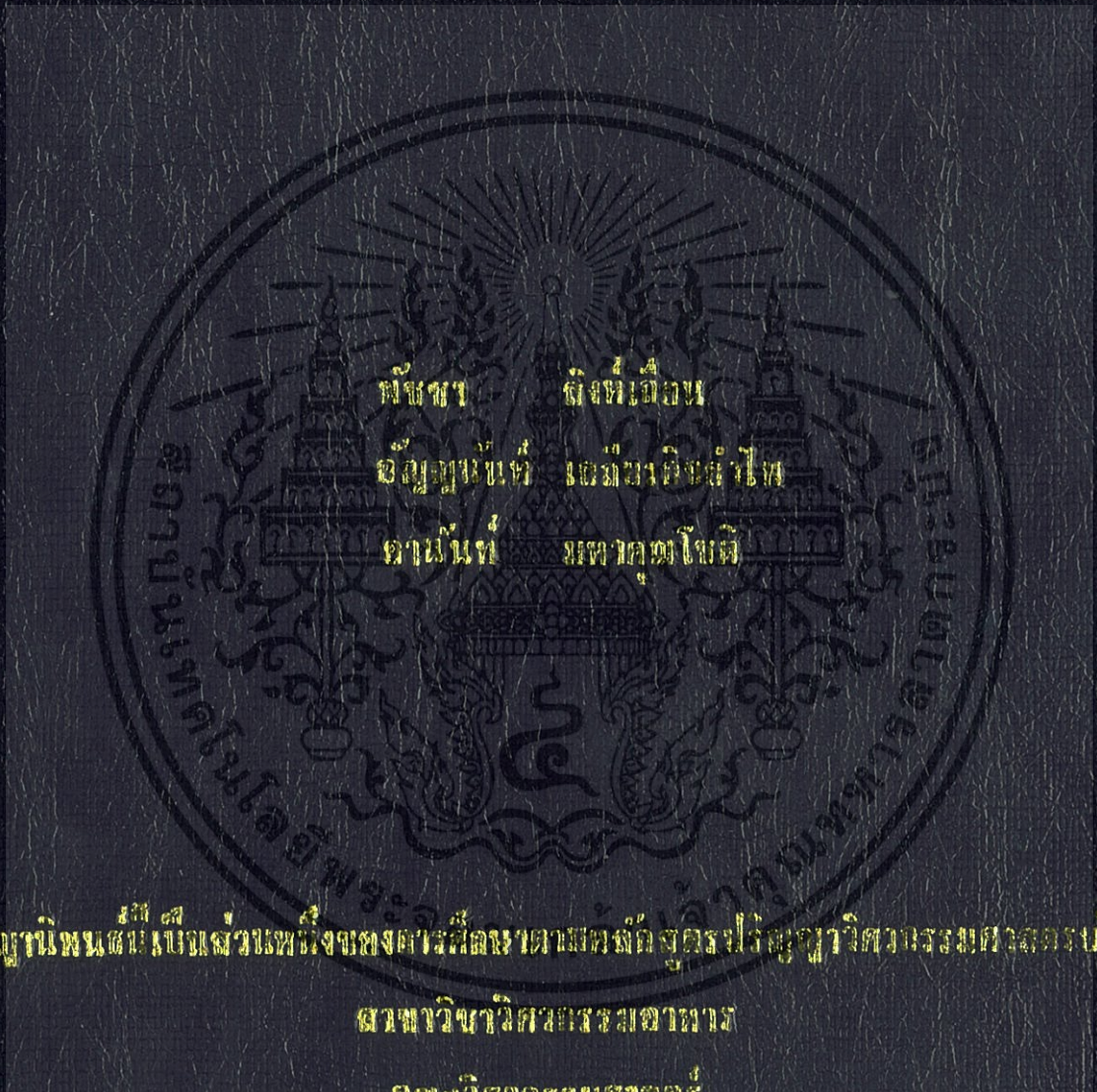


การประยุกต์ใช้เทคนิควิเคราะห์ภาพในการประเมินลักษณะของมันฝรั่งขณะอบแห้ง
APPLICATION OF IMAGE ANALYSIS TO CHARACTERIZE POTATO
DURING DRYING



ปริญญาโท เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตรอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การประยุกต์ใช้เทคนิควิเคราะห์ภาพในการประเมินลักษณะของมันฝรั่งขณะอบแห้ง

APPLICATION OF IMAGE ANALYSIS TO CHARACTERIZE POTATO
DURING DRYING



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**APPLICATION OF IMAGE ANALYSIS TO CHARACTERIZE POTATO
DURING DRYING**



**THIS THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2013**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การประยุกต์ใช้เทคนิควิเคราะห์ภาพในการประเมินลักษณะของมันฝรั่งขณะอบแห้ง
APPLICATION OF IMAGE ANALYSIS TO CHARACTERIZE POTATO DURING DRYING

ผู้จัดทำ

- | | | |
|-------------------|---------------|-----------------------|
| 1 นางสาวพัชชา | สิงห์เถื่อน | รหัสประจำตัว 53011083 |
| 2 นางสาวอัญญนันท์ | เสถียรกิจอำไพ | รหัสประจำตัว 53011916 |
| 3 นายอานันท์ | มหาคุณโชติ | รหัสประจำตัว 53011930 |



(Handwritten signature)

(ดร.มธุรดา จิโนรส)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์เรื่อง	การประยุกต์ใช้เทคนิควิเคราะห์ภาพในการประเมินลักษณะของ มันฝรั่งขณะอบแห้ง	
นักศึกษา	นางสาวพัชชา	สิงห์เถื่อน
	นางสาวอัญญนันท์	เสถียรกิจอำไพ
	นายอานันท์	มหาคุณโชติ
รหัสประจำตัว	53011083	
	53011916	
	53011930	
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมอาหาร	
ปีการศึกษา	2556	
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	ดร.มธุรดา จิโนรส	

บทคัดย่อ

ระหว่างกรอบแห้ง อาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ หลายประการ ไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนแปลงเชิงกายภาพหรือเคมี หนึ่งใน การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่สำคัญ ได้แก่ การหดตัวและการเสี ยรูปของชิ้นอาหาร ซึ่งส่งผลเป็นอย่างยิ่งต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคและต่อสมบัติอื่นของอาหารนั้น ด้วยเหตุนี้วิธีการซึ่งสามารถนำไปใช้ในการติดตามและประเมินการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจึงมีความสำคัญยิ่ง การวิเคราะห์ภาพเป็นเทคนิคหนึ่งซึ่งสามารถนำมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าวได้เป็นอย่างดี เนื่องจากการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย จึงไม่ส่งผลกระทบต่อรูปแบบของการเสี ยรูป อีกทั้งยังทำการวิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็วและมีความคุ้มค่าสูง งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพในการศึกษาผลของพารามิเตอร์ที่สำคัญบางประการของกระบวนการอบแห้งที่มีต่อการเปลี่ยนรูปของอาหาร โดยเลือกใช้มันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ (สีเหลืองลูกบาศก์ แผ่นสีเหลือง และแผ่นกลม) เป็นตัวแทนของอาหาร ทำการอบแห้งที่สภาวะการอบแห้งที่แตกต่างกัน ได้แก่ การใช้อุณหภูมิอากาศร้อนที่ 50 70 และ 90 °C และความเร็วลม 0.8 m/s และศึกษาการเปลี่ยนรูปของมันฝรั่งด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพในทอมของพื้นที่ภาพฉาย เส้นรอบรูป แกนหลัก แกนรอง รัศมีเฟอร์เร็ด และมิติแฟร็กทัล และเปรียบเทียบผลที่ได้กับผลที่ได้จากวิธีวัดมาตรฐาน นอกจากนี้ยังศึกษาผลของการปรับสภาพ (Pretreatment) ได้แก่ การลวก และการหมუნชิ้นตัวอย่างระหว่างกรอบแห้งที่มีต่อพฤติกรรม การเสี ยรูปและอัตราการอบแห้งของตัวอย่าง จากการศึกษาพบว่ามันฝรั่งรูปลูกบาศก์ แม้จะมีอัตราการอบแห้งและการหดตัวสูง แต่การหดตัวเป็นไปอย่างค่อนข้างสม่ำเสมอ ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างน้อยกว่ามันฝรั่งแผ่นสีเหลืองและแผ่นกลม จากผลการอบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่าอุณหภูมิ 50 °C ให้อัตราการอบแห้งต่ำกว่าที่อุณหภูมิอื่น ๆ แต่ส่งผลให้เกิดการหดตัวสูงที่สุด อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาในแง่ของการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง พบว่าการอบแห้งที่ 50 °C ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมากกว่าที่อุณหภูมิ 70 °C แต่น้อยกว่าที่อุณหภูมิ 90 °C นอกจากนี้ยังพบว่า การลวกทำให้มันฝรั่งเกิดการหดตัวและเปลี่ยนรูปร่างน้อย อีกทั้งยังทำให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้น เมื่อเทียบกับกรณีการอบแห้งมันฝรั่งที่ไม่ผ่านการลวก การลวกยังช่วยลดการเปลี่ยนสีระหว่างกรอบแห้งที่อุณหภูมิสูง โดยพบว่าค่าสีหลักหรือค่า Hue (h_{ab}) นั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลง และมีเพียงค่าความสว่าง (L^*) เท่านั้นที่ได้รับผลกระทบ การหมუნชิ้นตัวอย่างให้ได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนอย่างสม่ำเสมอระหว่างการอบแห้งช่วยลดการเปลี่ยนรูป (การหดตัวและการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง) ของตัวอย่างได้เป็นอย่างมาก และยังช่วยให้การอบแห้งเป็นไปได้อย่างรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: การวิเคราะห์ภาพ; การอบแห้ง; มันฝรั่ง; อุณหภูมิในการอบแห้ง; การลวก; การหมน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Application of Image Analysis to Characterize Potato during Drying
Student	Miss Phatcha Singthuan Miss Anyanun Stienkijumapai Mr. Anan Mahakunchot
Student ID.	53011083 53011916 53011930
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Food Engineering
Academic Year	2013
Thesis Advisor	Dr. Maturada Jinorose

ABSTRACT

During drying food suffers various changes, either in terms of physical and chemical changes. Among the important physical changes, shrinkage and deformation are one of the most important as they significantly influence the consumer's acceptance of a product and also affect other properties in a complicated way. For this reason, a means that can be used to monitor and evaluate such changes are of importance. Image analysis is one of the techniques that can be used for the aforementioned objective as it is a non-destructive evaluation technique and hence does not pose any effect on the deformation pattern of a sample. The technique is also rapid and cost-effective. This research was the application of image analysis technique to study the effects of some important parameters on deformation of food during drying. Potato samples of various shapes (i.e., cube, slab and disc) were used as a representative food material. Drying was performed at the hot air temperatures of 50, 70 and 90 °C and an air velocity of 0.8 m/s. Deformation was studied in terms of the projected area, perimeter, major axis, minor axis, Ferret's diameter and fractal dimension. The results were compared with those obtained from standard measurement methods. Experiments were also performed to study the effects of sample pretreatment (i.e., blanching) and sample rotation during drying on the deformation behavior as well as drying rate of potatoes. The results showed that cube shaped potatoes exhibited higher rates of drying and shrinkage but suffered more uniform deformation than the slab and disc shaped samples. This implied that the cube shaped samples experienced less deformation or, in other words, change of shape, than the slab and disc shaped samples. Drying at 50 °C resulted in the lowest drying rates but led to most extensive shrinkage. However, when considering in terms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

of deformation, drying at 50 °C led to more deformation than drying at 70 °C but less than drying at 90 °C. Blanching led to less shrinkage and deformation. Blanching also helped reduce the changes of color during high-temperature drying. The hue value of the samples was not affected; only the lightness was affected. Rotating a sample to allow it to receive a more uniform heating during the drying process helped reduce both shrinkage and deformation in a significant fashion. Drying was also enhanced by the sample rotation.

Keywords: Image analysis; Drying; Potato; Drying temperature; Blanching; Rotation



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	XX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 กระบวนการอบแห้ง	3
2.1.1 กลไกการอบแห้ง.....	3
2.1.2 อัตราการอบแห้ง.....	3
2.1.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง.....	4
2.2 การเปลี่ยนแปลงของอาหารระหว่างการอบแห้ง	5
2.2.1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของอาหารระหว่างการอบแห้ง	5
2.2.2 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอาหารระหว่างการอบแห้ง	5
2.2.3 การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของอาหารระหว่างการอบแห้ง	6
2.2.4 การเปลี่ยนสีของอาหารระหว่างการอบแห้ง	7
2.2.5 การเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาการ.....	8
2.3 เทคนิควิเคราะห์ภาพ	8
2.3.1 การได้มาซึ่งภาพ	9
2.3.2 การวิเคราะห์ภาพ	10
2.3.3 ข้อมูลพื้นฐานที่ได้จากการแยกข้อมูลภาพ	11
2.3.4 การประยุกต์ใช้เทคนิควิเคราะห์ภาพในงานอาหาร.....	16
2.4 มันฝรั่ง.....	17
2.4.1 พันธุ์ของมันฝรั่ง	17
2.4.2 คุณภาพของมันฝรั่ง.....	17
2.4.3 คุณค่าทางโภชนาการของมันฝรั่ง.....	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย.....	23
3.1 อุปกรณ์.....	23
3.2 การสอบเทียบประสิทธิภาพโปรแกรมวิเคราะห์ภาพที่พัฒนาขึ้น.....	24
3.2.1 การสอบเทียบประสิทธิภาพการวัดสี.....	24
3.2.2 การสอบเทียบประสิทธิภาพการวัดขนาดและพื้นที่.....	25
3.3 การเตรียมชิ้นตัวอย่างการทดลอง.....	25
3.3.1 การวัดความถ่วงจำเพาะของน้ำมันฝรั่ง.....	25
3.3.2 การเตรียมชิ้นตัวอย่างขั้นต้น.....	26
3.4 วิธีการทดลอง.....	26
3.4.1 การทดลองขั้นที่ 1 ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลง ของชิ้นตัวอย่างมันฝรั่ง.....	26
3.4.2 การทดลองขั้นที่ 1 ศึกษาอิทธิพลของการหมุนชิ้นตัวอย่างขณะอบแห้งต่อการ เปลี่ยนแปลงของชิ้นตัวอย่างมันฝรั่ง.....	27
3.5 การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของชิ้นตัวอย่าง.....	27
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	28
4.1 การสอบเทียบประสิทธิภาพการ.....	28
4.2 อิทธิพลของรูปทรงของชิ้นตัวอย่างต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันฝรั่งระหว่างการอบแห้ง.....	29
4.3 อิทธิพลของอุณหภูมิในการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันฝรั่งระหว่างการอบแห้ง.....	33
4.4 อิทธิพลของการลวกต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันฝรั่งระหว่างการอบแห้ง.....	38
4.5 อิทธิพลของการหมุนชิ้นตัวอย่างต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันฝรั่งระหว่างการอบแห้ง.....	42
4.6 การเลือกค่าตัวแปรที่เข้าป้อนการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันฝรั่งระหว่างการอบแห้ง.....	46
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	48
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	48
5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไข.....	49
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	49
บรรณานุกรม.....	50
ภาคผนวก.....	54
ภาคผนวก ก แผ่นสีมาตรฐาน.....	55
ภาคผนวก ข ผลการทดลอง.....	58
ภาคผนวก ค โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น.....	132

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สารอาหารต่าง ๆ ในมันฝรั่งดิบ 100 กรัม.....	18
4.1 การเปรียบเทียบค่าทางสถิติ.....	28
4.2 อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของรูปทรงต่าง ๆ.....	29
ก.1 ค่าสีของแผ่นสีมาตรฐานในระบบสี RGB.....	56



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและอัตราการอบแห้งระหว่างการอบแห้ง.....	3
2.2 ตัวอย่างการจัดตำแหน่งแหล่งกำเนิดแสงและกล้องถ่ายภาพ.....	10
2.3 ความยาวของช่วงคลื่นแสงที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้.....	11
2.4 แบบจำลองระบบสี CIELAB.....	12
2.5 แบบจำลองระบบสี RGB.....	12
2.6 แบบจำลองระบบสี HSL.....	13
2.7 แกนหลักและแกนรอง.....	15
2.8 ขั้นตอนการทำบ็อกซ์เคาน์ติ้ง (Box-counting).....	15
2.9 ความสัมพันธ์ของจำนวนของตารางที่มีข้อมูลกับขนาดของมาตรวัด.....	16
3.1 ชุดอุปกรณ์สำหรับถ่ายภาพ.....	23
3.2 แผ่นสีมาตรฐาน.....	24
3.3 ขึ้นตัวอย่างมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ.....	26
4.1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมันฝรั่งแต่ละรูปทรงที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	30
4.2 อัตราการอบแห้ง (Drying rate) ต่อความชื้นของมันฝรั่งแต่ละรูปทรงที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	30
4.3 อัตราส่วนพื้นที่ที่ภาพฉายต่อความชื้นของมันฝรั่งแต่ละรูปทรงที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	31
4.4 อัตราส่วนค่าแฟร็คทัลต่อความชื้นของมันฝรั่งแต่ละรูปทรงที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	32
4.5 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งแต่ละรูปทรงที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	32
4.6 การเปลี่ยนแปลงค่าสีหลัก (h_{ab}) ของมันฝรั่งแต่ละรูปทรงที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	33
4.7 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ.....	34
4.8 อัตราการอบแห้ง (Drying rate) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ.....	34
4.9 อัตราส่วนพื้นที่ที่ภาพฉายต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ.....	35
4.10 อัตราส่วนค่าแฟร็คทัลต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ.....	36
4.11 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ.....	37

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.12 การเปลี่ยนแปลงค่าสีหลัก (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ.....	37
4.13 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	38
4.14 อัตราการอบแห้ง (Drying rate) ต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	39
4.15 อัตราส่วนพื้นที่ที่ภายต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	40
4.16 อัตราส่วนแฟร็กทัลต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	40
4.17 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	41
4.18 การเปลี่ยนแปลงค่าสีหลัก (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	41
4.19 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกที่การหมนแบบต่าง ๆ ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	42
4.20 อัตราการอบแห้ง (Drying rate) ต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกที่การหมนแบบต่าง ๆ ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	43
4.21 อัตราส่วนพื้นที่ที่ภายต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกที่การหมนแบบต่าง ๆ ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	44
4.22 อัตราส่วนค่าแฟร็กทัลต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกที่การหมนแบบต่าง ๆ ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	44
4.23 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกที่การหมนแบบต่าง ๆ ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	45
4.24 การเปลี่ยนแปลงค่าสีหลัก (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกที่การหมนแบบต่าง ๆ ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	45
4.25 การเปลี่ยนแปลงค่า ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกระหว่างอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	46
4.26 การเปลี่ยนแปลงต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	47

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.1 แผ่นสีมาตรฐาน	56
ข.1.1 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	59
ข.1.2 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	59
ข.1.3 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	60
ข.1.4 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	60
ข.1.5 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	61
ข.1.6 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	61
ข.1.7 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	62
ข.1.8 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	62
ข.1.9 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	63
ข.1.10 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	63
ข.1.11 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	64
ข.1.12 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	64
ข.1.13 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	65
ข.1.14 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	65
ข.1.15 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	66
ข.1.16 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	66
ข.1.17 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.1.36 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ต่อความชื้นของมันเป็นฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมที่ผ่านการลวกระหว่งการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส.....	76
ข.2.1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมันเป็นฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ไม่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ.....	77
ข.2.2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมันเป็นฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ.....	77
ข.2.3 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมันเป็นฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ไม่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ.....	78
ข.2.4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมันเป็นฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ.....	78
ข.2.5 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมันเป็นฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมที่ไม่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ.....	79
ข.2.6 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมันเป็นฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ.....	79
ข.2.7 อัตราส่วนพื้นที่ที่ผาพลายกับความชื้นของมันเป็นฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ไม่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ.....	80
ข.2.8 อัตราส่วนพื้นที่ที่ผาพลายต่อความชื้นของมันเป็นฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ.....	80
ข.2.9 อัตราส่วนพื้นที่ที่ผาพลายต่อความชื้นของมันเป็นฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ไม่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ.....	81
ข.2.10 อัตราส่วนพื้นที่ที่ผาพลายต่อความชื้นของมันเป็นฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ.....	81
ข.2.11 อัตราส่วนพื้นที่ที่ผาพลายต่อความชื้นของมันเป็นฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมที่ไม่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ.....	82
ข.2.12 อัตราส่วนพื้นที่ที่ผาพลายต่อความชื้นของมันเป็นฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ.....	82
ข.2.13 อัตราส่วนค่าแฟร็คทัลต่อความชื้นของมันเป็นฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ไม่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ.....	83
ข.2.14 อัตราส่วนค่าแฟร็คทัลต่อความชื้นของมันเป็นฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ.....	83
ข.2.15 อัตราส่วนค่าแฟร็คทัลต่อความชื้นของมันเป็นฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ไม่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ.....	84
ข.2.16 อัตราส่วนค่าแฟร็คทัลต่อความชื้นของมันเป็นฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ.....	84
ข.2.17 อัตราส่วนค่าแฟร็คทัลต่อความชื้นของมันเป็นฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมที่ไม่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ.....	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.2.18 อัตราส่วนค่าแฟร็คทัลต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ.....	85
ข.2.19 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ไม่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ.....	86
ข.2.20 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ.....	86
ข.2.21 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ไม่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ.....	87
ข.2.22 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ.....	87
ข.2.23 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ.....	88
ข.2.24 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ.....	88
ข.2.25 การเปลี่ยนแปลงค่าสีส้ม (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ไม่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ.....	89
ข.2.26 การเปลี่ยนแปลงค่าสีส้ม (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ.....	89
ข.2.27 การเปลี่ยนแปลงค่าสีส้ม (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ.....	90
ข.2.28 การเปลี่ยนแปลงค่าสีส้ม (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ.....	90
ข.2.29 การเปลี่ยนแปลงค่าสีส้ม (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมที่ไม่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ.....	91
ข.2.30 การเปลี่ยนแปลงค่าสีส้ม (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมที่ไม่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ.....	91
ข.3.1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	92
ข.3.2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	92
ข.3.3 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	93
ข.3.4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	93
ข.3.5 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.3.6 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	94
ข.3.7 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	95
ข.3.8 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	95
ข.3.9 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	96
ข.3.10 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายต่อความชื้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	96
ข.3.11 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายต่อความชื้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	97
ข.3.12 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายต่อความชื้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	97
ข.3.13 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายต่อความชื้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	98
ข.3.14 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายต่อความชื้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	98
ข.3.15 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายต่อความชื้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	99
ข.3.16 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายต่อความชื้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	99
ข.3.17 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายต่อความชื้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	100
ข.3.18 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายต่อความชื้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	100
ข.3.19 อัตราส่วนแฟร็คทัลต่อความชื้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	101
ข.3.20 อัตราส่วนแฟร็คทัลต่อความชื้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	101
ข.3.21 อัตราส่วนแฟร็คทัลต่อความชื้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	102
ข.3.22 อัตราส่วนแฟร็คทัลต่อความชื้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	102
ข.3.23 อัตราส่วนแฟร็คทัลต่อความชื้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	103

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.3.24 อัตราส่วนแฟร็กทัลต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	103
ข.3.25 อัตราส่วนแฟร็กทัลต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส.....	104
ข.3.26 อัตราส่วนแฟร็กทัลต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส.....	104
ข.3.27 อัตราส่วนแฟร็กทัลต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส.....	105
ข.3.28 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	105
ข.3.29 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	106
ข.3.30 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	106
ข.3.31 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	107
ข.3.32 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	107
ข.3.33 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	108
ข.3.34 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส.....	108
ข.3.35 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส.....	109
ข.3.36 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส.....	109
ข.3.37 การเปลี่ยนแปลงค่าสีส้ม (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	110
ข.3.38 การเปลี่ยนแปลงค่าสีส้ม (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	110
ข.3.39 การเปลี่ยนแปลงค่าสีส้ม (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	111
ข.3.40 การเปลี่ยนแปลงค่าสีส้ม (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	111
ข.3.41 การเปลี่ยนแปลงค่าสีส้ม (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.3.42 การเปลี่ยนแปลงค่าสีสัน (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	112
ข.3.43 การเปลี่ยนแปลงค่าสีสัน (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส.....	112
ข.3.44 การเปลี่ยนแปลงค่าสีสัน (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	113
ข.3.45 การเปลี่ยนแปลงค่าสีสัน (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	114
ข.4.1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	114
ข.4.2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	115
ข.4.3 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	115
ข.4.4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	116
ข.4.5 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส.....	116
ข.4.6 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส.....	117
ข.4.7 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	117
ข.4.8 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	118
ข.4.9 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	118
ข.4.10 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	119
ข.4.11 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส.....	119
ข.4.12 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส.....	120
ข.4.13 อัตราส่วนค่าแฟร็คทัลต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	120
ข.4.14 อัตราส่วนค่าแฟร็คทัลต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	121

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.5.4 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกที่การหมუნแบบต่าง ๆ ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	131
ข.5.5 การเปลี่ยนแปลงค่าสีส้ม (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกที่การหมუნแบบต่าง ๆ ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	131



รายการคำย่อและสัญลักษณ์

X_c	ความชื้นวิกฤต (Critical moisture content, CMC)
X^*	ความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content, EMC)
X	ความชื้นฐานแห้ง (เปอร์เซ็นต์)
X_0	ความชื้นฐานแห้งที่เวลาเริ่มต้น (เปอร์เซ็นต์)
d.b.	ฐานแห้ง (Dry basis)
Gray	ค่าสเกลสีเทา
R	ค่าสีแดงจากระบบสี RGB
G	ค่าสีเขียวจากระบบสี RGB
B	ค่าสีน้ำเงินจากระบบสี RGB
L^*	ค่าความสว่างจากระบบสี CIELAB
a^*	ค่าสีน้ำเงิน-เหลืองจากระบบสี CIELAB
b^*	ค่าสีแดง-เขียวจากระบบสี CIELAB
C^*_{ab}	ค่าความสดของสีจากระบบสี CIELCH
h_{ab}	ค่าของสีส้นจากระบบสี CIELCH
S	ค่าการปนของสีเทาจากระบบสี HSL
X	ค่า X จากระบบสี CIEXYZ
Y	ค่า Y จากระบบสี CIEXYZ
Z	ค่า Z จากระบบสี CIEXYZ
X_n	ค่า X จากระบบสี CIEXYZ ของสีขาวมาตรฐานที่ใช้ในการอ้างอิงชนิดของแสงสว่าง
Y_n	ค่า Y จากระบบสี CIEXYZ ของสีขาวมาตรฐานที่ใช้ในการอ้างอิงชนิดของแสงสว่าง
Z_n	ค่า Z จากระบบสี CIEXYZ ของสีขาวมาตรฐานที่ใช้ในการอ้างอิงชนิดของแสงสว่าง
FD	มิติแฟร็กทัล (Fractal dimension)
FD_0	มิติแฟร็กทัลที่เวลาเริ่มต้น
n	ตารางข้อมูล (Number of box) ของการหามิติแฟร็กทัล
$1/S$	มาตราส่วน (Scale) ของการหามิติแฟร็กทัล
A	ขนาดพื้นที่ภาพฉาย
A_0	ขนาดพื้นที่ภาพฉายที่เวลาเริ่มต้น
ρ	ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร)
m_t	มวลของตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)
m_s	มวลแห้งของตัวอย่าง (กรัม)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การอบแห้งเป็นกระบวนการแปรรูปที่นิยมใช้กันมานาน โดยเฉพาะกับผักและผลไม้รวมทั้งอาหารที่มีปริมาณน้ำในอาหารมาก เนื่องจากการมีน้ำในอาหารเป็นปริมาณมากนั้นเป็นผลทำให้อาหารเกิดการเน่าเสียจากจุลินทรีย์และปฏิกิริยาทางเคมีภายในอาหาร จึงจำเป็นต้องมีการลดปริมาณน้ำในอาหารเพื่อที่จะสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานขึ้น โดยเป้าหมายของการอบแห้งคือการลดปริมาณน้ำในอาหารเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และลดการเสื่อมเสียของอาหารจากปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ รวมไปถึงการลดน้ำหนักและปริมาตรเพื่อความสะดวกในการขนส่ง ในปัจจุบันนี้อาหารและของทานเล่นหลากหลายชนิดที่วางขายโดยทั่วไปนั้นล้วนแล้วแต่มีกระบวนการอบแห้งเป็นกระบวนการหลักในขั้นตอนการผลิตทั้งสิ้น ไม่ว่าจะเป็นผักและผลไม้อบแห้ง สมุนไพรอบแห้ง อาหารทะเลอบแห้ง สาหร่ายแผ่นอบแห้ง และขนมอบกรอบ เป็นต้น

การอบแห้งนั้นอาศัยกระบวนการถ่ายเทความร้อนจากแหล่งความร้อนโดยการพา การนำ และการแผ่รังสีไปยังอาหาร เพื่อดึงน้ำหรือของเหลวในอาหารออกมา ซึ่งกระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทมวลและความร้อน โดยมวลส่วนใหญ่ที่ถ่ายเทคือน้ำ นั้นเป็นผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น บางครั้งการเปลี่ยนแปลงนั้นอาจเป็นที่ต้องการ เช่น การเกิดกลิ่นเฉพาะตัวของอาหารและการเกิดสีน้ำตาลของขนมปังอบ หรือบางครั้งอาจไม่เป็นที่ต้องการ เช่น การเปลี่ยนแปลงสี การหดตัว การเกิดเปลือกแข็ง สูญเสียความชุ่มฉ่ำ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในของอาหาร การสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ การเกิดกลิ่นและรสชาติที่ไม่เป็นที่ต้องการ เป็นต้น ดังนั้นในระหว่างการอบแห้งจึงจำเป็นต้องมีการสังเกตและประเมินการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น เพื่อควบคุมและป้องกันการสูญเสียคุณภาพของอาหารในระหว่างการอบแห้ง

การประเมินคุณภาพอาหารระหว่างการอบแห้งนั้นหากเป็นการประเมินจากการเปลี่ยนแปลงของลักษณะปรากฏของอาหาร โดยทั่วไปมักกระทำโดยใช้สายตาของผู้ตรวจสอบ ซึ่งผลที่ได้ขึ้นอยู่กับความชำนาญของแต่ละบุคคลจึงอาจเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ อีกทั้งไม่สามารถตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสมบัติภายในของอาหารซึ่งทำได้ยากได้ แม้ในปัจจุบันจะมีเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาช่วยในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงภายในของอาหาร เช่น การวัดความชื้นด้วยเครื่อง Magnetic resonance imaging (MRI) (Hwang และคณะ, 2009) การวัดสมบัติทางความร้อนและ Degree of gelatinization ของแป้งด้วยเครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC) (Winkler และคณะ, 2014) การวัด Degree of crystallinity ด้วยเครื่อง X-ray diffraction (XRD) (Karamanov และ Pelino, 1999) หรือการวัดองค์ประกอบของอาหารด้วยเครื่อง Near infrared spectrometer (NIR) (Huang และคณะ, 2014) รวมทั้งการศึกษาโครงสร้างภายในด้วยเครื่อง Scanning electron microscopy (SEM) (Hiranvarachat และคณะ, 2013) แต่เทคโนโลยีการวิเคราะห์ขั้นสูงเหล่านี้มีขั้นตอนในการวัดที่ค่อนข้างยุ่งยาก ต้องอาศัยผู้ที่มีความชำนาญในการวัดเพื่อให้ถูกต้องและแม่นยำ อีกทั้งเทคโนโลยีเหล่านี้มีราคาสูง ซึ่งอุตสาหกรรมอบแห้งอาหารในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็กจึงไม่สามารถนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาใช้งานได้ ทำให้การควบคุมคุณภาพของอาหารเป็นไปได้ยาก อีกทั้งในระหว่างกระบวนการอบแห้งผลิตภัณฑ์เกิดการเอกสธารนี้เป็นเอกสธารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาโดยขึ้นกับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง จึงต้องการวิธีตรวจสอบที่รวดเร็วและสามารถวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากระบบซึ่งมีปริมาณมากได้อย่างแม่นยำ ดังนั้นหากมีเทคโนโลยีที่โรงงานอุตสาหกรรมเหล่านั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง

การวิเคราะห์สมบัติของอาหารโดยเทคนิควิเคราะห์ภาพนับเป็นอีกวิธีหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากสามารถนำมาประยุกต์ใช้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพทั้งภายนอกและภายในของอาหารได้ ซึ่งพบได้จากงานวิจัยต่าง ๆ เช่น Fernandez และคณะ (2005) ประยุกต์ใช้เทคนิควิเคราะห์ภาพกับการศึกษาอิทธิพลของการอบแห้งต่อการหดตัวและการเปลี่ยนสีของแอปเปิ้ล Ramirez และคณะ (2011) วิเคราะห์โครงสร้างภายในของแผ่นแอปเปิ้ลระหว่างการอบแห้งด้วยอากาศร้อนโดยใช้เทคนิควิเคราะห์ภาพ และ Chiewchan และคณะ (2010) ศึกษาอิทธิพลของการปรับสภาพที่มีผลต่อลักษณะพื้นผิวของใบกะหล่ำปลีโดยการใช้เทคนิควิเคราะห์ภาพจากเครื่อง SEM นอกจากนี้การวิเคราะห์สมบัติของอาหารโดยเทคนิควิเคราะห์ภาพยังสามารถตรวจวัดได้รวดเร็วและมีความคุ้มค่ามากกว่าการวิเคราะห์ด้วยวิธีวิเคราะห์ขั้นสูงที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้โรงงานอุตสาหกรรมที่มีขนาดกลางและขนาดเล็กสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์รวมถึงควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อพัฒนาวิธีประเมินการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของอาหารระหว่างการอบแห้งโดยใช้อากาศร้อนด้วยเทคนิควิเคราะห์ภาพ

1.2.2 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของอาหารระหว่างการอบแห้งกับสมบัติทางคุณภาพและลักษณะเฉพาะของอาหาร

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 พัฒนารูปแบบการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของมันฝรั่งระหว่างการอบแห้งโดยใช้อากาศร้อนด้วยเทคนิควิเคราะห์ภาพ โดยประเมินจากค่าสีและรูปร่างที่เปลี่ยนแปลงไป

1.3.2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของมันฝรั่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพ ได้แก่ ค่าสีและรูปร่าง กับสมบัติทางคุณภาพของอาหาร ได้แก่ การหดตัว และเปรียบเทียบผลที่ได้จากเทคนิควิเคราะห์ภาพที่พัฒนาขึ้นกับวิธีมาตรฐาน ได้แก่ การวัดขนาดด้วย เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier caliper) และ การวัดสีด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter)

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 เข้าใจการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของมันฝรั่งระหว่างการอบแห้ง

1.4.2 ข้อมูลที่ได้รับนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้กับอาหารชนิดอื่นได้ เพื่อประโยชน์ในการควบคุมระบบการอบแห้งอาหารในอุตสาหกรรม

บทที่ 2

ทฤษฎีหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

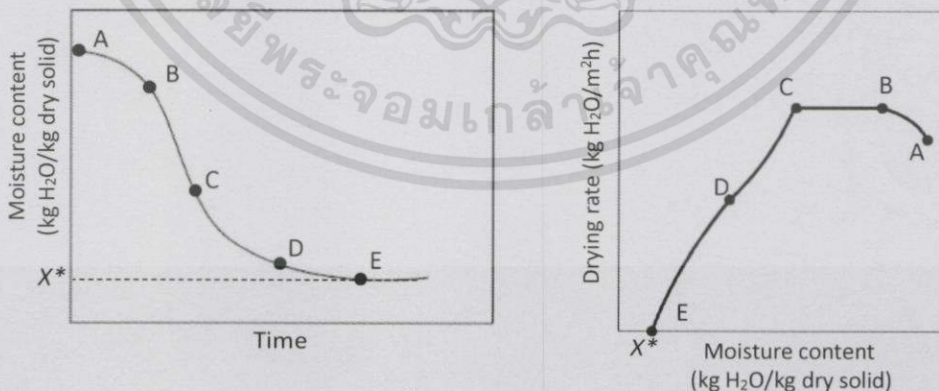
2.1 กระบวนการอบแห้ง

กระบวนการอบแห้งเป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนไปยังอาหารที่ต้องการอบแห้ง เพื่อลดปริมาณน้ำในอาหาร ซึ่งน้ำในอาหารมีผลทำให้อาหารเกิดการเน่าเสียเนื่องจากจุลินทรีย์และปฏิกิริยาทางเคมี ดังนั้นการอบแห้งจึงนิยมใช้กับผักและผลไม้หรืออาหารที่มีปริมาณน้ำมาก โดยมีเป้าหมายเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการลดปริมาณน้ำในอาหารทำให้สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และลดการเสื่อมเสียเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ รวมไปถึงลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและการจัดเก็บผลิตภัณฑ์ (Araya-Farias และ Ratti, 2009)

2.1.1 กลไกการอบแห้ง

เมื่ออากาศร้อนสัมผัสผิวหน้าของอาหารที่มีความชื้น ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวหน้าของอาหารและภายในอาหาร ทำให้น้ำที่ผิวหน้าของอาหารระเหยและเกิดความแตกต่างระหว่างความดันระหว่างผิวหน้าและภายในของอาหาร ซึ่งการเกิดความแตกต่างของความดันนี้ทำให้เกิดแรงดันที่ให้น้ำในอาหารเคลื่อนที่ออกมายังผิว โดยการเคลื่อนที่ของน้ำออกมายังผิวนั้นยังเป็นผลเนื่องจากกลไกต่าง ๆ คือ การเคลื่อนที่ของของเหลวด้วยแรงแคปิลลารี การแพร่ของของเหลวซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นของตัวทำละลายในอาหารส่วนต่าง ๆ การแพร่ของของเหลวซึ่งถูกดูดซับโดยผิวหน้าของของแข็งในอาหาร และการแพร่ของไอน้ำในช่องอากาศซึ่งเกิดความแตกต่างของความดันไอ เป็นต้น (Araya-Farias และ Ratti, 2009)

2.1.2 อัตราการอบแห้ง (Drying rate)



รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและอัตราการอบแห้งระหว่างการอบแห้ง (ปรับปรุงจาก Rahman and Perera, 2007)

อัตราการอบแห้งคือ อัตราการระเหยน้ำออกจากวัสดุต่อพื้นที่ที่เกิดการระเหยต่อหน่วยเวลา ระหว่างการอบแห้ง ซึ่งการอบแห้งโดยทั่วไปนั้นสามารถแบ่งช่วงของการอบแห้งได้เป็น 3 ช่วง ดังรูปที่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 ช่วงแรกหรือช่วงการปรับสภาวะเบื้องต้น (Initial adjustment period, AB) เป็นช่วงเริ่มต้นในการอบแห้ง ซึ่งช่วงนี้ความชื้นเริ่มต้นของอาหารยังสูงอยู่ และผิวของอาหารจะมีลักษณะเปียกชื้นมาก เมื่อเกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศร้อนกับอาหาร อุณหภูมิที่พื้นผิวอาหารจะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature) ของอากาศร้อน โดยในช่วงนี้ความชื้นของอาหารจะลดลงเรื่อย ๆ และอัตราการอบแห้งก็จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นก่อนจะเข้าสู่ช่วงที่สองหรือช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant rate period, BC) ช่วงนี้เป็นช่วงที่น้ำภายในวัสดุเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้า ซึ่งพลังงานความร้อนที่วัสดุได้รับจะใช้ในการระเหยน้ำออกจากอาหารอย่างต่อเนื่อง ความชื้นเฉลี่ยของอาหารจะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในการอบแห้ง ซึ่งในช่วงนี้อัตราการอบแห้งจะคงที่ จนถึงจุด ๆ หนึ่งที่อัตราในการอบแห้งจะเริ่มลดลง และความชื้นของอาหาร ณ เวลานั้น เรียกว่า ความชื้นวิกฤต (Critical moisture content, X_C) ต่อจากนั้นอัตราการอบแห้งจะค่อย ๆ ลดลง เข้าสู่ช่วงที่สามหรือช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling rate period, CD และ DE) เป็นช่วงที่ความชื้นในอาหารเหลือน้อยจนแพร่ไปยังผิวหน้าอาหารอย่างไม่ต่อเนื่องและผิวหน้าของอาหารเริ่มแห้ง ทำให้อุณหภูมิที่ผิวของอาหารสูงขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งอัตราการอบแห้งจะลดลงและความชื้นก็จะลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งความชื้นของอาหารไม่เปลี่ยนแปลง หรือกล่าวได้ว่าการอบแห้งได้มาถึงจุดสิ้นสุดที่ค่าความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content, X^*) ซึ่งเป็นความชื้นที่ต่ำสุด ภายใต้สภาวะที่อบแห้งอยู่ในขณะนั้น ที่ความชื้นนี้ อัตราการอบแห้งเป็นศูนย์และน้ำในอาหารไม่สามารถระเหยออกมาได้อีก (Tang and Yang, 2004)

2.1.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง

1 ลักษณะโครงสร้างภายในของอาหาร ความแตกต่างของโครงสร้างภายในของอาหาร ทำให้อัตราการอบแห้งแตกต่างกัน จากการศึกษาผลของการปรับสภาพของแผ่นแอปเปิ้ล โดย Ramirez และคณะ (2011) พบว่าขนาดของช่องว่างระหว่างเซลล์ (Cell cavities size) ของแผ่นแอปเปิ้ลที่ผ่านการปรับสภาพนั้นแตกต่างไปจากเดิม และมีผลทำให้อัตราการอบแห้งแผ่นแอปเปิ้ลที่ผ่านการปรับสภาพนั้นต่างจากแผ่นแอปเปิ้ลที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ (Rahman and Perera, 2007)

2 ขนาด รูปร่าง ปริมาตร และพื้นที่ผิวของอาหาร เป็นสมบัติทางกายภาพของอาหารที่มีผลต่อการอบแห้ง อาหารที่มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมาก จะมีพื้นที่ระเหยน้ำมากเป็นผลทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น และหากอาหารที่มีความหนามากอัตราการอบแห้งจะช้ากว่าอาหารที่มีความหนาน้อยกว่าเนื่องจากอัตราการอบแห้งจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของอาหาร (Rahman and Perera, 2007)

3 ปริมาณของอาหารที่นำมาอบแห้ง การที่นำอาหารมาอบแห้งในปริมาณมาก ๆ จะมีอัตราการอบแห้งที่ช้าเนื่องจากอากาศร้อนไม่สามารถสัมผัสกับอาหารได้อย่างทั่วถึง จึงไม่สามารถถ่ายเทความร้อนให้กับอาหารได้ เป็นผลทำให้อัตราการอบแห้งช้าลง (Rahman and Perera, 2007)

4 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความชื้นจำเพาะ (Specific humidity) ของอากาศ เนื่องด้วยที่อุณหภูมิสูงน้ำจะสามารถระเหยได้อย่างรวดเร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากได้รับพลังงานความร้อนมากกว่า ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ต่ำจะทำให้อากาศสามารถรับปริมาณไอน้ำที่ระเหยออกมาจากอาหารได้มากกว่าความชื้นสัมพัทธ์สูง และความเร็วลมที่มากจะทำให้น้ำระเหยได้รวดเร็วเพราะมีอัตราการถ่ายเทความร้อนมาก (Rahman and Perera, 2007)

5 ความดันอากาศ เกี่ยวเนื่องกับการระเหยของน้ำ เนื่องจากน้ำจะระเหยได้ง่ายที่ความดันต่ำ ดังนั้นการอบแห้งภายใต้ความดันที่ต่ำส่งผลทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น และไม่จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิที่สูงมากนัก ทำให้สามารถคงคุณค่าทางอาหารไว้ได้ (Rahman and Perera, 2007)

2.2 การเปลี่ยนแปลงของอาหารระหว่างการอบแห้ง

2.2.1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของอาหารระหว่างการอบแห้ง

ในระหว่างกระบวนการอบแห้งอาหาร ชื้นอาหารจะได้รับความร้อนทำให้น้ำจะถูกระเหยออกจากผิวหน้าของอาหาร และเกิดการแพร่ของน้ำจากเนื้อด้านในอาหารมายังพื้นผิว เมื่อน้ำในชื้นอาหารลดลง จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงหลายอย่างทั้งการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ซึ่งถือเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ (การหดตัว การแข็งขึ้นของผิว) การเปลี่ยนแปลงทางเคมี (การเปลี่ยนสี) และการเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางอาหาร (Rahman and Perera, 2007)

2.2.2 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอาหารระหว่างการอบแห้ง

ในระหว่างการอบแห้งอาหารจะมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การหดตัว (Shrinkage) การพองตัว (Swelling) การสูญเสียโครงสร้างระดับเซลล์ (Loss of cellular structure) โดยการเปลี่ยนแปลงนั้นจะขึ้นอยู่กับสภาวะในการอบแห้งและโครงสร้างภายในของอาหาร (Aguilera and Stanley, 1999)

2.2.2.1 การสูญเสียโครงสร้างระดับเซลล์

สำหรับวัสดุที่มีความชื้นในเซลล์สูง เช่น เนื้อเยื่อของพืช ซึ่งระหว่างการอบแห้งนั้นน้ำจะมีการเคลื่อนที่ในตัวกลางที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Highly heterogeneous medium) โดยที่น้ำจะเคลื่อนจากโปรโทพลาซึม (Protoplasm) ไปยังเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane) และผ่านไปยังผนังรอบ ๆ ก่อนจะเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างระหว่างเนื้อเยื่อ ซึ่งการสูญเสียโครงสร้างระดับเซลล์นี้อาจจะช่วยให้น้ำเคลื่อนที่จากภายในเนื้อเยื่อได้ดีขึ้น หรืออาจจะป้องกันการเคลื่อนผ่านของน้ำหากสมบัติของเนื้อมีความคล้ายคลึงกันกับเนื้อเยื่อที่ไม่มีการเสียหายหลังจากการอบแห้ง ในกรณีการปรับสภาพ เช่น การลวกเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์อาจทำลายสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้การอบแห้งเร็วขึ้นและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โดย Fish (1958) แสดงให้เห็นว่าชั้นมันฝรั่งที่ผ่านการลวกจะมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ใกล้เคียงกับเจล (Gel) ที่ได้จากแป้งมันฝรั่ง เกิดจากการหดตัวของเยื่อหุ้มเซลล์ หลังจากลวก แต่ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Rotstein และ Cornish (1978) แสดงให้เห็นว่าแอปเปิ้ลก่อนการอบแห้งมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่มีค่าใกล้เคียงแอปเปิ้ลหลังอบเพราะว่าการหดตัวเกิดจากตัวเนื้อเยื่อหรือขอบรอบของอาหารแต่ไม่ใช่เยื่อหุ้มเซลล์ (Aguilera and Stanley, 1999)

2.2.2.2 การหดตัว

การหดตัวถือเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่สำคัญอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการอบแห้ง โดยการหดตัวจะเกิดขึ้นเมื่อน้ำภายในอาหารระเหยออกมา และการระเหยของน้ำนั้นส่งผลให้ภายในเนื้ออาหารเกิดเป็นโพรงแล้วโครงสร้างรับน้ำหนักไม่ไหวจึงทำให้เกิดการยุบตัวและหดตัวลง และเนื่องจากการเกิดความแตกต่างของความดันระหว่างภายนอกและภายในของชิ้นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหารจึงส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง อีกทั้งความแตกต่างของความชื้น (Moisture gradient) ภายในอาหารยังเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการหดตัว โดยที่ความแตกต่างของความชื้นนั้นทำให้เกิดความเค้น (Stress) ภายในอาหารซึ่งส่งผลทำให้เกิดการหดตัว และเนื่องจากโครงสร้างภายในมีผลต่อการหดตัว ทำให้ผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดมีการหดตัวที่แตกต่างกันออกไปจึงสามารถแบ่งการหดตัวได้เป็น 5 ประเภทดังนี้

1 ไม่หดตัว เช่น อาหารสัตว์

2 หดตัวแบบเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสมบูรณ์ เช่น สารละลายกลูโคส

3 หดตัวแบบเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสมบูรณ์ โดยเริ่มหดตัวจากภายนอกก่อนแล้วภายในจึงมีการหดตัวตามมา เช่น นมผง สารสกัดจากกาแฟ

4 หดตัวแบบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน หดตัวอย่างสมบูรณ์ในช่วงแรก แล้วค่อยบิดเบี้ยวแต่ยังคงมีพื้นที่หน้าตัดเท่าเดิม เช่น แอปเปิ้ล

5 เป็นการหดตัวประเภทที่ 3 ร่วมกับประเภทที่ 4 เช่น มันฝรั่ง

โดยการหดตัวประเภทที่ 3 และ 5 จะทำให้เกิดช่องว่างภายในอาหารเนื่องจากเมื่อภายนอกมีการหดตัวและเกิดการคงตัวก่อนที่ภายในจะหดตัวตามมา (Aguitera and Stanley, 1999)

นอกจากนี้สภาวะการอบแห้งยังมีผลต่อการหดตัวและการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ตัวอย่างเช่นการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำส่งผลให้การหดตัวของอาหารเกิดอย่างช้า ๆ และผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นจะมีความพรุนค่อนข้างต่ำ แต่ในการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงเกินไป จะทำให้ผิวของอาหารมีชั้นของแข็ง (Casehardened skin) เกิดขึ้น เนื่องจากการระเหยของน้ำที่บริเวณผิวด้านอย่างรวดเร็ว และส่งผลให้มีการหดตัวค่อนข้างน้อยเนื่องจากผิวที่แข็งนั้นตั้งไม่ให้อาหารเกิดการหดตัว และผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความพรุนค่อนข้างสูง และสำหรับการเกิดรอยร้าวที่ผิว (Surface cracking) ของอาหาร เป็นผลเนื่องจากการหดตัวของอาหารระหว่างอบแห้ง โดยรอยร้าวนี้จะเกิดเมื่ออาหารมีการหดตัวอย่างไม่สม่ำเสมอ ก่อให้เกิดความเค้นที่ไม่เท่ากันในชั้นอาหาร จึงทำให้อาหารมีการปริแตกเป็นรอยร้าว โดยทั่วไปมักพบในการอบแห้งธัญพืช (เช่น ข้าว ถั่ว) และผลิตภัณฑ์จำพวกเส้น (เช่น เส้นพาสตา เส้นก๋วยเตี๋ยว) (สีกกมน, 2555)

จากการรายงานผลของการหดตัวโดยทั่วไปนั้น มักรายงานผลในรูปของค่าการหดตัวเชิงปริมาตร ซึ่งคำนวณได้จากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของวัสดุเทียบกับปริมาตรเริ่มต้นก่อนการอบแห้ง โดยการวัดปริมาตรของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงนั้นมีอยู่หลายวิธีเช่น การแทนที่ในของเหลว (โกลูอิน เฮกเซน น้ำ) การชั่งน้ำหนักวัสดุในอากาศและน้ำหรือของเหลว และการแทนที่ในทรายละเอียด แต่สำหรับอาหารที่ผ่านการอบแห้งมาแล้วต้องมีการเคลือบผิวก่อนที่จะนำไปแช่ในน้ำเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำซึมเข้าไป (Yan และคณะ, 2007) ซึ่งวิธีที่กล่าวถึงในข้างต้นสามารถทำได้ยาก ใช้ระยะเวลาาน และไม่เหมาะสมสำหรับอาหารที่ผ่านการอบแห้ง ดังนั้นการประยุกต์ใช้เทคนิควิเคราะห์ภาพจึงเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในศึกษาการหดตัวที่เกิดขึ้นระหว่างการอบแห้ง

2.2.3 การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของอาหารระหว่างการอบแห้ง

ในงานวิจัยของ Kotwaliwale และคณะ (2005) ที่ได้ทำการอบแห้งเห็ดนางฟ้า พบว่าในระหว่างการอบแห้งค่าความแข็ง (Hardness) และความยากในการเคี้ยว (Chewiness) ของเห็ดนางฟ้าเพิ่มขึ้น ในขณะที่มีการรวมตัวกันภายในของอาหาร (Cohesiveness) และค่าความยืดหยุ่น (Springiness) เพิ่มขึ้นในช่วงแรกก่อนจะลดลงในช่วงท้ายของการอบแห้ง และค่าความแข็งของเห็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นางฟ้าจะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิสูง และจากงานวิจัยของ Leeratanarak และคณะ (2005) ได้ทำการอบแห้งมันฝรั่งพบว่าการลวกก่อนการอบแห้งจะทำให้ชิ้นอาหารมีความอ่อนนุ่มลง เพราะการลวกทำให้เกิดการเจลาติไนซ์ (Gelatinization) เป็นผลทำให้โครงสร้างอ่อนนุ่มลง

2.2.4 การเปลี่ยนสีของอาหารระหว่างการอบแห้ง

สีเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของอาหารเนื่องจากสีเป็นสมบัติทางกายภาพของอาหาร ในด้านสมบัติเชิงทัศนศาสตร์ (Optical properties) ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของอาหารและการยอมรับของผู้บริโภค บ่งบอกถึงการเสื่อมเสีย เช่น ขนมนึ่งที่มีราเกิดขึ้น ความสุก เช่น การเปลี่ยนสีของผลไม้สุก และยังบ่งบอกถึงคุณค่าทางอาหาร เช่น สีเหลืองของแครอทและฟักทองสามารถบอกได้ว่าผักและผลไม้เหล่านั้นมีสีจากธรรมชาติที่เกิดจากรงควัตถุ คือ แคโรทีนอยด์ ซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกาย และเป็นสารช่วยต้านอนุมูลอิสระ (Bonazzi และ Dumoulin, 2011)

การเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการอบแห้งนั้นเกิดเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ได้แก่ ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (Enzymatic browning reaction) ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (Non-enzymatic browning reaction) ปฏิกิริยาออกซิเดชัน รวมไปถึงปฏิกิริยาการเสื่อมสลายของรงควัตถุ โดยในที่นี้ยกตัวอย่างการเสื่อมสลายของรงควัตถุที่สำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของอาหาร เช่น

1 คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) เป็นรงควัตถุที่มีสีเขียวและละลายได้ในไขมัน เมื่อมีการเสื่อมสลายจะแตกตัวเป็นสารประกอบที่มีสีเทาหรือน้ำตาล เช่น สารฟีโอโพรไบด์ (Pheophorbide) หรือฟีโอไฟติน (Pheophytin) โดยฟีโอไฟตินเกิดขึ้นเมื่อคลอโรฟิลล์ได้รับความร้อนหรือทำปฏิกิริยากับกรด

2 แคโรทีนอยด์ (Carotenoids) เป็นรงควัตถุที่มีสีเหลืองหรือส้ม ซึ่งสามารถละลายได้ในไขมัน โดยสามารถแบ่งแคโรทีนอยด์ได้เป็นสองกลุ่มคือ แคโรทีน (Carotenes) และแซนโทฟิลล์ (Xanthophyll) ซึ่งแคโรทีนที่สำคัญได้แก่ แอลฟาและเบต้าแคโรทีน (α , β -carotene) จะพบมากในแครอท และไลโคปีน (Lycopene) ที่จะพบมากในมะเขือเทศ โดยปกติแล้วแคโรทีนอยด์จะเสื่อมสลายได้ง่ายเมื่อสัมผัสแสงและความร้อน ดังนั้นแคโรทีนอยด์จึงมีการสลายตัวระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง หรือในบางกรณีที่มีการอบแห้งเป็นเวลานานซึ่งมีแสงและออกซิเจนเข้ามาเกี่ยวข้อง

- เบต้าแคโรทีน (β -carotene) นอกจากจะเป็นรงควัตถุแล้วยังเป็นสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) และเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ (Provitamin A) ซึ่งเบต้าแคโรทีนจะเสื่อมสลายได้ด้วยความร้อนและปฏิกิริยาออกซิเดชัน แต่ในการปรับสภาพที่เหมาะสม เช่น การลวก ก็สามารถลดการเสื่อมสลายของเบต้าแคโรทีนได้

- ไลโคปีน (Lycopene) เป็นสารประกอบฟีนอลที่พบมากในมะเขือเทศเป็นสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และยังมีฤทธิ์ต้านมะเร็งได้เป็นอย่างดี โดยไลโคปีนจะเสื่อมสลายระหว่างการอบแห้งที่ต้องใช้เวลานาน

3 แอนโทไซยานิน (Anthocyanins) เป็นรงควัตถุที่มีสีชมพู แดง ม่วง และน้ำเงินขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ซึ่งสามารถละลายได้ในน้ำและพบมากในผลไม้ เป็นสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และมีการสังเคราะห์เป็นสารสีธรรมชาติที่ใช้เจือปนในอาหาร ซึ่งแอนโทไซยานินจะเสื่อมสลายได้เมื่อสัมผัสกับความชื้น แสง และออกซิเจน

สำหรับการเปลี่ยนแปลงสีเนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์นั้น เป็นการเปลี่ยนแปลงที่พบมากในผักและผลไม้ เป็นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างออกซิเจนและสารตั้งต้นในอาหารคือ สารประกอบฟีนอล (Phenolic compounds) โดยมีเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase, PPO) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มักเกิดที่ผิวหน้าของอาหารที่มีการชำ ฉีกขาด หั่น ซึ่งสามารถยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลประเภทนี้ได้ด้วยการปรับสภาพ เช่น การลวกในน้ำเดือด การนึ่ง การแช่หรือลวกในสารละลายกรด เช่น กรดซิตริก และการแช่ในสารละลายเกลือหรือน้ำตาลเข้มข้น และในส่วนของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์แบ่งออกเป็น ปฏิกิริยาการเกิดคาราเมล (Caramelization) เกิดจากการสลายโมเลกุลของน้ำตาลเนื่องจากความร้อนได้เป็นคาราเมลที่มีสีและกลิ่นเฉพาะตัว และปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างกลุ่มคาร์บอนิล (Carbonyl group, -C-) เช่น กลูโคส ฟรุกโตส กับกรดอะมิโน (Amino acid, NH₂) หรือโปรตีน โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่ง (Bonazzi และ Dumoulin, 2011)

2.2.5 การเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางอาหาร

การเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางอาหารมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการเตรียมวัตถุดิบ อุณหภูมิ เวลาที่ใช้ในการทำแห้ง และสภาวะในการเก็บที่ต่างกัน ในที่นี้จะยกตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางอาหารที่มักเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการอบแห้งผักและผลไม้ ได้แก่ การสูญเสียวิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) วิตามินซีเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีใช้เป็นตัวชี้วัดความสามารถของกระบวนการหรือสภาวะการอบแห้งในการรักษาคุณค่าทางอาหาร ทั้งนี้เนื่องจากวิตามินซีสามารถเสื่อมสลายได้ง่ายเนื่องจากความร้อนและปฏิกิริยาออกซิเดชัน และในกรณีที่มีการอบแห้งโดยใช้เวลานาน เช่น การอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ หรือการอบแห้งอาหารที่มีความหนาจะนำไปสู่การสูญเสียวิตามินซีในปริมาณมาก เนื่องจากมีการสัมผัสกับออกซิเจนเป็นเวลานาน ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการลดการสูญเสียของวิตามินซีระหว่างการอบแห้ง ซึ่งทำได้โดยเลือกการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำยิ่งยวดหรือการอบแห้งแบบสุญญากาศและการลดการสูญเสียวิตามินซีระหว่างการเก็บรักษาโดยเก็บผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์แบบสุญญากาศหรือการเติมก๊าซไนโตรเจนแทนก๊าซออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ และการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่ป้องกันแสง (สั๊กมน, 2555)

2.3 เทคนิควิเคราะห์ภาพ

การมองเห็น คือหนึ่งในประสาทสัมผัสพื้นฐานทั้งห้าของมนุษย์ เป็นประสาทสัมผัสแรกที่มนุษย์ใช้ในการตัดสินใจ โดยสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากการมองเห็นจะส่งไปยังสมอง ซึ่งเป็นศูนย์รวมของประสาททั้งหมด เพื่อวิเคราะห์ว่าสิ่งที่อยู่ตรงหน้านั้นมีประโยชน์หรือโทษต่อตนเอง ดังนั้นเมื่อผู้บริโภคเลือกซื้อสินค้า จะตัดสินใจจากรูปลักษณ์ภายนอก เช่น สี ขนาด และรูปร่างเป็นหลัก (Jinorose และคณะ, 2009) เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค ผู้ผลิตจึงต้องตรวจสอบคุณภาพของสินค้าก่อนจะนำออกมาวางขาย ซึ่งการประเมินคุณภาพจากมนุษย์มักจะได้ค่าที่ไม่แน่นอนเนื่องจากความแปรปรวนของอารมณ์มนุษย์ (Jinorose และคณะ, 2009) ดังนั้นการประเมินคุณภาพโดยเครื่องมือวิเคราะห์ที่เป็นการวัดแบบเชิงวัตถุวิสัย (Objective) จะให้ค่าที่แน่นอนและแม่นยำกว่า ซึ่งการประเมินคุณภาพโดยเครื่องมือวิเคราะห์มีหลากหลายวิธี เช่น การวิเคราะห์จากรูปลักษณ์ (Computer vision system, CVS) การวิเคราะห์จากรังสีเอ็กซ์เรย์

ในระบบอุตสาหกรรมการอบแห้ง ผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง การตรวจสอบจึงต้องการความรวดเร็วในการวิเคราะห์เนื่องจากผลิตภัณฑ์จากการอบแห้งนั้นมีความชื้นต่ำ เมื่อสัมผัสกับอากาศในอุณหภูมิที่มีความชื้นสูงกว่าจะทำให้ขึ้นอาหารดูดน้ำในอากาศกลับเข้าไป ทำให้ขึ้นอาหารอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ อีกทั้งปริมาณข้อมูลที่ได้จากระบบอุตสาหกรรมมีจำนวนมาก การใช้เทคนิควิเคราะห์ภาพจึงได้รับความนิยมมากขึ้น เพราะมีความรวดเร็วในการวิเคราะห์ แม่นยำ และคุ้มทุน ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ภาพโดยทั่วไปประกอบด้วย อุปกรณ์ที่ใช้เพื่อการรับภาพ เช่น กล้องดิจิทัล และโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ภาพ ซึ่งในปัจจุบันมีหลากหลายโปรแกรมที่สามารถนำมาใช้ในการตรวจประเมินคุณภาพได้ เช่น MATLAB™ (MathWorks, Inc., Natick, MA), ImageJ (Image processing and analysis in java, <http://rsb-web.nih.gov/ij/>) และ Adobe Photoshop (Adobe Systems, Inc., San Jose, CA) โดยแต่ละโปรแกรมจะมีความสามารถในการวิเคราะห์ภาพที่แตกต่างกันตามความต้องการในการใช้งานของผู้ใช้ แต่โดยพื้นฐานแล้วโปรแกรมคอมพิวเตอร์เหล่านี้จะสามารถวิเคราะห์ลักษณะปรากฏภายนอก เช่น สีและขนาดได้ จากการวิจัยพบว่าลักษณะปรากฏภายนอกจะสามารถบ่งชี้ถึงสมบัติบางประการได้ เช่น สิรินทิพย์ และคณะ (2550) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกกล้วย พบว่าสามารถบ่งชี้ถึงปริมาณน้ำตาลซึ่งสัมพันธ์กับความสุกของกล้วยได้ ซึ่งงานวิจัยนี้สามารถยืนยันความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะปรากฏภายนอกและลักษณะภายในของอาหาร จากการใช้เทคนิควิเคราะห์ภาพจะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าเครื่องมือวัดที่ต้องอาศัยมนุษย์ เช่น การใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ การหาปริมาตรโดยอาศัยหลักการแทนที่ในของเหลว (หลักการของอาคิมิติดิส) ทั้งในด้านความแม่นยำและความรวดเร็วในการวิเคราะห์ อีกทั้งยังสามารถบันทึกการเปลี่ยนแปลงของขึ้นอาหารในระหว่างการอบแห้ง ซึ่งสามารถนำไปทำนายการเปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการอบแห้งได้อีกด้วย

2.3.1 การได้มาซึ่งภาพ (Image acquisition)

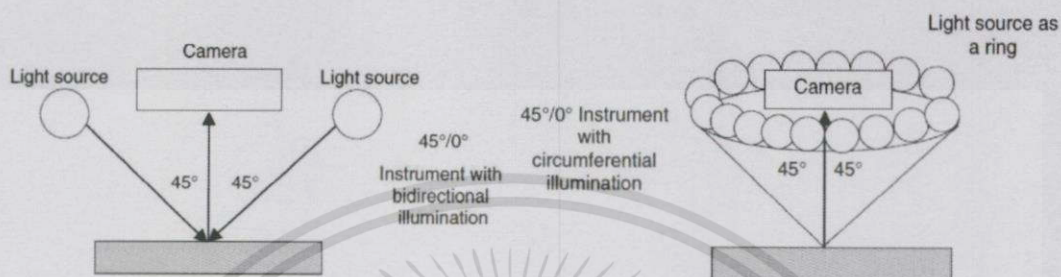
สำหรับการถ่ายภาพเพื่อนำไปวิเคราะห์ ควรทำในสภาวะแวดล้อมแบบปิด เช่น กล่องไฟ (Light box) ซึ่งมีการติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงและพื้นหลังที่เหมาะสม ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงแสงจากสิ่งแวดล้อมและการสะท้อนแสงจากแหล่งอื่น ๆ ที่ไม่พึงประสงค์เพื่อให้การวิเคราะห์ภาพเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถูกต้อง และแม่นยำ (Jinorose และคณะ, 2009)

2.3.1.1 ส่วนประกอบสำคัญของชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพ

1 แหล่งกำเนิดแสง (Light source) เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้กล้องถ่ายภาพสามารถจับภาพได้ชัดเจนและมีความผิดเพี้ยนน้อยที่สุด เนื่องจากแหล่งกำเนิดแสงมีอยู่หลายชนิด การเลือกใช้และติดตั้งควรต้องเลือกให้เหมาะกับลักษณะของวัตถุและสิ่งที่ต้องการวัด เช่น หากต้องการประเมินสีของอาหารให้ตรงกับที่ผู้บริโภคมองเห็นในห้างสรรพสินค้า อาจเลือกแหล่งกำเนิดแสงที่เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์สีขาว นอกจากนี้ยังมีแหล่งกำเนิดแสงแบบอื่น ๆ เช่น หลอดไส้ หลอดฮาโลเจน เป็นต้น แหล่งกำเนิดแสงที่นิยมใช้มากที่สุด คือแหล่งกำเนิดแสง D_{65} ที่ให้แสงช่วงเที่ยงวัน (Daylight) การเลือกแหล่งกำเนิดแสงที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดความผิดพลาดในการรับรู้สี และควรมีการสอบเทียบสีและความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงทุกครั้งก่อนทำการถ่ายภาพ เพื่อป้องกันความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากการเลือกชนิดของแหล่งกำเนิดแสงให้เหมาะสมแล้ว การจัดวางตำแหน่งของกล้องถ่ายภาพและแหล่งกำเนิดแสงเป็นอีกส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยทั่วไปมักจัดตำแหน่งของกล้องถ่ายภาพและแหล่งกำเนิดแสงให้ทำมุม 45 องศากับวัตถุ เพื่อให้ได้แสงที่สะท้อนจากวัตถุได้ดีที่สุด อาจจัดตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงเป็นวงกลมล้อมรอบวัตถุเพื่อให้เกิดการกระจายแสงอย่างสม่ำเสมอ และป้องกันการเกิดเงาของวัตถุที่มีความสูง (Jinorose และคณะ, 2009)



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการจัดตำแหน่งแหล่งกำเนิดแสงและกล้องถ่ายภาพ (Jinorose และคณะ, 2009)

2 กล้องถ่ายภาพ (Camera) อาจเลือกใช้เป็นกล้องถ่ายภาพนิ่งหรือกล้องวิดีโอ โดยกล้องแต่ละตัวมีความสามารถในการรับรู้สีและสร้างภาพที่ต่างกันออกไป ทั้งนี้กล้องดิจิทัลที่มีขายทั่วไปสามารถใช้ถ่ายภาพของอาหารเพื่อนำมาวิเคราะห์ก็ได้ แต่ก่อนการถ่ายภาพควรมีการปรับลักษณะเฉพาะของกล้องให้เหมาะสมกับวัตถุที่ต้องการศึกษา (Jinorose และคณะ, 2009)

3 พื้นหลัง (Background) เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการถ่ายภาพ เช่น การเลือกพื้นหลังสีขาวอาจเหมาะสมกับวัตถุที่มีสีเข้ม แต่การที่พื้นหลังมีความสว่างมากเกินไปอาจส่งผลให้เกิดการสะท้อนแสงของวัตถุ และทำให้สีที่บันทึกได้เกิดความผิดเพี้ยนไปจากสีจริง และสำหรับพื้นหลังสีดำนั้นอาจช่วยลดการเกิดเงาของวัตถุ แต่อาจจะทำให้สีที่บันทึกได้มีสีหม่นไปกว่าความเป็นจริง โดยเฉพาะเมื่อใช้กับวัตถุที่มีความโปร่งแสง และไม่ควรเลือกพื้นหลังที่ทำจากวัสดุเรืองแสง (Jinorose และคณะ, 2009)

2.3.2 การวิเคราะห์ภาพ (Image analysis)

เนื่องจากภาพที่ได้อยู่ในรูปของข้อมูลดิจิทัล ที่ประกอบไปด้วยจุดเล็ก ๆ (Pixel) หลายล้านจุด มีทั้งส่วนที่ต้องการและไม่ต้องการนำมาใช้ในการวิเคราะห์ภาพ ดังนั้นการดึงเอาข้อมูลที่ต้องการวิเคราะห์ออกมาจากภาพเป็นสิ่งสำคัญ จึงต้องมีการแยกบริเวณภาพ (Image segmentation) ซึ่งการแยกภาพของวัตถุ (Object) ที่ต้องการออกจากพื้นหลัง (Background) โดยสามารถทำได้หลากหลายวิธี เช่น

1 การแยกวัตถุโดยความเข้มของสี (Thresholding) เป็นวิธีแปลงภาพสี (Color image) เป็นภาพสเกลสีเทา (Grayscale image) ซึ่งแปลงได้โดยอาศัยสมการ 2.1 จากนั้นจึงหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold level) เพื่อที่จะแปลงภาพสเกลสีเทาเป็นภาพลักษณะฐานสอง (Binary image) ซึ่งค่าที่ใช้ในการแปลงนั้นอาจเป็นได้ทั้งค่าเฉลี่ย (Mean) ของค่าสีทั้งรูป ค่าที่ได้จากวิธีการอื่น เช่น Otsu's thresholding method หรือแม้กระทั่งค่าที่กำหนดขึ้นมาเอง

$$Gray = 0.2989R + 0.5870G + 0.1140B \quad (2.1)$$

(ที่มา: Mathworks®, Massachusetts)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 การหาขอบของวัตถุ (Edge detection) เป็นวิธีใช้ค่าความแตกต่างของความเข้มสีในการแยกวัตถุออกจากพื้นหลัง โดยจะเปรียบเทียบจุดที่มีความเข้มของสีแตกต่างกันมากกว่าค่าปกติ ซึ่งสามารถเป็นทั้งตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มสีมากกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold level) หรือตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มสีสูงที่สุด (Mathworks®, 2014)

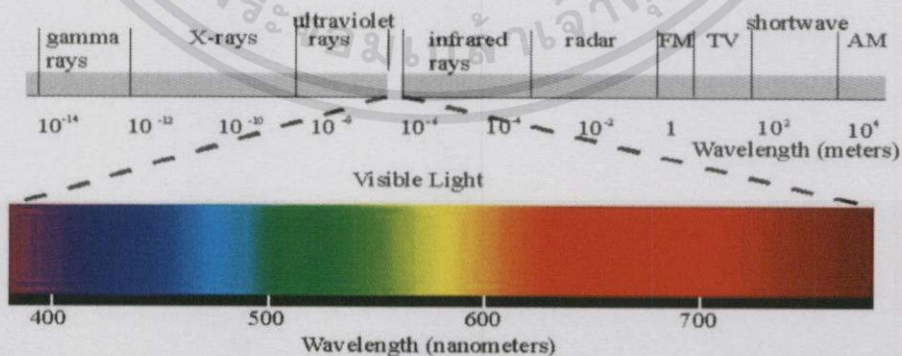
3 การแบ่งกลุ่มของหน่วยสี (Region segmentation) เป็นการแบ่งภาพโดยการจับกลุ่มของหน่วยสีที่มีค่าสีใกล้เคียงกัน (พัชรินทร์ และคณะ, 2550)

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาวิธีการหรือรหัสคำสั่งเพื่อให้การแยกบริเวณภาพมีความแม่นยำมากขึ้น เช่น Mery และ Pedreschi (2005) ได้สร้างรหัสคำสั่งสำหรับการแยกวัตถุโดยความเข้มของสี (Thresholding) ด้วยโปรแกรม MATLAB™ โดยมีแนวคิดคือ เปลี่ยนภาพสีที่ได้ให้เป็นภาพสเกลสีเทา โดยสมการที่สร้างขึ้นเองจากรหัสคำสั่ง เพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการใช้สมการที่มีค่าตัวเลขคงที่ ก่อนจะเปลี่ยนเป็นภาพลักษณะฐานสอง ด้วยค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่ได้จาก Otsu's thresholding method จากนั้นทำการเติมเต็มช่องว่างในภาพที่เกิดจากความขรุขระ (Roughness) หรือรูปร่าง (Morphological operation) เพื่อให้ได้รูปร่างที่สมบูรณ์

2.3.3 ข้อมูลพื้นฐานที่ได้จากการแยกข้อมูลภาพ

2.3.3.1 สีของวัตถุ

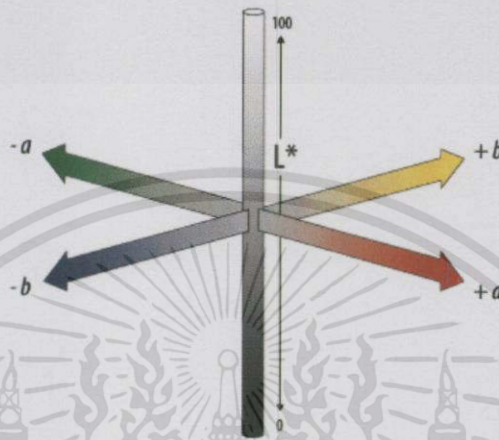
สีเป็นสิ่งที่วัดได้ยากเพราะการระบุสีของวัตถุขึ้นเดียวกันโดยสายตาของมนุษย์นั้นมีความหลากหลาย ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ เพศ อายุ อารมณ์ และสิ่งแวดล้อมในการมองเห็น (พัชรินทร์ และคณะ, 2550) สีที่มนุษย์เห็นเกิดจากคลื่นแสงที่มนุษย์สามารถมองเห็น (Visible light) ซึ่งมีความยาวคลื่นประมาณ 400 ถึง 750 นาโนเมตร เมื่อตกกระทบกับวัตถุ แสงบางส่วนถูกสะท้อนออกมาเข้าสู่สายตาของมนุษย์ เซลล์รับแสงในนัยน์ตาจึงส่งสัญญาณไปยังสมองเพื่อวิเคราะห์ว่าสิ่งที่มองเห็นเป็นสีอะไร เช่น เปลือกกล้วยดิบเป็นสีเขียว เพราะเปลือกกล้วยดิบสะท้อนคลื่นแสงสีเขียวที่ความยาวคลื่นประมาณ 500 นาโนเมตรออกมา ส่วนคลื่นแสงในช่วงความยาวอื่นนั้น เปลือกกล้วยดิบได้ดูดซับไว้



รูปที่ 2.3 ความยาวของช่วงคลื่นแสงที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้ (South Carolina Department of Natural Resources, 2013)

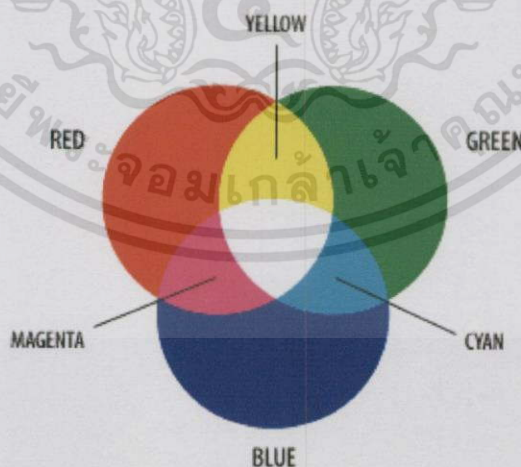
เพื่อความเข้าใจที่ตรงกัน มนุษย์จึงสร้างระบบสี (Color system) ขึ้นมา ซึ่งในปัจจุบันระบบสีมีอยู่ด้วยกันหลากหลายระบบ เช่น

1 ระบบสี CIELAB เป็นระบบสีที่เลียนแบบการมองเห็นของมนุษย์ (Ford และ Roberts, 1998) จึงเป็นที่นิยมใช้ โดย L^* (Lightness) ใช้บอกค่าความสว่าง (0-100) a^* ใช้บอกสีแดง (+) หรือสีเขียว (-) b^* ใช้บอกสีเหลือง (+) หรือสีน้ำเงิน (-) (พัชรินทร์ และคณะ, 2550)



รูปที่ 2.4 แบบจำลองระบบสี CIELAB (Adobe, 2014)

2 ระบบสี RGB เป็นระบบสีที่ใช้การรวมสีแสงหลักสามสี คือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน เป็นระบบที่ใช้งานได้ง่ายและใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น ภาพถ่าย โทรทัศน์ (Ford และ Roberts, 1998) โดย R ใช้บอกค่าความเป็นสีแดง (0-255) G ใช้บอกค่าความเป็นสีเขียว (0-255) B ใช้บอกค่าความเป็นสีน้ำเงิน (0-255) (ACA System, 2013)



รูปที่ 2.5 แบบจำลองระบบสี RGB (Adobe, 2014)

3 ระบบสี CIELCH เป็นระบบสีที่พัฒนาต่อมาจากระบบ CIELAB อีกทอดหนึ่ง เนื่องจากระบบ CIELAB ไม่สามารถบอกสีของวัตถุได้ทันที โดย L^* ใช้บอกค่าความสว่าง (0-100) C^*_{ab} ใช้บอกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความสดของสี (Chroma) (0-1) และ h_{ab} ใช้บอกค่าสีสัน (Hue) (0-360 °) ซึ่งสามารถคำนวณค่า C_{ab}^* และ h_{ab} ได้จากสมการที่ 2.2 และ 2.3

$$h_{ab} = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (2.2)$$

$$C_{ab}^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (2.3)$$

(ที่มา: ASTM 308, 2012)

4 ระบบสี HSL เป็นการแปลงค่าจากระบบสี RGB อีกทอดหนึ่ง (Ford และ Roberts, 1998) เป็นระบบที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ภาพถ่าย เนื่องจากสามารถบอกค่าสีและค่าความสว่างได้โดย H (Hue) ใช้บอกสี (0-360°) S ใช้บอกค่าความอิ่มตัวของสีหรือการปนของสีเทา (0-1) และ L ใช้บอกค่าความสว่างของสี (0-1) (ACA system, 2013)



รูปที่ 2.6 แบบจำลองระบบสี HSL (Letraset, 2014)

โดยปกติแล้ว ระบบสีสามารถแปลงไปมาได้ แล้วแต่ความต้องการของผู้ใช้งาน ซึ่งการแปลงระบบสีนั้นทำได้โดยใช้สมการต่าง ๆ เช่น การแปลงระบบสี RGB ไปเป็นระบบสี CIELAB นั้น จะเริ่มจากการแปลงระบบสี RGB ให้เป็นระบบสี CIEXYZ ก่อน ด้วยสมการ 2.4 จากนั้นนำค่าสีที่ได้มาแปลงเป็นระบบสี CIELAB ด้วยสมการที่ 2.5 ถึง 2.8 อีกทอดหนึ่ง

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.240479 & -1.537150 & -0.498535 \\ -0.969256 & 1.875992 & 0.041556 \\ 0.055648 & -0.204043 & 1.057311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

(ที่มา: Zheng and Sun, 2008)

เมื่อ $Y/Y_n > 0.008856$ L^* จะหาได้จากสมการ

$$L^* = 116 \times \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 16 \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ เมื่อ Y/Y_n เป็นค่าอื่นๆ L^* จะหาได้จากสมการ

$$L^* = 903.3 \times \frac{Y}{Y_n} \quad (2.6)$$

ส่วน a^* และ b^* หาได้จากสมการ

$$a^* = 500 \times \left(\left(\frac{X}{X_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} \right) \quad (2.7)$$

$$b^* = 200 \times \left(\left(\frac{X}{X_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} \right) \quad (2.8)$$

(ที่มา: ASTM 308, 2012)

เมื่อ X_n, Y_n, Z_n คือ ค่าสี CIEXYZ ของสีขาวมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในชนิดของแสงสว่างในการทดลองนั้น ๆ

ซึ่งสมการดังกล่าวเป็นสมการที่มีความคลาดเคลื่อนสูง เนื่องจากการแปลงค่ามาจากสมการเชิงเส้น อ้างอิงจากงานวิจัยของ Leon และคณะ (2006) ที่ได้ทดลองแปลงค่าสีจากระบบสี RGB เป็นระบบสี CIELAB ด้วยการเทียบแผ่นสี ก่อนจะนำค่าที่ได้มาหาสมการความสัมพันธ์ในรูปแบบต่างๆ พบว่าสมการเส้นตรงจะมีความผิดพลาดมากที่สุด ในขณะที่วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network, ANN) จะให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด

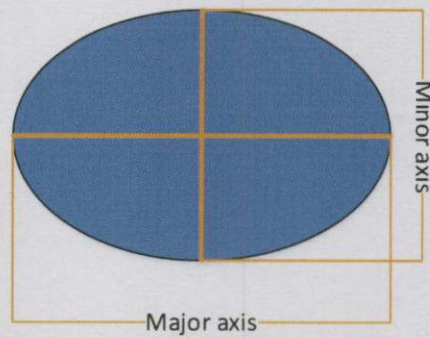
2.3.3.2 ขนาดของวัตถุ

ขนาดเป็นสิ่งที่วัดได้ง่ายเพราะมีอุปกรณ์หลายอย่างที่สามารถใช้ในการวัดขนาดได้ ตั้งแต่ไม้บรรทัด ไปจนถึงเครื่องสแกนด้วยรังสีแม่เหล็ก แต่ถึงการวัดขนาดจะสามารถทำได้ง่ายแต่ก็มีโอกาสผิดพลาดสูงเช่นกัน ในการวิเคราะห์ด้วยภาพนั้น ขนาดของวัตถุสามารถหาได้จากขนาดพื้นที่ของวัตถุ (Foreground) หรือพื้นที่สีขาวหรือดำในภาพลักษณะฐานสอง (Binary image) ที่ได้จากการแยกบริเวณภาพ (Image segmentation)

1 พื้นที่ภาพถ่าย (Projected area) เป็นการวัดพื้นที่สองมิติจากการฉายภาพจากวัตถุสามมิติ พื้นที่ที่ได้จากการฉายภาพวัสดุลงบนแผ่นระนาบพื้นที่ภาพถ่ายจัดเป็นสมบัติทางกายภาพ (Physical properties) ของชิ้นงาน

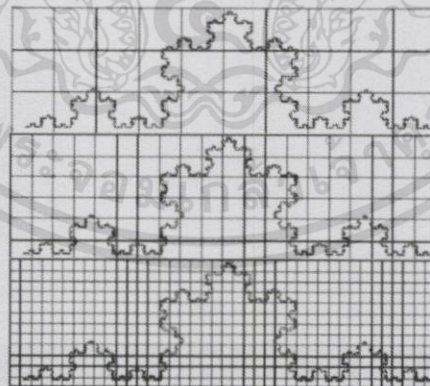
2 รูปร่าง

- แกนหลักและแกนรอง (Major axis and minor axis) แกนหลักคือ แกนที่ยาวที่สุดของวัตถุ เมื่อลากตัดผ่านวัตถุ และแกนรองคือ แกนที่ยาวที่สุดของวัตถุที่ตั้งฉากกับแกนหลักเมื่อลากตัดผ่านวัตถุ (Zheng and Sun, 2008)



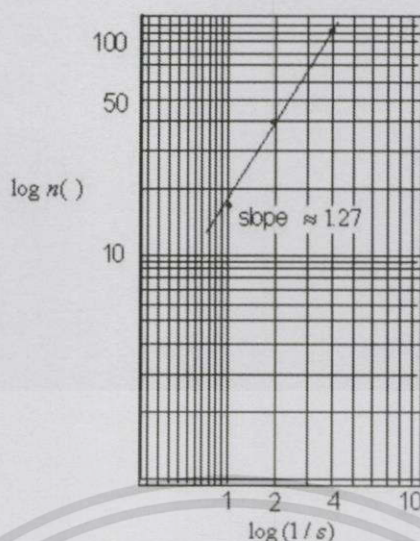
รูปที่ 2.7 แกนหลักและแกนรอง

- รัศมีเฟอร์เรต์ (Feret diameter) คือ ระยะห่างระหว่างจุดสองจุดที่อยู่ตรงข้ามกัน และตั้งฉากกับทิศทางที่กำหนดตั้งแต่ 1 องศาไปจนถึงค่ามากที่สุดที่ 180 องศา (Zheng and Sun, 2008)
- มิติแฟร็กทัล (Fractal Dimension, FD) คือ ตัวแปรที่ใช้สำหรับบอกความเป็นแฟร็กทัลของวัตถุแฟร็กทัล บ่งชี้ความคล้ายตัวตน (Self-similarity) ของโครงสร้างเศษส่วนที่ขยายตัวออกอย่างไม่สิ้นสุด ไม่ว่าจะมิติทางเวลา (Time) และมิติทางพื้นที่ (Space) ล้วนเป็นมิติที่มีรูปร่างคล้ายคลึงซ้ำกันเป็นแบบอย่าง (Pattern) โดยแบบอย่างเกิดจากการลอกเลียนตามแม่แบบเบื้องต้นของวัตถุ มิติแฟร็กทัลเป็นแนวคิดทางคณิตศาสตร์ที่ใช้เพื่ออธิบายความซับซ้อนของรูปร่างที่ไม่เป็นรูปทรงทางเรขาคณิตและรูปร่างที่ไม่มีความสม่ำเสมอของวัตถุ มิติแฟร็กทัลไม่ใช่การนิยามสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ที่คิดขึ้นมาเอง แต่เป็นการแสดงให้เห็นสมบัติของวัตถุในระดับต่าง ๆ ตั้งแต่ขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่ โดยปกตินิยมวิเคราะห์ด้วยวิธีบ็อกซ์เคาน์ตติ้ง (Box-counting) เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย ไม่ยุ่งยาก ไม่ซับซ้อน (Buczowski และคณะ, 1997) บ็อกซ์เคาน์ตติ้ง (Box-counting) เป็นวิธีหามิติแฟร็กทัลจากภาพโดยมีกระบวนการดังนี้ เริ่มจากแบ่งรูปออกเป็นมาตราส่วน (Scale) จากนั้นนับตารางที่มีข้อมูลหรือรูปอยู่ในตารางและบันทึกค่า ทำการลดขนาดมาตราส่วนของตารางและทำการนับข้อมูลเช่นเดิม ดังรูป 2.8



รูปที่ 2.8 ขั้นตอนการทำบ็อกซ์เคาน์ตติ้ง (Box-counting) (Wahl, 2014)

ค่ามิติแฟร็กทัลสามารถคำนวณได้จากความชันของกราฟระหว่างจำนวนของตารางที่มีรูปอยู่ในตารางกับขนาดของมาตราส่วนบนกราฟของฟังก์ชันลอการิทึม



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ของจำนวนของตารางที่มีข้อมูลกับขนาดของมาตรวัด (Wahl, 2014)

จากกราฟของฟังก์ชันลอการิทึมสามารถคำนวณหามิติแฟร็กทัลได้จากสมการ

$$D = \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{\log n(A) - \log(B)}{\log\left(\frac{1}{S_A}\right) - \log\left(\frac{1}{S_B}\right)} \quad (2.9)$$

เมื่อ D = มิติแฟร็กทัล (Fractal Dimension)

n = ตารางข้อมูล (Number of box)

$1/S$ = มาตรส่วน (Scale)

(ที่มา: Wahl, 2014)

2.3.4 การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ภาพในงานอาหาร

2.3.4.1 การเปลี่ยนแปลงของสี

ในการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลระหว่างการอบแห้ง โดย Fernandez และคณะ (2005) พบว่าระหว่างการอบแห้งแอปเปิ้ลมีการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล จากการวัดสีโดยระบบ CIELAB พบว่าค่า a^* และ b^* มีการเพิ่มขึ้นระหว่างกระบวนการอบแห้ง ซึ่งงานวิจัยนี้ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Krokida และ Maroulis (2001) ที่ได้ทำวัดสีของแอปเปิ้ลระหว่างการอบแห้งโดยใช้เครื่องวัดสี (Colorimeter) จากงานวิจัยดังกล่าวนี้ ระบบอุตสาหกรรมสามารถนำการเปลี่ยนแปลงสีระหว่างการอบแห้งไปบ่งชี้ถึงเวลาในการอบแห้งอาหารได้ เนื่องจากวัตถุดิบทางอาหารส่วนมากสามารถเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ง่าย และอาหารที่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลมาก มักจะไม่ใช่ยอมรับของผู้บริโภคในปัจจุบัน

2.3.4.2 การเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่ภาพฉาย

จากงานวิจัยของ Fernandez และคณะ (2005) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของแผ่นแอปเปิ้ลขณะอบแห้ง พบว่าพื้นที่ภาพฉายและเส้นรอบรูปของแผ่นแอปเปิ้ลค่อย ๆ ลดลงตามเวลาในการอบแห้ง และคงที่ในภายหลัง ในขณะที่ความชื้นในชิ้นอาหารลดลงตามเวลาในการอบแห้ง เช่นเดียวกัน โดยในช่วงแรกจะเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ ก่อนจะลดลงอย่างรวดเร็ว และคงที่ในท้ายที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yadollahinia และ Jahangiri (2009) ที่ทดลองอบแห้งแผ่นมันฝรั่งที่อุณหภูมิและความเร็วลมต่าง ๆ กัน พบว่าการเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้งทำให้ขนาดพื้นที่ภาพฉายของชิ้นอาหารค่อย ๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องในช่วงแรก ก่อนจะเร็วขึ้นในช่วงหลัง จากงานวิจัยดังกล่าว ระบบอุตสาหกรรมสามารถนำการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างไปจนถึงปริมาณน้ำในอาหารได้

2.4 มันฝรั่ง

มันฝรั่ง (Potato หรือ Irish potato) เป็นพืชหัว (Tuber crop) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Solanum tuberosum* Linn. อยู่ในตระกูล *Solanaceae* มันฝรั่งจัดเป็นพวกพืชล้มลุกที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและนิยมปลูกกันทางภาคเหนือของประเทศไทย มันฝรั่งมีคุณค่าทางอาหารสูงคือ มีปริมาณของแป้ง โปรตีน ไขมัน แร่ธาตุ และวิตามินบางชนิดอยู่ในเกณฑ์สูง จึงสามารถใช้เป็นอาหาร โดยทั่วไปประชากรในยุโรปและอเมริการับประทานมันฝรั่งเป็นอาหารหลักแทนข้าว ด้วยวิธีต้ม ทอด อบ หรือนำมาแปรรูป เช่น แปรรูปเป็นแป้ง ทำเป็นของทานเล่น และใช้ในอุตสาหกรรมการหมักเพื่อผลิตแอลกอฮอล์และกรดซิตริก รวมไปถึงการใช้เป็นอาหารสัตว์ (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2541)

2.4.1 พันธุ์ของมันฝรั่ง

มันฝรั่งที่ปลูกในประเทศไทยนั้นปัจจุบันมีอยู่ 2 ประเภทคือ มันฝรั่งบริโภคสด และมันฝรั่งที่ส่งโรงงานแปรรูป ดังนั้นพันธุ์ที่ใช้ปลูกจึงแตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ของการใช้ประโยชน์ ซึ่งพันธุ์ของมันฝรั่งที่มีการปลูกมากในปัจจุบันมีอยู่ 3 พันธุ์ คือพันธุ์สปันตา (Spunta) พันธุ์เคนเนเบค (Kennebec) และพันธุ์แอตแลนติก (Atlantic) ซึ่งพันธุ์เคนเนเบคเป็นพันธุ์ดั้งเดิมของสหรัฐอเมริกา แต่ปัจจุบันนำไปขยายและผลิตหัวพันธุ์ในหลายประเทศ เช่น แคนาดา เนเธอร์แลนด์ สกอตแลนด์ และออสเตรเลีย และได้นำเข้ามาปลูกในประเทศไทยครั้งแรกเมื่อ พ.ศ. 2521 มีลักษณะคือ ใบใหญ่ พุ่มหนา หัวกลมรี ทรงรูปไข่ ดาตั้น ผิวสีเหลืองอ่อนเรียบ เนื้อสีขาว ทนแล้งได้ดี และเป็นพันธุ์สำหรับแปรรูปเป็นมันทอดแผ่นบาง (Potato chips) ปัจจุบันโรงงานแปรรูปนำเข้ามันฝรั่งพันธุ์เคนเนเบคและส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกเพื่อส่งโรงงานแปรรูป (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2541)

2.4.2 คุณภาพของมันฝรั่ง

คุณภาพของมันฝรั่งที่เป็นที่ต้องการของโรงงานแปรรูปนั้นจะต้องมีปริมาณสตาร์ช (Starch) สูง และปริมาณน้ำตาลในหัวต่ำ มีขนาดใหญ่ สภาพสมบูรณ์ ไม่มีแผล ไม่เน่าเสีย และไม่มีสีเขียว ซึ่งการที่หัวมันฝรั่งมีปริมาณสตาร์ชสูงนั้น เมื่อแปรรูปเสร็จแล้วจะได้น้ำหนักดี รวมถึงเมื่อแปรรูปด้วยการทอดนั้นจะอมน้ำมันน้อย ทำให้ไม่เปลืองน้ำมัน และการที่มีปริมาณน้ำตาลต่ำนั้นเมื่อนำไปทอดจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีเหลือง ไม่เกิดเป็นสีน้ำตาลไหม้และมีรสขม และการที่มันฝรั่งมีสีเขียวนั้นไม่ควรนำไปเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปรรูปเพราะจะมีรสขมและอาจเกิดสารพิษจำพวกโซลานีน (Solanine) ที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ดังนั้นเพื่อให้ได้มันฝรั่งที่ดีและเหมาะแก่การแปรรูปจึงต้องมีการกำหนดคุณภาพของมันฝรั่งดังนี้ (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2541)

2.4.2.1 น้ำหนักแห้ง

การวัดเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของมันฝรั่ง สามารถบ่งชี้ได้ด้วยค่าความถ่วงจำเพาะของมันฝรั่ง ซึ่งใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพของมันฝรั่ง โดยโรงงานแปรรูปสากล ต้องการมันฝรั่งที่มีน้ำหนักแห้ง 22-24% หรือมีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1.085 จึงจะเหมาะสมในการแปรรูปเป็นมันฝรั่งแผ่น สำหรับโรงงานแปรรูปในประเทศไทย ได้กำหนดคุณภาพของมันฝรั่งที่เหมาะสมในการแปรรูปนั้นต้องมีน้ำหนักแห้งไม่ต่ำกว่า 17.5% หรือมีค่าความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 1.070 ขึ้นไป เนื่องจากน้ำหนักแห้งและความถ่วงจำเพาะมีความสัมพันธ์กับปริมาณสตาร์ชในมันฝรั่ง โดยมันฝรั่งที่มีน้ำหนักแห้งหรือความถ่วงจำเพาะสูงแสดงว่ามันฝรั่งนั้นมีปริมาณสตาร์ชมาก (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2541)

2.4.2.2 ปริมาณน้ำตาล

ปริมาณน้ำตาลมีความสำคัญต่อการกำหนดคุณภาพในการแปรรูปมันฝรั่งโดยเฉพาะ มันฝรั่งทอดแบบแผ่น ซึ่งระหว่างการงอกของมันฝรั่งสตาร์ชจะเปลี่ยนรูปเป็นน้ำตาลและน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส (Glucose) และฟรุกโตส (Fructose) หากมันฝรั่งมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูง เมื่อนำไปทอดน้ำมัน (Frying) หรือแปรรูปที่อุณหภูมิสูง จะส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดและเกิดสีน้ำตาล ดังนั้นจึงมีการควบคุมปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในมันฝรั่งที่ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการแปรรูปต้องไม่เกิน 0.2%

เนื่องจากการวัดปริมาณน้ำตาลในมันฝรั่งนั้นค่อนข้างยุ่งยาก ใช้ระยะเวลาานาน และปริมาณน้ำตาลยังมีการเปลี่ยนแปลงได้ตามสภาวะการเก็บ ดังนั้นการวัดน้ำหนักแห้งหรือความถ่วงจำเพาะจึงเป็นวิธีการตรวจสอบคุณภาพของมันฝรั่งที่นิยมก่อนโรงงานจะรับซื้อมาแปรรูปต่อไป (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2541)

2.4.3 คุณค่าทางโภชนาการของมันฝรั่ง

ตารางที่ 2.1 สารอาหารต่าง ๆ ในมันฝรั่งดิบ 100 กรัม

Nutrient	Unit	Value per 100 g	Std. Error
Proximates			
Water	g	79.34	0.368
Energy	kcal	77	-
Energy	kJ	321	-
Protein	g	2.02	0.034
Total lipid (fat)	g	0.09	0.009
Ash	g	1.08	0.097
Carbohydrate, by difference	g	17.47	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

Nutrient	Unit	1 Value per 100 g	Std. Error
Proximates (cont.)			
Fiber, total dietary	g	2.2	-
Sugars, total	g	0.78	--
Glucose (dextrose)	g	0.33	0.047
Sucrose	g	0.17	0.021
Fructose	g	0.27	0.029
Lactose	g	0	0
Maltose	g	0	0
Galactose	g	0	-
Starch	g	15.44	1.448
Minerals			
Calcium, Ca	mg	12	1.368
Iron, Fe	mg	0.78	0.04
Magnesium, Mg	mg	23	0.452
Phosphorus, P	mg	57	0.88
Potassium, K	mg	421	11.942
Sodium, Na	mg	6	0.76
Zinc, Zn	mg	0.29	0.003
Copper, Cu	mg	0.108	0.016
Manganese, Mn	mg	0.153	0.026
Selenium, Se	µg	0.3	0.031
Vitamins			
Vitamin C, total ascorbic acid	mg	19.7	0.769
Thiamin	mg	0.08	0.006
Riboflavin	mg	0.032	0.013
Niacin	mg	1.054	0.04
Pantothenic acid	mg	0.296	0.036
Vitamin B-6	mg	0.295	0.148
Folate, total	µg	16	3.324
Folic acid	µg	0	-
Folate, food	µg	16	3.324
Folate, DFE	µg	16	-
Choline, total	mg	12.1	-
Betaine	mg	0.2	-
Vitamin B-12	µg	0	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

Nutrient	Unit	1 Value per 100 g	Std. Error
Vitamins (cont.)			
Vitamin B-12, added	µg	0	-
Retinol	µg	0	-
Vitamin A, RAE	µg	0	-
Carotene, beta	µg	1	0.57
Carotene, alpha	µg	0	0
Cryptoxanthin, beta	µg	0	0
Vitamin A, IU	IU	2	-
Lycopene	µg	0	0
Lutein + zeaxanthin	µg	8	2.357
Vitamin E (alpha-tocopherol)	mg	0.01	-
Vitamin E, added	mg	0	-
Tocopherol, beta	mg	0	-
Tocopherol, gamma	mg	0	-
Tocopherol, delta	mg	0	-
Vitamin D (D2+D3)	µg	0	-
Vitamin D	IU	0	-
Vitamin K (phylloquinone)	µg	1.9	0.66
Lipids			
Fatty acids, total saturated	g	0.026	-
Butyric (4:0)	g	0	-
Caproic (6:0)	g	0	-
Caprylic (8:0)	g	0	-
Capric (10:0)	g	0.001	-
Lauric (12:0)	g	0.003	-
Myristic (14:0)	g	0.001	-
Palmitic (16:0)	g	0.016	-
Stearic (18:0)	g	0.004	-
Fatty acids, total monounsaturated	g	0.002	-
Palmitoleic (16:1, undifferentiated)	g	0.001	-
Oleic (18:1, undifferentiated)	g	0.001	-
Gadoleic (20:1)	g	0	-
Erucic (22:1, undifferentiated)	g	0	-
Fatty acids, total polyunsaturated	g	0.043	-
Linoleic (18:2, undifferentiated)	g	0.032	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

Nutrient	Unit	1 Value per 100 g	Std. Error
Lipids (cont.)			
Linolenic (18:3 ,undifferentiated)	g	0.01	-
Parinaric (18:4)	g	0	-
Arachidonic (20:4, undifferentiated)	g	0	-
Timnodonic (20:5 n-3, EPA)	g	0	-
Clupanodonic (22:5 n-3, DPA)	g	0	-
Clupanodonic (22:6 n-3, DHA)	g	0	-
Cholesterol	mg	0	-
Phytosterols	mg	5	-
Amino Acids			
Tryptophan	g	0.021	-
Threonine	g	0.066	-
Isoleucine	g	0.065	-
Leucine	g	0.096	-
Lysine	g	0.105	-
Methionine	g	0.031	-
Cystine	g	0.024	-
Phenylalanine	g	0.08	-
Tyrosine	g	0.047	-
Valine	g	0.101	-
Arginine	g	0.099	-
Histidine	g	0.034	-
Alanine	g	0.062	-
Aspartic acid	g	0.472	-
Glutamic acid	g	0.345	-
Glycine	g	0.056	-
Proline	g	0.062	-
Serine	g	0.073	-
Other			
Alcohol, ethyl	g	0	-
Caffeine	mg	0	-
Theobromine	mg	0	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

Nutrient	Unit	1 Value per 100 g	Std. Error
Flavonoids			
Anthocyanidins			
Cyanidin	mg	0	0
Petunidin	mg	0	0
Delphinidin	mg	0	0
Malvidin	mg	0	0
Pelargonidin	mg	0	0
Peonidin	mg	0	0
Flavan-3-ols			
(+)-Catechin	mg	0	0
(-)-Epigallocatechin	mg	0	0
(-)-Epicatechin	mg	0	0
(-)-Epicatechin 3-gallate)	mg	0	0
(-)-Epigallocatechin 3-gallate	mg	0	0
(+)-Galocatechin	mg	0	0
Flavanones			
Hesperetin	mg	0	0
Naringenin	mg	0	0
Flavones			
Apigenin	mg	0	0
Luteolin	mg	0	0
Flavonols			
Kaempferol	mg	0.8	0.77
Myricetin	mg	0	0
Quercetin	mg	0.7	0.29
Isoflavones			
Daidzein	mg	0	-
Genistein	mg	0	-
Total isoflavones	mg	0	-

(ที่มา: USDA11352, 2013)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

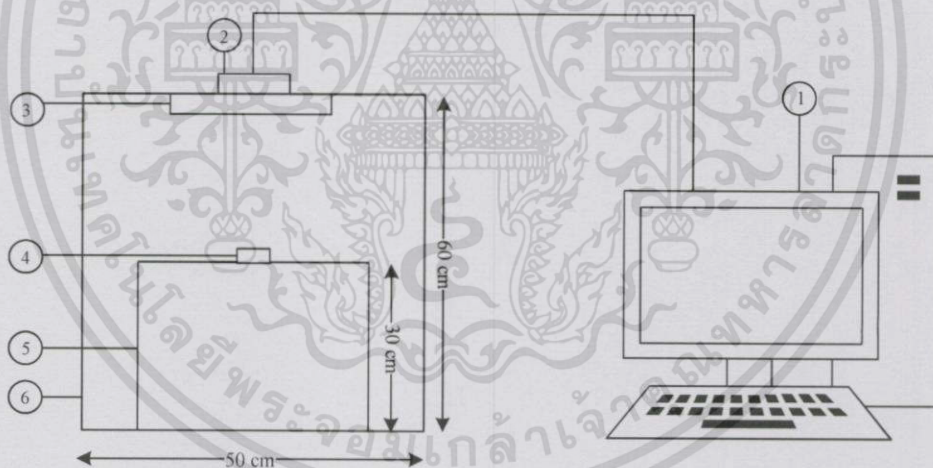
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 อุปกรณ์

1 เครื่องคอมพิวเตอร์ (Dell Inspiron 15 CPU 1.8 GHz Ram 4 GB การ์ดจอ nVIDIA GeForce GT 730M, China)

2 กล้องถ่ายภาพดิจิทัล (Samsung Digimax NV3, Korea)

3 ชุดอุปกรณ์สำหรับถ่ายภาพ ประกอบด้วย กล่องขนาด 50×50×60 เซนติเมตร มีฝาปิดสามารถยกเปิดปิดได้ กล่องด้านในทาสีดำด้าน ฐานปูด้วยกระดาษสีขาว มีกล้องถ่ายภาพดิจิทัลติดไว้ที่ด้านบนของฝากล่อง และมีแหล่งกำเนิดแสง (Light source) ซึ่งเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent lamp) แบบวงกลม เป็นชนิด Daylight มีอุณหภูมิแสง 6500 K (Philips, TL-E super 80, ประเทศไทย) โดยติดตั้งไฟแบบวงกลมให้อยู่ตรงกลางกล่อง กำหนดตำแหน่งเพื่อวางวัตถุสำหรับถ่ายภาพ โดยเลือกจุดที่มีความสว่างที่สุดและแสงของไฟทำมุม 45 องศากับชิ้นตัวอย่าง แล้วสะท้อนเข้ากล้อง (ASTM E179, 2012) ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ชุดอุปกรณ์สำหรับถ่ายภาพ (1) คอมพิวเตอร์ (2) กล้องถ่ายภาพ (3) หลอดฟลูออเรสเซนต์ (4) ชิ้นตัวอย่าง (5) ฐานสำหรับวางชิ้นตัวอย่าง (6) กล่อง

4 เตาอบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer) (กล้วยน้ำไท, ประเทศไทย)

5 เตาอบลมร้อน (Hot air oven) (Memmert, UM500, Germany)

6 เครื่องวัดสี (Colorimeter) (Juki, JC801, Japan)

7 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัลทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Shimadzu, UX3200G, Japan)

8 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัลทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Yamato electronic balance, HB-120, Japan)

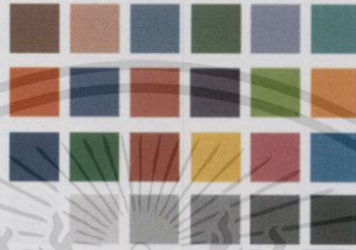
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9 โปรแกรม MATLAB and Statistics Toolbox Release 2012b (The MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts, United States)

3.2 การสอบเทียบประสิทธิภาพโปรแกรมวิเคราะห์ภาพที่พัฒนาขึ้น

3.2.1 การสอบเทียบประสิทธิภาพการวัดสี

1 สร้างแผ่นสีมาตรฐาน ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.3 (ตารางแสดงค่าสีของแผ่นสีดังแสดงในภาคผนวก ก)



รูปที่ 3.2 แผ่นสีมาตรฐาน (Robin Myers Imaging, 2014)

2 วัดแผ่นสีมาตรฐานด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) (Juki, JC801, Japan) โดยแหล่งกำเนิดแสงชนิด D_{65} ที่มุม Standard observer angle 10 องศาและค่าสีที่วัดได้อยู่ในระบบ CIEXYZ และ CIELAB

3 นำแผ่นสีมาตรฐานไปถ่ายภาพบนพื้นหลังสีต่าง ๆ ในชุดอุปกรณ์สำหรับถ่ายภาพที่สร้างขึ้นแล้ววิเคราะห์ค่าสีโดยโปรแกรม MATLAB and Statistics Toolbox Release 2012b

4 จากนั้นสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากเครื่องวัดสีและค่าที่ได้จากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น เลือกสมการของระบบสี่ที่มีค่าทางสถิติ (R , R^2 , $RMSE$ และ $Chi-square$) ที่ดีที่สุดมาใช้ในการสอบเทียบ

5 จากนั้นนำค่าจากระบบสี RGB ที่วิเคราะห์ได้จากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นแปลงผ่านสมการที่ 3.1 ถึง 3.3 เพื่อให้เป็นสีที่ใกล้เคียงค่าสีที่ได้จากเครื่องวัดสีในสมการ

$$R_{\text{real}} = 1.219R - 41.391 \quad (3.1)$$

$$G_{\text{real}} = 0.966G - 17.308 \quad (3.2)$$

$$B_{\text{real}} = 1.063B - 41.002 \quad (3.3)$$

เมื่อค่า R_{real} , G_{real} และ B_{real} คือค่าสีที่ได้หลังจากการสอบเทียบกับเครื่องวัดสี

6 นำค่า R_{real} , G_{real} และ B_{real} มาแทนในสมการที่ 2.4 เพื่อแปลงเป็นระบบสี CIEXYZ

7 นำค่าที่ได้จากขั้นที่ 6 มาแทนในสมการที่ 2.5 ถึง 2.8 เพื่อแปลงเป็นระบบสี CIELAB

8 นำค่าที่ได้จากขั้นที่ 7 มาแทนในสมการที่ 2.2 ถึง 2.3 เพื่อแปลงเป็นระบบสี CIELCH

3.2.2 การสอบเทียบประสิทธิภาพการวัดขนาดและพื้นที่

เนื่องจากความสูงของชิ้นตัวอย่างมีผลต่อภาพถ่ายที่ได้ ยกตัวอย่างเช่น การถ่ายภาพของชิ้นตัวอย่างที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากัน แต่มีความสูงที่ต่างกัน ทำให้พื้นที่ภาพฉายของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการวิเคราะห์นั้นมีความแตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องแปลงค่าเพื่อลดความคลาดเคลื่อนของพื้นที่เนื่องจากความสูงของชิ้นตัวอย่าง โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ภาพฉายกับความสูงของชิ้นตัวอย่างโดยมีขั้นตอนดังนี้

1 สร้างกล่องจากกระดาษกราฟรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด $1 \times 1 \times 1$ เซนติเมตร และ $1 \times 1 \times 2$ เซนติเมตร และแผ่นสี่เหลี่ยมจากกระดาษกราฟขนาด 1×1 เซนติเมตร 1.5×1.5 เซนติเมตร และ 2×2 เซนติเมตร

2 นำกล่องและแผ่นตัวอย่างที่สร้างขึ้นไว้ในขั้นที่ 1 มาถ่ายภาพในชุดอุปกรณ์สำหรับถ่ายภาพ

3 นำภาพที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าพื้นที่และความสูงด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นบนโปรแกรม MATLAB and Statistics Toolbox Release 2012b

4 สร้างความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่กับความสูง และนำไปใช้เพื่อหาพื้นที่ภาพฉายที่ความสูงต่าง ๆ ได้สมการดังนี้

$$\text{Area} = \frac{1829h}{109.32} + 13313 \quad (3.4)$$

$$\text{Length} = \frac{8.1838h}{109.32} + 112.73 \quad (3.5)$$

โดย Area คือ จำนวนพิกเซลในหนึ่งตารางเซนติเมตร

Length คือ จำนวนพิกเซลในหนึ่งเซนติเมตร

h คือ ความสูงของชิ้นตัวอย่าง (พิกเซล)

3.3 การเตรียมชิ้นตัวอย่างการทดลอง

มันฝรั่ง (*Solanum tuberosum* Linn.) จากท็อปส์ซูเปอร์มาร์เก็ต (Tops Supermarket) เก็บรักษาในที่มืดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกว่าจะทำการทดลอง ควบคุมคุณภาพของมันฝรั่ง โดยการวัดค่าความถ่วงจำเพาะของมันฝรั่ง ซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะของมันฝรั่งที่เหมาะสมนำมาทำการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 1.0723-1.1795 ตามมาตรฐานความสดของมันฝรั่งของ USDA (Commodity Specification Bulk Products for Further Processing, USDA, 2012) (ข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาอ่าน บทที่ 2)

3.3.1 การวัดความถ่วงจำเพาะของมันฝรั่ง

ทำการวัดความถ่วงจำเพาะทุกครั้งที่ทำการทดลองเพื่อเป็นการควบคุมคุณภาพของมันฝรั่ง โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1 นำมันฝรั่งมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง
- 2 หาปริมาตรของมันฝรั่งโดยการแทนที่ด้วยน้ำ
- 3 หาความถ่วงจำเพาะจากสมการ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันฝรั่ง} = \frac{\rho_{\text{มันฝรั่ง}}}{\rho_{\text{น้ำ}}} \quad (3.6)$$

โดย ρ คือ ความหนาแน่น, กิโลกรัมกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
(ที่มา: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2541)

3.3.2 การเตรียมชิ้นตัวอย่างขั้นต้น

- 1 เลือกมันฝรั่งที่มีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 1.0723-1.1795
- 2 หั่นมันฝรั่งให้ได้รูปทรงดังต่อไปนี้ แผ่นสี่เหลี่ยมขนาด 2x2x1 เซนติเมตร แผ่นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2.5 เซนติเมตร ความหนา 1 เซนติเมตร และสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาด 1x1x1 เซนติเมตร
- 3 แบ่งมันฝรั่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มหนึ่งนำไปผ่านการปรับสภาพ ด้วยการลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 6 นาที เพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ อีกกลุ่มหนึ่งนำไปอบแห้งโดยไม่ผ่านการปรับสภาพเพื่อใช้เป็นกลุ่มอ้างอิง



รูปที่ 3.3 ชิ้นตัวอย่างมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ (1) แผ่นสี่เหลี่ยม (2) แผ่นกลม (3) สี่เหลี่ยมลูกบาศก์

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การทดลองขั้นที่ 1 ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงของชิ้นตัวอย่างมันฝรั่ง

- 1 นำชิ้นตัวอย่างมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่เตรียมไว้ในขั้นต้นไปอบด้วยเตาอบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer) ที่อุณหภูมิ 50 70 และ 90 องศาเซลเซียส
- 2 ระหว่างการอบแห้งนำชิ้นตัวอย่างออกมาชั่งน้ำหนัก ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่งและทำการถ่ายภาพการเปลี่ยนแปลงของชิ้นมันฝรั่งด้วยชุดอุปกรณ์สำหรับถ่ายภาพ ทุก ๆ 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 15 ชั่วโมง
- 3 นำชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการถ่ายภาพไปวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของชิ้นตัวอย่าง ดังอธิบายใน 3.5
- 4 นำภาพถ่ายที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นบนโปรแกรม MATLAB เพื่อวิเคราะห์ค่าสีและการหาค่าของชิ้นตัวอย่างมันฝรั่งระหว่างการอบแห้ง
- 5 สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของชิ้นมันฝรั่งระหว่างการอบแห้งกับเวลาและอัตราส่วนความชื้น

3.4.2 การทดลองขั้นที่ 2 ศึกษาอิทธิพลของการหมุนขึ้นตัวอย่างขณะอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงของขึ้นตัวอย่างมันฝรั่ง

1 นำขึ้นตัวอย่างมันฝรั่งทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาด $1 \times 1 \times 1$ เซนติเมตร ที่ผ่านการลวกดั่งที่เตรียมไว้ในขั้นตอน ทำการแบ่งขึ้นตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่มดังนี้

- กลุ่มขึ้นตัวอย่างที่ 1 ระหว่างการอบแห้ง ทุก 1 ชั่วโมง ทำการหมุนขึ้นตัวอย่างตามแนวนอนในทิศตามเข็มนาฬิกา

- กลุ่มขึ้นตัวอย่างที่ 2 ระหว่างการอบแห้ง ทุก 1 ชั่วโมง ทำการพลิกขึ้นตัวอย่างเพื่อให้ทุกด้านได้สัมผัสกับอากาศร้อน

- กลุ่มขึ้นตัวอย่างที่ 3 ขึ้นตัวอย่างวางอยู่กับที่บนถาด ไม่มีการหมุนขึ้นตัวอย่างระหว่างการอบแห้ง

2 นำกลุ่มขึ้นตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มไปอบด้วยเตาอบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

3 ระหว่างการอบแห้งนำขึ้นตัวอย่างแต่ละกลุ่มออกมาหามุน ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่งและถ่ายภาพการเปลี่ยนแปลงด้วยชุดอุปกรณ์สำหรับถ่ายภาพ ทุก ๆ 1 ชั่วโมงเป็นเวลา 15 ชั่วโมง

4 นำขึ้นตัวอย่างที่ผ่านการถ่ายภาพไปวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของขึ้นตัวอย่าง ดังอธิบายใน 3.5

5 นำภาพถ่ายที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นบนโปรแกรม MATLAB เพื่อวิเคราะห์ค่าสีและการหดตัวของขึ้นตัวอย่างมันฝรั่งระหว่างการอบแห้ง

6 สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของขึ้นมันฝรั่งระหว่างการอบแห้งกับเวลาและอัตราส่วนความชื้น

3.5 การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของขึ้นตัวอย่าง

1 ชั่งน้ำหนักขึ้นตัวอย่างด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง

2 อบขึ้นตัวอย่างในเตาอบลมร้อน (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียส กระทั่งน้ำหนักคงที่

3 ชั่งน้ำหนักแห้งของขึ้นตัวอย่าง นำค่าที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้งจากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้ง} = \left(\frac{m_i - m_s}{m_i} \right) \times 100\% \quad (3.2)$$

โดย m_i คือมวลของขึ้นตัวอย่างก่อนอบ, กรัม

m_s คือมวลแห้งของขึ้นตัวอย่าง, กรัม

(ที่มา: AOAC, 2000)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การสอบเทียบประสิทธิภาพการวัด

4.1.1 การสอบเทียบประสิทธิภาพการวัดสี

เนื่องจากการทดลอง จำเป็นต้องมีการถ่ายภาพ จึงได้มีการสร้างชุดอุปกรณ์สำหรับถ่ายภาพ เพื่อควบคุมความสว่างให้สม่ำเสมอ โดยภายในกล่องจะทาสีดำ และติดตั้งหลอดหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบวงกลมให้อยู่ตรงกลางกล่อง และกำหนดตำแหน่งเพื่อวางวัตถุสำหรับถ่ายภาพ โดยเลือกจุดที่มีความสว่างที่สุดและแสงของไฟทำมุม 45° แล้วสะท้อนเข้ากล้อง (ASTM E179, 2012) ดังนั้นสิ่งที่เปลี่ยนไปจะมีเพียงสีของพื้นหลัง ซึ่งมีอิทธิพลต่อสีของวัตถุในภาพที่วิเคราะห์ได้ พบว่าพื้นหลังที่มีสีอ่อนจะส่งผลให้สีของชิ้นตัวอย่างซีดกว่าความเป็นจริง เนื่องจากแสงสะท้อนเข้าส่วนรับแสงของกล้องมาก และพื้นหลังที่มีสีเข้มจะส่งผลให้สีของชิ้นตัวอย่างหม่นกว่าความเป็นจริง ดังนั้นจึงต้องมีการเลือกสีของพื้นหลังให้เหมาะสมกับชิ้นตัวอย่าง โดยมีการถ่ายภาพแผ่นสีมาตรฐาน (ดังแสดงในภาคผนวก ก) บนพื้นหลังที่มีสีต่างกัน ได้แก่ สีขาว สีแดง และสีเขียว เนื่องจากสีดังกล่าวไม่ปรากฏบนชิ้นตัวอย่าง ทำให้ง่ายต่อการนำไปแยกภาพพื้นหลัง นำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าสี จากนั้นสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีที่วิเคราะห์จากโปรแกรมและจากเครื่องวัดสี เลือกสมการของระบบสี โดยพิจารณาจากค่าทางสถิติ R , R^2 , $RMSE$ และ $Chi-square$ ที่ดีที่สุด (ตารางที่ 4.1) จากการทดลองพบว่าพื้นหลังสีขาวมีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากมีค่า R และ R^2 สูง และ $RMSE$ และ $Chi-square$ ต่ำ

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่าทางสถิติ

Background color	R	R^2	$RMSE$	$Chi-Square$
Green	0.95	0.89	15.19	9.84
Red	0.93	0.86	17.42	0.28
White	0.98	0.97	8.70	-

ได้สมการในการแปลงค่าสี ดังสมการที่ 3.1 ถึง 3.3 เพื่อใช้สำหรับการแปลงค่าสีที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

4.1.2 การสอบเทียบประสิทธิภาพการวัดขนาดและพื้นที่

เนื่องจากความสูงของชิ้นตัวอย่างมีผลต่อภาพถ่ายที่ได้ ยกตัวอย่างเช่น การถ่ายภาพของชิ้นตัวอย่างที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากัน แต่มีความสูงที่ต่างกัน ทำให้พื้นที่ภาพฉายของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการวิเคราะห์นั้นมีขนาดต่างกัน ดังนั้นจึงต้องแปลงค่าเพื่อลดความคลาดเคลื่อนของพื้นที่เนื่องจากความสูงของชิ้นตัวอย่าง โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ภาพฉายกับความสูงของชิ้นตัวอย่าง จึงมีการถ่ายภาพแผ่นสีเหลี่ยมที่มีขนาดพื้นที่ต่าง ๆ กัน คือ 1×1 เซนติเมตร 1.5×1.5 เซนติเมตร และ 2×2 เซนติเมตร รวมทั้งกล่องสีเหลี่ยมที่มีขนาด $1 \times 1 \times 1$ เซนติเมตร และ $1 \times 1 \times 2$ เซนติเมตร จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาค่าพื้นที่ภาพฉายที่ความสูงต่างกัน สร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ภาพฉายและเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูาตเห็นาไปเซประเษยนดานการค้
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสูง ได้สมการที่ 3.4 และ 3.5 นำค่าที่ได้จากสมการมาเปรียบเทียบกับค่าจริงซึ่งวัดโดยใช้ไม้บรรทัด พบว่าในการสอบเทียบการวัดขนาดของพื้นที่ภาพฉายของชิ้นตัวอย่างมีความคลาดเคลื่อนจากวิธีมาตรฐานคิดเป็น 8% และการสอบเทียบการวัดขนาดของเส้นรอบรูปมีความคลาดเคลื่อนจากวิธีมาตรฐานคิดเป็น 3% ซึ่งน้อยกว่า 10% อยู่ในระดับที่ถือว่ายอมรับได้

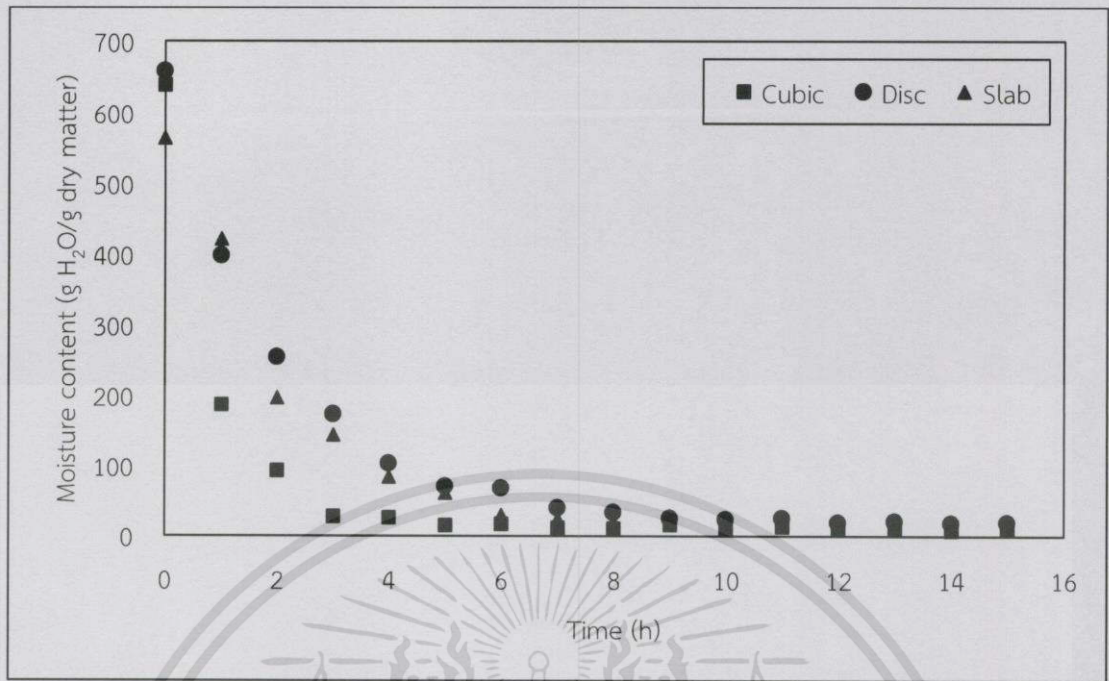
4.2 อิทธิพลของรูปทรงชิ้นตัวอย่างต่อการเปลี่ยนแปลงของมวลฝรั่งเศสระหว่างการอบแห้ง

เนื่องจากขนาด รูปร่าง ปริมาตรและพื้นที่ผิวของอาหารเป็นหนึ่งในปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง เพราะการเพิ่มพื้นที่ผิวของอาหารคือการเพิ่มพื้นที่ในถ่ายเทความร้อนจากลมร้อน ทำให้ชิ้นอาหารได้รับพลังงานมากกว่า หรือการเพิ่มความหนาของชิ้นอาหารจะทำให้ต้องใช้พลังงานมากสำหรับการแพร่ของน้ำในอาหาร เพื่อศึกษาอิทธิพลของรูปทรง อัตราการอบแห้ง และการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏ จึงทดลองอบแห้งโดยใช้ชิ้นตัวอย่างที่มีรูปทรงที่ต่างกัน ได้แก่ รูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ แผ่นกลม และแผ่นสี่เหลี่ยม ที่ผ่านการลวกและไม่ผ่านการลวก อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 70 และ 90 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.8 เมตรต่อวินาที

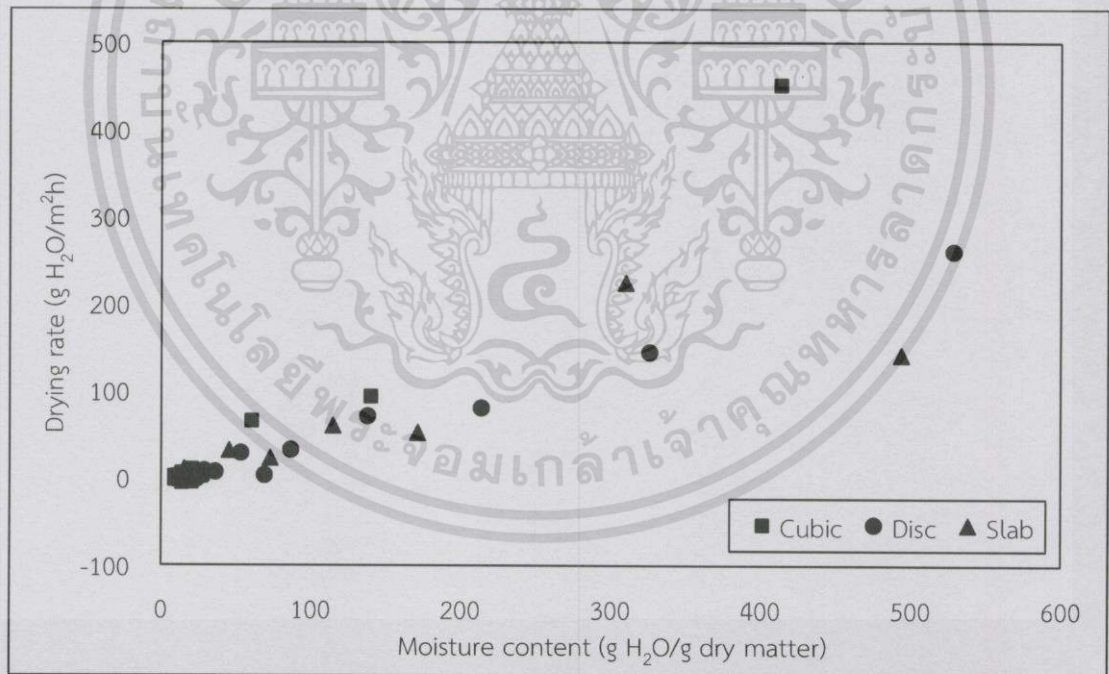
จากการทดลองพบว่าความชื้นของชิ้นตัวอย่างรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์เกิดการลดลงมากที่สุดตามด้วยรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมและแผ่นกลมตามลำดับ (รูปที่ 4.1) เนื่องจากรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตร มากที่สุด (ตารางที่ 4.2) ทำให้มีพื้นที่ในการได้รับความร้อนจากอากาศร้อนมากกว่า และเกิดการระเหยของน้ำบนผิวของชิ้นตัวอย่างและการแพร่ของน้ำในเนื้อของชิ้นตัวอย่างเร็วขึ้น ในขณะที่การอบแห้งชิ้นตัวอย่างรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมและแผ่นกลมซึ่งมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรน้อยกว่า ทำให้อัตราการความชื้นลดลงช้ากว่า กล่าวได้ว่าอัตราการอบแห้งของชิ้นตัวอย่างรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์มีอัตราการอบแห้งเร็วที่สุด ตามด้วยแผ่นสี่เหลี่ยมและแผ่นกลมตามลำดับ ซึ่งสองรูปทรงดังกล่าวมีอัตราการอบแห้งที่ใกล้เคียงกัน (รูปที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2 อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของรูปทรงต่าง ๆ

รูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์	$\frac{6(1 \times 1) [m^2]}{1 \times 1 \times 1 [m^3]} = 6 \left[\frac{1}{m} \right]$	(4.1)
รูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยม	$\frac{2(2 \times 2) + 4(2 \times 1) [m^2]}{2 \times 2 \times 1 [m^3]} = 4 \left[\frac{1}{m} \right]$	(4.2)
รูปทรงแผ่นกลม	$\frac{2\pi(1.25)^2 + \pi(1.25 \times 1) [m^2]}{\pi(1.25)^2(1) [m^3]} = 1.8 \left[\frac{1}{m} \right]$	(4.3)



รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมันฝรั่งแต่ละรูปทรงที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.2 อัตราการอบแห้ง (Drying rate) ต่อความชื้นของมันฝรั่งแต่ละรูปทรงที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏในขั้นตัวอย่าง พบว่ารูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์เกิดการหดตัวมากที่สุด ในขณะที่การหดตัวของรูปทรงแผ่นกลมและรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมมีการหดตัวที่ใกล้เคียงกัน (รูปที่ 4.3) เนื่องจากรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์มีอัตราการอบแห้งเร็วที่สุด ทำให้น้ำที่ผิว

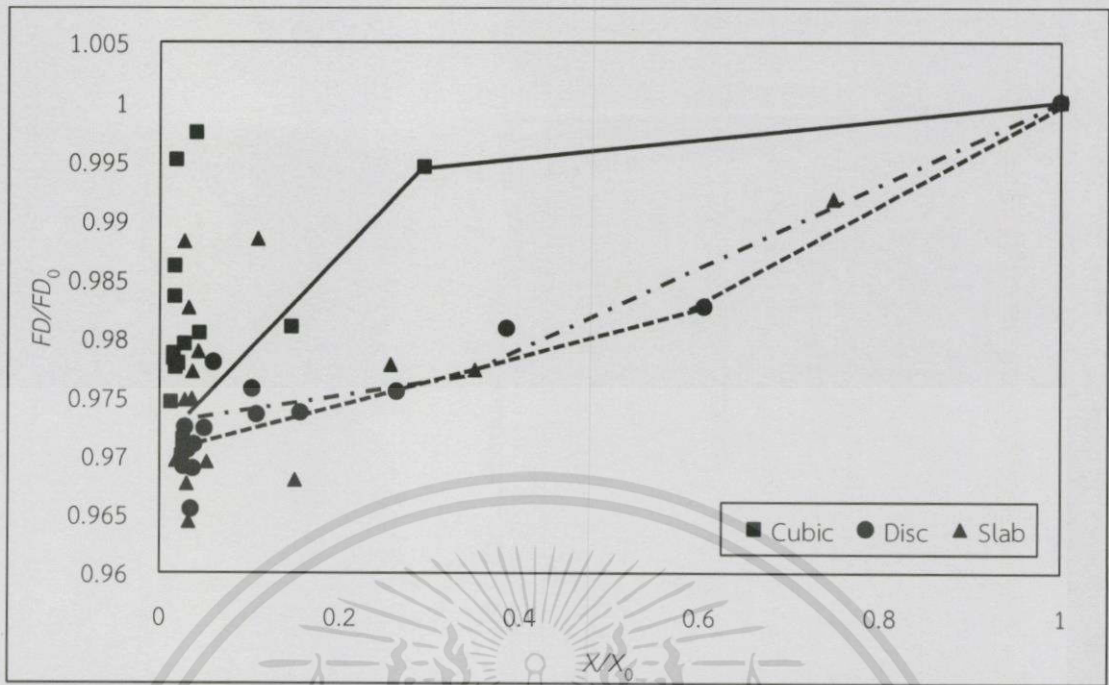
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของชั้นตัวอย่างระเหยและน้ำด้านในเนื้ออาหารแพร่ออกมายังผิวได้อย่างต่อเนื่อง ทำให้ความชื้นเกิดการลดลงอย่างมาก จึงเกิดการหดตัวของชั้นตัวอย่างมาก และรูปทรงแผ่นกลมและแผ่นสี่เหลี่ยมมีอัตราการระเหยน้ำที่ใกล้เคียงกัน การลดลงของความชื้นที่ส่งผลถึงการหดตัวจึงใกล้เคียงกัน

การเปลี่ยนแปลงรูปร่างนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง (รูปที่ 4.4) ช่วงแรกพบว่าชั้นตัวอย่างรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างน้อยที่สุด เนื่องจากมีอัตราการแพร่น้ำในเนื้อชั้นตัวอย่างเร็วกว่ารูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมและรูปทรงแผ่นกลม ทำให้เกิดความแตกต่างของความชื้นระหว่างผิวและเนื้อด้านในของชั้นตัวอย่างน้อย จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างน้อย ในขณะที่อีกสองรูปทรงคือรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมและแผ่นกลม มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากพลังงานความร้อนที่ได้รับยังไม่เพียงพอในการทำให้น้ำในเนื้อแพร่ไปได้อย่างต่อเนื่อง จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมาก และในช่วงที่สอง ชั้นตัวอย่างรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมากขึ้น เกิดจากการที่น้ำในเนื้อของชั้นอย่างเหลืออยู่น้อย จึงไม่สามารถแพร่ไปยังผิวหน้าได้อย่างต่อเนื่อง แต่รูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมและแผ่นกลมนั้นได้รับพลังงานเพียงพอต่อการแพร่ น้ำจึงแพร่ไปยังผิวหน้าได้อย่างต่อเนื่อง เกิดความแตกต่างของความชื้นระหว่างผิวและเนื้อด้านในน้อย จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างน้อยลง

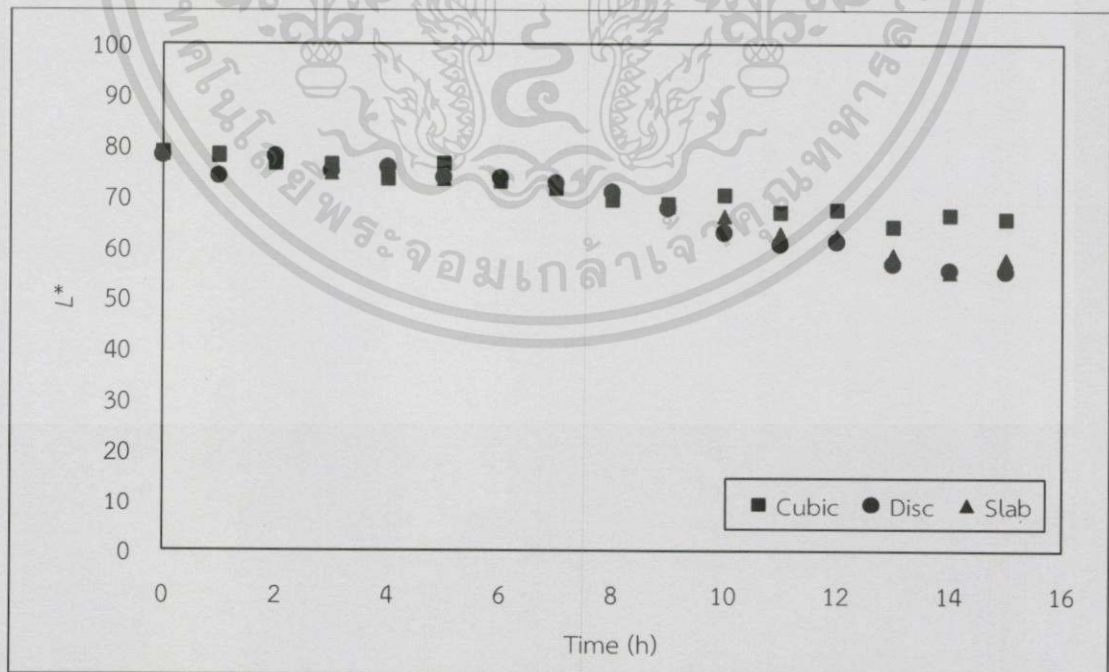


รูปที่ 4.3 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายต่อความชื้นของมินฝรั่งแต่ละรูปทรงที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



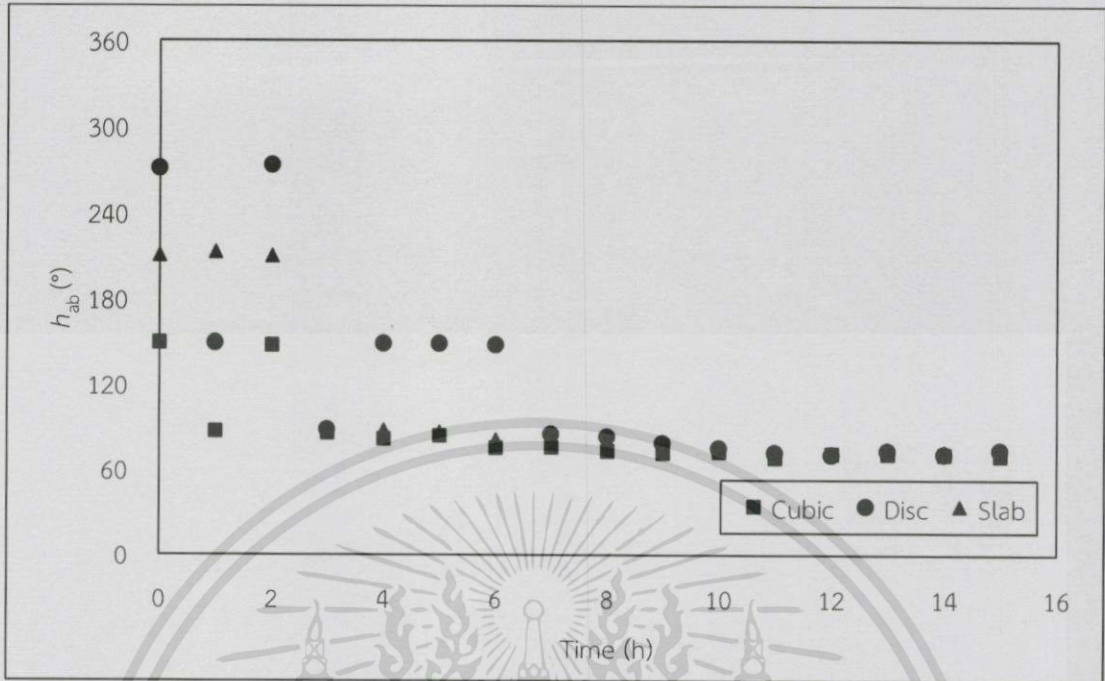
รูปที่ 4.4 อัตราส่วนค่าแพร่ที่ลต์ต่อความเข้มข้นของน้ำมันฝรั่งแต่ละรูปทรงที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

ส่วนการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างและค่าสีหลักในแต่ละรูปทรงจะมีความใกล้เคียงกัน (รูปที่ 4.5 และ 4.6) สรุปได้ว่ารูปทรงไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างและค่าสีหลัก เนื่องจากชิ้นตัวอย่างในแต่ละรูปทรงผ่านการลวก และอบที่อุณหภูมิเดียวกัน ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลไปในทางเดียวกัน



รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของน้ำมันฝรั่งแต่ละรูปทรงที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

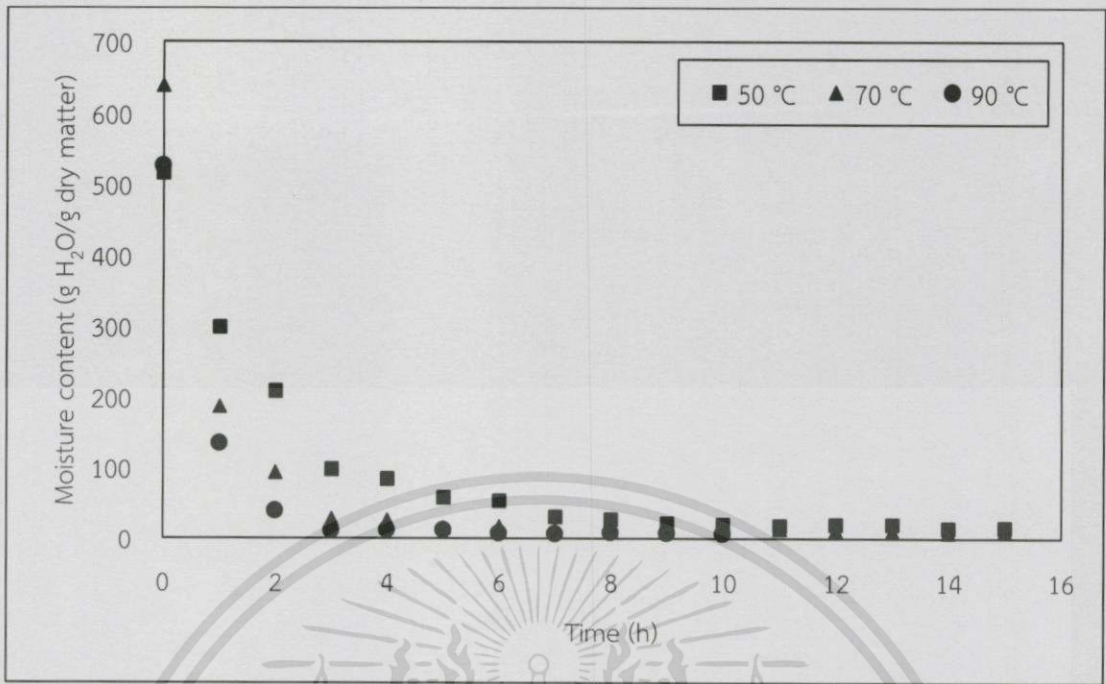


รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงค่าสีหลัก (h_{ab}) ของมันฝรั่งแต่ละรูปทรงที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

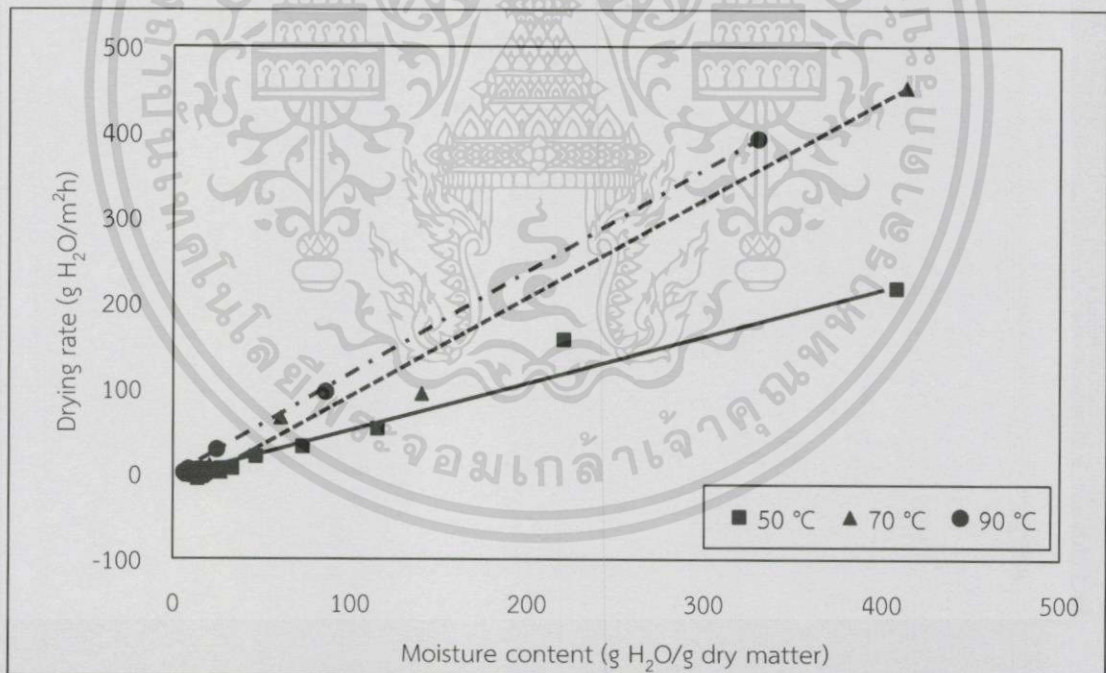
4.3 อิทธิพลของอุณหภูมิในการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงของมันเป็นฝรั่งระหว่างการอบแห้ง

อุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏ (การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง การหดตัว การเปลี่ยนสี) ของมันฝรั่ง รวมถึงอัตราการอบแห้ง จึงทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง โดยอบแห้งชิ้นตัวอย่างรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ แผ่นกลม และแผ่นสี่เหลี่ยมทั้งที่ผ่านการลวกและไม่ผ่านการลวก อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 70 และ 90 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.6 m/s

จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ความชื้นของชิ้นตัวอย่างลดลงมากที่สุด และตามมาด้วย 70 และ 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (รูปที่ 4.7) เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง จะทำให้น้ำมีการแพร่และระเหยได้เร็วขึ้น จึงทำให้มีอัตราการอบแห้งที่เร็วกว่า และที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีอัตราการอบแห้งช้าที่สุด (รูปที่ 4.8) โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงเกินไป จะทำให้เกิดเปลือกแข็ง (Case hardening) ซึ่งเกิดจากการที่ผิวหน้าของชิ้นตัวอย่างเกิดการระเหยน้ำที่เร็วเกินไป ทำให้น้ำที่อยู่ภายในอาหารแพร่ออกมายังพื้นผิวไม่ทัน ผิวของชิ้นตัวอย่างจึงเกิดการแห้งและแข็งตัวขึ้น ขัดขวางไม่ให้น้ำสามารถระเหยออกมาได้ ในการทดลองนี้มีการเกิดเปลือกแข็งขึ้น แต่น้ำยังสามารถระเหยออกมาได้ เห็นได้จากการที่ความชื้นช่วงสุดท้ายก่อนเข้าสู่ความชื้นสมดุลมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าไม่เกิดกรณีที่ผิวหน้าแข็งตัวและกักไม่ให้น้ำภายในระเหยออกมา



รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ



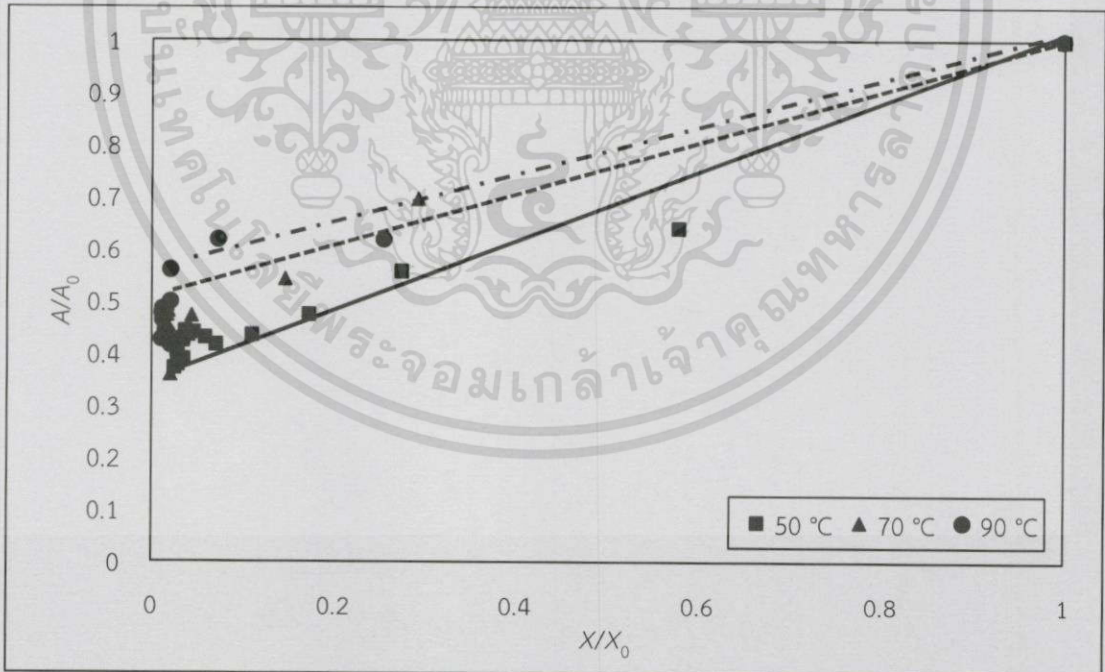
รูปที่ 4.8 อัตราการอบแห้ง (Drying rate) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ

สำหรับการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงรูปร่างพบว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ขึ้นตัวอย่างเกิดการหดตัวมากที่สุด ตามด้วย 70 และ 90 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (รูปที่ 4.9) เนื่องจากที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสมีอัตราการระเหยน้ำใกล้เคียงกับอัตราการแพร่ของน้ำภายในขึ้นตัวอย่าง

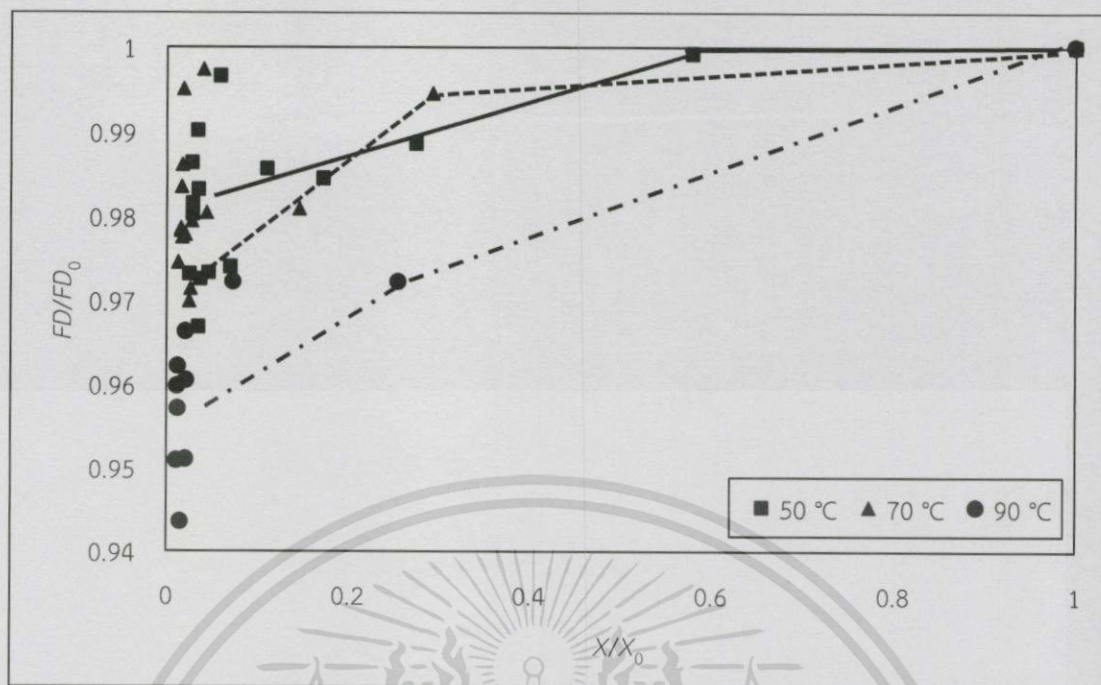
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้น้ำระเหยออกมาอย่างต่อเนื่อง ผิวของชิ้นตัวอย่างจึงมีความชื้นอยู่ในขณะที่โครงสร้างภายในของชิ้นอาหารเป็นโพรง ชิ้นอาหารจึงหดตัวลง ในขณะที่อุณหภูมิ 70 และ 90 องศาเซลเซียส มีอัตราการระเหยของน้ำเร็วกว่าอัตราการแพร่ของน้ำ ทำให้อัตราการระเหยของน้ำเร็วกว่าอัตราการแพร่ของน้ำ ทำให้อัตราการระเหยของน้ำเร็วกว่าอัตราการแพร่ของน้ำ ทำให้ผิวของชิ้นตัวอย่างเกิดเปลือกแข็งที่สามารถรองรับโครงสร้างของชิ้นตัวอย่างไว้ได้ จึงเกิดการหดตัวน้อย

การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมากที่สุดตามด้วย 50 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างที่ใกล้เคียงกัน (รูปที่ 4.10) เนื่องจากที่อุณหภูมิ 50 และ 70 องศาเซลเซียส มีอัตราการระเหยของน้ำใกล้เคียงกับการแพร่ของน้ำด้านในชิ้นตัวอย่าง จึงทำให้ในช่วงแรกเกิดความแตกต่างของความชื้นระหว่างผิวและเนื้อด้านในชิ้นตัวอย่างไม่มาก ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างน้อย โดยความแตกต่างของความชื้นระหว่างผิวและเนื้อด้านในจะทำให้เกิดการดึงในโครงสร้างของชิ้นตัวอย่าง จึงเกิดการบิดตัวและเปลี่ยนแปลงรูปร่างในที่สุด (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมในหัวข้อที่ 2.2.2.2) ซึ่งชิ้นตัวอย่างจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างจนกระทั่งถึงจุดที่น้ำระเหยออกไปมาก จึงเกิดความแตกต่างของความชื้นระหว่างพื้นผิวภายนอกและเนื้อด้านในชิ้นอาหาร ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเป็นอย่างมาก (Aguilera and Stanley, 1999) ส่วนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเป็นอย่างมากในช่วงแรก เนื่องจากน้ำระเหยได้เร็วกว่าการแพร่ของน้ำด้านในของชิ้นตัวอย่าง ส่งผลให้เกิดความแตกต่างความชื้นระหว่างผิวและเนื้อด้านในของชิ้นตัวอย่าง จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างมากในช่วงแรก จนกระทั่งถึงจุดความชื้นสมดุล ชิ้นตัวอย่างไม่สามารถทำแห้งได้อีก จึงส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างน้อยลง

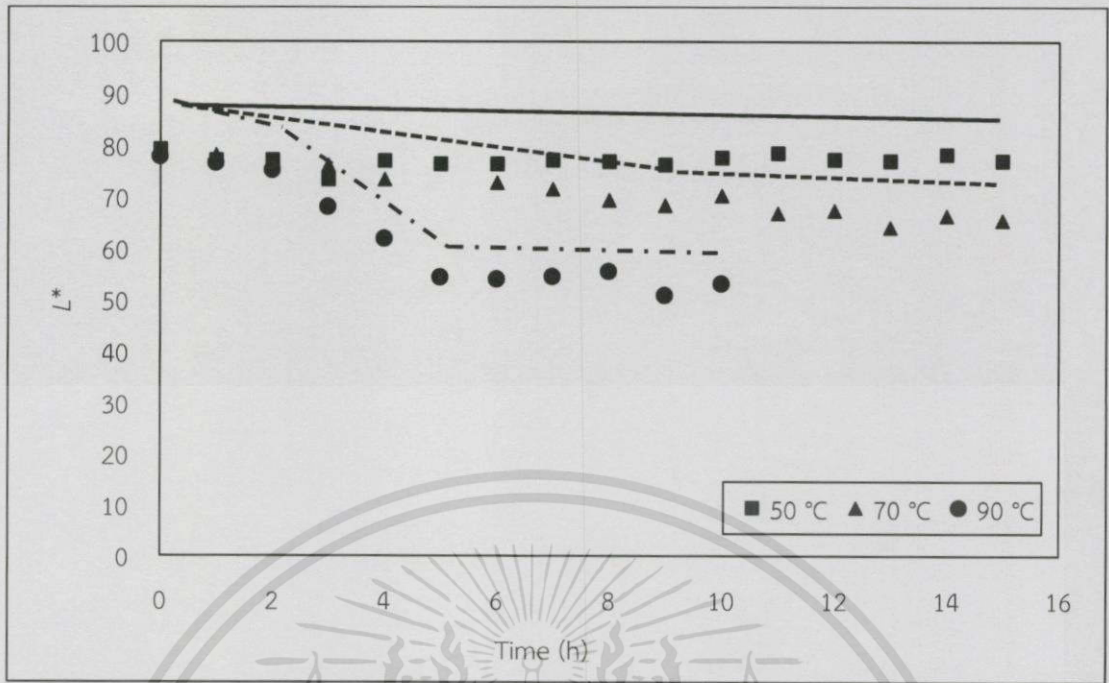


รูปที่ 4.9 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ

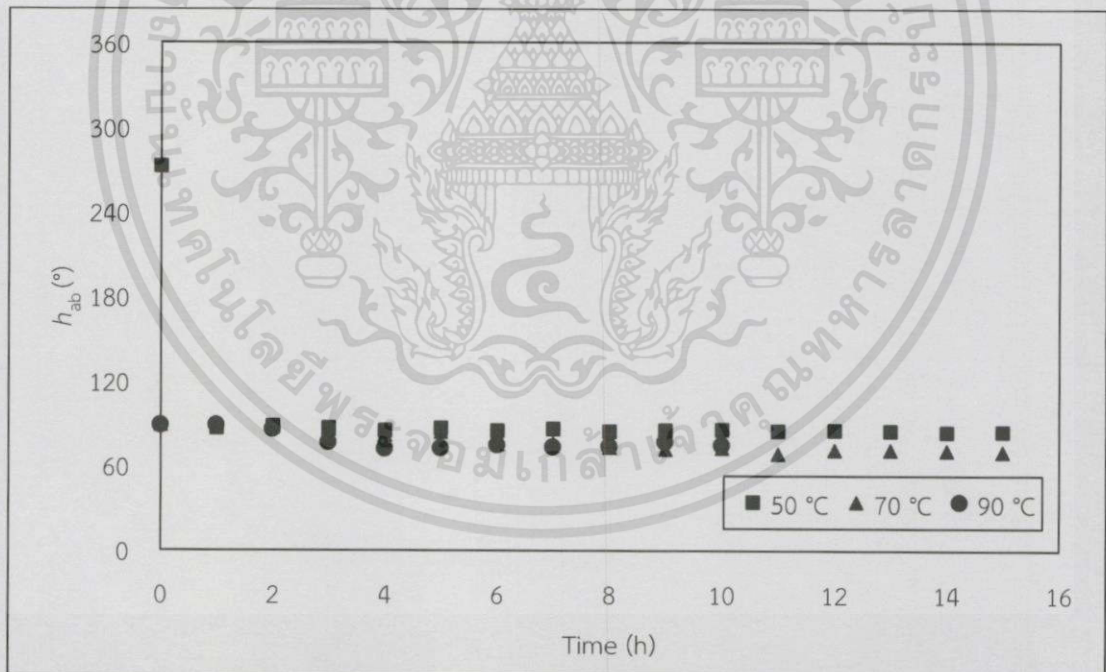


รูปที่ 4.10 อัตราส่วนค่าแฟริคัลต่อความเข้มข้นของสีของน้ำมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าของความสว่าง (L^*) ของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการลวกและไม่ผ่านการลวก พบว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ค่าความสว่างมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ขณะที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงความสว่างสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง โดยช่วงแรกค่าความสว่างมีการลดลงอย่างต่อเนื่อง แล้วจึงคงที่ในช่วงที่สอง ส่วนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส สามารถแบ่งการเปลี่ยนแปลงออกได้เป็น 3 ช่วง คือ ช่วงแรกความสว่างมีการลดลงอย่างช้า ๆ แล้วจึงลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงที่สอง ก่อนที่จะคงที่ในช่วงที่สาม (รูปที่ 4.11) โดยการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างในช่วงแรกที่อุณหภูมิ 70 และ 90 องศาเซลเซียส เกิดจากการหดตัวที่ส่งผลให้โครงสร้างภายในมีการเปลี่ยนแปลง ทำให้ความโปร่งและความทึบของชิ้นตัวอย่างเปลี่ยนไป ส่งผลให้ความสว่างลดลง และสำหรับในช่วงที่สองของอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ค่าความสว่างมีการลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าว ความชื้นของชิ้นตัวอย่างได้เข้าสู่จุดสมดุลแล้ว ทำให้มีน้ำสามารถระเหยได้อีก แต่ชิ้นตัวอย่างยังคงได้รับความร้อนอยู่ ทำให้ชิ้นตัวอย่างมีสีเข้มขึ้นเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ส่งผลให้ความสว่างลดลงอย่างรวดเร็ว โดยรวมแล้วพบว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีความสว่างมากที่สุด ตามด้วย 70 และ 90 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และพบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าสีหลัก (h_{ab}) ของในแต่ละอุณหภูมิมีความใกล้เคียงกันมาก (รูปที่ 4.12) สามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีหลักของชิ้นตัวอย่าง



รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ

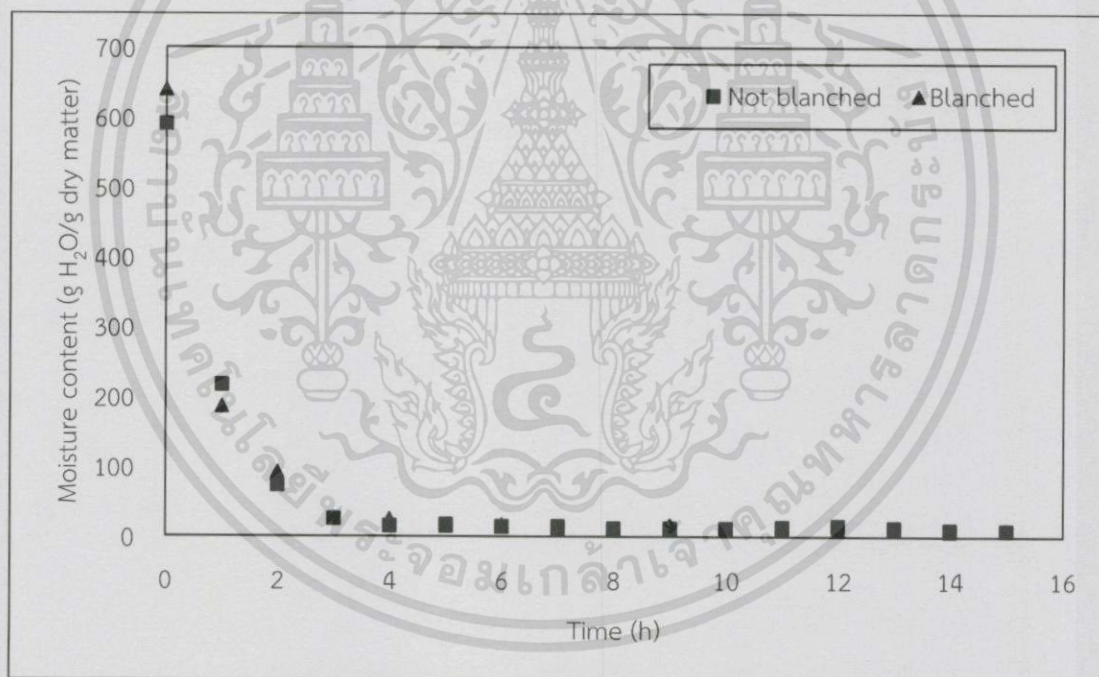


รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงค่าสีหลัก (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ

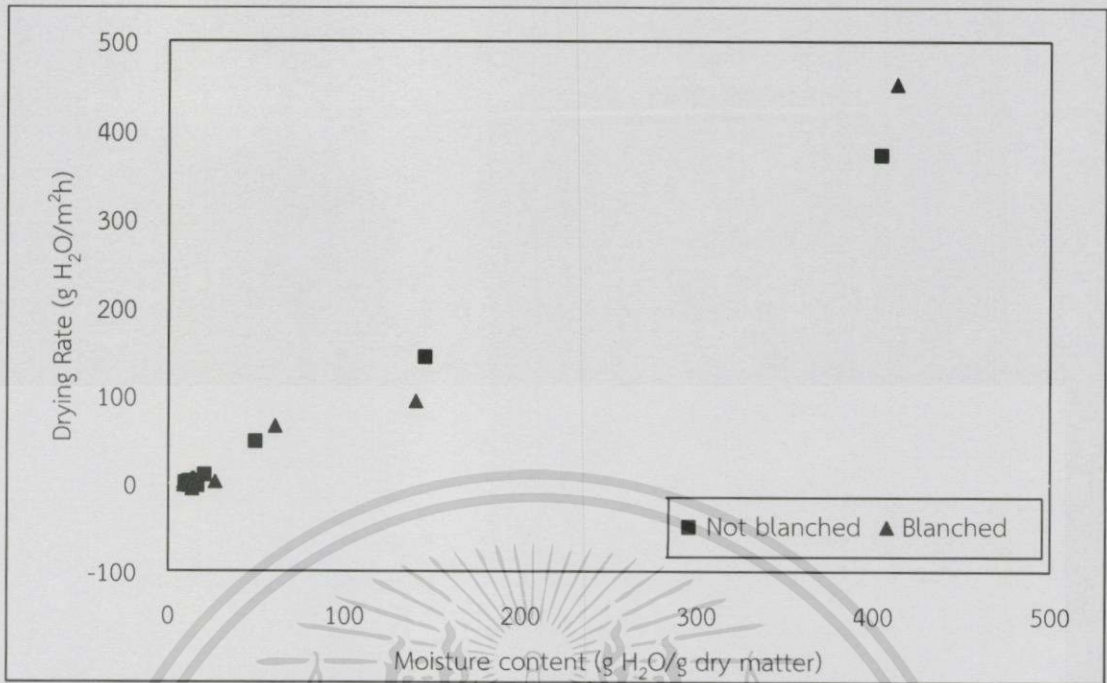
4.4 อิทธิพลของการลวกต่อการเปลี่ยนแปลงของไขมันฝรั่งระหว่างการอบแห้ง

การปรับสภาพของอาหารก่อนการอบแห้งเป็นทั้งการป้องกันและลดการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏ เช่น สี และรูปร่าง ซึ่งการลวกนั้นก็เป็นหนึ่งในวิธีการปรับสภาพก่อนการอบแห้งที่เป็นที่นิยม จึงทำการศึกษาอิทธิพลของการลวก เนื่องจากการลวกนั้นสามารถช่วยยับยั้งหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ได้ อีกทั้งยังทำให้เกิดการเจลาติไนซ์ จึงทำการศึกษาผลของการลวกโดยใช้มันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ แผ่นกลม และแผ่นสี่เหลี่ยมทั้งที่ผ่านการลวกและไม่ผ่านการลวก อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 70 และ 90 องศาเซลเซียส

จากการทดลองพบว่าในช่วงแรกความชื้นของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการลวกมีการลดลงมากกว่าชิ้นตัวอย่างที่ไม่ผ่านการลวก จนกระทั่งชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการลวกมีความชื้น 50% d.b. หรือประมาณชั่วโมงที่ 2 ของการอบแห้ง การลดลงของความชื้นของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการลวกและไม่ผ่านการลวกจึงใกล้เคียงกัน (รูปที่ 4.13) แม้ว่าการลวกทำให้ชิ้นตัวอย่างมีความชื้นเริ่มต้นสูงกว่า แต่การลวกทำให้เซลล์วอลล์ (Cell wall) ถูกทำลายและเกิดรอยแตกเป็นผลทำให้น้ำสามารถแพร่ออกมาได้เร็วกว่า ดังนั้นเมื่อความชื้นในชิ้นตัวอย่างมากกว่า 50% d.b. อัตราการอบแห้งของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการลวกจะเร็วกว่าชิ้นตัวอย่างที่ไม่ผ่านการลวกเพราะการเกิดเจลาติไนซ์ (รูปที่ 4.14)

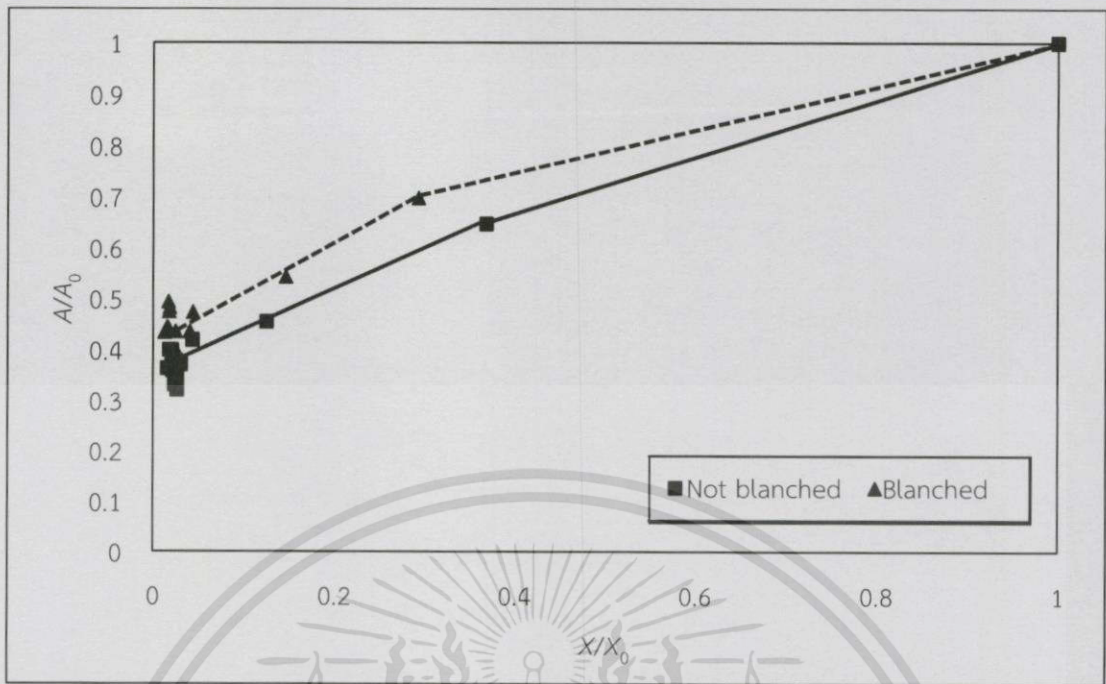


รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

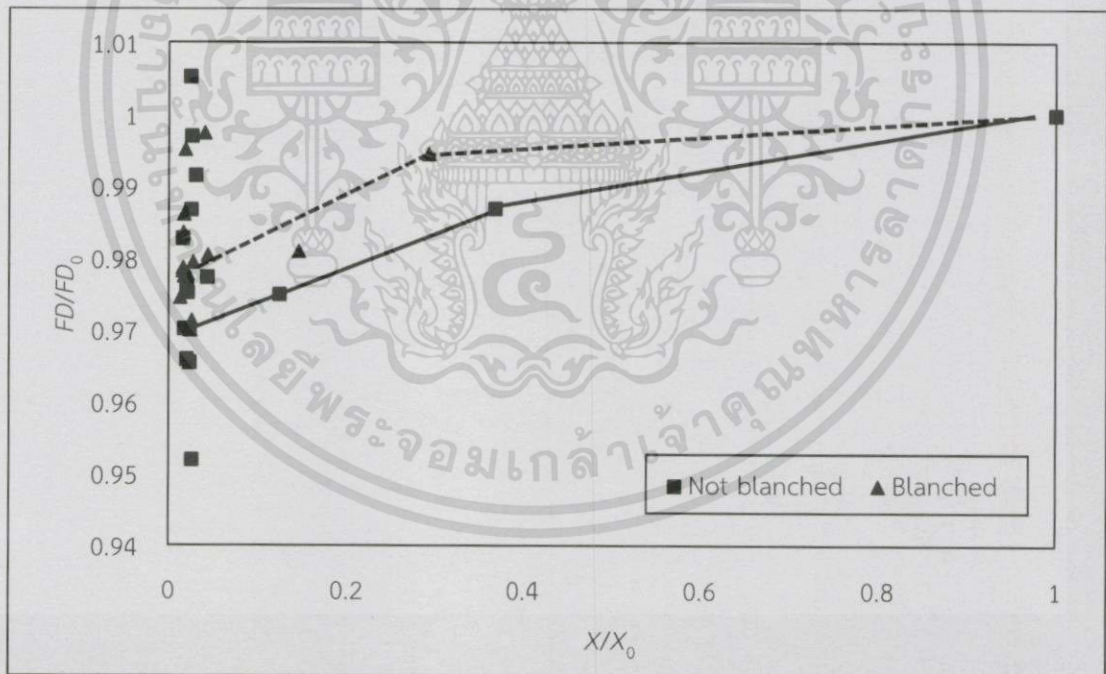


รูปที่ 4.14 อัตราการอบแห้ง (Drying rate) ต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

สำหรับการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงรูปร่างพบว่าการหดตัวของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการลวกจะเกิดน้อยกว่าชิ้นตัวอย่างที่ไม่ผ่านการลวก (รูปที่ 4.15) เพราะการลวกจะทำให้องค์ประกอบทางเคมีในชิ้นตัวอย่างเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากเกิดการเจลาตินไนซ์ (Gelatinization) ทำให้มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งแตกต่างกันกับชิ้นตัวอย่างที่ไม่ผ่านการลวก ทำให้ผิวของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการลวกเกิดการคงรูปร่าง ส่งผลให้เกิดการหดตัวน้อยกว่าชิ้นตัวอย่างที่ไม่ผ่านการลวก และเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่น้อยกว่าอีกด้วย (รูปที่ 4.16) เนื่องจากการลวกทำให้น้ำสามารถแพร่ได้เร็วกว่า ทำให้เกิดความแตกต่างของความชื้นระหว่างผิวและเนื้อด้านในน้อย ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่น้อย



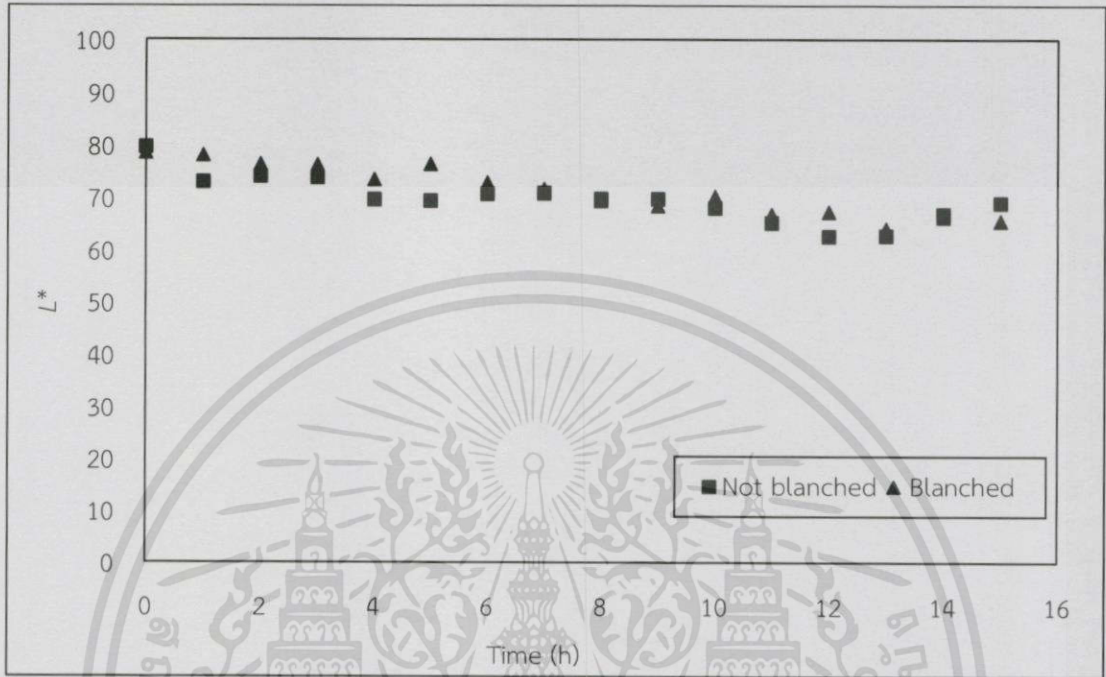
รูปที่ 4.15 อัตราส่วนพื้นที่ที่ผายต่อความชื้นของน้ำมันรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.16 อัตราส่วนแฟร็คทัลต่อความชื้นของน้ำมันรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

จากการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างพบว่าขึ้นตัวอย่างที่ผ่านการลวกและไม่ผ่านการลวกมีการแปลงเปลี่ยนที่ใกล้เคียงกัน (รูปที่ 4.17) แต่สำหรับการเปลี่ยนแปลงสีหลักมีความแตกต่างกัน โดยในช่วงเริ่มต้นการเปลี่ยนแปลงสีหลักจะมีความใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเวลาผ่านไปพบว่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงสีหลักของขึ้นตัวอย่างที่ไม่ผ่านการลวกจะมีมากกว่าขึ้นตัวอย่างที่ผ่านการลวก (รูปที่ 4.18) เนื่องจากการลวกจะช่วยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ จึงเป็นผลทำให้การเปลี่ยนแปลงค่าสีหลักของขึ้นตัวอย่างทั้งสองแบบมีความแตกต่างกัน



รูปที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



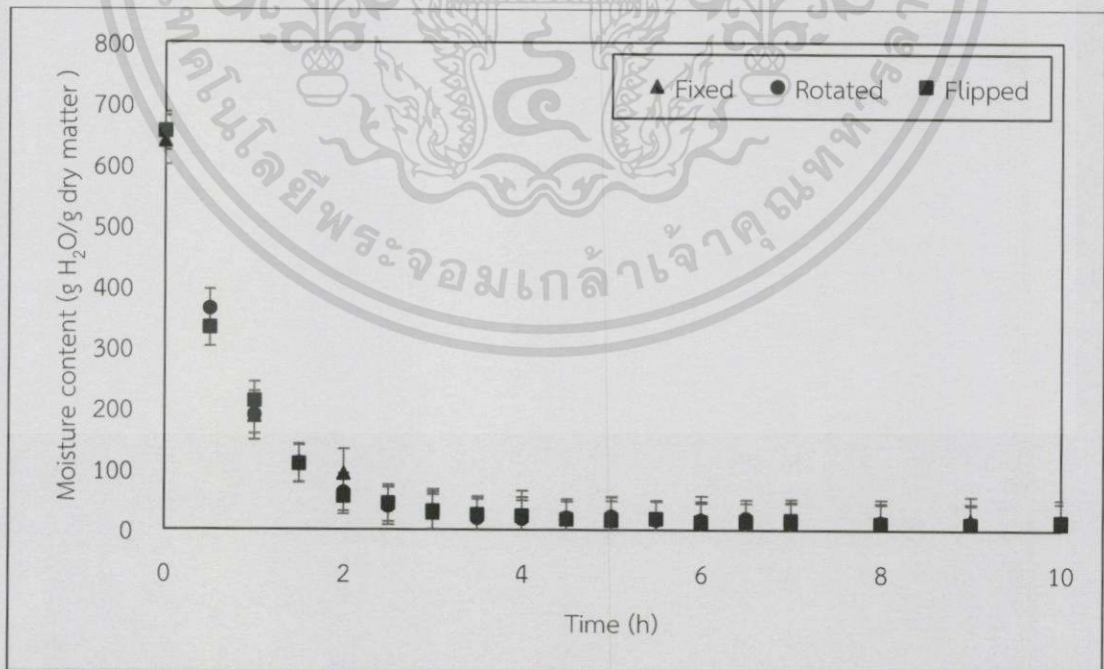
รูปที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงค่าสีหลัก (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 อิทธิพลของการหมุนขึ้นตัวอย่างต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันระหว่างกรอบแห้ง

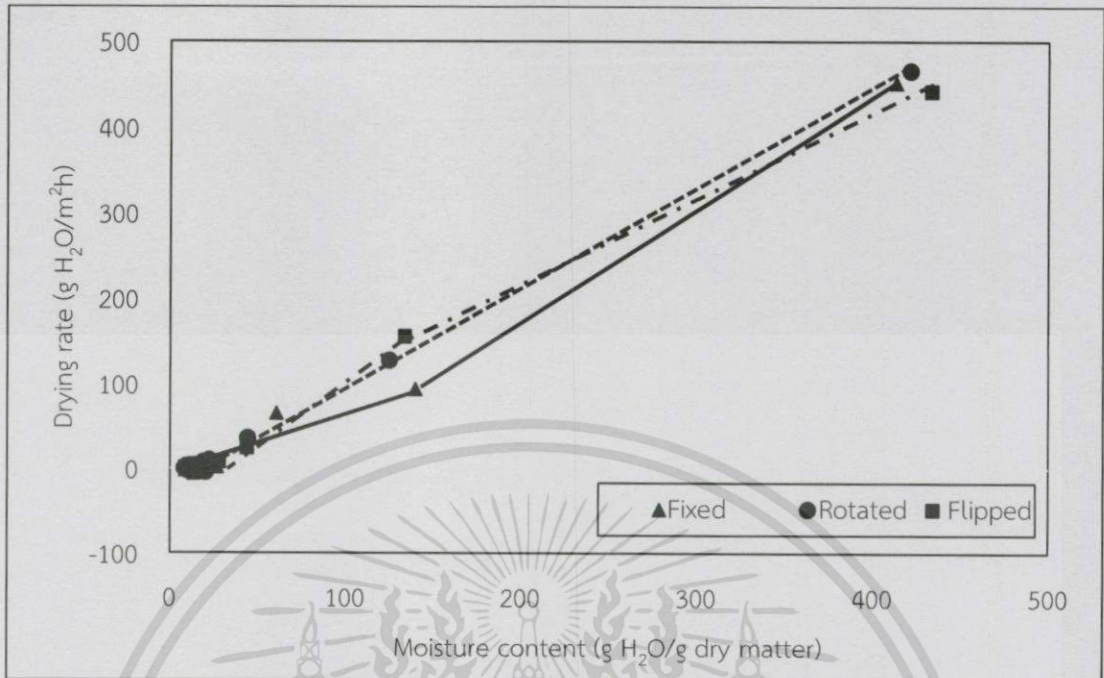
เนื่องจากระหว่างกรอบแห้งนั้น การเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของขึ้นตัวอย่างในแต่ละด้าน มีความแตกต่างกัน อาจเป็นผลเนื่องจากน้ำมันที่ผ่านการลวกจะเกิดการเจลาติไนซ์ เพราะในระบบอุตสาหกรรม น้ำมันจะถูกลวกก่อนการอบแห้ง เพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ และทำให้เกิดการเจลาติไนซ์ ส่งผลให้น้ำมันมีลักษณะเหนียวคล้ายกาว ซึ่งมีผลต่อด้านของขึ้นตัวอย่างที่อยู่ติดกับภาต (ฐาน) เพราะได้ถูกตรึงเอาไว้ จึงไม่เกิดการหดตัวและมีการแพร่และระเหยของน้ำไม่เต็มที่ ดังนั้นจึงมีการศึกษาการหมุนขึ้นตัวอย่างระหว่างกรอบแห้งเปรียบเทียบกับกรอบแห้งแบบปกติ (อยู่กับที่และไม่มีการหมุนขึ้นตัวอย่าง) โดยมีการหมุนสองแบบ แบบแรกขึ้นตัวอย่างถูกหมุนตามแนวอนในทิศเข็มนาฬิกา โดยให้ฐานของขึ้นตัวอย่างด้านที่ติดกับภาตวางติดอยู่บนภาตเหมือนเดิม และแบบที่สองขึ้นตัวอย่างถูกพลิกเพื่อให้ทุกด้านได้รับความร้อนอย่างสม่ำเสมอ ทำการศึกษาโดยใช้มันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวก แล้วนำไปจอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.8 m/s

จากการทดลองพบว่าขึ้นตัวอย่างที่ถูกหมุนตามเข็มนาฬิกาและขึ้นตัวอย่างที่ถูกพลิกจะมีการลดลงของความชื้นเร็วกว่าขึ้นตัวอย่างที่อยู่กับที่ (รูปที่ 4.19) ทั้งนี้เกิดจากขึ้นตัวอย่างที่ผ่านการลวกนั้นมีลักษณะเหนียวคล้ายกาว เนื่องจากการเกิดเจลาติไนซ์ ทำให้บริเวณฐานของขึ้นตัวอย่างที่อยู่กับที่มีลักษณะเหนียวคล้ายกาวแนบติดกับภาต จึงเป็นผลทำให้น้ำระเหยออกได้ยาก ถึงแม้ว่าบริเวณฐานของขึ้นตัวอย่างจะมีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าก็ตาม ซึ่งการลดลงของความชื้นภายในขึ้นตัวอย่างนั้นสอดคล้องกับอัตราการอบแห้งของขึ้นตัวอย่างที่ถูกหมุนและขึ้นตัวอย่างที่ถูกพลิกที่พบว่าเร็วกว่าของขึ้นตัวอย่างที่อยู่กับที่ (ในรูปที่ 4.20)



รูปที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมันเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกที่การหมุนแบบต่าง ๆ ระหว่างกรอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



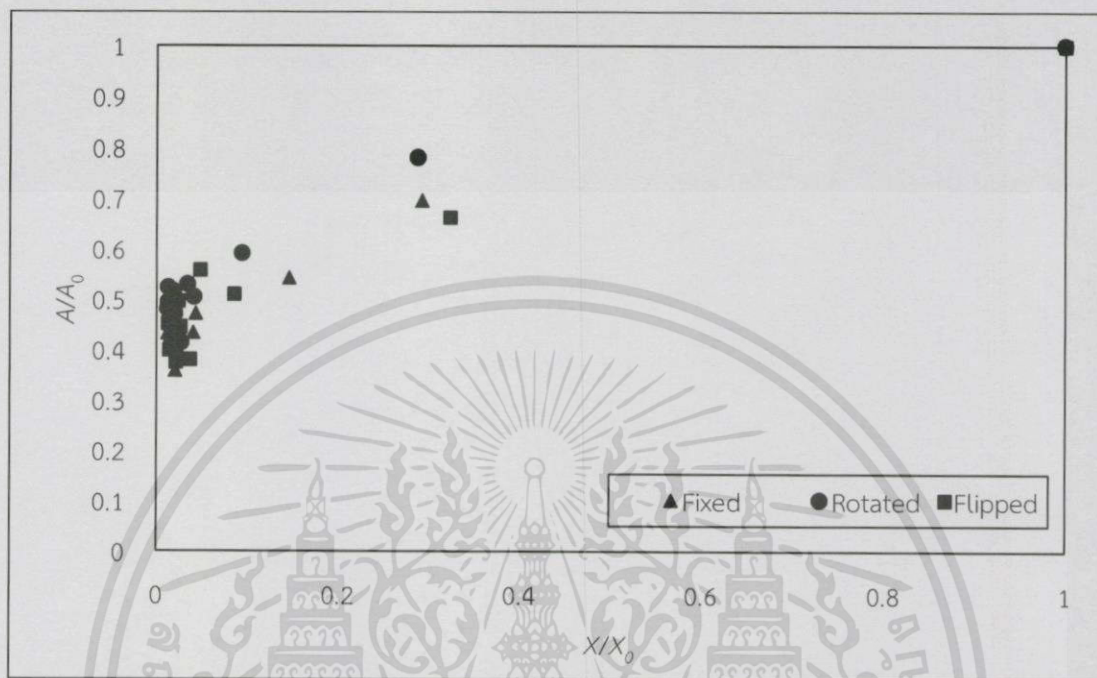
รูปที่ 4.20 อัตราการอบแห้ง (Drying rate) ต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวก ที่การหมุนแบบต่าง ๆ ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

จากการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงรูปร่างพบว่าชิ้นตัวอย่างทั้งสามแบบจะมีการหดตัวจนกระทั่งถึงจุดที่มีอัตราส่วนความชื้นที่ 0.1 หรือชั่วโมงที่ 2 ของการอบแห้ง (รูปที่ 4.21) เนื่องจากชิ้นตัวอย่างเกิดการหดตัวจนถึงจุดสมดุลแล้ว โดยชิ้นตัวอย่างที่ถูกหมุนตามเข็มนาฬิกานั้นจะเกิดการหดตัวน้อยที่สุด ตามด้วยชิ้นตัวอย่างที่อยู่กับที่และชิ้นตัวอย่างที่ถูกพลิก ตามลำดับ ถึงแม้ว่าชิ้นตัวอย่างที่ถูกหมุนตามเข็มนาฬิกาจะมีอัตราการทำให้แห้งที่มากกว่าชิ้นตัวอย่างที่อยู่กับที่ แต่การหมุนทำให้น้ำระเหยเร็วเกินไป เป็นผลทำให้ผิวด้านนอกของชิ้นตัวอย่างเกิดการคงตัวขึ้นทำให้เกิดการหดตัวและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างน้อย แต่สำหรับชิ้นตัวอย่างอยู่ที่ถูกพลิกนั้น เมื่อถูกพลิกมาจะทำให้ทุกด้านได้รับความร้อนอย่างสม่ำเสมอและเกิดการระเหยน้ำได้ดีขึ้น จึงเกิดการหดตัวที่มากกว่า

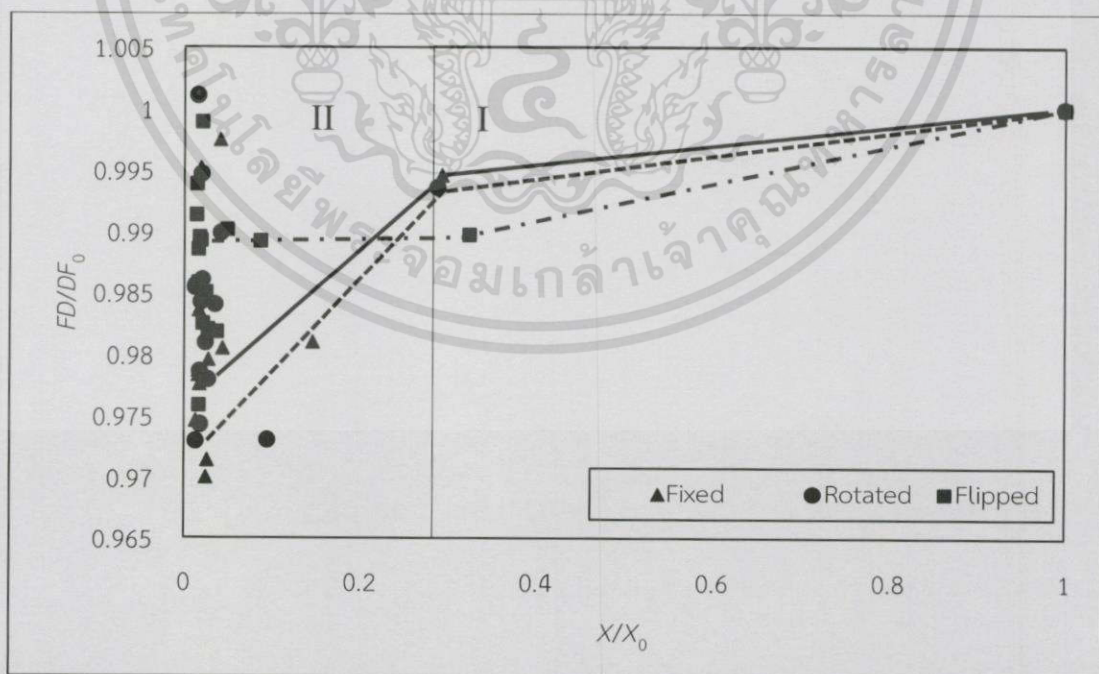
แต่การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นตัวอย่างทั้งสามแบบ พบว่าชิ้นตัวอย่างที่ถูกพลิกมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างน้อยที่สุด ตามด้วยชิ้นตัวอย่างที่อยู่กับที่และชิ้นตัวอย่างที่ถูกหมุนตามลำดับ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นตัวอย่างสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง (รูปที่ 4.22) ช่วงแรกหรือในช่วงที่มีอัตราส่วนความชื้นตั้งแต่ 1 ถึง 0.3 หรือในช่วงเริ่มต้นจนถึงชั่วโมงที่ 1 ของการอบแห้ง พบว่าชิ้นตัวอย่างที่ถูกพลิกมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมากที่สุด ในขณะที่ชิ้นตัวอย่างที่อยู่กับที่และชิ้นตัวอย่างที่ถูกหมุนตามเข็มนาฬิกามีการเปลี่ยนแปลงอย่างใกล้เคียงกัน เพราะชิ้นตัวอย่างที่ถูกหมุนตามเข็มนาฬิกาและชิ้นตัวอย่างที่อยู่กับที่ได้รับความร้อนในแต่ละด้านของชิ้นตัวอย่างใกล้เคียงกัน ทำให้มีอัตราการแพร่ของน้ำในแต่ละด้านใกล้เคียงกัน ในขณะที่ชิ้นตัวอย่างที่ถูกพลิกนั้น เมื่อด้านที่อยู่ติดกับภาตถูกพลิกขึ้นมา ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงของพลังงานความร้อนที่ได้ ทำให้อัตราการแพร่ของน้ำไปยังแต่ละด้านไม่สม่ำเสมอจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมาก และช่วงที่สองหรือในช่วงที่มีอัตราส่วนความชื้นตั้งแต่ 0.3 พบว่าชิ้นตัวอย่างที่ถูกพลิกจะค่อย ๆ มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างช้า ๆ ในขณะที่ชิ้นตัวอย่างที่อยู่กับที่และชิ้นตัวอย่างที่ถูกหมุนตามเข็มนาฬิกาเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่เร็วกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันเป็นอย่างมาก เพราะชั้นตัวอย่างที่ถูกหมุนตามเข็มนาฬิกาและชั้นตัวอย่างที่อยู่กับที่ ด้านที่อยู่ติดกับภาคนั้นจะเกิดการยึดติดอยู่กับภาคนั้น ทำให้ด้านดังกล่าวเปลี่ยนแปลงรูปร่างน้อย จึงเกิดการบิดตัวของชั้นตัวอย่างจนเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในที่สุด



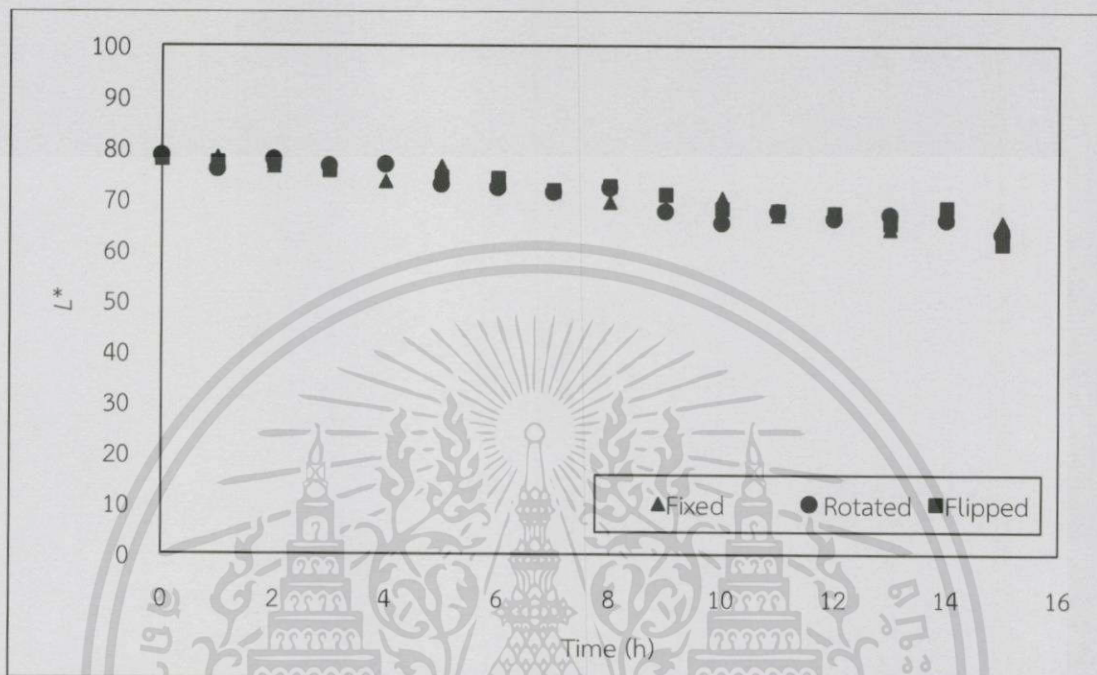
รูปที่ 4.21 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกที่การหมุนแบบต่าง ๆ ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



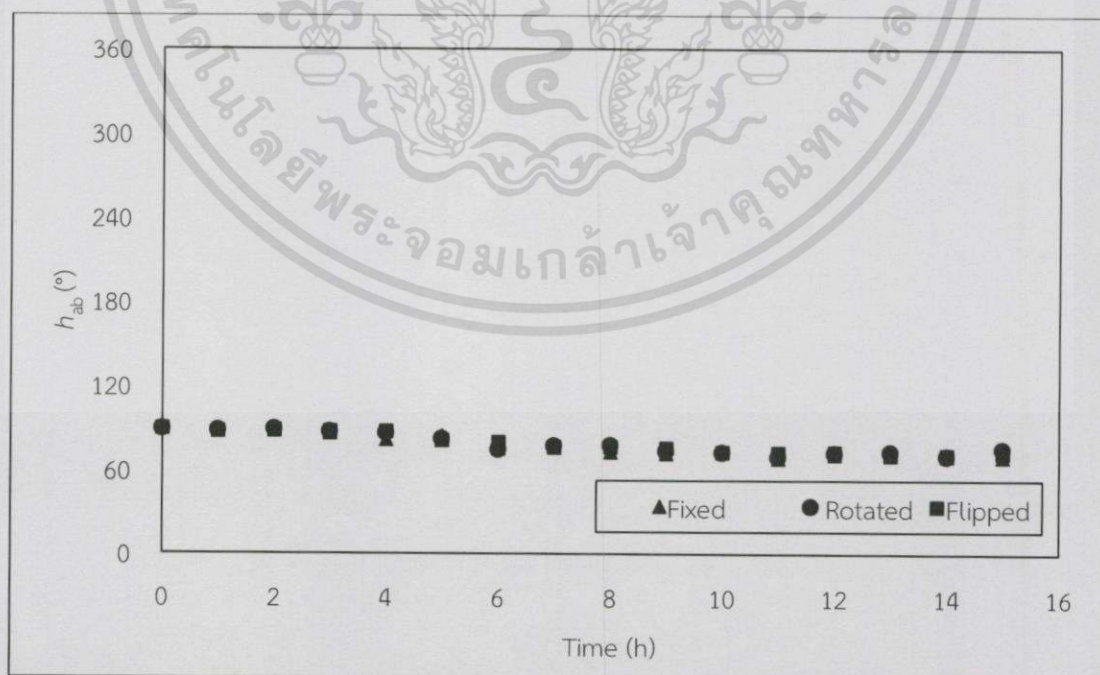
รูปที่ 4.22 อัตราส่วนค่าแฟร็คทัลต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกที่การหมุนแบบต่าง ๆ ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการพิจารณาค่าความสว่างและค่าสีหลักพบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างและค่าสีหลักในชั้นตัวอย่างใกล้เคียงกัน (รูปที่ 4.23 และ 4.24) ซึ่งสรุปได้ว่าการหมุนและการพลิกไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างและค่าสีหลัก เพราะชั้นตัวอย่างได้ผ่านการลวกและนำไปอบที่อุณหภูมิเดียวกัน จึงมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.23 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกที่การหมุนแบบต่าง ๆ ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



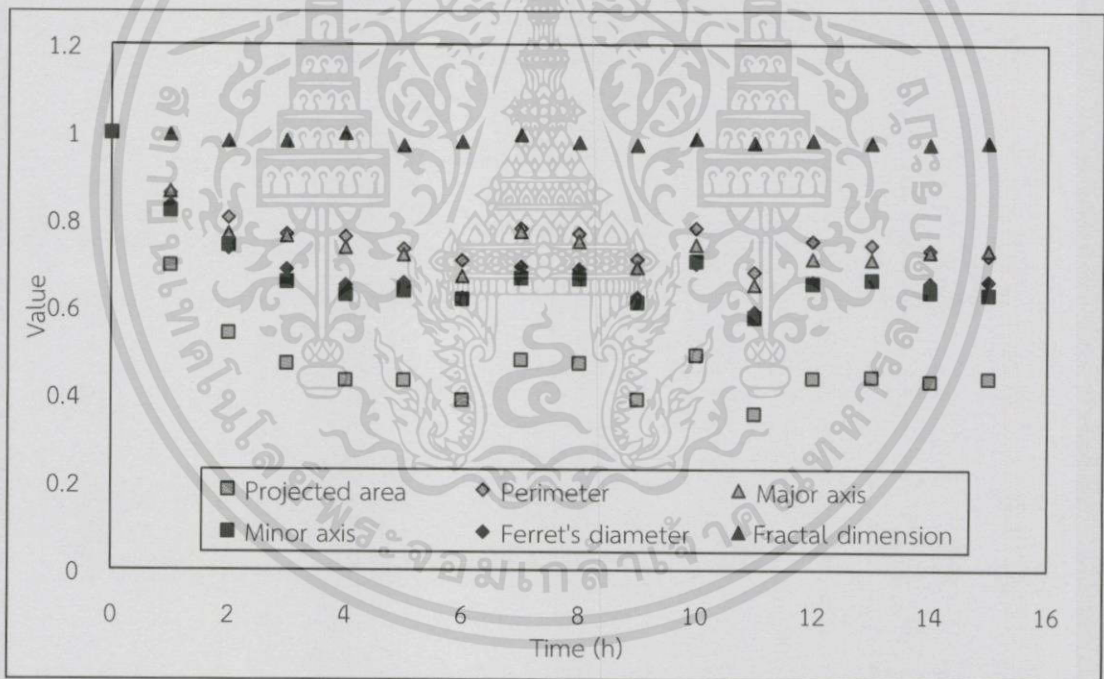
รูปที่ 4.24 การเปลี่ยนแปลงค่าสีหลัก (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกที่การหมุนแบบต่าง ๆ ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การเลือกค่าตัวแปรที่ใช้บ่งชี้การเปลี่ยนแปลงของมันฝรั่งระหว่างการอบแห้ง

จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายของชิ้นตัวอย่าง โดยทำการวิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ พื้นที่ภาพฉาย (Projected area) เส้นรอบรูปของพื้นที่ภาพฉาย (Perimeter) แกนหลัก (Major axis) แกนรอง (Minor axis) รัศมีเฟอร์เรต์ (Ferret's diameter) และค่ามิติแฟร็กทัล (Fractal dimension, FD) พบว่าตัวแปรเกิดการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน

เมื่อทำการวิเคราะห์ภาพของชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้ง พบว่าพื้นที่ภาพฉาย เส้นรอบรูปของพื้นที่ภาพฉาย แกนหลัก แกนรอง และรัศมีเฟอร์เรต์มีการลดลงไปในทิศทางเดียวกัน ในขณะที่ค่ามิติแฟร็กทัลมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เพราะการเปลี่ยนแปลงของมิติแฟร็กทัลเมื่อเทียบกับค่าอื่น ๆ จะค่อนข้างเป็นเส้นตรง (รูปที่ 4.25) โดยค่าตัวแปรต่าง ๆ ยกเว้นค่ามิติแฟร็กทัลนั้นมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องก่อนจะคงที่ในช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งพื้นที่ภาพฉายจะลดลงจนถึง 40% ส่วนเส้นรอบรูปของพื้นที่ภาพฉาย แกนหลัก แกนรอง และรัศมีเฟอร์เรต์ลดลงจนถึง 70% ในขณะที่ค่ามิติแฟร็กทัลซึ่งเป็นตัวบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงของรูปร่างค่อนข้างคงที่ตลอดในช่วงการทดลอง ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามันฝรั่งที่ผ่านการอบแห้งเป็นวัสดุที่เกิดการหดตัวสูงแต่เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างน้อย อาจกล่าวได้ว่ามันฝรั่งเกิดการหดตัวเล็กลงแต่รูปร่างไม่เปลี่ยนแปลง หรือเกิดการหดตัวอย่างคงที่



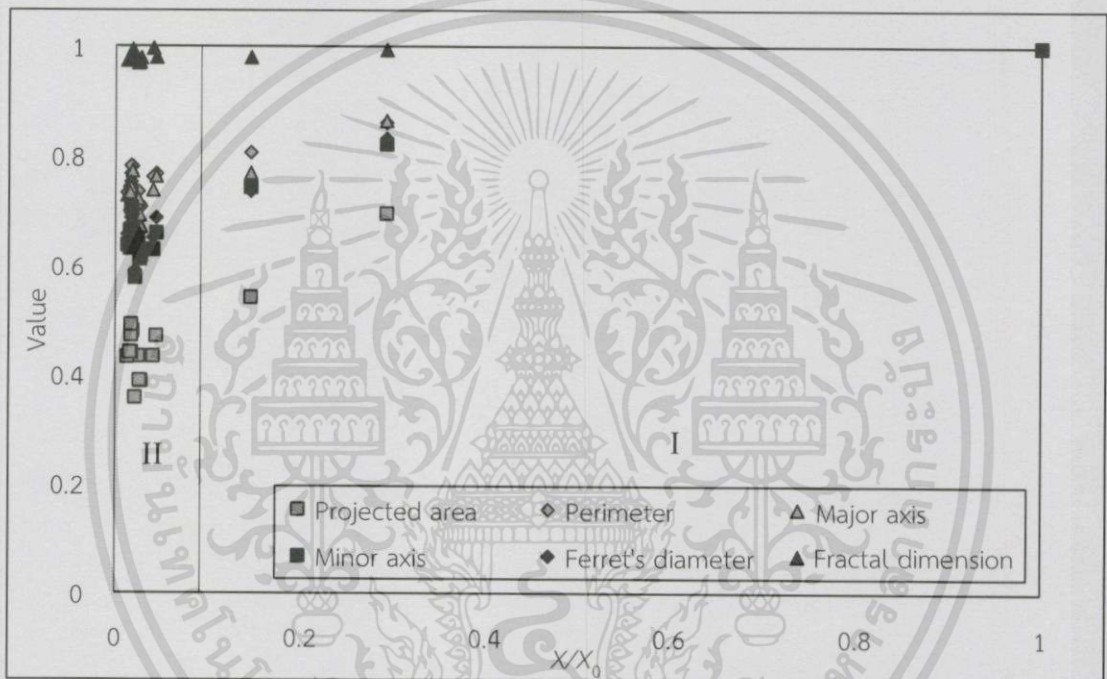
รูปที่ 4.25 การเปลี่ยนแปลงค่าของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกระหว่างอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

อีกทั้งยังพบว่า การเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 ช่วง ซึ่งช่วงแรกหรือในช่วงที่มีอัตราส่วนของความชื้นตั้งแต่ 1 ถึง 0.1 เป็นช่วงที่ค่าตัวแปรเกิดการลดลงอย่างมาก โดยที่พื้นที่ภาพฉายเกิดการลดลงเร็วที่สุด ตามมาด้วยการลดลงของเส้นรอบรูปของพื้นที่ภาพฉาย แกนหลัก และแกนรอง ในขณะที่ค่าแฟร็กทัลเกิดการลดลงอย่างช้า ๆ และเริ่มคงที่ในช่วงที่สองหรือในช่วงที่มีอัตราส่วนของความชื้นน้อยกว่า 0.1 ลงไป (รูปที่ 4.26) จึงสรุปได้ว่าเมื่อชิ้นตัวอย่างผ่านการอบแห้งจนมีอัตราส่วนของความชื้นมากกว่า 0.1 นั้น ชิ้นตัวอย่างเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างมาก (รูปที่ เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้จัดทำ)

ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.25) และเมื่อการอบแห้งดำเนินไปจนถึงจุด ๆ หนึ่ง จะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างน้อยมาก เนื่องจากความชื้นได้ถึงจุดความชื้นสมดุลแล้ว และผิวภายนอกของมันฝรั่งเกิดการแห้งและแข็งตัว เป็นผลทำให้เกิดการหดตัวและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างน้อยลง

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของเส้นรอบรูปของพื้นที่ภาพฉาย แกนหลัก แกนรอง และพื้นที่ภาพฉาย มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายกัน ในขณะที่ค่าแฟร็กทัลนั้น เกิดการเปลี่ยนแปลงน้อย และค่อนข้างคงที่ ดังนั้นการเลือกตัวแปรเพื่อใช้บ่งชี้การหดตัวของชิ้นตัวอย่างนั้น อาจเลือกพิจารณาเพียงพื้นที่ภาพฉาย เนื่องจากพื้นที่ภาพฉายเป็นข้อมูลทีวิเคราะห์ได้จากภาพถ่ายโดยตรง ทำให้วิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่ค่าแฟร็กทัลสามารถใช้ในการบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เพราะบ่งชี้ได้ดีกว่าพื้นที่ภาพฉาย



รูปที่ 4.28 การเปลี่ยนแปลงค่าต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ระหว่างการอบแห้ง อาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ หลายประการ ไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนแปลงเชิงกายภาพหรือเคมี หนึ่งใน การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่สำคัญ ได้แก่ การหดตัวและการเสี ยรูปของชิ้นอาหาร ซึ่งส่งผลเป็นอย่างยิ่งต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคและต่อสมบัติอื่นของอาหารนั้น ด้วยเหตุนี้วิธีการซึ่งสามารถนำไปใช้ในการติดตามและประเมินการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจึงมีความสำคัญยิ่ง การวิเคราะห์ภาพเป็นเทคนิคหนึ่งซึ่งสามารถนำมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าวได้เป็นอย่างดี เนื่องจากการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย จึงไม่ส่งผลกระทบต่อรูปแบบของการเสี ยรูป อีกทั้งยังทำการวิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็วและมีความคุ้มค่าสูง งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพในการศึกษาผลของพารามิเตอร์ที่สำคัญบางประการของกระบวนการอบแห้งที่มีต่อการเปลี่ยนรูปของอาหาร โดยเลือกใช้มันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ (สีเหลือง ลูกบาศก์ แผ่นสี่เหลี่ยม และแผ่นกลม) เป็นตัวแทนของอาหาร ทำการอบแห้งที่สภาวะการอบแห้งที่แตกต่างกัน ได้แก่ การใช้อุณหภูมิอากาศร้อนที่ 50 70 และ 90 องศาเซลเซียส และความเร็วลม 0.8 เมตรต่อวินาที และศึกษาการเปลี่ยนรูปของมันฝรั่งด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพในเทอมของพื้นที่ ภาพฉาย เส้นรอบรูป แกนหลัก แกนรอง รัศมีเฟอร์เรต และมิติแฟร็กทัล และเปรียบเทียบผลที่ได้กับผลที่ได้จากวิธีวัดมาตรฐาน นอกจากนี้ยังศึกษาผลของการปรับสภาพ (Pretreatment) ได้แก่ การลวก และการหมักขึ้นตัวอย่างระหว่างการอบแห้งที่มีต่อพฤติกรรม การเสี ยรูปและอัตราการอบแห้งของชิ้นตัวอย่าง

จากการศึกษาพบว่ามันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ แม้จะมีอัตราการอบแห้งและการหดตัวสูง แต่การหดตัวเป็นไปอย่างค่อนข้างสม่ำเสมอ เนื่องจากมีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมาก จึงมีพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนมาก ทำให้น้ำระเหยได้ดีจึงไม่เกิดความแตกต่างของความชื้นภายในชิ้นตัวอย่าง ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างน้อยกว่ามันฝรั่งแผ่นสี่เหลี่ยมและแผ่นกลม ในขณะที่มันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมและแผ่นสี่เหลี่ยมมีอัตราการอบแห้ง การหดตัว และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่ใกล้เคียง

จากการอบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่าอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ให้อัตราการอบแห้งต่ำกว่าที่อุณหภูมิอื่น ๆ ส่งผลให้เกิดการหดตัวสูงที่สุด อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาในแง่ของการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง พบว่าการอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมากกว่าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แต่น้อยกว่าที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีพลังงานน้อย น้ำแพร่ไปยังผิวได้ช้าจึงเกิดความแตกต่างของความชื้นภายในชิ้นตัวอย่าง ส่วนการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ให้อัตราการอบแห้งที่เร็วที่สุด เนื่องจากมีพลังงานมาก ทำให้น้ำที่ผิวระเหยได้เร็ว ส่งผลให้บริเวณผิวแห้งและแข็งเพราะอัตราการแพร่ของน้ำภายในชิ้นตัวอย่างช้ากว่าการระเหยน้ำที่ผิว จึงเกิดการหดตัวน้อยแต่เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมาก เพราะความแตกต่างของความชื้นภายในชิ้นตัวอย่าง ส่วนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แม้อัตราการอบแห้งและการหดตัวจะใกล้เคียงกับ 90 องศาเซลเซียส แต่เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างน้อยกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งไม่มีอิทธิพลต่อการ

เปลี่ยนแปลงค่าสีหลัก (h_{ab}) แต่ การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงเช่น ที่ 90 องศาเซลเซียส ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) โดยค่าความสว่างลดลงเนื่องจากชั้นตัวอย่างเกิดการไหม้ ส่วนที่อุณหภูมิอื่น ๆ ค่าความสว่างเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยเนื่องจากตัวอย่าง ไม่เกิดการไหม้

นอกจากนี้ยังพบว่า การลวกทำให้มันฝรั่งเกิดการหดตัวและเปลี่ยนรูปร่างน้อย เพราะการลวกทำให้โครงสร้างภายในเป็นเนื้อเดียวกัน อีกทั้งยังทำให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้น เมื่อเทียบกับกรณีการอบแห้งมันฝรั่งที่ไม่ผ่านการลวก เนื่องจากการลวกทำให้ผนังเซลล์ (Cell wall) ถูกทำลายและเกิดรอยแตกส่งผลให้น้ำแพร่ออกมาได้เร็วขึ้น และยังพบว่า การลวกชั้นตัวอย่างนั้นไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง แต่มีเพียงค่าสีหลักเท่านั้นที่ได้รับผลกระทบ โดยในช่วงเริ่มต้นชั้นตัวอย่างมีค่าสีหลักใกล้เคียงกัน เมื่อเวลาผ่านไปชั้นตัวอย่างที่ไม่ผ่านการลวกจะมีการลดลงของค่าสีหลักมากกว่า เนื่องจากการลวกช่วยยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์

ผลของการหมนชั้นตัวอย่างในสองแบบ แบบแรกคือหมนชั้นตัวอย่างตามแนวอนในทิศตามเข็มนาฬิกาและแบบที่สองคือการพลิกชั้นตัวอย่าง เปรียบเทียบกับการอบแห้งชั้นตัวอย่างที่ไม่ถูกหมน พบว่าการหมนชั้นตัวอย่างให้ได้รับความร้อนอย่างสม่ำเสมอระหว่างการอบแห้งช่วยลดการเปลี่ยนรูป (การหดตัวและการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง) ของชั้นตัวอย่างได้เป็นอย่างมาก การหมนจะทำให้เกิดการหดตัวน้อยที่สุด ส่วนการพลิกแม้ทำให้เกิดการหดตัวมากที่สุด แต่เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างน้อยที่สุด เพราะได้รับความร้อนอย่างสม่ำเสมอในทุกด้าน จึงไม่เกิดความแตกต่างของความชื้นภายในชั้นตัวอย่าง นอกจากนี้การหมนชั้นตัวอย่างยังช่วยให้การอบแห้งเป็นไปได้อย่างรวดเร็วมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้อัตราการอบแห้งที่สูง

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของมันฝรั่งด้วยเทคนิควิเคราะห์ภาพ พบว่าพื้นที่ภาพฉายเหมาะสมที่สุดในการใช้เป็นตัวบ่งชี้การหดตัวเนื่องจากมีความแม่นยำมากที่สุด อีกทั้งยังสามารถวิเคราะห์ได้ง่ายและรวดเร็ว ส่วนการเปลี่ยนแปลงรูปร่างพบว่าค่ามิติแฟร็กทัลเป็นค่าที่สามารถบ่งชี้ได้ดีกว่าพื้นที่ภาพฉาย

5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไข

1 ภาพของชั้นตัวอย่างมีขนาดเล็ก เมื่อมีการขยายภาพจึงไม่ชัด ทำให้การประมวลผลเกิดการผิดพลาด ค่าที่ได้จึงไม่แม่นยำเท่าที่ควร ดังนั้นควรเพิ่มความละเอียดของภาพถ่าย เพื่อให้การวิเคราะห์ภาพเป็นไปอย่างแม่นยำมากยิ่งขึ้น

2 ในการหั่นมันฝรั่งเพื่อเตรียมชั้นตัวอย่าง พบว่าการสร้างพิมพ์สำหรับหั่นมันฝรั่ง ใบมีดที่ใช้เกิดการโก่งเนื่องจากเกิดความเค้นในเนื้อมีดเวลาหั่น ทำให้ขนาดของมันฝรั่งที่ได้มีความคลาดเคลื่อน ควรมีการควบคุมขนาดให้เที่ยงตรงและแม่นยำมากยิ่งขึ้นโดยการใช้เครื่องตัด หรือสร้างพิมพ์สำหรับหั่นมันฝรั่งด้วยวัสดุที่มีความแข็งแรงสูง

5.3 ข้อเสนอแนะ

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุที่เสียรูปได้ง่ายขณะอบแห้ง โดยการใช้วัสดุที่เกิดการหดตัวง่าย เช่น เจล เยลลี่ เป็นต้น

บรรณานุกรม

- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2541. **มันฝรั่งและศัตรูที่สำคัญ**. กรุงเทพฯ : ชุมนมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- พัชรินทร์ หาญอาษา, พิชญา พลหงส์ และวิฑิตา เจษฎารัตนชัย. 2550. “โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคัดคุณภาพมะม่วง.” วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สีกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา. 2555. **การอบแห้งอาหารและวัสดุชีวภาพ**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ท็อป.
- สิรินทิพย์ จิระเรืองฤทธิ์, สิริพร โสภส และสุมิตร ออเจษฎากุล. 2550. “ผลของการบำบัดกล้วยก่อนอบด้วยวิธีทางกายภาพต่อลักษณะการอบแห้งและเนื้อสัมผัส.” วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- Achanta, S. and Okos M.R. 2000. “Quality Changes during Drying of Food Polymers.” 195-209. in Mujumdar, A. and Sirikalaya, S., editor. **Developments in Drying**. Volume 2. Bangkok : Kasetsart University Press.
- Adobe Systems Incorporated. 2000. **Technical Guides**. [Online]. Available : http://dba.med.sc.edu/price/irf/Adobe_tg/models/main.html (สืบค้นข้อมูลวันที่ 23 มีนาคม 2557)
- Aguilera, J.M. and Stanley, D.W. 1999. **Microstructural Principles of Food Processing and Engineering**. USA : Aspen.
- Araya-Farias, M. and Ratti, C. 2009. “Dehydration of Foods: General Concepts.” 2-32. in Ratti, C., editor. **Advances in Food Dehydration**. Boca Raton : CRC Press.
- ASTM International. 2012. **ASTM E179-12: Standard Guide for Selection of Geometric Conditions for Measurement of Reflection and Transmission Properties of Materials**. West Conshohocken : ASTM International.
- ASTM International. 2012. **ASTM E308-12: Practice for Computing the Colors of Objects by Using the CIE System**. West Conshohocken : ASTM International.
- Attanasio, G., Cinquanta, L., Albanese, D., and Matteo, M.D. 2003. “Effects of drying temperatures on physic-chemical properties of dried and rehydrated chestnuts (*Castanea sativa*).” **Journal of Food Engineering**. 88(4) : 583-590.
- Bonazzi, C. and Dumoulin, E. 2011. “Quality Changes in Food Materials as Influenced by Drying Processes.” 1-20. in Tsotsaa, E. and Mujumdar, A.S., editor. **Modern Drying Technology**. Volume 3: Product Quality and Formulation. Weinheim : John Wiley & Sons.
- Fernandez, L., Castillero, C. and Aguilera, J.M. 2004. “An application of image analysis to dehydration of apple discs.” **Journal of Food Engineering**. 67(2) : 185-193.

- Huang, Y., Min, S., Duana, J., Wua, L. and Li, Q. 2013. "Identification of additive components in powdered milk by NIR imaging methods." **Food Chemistry**. 145(14) : 278–283.
- Hwang, S., Cheng, Y., Chang, C., Lur, H. and Lin, T. 2008. "Magnetic resonance imaging and analyses of tempering processes in rice kernels." **Journal of Cereal Science**. 50(1) : 36-42.
- Jinorose, M., Devahastin, S., Blancher, S. and Leonard, A. 2009. "Application of Image Analysis in Food Drying." 63-91. in Ratti, C., editor. **Advances in Food Dehydration**. Boca Raton : CRC Press.
- Karabulut, I., Topcu, A., Duran, A., Turan, S. and Ozturk, B. 2007. "Effect of hot air drying and sun drying on color values and β -carotene content of apricot (*Prunus armenica* L.)." **LWT - Food Science and Technology**. 40(5) : 753-758.
- Karamanov, A. and Pelino, M. 1998. "Evaluation of the Degree of Crystallisation in Glass-ceramics by Density Measurements." **Journal of the European Ceramic Society**. 19(5) : 649-654.
- Kotwaliwale, N., Bakane, P. and Verma, A. 2004. "Changes in textural and optical properties of oyster mushroom during hot air drying." **Food Science and Technology**. 78(4) : 1207-1211.
- Krokida, M. and Maroulis, Z. 2001. "Quality Changes during Drying of Food Materials." 149-194. in Mujumdar, A. and Sirikalaya, S., editor. **Developments in Drying**. Volume 2. Bangkok : Kasetsart University Press.
- Leeratanarak, N., Devahastin, S., and Chiewchan, N. 2005. "Drying kinetics and quality of potato chips undergoing different drying techniques." **Journal of Food Engineering**. 77(3) : 635-643.
- MathWorks, Inc.. "rgb2gray." [Program] Natick, Massachusetts, U.S.A. : MathWorks, Inc.. 2012.
- Methakhup, S., Chiewchan, N., and Devahastin, S. 2004. "Effectsof drying methods and conditions on drying kinetics and quality of Indian gooseberry flake." **Food Science and Technology**. 38(6) : 579-587.
- Myers, R. D. 2009. **GretagMacbeth ColorChecker®**. [Online]. Available : <http://www.rmimaging.com/information/colorchecker.html> (สืบค้นข้อมูลวันที่ 23 มีนาคม 2557)
- Ong, L., Dagastine, R.R., Kentisha, S. and Gras, S.L. 2010. "Microstructure of milk gel and cheese curd observed using cryo scanning electron microscopy and confocal microscopy." **Food Science and Technology**. 44(5) : 1291-1302.
- Rahman, M.S, and Perera, C.O. 2007. "Drying and Food Preservation." 404-420. in Rahman, M.S., editor **Handbook of Food Preservation**. 2nd. Boca Raton : CRC Press.

- Ramirez, C., Troncoso, E., Munoz, J., and Aguilera, J.M. 2011. "Microstructure analysis on pre-treated apple slices and its effect on water release during air drying." **Journal of Food Engineering**. 106(3) : 253-261.
- Romani, S., Rocculi, P., Mendoza, F., and Rosa, M.D. 2008. "Image characterize of potato chip appearance during frying." **Journal of Food Engineering**. 93(4) : 487-494.
- Sablani, S.S, and Mujumdar, A. 2006. "Drying of Potato, Sweet Potato, and Other Roots." 647-662. in Mujumdar, A., editor. **Handbook of Industrial Drying**. Boca Raton : CRC Press.
- Schuler, P. 1990. "Natural Antioxidants Exploited Commercially." 99-170. in Hudson, B.J.F, editor. **Food Antioxidants**. London : Elsevier Applied Science.
- Senadeera, W., Bhandari, B., Yong, G. and Wijesinghe, B. 2000. "Physical Properties Changes of Fruit and Vegetables during Hot Air Drying." 211-224. in Mujumdar, A. and Sirikalaya, S., editor. **Developments in Drying**. Volume 2. Bangkok : Kasetsart University Press.
- Smada, M. and Glomb, M.A. 2013. "Maillard Degradation Pathways of Vitamin C." **Angewandte Chemie International Edition**. 52(18) : 4987-4991.
- Tang, J. and Yang, T. 2004. "Dehydrated Vegetable: Principles and Systems." in Huy, Y.H., Ghazala, S., Graham, D.M., Murrell, K.D. and Nip, W., editor. **Handbook of Vegetable Preservation and Processing**. New York : Marcel Dekker.
- U.S. Department of Agriculture Agency Contingency plans. 2012. **Bulk Products for Further Processing June**. Washington, D.C. : USDA.
- U.S. Department of Agriculture Agency Contingency plans. 2012. **Potato, flesh and skin, raw**. [Online]. Available : http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/3127?man=&facet=&count=&max=25&qlookup=11352&offset=&sort=&format=Full&reportfmt=other&rptfrm=&ndbno=&nutrient1=&nutrient2=&nutrient3=&subset=&totCount=&measureby=&_action_show=Apply+Changes&Qv=1&Q5976=0.5&Q5977=1.0&Q5978=1.0&Q5979=1.0 (สืบค้นข้อมูลวันที่ 31 มีนาคม 2557)
- Vega-Gálvez, A., Scala, K.D., Rodríguez, K., Lemus-Mondaca, R., Miranda, M., López, J. and Perez-Won, M. 2009. "Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum*, L. var. *Hungarian*)." **Food Chemistry**. 117(4) : 647-653.
- Winkler, H., Vorwerg, W. and Rihm, R. 2013. "Thermal and mechanical properties of fatty acid starch esters." **Carbohydrate Polymers**. 102(15): 941-949.
- Yadollahinia, A. and Jahangiri, M. 2009. "Shrinkage of potato slice during drying." **Journal of Food Engineering**. 94(1) : 52-58.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Yan, Z., Sousa-Gallagher, M.J., and Oliveira, F. 2007. "Shrinkage and porosity of banana, pineapple and mango slices during air drying." *Journal of Food Engineering*. 84(3) : 430-440.
- Zheng, C. and Sun, D. 2008. **Computer Vision Technology for Food Quality Evaluation**. San Francisco : Elsevier Applied Science.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

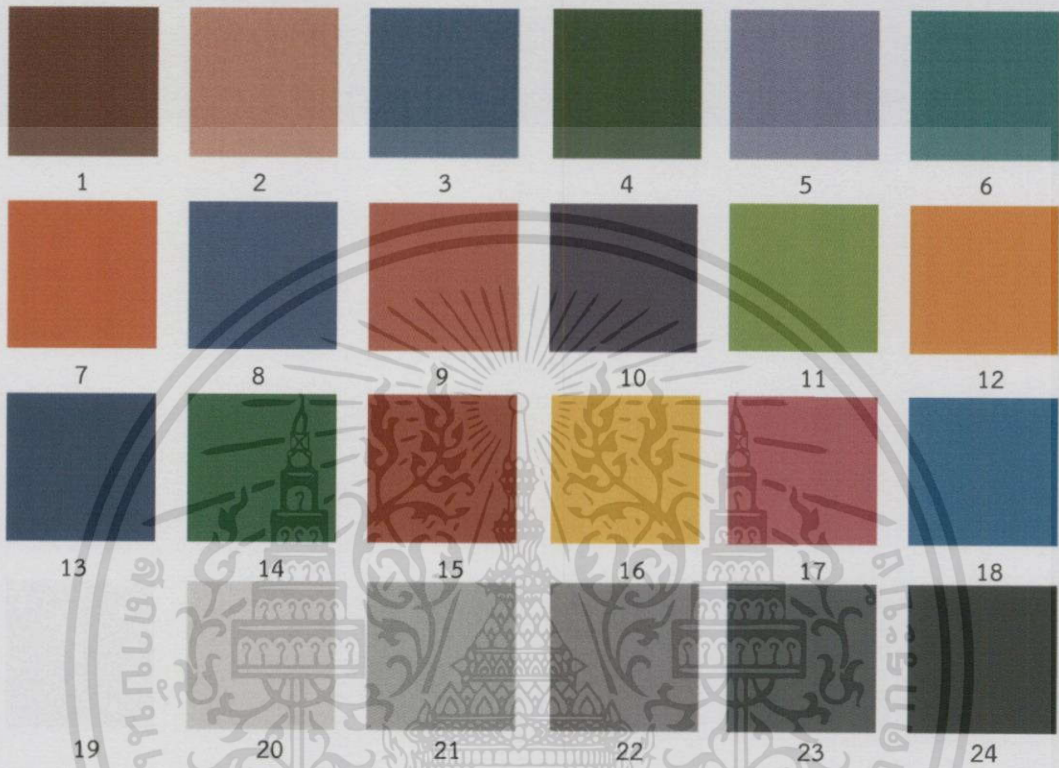


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
แผ่นสีมาตรฐาน



รูปที่ ก.1 แผ่นสีมาตรฐาน

ตาราง ก.1 ค่าสีของแผ่นสีมาตรฐานในระบบสี RGB

No.	Name	R	G	B
1	dark skin	115	82	68
2	light skin	194	150	130
3	blue sky	98	122	157
4	foliage	87	108	67
5	blue flower	133	128	177
6	bluish green	103	189	170
7	orange	214	126	44
8	purplish blue	80	91	166

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.1 (ต่อ)

No.	Name	R	G	B
9	moderate red	193	90	99
10	purple	94	60	108
11	yellow green	157	188	64
12	orange yellow	224	163	46
13	blue	56	61	150
14	green	70	148	73
15	red	175	54	60
16	yellow	231	199	31
17	magenta	187	86	149
18	cyan	8	133	161
19	white	243	242	242
20	neutral 8	200	200	200
21	neutral 6.5	160	160	160
22	neutral 5	122	122	121
23	neutral 3.5	85	85	85
24	black	52	52	52

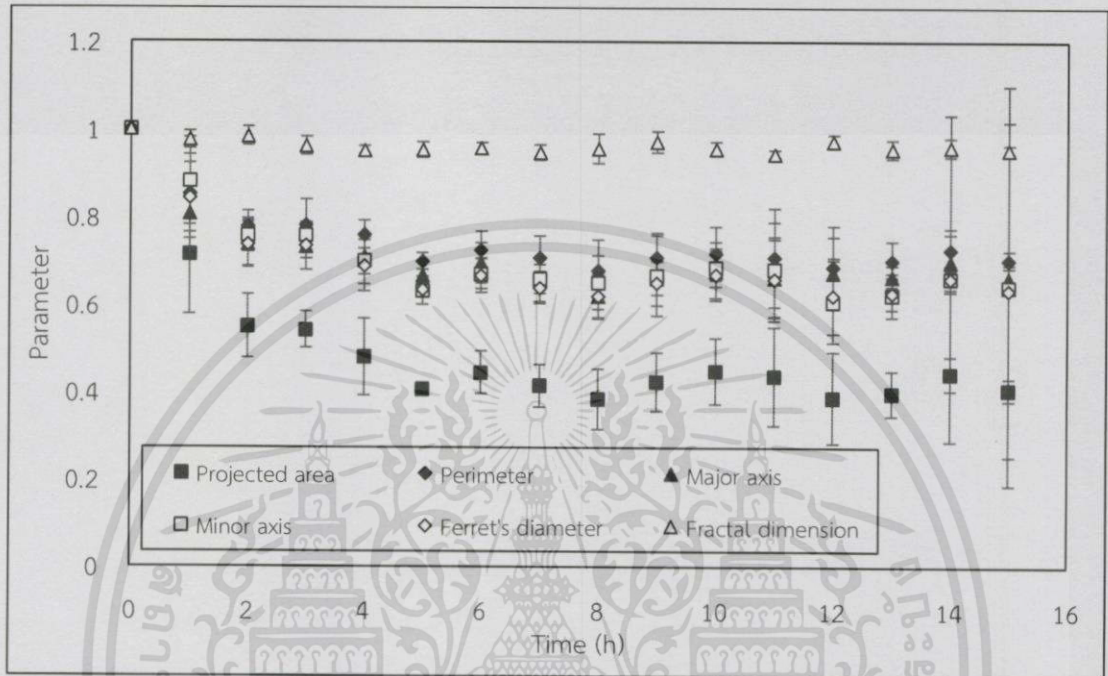
(ที่มา: Robin Myers Imaging, 2014)



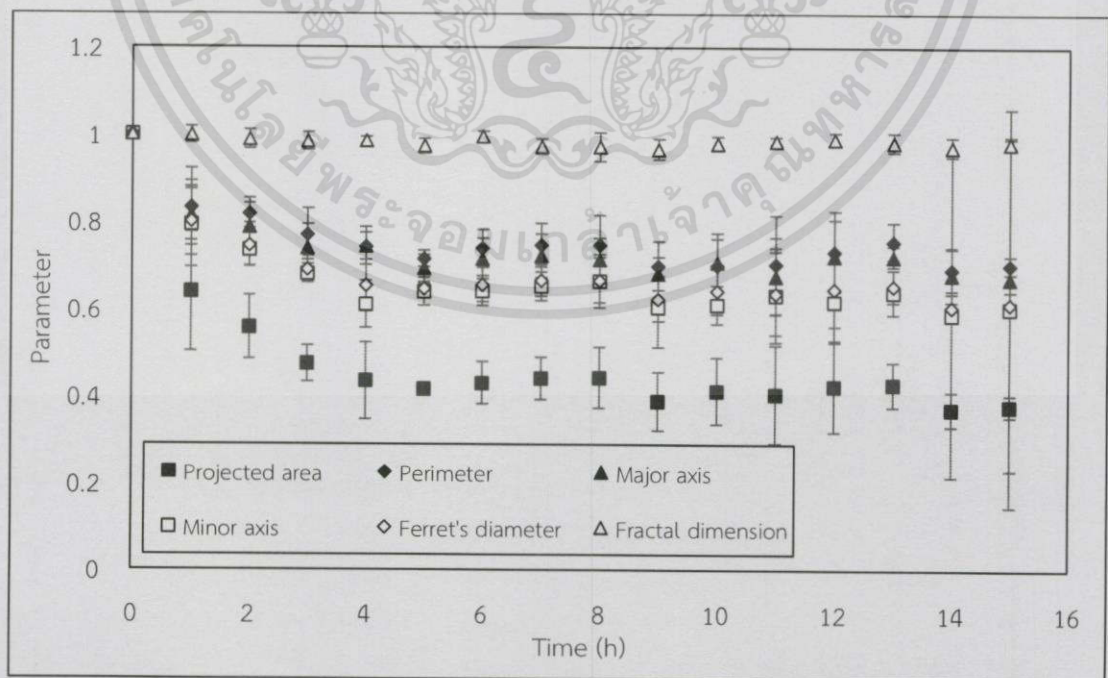
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข ผลการทดลอง

ข.1 ค่าตัวแปรที่ใช้บ่งชี้การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของมันฝรั่งระหว่างการอบแห้ง

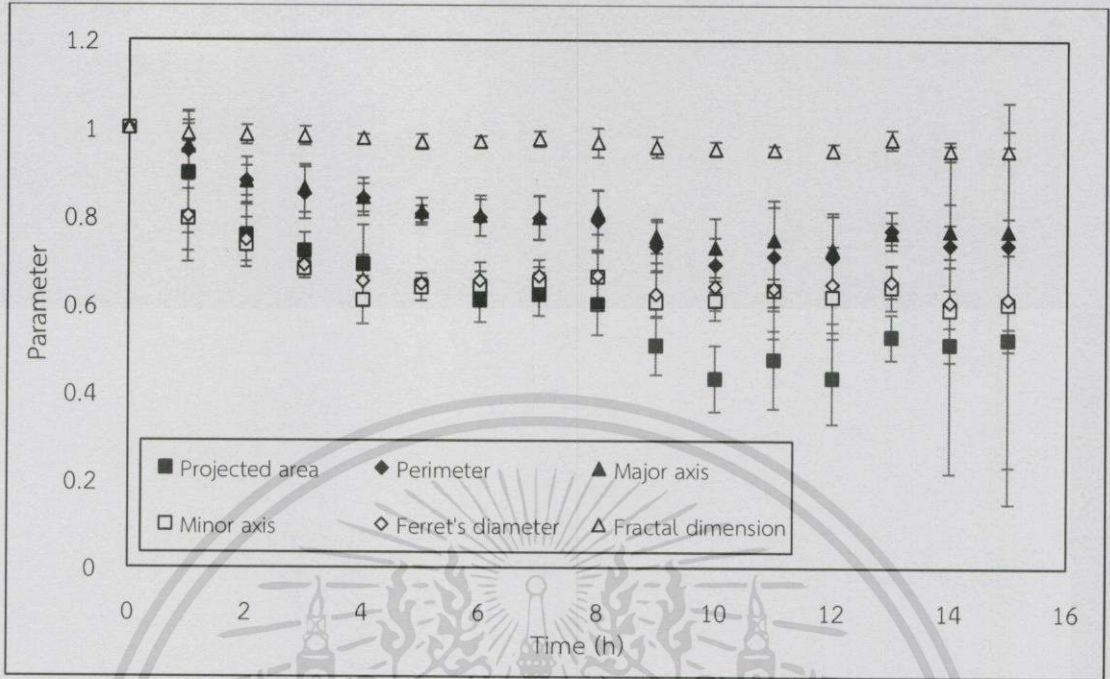


รูปที่ ข.1.1 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

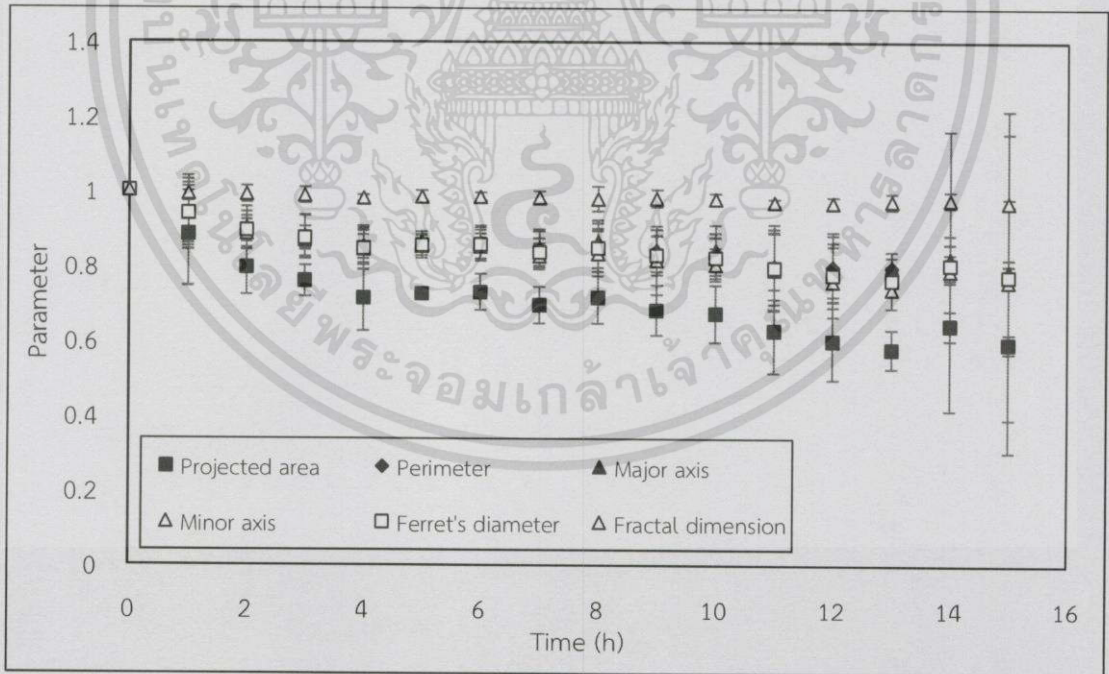


รูปที่ ข.1.2 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

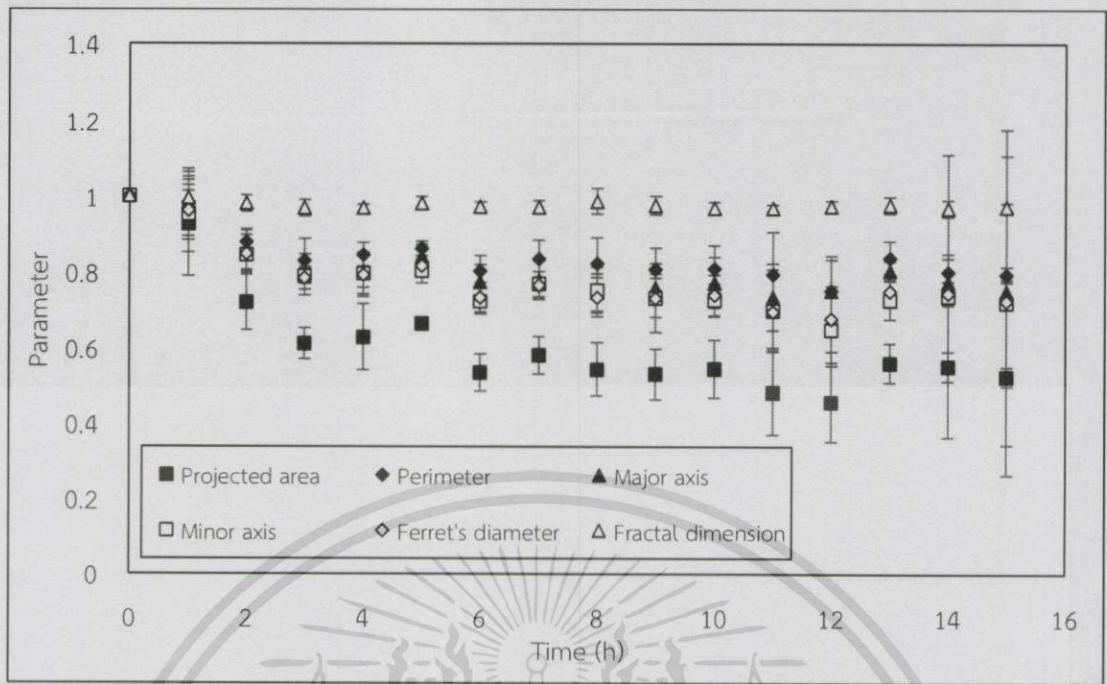


รูปที่ ข.1.3 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

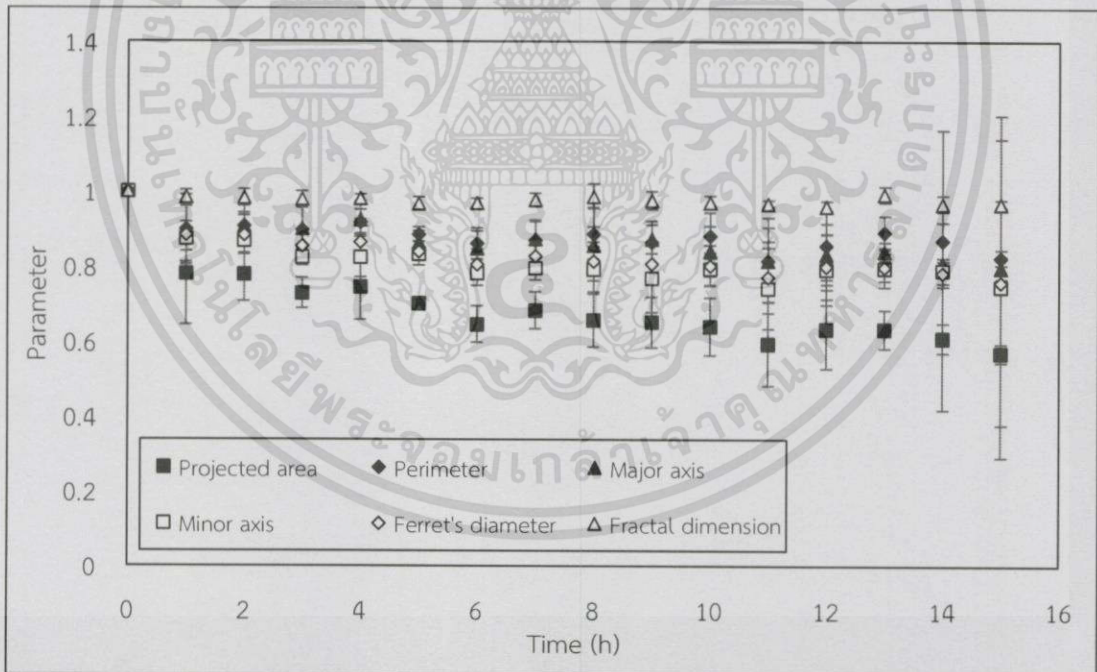


รูปที่ ข.1.4 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

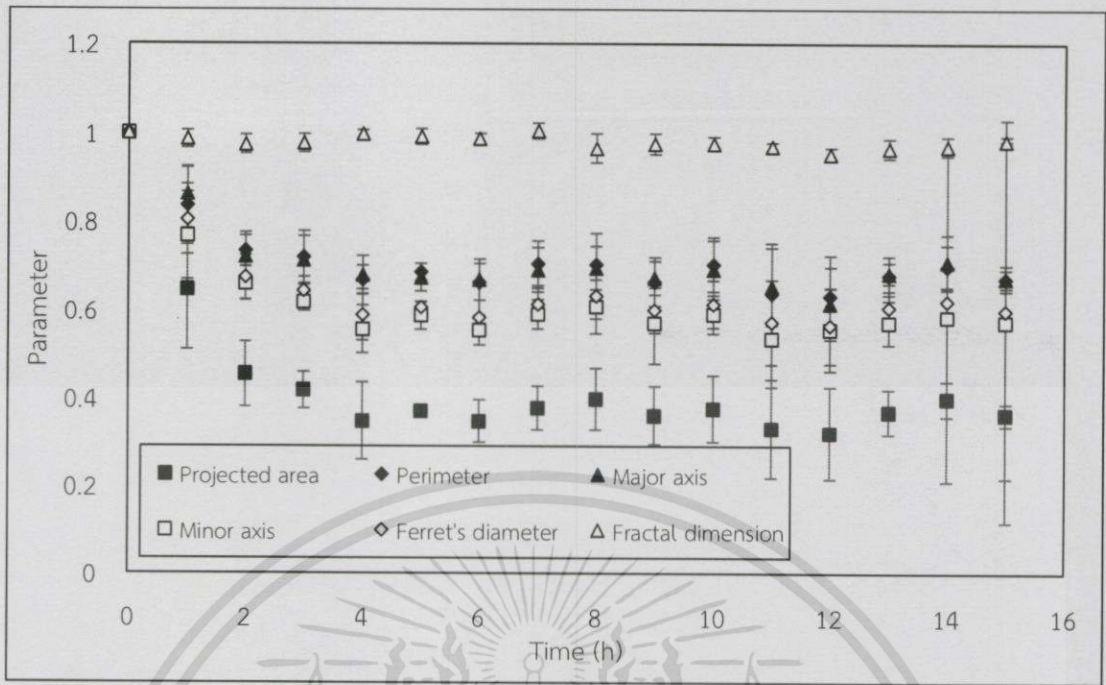
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



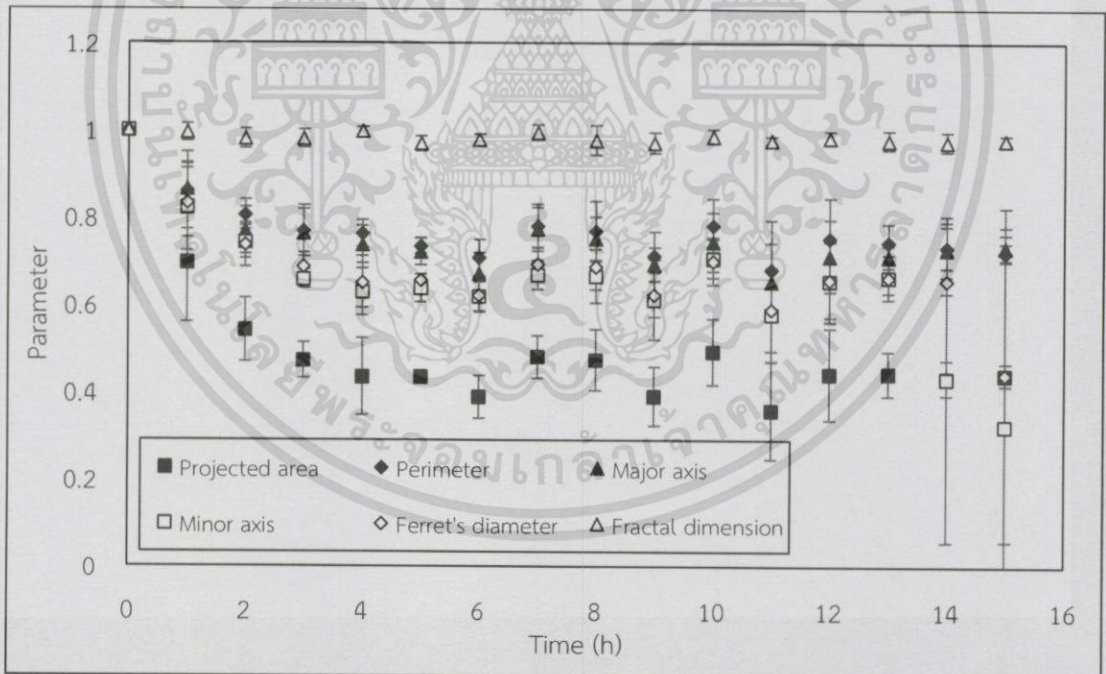
รูปที่ ข.1.5 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



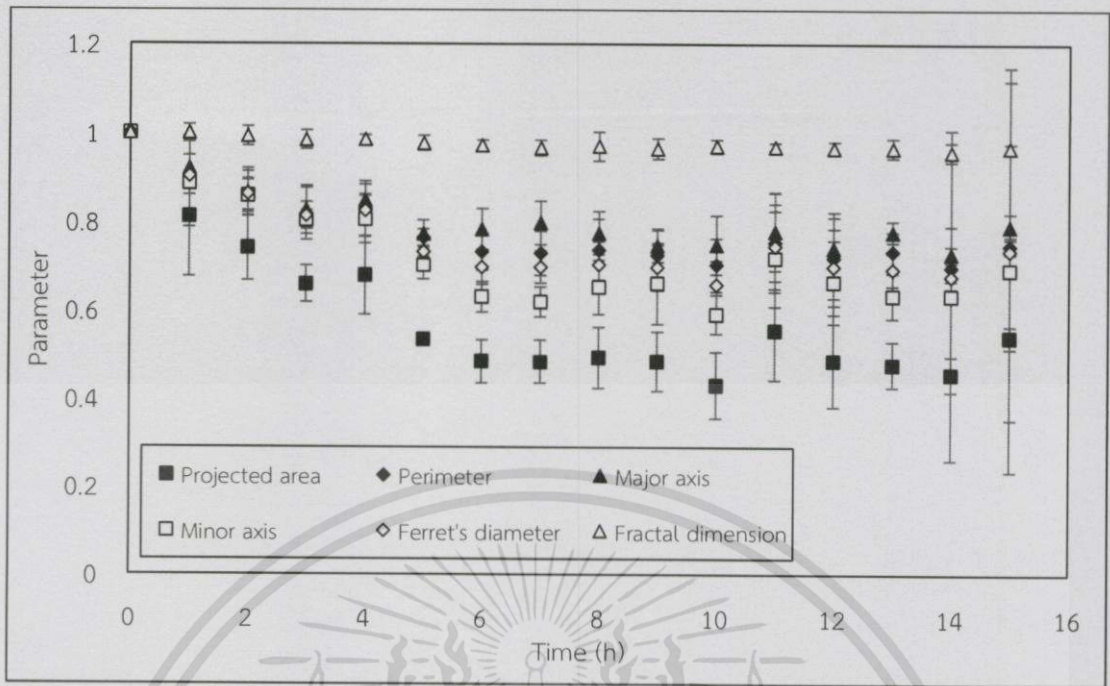
รูปที่ ข.1.6 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



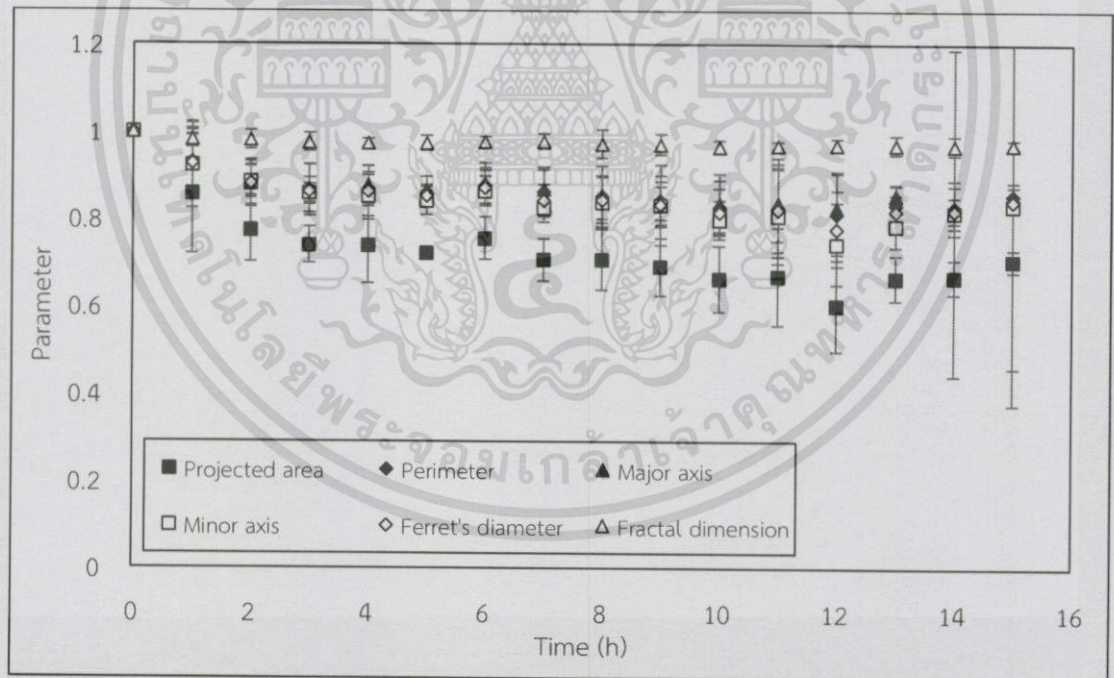
รูปที่ ข.1.7 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ไม่ผ่านการลวระหว่างกรอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



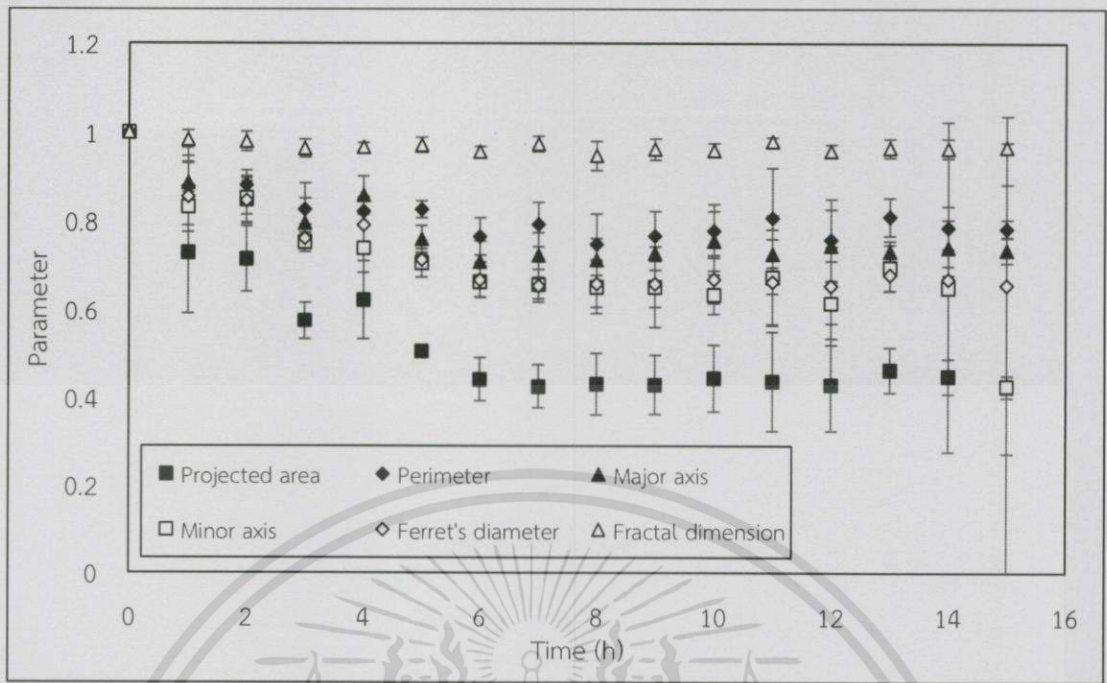
รูปที่ ข.1.8 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวระหว่างกรอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



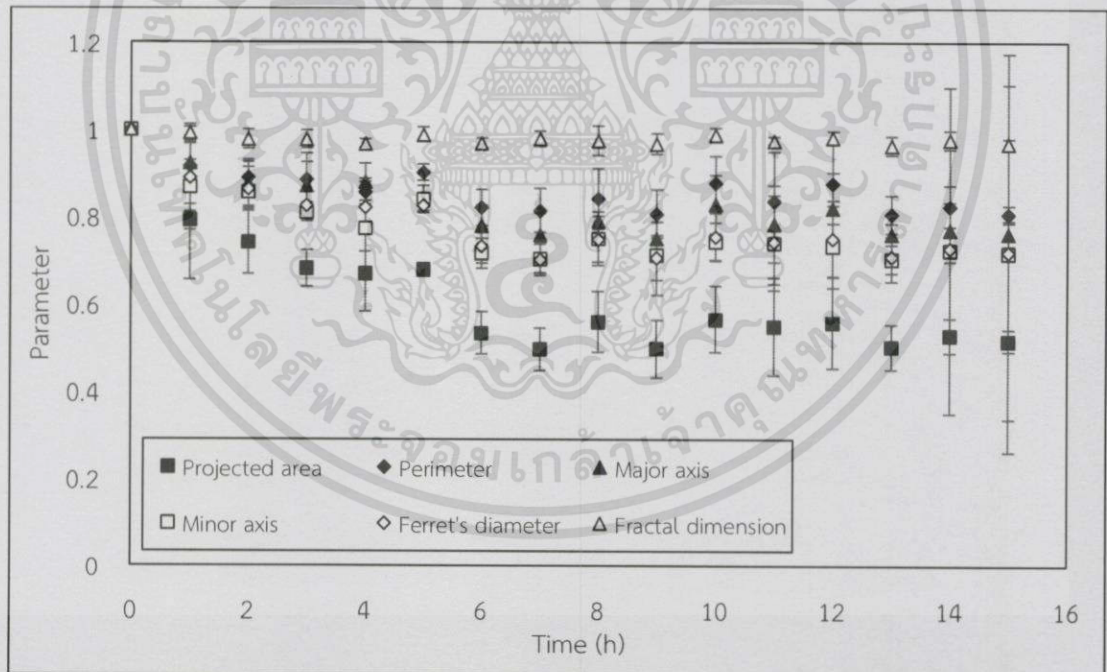
รูปที่ ข.1.9 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



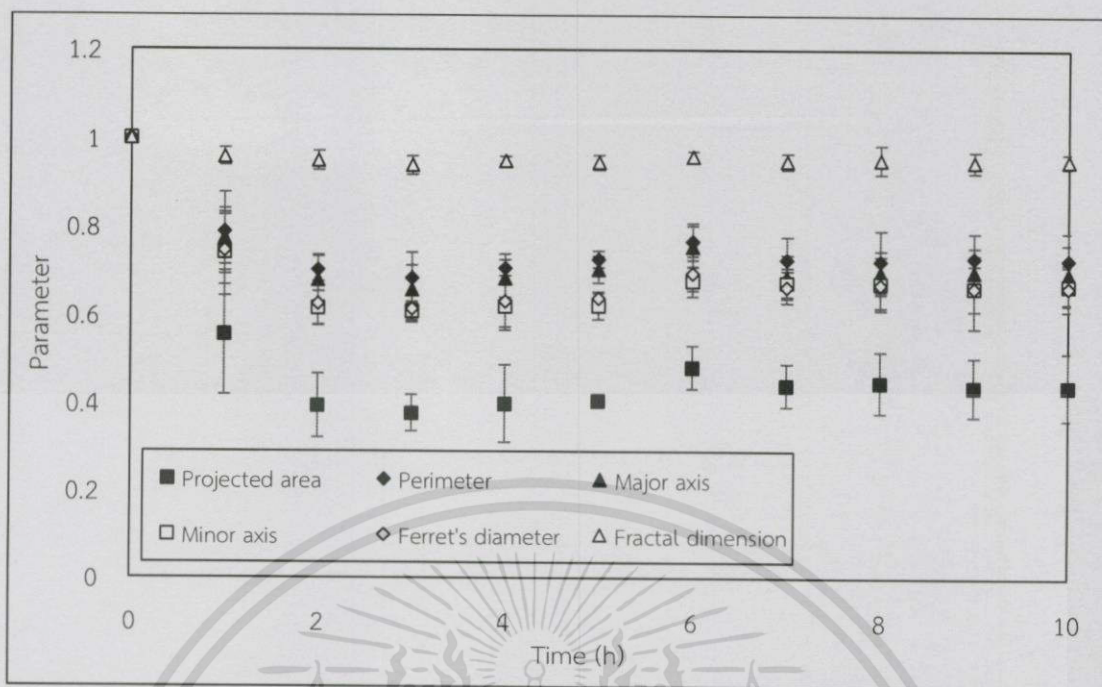
รูปที่ ข.1.10 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



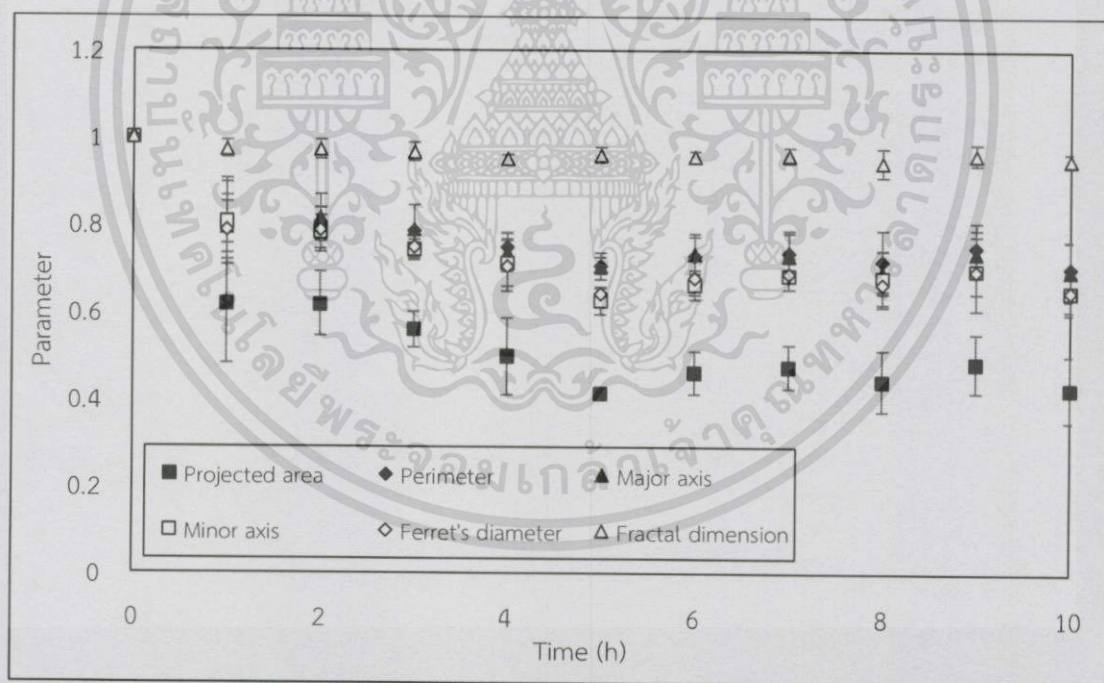
รูปที่ ข.1.11 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



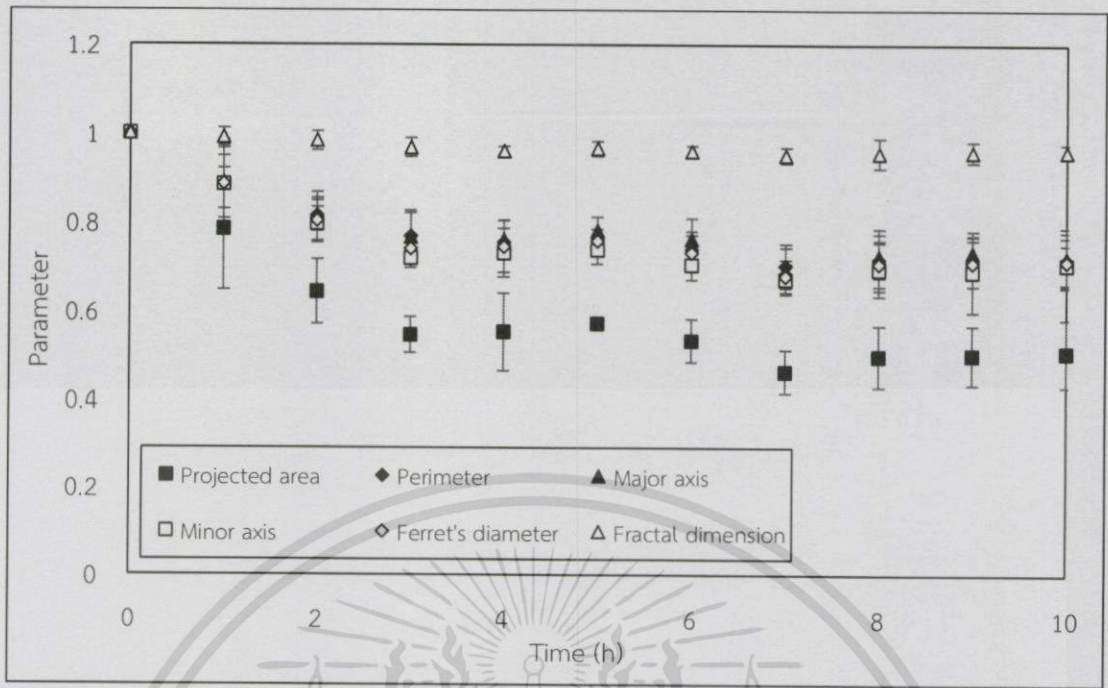
รูปที่ ข.1.12 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของมันฝรั่งรูปทรงทรงสี่เหลี่ยมที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



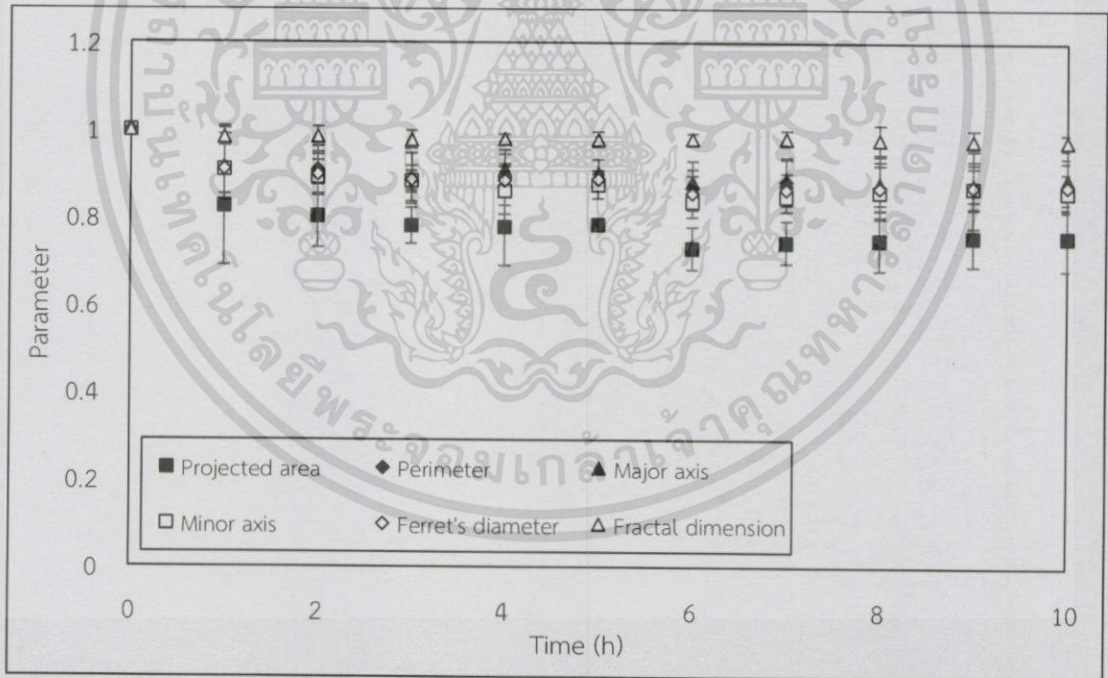
รูปที่ ข.1.13 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส



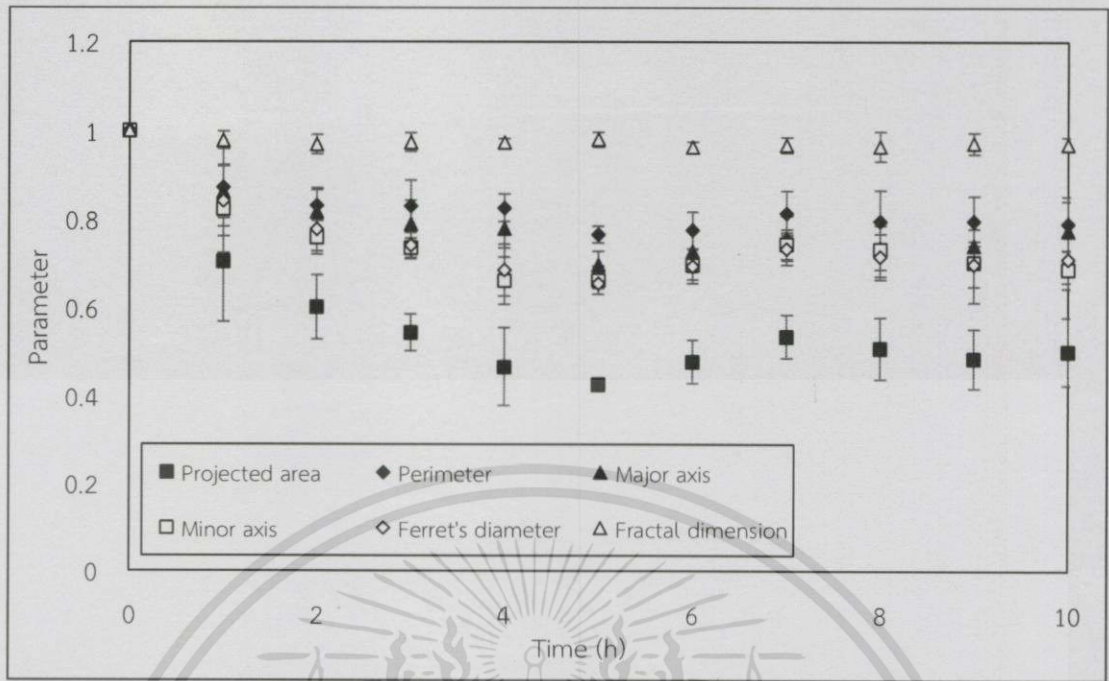
รูปที่ ข.1.14 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส



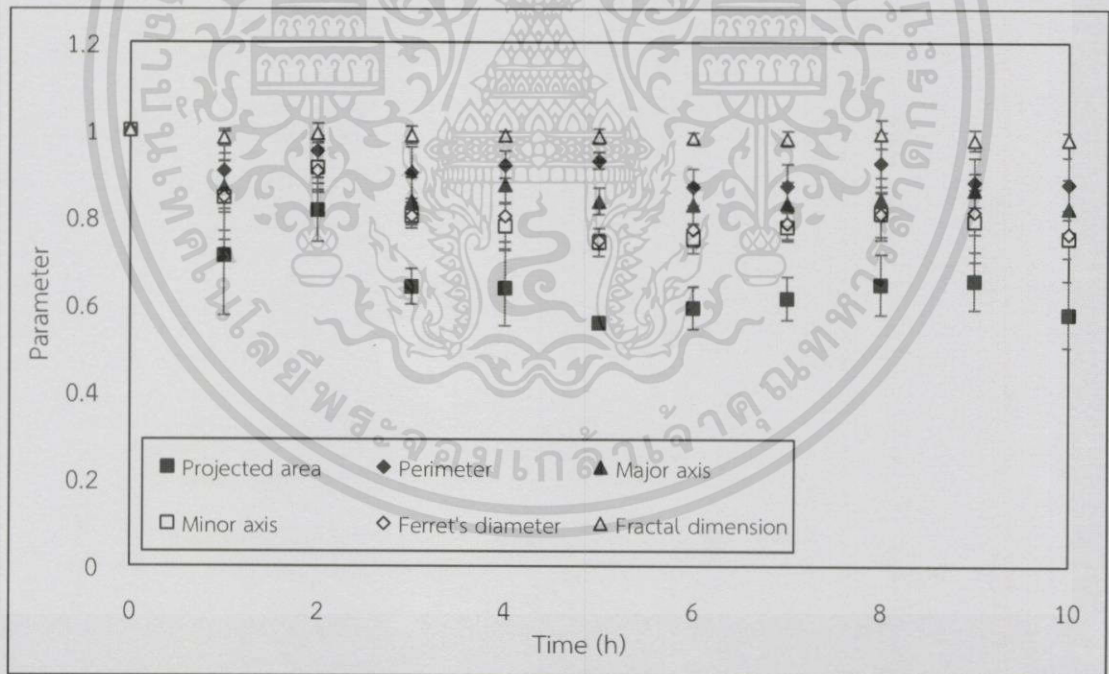
รูปที่ ข.1.15 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส



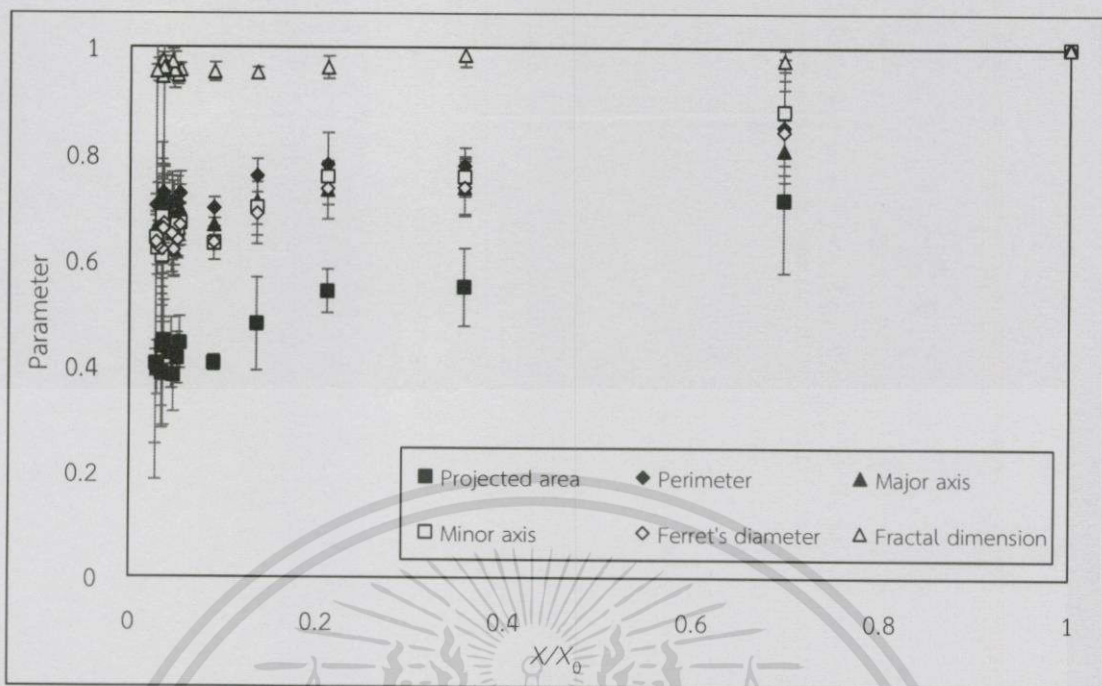
รูปที่ ข.1.16 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส



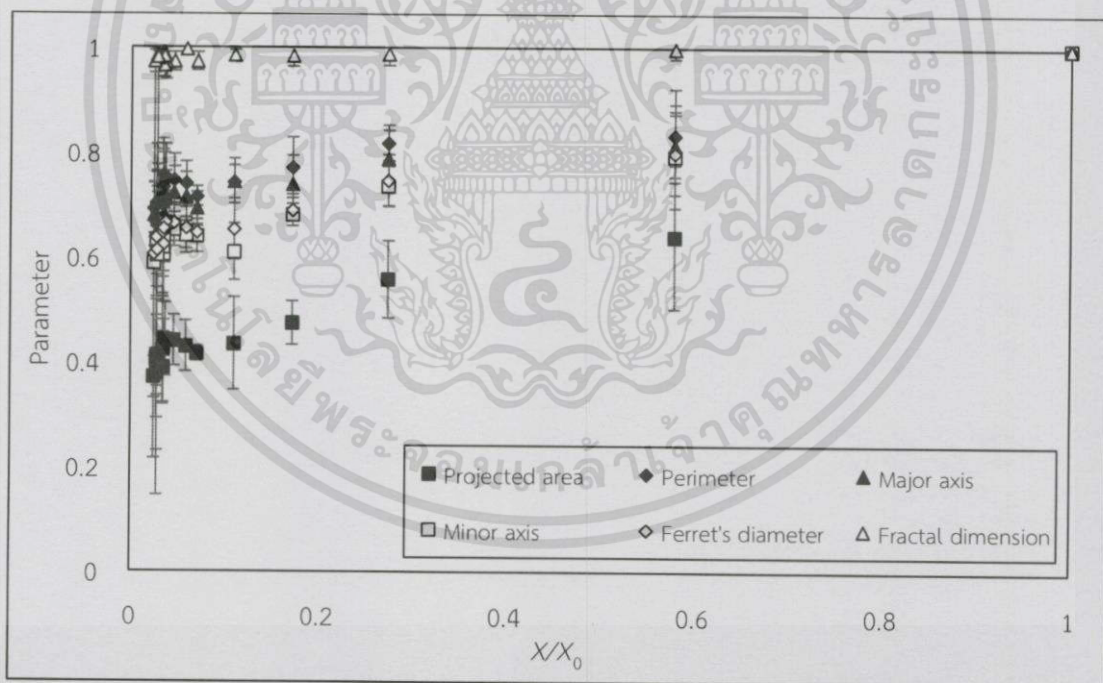
รูปที่ ข.1.17 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส



รูปที่ ข.1.18 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

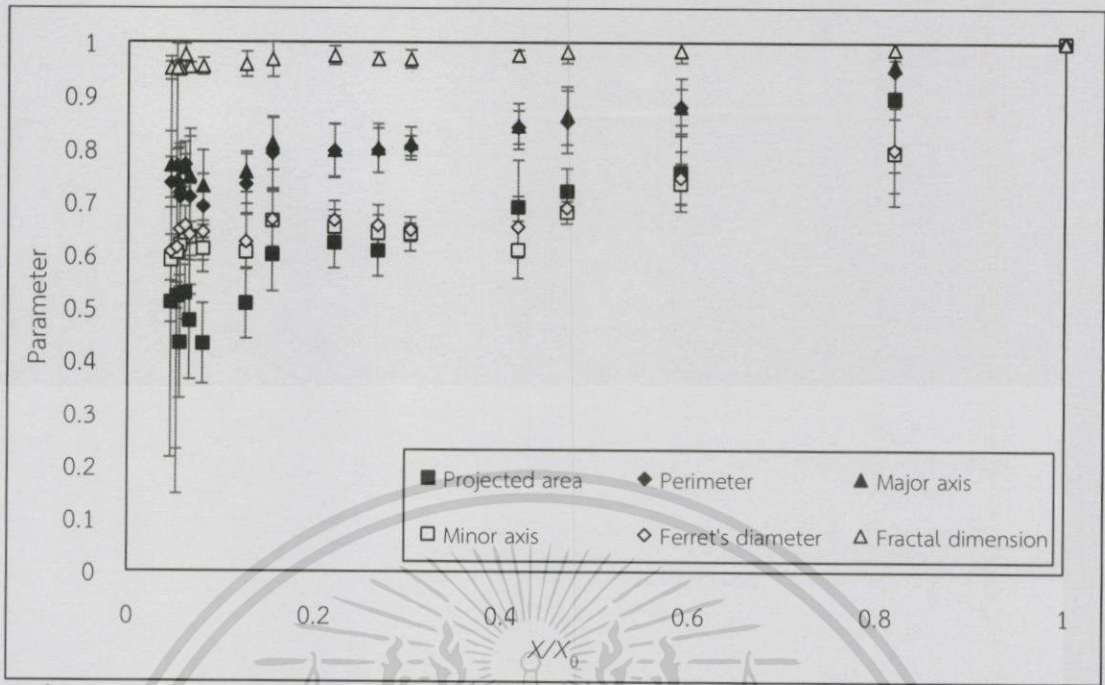


รูปที่ ข.1.19 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

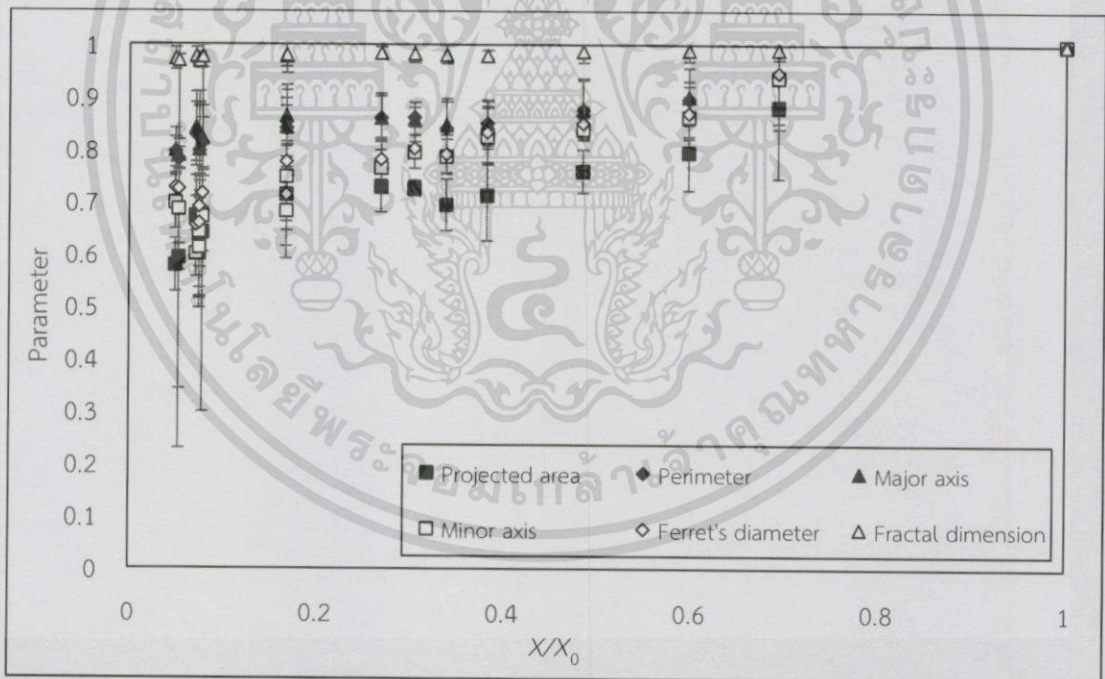


รูปที่ ข.1.20 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



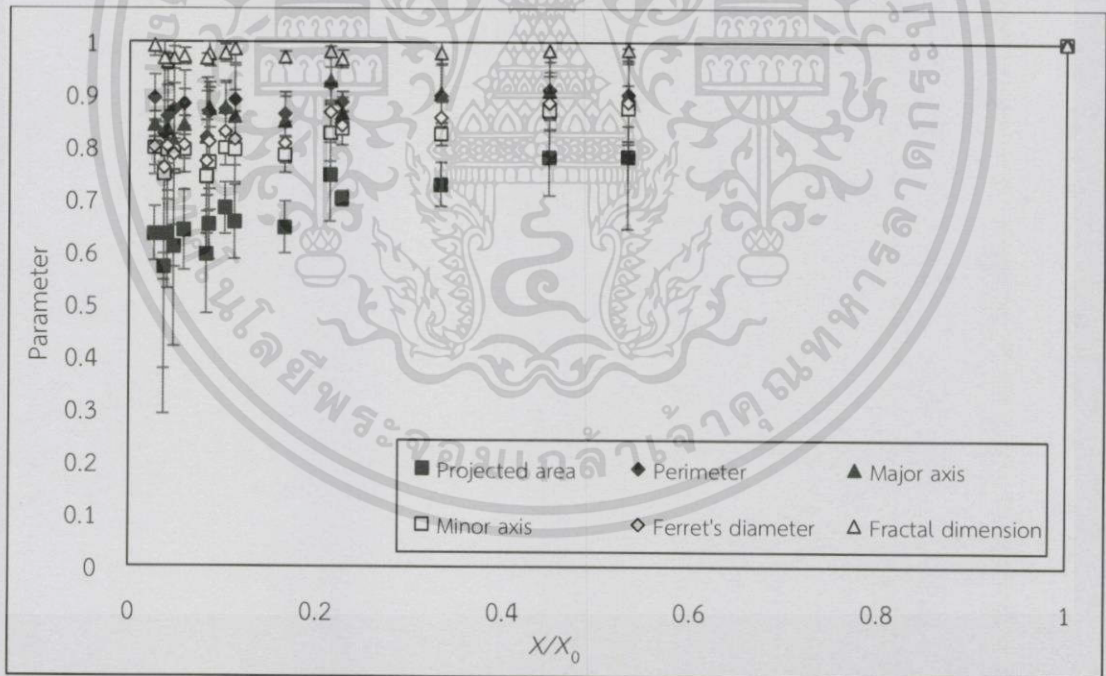
รูปที่ ข.1.21 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



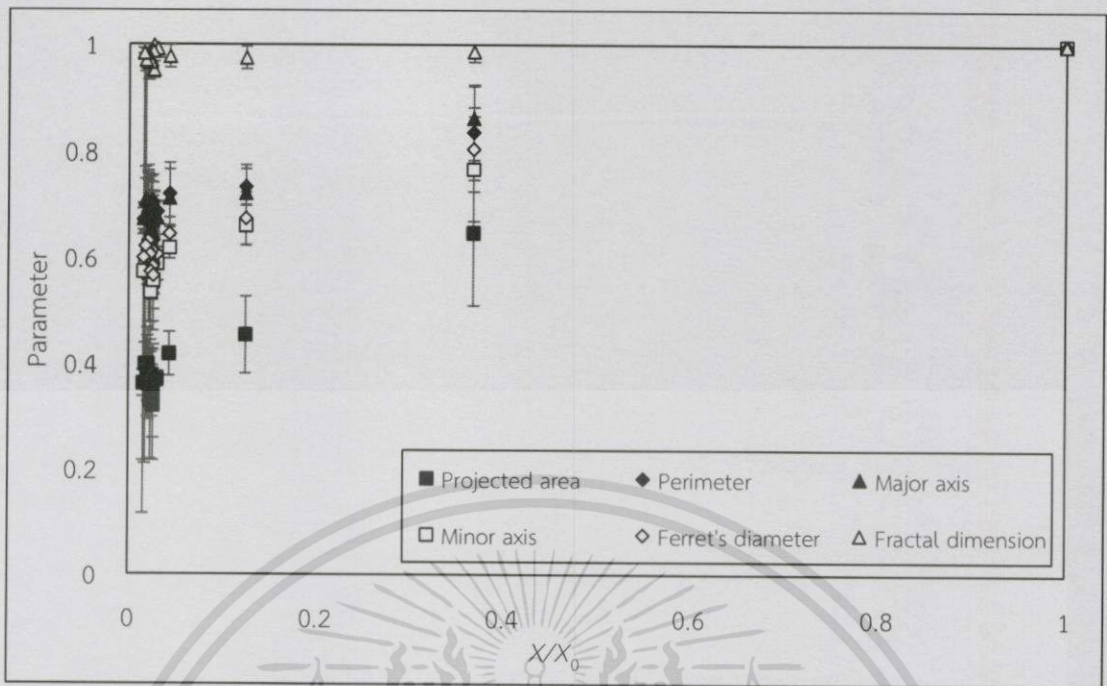
รูปที่ ข.1.22 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



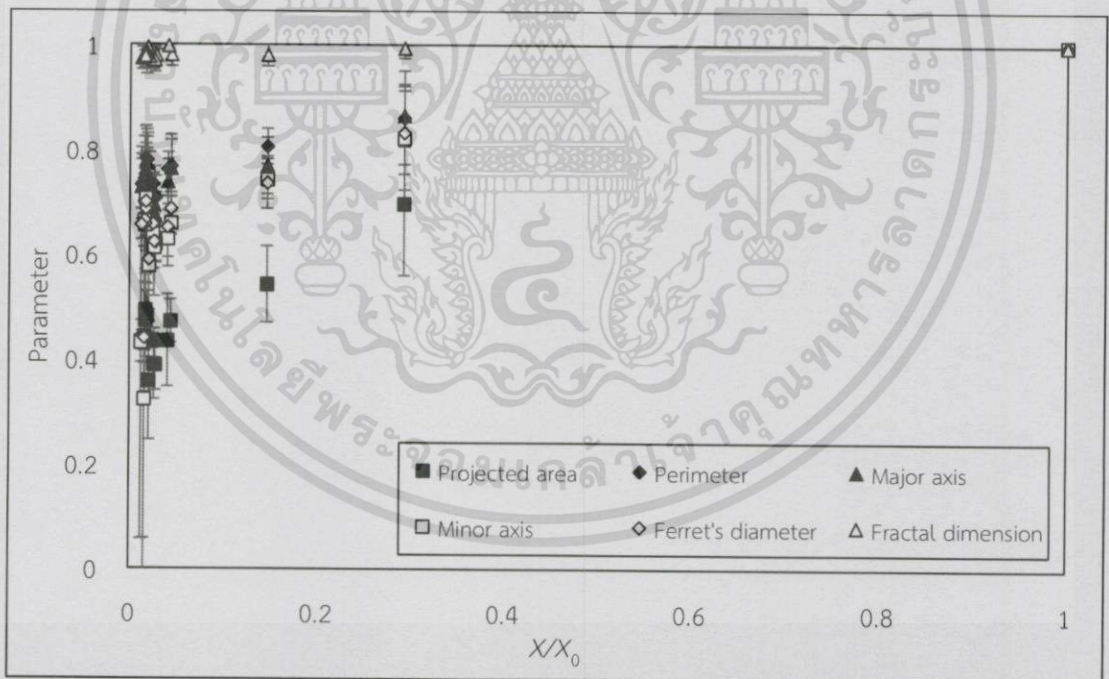
รูปที่ ข.1.23 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



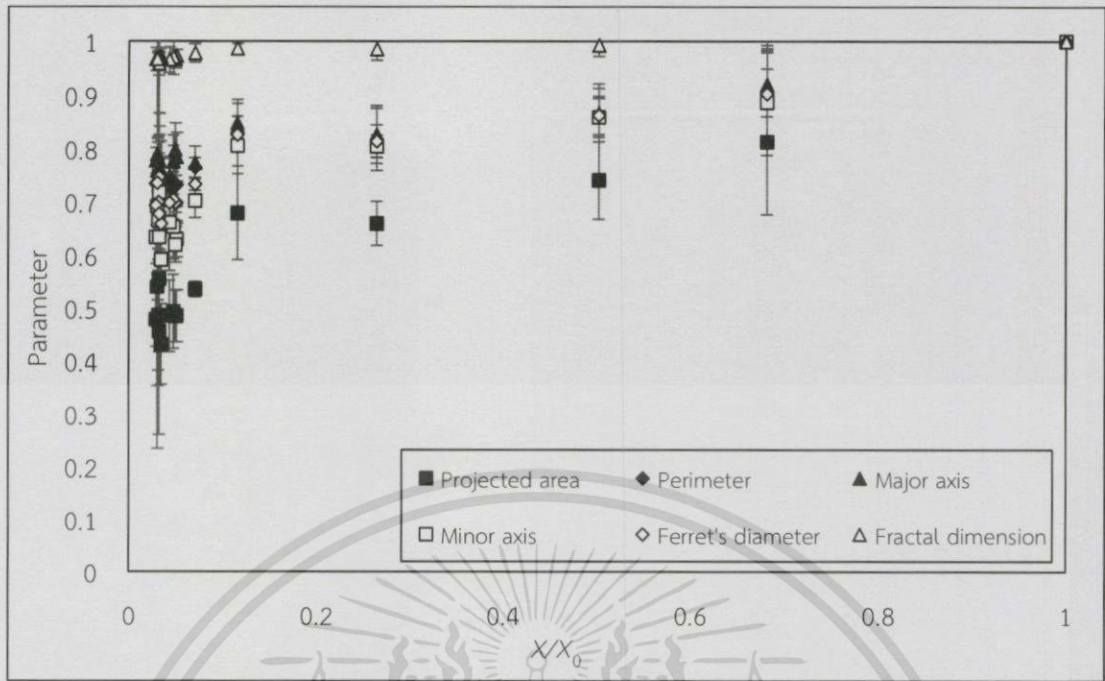
รูปที่ ข.1.24 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



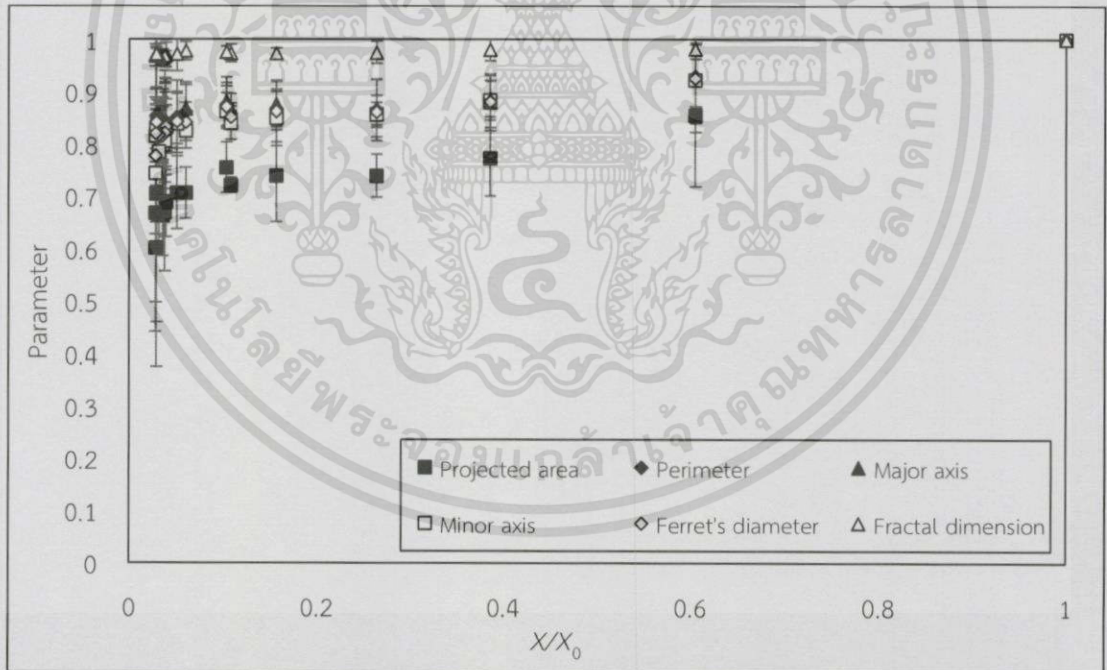
รูปที่ ข.1.25 ค่าตัวแปรต่างๆ ต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



รูปที่ ข.1.26 ค่าตัวแปรต่างๆ ต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

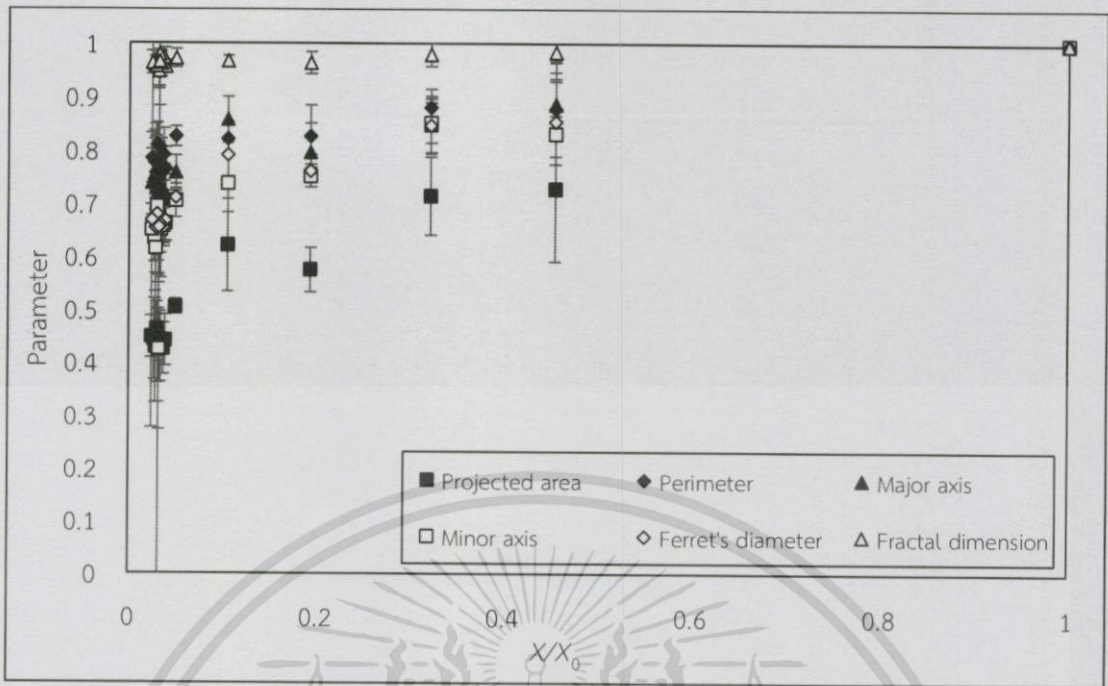


รูปที่ ข.1.27 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ต่อความเข้มข้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

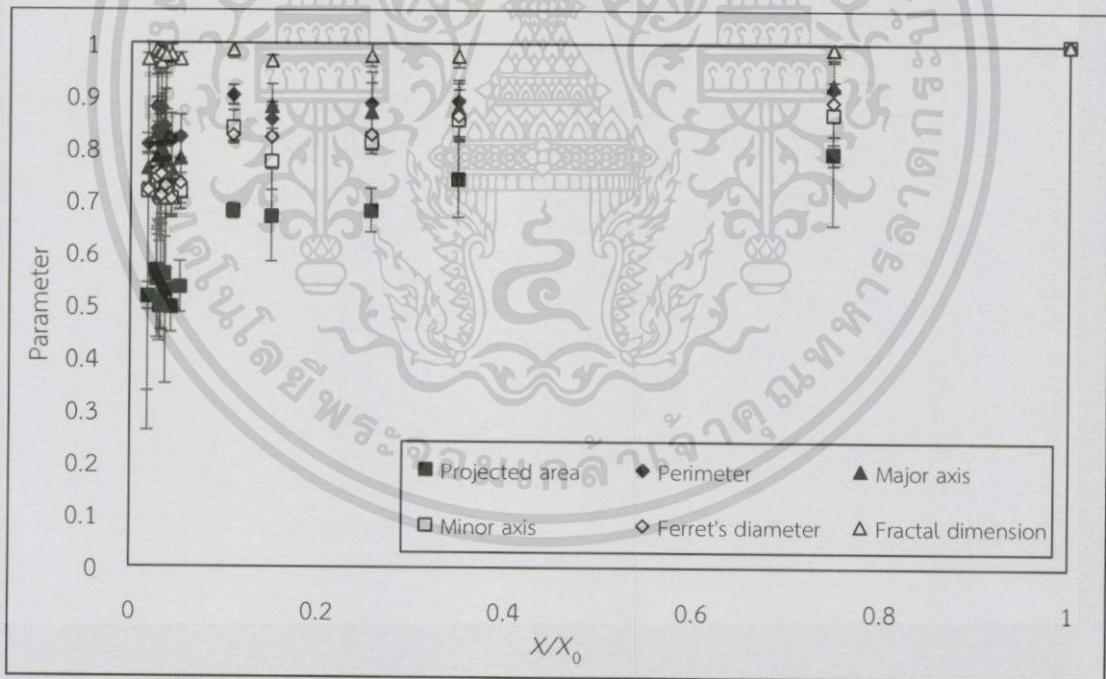


รูปที่ ข.1.28 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ต่อความเข้มข้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

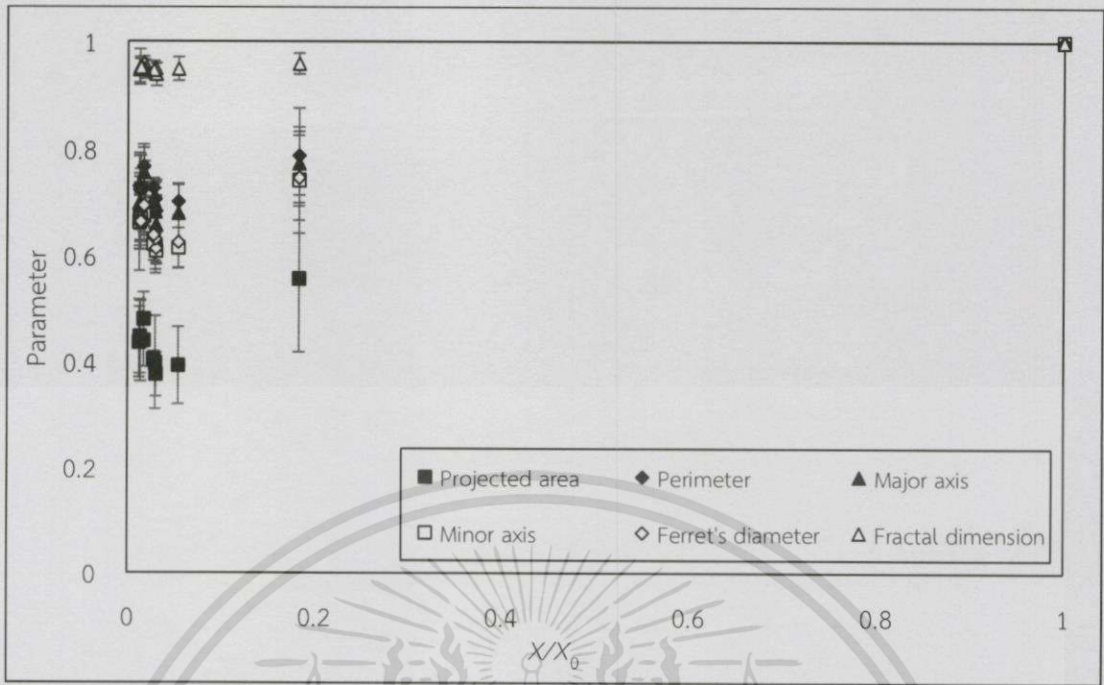


รูปที่ ข.1.29 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

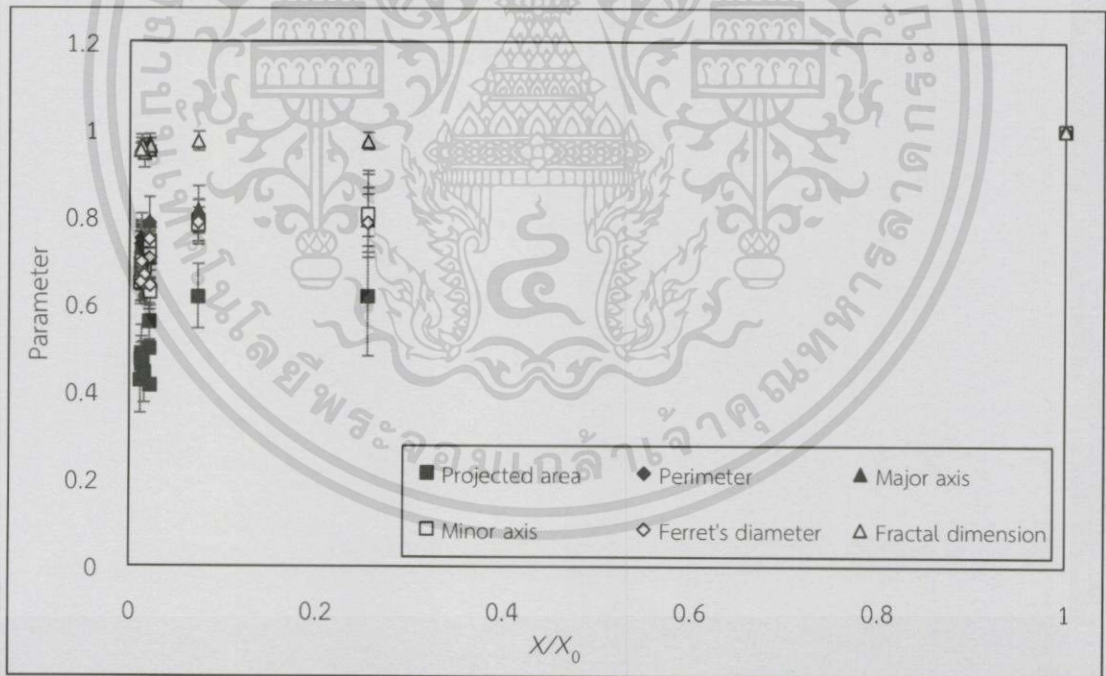


รูปที่ ข.1.30 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

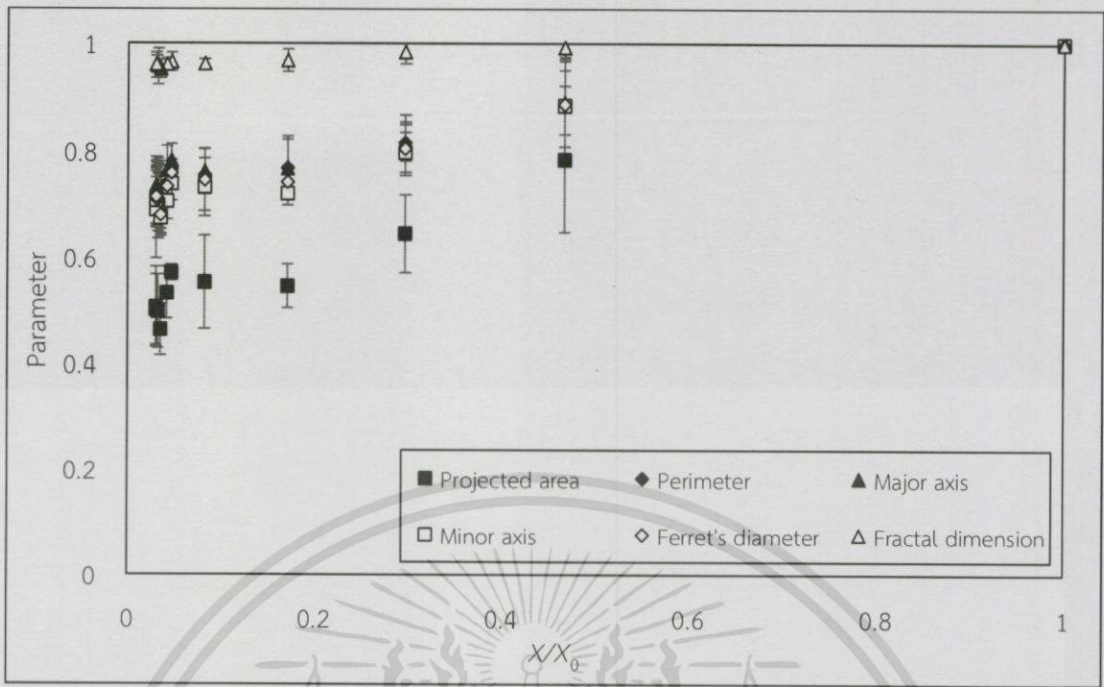


รูปที่ ข.1.31 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ต่อความชื้นของน้ำมันรูปร่างสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

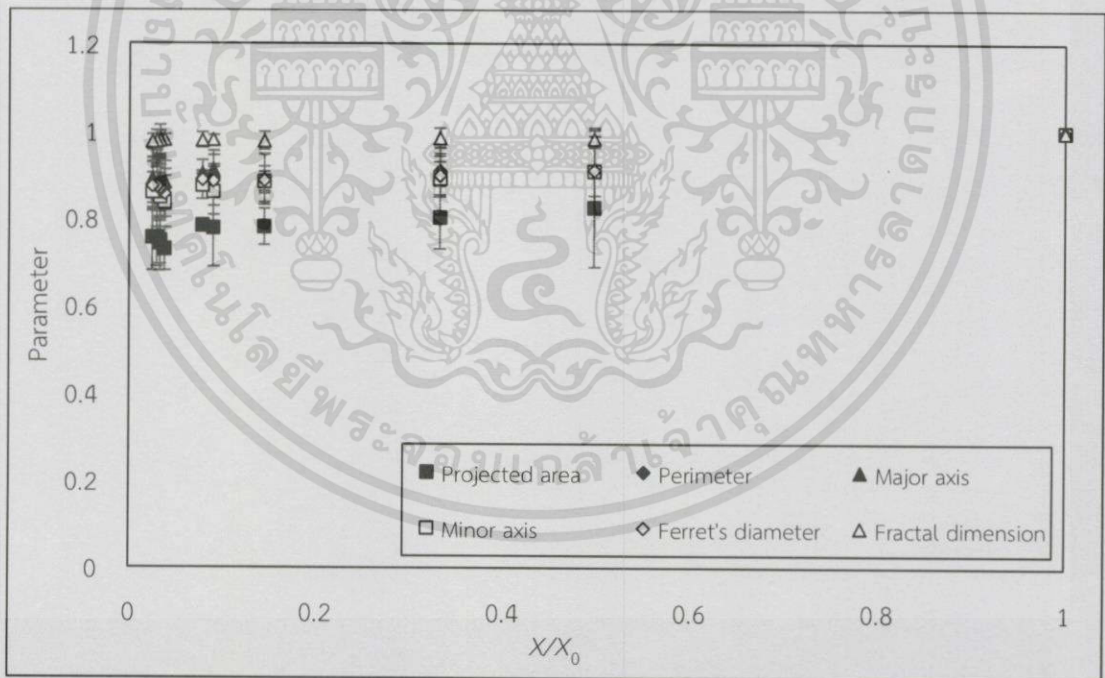


รูปที่ ข.1.32 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ต่อความชื้นของน้ำมันรูปร่างสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

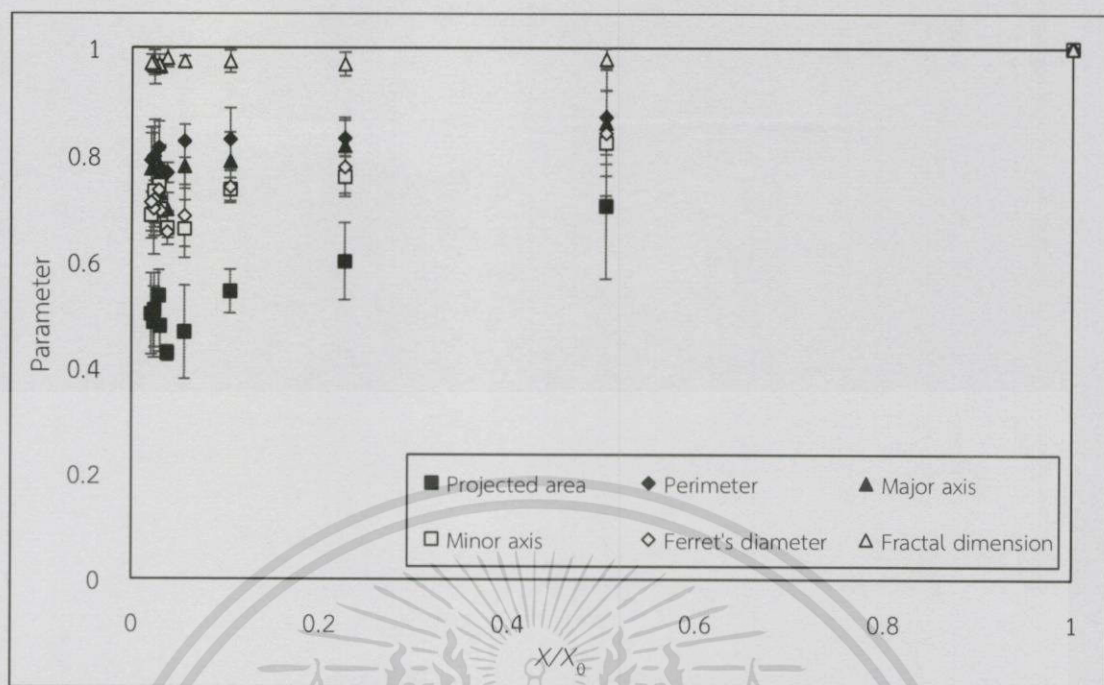
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



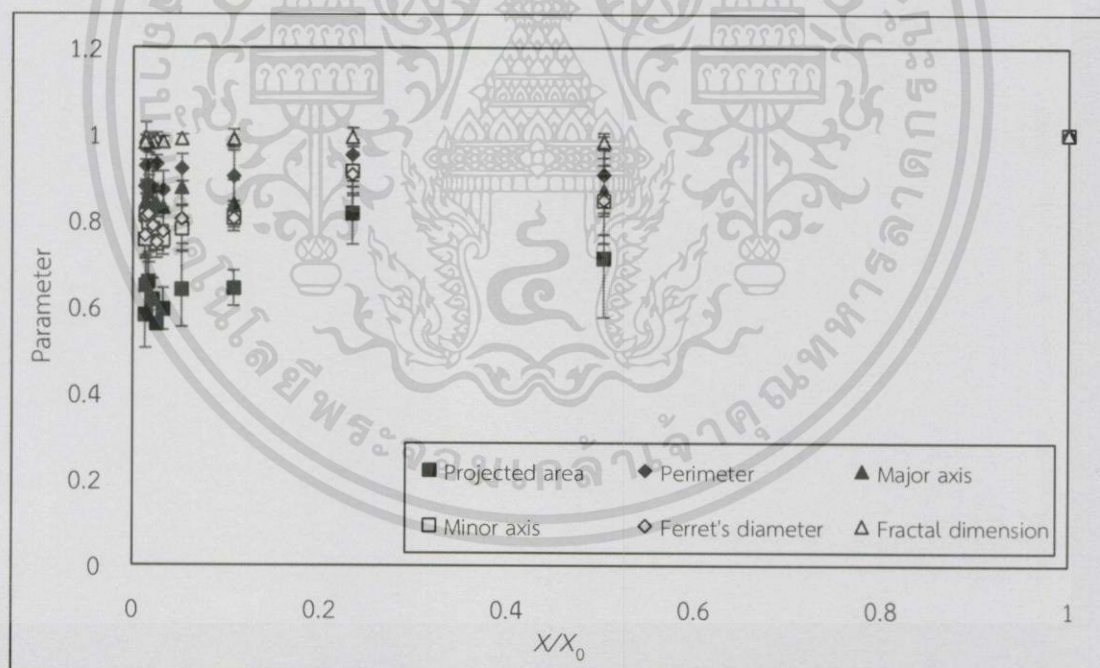
รูปที่ ข.1.33 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส



รูปที่ ข.1.34 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

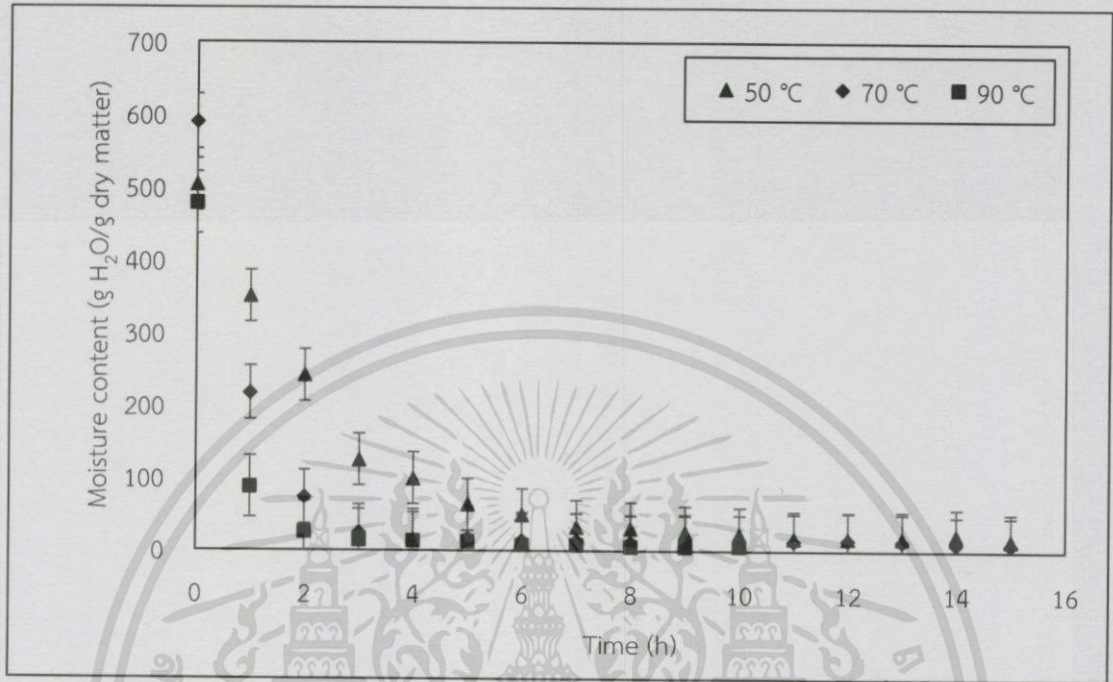


รูปที่ ข.1.35 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

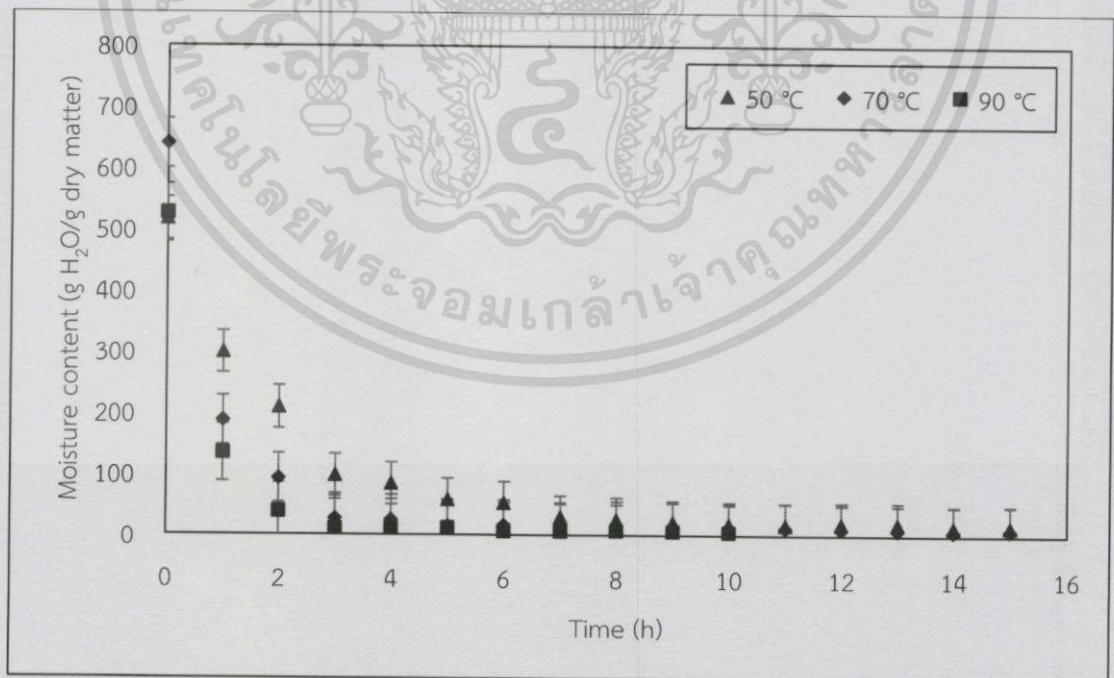


รูปที่ ข.1.36 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

ข.2 อิทธิพลของอุณหภูมิในการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงของไขมันระหว่างการอบแห้ง

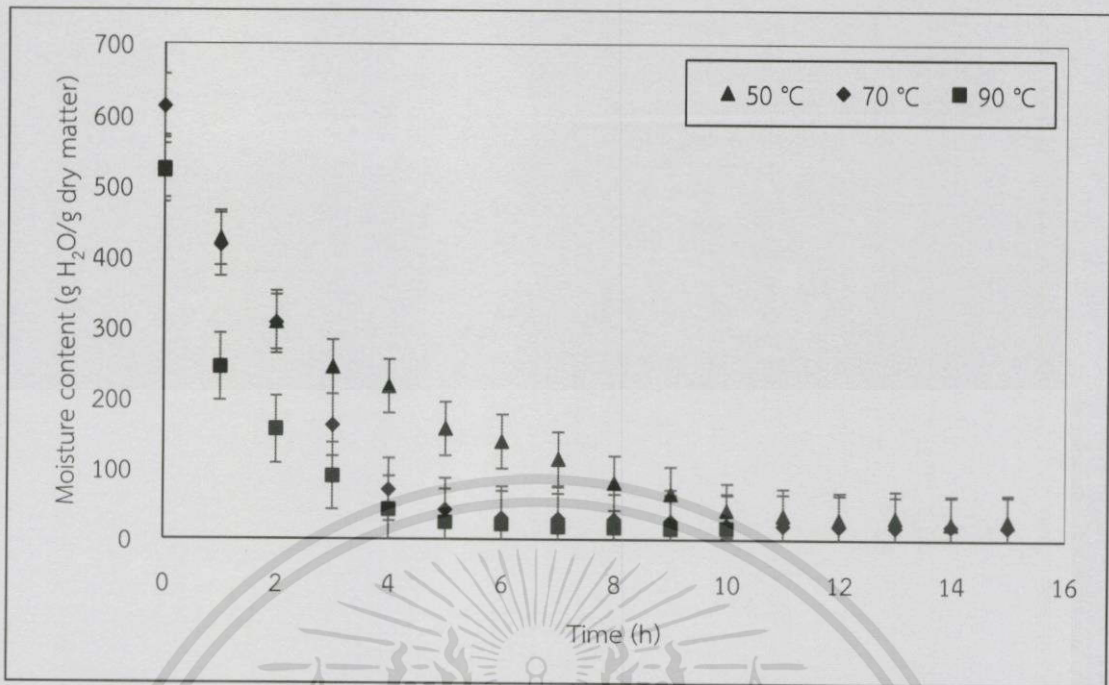


รูปที่ ข.2.1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของไขมันรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ไม่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ

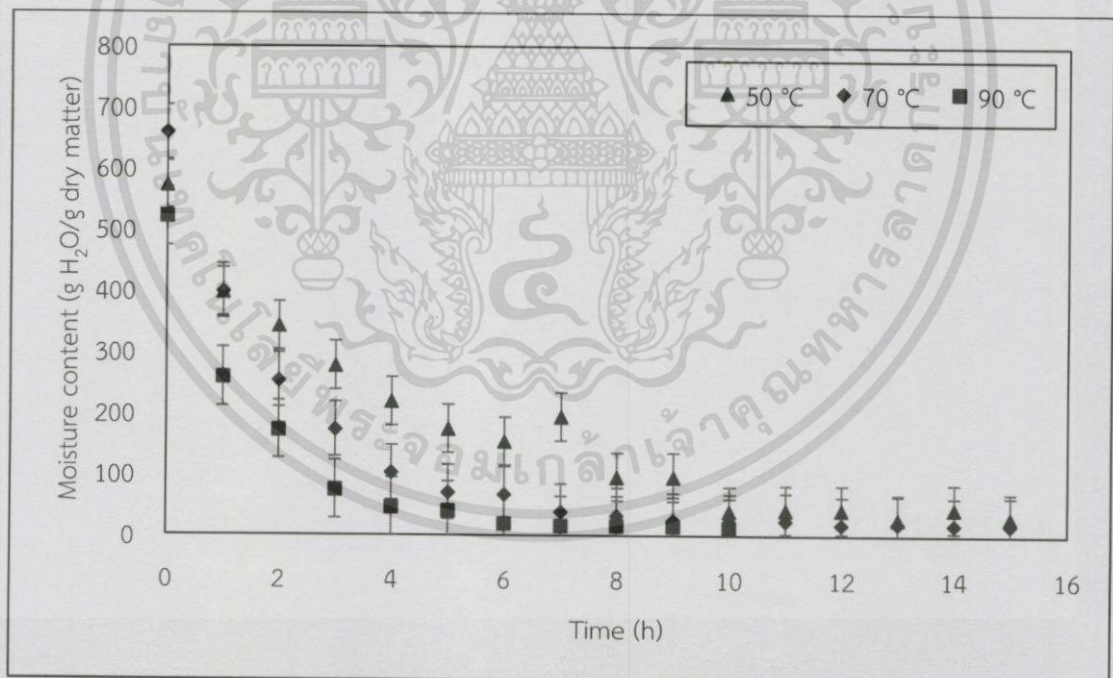


รูปที่ ข.2.2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของไขมันรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

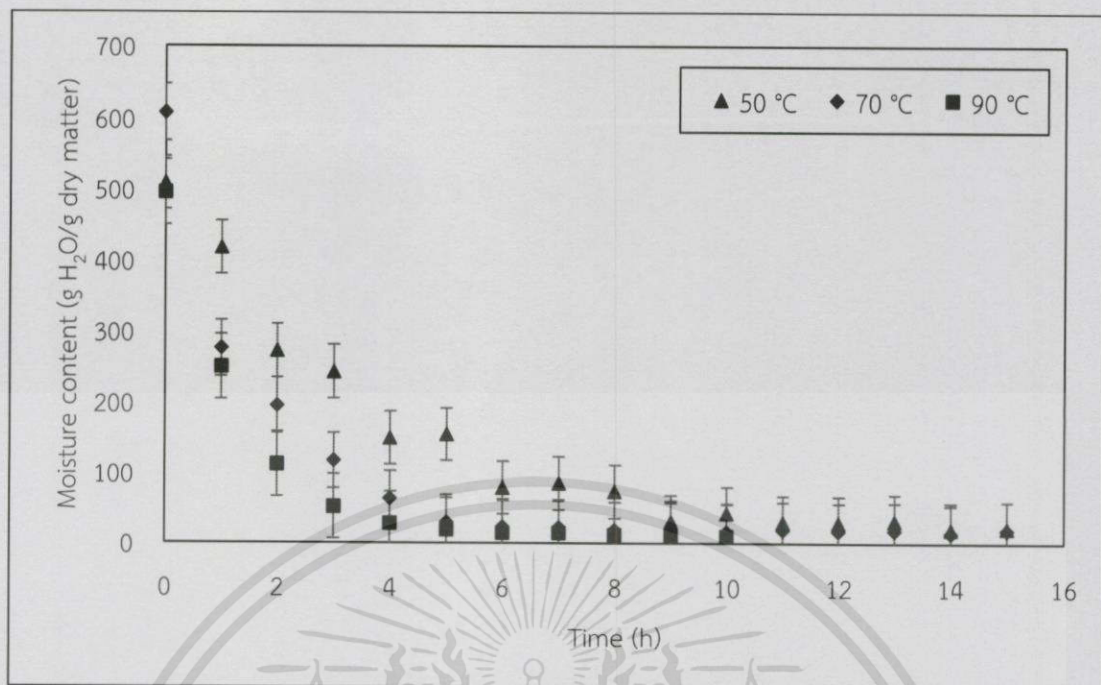


รูปที่ ข.2.3 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ไม่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ

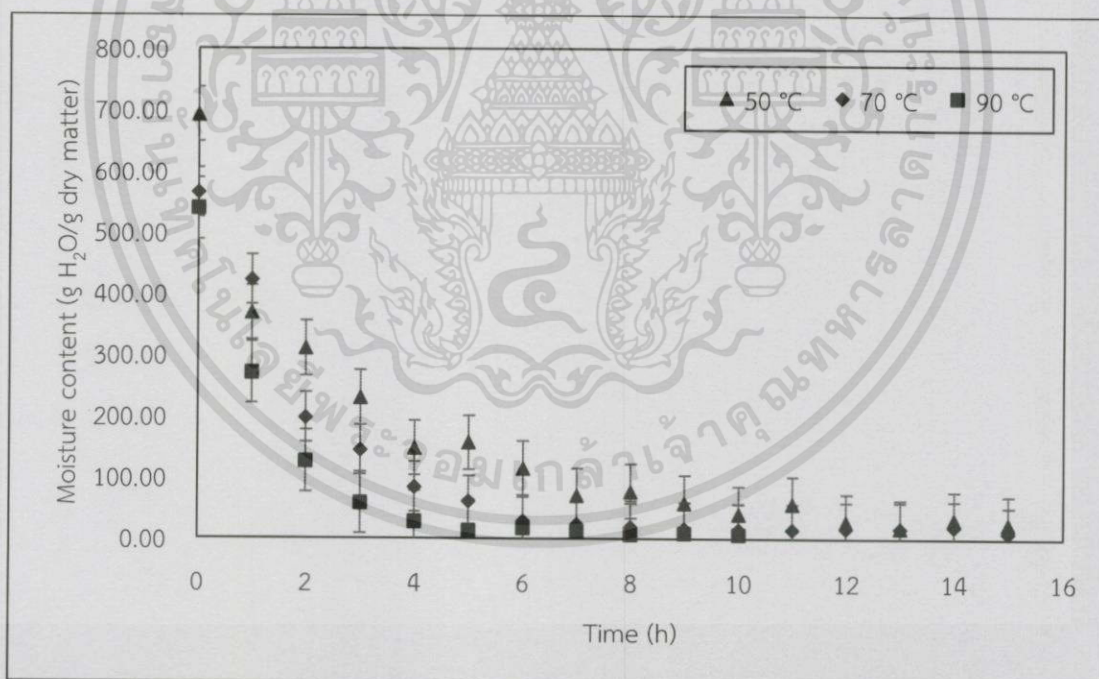


รูปที่ ข.2.4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

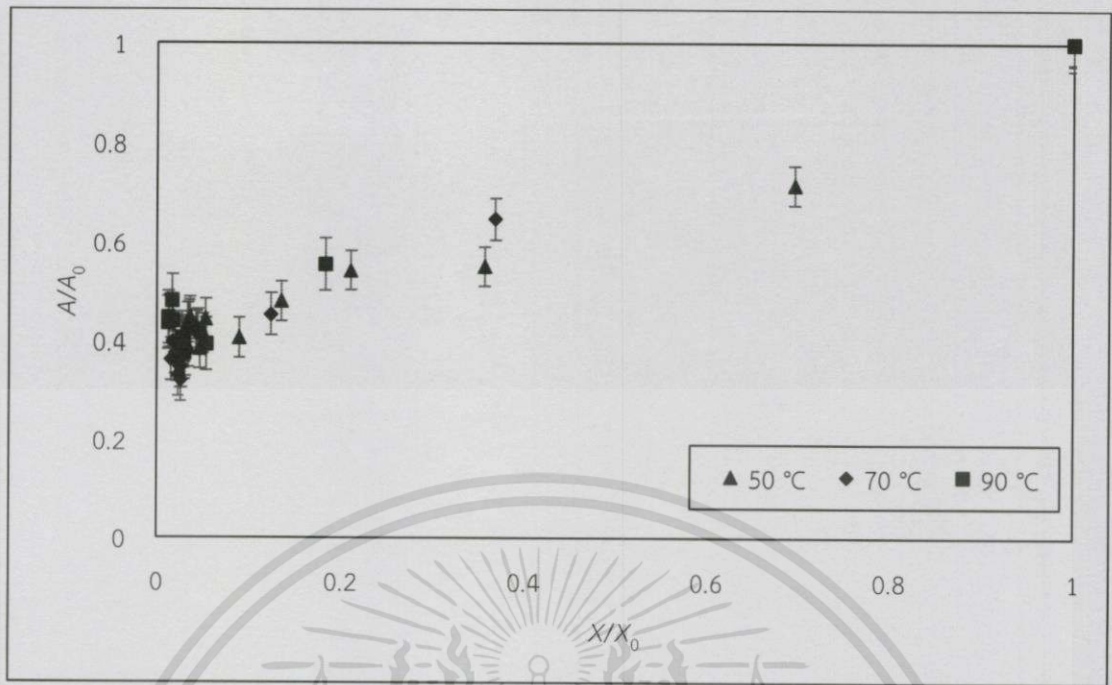


รูปที่ ข.2.5 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมที่ไม่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ

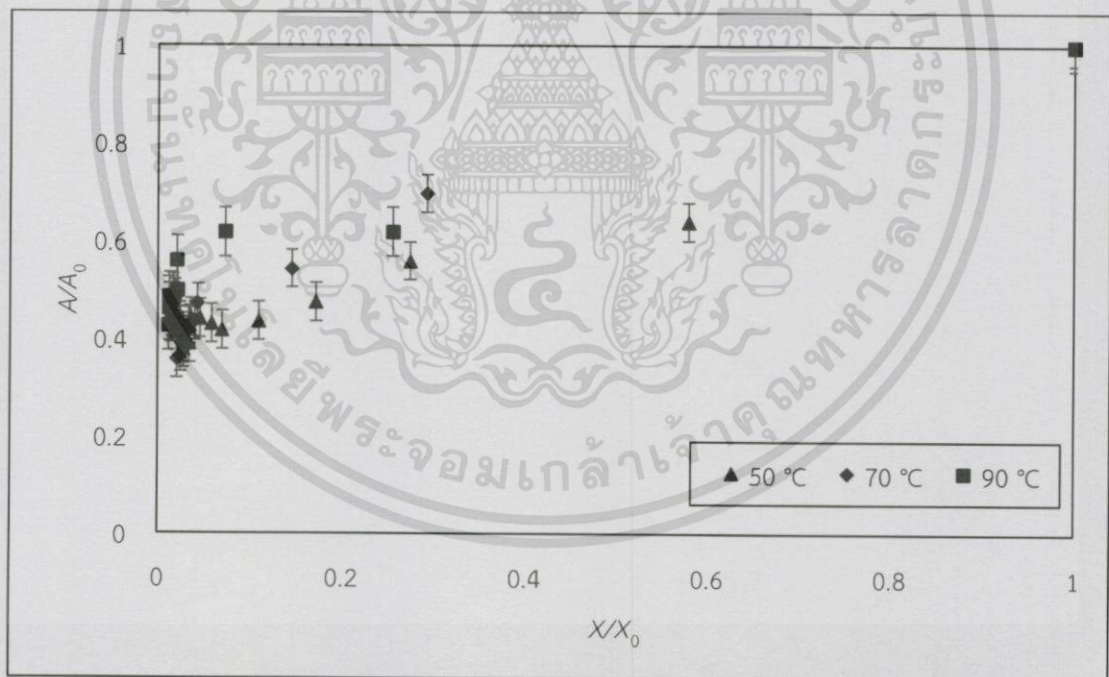


รูปที่ ข.2.6 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

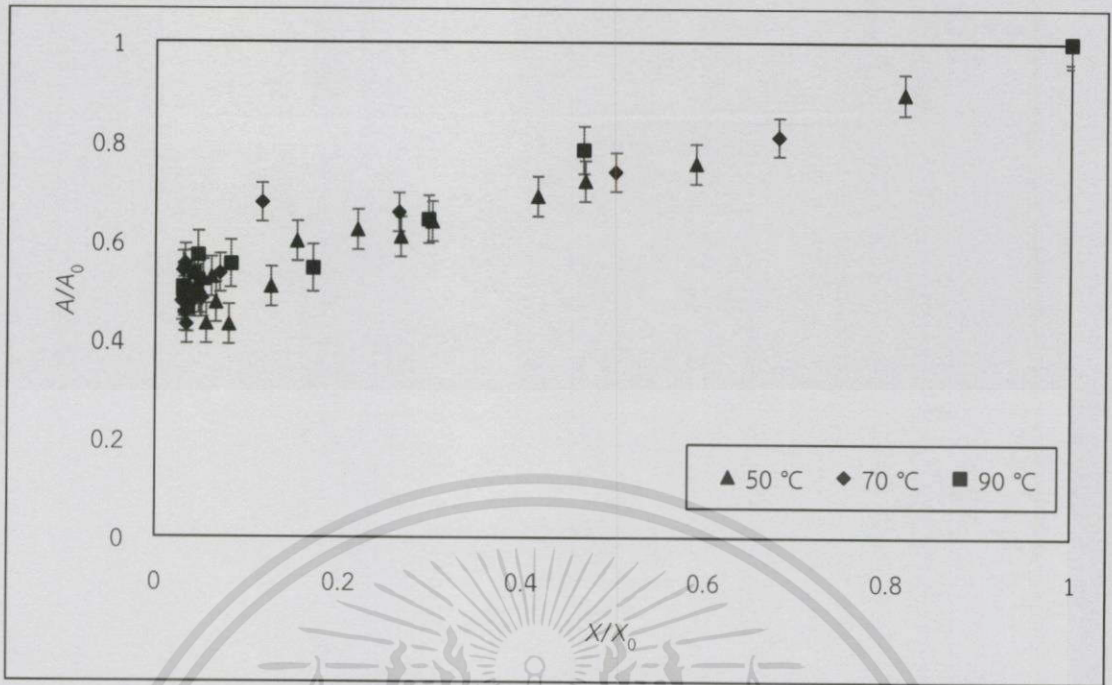


รูปที่ ข.2.7 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายกับความชื้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ไม่ผ่านการลวก ขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ

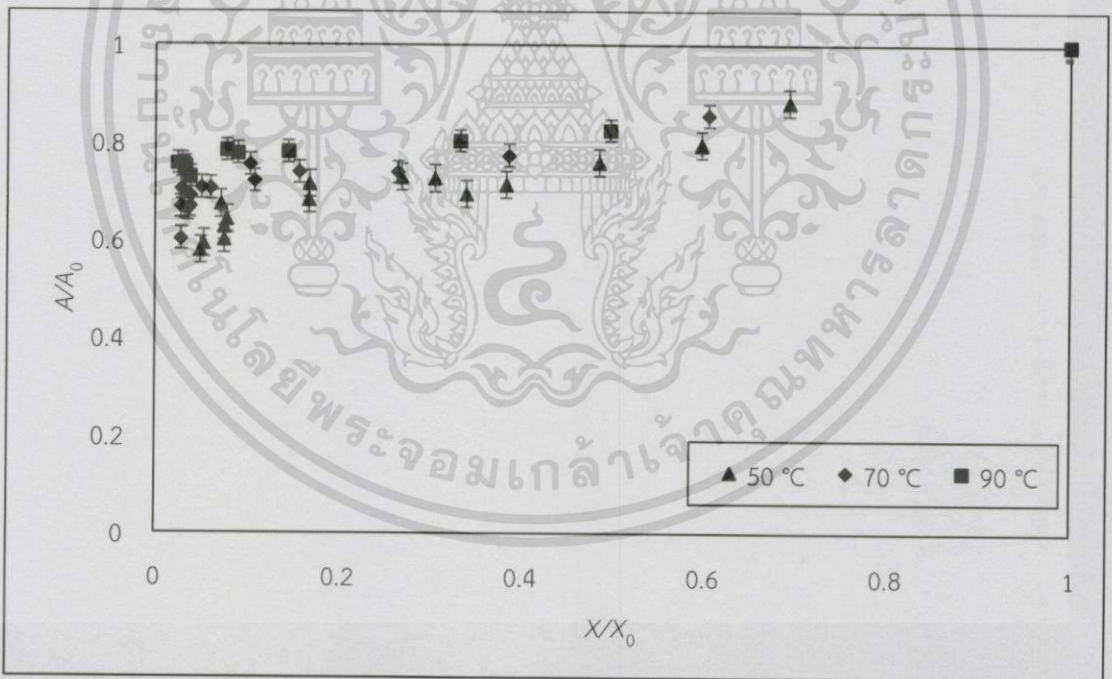


รูปที่ ข.2.8 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายต่อความชื้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวก ขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

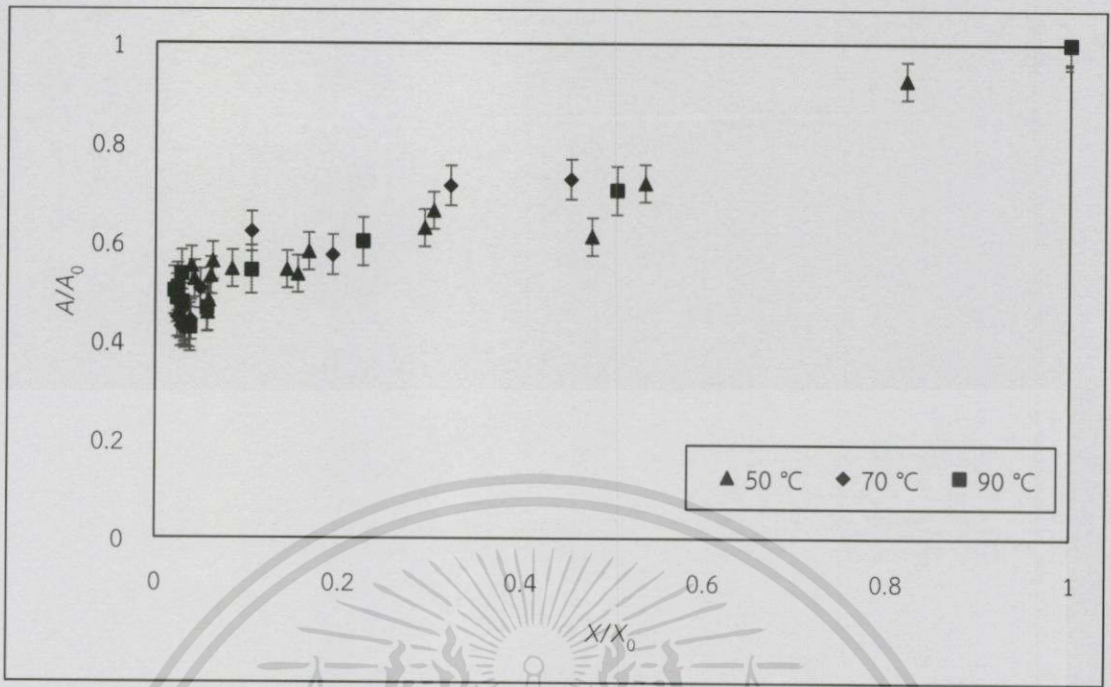


รูปที่ ข.2.9 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายต่อความชื้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ไม่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ

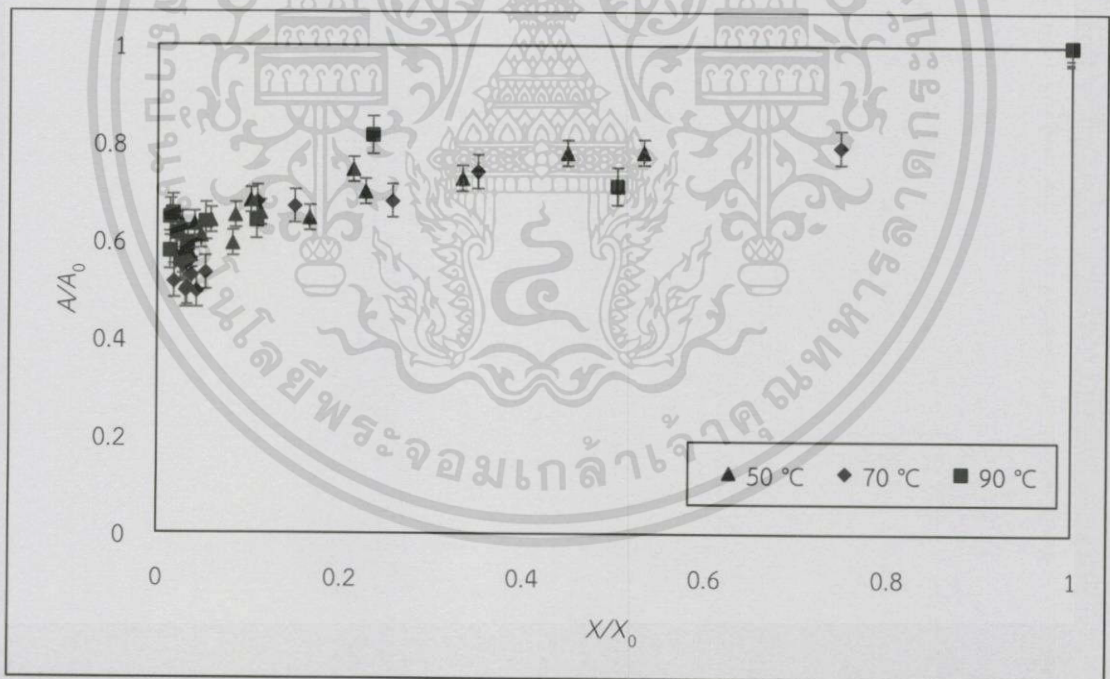


รูปที่ ข.2.10 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายต่อความชื้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ

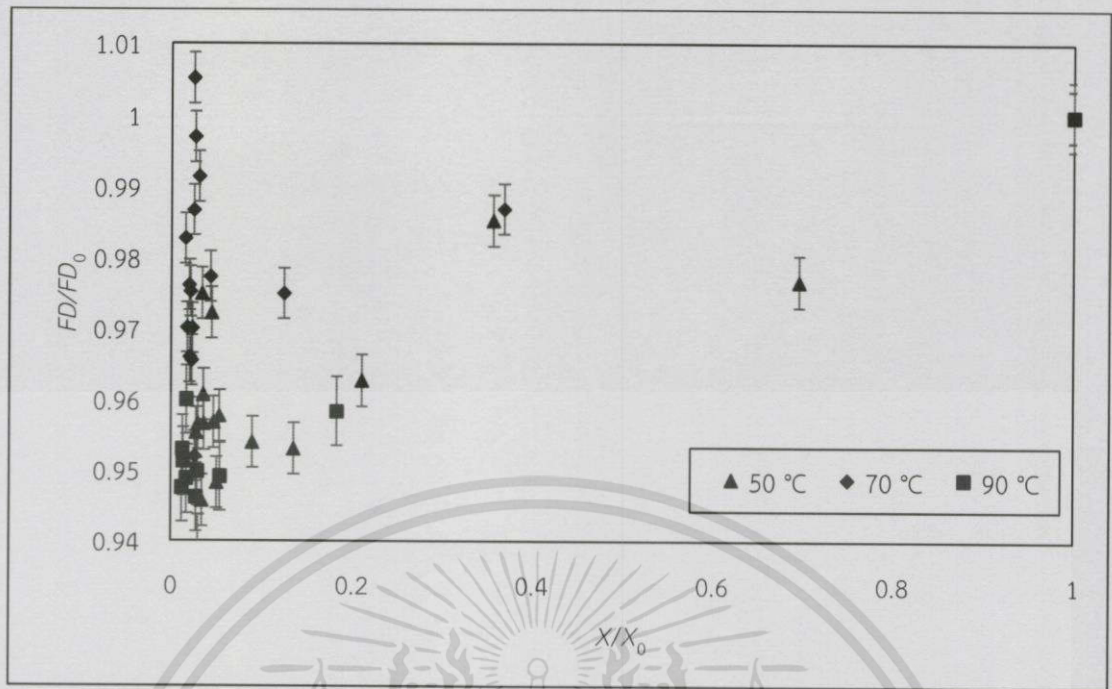
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



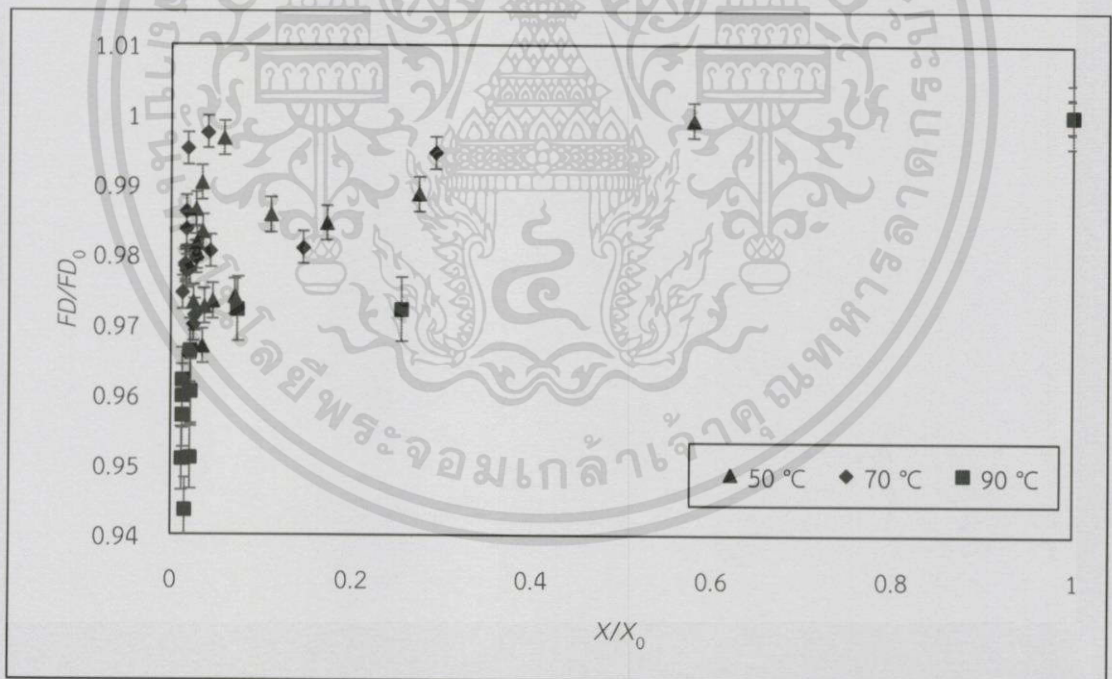
รูปที่ ข.2.11 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมที่ไม่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ



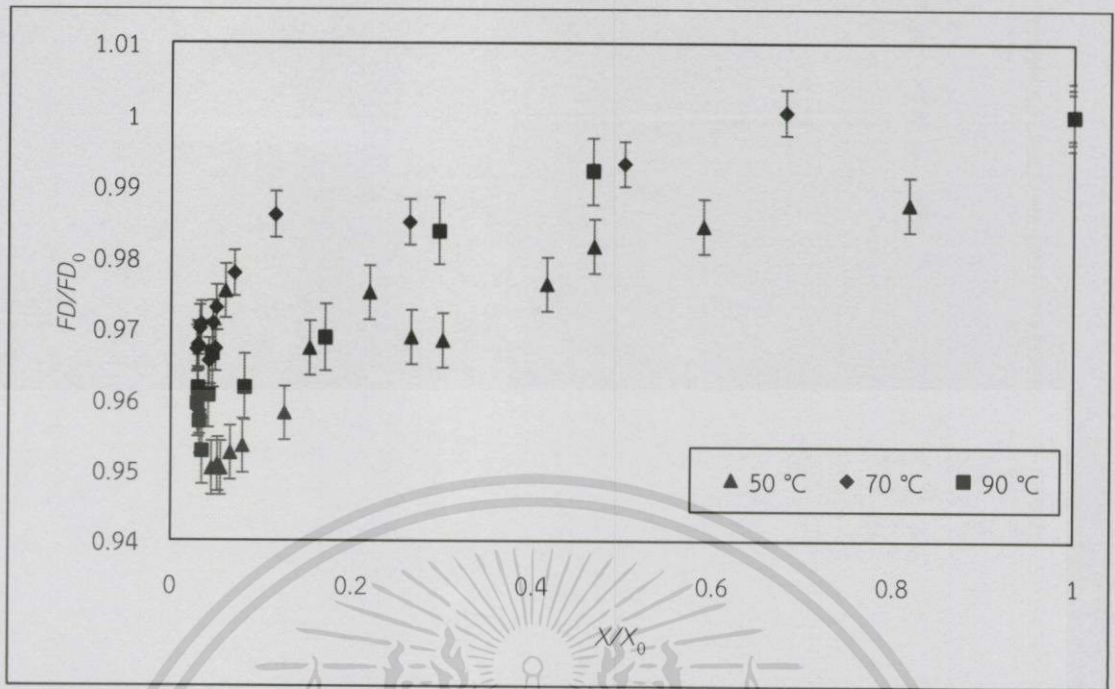
รูปที่ ข.2.12 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ



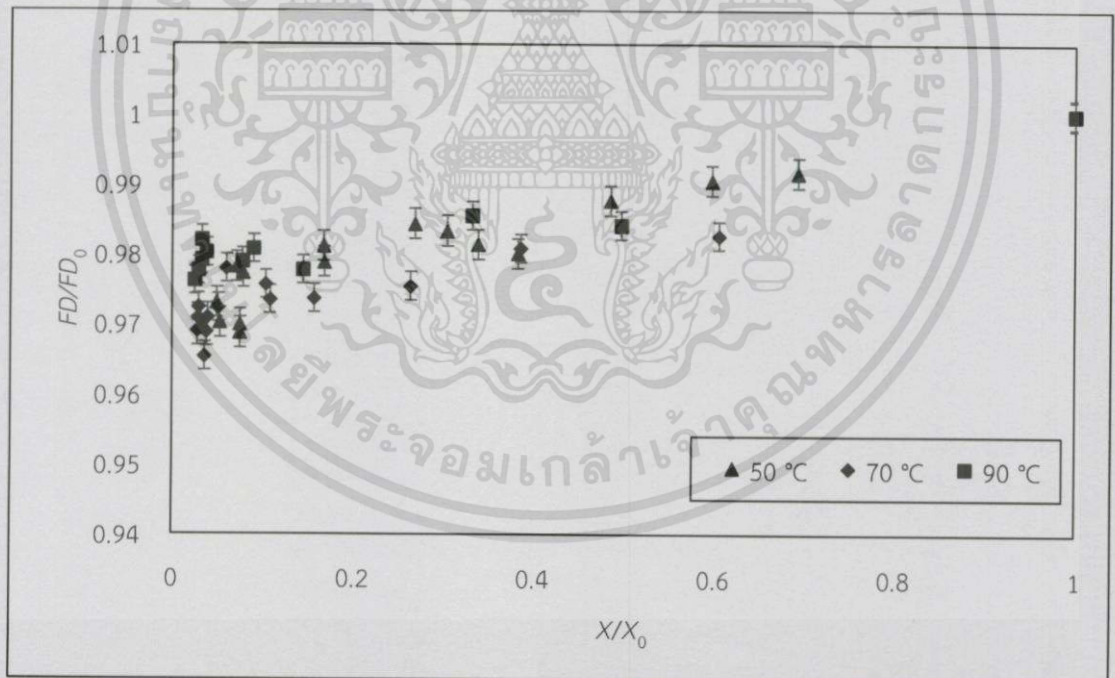
รูปที่ ข.2.13 อัตราส่วนค่าแฟร็คทัลต่อความเข้มข้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ไม่ผ่านการลวก ขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ



รูปที่ ข.2.14 อัตราส่วนค่าแฟร็คทัลต่อความเข้มข้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวก ขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ

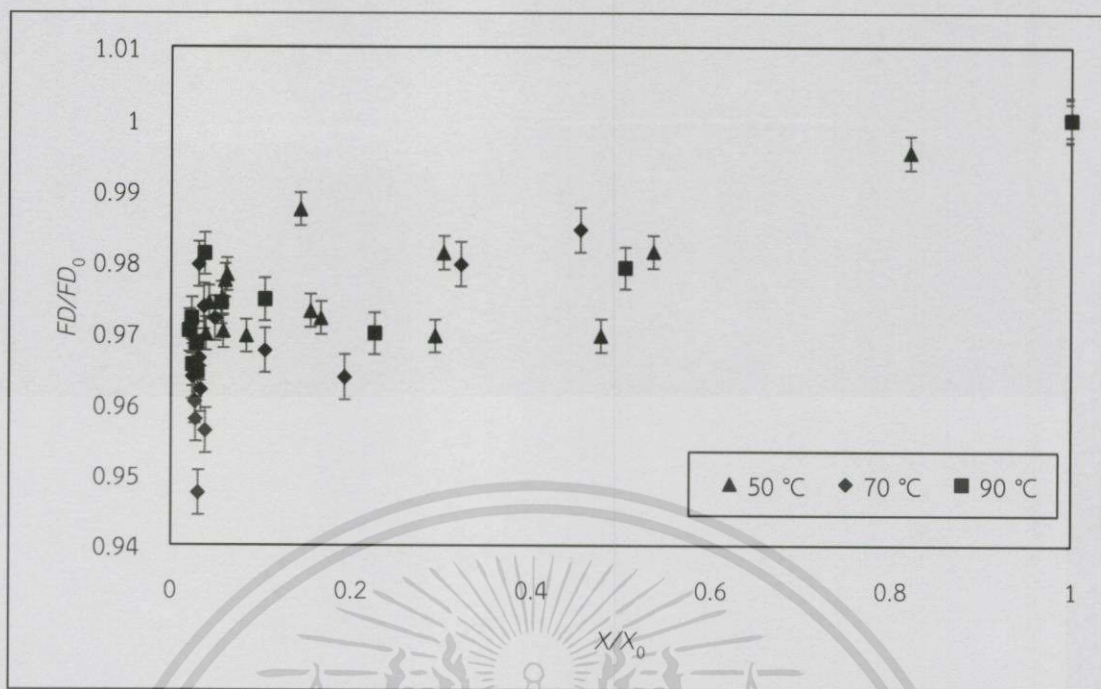


รูปที่ ข.2.15 อัตราส่วนค่าแฟร็คทัลต่อความชื้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ไม่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ

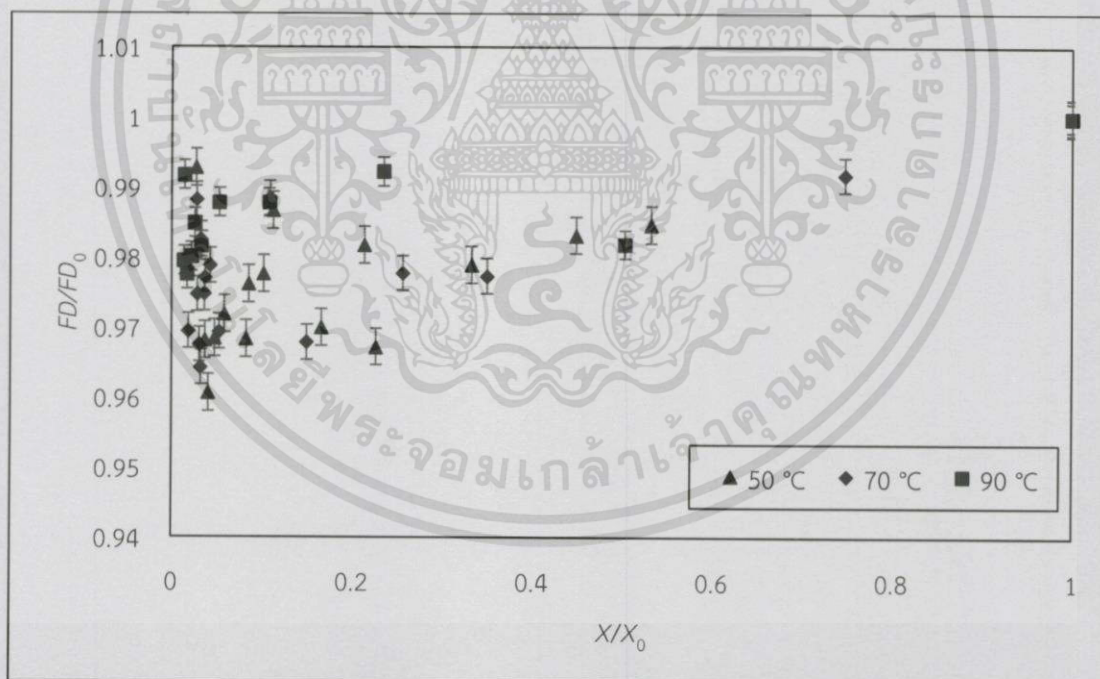


รูปที่ ข.2.16 อัตราส่วนค่าแฟร็คทัลต่อความชื้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

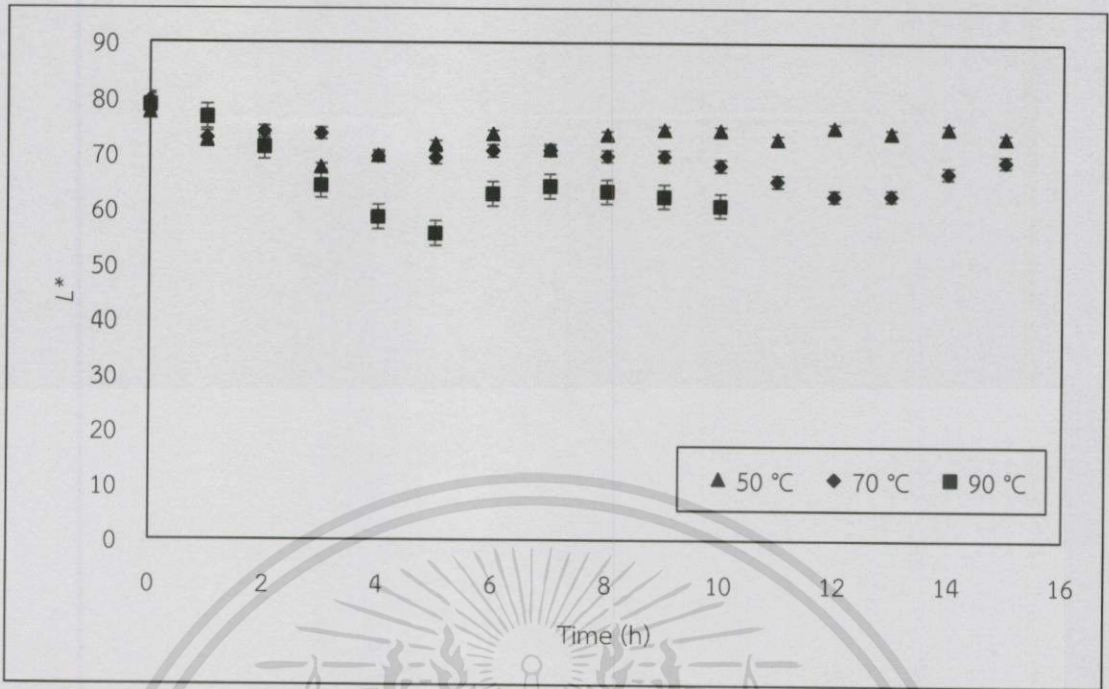


รูปที่ ข.2.17 อัตราส่วนค่าแฟร็คทัลต่อความเข้มข้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมที่ไม่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ

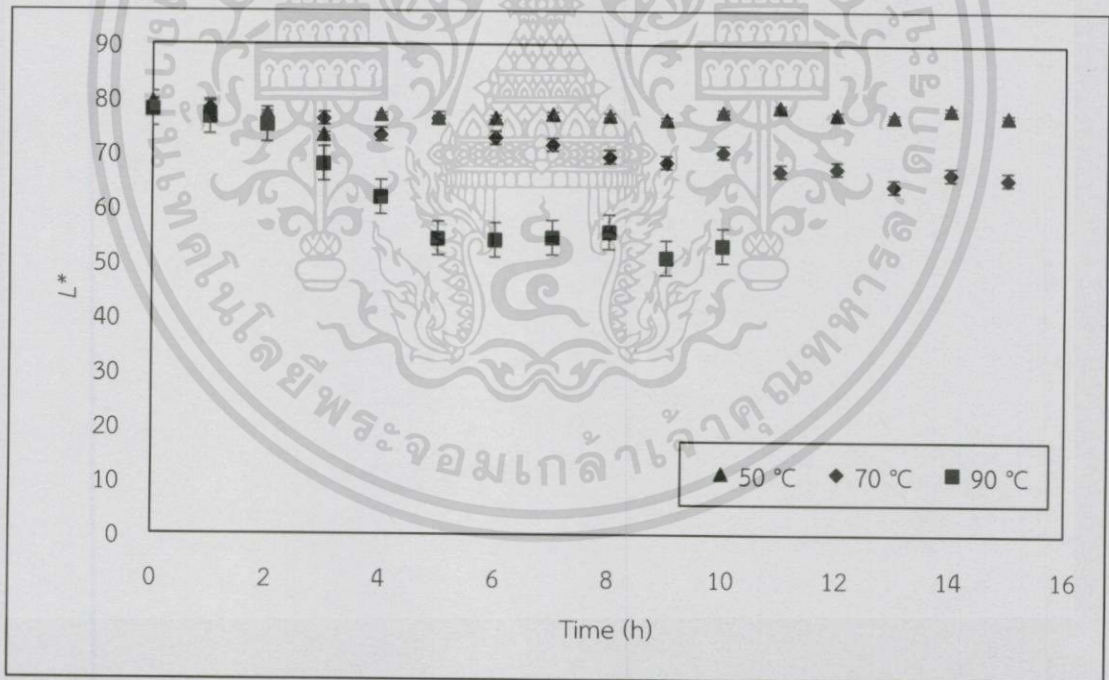


รูปที่ ข.2.18 อัตราส่วนค่าแฟร็คทัลต่อความเข้มข้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ

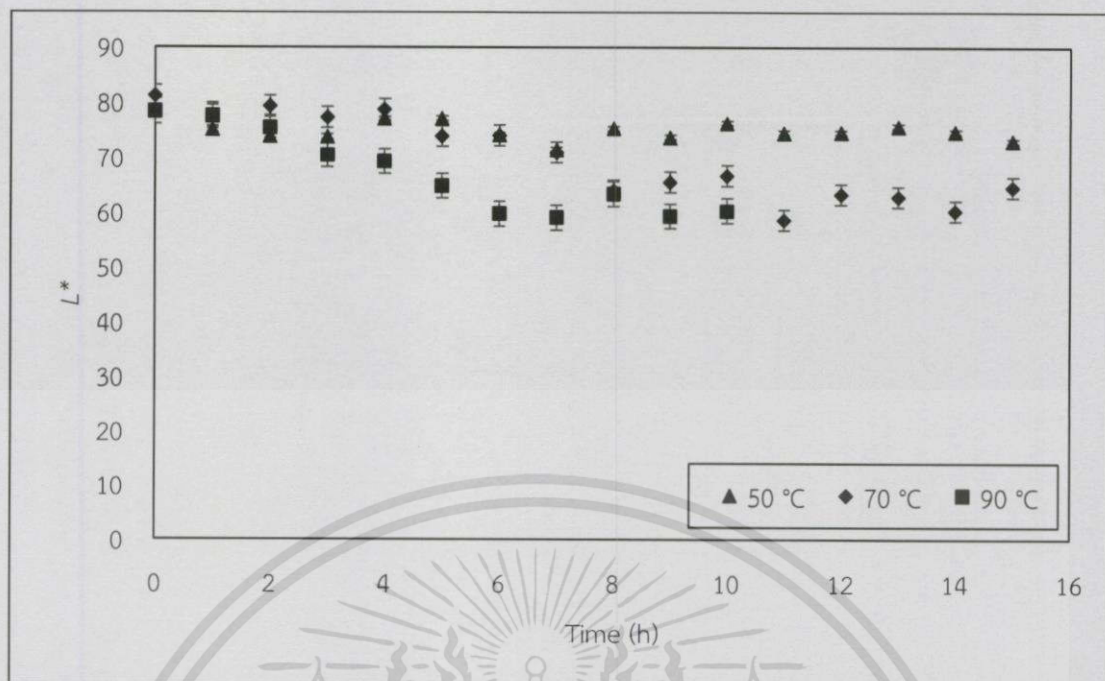
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



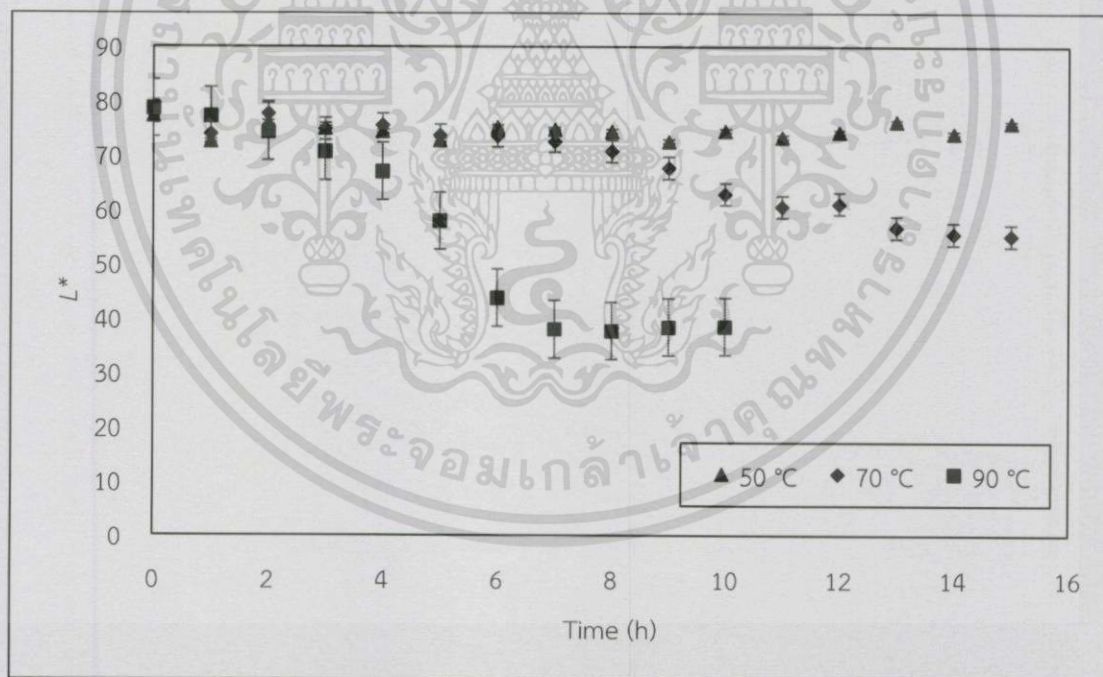
รูปที่ ข.2.19 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ไม่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ



รูปที่ ข.2.20 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ

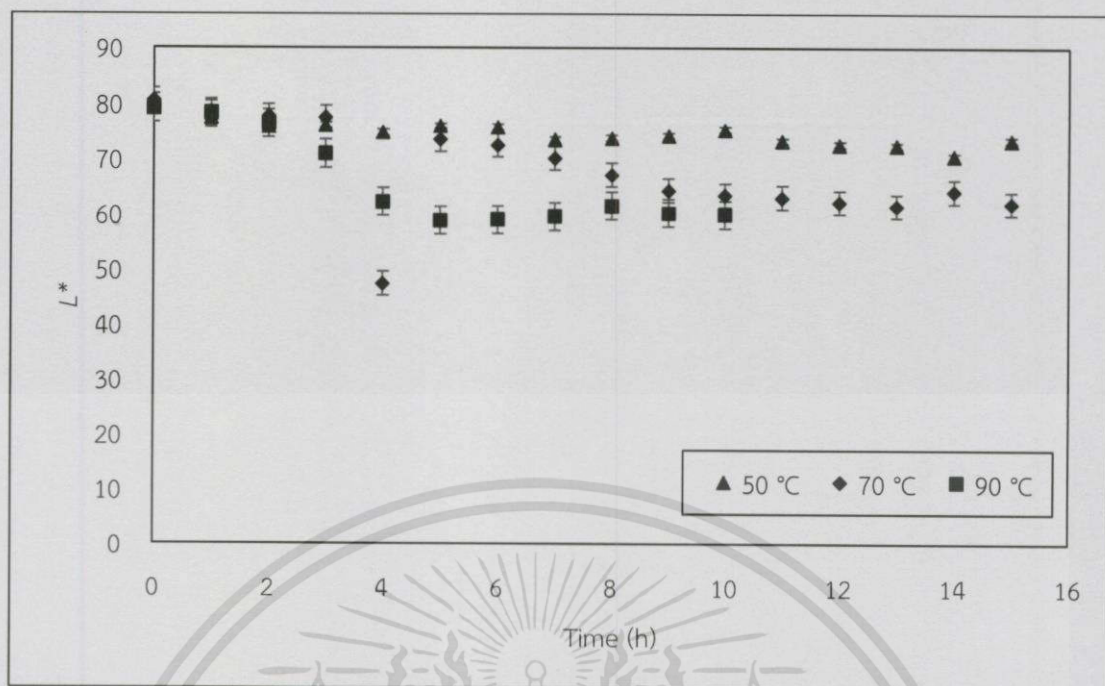


รูปที่ ข.2.21 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ไม่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ

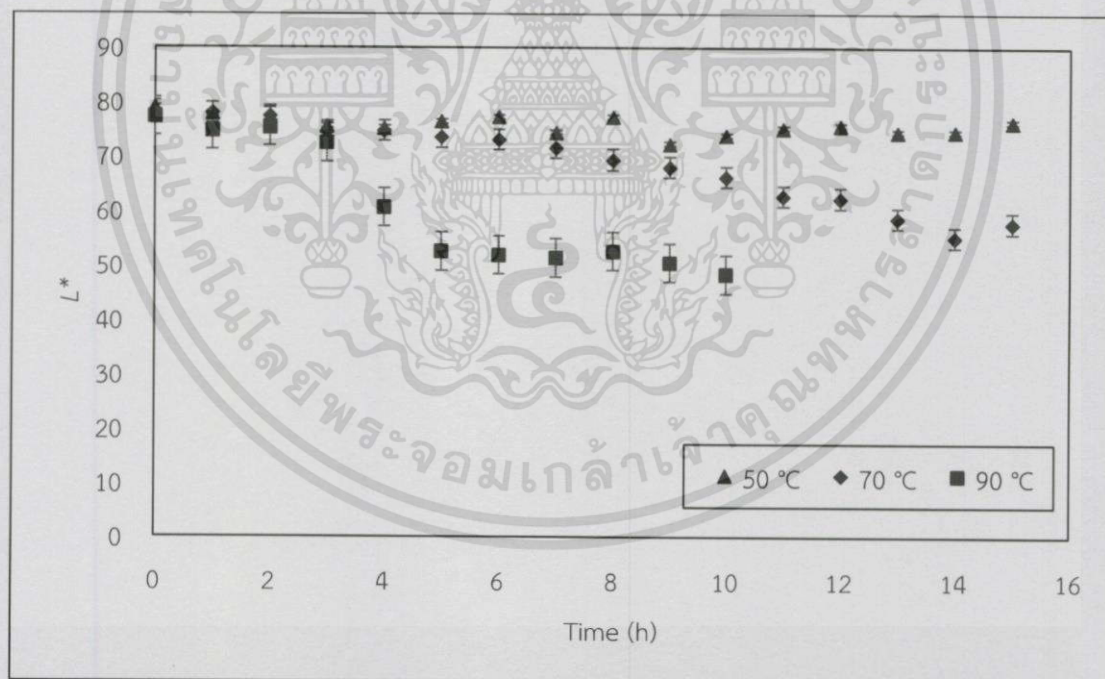


รูปที่ ข.2.22 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

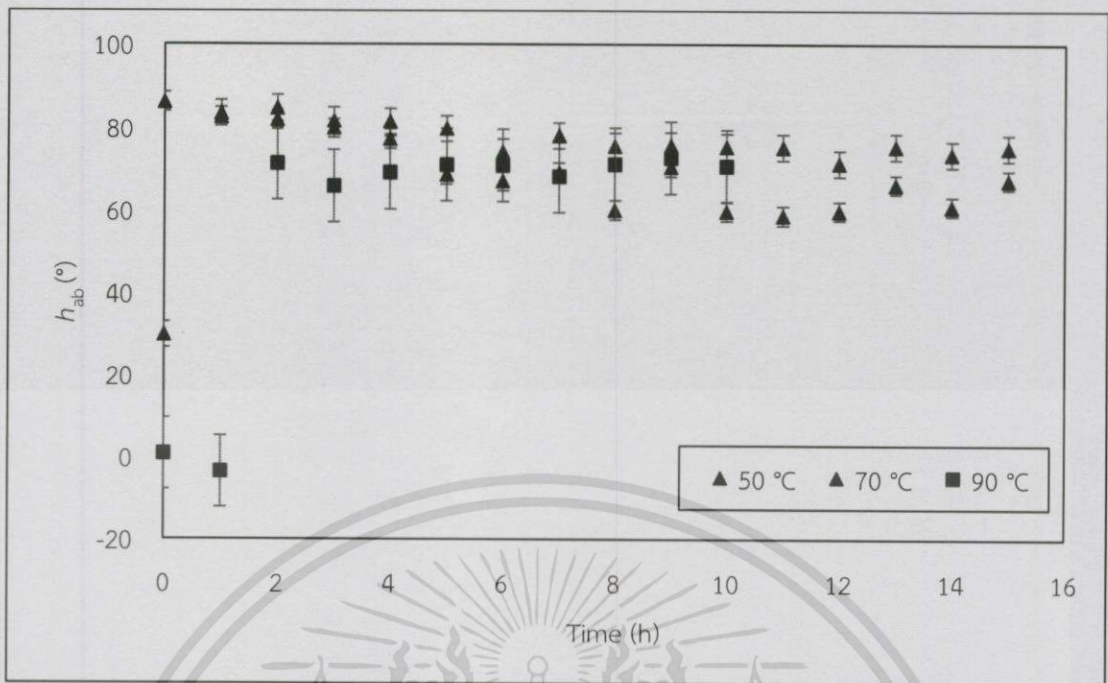


รูปที่ ข.2.23 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ

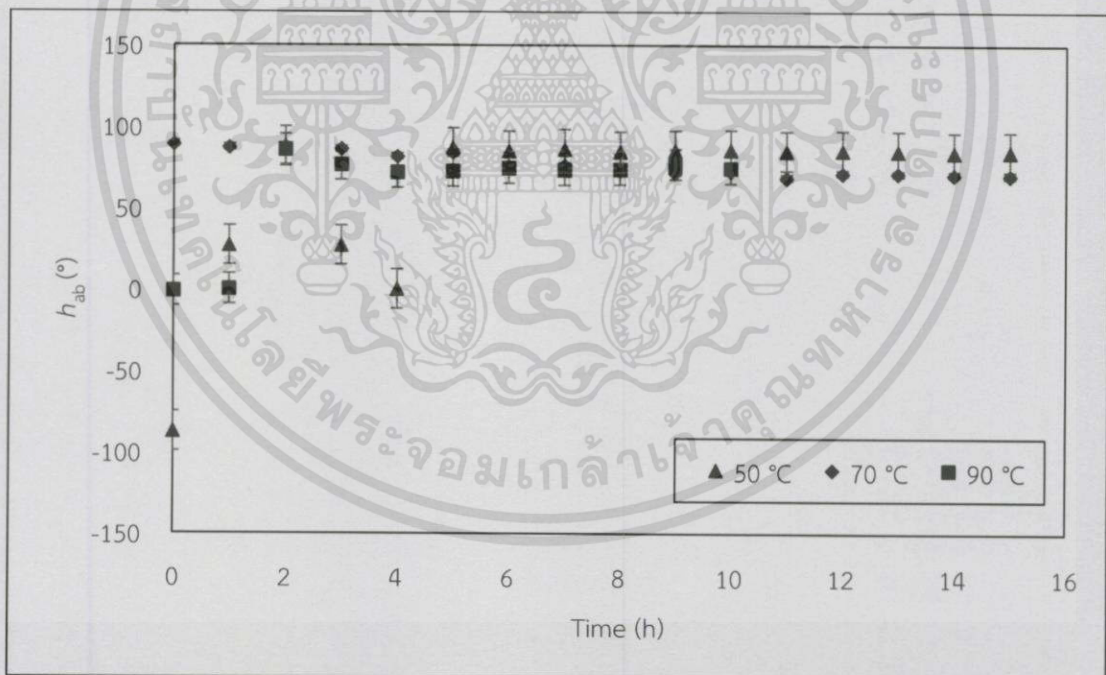


รูปที่ ข.2.24 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

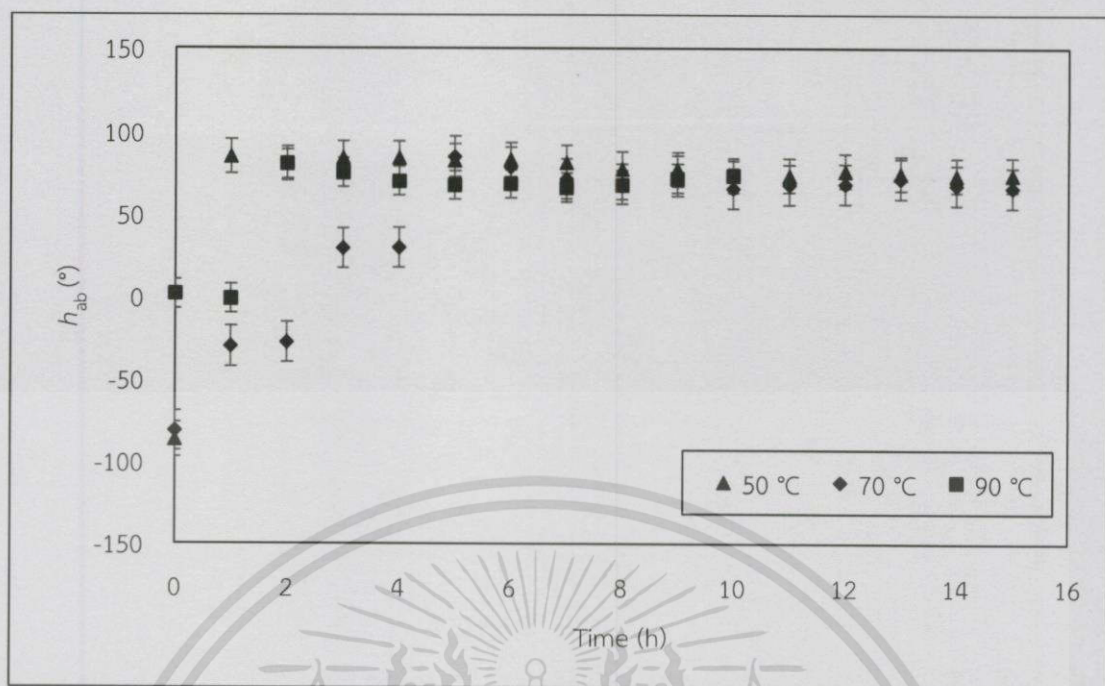


รูปที่ ข.2.25 การเปลี่ยนแปลงค่าฮีตัน (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ไม่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ

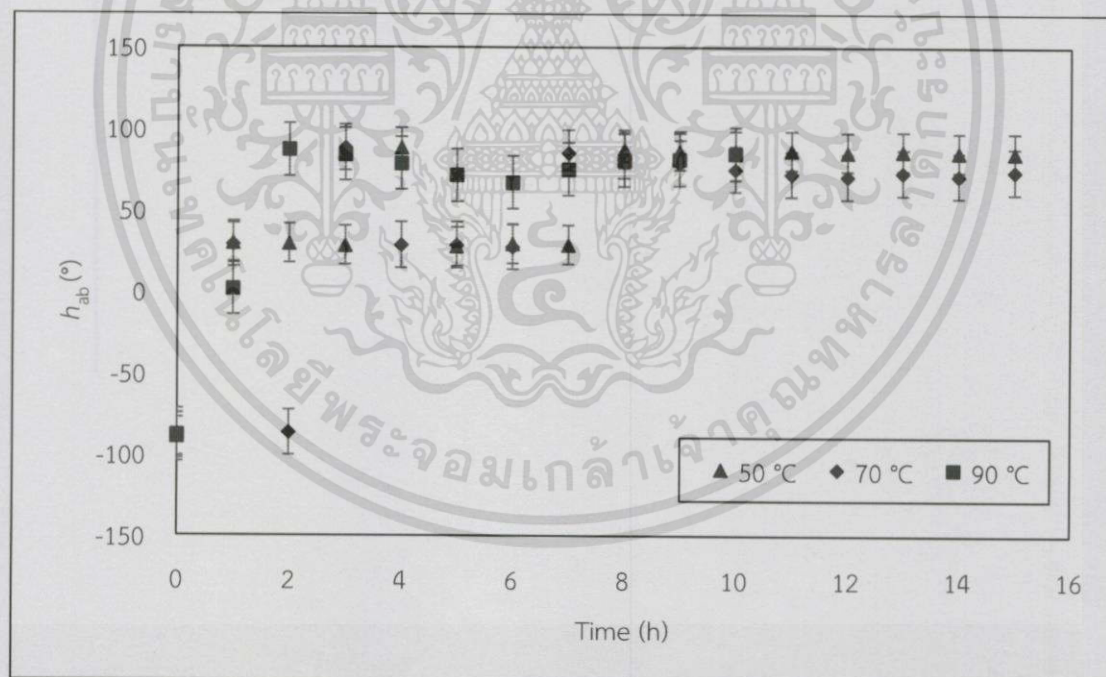


รูปที่ ข.2.26 การเปลี่ยนแปลงค่าฮีตัน (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

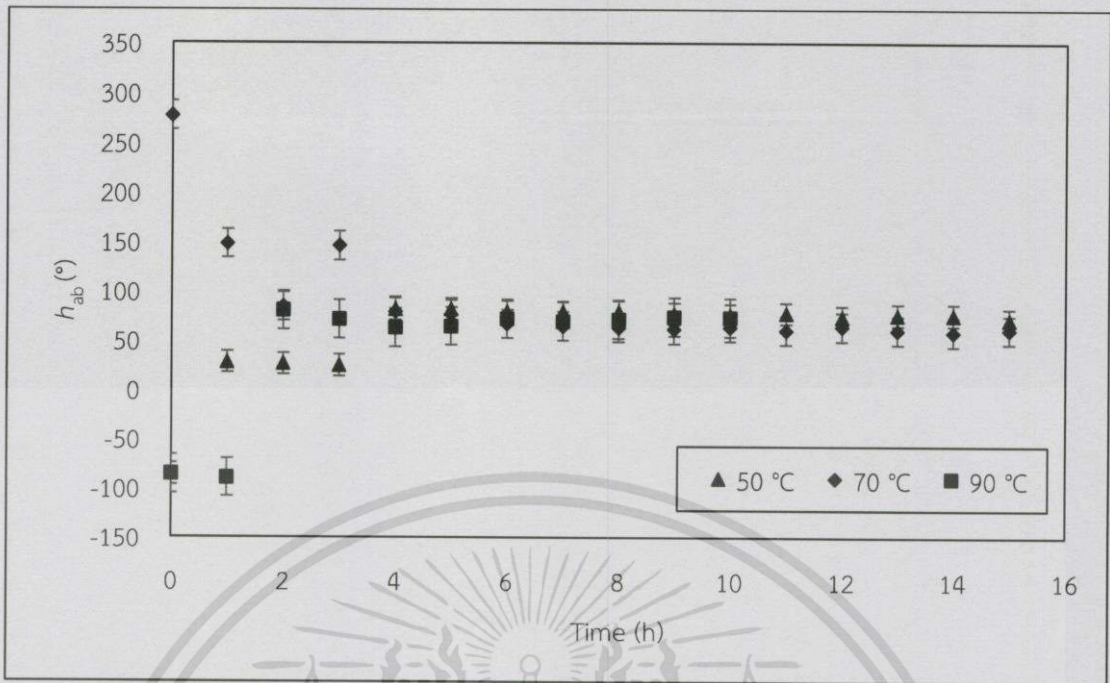


รูปที่ ข.2.27 การเปลี่ยนแปลงค่าฮีตสัน (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ

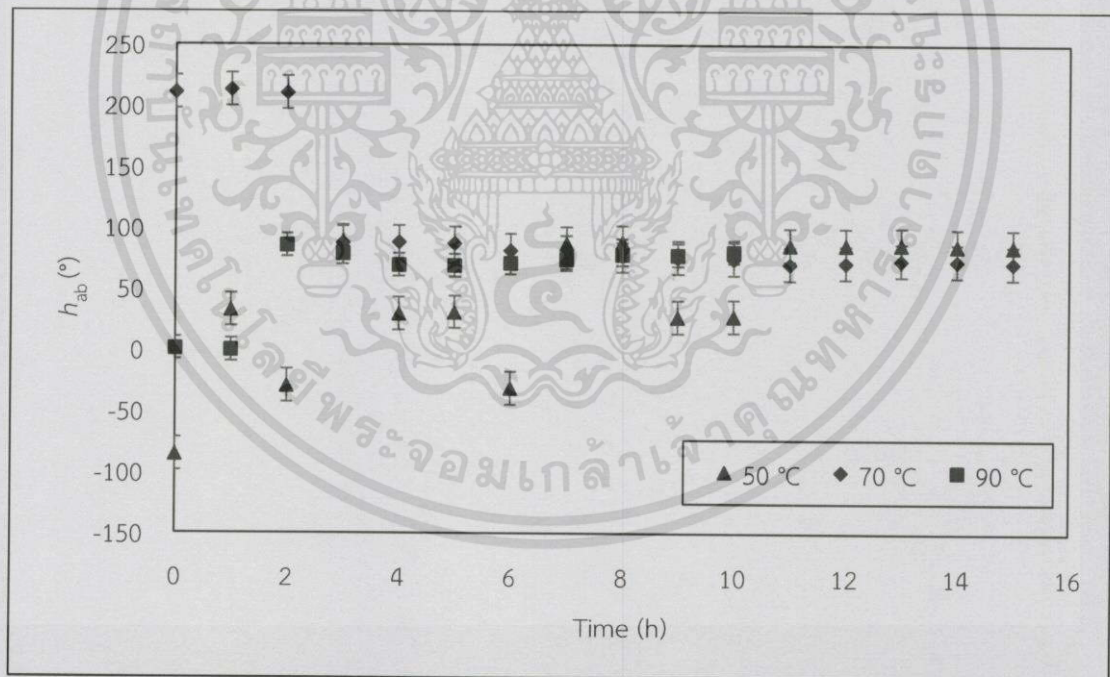


รูปที่ ข.2.28 การเปลี่ยนแปลงค่าฮีตสัน (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมที่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



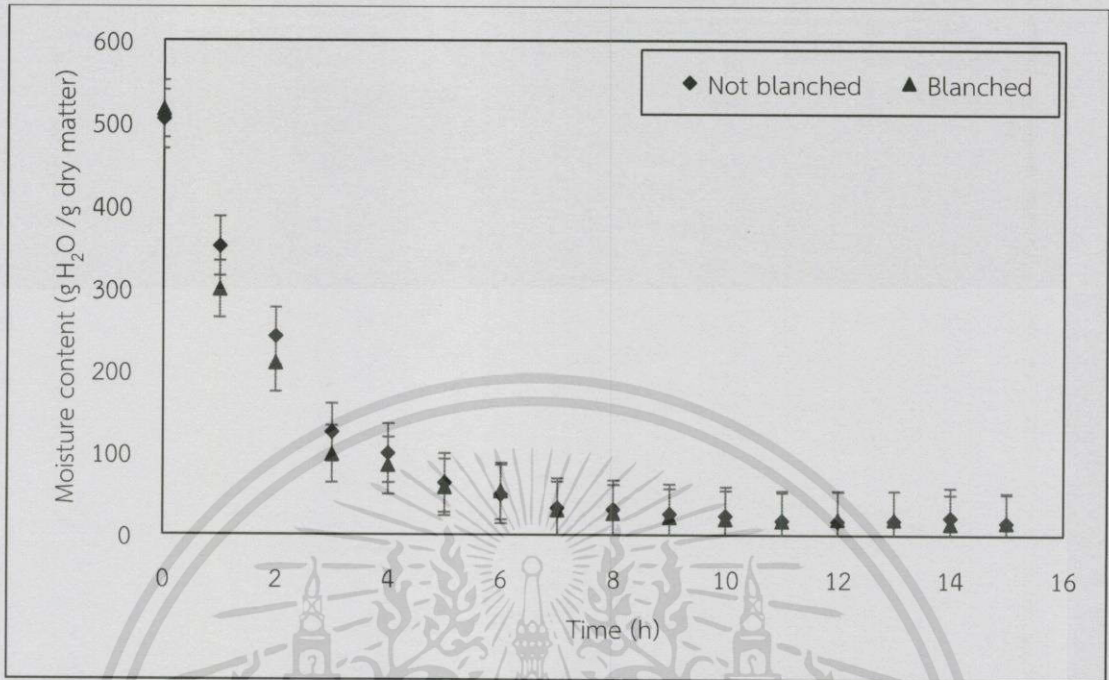
รูปที่ ข.2.29 การเปลี่ยนแปลงค่าสีสัน (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมที่ไม่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ



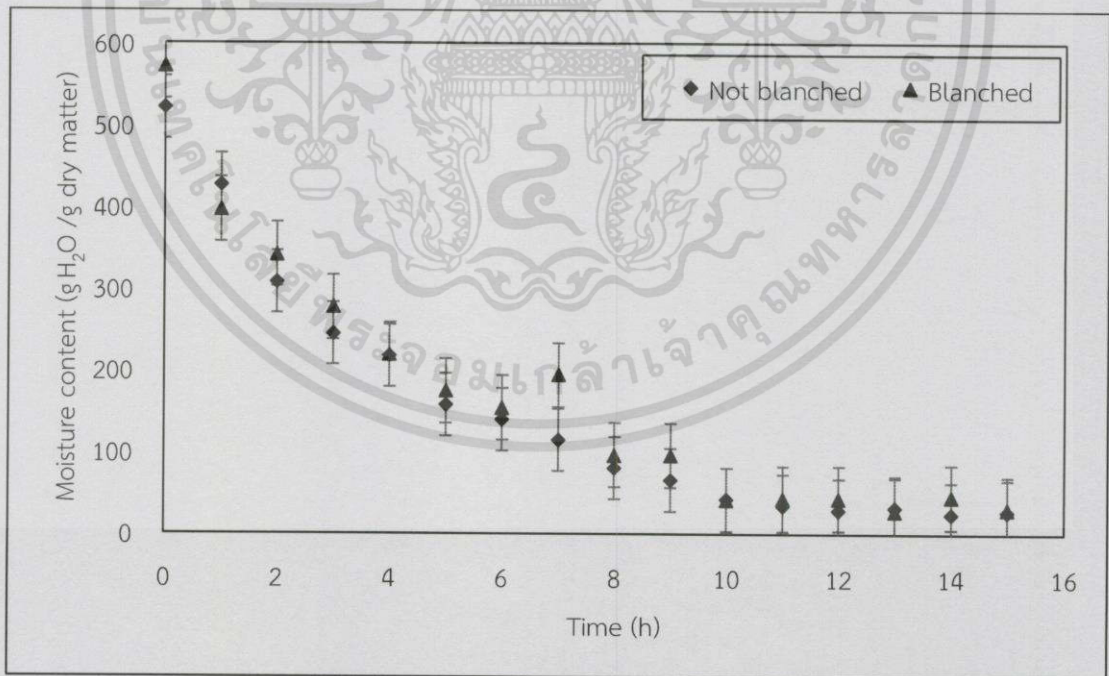
รูปที่ ข.2.30 การเปลี่ยนแปลงค่าสีสัน (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมที่ไม่ผ่านการลวกขณะอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

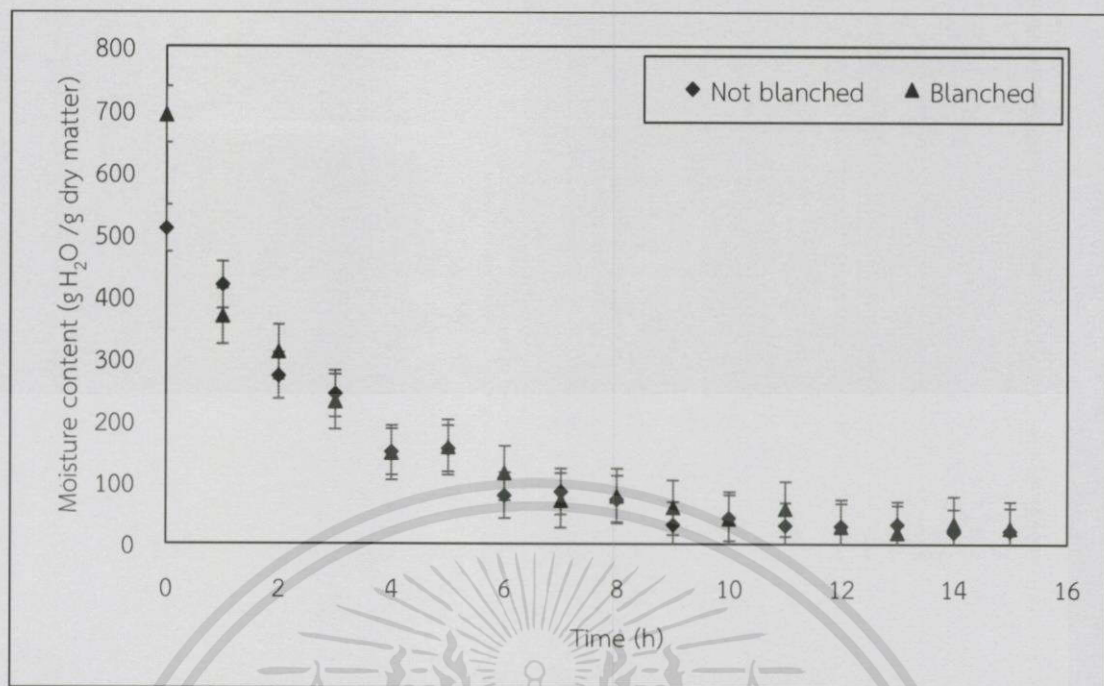
ข.3 อธิพลของการลวกต่อการเปลี่ยนแปลงของไขมันฝรั่งระหว่างการอบแห้ง



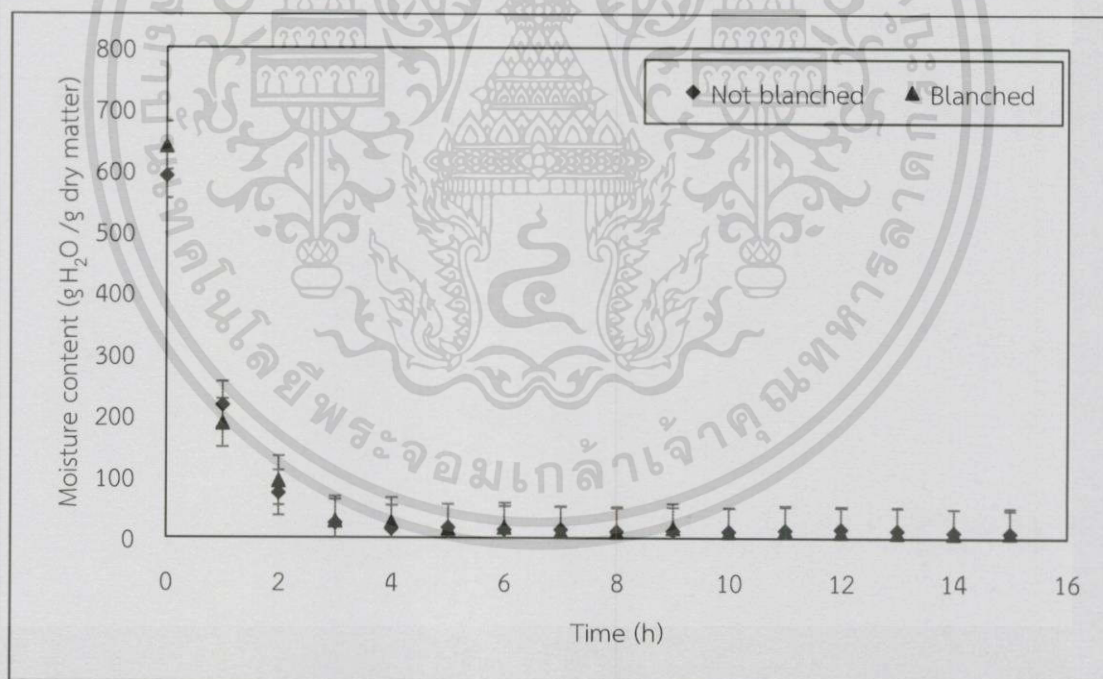
รูปที่ ข.3.1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของไขมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



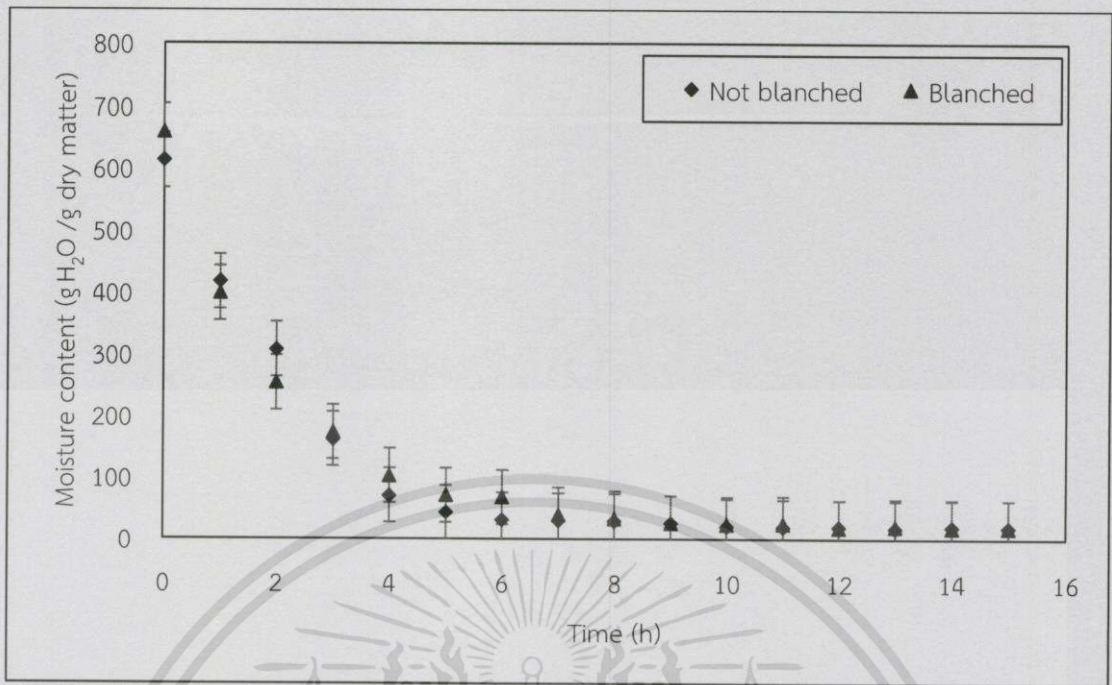
รูปที่ ข.3.2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของไขมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



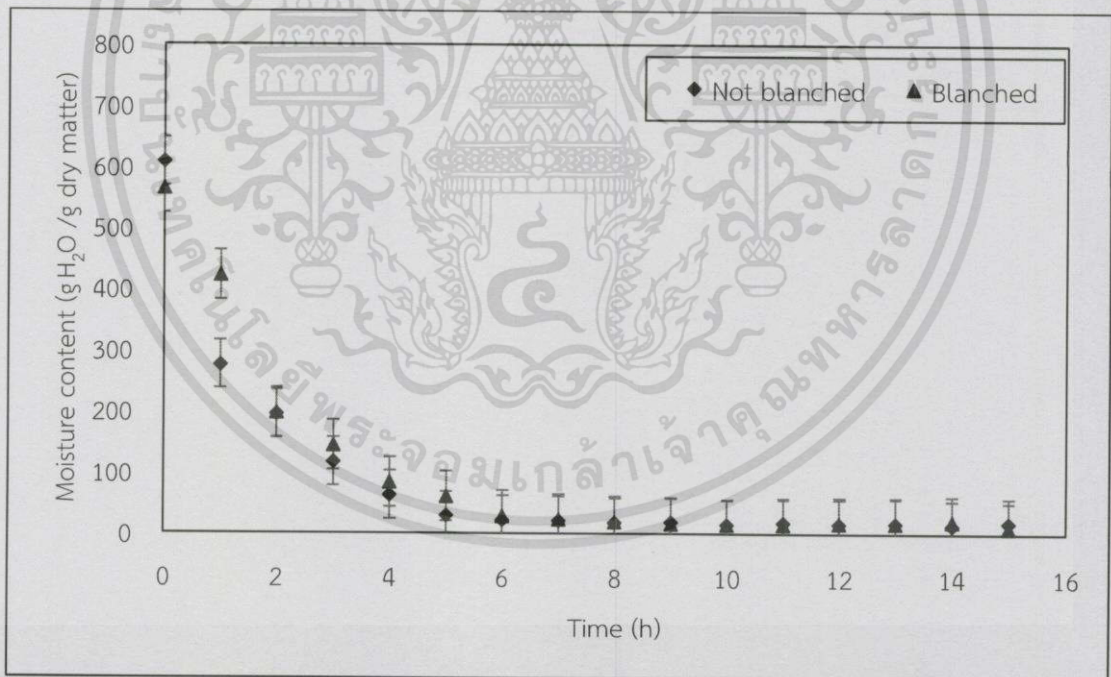
รูปที่ ข.3.3 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของผักสดรูปทรงแผ่นสีเขียวระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



รูปที่ ข.3.4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของผักสดรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

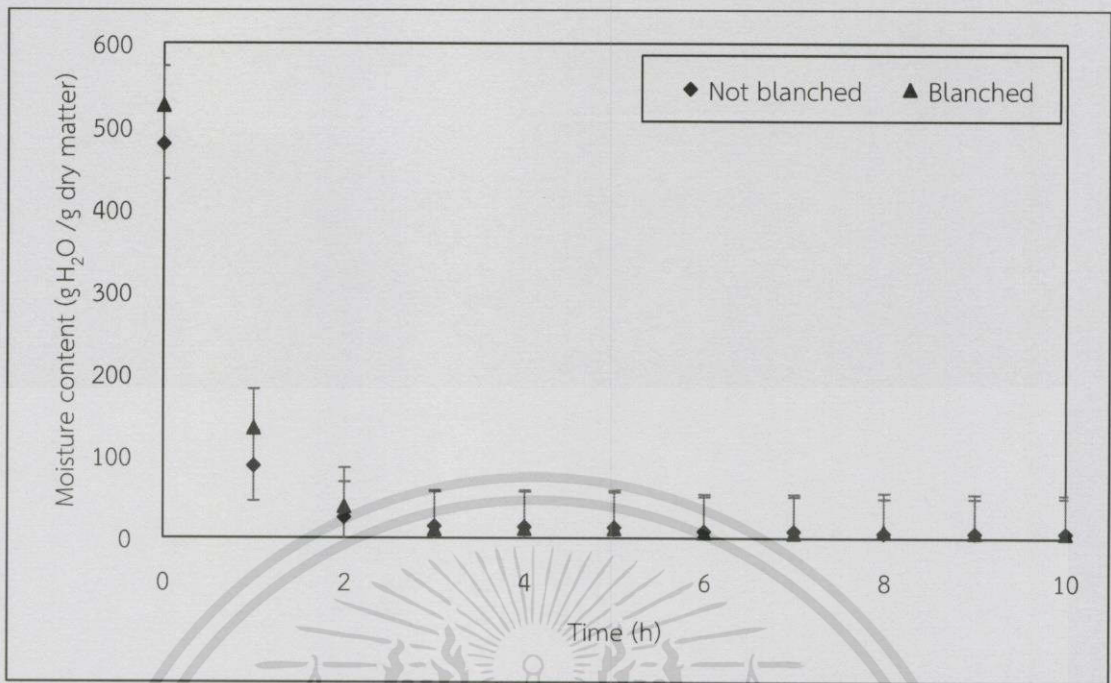


รูปที่ ข.3.5 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

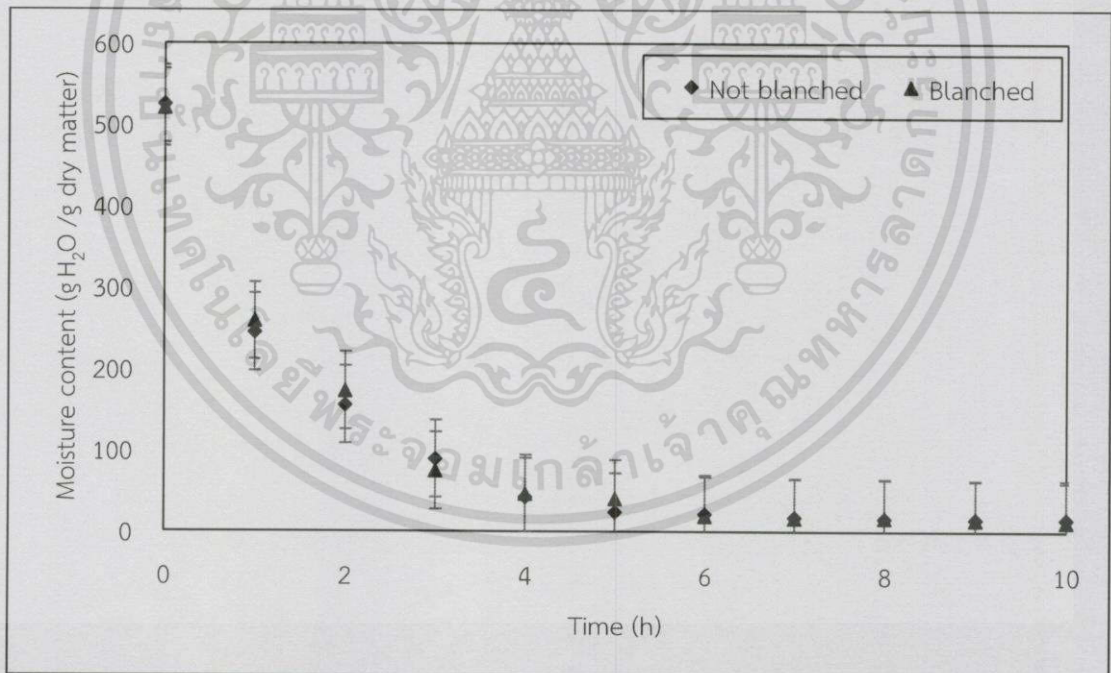


รูปที่ ข.3.6 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

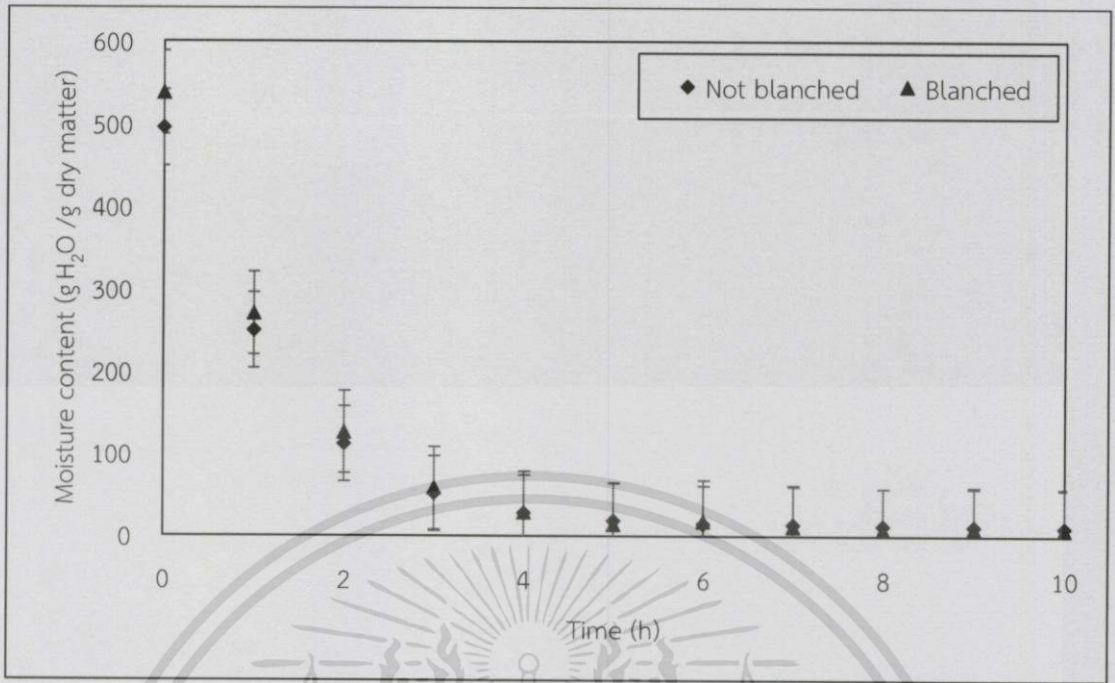


รูปที่ ข.3.7 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

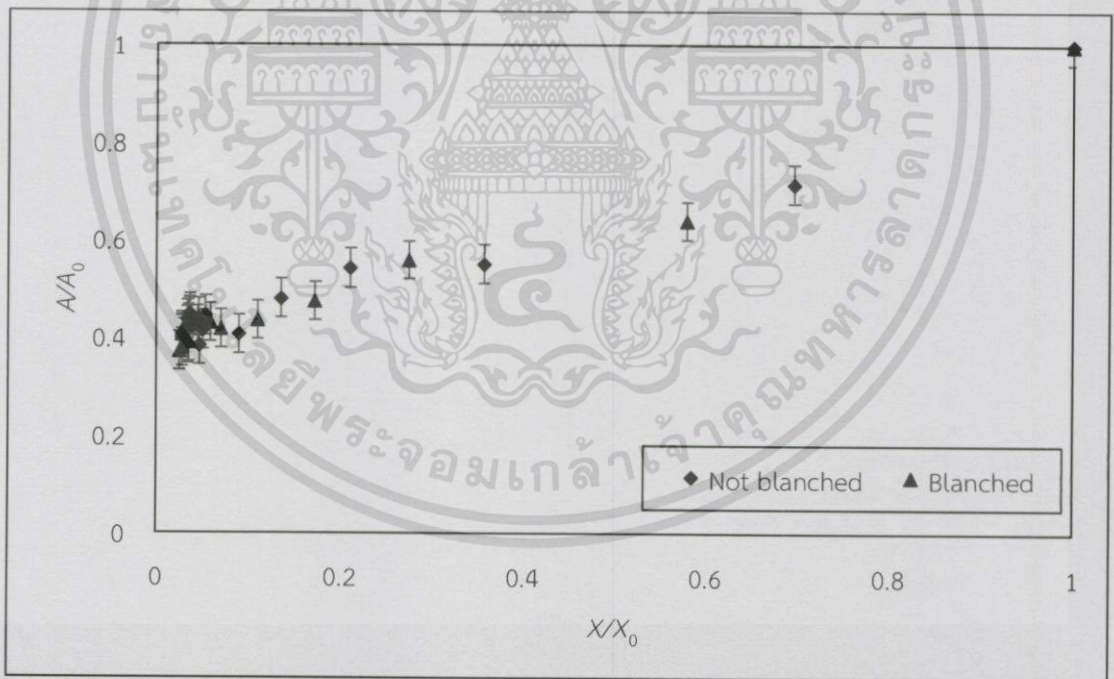


รูปที่ ข.3.8 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมันฝรั่งทรงแผ่นกลมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

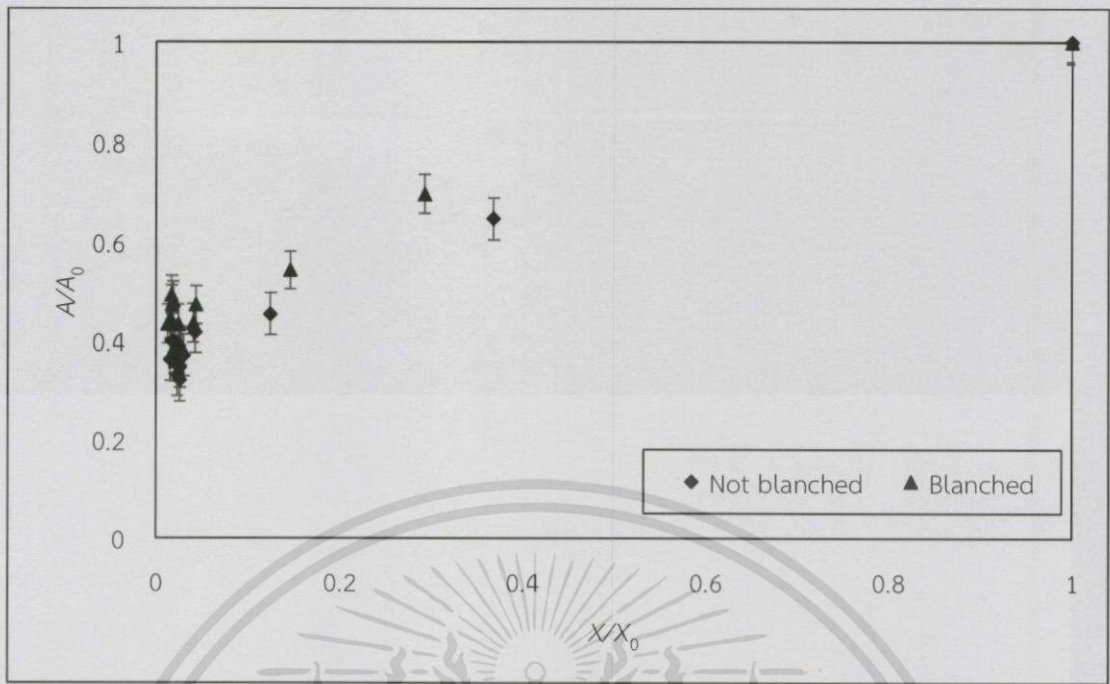


รูปที่ ข.3.9 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

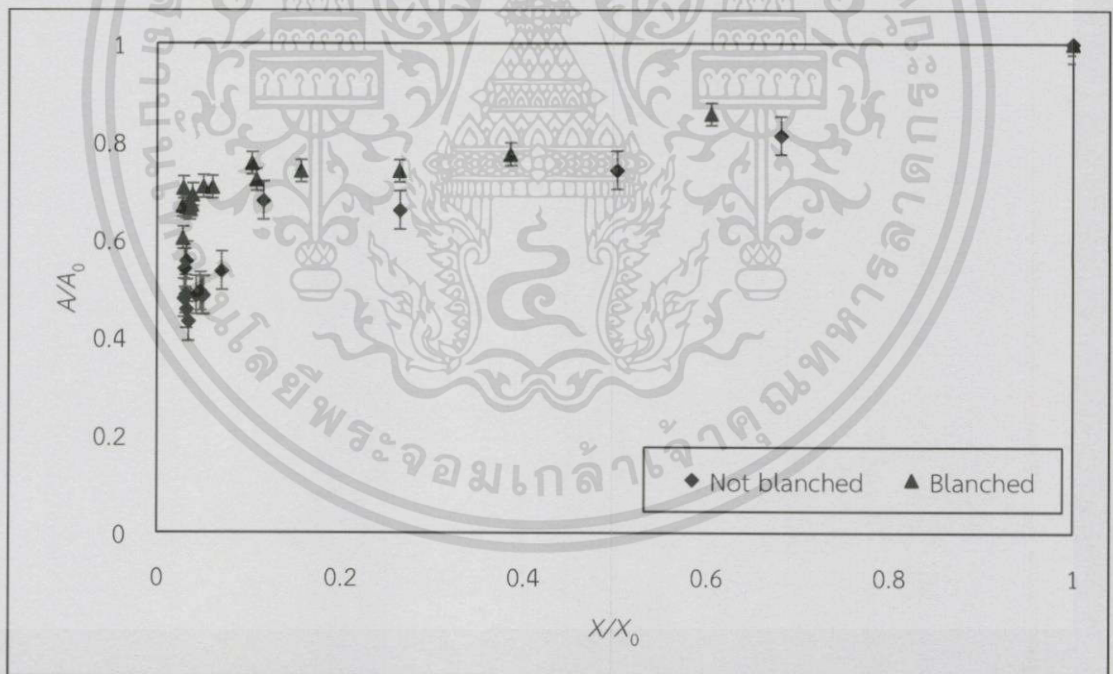


รูปที่ ข.3.10 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

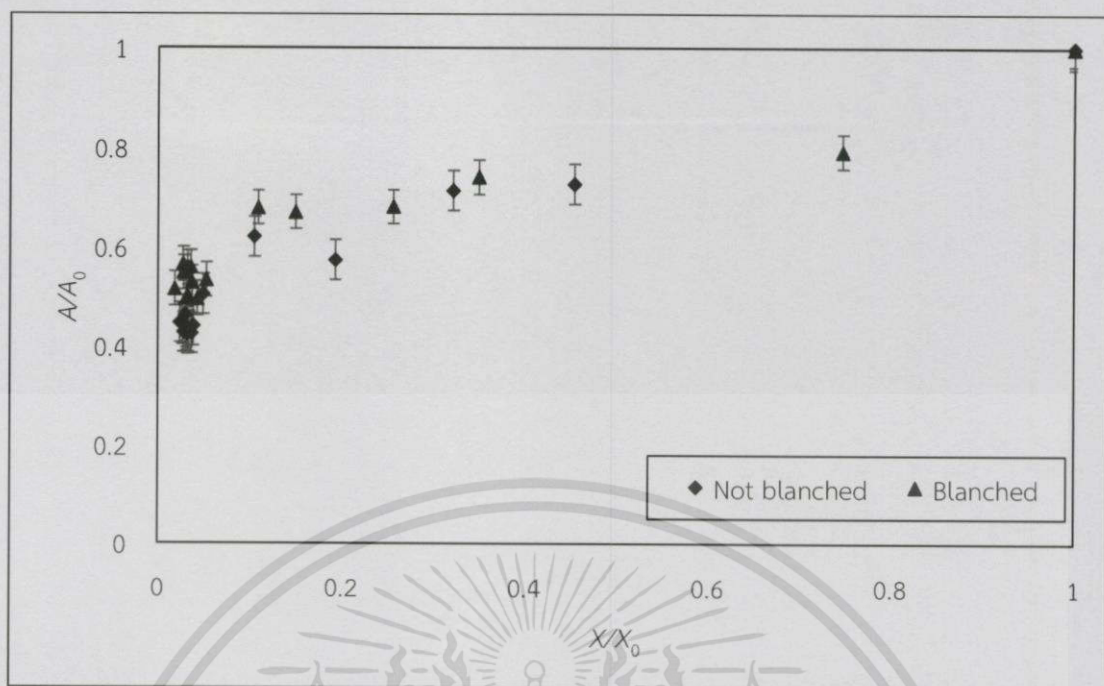
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



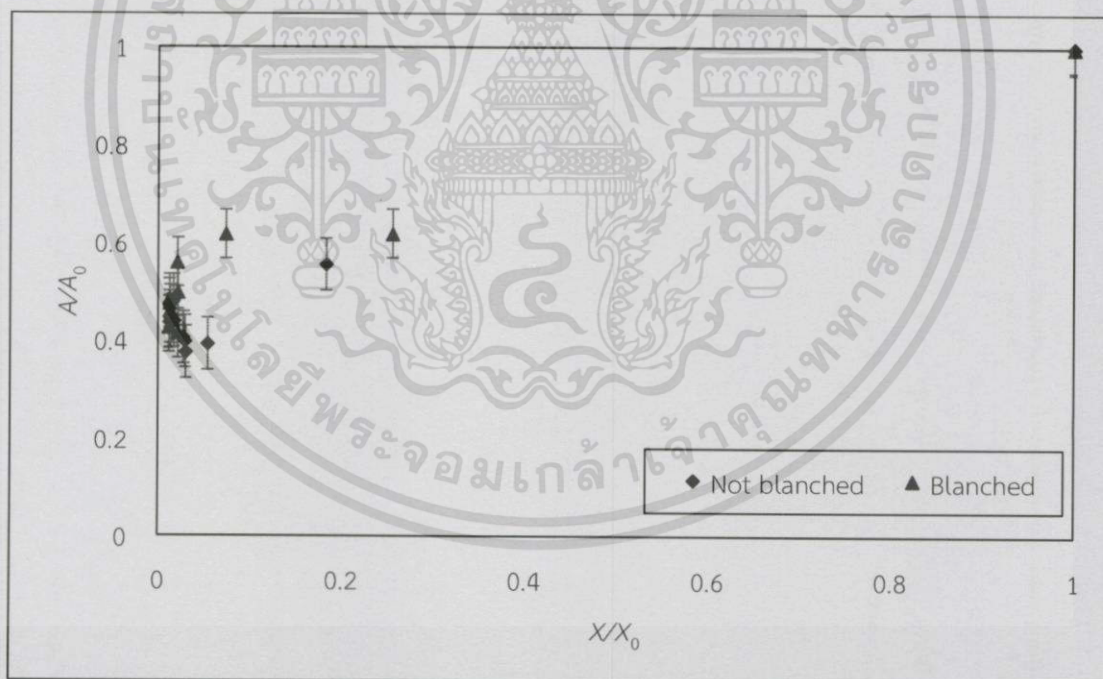
รูปที่ ข.3.13 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายต่อความเข้มข้นของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



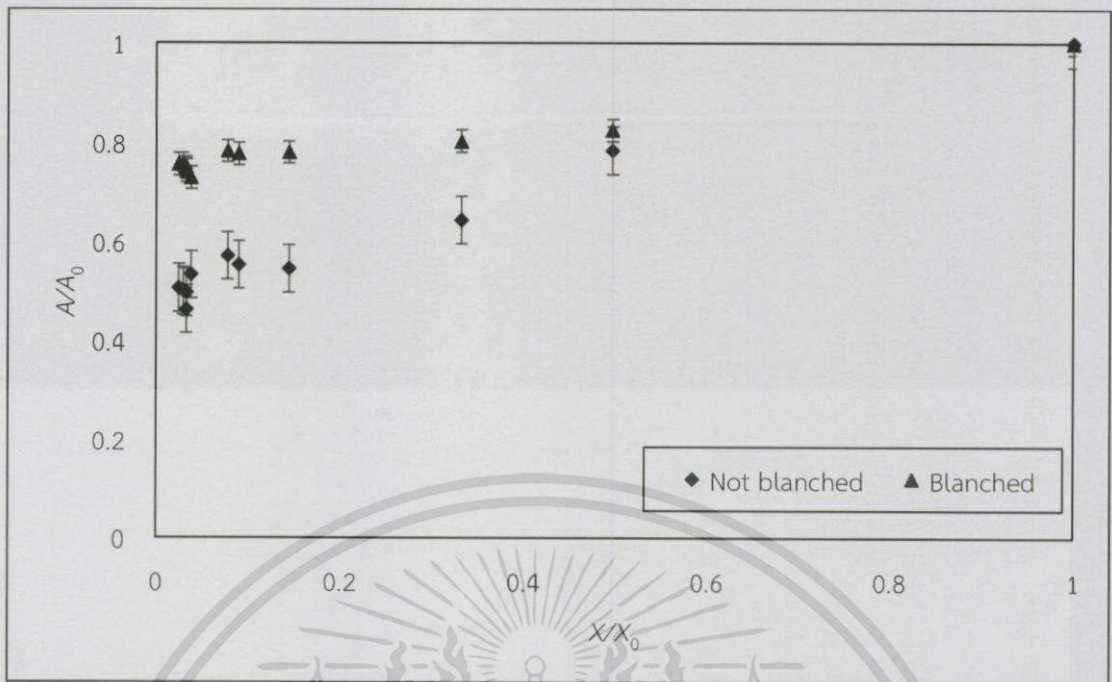
รูปที่ ข.3.14 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายต่อความเข้มข้นของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



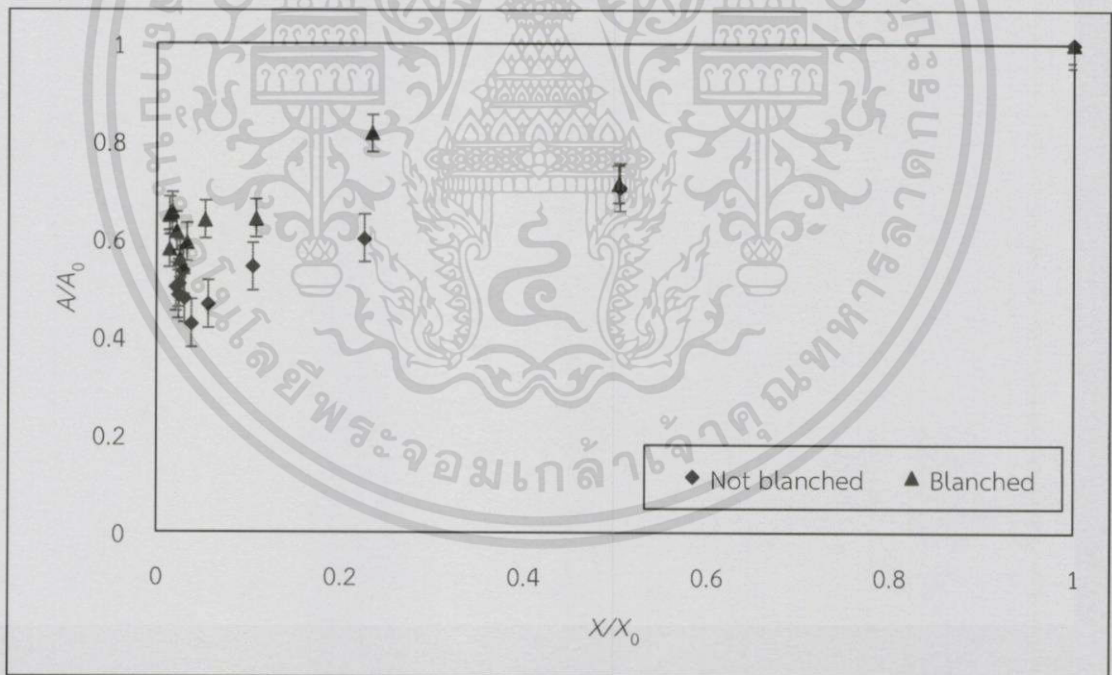
รูปที่ ข.3.15 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



รูปที่ ข.3.16 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

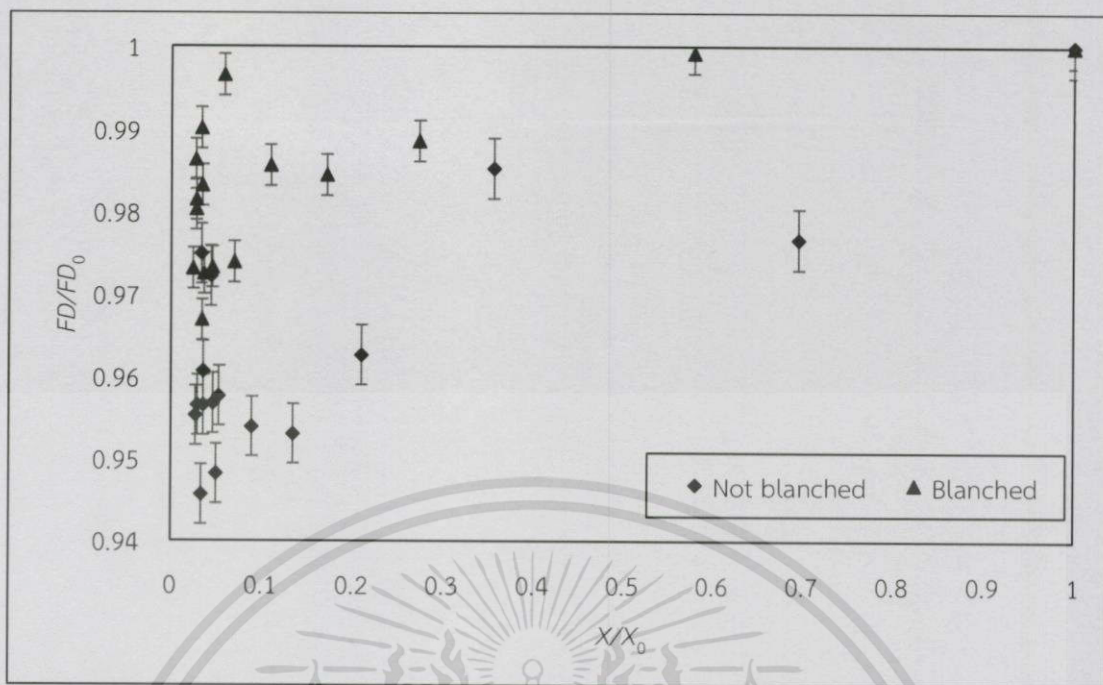


รูปที่ ข.3.17 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

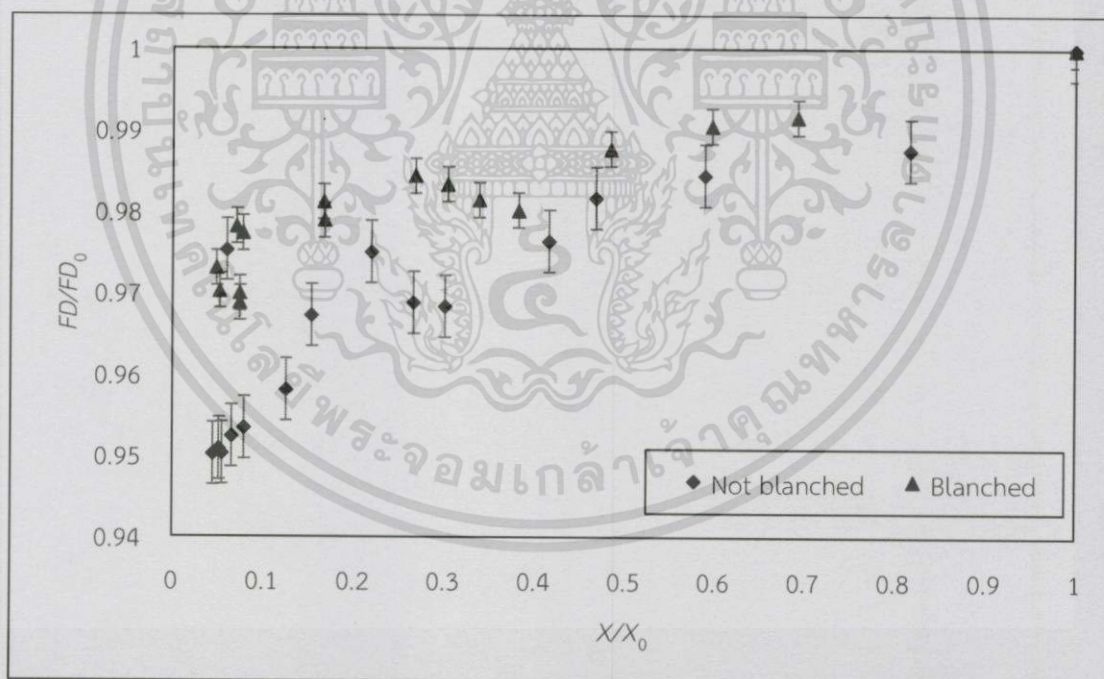


รูปที่ ข.3.18 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

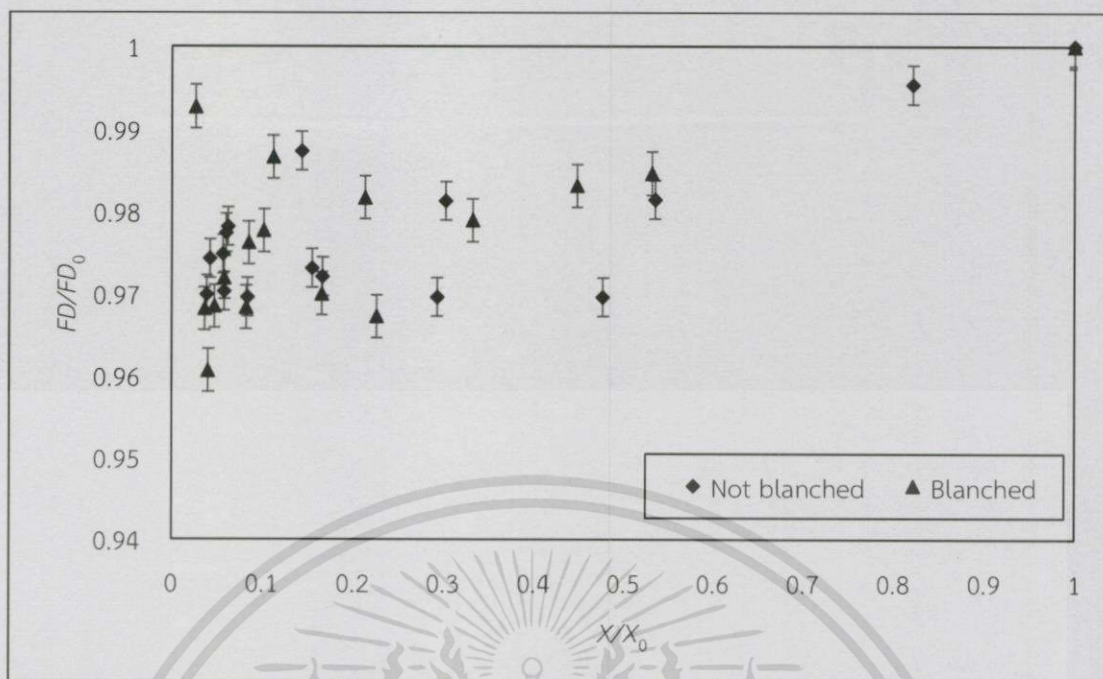
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



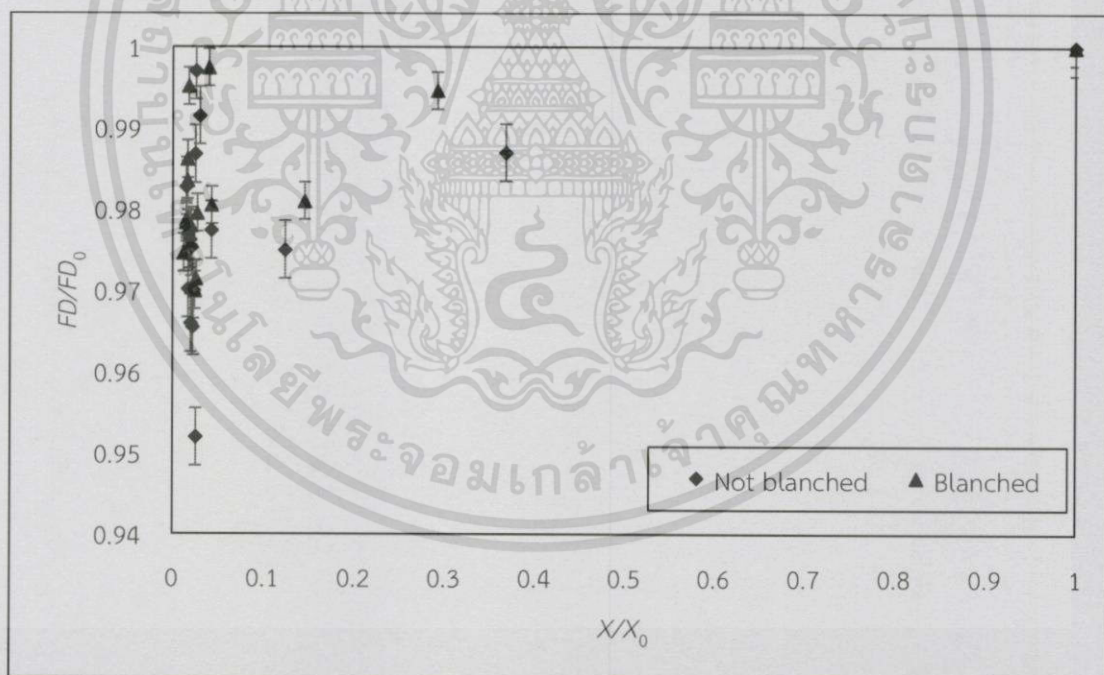
รูปที่ ข.3.19 อัตราส่วนแฟร็กทัลต่อความชื้นของน้ำมันรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



รูปที่ ข.3.20 อัตราส่วนแฟร็กทัลต่อความชื้นของน้ำมันรูปทรงแผ่นกลมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

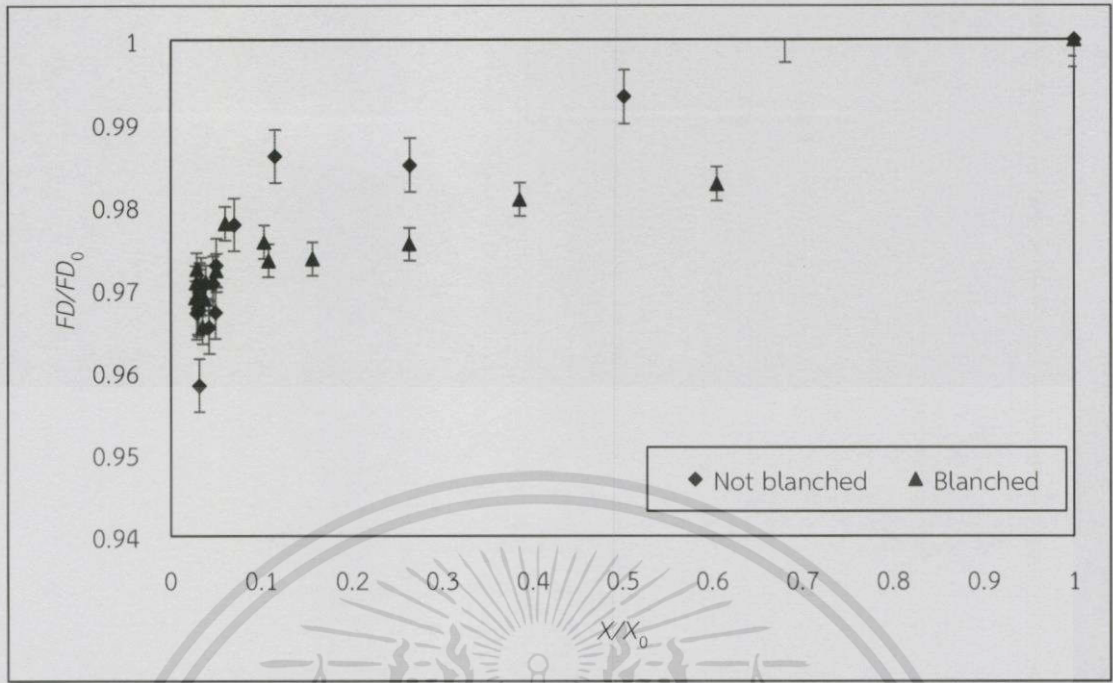


รูปที่ ข.3.21 อัตราส่วนแฟร็กต์ลต่อความชื้นของน้ำมันรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

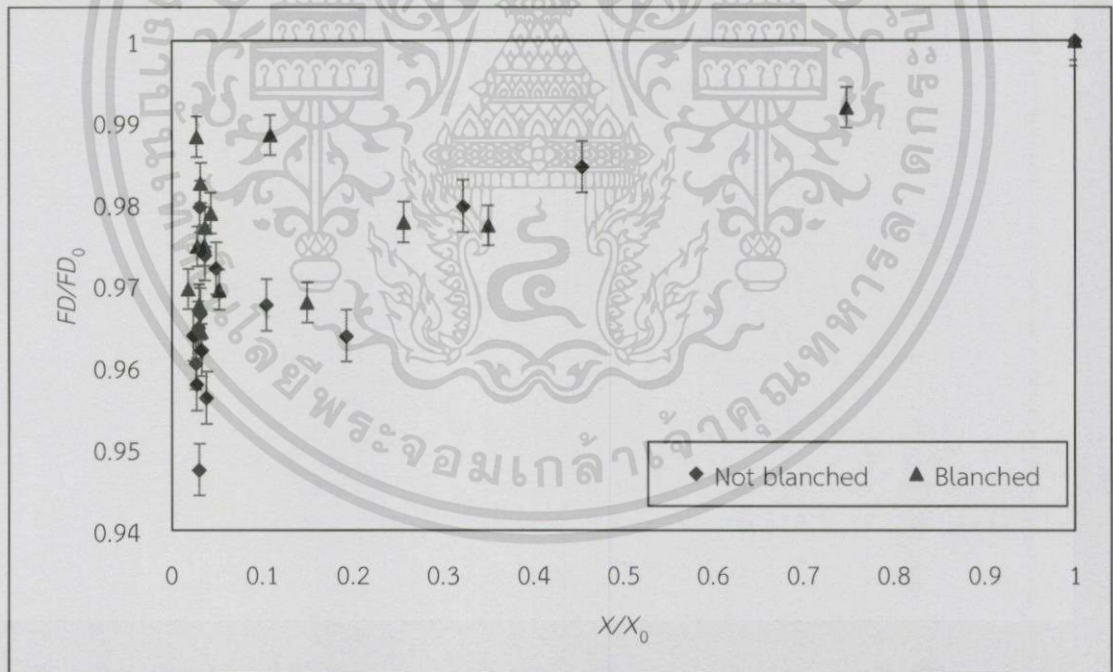


รูปที่ ข.3.22 อัตราส่วนแฟร็กต์ลต่อความชื้นของน้ำมันรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

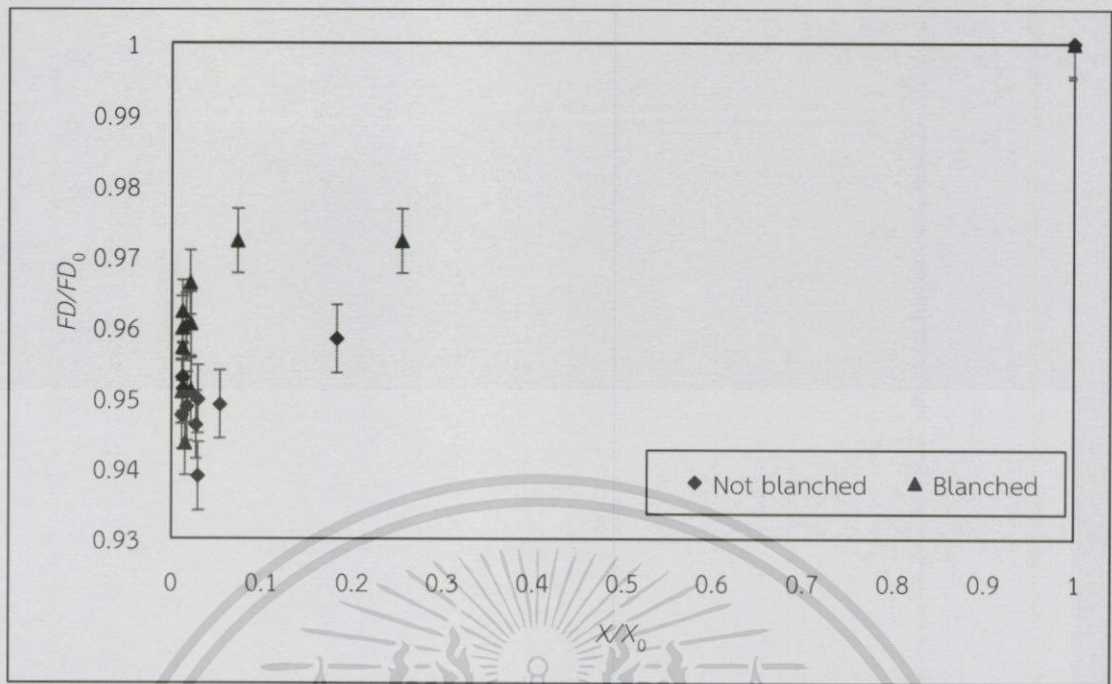
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



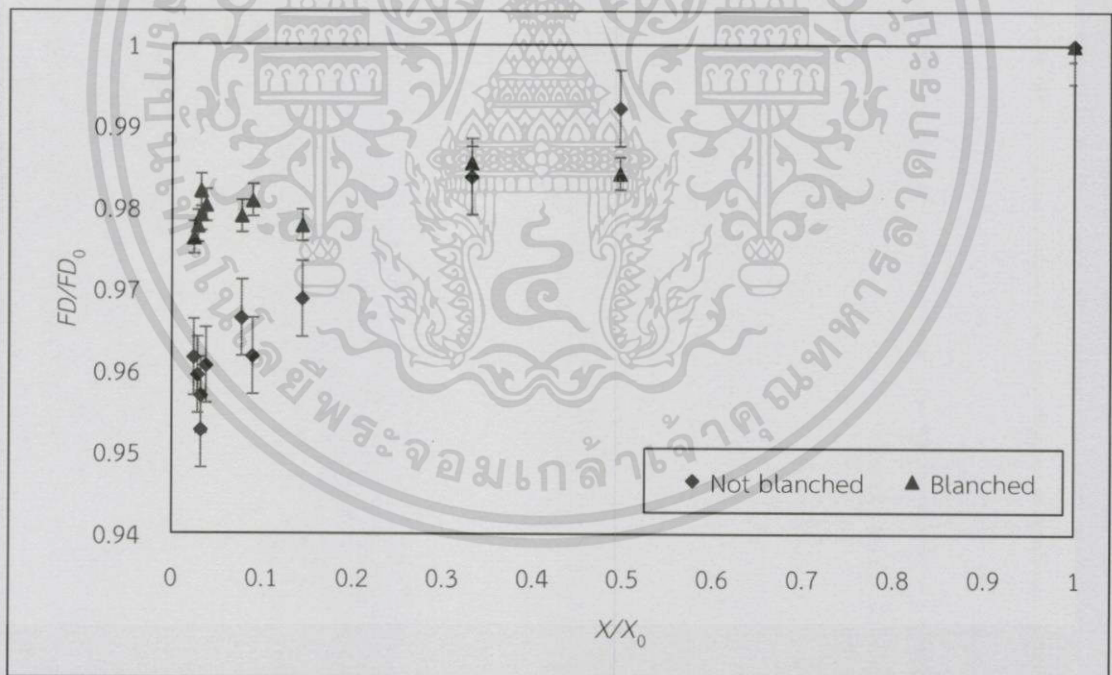
รูปที่ ข.3.23 อัตราส่วนแฟร็คทัลต่อความเข้มข้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



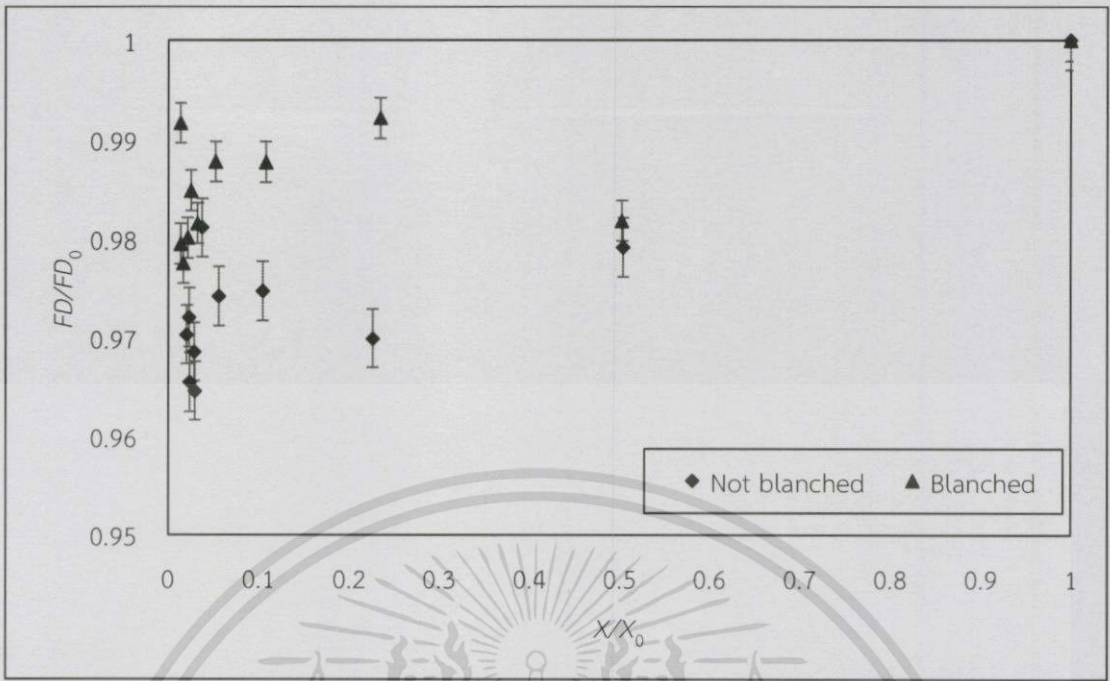
รูปที่ ข.3.24 อัตราส่วนแฟร็คทัลต่อความเข้มข้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



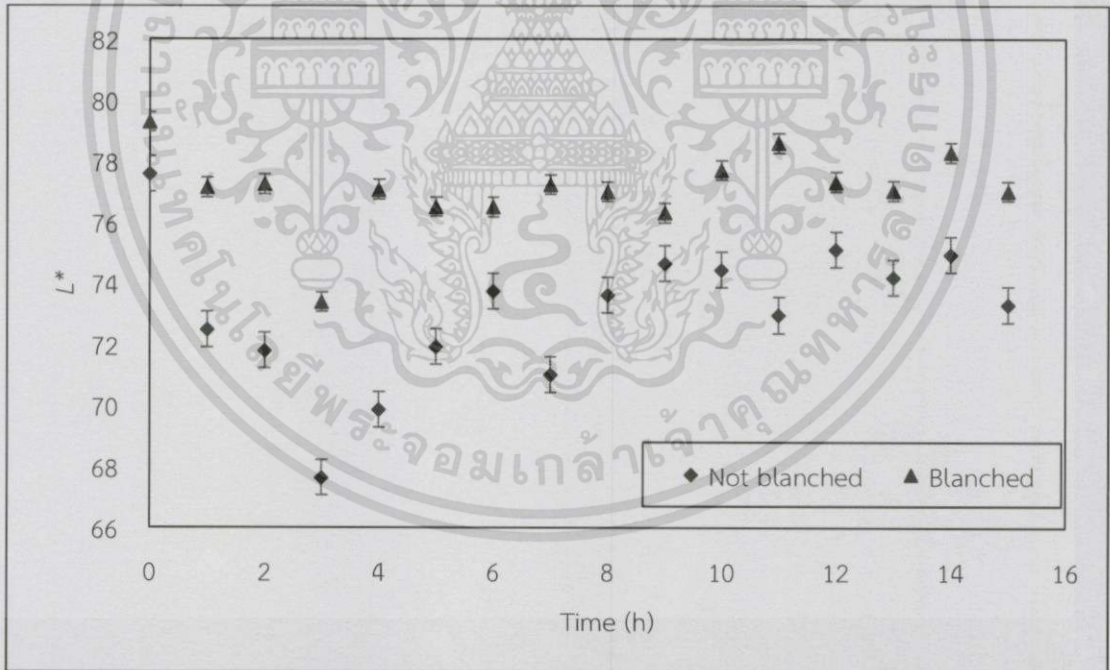
รูปที่ ข.3.25 อัตราส่วนแฟร็คทัลต่อความชื้นของน้ำมันรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส



รูปที่ ข.3.26 อัตราส่วนแฟร็คทัลต่อความชื้นของน้ำมันรูปทรงแผ่นกลมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

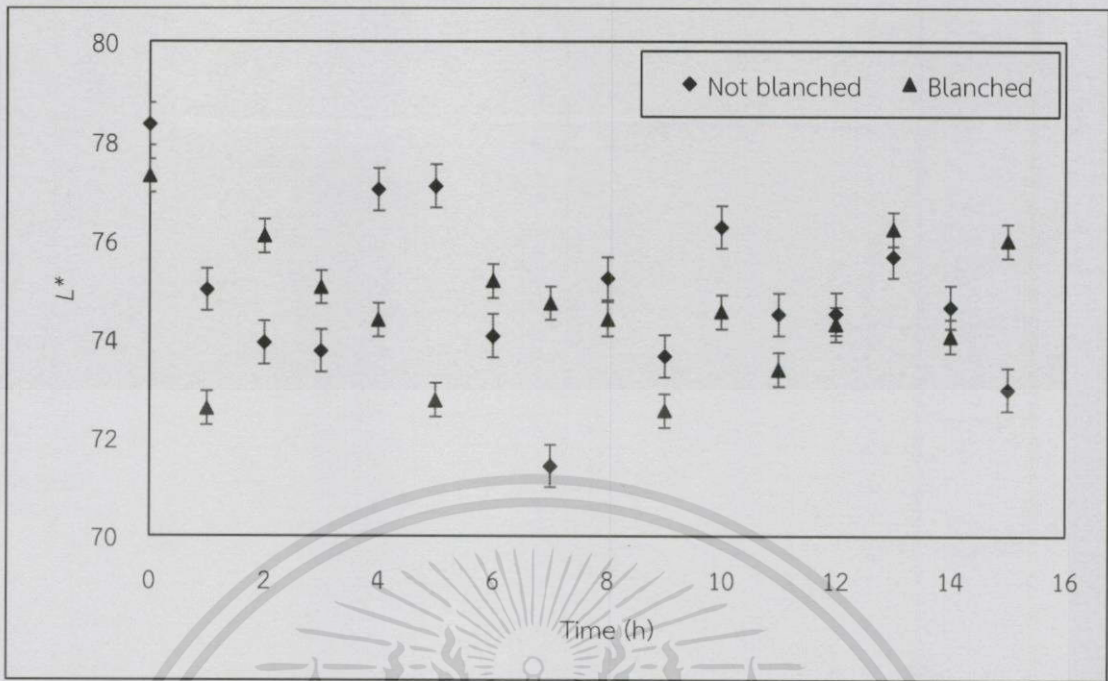


รูปที่ ข.3.27 อัตราส่วนแฟร็กต์ต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

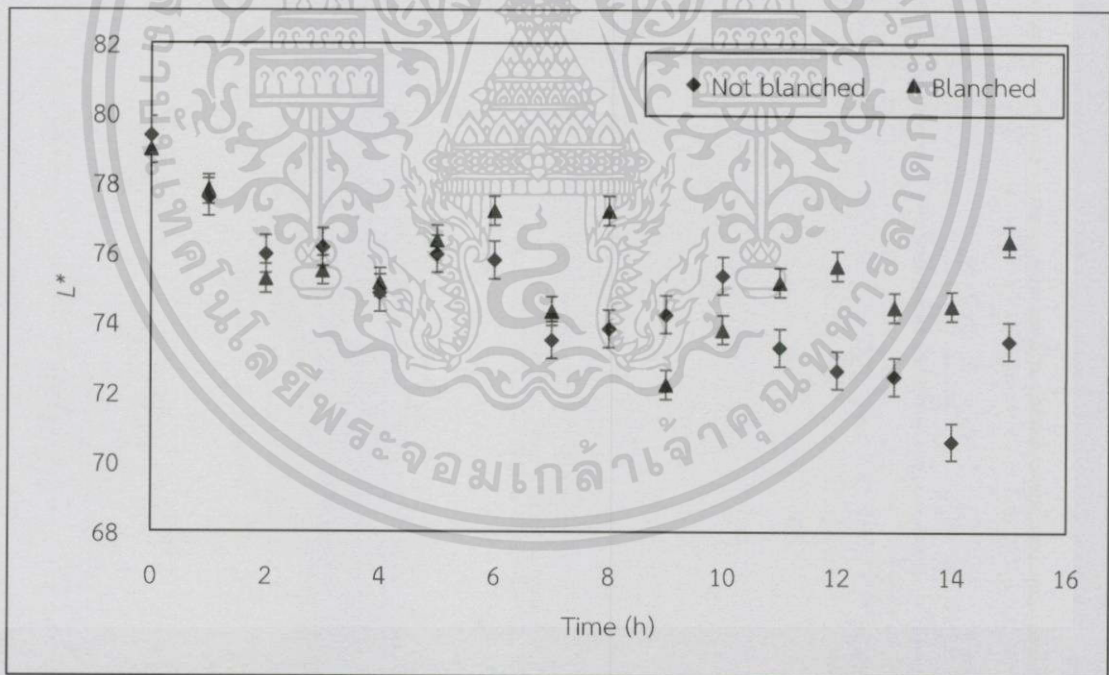


รูปที่ ข.3.28 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

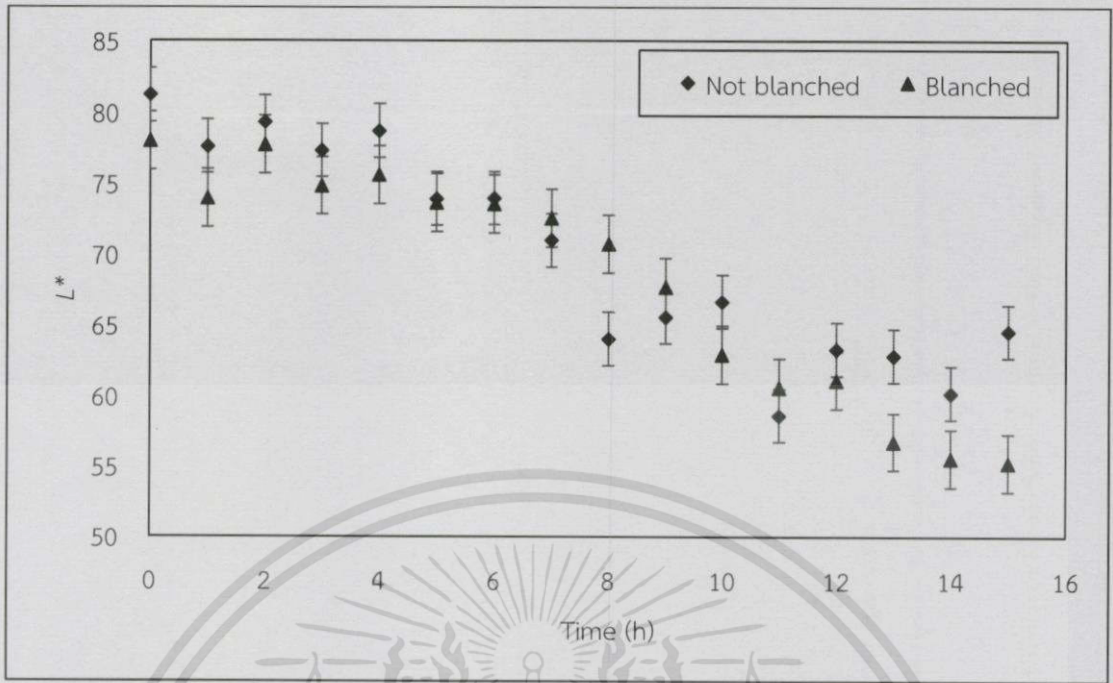


รูปที่ ข.3.29 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

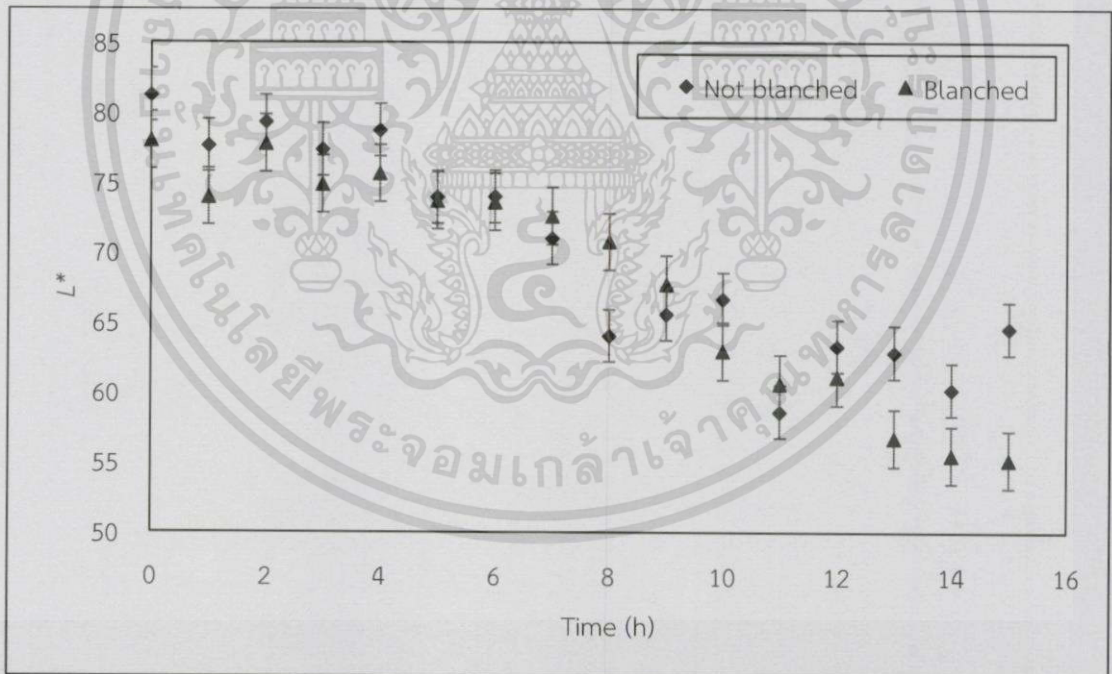


รูปที่ ข.3.30 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

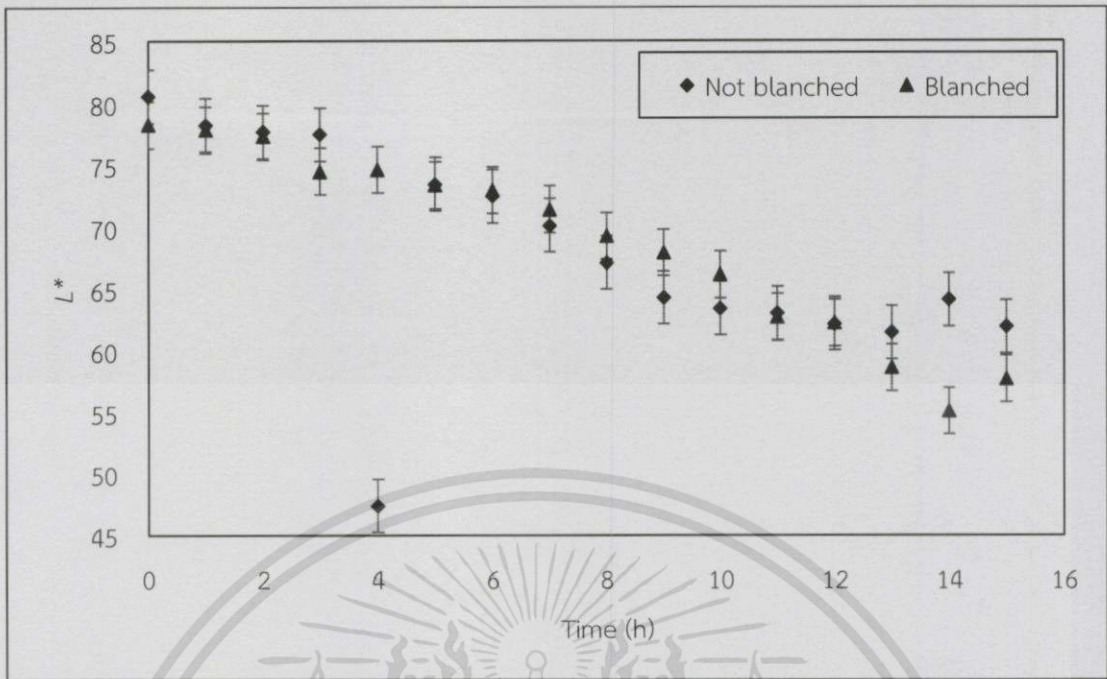


รูปที่ ข.3.31 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

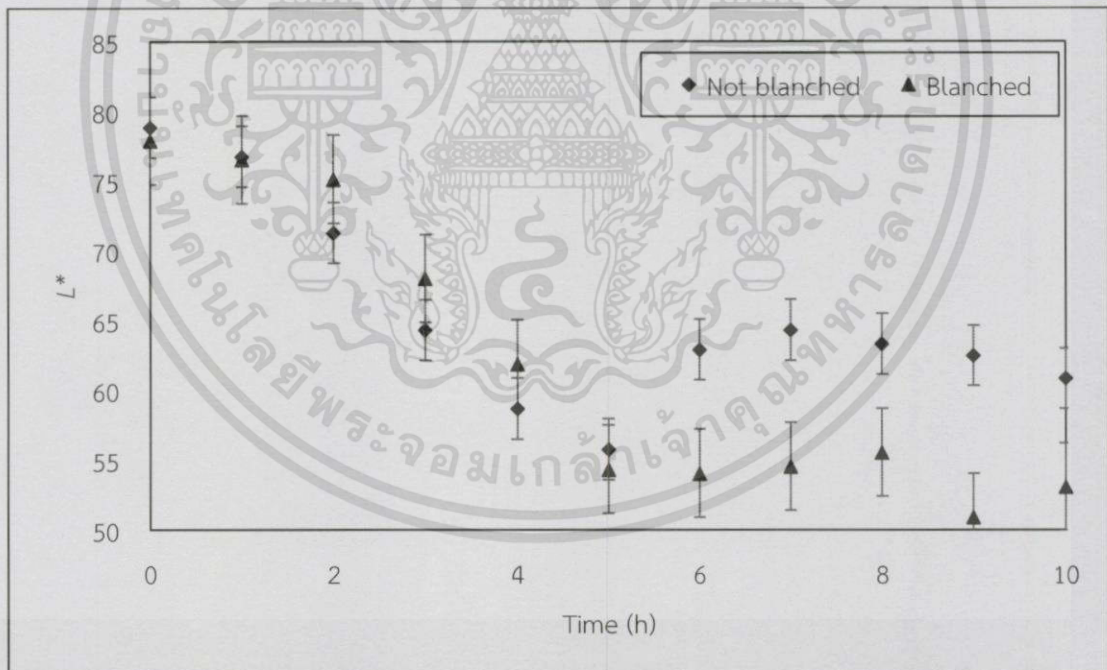


รูปที่ ข.3.32 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

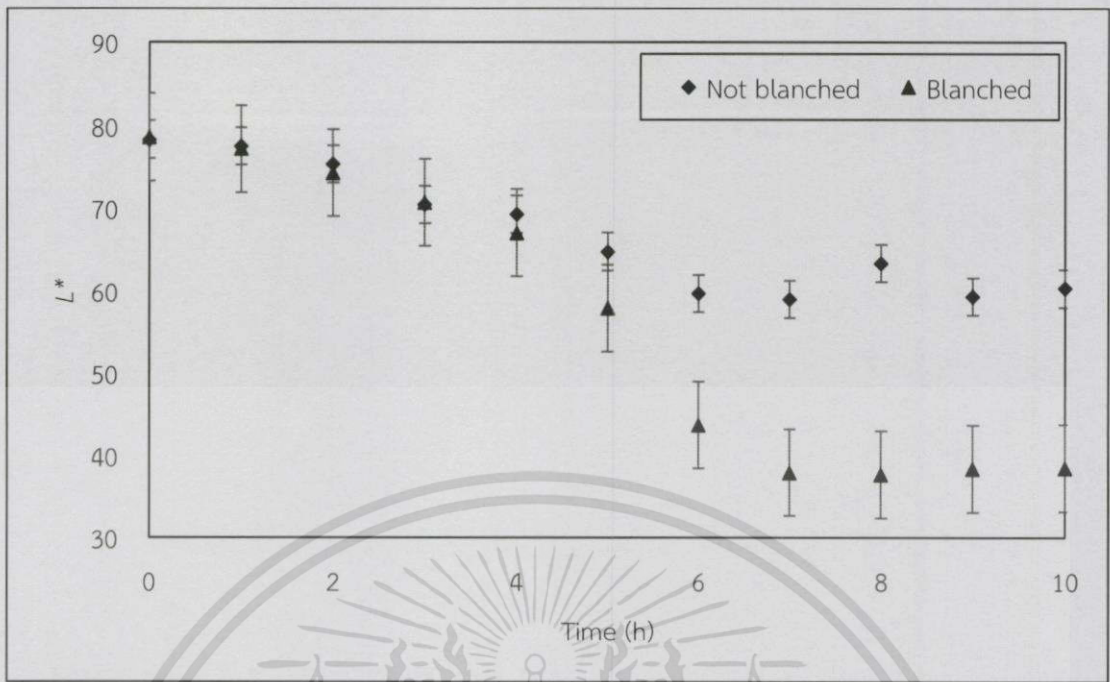


รูปที่ ข.3.33 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

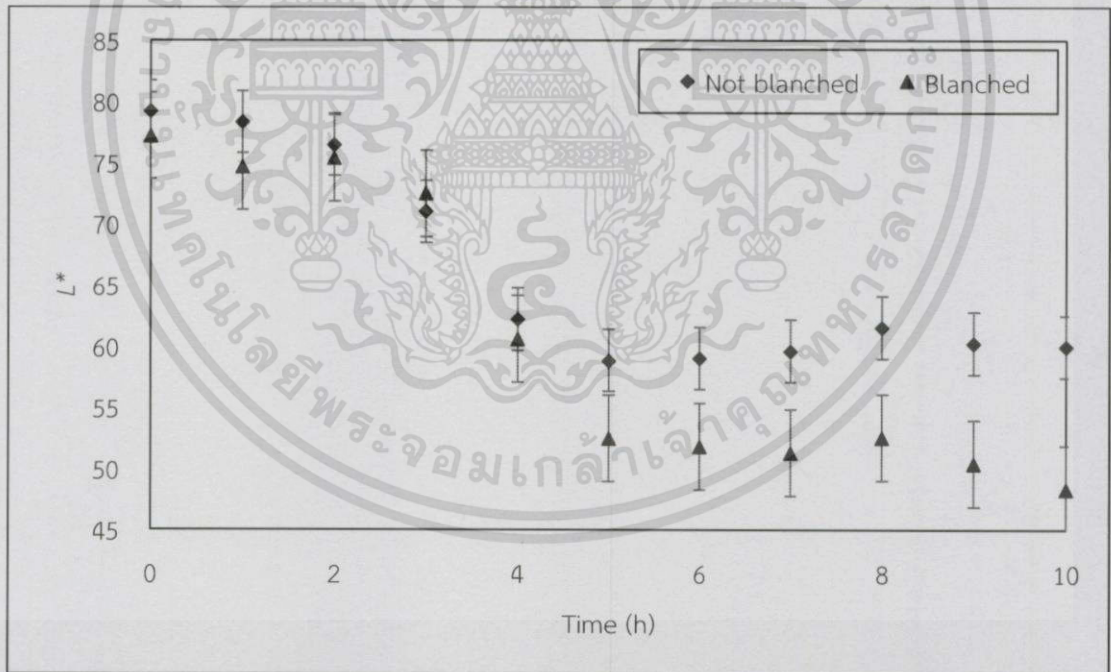


รูปที่ ข.3.34 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

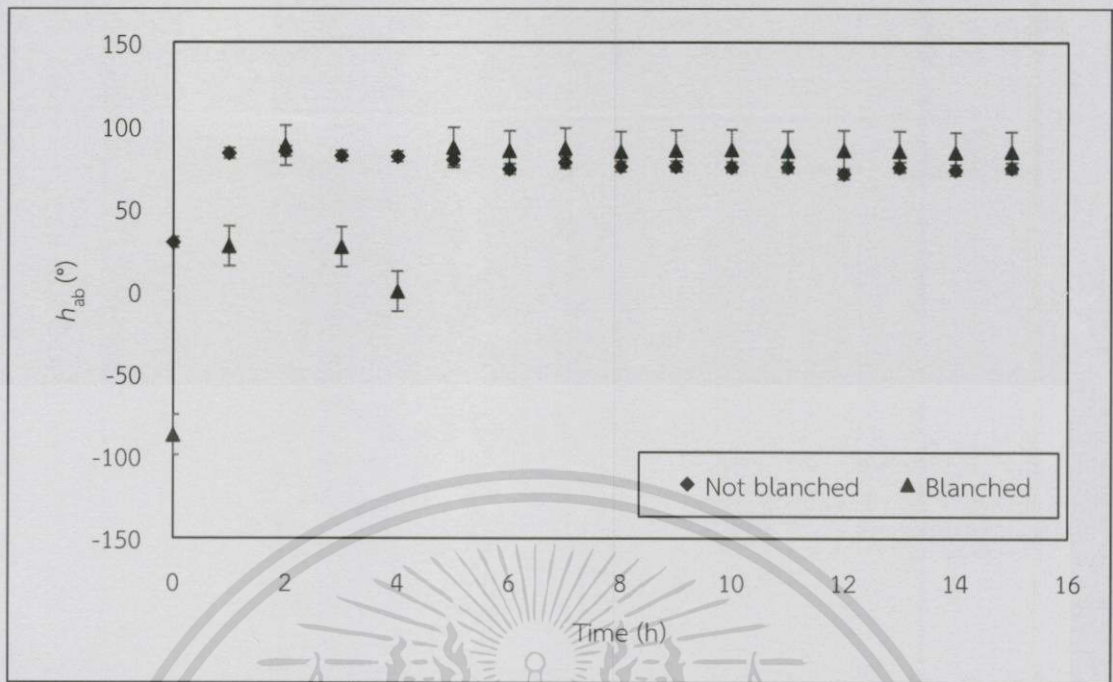


รูปที่ ข.3.35 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

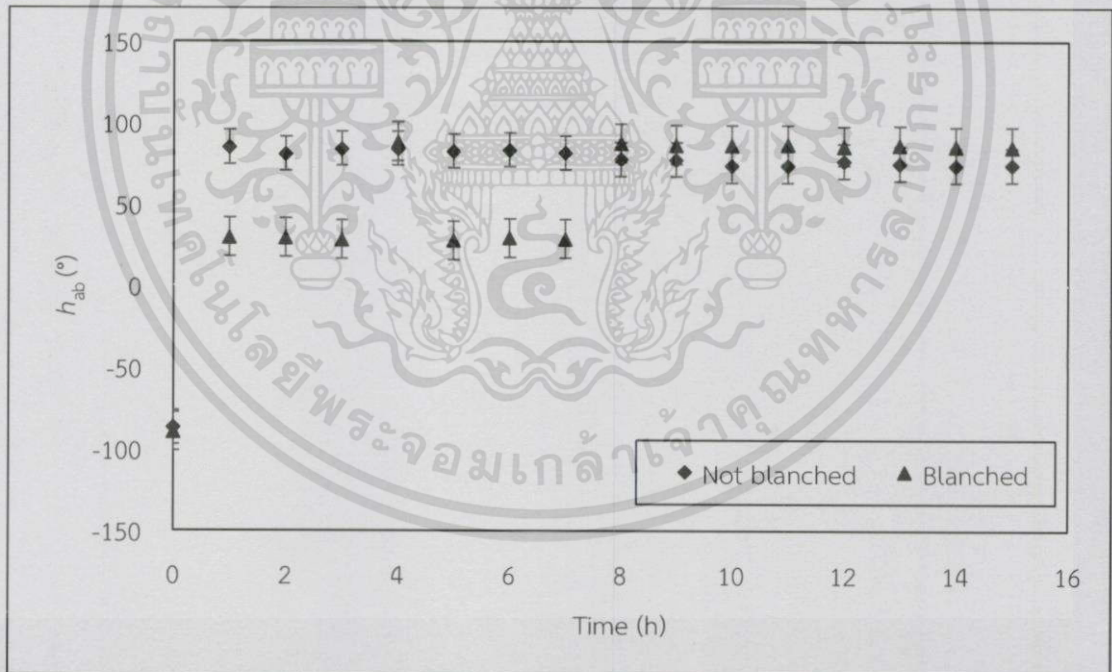


รูปที่ ข.3.36 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

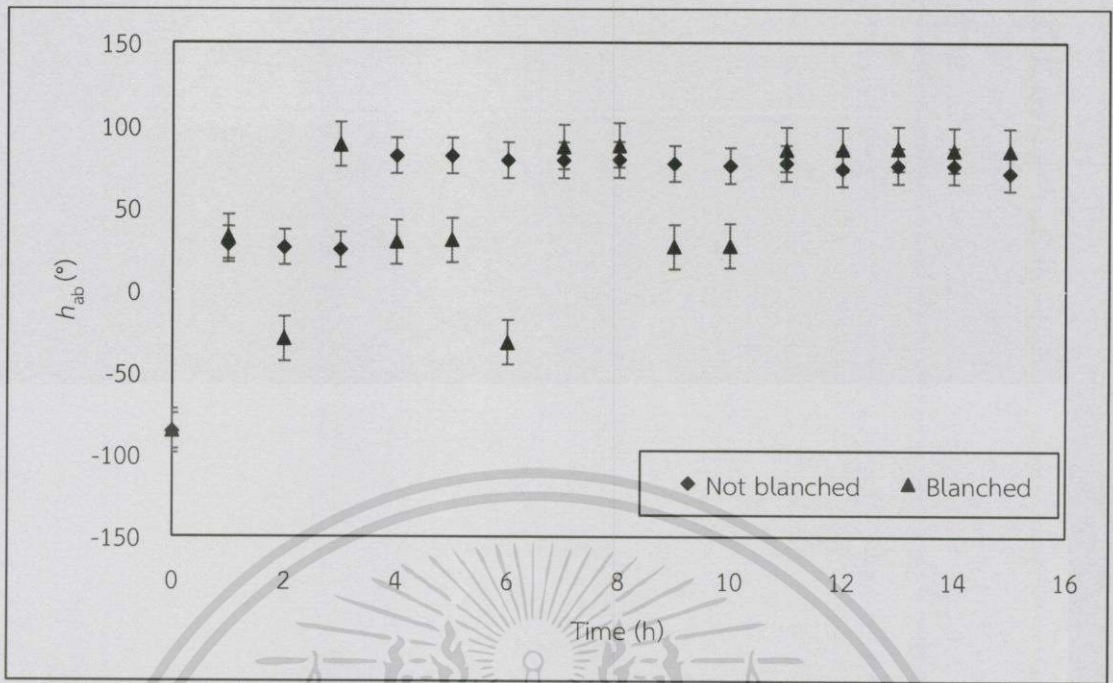


รูปที่ ข.3.37 การเปลี่ยนแปลงค่าสีสัน (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

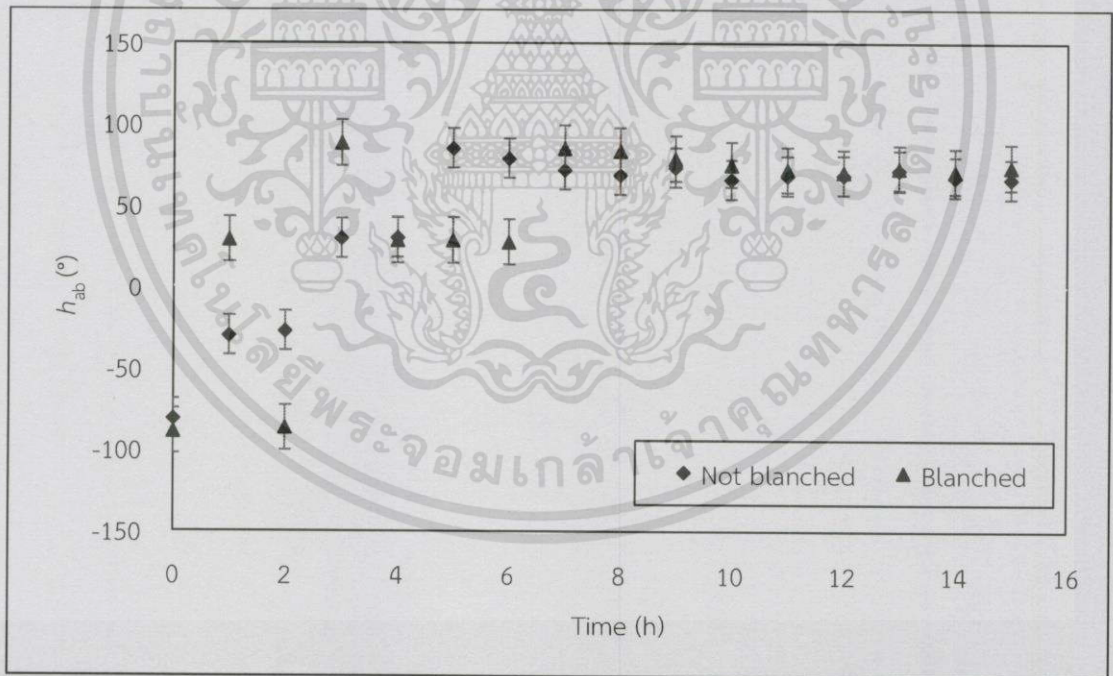


รูปที่ ข.3.38 การเปลี่ยนแปลงค่าสีสัน (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

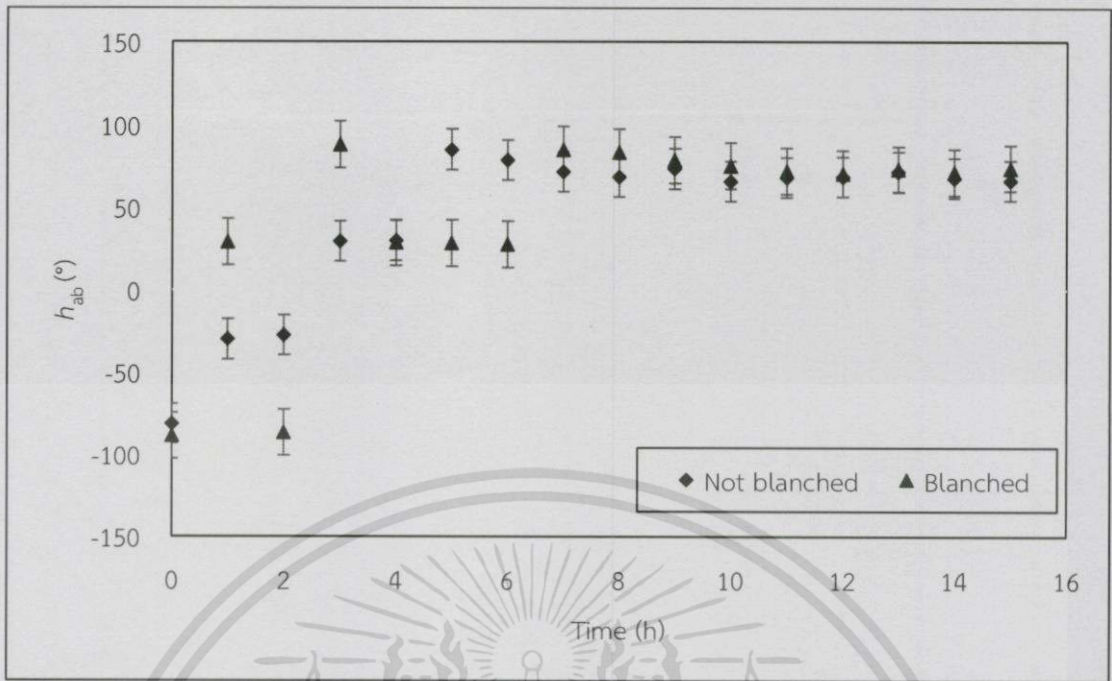


รูปที่ ข.3.39 การเปลี่ยนแปลงค่าสีสัน (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

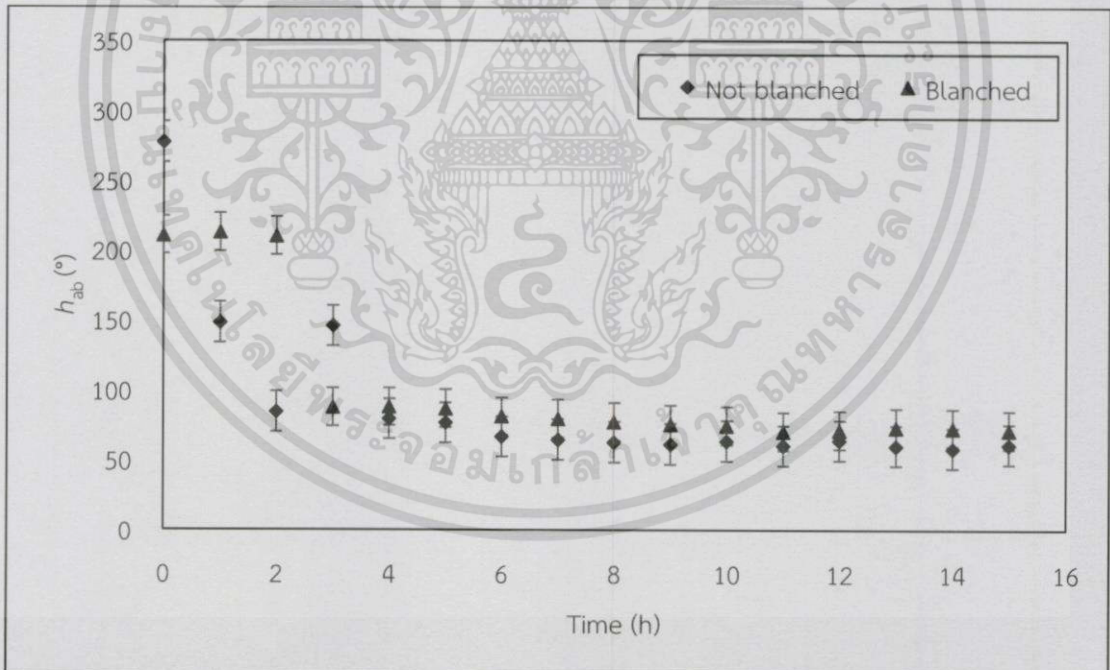


รูปที่ ข.3.40 การเปลี่ยนแปลงค่าสีสัน (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

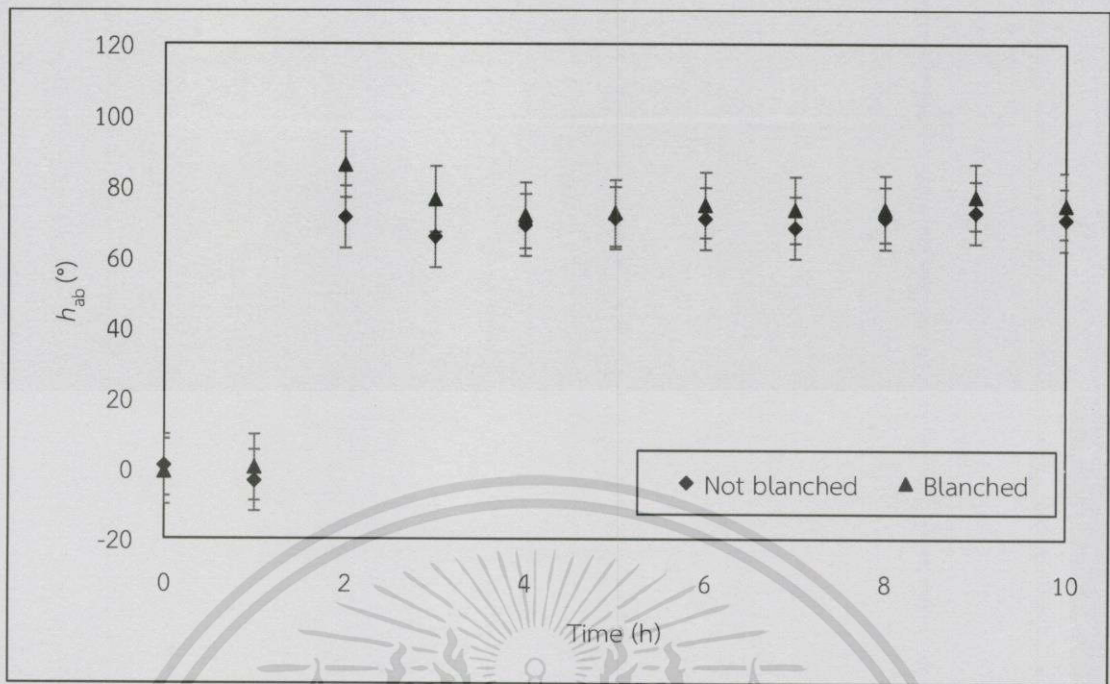
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



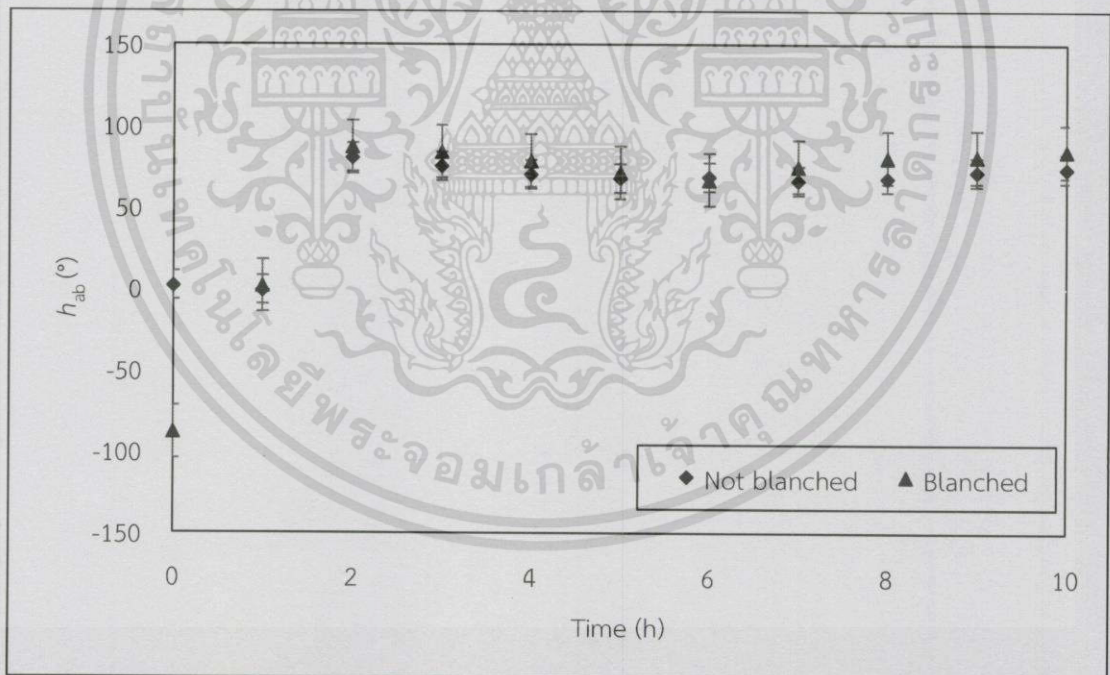
รูปที่ ข.3.41 การเปลี่ยนแปลงค่าสีสัน (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



รูปที่ ข.3.42 การเปลี่ยนแปลงค่าสีสัน (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

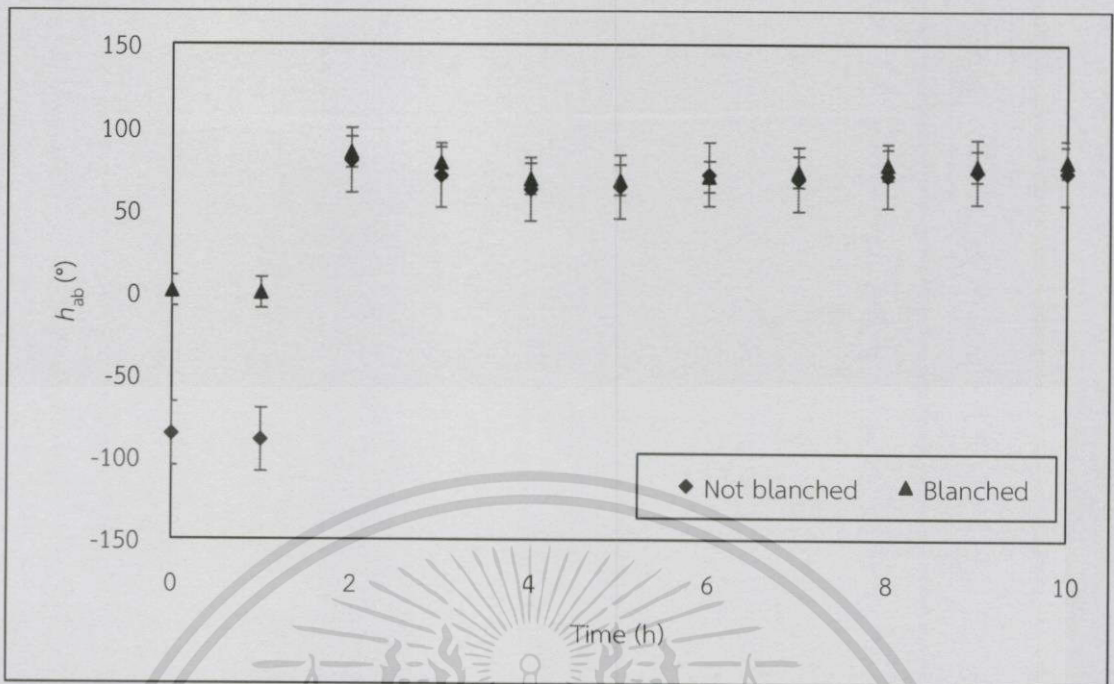


รูปที่ ข.3.43 การเปลี่ยนแปลงค่าสีสัน (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส



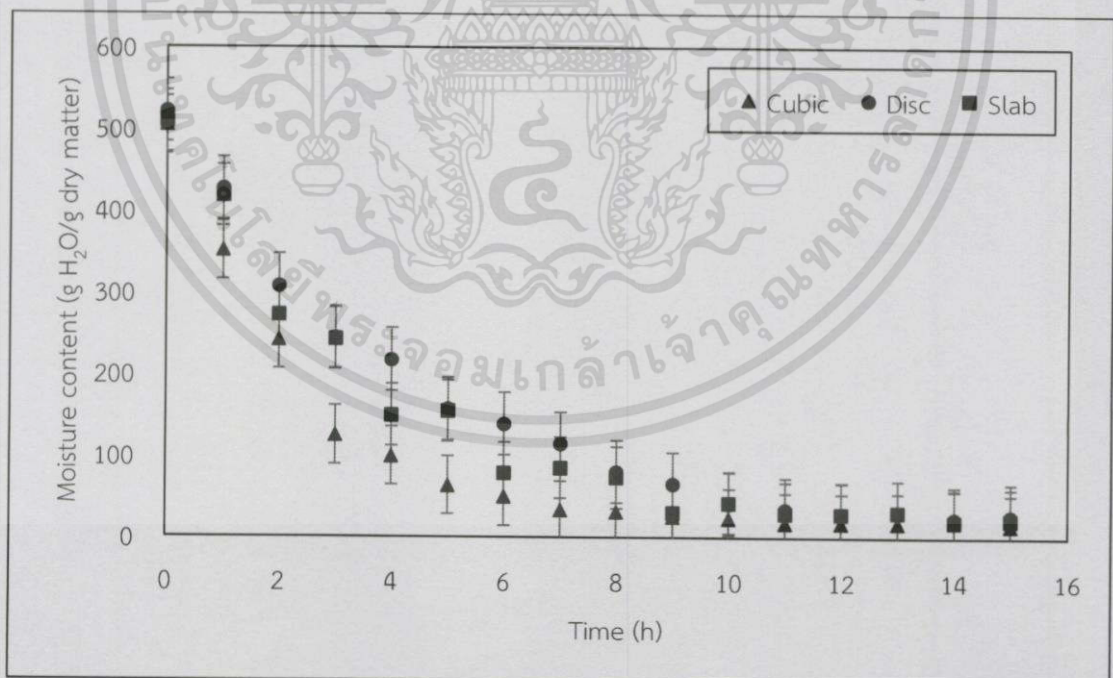
รูปที่ ข.3.44 การเปลี่ยนแปลงค่าสีสัน (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นกลมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



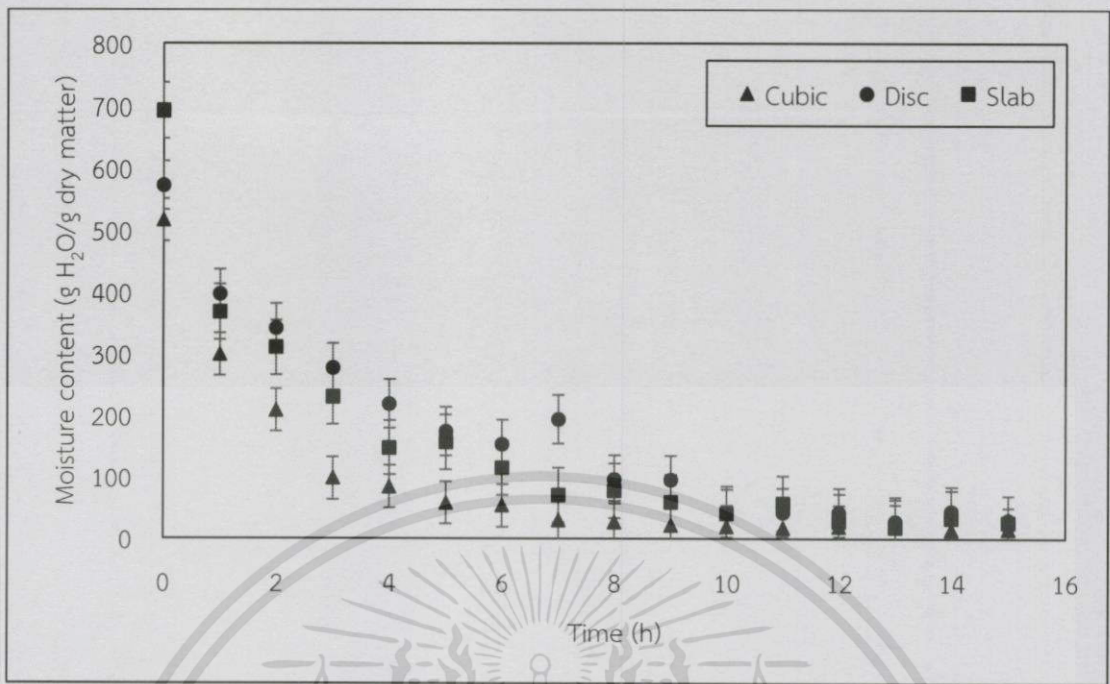
รูปที่ ข.3.45 การเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงแผ่นสี่เหลี่ยมระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

ข.4 อิทธิพลของรูปร่างชิ้นตัวอย่างต่อการเปลี่ยนแปลงของมันฝรั่งระหว่างการอบแห้ง

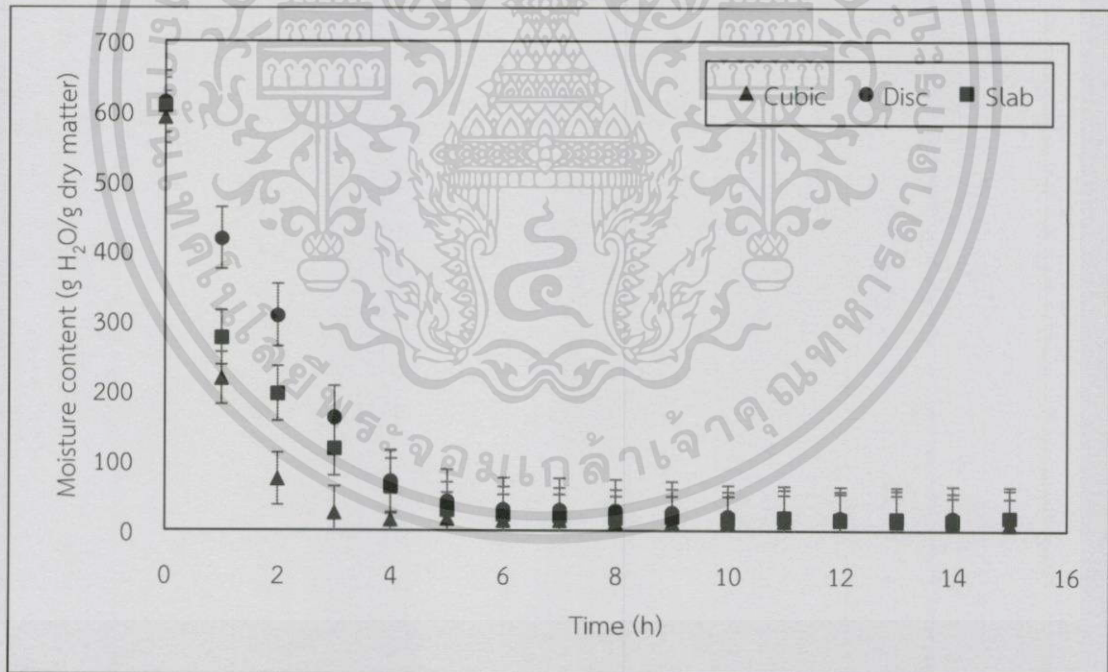


รูปที่ ข.4.1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

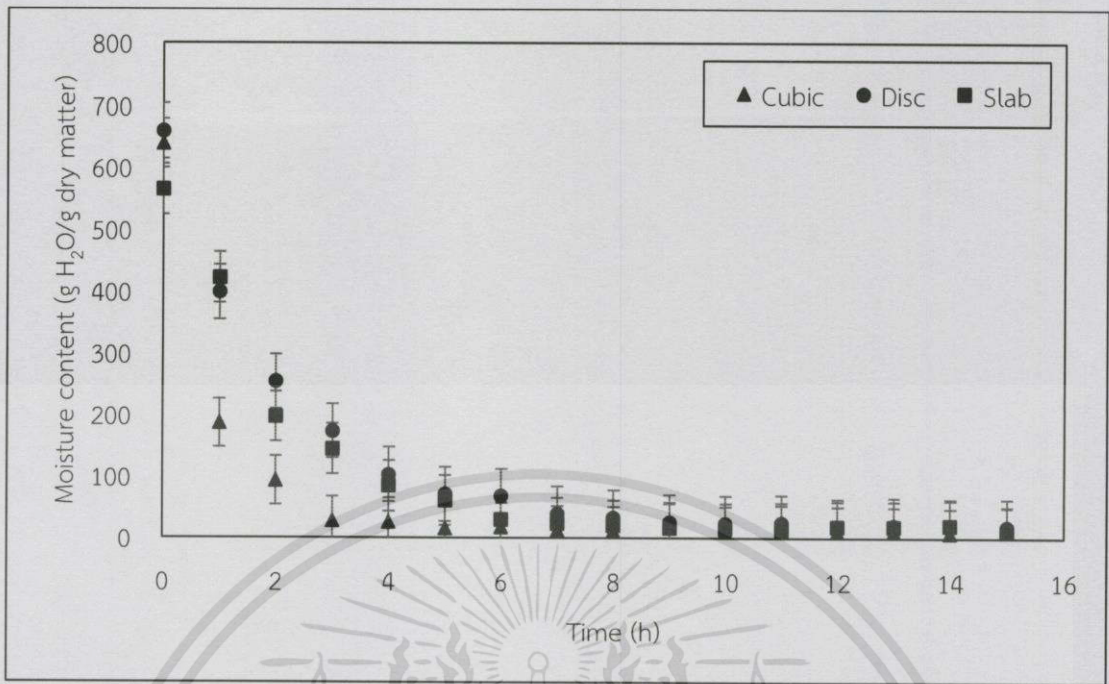


รูปที่ ข.4.2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

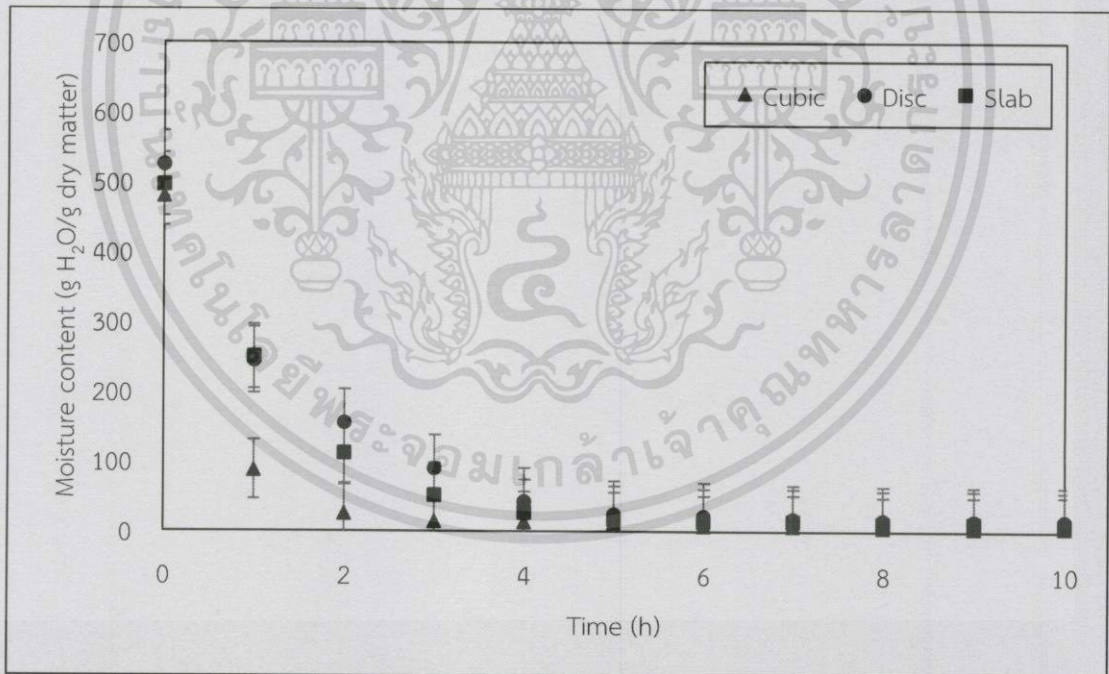


รูปที่ ข.4.3 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

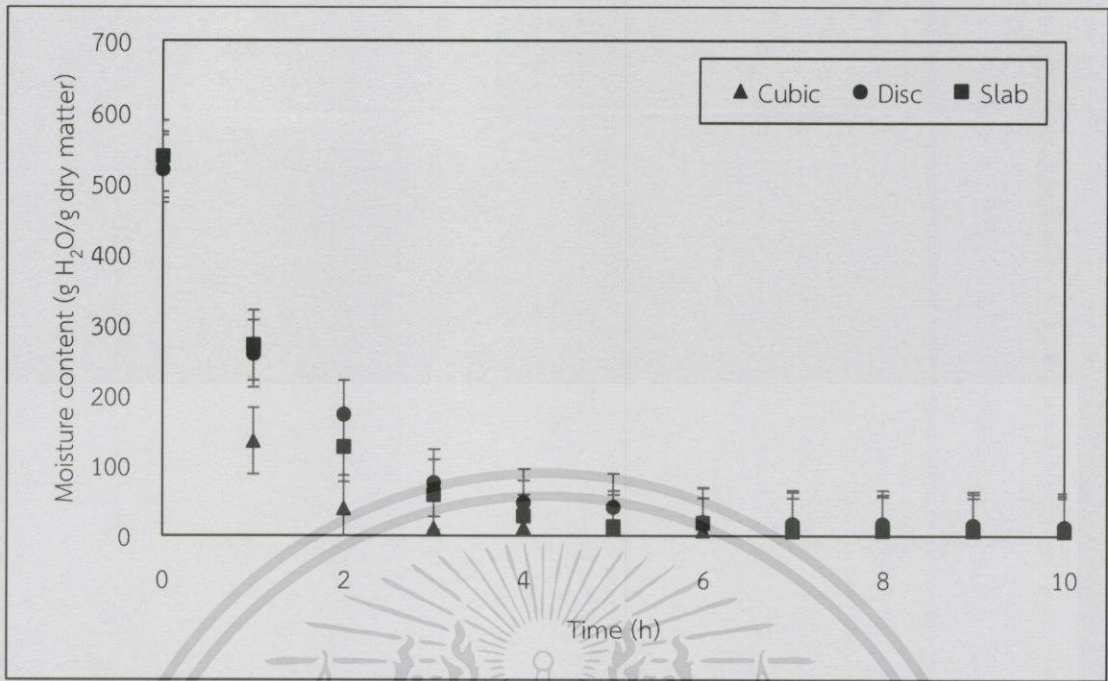
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



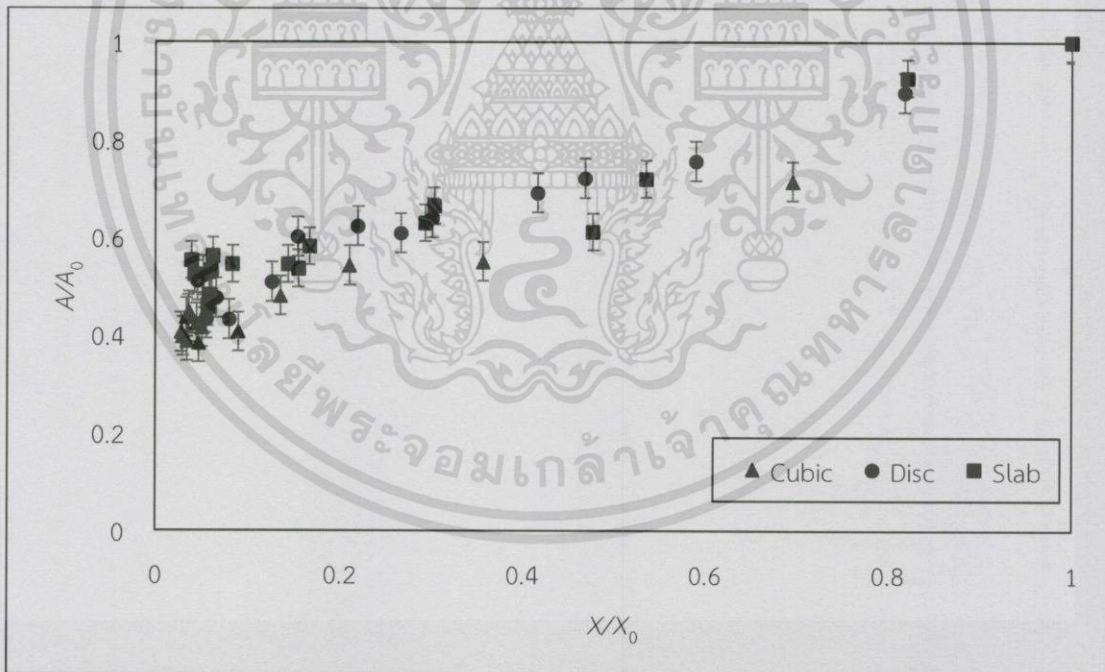
รูปที่ ข.4.4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



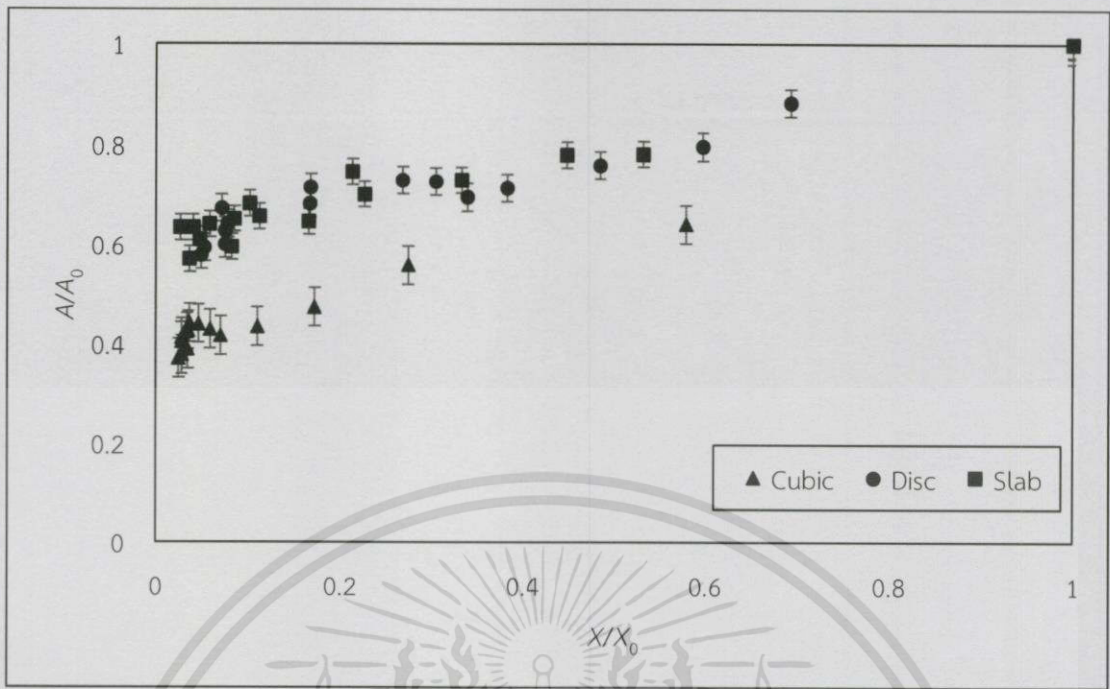
รูปที่ ข.4.5 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส



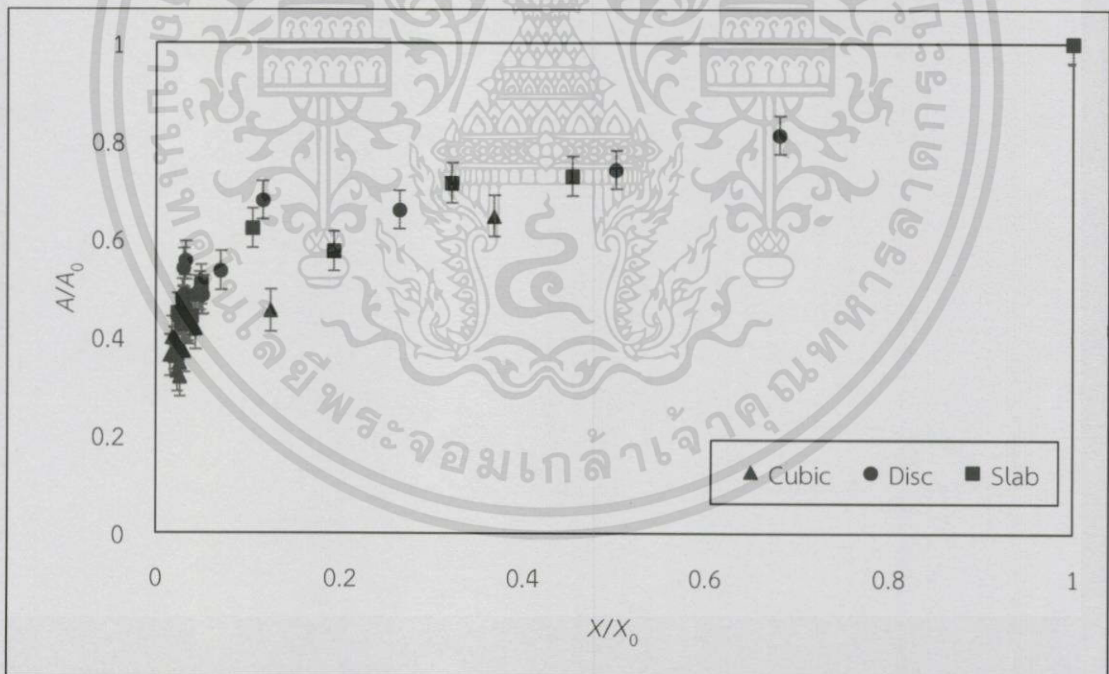
รูปที่ ข.4.6 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส



รูปที่ ข.4.7 อัตราส่วนพื้นที่ที่ภาพฉายต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

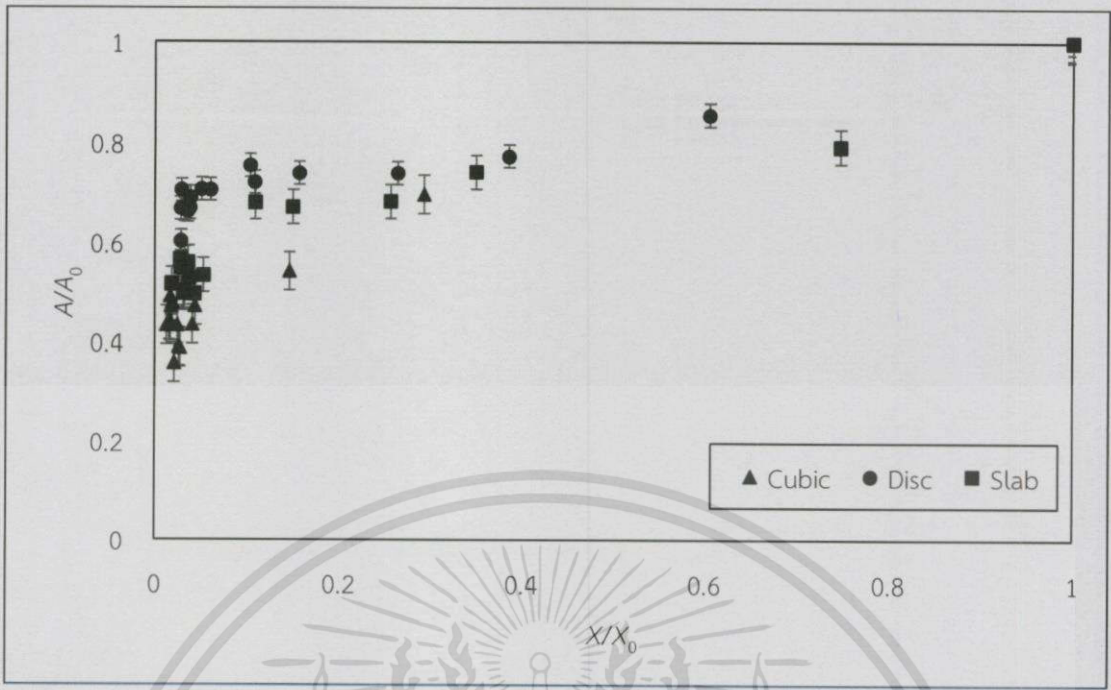


รูปที่ ข.4.8 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายต่อความชื้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

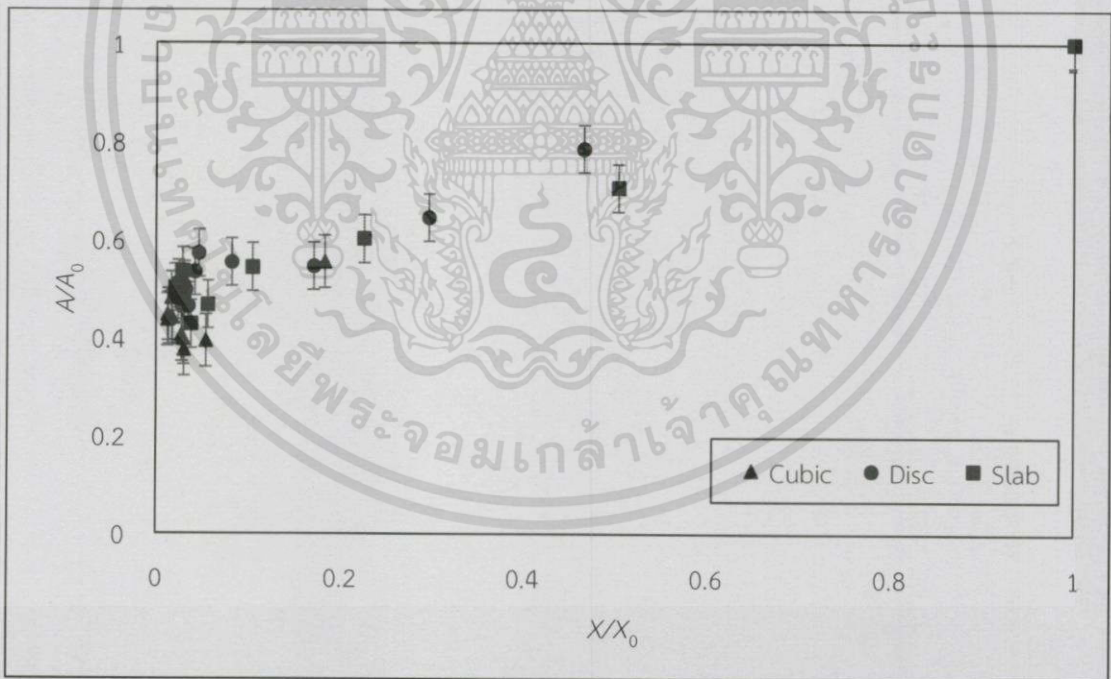


รูปที่ ข.4.9 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายต่อความชื้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

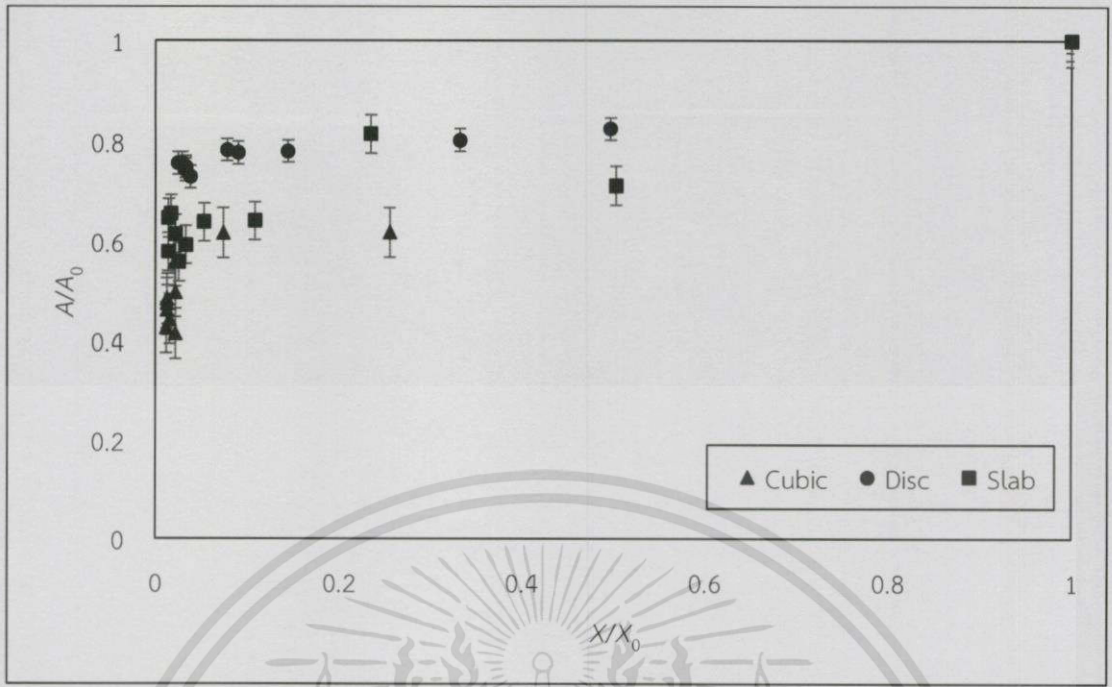


รูปที่ ข.4.10 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายต่อความชันของผนังรูปทรงต่าง ๆ ที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

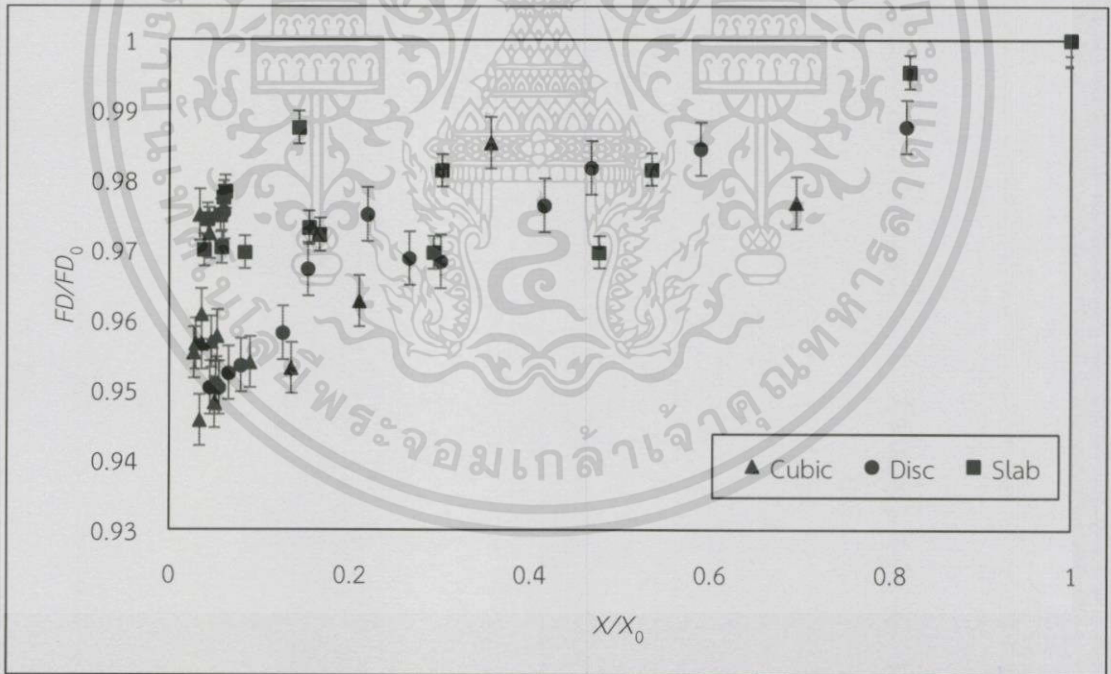


รูปที่ ข.4.11 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายต่อความชันของผนังรูปทรงต่าง ๆ ที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

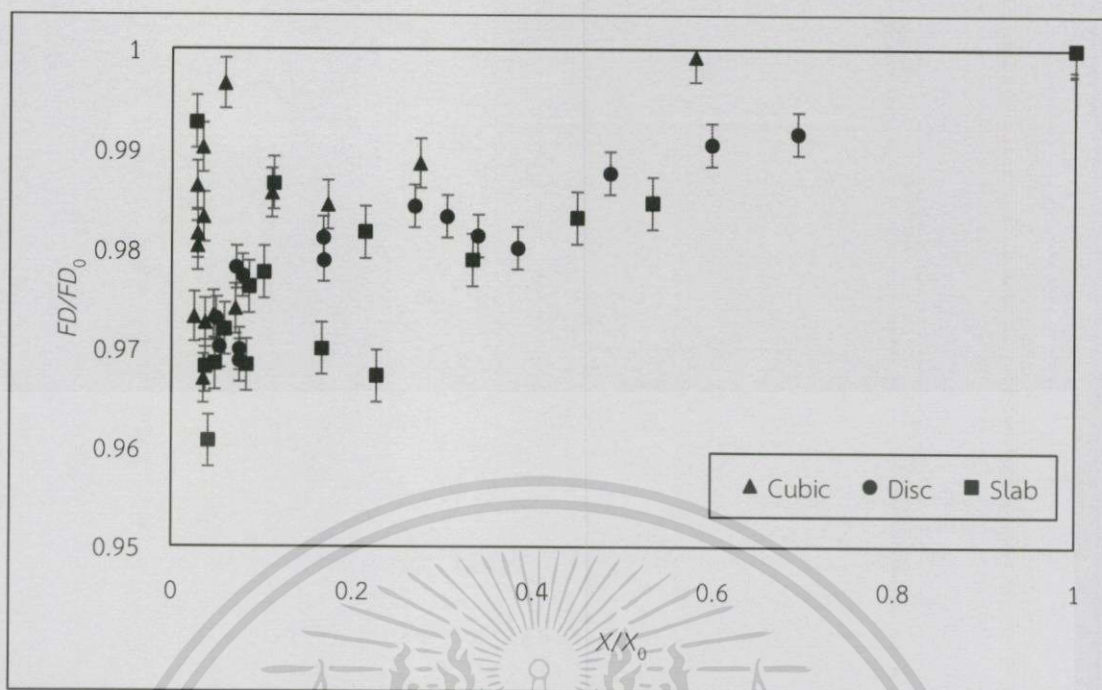


รูปที่ ข.4.12 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายต่อความชื้นของมินฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

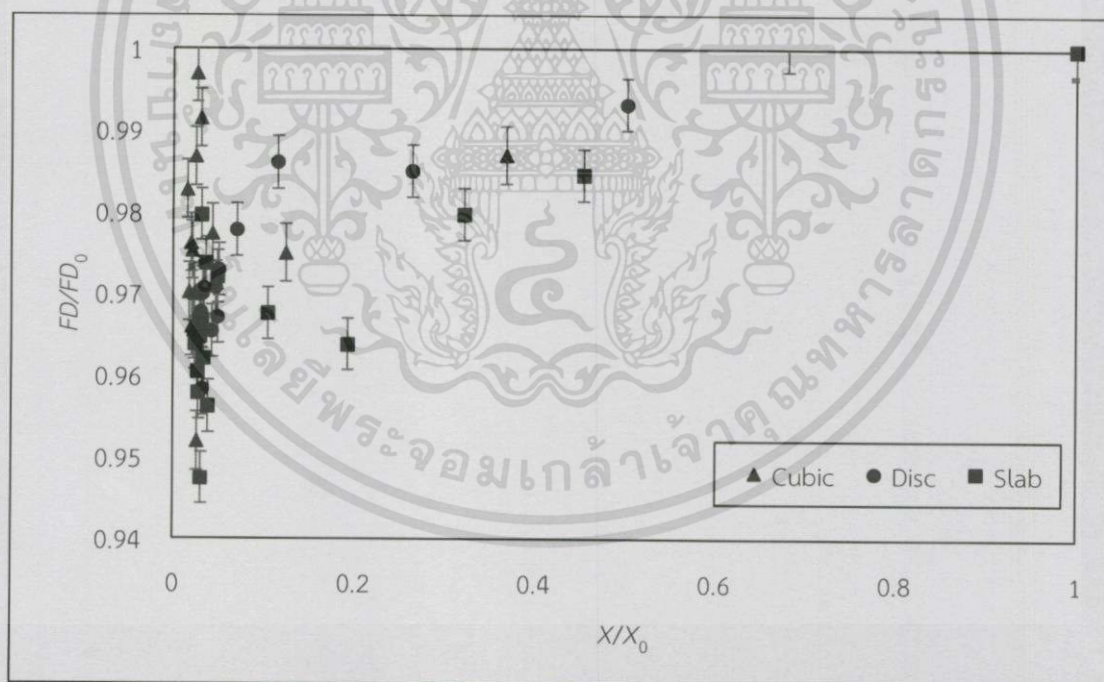


รูปที่ ข.4.13 อัตราส่วนค่าแฟร็คทัลต่อความชื้นของมินฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.4.14 อัตราส่วนค่าแฟร็คทัลต่อความขึ้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

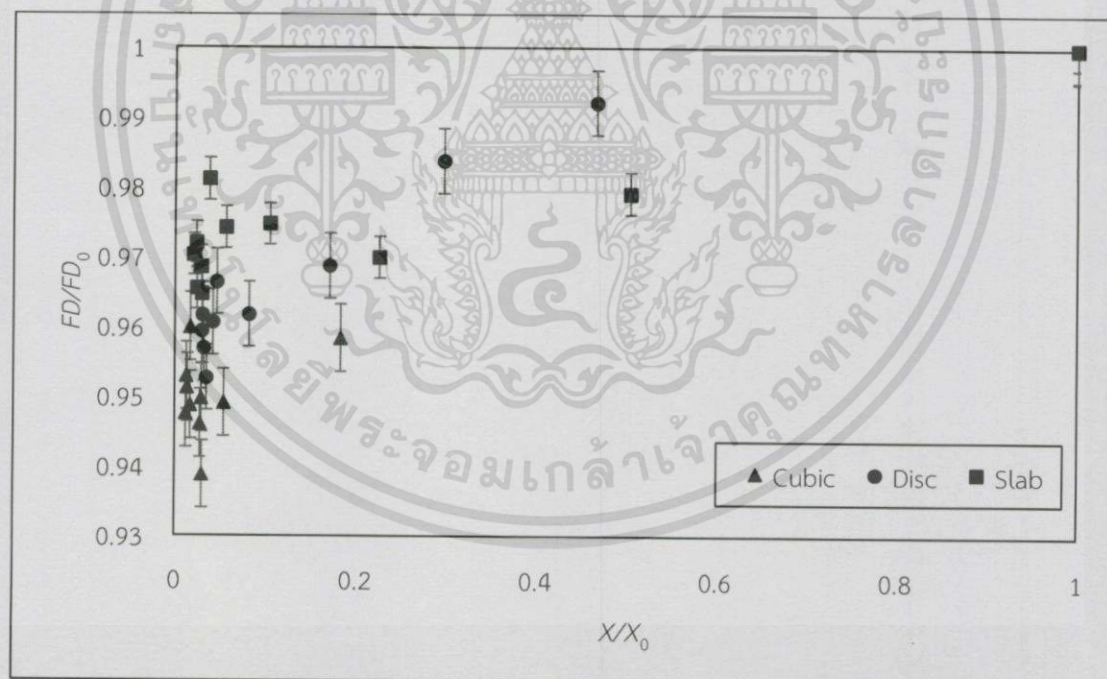


รูปที่ ข.4.15 อัตราส่วนค่าแฟร็คทัลต่อความขึ้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

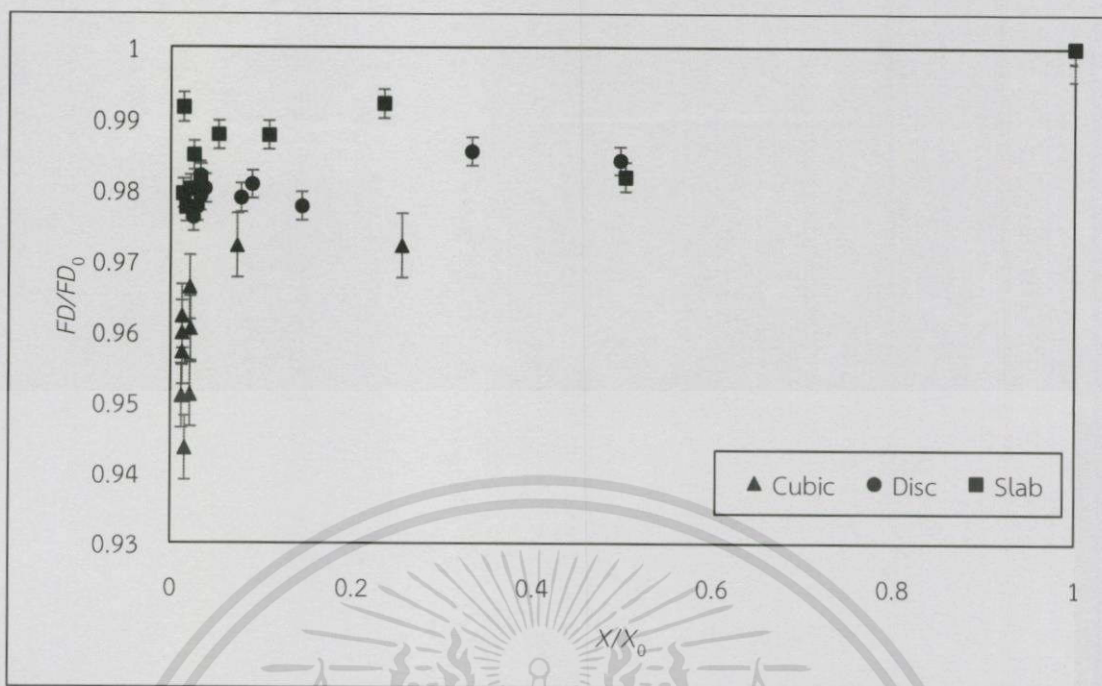
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



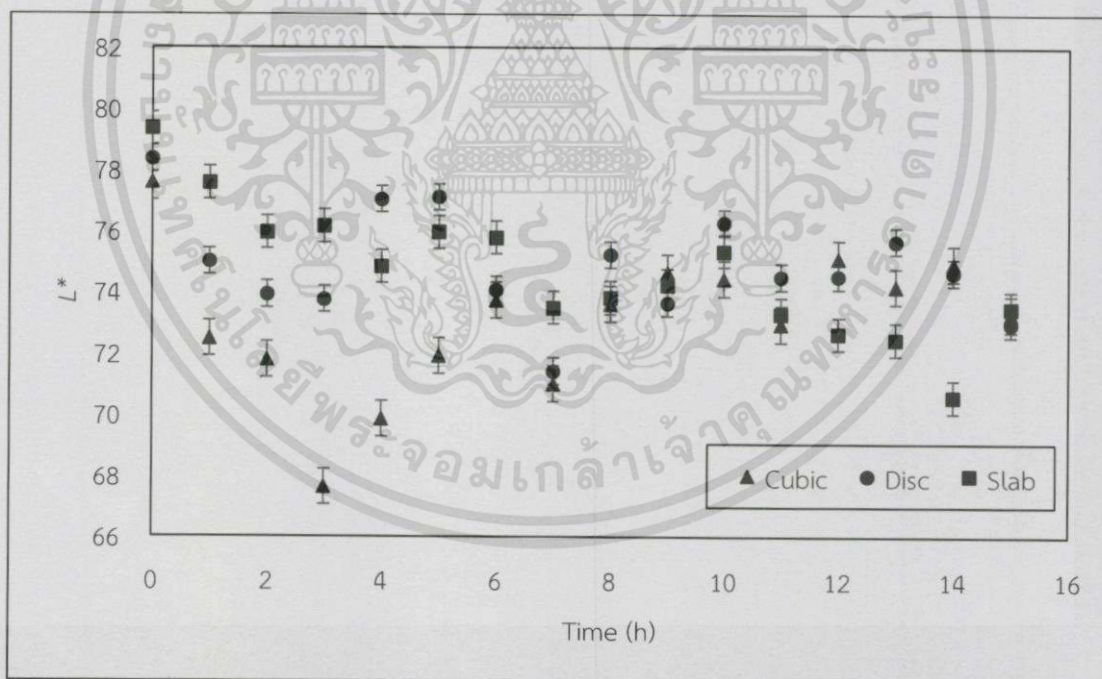
รูปที่ ข.4.16 อัตราส่วนค่าแฟร็คทัลต่อความข้นของน้ำมันฝักรูปทรงต่าง ๆ ที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



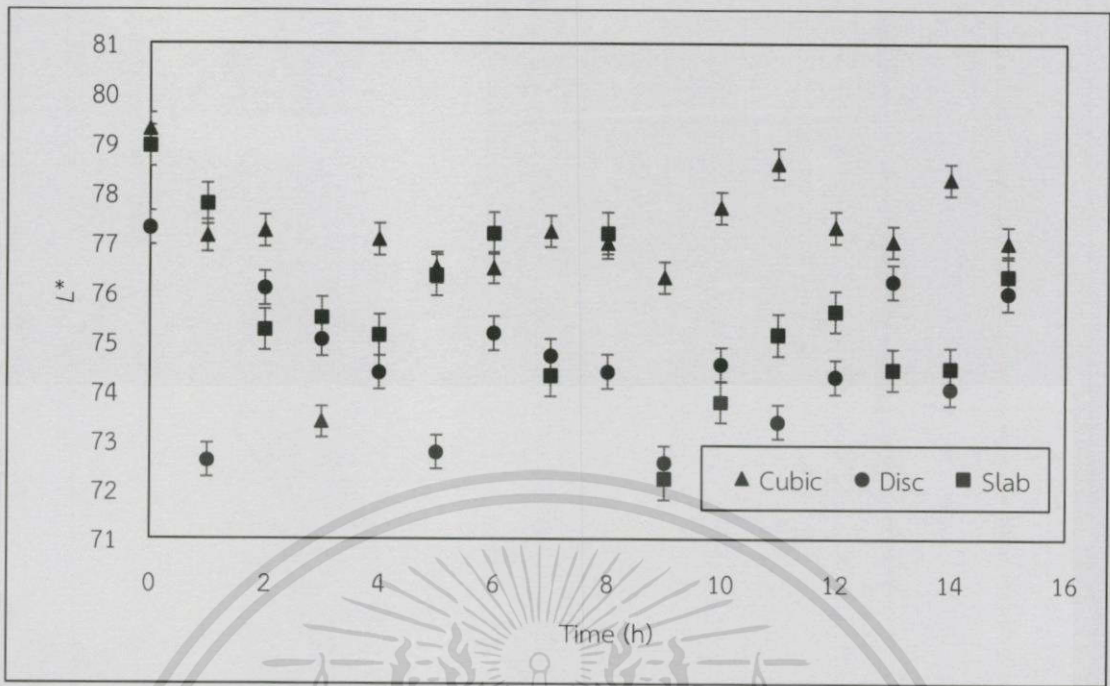
รูปที่ ข.4.17 อัตราส่วนค่าแฟร็คทัลต่อความข้นของน้ำมันฝักรูปทรงต่าง ๆ ที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส



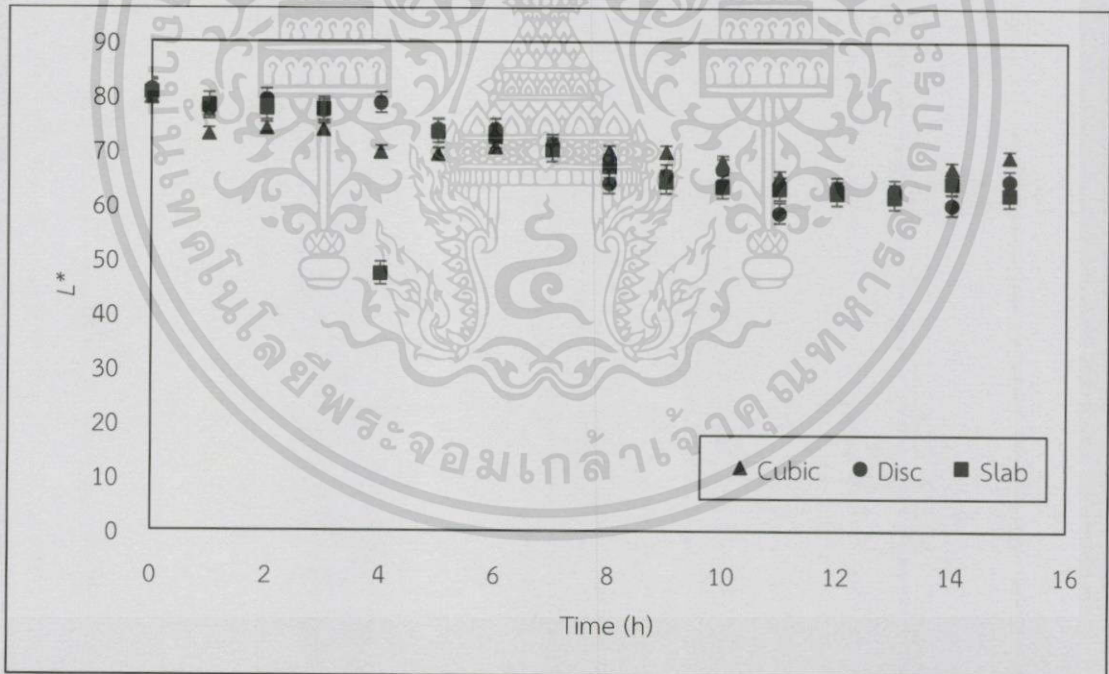
รูปที่ ข.4.18 อัตราส่วนค่าแพร่ที่ลดต่อความชื้นของน้ำมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส



รูปที่ ข.4.19 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของน้ำมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

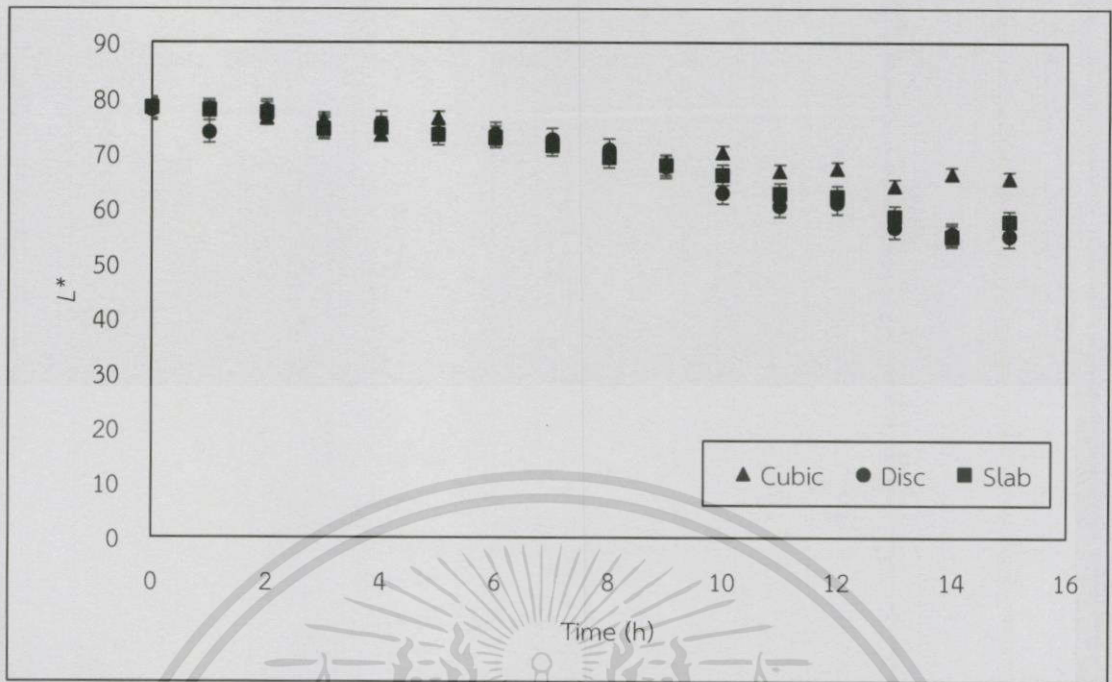


รูปที่ ข.4.20 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

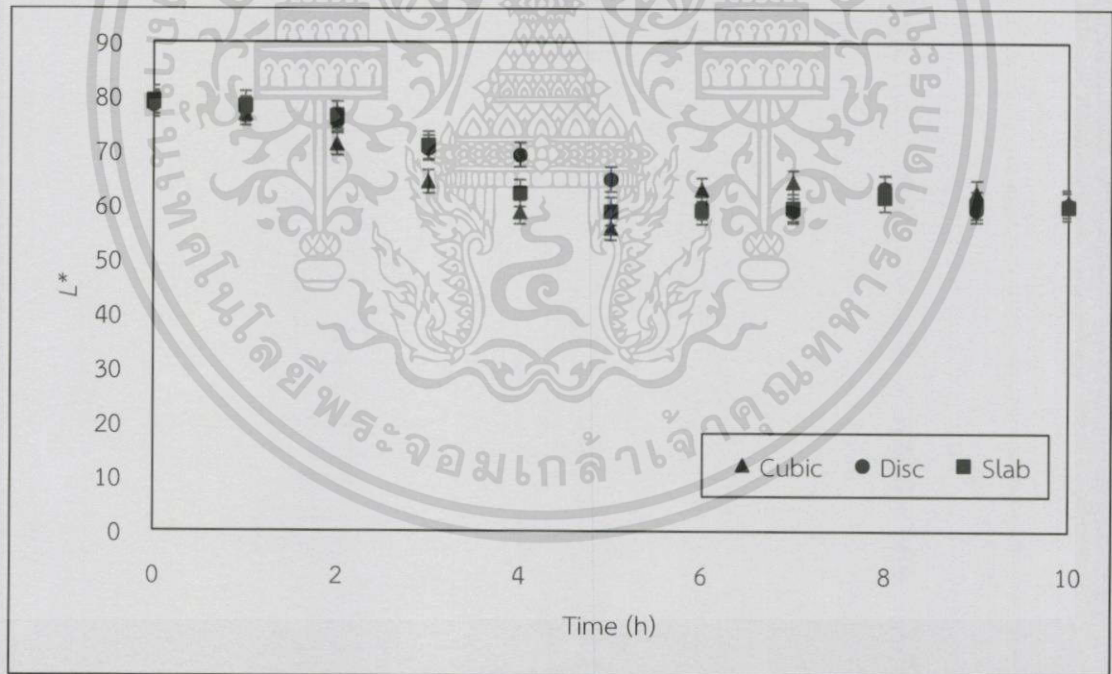


รูปที่ ข.4.21 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

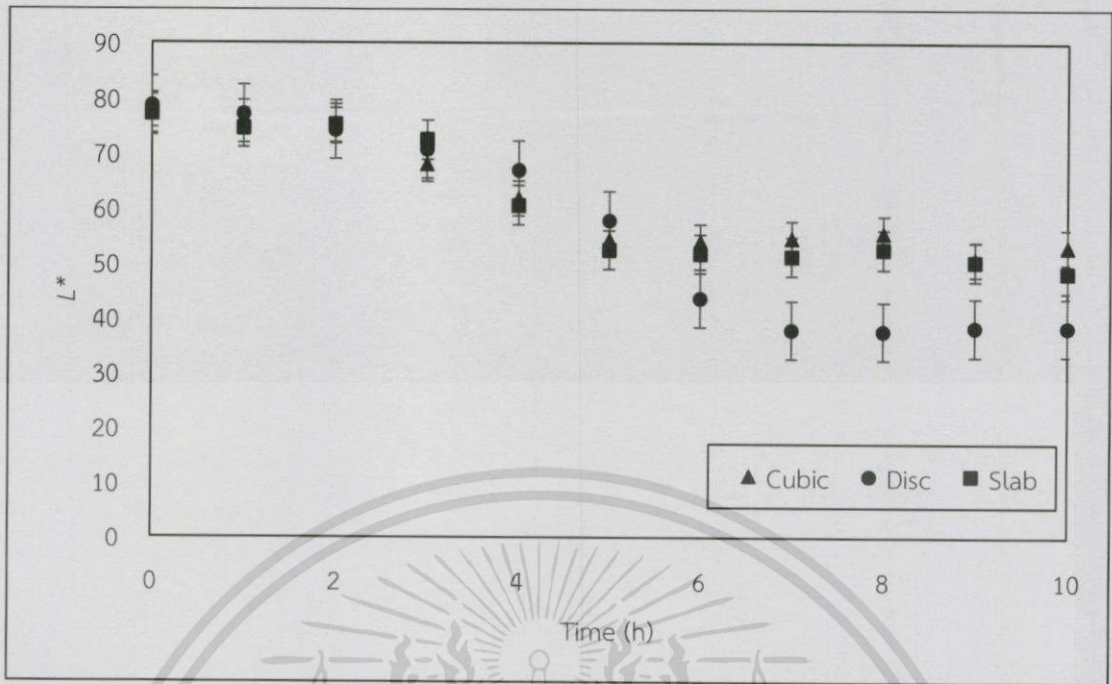


รูปที่ ข.4.22 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

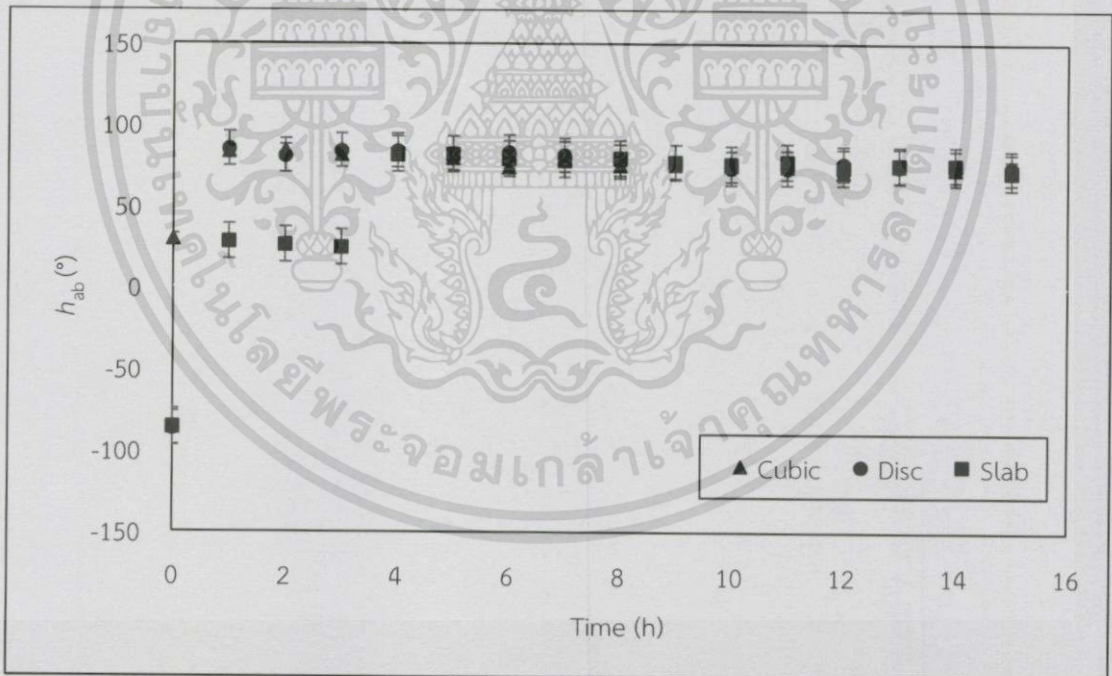


รูปที่ ข.4.23 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

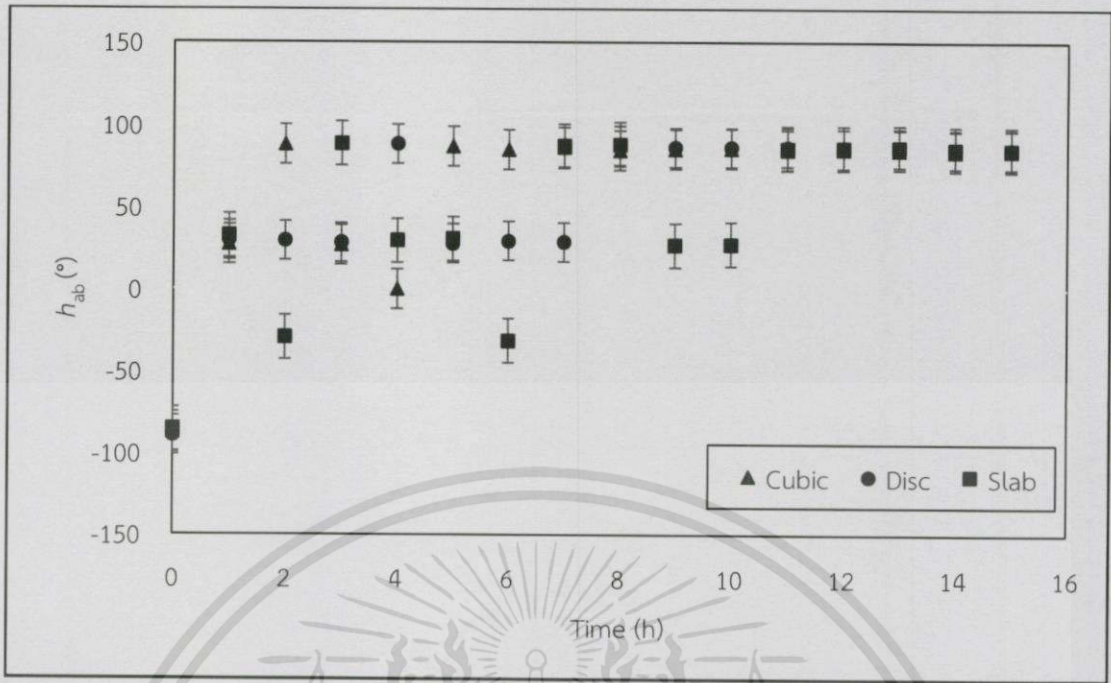


รูปที่ ข.4.24 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

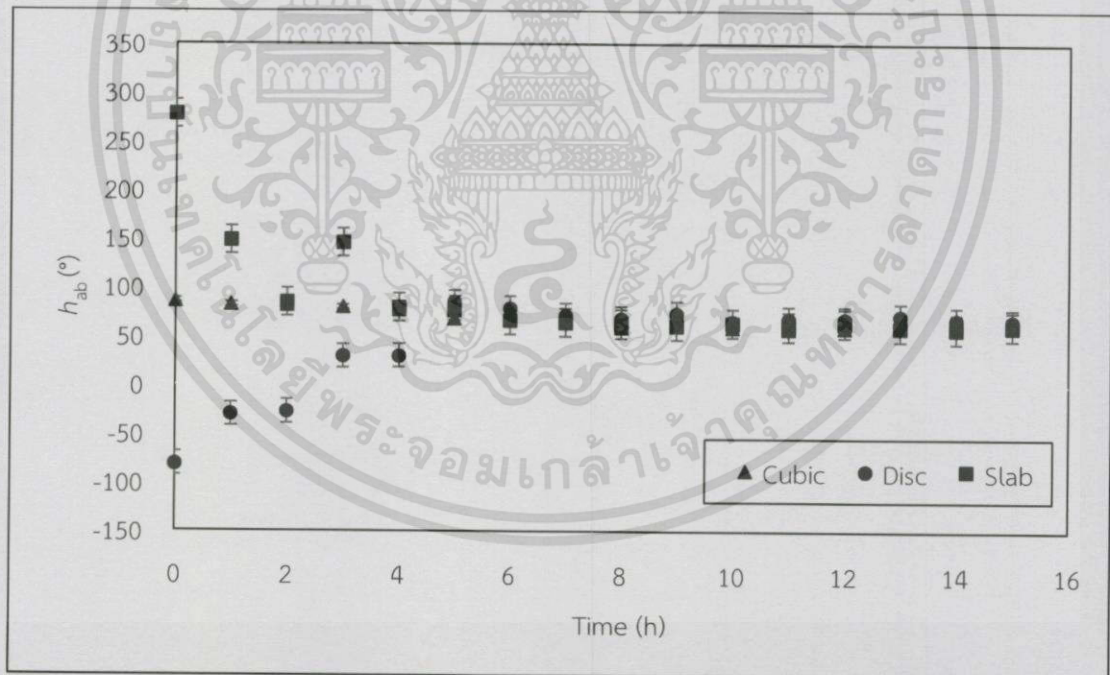


รูปที่ ข.4.25 การเปลี่ยนแปลงค่าสีส้ม (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

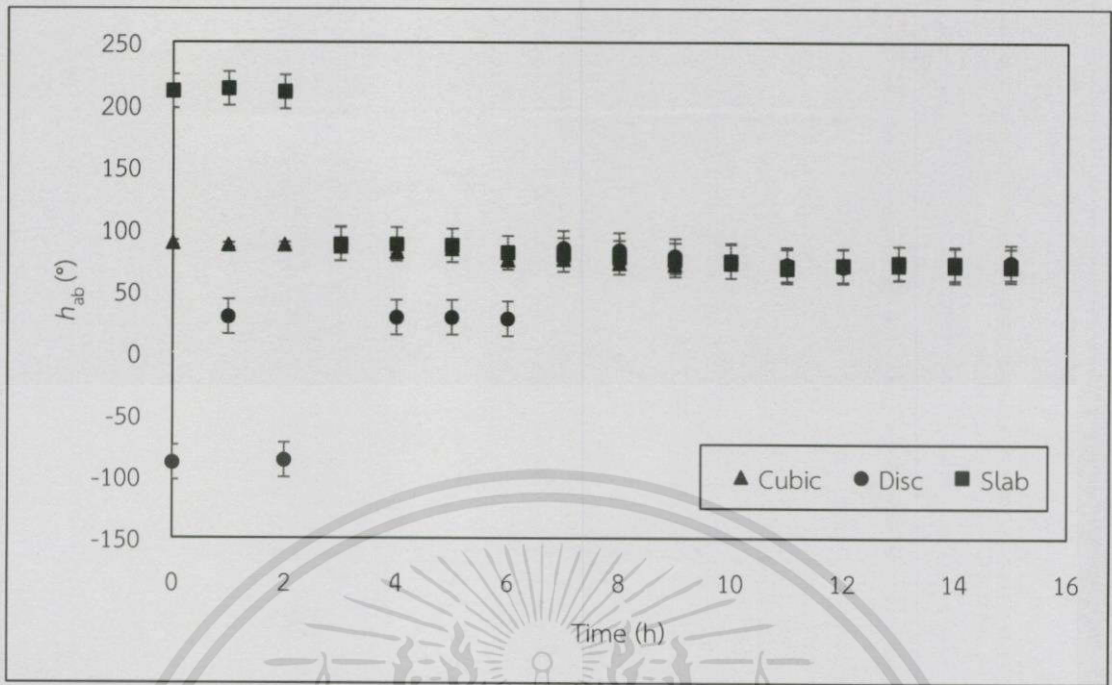


รูปที่ ข.4.26 การเปลี่ยนแปลงค่าสีสัน (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ผ่านการลวกระหว่างกา
อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

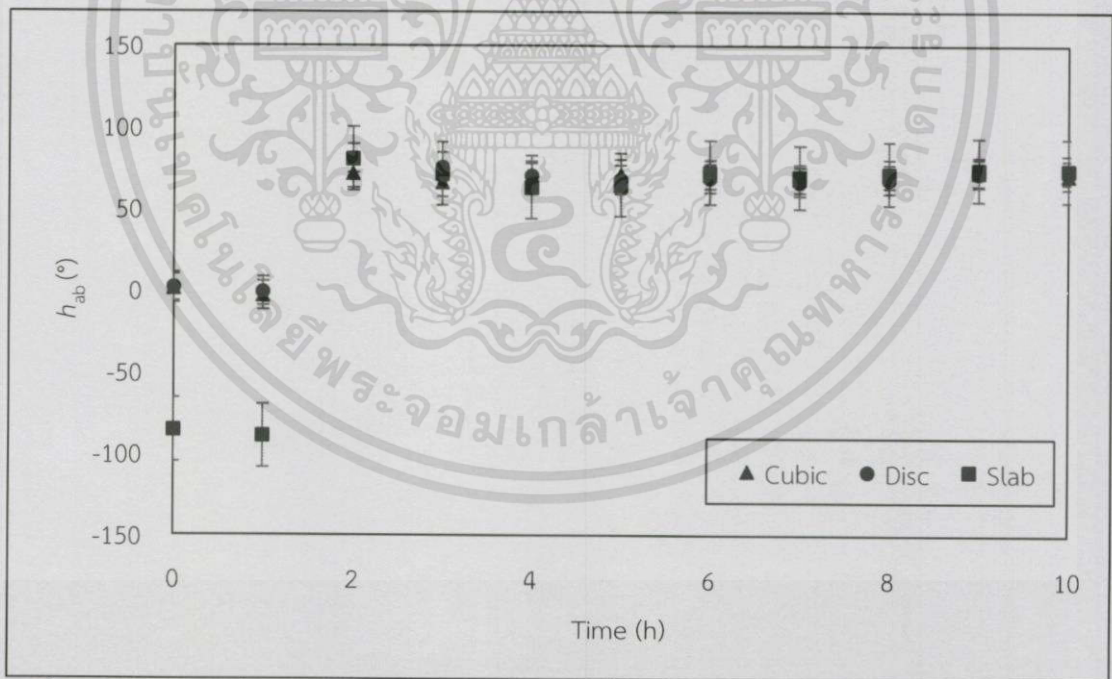


รูปที่ ข.4.27 การเปลี่ยนแปลงค่าสีสัน (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างกา
อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

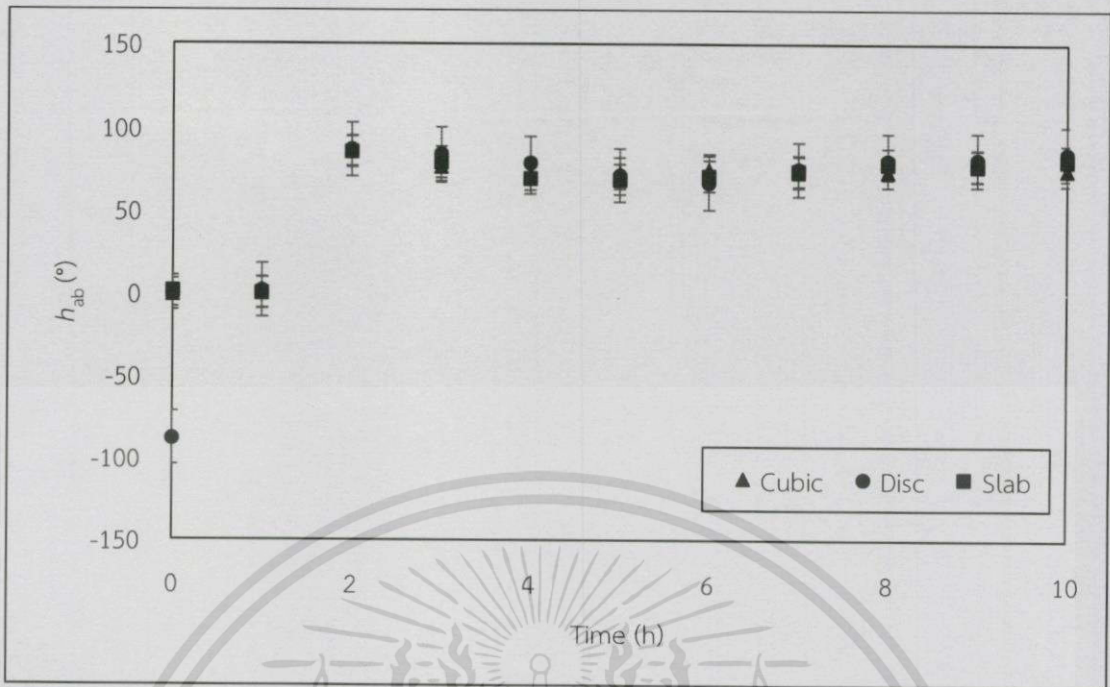


รูปที่ ข.4.28 การเปลี่ยนแปลงค่าสีสัน (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ผ่านการลวกระหว่างกา
อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



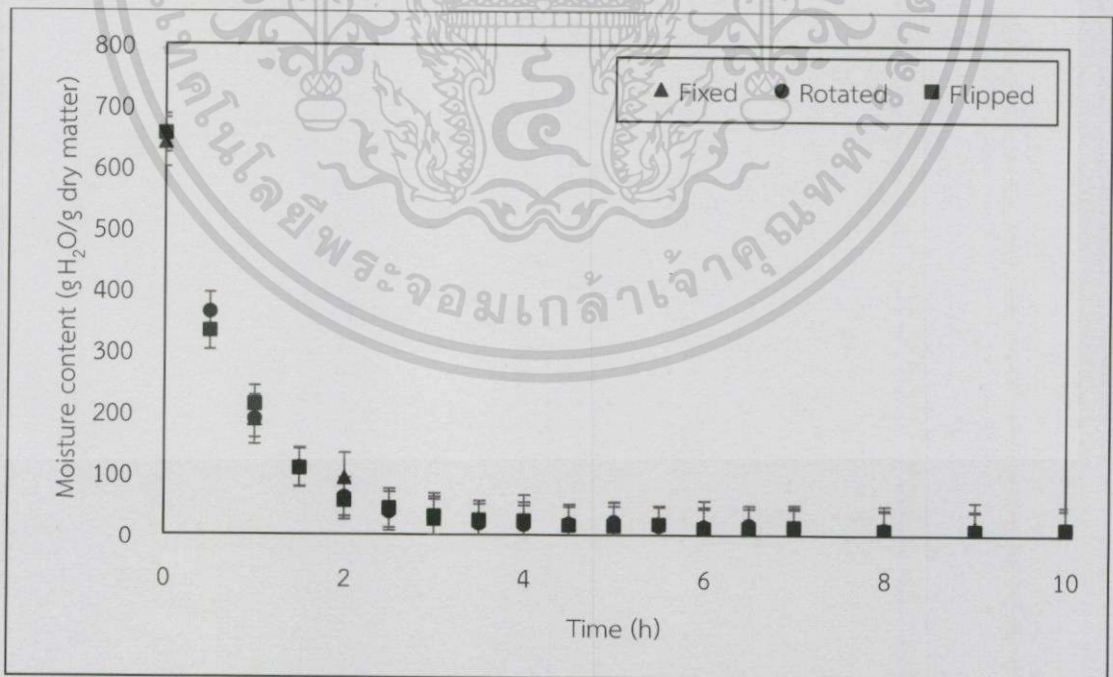
รูปที่ ข.4.29 การเปลี่ยนแปลงค่าสีสัน (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ไม่ผ่านการลวกระหว่างกา
อบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



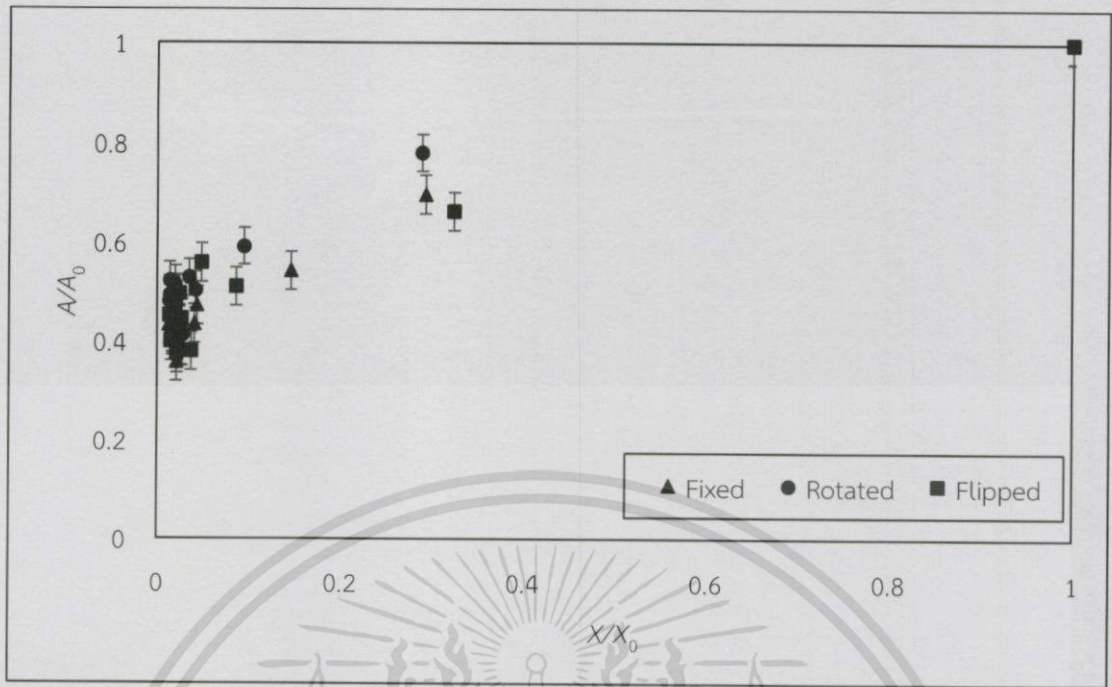
รูปที่ ข.4.30 การเปลี่ยนแปลงค่าสีสัน (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงต่าง ๆ ที่ผ่านการลวกระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

ข.5 อิทธิพลของการหมุนขึ้นตัวอย่างต่อการเปลี่ยนแปลงของมันฝรั่งระหว่างการอบแห้ง

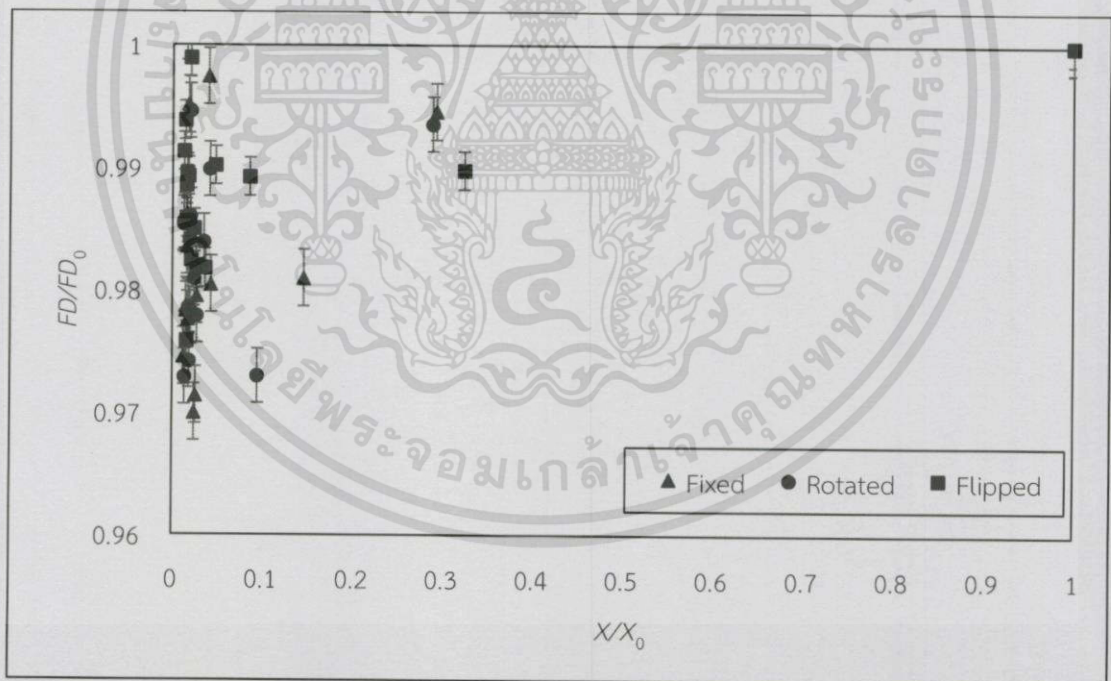


รูปที่ ข.5.1 ความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกที่การหมุนแบบต่าง ๆ ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

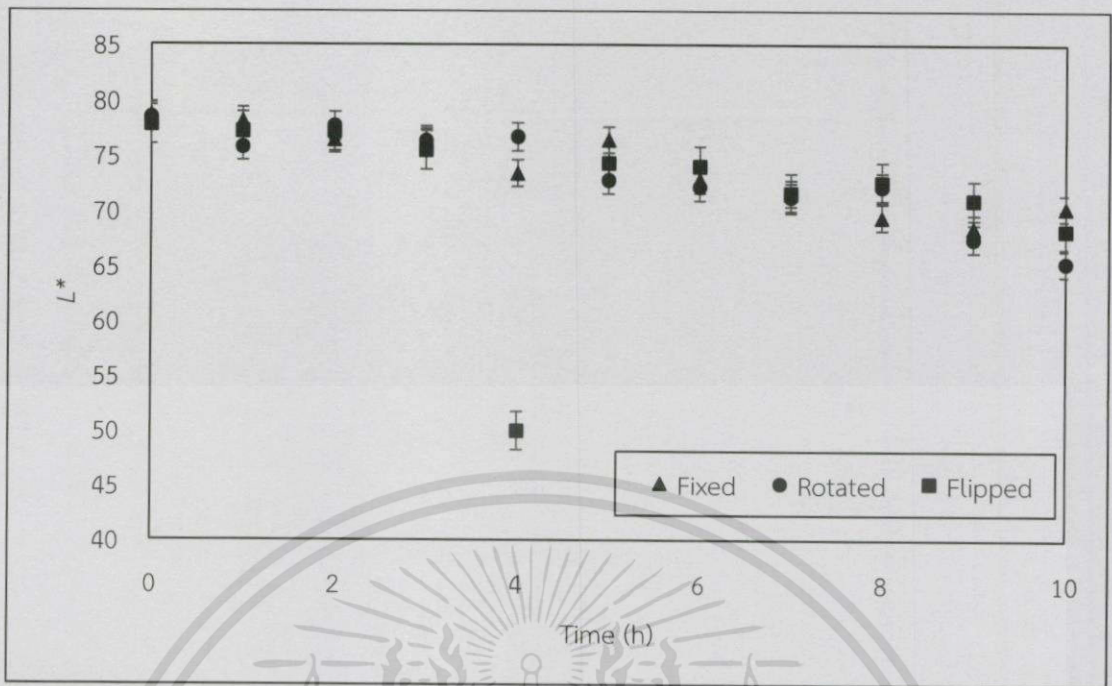


รูปที่ ข.5.2 อัตราส่วนพื้นที่ภาพฉายต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกที่การหมุนแบบต่าง ๆ ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

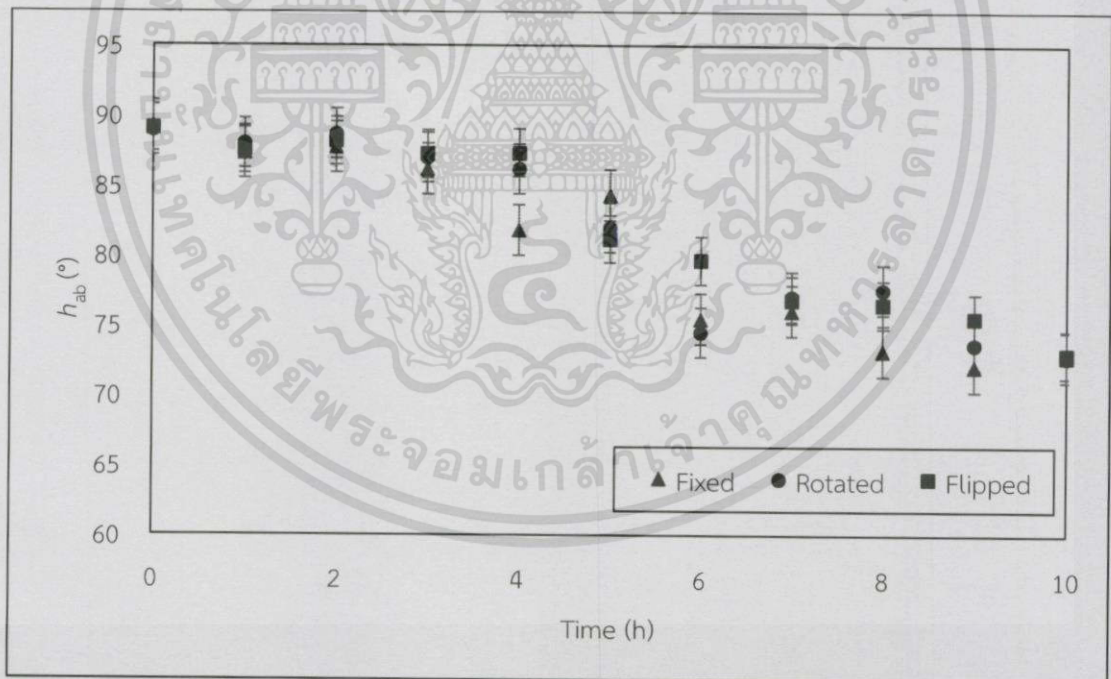


รูปที่ ข.5.3 อัตราส่วนค่าแฟร็คทัลต่อความชื้นของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกที่การหมุนแบบต่าง ๆ ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.5.4 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกที่การหมุนแบบต่าง ๆ ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



รูปที่ ข.5.5 การเปลี่ยนแปลงค่าสีสัน (h_{ab}) ของมันฝรั่งรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ผ่านการลวกที่การหมุนแบบต่าง ๆ ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

รหัสคำสั่ง: rgb2xyz

%This function will Convert RGB [0-255] into XYZ [0-100]

function [X,Y,Z] = rgb2xyz(R,G,B)

%Recieve R,G,B in RGB color space

var_R=R/255;

var_G=G/255;

var_B=B/255;

var_R = var_R * 100;

var_G = var_G * 100;

var_B = var_B * 100;

%Observer. = 2°, Illuminant = D65

%Convert RGB into CIEXYZ

$X = \text{var_R} * 0.4124 + \text{var_G} * 0.3576 + \text{var_B} * 0.1805;$

$Y = \text{var_R} * 0.2126 + \text{var_G} * 0.7152 + \text{var_B} * 0.0722;$

$Z = \text{var_R} * 0.0193 + \text{var_G} * 0.1192 + \text{var_B} * 0.9505;$

%credit: Zheng and Sun, 2008

end

รหัสคำสั่ง: xyz2lab

```
%This function will Convert XYZ [0-100] into CIE L*a*b*
%Observer= 10°, Illuminant= D65
function [L,a,b] = xyz2lab(X,Y,Z)
%Recieve X,Y,Z in CIE XYZ

var_X = X / 94.811;
var_Y = Y / 100;
var_Z = Z / 107.304;

%Convert CIE XYZ into CIELAB
L = ( 116 * var_Y ) - 16;
a = 500 * ( var_X - var_Y );
b = 200 * ( var_Y - var_Z );

% credit: Zheng and Sun, 2008
end
```

รหัสคำสั่ง: MorphoFood

```
%Mophology with 7 pixels disc
%and fill image with 8 pixel disc
function [R,E] = MorphoFood(J)
A = bwareaopen(J,fix(length(J:)/100));
C = imclose(A,strel('disk',7));
R = imfill(C,8,'holes');
E = bwperim(R,4);
```

%credit: Leon et.al, 2006

รหัสคำสั่ง: SegFood

```
%This function is for thresholding by otsu's method
function [R,E,J] = SegFood(I,p)
t = graythresh(I);
if ( exist('p')==0)
    p = 0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

end
J = im2bw(I,t+p);
[R,E] = MorphoFood(J);

```

%credit: Leon et.al, 2006

รหัสคำสั่ง: box_counting

```

%This function is finding fractal dimension by box counting method
%Use binary square image only
function [df] = box_counting(I)
    [row col]=size(I);
    box=0;
    counter=0;
    a=0;

    for count=1:row
        if row/count==round(row/count)
            scale=row/count;
            counter=counter+1;
            s(counter)=count;
            for positionx=1:scale:row
                for positiony=1:scale:col
                    for group_xaxis=1:scale
                        for group_yaxis=1:scale
                            if I((positionx+group_xaxis-1),(positiony+group_yaxis-1))==1
                                box=box+1;
                                a=1;
                                break
                            end
                        end
                    end
                end
            end
            if a==1
                a=0;
                break
            end
        end
    end
    end
end
end
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

b(counter)=box;
box=0;
end
end

graph_counter=1;
for firstloop=1:counter
    for secloop=1:counter

        if firstloop~=secloop&&firstloop<secloop

            fractal_diameter(graph_counter)=(log10(b(firstloop))-
log10(b(secloop)))/(log10(s(firstloop))-log10(s(secloop)));

            graph_counter=graph_counter+1;
        end
    end
end
df=mean(fractal_diameter);
end

```

รหัสคำสั่ง: Extract_Color

```

%This Program will find mean color of object on white background
%This Program can run a batch of Image
%Image have name as "number of hour_'number of each hour"
%save all value in xls
clear all
clc

%Input the number of imagea in each hour (must be equal)

imcount = input('How many picture of each hour : ');

for hour=0:15

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for count=1:imcount

Numberofhour=num2str(hour);

NumberofPic=num2str(count); %Number of Picture as string

Name=strcat(Numberofhour,'_',NumberofPic,'.jpg'); %Make name of picture

I=imread(Name); %Save that Image as I

I=imcrop(I,[800 600 399 399]); %Crop image in size 400x400

Pic=imcomplement(I(:, :, 3)); %Only use the B in RGB for segmentation

[R,E,J]=SegFood(Pic);%Edging and Treshoulding

[row col]=size(R); %Size of Treshoulding Image

n=1;

for i=1:row %Run from row of pixels of Treshoulding Image

for j=1:col %Run from column of pixels of Treshoulding Image

if R(i,j)==1 %If find white pixel
area_x(n)=i; %save the row in x
area_y(n)=j; %save the column in y
n=n+1; %for the next pixel
end

end

end

end

%Save the color in the treshoulding pixels

for i=1:length(area_x) %Since lenght(x)=lenght(y)
r(i)=(1.219*(area_x(i),area_y(i),1))-41.391; %R of rgb with calibration

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

g(i)=(0.966*(area_x(i),area_y(i,2))-17.308; %G of rgb with calibration
b(i)=(1.063*(area_x(i),area_y(i,3))-41.002; %B of rgb with calibration
%Translate RGB to CIEXYZ
[Xtrans,Ytrans,Ztrans]=rgb2xyz(double(r(i)),double(g(i)),double(b(i)));
X(i)=Xtrans; %X in CIEXYZ
Y(i)=Ytrans; %Y in CIEXYZ
Z(i)=Ztrans; %Z in CIEXYZ
%Translate CIEXYZ to CIELAB
[CIEL,CIEa,CIEb]=xyz2lab(X(i),Y(i),Z(i));
LabL(i)=CIEL; %L* in CIELAB
Laba(i)=CIEa; %a* in CIELAB
Labb(i)=CIEb; %b* in CIELAB
end

%Mean of R,G,B,X,Y,Z,L*,a*,b*
red(hour+1,count) = mean2(r);
green(hour+1,count) = mean2(g);
blue(hour+1,count) = mean2(b);
xofxyz(hour+1,count) = mean2(X);
yofxyz(hour+1,count) = mean2(Y);
zofxyz(hour+1,count) = mean2(Z);
LofLab(hour+1,count) = mean2(LabL);
aofLab(hour+1,count) = mean2(Laba);
bofLab(hour+1,count) = mean2(Labb);

%Figure 1 shown the Original, Edging, Treshoulding and face color form mean
fig1=figure (1);
set(fig1,'visible','off');
subplot(2,2,1);subimage(I);title('Original Image');
subplot(2,2,2);subimage(E);title('Edege Detection');
subplot(2,2,3);subimage(R);title('Treshould Image');

subplot(2,2,4);rectangle('facecolor',[red(hour+1,count)/255,green(hour+1,count)/255,bl
ue(hour+1,count)/255]);

%Save Figure 1 as Avarage Color
FileName1 = strcat(NumberOfhour,'_',NumberOfPic,'_Result','.jpg');
saveas(fig1,FileName1);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
end
```

```
end
```

```
%Make round of R,G,B
```

```
redreal=round(red);
```

```
greenreal=round(green);
```

```
bluereal=round(blue);
```

```
%Writing CIELAB as excel
```

```
%L* is in sheet 1
```

```
%a* is in sheet 2
```

```
%b* is in sheet 3
```

```
%row is hour, column is number of pic
```

```
xlswrite('Color.xls',LofLab,1)
```

```
xlswrite('Color.xls',aofLab,2)
```

```
xlswrite('Color.xls',bofLab,3)
```

รหัสคำสั่ง: Extract_Fractal

```
%This Program will find shape parameter of object on white screen.
```

```
%This Program can run a batch of Image
```

```
%Image have name as "number of hour" 'number of each hour"
```

```
%save all value in xls
```

```
clear all
```

```
clc
```

```
%Input the number of imagea in each hour (must be equal)
```

```
imcount = input("How many picture of each hour : ");
```

```
for hour=0:15
```

```
    for count=1:imcount
```

```
        Numberofhour=num2str(hour);
```

```
        NumberofPic=num2str(count); %Number of Picture as string
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Name=strcat(NumberOfhour,'_',NumberOfPic,'.jpg'); %Make name of picture

I=imread(Name); %Save that Image as I

I=imcrop(I,[850 650 399 399]); %Crop image in size 400x400

Pic=imcomplement(I(:, :, 3)); %Only use the B in RGB for segmentation

[R,E,J]=SegFood(Pic);%Edging and Treshoulding

%Find projected area, perimeter, major axis, minor axis, ferret's diameter and
%fractal dimension

area(hour+1,count)=struct2cell(regionprops(R,'Area'));
perimeter(hour+1,count)=struct2cell(regionprops(R,'Perimeter'));
majoraxis(hour+1,count)=struct2cell(regionprops(R,'MajorAxisLength'));
minoraxis(hour+1,count)=struct2cell(regionprops(R,'MinorAxisLength'));
diameter(hour+1,count)=struct2cell(regionprops(R,'EquivDiameter'));
df(hour+1,count)=box_counting(E);

%Figure 1 shown the Original, Edging, Treshoulding
fig1=figure (1);
set(fig1,'visible','off');
subplot(2,2,[1 3]);subimage(I);title('Original Image');
subplot(2,2,2);subimage(E);title('Edege Detection');
subplot(2,2,4);subimage(R);title('Treshould Image');

%Save Figure 1
FileName1 = strcat(NumberOfhour,'_',NumberOfPic,'_Result','.jpg');
saveas(fig1,FileName1);

end

end

%Save as excel file,
%Sheet 1 is projected area

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

%Sheet 2 is perimeter
%Sheet 3 is major axis
%Sheet 4 is minor axis
%Sheet 5 is ferret's diameter
%Sheet 6 is fractal dimension
%row is hour, column is number of pic

```
xlswrite('Shape.xls',area,1)  
xlswrite('Shape.xls',perimeter,2)  
xlswrite('Shape.xls',majoraxis,3)  
xlswrite('Shape.xls',minoraxis,4)  
xlswrite('Shape.xls',diameter,5)  
xlswrite('Shape.xls',df,6)
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้