal Curve (Transport Information Service, 2004)

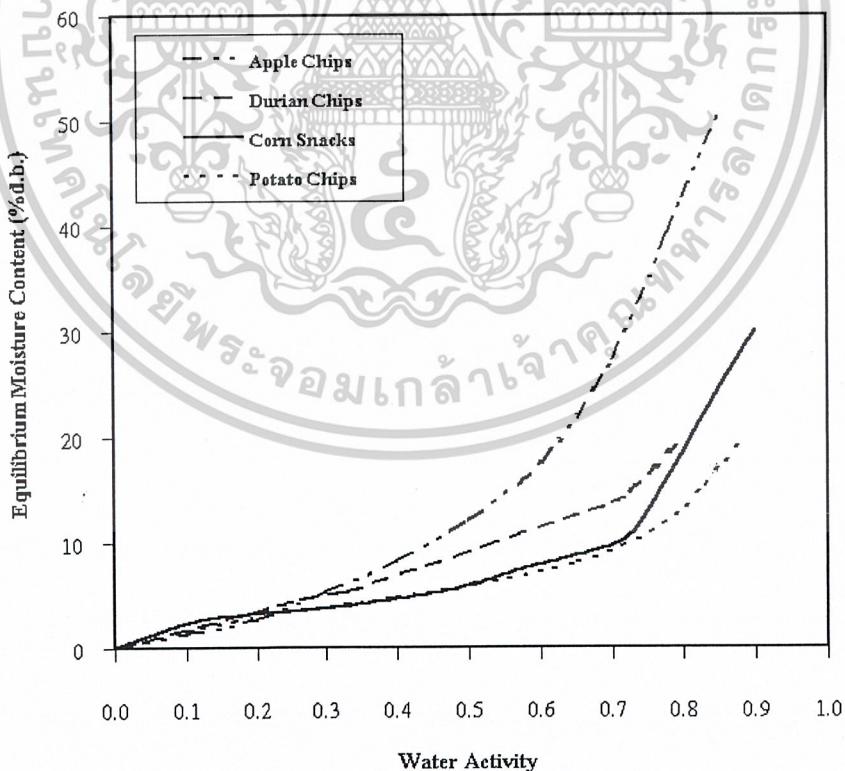


รูปที่ 4.7 เส้นกราฟไอโซเทอร์มแบบดูดความชื้นของทุเรียนทอดกรอบที่อุณหภูมิต่างๆ ทำนายโดยแบบจำลองของ Halsey เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองจริง

จากรูปที่ 4.7 พบว่าที่อุณหภูมิคงที่ ความชื้นเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (ERH) เพิ่มขึ้น และที่ค่าความชื้นคงที่ ความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (ERH) เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลต่อการเสื่อมเสียของอาหาร โดยเฉพาะการเสื่อมเสียทางด้านจุลินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำกราฟไอโซเทอร์มแบบดูดความชื้นของทุเรียนทอดกรอบ เปรียบเทียบกับขนมขบเคี้ยวชนิดอื่น ซึ่งได้แก่ แอปเปิลอบกรอบ มันฝรั่งทอดกรอบ และขนมข้าวโพดอบกรอบที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.8 พบว่า ในช่วงวอเตอร์แอกติวิตีต่ำกว่า 0.25 ความชื้นของ ผลิตภัณฑ์จะมีค่าต่างกันไม่มากนัก แต่เมื่อช่วงวอเตอร์แอกติวิตีที่มีค่าสูงกว่า 0.25 ค่าความชื้นจะมีการเปลี่ยนแปลงต่างกันอย่างชัดเจน โดยในแอปเปิลอบกรอบ ความชื้นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อ วอเตอร์แอกติวิตีเพิ่มขึ้น สังเกตจากกราฟจะมีความชันมาก สำหรับทุเรียนทอดกรอบ และมันฝรั่งทอดกรอบ ความชื้นจะเพิ่มขึ้นรองลงมาตามลำดับ ซึ่งอาจสามารถอธิบายได้จากส่วนประกอบหลักของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากในแอปเปิลมีน้ำตาลฟรุกโตสเป็นส่วนประกอบหลัก (Konopocka et. al., 2002) กราฟไอโซเทอร์มของแอปเปิลอบกรอบจึงมีลักษณะคล้ายกราฟของอาหารที่มีน้ำตาลสูงๆ ในขณะที่ทุเรียนทอดกรอบ มันฝรั่งทอดกรอบ และขนมข้าวโพดอบกรอบมีส่วนประกอบหลักคือแป้ง โดยในสภาวะแวดล้อมที่มีความชื้นสูง อาหารที่มีส่วนประกอบหลักเป็นน้ำตาลจะสามารถดูดความชื้นได้มากกว่าอาหารที่มีแป้ง ส่วนทุเรียนทอดกรอบนั้น ทุเรียนที่ใช้ในการทอดเป็นทุเรียนห่าม มีเปอร์เซ็นต์ความสุก 80% มีความหวานเล็กน้อย จึงอาจมีปริมาณน้ำตาลมากกว่ามันฝรั่งทอดกรอบและขนมข้าวโพดอบกรอบ ซึ่งทำจากแป้งข้าวโพด ทำให้กราฟไอโซเทอร์มมีความชันมากกว่า



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบกราฟไอโซเทอร์มแบบดูดความชื้นของแอปเปิลอบกรอบ มันฝรั่งทอดกรอบ

ขนมข้าวโพดอบกรอบและทุเรียนทอดกรอบ

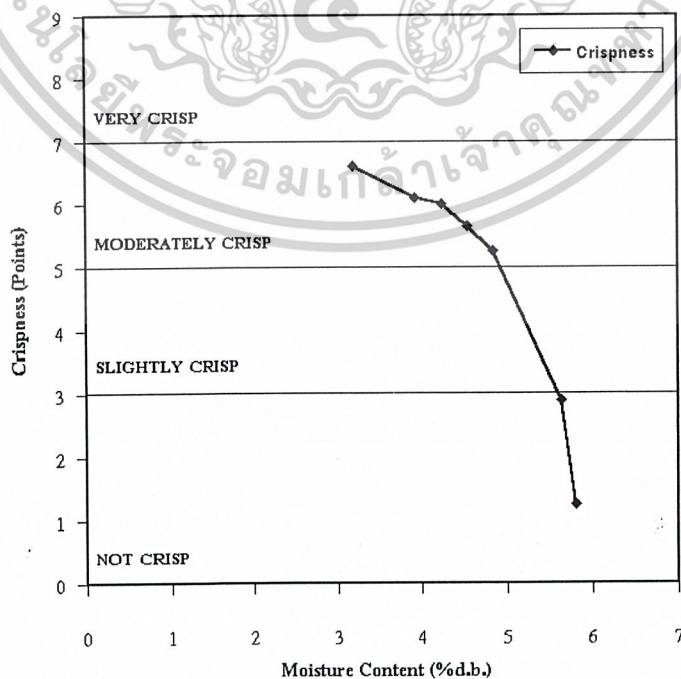
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การหาความชื้นวิกฤต

ผลของการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยการทดสอบการยอมรับความกรอบและความชอบผลิตภัณฑ์ โดยผู้ทดสอบจำนวน 15 คน ให้คะแนนการยอมรับผลิตภัณฑ์ ผลของคะแนนที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.3 และเมื่อนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความกรอบกับความชื้น และคะแนนความชอบกับความชื้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ

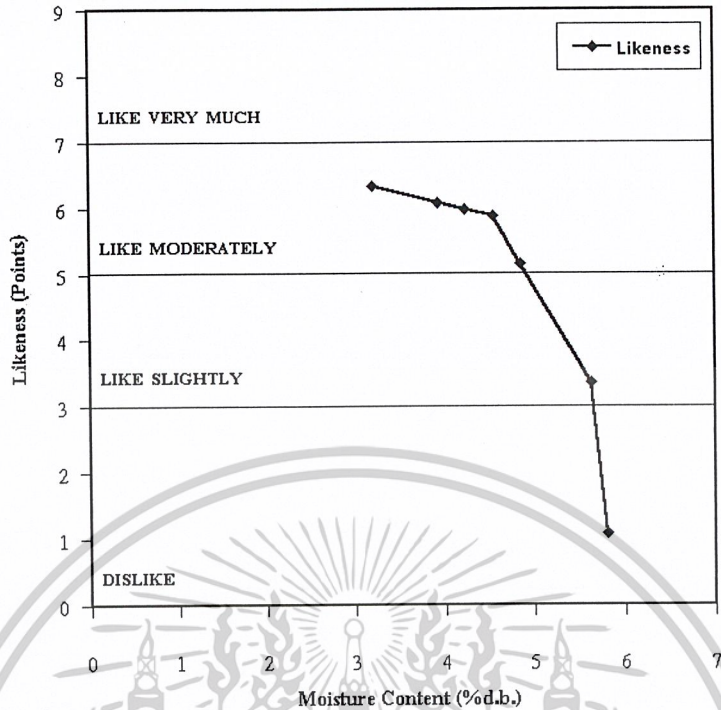
ตารางที่ 4.3 แสดงคะแนนการยอมรับความกรอบและความชอบผลิตภัณฑ์ทุเรียนทอดกรอบ ที่ระดับความชื้นต่างๆ

Moisture Content (%d.b.)	Crispness (Points)	Likeness (Points)
3.20	5.9	6.6
3.93	6.1	6.1
4.23	6.0	6.0
4.55	5.9	5.7
4.85	5.3	5.3
5.64	3.4	2.9
5.81	1.1	1.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.9 ผลของความชื้นที่มีต่อคะแนนความกรอบผลิตภัณฑ์ทุเรียนทอดกรอบ



รูปที่ 4.10 ผลของความชื้นที่มีต่อคะแนนความชอบผลิตภัณฑ์ทุเรียนทอดกรอบ

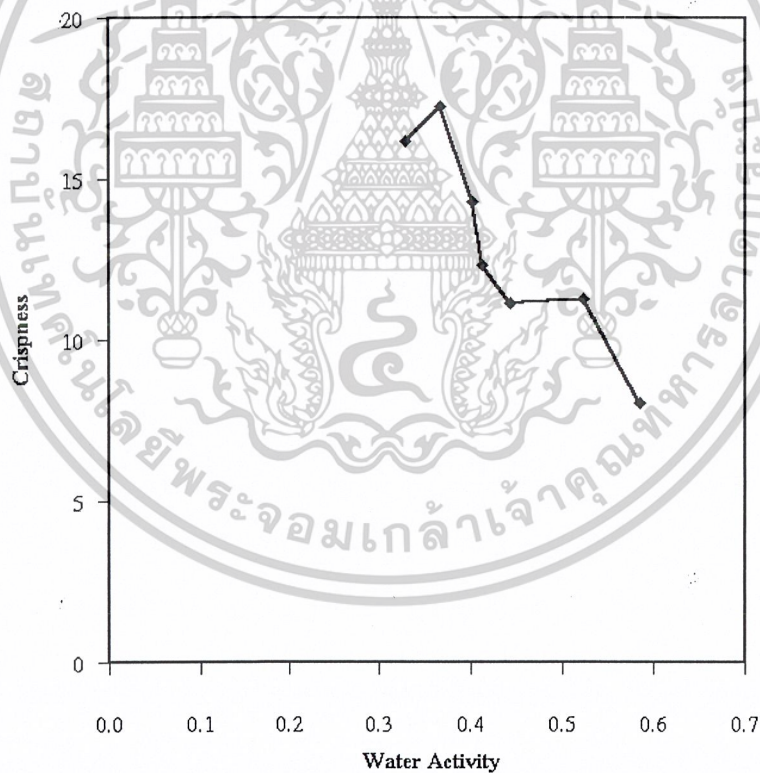
จากรูปที่ 4.9 และ 4.10 การยอมรับความกรอบและความชอบ พบว่าระดับการให้คะแนนจะมีค่าเกาะกลุ่มกันในช่วงความชื้น 3.5 – 4.5 %d.b. และเมื่อความชื้นมีค่าตั้งแต่ 4.5 %d.b. ขึ้นไป ระดับการให้คะแนนจะลดลงอย่างรวดเร็ว และที่ในระดับนี้อยู่ในระดับที่ผู้บริโภคยอมรับ จึงตัดระดับคะแนนที่ผู้บริโภคยอมรับผลิตภัณฑ์ได้คือ 5 คะแนน ซึ่งจะได้ค่าความชื้นวิกฤตคือ 4.90 %d.b. และค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ที่จุดนี้คือ 0.323

4.3 การหาค่าความกรอบ

ผลของค่าความกรอบที่วัด โดยใช้ความชันของกราฟในช่วงระยะทางการเคลื่อนที่ของหัวกด กดลงในตัวอย่าง 0.05-0.10 มิลลิเมตร และค่าความแข็งที่วัดโดยใช้แรงกดสูงสุด ที่ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.4 และเมื่อนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความกรอบกับวอเตอร์แอกติวิตี้ และค่าความแข็งกับวอเตอร์แอกติวิตี้ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ

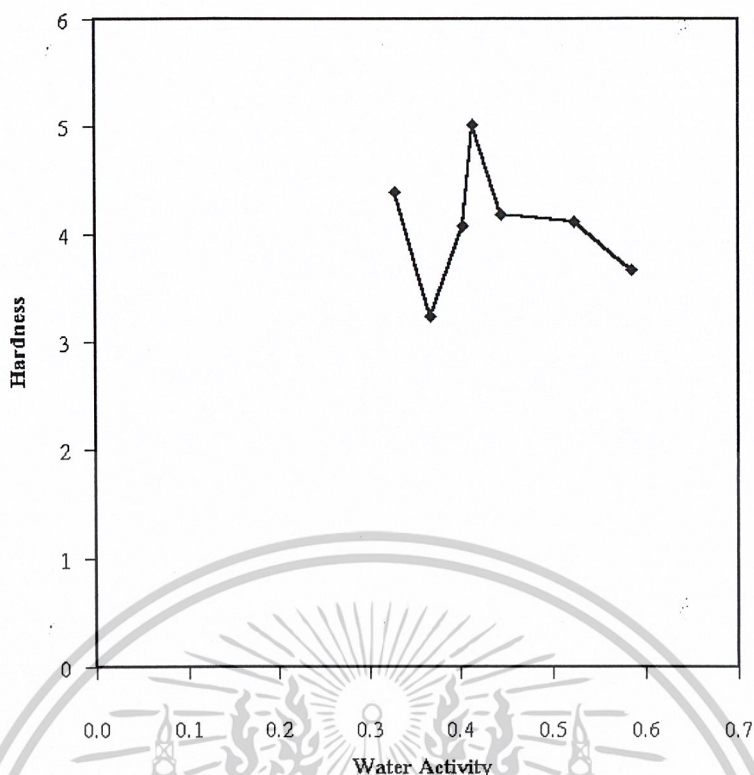
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความกรอบและความแข็งของทุเรียนทอดกรอบที่ค่าวอเตอร์แอกติวิตีต่างๆ

Water Activity	Crispness (Slope between 0.05-0.10 mm)	Hardness (Maximum Force , N)
0.328	16.1650	4.3868
0.367	17.2464	3.2353
0.402	14.2577	4.0732
0.413	12.2975	5.0152
0.444	11.1380	4.1786
0.523	11.2815	4.1141
0.585	8.0440	3.6622



รูปที่ 4.11 ผลของวอเตอร์แอกติวิตีที่มีต่อความกรอบของทุเรียนทอดกรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ผลของวอเตอร์แอกติวิตีที่มีต่อความแข็งของทุเรียนทอดกรอบ

จากรูปที่ 4.11 พบว่า เมื่อค่าวอเตอร์แอกติวิตีเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความกรอบลดลง แต่จากรูปที่ 4.12 ค่าความแข็งจะเพิ่มขึ้นเมื่อวอเตอร์แอกติวิตีเพิ่มขึ้น ในช่วงต่ำกว่า 0.4 แต่เมื่อมีค่าสูงกว่านี้ ค่าความแข็งจะลดลง ซึ่งจากกราฟทั้งสองอาจอธิบายได้ว่า ค่าความกรอบและความแข็งจะสัมพันธ์กันเมื่อค่าวอเตอร์แอกติวิตีสูงกว่า 0.4 โดยทั้งค่าความกรอบและความแข็งจะลดลงเมื่อวอเตอร์แอกติวิตีเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกัน

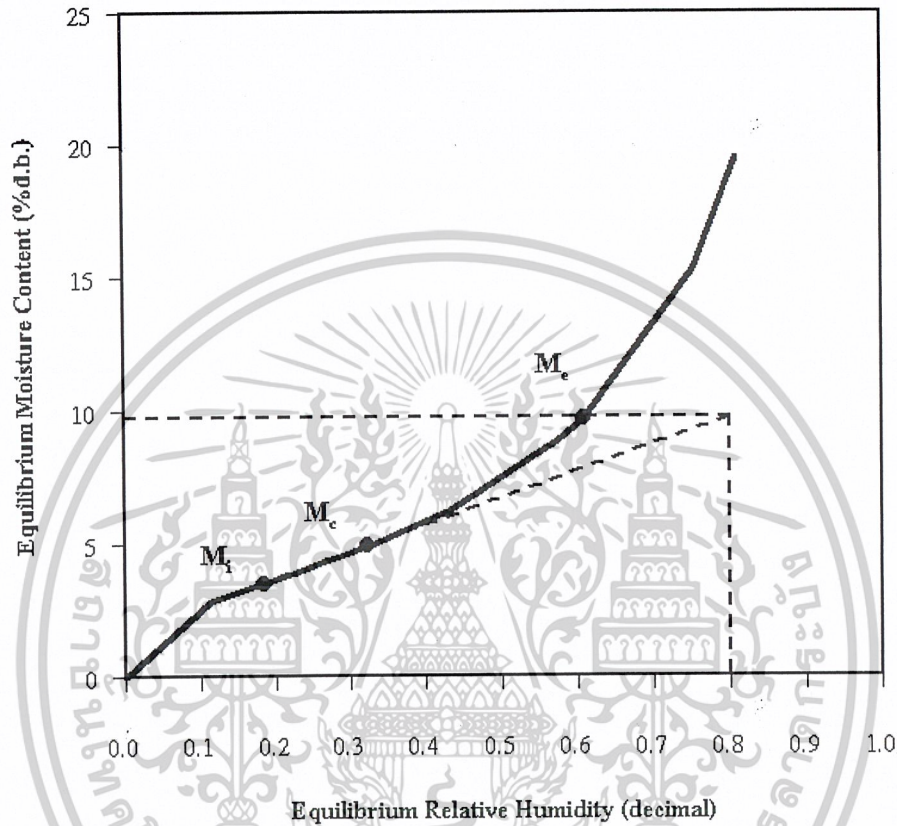
4.4 การทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุแล้ว

นำค่าความชื้นเริ่มต้น ความชื้นวิกฤต และความชื้นสมดุลของตัวอย่างทุเรียนทอดกรอบ มาแทนในสมการที่ใช้ในการทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิท ดังนี้

$$\theta_c = \text{Days to } M_c = \frac{\ln\left(\frac{M_c - M_i}{M_c - M_e}\right)}{\left(\frac{K}{X}\right)\left(\frac{A}{W_s}\right)\left(\frac{P_o}{B}\right)} \quad (1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $M_c = 9.6860\% \text{d.b.}$, $M_i = 3.5125\% \text{d.b.}$, $M_e = 4.90\% \text{d.b.}$, $W_s = 150 \text{ g}$, $B = 0.0998$, $P_o = 19.0156 \text{ mmHg}$ ส่วนค่า K , X และ A เป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิด ซึ่งค่า M_c , M_i และ M_e สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.13 และจากสมการการทำนายอายุการเก็บสามารถทำนายได้ดังแสดงในตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.13 แสดงค่า M_i , M_c และ M_e บนเส้นกราฟไอโซเทอร์ม

ตารางที่ 4.5 อายุการเก็บของทุเรียนทอดกรอบที่ได้จากการทำนายโดยใช้สมการ

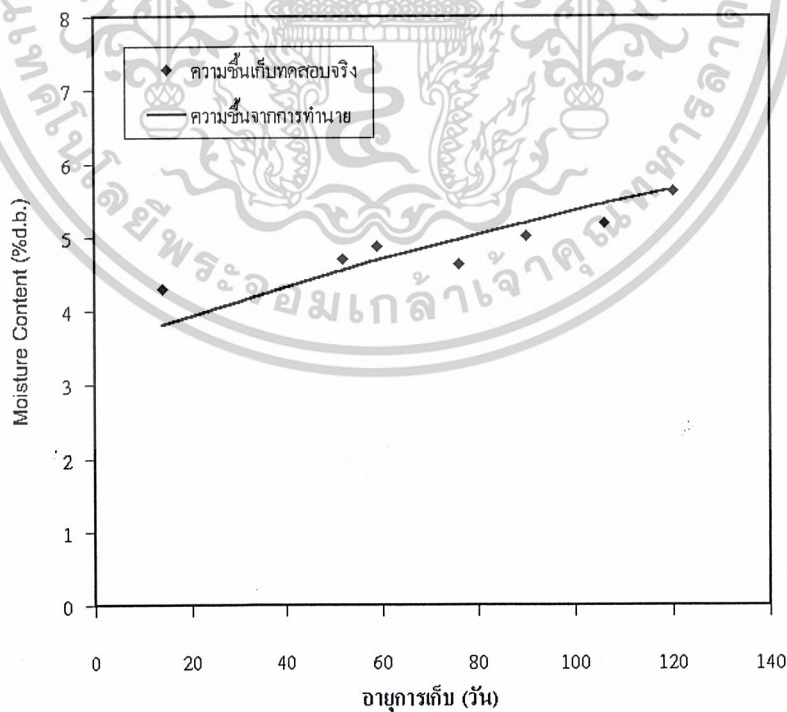
ชนิดของบรรจุภัณฑ์	อายุการเก็บที่ได้จากการทำนาย (Days)	พื้นที่ผิวบรรจุภัณฑ์ (m^2)	ความหนาของบรรจุภัณฑ์ (m)	การยอมให้น้ำซึมผ่านได้ของบรรจุภัณฑ์ ($\text{gH}_2\text{O} \cdot \text{m} / \text{m}^2 \cdot \text{day} \cdot \text{mmHg}$)
Polypropylene 5" x 8"	72	0.0323	0.00009	7.7704×10^{-6}
Polypropylene 7" x 11"	32	0.0723	0.00009	7.7704×10^{-6}
Isotactic Polypropylene 5" x 8"	180	0.0323	0.00015	5.1803×10^{-6}
Isotactic Polypropylene 7" x 11"	80	0.0723	0.00015	5.1803×10^{-6}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบอายุการเก็บของทุเรียนทอดกรอบในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ ที่สภาวะการเก็บเดียวกันพบว่า บรรจุภัณฑ์ชนิด Isotactics Polypropylene ซึ่งนิยมใช้ในการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารประเภททอดกรอบและอบกรอบ สามารถเก็บได้นานกว่าบรรจุภัณฑ์ชนิด Polypropylene หรือถุงร้อน อาจเนื่องจากมีค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (K/X) น้อยกว่า และบรรจุภัณฑ์ที่มีขนาด 5" x 8" สามารถเก็บได้นานกว่าขนาด 7" x 11" อาจเนื่องจากบรรจุภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวในการซึมผ่านของไอน้ำน้อยกว่าบรรจุภัณฑ์ขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถอธิบายได้จากสมการการทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์

4.5 การทดสอบความถูกต้อง

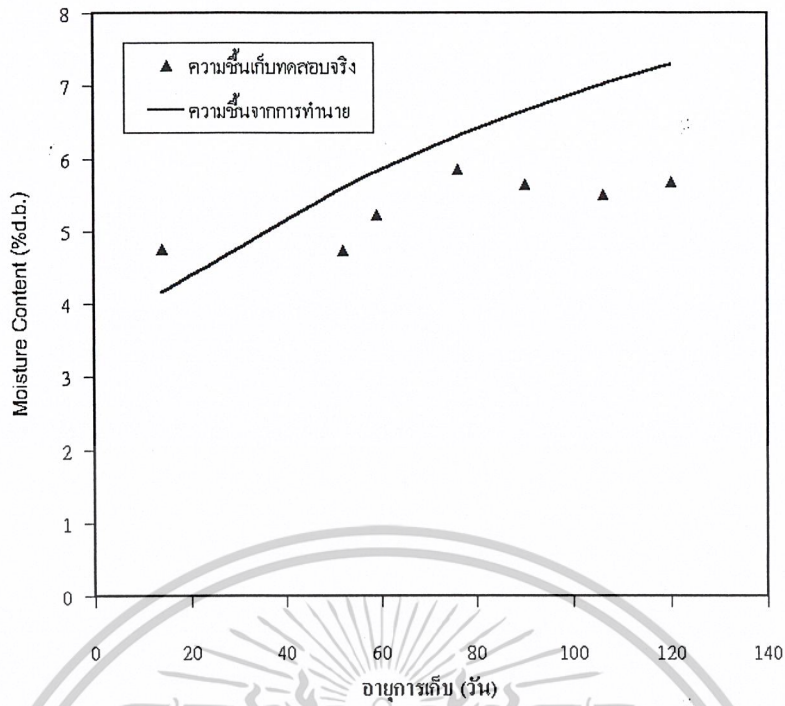
ทำได้โดยเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนวันที่เก็บทดสอบ และความชื้น โดยเปรียบเทียบข้อมูลจากความชื้นที่ได้จากการทำนายจากสมการที่ 1 กับความชื้นที่เก็บได้จริง ดังแสดงในรูปที่ 4.14 – 4.17 อายุการเก็บที่ได้จากการทำนายคลาดเคลื่อนจากอายุการเก็บที่เก็บทดสอบจริง อาจเนื่องมาจากสภาวะบรรยากาศในแต่ละวันแตกต่างกัน ส่งผลให้อัตราการดูดความชื้นของทุเรียนทอดกรอบ และอัตราการซึมผ่านไอน้ำของบรรจุภัณฑ์มีค่าไม่คงที่ ทั้งนี้ อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำนายมีค่าแตกต่างกับอายุของผลิตภัณฑ์ที่เก็บทดสอบจริงไม่มากนัก จึงถือว่าค่าที่ได้นั้นเป็นค่าที่สามารถยอมรับ และใช้ในการทำนายอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ได้



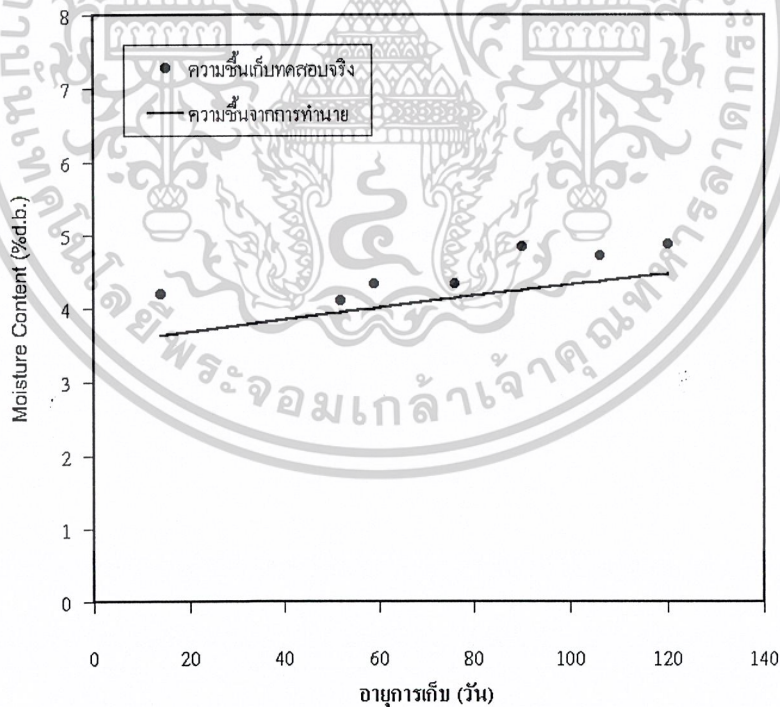
รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบความชื้นที่ได้จากการทำนาย และความชื้นที่ได้จากการเก็บทดสอบจริง

ของบรรจุภัณฑ์ชนิด Polypropylene (PP) ขนาด 5" x 8"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

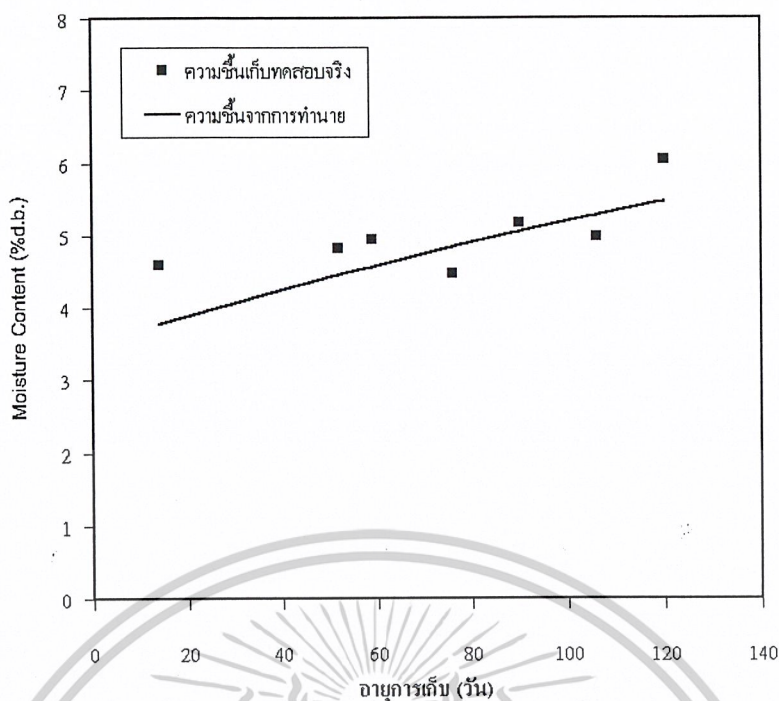


รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบความชื้นที่ได้จากการทำนาย และความชื้นที่ได้จากการเก็บทดสอบจริง ของบรรจุภัณฑ์ชนิด Polypropylene (PP) ขนาด 7" x 11"



รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบความชื้นที่ได้จากการทำนายและความชื้นที่ได้จากการเก็บทดสอบจริง ของบรรจุภัณฑ์ชนิด Isotactic Polypropylene (IPP) ขนาด 5" x 8"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



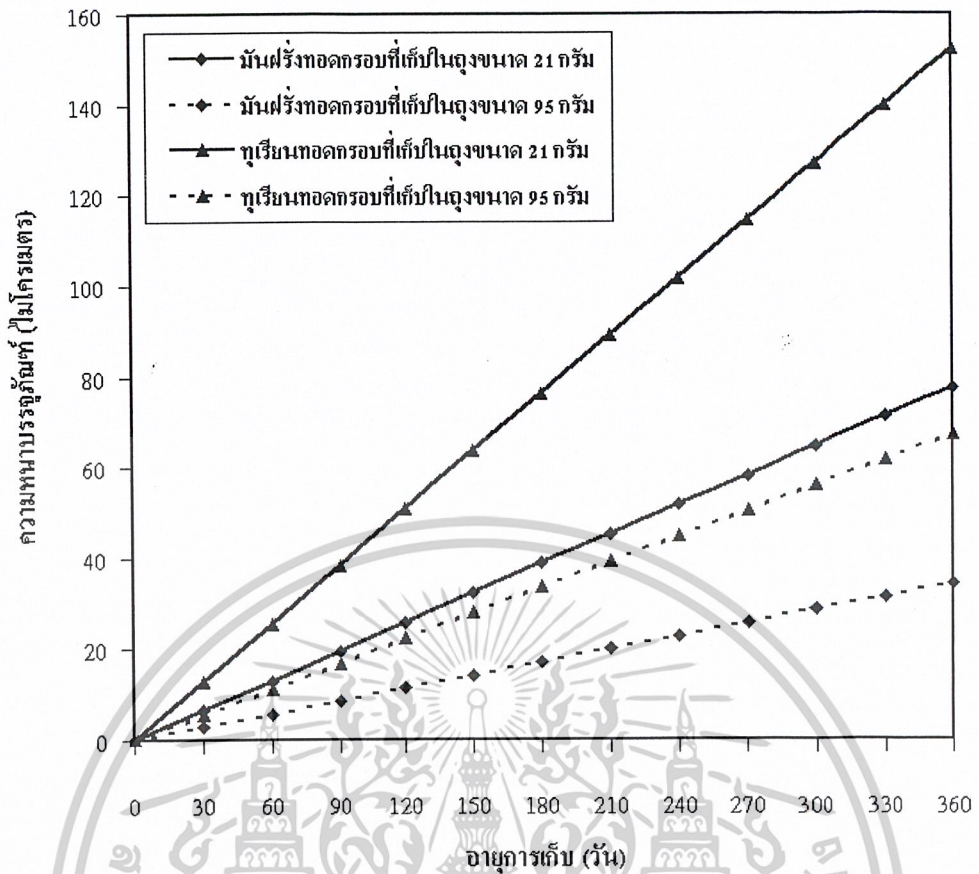
รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบความชื้นที่ได้จากการทำนายและความชื้นที่ได้จากการเก็บทดสอบจริงของบรรจุภัณฑ์ชนิด Isotactic Polypropylene (IPP) ขนาด 7" x 11"

4.6 การนำสมการมาประยุกต์ใช้

เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บของทุเรียนทอดกรอบ และมันฝรั่งทอดที่มีความชื้นเริ่มต้นเท่ากัน ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Aluminum metallized PET/PE ที่มีความหนาต่าง ๆ กันจะได้กราฟมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.18

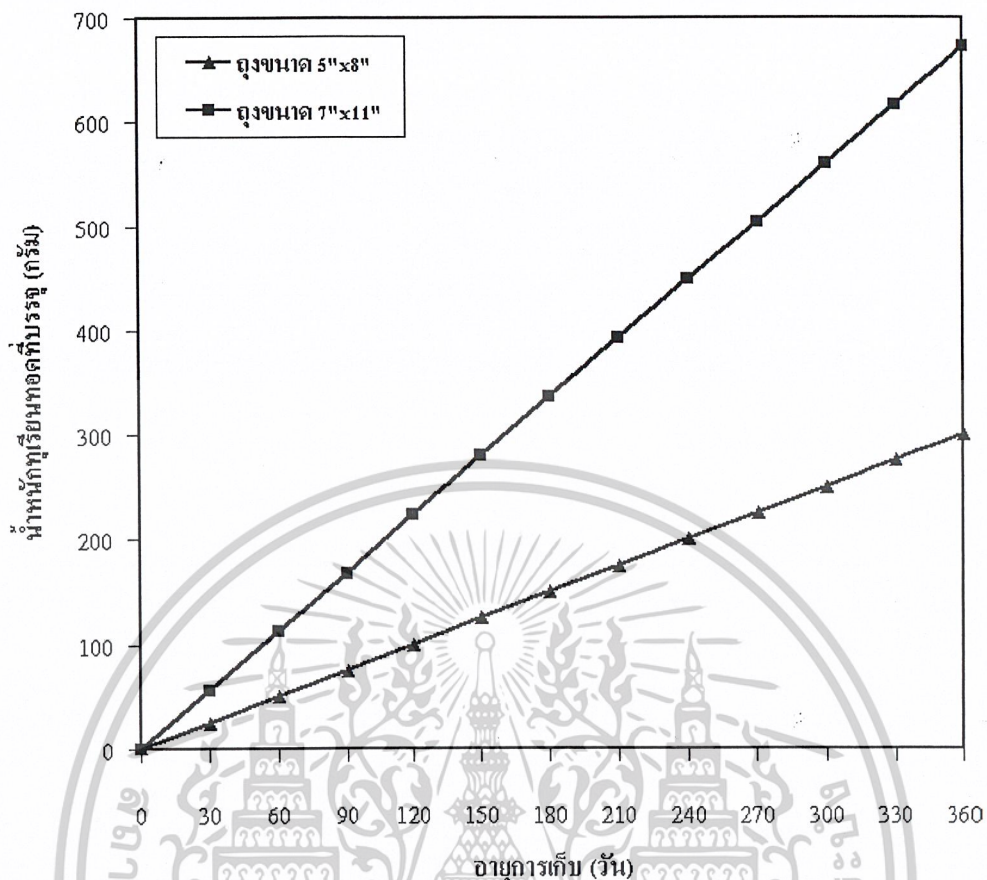
เมื่อบรรจุทุเรียนทอดกรอบ และมันฝรั่งทอดกรอบในบรรจุภัณฑ์ชนิด Aluminum metallized PET/PE ซึ่งมักใช้บรรจุมันฝรั่งทอดกรอบที่วางขายทั่วไปตามท้องตลาด มีความหนามาตรฐาน 65 ไมโครเมตร และบรรจุผลิตภัณฑ์โดยให้อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวบรรจุภัณฑ์ ต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์ของบรรจุภัณฑ์ (A/W) ขนาดเล็ก 21 กรัมและขนาดใหญ่ 95 กรัม มีค่า 0.002183 และ 0.000964 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าเดียวกันกับการบรรจุมันฝรั่งทอดกรอบในเชิงการค้า สามารถประมาณอายุการเก็บของทุเรียนทอดกรอบ และมันฝรั่งทอดกรอบในบรรจุภัณฑ์ขนาด 21 กรัม ได้ 153 วันและ 190 วันตามลำดับ และประมาณอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ทั้งสอง ในบรรจุภัณฑ์ขนาด 95 กรัม ได้ 347 วันและ 432 วันตามลำดับ ซึ่งหมายความว่าทุเรียนทอดกรอบ และมันฝรั่งทอดกรอบที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ขนาดเล็ก ต้องการความหนาของบรรจุภัณฑ์มากกว่าบรรจุภัณฑ์ขนาดใหญ่ เพื่อให้ได้อายุการเก็บที่เท่ากัน ทั้งนี้อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์จะคำนึงถึงเฉพาะการสูญเสียทางความชื้นเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บและความหนาของบรรจุภัณฑ์ชนิด Aluminum metallized PET/PE ซึ่งมีค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ (K) เท่ากับ 0.6475×10^{-6} gH₂O/m²·day·mmHg ขนาดเล็ก 21 กรัม และใหญ่ 95 กรัม ของทุเรียนทอดกรอบและมันฝรั่งทอดกรอบ

นอกจากนี้จากสมการการทำนายอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการประมาณน้ำหนักของทุเรียนทอดกรอบที่บรรจุลงในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ เพื่อให้ได้อายุการเก็บตามต้องการดังแสดงในรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอายุการเก็บและน้ำหนักของทุเรียนทอดกรอบที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ชนิด Isotactic Polypropylene (IPP) ขนาด 5" x 8" และ 7" x 11"

จากรูปที่ 4.19 พบว่าทุเรียนทอดกรอบจะสามารถเก็บได้นาน เมื่อบรรจุเป็นปริมาณมาก แต่เนื่องจากขนาดของบรรจุภัณฑ์มีจำกัด จึงสามารถเก็บทุเรียนทอดกรอบได้ในระยะเวลาที่จำกัด

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาพบว่าอายุการเก็บของทุเรียนทอดกรอบขึ้นอยู่กับบรรจุภัณฑ์ ได้แก่ ชนิด ขนาด และความหนา ปริมาณการบรรจุ สภาพการเก็บ และความชื้นของทุเรียนทอดกรอบ ได้แก่ ความชื้นเริ่มต้น และความชื้นวิกฤตที่ได้จากการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.90 กรัม/น้ำ/100 กรัมของแข็ง

อายุการเก็บของทุเรียนทอดกรอบที่ได้จากการทำนายโดยใช้สมการมีค่าใกล้เคียงกับอายุการเก็บจริง ดังนั้นจึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวประเภทไวต์อความชื้นชนิดอื่นได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กาญจนา จินตกานนท์. 4 ตุลาคม 2547. “ทุเรียนทอด” แปรรูปร่างๆส่งออก สร้างรายได้ไม่ธรรมดา. [Online]. Available : <http://www.maticchon.co.th/adm/tour/template1.php?idn=&selected=823&sid=&select=>
- เครือข่ายข้อมูลวิทยาศาสตร์หลังการเก็บเกี่ยว. 26 สิงหาคม 2547. Water Activity กับการควบคุมอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร. Available : <http://www.phtnet.org/article/ViewArticle.aspx?Fid%3D12+water+activity&hl=th>.
- ชนพลวานิช. 28 กันยายน 2547. ความชื้นสัมพัทธ์. [Online]. Available : <http://www.tanapolvanich.com/humidity.htm>.
- นิรนาม¹. 11 สิงหาคม 2547. Measurment of Moisture Content (การหาปริมาณความชื้น). Available : <http://www.geocities.com/thaikeramos/index/moisturetest.html>.
- นิรนาม². 1 กันยายน 2547. ข้อมูลรายละเอียดสินค้าของ กลุ่มแม่บ้านเกษตรกรบ้านหนองหิน. Available : <http://www.thaitambon.com/tombon/tsmepdesc.asp?Prod=0412384511&ID=770505&SME=0412382651>.
- มยุรี ภาคกล้าเจียก. การคาดคะเนอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหาร โดยการใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์. ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการบรรจุหีบห่อ, สาขาวิจัยพัฒนาผลิตผลเกษตร, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. หน้า 2-14.
- รัตน์ท์ พรรณารุโณทัย. 26 สิงหาคม 2547. บทบาทของ Water Activity (A_w) ในอุตสาหกรรมอาหาร. Available : http://www.charpa.co.th/bulletin/water_activity.html.
- รศ. ดร. นฤตม บุญหลง และ รศ. ดร. จินตนา อุปติสสกุล. 1 กันยายน 2547. ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร. Available : http://www.charpa.co.th/bulletin/food_texture.html.
- วิฑูรย์ พิมพ์สวัสดิ์. 2539. “เครื่องวัด water activity ของผลิตภัณฑ์อาหาร.” ปริญญาณิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 1-4.
- สถาบันการแพทย์แผนไทย. 29 กันยายน 2547. สมุนไพรไทย ต้นไม้ตามทิศ. Available : http://www.ittm.or.th/data_articles/direct_tree/directtree14.htm.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 29 กันยายน 2547. สถานการณ์การผลิตและการตลาด. [Online]. Available : <http://www.doa.go.th/data-agri/DURIAN/1stat/stat02.html>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Aviara N.A., O.O. Ajibola and S.A. Oni. 2004. Sorption Equilibrium and Thermodynamic Characteristics of Soya Bean. **Biosystems Engineering** 87(2), 179-190.
- Decagon device, inc. 1 October 2004. About Water Activity. Available :
<http://www.wateractivity.org/theory.htm>
- Eskin N.A. Michael and David S. Robinson. 2001. **Packaging Consideration: Food Shelf Life Stability**. Boca Raton: CRC Press. 370 p.
- Kadoya Takashi. 1990. Plastic Containers. **Food Packaging**. San Diego: academic Press. 424p.
- Kawas, M.L. & Morcira, R.G.2001. Characterization of product quality attributes of tortilla chips during the frying process. **Journal of Food Engineering**, 47, 97-107.
- Konopocka D., Plochanski W. and Beveridge T. 2002. Water Sorption and Crispness of Fat – Free Apple Chips. **Journal of Food Science**, 67, 87 – 92
- Labuza Theodore. 29 August 2004. Water Activity of Saturated Salt Solutions. [Online].
 Available : <http://www.users.bigpond.com/webbtech/salt.html>.
- Martin R. Okos 1986. **Physical and chemical properties of food**. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural Engineers. 407 p.
- Mcminn, W.A.M., & Magee, T.R.A. 2003. Thermodynamic properties of moisture sorption of potato. **Journal of Food Engineering**, 60, 157-165.
- Rockland Louis B. and Larry R. Beuchat. 1986. **Water Activity: Theory and Applications to Food**. New York: Marcel Dekker. 404 p.
- Rahman Shafiur. 1995. Water activity and sorption properties of foods. **Food properties handbook**. Boca Raton: CRC Press. 500pp.
- Transport Information Service. 4 October 2004. Hygroscopicity/Sorption behavior. [Online].
 Available : http://www.tis-gdv.de/tis_e/misc/hygro.htm.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

วิธีการคำนวณ

1. การคำนวณหาค่าวอเตอร์แอกติวิตีของสารละลายเกลือ
2. การคำนวณหาความชื้นสมดุล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. คำนวณหาค่าวอเตอร์แอกติวิตีของสารละลายเกลือ

ความสัมพันธ์ระหว่างวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) และอุณหภูมิ ของสารละลายเกลืออิ่มตัว โดยทั่วไปจะเป็นไปตามสมการดังนี้

$$\ln a_w = \frac{k_1}{T} - k_2 \quad (6)$$

เมื่อ k_1 และ k_2 คือ ค่าคงที่ของเกลือแต่ละชนิด
 T คือ อุณหภูมิในหน่วยเคลวิน

ตารางที่ ก.1 ค่า k_1 และ k_2 ของสารละลายเกลือ

Saturated salt solution	Formular	k_1	k_2	Mean relative % error
Lithium Chloride	LiCl	10.8233	2.2193	0.2040
Potassium Acetate	CH ₃ COOK	333.9001	2.6185	-
Magnesium Chloride	MgCl ₂	151.0652	1.6271	0.4059
Potassium Carbonate	K ₂ CO ₃	-3.0240	0.8300	0.0046
Sodium Bromide	NaBr	447.8054	2.0575	0.3180
Sodium Chloride	NaCl	23.1092	0.3607	0.1631
Ammonium Sulfate	(NH ₄) ₂ SO ₄	76.8191	0.4690	0.0337

ที่มา: Labuza (2004)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ค่าวอเตอร์แอกติวิตีของทุเรียนทอดกรอบที่อุณหภูมิต่างๆ

สารละลายเกลือ	วอเตอร์แอกติวิตี			
	20 °C	25 °C	40 °C	60 °C
LiCl	0.1128	0.1127	0.1125	0.1124
CH ₃ COOK	0.2279	0.2236	0.2119	0.2050
MgCl ₂	0.3291	0.3262	0.3184	0.3137
K ₂ CO ₃	0.4316	0.4316	0.4319	0.4320
NaBr	0.5891	0.5742	0.5343	0.5111
NaCl	0.7544	0.7534	0.7506	0.7489
(NH ₄) ₂ SO ₄	0.8132	0.8096	0.7997	0.7936



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การคำนวณหาความชื้นสมดุล

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลจากการทดลองหาความชื้นสมดุลของตัวอย่างทุเรียนทอดกรอบที่อุณหภูมิต่างๆ

สารละลายเกลือ	อุณหภูมิ (°C)	น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักหลังอบ (กรัม)	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	% ความชื้นสมดุล (มาตรฐานแห้ง)
LiCl	20	5.1817	4.9496	0.2321	4.6888
CH ₃ COOK		4.9057	4.6903	0.2154	4.5931
MgCl ₂		5.0936	4.8434	0.2502	5.1658
K ₂ CO ₃		5.0907	4.8315	0.2591	5.3636
NaBr		5.1074	4.4919	0.6155	13.7023
NaCl		5.4430	4.7386	0.7044	14.8646
(NH ₄) ₂ SO ₄		5.2936	4.4144	0.8793	19.9181
LiCl	40	5.0301	4.9142	0.1159	2.3579
CH ₃ COOK		5.0154	4.8747	0.1407	2.8856
MgCl ₂		5.0217	4.8600	0.1618	3.3285
K ₂ CO ₃		5.0242	4.8161	0.2081	4.3217
NaBr		5.0133	4.7401	0.2732	5.7628
NaCl		5.0714	4.5645	0.5069	11.1058
(NH ₄) ₂ SO ₄		5.1459	4.6107	0.5352	11.6076
LiCl	60	5.0417	4.9640	0.0777	1.5655
CH ₃ COOK		5.0172	4.9004	0.1168	2.3845
MgCl ₂		5.0172	4.8696	0.1477	3.0325
K ₂ CO ₃		5.0280	4.8348	0.1932	3.9967
NaBr		5.1113	4.8694	0.2419	4.9672
NaCl		5.0742	4.6143	0.4599	9.9671
(NH ₄) ₂ SO ₄		5.0423	4.5701	0.4722	10.3326

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ความชื้นสัมพัทธ์ของตัวอย่างทุเรียนทอดกรอบเปรียบเทียบกับความชื้นที่ได้ออกมาจากการทำนาย โดยใช้แบบจำลองของ Halsey ที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (ERH)	ความชื้นที่ได้จากการวัด (%ฐานแห้ง)	ความชื้นที่ได้จากการทำนาย (%ฐานแห้ง)
20	0.1128	4.6888	3.0644
	0.2279	4.5931	4.2221
	0.3291	5.1658	5.3417
	0.4316	5.3636	6.7256
	0.5891	13.7023	9.8440
	0.7544	14.8646	16.5392
	0.8132	19.9181	21.3407
40	0.1125	2.3579	2.2950
	0.2119	2.8856	3.0420
	0.3184	3.3285	3.9089
	0.4319	4.3217	5.0447
	0.5343	5.7628	6.4181
	0.7506	11.1058	12.2179
	0.7997	11.6076	15.0027
60	0.1124	1.5655	1.7189
	0.2050	2.3845	2.2055
	0.3137	3.0325	2.8703
	0.4320	3.9967	3.7836
	0.5111	4.9672	4.3279
	0.7489	9.9671	9.0434
	0.7936	10.3326	10.6696

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 แสดงความชื้นที่วัดได้จากการเก็บทดสอบจริง

ชนิดของบรรจุภัณฑ์	จำนวนวัน	ความชื้น (%ฐานแห้ง)
PPS	14	4.2898
	52	4.6966
	59	4.8696
	76	4.6369
	90	5.5167
	106	5.1838
	120	5.6164
PPB	14	4.7472
	52	4.9559
	59	5.2193
	76	4.8451
	90	5.6476
	106	5.4972
	120	5.6801
IPPS	14	4.1868
	52	4.0977
	59	4.3250
	76	4.3291
	90	4.8454
	106	4.7096
	120	4.8753
IPPB	14	4.5947
	52	4.8265
	59	4.1435
	76	4.4749
	90	4.7779
	106	4.9783
	120	6.0376

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ (K) ของบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ

1. ค่าที่ได้จากเอกสารอ้างอิง
2. Permeability Units Conversion
3. ค่าที่ได้จากการเปลี่ยนหน่วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ค่าที่ได้จากเอกสารอ้างอิง

ตารางที่ ข.1 แสดงค่า K ของบรรจุภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ ในหน่วย $\text{gH}_2\text{O} \cdot \text{mm} / \text{m}^2 \cdot \text{day}$

Film	Water Vapor Transport Ratio ($\text{gH}_2\text{O} \cdot \text{mm} / \text{m}^2 \cdot \text{day}$)
Low-density polyethylene (LDPE) @ 24 °C	0.39-0.59
High-density polyethylene (HDPE) @ 25 °C	0.04
Cast polypropylene (CPP) @ 40 °C	0.15
Oriented polypropylene (OPP) @ 40 °C	0.10
Polyvinylidene Chloride @ 24 °C	0.10-0.12
Saponified Ethylene Vinyl Acetate Copolymer (EVOH) @ 40 °C	0.55-3.15
Polyester, Polyethylene Terephthalate (PET) @ 37.8 °C	0.39-0.51
Nylon (0.015 mm thick) @ 40 °C	6.7
Polyvinyl chloride (PVC) @ 37.8 °C	1.7
Polyvinylidene chloride, polyvinyl chloride, copolymer @ 37.8 °C	0.08-0.24
Polystyrene @ 24 °C	3.5
Polycarbonate @ 37.8 °C	3.8
Polycarbonate @ 40 °C	4.33
Acrylonitrile Butadiene Styrene Copolymer (ABS)	2.0-6.3
Acrylonitrile @ 24 °C	0.24

ที่มา: Plastics Design Library (1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 แสดงค่า K ของบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ ในหน่วย $\text{gH}_2\text{O} / \text{m}^2 \cdot 24\text{h}$

Film	Water Vapor Transport Ratio ($\text{gH}_2\text{O} / \text{m}^2 \cdot 24\text{h}$)
PVDC-coated cellophane 25 μm /polyethylene 40 μm	9-11
PVDC-coated oriented polypropylene 23 μm /polyethylene 40 μm	3-5
PVDC-coated oriented nylon 18 μm /polyethylene 40 μm	6-8
PVDC-coated polyester 15 μm /polyethylene 40 μm	4-6
Moisture-proof cellophane/aluminum foil 70 μm / polyethylene 40 μm	0-10
Polyester /aluminum foil 7 μm /polyethylene 40 μm	0-10
Oriented Polypropylene/ethylene-vinyl alcohol copolymer / polyethylene 60 μm	3-4
Oriented vinylon /polyethylene 80 μm	2.5-3.5
Aluminum metallized polyethylene terephthalate / polyethylene	Under 0.5

ที่มา: Kodoya (1990)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Permeability Units Conversion

ตารางที่ ข.3 แสดง Permeability Units Conversion

Source Document Unit	Permeability Coefficient Unit ($\text{cm}^3 \cdot \text{mm} / \text{m}^2 \cdot \text{day} \cdot \text{atm}$)	Vapor Permeation Rate Unit ($\text{g} \cdot \text{mm} / \text{m}^2 \cdot \text{day}$)	Notes
$\text{g} \cdot \text{mm} / 100 \text{ in}^2 \cdot \text{mmHg} \cdot \text{day}$		2.992125e+02	*
$\text{g} / \text{m}^2 \cdot \text{day}$		1.000000e+00	**
$\text{mm}^3 \cdot \text{mm} / \text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$	8.754480e-03		
$\text{cm}^3 \cdot \text{mm} / \text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{day}$	1.013250e+05		
$\text{cm}^3 \cdot \text{mm} / \text{m}^2 \cdot \text{sec} \cdot \text{cmHg}$	6.566397e+06		

General Note – Values of the permeability coefficient and the vapor transmission rate in most of the range of several powers of magnitude. However, these values are usually given in an easy-to-read decimal format (practical units), with the magnitude factor stated in a table.

* Unit of pressure (e.g., atm) in the original unit can be ignored for the measurements conducted at normal pressure (1 atm); otherwise the conversion factor is not valid and the value cannot be converted.

** The conversion factor is applicable only if the film thickness is known; multiple the value-factor product by the film thickness in mm.

ที่มา: Plastics Design Library (1995)

3. ค่าที่ได้จากการแปลงหน่วย

ตารางที่ ข.4 แสดงค่า K ของบรรจุภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ ในหน่วย $\text{gH}_2\text{O} \cdot \text{m} / \text{m}^2 \cdot \text{day} \cdot \text{mmHg}$

Film	$K \times 10^{-6}$ ($\text{gH}_2\text{O} \cdot \text{m} / \text{m}^2 \cdot \text{day} \cdot \text{mmHg}$)
Low-density polyethylene (LDPE)	20.2031
High-density polyethylene (HDPE)	2.0721
Cast polypropylene (CPP)	7.7704
Oriented polypropylene (OPP)	5.1803
Polyvinylidene Chloride	5.1803
Saponified Ethylene Vinyl Acetate Copolymer (EVOH)	28.4915
Polyester, Polyethylene Terephthalate (PET)	20.2031
Nylon (0.015 mm thick)	347.0784
Polyvinyl chloride (PVC)	88.0647
Polyvinylidene chloride, polyvinyl chloride, copolymer	4.1442
Polystyrene	181.3096
Polycarbonate	196.8505
Polycarbonate	224.3059
Acrylonitrile Butadiene Styrene Copolymer (ABS)	103.6055
Acrylonitrile	12.4327
PVDC-coated cellophane 25 μm /polyethylene 40 μm	11.6556
PVDC-coated oriented polypropylene 23 μm /polyethylene 40 μm	3.8852
PVDC-coated oriented nylon 18 μm /polyethylene 40 μm	7.7704
PVDC-coated polyester 15 μm /polyethylene 40 μm	5.1803
Moisture-proof cellophane/aluminum foil 70 μm / polyethylene 40 μm	6.4753
Polyester /aluminum foil 7 μm /polyethylene 40 μm	6.4753
Oriented Polypropylene/ethylene-vinyl alcohol copolymer / polyethylene 60 μm	3.8852
Oriented vinylon /polyethylene 80 μm	3.2377
Aluminum metallized polyethylene terephthalate / polyethylene	0.6475

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

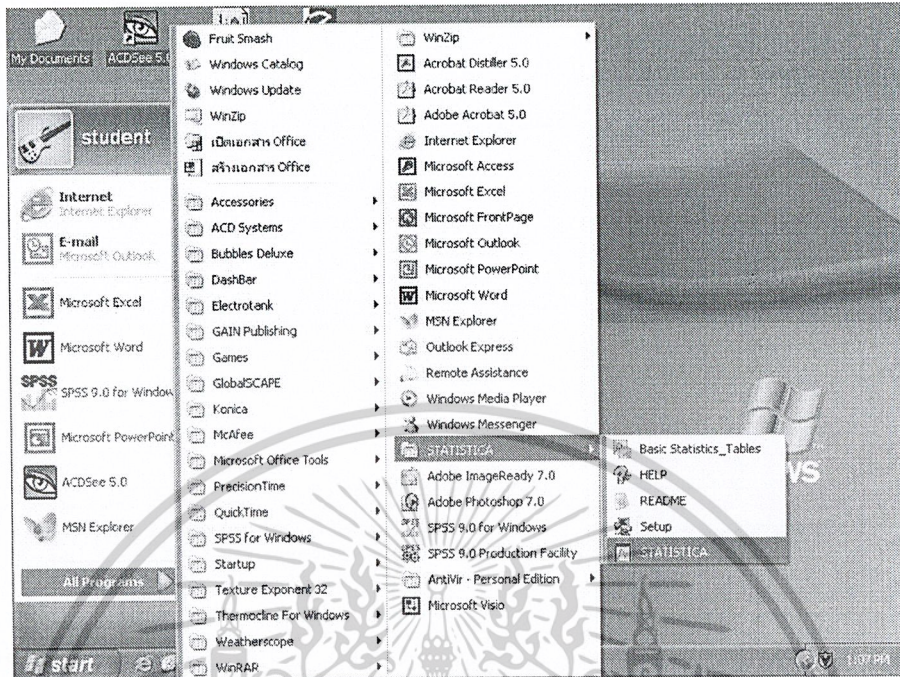
การวิเคราะห์แบบจำลอง ด้วยโปรแกรม STATISTICA A/w 5.0



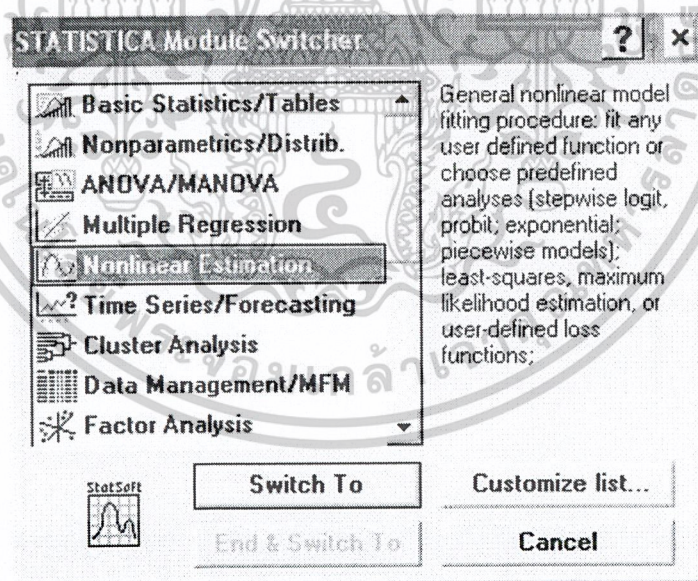
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์แบบจำลอง ด้วยโปรแกรม STATISTICA A/w 5.0

1. เปิดโปรแกรม STATISTICA จาก Start → All Program → STATISTICA

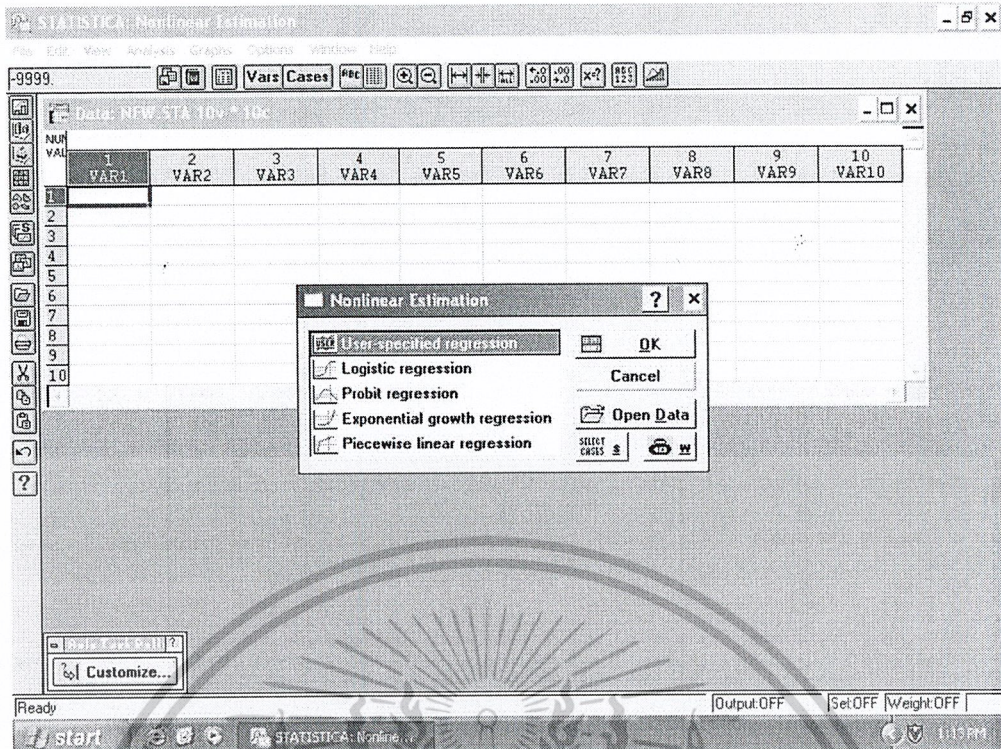


2. เมื่อขึ้นหน้าต่าง STATISTICA Module Switcher ให้เลือก Nonlinear Estimation จากนั้นกด Switch To

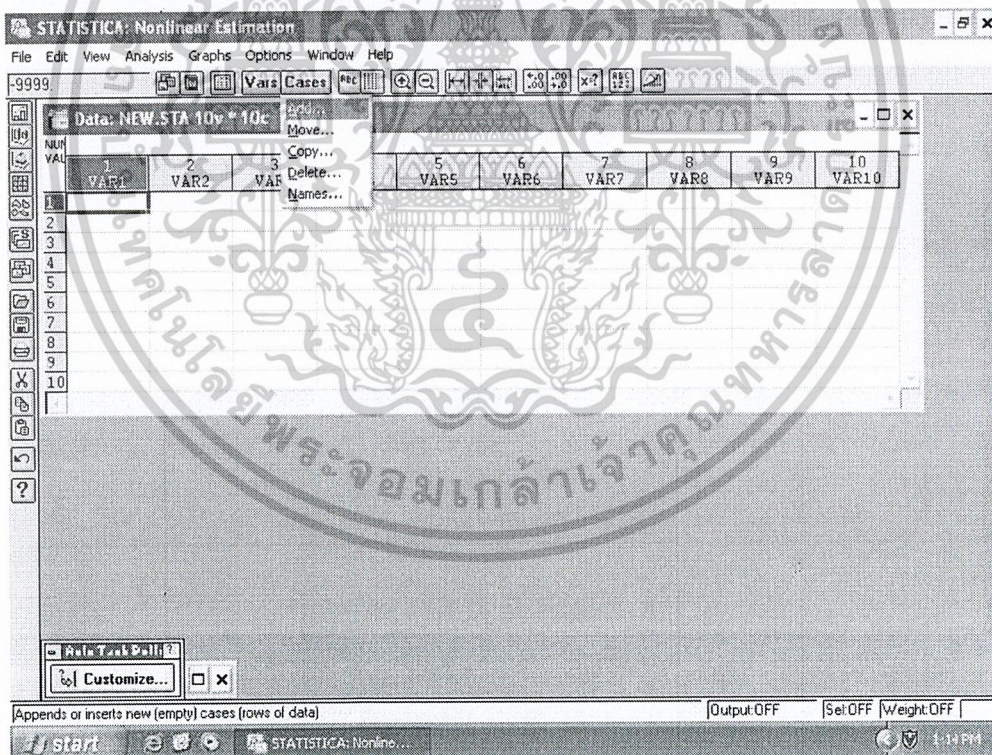


3. หน้าต่าง STATISTICA : Nonlinear Estimation จะปรากฏขึ้นพบว่ามีจำนวนตัวแปร 10 ตัวแปร ได้แก่ var1 – var10 และมีจำนวน case 10 cases แต่สำหรับข้อมูลจากการทดลองมีจำนวน 3 ตัวแปร ได้แก่ วอเตอร์แอกติวิตี ความชื้น และอุณหภูมิ จำนวน case หรือจำนวนค่าสังเกตมี 21 ค่า (ทดลองที่ 3 อุณหภูมิ ในแต่ละอุณหภูมิมีค่า วอเตอร์แอกติวิตีและความชื้น 7 ระดับ) ดังนั้นจึงต้องเพิ่มจำนวน case เข้าไปอีก 11 cases

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

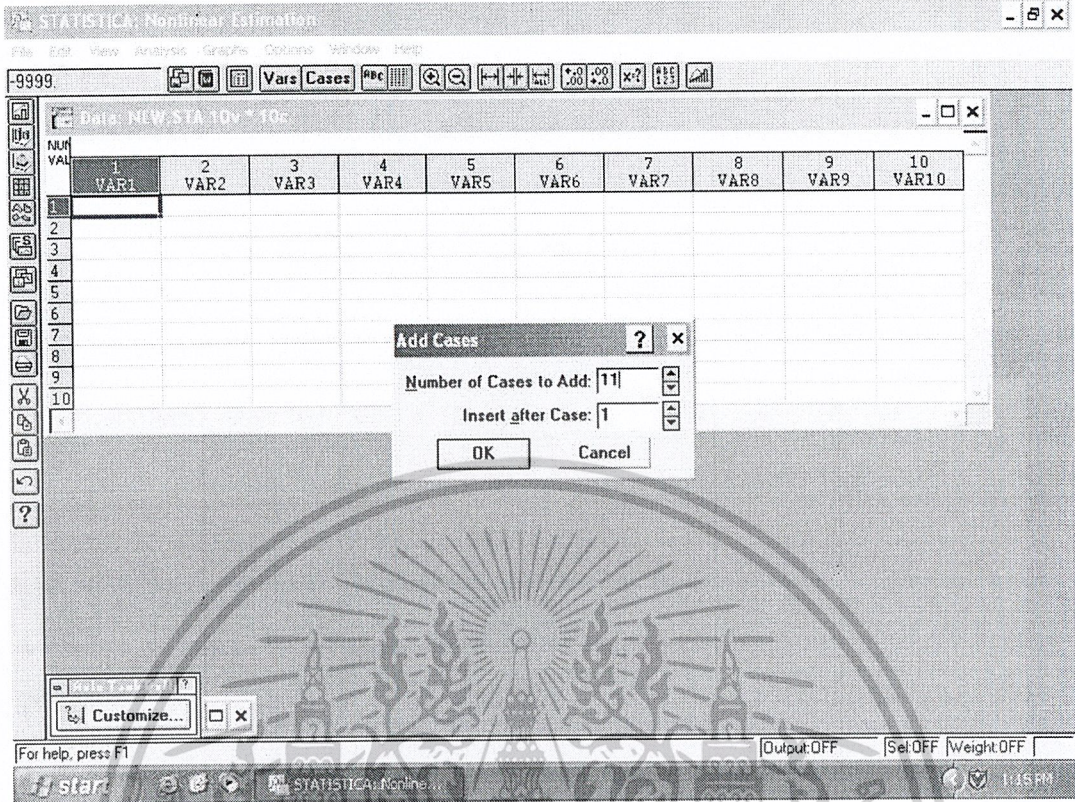


4. เพิ่มจำนวน case โดยเลือก Cases → Add...

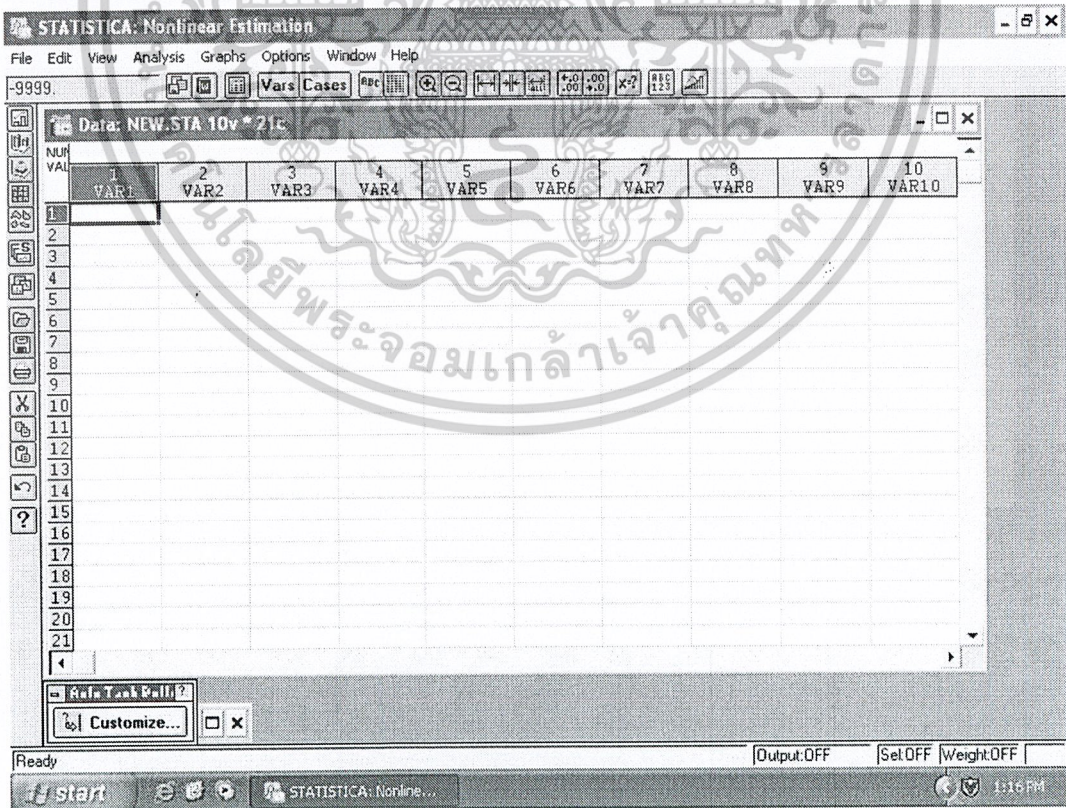


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เมื่อขึ้นหน้าต่าง Add Cases ให้ใส่ Number of Cases to Add เป็น 11 แล้วกด OK



6. จำนวน Case จะเพิ่มขึ้นเป็น 21 Cases



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. กรอกข้อมูลลงในตารางโดย var1 เป็นวอเตอร์แอกติวิตี, var2 เป็นความชื้น (%d.b.) และ var3 เป็นอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส

STATISTICA: Nonlinear Estimation

File Edit View Analysis Graphs Options Window Help

112775020990967 Vars Cases

Data: NEW.STA 10v * 21c

NUM	1 VAR1	2 VAR2	3 VAR3	4 VAR4	5 VAR5	6 VAR6	7 VAR7	8 VAR8	9 VAR9	10 VAR10
1	.1128	4.5931	20							
2	.2279	4.6888	20							
3	.3291	5.1658	20							
4	.4316	5.3636	20							
5	.5891	13.7023	20							
6	.7544	14.8646	20							
7	.8132	19.9181	20							
8	.1125	2.3579	40							
9	.2119	2.8856	40							
10	.3184	3.3285	40							
11	.4319	4.3217	40							
12	.5343	5.7628	40							
13	.7506	11.1058	40							
14	.7997	11.6076	40							
15	.1123	1.5655	60							
16	.1987	2.3845	60							
17	.3093	3.0325	60							
18	.4321	3.9967	60							
19	.4903	4.9672	60							
20	.7473	9.9671	60							
21	.7880	10.3326	60							

Ready Output:OFF Set:OFF Weight:OFF

8. บนหน้าต่าง Nonlinear Estimation ให้เลือก User-Specified Regression จากนั้นกด OK

STATISTICA: Nonlinear Estimation

File Edit View Analysis Graphs Options Window Help

112775020990967 Vars Cases

Data: NEW.STA 10v * 21c

NUM	1 VAR1	2 VAR2	3 VAR3	4 VAR4	5 VAR5	6 VAR6	7 VAR7	8 VAR8	9 VAR9	10 VAR10
1	.1128	4.5931	20							
2	.2279	4.6888	20							
3	.3291	5.1658	20							
4	.4316	5.3636	20							
5	.5891	13.7023	20							
6	.7544	14.8646	20							
7	.8132	19.9181	20							
8	.1125	2.3579	40							
9	.2119	2.8856	40							
10	.3184	3.3285	40							
11	.4319	4.3217	40							
12	.5343	5.7628	40							
13	.7506	11.1058	40							
14	.7997	11.6076	40							
15	.1123	1.5655	60							
16	.1987	2.3845	60							
17	.3093	3.0325	60							
18	.4321	3.9967	60							
19	.4903	4.9672	60							
20	.7473	9.9671	60							
21	.7880	10.3326	60							

Nonlinear Estimation

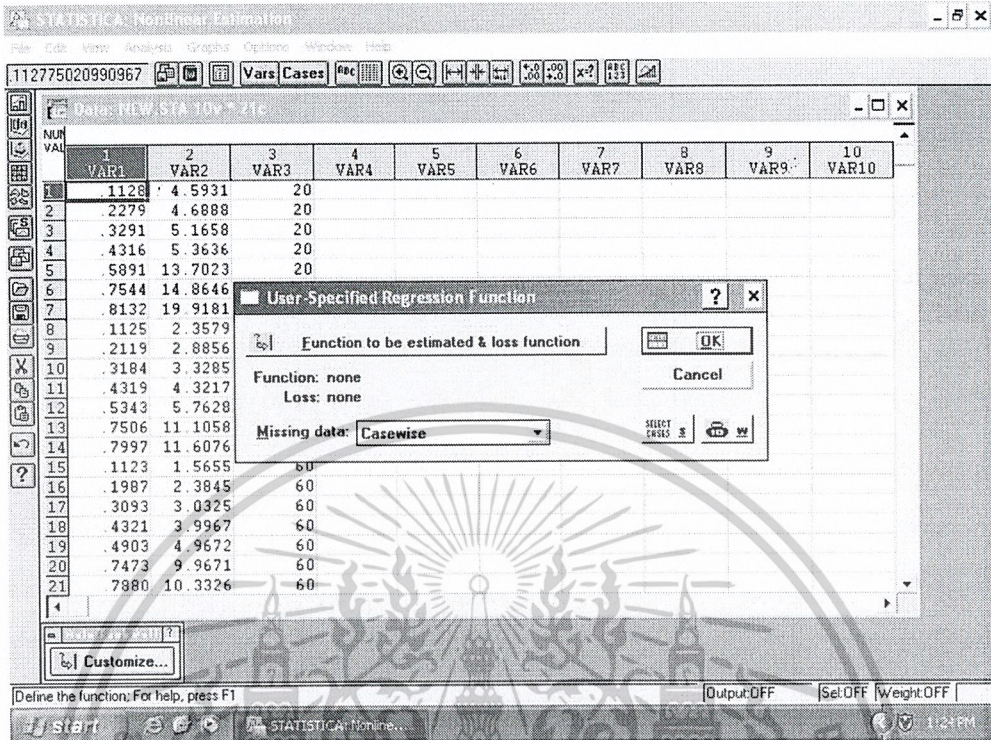
- User-specified regression
- Logistic regression
- Probit regression
- Exponential growth regression
- Piecewise linear regression

Buttons: OK, Cancel, Open Data, SELECT CASES, W

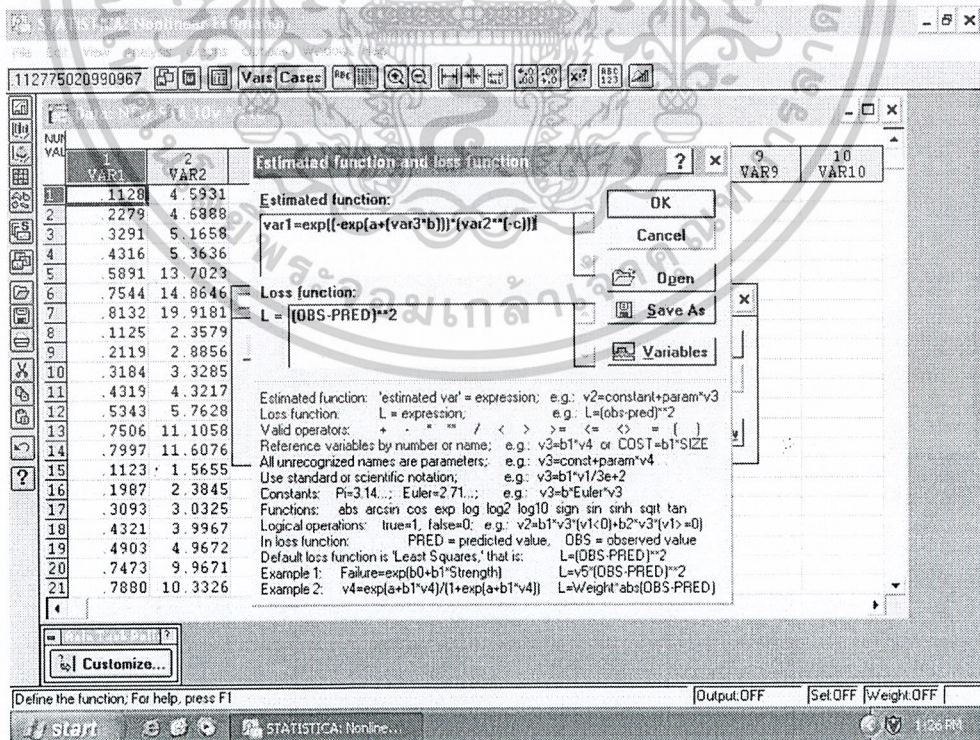
Ready Output:OFF Set:OFF Weight:OFF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. หน้าต่าง User-Specified Regression Function พบว่า Function : none และ Loss : none เนื่องจาก ยังไม่ได้เพิ่มสมการ ดังนั้นคลิก Function to be estimated & loss function เพื่อทำการเพิ่มสมการ



10. บนหน้าต่าง Function to be estimated and loss function ในช่อง Estimated function ให้เขียนสมการในรูป var1 , var2 และ var3 และเลือก OK



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. หน้าต่าง User-Specified Regression Function จะขึ้นมาอีกครั้งหนึ่งแต่พบว่า Function จะเป็นสมการที่ทำการเพิ่มเข้าไป และ Loss เป็น $(OBS-PRED)**2$ จากนั้นเลือก OK

The screenshot shows the STATISTICA: Nonlinear Estimation window. The data table has 21 rows and 10 columns (VAR1 to VAR10). A dialog box titled "User-Specified Regression Function" is open, showing the function: $var1 = \exp(-\exp(a + (var3 * b))) * (var2 ** (-c))$ and the loss function: $(OBS - PRED) ** 2$. The "Missing data" dropdown is set to "Casewise".

NUM	VAR1	VAR2	VAR3	VAR4	VAR5	VAR6	VAR7	VAR8	VAR9	VAR10
1	1128	4.5931	20							
2	2279	4.6888	20							
3	3291	5.1658	20							
4	4316	5.3636	20							
5	5891	13.7023	20							
6	7544	14.8646								
7	8132	19.9181								
8	1125	2.3579								
9	2119	2.8856								
10	3184	3.3285								
11	4319	4.3217								
12	5343	5.7628								
13	7506	11.1058								
14	7997	11.6076								
15	1123	1.5655	60							
16	1987	2.3845	60							
17	3093	3.0325	60							
18	4321	3.9967	60							
19	4903	4.9672	60							
20	7473	9.9671	60							
21	7880	10.3326	60							

12. หน้าต่าง Model Estimation จะปรากฏขึ้น โดยมีรายละเอียดดังนี้

Model is : สมการที่ป้อนเข้าไป

Number of parameters to be estimated : จำนวนตัวแปรที่ต้องการหาค่าซึ่งในแต่ละสมการจะมีตัวแปร 3 ตัว คือ A B และ C

Dependent variable : ตัวแปรตาม

Independent variable : ตัวแปรตาม

Number of valid case : จำนวนข้อมูล

Estimation method : Quasi-Newton

จากนั้นคลิกที่ Start values : เพื่อทำการใส่ค่าเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STATISTICA: Nonlinear Estimation

File Edit View Analysis Graphs Options Windows Help

.112775020990967 Vars Cases

Data: NEW_STA_10V**21c

NUM VAL	I	VAR1	V
1	1128	4	
2	2279	4	
3	3291	5	
4	4316	5	
5	5891	13	
6	7544	14	
7	8132	19	
8	1125	2	
9	2119	2	
10	3184	3	
11	4319	4	
12	5343	5	
13	7506	11	
14	7997	11	
15	1123	1	
16	1987	2	
17	3093	3	
18	4321	3	
19	4903	4	
20	7473	9	
21	7880	10	

Model Estimation

Model is: $var1 = \exp((- \exp(a + (var3 * b))) * (var2 ** (-c)))$
 Number of parameters to be estimated: 3
 Loss function: (OBS-PRED)**2
 Dependent variable: VAR1

Independent variables: VAR3 VAR2

Missing data are casewise deleted

Number of valid cases: 21

Estimation method: Quasi-Newton [OK]

Asymptotic standard errors
 Eta for finite diff. approx. (LE=)

Maximum number of iterations: 50
 Convergence criterion: .0001 [Means & standard deviations]

Start values: .1 for all parameters [Matrix plot for all variables]
 Initial step size: .50 for all parameters [Box & whisker plot for all vars.]

For help, Press F1 Output: OFF Sel: OFF Weight: OFF

start STATISTICA: Nonline... 1:27 PM

13. หน้าต่าง Specify start values จะปรากฏขึ้นมา ที่ช่อง A, B และ C ให้ใส่ค่า 0.001 (มีค่าใกล้เคียงศูนย์ แต่จะใส่ค่าศูนย์ไม่ได้) จากนั้นเลือก OK

STATISTICA: Nonlinear Estimation

File Edit View Analysis Graphs Options Windows Help

.112775020990967 Vars Cases

Data: NEW_STA_10V**21c

NUM VAL	I	VAR1	V
1	1128	4	
2	2279	4	
3	3291	5	
4	4316	5	
5	5891	13	
6	7544	14	
7	8132	19	
8	1125	2	
9	2119	2	
10	3184	3	
11	4319	4	
12	5343	5	
13	7506	11	
14	7997	11	
15	1123	1	
16	1987	2	
17	3093	3	
18	4321	3	
19	4903	4	
20	7473	9	
21	7880	10	

Model Estimation

Model is: $var1 = \exp((- \exp(a + (var3 * b))) * (var2 ** (-c)))$
 Number of parameters to be estimated: 3
 Loss function: (OBS-PRED)**2
 Dependent variable: VAR1

Independent variables: VAR3 VAR2

Missing data are casewise deleted

Number of valid cases: 21

Estimation method: Quasi-Newton [OK]

Asymptotic standard errors
 Eta for finite diff. approx. (LE=)

Maximum number of iterations: 50
 Convergence criterion: .0001 [Means & standard deviations]

Start values: .1 for all parameters [Matrix plot for all variables]
 Initial step size: .50 for all parameters [Box & whisker plot for all vars.]

Specify start values

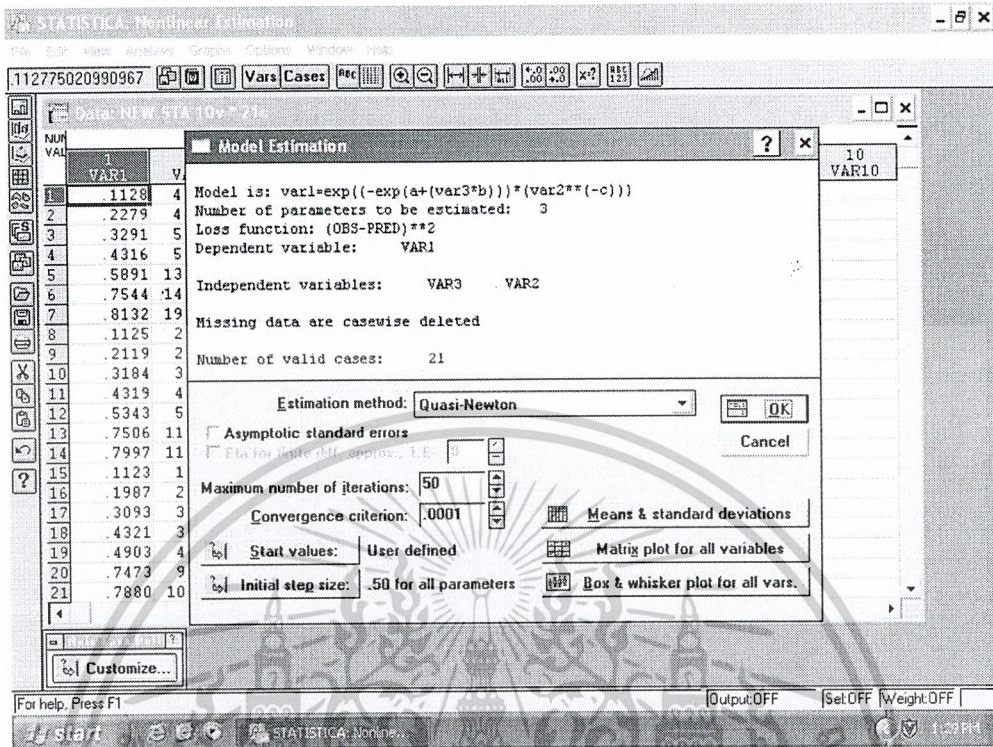
A: .001 [OK] [Cancel]
 B: .001 [Common Value: 0] [Apply]
 C: .001

For help, press F1 Output: OFF Sel: OFF Weight: OFF

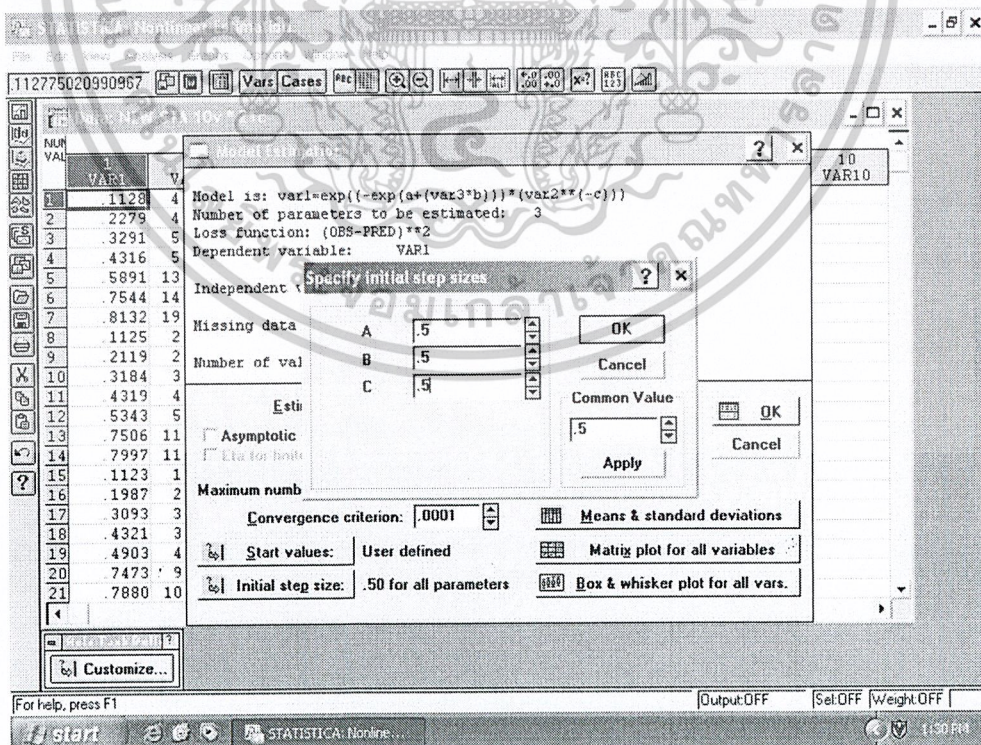
start STATISTICA: Nonline... 1:28 PM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. หน้าต่าง Model Estimation จะปรากฏขึ้นมาอีกครั้งหนึ่ง แต่ที่ Start Values จะเป็น User defined จากนั้นคลิกที่ Initial Step Size :

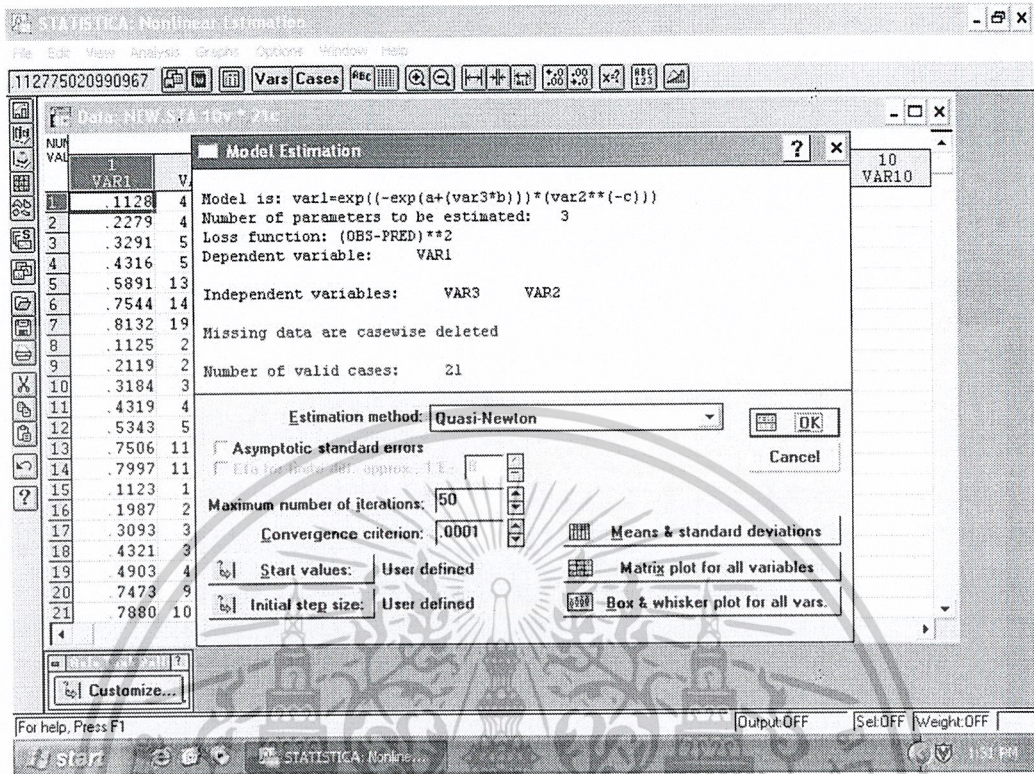


15. หน้าต่าง Specify Initial Step Sizes จะปรากฏขึ้นมา ที่ช่อง A, B และ C ให้ใส่ค่า 0.5 จากนั้นเลือก OK

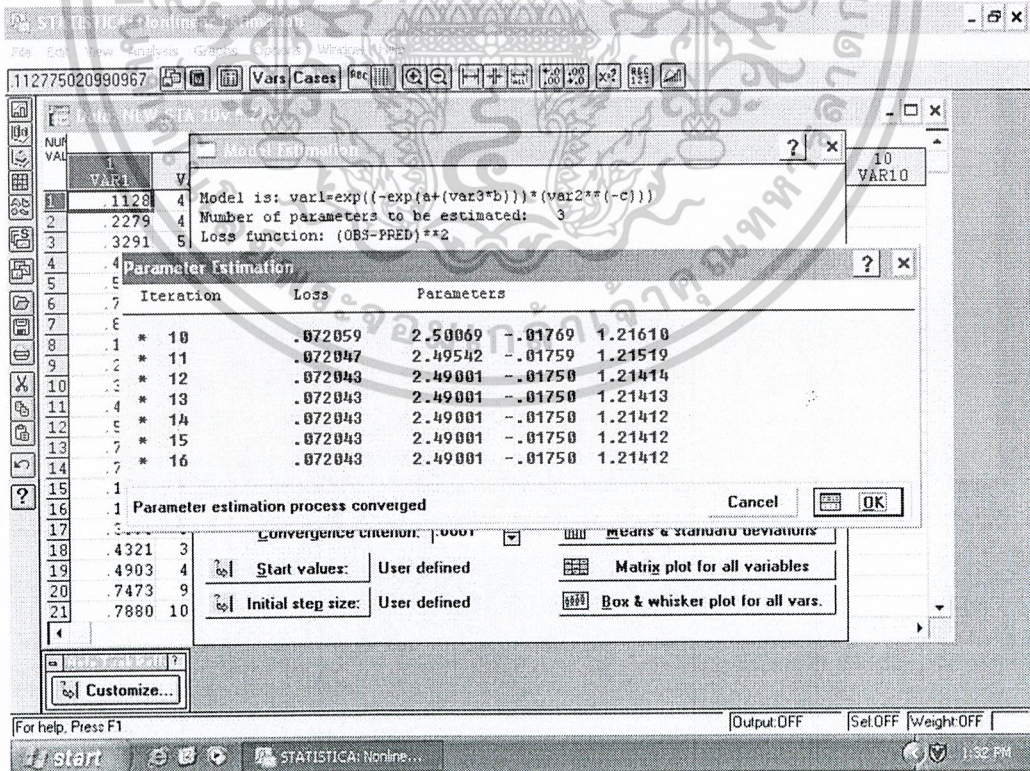


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. หน้าต่าง Model Estimation จะปรากฏขึ้นมาอีกครั้งหนึ่ง แต่ที่ Initial Step Size จะเป็น User defined จากนั้นคลิกที่ OK

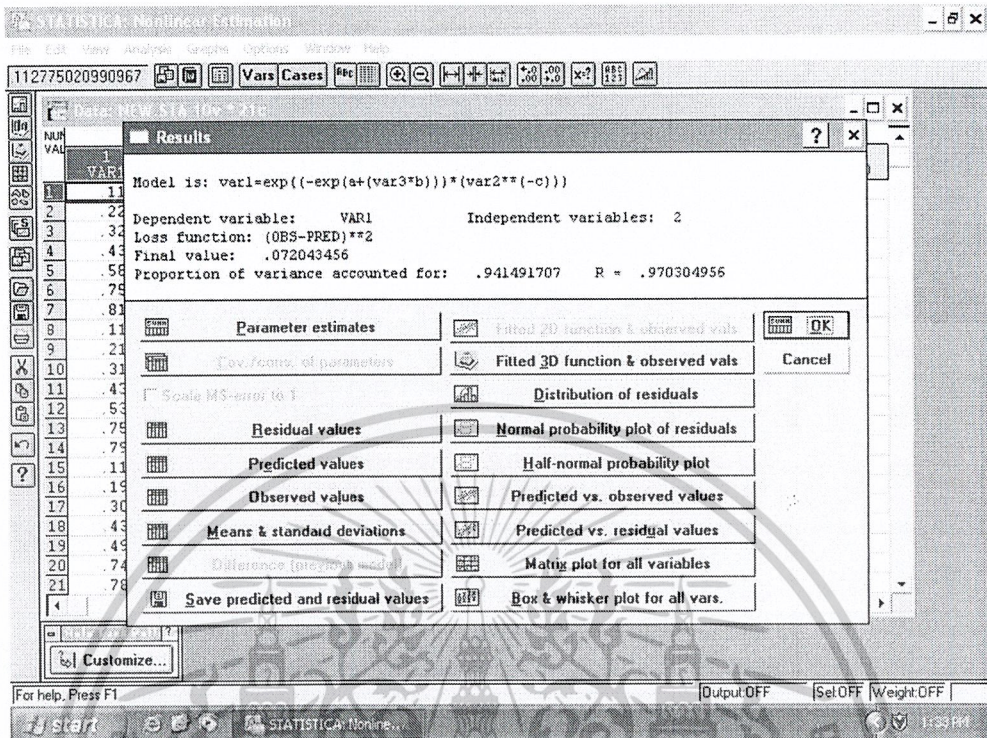


17. โปรแกรมจะทำการ run เมื่อ run เสร็จแล้ว เลือก OK

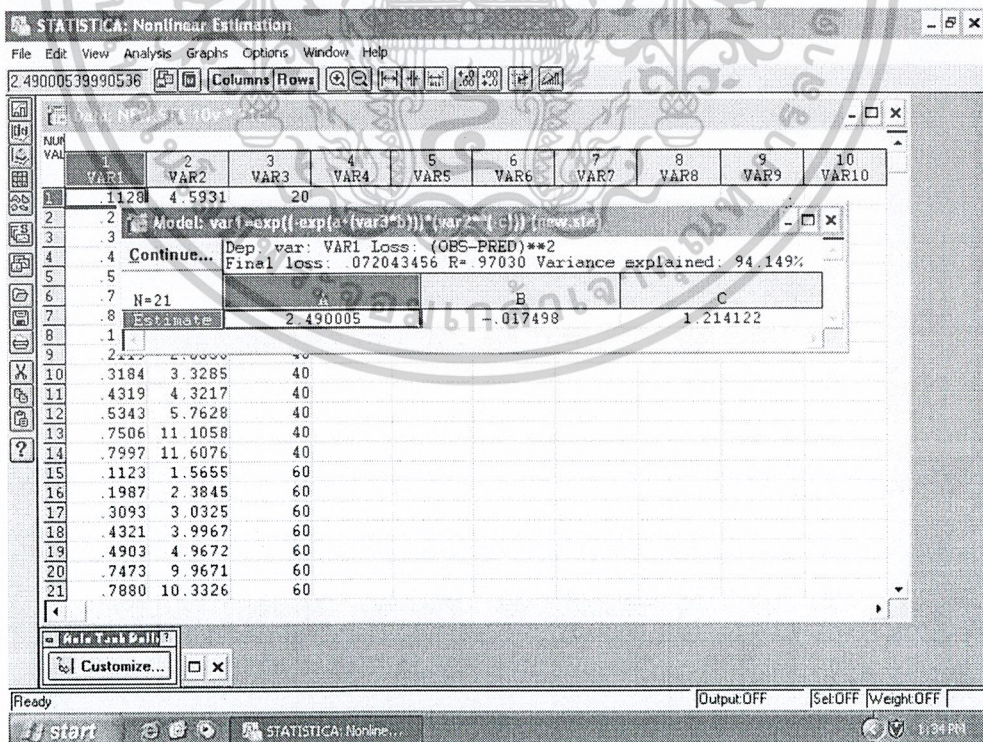


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18. หน้าต่าง Results จะปรากฏขึ้น ค่าตัวแปร A, B, C และ Variance ได้โดยคลิกที่ Parameter Estimates



19. หน้าต่าง Parameter Estimates จะปรากฏขึ้นแสดงสมการ ตัวแปร และ Variance ของสมการ และคลิก Continue... เพื่อดูค่าอื่น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20. หน้าต่าง Result จะปรากฏขึ้นอีกครั้ง หลังจากนั้นคลิก Predicted Values หน้าต่าง Predicted Values จะปรากฏขึ้นมา แสดงค่าตัวแปรตามที่ได้จากการคำนวณ (Predict) และคลิก Continue... เพื่อดูค่าอื่น

STATISTICA: Nonlinear Estimation

File Edit View Analysis Graphs Options Window Help

2631153

Predicted Values (new sta)

Continue...	Expected VAR1
C.1	263115
C.2	271944
C.3	314225
C.4	330872
C.5	701759
C.6	725546
C.7	798606
C.8	120735
C.9	191202
C.10	248803
C.11	363083
C.12	489500
C.13	724618
C.14	736916
C.15	086325
C.16	229980
C.17	333635
C.18	456095
C.19	547193
C.20	771933
C.21	780530

Loss: (OBS-PRED)**2
2043456 R= 97030 Variance explained: 94.149%

B: -017498 C: 1.214122

Ready Output: OFF Sel: OFF Weight: OFF

21. หน้าต่าง Result จะปรากฏขึ้นอีกครั้ง หลังจากนั้นคลิก Means & Standard Deviations หน้าต่าง Means and Standard Deviations จะปรากฏขึ้นมา แสดงค่าเฉลี่ย (mean), standard deviation, ค่าน้อยที่สุด (minimum) และค่ามากที่สุด (maximum)

STATISTICA: Nonlinear Estimation

File Edit View Analysis Graphs Options Window Help

40

Means and Standard Deviations (new sta)

Continue...	mean	st dev	minimum	maximum
VAR3	40.00000	16.73320	20.00000	60.00000
VAR2	6.94821	4.94550	1.56553	19.91811
VAR1	45215	24813	11228	81317

Variance explained: 94.149%

B: -017498 C: 1.214122

Ready Output: OFF Sel: OFF Weight: OFF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

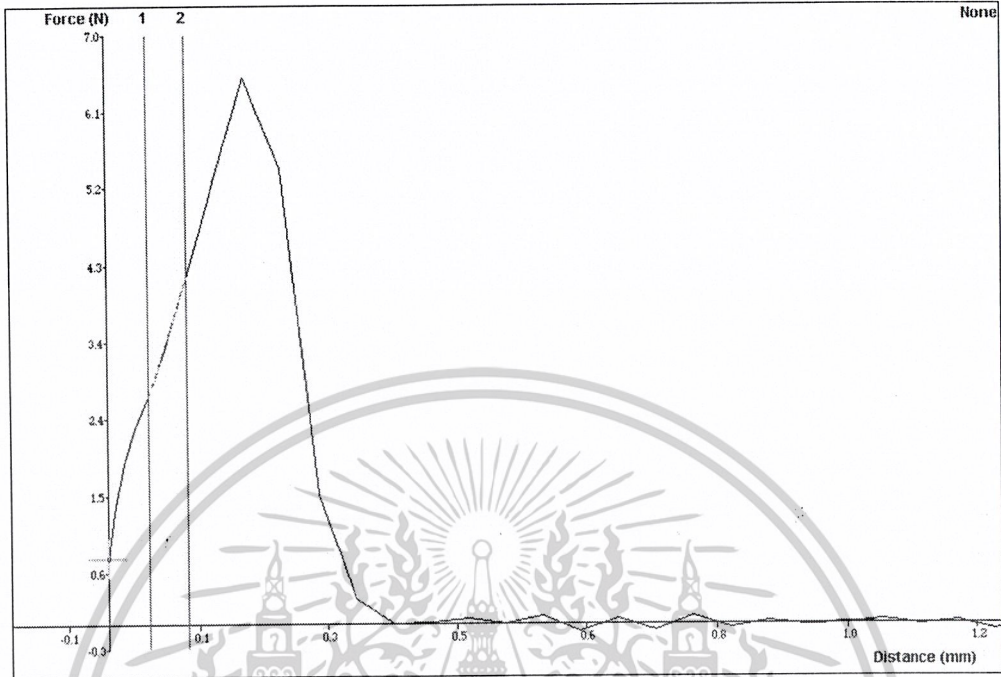
การวิเคราะห์ค่าความกรอบและความแข็งของทุเรียนทอดกรอบจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรง (Force, N) และระยะทาง (Distance, mm)

1. การวิเคราะห์ความกรอบ
2. การวิเคราะห์ความแข็ง



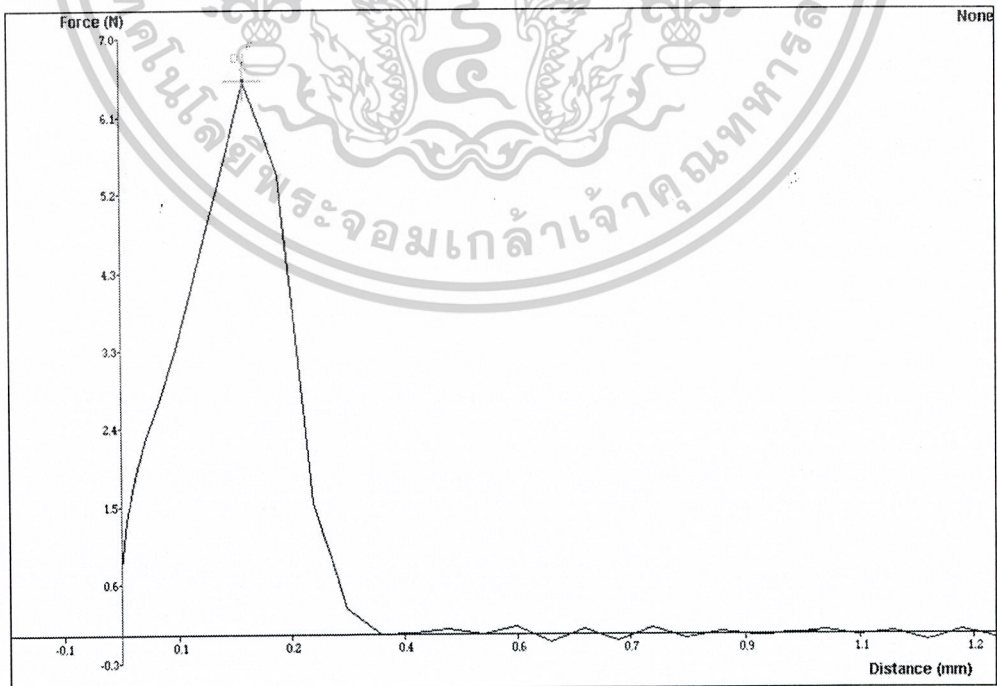
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การวิเคราะห์ค่าความกรอบจะใช้ค่าความชันจากกราฟในช่วงการเคลื่อนที่ของหัวกด กดลงในตัวอย่างเป็นระยะทาง 0.05-0.10 มิลลิเมตร



รูปที่ ๑.1 การวิเคราะห์ค่าความกรอบจากกราฟ

2. การวิเคราะห์ค่าความแข็งจะใช้ค่าแรงกดสูงสุด



รูปที่ ๑.2 การวิเคราะห์ค่าความแข็งจากกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

แบบบันทึกผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

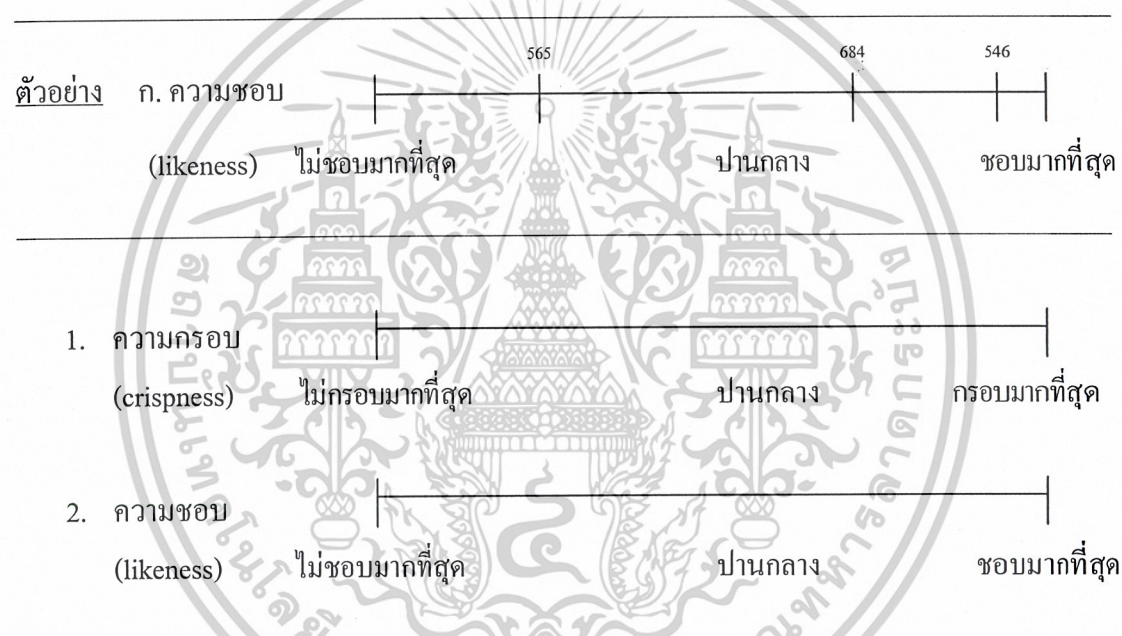
แบบบันทึกผลการทดสอบ

การประเมินความกรอบของทุเรียนทอดกรอบ 7 ลักษณะ

ชื่อผู้ทดสอบ _____ วันที่ทดสอบ _____

การทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสนี้เป็นการทดสอบความแตกต่างของลักษณะของอาหารชนิดเดียวกัน ซึ่งความแตกต่างของลักษณะที่ทำการทดสอบ คือ ความกรอบและความชอบ

หมายเหตุ: - ลำดับการชิมตัวอย่างจะไม่มีผลในการระบุลักษณะความกรอบ และความชอบ
- บางตัวอย่างจะมีความแตกต่างกันน้อยมาก กรุณาเลือกลักษณะความกรอบที่ใกล้เคียงกับความรู้สึกมากที่สุด



ข้อคิดเห็น

.....

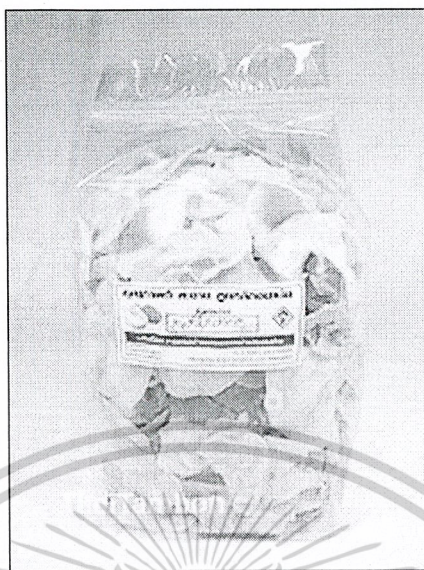
.....

.....

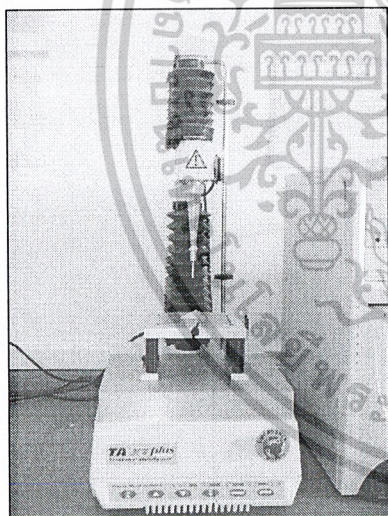
.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

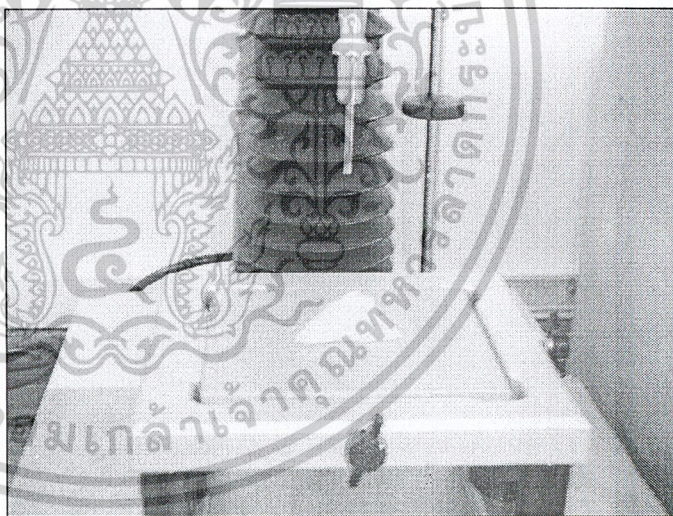
ภาคผนวก ฉ.



รูปที่ ฉ.1 ทูเรียนทอดกรอบในถุงปิดสนิท
ที่มา : นิรนาม² (2547)



(ก)

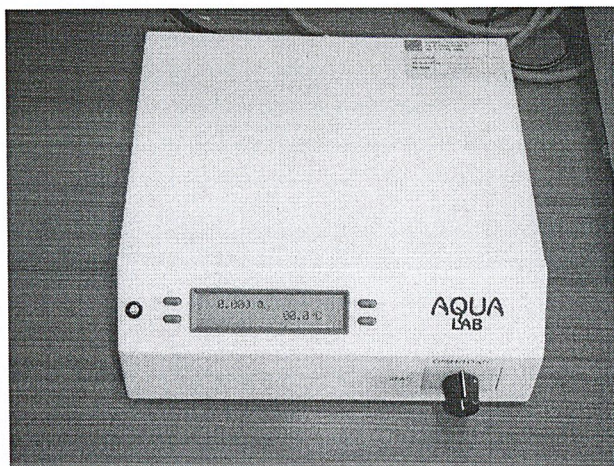


(ข)

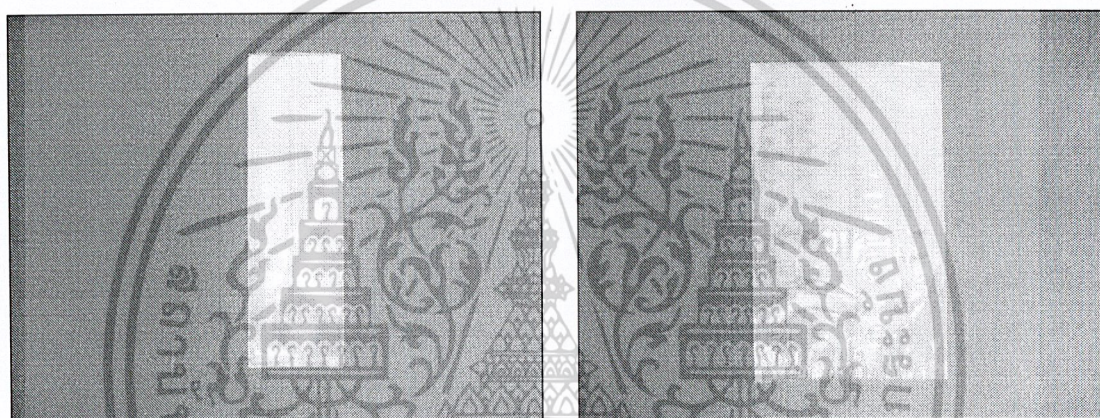
รูปที่ ฉ.2 เครื่องวัดเนื้อสัมผัสของอาหาร

- (ก) เครื่อง Texture Analyzer ยี่ห้อ STABLE MICRO SYSTEM รุ่น TA-XT plus
(ข) หัวกดสแตนเลสทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร (P/2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๓.3 เครื่องวัดค่าอเตอร์เอกติวิตี



รูปที่ ๓.4 บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลอง

(ก) Isotactic Polypropylene

(ข) Polypropylene

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

1. ชื่อ-นามสกุล นางสาวกนกวรรณ บัวจันทร์
วัน เดือน ปีเกิด 26 กรกฎาคม 2525 ที่สมุทรปราการ
ที่อยู่ 8/5 หมู่ 9 ต.บางเตย อ.เมืองฉะเชิงเทรา จ.ฉะเชิงเทรา 24000
โทร.0-3897-0531
ประวัติการศึกษา 2544 มัธยมศึกษาตอนปลาย
โรงเรียนพรตพิทยพยัต
2548 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
2. ชื่อ-นามสกุล นายกฤษชัย ฉนอมสุข
วัน เดือน ปีเกิด 28 กันยายน 2525 ที่กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่ 306/48 ซ.สุทธิพร ถ.ประชาสงเคราะห์ เขตดินแดง กรุงเทพฯ 10400
โทร.0-2641-6947
ประวัติการศึกษา 2544 มัธยมศึกษาตอนปลาย
โรงเรียนจันทน์บ่าเพ็ญ
2548 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
3. ชื่อ-นามสกุล นางสาวณัฐพร จิระกิจกุล
วัน เดือน ปีเกิด 28 ธันวาคม 2526 ที่กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่ 431/85 ถ. ประชาราษฎร์บ่าเพ็ญ ห้วยขวาง กรุงเทพฯ 10320
โทร.0-2276-4208
ประวัติการศึกษา 2544 มัธยมศึกษาตอนปลาย
โรงเรียนปัญจทรัพย์
2548 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้