



แนวทางการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่ด้วยพลังงานความร้อนจาก
ก๊าซหุงต้ม

Drying Strategy of Kluai Leb Mu Nang and Kluai Khai with Energy
Heat Source : LPG

ธวัลอรณัญช์ มุสิกะไชย

Thawan-oranan Musikachai

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering
Prince of Songkla University

2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



แนวทางการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่ด้วยพลังงานความร้อนจาก
ก๊าซหุงต้ม
Drying Strategy of Kluai Leb Mu Nang and Kluai Khai with Energy
Heat Source : LPG

ธวัลอรณัญช์ มุสิกะไชย
Thawan-oranan Musikachai

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering
Prince of Songkla University
2561
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ แนวทางการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่ด้วยพลังงานความร้อนจาก
 ก๊าซหุงต้ม
ผู้เขียน นางสาวธวัลรัตน์ มุสิกะไชย
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	คณะกรรมการสอบ
.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุภวรรณ ฐิระวณิชกุล)	(รองศาสตราจารย์ ดร. นิรันดร มาแทน)
กรรมการ
	(รองศาสตราจารย์ ดร. สุภวรรณ ฐิระวณิชกุล)
กรรมการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	(รองศาสตราจารย์ ดร. ยุทธนา ฐิระวณิชกุล)
(รองศาสตราจารย์ ดร. ยุทธนา ฐิระวณิชกุล)กรรมการ
	(รองศาสตราจารย์ ดร. राम แยมแสงสังข์)
กรรมการ
	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภาสกร เวสสะโกศล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
 เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม
 เคมี

.....
 (ศาสตราจารย์ ดร. ดำรงค์ดี ฟาร์รุ่งสว่าง)
 คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุภวรรณ ฐิระวณิชกุล)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นางสาววัลลอรณ์ มุสิกะไชย)
นักศึกษา

(4)

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นางสาวฉวีลอรณ์ญช์ มุสิกะไชย)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ แนวทางการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่ด้วยพลังงานความร้อนจาก
ก๊าซหุงต้ม

ผู้เขียน นางสาววัลลอรณัญช์ มุสิกะไชย

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาแนวทางการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม ทำการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่อบแห้งในช่วงอุณหภูมิ 50-80°C และ 60-80°C ตามลำดับ โดยแบ่งการศึกษาออกเป็นสองส่วนที่สำคัญ ๆ คือ การศึกษาค่าความชื้นสมดุลของกล้วย และการศึกษาปัจจัยอุณหภูมิต่อจลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง และคุณภาพของตัวอย่างกล้วยทั้งสองชนิด

เพื่อศึกษาความชื้นสมดุลของกล้วยทั้งสองชนิด ได้ทำการทดลองหาค่าความชื้นสมดุลของตัวอย่างกล้วยสดทั้งสองชนิดในช่วงอุณหภูมิในช่วง 40-60°C และความชื้นสัมพัทธ์ให้อยู่ในช่วง 10-90% พบว่า ค่าความชื้นสมดุลของจะมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม และเมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการถดถอยแบบไม่เชิงเส้นด้วยแบบจำลองความชื้นสมดุลที่นิยมใช้กัน แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมดุลที่เหมาะสมที่สุดจะพิจารณาจากค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์การพิจารณา และค่าต่ำสุดของค่ารากที่สองของกำลังสองเฉลี่ย ผลการวิเคราะห์พบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมของกล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่ คือสมการแบบจำลอง Modified Halsey และ Modified Oswin ตามลำดับ

เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์และคุณภาพของกล้วย สำหรับการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่ที่ความชื้นเริ่มต้น 250-300% dry-basis และ 280-320% dry-basis ตามลำดับ จนกระทั่งกล้วยอบแห้งมีค่าความชื้นสุดท้ายอยู่ในช่วง 24-28% dry-basis นอกจากนั้นเมื่อนำผลการเปลี่ยนแปลงความชื้นมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งของกล้วยทั้งสองชนิดด้วยก๊าซแอลพีจี สรุปได้ว่า อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิตั้งเพิ่มขึ้น และรูปแบบสมการเอมพิริคัลที่เหมาะสมกับจลนพลศาสตร์การอบแห้งที่เหมาะสมของกล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่ คือ สมการแบบจำลองของ Modified Henderson and Pabis และ Verma et al. ตามลำดับ

ในการวิเคราะห์คุณภาพของกล้วยอบแห้ง พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิตั้งสูงขึ้น กล้วยเล็บมือนางจะหดตัวและค่าสีของกล้วยอบแห้งทั้งสองสายพันธุ์เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับเนื้อสัมผัสในเรื่องของค่าแรงเคี้ยวและความเหนียว สำหรับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ความยอมรับโดยรวมของกล้วยไข่และกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง มีระดับปานกลาง และผลการวิเคราะห์การปนเปื้อนทางจุลชีพของกล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่อบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C ให้ผลดีที่สุดและเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานชุมชน นอกจากนี้เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษากล้วยอบแห้งนี้ยาวนานเพิ่มขึ้น

(6)

ค่าของสีโดยรวมลดลง โดยบรรจุภัณฑ์ชนิด Nylon/LLDPE ที่สภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C และที่สภาวะแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงน้อยหรือซ้ำที่สุด

Thesis Title	Drying Strategy of Kluai Leb Mu Nang and Kluai Khai with Energy Heat Source : LPG
Author	Miss Thawan-oranan Musikachai
Major Program	Chemical Engineering
Academic Year	2017

Abstract

The objective of this research was to study the drying of Kluai Leb Mu Nang and Kluai Khai with LPG heat source at drying temperatures ranging of 50-80°C and 60-80°C, respectively. The experiments were studied in 2 main categories. The first category work was to evaluate equilibrium moisture content of both banana samples and the second category work was to study effect of drying temperatures on drying kinetics and qualities of both dried banana samples.

To evaluate the equilibrium moisture content of both banana samples, the experiment was carried on under the condition of surrounding temperature ranging of 40-60°C correlated to relative humidity of 10-90%. The experimental results showed that the EMC value of both banana samples significantly related to surrounding temperature and relative humidity. Thus the EMC data was non-linear regression analyzed by various conventional EMC modeling. The best EMC model was determined by the highest value of coefficient of determination (R^2) and the lowest value of root mean square error (RMSE). The mathematical modeling was showed that the best EMC model for Kluai Leb Mu Nang and Kluai Khai banana was the modified Halsey model and the modified Oswin model, respectively.

To evaluate drying kinetics and qualities analysis, initial moisture content of Kluai Leb Mu Nang and Kluai Khai was in the range of 250-300% dry-basis and 280-320% dry-basis, respectively. The banana sample was dried by LPG heating until the final moisture content of both dried banana samples reached to 24-28% dry-basis. Moreover, the evolution of moisture content data of both banana samples was mathematical simulated using conventional empirical drying kinetic models. The results showed that the moisture ratio of banana increase with increase of drying temperature. And the most suitable empirical drying model for prediction drying kinetics of Kluai Leb Mu Nang and Kluai Khai banana was the modified Henderson-pabis and the Verma model, respectively.

Qualities analysis of dried banana in packaging showed that when drying temperature increased the shrinkage and overall colorness of dried banana sample increased as the same trend as shear force and toughness value. For texture analysis, the results showed that overall acceptance of both dried banana samples was in moderate level while microbiological testing following the standard community level implied that the dried Kluai Leb Mu Nang and Kluai Khai banana with temperature of 80°C was the best drying condition. In addition, the long period of storage of dried banana samples let their colorness decreased. The conclusion of this suitable condition for storage state that the dried banana samples with Nylon/LLDPE plastic bag at 5°C and surrounding condition can maintain long period of shelf life by lowest quality change.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุภวรรณ ฐิระวณิชย์กุล และรองศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนา ฐิระวณิชย์กุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้ความรู้ คำปรึกษาและคำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินการวิจัย ตลอดจนคอยติดตามความก้าวหน้า ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ อยู่เสมอ ทำให้วิทยานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น รวมถึงคอยขัดเกลากระบวนการคิด การแก้ไขปัญหาและแนวทางในการดำเนินชีวิต

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.นิรันดร มาแทน และรองศาสตราจารย์.ดร.ราม แยม แสงสังข์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภาสกร เวสสะโกศล กรรมการผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้ให้เกียรติเป็นกรรมการสอบและตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ท่านบัณฑิตศึกษาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่สนับสนุนค่าธรรมเนียมการศึกษาและค่ารายเดือน ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้จัดสรรทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์เพื่อใช้ในการทำวิจัยงบประมาณแผ่นดินปี 2558

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมืออุปกรณ์ในการทดลองต่าง ๆ สำหรับการทำวิจัย และคณะอุตสาหกรรมเกษตร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ขอขอบพระคุณ นางสาวกนกพร นนทะสร และนางสาว จุฑาวดี สร้อยสุนทร พี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกท่าน ที่คอยให้ข้อมูลและการช่วยเหลือตลอดการทำวิทยานิพนธ์นี้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ที่สนับสนุนให้กำลังใจ และทุนทรัพย์ในการศึกษามาตลอด ตลอดจนทุกท่านที่มีได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ด้วย ที่มีส่วนช่วยให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ด้วยดี

ธวัชรณัฐ มุสิกะไชย

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
สารบัญ	(10)
รายการตาราง	(13)
รายการภาพประกอบ	(26)
คำอธิบายสัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้อง	(29)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตและวิธีดำเนินการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร	4
2.1 กล้วยไข่	4
2.2 กล้วยเล็บมือนาง	4
2.3 คุณค่าทางโภชนาการของกล้วยไข่	5
2.4 คุณค่าทางโภชนาการของกล้วยเล็บมือนาง	5
2.5 ระยะเวลาเก็บเกี่ยวของกล้วย	6
2.6 มาตรฐานผลิตภัณฑ์กล้วยอบแห้ง	7
2.7 การบรรจุภัณฑ์	8
2.8 การควบคุมคุณภาพของกล้วย	9
2.8.1 สี	9
2.8.2 การหัดตัว	11
2.9 พื้นฐานการอบแห้ง	11
2.9.1 ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่	12
2.9.2 ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง	13
2.10 พารามิเตอร์พื้นฐานสำหรับการอบแห้ง	13
2.10.1 คุณสมบัติทางความชื้น	13
2.10.2 วิธีการหาความชื้นสมดุล	14
2.10.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความชื้นสมดุล	15
2.11 สมการอบแห้งชั้นบาง	19
2.11.1 สมการการอบแห้งทางทฤษฎี	19

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.11.2 สมการอบแห้งกึ่งทฤษฎี	22
2.11.3 สมการอบแห้งเอมพิริคัล	23
2.12 การวิเคราะห์สมการแบบจำลอง	25
2.12.1 ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง	25
2.12.2 ค่าโคสแควร์	25
2.12.3 ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ	26
2.12.4 ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์	26
2.13 เชื้อเพลิงที่ใช้เป็นแหล่งพลังงานในการอบแห้ง	26
2.13.1 ก๊าซหุงต้ม	26
2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย	32
3.1 วัสดุ	32
3.1.1 วัตถุดิบ	32
3.1.2 สารเคมี	32
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	32
3.3 วิธีดำเนินการวิจัย	33
3.3.1 ขั้นตอนหาค่าความชื้นสมดุล	33
3.3.2 ขั้นตอนและสภาวะในการอบแห้งกล้วยไข่	35
3.3.3 ขั้นตอนและสภาวะในการอบแห้งกล้วยเล็บมือนาง	35
3.3.4 การบรรจุภัณฑ์ และการเก็บรักษา	35
3.3.5 การคำนวณอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความชื้น (Moisture ratio, MR)	36
3.3.6 การวิเคราะห์คุณภาพหลังการอบแห้ง	36
3.3.7 การคำนวณอัตราการอบแห้งและความสิ้นเปลือง พลังงานจำเพาะในการอบแห้ง	39
3.4 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	39
3.4.1 การวิเคราะห์สมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของความชื้นสมดุล	40
3.4.2 สมการอบแห้งชั้นบาง	41

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ	43
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	44
4.1 การวิเคราะห์สมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความขึ้นสมดุล	44
4.1.1 ผลการทดลองค่าความขึ้นสมดุล	45
4.1.1.1 การวิเคราะห์สมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ความขึ้นสมดุลของกล้วยไข่	45
4.1.1.2 การวิเคราะห์สมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ความขึ้นสมดุลของกล้วยเล็บมือนาง	49
4.2 จลนพลศาสตร์การอบแห้งด้วยก๊าซหุงต้ม	53
4.2.1 ผลการทดลองหาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง กล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่ที่สภาวะต่างๆ	54
4.2.1.1 จลนพลศาสตร์ของกล้วยเล็บมือนาง ผลของ อุณหภูมิที่มีต่ออัตราการลดความชื้น	54
4.2.1.2 จลนพลศาสตร์ของกล้วยไข่ ผลของอุณหภูมิ ที่มีต่ออัตราการลดความชื้น	54
4.3 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง	56
4.3.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเอมพิริคัล ของการอบแห้งของกล้วยเล็บมือนาง	56
4.3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเอมพิริคัล ของการอบแห้งของกล้วยไข่	59
4.3.3 สมการอบแห้งกึ่งทฤษฎี	61
4.4 คุณภาพของกล้วย	65
4.4.1 การหัดตัวของกล้วย	65
4.4.2 สีของกล้วย	66
4.4.3 เนื้อสัมผัสของกล้วย	68
4.4.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัส	69
4.4.5 คุณภาพทางจุลินทรีย์	70

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.5 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง	71
4.6 เก็บรักษากล้วยไข่	73
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	79
บรรณานุกรม	81
ภาคผนวก	87
ภาคผนวก ก ข้อมูลการหาค่าความชื้นสมดุล	87
ภาคผนวก ข ข้อมูลการทดลองอบแห้ง	97
ภาคผนวก ค ข้อมูลการวิเคราะห์คุณภาพกล้วยอบแห้ง	106
ภาคผนวก ง ข้อมูลการหาผลของฟิล์มพลาสติกและสภาวะการเก็บรักษา	137
ภาคผนวก จ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนกล้วยอบ	162
ภาคผนวก ช ภาพประกอบ	172
ประวัติผู้เขียน	176

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ส่วนประกอบและคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อกล้วยไข่ 100 g.	5
2.2	ส่วนประกอบและคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อกล้วยเล็บมือนาง 100 g.	5
2.3	ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสารละลายเกลืออิมิตัวที่อุณหภูมิต่างๆ	15
3.1	แบบจำลองคณิตศาสตร์ของความชื้นสมดุล	40
3.2	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเอมพิริคัลของการอบแห้ง	42
4.1	ค่าคงที่ในแบบจำลองความชื้นสมดุลของกล้วยไข่ที่อุณหภูมิ 45-60°C	45
4.2	ค่าคงที่ในแบบจำลองความชื้นสมดุลของกล้วยเล็บมือนางที่อุณหภูมิ 40-60°C	49
4.3	ผลการวิเคราะห์แบบจำลองเอมพิริคัลสำหรับอธิบายจลนพลศาสตร์การอบแห้งกล้วยเล็บมือนางด้วยพลังงานความร้อนจากแก๊สหุงต้ม	57
4.4	ผลการวิเคราะห์แบบจำลองเอมพิริคัลสำหรับอธิบายจลนพลศาสตร์การอบแห้งกล้วยไข่ด้วยพลังงานความร้อนจากแก๊สหุงต้ม	59
4.5	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลและค่าคงที่ของสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของการอบแห้งกล้วยไข่สำหรับรูปทรงวัสดุทรงกระบอกและยาวมาก (infinite cylinder shape) ที่สภาวะต่างๆ	62
4.6	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลและค่าคงที่ของสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของการอบแห้งกล้วยไข่สำหรับรูปทรงวัสดุแผ่นราบกว้างและยาวมาก (infinite slab shape) ที่สภาวะต่างๆ	62
4.7	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลและค่าคงที่ของสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางที่สภาวะต่างๆ	64
4.8	เปอร์เซ็นต์การหดตัวของกล้วยเล็บมือนางหลังการอบแห้งทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) และ ทางด้านความหนา (L)	65
4.9	ค่าสัมประสิทธิ์ของกล้วยไข่หลังการอบแห้งด้วยสภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60-80°C	66
4.10	ค่าสัมประสิทธิ์ของกล้วยเล็บมือนางหลังการอบแห้งด้วยสภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50-80°C	67
4.11	แสดงค่าความแข็งของกล้วยกล้วยไข่ที่สภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60-80°C	68

รายการตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.12	แสดงค่าความแข็งของกล้วยกล้วยไข่ที่สภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50-80°C	68
4.13	คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสเฉลี่ยของกล้วยไข่อบแห้งที่สภาวะต่างๆ	69
4.14	คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสเฉลี่ยของกล้วยเล็บมือนางอบแห้งที่สภาวะต่างๆ	69
4.15	ความชื้นสุดท้าย ค่า water activity ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด เอสเซอริเชียโคไล, สตาฟีโลค็อกคัส, ยีสร์และราของกล้วยไข่ทับ ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้มที่อุณหภูมิ 80°C	70
4.16	ความชื้นสุดท้าย ค่า water activity ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด เอสเซอริเชียโคไล, สตาฟีโลค็อกคัส, ยีสร์และราของกล้วยเล็บมือนาง ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้มที่อุณหภูมิ 80°C	70
4.17	อัตราการอบแห้งและค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งกล้วยไข่อบแห้ง	71
4.18	อัตราการอบแห้งและค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง	71
4.19	ค่าสีของกล้วยไข่ในบรรจุภัณฑ์ชนิด PET/PE (Polyethylene terephthalate/Polyethylene) ที่ระยะเวลาและอุณหภูมิการเก็บรักษาต่างๆ	74
4.20	ค่าสีของกล้วยไข่ในบรรจุภัณฑ์ชนิด (LLDPE) Linear Low Density Polyethylene ที่ระยะเวลาและอุณหภูมิการเก็บรักษาต่างๆ	74
4.21	ค่าสีของกล้วยไข่ในบรรจุภัณฑ์ชนิด (OPP) Oriented Polypropylene ที่ระยะเวลาและอุณหภูมิการเก็บรักษาต่างๆ	75
4.22	ค่าสีของกล้วยไข่ในบรรจุภัณฑ์ชนิด (PET) Polyethylene terephthalate ที่ระยะเวลาและอุณหภูมิการเก็บรักษาต่างๆ	75

รายการตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.23	ค่าเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่ในบรรจุภัณฑ์ชนิด (PET/PE) Polyethylene terephthalate/Polyethylene ที่ระยะเวลาและอุณหภูมิการเก็บรักษาต่างๆ	77
4.24	ค่าเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่ในบรรจุภัณฑ์ชนิด (Nylon/LLDPE) Nylon Linear Low Density Polyethylene ที่ระยะเวลา และอุณหภูมิการเก็บรักษาต่างๆ	77
4.25	ค่าเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่ในบรรจุภัณฑ์ชนิด (OPP) Oriented Polypropylene ที่ระยะเวลา และอุณหภูมิการเก็บรักษาต่างๆ	78
4.26	ค่าเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่ในบรรจุภัณฑ์ชนิด (PET) Polyethylene terephthalate ที่ระยะเวลา และอุณหภูมิการเก็บรักษาต่างๆ	78
ก-1	ข้อมูลการทดลองหาความชื้นสมดุลของกล้วยไข่ที่อุณหภูมิ 45°C	88
ก-2	ข้อมูลการทดลองหาความชื้นสมดุลของกล้วยไข่ที่อุณหภูมิ 50°C	89
ก-3	ข้อมูลการทดลองหาความชื้นสมดุลของกล้วยไข่ที่อุณหภูมิ 55°C	90
ก-4	ข้อมูลการทดลองหาความชื้นสมดุลของกล้วยไข่ที่อุณหภูมิ 60°C	91
ก-5	ข้อมูลการทดลองหาความชื้นสมดุลของกล้วยเล็บมือนางที่อุณหภูมิ 40°C	92
ก-6	ข้อมูลการทดลองหาความชื้นสมดุลของกล้วยเล็บมือนางที่อุณหภูมิ 45°C	93
ก-7	ข้อมูลการทดลองหาความชื้นสมดุลของกล้วยเล็บมือนางที่อุณหภูมิ 50°C	94
ก-8	ข้อมูลการทดลองหาความชื้นสมดุลของกล้วยเล็บมือนางที่อุณหภูมิ 55°C	95
ก-9	ข้อมูลการทดลองหาความชื้นสมดุลของกล้วยเล็บมือนางที่อุณหภูมิ 60°C	96
ข-1	ข้อมูลการทดลองอบแห้งกล้วยไข่ที่อุณหภูมิอบแห้ง 60°C ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม	99
ข-2	ข้อมูลการทดลองอบแห้งกล้วยไข่ที่อุณหภูมิอบแห้ง 70°C ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม	100
ข-3	ข้อมูลการทดลองอบแห้งกล้วยไข่ที่อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม	101
ข-4	ข้อมูลการทดลองอบแห้งกล้วยเล็บมือนางอุณหภูมิอบแห้ง 50°C ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม	102

รายการตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข-5	ข้อมูลการทดลองอบแห้งกล้วยเล็บมือนาง อุณหภูมิอบแห้ง 60°C ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม	103
ข-6	ข้อมูลการทดลองอบแห้งกล้วยเล็บมือนาง อุณหภูมิอบแห้ง 70°C ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม	104
ข-7	ข้อมูลการทดลองอบแห้งกล้วยเล็บมือนาง ความชื้นเริ่มต้น 80°C ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม	105
ค-1	อ้างอิงสีของกล้วยเล็บมือนางอบแห้งด้วยก๊าซหุงต้มที่อุณหภูมิ 50°C	108
ค-2	อ้างอิงสีของกล้วยเล็บมือนางอบแห้งด้วยก๊าซหุงต้มที่อุณหภูมิ 60°C	108
ค-3	อ้างอิงสีของกล้วยเล็บมือนางอบแห้งด้วยก๊าซหุงต้มที่อุณหภูมิ 70°C	108
ค-4	อ้างอิงสีของกล้วยเล็บมือนางอบแห้งด้วยก๊าซหุงต้มที่อุณหภูมิ 80°C	109
ค-5	อ้างอิงสีของกล้วยไข่ ความชื้นเริ่มต้น 280-320% dry-basis	109
ค-6	สีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 60°C ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม	110
ค-7	สีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 70°C ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม	111
ค-8	สีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม	112
ค-9	อ้างอิงสีของกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง ความชื้นเริ่มต้น 250-300% dry-basis	113
ค-10	สีของกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 50°C ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม	113
ค-11	สีของกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 60°C ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม	114
ค-12	สีของกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 70°C ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม	114
ค-13	สีของกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม	115
ค-14	ผลการวิเคราะห์ลักษณะสัมผัสเนื้อสัมผัสกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิ 60-80°C	116

รายการตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ค-15	ผลการวิเคราะห์ลักษณะสัมผัสเนื้อสัมผัสกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง อุณหภูมิ 50-60°C	117
ค-16	ผลการวิเคราะห์ลักษณะสัมผัสเนื้อสัมผัสกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง อุณหภูมิ 70-80°C	118
ค-17	ความเปลี่ยนแปลงพลังงานจำเพาะของการอบแห้งกล้วยไข่ อุณหภูมิอบแห้ง 60-80°C	119
ค-18	ความเปลี่ยนแปลงพลังงานจำเพาะของการอบแห้งกล้วยเล็บมือนาง อุณหภูมิอบแห้ง 50-80°C	119
ค-19	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัสของกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 50-80°C	121
ค-20	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 50-80°C	129
ง-1	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ระยะเวลาเมื่อเริ่มต้นเก็บรักษาภายหลัง การอบแห้งของกล้วยไข่	138
ง-2	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene terephthalate (PET) รักษาที่อุณหภูมิห้องมืด ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน	138
ง-3	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate (PET) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมืดระยะเวลาเก็บรักษา 30 วัน	139
ง-4	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate (PET) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมืด ระยะเวลาเก็บรักษา 45 วัน	139
ง-5	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate (PET) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน	139

รายการตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ง-6	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate (PET) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 30 วัน	140
ง-7	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate (PET) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 45 วัน	140
ง-8	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Oriented Polypropylene (OPP) เก็บรักษาที่อุณหภูมิล้างขวด ล้อม ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน	140
ง-9	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Oriented Polypropylene (OPP) เก็บรักษาที่อุณหภูมิล้างขวด ล้อม ระยะเวลาเก็บรักษา 30 วัน	141
ง-10	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Oriented Polypropylene (OPP) เก็บรักษาที่อุณหภูมิล้างขวด ล้อม ระยะเวลาเก็บรักษา 45 วัน	141
ง-11	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Oriented Polypropylene (OPP) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน	141
ง-12	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Oriented Polypropylene (OPP) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 30 วัน	142
ง-13	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Oriented Polypropylene (OPP) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 45 วัน	142
ง-14	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Nylon Linear Low Density Polyethylene (Nylon/LLDPE) เก็บรักษาที่อุณหภูมิล้างขวด ล้อม ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน	142

รายการตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ง-15	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ Nylon Linear Low Density Polyethylene (Nylon/LLDPE) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาเก็บรักษา 30 วัน	143
ง-16	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Nylon Linear Low Density Polyethylene (Nylon/LLDPE) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาเก็บรักษา 45 วัน	143
ง-17	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Nylon Linear Low Density Polyethylene (Nylon/LLDPE) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน	144
ง-18	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Nylon Linear Low Density Polyethylene (Nylon/LLDPE) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 30 วัน	144
ง-19	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Nylon Linear Low Density Polyethylene (Nylon/LLDPE) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 45 วัน	145
ง-20	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate/Polyethylene (PET/PE) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน	145
ง-21	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate/Polyethylene (PET/PE) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาเก็บรักษา 30 วัน	146
ง-22	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate/Polyethylene (PET/PE) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาเก็บรักษา 45 วัน	146

รายการตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ง-23	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ Polyethylene Terephthalate/Polyethylene (PET/PE) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน	147
ง-24	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate/Polyethylene (PET/PE) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 30 วัน	147
ง-25	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate/Polyethylene (PET/PE) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 45 วัน	148
ง-26	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ระยะเวลาเมื่อเริ่มต้นเก็บรักษาภายหลังการอบแห้งของกล้วยไข่	149
ง-27	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate (PET) รักษาที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน	149
ง-28	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate (PET) เก็บรักษาที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ระยะเวลาเก็บรักษา 30 วัน	150
ง-29	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate (PET) เก็บรักษาที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ระยะเวลาเก็บรักษา 45 วัน	150
ง-30	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate (PET) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน	151

รายการตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ง-31	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate (PET) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 30 วัน	151
ง-32	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate (PET) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 45 วัน	152
ง-33	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Oriented Polypropylene (OPP) เก็บรักษาที่อุณหภูมิตั้งแต่ห้องเย็น ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน	152
ง-34	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Oriented Polypropylene (OPP) เก็บรักษาที่อุณหภูมิตั้งแต่ห้องเย็น ระยะเวลาเก็บรักษา 30 วัน	153
ง-35	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Oriented Polypropylene (OPP) เก็บรักษาที่อุณหภูมิตั้งแต่ห้องเย็น ระยะเวลาเก็บรักษา 45 วัน	153
ง-36	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Oriented Polypropylene (OPP) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน	154
ง-37	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Oriented Polypropylene (OPP) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 30 วัน	154
ง-38	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Oriented Polypropylene (OPP) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 45 วัน	155

รายการตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ง-39	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Nylon Linear Low Density Polyethylene (Nylon/LLDPE) เก็บรักษาที่ อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน	155
ง-40	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Nylon Linear Low Density Polyethylene (Nylon/LLDPE) เก็บรักษาที่ อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาเก็บรักษา 30 วัน	156
ง-41	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Nylon Linear Low Density Polyethylene (Nylon/LLDPE) เก็บรักษาที่ อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาเก็บรักษา 45 วัน	156
ง-42	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Nylon Linear Low Density Polyethylene (Nylon/LLDPE) เก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน	157
ง-43	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Nylon Linear Low Density Polyethylene (Nylon/LLDPE) เก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 30 วัน	157
ง-44	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Nylon Linear Low Density Polyethylene (Nylon/LLDPE) เก็บรักษาที่ อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 45 วัน	158
ง-45	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate/Polyethylene (PET/PE) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน	158

รายการตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ง-46	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate/Polyethylene (PET/PE) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาเก็บรักษา 30 วัน	159
ง-47	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate/Polyethylene (PET/PE) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาเก็บรักษา 45 วัน	159
ง-48	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate/Polyethylene (PET/PE) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน	160
ง-49	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate/Polyethylene (PET/PE) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 30 วัน	160
ง-50	ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate/Polyethylene (PET/PE) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 45 วัน	161
จ-1	หลักเกณฑ์การให้คะแนน	166
ฉ-1	คุณสมบัติประเภทของฟิล์มและวัสดุสำหรับบรรจุภัณฑ์	170

รายการรูปภาพประกอบ

รูปที่		หน้า
2.1	รูปร่างตามขวางของผลกล้วยเมื่ออายุต่างกัน	6
2.2	การบรรยายสีในระบบ CIE Lab มองในระนาบ 2 มิติ: Hue บรรยายถึงเฉดสี และ บรรยายถึงความมันวาว หรือความเข้มของโทนสี	10
2.3	ช่วงการอบแห้ง	12
2.4	ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง	13
3.1	รายละเอียดของเครื่องอบแห้งแบบใช้พลังงานความร้อน จากก๊าซหุงต้ม	33
3.2	เครื่องมือหาความชื้นสมมูล	34
3.3	ตำแหน่งการวัดด้านหนาและความยาวของกล้วยเล็บมือนาง และความหนาของกล้วยไข่	36
3.4	แสดงเครื่องวัดสีอาหาร Hunter Lab รุ่น Color Flex	37
3.5	เครื่อง Texture analyzer รุ่น TA-XT plus	39
4.1	เปรียบเทียบความชื้นสมมูลของผลการทดลองและผลจาก แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของกล้วยไข่	
	(ก) เปรียบเทียบความชื้นสมมูลของผลการทดลอง และผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของกล้วยไข่ ที่อุณหภูมิ 45°C	46
	(ข) เปรียบเทียบความชื้นสมมูลของผลการทดลอง และผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของกล้วยไข่ ที่อุณหภูมิ 50°C	46
	(ค) เปรียบเทียบความชื้นสมมูลของผลการทดลอง และผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของกล้วยไข่ ที่อุณหภูมิ 55°C	47
	(ง) เปรียบเทียบความชื้นสมมูลของผลการทดลอง และผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของกล้วยไข่ ที่อุณหภูมิ 60°C	47
4.2	เปรียบเทียบความชื้นสมมูลกล้วยไข่ของผลการทดลองและ แบบจำลอง Modified Oswin ที่อุณหภูมิ 45-60°C	48

รายการรูปภาพประกอบ(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.3	<p>เปรียบเทียบความชื้นสมมูลของผลการทดลองและผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของกล้วยเล็บมือนาง</p> <p>(ก) เปรียบเทียบความชื้นสมมูลของผลการทดลองและผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของกล้วยเล็บมือนาง ที่อุณหภูมิ 40°C</p> <p>(ข) เปรียบเทียบความชื้นสมมูลของผลการทดลองและผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของกล้วยเล็บมือนาง ที่อุณหภูมิ 45°C</p> <p>(ค) เปรียบเทียบความชื้นสมมูลของผลการทดลองและผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของกล้วยเล็บมือนางที่อุณหภูมิ 50°C</p> <p>(ง) เปรียบเทียบความชื้นสมมูลของผลการทดลองและผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของกล้วยเล็บมือนาง ที่อุณหภูมิ 55°C</p> <p>(จ) เปรียบเทียบความชื้นสมมูลของผลการทดลองและผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของกล้วยเล็บมือนาง ที่อุณหภูมิ 60°C</p>	<p>50</p> <p>50</p> <p>51</p> <p>51</p> <p>52</p>
4.4	<p>เปรียบเทียบความชื้นสมมูลกล้วยเล็บมือนางของผลการทดลองและแบบจำลอง Modified Halsey ที่อุณหภูมิ 40-60°C</p>	<p>52</p>
4.5	<p>อัตราส่วนความชื้นของกล้วยเล็บมือนางอบแห้งด้วยก๊าซหุงต้ม ในช่วงอุณหภูมิ 50-80°C ความชื้นเริ่มต้น 250-300% dry-basis ความชื้นสุดท้าย 24-28% dry-basis</p>	<p>55</p>
4.6	<p>อัตราส่วนความชื้นของกล้วยไข่ด้วยก๊าซหุงต้ม ในช่วงอุณหภูมิ 60-80°C ความชื้นเริ่มต้น 280-320% dry-basis ความชื้นสุดท้าย 24-28% dry-basis</p>	<p>55</p>

รายการรูปภาพประกอบ(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.7	อัตราส่วนความชื้นของกล้วยเล็บมือนาง ที่อุณหภูมิ 50-80°C ความชื้นเริ่มต้น 250-300% dry-basis ความชื้นสุดท้าย 24-28% dry-basis (ก) อัตราส่วนความชื้นของกล้วยเล็บมือนาง ที่อุณหภูมิ 50-80°C ความชื้นเริ่มต้น 250-300% dry-basis ความชื้นสุดท้าย 24-28% dry-basis	58
	(ข) เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ที่ใช้ในการอบแห้งด้วยก๊าซหุงต้มที่อุณหภูมิ 80°C ของกล้วยเล็บมือนาง	58
4.8	อัตราส่วนความชื้นของกล้วยไข่ ที่อุณหภูมิ 60-80°C ความชื้นเริ่มต้น 280-320% dry-basis ความชื้นสุดท้าย 24-28% dry-basis (ก) อัตราส่วนความชื้นของกล้วยไข่ ที่อุณหภูมิ 60-80°C ความชื้นเริ่มต้น 280-320% dry-basis ความชื้นสุดท้าย 24-28% dry-basis	60
	(ข) เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้น กับเวลา ที่ใช้ในการอบแห้งด้วยก๊าซ-หุงต้มที่อุณหภูมิ 80°C ของกล้วยไข่	60
4.9	อัตราส่วนความชื้นของกล้วยไข่ พิจารณารูปทรงวัสดุ ทรงกระบอกตันและยาวมาก และพิจารณารูปทรง วัสดุแผ่นราบกว้างและยาวมาก ที่อุณหภูมิ 60-80°C ความชื้นเริ่มต้น 280-320% dry-basis ความชื้นสุดท้าย 24-28% dry-basis	61
4.10	(ก) ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของการ อบแห้งกล้วยไข่สำหรับรูปทรงวัสดุทรงกระบอก และยาวมาก (Infinite cylinder shape) ที่อุณหภูมิอบแห้ง 60-80°C	63
	(ข) ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของการ อบแห้งกล้วยไข่สำหรับรูปทรงวัสดุแผ่นราบกว้าง และยาวมาก (Infinite slab shape) อุณหภูมิอบแห้ง 60-80°C	63

รายการรูปภาพประกอบ(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.11	(ก) ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของการ อบแห้งกล้วยเล็บมือนาง ที่อุณหภูมิ 50-80°C	64
4.12	ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งกล้วยไข่และ กล้วยเล็บมือนางด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม	
	(ก) ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งกล้วยไข่ ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม	72
-	(ข) ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้ง กล้วยเล็บมือนางด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม	72
ช-1	กล้วยเล็บมือนางอบแห้งด้วยก๊าซหุงต้มที่อุณหภูมิต่างๆ	173
ช-2	กล้วยไข่อบแห้งด้วยก๊าซหุงต้มที่อุณหภูมิต่างๆ	174
ช-3	กล้วยไข่อบแห้งด้วยก๊าซหุงต้มที่อุณหภูมิ 80°C ในบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ที่ระยะเวลาและอุณหภูมิการเก็บรักษาต่าง ๆ	175
ช-4	กล้วยไข่อบแห้งด้วยก๊าซหุงต้มที่อุณหภูมิ 80°C ในบรรจุภัณฑ์ต่างๆ	176

คำอธิบายสัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้อง

MR	คือ อัตราส่วนความชื้น
M_t	คือ ความชื้นที่เวลา t ใดๆ, % dry-basis
M_{in}	คือ ความชื้นเริ่มต้น, % dry-basis
M_f	คือ ความชื้นสุดท้าย, % dry-basis
M_{eq}	คือ ความชื้นสมดุล, % dry-basis
\dot{m}_w	คือ อัตราการระเหยของน้ำ, (kg/h)
h	คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ, (kJ/ h.m ² °C)
A	คือ พื้นที่สัมผัสของวัสดุกับอากาศ, (m ²)
T	คือ อุณหภูมิของกระแสอากาศ, (°C)
T_{wb}	คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียก, (°C)
h_{fg}	คือ ค่าความร้อนแฝงของการระเหยกลายเป็นไอ, (kJ/kg)
RH	คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ, (decimal)
M_m	คือ ความชื้นสูงสุดใน 1 ชั้นโมเลกุล, (decimal)
C	คือ ค่าคงตัว
T_{ab}	คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์, (K)
D	คือ ด้านกว้างของวัสดุ, (m)
W	คือ ความหนาของวัสดุ, (m)
L	คือ ความยาวของวัสดุ, (m)
L^*	คือ ค่าความสว่าง
a^*	คือ ค่าสีแดงและเขียว
b^*	คือ ค่าสีเหลืองและน้ำเงิน
E	คือ ปริมาณพลังงานที่ใช้ (MJ)
3.6	คือ ตัวเลข แปลงหน่วยของพลังงาน
SEC	คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง (MJ/kg of water evap.)
HHV	คือ ค่าความร้อนสูงของแก๊สแห้งเท่ากับ 5,0220 kJ/kg (ทิวีวัฒน์ และคณะ, 2559)
W_d	คือ น้ำหนักแห้ง (kg)
A	คือ พื้นที่การถ่ายเทมวล, (m ²)
C	คือ ความเข้มข้นของความชื้น, (kg/m ³)

x	คือ ระยะ, (m)
D_{eff}	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น, (m^2/h)
r_0	คือ รัศมีของกล้วย, (m)
t	คือ เวลา, (h)
λ_n	คือ รากของเบสเซลฟังก์ชัน (Bessel Function) อันดับที่ n
D_0	คือ ค่าคงตัว, (m^2/h)
R	คือ ค่าคงที่สากลของก๊าซ, 8.314 (kJ/kmol-K)
E_a	คือ ค่าพลังงานกระตุ้น (Activation Energy), (kJ/kmol)
k	คือ ค่าคงตัวของการอบแห้ง, (h^{-1})
a, b, c, k, g, h	คือ ค่าคงตัว
t	คือ เวลา, (h)
N	คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด
n_i	คือ จำนวนพารามิเตอร์ในสมการ
$\text{Data}_{(\text{exp},i)}$ และ $\text{Data}_{(\text{pre},i)}$	คือ ค่าข้อมูลจากผลการทดลอง และผลจากแบบจำลอง ที่ค่า i ใดๆ
df	คือ ระดับค่าความเป็นอิสระ (degree of freedom of regression)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

กล้วยเล็บมือนาง และกล้วยไข่เป็นผลไม้เศรษฐกิจ กล้วยเล็บมือนางมีการปลูกกันอย่างแพร่หลายในแถบภาคใต้ของประเทศไทย เช่น จังหวัดชุมพร จังหวัดสุราษฎร์ธานี จังหวัดนครศรีธรรมราช จังหวัดพัทลุง เป็นต้น ส่วนกล้วยไข่เป็นพืชที่มีการเพาะปลูกกระจายอยู่หลายพื้นที่ในประเทศไทย ปลูกมากที่จังหวัดกำแพงเพชร และยังเป็นผลผลิตทางการเกษตร ที่มีศักยภาพในการส่งออกของประเทศ และกล้วยทั้งสองชนิดมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ลักษณะกล้วยเล็บมือนางจะมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับกล้วยชนิดอื่น (พรพรรณ, 2530) ก้านผลสั้น ผลสุกจะมีสีเหลืองทอง เนื้อในสีเหลือง กลิ่นหอม รสหวาน เนื้อนุ่ม พบว่าการแปรรูปกล้วยเล็บมือนางส่วนใหญ่จะนิยมจึงมีการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิด ไม่ว่าจะเป็นกล้วยเล็บมือนางแผ่นอบกรอบ กล้วยเล็บมือนางฉาบกล้วยแช่อิ่ม กล้วยอบไวน์ ขนมกล้วย กล้วยอบแห้ง เป็นต้น ส่วนลักษณะเฉพาะของกล้วยไข่ มีขนาดใหญ่กว่ากล้วยเล็บมือนาง มีความแน่นเนื้อ นุ่มหวาน เปลือกบาง และมีกลิ่นหอม พบว่าการบริโภคกล้วยไข่ จะบริโภคในรูปผลสด และแปรรูปเป็นกล้วยฉาบทอด เช่นกล้วยไข่กรอบแก้ว เป็นต้น (เบญจมาศ และคณะ, 2551)

กระบวนการแปรรูปเป็นกล้วยอบถือเป็นกระบวนการถนอมอาหารอย่างหนึ่ง ขั้นตอนการอบแห้งเพื่อลดความชื้นของกล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่ ให้ได้ความชื้นตามต้องการและเก็บรักษาได้นานขึ้น เทคโนโลยีการอบแห้งได้มีการพัฒนาเพิ่มมากขึ้น จึงได้มีการเลือกใช้แหล่งพลังงานที่เหมาะสมมาใช้ในกระบวนการอบแห้ง สำหรับการอบแห้งนั้นสามารถทำได้โดยใช้แหล่งกำเนิดพลังงานหลายชนิดเช่น ลมร้อนจากแสงอาทิตย์ รังสีอินฟราเรด คลื่นไมโครเวฟ ชีวมวล เป็นต้น โดยทั่วไปใช้วิธีการลดความชื้นโดยการตากแดดกลางแจ้ง ซึ่งจะต้องคำนึงถึงสภาพแวดล้อม เพราะปริมาณแสงอาทิตย์ไม่สม่ำเสมอตลอดวันและตลอดปี รวมทั้งผลผลิตอาจสัมผัสฝุ่นละอองระหว่างการตากแห้งอาจมีแมลงวันตอมมีเชื้อจุลินทรีย์และเกิดเชื้อราในระหว่างกระบวนการอบแห้ง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพไม่สม่ำเสมอและไม่สามารถเก็บรักษาได้ในระยะเวลาที่เหมาะสม รวมทั้งจำหน่ายไม่ได้ราคา ดังนั้นจึงควรทำการศึกษาแนวทางการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่ ให้ได้กระบวนการผลิตที่สะอาดและลดระยะเวลาในการอบแห้งและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ (สมชาติ, 2540) ที่สำคัญต้นทุนการผลิตไม่สูงจนเกินไป กระบวนการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่ด้วยพลังงานความร้อนที่ได้จากก๊าซหุงต้ม มีข้อดี คือ ช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ก๊าซหุงต้มสามารถหาซื้อได้ง่าย และมีใช้กันภายในครัวเรือนราคาไม่แพง เป็นการอบแห้งวิธีหนึ่งที่ไม่ต้องคำนึงถึงฤดูกาล สามารถอบกล้วยได้ตลอดทั้งปี

นอกจากนี้บรรจุภัณฑ์เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพอาหาร ถือเป็นการคุ้มครองหรือรักษาผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอยู่ในบรรจุภัณฑ์ไม่ให้เน่าเสีย หรือเสื่อมคุณภาพก่อนเวลากำหนด และไม่ใช่อันตรายต่อผู้บริโภค โดยเฉพาะระหว่างเก็บรักษาเพื่อรอการจำหน่าย จึงจำเป็นต้องใช้บรรจุภัณฑ์ที่มีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์นั้น พบว่าการวางจำหน่ายกล้วยอบของกลุ่มสินค้า OTOP มีการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์หลายแบบ สำหรับบรรจุภัณฑ์กล้วยอบ มักจะเลือกใช้เป็นถุงหรือกล่องพลาสติก PET (Polyethylene Terephthalate) เพราะราคาถูก และเป็นพลาสติกใสสามารถมองเห็นสิ่งที่บรรจุอยู่ภายใน ทำให้ผู้ซื้อมองเห็นผลิตภัณฑ์ได้ชัดเจน แต่กล่องไม่ได้ทำการปิดสนิท สามารถเปิดช่องว่างเล็กๆ ได้ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุภายในสัมผัสกับอากาศแวดล้อมได้ง่าย และสามารถถูกออกซิไดซ์ด้วยแสงและออกซิเจนในบรรยากาศแวดล้อมได้ เมื่อวางจำหน่ายไประยะเวลาหนึ่งจะทำให้สีของผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงไม่สดใส คุ้ไม่เป็นเงาวาว ทั้งยังอาจเกิดการปนเปื้อนของสิ่งสกปรกและฝุ่นละออง ผู้จำหน่ายจึงต้องแก้ปัญหาโดยต้องรีบจำหน่ายผลิตภัณฑ์ให้หมดในระยะเวลาอันสั้น ไม่เกิน 2-3 สัปดาห์ ทำให้ขายได้ราคาต่ำลง ดังนั้นการเลือกบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม จึงเป็นสิ่งจำเป็นในการพิจารณา เพื่อต้องการรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษา

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงได้ศึกษาแนวทางการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม โดยจะศึกษาถึงปัจจัยของอุณหภูมิอบแห้ง ที่มีผลต่อคุณภาพของกล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่ รวมทั้งศึกษาถึงผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ 4 ชนิด ได้แก่ พลาสติกแบบลามิเนต ชนิด Linear Low Density Polyethylene (Nylon/LLDPE) บรรจุภัณฑ์แบบชนิด Oriented Polypropylene (OPP), Polyethylene terephthalate (PET) และ Polyethylene terephthalate/Polyethylene (PET/PE) และอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อคุณภาพด้านสี และเนื้อสัมผัสของกล้วยอบแห้ง ภายใต้อุณหภูมิแวดล้อมและอุณหภูมิเฉลี่ย 5°C ซึ่งจะเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าสินค้าและการจำหน่ายกล้วยอบต่อไปในอนาคต เพื่อให้ได้กล้วยอบแห้งที่มีคุณภาพดีขึ้น เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตกล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1. ศึกษาหาความขึ้นสมมูลของกล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่ และพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

1.2.2. ศึกษาหาแนวทางการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่ โดยพิจารณาด้านคุณภาพและความสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง

1.3 ขอบเขตและวิธีดำเนินการวิจัย

1.3.1. ศึกษาหา ความขึ้นสมมูลของกล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่ และพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความขึ้นสมมูล

1.3.2. ศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งของกล้วยเล็บมือนางในช่วงอุณหภูมิอบแห้ง 50-80°C และกล้วยไข่ในช่วงอุณหภูมิอบแห้ง 60-80°C ด้วยพลังงานความร้อนจากแก๊สหุงต้ม กำหนดความชื้นสุดท้าย 24-28% มาตรฐานแห้ง และพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายจลนพลศาสตร์การอบแห้ง

1.3.3. วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และจุลชีววิทยาของกล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่ ภายหลังจากการอบแห้ง ได้แก่

- การหัดตัว
- สี
- การทดสอบทางประสาทสัมผัส
- ลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ ค่าแรงเคี้ยว ความเหนียว
- คุณภาพทางจุลินทรีย์

1.3.4. สรุปแนวทางการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่ โดยพิจารณาด้านคุณภาพและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง (Specific Energy Consumption, SEC)

1.3.5. เก็บรักษากกล้วยไข่อบแห้ง โดยใช้บรรจุภัณฑ์ 4 ชนิด ได้แก่ พลาสติก Polyethylene Terephthalate (PET), Linear Low Density Polyethylene (Nylon/LLDPE), Polyethylene terephthalate/Polyethylene (PET/PE) และ Oriented Polypropylene (OPP) ที่อุณหภูมิ 5°C และ 30°C (อุณหภูมิแวดล้อม) และทำการทดสอบคุณภาพทางกายภาพของกล้วยไข่ ได้แก่ สี และลักษณะเนื้อสัมผัส ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 15 วัน 30 วัน และ 45 วัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1. ได้ทราบจลนพลศาสตร์การอบแห้งกล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่ ด้วยพลังงานความร้อนจากแก๊สหุงต้ม (LPG) ที่มีประสิทธิภาพโดยพิจารณาคุณภาพของกล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่ ภายหลังจากการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง (Specific Energy Consumption, SEC)

1.4.2. ได้ทราบถึงกรรมวิธีการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่ที่มีคุณภาพผ่านตามเกณฑ์ มพช. (112/2546)

1.4.3. ได้ชนิดของบรรจุภัณฑ์และสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษากกล้วยไข่อบแห้ง

บทที่ 2

ตรวจสอบเอกสาร

2.1 กล้วยไข่ (เบญจมาศ และคณะ, 2551)

กล้วยไข่ (Pisang Mas Banana) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Musa Sapientum* อยู่ในวงศ์ Musaceae ซึ่งอยู่ในกลุ่ม AA เป็นผลไม้เขตร้อน ภูมิอากาศแบบร้อนชื้นซึ่งเหมาะแก่การเจริญเติบโตของกล้วยไข่ มีทั่วทุกภาคของประเทศไทย ระยะเวลาในการปลูก 8-10 เดือน แหล่งที่ปลูก ได้แก่ ภาคกลาง และภาคกลางตอนบน ได้แก่ สระบุรี กำแพงเพชร ตาก สุโขทัย ภาคใต้ ได้แก่ เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ พัทลุง ภาคตะวันออก ได้แก่ ชลบุรี ภาคตะวันตก ได้แก่ ราชบุรี ภาคอีสาน ได้แก่ สุรินทร์ โดยกล้วยไข่นี้ถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญนำรายได้เข้าสู่ประเทศได้มากมาย เนื่องจากมีรสชาติดี อร่อย หอม ปัจจุบันเป็นสินค้าส่งออกไปยังประเทศญี่ปุ่น สิงคโปร์ และฮ่องกง เป็นผลไม้ที่ค่อนข้างเล็ก เปลือกบาง ผลสุกสีเหลือง เมื่อผลงอมอาจมีจุดดำ ๆ ประปราย รสชาติหวานอร่อย ในกล้วยไข่มีสารต้านอนุมูลอิสระ คือเบต้าแคโรทีน ซึ่งจะช่วยชะลอความชราและริ้วรอยต่าง ๆ และการเสื่อมของเซลล์ ที่สำคัญยังมีฤทธิ์ป้องกันการเกิดเซลล์มะเร็งและยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์เนื้อร้ายได้ (ปุยฝ้าย, 2558) นอกจากนี้ยังมีเส้นใยจากอาหาร และน้ำตาลธรรมชาติ 3 ชนิด คือ ซูโครส ฟรุคโทส และกลูโคส ซึ่งจะช่วยเสริมเพิ่มพลังงานให้กับร่างกายได้ดี

2.2 กล้วยเล็บมือนาง (นิคม, 2557)

กล้วยเล็บมือนาง มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Musa Nana Linn.* อยู่ในวงศ์ Musaceae อยู่ในกลุ่ม AA ลักษณะของกล้วยเล็บมือนางจะมีผลเรียวยาวเล็กม้วนโค้งงอปลายแหลม เปลือกหนา เมื่อสุกกล้วยจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง รสชาติหวานหอม นิยมบริโภคในรูปผลสด หรือแปรรูปเป็นกล้วยอบแห้ง กล้วยเล็บมือนางนิยมปลูกมากในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย โดยเฉพาะบริเวณจังหวัดชุมพร จังหวัดสุราษฎร์ธานี จังหวัดนครศรีธรรมราช จังหวัดพัทลุง เป็นต้น ระยะเวลาในการปลูก 8 เดือน จึงสามารถเก็บผลผลิตครั้งแรกได้ หลังจากนั้นสามารถเก็บผลผลิตในช่วงระยะเวลา 3 ปีได้ทุก ๆ เดือน นอกจากนี้กล้วยเล็บมือนางมีกรดอะมิโนที่จำเป็น เรียกว่า ทริปโตเฟน (Tryptophan) ที่สามารถเปลี่ยนไปเป็นสารเซโรโทนิน (Serotonin) หรือสารสื่อประสาท และในกล้วยยังมีวิตามินบีสูงมาก ส่งผลดีต่อระบบประสาทสัมผัสและอารมณ์ ในสรรพคุณทางยา ซึ่งกล้วยเล็บมือนางมีสภาพเป็นกลาง จึงสามารถเคลือบผนังลำไส้และกระเพาะอาหารได้ด้วย บรรเทาอาการโรคลำไส้เป็นแผล

2.3 คุณค่าทางโภชนาการของกล้วยไข่ (พรพรรณ, 2530)

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบและคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อกล้วยไข่ 100 g.

ส่วนประกอบและคุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณ
พลังงาน	142 cal.
โปรตีน	1.5 g.
ไขมัน	0.2 g.
คาร์โบไฮเดรต	34.4 g.
วิตามิน C	16 mg.
วิตามิน B1	0.02 mg.
วิตามิน B2	0.09 mg.
แคลเซียม	24 mg.
ฟอสฟอรัส	22 mg.
เหล็ก	0.5 mg.

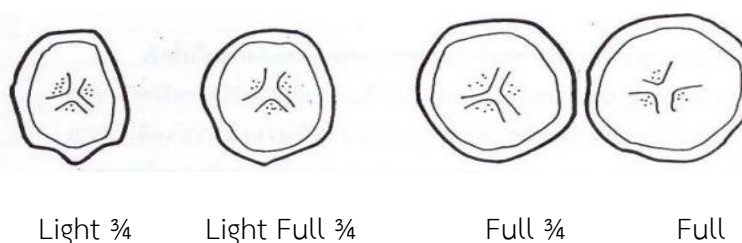
2.4 คุณค่าทางโภชนาการของกล้วยเล็บมือนาง (พรพรรณ, 2530)

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบและคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อกล้วยเล็บมือนาง 100 g.

ส่วนประกอบและคุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณ
พลังงาน	72 cal.
ไขมัน	0.2 g.
คาร์โบไฮเดรต	18 g.
โปรตีน	1.8 g.
แคลเซียม	10 mg.
ฟอสฟอรัส	24 mg.
เหล็ก	1.3 mg.
วิตามิน A	133 mg.
วิตามิน B1	0.03 mg.
วิตามิน B2	0.04 mg.
ไนอะซีน	0.6 mg.
วิตามิน C	8 mg.

2.5 ระยะการเก็บเกี่ยวของกล้วย (เบญจมาศ, 2545)

กล้วยเป็นผลไม้ประเภท Climacteric คือเมื่อผลสุกจะมีการหายใจเพิ่มขึ้น และต้องการเอทิลินมาช่วยกระตุ้นให้เกิดการสุก เอทิลินนี้อาจเกิดจากภายในผลไม้เองและทำให้ผลไม้ที่สุก ถ้าไม่มีเอทิลินผลไม้จะไม่สุก เมื่อกล้วยสุกจะมีการสร้างเอทิลินเพิ่มขึ้น เอทิลินนี้อาจจะได้จากภายนอกซึ่งอยู่ในรูปของสารละลาย หรือแก๊สก็ได้ ซึ่งการใช้เอทิลินจากภายนอกดังกล่าว เรียกว่า การบ่มกล้วยสุก โดยในการบ่มกล้วยจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงแป้งในกล้วยไปเป็นน้ำตาล เกิดมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพโดยมีสีผิวหรือเปลือกเนื้อในนุ่มขึ้น และมีกลิ่นหอม โดยทั่วไปการเก็บเกี่ยวกล้วย จะพิจารณาจากขนาดของเหลี่ยมกล้วยเป็นหลัก โดยความแก่ของผลกล้วยจะมีความสัมพันธ์กันอย่างมากกับมุมของเหลี่ยมผล มาตรฐานความแก่ของกล้วยขึ้นอยู่กับเหลี่ยมของผลกล้วย แสดงดังภาพประกอบที่ 2.1



ภาพประกอบที่ 2.1 รูปร่างตามขวางของผลกล้วยเมื่ออายุต่างกัน

Light 3/4	หมายถึง ผลที่มีเหลี่ยมชัดเจนมาก หรือมีความแก่ประมาณ 70%
Light Full 3/4	หมายถึง ผลที่มีเหลี่ยมชัด มีความแก่ประมาณ 80%
Full 3/4	หมายถึง ผลที่มีเหลี่ยมแต่ไม่ชัดเจน มีความแก่ประมาณ 90%
Full	หมายถึง ผลที่ไม่มีเหลี่ยมเลยเรียกว่าแก่เต็มที่ 100%

ขั้นตอนการสุกของกล้วย หลังจากตัดมาบ่ม แบ่งเป็น 8 ระยะ ดังนี้ (เบญจมาศ, 2545)

ระยะที่ 1 เปลือกเขียว ผลแข็ง ไม่มีการสุก

ระยะที่ 2 เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองเล็กน้อย

ระยะที่ 3 เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองมากขึ้นแต่ยังมีสีเขียวมากกว่าสีเหลือง

ระยะที่ 4 เริ่มเปลี่ยนสีจากเขียวออกเหลืองและมีสีเหลืองมากกว่าสีเขียว

ระยะที่ 5 เปลือกเป็นสีเหลืองแต่ปลายยังเป็นสีเขียว

ระยะที่ 6 ทั้งผลมีสีเหลือง (ผลสุก)

ระยะที่ 7 ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาล (สุกเต็มที่ มีกลิ่นหอม)

ระยะที่ 8 ผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาลมากขึ้น (สุกมากเกินไป เนื้อเริ่มอ่อนตัวและมีกลิ่น

แรง)

พบว่าช่วงของการสุกของกล้วย จะมีการเปลี่ยนแปลงด้านคุณค่าของอาหารภายในกล้วย โดยเฉพาะแป้งซึ่งมีมากตอนเป็นผลกล้วยดิบ เมื่อกล้วยสุกขึ้น ปริมาณแป้งในกล้วยจะลดน้อยลงและเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลมากขึ้น ทำให้กล้วยที่เริ่มสุกจะมีรสหวานเพิ่มมากขึ้น กล้วยกินได้ที่มีจีโนมเป็น AA และ AAA เช่น กล้วยเล็บมือนาง กล้วยหอม ปริมาณแป้งจะลดลงอย่างมากเมื่อกล้วยสุก โดยจะเริ่มลดลงเมื่อกล้วยเริ่มเปลี่ยนสี ส่วนกล้วย ABB เช่น กล้วยน้ำว้า กล้วยหักมุก เมื่อกล้วยสุก ปริมาณแป้งจะลดลงเช่นกัน แต่น้อยกว่ากล้วยในกลุ่ม AA และ AAA และมีความหวานในกล้วยเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน แต่น้อยกว่ากลุ่มแรกเช่นเดียวกัน ดังนั้นในกล้วย ABB จะมีแป้งมากเมื่อดิบ และเมื่อสุกขึ้น ปริมาณแป้งยังคงมีอยู่มาก (เบญจมาศ, 2545)

2.6 มาตรฐานผลิตภัณฑ์กล้วยอบแห้ง (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2546.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนกล้วยอบ 112/2546.)

กล้วยอบแห้ง เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำกล้วยทั้งผลหรือกล้วยที่ตัดแต่งเป็นรูปทรงตามต้องการ มาทำให้แห้งโดยใช้พลังงานจากแสงแดดหรือแหล่งพลังงานอื่น อาจปรุงแต่งรสก่อนหรือหลังการทำให้แห้งด้วยส่วนประกอบอื่น เช่น น้ำผึ้ง หรือวัตถุปรุงแต่งกลิ่นรสอื่นก็ได้ อาจเป็นกล้วยทั้งผลเป็นชิ้น หรือเป็นแผ่นคุณลักษณะที่ต้องการ

1) ลักษณะทั่วไป

ต้องมีขนาด รูปร่าง ในแต่ละภาชนะบรรจุใกล้เคียงกัน

2) สี

ต้องมีสีผลิตภัณฑ์ที่ดีตามธรรมชาติหรือของส่วนประกอบที่ใช้

3) กลิ่นรส

ต้องมีกลิ่นรสผลิตภัณฑ์ที่ดีตามธรรมชาติหรือส่วนประกอบที่ใช้ หรือปราศจากกลิ่นอื่นที่ไม่พึงประสงค์ ต้องไม่มีกลิ่นอับ กลิ่นหืน กลิ่นไหม้ รสชาติขม

4) ลักษณะเนื้อสัมผัส

ต้องนุ่ม มีความหยุ่นตัว และไม่แข็งกระด้างในแต่ละภาชนะที่กำหนด

เมื่อตรวจสอบโดยวิธีให้คะแนน ต้องได้คะแนนเฉลี่ยของแต่ละลักษณะจากผู้ตรวจสอบทุกคน ไม่น้อยกว่า 3 คะแนน และไม่มีลักษณะใดได้ 1 คะแนน จากผู้ตรวจสอบคนใดคนหนึ่ง

5) สิ่งแปลกปลอม

ต้องปราศจากและไม่พบสิ่งแปลกปลอมหรือสิ่งที่ไม่ใช่ส่วนประกอบของที่ใช้ เช่น ดิน ทราย กรวด เส้นผม ขนสัตว์ หรือสิ่งปนเปื้อนของสัตว์แมลง หนู นก

หมายเหตุ: จีโนม (อังกฤษ: genome) หน่วยพันธุกรรมที่มีควบคุมลักษณะทาง พันธุกรรมในสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่ง ซึ่งจะแตกต่างกันในสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด (แสงทอง, 2554)

จีโนม AA ได้แก่ กล้วยไข่ กล้วยเล็บมือนาง

จีโนม AAA ได้แก่ กล้วยหอม

จีโนม ABB ได้แก่ กล้วยน้ำว้า กล้วยนางพญา กล้วยหักมุก

6) วัตถุเจือปนอาหาร

6.1 ห้ามใช้วัตถุกันเสียทุกชนิด

6.2 หากมีการใช้วัตถุปรุงแต่งกลิ่นรส หรือใช้ได้ตามชนิดและปริมาณที่กฎหมายกำหนด.

7) วอเตอร์แอกทิวิตี (water activity)

ต้องไม่เกิน 0.75

โดยค่าวอเตอร์แอกทิวิตี เป็นปัจจัยสำคัญในการคาดคะเนอายุการเก็บอาหารและเป็นตัวบ่งชี้ถึงความปลอดภัยของอาหารโดยทำหน้าที่ควบคุมการอยู่รอด การเจริญ และการสร้างพิษของจุลินทรีย์

8) จุลินทรีย์

8.1. จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total viable count) ต้องไม่เกิน 1×10^3 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 g.

8.2. เอสเชอริเชียโคไล (*Escherichia coli*) โดยวิธีเอ็มพีเอ็น ต้องน้อยกว่า 3 ต่อตัวอย่าง 1 g.8.3. สตาฟีโลค็อกคัส ออเรียส (*Staphylococcus aureus*) ต้องไม่พบในตัวอย่าง 0.1 g.

8.4. ยีสต์และรา (Yeast & Mold) ต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 g.

2.7 บรรจุภัณฑ์

กองส่งเสริมอุตสาหกรรม กล่าวว่า บรรจุภัณฑ์ หมายถึง ภาชนะที่ใช้ในการขนส่งผลิตภัณฑ์ไปยังแหล่งใช้ประโยชน์ โดยความประหยัดและปลอดภัย มีความหมายว่าแนวความคิดรวมของระบบในการเตรียมสินค้าเพื่อการขนส่ง จัดจำหน่าย เก็บรักษาและการตลาด ตัวอย่างของบรรจุภัณฑ์ประเภทพลาสติก เช่น พลาสติก PET (Polyethylene Terephthalate) ข้อดี คือ แก๊สซึมผ่านได้ยาก และป้องกันการซึมผ่านของไขมันได้ดี มีความใสและความเหนียวสูง จึงนิยมผลิตเป็นถุงที่ต้องการใช้อุณหภูมิสูง มีน้ำหนักเบา และทนต่อแรงกระแทกได้ดี โดย PET จะใช้ในการบรรจุเช่น ผลไม้อบแห้ง ผลไม้กวน น้ำอัดลม น้ำดื่ม เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ สามารถใช้เคลือบกับ Polyethylene (PE) ซึ่งมีความเหนียว และทนต่อแรงดึง ถ้ามีความหนาแน่นต่ำจะใส และความหนาแน่นสูงจะมีความขุ่น เมื่อมาประกบกันจะได้เป็น Polyethylene terephthalate/Polyethylene (PET/PE) ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ แผ่นฟิล์มสำหรับการบรรจุหีบห่อ, ถุง, แผงบรรจุยา

พลาสติกลามิเนต คือ การนำพลาสติกมากกว่าหนึ่งชนิดมาประกบเข้าด้วยกัน เช่น การนำฟิล์มพลาสติก OPP (Oriented Polypropylene) ได้เป็นพลาสติกลามิเนต OPP ซึ่งมีคุณสมบัติใสมันวาว ป้องกันแสงได้ เก็บรักษากลิ่น ป้องกันความชื้น และเก็บรักษารสชาติของอาหารได้ดี หรือการนำฟิล์มพลาสติก Nylon มาประกบกับ ฟิล์มพลาสติก LLDPE (Linear Low Density Polyethylene) ได้เป็นพลาสติกลามิเนต Nylon/ LLDPE ซึ่งมีความยืดหยุ่นสูง ทนเคมีการกดต่างได้ดี เชื่อมติดกันได้ง่าย ป้องกันความชื้นได้ดี จึงเหมาะสำหรับทำถุงบรรจุอาหาร ซึ่งในงานวิจัยเลือกใช้ฟิล์มพลาสติกทั้ง 4 ชนิดดังกล่าวข้างต้นมาใช้ในการศึกษาการเก็บรักษากลิ่นของผลไม้สดที่อุณหภูมิห้อง และที่อุณหภูมิ 5 °C

2.8 การควบคุมคุณภาพของกล้วย

กล้วยในระหว่างกระบวนการอบแห้งสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในด้านการเกิดสีของกล้วยซึ่งเกิดมาจากอนุมูลอิสระของการอบแห้ง ไปพร้อมๆ กับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพได้ ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของกล้วยหลังอบแห้งอย่างมาก โดยกล้วยอาจไม่สามารถดูดคืนน้ำกลับเข้าไปได้เท่าเมื่อก่อนการอบแห้ง ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างรวมถึงการเกิดการแห้งเนื่องจากการหดตัวของกล้วย อีกทั้งกล้วยยังอาจเกิดการสูญเสียสารระเหยที่มีกลิ่นได้ ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมคุณภาพของกล้วย

2.8.1 สี

สี (Color) เป็นคุณสมบัติสามารถใช้อธิบายคุณลักษณะของวัสดุทางการเกษตรเนื่องจากความร้อนมีผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงของกล้วยจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่ทำให้กล้วยมีสีเข้มขึ้น ดังนั้นระบบการวัดสี โดยทั่วไปแล้วปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดสี ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสง (light source) วัตถุที่มอง และตามนุษย์ซึ่งช่วงคลื่นแสงที่สามารถมองเห็นได้อยู่ในช่วง 400-780 nm โดยบทบาทสำคัญในการกำหนดมาตรฐานด้านสี คือ Commission International de l'Eclairage (CIE) หรือในชื่ออังกฤษว่า International Commission on Illumination (<http://www.cie.co.at/cie/>) ระบบสีที่ใช้ ได้แก่ CIE System หรือ ระบบ CIE L*a*b* เป็นวิธีการวัดสีที่ใช้ลักษณะของ color space

โดยกำหนดให้ แกน L* เป็นค่าความสว่าง (Lightness) มีค่าอยู่ระหว่าง 0-100

แกน a* ที่เป็น + สีจะเป็นไปในทิศทางสีแดง

แกน a* ที่เป็น - สีจะเป็นไปในทิศทางสีเขียว

แกน b* ที่เป็น + สีจะเป็นไปในทิศทางสีเหลือง

แกน b* ที่เป็น - สีจะเป็นไปในทิศทางสีน้ำเงิน

และในการหาค่าความแตกต่างของสีที่เป็นตัวเลขนั้นเมื่อพิจารณาจากภาพประกอบที่ 2.2 จะพบว่าจุดๆ หนึ่ง ใน Space และเมื่อสีมีการเปลี่ยนเฉดสีไปจะได้อีกจุดใน Space ซึ่ง 2 จุดนี้จะมีระยะห่างกันใน Space เท่าไร ก็จะเป็นตัวบ่งบอกถึงความแตกต่างของสีดังกล่าวที่ 2.1

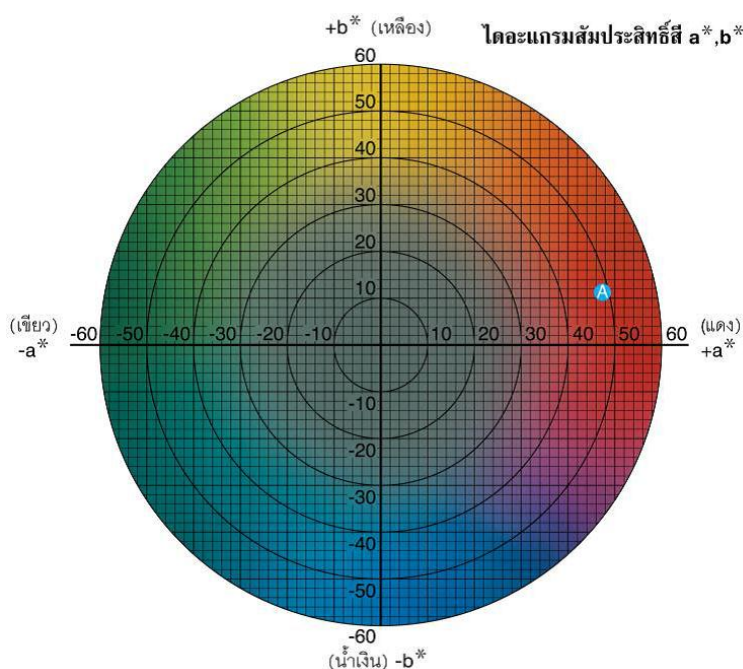
$$\Delta E^* = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (2.1)$$

โดย ΔE^* คือค่าความแตกต่างของสีรวม

เมื่อ	L* คือค่าความสว่าง	มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100
	a* คือค่าสีแดงและเขียว	เมื่อ a* มีค่าเป็นบวก เป็นสีแดง
		เมื่อ a* มีค่าเป็นลบ เป็นสีเขียว
		เมื่อ a* มีค่าเป็นศูนย์ เป็นสีเทา

b^* คือค่าสีเหลืองและน้ำเงิน เมื่อ b^* มีค่าเป็นบวก เป็นสีเหลือง
 เมื่อ b^* มีค่าเป็นลบ เป็นสีน้ำเงิน
 เมื่อ b^* มีค่าเป็นศูนย์ เป็นสีเทา

L_0 , a_0 และ b_0 คือ ค่าความสว่างหรือความมืด, สีแดงหรือเขียว และสีเหลืองหรือน้ำเงิน ที่สภาวะเริ่มต้น ตามลำดับ (ซึ่งในการทดลองนี้เลือกใช้ค่า L_0 , a_0 และ b_0 จากกล้วยเล็บมือนาง และกล้วยไข่สด)



ภาพประกอบที่ 2.2 การบรรยายสีในระบบ CIE Lab มองในระนาบ 2 มิติ: Hue บรรยายถึงเฉดสี และ บรรยายถึงความมันวาวหรือความเข้มของโทนสี.

ที่มา : Konica Minolta, (2015)

เราอาจจะกล่าวได้ว่าการมองเห็นสีของมนุษย์ และการวัดสีจากเครื่องวัดจะต้องอาศัยปัจจัย 3 อย่างคือ แหล่งกำเนิดแสง วัตถุมีสี และการอ่านค่าสี แต่กับการมองเห็นสีของมนุษย์นั้น จะพบว่าแต่ละคนอาจจะอ่านค่าสีแตกต่างกันไป สำหรับเครื่องวัดสีนั้นจะให้ค่าที่ได้จากการวัดสีในทางอุตสาหกรรมเป็นไป ตามมาตรฐานสากล รวมทั้งยังสามารถที่จะวัดค่าความแตกต่างของสีที่มีเฉดสีต่างออกไปเพียงเล็กน้อยได้ เป็นผลให้ในทางอุตสาหกรรมสามารถกำหนดให้ค่าความแตกต่างของสีได้ (โชติพงศ์, 2556)

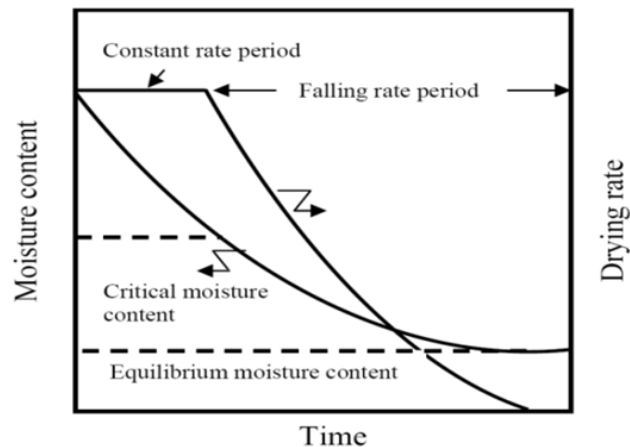
2.8.2 การหดตัว (จารูวรรณ, 2550)

การอบแห้งมีผลต่อคุณภาพอาหาร ทั้งนี้เนื่องจากอาหารมีการสูญเสีย น้ำ การเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดเจนระหว่างการอบแห้ง ได้แก่ การหดตัวของชิ้นอาหารซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ในอาหารทั้งที่มีโครงสร้างแบบเซลล์ การหดตัวของชิ้นอาหารมักจะเป็นแบบไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากชิ้นผลิตภัณฑ์มีความแปรเปลี่ยนของสภาพยืดหยุ่นหรือการสูญเสียโครงสร้างในชิ้นผลิตภัณฑ์ไม่สม่ำเสมอ ผลิตภัณฑ์อาหารต่างชนิดมักจะมีรูปแบบการหดตัวที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการอบแห้งมีผลต่อการหดตัว และส่งผลให้ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งแตกต่างกันด้วย เช่น ถ้าอบแห้งอย่างช้า ๆ จากบริเวณผิวของชิ้นอาหารไปสู่ศูนย์กลาง ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งจะค่อนข้างสูง แต่ถ้าอบแห้งอย่างรวดเร็วด้วยอุณหภูมิสูง ผิวภายนอกของผลิตภัณฑ์จะแข็งอย่างรวดเร็ว เมื่อชิ้นการอบแห้งเคลื่อนย้ายเข้าสู่บริเวณศูนย์กลางของชิ้นอาหาร การหดตัวของเนื้ออาหารภายในจะก่อให้เกิดการแตกแยกจากผิวที่แข็งเกิดเป็นรอยปริเล็ก ๆ เต็มไปหมด ในกรณีหลังนี้ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งจะต่ำกว่า ความแตกต่างในสองกรณีนี้อาจมีมากเป็นเท่าตัวได้ การหดตัวโดยทั่วไปจะวัดได้โดยการหาอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของตัวอย่างที่ได้หลังจากการอบแห้ง และก่อนการอบแห้ง แต่ในบางงานวิจัยจะวัดโดยใช้การเปลี่ยนแปลงของทางด้านต่าง ๆ ของตัวอย่าง โดยวัดด้วย Vernier หรือ Digital caliper ปัจจัยที่ส่งผลต่อการหดตัวได้แก่ ปริมาณการระเหยของน้ำโดยวัสดุจะมีการหดตัวเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำระเหยออกไปมาก (Hatamipour et al., 2003)

2.9 การอบแห้ง (สมชาติ, 2540)

การอบแห้ง คือ กระบวนการลดความชื้นของวัสดุ โดยการอบแห้งมักจะใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้ง โดยความร้อนจะถูกถ่ายเทจากกระแสอากาศไปยังวัสดุ ความร้อนส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ในการระเหยน้ำในขณะเดียวกันไอน้ำก็จะเกิดการเคลื่อนที่จากผิวของวัสดุมาแยกระแสอากาศ ถ้าผิวของวัสดุมีน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวก็จะคงที่ ซึ่งส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราการอบแห้งคงที่ด้วย ถ้าอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วของกระแสอากาศมีค่าคงที่ ดังแสดงปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในแสดงดังในภาพประกอบที่ 2.3 เรียกช่วงนี้ว่า ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant rate period) และเมื่อผิวของวัสดุมีปริมาณน้ำลดลงมาก อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่บริเวณผิวของวัสดุย่อมเปลี่ยนแปลงไป โดยที่อุณหภูมิจะสูงขึ้นและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวของวัสดุจะลดลง ซึ่งส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อน และอัตราการอบแห้งลดลง เรียกช่วงนี้ว่า ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling rate period) ค่าความชื้นที่อยู่ระหว่างการอบแห้งด้วยอัตราคงที่ และอัตราการอบแห้งลดลงเรียกว่า ความชื้นวิกฤติ (Critical moisture content)

วัสดุที่มีโครงสร้างภายในเป็นรูพรุน (Porous media) จึงสามารถแบ่งการอบแห้งออกเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงแรกเป็นช่วงการอบแห้งในขณะวัสดุยังมีความชื้นสูงอยู่จึงเป็นการอบแห้งแบบอัตราการอบแห้งคงที่ เมื่อวัสดุมีความชื้นลดต่ำลงจนถึงความชื้นวิกฤติแล้ว หลังจากนั้นน้ำภายในวัสดุจะเคลื่อนที่ออกมาถึงผิววัสดุในรูปของของเหลวหรือไอน้ำ แล้วจึงระเหยแล้วเคลื่อนที่ไปยังกระแสอากาศ และเมื่อความชื้นลดต่ำลงมาแล้วน้ำอาจเคลื่อนที่ในรูปของไอน้ำ



ภาพประกอบที่ 2.3 ช่วงการอบแห้ง (สมชาติ, 2540)

2.9.1 ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่

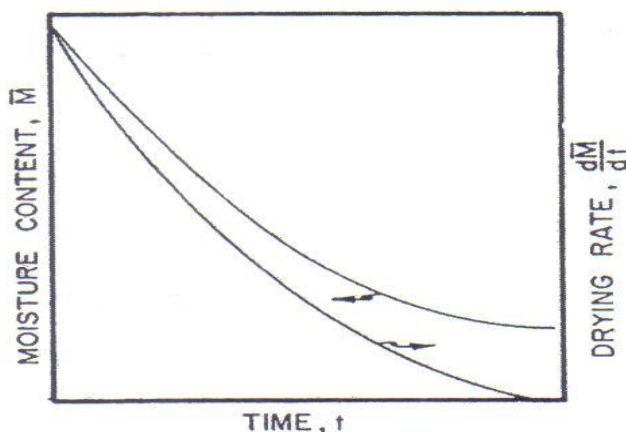
ในช่วงที่อัตราการอบแห้งคงที่ เป็นลักษณะหรือกลไกการถ่ายเทความร้อน การถ่ายเทมวลระหว่างวัสดุกับอากาศ ซึ่งจะเหมือนกับการถ่ายเทความร้อน และการถ่ายเทมวลที่เกิดขึ้นที่กระเปาะเปียกของเทอร์โมมิเตอร์ คือ เกิดขึ้นเฉพาะที่รอบ ๆ ผิวของวัสดุเท่านั้น ตัวแปรที่มีผลเกี่ยวข้องกับอัตราการอบแห้ง คือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วของกระแสอากาศ อัตราการระเหยของน้ำจะเท่ากับอัตราการถ่ายเทความร้อนจากอากาศมายังวัสดุต่อความชื้นแฝงของการระเหยของน้ำหรือเท่ากับอัตราการถ่ายเทมวล ดังสมการที่ (2.2)

$$\dot{m}_w = \frac{hA(T - T_{wb})}{h_{fg}} \quad (2.2)$$

โดย	\dot{m}_w	คือ อัตราการระเหยของน้ำ, (kg/h)
	h	คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ, (kJ/ h.m ² °C)
	A	คือ พื้นที่สัมผัสของวัสดุกับอากาศ, (m ²)
	T	คือ อุณหภูมิของกระแสอากาศ, (°C)
	T_{wb}	คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียก, (°C)
	h_{fg}	คือ ค่าความร้อนแฝงของการระเหยกลายเป็นไอ, (kJ/kg)

2.9.2 ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง

ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง แสดงดังภาพประกอบที่ 2.4 ความชื้นของวัสดุมีค่าต่ำกว่าความชื้นวิกฤติ การถ่ายเทความร้อน และการถ่ายเทมวลไม่ได้เกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของวัสดุเท่านั้น แต่จะเกิดการถ่ายเทในเนื้อวัสดุด้วย การเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในวัสดุมายังผิวนั้นช้ากว่าการพาความชื้นจากผิววัสดุไปยังอากาศ ทำให้อัตราการอบแห้งลดลง อัตราการระเหยของน้ำจะถูกควบคุมโดยความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำในวัสดุ ในขณะที่นั้นอุณหภูมิของวัสดุมีค่าสูงขึ้น และมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก การเคลื่อนที่ของน้ำในวัสดุส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของเหลว ซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น



ภาพประกอบที่ 2.4 ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (สมชาติ, 2540)

2.10 พารามิเตอร์พื้นฐานสำหรับการอบแห้ง

2.10.1 คุณสมบัติทางความชื้น

1) ความชื้น (สมชาติ, 2540)

ค่าความชื้น หมายถึง ปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในเนื้อวัสดุเมื่อเทียบกับมวลของวัสดุขึ้นหรือแห้ง ความชื้นในวัสดุสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (dry-basis) นิยมใช้กันในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งทฤษฎี เพราะช่วยให้การคำนวณสะดวกขึ้นเนื่องจากมวลของวัสดุแห้งจะมีค่า คงที่หรือเกือบคงที่ระหว่างการอบแห้ง และความชื้นมาตรฐานเปียก (wet-basis) ซึ่งนิยมในการค้าโดยทั่วไปจะอ้างในรูปของเปอร์เซ็นต์

2) ความชื้นสัมพัทธ์

ความชื้นสัมพัทธ์ คือ อัตราส่วนของเศษส่วนเชิงโมล (Mole fraction) หรือความดันไอของไอน้ำในอากาศต่อเศษส่วนเชิงโมล หรือความดันไอของไอน้ำในอากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศเดียวกัน ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าระหว่าง 0-1

3) ความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content)

ความชื้นสมดุลของวัสดุมีความสำคัญต่อการศึกษาระบวนการอบแห้ง เพราะเมื่อทำการอบแห้งวัสดุโดยใช้อากาศที่สภาวะคงที่ เช่น อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คงที่แล้วความชื้นของวัสดุก็จะลดต่ำลงจนถึงจุด ๆ หนึ่งซึ่งจะไม่เปลี่ยนแปลงอีกต่อไปในขณะนั้น ความชื้นของวัสดุก็จะมี ความดันไอของอากาศที่อยู่รอบ ๆ และอุณหภูมิของวัสดุก็เท่ากับอุณหภูมิของอากาศของอากาศรอบ ๆ ด้วย เรียกความชื้นในขณะนี้ว่า ความชื้นสมดุล ค่าความชื้นสมดุลนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลที่กำหนดให้ทั้งกระบวนการคายความชื้น (Desorption) และกระบวนการดูดซับความชื้น (Adsorption) กับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่อุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่ง เรียกว่า เส้นความชื้นสมดุลไอโซเทอม (Equilibrium moisture isotherm) เมล็ดพืชและวัสดุอาหาร โดยส่วนใหญ่มีเส้นความชื้นสมดุลไอโซเทอมเป็นรูปตัวซิกมอยด์ (Sigmoid shape) แต่เส้นโค้งของกระบวนการคายความชื้นกับกระบวนการดูดซับความชื้นที่ได้จาก วัสดุนั้นเดียวกันอาจจะมีค่าแตกต่างกัน ความแตกต่างของกระบวนการคายความชื้น และดูด ความชื้นนี้ เรียกว่า ปรากฏการณ์ฮิสเทอรีซิส (Hysteresis effect)

2.10.2 วิธีการหาความชื้นสมดุล

วิธีการหาค่าความชื้นสมดุลมีอยู่ 2 วิธีใหญ่ ดังนี้

1) วิธีสถิต เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายมาก่อน โดยมีหลักการคือ จะต้องทำให้ความชื้นของวัสดุเข้าสู่สมดุลกับอากาศรอบ ๆ ซึ่งอยู่นิ่ง ในการหาค่าความชื้นสมดุลด้วยวิธีสถิตนั้น สารละลายเกลืออิ่มตัวที่ใช้จะต้องมีคุณสมบัติดังนี้ คือ ความชื้นสัมพัทธ์จะต้องไม่เปลี่ยนแปลง หรือเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสารเคมีที่ใช้ ความเข้มข้น และ อุณหภูมิ

2) วิธีจลน์ วิธีจลน์เป็นวิธีที่ปรับปรุงมาจากวิธีสถิต มีลักษณะเหมือนกับวิธีสถิตต่างกัน ตรงที่วิธีจลน์อากาศรอบ ๆ วัสดุจะมีการเคลื่อนที่ในขณะที่วิธีสถิตอากาศจะอยู่นิ่ง จึงทำให้วัสดุเข้าสู่ สมดุลได้เร็วกว่าวิธีสถิตมาก คือประมาณ 1-2 วันหรือน้อยกว่า แต่มีข้อเสีย คือ การควบคุมสภาวะ ของอากาศซึ่งเคลื่อนที่ให้มีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คงที่ มีความยุ่งยากและซับซ้อนดังตารางที่ 2.3 แสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสารละลายเกลืออิ่มตัวที่อุณหภูมิ 40-65 °C

ตารางที่ 2.3 ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสารละลายเกลืออิมตัวที่อุณหภูมิต่างๆ (Chung et al., 1967, Cortés et al., 2010, Henderson et al., 1952)

Saturated salt solution	Relative Humidity (RH), decimal					
	40°C	45°C	50°C	55°C	60°C	65°C
LiCl	0.117	0.116	0.115	0.114	0.113	0.112
CH ₃ COOK	0.233	0.231	0.229	0.227	0.225	0.223
MgCl ₂ .6H ₂ O	0.321	0.318	0.315	0.312	0.309	0.306
Mg(NO ₃).6H ₂ O	0.498	0.484	0.470	0.457	0.444	0.431
NaCl	0.753	0.751	0.748	0.744	0.739	0.734
KNO ₃	0.878	0.864	0.849	0.830	0.811	0.792

2.10.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความชื้นสมดุล

ได้มีผู้ศึกษาทางด้านความชื้นสมดุลของวัสดุหลายชนิดในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ดังนี้

- สมการของ BET (Brunauer–Emmett–Teller)

Brunauer *et al.*, 1938 ได้สร้างสมการที่เรียกกันว่าสมการของ BET โดยมีสมการคือ

$$M_{eq} = \frac{M_m \cdot C \cdot RH}{(1-RH)(1+(C-1)RH)} \quad (2.3)$$

เมื่อ

- RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ, (decimal)
- M_{eq} คือ ความชื้นสมดุล, (decimal)
- M_m คือ ความชื้นสูงสุดใน 1 ชั้นโมเลกุล, (decimal)
- C คือ ค่าคงตัว

- สมการของ Chung and Pfof

Chung and Pfof, 1967 พัฒนาสมการกึ่งทฤษฎี โดยเขียนสมการได้เป็น

$$M_{eq} = A + B \ln(-\ln(RH)) \quad (2.4)$$

เมื่อ

- RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ, (decimal)
- M_{eq} คือ ความชื้นสมดุล, (decimal)
- A, B คือ ค่าคงตัว

- สมการของ Henderson

Henderson, 1974 ได้พัฒนาสมการกึ่งทฤษฎี โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$M_{eq} = \left[\frac{\ln(1 - (RH))}{-AT} \right]^{\frac{1}{B}} \quad (2.5)$$

เมื่อ

- RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ, (decimal)
- M_{eq} คือ ความชื้นสมดุล, (decimal)
- T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์, (K)
- A, B คือ ค่าคงตัว

- สมการของ Halsey

Halsey, 1948 พัฒนาสมการกึ่งทฤษฎี โดยเขียนสมการได้เป็น

$$M_{eq} = \left[\left(\frac{-A}{T \ln(RH)} \right) \right]^{\frac{1}{B}} \quad (2.6)$$

เมื่อ

- RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ, (decimal)
- M_{eq} คือ ความชื้นสมดุล, (decimal)
- T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์, (K)
- A, B คือ ค่าคงตัว

- สมการ Oswin

Oswin, 1946 พัฒนาสมการกึ่งทฤษฎี โดยเขียนสมการได้เป็น

$$M_{eq} = A \left(\frac{RH}{(1 - (RH))} \right)^B \quad (2.7)$$

เมื่อ

- RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ, (decimal)
- M_{eq} คือ ความชื้นสมดุล, (decimal)
- A, B คือ ค่าคงตัว

- สมการ Peleg
Peleg, 1993 พัฒนาสมการกึ่งทฤษฎี โดยเขียนสมการได้เป็น

$$M_{eq} = A(R)^B + C(R)^D \quad (2.8)$$

เมื่อ

RH	คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ, (decimal)
M_{eq}	คือ ความชื้นสมดุล, (decimal)
A, B, C, D	คือ ค่าคงตัว

- สมการ GAB (Guggenheim-Anderson-DeBoer)
GAB : Chen et al., 1998 พัฒนาสมการกึ่งทฤษฎี โดยเขียนสมการได้เป็น

$$M_{eq} = \frac{ABC(RH)}{[1-C(RH)][1-C(RH)+BC(RH)]} \quad (2.9)$$

เมื่อ

RH	คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ, (decimal)
M_{eq}	คือ ความชื้นสมดุล, (decimal)
A, B, C	คือ ค่าคงตัว

- สมการ Cauric : (Castillo et al., 2003)

$$M_{eq} = \exp(\ln(A) - B(RH)) \quad (2.10)$$

เมื่อ

RH	คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ, (decimal)
M_{eq}	คือ ความชื้นสมดุล, (decimal)
A, B	คือ ค่าคงตัว

- สมการ Kuhn : (Ali et al., 2011)

$$M_{eq} = \left(\frac{A}{\ln(RH)} \right) + B \quad (2.11)$$

เมื่อ

RH	คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ, (decimal)
M_{eq}	คือ ความชื้นสมดุล, (decimal)

A, B คือ ค่าคงตัว

- สมการ Smith

Smith, 1947 พัฒนาสมการกึ่งทฤษฎี โดยเขียนสมการได้เป็น

$$M_{eq} = A + (B \ln(1 - (RH))) \quad (2.12)$$

เมื่อ

RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ, (decimal)

M_{eq} คือ ความชื้นสมดุล, (decimal)

A, B คือ ค่าคงตัว

- สมการ White & Eiring : (Castillo et al., 2003)

$$M_{eq} = \left(\frac{1}{AB(RH)} \right) \quad (2.13)$$

เมื่อ

RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ, (decimal)

M_{eq} คือ ความชื้นสมดุล, (decimal)

A, B คือ ค่าคงตัว

- Modified Oswin : (Oswin, 1946)

$$M_{eq} = (A + BT) \left(\frac{RH}{1 - (RH)} \right)^{\frac{1}{C}} \quad (2.14)$$

เมื่อ

RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ, (decimal)

M_{eq} คือ ความชื้นสมดุล, (decimal)

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์, (K)

A, B, C คือ ค่าคงตัว

- สมการ Modified Smith : (Ali et al., 2011)

$$M_{eq} = (A + BT) - (C + DT) \ln(1 - RH) \quad (2.15)$$

เมื่อ

RH	คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ, (decimal)
M_{eq}	คือ ความชื้นสมมูล, (decimal)
T	คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์, (K)
A, B, C และ D	คือ ค่าคงตัว

2.11 สมการอบแห้งชั้นบาง

สมการอบแห้ง คือ สมการที่เขียนขึ้นโดยใช้ทฤษฎีหรือผลการทดลองหรือทั้งสองประกอบ กัน เพื่อนำมาใช้ทำนายอัตราการอบแห้งตลอดจนถึงผลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการอบแห้งผลิตภัณฑ์ นั้นๆ สมการอบแห้งชั้นบางสามารถแบ่งได้เป็น สมการอบแห้งทางทฤษฎี สมการอบแห้งกึ่งทฤษฎีและ สมการอบแห้งเอมพิริคัล

2.11.1 สมการการอบแห้งทางทฤษฎี

โดยทั่วไปการอบแห้งของอาหารจะเกิดขึ้นในสองช่วงระยะเวลาคงที่ และอัตราการลดลง หลังจากระยะเวลาการให้ความร้อนสั้น ๆ ระยะเวลาคงที่ตามมาด้วยระยะเวลาที่ลดลงซึ่งเป็น ระยะเวลาที่มีอิทธิพลในระหว่างขั้นตอนการอบแห้ง

Luikov (1966) เสนอกกลไกการเคลื่อนที่ของน้ำภายในวัสดุซึ่งอาจเกิดแบบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- การเคลื่อนที่ในรูปของเหลวเนื่องจาก Capillary flow ซึ่งเป็นผลมาจากแรงตึงผิว (Surface force)
- การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของเหลวอันเนื่องมาจากความแตกต่างของความเข้มข้นความชื้น
- การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของของเหลวเนื่องจากการแพร่ของความชื้นบนผิวของรูพรุน เล็ก ๆ (Surface diffusion)
- การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของไอน้ำเนื่องมาจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น (Vapor diffusion)
- การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของไอน้ำเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (Thermal diffusion)
- การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของไอน้ำเนื่องมาจากความแตกต่างของความดันรวม (Hydrodynamic flow)

1) สมการการแพร่ของความชื้นภายในวัสดุ

การอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง การเคลื่อนที่ของน้ำส่วนมากจะอยู่ในรูป ของเหลว ซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น (Vapor diffusion) ที่เป็นไป

ในลักษณะของการแพร่ของน้ำภายในวัสดุ การถ่ายเทมวลภายในอธิบายได้ด้วยสมการการแพร่ ความชื้นที่อยู่บนพื้นฐานของ Crank (Crank, 1975) สามารถแสดงด้วยสมการการแพร่ของมวล (Mass Diffusion) สมการที่ (2.16)

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D_{\text{eff}} \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial z^2} \right) \quad (2.16)$$

เมื่อ M คือ ปริมาณความชื้น, (kg/kg dry matter)
 x คือ ระยะ, (m)
 D_{eff} คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผล, (m^2/h หรือ m^2/s)

การแพร่ความชื้นของกล้วยไข่ และกล้วยเล็บมือนางในรูปของสัมประสิทธิ์การแพร่ ประสิทธิภาพ (Effective diffusion coefficient) กล้วยเล็บมือนางจะพิจารณาวัสดุเป็นทรงกระบอก และยาวมาก (Infinite cylinder shape) ส่วนกล้วยไข่จะพิจารณาเป็น 2 ช่วง ในช่วงเริ่มต้นกล้วยไข่ จะมีลักษณะวัสดุทรงกระบอก และยาวมาก (Infinite cylinder shape) ส่วนในช่วงหลังจะพิจารณา รูปของกล้วยไข่มีลักษณะวัสดุเป็นแผ่นราบกว้าง และยาวมาก (Infinite slab) (2.17)

$$MR = \frac{(M_t - M_{\text{eq}})}{(M_{\text{in}} - M_{\text{eq}})} \quad (2.17)$$

เมื่อ M_t คือ ความชื้นที่เวลา t ไต ๆ, (% dry-basis)
 M_{in} คือ ความชื้นเริ่มต้น, (% dry-basis)
 M_{eq} คือ ความชื้นสมดุล, (% dry-basis)
 MR คือ อัตราส่วนความชื้น

วิธีวิเคราะห์ จะได้ผลเฉลยสำหรับการเคลื่อนที่ของความยาวในวัสดุรูปทรงต่าง ๆ ดังนี้

1. สำหรับวัสดุแผ่นราบกว้าง และยาวมาก (Infinite slab shape)

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{p=0}^{\infty} \left[\frac{1}{(2p+1)^2} \right] \exp \left[-\frac{(2p+1)^2 \pi^2 D_{\text{eff}} t}{w^2} \right] \quad (2.18)$$

เมื่อ พิจารณาเพียงสามเทอมแรก;

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \left[\exp\left(-\frac{\pi^2 D_{\text{eff}} t}{w^2}\right) + \frac{1}{9} \exp\left(-\frac{9\pi^2 D_{\text{eff}} t}{w^2}\right) + \frac{1}{25} \exp\left(-\frac{25\pi^2 D_{\text{eff}} t}{w^2}\right) \right] \quad (2.19)$$

2. สำหรับวัสดุทรงลูกบาศก์ (Cubic shape)

$$MR = \left(\frac{8}{\pi^2}\right)^3 \sum_{p=0}^{\infty} \left[\frac{1}{(2p+1)^2} \right] \exp\left[-\frac{(2p+1)^2 3\pi^2 D_{\text{eff}} t}{L^2}\right] \quad (2.20)$$

เมื่อ พิจารณาเพียงสามเทอมแรก;

$$MR = \left(\frac{8}{\pi^2}\right)^3 \left[\exp\left(-\frac{3\pi^2 D_{\text{eff}} t}{L^2}\right) + \frac{3}{9} \exp\left(-\frac{9\pi^2 D_{\text{eff}} t}{L^2}\right) + \frac{3}{25} \exp\left(-\frac{25\pi^2 D_{\text{eff}} t}{L^2}\right) \right] \quad (2.21)$$

3. สำหรับวัสดุทรงกลม (Sphere shape)

$$MR = \frac{6}{\pi^2} \sum_{p=1}^{\infty} \left(\frac{1}{p^2}\right) \exp\left(-\frac{p^2 \pi^2 D_{\text{eff}} t}{r_0^2}\right) \quad (2.22)$$

เมื่อ พิจารณาเพียงสามเทอมแรก;

$$MR = \frac{6}{\pi^2} \left[\exp\left(-\frac{\pi^2 D_{\text{eff}} t}{r_0^2}\right) + \frac{1}{4} \exp\left(-\frac{4\pi^2 D_{\text{eff}} t}{r_0^2}\right) + \frac{1}{9} \exp\left(-\frac{9\pi^2 D_{\text{eff}} t}{r_0^2}\right) \right] \quad (2.23)$$

4. สำหรับวัสดุทรงกระบอก และยาวมาก (Infinite cylinder shape)

$$MR = \left(\frac{8}{\pi^2}\right) \sum_{m=1}^{\infty} \frac{4}{\lambda_m^2} \exp\left(-\frac{\lambda_m^2 D_{\text{eff}} t}{r_0^2}\right) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 (2n+1)^2 D_{\text{eff}} t}{L^2}\right) \quad (2.24)$$

เมื่อ พิจารณาเพียงสามเทอมแรก;

$$MR = \left(\frac{8}{\pi^2} \right) \left[\exp\left(-\frac{\pi^2 D_{\text{eff}} t}{L^2} \right) + \frac{1}{9} \exp\left(-\frac{9\pi^2 D_{\text{eff}} t}{L^2} \right) + \frac{1}{25} \exp\left(-\frac{25\pi^2 D_{\text{eff}} t}{L^2} \right) \right] \quad (2.25)$$

$$4 * \left[\frac{1}{\lambda_1^2} \exp\left\{ \lambda_1^2 \left(\frac{D_{\text{eff}} t}{r_0^2} \right) \right\} + \frac{1}{\lambda_2^2} \exp\left\{ -\lambda_2^2 \left(\frac{D_{\text{eff}} t}{r_0^2} \right) \right\} + \frac{1}{\lambda_3^2} \exp\left\{ -\lambda_3^2 \left(\frac{D_{\text{eff}} t}{r_0^2} \right) \right\} \right]$$

เมื่อ	MR	คือ อัตราส่วนความชื้น, (decimal)
	D_{eff}	คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผล, (m^2/h)
	L	คือ ความยาวของกล้วย, (m)
	W	คือ ความหนาของกล้วย, (m)
	r_0	คือ รัศมีของกล้วย, (m)
	t	คือ เวลา, (h)
	λ_m	คือ รากของเบสเซลฟังก์ชัน (Bessel Function) อันดับที่ m, $\lambda_1 = 2.4048$, $\lambda_2 = 5.5201$, $\lambda_3 = 8.6537$

โดยอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นและอุณหภูมิอบแห้งได้จากสมการของอาร์เรเนียส (Arrhenius equation) ดังสมการที่ (2.26)

$$D_{\text{eff}} = D_0 \exp\left[-\frac{E_a}{RT} \right] \quad (2.26)$$

เมื่อ	D_{eff}	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น, (m^2/h)
	D_0	คือ ค่าคงตัว, (m^2/h)
	R	คือ ค่าคงที่สากลของก๊าซ, (8.314 kJ/kmol-K)
	E_a	คือ ค่าพลังงานกระตุ้น (Activation Energy), (kJ/kmol)
	T	คือ อุณหภูมิอบแห้ง, (K)

2.11.2 สมการอบแห้งกึ่งทฤษฎี

ในการนำสมการทางทฤษฎี จะเห็นว่า สมการประกอบด้วยเทอมที่ไม่มีที่สิ้นสุด และเทอมท้าย ๆ จะมีค่าน้อยลงเรื่อย ๆ ดังนั้น เราอาจตัดเทอมท้าย ๆ ออกไปได้ โดยคงไว้เฉพาะเทอมแรกหรือสองสามเทอมแรกเท่านั้น ถ้าคงไว้เพียงเทอมแรกจะได้

$$MR = \left(\frac{6}{\pi^2} \right) \exp\left(-\frac{D_{\text{eff}} \pi^2 t}{r_0^2} \right) \quad (2.27)$$

เมื่อ	r_0	คือ รัศมีของทรงกลม, (m)
	D_{eff}	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น, (m^2/h)

t คือ เวลา, (h)

สามารถสร้างแบบจำลองการอบแห้งแบบง่าย ๆ โดยการสมมติว่าอัตราการอบแห้งภายใต้สภาวะคงที่แปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความแตกต่างของความชื้นของเมล็ดพืชและความชื้นสมดุล ข้อสมมติฐานดังกล่าวคล้ายกับกฎการเย็นตัวของนิวตัน (Newton's law of cooling) สมการดังกล่าวสามารถเขียนได้ว่า

$$\frac{d\bar{M}}{dt} = -k(\bar{M} - M_{eq}) \quad (2.28)$$

เมื่อ k คือ ค่าคงที่ของการอบแห้ง, (h^{-1})

ด้วยภาวะเริ่มต้น $\bar{M}(0) = M_{in}$ จะได้คำตอบของสมการ (2.28) คือ

$$\bar{M} = M_{eq} + (M_{in} - M_{eq}) \exp(-kt) \quad (2.29)$$

2.11.3 สมการอบแห้งเอมพิริคัล

สมการอบแห้งเอมพิริคัล (Empirical equation) คือ สมการที่สร้างจากแนวโน้มข้อมูลการทดลองสำหรับวัสดุอบในช่วงอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วของอากาศอบแห้งหนึ่ง ๆ ซึ่งพบว่าใช้ทำนายอัตราการอบแห้งได้ดี แต่มีข้อจำกัดในเรื่องที่เงื่อนไขการอบแห้งที่ต้องตรงกับสภาวะการทดลอง สำหรับสมการจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งเอมพิริคัลที่นิยมใช้ คือ มีหลายรูปแบบ เช่น

Newton (Kaleta and Górnicki, 2010)

$$\bar{M} = M_{eq} + (M_{in} - M_{eq}) \exp(-kt) \quad (2.30)$$

Page (Jangam et al., 2008)

$$\bar{M} = M_{eq} + (M_{in} - M_{eq}) \exp(-kt^n) \quad (2.31)$$

Henderson and Pabis model (Karathanos and Belessiotis, 1999)

$$\bar{M} = a[\exp(-kt)] \quad (2.32)$$

Logarithmic model (Kingsly et al., 2007)

$$\bar{M} = a[\exp(-kt)] + c \quad (2.33)$$

Two terms (Demirhan and Ozbek, 2011)

$$\bar{M} = a[\exp(-k_1t)] + b[\exp(-k_2t)] \quad (2.34)$$

Midilli (Midilli et al., 2002)

$$MR = a[\exp(-kt^n)] + bt \quad (2.35)$$

Verma et al. (Verma et al., 1985)

$$MR = a[\exp(-kt)] + (1 - a)[\exp(-gt)] \quad (2.36)$$

Logistic (Alibas, 2014)

$$MR = \frac{a}{[1 + \exp(kt)]} \quad (2.37)$$

Wang and Singh (Wang and Singh, 1978)

$$MR = 1 + (at) + (bt^2) \quad (2.38)$$

Modified Henderson and Pabis (Karathanos and Belessiotis, 1999)

$$MR = a[\exp(-kt)] + b[\exp(-gt)] + c[\exp(-ht)] \quad (2.39)$$

Silva et al. (Silva et al., 2012)

$$MR = \exp(-at - b\frac{1}{2}) \quad (2.40)$$

Peleg (Peleg, 1993)

$$MR = \frac{1 - t}{(a + bt)} \quad (2.41)$$

Simplified Fick's diffusion eq (Diamente and Munro, 1991)

$$MR = a \left[\exp \left(-k \left(\frac{t}{w^2} \right) \right) \right] \quad (2.42)$$

Modified Halsey (Halsey, 1948)

$$MR = \left(\frac{-\ln(RH)}{\exp(a + b(T))} \right)^c \quad (2.43)$$

เมื่อ

MR	คือ อัตราส่วนความชื้น
k	คือ ค่าคงตัวของการอบแห้ง, (h^{-1})
a, b, c, k, g, h	คือ ค่าคงตัว
t	คือ เวลา, (h)
W	คือ ความหนาของวัสดุ, (m)

2.12 การวิเคราะห์สมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของจลนพลศาสตร์และความชื้นสมดุลที่เหมาะสม (ชนันท์ และคณะ, 2555)

แบบจำลองการอบแห้ง และแบบจำลองความชื้นสมดุล ได้รับการประเมิน และเปรียบเทียบ โดยใช้วิธีทางสถิติ ดังนั้นคุณภาพของรูปแบบติดตั้งจะถูกประเมิน บางส่วนของมาตรการเหล่านี้สามารถอธิบายได้ดังนี้

2.12.1 ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง

ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (Root mean square error, RMSE) เป็นวิธีการวัดความคลาดเคลื่อนจากค่าที่พยากรณ์จากแบบจำลองกับค่าจริงที่เกิดขึ้น ซึ่งพิจารณาค่าที่น้อยที่สุดแสดงว่าแบบจำลองสามารถประมาณค่าได้ใกล้เคียงกับค่าจริง ดังนั้นหากค่านี้มีค่าเท่ากับศูนย์ หมายความว่าไม่เกิดความคลาดเคลื่อนในแบบจำลองนี้เลย สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2.44)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\text{Data}_{(\text{exp},i)} - \text{Data}_{(\text{pre},i)})^2} \quad (2.44)$$

2.12.2 ค่าไคสแควร์

ใช้ทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ย (Mean sum of squares of errors, MSE) or (χ^2) ของกลุ่มตัวอย่างที่มีเพียงกลุ่มหรือสองกลุ่ม จะใช้ทดสอบด้วยค่า Z-test หรือ T-test ข้อมูลที่นำมาทดสอบนั้นจะต้องเป็นข้อมูลที่อยู่ในระดับการวัด (Measurement Scale) ระดับอันตรภาคชั้น (Interval Scale) หรือระดับอัตราส่วน (Ratio Scale) เท่านั้น

$$\chi^2 = \frac{1}{N-n_i} \sum_{i=1}^N (\text{Data}_{(\text{exp},i)} - \text{Data}_{(\text{pre},i)})^2 \quad (2.45)$$

2.12.3 ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ

ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of determination , R^2) คือ ค่าความผันแปรของตัวแปรตอบสนองที่สามารถอธิบายได้มีอยู่ในตัวแบบเชิงเส้นนี้ที่เปอร์เซ็นต์ โดยทั่วไปแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจสูงๆ หมายความว่า ตัวแบบคณิตศาสตร์นั้นดีซึ่งเหมาะสมกับข้อมูลการทดลอง

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (\text{Data}_{(exp,i)} \times \text{Data}_{(pre,i)})}{\sqrt{(\sum_{i=1}^N \text{Data}_{(exp,i)} \times \sum_{i=1}^N \text{Data}_{(pre,i)})^2}} \right]^2 \quad (2.46)$$

2.12.4 ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์

ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์ (The standard error of estimate, SEE) หมายถึงความสามารถในการปรับตัวของแบบจำลองที่สัมพันธ์กับจำนวนจุดข้อมูล และวัดค่าการกระจายตัวไปจากเส้นกราฟหรือสมการถดถอยเล็กน้อยเพียงใดของค่าที่สังเกตได้เกี่ยวกับเส้นการถดถอย โดยทั่วไปแต่ละค่าอยู่บนเส้นกราฟถดถอยหรืออยู่ใกล้ ๆ เส้นกราฟถดถอยมากเท่าใด การพยากรณ์ค่าโดยใช้เส้นกราฟถดถอยก็จะถูกต้องมากขึ้นเท่านั้น

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\text{Data}_{(exp,i)} - \text{Data}_{(pre,i)})^2}{df}} \quad (2.47)$$

เมื่อ N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

n_i คือ จำนวนพารามิเตอร์ในสมการ

$\text{Data}_{(exp,i)}$ และ $\text{Data}_{(pre,i)}$ คือ ค่าข้อมูลจากผลการทดลอง และผลจากแบบจำลอง ที่ค่า i ใด ๆ

df คือ ระดับค่าความเป็นอิสระ (degree of freedom of regression)

2.13 เชื้อเพลิงที่ใช้เป็นแหล่งพลังงานในการอบแห้ง

2.13.1 ก๊าซหุงต้ม

ก๊าซหุงต้มหรือก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) หมายถึง ก๊าซไฮโดรคาร์บอนเหลว คือ โพรเพน, โพรพิลีน, นอร์มัลบิวเทน, ไอโซบิวเทน หรือบิวทีลีน อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างผสมกัน สถานะที่

อุณหภูมิและความดันบรรยากาศจะเป็นก๊าซ มีน้ำหนักประมาณ 1.5-2 เท่าของอากาศ โดยมีค่าความร้อน 50,220 kJ/kg (ทวิวัฒน์ และคณะ, 2559) และเมื่อเผาไหม้แล้วเกิดเขม่าน้อยกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น โดยทั่วไปเรียกก๊าซปิโตรเลียมเหลวว่า ก๊าซหุงต้ม ในวงการค้าและอุตสาหกรรม แอล พี จี (LPG: Liquefied Petroleum Gas)

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุภวรรณ และคณะ (2555) ได้ศึกษาการอบแห้งขนุนด้วยพลังงานความร้อนร่วมของรังสีอินฟราเรด/ไมโครเวฟ และลมร้อน ใช้ขนุนสายพันธ์ทองประเสริฐ สภาวะการทดลองอบแห้งมี 4 สภาวะ ได้แก่ การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด การอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนร่วมระหว่างรังสีอินฟราเรดและลมร้อน การอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอนด้วยไมโครเวฟและลมร้อน และการอบแห้งด้วยลมร้อนอย่างเดียว โดยในทุกการทดลองที่อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดจะใช้กำลังเท่ากับ 1,000 W และกำลังของไมโครเวฟที่ 90 W (โดยใช้เวลาอบแห้ง 3 นาที) สำหรับกรณีที่ใช้ลมร้อนจะใช้ความเร็วของอากาศเท่ากับ 1.1 m/s และทุกเงื่อนไขของการอบแห้ง ทดลองอบแห้งขนุนในช่วงอุณหภูมิ 40-60°C โดยมีค่าความชื้นเริ่มต้นของขนุนอยู่ในช่วง 300-400% dry-basis และอบแห้งจนค่าความชื้นสุดท้ายของขนุนอยู่ในช่วง 12-19% dry-basis

ผลการทดลอง พบว่า อัตราการอบแห้งขนุนขึ้นกับอุณหภูมิตอบแห้งอย่างมากเมื่อเทียบกับความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่าง จลนพลศาสตร์ของการอบแห้งขนุน พบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์รูปแบบ Logarithmic, Approximation of Diffusion และ Modified Page สามารถใช้อธิบายพฤติกรรมของการอบแห้งขนุนด้วยรังสีอินฟราเรด การอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนร่วมระหว่างรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน และการอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอนด้วยคลื่นไมโครเวฟกับลมร้อนได้เป็นอย่างดี ตามลำดับ เมื่อพิจารณาแหล่งพลังงานที่ใช้ พบว่า การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งด้วยแหล่งพลังงานอื่นๆ นอกจากนี้ พบว่าการอบแห้งด้วยอุณหภูมิตอบแห้งที่สูงจะมีความสิ้นเปลืองพลังงานต่ำกว่ากรณีการอบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ การหัดตัว สี และความยอมรับในการบริโภคพบว่า เมื่ออุณหภูมิตอบแห้งสูงขึ้น ค่าความสว่าง (L^*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้น และการเปลี่ยนแปลงสีรวม (ΔE^*) เพิ่มขึ้น ในทางตรงข้าม นอกจากนี้ การทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการชิม และความยอมรับได้ในการบริโภคในแต่ละสภาวะอบแห้งพบว่าขนุนอบแห้งทุกเงื่อนไขการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยไม่ขึ้นกับอุณหภูมิตอบแห้ง (ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) และร้อยละของการหัดตัวของผลิตภัณฑ์

โกวิทย์ และคณะ (2553) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสี องค์ประกอบทางเคมีและคุณภาพการบริโภคของกล้วยหอมทอง (Kluai Hom Thong) (ชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Musa spp.* อยู่ในกลุ่ม AAA) โดยใช้กล้วยหอมทองในระยะที่มีสีเขียวอายุ 85 วัน จากตลาดไท อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี ที่ได้รับการบ่มด้วยก๊าซเอทิลีนโดยใช้ถ่านแก๊ส นำผลกล้วยมาล้างด้วยน้ำสะอาดแล้วนำไปผึ่งพัดลมให้แห้ง ก่อนบรรจุในกล่องโฟมแล้วห่อหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติก PVC (Polyvinyl chloride) ทำการเก็บไว้

ในห้องควบคุมอุณหภูมิ ณ 20°C ความชื้นสัมพัทธ์ $80\pm 5\%$ วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) มีการเก็บข้อมูลทุก 2 วัน จากผลการทดลอง พบว่า กล้วยหอมทองเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20°C และความชื้นสัมพัทธ์ $80\pm 5\%$ มีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษา ส่วนค่าสีเปลือกมีความเขียวลดลง (a^* เพิ่มขึ้น) ขณะที่ค่าความเหลือง (b^*) ค่อนข้างคงที่ตลอดอายุการเก็บรักษา ค่าความแน่นเนื้อลดลง ปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้มีค่าลดลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาณคลอโรฟิลล์มีค่าลดลง ส่วนค่าคะแนนผู้บริโภครู้สึกยอมรับได้ถึงวันที่ 10 ของการเก็บรักษา

อัจฉรา และคณะ (2556) ได้ศึกษาปัจจัยของการอบแห้งด้วยแหล่งพลังงานความร้อนแบบการพาและการแผ่รังสีความร้อนที่มีต่อจลนพลศาสตร์ และคุณภาพของพริกไทยดำ แบ่งการอบแห้งเป็น แบบการอบแห้งแบบ 1 ขั้นตอน โดยการพาความร้อนของลมร้อน การแผ่รังสีใต้แดง และการอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอนด้วยไมโครเวฟและรังสีใต้แดง โดยใช้การแผ่รังสีของไมโครเวฟร่วมกับการพาความร้อนด้วยลมร้อน และการอบแห้ง 2 ขั้นตอนด้วยไมโครเวฟและรังสีใต้แดง ความชื้นเริ่มต้นของเม็ดพริกไทยสดและความชื้นสุดท้ายของเม็ดพริกไทยแห้งอยู่ในช่วง 300-400% dry-basis และ 12-16% dry-basis ตามลำดับ

ผลทดลองพบว่า อุณหภูมิอบแห้งมีผลโดยตรงต่ออัตราการอบแห้ง และระยะเวลาอบแห้ง นอกจากนี้ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การอบแห้งด้วยอุณหภูมิอบแห้งสูงทุกแหล่งพลังงานความร้อนจะมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำกว่ากรณีอบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ และที่อุณหภูมิอบแห้งเดียวกัน การอบแห้งด้วยรังสีใต้แดงเพียงอย่างเดียวมีอัตราการอบแห้งและค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ยังผลสูงที่สุดในกรณีการสร้างแบบจำลองทำนายจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งภายใต้เงื่อนไขต่างๆ พบว่า แบบจำลองของ Page สามารถทำนายผลจลนพลศาสตร์การอบแห้งพริกไทยด้วยรังสีใต้แดงทั้งแบบขั้นตอนเดียว การอบแห้งด้วยลมร้อนแบบขั้นตอนเดียว และการอบแห้ง 2 ขั้นตอนด้วยไมโครเวฟและรังสีใต้แดงได้ดีที่สุด ส่วนกรณีการอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอน โดยใช้ไมโครเวฟกับลมร้อน ผลการทดลองอัตราส่วนความชื้นจะมีความสัมพันธ์สอดคล้องกับผลการทำนายด้วยแบบจำลองลอการิทึม (Logarithmic model) ผลการวิเคราะห์คุณภาพ พบว่าที่อุณหภูมิต่ำ (อัตราการอบแห้งต่ำ) การหดตัวของพริกไทยมีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิอบแห้งสูง (อัตราการอบแห้งสูง) และค่าความสว่าง (L^*) ของพริกไทยภายหลังการอบแห้ง ที่อุณหภูมิต่ำมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยอุณหภูมิสูง การอบแห้งด้วยลมร้อนนั้นค่าความสว่างลดลงต่ำกว่ากรณีเงื่อนไขอบแห้งอื่นๆ โดยอุณหภูมิในการอบแห้งไม่มีผลต่อการทดสอบทางประสาทสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญเชิงสถิติ ($p < 0.05$) และผลิตภัณฑ์พริกไทยดำอบแห้งสำหรับทุกสภาวะการทดลองเป็นที่ยอมรับในการบริโภค สำหรับการหาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ สรุปได้ว่า การอบแห้งโดยการแผ่รังสีความร้อนจากรังสีใต้แดง และการใช้แหล่งพลังงานความร้อนร่วมไมโครเวฟและรังสีใต้แดงมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำเมื่อเทียบกับสภาวะการอบแห้งอื่นๆ ในการอบแห้งพริกไทยดำที่อุณหภูมิต่ำในช่วง $50-80^{\circ}\text{C}$.

ณัฐพงศ์ และคณะ (2555) ได้ศึกษาตู้อบลมร้อนร่วมไมโครเวฟสำหรับอบกล้วยเล็บมือนาง การอบกล้วยเล็บมือนาง ทำการศึกษาการกระจายความร้อนภายในตู้อบลมร้อนร่วมไมโครเวฟ - แบบถาด คือ แบบถาดหมุน และแบบถาดไม่หมุน และศึกษาการให้ความร้อน 3 ระบบ คือ 1) ระบบลม

ร้อนอย่างเดียว 2) ระบบไมโครเวฟอย่างเดียว และ 3) ระบบลมร้อนร่วมไมโครเวฟ จากการทดสอบพบว่า การใช้ถาดหมุนมีการกระจายความร้อนได้ดีกว่าถาดหยุดนิ่ง และการให้ความร้อนระบบลมร้อนร่วมไมโครเวฟให้ผลดีที่สุด โดยกล้วยเล็บมือนางที่ผ่านการอบ มีความชื้นเฉลี่ย 20.99% dry-basis ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มพข. 112/2546 และมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 23°Brix ผลกล้วยที่อบแล้วมีสีเหลืองอ่อนโดยให้ค่าความสว่าง $L^*=65.25$ ความเป็นสีแดง $a^*=1.55$ และความเป็นสีเหลือง $b^*=23.33$ ใช้เวลาในการอบแห้งเฉลี่ย 8 h ซึ่งการอบแห้งด้วยระบบลมร้อนเพียงอย่างเดียวจะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนานที่สุดคือ 15 h ส่วนการอบแห้งด้วยไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว พบว่าผลกล้วยได้รับความเสียหายเป็นจำนวนมาก จากผลการทดลองพบว่าใช้ไมโครเวฟร่วมกับการอบกล้วยเล็บมือนางด้วยลมร้อนสามารถช่วยลดเวลาในการอบได้ดี แต่ต้องควบคุมให้ช่วงเวลาในการทำงานของไมโครเวฟมีความเหมาะสม หากใช้เวลานานเกินไปอาจทำให้ภายในกล้วยเล็บมือนางระเหยออกมาอย่างรวดเร็วจนทำให้เกิดความเสียหายกับผลิตภัณฑ์ได้

จารุวรรณ และคณะ (2550) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อสารระเหยง่าย และคุณภาพทางกายภาพในกล้วยแผ่น โดยใช้กล้วยหอมทองระยะสุก 5 หันตามขวางหนา 3 mm. ทำการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 70, 80, 90 และ 100°C จากผลการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และความชื้น กล้วยแผ่นมีการหดตัวน้อย กรอบมากและความชื้นน้อยลงเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูง ในขณะที่กล้วยมีสีน้ำตาลเข้มขึ้นโดยเฉพาะการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100°C สำหรับปริมาณสารประกอบที่ระเหยง่ายพบว่า isoamyl acetate ค่อนข้างไวต่อการเปลี่ยนแปลงกับความร้อน ในขณะที่ butyl butyrate และ isobutyl butanoate มีการเปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิอย่างไม่มีนัยสำคัญในช่วงของอุณหภูมิที่ศึกษา

Wilton et al. (2014) ได้ศึกษาการอบแห้งกล้วยหอมชิ้นบางเพื่ออธิบายจลนพลศาสตร์ ทำการทดลองอบแห้งกล้วยด้วยลมร้อน อุณหภูมิอบแห้ง 40-70°C พบว่า ความแตกต่างของอัตราการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40°C และ 70°C เท่ากับ $1.95 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ และ $3.60 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ ตามลำดับ และพบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้ง รูปแบบที่เหมาะสมที่สุด คือแบบจำลองของ Page และ Silva et al. สามารถอธิบายจลนพลศาสตร์การอบแห้งได้ดี

Thuwapanichayanan et al. (2011) ได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อการแพร่ ความชื้น และคุณภาพของกล้วยแผ่นบาง (กล้วยหอมทอง) รวมทั้งศึกษาโครงสร้างจุลภาค อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน อุณหภูมิอบแห้ง 70-100°C (แบ่งช่วงอุณหภูมิ 10°C) ความเร็วลม 1.3 m/s เลือกใช้กล้วยหอมทองระยะสุก 5 หันตามขวางหนา 3 mm ปริมาณของแข็งทั้งหมด 23-25°Brix พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีการสูญเสียของสารระเหยในตัวอย่างแห้ง และโครงสร้างของกล้วยอบแห้งมีความเป็นรูพรุนมากเมื่อผลให้ค่าความแข็งต่ำกว่ากล้วยที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ

Prachayawarakorn et al. (2008) ได้ศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งและคุณภาพของกล้วยไขมันต่ำอบแห้งที่อุณหภูมิสูง ทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด อุณหภูมิอบแห้ง 110-140°C (แบ่งช่วงอุณหภูมิ 10°C) ความหนาของกล้วย 3 mm ปริมาณของแข็งทั้งหมด 23-25°Brix ความชื้นเริ่มต้น 250-300% dry-basis ความชื้นสุดท้าย 4% dry-basis จากผลการทดลองพบว่าช่วงการอบแห้งแบ่งเป็นสามช่วง ได้แก่ ช่วงการอุ่น และมีช่วงอัตราการอบแห้งลดลง 2 ช่วง โดยมีค่า

สัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลของกล้วยเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิอบแห้งและความชื้นของกล้วย รูพรุนขนาดใหญ่ภายในกล้วยเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่า 120°C ผลการหดตัวของกล้วย และความแข็งตัวของกล้วย นอกจากนี้ยังส่งผลต่อค่าสีของกล้วย โดยทำให้มีค่าความสว่าง (L) ลดลง ส่วนค่าความเป็นสีแดง (a) เพิ่มขึ้น และในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง กล้วยจะมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น

Paengkanya et al. (2015) ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้ไมโครเวฟสำหรับการแห้งทุเรียน ทำการอบแห้งแผ่นทุเรียนหมอนทอง (*Durio zibetbinus* Murr.) ด้วยวิธีการอบแห้ง 3 แบบ คือ ไมโครเวฟแบบสุญญากาศ ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน (อุณหภูมิ 65°C) และลมร้อนอย่างเดียว (อุณหภูมิ 65°C) ความชื้นเริ่มต้น 197.7-213.9% dry-basis ปริมาณของแข็งทั้งหมด 14-15°Brix ความหนาของชิ้นทุเรียน 1.5 mm กำลังไมโครเวฟ 150, 200 และ 250 W และความดัน 10 และ 30 kPa กำหนดความชื้นสุดท้าย 3.5% dry-basis จากผลการทดลอง พบว่าการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าไมโครเวฟแบบสุญญากาศ และการอบแห้งด้วยลมร้อนอย่างเดียว (อุณหภูมิ 65°C) และเมื่อกำลังงานของไมโครเวฟเพิ่มขึ้น อัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้น กรณีการอบแห้งด้วยไมโครเวฟแบบสุญญากาศ จะมีอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น เมื่อความดันลดลง

การอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนจะมีค่าสี (ค่าความสว่าง) และค่าความกรอบสูงกว่าขนาดรูพรุนใหญ่กว่าและมีสัดส่วนช่องว่างมากกว่า แต่มีการหดตัวและความแข็งน้อยกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนอย่างเดียว การอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน จะมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งต่ำกว่าการอบแห้งแบบลมร้อน และจะมีค่า SEC ค่าที่แปรตามกำลังงานไมโครเวฟและความดัน ผลการทดสอบความชอบในทอมของ สี รูปร่าง (puffiness) เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของแผ่นทุเรียน พบว่ากรณีการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ดีกว่าจากการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ

Nguyen et al. (2007) ได้ศึกษาการอบแห้งกล้วยหอมหั่นหนา ด้วยลมร้อน ทำการอบแห้งกล้วยหอมที่มีความสุก 2 ระดับ (เปลือกเขียวและเปลือกเหลือง) ด้วยลมร้อน ช่วงอุณหภูมิอบแห้ง 30-70°C (แบ่งช่วงอุณหภูมิ 10°C) ความหนาของกล้วย 1 และ 2 cm ความสุกของกล้วย 2 ระดับ (เขียวและสุกเป็นสีเหลือง) จากผลการทดลอง พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้นและความหนาของกล้วยเพิ่มขึ้น โดยที่ค่าความชื้นเริ่มต้นของกล้วยมีผลต่อจลนพลศาสตร์ (เฉพาะที่อุณหภูมิต่ำ 40°C เท่านั้น) แต่ความสุกของกล้วยมีผลต่อจลนพลศาสตร์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ชมพูษ และคณะ (2555) ศึกษาสภาวะการบรรจุและบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมของเนื้อมะพร้าว โดยใช้บรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด คือ ถุงพลาสติกพอลิเอทิลีนและถุงบรรจุสุญญากาศ เก็บรักษา 2 สภาวะ คือ สภาวะบรรจุแบบสุญญากาศ และสภาวะบรรจุแบบบรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิ (0°C) พบว่าสภาวะที่เหมาะสม คือ สภาวะการบรรจุแบบสุญญากาศในถุงบรรจุสุญญากาศ

ศจี และคณะ (2554) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวหอมพิจิตร ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 10 เดือน ที่อุณหภูมิ 30°C และ 40°C โดยใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติก 2 ชนิด ได้แก่ PP (Polypropylene) และ OPP/LDPE (Oriented Polypropylene/Low Density Polyethylene) และทำการตรวจสอบคุณภาพทางเคมีกายภาพของข้าวหอมพิจิตร ได้แก่ ความขาว ความคงตัวแป้ง

สูง อัตราการดูดซึมน้ำ อัตราการขยายตัว และสารระเหย พบว่าบรรจุภัณฑ์พลาสติก PP เหมาะสมกับการเก็บข้าวสารที่อุณหภูมิสูงกว่า 30°C

หลิน และคณะ (2551) ศึกษาวิธีการยืดอายุการเก็บรักษามังคุดคัต โดยใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติก 2 ชนิด ได้แก่ PP (Polypropylene) และ Nylon/LLDPE ที่อุณหภูมิ 10°C เป็นเวลา 15 วัน พบว่า คุณภาพทางเคมีมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยระหว่างการเก็บรักษา ยกเว้นกรดแอสคอร์บิกที่มีการลดลงอย่างชัดเจน และพบว่าบรรจุภัณฑ์พลาสติก Nylon/LLDPE ให้ผลดีกว่า PP

อภิธา และคณะ (2555) ศึกษาการเก็บรักษาผลมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 โดยใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติก 4 ชนิด ได้แก่ LDPE (ผลิตโดยบริษัททานตะวัน), CF1 (LDPE ที่มีซีโอไลต์), FF3 (LDPE ที่ไม่เติมสาร) และ FF5 (LLDPE) ศึกษาการเก็บรักษา คือ อุณหภูมิ 12.1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 90.5% พบว่า พบว่าการเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์พลาสติกมีอายุการเก็บรักษานาน 5 สัปดาห์ แต่กรณีที่ไม่มีการใช้บรรจุภัณฑ์ มีอายุการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ และพบว่าผลมะม่วงในถุงพลาสติก LDPE, FF3 และ CF1 มีการเน่าเสียต่ำกว่าผลมะม่วงที่บรรจุถุงพลาสติก FF5 และไม่บรรจุถุงพลาสติก ตามลำดับ โดยมีความเข้มข้นของก๊าซเอทิลีนในถุงพลาสติกชนิด FF3 และ FF5 สูงกว่าถุงพลาสติกประเภท LDPE และ CF1 ขณะที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุง LDPE และ CF1 สูงกว่า FF3 และ FF5 ตามลำดับ

Kanchana et al. (2005) ศึกษาบรรจุภัณฑ์ของหีบห่อกล้วยแห้ง ที่ผ่านการอบแห้งอุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 6 h. โดยเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ ประเภท AL/HDPE (Aluminum Foil/High Density Polyethylene) และ OPP/CPP (Oriented Polypropylene/Cast Polypropylene) เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 1 เดือน จากการทดลองพบว่า การใช้ AL/HDPE สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้คงอยู่ในสภาพเดิม ส่วน OPP/CPP ความชื้นของวัสดุในบรรจุภัณฑ์ เพิ่มขึ้น 2.9%

Sandhya (2010) ศึกษาอัตราการหายใจของพืชหลังจากการเก็บเกี่ยว ซึ่งส่งผลทำให้คุณภาพของพืชลดลงและเก็บรักษาไว้ได้ไม่นาน โดยการใช้เทคนิคการลดอัตราการหายใจของพืช คือ เทคโนโลยีตัดแปลงบรรยากาศเปรียบเทียบกับตัวควบคุม คือ บรรจุภัณฑ์ที่เป็นฟิล์มธรรมดา และไม่มี การตัดแปลงบรรยากาศ ผลการวิจัยและจากการวิเคราะห์คุณภาพหลังการบรรจุภัณฑ์ โดยใช้เทคนิคการตัดแปลงบรรยากาศ พบว่าปริมาณออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ลดลงเหลือประมาณ 1%

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการอบแห้งกล้วยไข่ และกล้วยเล็บมือนางที่ระยะสุก 7 และทำการอบแห้งทั้งลูกด้วยก๊าซหุงต้ม จนเหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 24-28% dry-basis ซึ่งเป็นความชื้นที่ต้องการของผลิตภัณฑ์อบแห้ง คุณภาพกล้วยหลังการอบแห้งที่พิจารณา ได้แก่ คุณภาพด้านสี การหดตัว โครงสร้างเนื้อสัมผัส และกลิ่นของกล้วยหลังการอบแห้ง มีรายละเอียดของการดำเนินการทดลองในแต่ละส่วนมีดังนี้

3.1 วัสดุ

3.1.1 วัตถุดิบ

กล้วยไข่ และกล้วยเล็บมือนาง จากตลาดผลไม้คอมแพ็ค อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

3.1.2 สารเคมี

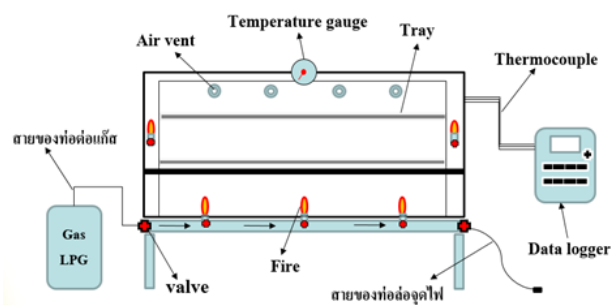
- 3.1.2.1. ลิเทียมคลอไรด์ (LiCl)
- 3.1.2.2. โพแทสเซียม อะซิเตต (CH_3COOK)
- 3.1.2.3. แมกนีเซียม คลอไรด์ เฮกซะไฮเดรต ($\text{MgCl}_2 \cdot 6(\text{H}_2\text{O})$)
- 3.1.2.4. แมกนีเซียมไนเตรต เฮกซะไฮเดรต ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6(\text{H}_2\text{O})$)
- 3.1.2.5. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)
- 3.1.2.6. โพแทสเซียมไนเตรต (KNO_3)

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1. เครื่องอบแห้งด้วยก๊าซหุงต้ม

ในการทดลองศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง และคุณภาพของกล้วยแผ่นใช้เครื่องอบแห้งชั้นแบบชั้น ดังภาพประกอบที่ 3.1 ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักคือ อุปกรณ์ให้ความร้อนใช้พลังงานจากก๊าซหุงต้ม อัตราการให้ความร้อนที่ใช้ในการควบคุมความร้อนในการอบแห้งโดยการปรับวาล์ว

การทำงานของระบบเริ่มที่อุปกรณ์ให้ความร้อนโดยมีก๊าซหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนโดยจุดเชื้อเพลิงภายใต้ฐานของตู้อบ รอจนกระทั่งความร้อนภายในตู้อบมีอุณหภูมิที่ต้องการอบแห้ง จากนั้นจึงนำตัวอย่างที่เตรียมไว้ใส่ถาด เข้าห้องอบ ความร้อนจากก๊าซหุงต้มจะอุณหภูมิต่างๆ แต่ผลการทดลอง อบแห้งกล้วยเล็บมือนางให้เหลือความชื้นประมาณ 24-28% dry-basis



ภาพประกอบที่ 3.1 รายละเอียดของเครื่องอบแห้งแบบใช้พลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม (สุภวรรณ และคณะ, 2558)

อุปกรณ์หลักของเครื่องอบแห้งด้วยพลังงานก๊าซหุงต้ม ดังนี้

1. ห้องอบแห้งขนาดกว้าง x ยาว x สูง ($0.4 \times 0.6 \times 0.3 \text{ m}^3$)
2. เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ ต่อกับเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K
3. เครื่องชั่งดิจิตอลและเครื่องชั่งสปริง

การทำงานของเครื่อง

1. เตรียมกล้วยไข่ และกล้วยเล็บมือนาง: ทำการปอกเปลือกกล้วย
2. เรียงกล้วยลงใส่ถาดอบแห้ง พร้อมทั้งต่อสายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K เพื่อวัดอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง อุณหภูมิแวดล้อม และอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศแวดล้อม
3. นำกล้วยพร้อมถาดมาชั่งน้ำหนัก
4. จุดเชื้อเพลิงด้วยพลังงานก๊าซหุงต้มภายใต้ฐานตู้อบแห้ง ที่อุณหภูมิต่างๆ แต่ละการทดลอง
5. เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data logger) ซึ่งมีค่าความละเอียด $\pm 2^\circ\text{C}$ เครื่องบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิที่จุดต่างๆ
6. มวลของวัสดุใช้เครื่องชั่งน้ำหนัก (ยี่ห้อ A&D รุ่น GF-3000) ค่าความละเอียด $\pm 0.02 \text{ g}$.
7. ทำการอบแห้งจนได้ความชื้นสุดท้ายที่ต้องการ เสร็จแล้วทำการหยุดเครื่องอบแห้ง
8. บันทึกมวลของชิ้นกล้วยหลังอบแห้ง

3.3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.3.1. ขั้นตอนหาค่าความชื้นสมดุล

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเป็นวิธีสถิต โดยมีหลักการคือ จะต้องทำให้ความชื้นของวัสดุเข้าสู่สมดุลกับอากาศรอบ ๆ ซึ่งอยู่นิ่ง

3.3.1.1. นำสารละลายเกลืออิมิตัวแต่ละชนิดใส่ในขวดโหล ขวดโหล 1 ใบ ใส่สารละลายเกลืออิมิตัว 1 ชนิด

3.3.1.2. นำตัวอย่างกล้วยไข่และกล้วยเล็บมือนางมาตัดตามแนวขวางของผลกล้วย เพื่อให้ลักษณะชิ้นกล้วยเหมาะสมกับรูปแบบสมการความชื้นสมดุลชิ้นบางที่นำมาใช้และเข้าสู่สมดุลเร็วยิ่งขึ้น โดยให้มีขนาดความหนาประมาณ 0.3 cm ประมาณ 20 g (วสันต์ และคณะ, 2556)

3.3.1.3. นำกล้วยไข่และกล้วยเล็บมือนางที่แบ่งแล้วใส่ในตะแกรง นำไปแขวนในขวดโหลที่บรรจุสารละลายเกลืออิมิตัว คือ LiCl, CH₃COOK, NaCl, KNO₃, MgCl₂·6H₂O และ Mg(NO₃)₂·6H₂O ซึ่งเป็นตัวควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ ปิดฝาขวดให้แน่นเพื่อป้องกันการถ่ายเทมวลระหว่างอากาศภายในขวดและภายนอกขวด

3.3.1.4. นำขวดโหลใส่ในตู้อบแล้วควบคุมอุณหภูมิในตู้อบช่วงอุณหภูมิ 40-65°C

3.3.1.5. ครบกำหนด 10 วัน นำกล้วยเล็บมือนางในขวดโหลแต่ละขวดโหลมาชั่งน้ำหนักทุกวันจนกว่าน้ำหนักของกล้วยไข่ และกล้วยเล็บมือนางมีค่าแตกต่างกันน้อยกว่า 0.02 g.

3.3.1.6. นำกล้วยเล็บมือนางในขวดโหลออกจากขวดโหล ทำการหาค่าความชื้นที่สมดุลด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 72 h ตามมาตรฐาน AOAC (AOAC, 2000) เพื่อหาน้ำหนักแห้งของกล้วยเล็บมือนาง นำข้อมูลค่าความชื้นสมดุลที่ได้กับความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิต่างๆ มาวิเคราะห์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 11 แบบ จากสมการที่ (3.8) - (3.18)

3.3.1.7. หาแบบจำลองสมการความชื้นสมดุลของกล้วยไข่ และกล้วยเล็บมือนาง ด้วยการเปรียบเทียบกับค่าความชื้นสมดุลที่ได้จากการทดลอง โดยโปรแกรมทางสถิติ นำค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of determination, R²) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์ (Sum of Squared Error, SSE) ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square Error, RMSE) และค่าไคสแควร์ (Chi-square, X²) ของแบบจำลองแต่ละแบบมาเปรียบเทียบซึ่งสังเกตค่า R² มากสุดและ SSE RMSE และ X² น้อยสุด



ภาพประกอบที่ 3.2 เครื่องมือหาความชื้นสมดุล

3.3.2. ขั้นตอนและสภาวะในการอบแห้งกล้วยไข่

- 3.3.2.1. เตรียมกล้วยไข่ ทำการปอกเปลือกกล้วย
- 3.3.2.2. เรียงกล้วยลงใส่ถาดอบแห้ง
- 3.3.2.3. การอบแห้งด้วยความร้อนจากก๊าซหุงต้ม ที่สภาวะอุณหภูมิ 60°C
- 3.3.2.4. บันทึกข้อมูล ได้แก่ น้ำหนักกล้วยไข่ อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในตู้อบแห้ง และอุณหภูมิกระเปาะแห้ง-เปียก ระหว่างการอบแห้ง รวมทั้งน้ำหนักก๊าซหุงต้ม ก่อนและหลังการอบแห้ง จนสิ้นสุดการทดลอง
- 3.3.2.5. เมื่ออบกล้วยไข่ ที่มีความชื้นเริ่มต้นอยู่ในช่วง 280-320% dry-basis จนกระทั่งกล้วยไข่อบแห้งมีความชื้นอยู่ในช่วงประมาณ 50-53% dry-basis จึงนำกล้วยไข่ที่ได้มาทับแบน และนำเข้าตู้อบเพื่ออบกล้วยไข่ให้มีความชื้นสุดท้าย 24-28% dry-basis
- 3.3.2.6. ทำซ้ำโดยปรับเปลี่ยนอุณหภูมิอบแห้งเป็น 70, 80, 90 และ 100°C

3.3.3. ขั้นตอนและสภาวะในการอบแห้งกล้วยเล็บมือนาง

- 3.3.3.1. เตรียมกล้วยเล็บมือนาง ทำการปอกเปลือกกล้วย
- 3.3.3.2. เรียงกล้วยลงใส่ถาดอบแห้ง
- 3.3.3.3. สุ่มตัวอย่างถาดละ 5 ชิ้น วัดความยาว ความหนาของกล้วยก่อนการอบแห้ง และหลังการอบแห้ง ด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ที่มีความละเอียด ± 0.05 mm. บันทึกข้อมูล นำไปคำนวณหาร้อยละการหดตัว
- 3.3.3.4. การอบแห้งด้วยความร้อนจากก๊าซหุงต้ม ที่สภาวะอุณหภูมิ 80°C
- 3.3.3.5. บันทึกข้อมูล ได้แก่ น้ำหนักกล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่ อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในตู้อบแห้ง และอุณหภูมิกระเปาะแห้ง-เปียก ระหว่างการอบแห้ง รวมทั้งน้ำหนักก๊าซหุงต้ม ก่อนและหลังการอบแห้ง จนสิ้นสุดการทดลอง
- 3.3.3.6. ทำซ้ำโดยปรับเปลี่ยนอุณหภูมิอบแห้งเป็น 70, 80, 90 และ 100°C
- 3.3.3.7. อบกล้วยให้มีความชื้นสุดท้าย 24-28% dry-basis

3.3.4. การบรรจุภัณฑ์และการเก็บรักษา

- 3.3.4.1. เตรียมกล้วยไข่สภาวะที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 80°C ที่ได้จากกิจกรรมข้อ 3.3.2 บรรจุลงในบรรจุภัณฑ์ 4 ชนิด ได้แก่ พลาสติก Polyethylene Terephthalate (PET), Linear Low Density Polyethylene (Nylon/LLDPE), Polyethylene terephthalate/Polyethylene (PET/PE) และ Oriented Polypropylene (OPP)
- 3.3.4.2. ทำสภาวะสุญญากาศ 0.9 บรรยากาศ หมายถึง การดูดอากาศออก 90% อากาศคงเหลือ 10%
- 3.3.4.3. นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C และอุณหภูมิแวดล้อม ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 15 วัน 30 วัน และ 45 วัน

3.3.5. การคำนวณอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความชื้น (Moisture ratio, MR)

การคำนวณหาอัตราส่วนความชื้นของกล้วยเล็บมือนาง สามารถหาได้จากสมการที่ (3.1)

$$MR = \frac{(M_t - M_{eq})}{(M_{in} - M_{eq})} \quad (3.1)$$

เมื่อ MR คือ อัตราส่วนความชื้น
 M_t คือ ความชื้นที่เวลา t ใดๆ (% dry-basis)
 M_{in} คือ ความชื้นเริ่มต้น (% dry-basis)
 M_{eq} คือ ความชื้นสมดุล (% dry-basis)

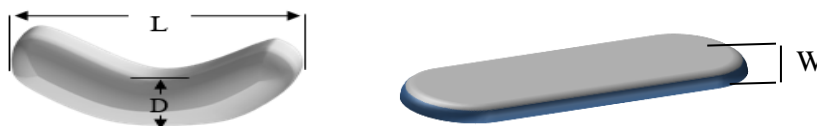
3.3.6. การวิเคราะห์คุณภาพหลังการอบแห้ง

3.3.6.1. การทดสอบการหดตัว

การทดสอบการหดตัวของกล้วยเล็บมือนาง วัดการหดตัวของกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง ด้วยเวอร์เนียคาลิปเปอร์ (Vernier Calipers) ทำการวัดขนาดด้านรัศมี (D) และความยาว (L) สุ่มตัวอย่าง จำนวน 5 ชิ้น ในแต่ละงวด ดังภาพประกอบที่ 3.3 ซึ่งแสดงตำแหน่งที่ทำการวัดขนาดด้านหนาและยาวบนกล้วยเล็บมือนาง และความหนา (W) ของกล้วยไข่ ทำการวัดขนาดก่อนและหลังการทดลอง และคำนวณหาอัตราการหดตัว ตามสมการที่ (3.2-3.3)

$$\% \text{ Shrinkage} = \left(\frac{D_0 - D}{D_0} \right) \times 100 \quad (3.2)$$

$$\% \text{ Expansion} = \left(\frac{L_0 - L}{L_0} \right) \times 100 \quad (3.3)$$



ภาพประกอบที่ 3.3 ตำแหน่งการวัดด้านหนาและความยาวของกล้วยเล็บมือนาง และความหนาของกล้วยไข่ (สุภวรรณ และคณะ, 2558)

3.3.6.2. การทดสอบคุณภาพด้านสี

ทำการวัดสีกล้วยอบแห้งด้วยเครื่องวัดสีอาหาร Hunter Lab รุ่น Color Flex แสดงดังภาพประกอบที่ 3.4 ค่าสีที่วัดได้ใช้หน่วยระบบสี CIE (L^* , a^* และ b^*) โดยค่าสีของผลิตภัณฑ์คำนวณค่าความแตกต่างของสีโดยรวม ตามสมการที่ (3.4)

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^*-L_0^*)+(a^*-a_0^*)+(b^*-b_0^*)} \quad (3.4)$$

เมื่อ	L^* คือค่าความสว่าง	มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100
	a^* คือค่าสีแดงและเขียว	เมื่อ a^* มีค่าเป็นบวก เป็นสีแดง เมื่อ a^* มีค่าเป็นลบ เป็นสีเขียว
	b^* คือค่าสีเหลืองและน้ำเงิน	เมื่อ a^* มีค่าเป็นศูนย์ เป็นสีเทา เมื่อ b^* มีค่าเป็นบวก เป็นสีเหลือง เมื่อ b^* มีค่าเป็นลบ เป็นสีน้ำเงิน เมื่อ b^* มีค่าเป็นศูนย์ เป็นสีเทา

L_0^* , a_0^* และ b_0^* คือ ค่าความสว่างหรือความมืด, สีแดงหรือเขียว และสีเหลืองหรือน้ำเงิน ที่สภาวะเริ่มต้น ตามลำดับ (ซึ่งในการทดลองนี้เลือกใช้ค่า L_0^* , a_0^* และ b_0^* จากกล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่สด)

ΔE^* คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวม



ภาพประกอบที่ 3.4 แสดงเครื่องวัดสีอาหาร Hunter Lab รุ่น Color Flex

3.3.6.3. ทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส

โดยใช้ผู้ชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝน 25-30 คน ทำการชิมตัวอย่างและให้คะแนนความชอบแบบ Hedonic scale (คะแนน 1-9) ทำการทดสอบสี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส ความหวานและความชอบโดยรวม

โดยพิจารณาเป็นระดับคะแนนความชอบตั้งแต่ 1-9 ดังนี้

ระดับคะแนน	ระดับความชอบ
9	ชอบมากที่สุด
8	ชอบมาก
7	ชอบปานกลาง
6	ชอบเล็กน้อย
5	เฉยๆ
4	ไม่ชอบเล็กน้อย
3	ไม่ชอบปานกลาง
2	ไม่ชอบมาก
1	ไม่ชอบมากที่สุด

3.3.6.4. ทดสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์

โดยส่งผลตัวอย่างวิเคราะห์ที่ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อการส่งออก (Agro – Industry Development Center for Export : ADCET)

เกณฑ์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช.112/2546

- (1) จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน 1×10^3 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 g.
- (2) เอสเชอริเชีย โคลิ โดยวิธีเอ็มพีเอ็น ต้องน้อยกว่า 3 ต่อตัวอย่าง 1 g.
- (3) สตาฟีโลค็อกคัส ออเรียส ต้องไม่พบในตัวอย่าง 0.1 g.
- (4) ยีสต์และรา ต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 g.

3.3.6.5. การทดสอบคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส

วัดความเหนียว (Toughness) และแรงเฉือน (Shear force) ของกล้วยเล็บมือนาง ด้วยเครื่องวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส Texture analyzer รุ่น TA.XT.plus หน่วยที่ได้ออกมาเป็นนิวตัน (N) และ นิวตัน.วินาที (N.s) ดังภาพประกอบที่ 3.5 ตามลำดับ

วัดแรงกด (Compression) โดยใช้หัววัด Blade set กดบริเวณตรงกลางตัวอย่าง กดลึก 20 mm กำหนด ค่า Return speed 15 mm/s แรงที่เกิดขึ้นเมื่อมีการสัมผัสกัน (Contact force) เท่ากับ 25 g โดยค่า Shear force คือ จุดที่วัดแรงกดสูงที่สุด และ Toughness คือ พื้นที่ใต้กราฟ



ภาพประกอบที่ 3.5 เครื่อง Texture analyzer รุ่น TA-XT plus

3.3.7. การคำนวณอัตราการอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง
คำนวณหาอัตราการอบแห้งและค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการ
อบแห้งตามสมการ (3.6) และ (3.7) ตามลำดับ

$$\text{Drying rate} = \frac{M_{in} - M_f}{\text{Drying time}} \quad (3.5)$$

$$\text{Specific Energy Consumption, (SEC)} = \frac{3.6 E}{(M_{in} - M_f)W_d} \quad (3.6)$$

$$\text{Specific Energy Consumption, (SEC)} = \frac{\text{HHV} \times \text{wight of LPG}}{(M_{in} - M_f)W_d} \quad (3.7)$$

เมื่อ	E	คือ ปริมาณพลังงานที่ใช้ (MJ)
	3.6	คือ ตัวเลข แปลงหน่วยของพลังงาน (MJ/kg of water evaporated)
	SEC	คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง (MJ/kg of water evaporated)
	HHV	คือ ค่าความร้อนสูงของแก๊สหุงต้ม เท่ากับ 50,220 (kJ/kg) (ทวิวัฒน์ และคณะ, 2559)
	W_d	คือ น้ำหนักแห้ง (kg)
	M_f	คือ ความชื้นสุดท้าย (% dry-basis)
	M_{in}	คือ ความชื้นเริ่มต้น (% dry-basis)

3.4 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.4.1 การวิเคราะห์สมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความชื้นสมดุล

ในงานวิจัยนี้วิเคราะห์โดยโปรแกรมทางสถิติ เพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความชื้นสมดุลของกล้วยดังนี้

ตารางที่ 3.1 แบบจำลองคณิตศาสตร์ของความชื้นสมดุล

Model name	Model equation
Oswin (Oswin, 1946)	$M_{eq} = A \left(\frac{RH}{1-(RH)} \right)^B \quad (3.8)$
GAB (Chen et al., 1998)	$M_{eq} = \frac{ABC(RH)}{(1-C(RH))(1-C(RH)+BC(RH))} \quad (3.9)$
Chug-Pfost (Pfost et al., 1976)	$M_{eq} = A + B \ln(-\ln(RH)) \quad (3.10)$
Cauric (Castillo et al., 2003)	$M_{eq} = \exp(\ln(A) - B(RH)) \quad (3.11)$
Kuhn (Ali et al., 2011)	$M_{eq} = \left(\frac{A}{\ln(RH)} \right) + B \quad (3.12)$
Smith (Smith, 1947)	$M_{eq} = A + (B \ln(1-(RH))) \quad (3.13)$
White & Eiring (Castillo et al., 2003)	$M_{eq} = \left(\frac{1}{AB(RH)} \right) \quad (3.14)$
Modified Oswin (Oswin, 1946)	$M_{eq} = (A + BT) \left(\frac{RH}{1-(RH)} \right)^{\frac{1}{C}} \quad (3.15)$
Modified Smith (Ali et al., 2011)	$M_{eq} = (A+BT) - (C+DT) \ln(1 - RH) \quad (3.16)$
Peleg (Peleg, 1993)	$M_{eq} = A(R)^B + C(R)^D \quad (3.17)$
Modified Halsey (Halsey, 1948)	$M_{eq} = \left(- \frac{\ln(R)}{\exp(A + BT)} \right)^C \quad (3.18)$

หมายเหตุ : M_{eq} คือ ค่าความชื้นสมดุล (เศษส่วน), T คือ อุณหภูมิ ($^{\circ}C$), RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ (เศษส่วน), ค่า A, B, C และ D คือ ค่าคงที่ของสมการ

3.4.2. สมการอบแห้งชั้นบาง

สมการอบแห้ง คือ สมการที่เขียนขึ้นโดยใช้ทฤษฎีหรือผลการทดลองหรือทั้งสอง ประกอบกันเพื่อนำมาใช้ทำนายอัตราการอบแห้งตลอดจนถึงผลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการอบแห้งผลิตภัณฑ์นั้น ๆ สมการอบแห้งชั้นบางสามารถแบ่งได้เป็น สมการอบแห้งทางทฤษฎี สมการอบแห้งกึ่งทฤษฎีและสมการอบแห้งเอมพิริคัล

3.4.2.1. สมการการอบแห้งทางทฤษฎี

วัสดุแผ่นราบกว้างและยาวมากสำหรับกล้วยไข่ (Infinite slab shape)

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{p=0}^{\infty} \left[\frac{1}{(2p+1)^2} \right] \exp \left[-\frac{(2p+1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{W^2} \right] \quad (3.19)$$

วัสดุทรงกระบอกและยาวมากสำหรับกล้วยเล็บมือนาง (Infinite cylinder shape)

$$MR = \left(\frac{8}{\pi^2} \right) \sum_{m=1}^{\infty} \frac{4}{\lambda_m^2} \exp \left(-\frac{\lambda_m^2 D_{eff} t}{r_0^2} \right) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left(-\frac{\pi^2 (2n+1)^2 D_{eff} t}{L^2} \right) \quad (3.20)$$

เมื่อพิจารณาเพียงสามเทอมแรกของ ในสมการที่ (3.19-3.20) ตามลำดับจะเขียนสมการอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้น ได้เป็นดังสมการที่ (3.21-3.22)

เมื่อ พิจารณาเพียงสามเทอมแรก; วัสดุแผ่นราบกว้างและยาวมากสำหรับกล้วยไข่

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \left[\exp \left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{W^2} \right) + \frac{1}{9} \exp \left(-\frac{9\pi^2 D_{eff} t}{W^2} \right) + \frac{1}{25} \exp \left(-\frac{25\pi^2 D_{eff} t}{W^2} \right) \right] \quad (3.21)$$

เมื่อ พิจารณาเพียงสามเทอมแรก; วัสดุทรงกระบอกและยาวมากสำหรับกล้วยเล็บมือนาง

$$MR = \left(\frac{8}{\pi^2} \right) \left[\exp \left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{L^2} \right) + \frac{1}{9} \exp \left(-\frac{9\pi^2 D_{eff} t}{L^2} \right) + \frac{1}{25} \exp \left(-\frac{25\pi^2 D_{eff} t}{L^2} \right) \right] \quad (3.22)$$

$$4 * \left[\frac{1}{\lambda_1^2} \exp \left\{ \lambda_1^2 \left(\frac{D_{eff} t}{r_0^2} \right) \right\} + \frac{1}{\lambda_2^2} \exp \left\{ \lambda_2^2 \left(\frac{D_{eff} t}{r_0^2} \right) \right\} + \frac{1}{\lambda_3^2} \exp \left\{ \lambda_3^2 \left(\frac{D_{eff} t}{r_0^2} \right) \right\} \right]$$

สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลของกล้วยไข่ และกล้วยเล็บมือนางได้โดยนำค่าลอการิทึมของสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลความชื้นที่ได้จากการทดลองซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 3.21-3.22 มาพล็อตกราฟเทียบกับอุณหภูมิ กราฟที่ได้จะมีลักษณะเป็นเชิงเส้น ในการหาค่าคงที่สามารถหาได้โดยวิธีของความชัน (Slope method) และ สามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นและอุณหภูมิต่างกันได้จากสมการของอาร์เรเนียส (Arrhenius equation) ดังสมการที่ (3.23)

$$D_{\text{eff}} = D_0 \exp\left[-\frac{E_a}{RT}\right] \quad (3.23)$$

เมื่อ D_{eff} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น, (m^2/h)

D_0 คือ ค่าคงตัว, (m^2/h)

R คือ ค่าคงที่สากลของก๊าซ, 8.314 (kJ/kmol-K)

E_a คือ ค่าพลังงานกระตุ้น (Activation Energy), (kJ/kmol)

T คือ อุณหภูมิอบแห้ง, (K)

3.4.2.2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งกล้วย

สมการอบแห้งเอมพิริคเคิล คือ สมการที่สร้างจากแนวโน้มข้อมูลการทดลองสำหรับวัสดุอบในช่วงอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วของอากาศอบแห้งหนึ่ง ๆ ซึ่งพบว่าใช้ทำนายอัตราการอบแห้งได้ดี แต่มีข้อจำกัดในเรื่องที่เงื่อนไขการอบแห้งที่ต้องตรงกับสภาวะการทดลอง

ในงานวิจัยนี้จะทำการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยโปรแกรมทางสถิติเป็นการหารูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์กระบวนการอบแห้ง ได้ใช้สมการจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งเอมพิริคเคิลที่นิยมใช้รูปแบบต่าง ๆ แสดงดังในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเอมพิริคัลของการอบแห้ง

Name of Model	Model Equation
Newton (Kaleta and Górnicki, 2010)	$MR = \exp(-kt)$ (3.24)
Page (Jangam et al., 2008)	$MR = \exp(-kt^n)$ (3.25)
Henderson and Pabis (Pehlivan and Togrul, 2004)	$MR = a[\exp(-kt)]$ (3.26)
Logarithmic (Kingsly et al., 2007)	$MR = a[\exp(-kt)] + c$ (3.27)

Name of Model	Model Equation
Two terms (Demirhan and Ozbek, 2011)	$MR = a[\exp(-k_1t)] + b[\exp(-k_2t)]$ (3.28)
Midilli et al. (Midilli et al., 2002)	$MR = a[\exp(-kt^n)] + bt$ (3.29)
Verma et al. (Verma et al., 1985)	$MR = a[\exp(-kt)] + (1 - a)[\exp(-gt)]$ (3.30)
Logistic (Alibas, 2014)	$MR = \frac{a}{[1 + \exp(kt)]}$ (3.31)
Wang and Singh (Wang and Singh, 1978)	$MR = 1 + (at) + (bt^2)$ (3.32)
Modified Henderson and Pabis (Karathanos and Belessiotis, 1999)	$MR = a[\exp(-kt)] + b[\exp(-gt)] + c[\exp(-ht)]$ (3.33)
Silva et al. (Silva et al., 2012)	$MR = \exp(-at - b\frac{1}{t^2})$ (3.34)
Peleg (Peleg, 1993)	$MR = \frac{1 - t}{(a + bt)}$ (3.35)
Simplified Fick's diffusion eq (Diamente and Munro, 1991)	$MR = a \left[\exp \left(-k \left(\frac{t}{w^2} \right) \right) \right]$ (3.36)

หมายเหตุ ค่า a, b, c, g, h, k และ n คือ ค่าคงตัว, t คือ เวลา (h), W คือ thickness (m)

3.5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ผลการทดลองที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคำนวณค่าทางสถิติแสดงดังสมการที่ (2.40-2.44) ซึ่งวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ one-way ANOVA ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวที่ใช้วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 2 ค่าขึ้นไป และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดการทดลองด้วยวิธี Duncan's multiple-range test ซึ่งพิจารณาค่าที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$)

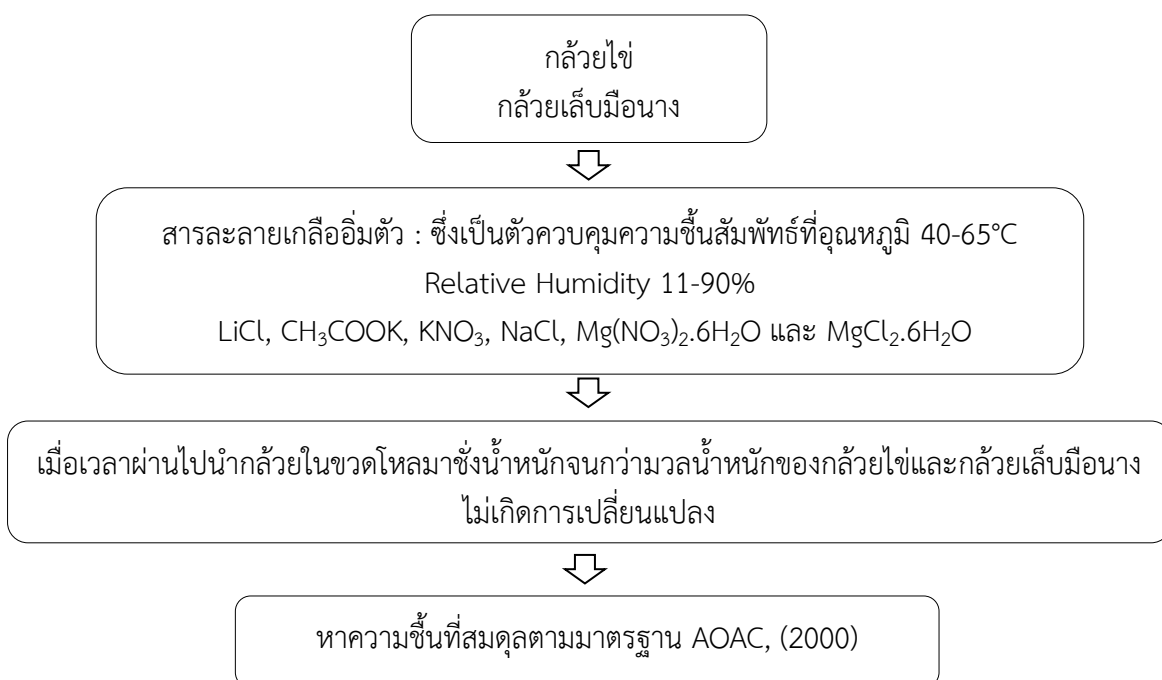
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้สามารถแยกวิเคราะห์และวิจารณ์ผลการทดลองออกเป็น

1. ศึกษาหาความชื้นสมดุลของกล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่ พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
2. ศึกษาหาแนวทางการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่ พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
3. ประเมินด้านคุณภาพทางกายภาพ และจุลชีววิทยาของกล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่
4. ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่
5. เพื่อศึกษาชนิดของฟิล์มพลาสติกต่อคุณภาพทางกายภาพของกล้วยไข่อบแห้งระหว่างเก็บรักษา
6. เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อคุณภาพของกล้วยไข่

4.1 การวิเคราะห์สมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความชื้นสมดุล



4.1.1 ผลการทดลองค่าความชื้นสมดุล

4.1.1.1 การวิเคราะห์สมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมดุลของกล้วยไข่

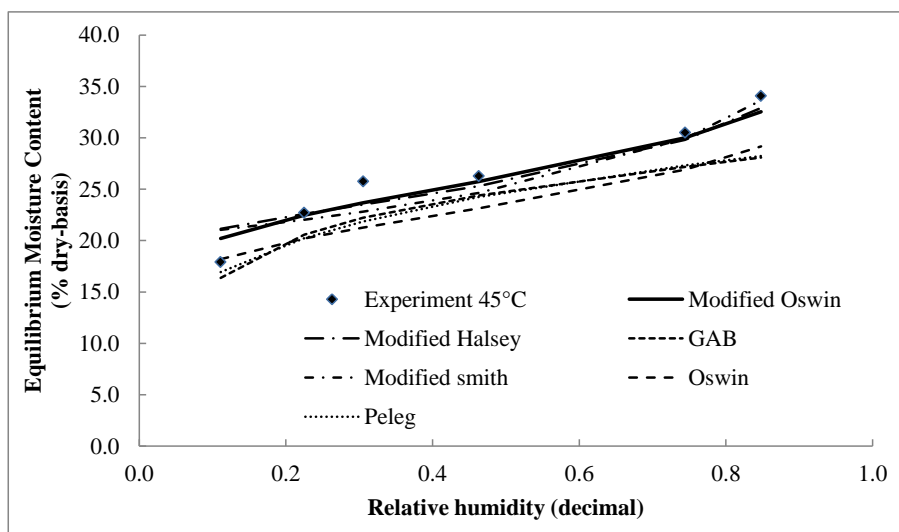
จากตารางที่ 3.1 แสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสารละลายเกลืออิ่มตัวที่อุณหภูมิในช่วง 45-60°C และเมื่อนำข้อมูลค่าความชื้นสมดุลที่สัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ มาวิเคราะห์เพื่อหาพารามิเตอร์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมดุลของ Modified Oswin, Modified Halsey, Modified Smith, GAB, Oswin และ Peleg ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าคงที่ในแบบจำลองความชื้นสมดุลของกล้วยไข่ที่อุณหภูมิ 45-60°C

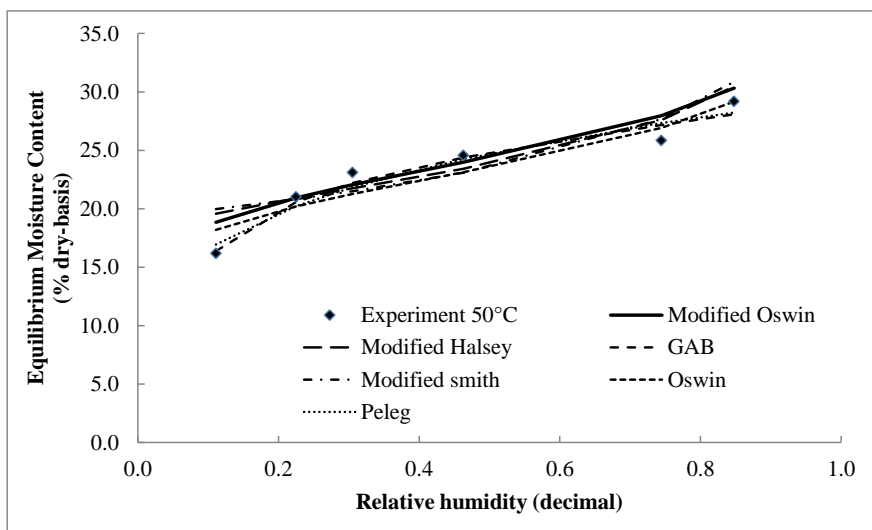
Model name	Arbitrary constants				R ²	RMSE	SEE	χ^2
	A	B	C	D				
Modified Oswin	42.301	-0.357	7.977	-	0.907	2.671	1.428	0.340
Modified Halsey	23.069	-0.090	-0.171	-	0.866	2.985	1.407	0.424
Modified Smith	28.842	-0.192	10.980	-0.134	0.832	3.125	1.712	0.488
GAB	25.039	82.337	0.190	-	0.768	4.500	2.405	0.964
Oswin	23.559	0.124	-	-	0.718	4.891	2.554	1.087
Peleg	14.714	0.251	14.714	0.251	0.756	4.595	2.517	1.056

หมายเหตุ : M_{eq} คือ ค่าความชื้นสมดุล (decimal), T คือ อุณหภูมิ (°C), RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ (decimal), ค่า A, B, C และ D คือ ค่าคงที่ของสมการ

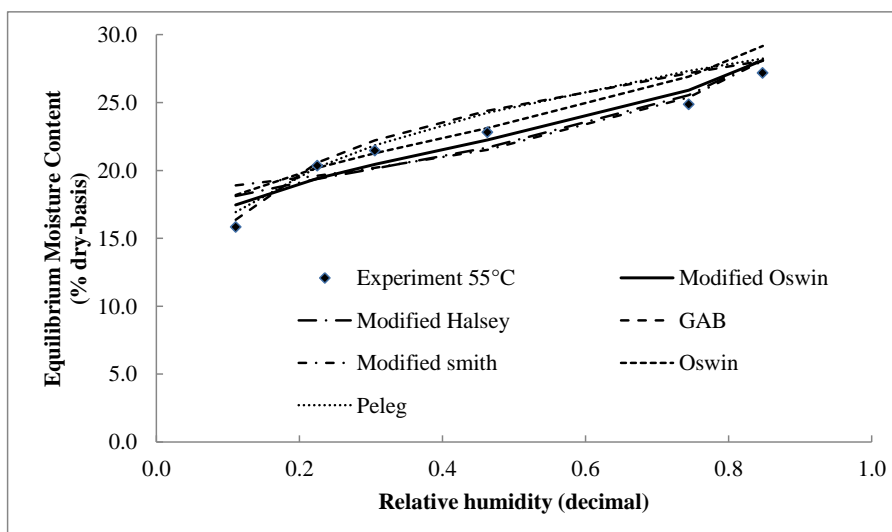
จากตารางที่ 4.1 พบว่าในช่วงอุณหภูมิ 45-60°C สารละลายเกลืออิ่มตัวทั้ง 6 ชนิด สามารถสร้างบรรยากาศที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ได้ในช่วง 0.11 ถึง 0.90 และเมื่อนำผลการทดลองมาจำลองด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมดุลของกล้วยไข่ ทั้งหมด 6 สมการ โดยมีรายละเอียดของค่าคงที่ต่าง ๆ ที่ได้จากการคำนวณทางคณิตศาสตร์แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และเมื่อนำผลการทำนายจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมดุลและผลการทดลองของกล้วยไข่ มาพล็อตกราฟ แสดงได้ดังภาพประกอบที่ 4.1 (ก-ง) 45-60°C และ 4.2 ตามลำดับ



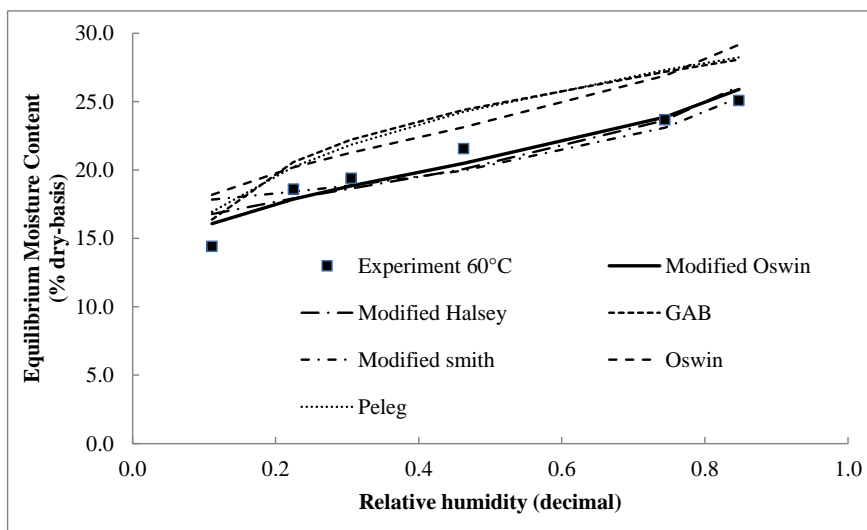
ภาพประกอบที่ 4.1 (ก) เปรียบเทียบความชื้นสมดุลของผลการทดลอง และผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของกล้วยไข่ที่อุณหภูมิ 45°C



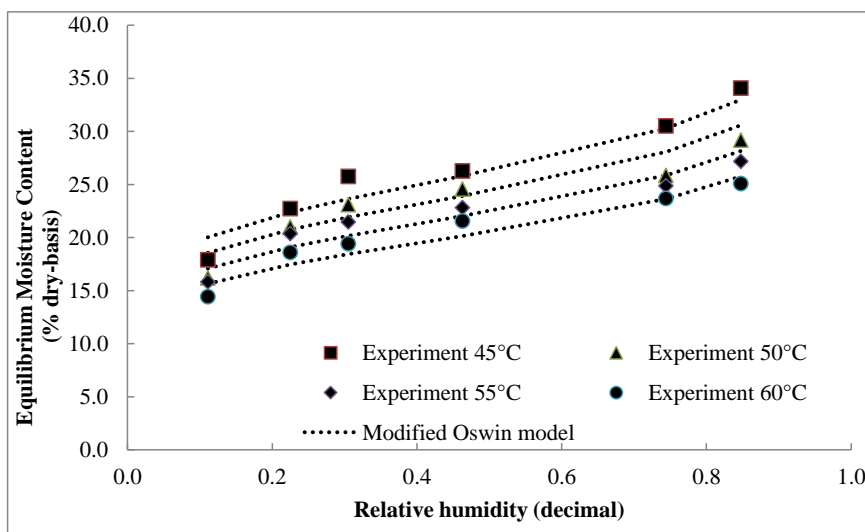
ภาพประกอบที่ 4.1 (ข) เปรียบเทียบความชื้นสมดุลของผลการทดลอง และผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของกล้วยไข่ที่อุณหภูมิ 50°C



ภาพประกอบที่ 4.1 (ค) เปรียบเทียบความชื้นสมดุลของผลการทดลอง และผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของกล้วยไข่ที่อุณหภูมิ 55°C



ภาพประกอบที่ 4.1 (ง) เปรียบเทียบความชื้นสมดุลของผลการทดลอง และผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของกล้วยไข่ที่อุณหภูมิ 60°C



ภาพประกอบที่ 4.2 เปรียบเทียบความชื้นสมดุลกล้วยไข่ของผลการทดลอง และแบบจำลอง Modified Oswin ที่อุณหภูมิ 45-60°C

จากผลการทดลองหาค่าความชื้นสมดุลของกล้วยไข่ พบว่า ที่อุณหภูมิเดียวกันค่าความชื้นสมดุลจะสูงขึ้นเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น ส่วนที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์เดียวกันค่าความชื้นสมดุลจะสูงขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิต่ำลง ส่วนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมดุลที่ทำนายค่าความชื้นสมดุลของกล้วยไข่ได้ดีที่สุด โดยใช้สมการความชื้นสมดุลของ Modified Oswin, Modified Halsey, Modified Smith, GAB, Oswin และ Peleg มาเปรียบเทียบกับผลการทดลอง พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมดุลที่เหมาะสมกับกล้วยไข่ คือแบบจำลองความชื้นสมดุลของ Modified Oswin model ซึ่งสามารถทำนายค่าความชื้นสมดุลของกล้วยไข่ ได้ดีกว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมดุลอื่น ๆ เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2) ที่มีค่ามากที่สุด และค่าผลรวมของความผิดพลาดกำลังสอง (SEE) ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE) และค่าไคร้สแควร์ (Chi-square, χ^2) ที่มีค่าน้อยสุดของสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมดุลทั้ง 6 แบบจำลอง

4.1.1.2 การวิเคราะห์สมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมดุลของกล้วยเล็บมือนาง

จากตารางที่ 3.1 แสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสารละลายเกลืออิ่มตัวที่อุณหภูมิในช่วง 45-60°C และเมื่อนำข้อมูลค่าความชื้นสมดุลที่สัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ มาวิเคราะห์เพื่อหาพารามิเตอร์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแต่ละสมการจากตารางที่ 3.1 ซึ่งสมการที่หาได้มี 6 แบบจำลอง ดังในตารางที่ 4.1 คือแบบจำลองความชื้นสมดุลของ Oswin, GAB, Modified Oswin, Modified Smith, Peleg และ Modified Halsey

เมื่อทำการวิเคราะห์หารูปแบบสมการที่เหมาะสมกับค่าความชื้นสมดุลของกล้วยเล็บมือนางด้วยโปรแกรมทางสถิติ ได้ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองทั้ง 6 แบบดังแสดงในตารางที่ 4.2 ซึ่งพบว่าแบบจำลองของ Modified Halsey นั้นให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลองมากที่สุด เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2) ที่มีค่ามากที่สุด และค่าผลรวมของความผิดพลาดกำลังสอง (SEE) ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE) และค่าไคร้สแควร์ (Chi-square, χ^2) ที่มีค่าน้อยสุดของสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมดุลทั้ง 6 แบบจำลอง

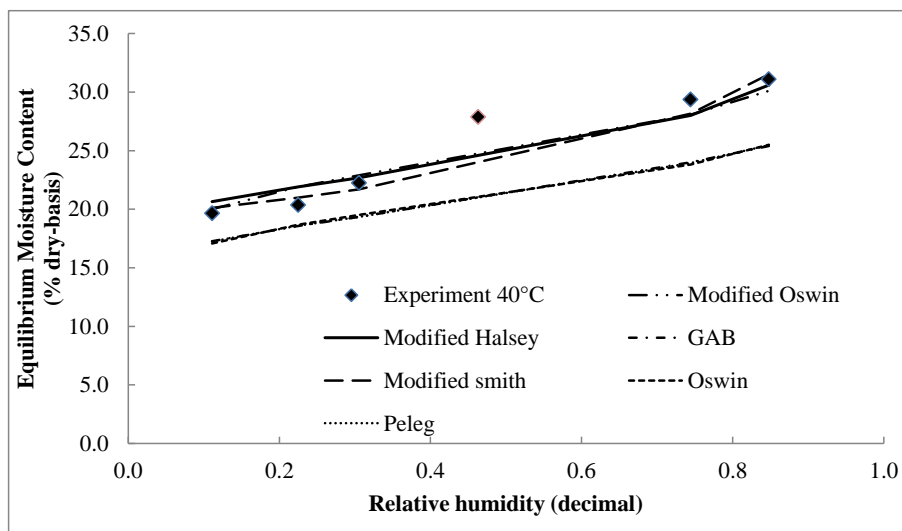
ตารางที่ 4.2 ค่าคงที่ในแบบจำลองความชื้นสมดุลของกล้วยเล็บมือนางที่อุณหภูมิ 40-60°C

Model name	Arbitrary constants				R^2	RMSE	SEE	χ^2
	A	B	C	D				
Modified Oswin	40.060	-0.376	9.281	-	0.961	0.833	0.888	0.032
Modified Halsey	25.759	-0.117	-0.152	-	0.970	0.732	0.799	0.026
Modified Smith	27.548	-0.205	9.801	-0.133	0.961	0.840	0.896	0.085
GAB	17.442	424.998	0.374	-	0.571	2.770	2.952	0.349
Oswin	21.276	0.106	-	-	0.571	2.771	2.889	0.334
Peleg	21.338	0.098	6.743	2.506	0.571	2.769	3.022	0.365

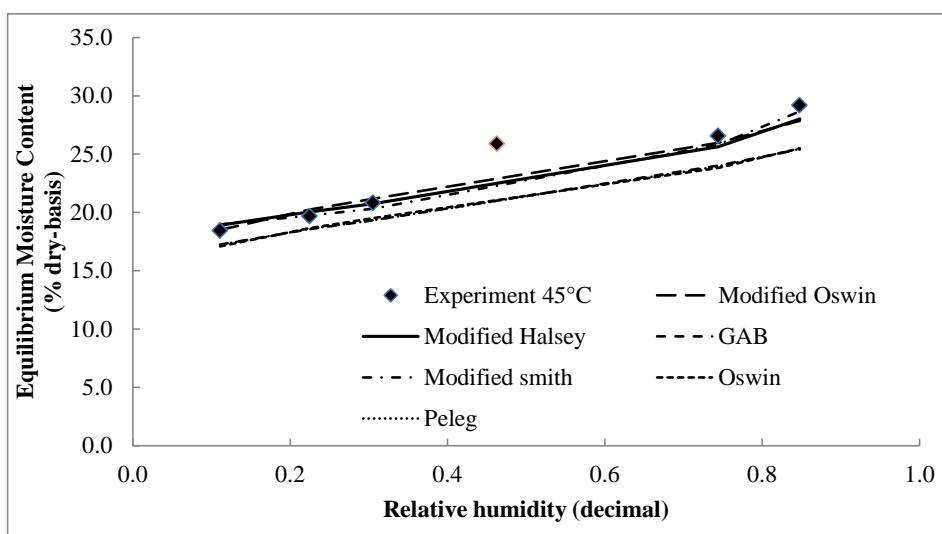
หมายเหตุ : M_{eq} คือ ค่าความชื้นสมดุล (เศษส่วน), T คือ อุณหภูมิ (°C), RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ (เศษส่วน), ค่า A, B, C และ D คือ ค่าคงที่ของสมการ

จากผลในตารางที่ 4.2 สรุปได้ว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Modified Oswin ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2) ที่มีค่ามากที่สุด และค่าผลรวมของความผิดพลาดกำลังสอง (SEE) ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE) และค่าไคร้สแควร์ (Chi-square, χ^2) ที่มีค่าน้อยสุด และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ให้ผลการทำนายใกล้เคียงรองลงมา ได้แก่

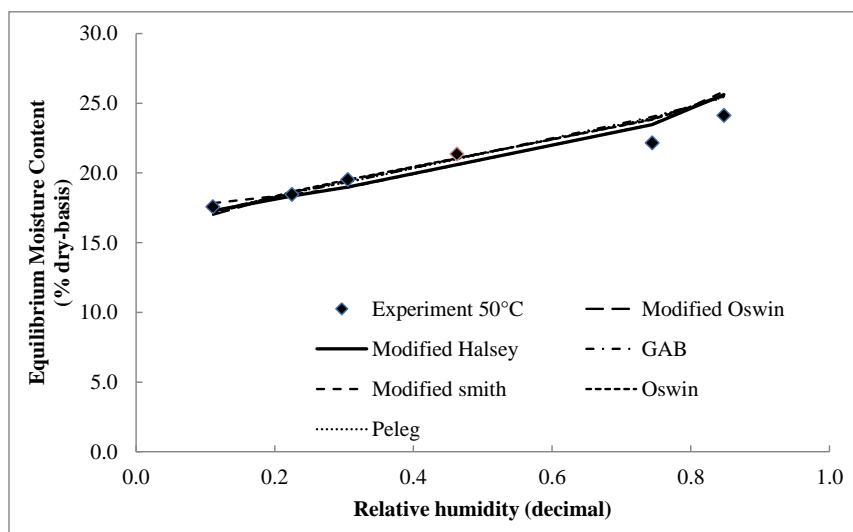
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมดุลของ Modified Halsey และ Modified Smith ตามลำดับ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.3 (ก-จ) 45-65°C และ 4.4 ตามลำดับ



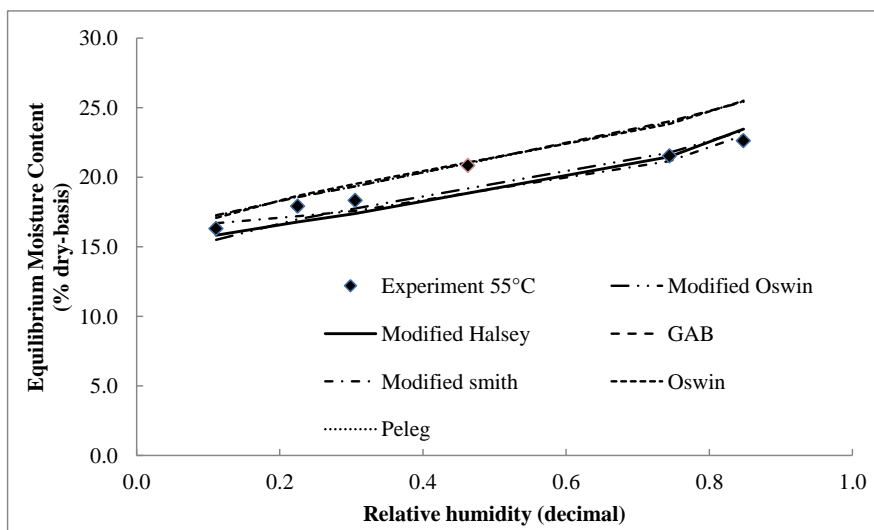
ภาพประกอบที่ 4.3 (ก) เปรียบเทียบความชื้นสมดุลของผลการทดลองและผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของกล้วยเล็บมือนางที่อุณหภูมิ 40°C



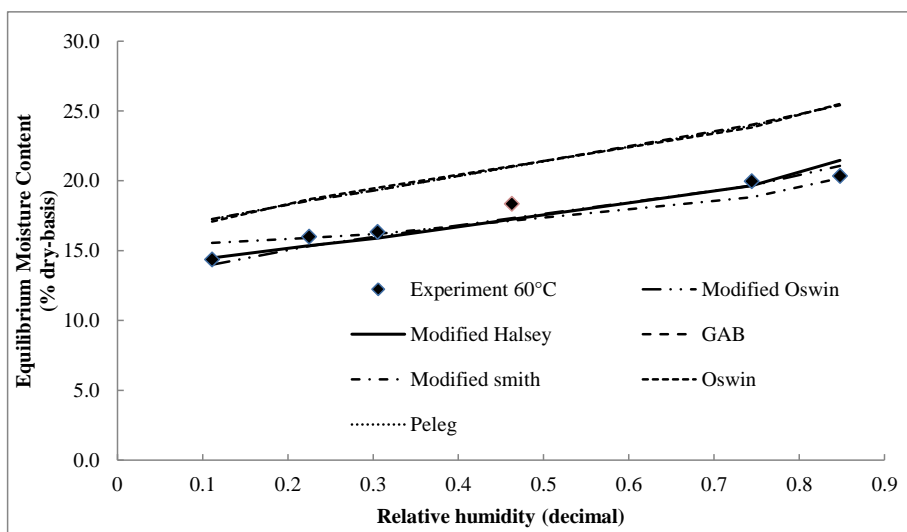
ภาพประกอบที่ 4.3 (ข) เปรียบเทียบความชื้นสมดุลของผลการทดลอง และผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของกล้วยเล็บมือนางที่อุณหภูมิ 45°C



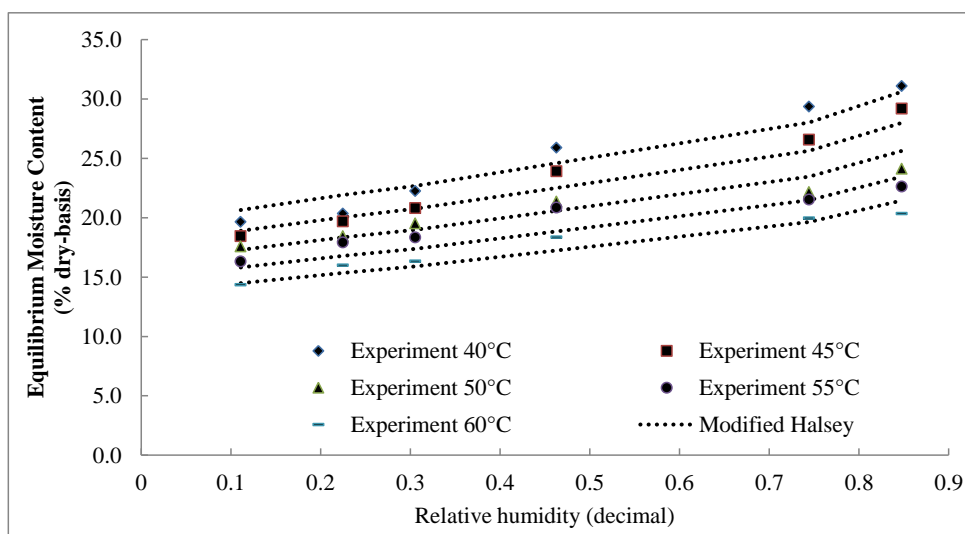
ภาพประกอบที่ 4.3 (ค) เปรียบเทียบความชื้นสมดุลของผลการทดลอง และผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของกล้วยเล็บมือนางที่อุณหภูมิ 50°C



ภาพประกอบที่ 4.3 (ง) เปรียบเทียบความชื้นสมดุลของผลการทดลอง และผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของกล้วยเล็บมือนางที่อุณหภูมิ 55°C



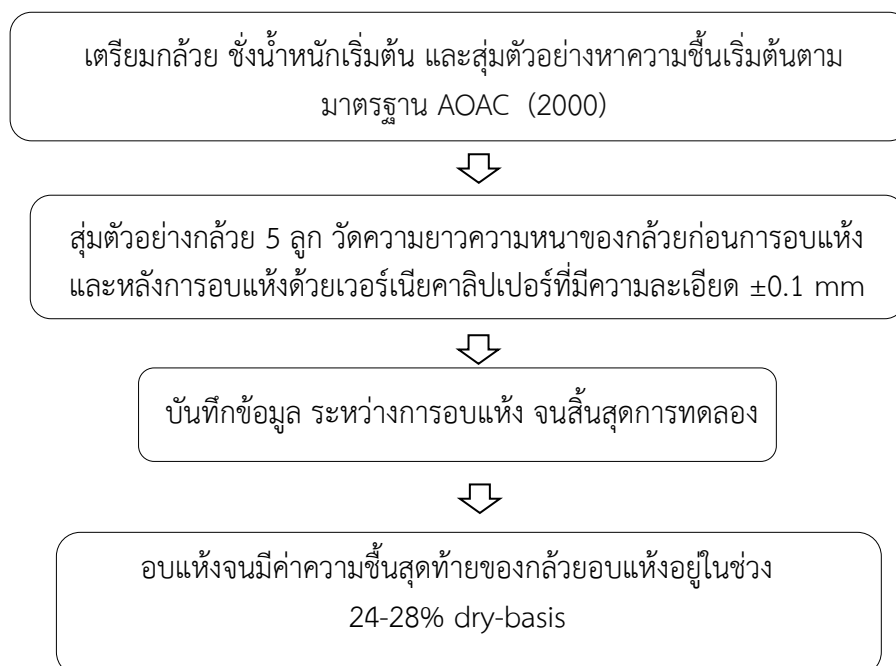
ภาพประกอบที่ 4.3 (จ) เปรียบเทียบความชื้นสมดุลของผลการทดลอง และผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของกล้วยเล็บมือนางที่อุณหภูมิ 60°C



ภาพประกอบที่ 4.4 เปรียบเทียบความชื้นสมดุลกล้วยเล็บมือนางของผลการทดลอง และแบบจำลอง Modified Halsey ที่อุณหภูมิ 40-60°C

จากการวิเคราะห์ดังกล่าวนี้จึงอธิบายได้ว่าการหาค่าความชื้นสมมูลของกล้วยเล็บมือนาง และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมมูล ที่อุณหภูมิ 40, 45, 50, 55 และ 60°C ในช่วงของค่าความชื้นสัมพัทธ์ 0.11-0.90 ด้วยวิธีสถิติ พบว่าที่อุณหภูมิเดียวกันค่าความชื้นสมมูลจะสูงขึ้นเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น ส่วนที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์เดียวกันค่าความชื้นสมมูลจะสูงขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิต่ำลง ส่วนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมมูลที่ทำนายค่าความชื้นสมมูลของกล้วยเล็บมือนาง ได้ดีที่สุด โดยใช้สมการความชื้นสมมูลของ Oswin, GAB, Modified Oswin, Modified Smith, Peleg และ Modified Halsey มาเปรียบเทียบกับผลการทดลองเพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมมูลที่เหมาะสมกับกล้วยเล็บมือนาง คือ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมมูลของ Modified Halsey และรองลงมา Modified Oswin และ Modified Smith ตามลำดับ โดยสามารถทำนายค่าความชื้นสมมูลได้ใกล้เคียงกับผลการทดลองมากที่สุด และผลจากแบบจำลองทั้งสามมีค่าแตกต่างเพียงเล็กน้อย เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2) ที่มีค่ามากที่สุด และค่าผลรวมของความผิดพลาดกำลังสอง (SEE) ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE) และค่าไคร้สแควร์ (Chi-square, χ^2) ที่มีค่าน้อยสุดของสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมมูลทั้ง 6 แบบจำลอง

4.2 จลนพลศาสตร์การอบแห้งกล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่ด้วยก๊าซหุงต้ม



กล้วยที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นกล้วยไข่และกล้วยเล็บมือนางซึ่งมีการสุกระยะที่ 7 ซึ่งพิจารณาได้จากที่เปลือกที่เป็นสีผิวสีเหลืองและเริ่มมีจุดสีน้ำตาล (สุกเต็มที่ มีกลิ่นหอม)

จากการศึกษาและทดลองการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่พบว่าที่อุณหภูมิการอบแห้ง 90 และ 100°C ได้พบว่ากล้วยจะมีลักษณะสีน้ำตาลเข้มไหม้ เนื่องจากกล้วยจะมีน้ำตาลกลูโคสเป็นองค์ประกอบหลักซึ่งน้ำตาลกลูโคสมีจุดหลอมเหลวที่ต่ำ ซึ่งน้ำตาลกลูโคสหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 86°C การหลอมเหลวนี้ถ้าใช้อุณหภูมิสูงทำให้น้ำตาลเปลี่ยนเป็นน้ำตาลไหม้หรือคาราเมล (Caramel) เรียกกระบวนการนี้ว่า คาราเมลไลเซชัน (Caramelization) ทำให้อาหารเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาล (ฤดี, 2555)

กล้วยไข่มีความชื้นเริ่มต้นในช่วง 250-320% dry-basis นำมาปอกเปลือก และนำมาอบแห้งด้วยความร้อนจากก๊าซหุงต้มที่อุณหภูมิ 60°C 70°C และ 80°C จนกระทั่งกล้วยไข่อบแห้งมีความชื้นอยู่ในช่วงประมาณ 50-53% dry-basis จึงนำกล้วยไข่ที่ได้มาทับแบน หลังจากนั้นนำกล้วยไข่ทับแบนไปอบแห้งต่อจนกระทั่งกล้วยไข่มีความชื้นสุดท้ายประมาณ 24-28% dry-basis โดยใช้ค่าความชื้นของกล้วยอบแห้งตามท้องตลาดเป็นเกณฑ์มีความชื้นอยู่ในช่วงประมาณ 24-28% dry-basis จึงนำกล้วยที่ได้หลังจากการอบแห้งไปทดสอบคุณภาพต่อไป

กล้วยเล็บมือนางมีความชื้นเริ่มต้นในช่วง 250-300% dry-basis นำมาปอกเปลือก และนำมาอบแห้งด้วยความร้อนจากก๊าซหุงต้มที่อุณหภูมิ 50°C 60°C 70°C และ 80°C จนกระทั่งกล้วยมีความชื้นสุดท้ายประมาณ 24-28% dry-basis และนำไปทดสอบคุณภาพต่อไป

4.2.1 จลนพลศาสตร์ของการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่

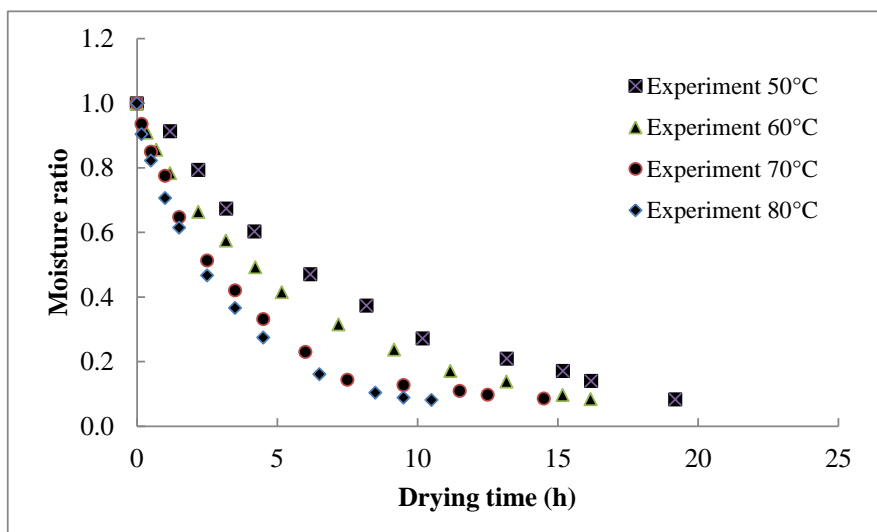
4.2.1.1 จลนพลศาสตร์ของกล้วยเล็บมือนาง

จากการทดลองอบแห้งกล้วยเล็บมือนางด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม แสดงดังภาพประกอบที่ 4.5 ผลการอบแห้งของกล้วยเล็บมือนางด้วยพลังงานความร้อนก๊าซหุงต้ม อุณหภูมิอบแห้ง 50°C 60°C 70°C และ 80°C ใช้ระยะเวลาอบแห้งเท่ากับ 19.18, 15.17, 14.50 และ 10.50 h ตามลำดับ ซึ่งที่อุณหภูมิสูงพบว่า มีแนวโน้มของการลดลงของความชื้นเร็วขึ้นเมื่ออุณหภูมิของการอบแห้งที่สูงขึ้น และเป็นการลดระยะเวลาในการอบแห้งได้ดีที่อุณหภูมิสูง

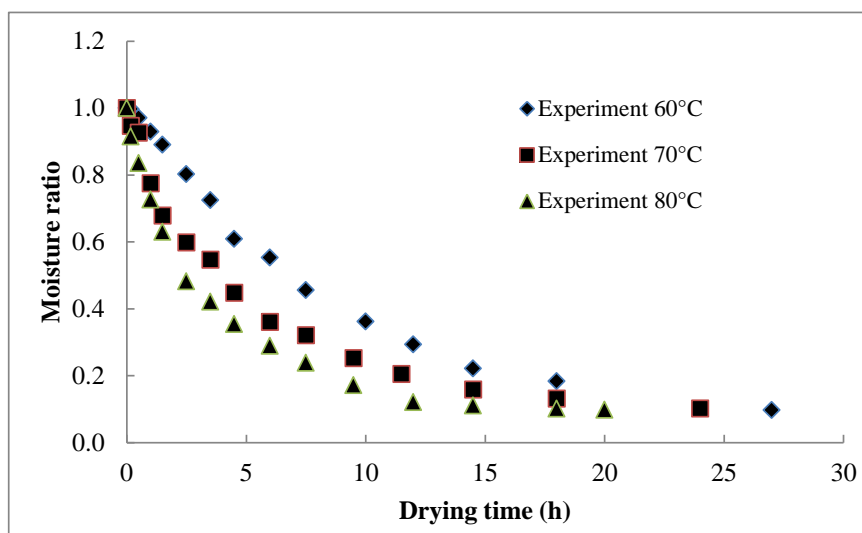
4.2.1.2 จลนพลศาสตร์ของกล้วยไข่

จากการทดลองอบแห้งกล้วยไข่ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม แสดงดังภาพประกอบที่ 4.6 เป็นผลการอบแห้งของกล้วยไข่ด้วยพลังงานความร้อนก๊าซหุงต้มที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80°C ใช้ระยะเวลาอบแห้งเท่ากับ 27, 24, 20 h ตามลำดับ ซึ่งที่อุณหภูมิสูงพบว่า มีแนวโน้มของการลดลงของความชื้นเร็วขึ้นเมื่ออุณหภูมิของการอบแห้งที่สูงขึ้น และเป็นการลดระยะเวลาใน

การอบแห้งได้ดีที่อุณหภูมิสูงเนื่องจากกล้วยไข่มีลักษณะรูปทรงกระบอกใหญ่ จึงทำให้ขณะทำการอบแห้งเกิดการถ่ายเทความร้อนได้ช้า จึงได้ทำการปรับแบนให้มีลักษณะที่การถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่า



ภาพประกอบที่ 4.5 อัตราส่วนความชื้นของกล้วยเล็บมือนางอบแห้งด้วยก๊าซหุงต้ม อุณหภูมิอบแห้ง 50-80°C ความชื้นเริ่มต้น 250-300% dry-basis ความชื้นสุดท้าย 24-28% dry-basis



ภาพประกอบที่ 4.6 อัตราส่วนความชื้นของกล้วยไข่อบแห้งด้วยก๊าซหุงต้ม อุณหภูมิอบแห้ง 60-80°C ความชื้นเริ่มต้น 280-320% dry-basis ความชื้นสุดท้าย 24-28% dry-basis

จากภาพประกอบที่ 4.5 และ 4.6 พบว่า สาเหตุที่การอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้มของกล้วยเล็บมือนางใช้ระยะเวลาในการอบแห้งที่สั้นกว่าการอบแห้งกล้วยไข่ เพราะลักษณะรูปลักษณะของกล้วยทั้งสองชนิดแตกต่างกัน และความชื้นเริ่มต้นของกล้วยไข่ที่มีค่ามากกว่ากล้วยเล็บมือนาง

4.3 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง

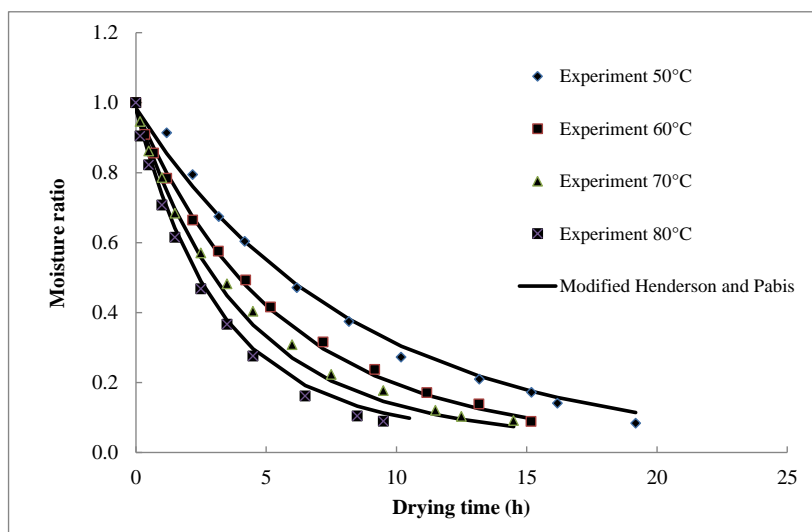
4.3.1 สมการเอมพิริคัลกล้วยเล็บมือนาง

จากการนำข้อมูลผลการทดลองมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการแบบไม่เชิงเส้นเพื่อเลือกสมการอบแห้งแบบเอมพิริคัลที่เหมาะสมจากตารางที่ 3.2 พบว่าสามารถหาค่าพารามิเตอร์ของสมการการอบแห้งกล้วยเล็บมือนาง ได้ทั้งหมด 13 สมการ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 พบว่ารูปแบบสมการของ Modified Henderson and Pabis เป็นรูปแบบสมการที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of determination, R^2) ที่สูงสุด และค่าค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root mean square error, RMSE) ค่าผลรวมของความผิดพลาดกำลังสอง (SEE) และค่าไคสแควร์ (Chi-square, χ^2) ที่ต่ำที่สุด แสดงดังในภาพประกอบที่ 4.7 (ก-ข)

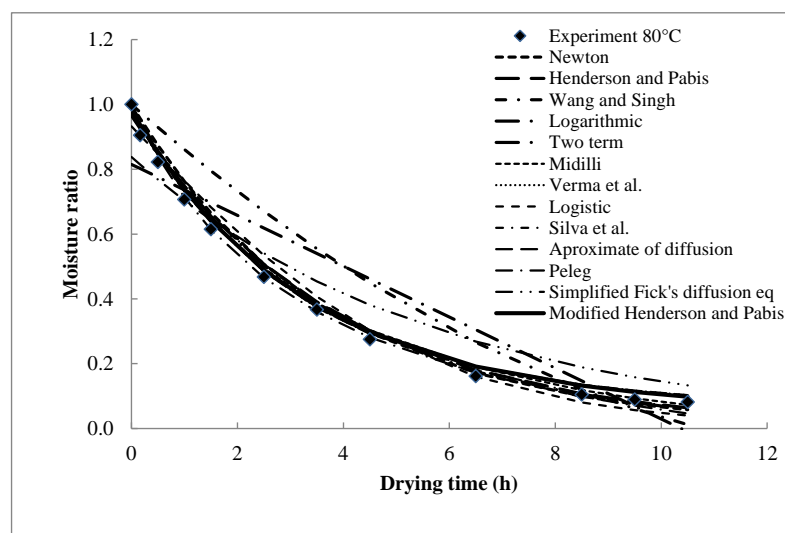
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองเอมพิริคัลสำหรับอธิบายจลนพลศาสตร์การอบแห้งกล้วยเล็บมือนางด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม

Model Name	Arbitrary constant	R ²	RMSE	SEE	χ^2
Newton	$k=-0.1370+0.0051T$	0.9913	0.0285	0.0291	1.694×10^{-5}
Wang and Singh	$k=-0.0977+-0.0006T$ $B = 0.0047$	0.9154	0.0888	0.0916	0.0002
Modified Henderson and Pabis	$k=-0.2114+0.0068T$ $g = 0.0652, h=0.0650$ $a=0.8411, b=0.0631$ $c=0.0784$	0.9950	0.7368	0.7945	0.0126
Approximation of diffusion	$k=-0.2333+0.0073T$ $a=0.8395 b=0.0639$	0.9945	0.0227	0.0237	1.122×10^{-5}
Simplified Fick's diffusion eq.	$k=1.6263-0.0099T$ $c=243.3819$	0.9630	0.0587	0.0612	7.488×10^{-5}
Peleg	$k= 12.2931-0.1200T$ $b=0.7918$	0.9945	0.0227	0.0235	1.100×10^{-5}
Silva et al.	$k= -0.1292+0.0049T$ $b=0.0010$	0.9933	0.0250	0.0258	1.331×10^{-5}
Henderson and Pabis	$k=-0.1292+0.0049T$ $a=0.9696$	0.9933	0.0250	0.0258	1.331×10^{-5}
Logarithmic	$k=0.0001-6.81E-06T$ $a = -174.8126$ $c= 175.6277$	0.8835	0.1042	0.1086	2.360×10^{-4}
Two term	$k_1=-0.3031+0.0074T$ $k_2=-0.2893+0.0072T$ $a = -9.5048$ $b = 10.4704$	0.9940	0.7368	0.7854	0.0123
Midilli	$k=-0.1287+0.0055T$ $a = 0.9985 n = 0.8865$ $b = -0.0010$	0.9948	0.7030	0.7410	0.0110
Verma et al.	$k=0.2333+0.0073T$ $g = 0.0639 a = 0.8395$	0.9945	0.0227	0.0237	1.122×10^{-5}
Logistic	$k=-0.1774+0.0068T$ $a = 1.8645$	0.9833	0.0394	0.0407	3.308×10^{-5}

หมายเหตุ ค่า a, b, c, g, h, k, L และ n คือ ค่าคงตัว, t คือ เวลา (h), D คือ thickness (m)



ภาพประกอบที่ 4.7 (ก) เปรียบเทียบผลการทดลองและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของการอบแห้งกล้วยเล็บมือนาง อุณหภูมิอบแห้ง 50-80°C ความชื้นเริ่มต้น 250-300% dry-basis ความชื้นสุดท้าย 24-28% dry-basis



ภาพประกอบที่ 4.7 (ข) เปรียบเทียบผลการทดลองและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของการอบแห้งกล้วยเล็บมือนาง อุณหภูมิอบแห้ง 50-80°C ความชื้นเริ่มต้น 250-300% dry-basis ความชื้นสุดท้าย 24-28% dry-basis

4.3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเอมพิริคัลของการอบแห้งของกล้วยไข่

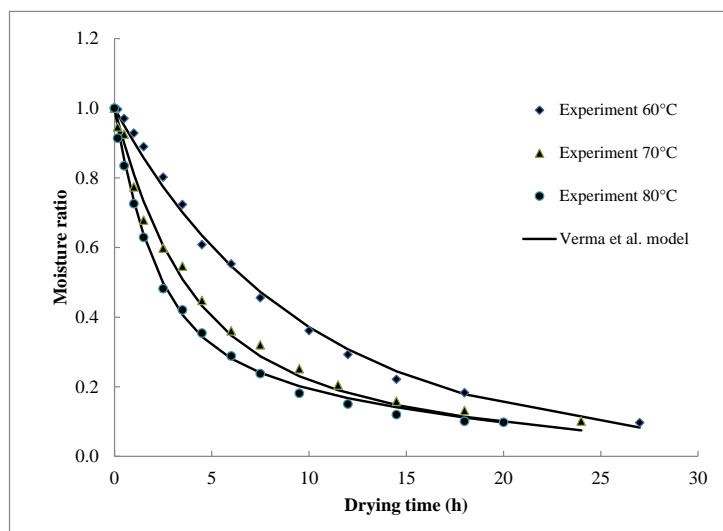
จากการนำข้อมูลผลการทดลองมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการแบบไม่เชิงเส้นเพื่อเลือกสมการอบแห้งแบบเอมพิริคัลที่เหมาะสมจากตารางที่ 3.3 พบว่าสามารถหาค่าพารามิเตอร์ของสมการการอบแห้งกล้วยไข่ได้ทั้งหมด 13 สมการ ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองเอมพิริคัลสำหรับอธิบายจลนพลศาสตร์การอบแห้งกล้วยไข่ด้วยพลังงานความร้อนจากแก๊สหุงต้ม

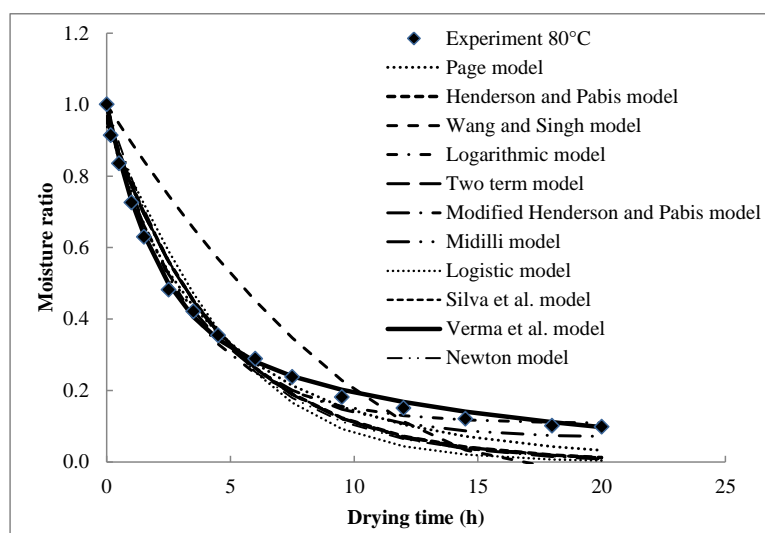
Model Name	Arbitrary constant	R ²	RMSE	SEE	χ^2
Newton	$k = -0.2907+0.0065T$	0.9760	0.0486	0.0498	5.50×10^{-5}
Wang and Singh	$k = -0.0853+(-0.0003)T$ $b = 0.0029$	0.8678	0.1142	0.1182	3.11×10^{-4}
Modified Henderson and Pabis	$k = 0.1239+0.0007T$ $g = 0.1732$ $h=0.1730$ $a=10.2324$ $b=-4.6390$ $c=-4.6400$	0.9763	0.0483	0.0526	6.15×10^{-5}
Simplified Fick's diffusion eq	$k=1.8064-0.0123T$ $c=67.4564$	0.9569	0.0652	0.0683	1.04×10^{-4}
Peleg	$k=18.0022-0.1908T$ $b=0.9085$	0.9865	0.0365	0.0378	3.17×10^{-5}
Silva et al.	$k=-0.2734+0.0061T$ $b=0.0012$	0.9788	0.0458	0.0474	4.99×10^{-5}
Page	$k=-0.3123+0.0077T$ $n= 0.8118$	0.9878	0.0347	0.0359	2.87×10^{-5}
Henderson and Pabis	$k=0.9663-0.2734T$ $a=0.0061$	0.9788	0.0458	0.0474	4.99×10^{-5}
Logarithmic	$k=-0.4336+0.0092T$ $a=0.8851$ $c= 0.1072$	0.9919	0.0282	0.0296	1.94×10^{-5}
Two term	$k_1=-0.0490+0.0031T$ $k_2=-0.0220+0.0027T$ $a= 10.3420$ $b = -9.3806$	0.9786	0.0459	0.0493	5.41×10^{-5}
Midilli	$k=-0.3248+0.0078T$ $a=1.0121$ $n = 0.8631$ $b= 0.0027$	0.9902	0.0311	0.0330	2.42×10^{-5}
Verma et al.	$k=-0.9690+0.0182T$ $g=0.0666$ $a = 0.6310$	0.9950	0.0221	0.0232	1.20×10^{-5}
Logistic	$k=-0.3798+0.0086T$ $a= 1.8756$	0.9613	0.0618	0.0640	9.09×10^{-5}

หมายเหตุ ค่า a, b, c, g, h, k, L และ n คือ ค่าคงตัว, t คือ เวลา (h), W คือ thickness (m)

พบว่ารูปแบบสมการของ Verma et al. เป็นรูปแบบสมการที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of determination, R^2) ที่สูงสุดและค่าค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root mean square error, RMSE) ค่าผลรวมของความผิดพลาดกำลังสอง (SEE) และค่าไคสแควร์ (Chi-square, χ^2) ที่ต่ำที่สุด แสดงดังในภาพประกอบที่ 4.8 (ก-ข)



ภาพประกอบที่ 4.8 (ก) เปรียบเทียบผลการทดลองและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งกล้วยไข่ อุณหภูมิอบแห้ง 60-80°C ความชื้นเริ่มต้น 280-320% dry-basis ความชื้นสุดท้าย 24-28% dry-basis

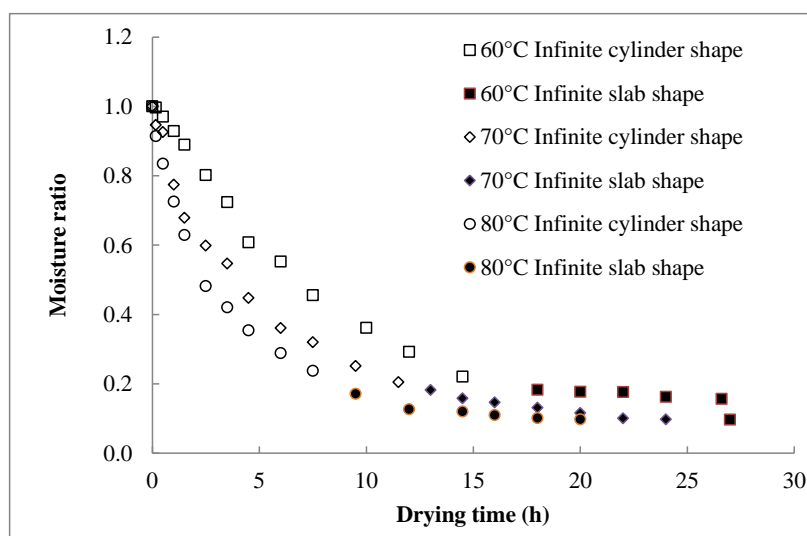


ภาพประกอบที่ 4.8 (ข) เปรียบเทียบผลการทดลองและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งกล้วยไข่ อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ความชื้นเริ่มต้น 280-320% dry-basis ความชื้นสุดท้าย 24-28% dry-basis

4.3.3 สมการอบแห้งกึ่งทฤษฎี

สัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลของกล้วยไข่

โดยการพิจารณารูปทรงเรขาคณิตของกล้วยไข่ช่วงเริ่มต้นพิจารณารูปทรงกระบอกตันและยาวมาก (Infinite cylinder shape) และช่วงปลายโดยที่นำกล้วยไข่มาทับแบนที่ความชื้น 50% dry-basis พิจารณารูปทรงวัสดุแผ่นราบกว้างและยาวมาก (Infinite slab shape) ดังภาพประกอบที่ 4.9



ภาพประกอบที่ 4.9 อัตราส่วนความชื้นของกล้วยไข่ พิจารณารูปทรงวัสดุทรงกระบอกตันและยาวมาก และพิจารณารูปทรงวัสดุแผ่นราบกว้างและยาวมาก ที่อุณหภูมิ 60-80°C ความชื้นเริ่มต้น 280-320% dry-basis ความชื้นสุดท้าย 24-28% dry-basis

การอบแห้งในช่วงต้น พิจารณากล้วยไข่มีรูปทรงแบบทรงกระบอกและยาวมาก (Infinite cylinder shape) ขนาดเส้นความยาวเฉลี่ย 0.08 m ขนาดรัศมีเฉลี่ย 0.024 m

ช่วงปลายมีรูปทรงแบบแผ่นราบกว้างและยาวมาก (Infinite slab shape) กล้วยไข่มีขนาดความหนาเฉลี่ย 0.007 m

ค่าของสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลของการอบแห้งช่วงต้นและช่วงปลาย แสดงดังตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลและค่าคงที่ของสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของการอบแห้งกล้วยไข่สำหรับรูปทรงวัสดุทรงกระบอกและยาวมาก (Infinite cylinder shape) อุณหภูมิอบแห้ง 60-80°C

Drying temp.	D_{eff} (m ² /s)	D_0 (m ² /s)	E_a (kJ/kg)	R^2
60°C	3.60×10^{-6}	120.049	47,883.66	0.984
70°C	6.63×10^{-6}			
80°C	9.56×10^{-6}			

ตารางที่ 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลและค่าคงที่ของสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของการอบแห้งกล้วยไข่สำหรับรูปทรงวัสดุแผ่นราบกว้างและยาวมาก (Infinite slab shape) อุณหภูมิอบแห้ง 60-80°C

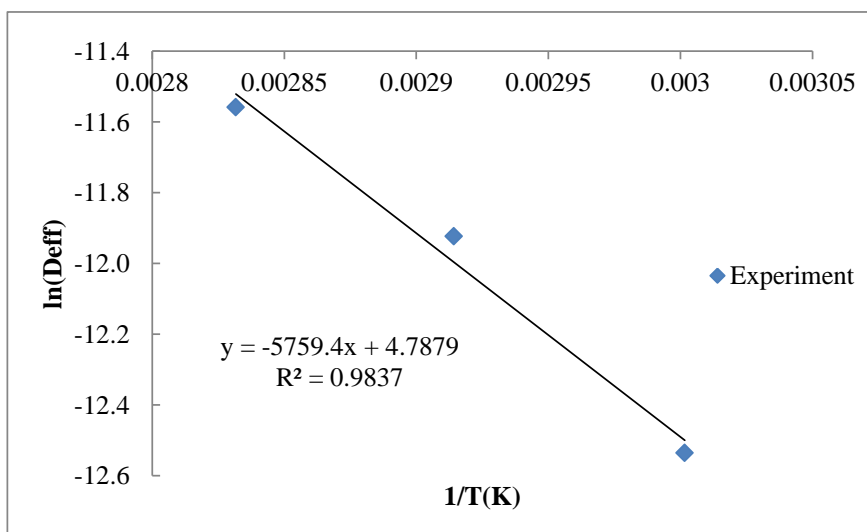
Drying temp.	D_{eff} (m ² /s)	D_0 (m ² /s)	E_a (kJ/Kg)	R^2
60°C	3.51×10^{-7}	3.48×10^{-2}	31,757.82	0.9972
70°C	5.19×10^{-7}			
80°C	6.91×10^{-7}			

ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของการอบแห้งกล้วยไข่ กรณีที่วัสดุมีรูปทรงแบบทรงกระบอกและยาวมาก (Infinite cylinder shape) อุณหภูมิการอบแห้ง 60-80°C แสดงดังสมการที่ (4.1) ภาพประกอบที่ 4.10 (ก)

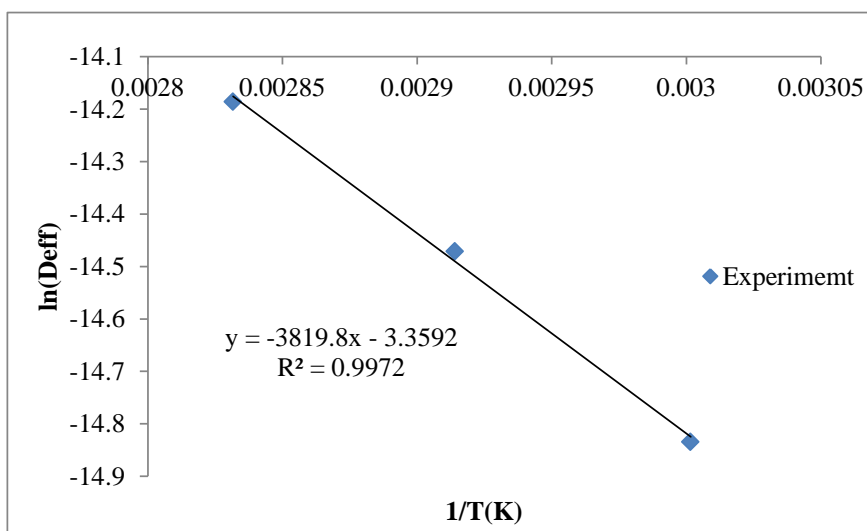
$$D_{\text{eff}} = 120.049 \exp\left[-\frac{47,883.65}{RT}\right] \quad R^2 = 0.984 \quad (4.1)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของการอบแห้งกล้วยไข่ สำหรับรูปทรงวัสดุแผ่นราบกว้างและยาวมาก (Infinite slab shape) อุณหภูมิการอบแห้ง 60-80°C แสดงดังสมการที่ (4.2) ที่ $R^2 = 0.9972$ แสดงดังในรูปที่ 4.10 (ข)

$$D_{\text{eff}} = 3.48 \times 10^{-2} \exp\left[-\frac{31,757.82}{RT}\right] \quad R^2 = 0.9972 \quad (4.2)$$



ภาพประกอบที่ 4.10 (ก) ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของการอบแห้งกล้วยไข่ สำหรับรูปทรงวัสดุทรงกระบอกและยาวมาก (Infinite cylinder shape) อุณหภูมิอบแห้ง 60-80°C



ภาพประกอบที่ 4.10 (ข) ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของการอบแห้งกล้วยไข่ สำหรับรูปทรงวัสดุแผ่นราบกว้างและยาวมาก (Infinite slab shape) อุณหภูมิอบแห้ง 60-80°C

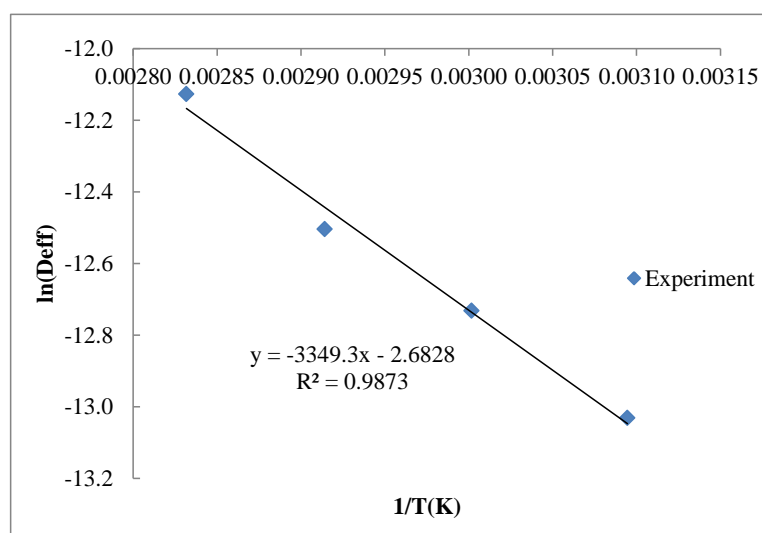
สัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลของกล้วยเล็บมือนาง

สัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผล (Effective diffusion coefficient) ของกล้วยเล็บมือนาง โดยพิจารณารูปทรงของกล้วยมีลักษณะเป็นวัสดุทรงกระบอกและยาวมาก (Infinite cylinder shape) กล้วยเล็บมือนาง มีขนาดเส้นความยาวเฉลี่ย 0.064 m ขนาดรัศมีเฉลี่ย 0.015 m ค่าของสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลคำนวณโดยวิธีของความชื้นที่อุณหภูมิ 50-80°C แสดงดังตารางที่ 4.7 สมการที่ (4.3) แสดงดังในภาพประกอบที่ 4.11

$$D_{\text{eff}} = 6.80 \times 10^{-2} \exp\left[-\frac{27846.08}{RT}\right] \quad R^2 = 0.9873 \quad (4.3)$$

ตารางที่ 4.7 ค่าประสิทธิผลการแพร่ความชื้นประสิทธิผลและค่าคงที่ของประสิทธิผลการแพร่ความชื้นประสิทธิผลของการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางที่สภาวะต่างๆ

Drying temp.	$D_{\text{eff}} \text{ (m}^2/\text{s)}$	$D_0 \text{ (m}^2/\text{s)}$	$E_a \text{ (kJ/Kg)}$	R^2
50°C	2.19×10^{-6}	6.80×10^{-2}	27,846.08	0.9873
60°C	2.96×10^{-6}			
70°C	3.71×10^{-6}			
80°C	5.41×10^{-6}			



ภาพประกอบที่ 4.11 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของการอบแห้งกล้วยเล็บมือนาง ที่อุณหภูมิ 50-80°C

พบว่าเมื่ออุณหภูมิแก๊สสูงตมของการอบแห้งเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ ความชื้นประสิทธิผลจะมีค่าสูงขึ้น และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นจะมีความสัมพันธ์ในลักษณะ เอกซ์โปเนนเชียลกับอุณหภูมิอบแห้ง

4.4 คุณภาพของกล้วย

คุณภาพของกล้วยภายหลังการอบแห้งโดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางด้านประสาทสัมผัส

4.4.1 การหดตัวของกล้วยเล็บมือนาง

การหดตัวของกล้วยไข่และกล้วยเล็บมือนางหลังการอบแห้งทางด้านความกว้าง (Length, L) และความหนา (Thickness, D) แสดงดังตารางที่ 4.7 พบว่าที่อุณหภูมิการอบแห้งสูงๆ จะมีร้อยละการหดตัวที่มากกว่าที่อุณหภูมิการอบแห้งต่ำๆ

ตารางที่ 4.8 เปอร์เซนต์การหดตัวของกล้วยเล็บมือนางหลังการอบแห้งทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) และ ทางด้านความหนา (L)

Drying temp.	% Shrinkage (D)	% Shrinkage (L)
50°C	25.55± 0.86 ^b	12.94± 0.66 ^c
60°C	27.46± 1.28 ^b	15.52± 1.48 ^{bc}
70°C	31.51 ± 0.82 ^a	17.13± 0.60 ^b
80°C	32.22± 0.71 ^a	25.27± 1.48 ^a

Note: Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different at 95 % confidence level (p<0.05)

การหดตัวของกล้วยเล็บมือนางนั้นเป็นผลเนื่องมาจากความร้อนของตัวกลางของการอบแห้งที่กล้วยได้รับในขณะทำการอบแห้ง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการอบแห้ง และส่งผลให้เกิดความเครียดภายในวัสดุ จึงส่งผลให้กล้วยเล็บมือนางเหี่ยวยุบและมีปริมาตรลดลงจาก ตารางพบว่าค่าการหดตัวของกล้วยเล็บมือนางมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05)

4.4.2 สีของกล้วย

การทดสอบคุณภาพสีของกล้วยไข่และกล้วยเล็บมือนางหลังการอบแห้งด้วยเครื่องวัดสี Hunter Lab รุ่น ColorFlex EZ โดยวัดค่าสีของกล้วยไข่ และกล้วยเล็บมือนางในเทอมของตัวแปร L^* , a^* และ b^* เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสีกล้วยไข่สด และกล้วยเล็บมือนางสดในเทอมของตัวแปร L_0^* , a_0^* และ b_0^*

4.4.2.1 สีของกล้วยไข่

พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ และเวลาที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่อคุณภาพของกล้วยไข่ ซึ่งในการทดลองนี้เลือกใช้ค่า L_0^* , a_0^* และ b_0^* จากกล้วยไข่ พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่าสีมีค่าความสว่าง L^* มีค่าใกล้เคียงกันและลดลงเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งที่สูงขึ้น ตัวแปรที่สามารถบ่งบอกการเปลี่ยนแปลงสีของกล้วย คือ b^* โดยค่า b^* ทางสีเหลืองที่สูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และให้ค่าความเป็นสีแดง a^* ที่ใกล้เคียงกันที่อุณหภูมิ 60, 70°C และลดลงที่อุณหภูมิ 80°C แสดงดังในตารางที่ 4.9 เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นซึ่งทำให้สีของกล้วยมีความเข้มสีน้ำตาลสูงขึ้น (รุ่งทิพย์, 2549) พบว่าค่าความแตกต่างสีรวมของกล้วยไข่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.9 ค่าสีของกล้วยไข่หลังการอบแห้งด้วยสภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60-80°C

Drying temp.	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
กล้วยไข่สด	43.89±0.22 ^A	3.28±0.02 ^B	19.17±0.07 ^A	-
60°C	16.64±0.23 ^{B,a}	3.94±0.61 ^{A,a}	4.59±0.92 ^{D,c}	30.93±0.89 ^C
70°C	15.35±0.25 ^{C,b}	3.82±0.46 ^{A,a}	5.93±1.33 ^{C,b}	31.48±1.41 ^{bc}
80°C	14.41±0.26 ^{D,c}	2.28±0.54 ^{C,b}	7.02±1.30 ^{B,a}	31.93±0.99 ^a

Note: Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different at 95 % confidence level ($p < 0.05$)

อักษรตัวใหญ่ : เปรียบเทียบกับค่าสีของกล้วยสด

อักษรตัวเล็ก : เปรียบเทียบเฉพาะแหล่งอุณหภูมิของค่าสี

4.4.2.2 สีของกล้วยเล็บมือนาง

พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ และเวลาที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่อคุณภาพของกล้วยเล็บมือนาง ซึ่งในการทดลองนี้เลือกใช้ค่า L_0^* , a_0^* และ b_0^* จากกล้วยเล็บมือนางสดแสดงในตารางที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงค่าสีมีค่าความสว่าง (L^*) มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งที่สูงขึ้น ตัวแปรที่สามารถบ่งบอกการเปลี่ยนแปลงสีของกล้วย คือค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) โดยค่าความเป็นสีเหลืองมีความเป็นสีเหลืองสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และให้ค่าความเป็นสีแดง (a^*) มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นซึ่งทำให้สีของกล้วยมีความเข้มสีน้ำตาลสูงขึ้น (รุ่งทิพย์, 2549) พบว่าค่าสีของกล้วยเล็บมือนางมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.10 ค่าสีของกล้วยเล็บมือนางหลังการอบแห้งด้วยสภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50-80°C

Drying temp.	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
กล้วยเล็บมือนางสด	41.98±0.85 ^A	6.25±0.19 ^A	19.11±0.59 ^A	-
50°C	19.96±0.41 ^{B,a}	3.78±0.23 ^{C,b}	3.76±0.51 ^{B,a}	23.91±0.36 ^d
60°C	17.93±0.23 ^{C,b}	4.95±0.17 ^{B,a}	6.75±0.23 ^{B,a}	25.47±0.30 ^c
70°C	15.30±0.21 ^{D,c}	3.17±0.15 ^{D,c}	10.91±0.41 ^{C,b}	29.57±0.28 ^b
80°C	13.53±0.22 ^{E,d}	2.37±0.21 ^{E,d}	10.19±0.14 ^{D,c}	32.58±0.43 ^a

Note: Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different at 95 % confidence level ($p < 0.05$)

อักษรตัวใหญ่ : เปรียบเทียบกับค่าสีของกล้วยสด

อักษรตัวเล็ก : เปรียบเทียบเฉพาะแหล่งอุณหภูมิของค่าสี

: ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) เป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning reaction) ชนิดที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (Non enzymatic browning reaction) เกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลรีดิวส์ (Reducing sugar) กับกรดแอมิโน โปรตีน หรือสารประกอบไนโตรเจนอื่น ๆ โดยมีความร้อนเร่งปฏิกิริยา ([http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0397/maillard-reaction.](http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0397/maillard-reaction))

4.4.3 เนื้อสัมผัสของกล้วยไข่และกล้วยเล็บมือนาง

ผลการทดสอบลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่และกล้วยเล็บมือนางภายหลังการอบแห้ง ในด้านแรงเฉือนและความเหนียวของวัสดุแสดงดังตารางที่ 4.11 และตารางที่ 4.12 ตามลำดับ พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าแรงเฉือน (Shear force) และค่าความเหนียว (Toughness) ของกล้วยไข่ทั้งแบบจะมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับกล้วยเล็บมือนาง พบว่าค่าแรงเฉือน (Shear force) และค่าความเหนียว (Toughness) มีแนวโน้มเล็กน้อย อธิบายได้ว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งสูงจะทำให้น้ำตาลที่อยู่ภายในเนื้อกล้วยเหนียวขึ้น เนื่องจากมาจากปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน (Caramelization reaction)

4.4.3.1 เนื้อสัมผัสของกล้วยไข่ และกล้วยเล็บมือนาง

ตารางที่ 4.11 ค่าความแข็งของกล้วยกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 60-80°C

Drying temp.	Shear Force (N)	Toughness (N.s)
60 °C	39.92±1.55 ^b	131.22±7.63 ^b
70 °C	44.09±1.48 ^b	138.86±8.44 ^b
80 °C	55.43±3.44 ^a	185.99±6.15 ^a

ตารางที่ 4.12 ค่าความแข็งของกล้วยกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 50-80°C

Drying temp.	Shear Force (N)	Toughness (N.s)
50°C	22.75±0.94 ^a	75.55±3.37 ^b
60°C	22.44±0.88 ^a	81.85±4.49 ^{ab}
70°C	21.92±1.02 ^a	79.59±3.07 ^{ab}
80°C	23.73±1.22 ^a	90.42±7.03 ^a

Note: Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different at 95 % confidence level ($p < 0.05$)

: ปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน (Caramelization reaction) เป็น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในวัสดุที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (non enzymatic browning reaction) โดยโมเลกุลของน้ำตาลภายในวัสดุเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิสูง และเกิดปฏิกิริยาต่อเป็นพอลิเมอร์ของสารประกอบคาร์บอน เรียกว่าคาราเมล ที่มีกลิ่นและรสเฉพาะตัว (เสาวลักษณ์ และวรนุช, 2550)

4.4.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation)

ผลการทดสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้งและกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม แสดงดังตารางที่ 4.13 และตารางที่ 4.14 ตามลำดับ พบว่า กล้วยไข่อบแห้งที่ได้จากการอบแห้งโดยใช้พลังงานความร้อนแก๊สหุงต้ม (LPG) มีค่าระดับคะแนนของการทดสอบ สี กลิ่น ความนุ่ม ความเหนียว ความหวาน และความยอมรับโดยรวมในช่วงระดับคะแนน 5.43 และมีระดับคะแนนสูงสุดเท่ากับ 7.00 คะแนน ซึ่งมีความหมายว่า มีระดับความชอบอยู่ในระดับเฉย ๆ ถึงชอบปานกลาง และมีระดับคะแนนของความชอบโดยรวม เท่ากับ 7.00 คะแนน ที่อุณหภูมิอบแห้ง 70°C

ทำนองเดียวกันสำหรับกล้วยเล็บมือนางอบแห้งที่ได้จากการอบแห้งโดยใช้พลังงานความร้อนแก๊สหุงต้ม (LPG) มีค่าระดับคะแนนเท่ากับ 5.43 และมีระดับคะแนนสูงสุดเท่ากับ 7.23 คะแนน ซึ่งมีความหมายว่า มีระดับความชอบอยู่ในระดับเฉย ๆ ถึงชอบปานกลาง และมีระดับคะแนนของความชอบโดยรวม เท่ากับ 7.23 คะแนน ที่อุณหภูมิอบแห้ง 50°C

ตารางที่ 4.13 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 60-80°C

Drying temp.	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall
60°C	5.97±0.29 ^a	5.70±0.28 ^a	6.30±0.27 ^a	5.57±0.29 ^a	6.23±0.32 ^a	6.20±0.29 ^b
70°C	6.20±0.19 ^a	5.97±0.27 ^a	6.43±0.23 ^a	5.97±0.24 ^a	6.43±0.27 ^a	7.00±0.17 ^a
80°C	6.07±0.19 ^a	5.77±0.26 ^a	5.43±0.16 ^b	5.50±0.29 ^a	6.80±0.27 ^a	6.20±0.24 ^b

ตารางที่ 4.14 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 50-80°C

Drying temp.	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall
50°C	7.13±0.15 ^a	6.50±0.20 ^a	6.87±0.21 ^a	6.63±0.18 ^a	6.57±0.23 ^a	7.23±0.14 ^a
60°C	5.87±0.32 ^b	5.70±0.28 ^b	6.20±0.30 ^{ab}	5.50±0.31 ^b	6.17±0.32 ^a	6.20±0.29 ^b
70°C	6.00±0.21 ^b	5.97±0.26 ^{ab}	6.47±0.24 ^a	5.97±0.24 ^{ab}	6.27±0.27 ^a	6.03±0.24 ^b
80°C	6.03±0.26 ^b	5.77±0.25 ^{ab}	5.63±0.19 ^b	5.50±0.29 ^b	6.83±0.26 ^a	6.23±0.24 ^b

Note: Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different at 95 % confidence level ($p < 0.05$)

หมายเหตุ ระดับคะแนน 1=ไม่ชอบมากที่สุด 2=ไม่ชอบมาก 3=ไม่ชอบปานกลาง 4=ไม่ชอบเล็กน้อย 5=เฉยๆ
6=ชอบเล็กน้อย 7=ชอบปานกลาง 8=ชอบมาก 9=ชอบมากที่สุด

4.4.5 คุณภาพทางจุลินทรีย์

ในการทดลองเลือกกล้วยไข่และกล้วยเล็บมือนางที่อุณหภูมิ 80°C มาทำการทดสอบคุณภาพทางจุลินทรีย์ผลแสดงดังตารางที่ 4.15-4.16 พบว่าผลการวิเคราะห์ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มพช 112/2546

ตารางที่ 4.15 ค่า water activity ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด เอสเชอริเชียโคไล สตาฟีโลค็อกคัส ยีสต์ และราของกล้วยไข่ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้มที่อุณหภูมิ 80°C

รายการ	วิธีทดสอบ	ผลทดสอบ (หน่วย)	เกณฑ์มาตรฐาน มพช. 112/2546
a_w	Water Activity Meter : Aqualab	0.651	< 0.75
Total viable count	AOAC	9.4×10^2 CFU/g	$< 1 \times 10^3$ CFU/g
Yeast & Mold count	AOAC	10 CFU/g	$< 1 \times 10^2$ CFU/g
<i>Staphylococcus aureus</i>	BAM 2001	<3 MPN/g	<3 MPN/g
<i>Escherichia coli</i>	BAM 2002	<3 MPN/g	<3 MPN/g

ตารางที่ 4.16 ค่า water activity ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด เอสเชอริเชียโคไล สตาฟีโลค็อกคัส ยีสต์ และราของกล้วยเล็บมือนางอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้มที่อุณหภูมิ 80°C

รายการ	วิธีทดสอบ	ผลทดสอบ (หน่วย)	เกณฑ์มาตรฐาน มพช. 112/2546
a_w	Water Activity Meter : Aqualab	0.67	< 0.75
Total viable count	AOAC	2.6×10^3 CFU/g	$< 1 \times 10^3$ CFU/g
Yeast & Mold count	AOAC	10 CFU/g	$< 1 \times 10^2$ CFU/g
<i>Staphylococcus aureus</i>	BAM 2001	<3 MPN/g	<3 MPN/g
<i>Escherichia coli</i>	BAM 2002	<3 MPN/g	<3 MPN/g

หมายเหตุ : Colony forming unit เรียกว่า CFU เป็นหน่วยที่ได้จากวิธีตรวจนับปริมาณจุลินทรีย์ (microbial population count) เช่น แบคทีเรีย ยีสต์ หรือ รา ที่มีชีวิต ซึ่งเจริญขึ้นมาจากผิวหน้าของอาหารแข็งในจานเลี้ยงเชื้อ โดยเจริญและแบ่งตัวจนเป็นกลุ่มเรียกว่า โคลนีย์ (colony) <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1563/colony-forming-unit-cfu>.

วิธีการวิเคราะห์จุลินทรีย์ในอาหารโดยวิธีการประมาณ (estimation) จำนวนเชื้อในอาหาร ใช้กับอาหารที่มีความหนาแน่นของเชื้อน้อย ใช้ในการตรวจวิเคราะห์จำนวนแบคทีเรีย เช่น คลอริฟอร์ม (coliform) ได้แก่ *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* มีหน่วยเป็น MPN/g หรือ MPN/ml (<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1318/most-probable-number-mpn>.)

4.5 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง

ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง และอัตราการอบแห้ง โดยใช้พลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม แสดงดังตารางที่ 4.17-4.18 พบว่าเมื่ออุณหภูมิของการอบแห้งเพิ่มขึ้น ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งจะลดลง และอัตราการอบแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากการใช้ระยะเวลาในการอบแห้งที่ลดลง

ตารางที่ 4.17 อัตราการอบแห้งและค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งกล้วยไข่อบแห้ง

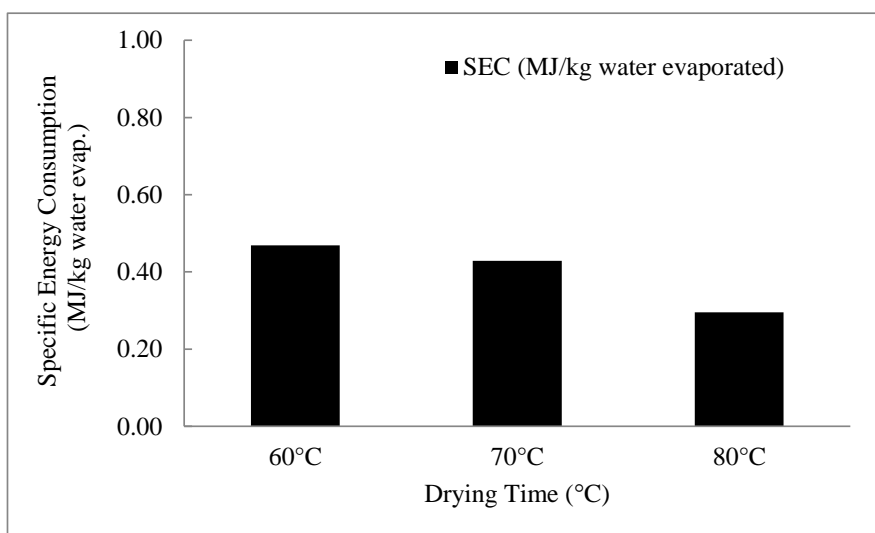
Drying temp.	Drying time (h)	Initial Moisture content (% dry-basis)	Final Moisture content (% dry-basis)	Drying rate (kg/h)	SEC (MJ/kg of water evaporated)
60°C	27	290.58	28.11	15.71	0.4690
70°C	24	290.58	28.36	18.32	0.4290
80°C	20	290.00	28.33	21.44	0.2951

ตารางที่ 4.18 อัตราการอบแห้งและค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง

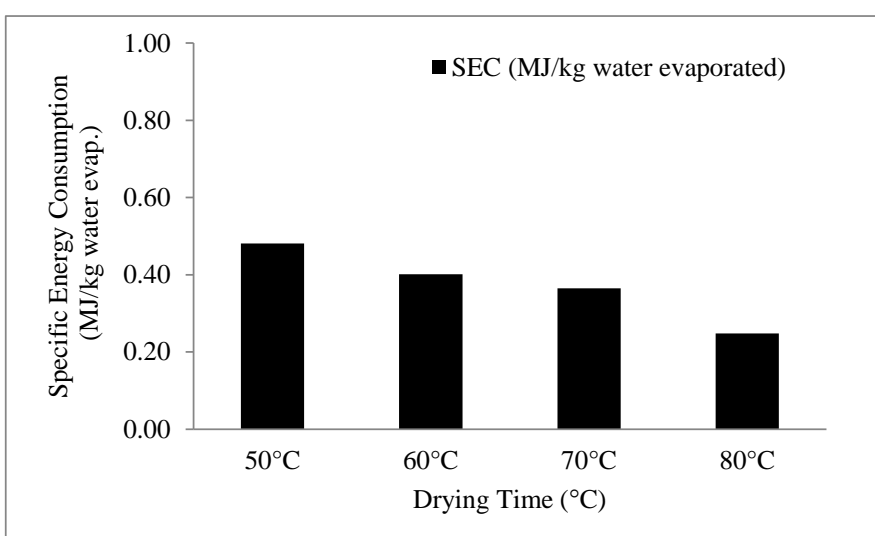
Drying temp.	Drying Time (h)	Initial Moisture content (% dry-basis)	Final Moisture content (% dry-basis)	Drying rate (kg/h)	SEC (MJ/kg of water evaporated)
50°C	19.18	310.13	25.78	21.54	0.4814
60°C	15.17	300.24	26.56	26.74	0.4015
70°C	14.5	287.21	25.29	27.36	0.3648
80°C	10.5	300.28	24.55	41.63	0.2483

จากภาพประกอบที่ 4.12 (ก-ข) แสดงค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนจากแก๊สหุงต้ม การอบแห้งกล้วยไข่ในช่วงอุณหภูมิ 60-80°C มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลง อยู่ในช่วง 0.469, 0.429 และ 0.295 เมกะจูลต่อกิโลกรัมของน้ำที่ระเหย ตามลำดับ และสำหรับการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางในช่วงอุณหภูมิ 50-80°C มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะอยู่ในช่วง 0.481, 0.402, 0.365 และ 0.248 เมกะจูลต่อกิโลกรัมของน้ำที่

ระเหย ตามลำดับ พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจะลดลง เนื่องจากมีอัตราการอบแห้งที่เร็วขึ้น สำหรับอัตราการอบแห้งกล้วยไข่ อยู่ในช่วง 15.71, 18.32 และ 21.44 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนอัตราการอบแห้งกล้วยเล็บมือนาง อยู่ในช่วง 21.54, 26.74, 27.36 และ 41.63 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิการอบแห้งด้วยก๊าซหุงต้มที่เพิ่มขึ้น พบว่าความร้อนจากก๊าซหุงต้ม ส่งผลให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลง แสดงข้อมูล ดังตารางที่ 4.12 (ก-ข)



ภาพประกอบที่ 4.12 (ก) ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งกล้วยไข่ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม



ภาพประกอบที่ 4.12 (ข) ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม

4.6 เก็บรักษากล้วยไข่

เก็บรักษากล้วยไข่อบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C โดยใช้บรรจุภัณฑ์ 4 ชนิด ได้แก่ บรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิด Polyethylene terephthalate/Polyethylene (PET/PE) ชนิด Polyethylene Terephthalate (PET) ชนิด Nylon Linear low-density polyethylene (Nylon/LLDPE) และชนิด Oriented Polypropylene (OPP) โดยทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C และอุณหภูมิแวดล้อม

4.6.1 การทดสอบคุณภาพทางกายภาพ

4.6.1.1 การทดสอบค่าสี

ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.19-4.22 ซึ่งข้อมูลทำการวิเคราะห์ด้วย ANOVA จะเปรียบเทียบทุกชนิดของบรรจุภัณฑ์ ทุกระยะเวลาและอุณหภูมิการเก็บรักษาของการทดลอง

จากผลการทดลอง พบว่า การเก็บรักษากล้วยไข่อบแห้งด้วยอุณหภูมิตั้งที่ 80°C ในบรรจุภัณฑ์ ชนิด PET/PE ชนิด Nylon/LLDPE ชนิด OPP และ ชนิด PET พบว่าบรรจุภัณฑ์ทั้งสี่ชนิดมีการเปลี่ยนแปลงในแนวทางเดียวกัน โดยมีค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) มีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่ลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นจากเวลา 0 วัน เป็น 45 วัน และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) และค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของกล้วยไข่อบแห้งที่เก็บรักษาที่สภาวะแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าสีของกล้วยไข่อบแห้งที่เก็บรักษาที่สภาวะ 5°C โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิและแสงสว่างในสภาพแวดล้อมจะมีผลทำให้มีการเสื่อมสภาพของสีเร็วกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 5°C อธิบายได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ดังนั้นการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำจะชะลอการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ช้าลง (รุ่งทิพย์, 2549) และการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ในถุงสุญญากาศ ชนิด Nylon/LLDPE อุณหภูมิการเก็บรักษา 5°C ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงค่าสีได้ดีกว่าบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่น เนื่องจากการบรรจุในถุงสุญญากาศชนิด PET ชนิด PET/PE และชนิด OPP ป้องกันการซึมของอากาศซึมผ่านได้ไม่ดี เมื่ออากาศซึมผ่านเข้าไปได้มาก จะทำให้เกิดการเร่งของการเปลี่ยนแปลงสีของกล้วยไข่อบแห้งให้เข้มขึ้น โดยค่าสีในบรรจุภัณฑ์ชนิด PET ชนิด PET/PE และชนิด OPP มีสีของกล้วยไข่อบแห้งที่เข้มมากกว่า (ปุ่น และสมพร, 2541) ส่วนบรรจุภัณฑ์ชนิด Nylon/LLDPE มีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดี จึงลดอัตราการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจน ซึ่งเป็นสาเหตุการเกิดสีน้ำตาลของกล้วยไข่อบแห้งมากกว่าบรรจุภัณฑ์ ชนิด PET ชนิด PET/PE และชนิด OPP ตามลำดับ (ศรีรินญา และคณะ, 2553)

ตารางที่ 4.19 ค่าสีของกล้วยไข่อบแห้ง 80 °C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene/terephthalate /Polyethylene (PET/PE) ที่ระยะเวลาและอุณหภูมิการเก็บรักษาต่าง ๆ

Time (day)	L*	a*	b*	ΔE^*
Storage temperature : Ambient				
0	14.99±0.39 ^a	2.63±0.25 ^a	7.0183±0.47 ^a	0 ^k
15	13.87±0.30 ^{cdef}	1.42±0.12 ^{efgh}	2.82±0.54 ^{efghij}	4.55±0.56 ^{defg}
30	12.71±0.13 ^{jk}	1.31±0.09 ^{fghi}	2.37±0.14 ^{hij}	5.35±0.18 ^{abc}
45	12.00±0.02 ^l	1.20±0.02 ^{hi}	2.45±0.03 ^{hij}	5.65±0.03 ^{ab}
Storage temperature : 5°C				
0	14.99±0.39 ^a	2.63±0.25 ^a	7.0183±0.47 ^a	0 ^k
15	13.77±0.19 ^{cdefg}	1.45±0.05 ^{efgh}	3.47±0.17 ^{cdef}	3.96±0.21 ^{fgh}
30	12.88±0.13 ^{ijk}	1.23±0.11 ^{hi}	2.27±0.21 ^{ij}	5.39±0.23 ^{abc}
45	12.35±0.16 ^{kl}	1.19±0.11 ^{hi}	2.22±0.44 ^j	5.70±0.38 ^{ab}

Note: Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different at 95 % confidence level ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.20 ค่าสีของกล้วยไข่อบแห้ง 80 °C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Nylon Linear Low Density Polyethylene (Nylon/LLDPE) ที่ระยะเวลาและอุณหภูมิการเก็บรักษาต่าง ๆ

Time (day)	L*	a*	b*	ΔE^*
Storage temperature : Ambient				
0	14.99±0.39 ^a	2.63±0.25 ^a	7.0183±0.47 ^a	0 ^k
15	14.92±0.14 ^a	1.62±0.07 ^{def}	4.60±0.05 ^b	2.65±0.07 ^j
30	13.75±0.22 ^{cdefg}	1.63±0.06 ^{def}	4.52±0.13 ^b	3.01±0.14 ^{ij}
45	13.07±0.11 ^{ghijk}	1.56±0.09 ^{defg}	3.19±0.38 ^{defgh}	4.45±0.32 ^{efg}
Storage temperature : 5°C				
0	14.99±0.39 ^a	2.63±0.25 ^a	7.0183±0.47 ^a	0 ^k
15	14.40±0.47 ^{abc}	2.13±0.16 ^b	4.74±0.09 ^b	2.66±0.09 ^j
30	14.16±0.14 ^{bcde}	1.92±0.12 ^{bc}	4.21±0.10 ^{bc}	2.89±0.14 ^{ij}
45	13.61±0.22 ^{efgh}	1.78±0.13 ^{cd}	3.64±0.09 ^{cde}	3.80±0.08 ^{gh}

Note: Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different at 95 % confidence level ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.21 ค่าสีของกล้วยไข่อบแห้ง 80 °C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Oriented Polypropylene (OPP) ที่ระยะเวลาและอุณหภูมิการเก็บรักษาต่างๆ

Time (day)	L*	a*	b*	ΔE^*
Storage temperature : Ambient				
0	14.99±0.39 ^a	2.63±0.25 ^a	7.0183±0.47 ^a	0 ^k
15	13.69±0.32 ^{cdefg}	1.28±0.03 ^{ghi}	3.33±0.29 ^{cdefg}	4.18±0.35 ^{efgh}
30	13.50±0.14 ^{efghi}	1.41±0.11 ^{efghi}	3.05±0.30 ^{efghij}	4.42±0.33 ^{efg}
45	12.96±0.07 ^{hijk}	1.09±0.04 ^g	2.19±0.10 ^j	5.46±0.11 ^{abc}
Storage temperature : 5°C				
0	14.99±0.39 ^a	2.63±0.25 ^a	7.0183±0.47 ^a	0 ^k
15	14.20±0.15 ^{bcde}	1.40±0.07 ^{efghi}	3.56±0.10 ^{cdef}	3.78±0.11 ^{gh}
30	12.75±0.12 ^{jk}	1.20±0.06 ^{hi}	2.48±0.19 ^{hij}	5.27±0.21 ^{abcd}
45	11.94±0.08 ^l	1.15±0.04 ^{hi}	2.23±0.11 ^j	5.87±0.12 ^a

Note: Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different at 95 % confidence level (p<0.05)

ตารางที่ 4.22 ค่าสีของกล้วยไข่อบแห้ง 80 °C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene terephthalate (PET) ที่ระยะเวลาและอุณหภูมิการเก็บรักษาต่าง ๆ

Time (day)	L*	a*	b*	ΔE^*
Storage temperature : Ambient				
0	14.99±0.39 ^a	2.63±0.25 ^a	7.0183±0.47 ^a	0 ^k
15	14.14±0.10 ^{cde}	1.32±0.05 ^{fghi}	3.33±0.05 ^{defg}	4.02±0.05 ^{fgh}
30	14.31±0.17 ^{abcd}	1.32±0.03 ^{fghi}	3.09±0.32 ^{efghi}	4.22±0.32 ^{efgh}
45	13.39±0.14 ^{fghij}	1.38±0.07 ^{fghi}	2.73±0.23 ^{ghij}	4.76±0.24 ^{cdef}
Storage temperature : 5°C				
0	14.99±0.39 ^a	2.63±0.25 ^a	7.0183±0.47 ^a	0 ^k
15	14.72±0.53 ^{ab}	1.65±0.06 ^{cde}	3.99±0.53 ^{bcd}	3.45±0.49 ^{hi}
30	13.71±0.14 ^{cdefg}	1.33±0.05 ^{fghi}	3.38±0.19 ^{def}	4.07±0.23 ^{fgh}
45	12.94±0.20 ^k	1.25±0.02 ^{ghi}	2.78±0.08 ^{efghij}	4.92±0.15 ^{bcde}

Note: Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different at 95 % confidence level (p<0.05)

4.6.1.2 ผลการทดสอบทางด้านเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่

ค่าเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่ในบรรจุภัณฑ์ 4 ชนิด ที่ระยะเวลาและอุณหภูมิการเก็บรักษาต่าง ๆ ผลการทดลองแสดงดังตาราง 4.23-4.26 ซึ่งข้อมูลที่ทำกรวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสถิติ จะเปรียบเทียบทุกชนิดของบรรจุภัณฑ์ ทุกระยะเวลาและอุณหภูมิการเก็บรักษาของการทดลอง

จากตารางที่ 4.23-4.26 พบว่า การเก็บรักษากล้วยไข่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 80°C ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0-45 วัน ที่อุณหภูมิแวดล้อมและอุณหภูมิ 5°C พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น 0 วัน เป็น 45 วัน ในบรรจุภัณฑ์ ชนิด PET/PE ชนิด Nylon/LLDPE ชนิด OPP และ ชนิด PET ค่าแรงเคี้ยวและค่าความเหนียวของกล้วยไข่อบแห้งจะมีค่าลดลง โดยการเก็บรักษาที่สภาวะแวดล้อมจะมีแนวโน้มลดลงมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C เนื่องจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิมีผลทำให้น้ำตาลที่อยู่ภายในกล้วยละลายออกมา เมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยไข่อบแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C รวมทั้งพบว่า บรรจุภัณฑ์ ชนิด Nylon/LLDPE เป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีการลดลงของค่าแรงเคี้ยวและค่าความเหนียวของกล้วยไข่อบแห้งช้าที่สุด เมื่อเทียบกับที่เวลาเริ่มต้น (0 วัน) และเมื่อเปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์ชนิด PET (บรรจุภัณฑ์ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดี) ชนิด PET/PE และบรรจุภัณฑ์ชนิด OPP (บรรจุภัณฑ์เนื้อฟิล์มที่มีรูพรุนมากกว่าบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่นๆ) ซึ่งบรรจุภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิดที่เหลือจะมีการลดลงของค่าแรงเคี้ยวและค่าความเหนียวที่มากกว่าหรือเร็วกว่า เมื่อเทียบกับที่เวลาเริ่มต้น (0 วัน)

แสดงว่าบรรจุภัณฑ์ที่เก็บรักษากล้วยไข่อบแห้งอุณหภูมิ 80°C ที่ยังคงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสได้ดีที่สุด คือ บรรจุภัณฑ์ชนิด Nylon/LLDPE ที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 5°C และอุณหภูมิแวดล้อม

ตารางที่ 4.23 ค่าเนื้อสัมผัสของกล้วยไซบอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene terephthalate/ Polyethylene (PET/PE) ที่ระยะเวลาและอุณหภูมิการเก็บรักษา 0-45 วัน

Time (Day)	Shear Force (N)	Toughness (N.s)
Storage temperature : Ambient		
0	56.77±2.49 ^{abc}	180.52±6.85 ^a
15	59.07±0.42 ^{ab}	134.84±13.76 ^{cdefg}
30	53.35±1.19 ^{cdef}	128.39±5.76 ^{efg}
45	47.67±0.93 ^{ij}	126.49±7.32 ^{efg}
Storage temperature : 5°C		
0	56.77±2.49 ^{abc}	180.52±6.85 ^a
15	55.98±0.66 ^{abcd}	152.55±7.28 ^{de}
30	51.03±2.32 ^{efghij}	148.68±10.74 ^{cdef}
45	48.81±0.64 ^{ghij}	126.88±8.33 ^{defg}

ตารางที่ 4.24 ค่าเนื้อสัมผัสของกล้วยไซบอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Nylon Linear Low Density Polyethylene (Nylon/LLDPE) ที่ระยะเวลาและอุณหภูมิการเก็บรักษา 0-45 วัน

Time (Day)	Shear Force (N)	Toughness (N.s)
Storage temperature : Ambient		
0	56.77±2.49 ^{abc}	180.52±6.85 ^a
15	57.09±0.77 ^{abc}	178.46±3.49 ^{ab}
30	54.82±1.08 ^{bcdef}	156.97±2.39 ^{abc}
45	52.29±0.98 ^{defg}	150.07±3.24 ^{cdef}
Storage temperature : 5°C		
0	56.77±2.49 ^{abc}	180.52±6.85 ^a
15	59.41±1.29 ^a	180.28±5.63 ^a
30	55.79±0.89 ^{abcd}	157.41±3.00 ^{abc}
45	52.48±1.31 ^{defg}	154.98±4.42 ^{bcd}

Note: Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different at 95 % confidence level ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.25 ค่าเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Oriented Polypropylene (OPP) ที่ระยะเวลาและอุณหภูมิการเก็บรักษา 0-45 วัน

Time (Day)	Shear Force (N)	Toughness (N.s)
Storage temperature : Ambient		
0	56.77±2.49 ^{abc}	180.52±6.85 ^a
15	58.31±0.52 ^{ab}	128.09±5.84 ^{efg}
30	53.76±0.79 ^{cdef}	125.43±9.30 ^{fg}
45	48.48±1.90 ^{ghij}	124.54±4.00 ^{fg}
Storage temperature : 5°C		
0	56.77±2.49 ^{abc}	180.52±6.85 ^a
15	58.08±0.51 ^{ab}	130.02±8.23 ^{defg}
30	51.89±0.98 ^{defgh}	125.54±5.17 ^{fg}
45	47.77±0.94 ^{hij}	127.26±13.03 ^{efg}

Note: Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different at 95 % confidence level ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.26 ค่าเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene terephthalate (PET) ที่ระยะเวลาและอุณหภูมิการเก็บรักษา 0-45 วัน

Time (Day)	Shear Force (N)	Toughness (N.s)
Storage temperature : Ambient		
0	56.77±2.49 ^{abc}	180.52±6.85 ^a
15	55.47±1.62 ^{abcd}	129.09±8.95 ^{efg}
30	51.82±1.88 ^{defghi}	125.36±9.02 ^{fg}
45	47.29±1.65 ^j	116.27±8.25 ^{efg}
Storage temperature : 5°C		
0	56.77±2.49 ^{abc}	180.52±6.85 ^a
15	58.26±0.69 ^{ab}	152.06±10.29 ^{cde}
30	55.08±0.99 ^{bcde}	146.95±6.15 ^{cdef}
45	50.73±1.75 ^{fghij}	131.05±8.11 ^g

Note: Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different at 95 % confidence level ($p < 0.05$)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการวิจัยนี้จึงได้ศึกษาแนวทางการอบแห้งกล้วยเล็บมือนาง และกล้วยไข่ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม การอบแห้งกล้วยเล็บมือนางอบแห้งในช่วงอุณหภูมิ 50-80°C การอบแห้งกล้วยไข่อบแห้งในช่วงอุณหภูมิ 60-80°C และพิจารณาคุณภาพของกล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่ภายหลังการอบแห้ง รวมทั้งศึกษาหาความขึ้นสมมูลของกล้วยทั้งสองสายพันธุ์ สำหรับกล้วยไข่อบแห้ง ได้ศึกษาบรรจุภัณฑ์ที่ส่งผลต่อคุณภาพของกล้วยไข่อบแห้งด้วย จากผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

1. ความขึ้นสมมูลที่เหมาะสมของกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง และกล้วยไข่ จากผลการทดลองพบว่า เมื่อทำการวิเคราะห์หารูปแบบสมการที่เหมาะสมกับค่าความขึ้นสมมูลของกล้วยเล็บมือนาง และกล้วยไข่ด้วยโปรแกรมคำนวณทางสถิติ ได้ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองทั้ง 6 พบว่าแบบจำลองของ Modified Halsey และ Modified Oswin ตามลำดับ นั้นให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลองมากที่สุด เนื่องจากมีค่า R^2 สูงที่สุด และค่า RMSE, SEE และ Chi-square ต่ำที่สุด
2. ผลการทดลองการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม พบว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มขึ้นอัตราการลดความขึ้นของกล้วยจะลดลง และพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลสูงขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงขึ้น
3. คุณภาพของกล้วยเล็บมือนางอบแห้งและกล้วยไข่ ได้แก่ คุณภาพการหดตัว (กล้วยไข่ไม่ได้ทำการวัดการหดตัว) คุณภาพสี ลักษณะเนื้อสัมผัส ประสาทสัมผัส คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงขึ้น การหดตัวของกล้วยเล็บมือนางเพิ่มขึ้น สีของกล้วยทั้งสองสายพันธุ์มีการเปลี่ยนแปลงเป็นสีน้ำตาลเข้มขึ้น ด้านเนื้อสัมผัสเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นจะทำให้ค่าความแข็งที่สูงขึ้น จะมีค่าแรงเฉือน (Shear force) และความเหนียว (Toughness) เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งสูงจะทำให้น้ำตาลที่อยู่ภายในเนื้อกล้วยหนีดและเหนียวขึ้น ด้านค่าประสาทสัมผัสโดยผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าความยอมรับโดยรวมของกล้วยอบแห้ง อยู่ในระดับปานกลาง และด้านคุณภาพทางจุลินทรีย์ของกล้วยทั้งสองสายพันธุ์ผ่านเกณฑ์มาตรฐานชุมชน
4. ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง และอัตราการอบแห้ง โดยใช้พลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง และอัตราการอบแห้ง โดยใช้พลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม พบว่าเมื่ออุณหภูมิของการอบแห้งเพิ่มขึ้น ค่าความ

สิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งจะลดลง และอัตราการอบแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการอบแห้งที่ลดลง

5. ผลการศึกษาการเก็บรักษากล้วยไข่อบแห้ง (อุณหภูมิอบแห้ง 80°C) จากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านสีและลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษากล้วยไข่อบแห้งเพิ่มขึ้น ค่าสี ความสว่าง (L^*) ความเป็นสีเหลือง (b^*) และค่าความเป็นสีแดง (a^*) มีค่าลดลง โดยบรรจุภัณฑ์ชนิด Nylon Linear Low Density Polyethylene (Nylon/LLDPE) ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C มีการเปลี่ยนแปลงค่าสีน้อยที่สุด และเมื่อพิจารณาต้านเนื้อสัมผัส พบว่าค่าแรงเฉือน (Shear force) และความเหนียว (Toughness) มีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น โดยบรรจุภัณฑ์ชนิด Nylon Linear Low Density Polyethylene (Nylon/LLDPE) ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C และที่อุณหภูมิแวดล้อม มีการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงเฉือน (Shear force) และความเหนียว (Toughness) น้อยหรือซ้ำที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรศึกษาการบรรจุภัณฑ์รูปแบบอื่น ๆ เพิ่มเติม เพื่อให้ได้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม ทนสมัย และสามารถเก็บรักษาได้นานมากกว่า 45 วัน
- 2) ควรศึกษาเพิ่มเติมด้านการทดสอบทางประสาทสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง หลังการเก็บรักษา

บรรณานุกรม

- โกวิทย์ กางนอก และ มาระตรี เปลี่ยนศิริชัย. 2553. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสี องค์ประกอบทางเคมี และคุณภาพการบริโภคของกล้วยหอมทองในระหว่างการเก็บรักษา. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 41(1): 153-155.
- จารุวรรณ กุลวิศวะ, สมเกียรติ ปรัชญาวารากร และ สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. 2550. ผลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อสารระเหยง่ายและคุณภาพทางกายภาพในกล้วยแผ่น. วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 30(4): 611-621.
- ชมพูนุช โสมาลย์, จิรกิตติ บุญสมาน และ ธัญลักษณ์ ธนังธีรพงษ์. 2555. การศึกษากรรมวิธีการผลิต และการยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อมะม่วงของชุมชนชาวประมงอำเภอลิเกา จังหวัดตรัง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 43(3): 347-350
- ชนันท์ ราชภูมิยม และสุนทร สืบคำ. 2555. การหาไอโซเทอมความชื้นของวัสดุที่แลกเปลี่ยนความชื้นได้ดี. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. (18)1: 43-51.
- โชติพงศ์ กาญจนประโชติ. 2556. รายงานวิจัยการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลผลิตมะแขว่นหลังจากการอบแห้ง. สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยแม่โจ้. 1-38.
- ณัฐพงศ์ รัตนเดช, กิตติวุฒิ จันเปี่ยม นีรัตศัย เข็มบุปผา และ พนิดา ครรชิตชัยวาร. 2012. ตู้อบลมร้อนร่วมไมโครเวฟสำหรับอบกล้วยเล็บมือนาง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 43(3): 220-223.
- ทวิวัฒน์ สุภารส, เอกชัย รัตนบรรลือ และ อนุรักษ์ ตรีเพชร. บทเรียนบทเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เรื่องการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม. ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง. เข้าถึงได้จาก: http://mte.kmutt.ac.th/elearning/Energy_Conservation_in_Industrial_Plant/table/table5.html. (สืบค้นเมื่อ 15 พฤศจิกายน 2559).
- นิคม วงศ์นันตา. 2557. กล้วยเล็บมือนาง. ฐานข้อมูลพันธุ์พืชและพันธุ์สัตว์มหาวิทยาลัยแม่โจ้. เข้าถึงได้จาก: <http://portal.rae.mju.ac.th/dbplant/index.php/horticulture/item/banana-d>. (สืบค้นเมื่อ 7 กันยายน 2559).
- เบญจมาศ ศิลาอ้อย. 2545. กล้วย. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- เบญจมาศ ศิลาอ้อย, ฉลองชัย แบบประเสริฐ และ กัลยาณี สุวิทวัส, 2551. กล้วยไข่เกษตรศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 2. คู่มือการปลูกและการดูแล.
- ปูน คงเจริญเกียรติ และ สมพร คงเจริญเกียรติ. 2541. การบรรจุภัณฑ์อาหาร. กรุงเทพฯ. 275.
- ปุยฝ้าย นิตยสารธรรมลีลา. 2558. กล้วยไข่ช่วยป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระฉบับที่ 169 มกราคม.
- พรพรรณ รพี. 2530. ตารางแสดงคุณค่าอาหารไทยของกองโภชนาการกรมอนามัย. เข้าถึงได้จาก: http://www.booktime.co.th/new/article_detail.php?t_id=1403000022#.Wjty59Jl_IU (สืบค้นเมื่อ 7 กันยายน 2559).

- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction). เข้าถึงได้จาก: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0397/maillard-reaction>. (สืบค้นเมื่อ 15 สิงหาคม 2560)
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. Colony forming unit / cfu. เข้าถึงได้จาก : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1563/colony-forming-unit-cfu>. (สืบค้นเมื่อ 15 สิงหาคม 2560)
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. Most probable number / MPN. เข้าถึงได้จาก: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1318/most-probable-number-mpn>. (สืบค้นเมื่อ 15 สิงหาคม 2560)
- รุ่งทิพย์ วงศ์ต่อม. 2549. การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในกระบวนการอบแห้งลำไย (*Euphoria longana* Lam.) แบบแห้งผล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- ฤดี นิยมรัตน์. 2555. เตาตาลประหยัดพลังงานจากวัตุดิบในท้องถิ่น อำเภอบางคนที จังหวัดสมุทรสงคราม. รายงานการวิจัย. คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.
- วสันต์ จินธาดา และ พรชัย เพชรสงคราม. 2556. แบบจำลองความชื้นสมดุลสำหรับกล้วยน้ำว้า. วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 40(2): 193-202.
- ศจี สุวรรณศรี, ปุณชริกา รัตนตรัยวงศ์, ปรีตา ธนสุกาญจน์, ณัฐิมา ปัญจมาภิรมย์ และ ศรินันท์ แก้วทวนงค์. 2554. ผลของระยะเวลาการเก็บต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพของข้าวหอมพิจิตรในบรรจุภัณฑ์ทางการค้า 2 ชนิด. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 42(3): 396-399.
- ศรินญา สังข์สัญญา, นุรฮูดา กามะ, ณัฐนันท์ วรรณกุล และ มุทิตา มีนุ่น. 2553. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพพลองกองเพื่อการส่งออกระหว่างเก็บรักษาโดยใช้อุณหภูมิต่ำร่วมกับบรรจุภัณฑ์. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 41(1): 145-148.
- สมชาติ โสภณธณฤทธิ. 2540. การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. พิมพ์ครั้งที่ 7. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 251-268.
- สุภวรรณ ภูริระวิชย์กุล, กนกพร นนทะสร และ จุฑาวดี สร้อยสุนทร. 2558. การอบแห้งกล้วยเล็บมือนางด้วยพลังงานความร้อนจาก LPG. วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สุภวรรณ ภูริระวิชย์กุล, สากีนา ลาแมปะ และ ยุทธนา ภูริระวิชย์กุล. 2555. การอบแห้งขนุนด้วยพลังงานความร้อนร่วมของรังสีอินฟราเรด/ไมโครเวฟ และลมร้อน: จลนพลศาสตร์คุณภาพและการทดสอบประสาทสัมผัส. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 17(1): 117-129.
- แสงทอง พงษ์เจริญกิต. 2554. Genome project. สาขาวิชาพันธุศาสตร์คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- เสาวลักษณ์ วิเศษศรี และ วรนุช ศรีเกษภูรักษ์. 2550. กระบวนการผลิตคาราเมลเพื่อให้ได้คาราเมลชนิดที่ 4 ที่มีคุณสมบัติ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 38(6): 95-98.

- สำนักงานนโยบาย และแผนพัฒนากระทรวงพลังงาน. 2551. ก๊าซ LPG พลังงานสำหรับการหุงต้ม. เข้าถึงได้จาก: <http://www.eppo.go.th/encon/> Publication. (สืบค้นเมื่อ 7 กันยายน 2559)
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2546. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนกล้วยอบ 112/2546. หลิน กิจพิพิธ, ไพรัตน์ โสภโณตร, ศุภชัย ภิสิทธิ์เพ็ญ และ อัญชลี ศิริโชติ. 2551. ผลของบรรยากาศ ด้แปลง และบรรจุภัณฑ์ต่อการยืดอายุการเก็บรักษาผลมังคุดสดตัดแต่งพร้อมบริโภค (มังคุดคัด). วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 39(3): 269-274.
- อภิธา บุญศิริ, จิตติมา จิระโพธิธรรม, ยุพิน อ่อนศิริ, สมนึก ทองบ่อ, อนงค์นาฏ สมหวังธนโรจน์ และ พิษณุ บุญศิริ. 2555. การใช้ฟิล์มบรรจุภัณฑ์พอลิเมอร์คอมพอสิตในการรักษาคุณภาพและ ยืดอายุการเก็บรักษาผลมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 43(3): 288-291.
- อัจฉรา แซ่ไคว้, สุภวรรณ ภูริระวณิชย์กุล และ ยุทธนา ภูริระวณิชย์กุล. 2556. ปัจจัยของการอบแห้ง ด้วยแหล่งพลังงานความร้อนแบบการพาและการแผ่รังสีความร้อนที่มีต่อจลนพลศาสตร์ และคุณภาพของพริกไทยดำ. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 18(1): 166-180.
- Ali, Z., Zahra, K. and Leila, M. 2011. Determination of EMC isotherms and appropriate mathematical models for canola. *Journal of Food and Bioproducts Processing*. 89: 407-413.
- Alibas, I. 2014. Microwave, Air and combined microwave-air drying of grape leaves (*Vitis vinifera* L.) and the determination of some quality parameters. *International Journal of Food Engineering*. 10(1): 69-88.
- AOAC. 2000. Official Method of Analysis, 16th ed, The Association of Official Analytical Chemists. Inc. Arlington, Virginia, USA.
- Brunauer, S., Emmett, P. H. and Teller, E. 1938. Adsorption of gases in multimolecular layers. *Journal of the American Chemical Society*. 60(2): 309-319.
- Castillo, M.D., Martinez, E.J., Gonzalez, H.H.L., Pacin, A.M. and Resnik, S.L. 2003. Study of mathematical models applied to sorption isotherms of Argentinean black bean varieties. *Journal of Food Engineering*. 60: 343-348.
- Chen, C. and Jayas, D.S. 1998. Evaluation of the GAB equation for the isotherms of agricultural products. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 41: 1755-1760.
- Chung, D.S. and Pfost, H.B. 1967. Adsorption and desorption of water vapor by cereal grains and their products. *Transactions of the ASAE*. 10(4): 549-557.
- Crank, J. 1975. *The mathematics of diffusion*, 2nd ed. J.W. Arrowsmith LTD., Bristol, England. 44-68.

- Cortés, F.B., Chejne, F. 2010. A rapid and novel approach for predicting water sorption isotherms and isosteric heats of different meat types. *Meat Science*. 86: 921-925.
- Demirhan, E. and Ozbek, B. 2011. Thin-layer drying characteristics and modeling of celery leaves undergoing microwave treatment. *Chemical Engineering Communications*. 7(198): 957-975.
- Diamante, L.M. and Munro, P.A. 1991. Mathematical modeling of hot air drying of sweet potato slices. *International Journal of Food Science and Technology*. 26: 99.
- Halsey, G. 1948. Physical adsorption on non-uniform surface. *Journal of Chemical Physics*. 16: 83-92.
- Hatamipour, M.S. and Mowla, D. 2003. Correlations for shrinkage, density and diffusivity for drying of maize and green peas in a fluidized bed with energy carrier. *Journal of Food Engineering*. 59: 221-227.
- Henderson, S.M. 1952. A basic concept of equilibrium moisture. *Agricultural Engineering Journal*. 3: 29-32.
- Henderson, SM. 1974. Progress in developing the thin layer drying equation. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 17: 1167-8.
- Ibrahim, D. 2011. Drying of eggplant slices in thin layers at different air temperatures. *Journal of Food Processing and Preservation*. 35: 280-289.
- Jangam, S. V., Joshi, V. S., Mujumdar, A. S. and Thorat, B. N. 2008. Studies of dehydration of sapota (*Achras zapota*). *Drying Technology*. 26: 369-377.
- Kaletka, A. and Górnicki, K. 2010. Evaluation of drying models of apple (var. McIntosh) dried in a convective dryer. *International Journal of Food Science & Technology*. 45(5): 891-898.
- Kanchana S.W. and Senaratne L.R. 2005. Preservation of Fiber-Rich Banana Blossom as a Dehydrated Vegetable. *Science Asia*. 31: 265-271.
- Karathanos, V.T. 1999. Determination of water content of dried fruits by drying kinetics. *Journal of Food Engineering*. 39: 337-44.
- Karathanos, V.T. and Belessiotis, V.G. 1999. Application of thin-layer equation to drying data of fresh and semi-dried fruits. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 74(4): 355-361.
- Kingsly, R.P., Goyal, R.K., Manikantan, M.R. and Ilyas, S.M. 2007. Effects of pretreatments and drying air temperature on drying behavior of peach slice. *International Journal of Food Science and Technology*. 42: 65-69.

- Konica Minolta. Precise Color Communication. Online education. 2015. <https://symbiosisonlinepublishing.com/dentistry-oraldisorders-therapy/dentistry-oraldisorders-therapy48.php>.
- Luikov, A.V., 1966. Heat and Mass Transfer in Capillary-porous Bodies. Pergamon Press.
- Midilli, A., Kucuk, H. and Yapar, Z. 2002. A new model for single layer drying. Drying Technology. 20(7): 1503-1513.
- Nguyen, M. and Price, W. 2007. Air-drying of banana: Influence of experimental parameters, slab thickness, banana maturity and harvesting season. Journal of Food Engineering. 79. 200–207.
- Oswin, C.R. 1946. The kinetics of package life. III. The isotherms. Journal of Chemical Industry. 65: 419-423.
- Paengkanya, S., Soponronnarit, S. and Nathakaranakule, A. 2015. Application of microwaves for drying of durian chip. Journal of Food and Bioproducts Processing. 96: 1–11
- Pehlivan, D. and Toğrul, I.T. 2004. Modelling of thin layer drying kinetics of some fruits under open-air sun drying process. Journal of Food Engineering. 65(3): 413-425.
- Peleg, M. 1993. Assessment of a semi-empirical four parameter general model for sigmoid moisture sorption isotherms. Journal of Food Processing Engineering. 16(1): 21-37.
- Pfost, H.B., Maurer, S.G., Chung, D.S. and Milliken, G.A., 1976. Summarizing and Reporting Equilibrium Moisture Data for Grains. 76. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph. MI. USA. 3520.
- Plastics Interlligence Unit. เข้าถึงได้จาก: <http://plastic.oie.go.th>. (สืบเมื่อ 20 สิงหาคม 2559).
- Prachayawarakorn, S., Tia, W., Plyto, N. and Soponronnarit, S. 2008. Drying kinetics and quality attributes of low-fat banana slices dried at high temperature. Journal of Food Engineering. 85: 509–517.
- Sandhya. 2010. Modified Atmosphere Packaging of Fresh Produce: Current Status and Future Needs. LWT - Food Science and Technology. 43: 381–392
- Silva, WP., Silva, CMDPS., Sousa, JAR. and Farias, VSO. 2012. Empirical and diffusion models to describe water transport into chickpea (*Cicer arietinum* L.). International Journal of Food Engineering Science Technology. 48(2): 267–273.

- Smith, S.E. 1947. Sorption of wheat vapour by high polymers. *Journal of the American Chemical Society*. 69: 646-651.
- Thuwapanichayanan, R., Prachayawarakorn, S., Kunwisawa, J. and Soponronnarit, S. 2011. Determination of effective moisture diffusivity and assessment of quality attributes of banana slices during drying. *LWT - Food Science and Technology*. 44: 1502-1510.
- Verma, LR., Bucklin, RA., Endan, J. and Wratten, FT. 1985. Effects of drying air parameters on rice drying models. *Trans ASAE*. 28: 296-301.
- Wang, C.Y. and Singh, R.P. 1978. Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying. *Trans. ASAE* 11: 668-672.
- Wilton, P., Cleide, M., Fernando, J. and Josivanda, P. 2014. Mathematical models to describe thin-layer drying and to determine drying rate of whole bananas. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 13: 67-74.

ภาคผนวก ก

ข้อมูลการหาค่าคุณสมบัติทางกายภาพ

ความชื้นสมดุล

1. ความชื้นสมดุล

ตาราง ก-1 ข้อมูลการทดลองหาความชื้นสมดุลของกล้วยไข่ที่อุณหภูมิ 45°C

สารละลายเกลือ อิ่มตัว	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)	น้ำหนักแห้งสุทธิ ก่อนอบ (g)	น้ำหนักแห้งสุทธิ หลังอบ (g)	ความชื้นสมดุล (% dry-basis)
LiCl	0.116	8.96	7.60	17.89
		8.67	7.36	17.80
		9.12	7.83	16.48
CH ₃ COOK	0.231	8.97	7.31	22.71
		9.19	7.49	22.70
		9.33	7.76	20.23
MgCl ₂ .6H ₂ O	0.318	9.57	7.61	25.76
		10.00	7.62	25.71
		9.59	7.62	25.85
Mg(NO ₃).6H ₂ O	0.484	9.18	7.27	26.27
		9.65	7.65	26.14
		9.69	8.40	26.50
NaCl	0.751	9.71	7.44	30.51
		9.72	7.45	30.47
		7.55	6.51	30.62
KNO ₃	0.864	9.72	7.25	34.07
		7.86	5.86	34.13
		8.88	6.62	34.14

ตาราง ก-2 ข้อมูลการทดลองหาความชื้นสมดุลของกล้วยไข่ที่อุณหภูมิ 50°C

สารละลายเกลือ อิ่มตัว	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)	น้ำหนักแห้งสุทธิ ก่อนอบ (g)	น้ำหนักแห้งสุทธิ หลังอบ (g)	ความชื้นสมดุล (% dry-basis)
LiCl	0.115	6.46	5.56	16.19
		6.97	6.00	16.17
		7.39	6.36	16.19
CH ₃ COOK	0.229	7.06	5.83	21.10
		6.74	5.57	21.01
		6.84	5.65	21.06
MgCl ₂ .6H ₂ O	0.315	6.87	5.58	23.12
		6.29	5.11	23.09
		6.93	5.63	23.09
Mg(NO ₃).6H ₂ O	0.470	7.30	5.86	24.57
		6.89	5.53	24.59
		7.29	5.86	24.40
NaCl	0.748	6.56	5.25	24.95
		8.07	6.41	25.90
		6.40	5.08	25.98
KNO ₃	0.849	5.84	4.52	29.20
		6.06	4.69	29.21
		7.64	5.87	30.15

ตาราง ก-3 ข้อมูลการทดลองหาความชื้นสมดุลของกล้วยไข่ที่อุณหภูมิ 55°C

สารละลายเกลือ อิ่มตัว	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)	น้ำหนักแห้งสุทธิ ก่อนอบ (g)	น้ำหนักแห้งสุทธิ หลังอบ (g)	ความชื้นสมดุล (% dry-basis)
LiCl	0.114	7.52	6.49	15.87
		7.61	6.57	15.83
		7.42	6.41	15.76
CH ₃ COOK	0.227	7.45	6.19	20.36
		7.52	6.25	20.32
		7.68	6.38	20.38
MgCl ₂ .6H ₂ O	0.312	7.81	6.43	21.46
		7.64	6.29	21.46
		7.29	6.00	21.50
Mg(NO ₃).6H ₂ O	0.457	7.86	6.40	22.81
		7.76	6.32	22.78
		7.81	6.37	22.61
NaCl	0.744	7.49	6.00	24.83
		7.75	6.21	24.80
		7.82	6.26	24.92
KNO ₃	0.830	7.96	6.26	27.16
		7.99	6.28	27.23
		7.65	6.02	27.08

ตาราง ก-4 ข้อมูลการทดลองหาความชื้นสมดุลของกล้วยไข่ที่อุณหภูมิ 60°C

สารละลายเกลือ อิ่มตัว	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)	น้ำหนักแห้งสุทธิ ก่อนอบ (g)	น้ำหนักแห้งสุทธิ หลังอบ (g)	ความชื้นสมดุล (% dry-basis)
LiCl	0.113	7.46	6.52	14.42
		7.50	6.55	14.50
		7.22	6.30	14.60
CH ₃ COOK	0.225	7.83	6.59	18.82
		7.70	6.5	18.46
		7.78	6.56	18.60
MgCl ₂ .6H ₂ O	0.309	7.54	6.26	20.45
		8.03	6.67	20.39
		8.53	7.08	20.48
Mg(NO ₃).6H ₂ O	0.444	7.55	6.16	22.56
		7.82	6.38	22.57
		7.53	6.14	22.64
NaCl	0.739	7.68	6.21	23.67
		8.00	6.47	23.65
		8.06	6.52	23.62
KNO ₃	0.811	7.41	6.07	22.08
		7.27	5.81	25.13
		8.40	6.72	25.00

2. ความชื้นสมดุลกล้วยเล็บมือนาง

ตาราง ก-5 ข้อมูลการทดลองหาความชื้นสมดุลของกล้วยเล็บมือนางที่อุณหภูมิ 40°C

สารละลายเกลือ อิ่มตัว	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)	น้ำหนักแห้งสุทธิ ก่อนอบ (g)	น้ำหนักแห้งสุทธิ หลังอบ (g)	ความชื้นสมดุล (% dry-basis)
LiCl	0.117	7.23	6.04	19.70
		6.82	5.70	19.65
		18.08	15.09	19.81
CH ₃ COOK	0.233	16.97	14.10	20.35
		5.97	4.96	20.36
		5.38	4.47	20.36
MgCl ₂ .6H ₂ O	0.321	18.35	15.01	22.25
		5.67	4.64	22.20
		5.78	4.80	20.42
Mg(NO ₃).6H ₂ O	0.498	14.40	11.26	27.89
		18.63	14.57	27.87
		5.04	3.95	27.59
NaCl	0.753	18.15	14.03	29.37
		18.51	14.31	29.35
		4.91	3.79	29.55
KNO ₃	0.878	16.23	12.38	31.10
		16.14	12.31	31.11
		18.53	14.14	31.05

ตาราง ก-6 ข้อมูลการทดลองหาความชื้นสมดุลของกล้วยเล็บมือนางที่อุณหภูมิ 45°C

สารละลายเกลือ อิ่มตัว	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)	น้ำหนักแห้งสุทธิ ก่อนอบ (g)	น้ำหนักแห้งสุทธิ หลังอบ (g)	ความชื้นสมดุล (% dry-basis)
LiCl	0.116	10.02	8.46	18.44
		10.40	8.78	18.45
		10.22	8.61	18.70
CH ₃ COOK	0.231	10.15	8.48	19.69
		10.29	8.60	19.65
		8.53	7.11	19.97
MgCl ₂ .6H ₂ O	0.318	10.04	8.31	20.82
		10.72	8.87	20.86
		7.45	6.16	20.94
Mg(NO ₃).6H ₂ O	0.484	9.72	7.72	25.91
		6.91	5.49	25.87
		7.27	5.81	25.13
NaCl	0.751	6.86	5.42	26.57
		7.24	5.72	26.57
		9.69	7.66	26.50
KNO ₃	0.864	8.72	6.75	29.19
		6.95	5.38	29.18
		6.30	5.51	29.22

ตาราง ก-7 ข้อมูลการทดลองหาความชื้นสมดุลของกล้วยเล็บมือนางที่อุณหภูมิ 50°C

สารละลายเกลือ อิ่มตัว	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)	น้ำหนักแห้งสุทธิ ก่อนอบ (g)	น้ำหนักแห้งสุทธิ หลังอบ (g)	ความชื้นสมดุล (% dry-basis)
LiCl	0.115	9.23	7.85	17.58
		10.17	8.65	17.57
		8.67	7.38	17.48
CH ₃ COOK	0.229	8.54	7.21	18.45
		8.33	7.03	18.49
		7.70	6.50	18.46
MgCl ₂ .6H ₂ O	0.315	10.10	8.45	19.53
		10.74	8.87	21.08
		8.53	7.08	20.48
Mg(NO ₃).6H ₂ O	0.470	11.08	9.13	21.36
		11.15	9.19	21.33
		7.81	6.43	21.46
NaCl	0.748	7.72	6.32	22.15
		7.77	6.36	22.17
		7.30	5.98	22.07
KNO ₃	0.849	7.72	6.22	24.12
		7.21	5.81	24.10
		7.73	6.23	24.08

ตาราง ก-8 ข้อมูลการทดลองหาความชื้นสมดุลของกล้วยเล็บมือนางที่อุณหภูมิ 55°C

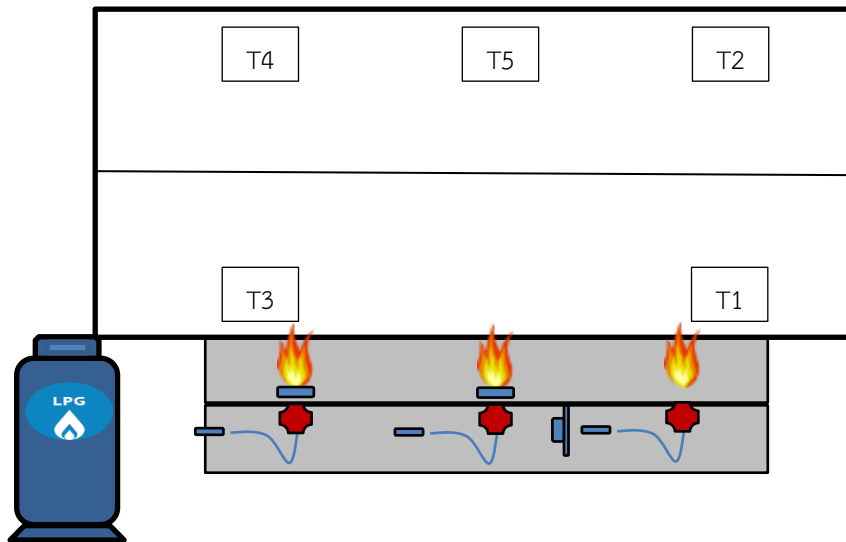
สารละลายเกลือ อิมิตัว	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)	น้ำหนักแห้งสุทธิ ก่อนอบ (g)	น้ำหนักแห้งสุทธิ หลังอบ (g)	ความชื้นสมดุล (% dry-basis)
LiCl	0.114	11.91	10.24	16.31
		11.42	9.82	16.29
		11.45	9.85	16.24
CH ₃ COOK	0.227	11.72	9.94	17.91
		12.50	10.60	17.92
		11.78	9.99	17.92
MgCl ₂ .6H ₂ O	0.312	11.94	10.09	18.33
		13.15	11.11	18.36
		11.98	10.12	18.38
Mg(NO ₃).6H ₂ O	0.457	12.58	10.41	20.85
		12.82	10.61	20.83
		12.27	10.15	20.89
NaCl	0.744	12.76	10.50	21.52
		10.90	8.97	21.52
		10.56	8.69	21.52
KNO ₃	0.830	12.90	10.52	22.62
		12.26	10.00	22.60
		12.12	9.88	22.67

ตาราง ก-9 ข้อมูลการทดลองหาความชื้นสมดุลของกล้วยเล็บมือนางที่อุณหภูมิ 60°C

สารละลายเกลือ อิมิตัว	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)	น้ำหนักแห้งสุทธิ ก่อนอบ (g)	น้ำหนักแห้งสุทธิ หลังอบ (g)	ความชื้นสมดุล (% dry-basis)
LiCl	0.113	9.56	8.36	14.35
		9.09	7.95	14.34
		11.45	10.09	13.48
CH ₃ COOK	0.225	8.85	7.63	15.99
		8.15	7.03	15.93
		7.52	6.49	15.87
MgCl ₂ .6H ₂ O	0.309	9.76	8.39	16.33
		9.53	8.19	16.36
		11.42	9.82	16.29
Mg(NO ₃).6H ₂ O	0.444	10.19	8.61	18.35
		10.24	8.65	18.38
		11.98	10.12	18.38
NaCl	0.739	8.41	7.01	19.97
		9.20	7.67	19.95
		9.09	7.57	20.08
KNO ₃	0.811	8.46	7.03	20.34
		8.77	7.29	20.30
		8.50	7.06	20.40

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการทดลองอบแห้ง



รายละเอียดของเครื่องอบแห้งแบบใช้พลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม

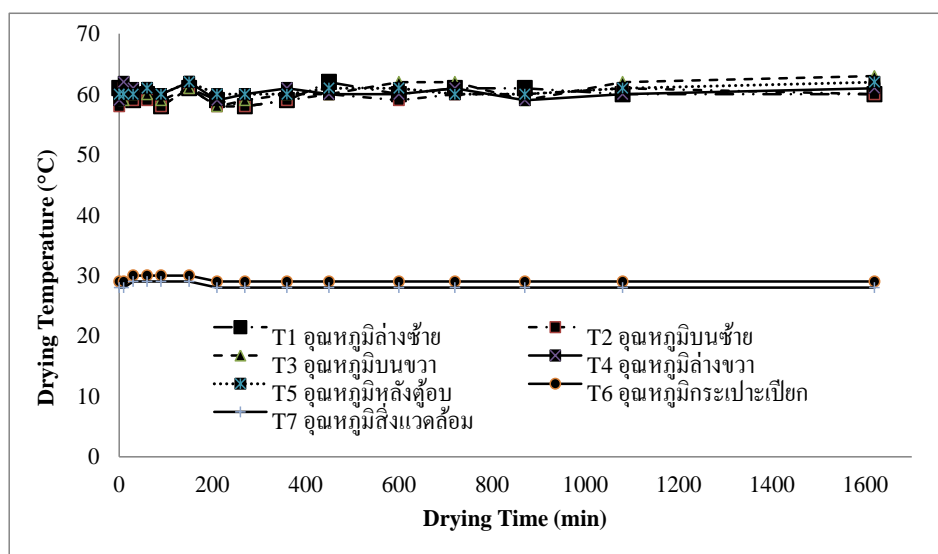
Note	T1	อุณหภูมิล่างซ้าย
	T2	อุณหภูมิบนซ้าย
	T3	อุณหภูมิตั้งกลาง
	T4	อุณหภูมิตั้งขวา
	T5	อุณหภูมิหลังตู้อบ
	T6	อุณหภูมิกะเปาะเปียก
	T7	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

1. ผลการทดลองอบแห้งกล้วยไข่ด้วยพลังงานความร้อนก๊าซหุงต้ม

ตาราง ข-1 ข้อมูลการทดลองอบแห้งกล้วยไข่อุณหภูมิอบแห้ง 60°C ด้วยพลังงานความร้อนจาก
ก๊าซหุงต้ม : ความชื้นสมมูล = 24.84 % dry-basis

Time (min)	Weight (g)	Moisture Content (% dry-basis)	Moisture Ratio	Drying Temperature. (°C)						
				T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T _{db}	T _{wb}
0	1125.00	290.58	1.00	61	58	60	59	60	29	28
10	1122.00	289.54	1.00	60	61	59	62	60	29	28
30	1100.00	281.90	0.97	59	59	60	61	60	30	29
60	1065.22	269.82	0.93	60	59	60	61	61	30	29
90	1032.36	258.41	0.89	58	58	59	60	60	30	29
150	959.21	233.02	0.80	61	61	61	62	62	30	29
210	893.67	210.26	0.72	59	58	58	59	60	29	28
270	797.17	176.76	0.61	58	58	59	60	60	29	28
360	750.40	160.52	0.55	59	59	60	61	60	29	28
450	669.19	132.33	0.46	62	60	60	60	61	29	28
600	590.43	104.99	0.36	60	59	62	60	61	29	28
720	532.86	85.00	0.29	61	60	62	61	60	29	28
870	473.00	64.22	0.22	61	60	59	59	60	29	28
1080	441.00	53.11	0.18	60	61	62	60	61	29	28
1620	369.00	28.11	0.10	60	60	63	61	62	29	28

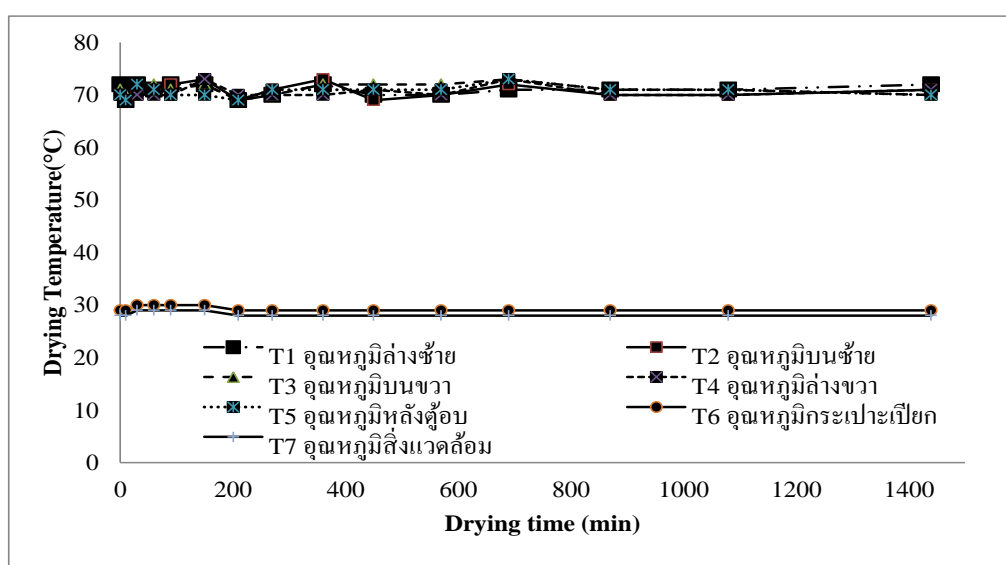
Temperature profile



ตาราง ข-2 ข้อมูลการทดลองอบแห้งกล้วยไข่อุณหภูมิอบแห้ง 70°C ด้วยพลังงานความร้อนจาก
ก๊าซหุงต้ม : ความชื้นสมดุล = 20.60 % dry-basis

Time (min)	Weight (g)	Moisture Content (% dry-basis)	Moisture Ratio	Drying Temperature.. (°C)						
				T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T _{db}	T _{wb}
0	1103.00	290.58	1.00	72	70	71	70	70	29	28
10	1059.00	275.00	0.95	69	68	70	69	69	29	28
30	1042.00	268.98	0.93	72	70	71	70	72	30	29
60	917.80	225.00	0.77	71	71	72	70	71	30	29
90	839.12	197.14	0.68	72	72	71	70	70	30	29
150	773.29	173.83	0.60	72	73	72	73	70	30	29
210	730.85	158.80	0.55	69	68	69	70	69	29	28
270	649.68	130.05	0.45	70	71	70	70	71	29	28
360	578.30	104.78	0.36	70	70	71	69	70	29	28
450	545.10	93.02	0.32	70	69	72	71	71	29	28
570	488.90	73.12	0.25	70	70	72	70	71	29	28
690	450.45	59.51	0.20	70	70	72	70	70	29	28
870	412.31	46.00	0.16	71	70	71	70	71	29	28
1080	390.14	38.15	0.13	71	70	71	70	71	29	28
1440	362.50	28.36	0.10	72	71	70	71	70	29	28

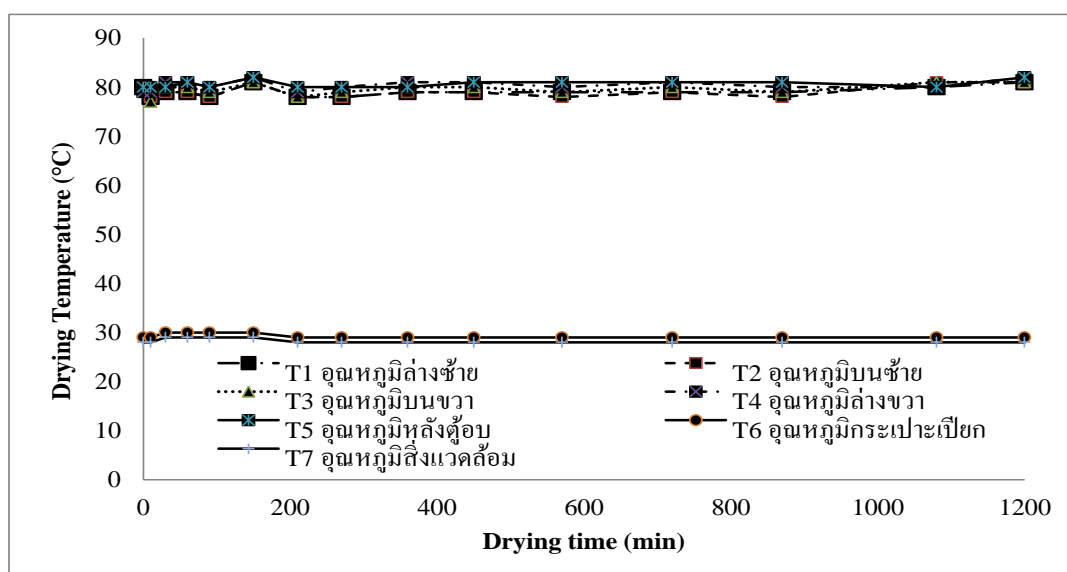
Temperature profile



ตาราง ข-3 ข้อมูลการทดลองอบแห้งกล้วยไข่อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ด้วยพลังงานความร้อนจาก
ก๊าซหุงต้ม : ความชื้นสมดุล = 16.35 % dry-basis

Time (min)	Weight (g)	Moisture Content (% dry-basis)	Moisture Ratio	Drying Temperature. (°C)						
				T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T _{db}	T _{wb}
0	1190.00	290.58	1.00	80	80	80	79	80	29	28
10	1113.82	265.57	0.91	78	78	77	79	80	29	28
30	1043.65	242.54	0.83	79	79	80	81	80	30	29
60	947.00	210.82	0.73	79	79	80	81	81	30	29
90	861.56	182.78	0.63	78	78	79	80	80	30	29
150	730.97	139.92	0.48	81	81	81	82	82	30	29
210	677.00	122.20	0.42	78	78	78	79	80	29	28
270	618.00	102.84	0.35	78	78	79	80	80	29	28
360	560.00	83.80	0.29	79	79	80	81	80	29	28
450	515.00	69.03	0.24	79	79	80	81	81	29	28
570	456.00	49.67	0.17	79	78	79	80	81	29	28
720	411.00	34.90	0.12	79	79	80	81	81	29	28
870	402.00	31.94	0.11	79	78	79	80	81	29	28
1080	394.00	29.32	0.10	80	81	81	80	80	29	28
1200	391.00	28.33	0.10	81	81	81	82	82	29	28

Temperature profile

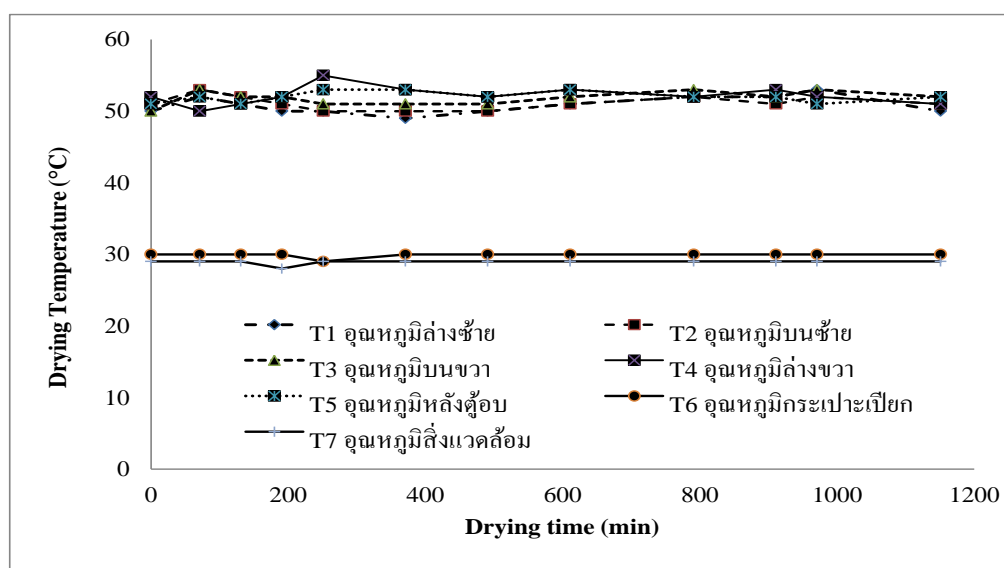


2. ผลการทดลองอบแห้งกล้วยไข่อบแห้งด้วยพลังงานความร้อนก๊าซหุงต้ม

ตาราง ข-4 ข้อมูลการทดลองอบแห้งกล้วยเล็บมือนาง อุณหภูมิอบแห้ง 50°C ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม : ความชื้นสมมูล = 29.40 % dry-basis

Time (min)	Weight (g)	Moisture Content (% dry-basis)	Moisture Ratio	Drying Temperature. (°C)						
				T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T _{db}	T _{wb}
0	776.056	310.00	1.00	50	51	50	52	51	30	29
71	725.29	283.14	0.91	52	53	53	50	52	30	29
131	655.96	246.14	0.79	51	52	52	51	51	30	29
191	585.72	209.01	0.67	50	51	52	52	52	30	28
251	544.21	187.08	0.60	50	50	51	55	53	29	29
371	466.22	145.90	0.47	49	50	51	53	53	30	29
491	409.35	115.90	0.37	50	50	51	52	52	30	29
611	349.44	84.31	0.27	51	51	52	53	53	30	29
791	312.47	64.85	0.21	52	52	53	52	52	30	29
911	290.22	53.18	0.17	52	51	52	53	52	30	29
971	271.96	43.54	0.14	53	52	53	52	51	30	29
1151	238.11	25.78	0.08	50	51	52	51	52	30	29

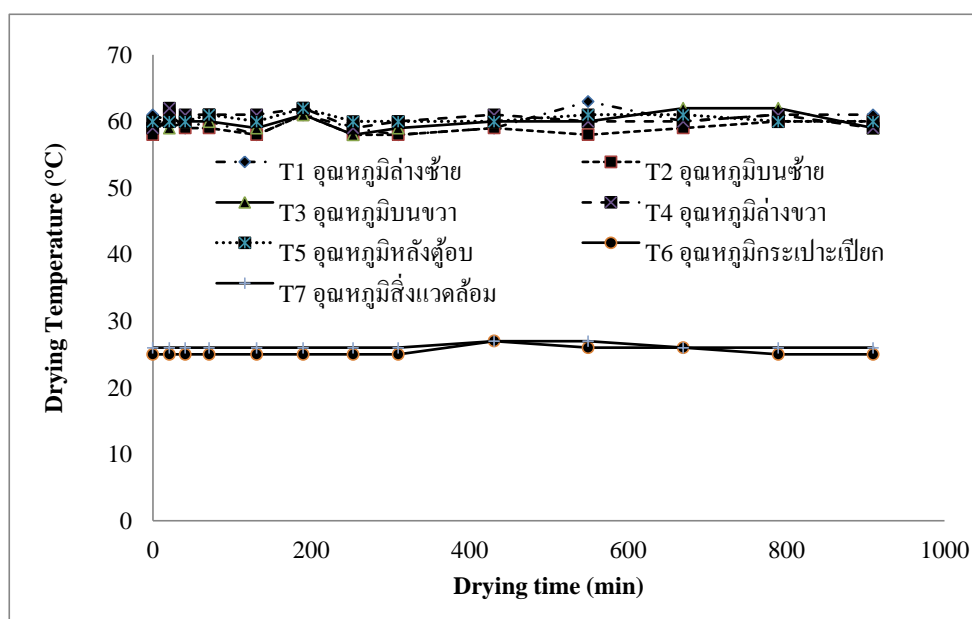
Temperature profile



ตาราง ข-5 ข้อมูลการทดลองอบแห้งกล้วยเล็บมือนาง อุณหภูมิอบแห้ง 60°C ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม : ความชื้นสมดุล = 24.61 % dry-basis

Time (min)	Weight (g)	Moisture Content (% dry-basis)	Moisture Ratio	Drying Temperature. (°C)						
				T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T _{db}	T _{wb}
0	846.24	300.24	1.00	61	58	60	59	60	25	26
21	788.14	272.91	0.91	60	61	59	62	60	25	26
41	754.28	257.03	0.86	59	59	60	61	60	25	26
71	707.76	235.27	0.78	60	59	60	61	61	25	26
131	632.15	199.43	0.66	58	58	59	69	60	25	26
190	575.58	172.72	0.58	61	61	61	62	62	25	26
253	522.37	147.91	0.49	59	58	58	59	60	25	26
310	473.39	124.77	0.42	58	58	59	60	60	25	26
431	409.73	94.72	0.32	59	59	60	61	60	27	27
550	360.86	71.28	0.24	69	58	60	60	61	26	27
670	319.52	51.38	0.17	60	59	62	60	61	26	26
790	298.97	41.67	0.14	61	60	62	61	60	25	26
910	267.61	26.56	0.09	61	60	59	59	60	25	26

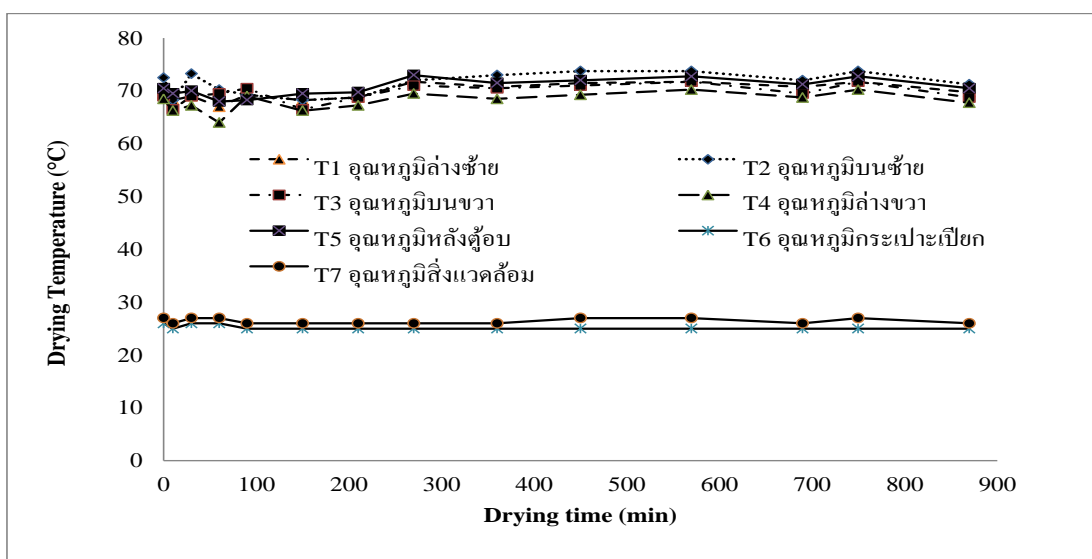
Temperature profile



ตาราง ข-6 ข้อมูลการทดลองอบแห้งกล้วยเล็บมือนาง อุณหภูมิอบแห้ง 70°C ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม : ความชื้นสมดุล = 20.60 % dry-basis

Time (min)	Weight (g)	Moisture Content (% dry-basis)	Moisture Ratio	Drying Temperature. (°C)						
				T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T _{db}	T _{wb}
0	926.63	287.21	1.00	70	73	69	69	71	26	27
10	889.40	271.63	0.95	68	68	67	66	70	25	26
30	831.75	247.54	0.86	69	73	69	67	70	26	27
60	779.62	225.76	0.79	67	70	70	64	68	26	27
90	709.47	196.39	0.68	69	69	71	69	68	25	26
150	631.61	163.82	0.57	68	68	67	66	70	25	26
210	570.76	138.38	0.48	69	69	69	67	70	25	26
270	516.82	115.82	0.40	72	72	71	70	73	25	26
360	451.29	88.42	0.31	71	73	71	69	72	25	26
450	393.04	64.08	0.22	72	74	71	69	72	25	27
570	360.97	50.74	0.18	72	74	72	70	73	25	27
690	322.23	34.63	0.12	71	72	70	69	71	25	26
750	309.87	29.47	0.10	72	74	72	70	73	25	27
870	299.85	25.29	0.09	70	71	69	68	71	25	26

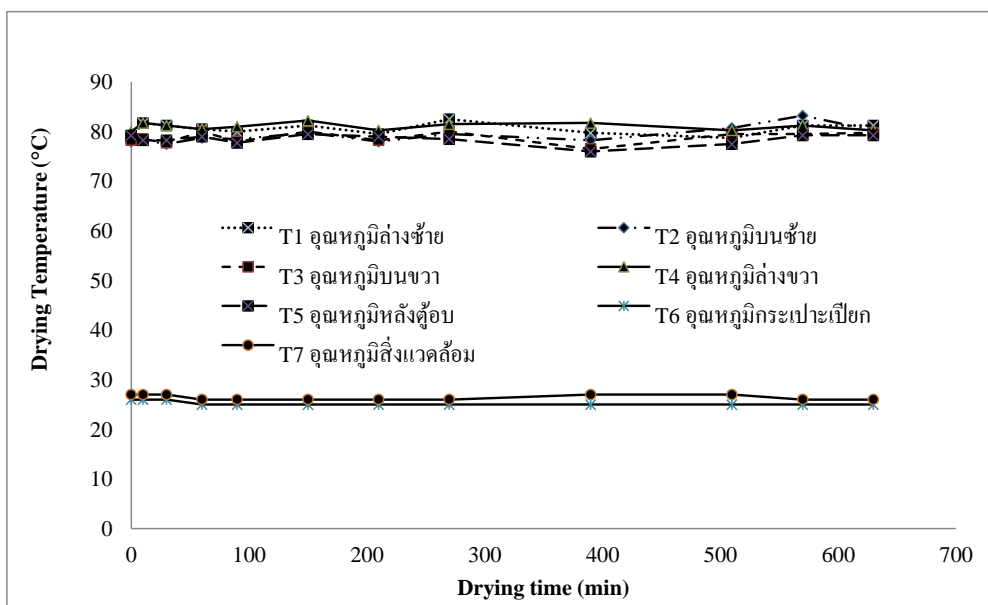
Temperature profile



ตาราง ข-7 ข้อมูลการทดลองอบแห้งกล้วยเล็บมือนาง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม : ความชื้นสมดุล = 17.24 % dry-basis

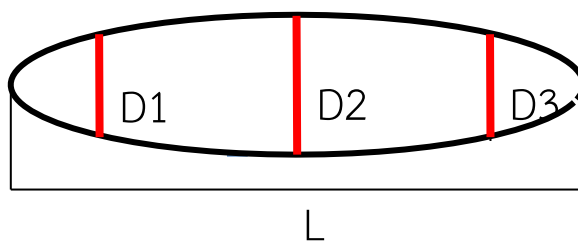
Time (min)	Weight (g)	Moisture Content (% dry-basis)	Moisture Ratio	Drying Temperature. (°C)						
				T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T _{db}	T _{wb}
0	1193.07	300.28	1.00	79	78	78	80	79	26	27
10	1107.75	271.66	0.90	82	78	79	82	78	26	27
30	1034.07	246.93	0.82	81	78	78	81	78	26	27
60	930.76	212.27	0.71	81	79	80	81	79	25	26
90	848.38	184.63	0.61	80	79	78	81	78	25	26
150	716.51	140.39	0.47	81	80	80	82	80	25	26
210	626.03	110.03	0.37	80	78	78	80	79	25	26
270	544.44	82.66	0.28	83	80	80	82	79	25	26
390	442.40	48.42	0.16	80	78	77	82	76	25	27
510	391.42	31.32	0.10	79	81	80	80	78	25	27
570	377.72	26.73	0.09	81	83	80	81	79	25	26
630	371.23	24.55	0.08	81	80	80	80	79	25	26

Temperature profile



ภาคผนวก ค

ข้อมูลการวิเคราะห์คุณภาพกล้วยไข่และกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง



ตำแหน่งการวัดด้านเส้นผ่านศูนย์กลางและด้านยาวของกล้วยเล็บมือนาง

- Note : D1 ขนาดความหนากล้วย ตำแหน่งที่ 1
D2 ขนาดความหนากล้วย ตำแหน่งที่ 2
D3 ขนาดความหนากล้วย ตำแหน่งที่ 3
L ขนาดความยาวกล้วย

1. การหดตัวของกล้วย

ตารางที่ ค-1 กล้วยเล็บมือนางอบแห้งด้วยก๊าซหุงต้มที่อุณหภูมิ 50°C

ตัวอย่าง ตำแหน่ง	ก่อนอบ (mm)					หลังอบ (mm)				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
D1	19.75	19.00	21.70	18.55	16.95	12.00	13.40	14.65	14.10	10.97
D2	21.95	19.15	21.00	21.00	18.35	14.80	16.95	15.10	15.35	11.55
D3	21.30	18.65	20.00	21.95	18.90	10.25	16.90	14.80	15.90	11.30
L	82.30	72.60	74.00	69.90	68.20	72.30	58.30	63.75	65.00	67.60

ตารางที่ ค-2 กล้วยเล็บมือนางอบแห้งด้วยก๊าซหุงต้มที่อุณหภูมิ 60°C

ตัวอย่าง ตำแหน่ง	ก่อนอบ (mm)					หลังอบ (mm)				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
D1	14.30	14.45	18.50	16.70	15.30	10.95	11.50	11.30	12.80	11.00
D2	18.00	16.20	17.20	16.95	17.20	14.00	12.30	12.60	11.15	10.95
D3	16.15	16.85	16.70	16.50	16.50	10.82	10.80	11.55	10.00	10.40
L	76.80	80.40	77.75	87.45	88.75	72.10	66.10	67.10	73.00	73.60

ตารางที่ ค-3 กล้วยเล็บมือนางอบแห้งด้วยก๊าซหุงต้มที่อุณหภูมิ 70°C

ตัวอย่าง ตำแหน่ง	ก่อนอบ (mm)					หลังอบ (mm)				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
D1	19.25	18.00	21.90	21.35	17.65	11.65	15.00	14.00	11.65	13.15
D2	20.80	18.30	21.45	19.40	19.55	14.00	13.65	14.70	13.35	13.00
D3	19.50	20.40	20.15	20.10	18.40	15.00	14.65	14.00	13.50	13.00
L	85.55	77.65	82.70	80.00	78.50	79.00	67.30	68.30	68.90	66.20

ตารางที่ ค-4 กัล้วยเล็บมือนางอบแห้งด้วยก๊าซหุงต้มที่อุณหภูมิ 80°C

ตัวอย่าง ตำแหน่ง	ก่อนอบ (mm)					หลังอบ (mm)				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
D1	18.30	17.70	16.40	18.30	17.70	10.60	13.10	11.60	12.50	11.20
D2	18.30	18.10	17.70	18.30	17.30	11.10	12.60	11.40	13.80	11.40
D3	17.10	16.40	17.30	16.40	16.40	12.50	13.07	13.70	12.50	11.80
L	86.85	83.20	82.15	80.55	78.95	58.30	60.60	59.20	65.20	58.30

2. สีของกัล้วยอบแห้ง

ตารางที่ ค-5 อ้างอิงสีของกัล้วยไข่สด ความชื้นเริ่มต้น 280-320% dry-basis

จำนวนซ้ำ	ค่าความสว่าง (L_0^*)	ค่าสีแดง (a_0^*)	ค่าสีเหลือง (b_0^*)
1	44.32	3.12	18.36
2	43.62	3.45	19.03
3	41.48	3.15	19.14
4	45.87	3.34	19.63
5	43.82	3.27	19.04
6	43.70	3.30	19.21
7	43.72	3.26	19.26
8	44.28	3.29	19.28
9	43.88	3.28	19.20
10	43.89	3.28	19.24
11	43.94	3.28	19.24
12	44.00	3.28	19.24
13	43.93	3.28	19.23
14	43.94	3.28	19.24
15	43.95	3.28	19.24
Avg	43.95	3.28	19.24

ตารางที่ ค-6 สีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 60°C ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม

จำนวนซ้ำ	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)
1	16.23	4.11	5.83
2	16.17	4.97	4.47
3	16.61	3.73	6.39
4	16.54	4.32	4.05
5	18.45	3.82	4.4
6	17.38	4.42	3.90
7	16.91	4.76	5.94
8	15.84	2.99	4.41
9	16.29	3.21	4.79
10	16.59	3.24	4.4
11	18.53	3.61	4.00
12	16.50	4.59	4.6
13	16.35	4.38	4.94
14	16.11	3.51	2.77
15	15.17	3.51	3.92

ตารางที่ ค-7 สีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 70°C ด้วยพลังงาน ความร้อนจากก๊าซหุงต้ม

จำนวนซ้ำ	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)
1	16.60	4.34	7.22
2	13.56	2.99	3.64
3	14.84	3.91	5.16
4	14.55	3.41	4.88
5	14.99	3.62	5.40
6	15.00	3.53	5.67
7	15.82	4.34	6.79
8	15.79	4.35	6.98
9	17.05	4.40	8.32
10	15.36	3.90	5.85
11	15.96	3.66	6.73
12	14.48	3.11	4.22
13	16.51	4.28	7.49
14	14.35	3.55	4.49
15	15.43	3.94	6.05

ตารางที่ ค-8 สีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม

จำนวนซ้ำ	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)
1	14.67	1.78	9.08
2	12.98	2.15	9.21
3	16.47	2.54	7.73
4	13.48	2.56	5.97
5	13.28	3.67	8.23
6	14.62	1.75	6.56
7	15.09	2.62	6.75
8	14.59	2.02	5.10
9	14.92	2.43	5.28
10	13.90	2.48	5.54
11	14.80	2.07	7.71
12	15.16	2.25	7.23
13	14.68	2.68	7.75
14	12.56	1.72	7.19
15	14.94	1.49	5.90

2. สีของกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง

ตารางที่ ค-9 อ่างอิงสีของกล้วยเล็บมือนางสด ความชื้นเริ่มต้น 250-300% dry-basis

จำนวนซ้ำ	ค่าความสว่าง (L_0^*)	ค่าสีแดง (a_0^*)	ค่าสีเหลือง (b_0^*)
1	44.32	3.12	18.36
2	43.62	3.45	19.03
3	41.48	3.15	19.14
4	45.87	3.34	19.63
5	43.82	3.27	19.04
6	43.70	3.30	19.21
7	43.72	3.26	19.26
8	44.28	3.29	19.28
9	43.88	3.28	19.20
10	43.89	3.28	19.24

ตารางที่ ค-10 สีของกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 50°C ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม

จำนวนซ้ำ	ค่าความสว่าง (L^*)	ค่าสีแดง (a^*)	ค่าสีเหลือง (b^*)
1	19.28	3.50	4.91
2	20.57	3.91	2.18
3	18.98	4.23	4.19
4	19.15	4.68	2.93
5	19.28	3.50	4.68
6	20.57	3.91	5.22
7	19.21	4.54	3.38
8	20.37	3.00	1.59
9	23.20	2.25	6.50
10	18.98	4.23	2.02

ตารางที่ ค-11 สีของกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 60°C ด้วยพลังงานความร้อนจาก
ก๊าซหุงต้ม

จำนวนซ้ำ	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)
1	16.75	5.12	7.67
2	17.06	4.49	6.83
3	17.39	4.84	7.13
4	17.26	4.11	6.57
5	18.26	5.52	5.33
6	18.28	5.50	7.07
7	18.53	5.21	7.14
8	18.90	4.11	6.80
9	18.45	5.03	5.65
10	18.44	5.52	7.34

ตารางที่ ค-12 สีของกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 70°C ด้วยพลังงานความร้อนจาก
ก๊าซหุงต้ม

จำนวนซ้ำ	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)
1	15.77	3.69	9.30
2	15.44	2.98	11.02
3	15.56	3.00	11.42
4	15.90	2.71	9.43
5	14.25	2.82	11.09
6	15.39	3.22	13.06
7	15.25	4.15	11.36
8	15.19	3.55	10.28
9	14.13	2.61	9.60
10	16.13	2.99	12.57

ตารางที่ ค-13 สีของกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ด้วยพลังงานความร้อนจาก ก๊าซหุงต้ม

จำนวนซ้ำ	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)
1	14.46	2.68	10.41
2	13.25	1.74	10.72
3	13.57	2.73	9.63
4	13.40	1.97	10.57
5	13.75	2.59	10.41
6	14.27	3.16	10.72
7	13.94	2.34	10.16
8	12.10	1.66	9.59
9	13.80	3.48	10.06
10	12.76	1.39	9.63

3. ลักษณะเนื้อสัมผัสกล้วยไข่อบแห้ง

ตารางที่ ค-14 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสัมผัสเนื้อสัมผัสกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิ 60-80°C

อุณหภูมิตอบแห้ง	จำนวนซ้ำ	Shear Force (N)	Toughness (N.s)
60°C	1	49.73	180.69
	2	49.61	181.40
	3	57.40	200.97
	4	33.23	145.89
	5	53.68	164.30
	6	56.11	201.33
	7	52.66	186.36
	8	62.49	191.86
	9	65.69	194.33
	10	73.69	212.75
70°C	1	42.50	104.54
	2	48.23	166.15
	3	42.75	149.43
	4	34.80	118.70
	5	50.62	161.52
	6	42.62	159.78
	7	40.61	101.68
	8	47.75	111.11
	9	48.23	166.15
	10	42.76	149.56
80°C	1	42.37	134.66
	2	33.80	118.70
	3	34.29	118.59
	4	42.12	149.48
	5	38.47	151.88
	6	39.95	157.30
	7	48.23	166.15
	8	33.59	98.27
	9	40.67	116.97
	10	45.33	100.25

4. ลักษณะเนื้อสัมผัสกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง

ตารางที่ ค-15 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสัมผัสเนื้อสัมผัสกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง อุณหภูมิ 50-60°C

อุณหภูมิอบแห้ง	จำนวนซ้ำ	Shear Force (N)	Toughness (N.s)
50°C	1	26.99	90.78
	2	27.68	132.96
	3	28.08	122.43
	4	20.45	67.19
	5	21.95	86.93
	6	24.03	99.42
	7	20.97	85.85
	8	19.99	75.43
	9	28.69	67.68
	10	18.43	75.53
60°C	1	21.02	85.00
	2	19.06	71.47
	3	19.15	79.17
	4	29.77	99.48
	5	19.60	69.90
	6	23.97	75.89
	7	23.45	71.71
	8	21.05	74.35
	9	21.62	92.03
	10	20.48	76.94

ตารางที่ ค-16 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสัมผัสเนื้อสัมผัสกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง อุณหภูมิ 70-80°C

อุณหภูมิอบแห้ง	จำนวนซ้ำ	Shear Force (N)	Toughness (N.s)
70°C	1	26.82	83.50
	2	22.79	91.82
	3	26.61	97.46
	4	20.92	57.80
	5	24.03	92.50
	6	19.72	57.70
	7	21.52	86.81
	8	19.62	74.39
	9	19.01	84.06
	10	23.37	92.43
80°C	1	19.06	70.15
	2	20.87	67.71
	3	27.04	65.46
	4	24.48	90.78
	5	19.63	66.14
	6	26.03	81.09
	7	23.01	84.33
	8	18.83	73.33
	9	23.68	92.04
	10	24.86	64.51

5. ข้อมูลการวิเคราะห์ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง

ตาราง ค-17 ความสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 60-80°C

Drying temp.	Drying time (hr.)	Initial Moisture content (% dry-basis)	Final Moisture content (% dry-basis)	Drying rate (kg/h)	SEC (J/g of water evaporate)
60°C	27	290.58	28.11	15.71	0.469
70°C	24	290.58	28.36	18.32	0.429
80°C	20	290.58	28.33	21.44	0.295

ตาราง ค-18 ความสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 50-80°C

Drying temp.	Drying time (hr.)	Initial Moisture content (% dry-basis)	Final Moisture content (% dry-basis)	Drying rate (kg/h)	SEC (J/g of water evaporate)
50°C	19	310.13	25.78	21.54	0.481
60°C	15	300.24	26.56	26.74	0.402
70°C	14	287.21	25.29	27.36	0.365
80°C	10	300.28	24.55	41.63	0.248

6. ข้อมูลวิเคราะห์ประสาทสัมผัส

ใบรายงานผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ชื่อผู้ทดสอบ..... วันที่..... เวลา.....

ท่านจะได้รับตัวอย่างกล้วยเล็บมือนาง และกล้วยไข่อบแห้งเพื่อประเมินตัวอย่างอาหารโดยทดสอบตามวิธี 9 – point hedonic scale ดังนี้

1. บ้วนปากด้วยน้ำ 1 ครั้ง
2. ชิมตัวอย่าง พร้อมให้คะแนนลงในช่องว่างที่กำหนด
3. เมื่อจะชิมตัวอย่างถัดไป กรุณาบ้วนปากด้วยน้ำ 2 ครั้ง
4. ถ้าต้องการให้เหตุผลหรือวิจารณ์เขียนลงในบรรทัดข้อเสนอแนะด้านล่าง

การให้คะแนนลักษณะผลิตภัณฑ์

คะแนน 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด

คะแนน 4 หมายถึง ไม่ชอบเล็กน้อย

คะแนน 8 หมายถึง ชอบมาก

คะแนน 3 หมายถึง ไม่ชอบปานกลาง

คะแนน 7 หมายถึง ชอบปานกลาง

คะแนน 2 หมายถึง ไม่ชอบมาก

คะแนน 6 หมายถึง ชอบเล็กน้อย

คะแนน 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด

คะแนน 5 หมายถึง รู้สึกเฉย ๆ

กรุณาใส่คะแนนที่ใช้อธิบายความรู้สึกของท่านที่มีต่อผลิตภัณฑ์ที่ให้ทดสอบในช่องว่างที่กำหนด

ตัวอย่าง (Sample)	สี (colour)	กลิ่น (Aroma)	ความนุ่ม (Softness)	ความเหนียว (Toughness)	รสชาติ (Sweetness)	ความชอบโดยรวม (Acceptance)

ข้อเสนอแนะ

.....

ตาราง ค-19 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัสของการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง
อุณหภูมิอบแห้ง 50-80°C

ลำดับที่ 1

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
50°C	7	7	8	6	8	8
60°C	6	7	8	6	8	7
70°C	6	6	7	6	7	6
80°C	7	5	5	5	7	6

ลำดับที่ 2

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
50°C	8	7	8	7	8	8
60°C	5	7	8	8	8	7
70°C	6	7	7	7	6	7
80°C	6	6	5	3	6	5

ลำดับที่ 3

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
50°C	8	8	8	8	7	8
60°C	8	8	7	7	7	7
70°C	7	7	8	8	8	8
80°C	8	7	7	7	8	7

ลำดับที่ 4

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
50°C	7	7	6	7	6	7
60°C	6	6	6	5	6	6
70°C	5	5	6	6	5	5
80°C	6	5	6	6	6	6

ลำดับที่ 5

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
50°C	6	6	5	6	5	6
60°C	6	4	5	4	5	5
70°C	7	4	6	5	5	5
80°C	5	5	6	4	6	6

ลำดับที่ 6

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
50°C	6	5	7	6	5	6
60°C	4	5	5	4	4	5
70°C	5	7	7	5	5	6
80°C	6	5	5	4	6	5

ลำดับที่ 7

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
50°C	6	5	7	6	5	6
60°C	7	5	5	5	5	6
70°C	5	6	6	7	6	5
80°C	6	7	6	7	7	6

ลำดับที่ 8

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
50°C	6	6	5	4	6	7
60°C	2	4	2	2	2	2
70°C	5	3	4	4	3	3
80°C	3	3	4	4	3	3

ลำดับที่ 9

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
50°C	8	8	8	8	8	8
60°C	8	8	8	8	8	8
70°C	7	8	8	8	8	8
80°C	8	8	8	8	8	8

ลำดับที่ 10

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
50°C	7	4	8	8	8	8
60°C	6	4	7	7	8	8
70°C	8	7	8	8	8	8
80°C	7	6	4	4	8	8

ลำดับที่ 11

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
50°C	8	5	5	7	8	7
60°C	7	4	7	6	8	8
70°C	5	4	8	5	7	7
80°C	5	4	5	6	8	7

ลำดับที่ 12

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
50°C	8	8	8	6	8	8
60°C	8	8	8	6	8	8
70°C	8	8	8	8	8	8
80°C	7	8	5	5	8	8

ลำดับที่ 13

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
50°C	8	7	7	7	5	7
60°C	3	4	7	3	6	5
70°C	6	5	6	5	5	5
80°C	4	7	7	8	8	7

ลำดับที่ 14

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
50°C	7	6	7	7	6	7
60°C	5	5	6	6	5	6
70°C	7	7	7	7	7	7
80°C	8	7	7	7	7	7

ลำดับที่ 15

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
50°C	7	7	7	6	6	8
60°C	7	5	7	6	5	8
70°C	5	6	6	6	6	7
80°C	6	8	7	8	7	9

ลำดับที่ 16

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
50°C	8	7	7	7	5	7
60°C	3	4	7	3	6	5
70°C	6	5	6	5	5	5
80°C	4	7	7	8	8	7

ลำดับที่ 17

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
50°C	6	7	5	6	6	7
60°C	2	4	2	2	2	2
70°C	3	3	4	4	3	3
80°C	5	3	4	3	3	3

ลำดับที่ 18

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
50°C	7	7	7	8	6	7
60°C	7	7	4	6	6	6
70°C	5	7	2	3	9	5
80°C	6	6	6	6	9	6

ลำดับที่ 19

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
50°C	7	6	7	7	6	7
60°C	5	5	5	6	5	5
70°C	7	7	7	7	7	7
80°C	7	7	7	7	7	7

ลำดับที่ 20

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
50°C	8	8	8	6	8	8
60°C	8	6	6	6	7	6
70°C	8	7	7	5	7	6
80°C	7	5	5	5	8	7

ลำดับที่ 21

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
50°C	8	8	7	8	7	8
60°C	8	8	8	8	7	8
70°C	7	8	6	6	7	7
80°C	6	6	5	4	8	6

ลำดับที่ 22

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
50°C	7	7	8	6	8	8
60°C	6	7	8	6	8	7
70°C	6	6	7	6	7	6
80°C	7	5	5	5	7	6

ลำดับที่ 23

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
50°C	6	6	5	6	5	6
60°C	6	4	5	4	5	5
70°C	7	4	6	5	5	5
80°C	5	5	6	4	6	6

ลำดับที่ 24

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
50°C	6	5	6	5	5	6
60°C	7	5	5	5	5	6
70°C	5	6	6	7	6	5
80°C	6	7	6	7	7	6

ลำดับที่ 25

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
50°C	8	7	8	8	7	8
60°C	8	8	6	7	7	7
70°C	7	7	6	7	8	7
80°C	6	7	6	6	8	7

ลำดับที่ 26

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
50°C	8	5	5	7	8	7
60°C	7	4	7	6	8	8
70°C	5	4	8	5	7	6
80°C	5	4	5	6	8	7

ลำดับที่ 27

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
50°C	6	5	7	6	5	6
60°C	4	5	5	4	4	5
70°C	5	7	7	5	5	6
80°C	6	5	5	4	6	5

ลำดับที่ 28

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
50°C	7	7	8	6	8	8
60°C	6	7	8	6	8	7
70°C	6	6	7	6	7	6
80°C	7	5	5	5	7	6

ลำดับที่ 29

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
50°C	7	7	6	7	6	7
60°C	6	6	6	5	6	6
70°C	5	5	6	6	5	5
80°C	6	5	5	6	5	5

ลำดับที่ 30

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
50°C	8	7	8	7	8	8
60°C	5	7	8	8	8	7
70°C	6	7	7	7	6	7
80°C	6	5	5	3	5	5

7. ข้อมูลวิเคราะห์ประสาทสัมผัส

ตาราง ค-20 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัสของการอบแห้งกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 50-80°C

ลำดับที่ 1

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
60°C	6	7	8	6	8	7
70°C	6	6	7	6	7	8
80°C	7	5	5	5	7	6

ลำดับที่ 2

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
60°C	5	7	8	8	8	7
70°C	6	7	7	7	6	7
80°C	6	6	5	3	6	5

ลำดับที่ 3

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
60°C	8	8	7	7	7	7
70°C	7	7	8	8	8	8
80°C	8	7	6	7	8	7

ลำดับที่ 4

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
60°C	6	6	6	5	6	6
70°C	5	5	6	6	5	7
80°C	6	5	6	6	6	6

ลำดับที่ 5

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
60°C	6	4	5	4	5	5
70°C	7	4	6	5	5	6
80°C	5	5	5	4	6	6

ลำดับที่ 6

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
60°C	4	5	5	4	4	5
70°C	5	7	7	5	5	6
80°C	6	5	5	4	6	5

ลำดับที่ 7

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
60°C	7	5	5	5	5	6
70°C	5	6	6	7	6	7
80°C	6	7	6	7	7	6

ลำดับที่ 8

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
60°C	3	4	3	2	2	2
70°C	5	3	4	4	3	5
80°C	4	3	4	4	3	3

ลำดับที่ 9

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
60°C	8	8	8	8	8	8
70°C	7	8	8	8	8	9
80°C	7	8	7	8	8	8

ลำดับที่ 10

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
60°C	6	4	7	7	8	8
70°C	8	7	8	8	8	8
80°C	7	6	4	4	8	8

ลำดับที่ 11

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
60°C	7	4	7	6	8	8
70°C	6	4	6	5	7	8
80°C	5	4	5	6	8	7

ลำดับที่ 12

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
60°C	8	8	8	6	8	8
70°C	8	8	7	8	8	8
80°C	7	8	5	5	8	8

ลำดับที่ 13

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
60°C	3	4	7	4	6	5
70°C	6	5	6	5	5	8
80°C	4	7	7	8	8	7

ลำดับที่ 14

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
60°C	5	5	6	6	5	6
70°C	7	7	7	7	7	7
80°C	8	7	7	7	7	7

ลำดับที่ 15

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
60°C	7	5	7	6	5	8
70°C	6	6	7	6	7	7
80°C	6	8	7	8	6	9

ลำดับที่ 16

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
60°C	4	4	7	4	6	5
70°C	6	5	7	5	5	8
80°C	5	7	6	8	8	7

ลำดับที่ 17

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
60°C	3	4	3	2	2	2
70°C	4	3	4	4	3	5
80°C	5	3	4	3	3	3

ลำดับที่ 18

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
60°C	7	7	4	6	6	6
70°C	6	7	2	3	9	7
80°C	6	6	6	6	9	6

ลำดับที่ 19

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
60°C	5	5	6	6	5	5
70°C	7	7	7	7	7	7
80°C	7	7	5	7	7	7

ลำดับที่ 20

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
60°C	8	6	6	6	7	6
70°C	8	7	7	5	7	6
80°C	7	5	5	5	8	7

ลำดับที่ 21

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
60°C	8	8	8	8	7	8
70°C	7	8	6	6	7	7
80°C	6	6	5	4	8	6

ลำดับที่ 22

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
60°C	6	4	5	4	5	5
70°C	7	4	6	5	5	7
80°C	5	5	6	4	6	6

ลำดับที่ 23

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
60°C	6	7	8	6	8	7
70°C	6	6	7	6	7	6
80°C	7	5	5	5	7	6

ลำดับที่ 24

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
60°C	7	5	5	5	5	6
70°C	5	6	6	7	6	7
80°C	6	7	6	7	7	6

ลำดับที่ 25

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
60°C	8	8	6	7	8	7
70°C	7	7	6	7	8	7
80°C	6	7	6	6	8	7

ลำดับที่ 26

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
60°C	7	4	7	6	8	8
70°C	5	4	8	5	8	7
80°C	5	4	5	6	8	6

ลำดับที่ 27

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
60°C	4	5	5	4	5	5
70°C	5	7	7	5	6	6
80°C	6	5	5	4	6	5

ลำดับที่ 28

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
60°C	6	7	8	6	8	7
70°C	6	6	7	6	7	7
80°C	7	5	5	5	7	6

ลำดับที่ 29

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
60°C	6	6	6	5	6	6
70°C	6	5	6	6	6	7
80°C	6	5	5	6	5	5

ลำดับที่ 30

sample	Color	Aroma	Softness	Toughness	Sweetness	Overall acceptability
60°C	5	7	8	8	8	7
70°C	7	7	7	7	7	7
80°C	6	5	5	3	5	5

ภาคผนวก ง

ข้อมูลการหาค่าคุณสมบัติทางกายภาพ

ผลของฟิล์มพลาสติก และสภาวะการเก็บรักษาต่อคุณภาพ

กล้วยไข่อบแห้ง

1. ข้อมูลวิเคราะห์สี

ตาราง ง-1 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ระยะเวลาเมื่อเริ่มต้นเก็บรักษาภายหลังการอบแห้งของกล้วยไข่

จำนวนซ้ำ	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)
1	15.97	2.78	8.08
2	15.01	2.48	5.54
3	14.03	2.54	7.73
4	14.30	2.56	5.97
5	16.31	3.67	8.23
6	14.32	1.75	6.56

ตาราง ง-2 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate (PET) รักษาที่อุณหภูมิห้องมืดล้อม ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน

จำนวนซ้ำ	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)
1	14.43	1.15	3.40
2	14.44	1.15	3.43
3	13.91	1.42	3.42
4	13.92	1.44	3.41
5	14.06	1.38	3.16
6	14.06	1.37	3.17

ตาราง ง-3 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate (PET) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาเก็บรักษา 30 วัน

จำนวนซ้ำ	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)
1	13.83	1.32	3.40
2	14.36	1.34	2.83
3	13.87	1.33	2.86
4	14.80	1.37	3.84
5	14.80	1.36	3.84
6	14.22	1.17	1.79

ตาราง ง-4 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate (PET) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาเก็บรักษา 45 วัน

จำนวนซ้ำ	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)
1	13.40	1.55	2.39
2	13.50	1.51	2.35
3	12.95	1.16	2.64
4	13.13	1.17	2.15
5	13.92	1.44	3.42
6	13.42	1.44	3.42

ตาราง ง-5 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate (PET) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน

จำนวนซ้ำ	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)
1	16.28	1.81	5.37
2	16.42	1.78	5.26
3	13.52	1.48	2.45
4	13.54	1.50	2.43
5	14.28	1.65	4.21
6	14.27	1.65	4.22

ตาราง ง-6 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate (PET) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 30 วัน

จำนวนซ้ำ	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)
1	13.61	1.28	3.10
2	13.61	1.27	3.11
3	13.12	1.14	2.71
4	13.95	1.42	3.81
5	13.97	1.43	3.78
6	13.98	1.44	3.79

ตาราง ง-7 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate (PET) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 45 วัน

จำนวนซ้ำ	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)
1	13.34	1.22	2.92
2	13.35	1.20	2.92
3	12.85	1.21	2.91
4	12.63	1.27	2.53
5	12.14	1.25	2.55
6	13.32	1.34	2.85

ตาราง ง-8 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Oriented Polypropylene (OPP) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน

จำนวนซ้ำ	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)
1	12.99	1.13	2.19
2	12.70	1.29	3.01
3	13.63	1.30	3.31
4	13.62	1.30	3.34
5	14.59	1.34	4.11
6	14.58	1.30	4.03

ตาราง ง-9 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Oriented Polypropylene (OPP) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาเก็บรักษา 30 วัน

จำนวนซ้ำ	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)
1	13.08	1.15	2.16
2	13.09	1.17	2.14
3	13.96	1.42	3.24
4	13.55	1.75	3.73
5	13.75	1.23	3.31
6	13.55	1.72	3.74

ตาราง ง-10 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Oriented Polypropylene (OPP) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาเก็บรักษา 45 วัน

จำนวนซ้ำ	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)
1	12.90	0.99	1.85
2	13.07	1.13	2.17
3	13.22	1.22	2.57
4	12.73	0.99	2.19
5	12.88	1.08	2.10
6	12.96	1.12	2.27

ตาราง ง-11 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Oriented Polypropylene (OPP) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน

จำนวนซ้ำ	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)
1	14.12	1.29	3.40
2	14.58	1.39	3.79
3	13.56	1.72	3.73
4	14.09	1.28	3.38
5	14.31	1.33	3.25
6	14.56	1.40	3.81

ตาราง ง-12 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Oriented Polypropylene (OPP) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 30 วัน

จำนวนซ้ำ	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)
1	13.06	1.25	3.03
2	13.07	1.25	3.02
3	12.39	1.17	2.40
4	12.91	0.99	1.84
5	12.55	1.13	2.16
6	12.52	1.43	2.45

ตาราง ง-13 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Oriented Polypropylene (OPP) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 45 วัน

จำนวนซ้ำ	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)
1	12.29	1.25	2.45
2	11.79	1.25	2.47
3	11.86	1.03	1.96
4	11.88	1.19	2.37
5	11.79	1.01	1.86
6	12.05	1.19	2.26
6	12.29	1.25	2.45

ตาราง ง-14 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Nylon Linear Low Density Polyethylene (Nylon/LLDPE) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน

จำนวนซ้ำ	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)
1	14.65	1.91	4.82
2	15.00	1.66	4.62
3	14.60	1.61	4.61
4	15.02	1.51	4.51
5	15.53	1.52	4.49
6	14.73	1.48	4.52

ตาราง ง-15 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Nylon Linear Low Density Polyethylene (Nylon/LLDPE) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง สิ่งแวดล้อม ระยะเวลาเก็บรักษา 30 วัน

จำนวนซ้ำ	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)
1	13.68	1.79	4.86
2	13.94	1.79	3.90
3	13.73	1.46	4.58
4	12.81	1.56	4.58
5	14.50	1.47	4.61
6	13.82	1.68	4.60

ตาราง ง-16 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Nylon Linear Low Density Polyethylene (Nylon/LLDPE) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง สิ่งแวดล้อม ระยะเวลาเก็บรักษา 45 วัน

จำนวนซ้ำ	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)
1	12.85	1.70	4.09
2	12.77	1.72	4.10
3	13.50	1.43	3.65
4	13.01	1.82	1.70
5	13.25	1.33	2.81
6	13.02	1.35	2.81

ตาราง ง-17 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Nylon Linear Low Density Polyethylene (Nylon/LLDPE) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน

จำนวนซ้ำ	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)
1	14.67	2.48	4.54
2	13.90	2.47	4.54
3	16.47	2.48	4.54
4	13.48	1.78	4.95
5	13.28	1.77	4.95
6	14.62	1.79	4.93

ตาราง ง-18 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Nylon Linear Low Density Polyethylene (Nylon/LLDPE) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 30 วัน

จำนวนซ้ำ	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)
1	14.10	1.65	4.01
2	14.32	1.69	4.37
3	14.11	1.61	4.01
4	14.74	2.14	3.97
5	13.84	2.24	4.45
6	13.85	2.21	4.47

ตาราง ง-19 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Nylon Linear Low Density Polyethylene (Nylon/LLDPE) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 45 วัน

จำนวนซ้ำ	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)
1	13.93	1.97	3.55
2	13.94	1.95	3.57
3	14.14	1.30	3.72
4	12.68	1.92	3.76
5	13.47	1.43	3.93
6	13.48	2.09	3.31

ตาราง ง-20 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate/Polyethylene (PET/PE) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน

จำนวนซ้ำ	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)
1	13.14	1.28	2.34
2	14.91	1.41	1.41
3	13.56	1.32	2.27
4	13.05	0.97	1.98
5	14.23	1.72	4.39
6	14.31	1.80	4.53

ตาราง ง-21 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate/Polyethylene (PET/PE) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง สิ่งแวดล้อม ระยะเวลาเก็บรักษา 30 วัน

จำนวนซ้ำ	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)
1	12.34	1.60	2.13
2	12.63	1.47	2.42
3	12.62	1.09	2.36
4	13.31	1.47	3.00
5	12.65	1.11	2.13
6	12.69	1.13	2.18

ตาราง ง-22 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate/Polyethylene (PET/PE) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง สิ่งแวดล้อม ระยะเวลาเก็บรักษา 45 วัน

จำนวนซ้ำ	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)
1	12.00	1.23	2.52
2	12.01	1.24	2.53
3	12.00	1.25	2.51
4	11.95	1.16	2.35
5	11.96	1.16	2.37
6	12.09	1.14	2.39

ตาราง ง-23 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate/Polyethylene (PET/PE) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน

จำนวนซ้ำ	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)
1	13.74	1.48	3.46
2	13.72	1.48	3.48
3	14.65	1.59	4.23
4	13.32	1.46	3.06
5	13.56	1.48	3.43
6	13.61	1.23	3.13

ตาราง ง-24 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate/Polyethylene (PET/PE) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 30 วัน

จำนวนซ้ำ	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)
1	14.05	0.97	2.00
2	13.04	0.98	1.98
3	12.93	1.25	2.54
4	12.50	1.10	1.97
5	12.49	1.64	1.96
6	13.25	1.44	3.19

ตาราง ง-25 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านสีของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate/Polyethylene (PET/PE) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 45 วัน

จำนวนซ้ำ	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าสีแดง (a*)	ค่าสีเหลือง (b*)
1	12.01	1.10	1.93
2	13.04	1.07	1.93
3	12.54	1.06	1.93
4	12.24	1.72	4.40
5	11.99	1.06	1.40
6	12.29	1.14	1.74

2. ข้อมูลวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

ตาราง ง-26 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C
ระยะเวลาเมื่อเริ่มต้นเก็บรักษาภายหลังการอบแห้งของกล้วยไข่

จำนวนซ้ำ	Shear Force (N)	Toughness (N.s)
1	55.73	184.57
2	59.66	186.36
3	56.98	189.99
4	45.44	156.59
5	59.68	164.30
6	63.11	201.33

ตาราง ง-27 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้งอุณหภูมิอบแห้ง 80°C ใน
บรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate (PET) รักษาที่อุณหภูมิห้อง
ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน

จำนวนซ้ำ	Shear Force (N)	Toughness (N.s)
1	55.26	145.91
2	55.43	121.88
3	55.09	101.72
4	56.37	119.51
5	61.57	122.11
6	49.09	163.39

ตาราง ง-28 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C
ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate (PET) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ
สิ่งแวดล้อม ระยะเวลาเก็บรักษา 30 วัน

จำนวนซ้ำ	Shear Force (N)	Toughness (N.s)
1	53.29	123.47
2	55.13	116.42
3	43.69	113.02
4	49.72	124.27
5	52.62	106.61
6	56.47	168.37

ตาราง ง-29 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C
ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate (PET) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ
สิ่งแวดล้อม ระยะเวลาเก็บรักษา 45 วัน

จำนวนซ้ำ	Shear Force (N)	Toughness (N.s)
1	50.39	120.41
2	48.08	136.43
3	43.25	87.68
4	42.02	105.56
5	47.54	106.86
6	52.47	140.69

ตาราง ง-30 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C
 ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate (PET) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C
 ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน

จำนวนซ้ำ	Shear Force (N)	Toughness (N.s)
1	56.97	143.95
2	57.73	132.52
3	59.28	136.36
4	59.63	160.24
5	55.81	139.64
6	60.12	199.63

ตาราง ง-31 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C
 ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate (PET) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C
 ระยะเวลาเก็บรักษา 30 วัน

จำนวนซ้ำ	Shear Force (N)	Toughness (N.s)
1	54.14	147.05
2	51.10	143.95
3	56.90	132.52
4	58.12	136.36
5	55.17	175.34
6	55.02	146.48

ตาราง ง-32 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C
 ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate (PET) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C
 ระยะเวลาเก็บรักษา 45 วัน

จำนวนซ้ำ	Shear Force (N)	Toughness (N.s)
1	51.30	153.94
2	46.54	143.33
3	45.43	145.91
4	55.81	121.88
5	50.12	101.72
6	55.17	119.51

ตาราง ง-33 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C
 ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Oriented Polypropylene (OPP) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง
 ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน

จำนวนซ้ำ	Shear Force (N)	Toughness (N.s)
1	59.79	145.91
2	58.95	127.87
3	59.26	143.77
4	57.43	119.51
5	58.09	122.11
6	56.36	109.34

ตาราง ง-34 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C
 ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Oriented Polypropylene (OPP) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง
 ระยะเวลาเก็บรักษา 30 วัน

จำนวนซ้ำ	Shear Force (N)	Toughness (N.s)
1	53.22	156.46
2	56.09	115.41
3	54.54	107.16
4	50.37	97.05
5	53.54	143.95
6	54.77	132.52

ตาราง ง-35 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C
 ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Oriented Polypropylene (OPP) เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง
 ระยะเวลาเก็บรักษา 45 วัน

จำนวนซ้ำ	Shear Force (N)	Toughness (N.s)
1	50.73	123.47
2	46.54	116.42
3	56.81	111.28
4	44.29	125.27
5	45.11	136.43
6	47.37	134.35

ตาราง ง-36 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C
ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Oriented Polypropylene (OPP) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C
ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน

จำนวนซ้ำ	Shear Force (N)	Toughness (N.s)
1	58.77	136.36
2	57.43	159.38
3	59.30	121.23
4	59.37	143.95
5	57.26	113.11
6	56.35	106.09

ตาราง ง-37 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C
ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Oriented Polypropylene (OPP) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C
ระยะเวลาเก็บรักษา 30 วัน

จำนวนซ้ำ	Shear Force (N)	Toughness (N.s)
1	51.63	117.58
2	55.81	116.45
3	50.12	116.71
4	53.17	119.20
5	49.02	138.55
6	51.60	144.77

ตาราง ง-38 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C
 ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Oriented Polypropylene (OPP) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C
 ระยะเวลาเก็บรักษา 45 วัน

จำนวนซ้ำ	Shear Force (N)	Toughness (N.s)
1	46.81	106.61
2	45.67	120.41
3	49.64	136.43
4	47.77	187.68
5	45.43	105.56
6	51.30	106.86

ตาราง ง-39 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C
 ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Nylon Linear Low Density Polyethylene (Nylon/LLDPE)
 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมืดล้อม ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน

จำนวนซ้ำ	Shear Force (N)	Toughness (N.s)
1	57.68	174.50
2	56.11	181.46
3	58.66	185.47
4	54.94	163.38
5	59.66	186.45
6	55.47	179.47

ตาราง ง-40 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C
 ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Nylon Linear Low Density Polyethylene (Nylon/LLDPE)
 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาเก็บรักษา 30 วัน

จำนวนซ้ำ	Shear Force (N)	Toughness (N.s)
1	57.26	149.48
2	57.09	151.88
3	53.74	157.30
4	50.37	166.15
5	56.38	158.36
6	54.05	158.66

ตาราง ง-41 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C
 ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Nylon Linear Low Density Polyethylene (Nylon/LLDPE)
 เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาเก็บรักษา 45 วัน

จำนวนซ้ำ	Shear Force (N)	Toughness (N.s)
1	55.11	154.08
2	49.86	145.48
3	52.15	137.33
4	53.81	149.72
5	49.06	153.60
6	53.73	160.22

ตาราง ง-42 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C
 ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Nylon Linear Low Density Polyethylene (Nylon/LLDPE)
 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน

จำนวนซ้ำ	Shear Force (N)	Toughness (N.s)
1	58.68	164.30
2	57.20	201.33
3	59.75	186.36
4	65.58	167.87
5	57.38	186.45
6	57.89	175.36

ตาราง ง-43 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C
 ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Nylon Linear Low Density Polyethylene (Nylon/LLDPE)
 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 30 วัน

จำนวนซ้ำ	Shear Force (N)	Toughness (N.s)
1	52.11	159.15
2	56.61	145.51
3	57.47	167.32
4	57.43	159.79
5	54.13	153.21
6	56.97	159.48

ตาราง ง-44 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C
 ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Nylon Linear Low Density Polyethylene (Nylon/LLDPE)
 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 45 วัน

จำนวนซ้ำ	Shear Force (N)	Toughness (N.s)
1	58.29	135.14
2	51.11	154.81
3	49.86	157.40
4	52.15	168.26
5	49.81	156.23
6	53.67	158.01

ตาราง ง-45 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C
 ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate/Polyethylene (PET/PE) เก็บ
 รักษาที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน

จำนวนซ้ำ	Shear Force (N)	Toughness (N.s)
1	58.61	166.15
2	57.97	98.27
3	59.29	116.97
4	58.13	100.25
5	60.69	154.23
6	59.72	173.15

ตาราง ง-46 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C
ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate/Polyethylene (PET/PE) เก็บ
รักษาที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาเก็บรักษา 30 วัน

จำนวนซ้ำ	Shear Force (N)	Toughness (N.s)
1	55.43	107.16
2	55.09	116.71
3	56.37	146.64
4	50.57	133.36
5	49.09	134.24
6	53.54	132.24

ตาราง ง-47 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C
ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate/Polyethylene (PET/PE) เก็บ
รักษาที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาเก็บรักษา 45 วัน

จำนวนซ้ำ	Shear Force (N)	Toughness (N.s)
1	47.43	121.88
2	49.13	101.72
3	46.61	119.51
4	51.47	122.11
5	46.08	140.69
6	45.29	153.02

ตาราง ง-48 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C
 ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate/Polyethylene (PET/PE) เก็บ
 รักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 15 วัน

จำนวนซ้ำ	Shear Force (N)	Toughness (N.s)
1	55.02	153.94
2	57.60	143.33
3	54.17	145.91
4	58.29	127.54
5	55.13	167.05
6	55.69	177.54

ตาราง ง-49 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C
 ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate/Polyethylene (PET/PE) เก็บ
 รักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 30 วัน

จำนวนซ้ำ	Shear Force (N)	Toughness (N.s)
1	48.08	121.85
2	57.46	171.15
3	45.94	141.17
4	44.29	115.41
5	53.60	176.26
6	56.81	166.26

ตาราง ง-50 ข้อมูลวิเคราะห์ทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้วยไข่อบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ในบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene Terephthalate/Polyethylene (PET/PE) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C ระยะเวลาเก็บรักษา 45 วัน

จำนวนซ้ำ	Shear Force (N)	Toughness (N.s)
1	49.86	121.23
2	47.15	143.95
3	46.81	113.11
4	48.67	106.09
5	49.64	117.58
6	50.77	159.29

ภาคผนวก จ
มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน
กล้วยอบ

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

กล้วยอบ

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ครอบคลุมเฉพาะกล้วยอบที่ทำจากกล้วยที่สามารถนำมาอบได้ เช่น กล้วยน้ำว้า กล้วยเล็บมือนาง กล้วยไข่ กล้วยหักมุก กล้วยหอม ที่บรรจุในภาชนะบรรจุ

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 กล้วยอบ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำกล้วยทั้งผลหรือกล้วยที่ตัดแต่งเป็นรูปทรงตามต้องการ มาทำให้แห้งโดยใช้พลังงานจากแสงแดดหรือแหล่งพลังงานอื่น อาจปรุงแต่งรสก่อนหรือหลังการทำให้แห้งด้วยส่วนประกอบอื่น เช่น น้ำผึ้ง หรือวัตถุดิบปรุงแต่งกลิ่นรสอื่นก็ได้ อาจเป็นกล้วยทั้งผลเป็นชิ้น หรือเป็นแผ่น

3. คุณลักษณะที่ต้องการ

3.1 ลักษณะทั่วไป

ในภาชนะบรรจุเดียวกันต้องมีรูปทรงและขนาดใกล้เคียงกัน

3.2 สี

ต้องมีสีที่ดีตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้

3.3 กลิ่นรส

ต้องมีกลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้ ปราศจากกลิ่นอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นอับ กลิ่นหืน

3.4 ลักษณะเนื้อสัมผัส

ต้องนุ่ม มีความหยุ่นตัว ไม่แข็งกระด้าง

เมื่อตรวจสอบโดยวิธีให้คะแนนตามข้อ 8.1 แล้ว ต้องได้คะแนนเฉลี่ยของแต่ละลักษณะจากผู้ตรวจสอบทุกคน

ไม่น้อยกว่า 3 คะแนน และไม่มีลักษณะใดได้ 1 คะแนน จากผู้ตรวจสอบคนใดคนหนึ่ง

3.5 สิ่งแปลกปลอม

ต้องไม่พบสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ส่วนประกอบที่ใช้ เช่น เส้นผม ขนสัตว์ ดิน ทราย กรวด สิ่งปนเปื้อนจากสัตว์ เช่น แมลง หนู นก

3.6 วัตถุเจือปนอาหาร

3.6.1 ห้ามใช้วัตถุกันเสียทุกชนิด

3.6.2 หากมีการใช้วัตถุปรุงแต่งกลิ่นรส ให้ใช้ได้ตามชนิดและปริมาณที่กฎหมายกำหนด

3.7 วอเตอร์แอกทิวิตี

ต้องไม่เกิน 0.75

หมายเหตุ วอเตอร์แอกทิวิตี เป็นปัจจัยสำคัญในการคาดคะเนอายุการเก็บอาหารและเป็นตัวบ่งชี้ถึงความปลอดภัยของอาหารโดยทำหน้าที่ควบคุมการอยู่รอด การเจริญ และการสร้างพิษของจุลินทรีย์

3.8 จุลินทรีย์

3.8.1 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน 1×10^3 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

3.8.2 เอสเชอริเชีย โคลิ โดยวิธีเอ็มพีเอ็น ต้องน้อยกว่า 3 ต่อตัวอย่าง 1 กรัม

3.8.3 สตาฟีโลค็อกคัส ออเรียส ต้องไม่พบในตัวอย่าง 0.1 กรัม

3.8.4 ยีสต์และรา ต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

4. สุขลักษณะ

4.1 สุขลักษณะในการทำกล้วยอบ ให้เป็นไปตามคำแนะนำตามภาคผนวก จ.

5. การบรรจุ

5.1 ให้บรรจุกล้วยอบในภาชนะบรรจุที่สะอาดแห้ง ผนึกได้เรียบร้อย และสามารถป้องกันการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรกภายนอกได้

5.2 น้ำหนักสุทธิของกล้วยอบในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

6. เครื่องหมายและฉลาก

6.1 ที่ภาชนะบรรจุกล้วยอบทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

- (1) ชื่อเรียกผลิตภัณฑ์ เช่น กล้วยตาก กล้วยอบน้ำผึ้ง กล้วยอบแผ่น กล้วยอบม้วน
- (2) ชนิดและปริมาณวัตถุเจือปนอาหาร (ถ้ามี)
- (3) น้ำหนักสุทธิ
- (4) ข้อเสนอแนะในการเก็บรักษา
- (5) วัน เดือน ปีที่ทำ และวัน เดือน ปีที่หมดอายุ หรือข้อความว่า “ควรบริโภคก่อน (วัน เดือน ปี)”
- (6) ชื่อผู้ทำ หรือสถานที่ทำ พร้อมสถานที่ตั้ง หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียนในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

7. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

7.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง กล้วยอบที่มีส่วนประกอบเดียวกัน ที่ทำโดยกรรมวิธีเดียวกัน ในระยะเวลาเดียวกัน

7.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้

7.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบสิ่งแปลกปลอม การบรรจุ และเครื่องหมายและฉลาก ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน ๓ หน่วยภาชนะบรรจุ เมื่อตรวจสอบแล้วทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 3.5 ข้อ 5. และข้อ 6. จึงจะถือว่ากล้วยอบรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

7.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบลักษณะทั่วไป สี กลิ่นรส และลักษณะเนื้อสัมผัส ให้ใช้ตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบตามข้อ 7.2.1 แล้ว จำนวน 3 หน่วยภาชนะบรรจุ เมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 3.1 ถึงข้อ 3.4 จึงจะถือว่ากล้วยอบรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

7.2.3 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบวัตถุเจือปนอาหาร วอเตอร์ แอคติวิตี และจุลินทรีย์ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน 5 หน่วยภาชนะบรรจุ นำมาทำเป็นตัวอย่างรวมเมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 3.6 ถึงข้อ 3.8 จึงจะถือว่ากล้วยอบรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

7.3 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างกล้วยอบต้องเป็นไปตามข้อ 7.2.1 ข้อ 7.2.2 และข้อ 7.2.3 ทุกข้อ จึงจะถือว่ากล้วยอบรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้

8. การทดสอบ

8.1 การทดสอบลักษณะทั่วไป สี กลิ่นรส และลักษณะเนื้อสัมผัส

- 8.1.1 ให้แต่งตั้งคณะผู้ตรวจสอบ ประกอบด้วยผู้ที่มีความชำนาญในการตรวจสอบกล้วยอบอย่างน้อย 5 คนแต่ละคนจะแยกกันตรวจและให้คะแนนโดยอิสระ
- 8.1.2 วางตัวอย่างกล้วยอบในงานกระเบื้องสีขาว ตรวจสอบโดยการตรวจพินิจและชิม
- 8.1.3 หลักเกณฑ์การให้คะแนน ให้เป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ จ-1 หลักเกณฑ์การให้คะแนน

ลักษณะที่ตรวจสอบ	เกณฑ์ที่กำหนด	ระดับการตัดสิน (คะแนน)			
		ดีมาก	ดี	พอใช้	ต้องปรับปรุง
ลักษณะทั่วไป	ในภาชนะบรรจุเดียวกันต้องมีรูปทรงและขนาดใกล้เคียงกัน	4	3	2	1
สี	ต้องมีสีที่ดีตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้	4	3	2	1
กลิ่นรส	ต้องมีกลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้ ปราศจากกลิ่นอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นอับ กลิ่นหืน	4	3	2	1
ลักษณะเนื้อสัมผัส	ต้องนุ่ม มีความหยุ่นตัว ไม่แข็งกระด้าง	4	3	2	1

8.2 การทดสอบสิ่งแปลกปลอม ภาชนะบรรจุ และเครื่องหมายและฉลากให้ตรวจพินิจ

8.3 การทดสอบวัตถุเจือปนอาหาร

ให้ใช้วิธีทดสอบตาม AOAC หรือวิธีทดสอบอื่นที่เป็นที่ยอมรับ

8.4 การทดสอบวอเตอร์แอกทิวิตี

ให้ใช้เครื่องวัดวอเตอร์แอกทิวิตี ที่ควบคุมอุณหภูมิได้ที่ (25 ± 2) องศาเซลเซียส

8.5 การทดสอบจุลินทรีย์

ให้ใช้วิธีทดสอบตาม AOAC หรือ BAM หรือวิธีทดสอบอื่นที่เป็นที่ยอมรับ

8.6 การทดสอบน้ำหนักสุทธิ ให้ใช้เครื่องชั่งที่เหมาะสม

สัญลักษณ์ (ข้อ 4.1)

ก.1 สถานที่ตั้งและอาคารที่ทำ

ก.1.1 สถานที่ตั้งตัวอาคารและที่ใกล้เคียง อยู่ในที่ที่จะไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดการปนเปื้อนได้ง่าย โดย

ก.1.1.1 สถานที่ตั้งตัวอาคารและบริเวณโดยรอบ สะอาด ไม่มีน้ำขังแฉะและสกปรก

ก.1.1.2 อยู่ห่างจากบริเวณหรือสถานที่ที่มีฝุ่น เหม่า ควัน มากผิดปกติ

ก.1.1.3 ไม่อยู่ใกล้เคียงกับสถานที่น่ารังเกียจ เช่น บริเวณเพาะเลี้ยงสัตว์ แหล่งเก็บหรือกำจัด

ขยะ

ก.1.2 อาคารที่ทำมีขนาดเหมาะสม มีการออกแบบและก่อสร้างในลักษณะที่ง่ายแก่การบำรุงรักษา
การทำ

ความสะอาด และสะดวกในการปฏิบัติงาน โดย

ก.1.2.1 พื้น ฝาผนัง และเพดานของอาคารที่ทำ ก่อสร้างด้วยวัสดุที่คงทน เรียบ ทำความสะอาด และซ่อมแซมให้อยู่ในสภาพที่ดีตลอดเวลา

ก.1.2.2 แยกบริเวณที่ทำออกเป็นสัดส่วน ไม่อยู่ใกล้ห้องสุขา ไม่มีสิ่งของที่ไม่ใช้แล้วหรือไม่เกี่ยวข้องกับการทำอยู่ในบริเวณที่ทำ

ก.1.2.3 พื้นที่ปฏิบัติงานไม่แออัด มีแสงสว่างเพียงพอ และมีการระบายอากาศที่เหมาะสม

ก.2 เครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ในการทำ

ก.2.1 ภาชนะหรืออุปกรณ์ในการทำที่สัมผัสกับผลิตภัณฑ์ ทำจากวัสดุมีผิวเรียบ ไม่เป็นสนิม ล้างทำความสะอาดได้ง่าย

ก.2.2 เครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ที่ใช้ สะอาด เหมาะสมกับการใช้งาน ไม่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนติดตั้งได้ง่าย มีปริมาณเพียงพอ รวมทั้งสามารถทำความสะอาดได้ง่ายและทั่วถึง

ก.3 การควบคุมกระบวนการทำ

ก.3.1 วัตถุดิบและส่วนผสมในการทำ สะอาด มีคุณภาพดี มีการล้างหรือทำความสะอาดก่อนนำไปใช้

ก.3.2 การทำ การเก็บรักษา การขนย้าย และการขนส่ง ให้มีการป้องกันการปนเปื้อนและการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์

ก.4 การสุขาภิบาล การบำรุงรักษา และการทำความสะอาด

ก.4.1 น้ำที่ใช้ล้างทำความสะอาดเครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์ และมือของผู้ทำ เป็นน้ำสะอาด และมีปริมาณเพียงพอ

ก.4.2 มีวิธีการป้องกันและกำจัดสัตว์นำเชื้อ แมลงและฝุ่นผง ไม่ให้เข้าไปในบริเวณที่ทำตามความเหมาะสม

ก.4.3 มีการกำจัดขยะ สิ่งสกปรก และน้ำทิ้ง อย่างเหมาะสม เพื่อไม่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนกลับลงสู่ผลิตภัณฑ์

ก.4.4 สารเคมีที่ใช้ล้างทำความสะอาด และใช้กำจัดสัตว์นำเชื้อและแมลง ใช้ในปริมาณที่เหมาะสม และเก็บแยกจากบริเวณที่ทำ เพื่อไม่ให้ปนเปื้อนลงสู่ผลิตภัณฑ์ได้

ก.5 บุคลากรและสุขลักษณะของผู้ทำ

ผู้ทำทุกคน ต้องรักษาความสะอาดส่วนบุคคลให้ดี เช่น สวมเสื้อผ้าที่สะอาด มีผ้าคลุมผมเพื่อป้องกันไม่ให้เส้นผมหล่นลงในผลิตภัณฑ์ ไม่ไว้เล็บยาว ล้างมือให้สะอาดทุกครั้งก่อนปฏิบัติงาน หลังการใช้ห้องสุขาและเมื่อมือสกปรก

ภาคผนวก ฉ
คุณสมบัติบรรจุภัณฑ์

ตาราง ฉ-1 คุณสมบัติประเภทของฟิล์มและวัสดุสำหรับบรรจุภัณฑ์

PET (Polyethylene terephthalate)	คุณสมบัติ	PETเป็นโพลีเอสเตอร์เชิงเส้นตรงที่อิมิตัวถูกนำมาใช้งานในรูปของเส้นใยสังเคราะห์ส่วนใหญ่ มักใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับอาหารและยา ในรูปของขวดเพ็ท ขวด PET นี้จะใสเหนียวไม่แตกง่าย ทนต่อความดันก๊าซสูง ใช้บรรจุน้ำอัดลมบรรจุอาหาร สุรา ยา และ เครื่องสำอาง
	ข้อดี	เนื้อฟิล์มมีความแข็งแรงและใส ทนต่อความร้อนและความเย็นได้ดี มีความสามารถในการป้องกันกลิ่นได้
	ข้อเสีย	ความสามารถในการป้องกันความชื้นและอากาศไม่ดี ทนต่อต่างไม่ได้ ซิลไม่ได้ด้วยตัวความร้อน
OPP (Oriented Polypropylene)	คุณสมบัติ	แผ่นฟิล์ม OPP ผลิตจาก PP (Polypropylene) ฟิล์ม OPP เหมาะสำหรับงานลามิเนต และงานพิมพ์นำมาใช้ห่อซองบุหรี่ บรรจุอาหารบรรจุผงซักฟอก ยา แชมพู น้ำยา สารเคมี สบู่เหลว และนำมาใช้งานแทนแผ่นกระดาษแก้ว
	ข้อดี	เนื้อฟิล์มใส และเงา สามารถป้องกันความชื้น และทนต่อความเย็นได้ดี สามารถทนต่อกรดและด่างได้ดี
	ข้อเสีย	ไม่ทนต่อความร้อน ไม่สามารถป้องกันออกซิเจน และกลิ่นได้ดี ซิลด้วยความร้อนได้ไม่ดี ฉีกขาดได้ง่าย มีความเปราะ
Nylon(Polyamide)	คุณสมบัติ	Nylonมีสมบัติที่ดีในด้านความเหนียวและมีผิวลื่น ผสมกับสีได้เป็นอย่างดี สามารถยืดและหดตัวได้ มีสีขาวขุ่น โปร่งแสง และสามารถใช้ทำถุงสุญญากาศได้ดี
	ข้อดี	เนื้อฟิล์มมีความใส ทนต่อความร้อนและความเย็นได้ดี สามารถป้องกันออกซิเจนและกลิ่นได้ดี รวมไปถึงยังสามารถทนต่อกรดและด่างได้อีกด้วย
	ข้อเสีย	ฟิล์ม มีความแข็งแรง ไม่ค่อยดีสามารถป้องกันความชื้นได้ไม่ดีนัก ไม่ทนต่อกรดแก่ และเป็นชนวนไฟฟ้า

ตาราง ฉ-1(ต่อ) คุณสมบัติประเภทของฟิล์มและวัสดุสำหรับบรรจุภัณฑ์

LLDPE (Linear Low Density Polyethylene)	คุณสมบัติ	LLDPE ใช้เป็นตัวเคลือบกับวัสดุบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่นๆ เพื่อช่วยในการปิดผนึก ป้องกันไอน้ำเพื่อเพิ่มความแข็งแรง และเหมาะสมสำหรับการใช้งานซึ่งต้องการรองรับสินค้าที่มีลักษณะพิเศษ เช่น ถุงใส่งานอุตสาหกรรม เครื่องโลหะ ถุงข้าวสาร และ ถุงน้ำแข็ง เป็นต้น
	ข้อดี	ทนต่อแรงกระแทก มีความยืดหยุ่นดี หรือ การฉีกขาดได้ดี แปรรูป เปลี่ยนแปลงลักษณะ คั้นสภาพเดิมได้ดี รองรับการใช้แบบคุณภาพ และยังป้องกันการรั่วไหลของสินค้า ได้ สามารถทนสภาพ การปรับสภาพพื้นผิววัสดุได้ สามารถบรรจุน้ำมันและเคมีภัณฑ์ที่มีแรงเหนียวพื้นผิววัสดุได้ดีจึงเป็นวัสดุชนิดหนึ่งในการลามิเนตชั้นภายในสินค้า ให้สามารถมองเห็นสินค้าภายในได้ และยังทนกรด,ด่างป้องกันการรูดสนิม และ ความชื้นได้ ปิดผนึกด้วยความร้อนดี
	ข้อเสีย	เนื้อฟิล์มไม่ค่อยใส เวลาที่พลาสติกเหลวเย็นตัวลงมันก็เกิดการตกผลึกในเนื้อของมัน เมื่อมันมีผลึกเยอะมันก็เลยขุ่น ไม่เหมาะสำหรับบรรจุของเหลวที่มีส่วนผสมของตัวทำลาย

ที่มา : Plastics Interlligence Unit Website (<http://plastic.oie.go.th>)

ภาคผนวก ช

ภาพประกอบ

ภาพประกอบที่ ช-1 กลัวยเล็บมือนางอบแห้งด้วยก๊าซหุงต้มที่อุณหภูมิต่างๆ



กลัวยเล็บมือนางอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C



กลัวยเล็บมือนางอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C



กลัวยเล็บมือนางอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C



กลัวยเล็บมือนางอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C



กลัวยเล็บมือนางอบแห้งที่อุณหภูมิ 90°C

ภาพประกอบที่ ช-2 กลัวยไช่อบแห้งด้วยก๊าซหุงต้มที่อุณหภูมิต่างๆ



กลัวยไช่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C



กลัวยไช่อบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C



กลัวยไช่อบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C



กลัวยไช่อบแห้งที่อุณหภูมิ 90°C

ภาพประกอบที่ ช-3 กล้วยไข่อบแห้งด้วยก๊าซหุงต้มที่อุณหภูมิ 80°C ในบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ที่ระยะเวลาและอุณหภูมิการเก็บรักษาต่าง ๆ



กล้วยไข่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 80°C ในบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ที่ระยะเวลาและอุณหภูมิการเก็บรักษาต่าง ๆ



กล้วยไข่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 80°C บรรจุภัณฑ์ต่างๆ ที่สภาวะการเก็บรักษาอุณหภูมิแวดล้อม



กล้วยไข่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 80°C บรรจุภัณฑ์ต่างๆ ที่สภาวะการเก็บรักษาอุณหภูมิ 5°C

ภาพประกอบที่ ข-4 กล้วยไข่ออบแห้งด้วยก๊าซหุงต้มที่อุณหภูมิ 80°C ในบรรจุภัณฑ์ต่างๆ



บรรจุภัณฑ์ชนิด PET
Polyethylene Terephthalate



บรรจุภัณฑ์ชนิด Nylon/LLDPE
Linear Low Density Polyethylene



บรรจุภัณฑ์ชนิด PET/PE
Polyethylene terephthalate/ Polyethylene



บรรจุภัณฑ์ชนิด OPP
Oriented Polypropylene

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวธวัลอรณ์ญช์ มุสิกะไชย
รหัสประจำตัวนักศึกษา 5810120025

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเคมีแลกระบวนกร)	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์	2557

ทุนการศึกษา

- ทุนบัณฑิตศึกษาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ พ.ศ. 2558
- ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ ปีงบประมาณ 2558

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

- ธวัลอรณ์ญช์ มุสิกะไชย, ณัฐภาส ทองมาก, ภวินท์ ชลเกษม, ยุทธนา ฐิระวณิชย์กุล และสุภวรรณ ฐิระวณิชย์กุล เรื่องสัมประสิทธิ์การแพร่และจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางด้วยเชื้อเพลิงก๊าซหุงต้ม การประชุมวิชาการระดับชาติ “วลัยลักษณ์วิจัย” ครั้งที่ 8