สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การวิเคราะห์ภาพการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง สำหรับทำนายความสดของไข่ไก่

Near Infrared hyperspectral imaging for freshness detection of eggs

นายสนธิสุข ธีระชัยชยุติ
นางสาวปิยะมาศ จานนอก
นายภานุวัฒน์ ทรัพย์ปรุง

T137661

b. 12683073
.b.....
.i.....

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2557
คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH
ก1ดวก
2557
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 137661
วันเดือนปี 13 ก.ค. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
For citation to modify the content, and cite the document when use.

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การวิเคราะห์ภาพการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง สำหรับทำนายความสดของไข่ไก่

Near Infrared hyperspectral imaging for freshness detection of eggs

นายสนธิสุข ธีระชัยชยุติ

นางสาวปิยะมาศ จานนอก

นายภานุวัฒน์ ทรัพย์ปรุง

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2557

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ชื่อโครงการ การวิเคราะห์ภาพการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูงสำหรับทำนายความสดของไข่ไก่
ชื่อโครงการ Near Infrared hyperspectral imaging for freshness detection of eggs
แหล่งเงิน เงินงบประมาณแผ่นดิน
ประจำปีงบประมาณ 2557 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 308,800 บาท
ระยะเวลาการทำวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2556 ถึง 30 กันยายน 2557
ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด
นายสนธิสุข ธีระชัยชยุติ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
นางสาวปิยะมาศ จานนอก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
นายภานุวัฒน์ ทรัพย์ปรุง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตขอนแก่น

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำนายความสดของไข่ไก่โดยใช้เทคนิคแสงย่านใกล้อินฟราเรดไข่ไก่ที่ใช้ในการทดลองนี้ จะเป็นไข่ไก่ที่เก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลา 21 วัน นำตัวอย่างมาสแกนด้วยเครื่องเนียร์อินฟาเรดในวันที่ 0, 4, 7, 10, 14, 18 และ 21 เครื่องเนียร์อินฟาเรดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีทั้งหมด 3 ชนิด คือ เครื่อง NIR spectrometer แบบพกพา โหมด interactance ที่ความยาวคลื่น 588-1089 นาโนเมตร, เครื่อง FT-NIR spectrometer โหมด reflectance ที่ความยาวคลื่น 1000-2500 นาโนเมตร และเครื่อง NIR hyperspectral imaging โหมด reflectance ความยาวคลื่น 910-1700 นาโนเมตรค่าพารามิเตอร์ที่ใช้วัดเพื่อบ่งบอกถึงความสดของไข่ไก่ มีดังนี้ ค่าฮอกยูนิต, ค่าความสูงของไข่ขาว, ค่าความสูงของไข่แดง, ค่าเปอร์เซ็นต์ weight loss และค่าความถ่วงจำเพาะซึ่งผลการทดลอง พบว่า การใช้ เครื่อง NIR spectrometer แบบพกพา และเครื่อง FT-NIR spectrometer สามารถทำนายความสดของไข่ไก่ได้ดีและเมื่อเปรียบเทียบเครื่อง NIR ทั้ง 2 ชนิดนี้ในโหมด interactance และโหมด reflectance สรุปได้ว่าทั้ง 2 ชนิดนี้มีประสิทธิภาพในการทำนายความสดของไข่ไก่ได้ถูกต้องและน่าเชื่อถือไม่แตกต่างกันมากนักส่วนการใช้เครื่อง NIR hyperspectral imaging จะทำนายปริมาณความสดของไข่ไก่ออกมาเป็นภาพการทำนาย ซึ่งผลการทดลองนี้ พบว่า การใช้ เครื่อง NIR hyperspectral imaging สามารถทำนายปริมาณความสดของไข่ไก่ได้ดีเช่นกัน และยังสามารถคัดแยกกลุ่มระหว่างไข่สดและไข่ไม่สดได้แม่นยำถึง 78.83 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: ไข่ไก่, แบบไม่ทำลาย, การทำนาย และความสด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Abstract

The objective of this research is to prediction freshness of hyperspectral imaging by near infrared spectroscopy. All samples (hen eggs) were stored for 21 days and measured by near infrared spectroscopy at the day of 0, 4, 7, 10, 14, 18 and 21. Three types of near infrared spectrophotometer were used in this research: FQA-NIR GUN spectrophotometer using interactance mode in the wavelength range of 588-1089 nm., FT-NIR spectrophotometer using reflectance mode in the wavelength range of 1000-2500 nm. And NIR hyperspectral imaging using reflectance mode in the wavelength range of 910-1700 nm. The parameters which used to indicate the freshness of hen eggs were Haugh unit, albumin height, yolk height, weight loss and specific gravity. The results showed that FQA-NIR GUN spectrophotometer and FT-NIR spectrophotometer could be used to accurately predict the freshness of hen eggs. If we considered between 2 types of the NIRs (interactance mode and reflectance mode), it showed that the interactance mode and the reflectance mode could be used to predict the freshness of hen eggs with the same accuracy of prediction. For NIR hyperspectral imaging, it can be used to predict the freshness of hen eggs as well as the results showed that NIR hyperspectral imaging can be used to classify groups of hen eggs related to the freshness with the accuracy of 78.83%.

Keywords: hen egg, non-destructive, predict, freshness

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากเงินทุนงบประมาณประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2557 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตขอนแก่น และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอิสาน จ.นครราชสีมา ที่ให้ใช้ห้องปฏิบัติการและเครื่องมือในงานวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์การดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดสำหรับทำนายความสดของไข่ไก่ คณะผู้วิจัยหวังว่ารายงานวิจัยฉบับนี้คงจะเป็นประโยชน์กับผู้ที่สนใจหากรายงานวิจัยฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้วิจัยขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

นายสนธิสุข ธีระชัยชยุติ
นางสาวปิยะมาศ จานนอก
นายภานุวัฒน์ ทรัพย์ปรุง

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II

กิตติกรรมประกาศ..... III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VI

สารบัญภาพ.....IX

สัญลักษณ์คำย่อและอักษรย่อ.....XI

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความสำคัญและที่มา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2

1.5 สถานที่ทำการทดลอง.....2

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ.....3

บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....4

2.1 ไข่ไก่.....4

2.2 near infrared spectroscopy (NIRS).....7

2.3 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง.....11

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....14

3.1 วัสดุและอุปกรณ์.....14

3.2 วิธีการทดลอง.....14

บทที่ 4 ผลการทดลอง.....21

4.1 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพไข่ไก่ในระหว่างการเก็บรักษา.....21

4.2 ผลของการใช้เทคนิค NIRs โหมด interactance ในการสร้างและทดสอบสมการ.....28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 ผลของการใช้เทคนิค NIRs โหมด reflectance ในการสร้างและทดสอบสมการ.....43
4.4 การสร้างสมการเพื่อทำนายระดับค่า Haugh unit โดยใช้ NIR hyperspectral imaging.....57
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....64
เอกสารอ้างอิง 66
ภาคผนวก 69
ภาคผนวก ก 70
ภาคผนวก ข.....126

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 การแบ่งช่วงคลื่นย่านอินฟราเรด.....7

4.1 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายระดับค่า Hauhg unit 29

4.2 แสดความแม่นยำในสร้างสมการในการ ทำนายระดับค่า Hauhg unit ด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ.....30

4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคPLSR ของการทำนายระดับค่า Hauhg unit.....30

4.4 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายระดับค่าความสูงของไข่แดง.....31

4.5 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายระดับค่าความสูงของไข่แดงด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ.....32

4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคPLSR ของการทำนายระดับค่าความสูงของไข่แดง.....33

4.7 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายระดับค่าความสูงของไข่ขาว.....35

4.8 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายระดับค่าความสูงของไข่ขาวด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ.....36

4.9 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคPLSR ของการทำนายระดับค่าความสูงของไข่ขาว.....36

4.10 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนาย %weight loss.....38

4.11 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายเปอร์เซ็นต์ weight loss ด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ.....39

4.12 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนาย %weight loss.....39

4.13 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการขอการทำนายค่าความถ่วงจำเพาะ.....41

4.14 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายค่าความถ่วงจำเพาะด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ.....42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.15 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายค่าความถ่วงจำเพาะ.....42

4.16 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายระดับค่า Haugh unit.....44

4.17 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายระดับค่า Haugh unit ด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ.....45

4.18 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคPLSR ของการทำนายระดับค่า Haugh unit 46

4.19 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายระดับค่าความสูงไข่แดง.....47

4.20 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายระดับค่าความสูงไข่แดงด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ.....48

4.21 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายระดับค่าความสูงไข่แดง.....48

4.22 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายระดับค่าความสูงไข่ขาว.....50

4.23 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายระดับค่าความสูงไข่ขาวด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ.....50

4.24 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายระดับค่าความสูงไข่ขาว.....51

4.25 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนาย %weight loss.....52

4.26 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนาย %weight loss ด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ.....53

4.27 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายเปอร์เซ็นต์ weight loss.....53

4.28 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายค่าความถ่วงจำเพาะ.....55

4.29 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายค่าความถ่วงจำเพาะด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ.....56

4.30 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายค่าความถ่วงจำเพาะ.....56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.31 แสดงจำนวนตัวอย่างไข่และค่าHU.....58

4.32 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณความสดของไข่ไก่ด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ.....59

4.33 แสดงความแม่นยำในการคัดแยกระหว่างกลุ่มไข่สดและกลุ่มไข่ไม่สด.....62

ก.1 แสดงภาพการทำนายปริมาณค่า Haugh unit ด้วยเทคนิค NIRs hyperspectral imaging.....71

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1ส่วนประกอบของไข่.....4

2.2 ความสูงของไข่ขาว.....6

2.3 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูลจากสเปกตรัมNIRS.....9

3.1 แสดงตำแหน่งการการสแกนไข่ไก่.....15

3.2 แสดงรูปเครื่องNIR image.....19

4.1 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าHaugh unit ในระหว่างการเก็บรักษา.....21

4.2 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงของไข่แดงในระหว่างการเก็บรักษา.....22

4.3 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงของไข่ขาวในระหว่างการเก็บรักษา.....23

4.4 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงค่า %weight loss ในระหว่างการเก็บรักษา.....24

4.5 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงของpH ไข่แดง ในระหว่างการเก็บรักษา.....25

4.6 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงของpH ไข่ขาว ในระหว่างการเก็บรักษา.....26

4.7 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงของspecific gravity ในระหว่างการเก็บรักษา.....27

4.8 สเปกตรัมที่ได้จากการสแกนด้วยเครื่องNIR Gun โหมด Interactance.....28

4.9 แสดงผลการทำนายระดับค่าHauhg unit 31

4.10 แสดงผลการทำนายระดับค่าความสูงของไข่แดง.....34

4.11 แสดงผลการทำนายระดับค่าความสูงของไข่ขาว.....37

4.12 แสดงผลการทำนาย %weight loss 40

4.13 แสดงผลการทำนายค่าความถ่วงจำเพาะ.....43

4.14 แสดงสเปกตรัมที่แสดงด้วยเครื่อง NIR Flex N-500 โหมดReflectance.....44

4.15 แสดงผลการทำนายค่า Haughunit 46

4.16 แสดงผลการทำนายค่าความสูงไข่แดง.....49

4.17 แสดงผลการทำนายค่าความสูงไข่ขาว.....51

4.18 แสดงผลการทำนายค่า %weight loss 54

4.19 แสดงผลการทำนายค่า %weight loss 57

4.20 แสดงภาพการทำนายปริมาณค่า Haugh unit ของไข่ไก่.....60

ข.1 แสดงภาพไข่ไก่ที่ได้จากการทำนายด้วยโปรแกรม Evince.....127

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

ข.2 ตัวอย่างไข่ไก่ที่ถูกเปลี่ยนเป็นภาพสีขาวดำ.....127

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สัญลักษณ์คำย่อและอักษรย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย
NIRS	near infrared spectroscopy
PLSR	partial least square regression
R	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient)
N	number of sample
RMSEC	root mean square error of calibration
RMSECV	root mean square error of cross validation
smoothing	Savitzky-Golay smoothing
1st derivative	Savitzky-Golay first derivative
2nd derivative	Savitzky-Golay second derivative
MSC	multiplicative scatter correction pretreatment
SNV	standard normal variate transformation

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ไข่ไก่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยไข่ไก่ในประเทศไทยนำไปใช้สำหรับการบริโภคในประเทศ นำไปแปรรูปในโรงงานอุตสาหกรรมและการส่งออก ปี 2550-2554 ปริมาณการผลิตไข่ไก่เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.63 ต่อปีเนื่องจากประสิทธิภาพการผลิตไข่ไก่มีการพัฒนาไปอย่างต่อเนื่องในปี 2554 มีปริมาณการผลิตไข่ไก่ 10,045 ล้านฟองเพิ่มขึ้นจาก 9,787 ล้านฟองของปี 2553 ร้อยละ 2.64 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร การเกษตร. 2555) ปัจจุบันการเลี้ยงไก่ไข่มีการนำเอาเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาปรับปรุงพันธุ์และวิธีการเลี้ยงส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตไข่ไก่ของแม่ไก่ไข่ยืนกรงเพิ่มขึ้นโดยในปี 2554 อัตราการให้ไข่ของแม่ไก่ไข่ยืนกรงเฉลี่ย 292 ฟอง/ตัว/ปี

การส่งออกไข่ไก่แบ่งออกเป็นการส่งออกไข่ไก่สดและผลิตภัณฑ์จากไข่ไก่ได้แก่ไข่แดงเหลวไข่ผงรวมและไข่ขาวผงปี 2550-2554 ปริมาณส่งออกเพิ่มขึ้นร้อยละ 5 ต่อปีและมูลค่าการส่งออกเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 ต่อปี โดยในปี 2554 มีปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์จากไข่ไก่ 3,505 ตันมูลค่า 263 ล้านบาท เปรียบเทียบกับปี 2553 ซึ่งมีปริมาณการส่งออก 3,479 ตันมูลค่า 279 ล้านบาท ปริมาณเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.76 แต่มูลค่าลดลงร้อยละ 5.76 ผลิตภัณฑ์ที่ส่งออกได้มากที่สุดคือไข่เหลวรวมตลาดส่งออกที่สำคัญคือญี่ปุ่นซึ่งมีสัดส่วนการส่งออกประมาณร้อยละ 72.43 ของปริมาณการส่งออกไข่เหลวรวมทั้งหมดรองลงมาได้แก่สหรัฐอเมริกาออสเตรเลียและแคนาดามีสัดส่วนการส่งออกร้อยละ 13.50, 6.02 และ 3.76 ตามลำดับ (สมาคมผู้ผลิตผู้ค้าและส่งออกไข่ไก่. 2555)

ความสดของไข่ไก่ มีความสำคัญต่อคุณภาพของไข่ไก่และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากไข่ไก่ การตรวจสอบความสดของไข่ไก่จึงมีบทบาทสำคัญ เพื่อที่จะให้เกิดการยอมรับในคุณภาพของผู้บริโภคและโรงงานผู้ผลิตผลิตภัณฑ์แปรรูปจากไข่ไก่ ตลอดจนลูกค้าที่นำเข้าไข่ไก่จากประเทศไทย

ดังนั้นเทคนิคการตรวจสอบความสดของไข่ไก่แบบไม่ทำลายจึงมีความสำคัญ เพื่อให้เกิดความมั่นใจและการยอมรับในคุณภาพของไข่ไก่ เมื่อผู้บริโภค โรงงานอุตสาหกรรมที่แปรรูปไข่ไก่ ประเทศที่นำเข้าไข่ไก่มั่นใจในคุณภาพก็จะเป็นโอกาสในการเพิ่มปริมาณการบริโภค การผลิต และการส่งออก และเป็นการเพิ่มมูลค่าของไข่ไก่ที่ผลิตในประเทศไทย อันจะเป็นผลดีต่อผู้เลี้ยงไก่ และเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศไทยด้วยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่างความสดของไข่ไก่กับข้อมูลการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการดูดกลืนพลังงานในแสงย่านใกล้อินฟราเรดและการวิเคราะห์ภาพการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง

1.2.2 เพื่อให้ได้เทคนิคสำหรับคัดแยกคุณภาพของไข่ไก่ตามความสด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาและสร้างสมการทำนายระดับความสดไข่ไก่โดยใช้เทคนิคการดูดกลืนพลังงานในแสงย่านใกล้อินฟราเรด และการวิเคราะห์ภาพการดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง หาความสัมพันธ์ในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ เพื่อกำหนดเป็นแนวทางในการคัดแยกไข่ไก่ที่มีระดับความสดแตกต่างกัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลจากงานวิจัยจะได้ข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับคัดแยกความสดของไข่ไก่ และ/หรือ ตีพิมพ์เป็นบทความทางวิชาการ และ/หรือ สามารถใช้เป็นหัวข้อวิทยานิพนธ์ของนักศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา

หน่วยงานภาครัฐหรือเอกชนสามารถนำผลงานวิจัยไปใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องมือคัดแยกความสดของไข่ไก่ อันจะเป็นประโยชน์ต่อผู้เลี้ยงไก่ ผู้ประกอบการธุรกิจเกี่ยวกับไข่ไก่ ผู้ส่งออกไข่ไก่ และอุตสาหกรรมแปรรูปไข่ไก่ ตลอดจน ผู้บริโภคไข่ไก่ เนื่องจากจะสามารถทำให้ผู้บริโภคหรือผู้ซื้อไข่ไก่ มีความเชื่อมั่นในคุณภาพของไข่ไก่ที่ซื้อและยอมรับในผลิตภัณฑ์จากไข่ไก่มากยิ่งขึ้น จะช่วยทำให้มีความต้องการบริโภคมากขึ้น และจะส่งผลให้มีมูลค่าการค้าเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีการตรวจสอบคุณภาพไข่ไก่ในประเทศไทย กล่าวได้ว่าผลการวิจัย จะสามารถแก้ปัญหาให้แก่ธุรกิจการค้าไข่ไก่ของประทศไทย จะสามารถถ่ายทอดความรู้ในการผลิตเครื่องแยกความสดไข่ไก่แบบไม่ทำลายสู่ภาคธุรกิจเชิงพาณิชย์ อันจะเป็นองค์ความรู้ในการวิจัยพัฒนาต่อไปในอนาคต

1.5 สถานที่ทำการทดลอง

1.5.1 ห้องปฏิบัติการแปรรูปอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตรสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังลาดกระบัง กรุงเทพฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.5.2 ห้องปฏิบัติการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตขอนแก่น

1.5.3 ห้องปฏิบัติการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอิสาน จ.นครราชสีมา

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

ไข่ไก่, ความสด, ทำนาย, ไม่ทำลาย, ใกล้อินฟราเรด

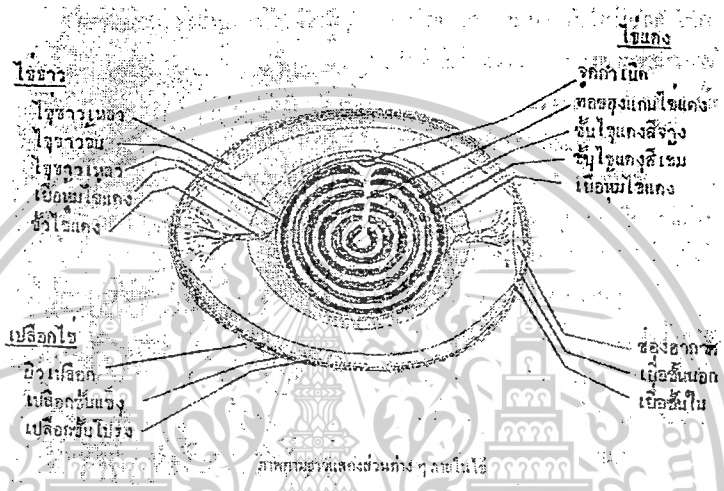
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไข่ไก่

2.1.1 องค์ประกอบของไข่ไก่ มีดังนี้ (เสกสม และคณะ, 2549)



ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบของไข่

ที่มา: (สุวรรณ, 2529)

2.1.1 เปลือกไข่(shell)

เปลือกไข่มีลักษณะแข็ง แต่มีรูพรุน รูพรุนนี้มีความสามารถในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ที่จะเข้าสู่ฟองไข่ และยังช่วยป้องกันการระเหยของความชื้นจากฟองไข่สีเปลือกอาจเป็นสีขาวหรือสีน้ำตาล ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ไก่ แต่ไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพ รสชาติ คุณค่าทางอาหาร หรือความหนาของเปลือกแต่อย่างใด

2.1.2 เยื่อเปลือกไข่(shell membrane)

เยื่อเปลือกไข่มี 2 ชั้น คือ เยื่อเปลือกไข่ด้านใน (inner shell membrane) และเยื่อเปลือกไข่ด้านด้านนอก (outer shell membrane) เยื่อเปลือกไข่ด้านนอกจะติดอยู่กับเปลือกไข่ ส่วนเยื่อเปลือกไข่ด้านในจะติดอยู่กับไข่ขาว เยื่อเปลือกไข่ทำหน้าที่ป้องกันเชื้อโรคเข้าสู่ฟองไข่

2.1.3 ช่องอากาศ (air cell)

ช่องอากาศปกติจะพบบริเวณด้านป้านของฟองไข่ ระหว่างเยื่อหุ้มเปลือกด้านในและด้านนอก ช่องอากาศเกิดจากการหดตัวขององค์ประกอบภายในฟองไข่เมื่ออุณหภูมิฟองไข่ลดลงภายหลังจากการวางไข่ เนื่องจากมีการระเหยของความชื้น ช่องอากาศจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่ออายุไข่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.4 ไข่ขาว (egg white or thick albumen)

ไข่ขาว ประกอบด้วย ไข่ขาวข้น(inner firm or thick albumen) และไข่ขาวเหลว (outer thin albumen) ไข่ขาวเหลวกระจายอยู่รอบๆไข่ขาวข้น ไข่ที่มีไข่ขาวที่ข้นและคงรูปเป็นไข่ขาวที่มีคุณภาพดี

2.1.5 ไข่แดง (yolk)

ไข่แดงมีลักษณะค่อนข้างกลม มีเยื่อบางๆหุ้มโดยรอบ สีของไข่แดงขึ้นกับอาหารที่แม่ไก่กิน อย่างไรก็ตามสีไข่แดงไม่มีผลต่อคุณค่าทางอาหารของไข่

2.1.6 น้ำหนักไข่(egg weight)

น้ำหนักฟองไข่ผันแปรขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง อาทิ เช่น สายพันธุ์ อายุ และอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม โดยองค์ประกอบของไข่ไก่ ที่น้ำหนัก60 กรัม มีดังนี้คือ

ไข่แดง(29%)	17.4 กรัม
ไข่ขาว(61.5%)	36.9 กรัม
เปลือกไข่(9.5%)	5.6 กรัม

2.1.2 คุณภาพไข่แดงและไข่ขาว

ไข่ไก่คุณภาพดี ควรมีไข่แดงที่กลม ข้น คงรูปได้ดีและมีสีเหลือง บางครั้งไข่ที่มีสีซีดมักไม่เป็นที่นิยมของผู้บริโภคบางกลุ่ม ไข่แดงควรมีกลิ่น และรสชาติไข่ที่เหมาะสม และถูกล้อมรอบด้วยไข่ขาวที่ข้นปริมาณมาก และมีไข่ขาวเหลือเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพไข่แดงและไข่ขาวมีดังนี้

- ปัจจัยโดยธรรมชาติ เช่น จุดเลือด จุดเนื้อ
- อุณหภูมิ
- ความชื่น
- ระยะเวลา
- การจัดการ
- การเก็บรักษา
- การปนเปื้อนของกลิ่น(tainting)

2.1.2.1 การรักษาคุณภาพไข่ไก่ (Quality Maintenance)

การรักษาคุณภาพไข่ไก่ให้มีความสดจากผู้ผลิตจนถึงมือผู้บริโภค เป็นปัญหาหลักอย่างหนึ่งของการตลาดไข่ไก่ ความเอาใจใส่ดูแลอย่างเหมาะสมในกระบวนการผลิต การจำหน่าย และช่วงระยะเวลาของการจำหน่ายเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการรักษาคุณภาพไข่ไก่

2.1.2.2 การเสื่อมคุณภาพของไข่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Hinton (1968) กล่าวว่าคุณลักษณะของไข่ภายนอก และภายในฟองไข่ที่มักนำมาใช้ในการพิจารณาคุณภาพไข่คือ น้ำหนักฟองไข่ รูปร่างฟองไข่ ความหนาเปลือกไข่และความทนทานต่อการแตกร้าว ค่าความถ่วงจำเพาะ ขนาดช่องอากาศ ความสูงไข่ขาว และน้ำหนักไข่ขาว รวมทั้งดัชนีไข่แดง

การเสื่อมคุณภาพของไข่ไก่นั้นเริ่มจากเมื่อแม่ไก่วางไข่ เมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น น้ำหนักฟองจะไข่ลดลงเนื่องจากมีการระเหยของน้ำออกจากส่วนของไข่ขาว หากความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในบริเวณที่ไข่นั้นต่ำกว่า 99.6% จะทำให้เกิดการระเหยของน้ำออกจากรูเปลือกไข่อัตราการระเหยของน้ำจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนแปรผัน ตามค่าความแตกต่างระหว่างความชื้นภายในและภายนอกฟองไข่ อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ 99% จะไม่ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักของไข่ไก่ แต่จะมีผลให้เชื้อราสามารถเจริญเติบโตได้ ดังนั้นถ้าจำเป็นต้องเก็บไข่ไก่ไว้เป็นเวลานานกว่า 1 สัปดาห์ ควรเก็บไว้ในที่ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 85 % เพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าว โดยยึดหลักเกณฑ์ที่ว่าการเก็บไข่ไก่ที่ได้รับการเก็บรักษาในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมควรมีการสูญเสียน้ำหนักประมาณ 1% ต่อสัปดาห์

ไข่ไก่ที่มีอายุการเก็บรักษานานๆ จะมีการดูดซึมน้ำจากไข่ขาวเข้าสู่ส่วนของไข่แดง เนื่องมาจากผลของแรงดันออสโมติก ซึ่งจะมีผลให้เยื่อหุ้มไข่แดง (vitelline membrane) เกิดความอ่อนแอ มีผลให้ไข่แดงมีลักษณะแบนราบซึ่งแตกต่างไปจากในไข่สด นอกจากนี้แล้วยังพบว่าไข่ไก่ที่มีอายุเก็บรักษานานๆ นั้น เมื่อนำไปต้มให้สุกจะพบว่าส่วนของไข่แดงจะมีสีเขียวเข้ม ทั้งนี้เป็นผลมาจากการทำปฏิกิริยาระหว่างธาตุเหล็กในไข่แดง กับแร่ธาตุซัลเฟอร์ ที่เป็นผลมาจากการเสื่อมคุณภาพของไข่ขาว

2.1.3 การตรวจวัดความสดของไข่ไก่แบบทำลาย (Destructive measurement)

2.1.3.1 ความสูงของไข่ขาว

(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 2.2 ความสูงของไข่ขาว (ก) ไข่สด (ข) ไข่เก่า (ค) ความสูงของไข่ขาวด้านข้าง
ที่มา: สุวรรณ (2529)

ความสูงของไข่ขาววัดได้จาก การตอกไข่บนกระจก แล้ววัดด้วย ดิจิตอล คาลิเปอร์ สามขา(tripod digital caliper) โดยวัดจากไข่แดงออกไป 10 มิลลิเมตร 3 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.3.2 ค่าฮอกยูนิต

การต่อยไข่ตรวจสอบ (break-out method)

การตรวจสอบไข่ที่แม่นยำที่สุดคือ การต่อยไข่ตรวจสอบ (break-out method) โดยต่อยไข่วางบนกระจกเพื่อทำการวัดความสูงไข่ขาว และค่าฮอกยูนิต(HU) ซึ่งค่าฮอกยูนิต คำนวณได้จากสูตรที่นำเสนอโดย Haugh จากค่าความสูงของไข่ขาวข้นและน้ำหนักของฟองไข่ (เสกสม และคณะ, 2549)

ค่าฮอกยูนิต= 100 x log [(ความสูงของไข่ขาว x 7.57) – (1.7 x น้ำหนักฟองไข่ $^{0.37}$)]โดยที่ความสูงของไข่ขาวมีหน่วยเป็นมิลลิเมตรและน้ำหนักฟองไข่มีหน่วยเป็นกรัม ไข่ที่เหมาะต่อการบริโภคควรมีค่าฮอกยูนิต ไม่ต่ำกว่า 60

2.2 NearInfrared Spectroscopy (NIRS)

หลักการโดยพื้นฐานของเครื่องสเปกโตรสโคปี คือ เมื่อลำแสงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านเข้าไปยังสารละลายหรือวัตถุจะมีแสงบางส่วนถูกดูดกลืน (absorbed) บางส่วนทะลุผ่านออกไป (transmitted) บางส่วนเกิดการสะท้อนกลับ (reflected) บางส่วนเกิดการวาวแสงหรือเกิดการเรืองแสง และบางส่วนอาจเกิดการกระเจิงแสงในการดูดกลืนแสงย่านอินฟราเรดของโมเลกุลสารอินทรีย์ (นิพนธ์,2547) ช่วงคลื่นอินฟราเรดสามารถแบ่งย่อยออกเป็น 3 ช่วง ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1การแบ่งช่วงคลื่นย่านอินฟราเรด

ช่วงคลื่น	Characteristic transition	ความยาวคลื่น (mm)	เลขคลื่น (cm^{-1})	ประโยชน์
อินฟราเรดย่านใกล้ (near IR,NIR)	Overtones combination	780-2500	12800-4000	วิเคราะห์ปริมาณของกลุ่มฟังก์ชันนัล ศึกษาโครงสร้างของโมเลกุล
อินฟราเรดย่านกลาง (Mid IR,MIR or Fundamental IR)	Fundamental vibration	$2500\text{-}5x10^{4}$	4000-200	วิเคราะห์หาปริมาณของกลุ่มฟังก์ชันนัล
อินฟราเรดย่านไกล (Far IR)	Rotation	$5x10^{4}\text{-}10^{6}$	200-100	ให้ข้อมูลเกี่ยวกับการทรานสิชันที่เกี่ยวกับการหมุนของโมเลกุล

ที่มา : นิพนธ์ (2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

near infrared เกิดจากที่สารดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง near infrared คือ 785-2650 นาโนเมตร ทำให้โมเลกุลเกิดการสั่นที่ความถี่สูง โมเลกุลจะถูกกระตุ้นจาก ground vibration level ไปยัง excited vibration level ปริมาณการดูดกลืนพลังงานแสง (absorbance) เป็นไปตามกฎของ เบียร์-แลมเบิร์ต พลังงานของคลื่นแสงเมื่อผ่านเข้าไปในตัวอย่างพลังงานจะถูกดูดกลืนไว้โดยองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่าง ความเข้มของแสงที่ผ่านออกมาโดยทั่วไปจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีนั้น (Osborne et al., 1993) สารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้จะมี H-atom เป็นองค์ประกอบ เช่น O-H พบในแป้ง น้ำ น้ำตาล

2.2.1 หลักการวัดของเครื่อง NIRS มีด้วยกันหลายเทคนิคคือ

2.2.1.1 transmission

เป็นการวัดปริมาณแสงที่ผ่านออกมาในด้านตรงกันข้ามกับด้านที่แสงตกกระทบ

2.2.1.2 reflection

แสงตกกระทบที่พื้นผิวของตัวอย่าง วัดปริมาณแสงที่สะท้อนออกมาโดยรวมถึงแสงที่สะท้อนจากเนื้อตัวอย่างส่วนที่ใกล้ผิวตัวอย่างได้อีกด้วย

2.2.1.3 transflection

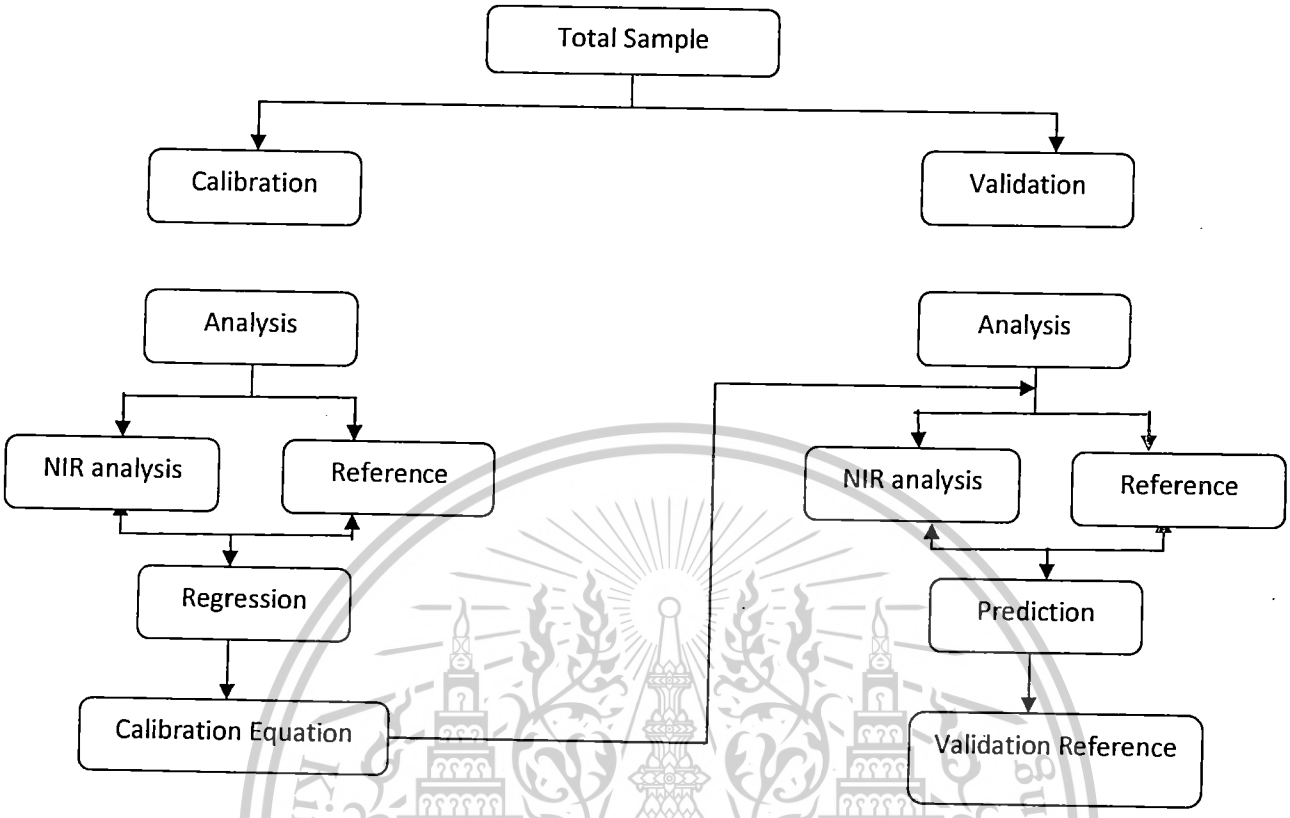
แสงจากแหล่งกำเนิดแสงตกกระทบตัวอย่าง ผ่านตัวอย่างลงไปตกกระทบแผ่นเซรามิก ทอง หรืออะลูมิเนียมในชั้นใต้สุดแล้วสะท้อนกลับมายัง detector

2.2.1.4 interaction

ใช้ในกรณี fiber optics probe แสงจากแหล่งกำเนิดแสงย่าน NIR ส่องผ่านลงมายังตัวอย่างในวงแหวนด้านนอก แล้วแสงที่สะท้อนออกมาจากเนื้อตัวอย่างถูกส่งไปยัง detector บริเวณส่วนกลาง

ในการใช้เครื่อง NIRS ในการวิเคราะห์ข้อมูลจำเป็นต้องนำข้อมูลที่ได้จากเครื่องมาแปลงเสียก่อนจึงจะได้ข้อมูลที่ต้องการ (Downey, 1994)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 2.3 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูลจากสเปกตรัม NIRS
ที่มา : Kawanoet al. (1995)

2.2.2 การทำ calibration

สปกตรัม NIR ที่ได้ซึ่งก็คือ ปริมาณการดูดกลืนพลังงานแสงที่ช่วงความยาวคลื่นในย่าน near infrared จะมีจุดยอดไม่ชัดเจนเนื่องจากการซ้อนทับกันของจุดยอดหลายๆ ค่า วิธีการ calibrating statistics หลายวิธีสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ เช่น multiple linear regression (MLS), partial least squares regression (PLS) หรือ principal components regression (PCR) เป็นต้น โดยวิธีดังกล่าวจะวิเคราะห์หาความยาวคลื่นของสเปกตรัมที่มีปริมาณการดูดกลืนพลังงานแสงสัมพันธ์กับปริมาณองค์ประกอบทางเคมี จำนวนตัวอย่างที่จะใช้ในการวัด NIRS จะต้องมีจำนวนมากพอที่จะเป็นตัวแทนตัวอย่างทั้งหมดได้ และมีการกระจายค่าขององค์ประกอบทางเคมีที่ต้องการวัดสม่ำเสมอและคลุมค่าที่จะวัดในอนาคต โดยตัวอย่างจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ calibration set กับ validation set หรือ test set จำนวนตัวอย่างของ calibration set มีมากกว่าตัวอย่างของ validation set เสมอ การทำ calibration ในปัจจุบันนี้สามารถใช้เทคนิคทางสถิติช่วย เช่น MLR หรือ PLS ช่วยในการเลือกสมการที่เหมาะสมมากที่สุด โดยสมการที่ได้ต้องพิจารณาค่า standard error of calibration (SEC) และค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

R ประกอบด้วยจากนั้นมาทำ validation โดยใช้สถิติเช่นเดียวกันโดยพิจารณาค่า standard error of prediction (SEP) และค่า bias ประกอบ นอกจากนั้นดูค่า skewness ด้วยการเลือกสมการที่เหมาะสมเป็นหัวใจสำคัญของการใช้เทคนิค NIRS ซึ่งต้องอาศัยประสบการณ์และความชำนาญในการเลือก สมการที่ได้จะนำมาใช้ประโยชน์โดยทดสอบการทำนายค่าจากตัวอย่างที่เป็นอิสระว่าสามารถทำนายค่าได้ถูกต้องหรือไม่ (Kawanoet al., 1995)

2.2.3 การแปลงข้อมูลก่อนการวิเคราะห์ (pretreatment of spectral data)

สเปกตรัมที่ได้จากการดูดกลืนแสงในย่านอินฟราเรด เป็นสเปกตรัมที่มีการเหลื่อมซ้อนทับกันอยู่ ดังนั้นในการวิเคราะห์จึงนำไปปรับแต่งด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ก่อนเพื่อลดความคลาดเคลื่อนให้น้อยลง วิธีที่นิยมใช้มีดังนี้

2.2.3.1 first derivative

เป็นการหาความชันของสเปกตรัมซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาที่สเปกตรัมมีค่าเพิ่มขึ้นคงที่ตลอดช่วงความยาวคลื่น การเคลื่อนตัวของสเปกตรัมตามแกน)Yการทำ (first derivative จุดยอดของสเปกตรัมเริ่มต้นจะเป็นจุดที่มีความชันมากที่สุด ซึ่งทำให้การแปลความหมายยากดังนั้นจึงนิยมใช้ second derivative มากกว่า first derivative นิยมใช้กับตัวอย่างที่มีเนื้อสม่ำเสมอและการกระจายตัวของอนุภาคทั่วถึง เช่น แป้งสาลีที่บดละเอียด การคำนวณ first derivative อีกวิธีหนึ่งคือการนำความชันของสเปกตรัมในแต่ละ segment ที่ติดกันมาลบกัน

2.2.3.2 second derivative

การใช้ second derivative จะเป็นการหาความเปลี่ยนแปลงความชันของสเปกตรัม สเปกตรัมที่ได้จะมีรูปร่างที่แตกต่างจากสเปกตรัมเริ่มต้นเมื่อใช้ second derivative จะมีจุดยอดที่เป็นบวกในด้านซ้ายและด้านขวาส่วนจุดยอดตรงกลางจะอยู่ในด้านตรงกันข้าม (ซึ่งเป็นค่าลบ) ที่สูงสุดและตรงกับจุดยอดเริ่มต้นการหาการเปลี่ยนแปลงของความชันสามารถแยกจุดยอดที่เหลื่อมซ้อนกันอยู่ออกมา และยังช่วยลดผลกระทบจากการกระเจิงแสงทั้งผลเชิงบวกและผลเชิงคูณ เนื่องจาก second derivative ของเส้นตรงมีค่าเป็นศูนย์

2.2.3.3 multiplicativescatter correction (MSC)

สเปกตรัมที่ได้จากการวัดการดูดกลืนแสงย่าน NIRS แบบ diffuse reflectanceและแบบ transmissionมักจะเกิดการกระเจิงแสงดังนั้นจึงต้องใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ MSC มาปรับแต่งสเปกตรัมเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ถูกต้อง การกระเจิงของแสงทำให้ความชันโดยรวมของสเปกตรัมเปลี่ยนไป เช่น ถ้าให้สเปกตรัมเป็นเส้นตรงสเปกตรัมจะถูกทำให้หมุนรอบจุดที่ความยาวคลื่นต่ำสุดของสเปกตรัม (multiplicative effect) ซึ่งจะทำให้สเปกตรัมที่ได้มีความชันต่างไปจากเดิมหรือทำให้ผลกระทบที่ทำให้สเปกตรัมทั้งหมดมีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เพิ่มขึ้นหรือลดลงเท่ากันตลอดช่วงความยาวคลื่นซึ่งเรียกว่า additive effectในทางปฏิบัติ MSC ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อลดผลที่เกิดจาก multiplicative effect และ additive effectการใช้ MSC นั้นใช้ได้ดีกับสเปกตรัมของตัวอย่างที่มีค่าทางเคมีเหมือนกันและสเปกตรัมมีรูปร่างลักษณะเหมือนกัน แต่ถ้ารูปร่างสเปกตรัมแตกต่างกันมากการใช้ MSC ก็ไม่ช่วยให้ผลจากการวิเคราะห์ดีขึ้น (Schulz et al., 1998)

2.2.4 ข้อดีของการวัดโดยใช้เทคนิค NIRS

2.2.4.1 ง่ายต่อการเตรียมตัวอย่าง

2.2.4.2 มีความรวดเร็วในการวัดค่า

2.2.4.3 ได้ผลที่แม่นยำและถูกต้อง

2.2.4.4 การตรวจสอบเป็นแบบไม่ทำลายตัวอย่าง

2.2.4.5 ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ

2.2.4.6 สะดวกต่อการใช้งาน

2.2.5 NIR hyperspectral imaging

เป็นการพัฒนาเทคนิคด้าน NIRs แบบใหม่ โดยการนำเทคนิคการวิเคราะห์ภาพ (image analysis) มาร่วมใช้วิเคราะห์ควบคู่ไปกับการวิเคราะห์การดูดกลืนพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดของตัวอย่าง เป็นการวิเคราะห์สเปกตราจำนวนมากไปพร้อมๆกับตัวแปรอิสระจำนวนมากแทนการใช้สเปกตรัมเฉลี่ยในแต่ลตัวอย่าง โดยพิจารณาจากแต่ละจุดพิกเซลของภาพของตัวอย่างที่ทำการตรวจวัด เป็นการเชื่อมโยงข้อมูลภาพของตัวอย่างค่าทางฟิสิกส์ ค่าทางเคมี มาพิจารณากับสเปกตราการดูดกลืนพลังงานแสงในย่านใกล้อินฟราเรด (FernándezPierna et al., 2012)

2.3 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

Rocculi et al. (2009) ได้ทำการศึกษาสภาพบรรยากาศที่ใช้ในการเก็บรักษาที่ส่งผลต่อความสดของไข่ โดยทำการทดลองเก็บรักษาไข่ไก่ที่สภาพบรรยากาศแตกต่างกันที่ 4 สภาวะด้วยกัน คือ เก็บในบรรยากาศปกติแบบไม่แพ็ค, เก็บในบรรยากาศปกติแบบแพ็ค, ไนโตรเจน และ CO_2 จากนั้นนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ได้แก่เปอร์เซนต์การสูญเสียน้ำหนัก, pH, water content, วัดสีด้วยระบบ CIE L a b พบว่าการเก็บในบรรยากาศปกติแบบไม่แพ็ค ทำให้คุณสมบัติต่างๆเหล่านี้เปลี่ยนแปลงไป คือ %การสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น

เสกสมและคณะ (2548) ใช้การส่องไข่ไก่ผ่านแสงเพื่อตรวจสอบคุณภาพทั้งภายใน และภายนอกของไข่ไก่โดยไม่ต้องต่อยไข่ เป็นการตรวจสอบโดยวางฟองไข่ไว้ด้านหน้าของลำแสงเพื่อให้สามารถมองเห็นตรวจสอบคุณภาพภายในได้ โดยการใช้หลอดไฟติดตั้งไว้ในกล่อง แล้วเจาะรูให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ประมาณ 3 ซม. แสงไฟจะส่องออกมาจากรูที่เจาะซึ่งทำให้สามารถเห็นองค์ประกอบภายในฟองไข่ เหมาะสมที่จะใช้ตรวจสอบขนาดตั้งแต่ 40-70 กรัม

มีนักวิจัยได้นำเอาเทคนิคเนียร์อินฟราเรดรูปแบบต่างๆมาใช้ตรวจสอบความสดไข่ไก่ในหลายผลงานวิจัย ได้แก่ การใช้เครื่องมือวัดการดูดกลืนพลังงานแสงช่วงความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรดชนิดสะท้อนกลับด้วย fiber optic ช่วงเลขคลื่น 10000 cm^{-1}ถึง 4000 cm^{-1}ได้ผลการทำนาย R=0.879 และ RMSEP=2.443 (Lin et al., 2011)

มีการนำเอา FT-NIR มาใช้เพื่อประเมินความสดของไข่ไก่แบบไม่ทำลาย ในช่วงความยาวคลื่น 833–2500 nm ได้ผลการทำนาย R^2 = 0.722, 0.789 และ 0.676 สำหรับ air cell height, thick albumen heights and Haughตามลำดับ (Giunchi et al., 2008)

ในปัจจุบันมีงานหลายงานวิจัย ที่ใช้ NIR hyperspectral imaging มาประยุกต์ใช้เพื่อตรวจคุณภาพอาหาร ได้ข้อมูลที่ละเอียดและเป็นการพิจารณาจากรายละเอียดของตัวอย่างจากภาพของตัวอย่าง ได้แก่ งานวิจัย ที่ใช้ NIR hyperspectral imaging ในช่วงความยาวคลื่น 900–1700 nm มาแยกชนิดของ lamb muscles โดยวิเคราะห์ด้วย principal component analysis (PCA) สามารถคัดแยกชนิดของ lamb muscles ได้ถูกต้อง 100% (Kamruzzaman et al., 2011)

ใช้ NIR hyperspectral imaging ในช่วงความยาวคลื่น 600-1,000 nm เพื่อทำนายอาการช้ำในผลกีวี แบบไม่ทำลาย โดยด้วยวิธี principal component analysis (PCA) สามารถทำนายได้ถูกต้อง 85.5% (Qiang et al., 2012)

ใช้ NIR hyperspectral imaging ในช่วงความยาวคลื่น 700–1100 nm เพื่อคัดแยกเมล็ดข้าวสาลีที่มีตำหนิจากแมลง โดยด้วยวิธี discriminant analysis สามารถแยกได้ถูกต้อง 96.4% สำหรับเมล็ดปกติและ 91.0–100.0% สำหรับเมล็ดที่มีตำหนิจากแมลง (Singh et al., 2010)

ใช้ NIR hyperspectral imaging ในช่วงความยาวคลื่น 960–1662 nm เพื่อคัดแยกเมล็ดข้าวโพดที่มีความแข็งแตกต่างกัน โดยวัดค่าความแข็งจากเครื่องมือ Pioneer Hi-Bred Research RSA และทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) สามารถสร้างโมเดล PLS-DA และนำมาทดสอบได้ความแม่นยำ root mean square error of prediction (RMSEP) เท่ากับ 0.18 (Williams et al., 2009)

ใช้ NIR hyperspectral imaging ในช่วงความยาวคลื่น 900 - 1700 nm เพื่อคัดแยกคุณภาพของเนื้อหมู ได้ความยาวคลื่นที่สำคัญในการคัดแยกที่ 960, 1074, 1124, 1147, 1207และ 1341 nm วิเคราะห์ด้วยวิธี principal component analysis (PCA).สามารถแยกได้ถูกต้อง 96% (Barbinet al., 2012)

ใช้ NIR hyperspectral imaging ในช่วงความยาวคลื่น 900 - 1700 nm เพื่อทำนายคุณภาพของเนื้อวัว ได้แก่ L*, b* pH และ ความแน่นเนื้อ โดยสร้างสมการสำหรับทำนายโดยวิธี partial least square regression

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

(PLSR).ได้ผลการทำนาย ดังนี้ coefficients of determination (R^2 CV) เท่ากับ 0.88, 0.81, 0.73, 0.83 และ root mean square errors estimated by cross validation (RMSECV) เท่ากับ 1.21, 0.57, 0.06, 40.75 ตามลำดับ (ElMasry et al., 2012)

ใช้ NIR hyperspectral imaging ในช่วงความยาวคลื่น 900 - 1700 nm เพื่อคัดแยกคุณภาพของเนื้อไก่งวงที่ผ่านการให้ความร้อน ได้ความยาวคลื่นที่สำคัญในการคัดแยกที่ 980, 1061, 1141, 1174, 1215, 1325, 1436 และ 1641 nm วิเคราะห์ด้วยวิธี principal component analysis (PCA).สามารถแยกได้ถูกต้องสูงสุด 99.23% (ElMasryet al., 2011a)

ใช้ NIR hyperspectral imaging ในช่วงความยาวคลื่น 910 - 1700 nm เพื่อทำนายค่าความจุในการรับน้ำ (water holding capacity: WHC) ในเนื้อวัวสด โดยสร้างสมการสำหรับทำนายโดยวิธี partial least square regression (PLSR) ได้ผลการทำนาย ดังนี้ coefficients of determination (R^2 CV) เท่ากับ 0.89 และroot mean square errors estimated by cross validation (RMSECV) เท่ากับ 0..26% (ElMasry et al., 2011b)

ใช้ NIR hyperspectral imaging ในช่วงความยาวคลื่น 950–1650 nm เพื่อคัดแยกตำหนิที่ติดเชื้อบนผิวของหอมหัวใหญ่ วิเคราะห์ด้วยวิธี Fisher's discriminant analysis โดยสามารถแยกได้ถูกต้อง 80% (Wanget al., 2012)

เพื่อเป็นการปรับปรุงและพัฒนาเทคนิคใหม่ๆมาใช้ในการตรวจสอบความสดของไข่ไก่แบบไม่ทำลาย งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ NIR hyperspectral imaging มาใช้สำหรับงานวิจัยนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วันดุและอุปกรณ์

3.1.1 วัตถุดิบ

3.1.1.1 ไข่ไก่เป็นไข่ไก่พันธุ์ esa brown ที่เลี้ยงในฟาร์มปิดแบบ evaporation air cooling system ซึ่งฟักไข่พร้อมกัน โดยซื้อมาจากฟาร์มในอำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา

3.1.2 อุปกรณ์

3.1.2.1 digital caliper (Mitutoyo 500-672)

3.1.2.2 กระจก

3.1.3 การวัดสเปกตรัม

3.1.3.1 เครื่อง NIR spectrometer แบบพกพา (FQA-NIRGUN)

3.1.3.2 เครื่อง FT-NIR spectrometer (NIRFlex N-500)

3.1.3.3 เครื่อง NIR hyperspectral imaging (SisuCHEMA, Finland))

3.1.3.4 โปรแกรม UMBIOEVINCE(version 2.6.0)

3.1.3.5 โปรแกรม unscrambler (version 9.6, CAMO AS, Trondheim, Norway)

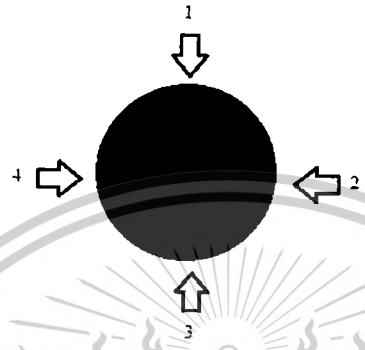
3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การทดลองเพื่อสร้างสมการทำนายคุณลักษณะของไข่ไก่โดยใช้เครื่อง NIR-GUN

3.2.1.1นำไข่ไก่คัดขนาดที่เท่ากัน เบอร์ 3 (สำนักงานมาตรฐานสินค้าและอาหารแห่งชาติ, 2553) จากฟาร์มเดียวกัน วัดขนาดความกว้าง, ความยาวและชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไข่ไก่ไปจัดเก็บในห้องเก็บรักษาอุณหภูมิ โดยให้ห้องเก็บรักษามีอุณหภูมิคงที่ คือ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แบ่งกลุ่มตัวอย่างกลุ่มละ 30 ฟอง แบ่งระยะเวลาการเก็บรักษาเพื่อนำมาทำการเก็บข้อมูลในวันที่ 0, 4, 7, 10, 14, 18 และ 21 นำไข่แต่ละฟองมาผ่านกระบวนการทดสอบโดยวิธีเทคนิคการดูดกลืนพลังงานในแสงย่านใกล้อินฟราเรดโดยใช้เครื่อง NIR-GUN โหมด interactanceจะมีช่วงความยาวคลื่น 588-1091 nm ในระหว่างการวัดสเปกตรัม จะรักษาอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ห้องปฏิบัติการในระหว่างการวัดที่ 25 °C วิธีการสแกนไข่ไก่ด้วยเครื่อง NIR จะทำการวัดทั้งหมด 4 ด้านของไข่ไก่ โดยหมุนทำมุมห่างกัน 90 องศา ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แสดงตำแหน่งการการสแกนไข่ไก่

3.2.1.2 หลังจากวัดสเปกตราของไข่ไก่แต่ละฟองแล้ว นำไข่ไก่แต่ละฟองไปตรวจสอบคุณภาพวัดความสดของไข่ไก่ ดังนี้

3.2.1.2.1 ตรวจหาค่าฮอกยูนิต (Haugh unit)

สามารถวัดได้จากการตอกไข่บนกระจก แล้ววัดด้วย digital caliper โดยวัดจากไข่แดงออกไป 10 มิลลิเมตร 3 จุด หาค่าเฉลี่ยและคำนวณหาค่า Haugh unit (Haugh, 1937)

3.2.1.2.2 วัดความสูงของไข่ขาว

3.2.3.2.3 วัดความสูงของไข่แดง

3.2.1.2.4 ตรวจหาค่าเปอร์เซ็นต์ weight loss

3.2.1.2.5 ตรวจหาค่าความถ่วงจำเพาะ (Hempe*et al.*, 1988)

สามารถหาได้จาก นำเหยือกพลาสติดขนาด 1 ลิตร ที่บรรจุน้ำกลั่นปริมาตร 1ลิตร นำไปวางบนตาชั่งดิจิตอล กดปุ่ม Tare หลังจากนั้นนำไข่มาจุ่มลงในน้ำ ถ้าไข่จมถึงก้ภาชนะจะใช้อุปกรร์ช่วยพยุงไม่ให้ไข่จม และถ้าไข่ลอยพ้นน้ำ จะใช้อุปกรณ์ช่วยดันไข่ให้จมน้ำ อ่านค่าน้ำหนักที่แทนน้ำ นำค่าน้ำหนักไปคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = \frac{\text{น้ำหนักของไข่ที่ชั่งในอากาศ (g)}}{\text{น้ำหนักของไข่ที่ชั่งในน้ำ (g)}}$$

3.2.1.3 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

3.2.1.3.1 สร้างสมการและประเมินความแม่นยำในการทำนายค่าฮอกยูนิต

พิจารณาเว้นสเปกตรัมที่วัดได้ ถ้าเส้นสเปกตรัมเส้นไหนมีลักษณะเป็น outliner ให้ทำการตัดข้อมูลนั้นทิ้งก่อน กำหนดให้ความยาวคลื่น (wavelength) เป็นตัวแปรต้น ให้ค่าฮอกยูนิตเป็นตัวแปรตามแบ่งกลุ่มข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสำหรับสร้างสมการ (calibration set) และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ (prediction set) วิธีการแบ่งกลุ่ม คือ นำค่าเคมี (ค่า Haugh unit) ขอข้อมูลทั้งหมดมาเรียงกัน จากน้อยไปมาก ทำการเลือกกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ (prediction set)โดยกลุ่ม calibration set จะมีจำนวนข้อมูลอยู่ที่ 70% และกลุ่ม prediction set จะมีจำนวนข้อมูลอยู่ที่ 30% กลุ่ม calibration set จะต้องมีค่าเคมีสูงสุดและต่ำสุดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย

ทำการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ (pretreatment) และสร้างโมเดลโดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยบางส่วนโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดหรือ partial least squares regression (PLSR) และใช้วิธีการปรับเทียบแบบ cross-validation ในการเลือกให้ได้โมเดลที่ดีที่สุดจะพิจารณาจากค่าcorrelation coefficient (R)และค่าของความผิดพลาดจากการทำนาย root mean square error of cross-validation (RMSECV) โดยค่า R ต้องมีค่าสูงสุด และค่า RMSECV มีค่าต่ำสุด

เมื่อพิจารณาหา pretreatment ที่ดีที่สุดได้แล้ว ทำการสร้างโมเดล โดยใช้กลุ่ม calibration setมาสร้าง ตรวจสอบค่าทางสถิติ นั่นก็คือ ค่า R และค่า root mean square error of calibration (RMSEC) เพื่อดูว่าโมเดลมีความสามารถในการทำนายได้แม่นยำมากน้อยเพียงใด โดยที่โมเดลที่มีความสามารถในการทำนายได้แม่นยำกว่าจะต้องมีค่าR ที่สูง และมีค่า RMSEC ที่ต่ำกว่า สำหรับโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติที่ใช้คือ the unscrambler (version 9.6, CAMO AS, Trondheim, Norway)

เมื่อสร้างสมการและได้โมเดลที่ดีที่สุดแล้ว จะทำการประเมินความแม่นยำของโมเดล โดยการนำกลุ่ม prediction set มาทดสอบกับโมเดลที่สร้างขึ้น พิจารณาค่าทางสถิติ นั่นก็คือ R และ root mean square error of prediction (RMSEP)

3.2.1.3.3 สร้างสมการเพื่อทำนายความสูงของไข่แดง

วิธีการสร้างสมการทำเช่นเดียวกับข้อ 3.2.1.3.1 แต่ให้ตัวแปรตามเป็นค่าความสูงของไข่แดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

3.2.1.3.4 สร้างสมการเพื่อทำนาย ความสูงของไข่ขาว

วิธีการสร้างสมการทำเช่นเดียวกับข้อ 3.2.1.3.1 แต่ให้ตัวแปรตามเป็นค่าความสูงของไข่ขาว

3.2.1.3.5 สร้างสมการเพื่อทำนายเปอร์เซ็นต์ weight loss

วิธีการสร้างสมการทำเช่นเดียวกับข้อ 3.2.1.3.1 แต่ให้ตัวแปรตามเป็นเปอร์เซ็นต์ weight loss

3.2.1.3.6 สร้างสมการเพื่อทำนายค่าความถ่วงจำเพาะ

วิธีการสร้างสมการทำเช่นเดียวกับข้อ 3.2.1.3.1 แต่ให้ตัวแปรตามเป็นค่าความถ่วงจำเพาะ

3.2.2 การทดลองเพื่อสร้างสมการทำนายคุณลักษณะของไข่ไก่โดยใช้เครื่อง FT-NIR

3.2.2.1 นำไข่ไก่คัดขนาดที่เท่ากัน (เบอร์ 3) ที่ซื้อมาจากฟาร์มเดียวกัน ขนส่งโดยรถยนต์จากฟาร์มมายังห้องปฏิบัติการ มหาวิทยาลัยราชมงคลอีสาน ขอนแก่น โดยไข่ไก่จะถูกบรรจุอยู่ในแผงไข่ไก่ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิคงที่ คือ ที่ 25 องศาเซลเซียส แบ่งกลุ่มตัวอย่างกลุ่มละ 30 ฟอง แบ่งระยะเวลาการเก็บรักษาเพื่อนำมาทำการเก็บข้อมูลในวันที่ 0, 4, 7, 10, 14, 18 และ 21 นำไข่แต่ละฟองมาผ่านกระบวนการทดสอบโดยวิธีเทคนิคการดูดกลืนพลังงานในแสงย่านใกล้อินฟราเรดโดยใช้เครื่อง FT-NIR โหมด reflectance ซึ่งมีช่วงความยาวคลื่น 1000-2500 nm ในระหว่างการวัดสเปกตรัม จะรักษาอุณหภูมิห้องปฏิบัติการในระหว่างการวัดที่ 25 °C วิธีการสแกนไข่ไก่ด้วยเครื่อง NIR จะทำการวัดทั้งหมด 4 ด้านของไข่ไก่ ดังเช่นเดียวกับภาพที่ 3.1

3.2.2.2 หลังจากวัดสเปกตราของไข่ไก่แต่ละฟองแล้ว นำไข่ไก่แต่ละฟองไปตรวจสอบคุณภาพวัดความสดของไข่ไก่ ดังเช่นเดียวกับข้อ 3.2.1.2.1-3.2.1.2.5

3.2.2.3 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

3.2.2.3.1 สร้างสมการทำนายความสดของไข่ไก่

วิธีการสร้างสมการทำเช่นเดียวกับข้อ 3.2.1.3.1

3.2.1.3.3 สร้างสมการเพื่อทำนายความสูงของไข่แดง

วิธีการสร้างสมการทำเช่นเดียวกับข้อ 3.2.1.3.1 แต่ให้ตัวแปรตามเป็นค่าความสูงของไข่แดง

3.2.1.3.4 สร้างสมการเพื่อทำนาย ความสูงของไข่ขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and ... document when use.
137661

วิธีการสร้างสมการทำเช่นเดียวกับข้อ 3.2.1.3.1 แต่ให้ตัวแปรตามเป็นค่าความสูงของไข่ขาว

3.2.1.3.5 สร้างสมการเพื่อทำนายเปอร์เซ็นต์weight loss

วิธีการสร้างสมการทำเช่นเดียวกับข้อ 3.2.1.3.1 แต่ให้ตัวแปรตามเป็นเปอร์เซ็นต์ weight loss

3.2.1.3.6 สร้างสมการเพื่อทำนายค่าความถ่วงจำเพาะ

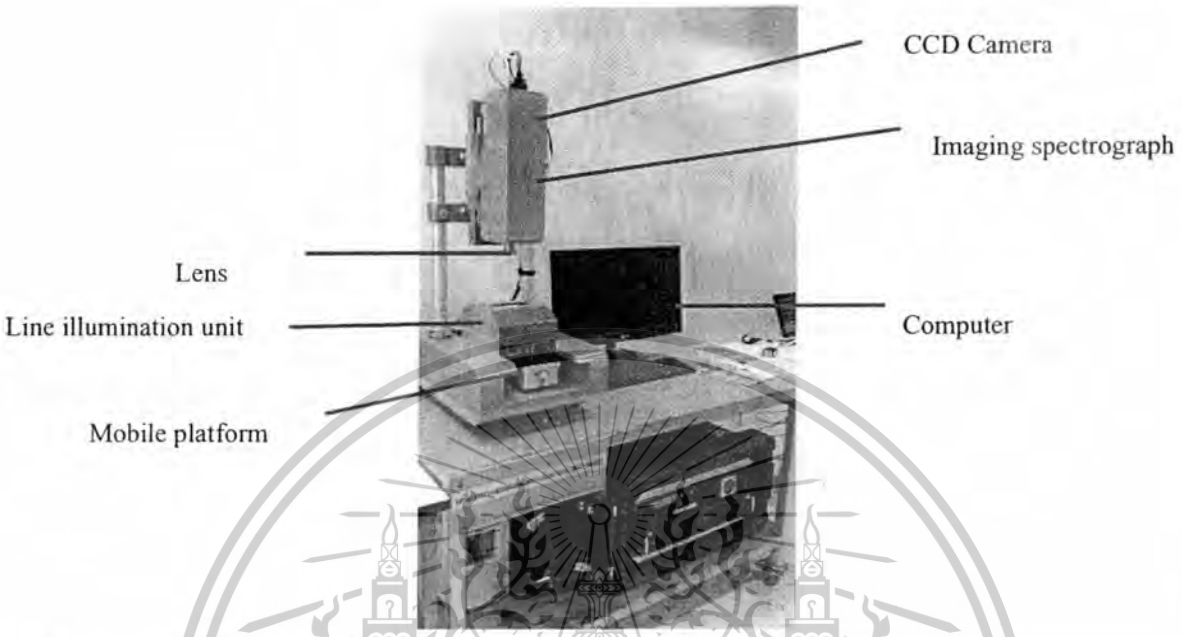
วิธีการสร้างสมการทำเช่นเดียวกับข้อ 3.2.1.3.1 แต่ให้ตัวแปรตามเป็นค่าความถ่วงจำเพาะ

3.3.3 การทดลองเพื่อสร้างสมการทำนายคุณลักษณะของไข่ไก่โดยใช้เครื่อง NIR hyperspectral imaging

3.3.3.1 ใช้ตัวอย่างเป็นไข่ไก่เบอร์ 3 พันธุ์ esa brown ที่เลี้ยงในฟาร์มปิดแบบ evaporation air cooling system ซึ่งฟักพร้อมกันซึ่งซื้อมาจากอำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา และขนส่งมายังห้องปฏิบัติการ โดยจะใช้ไข่ไก่ทั้งหมดจำนวน 398 ฟอง ไข่ไก่ที่ซื้อมาจะต้องมีคุณลักษณะดี เปลือกไม่ไม่มีรอยร้าว โดยไข่ไก่จะบรรจุไว้ในแผงไข่ไก่ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง โดยจะทำการทดลอง โดยวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIR hyperspectral imaging และวัดค่า Haugh unit ทุกวันที่ 0, 4, 7, 10, 14, 18 และ 21 ไข่ไก่จำนวน 398 ฟอง จะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม calibration set และกลุ่ม prediction set โดยเป็นกลุ่ม calibration set จำนวน 20 ฟอง และไข่ไก่ที่เหลืองอีก 378 ฟอง จะนำมาใช้สำหรับทดสอบสมการ โดยจะทำการทดสอบสมการทีละลูก จนครบ 378 ฟอง

3.3.3.2 การตรวจสอบแบบไม่ทำลายจะใช้เครื่อง NIR hyperspectral imaging (Specim, Spectral Imaging Ltd, Finland) โดยใช้หลักการวัดแบบสะท้อนแสง (reflectance) ซึ่งจะมีความยาวคลื่นตั้งแต่ 910-1700 นาโนเมตร องค์ประกอบของเครื่อง NIR hyperspectral imaging เป็นดังภาพที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 3.2 แสดงรูปเครื่อง NIR hyperspectral imaging

3.3.3.3 การตรวจสอบแบบทำลาย

ทำการวัดค่า Haugh unit โดยจะนำตัวอย่างไข่ไก่แต่ละฟองมาตอกให้แตกบนกระจก หลังจากนั้นวัดความสูงของไข่ขาวข้น 3 จุด ซึ่งอยู่ห่างจากไข่แดง 10 มิลลิเมตร หาค่าเฉลี่ยและคำนวณหาค่า Haugh unit (Haugh, 1937)

3.3.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

3.3.4.1 การวิเคราะห์ผลเพื่อทำนายปริมาณความสดของไข่ไก่

หลังจากนำตัวอย่างไข่ไก่แต่ละฟอง มาสแกนด้วยเครื่อง NIR hyperspectral imaging จะทำให้เราได้ข้อมูลภาพและสเปกตรัมของแต่ละจุดบนฟองไข่ไก่ที่ทำการสแกน นำข้อมูลภาพที่สแกนได้แต่ละจุดบนฟองไข่ไก่และค่า Haugh unit มาสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณความสดของไข่ไก่ โดยใช้โปรแกรม UMBIO EVINCE version 2.6.0 โดยวิธีการวิเคราะห์ จะทำการสร้างสมการสำหรับทำนายปริมาณความสดของไข่ไก่ โดยใช้ไข่ไก่จำนวน 20 ตัวอย่างซึ่งเป็นกลุ่ม calibration set มีการกระจายตัวของค่าแคมี ซึ่งจะมีค่าเคมีสูงสุดและต่ำสุดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย ส่วนกลุ่ม prediction set จะทำโดยการนำไข่ไก่แต่ละฟองมาทดสอบความแม่นยำกับกลุ่ม calibration set ซึ่งไข่ไก่ที่นำมาทดสอบ ซึ่งจัดได้ว่าตัวอย่างของ prediction set นั้น จะมีทั้งหมด 378 ฟอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สำหรับวิธีการสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณความสดของไข่ไก่ จะใช้วิธี PLSR โดยเริ่มจากนำภาพไข่ไก่ในกลุ่ม calibration set ที่สแกนได้ มาทำการตัด background ออก เพราะเวลาตอนสแกน ไข่ไก่จะวางอยู่บน mobile platform ดังนั้นกล้อง CCD camera จะถ่ายภาพไข่ไก่ซึ่งติด background จาก mobile platformมาด้วย เมื่อตัด background เสร็จแล้ว นำภาพไข่ไก่ซึ่งเป็นกลุ่ม calibration set มา merge รวมกันเป็นกลุ่ม calibration set ที่มีจำนวนตัวอย่าง 20 ตัวอย่างเพื่อมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยเราทำ pretreatment ด้วยวิธีการต่างๆ และสร้างสมการในการทำนายโดยใช้วิธี partial least squares regression (PLSR) เลือกสมการที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด ซึ่งพิจารณาที่ค่า R (coefficient of correlation) ให้มีค่าสูงสุด, RMSECV ต้องมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเลือกโมเดลที่ดีที่สุดได้แล้ว จะนำไข่ไก่ที่จัดอยู่ในกลุ่ม prediction มาทดสอบความแม่นยำของสมการ โดยจะนำไข่ไก่ในกลุ่ม prediction set มาทดสอบความแม่นยำทีละตัวอย่าง จนครบ 378 ตัวอย่าง

3.2.4.2 การวิเคราะห์ผลเพื่อคัดแยกกลุ่มระหว่างไข่สด และไข่ไม่สด

ตัวอย่างไข่ไก่ทั้งหมดที่การวัดค่า Haugh unit และทำนายด้วยโมเดลตามข้อที่ 3.3.4.1 เรียบร้อยแล้ว จะนำมาวิเคราะห์ผลเพื่อคัดแยกกลุ่มระหว่างไข่สด และไข่ไม่สด โดยใช้โปรแกรม Adobe Photoshop โดยไข่ไก่ที่ผ่านการทำนายด้วยโมเดลแล้วและจะนำไปวิเคราะห์ต่อด้วยโปรแกรม Adobe Photoshop โดยภาพที่ทำนายได้จากโมเดลตามข้อ 3.3.4.1 นั้น จะแสดงภาพออกมา 2 เฉดสี คือ สีเขียวและสีน้ำเงิน ถ้าภาพใดที่แสดงพิกเซลออกมาเป็นสีเขียวในปริมาณมาก จะกล่าวได้ว่า ไข่นั้นมีความสดและถ้าภาพใดที่พิกเซลที่แสดงออกมาเป็นสีน้ำเงินมากกว่าสีเขียว จะกล่าวได้ว่า ไข่นั้นไม่มีความสด (ภาคผนวก ข.)

ดังนั้น วิธีการคัดแยกกลุ่มระหว่างไข่สดและไข่ไม่สด จะทำการหาเปอร์เซ็นต์พื้นที่ภาพระหว่างสีเขียวและสีน้ำเงิน โดยจะใช้โปรแกรม Photoshop เปลี่ยนสีจากภาพสีเขียงและสีน้ำเงินให้กลายเป็นภาพ 2 เฉดสี คือ สีขาวและสีดำ หลังจากนั้นดูเปอร์เซ็นต์พื้นที่ภาพไข่ไก่ระหว่างสีขาวและสีดำ นำเปอร์เซ็นต์ภาพพื้นที่ระหว่างสีขาวและสีดำมาเปรียบเทียบค่า Haugh unit เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ว่าสมารถคัดแยกกลุ่มระหว่างไข่สดและไข่ไม่สด ได้ถูกต้องกี่เปอร์เซ็นต์ไข่สดจะมีค่า HU >60 และกลุ่มไข่ไม่สด ซึ่งมีค่า HU $\leq$ 60นำค่า Haugh unit จาค่าเคมีที่วัดได้จริงมาเทียบกับเปอร์เซ็นต์ภาพเฉดสีขาวที่ทำนายได้

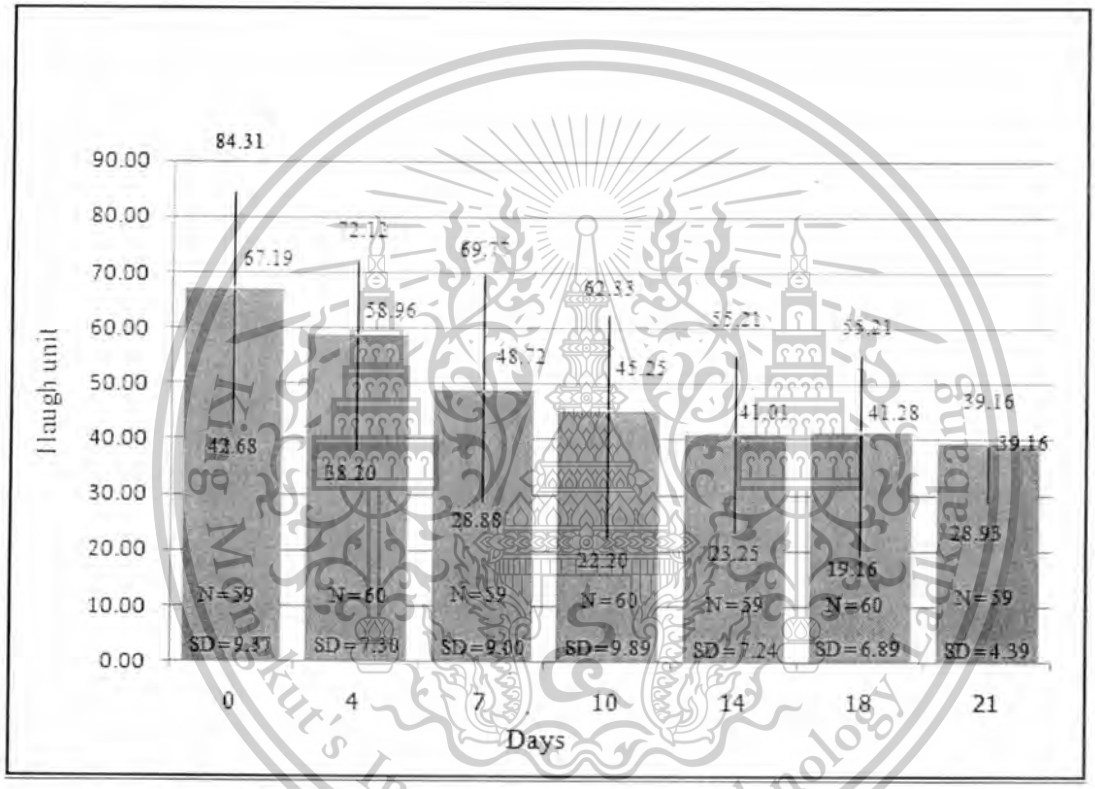
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพไข่ไก่ในระหว่างการเก็บรักษา

4.1.1 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าHaugh unitในระหว่างการเก็บรักษา



ภาพที่ 4.1 ผลการเปลี่ยนแปลงค่า Haugh unit ในระหว่างการเก็บรักษา

N = Number of Sample

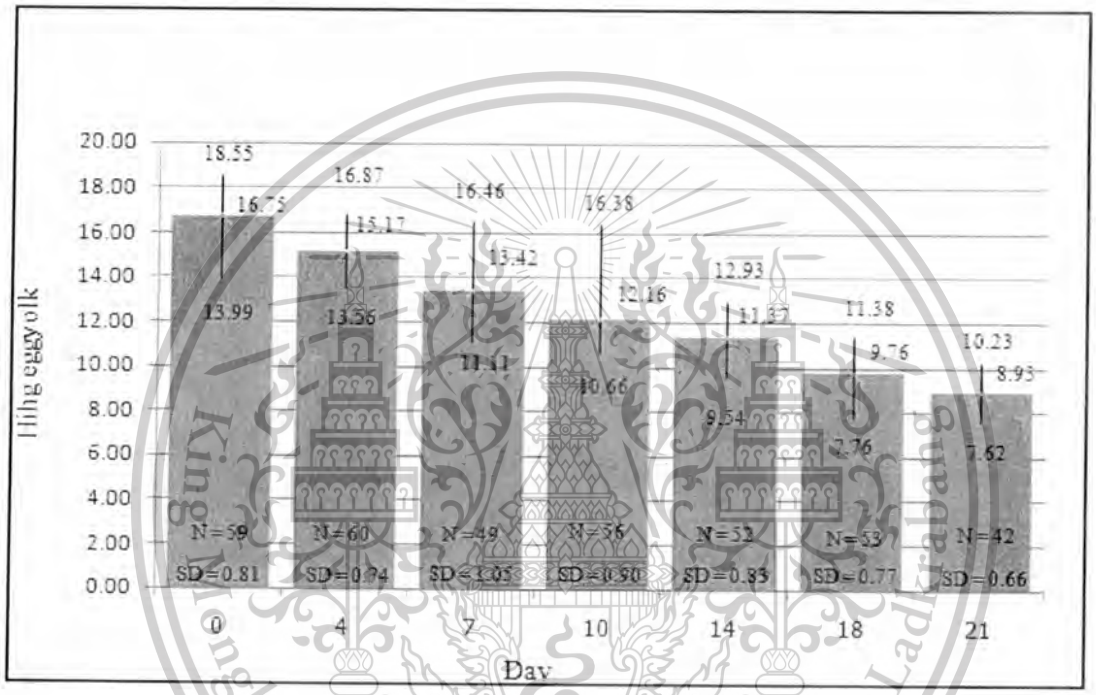
SD =Standard Deviation

ค่า Haugh unit คือ ค่าค่าที่ใช้วัดเพื่อการคัดเกรดไข่ตามมาตรฐานสากลบ่งบอก คุณภาพของไข่ไก่โดยการวัดคุณภาพของโปรตีนไข่ขาวโดยจำนวนที่เก็บรักษาไข่ มีผลต่อค่า Haugh unit จากกราฟที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า วันที่ 0 ซึ่งเป็นวันแรกที่เริ่มเก็บรักษาไข่ จะมีค่า Haugh unit เฉลี่ยนอยู่ที่ 67.0 หลังจากนั้น ค่า Haugh unit เฉลี่ย จะเริ่มค่อยๆลดลง จนถึงวันที่ 21 ซึ่งเป็นวันสุดท้ายของการเก็บรักษาไข่ จะมีค่า Haugh unit เฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

อยู่ที่ 39.16 และเมื่อนำค่า Haugh unit มาทดสอบทางสถิติ โดยวิธี Paired-Samples T-test พบว่าค่า Haugh unit มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.1.2 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงของไข่แดงในระหว่างการเก็บรักษา



ภาพที่ 4.2 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงของไข่แดงในระหว่างการเก็บรักษา

N = Number of Sample

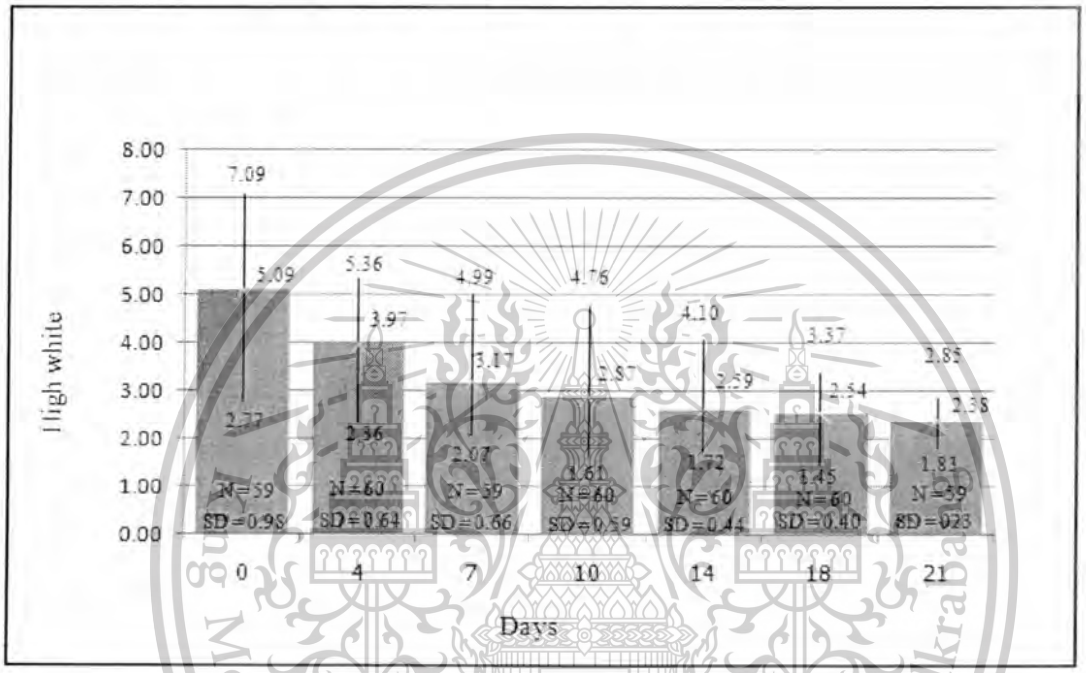
SD =Standard Deviation

จากการทดลอง พบว่า อายุการเก็บรักษามีผลต่อค่าความสูงของไข่แดง โดยจากภาพที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่า ค่าเฉลี่ยความสูงไข่แดงในวันแรกที่เก็บรักษา มีความสูงอยู่ที่ 19.75 มิลลิเลมตร และเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น ค่าความสูงของไข่แดงจะค่อยลดลง ไข่แดงจะแบนมากขึ้น เป็นเพราะมีการดูดน้ำจากไข่ขาวเข้าสู่ส่วนของไข่แดง ส่งผลให้เยื่อหุ้มไข่แดง (vitelline membrane) เกิดความอ่อนแอ มีผลทำให้ไข่แดงมีลักษณะแบนราบ จนวันสุดท้าย คือ วันที่ 21 ไข่แดงมีความสูงอยู่ที่ 8.93 มิลลิเมตร และเมื่อนำมาทดสอบทางสถิติ โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วิธี วิธี Paired-Samples T-test พบว่าค่าความสูงของไข่แดงมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.1.3 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงของไข่ขาวในระหว่างการเก็บรักษา



ภาพที่ 4.3 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงของไข่ขาวในระหว่างการเก็บรักษา

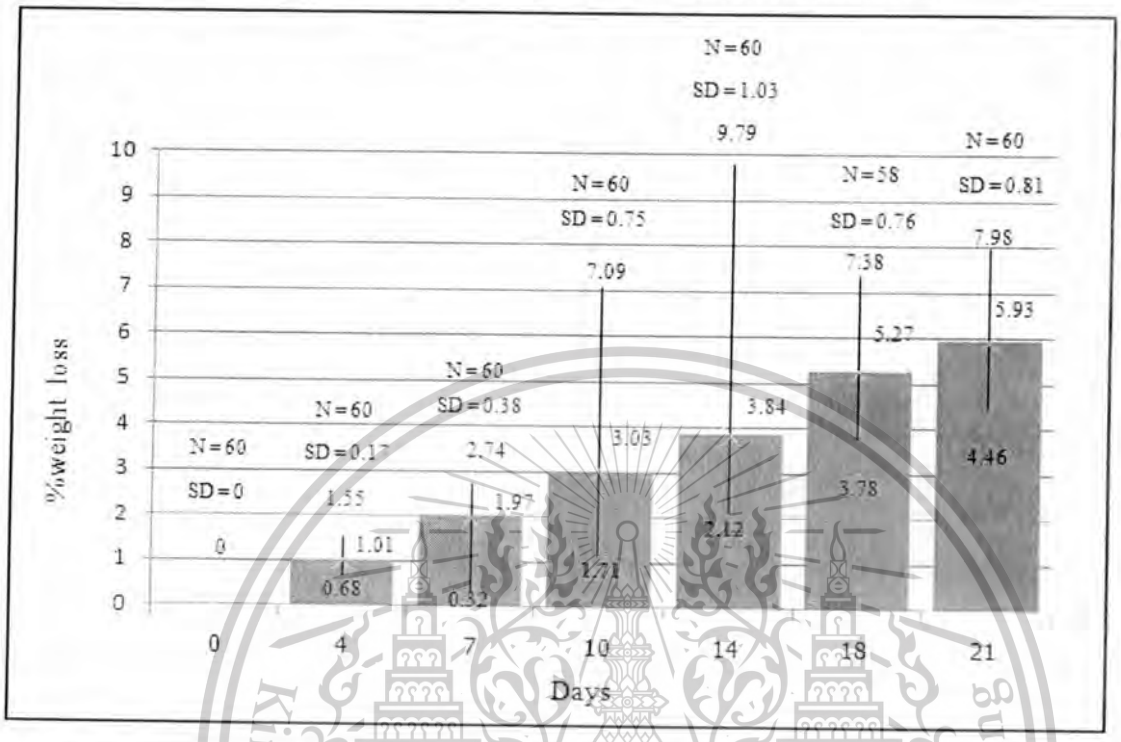
N = Number of Sample

SD =Standard Deviation

ความสูงของไข่ขาวเป็นค่าที่สำคัญค่าหนึ่ง เพราะในการคำนวณหาค่า Haught unit จะต้องคำนวณจากความสูงไข่ขาว ซึ่งจากกราฟจะเห็นว่า อายุการเก็บรักษามีผลทำให้ค่าความสูงไข่ขาวลดลงเรื่อยๆ โดยวันแรกที่เก็บรักษา ไข่ขาวมีความสูง 5.09 มิลลิเมตร เมื่อเก็บจนถึงวันที่ 21 ค่าความสูงไข่ขาวลดลง จนเหลือ 2.38 มิลลิเมตร และเมื่อนำมาทดสอบทางสถิติ โดยวิธี วิธี Paired-Samples T-test พบว่าค่าความสูงของไข่ขาวมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.4 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงของ%weight loss ในระหว่างการเก็บรักษา



ภาพที่ 4.4 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงค่า%weight loss ในระหว่างการเก็บรักษา

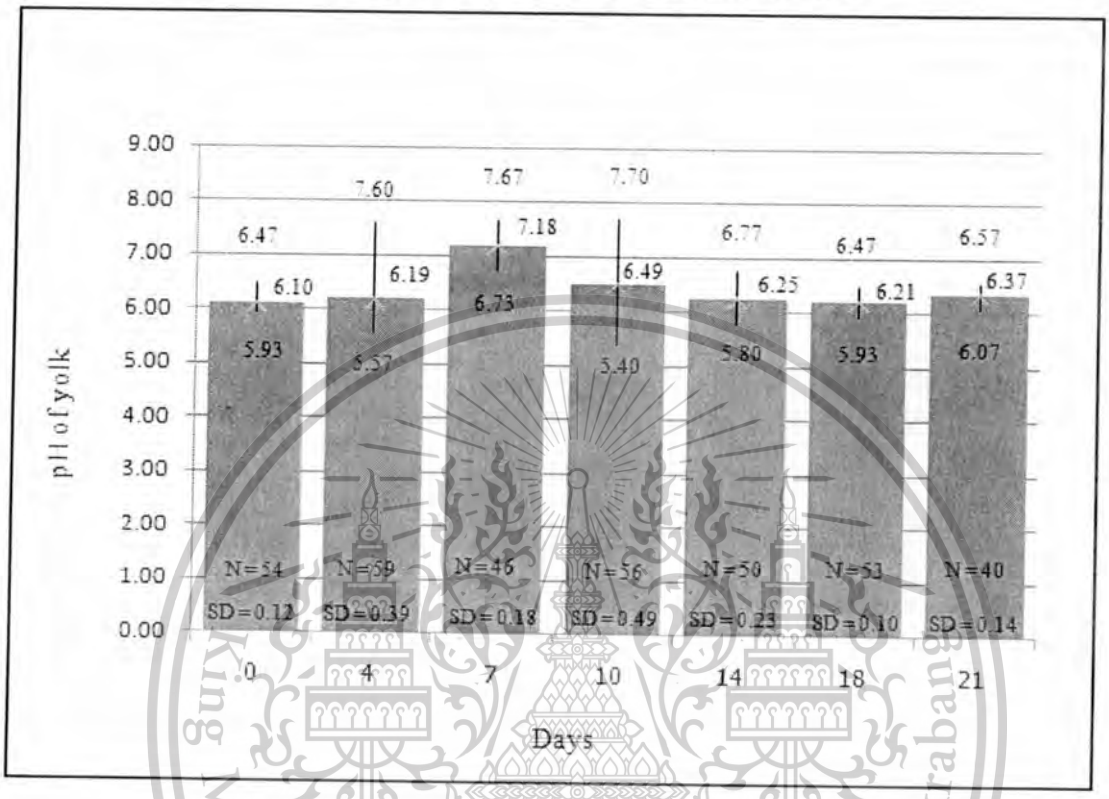
N = Number of Sample

SD =Standard Deviation

อายุการเก็บรักษา ส่งผลต่อค่า %weight loss ยิ่งอายุการเก็บรักษานานขึ้น ค่า %weight loss ยิ่งเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ โดยในวันแรก ซึ่งเป็นวันที่ 0 ค่า %weight loss เฉลี่ย จะเท่ากับศูนย์ แต่เมื่อเก็บจนถึงวันที่ 21 ค่า %weight loss จะเพิ่มสูงเป็น 5.93 ซึ่งเป็นเพราะว่าคุณภาพไข่เกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา โดยเกิดจากการระเหยของน้ำภายในไข่และสูญเสียในรูปก๊าซ ทำให้น้ำหนักลดลงและช่องอากาศขยายใหญ่ขึ้น และก๊าซที่ระเหยเกิดจากการสลายตัวทางเคมีของสารอินทรีย์ในไข่ และเมื่อนำค่า %weight loss มาทดสอบทางสถิติโดยวิธี วิธี Paired-Samples T-test พบว่าค่า %weight loss มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.5 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงของpH ไข่แดง ในระหว่างการเก็บรักษา



ภาพที่ 4.5 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงของ pH ไข่แดง ในระหว่างการเก็บรักษา

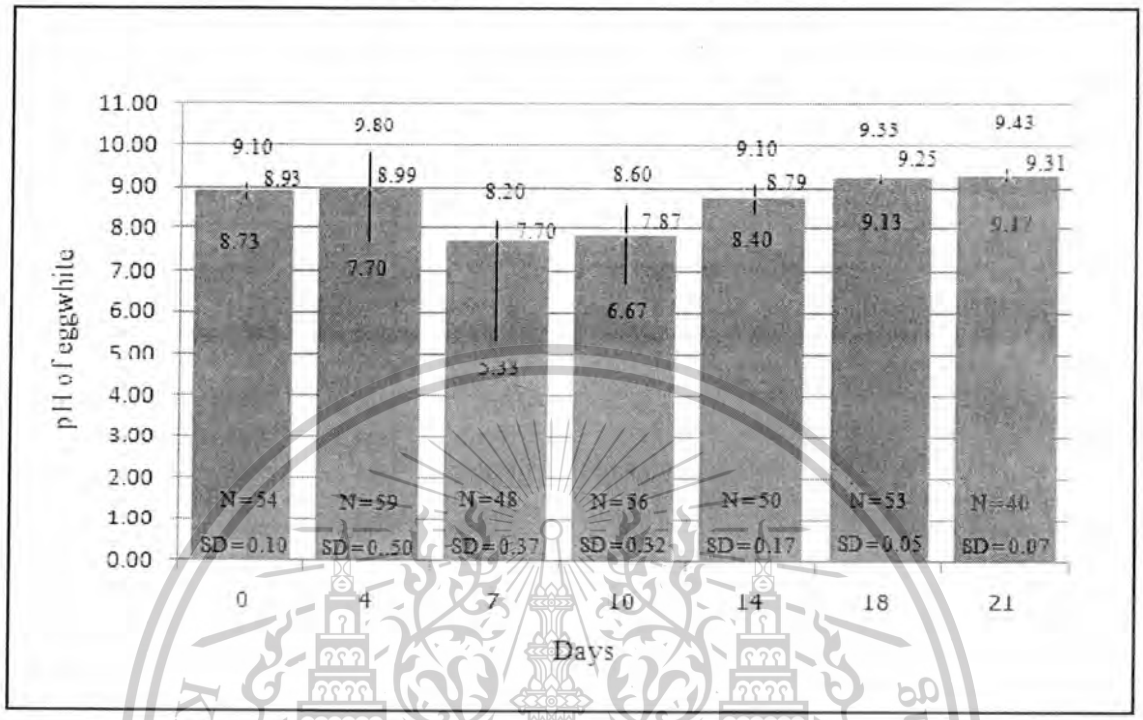
N = Number of Sample

SD =Standard Deviation

อายุการเก็บรักษาไม่มีผลต่อค่า pH ของไข่แดง ซึ่งจากภาพจะเห็นได้ว่า ค่า pH ของไข่แดง มีค่าขึ้นๆ ลงๆ ไม่แน่นอน แต่เมื่อนำมาทดสอบทางสถิติ โดยวิธี วิธี Paired-Samples T-test พบว่าค่า pH ของไข่แดงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.6 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงของ pH ไข่ขาว ในระหว่างการเก็บรักษา



ภาพที่ 4.6 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงของpH ไข่ขาวในระหว่างการเก็บรักษา

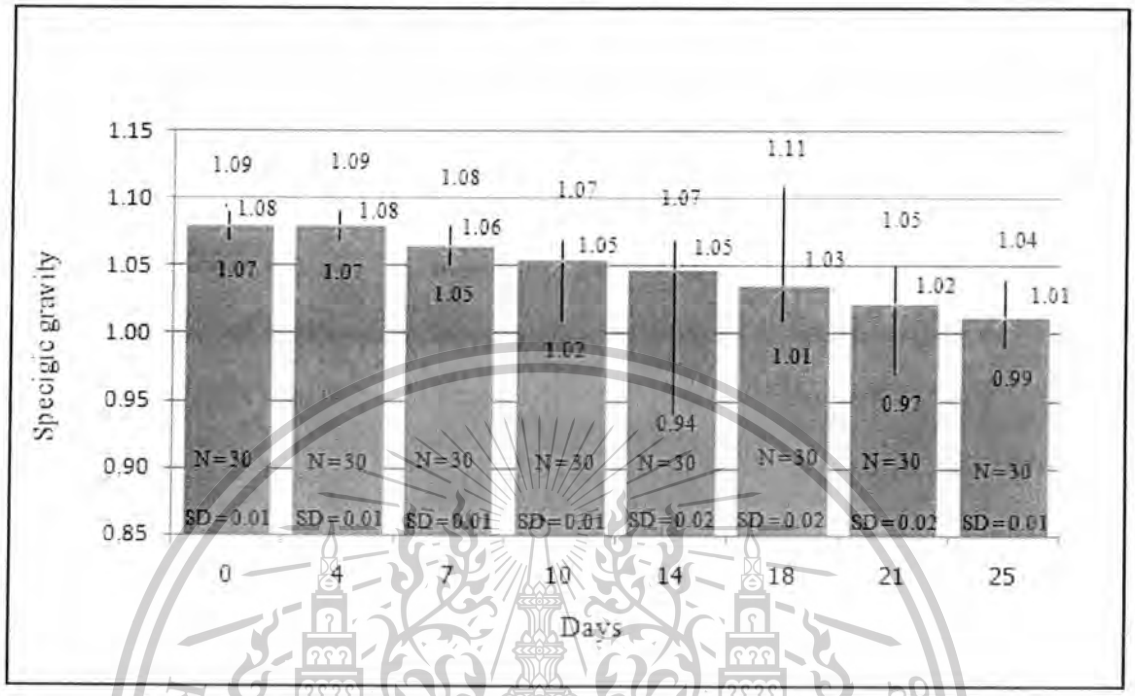
N = Number of Sample

SD =Standard Deviation

อายุการเก็บรักษาไม่มีผลต่อค่า pH ของไข่ขาวซึ่งจากภาพจะเห็นได้ว่า ค่า pH ของไข่ขาว ไม่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงเมื่อจำนวนวันการเก็บรักษามากขึ้นและเมื่อนำมาทดสอบทางสถิติ โดยวิธี วิธี Paired-Samples T-test พบว่าได้ค่า ค่า pH ของไข่ขาวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.7 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงของspecific gravity ในระหว่างการเก็บรักษา



ภาพที่ 4.7 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงของ specific gravity ในระหว่างการเก็บรักษา

N = Number of Sample

SD =Standard Deviation

โดยทั่วไปค่าความถ่วงจำเพาะ ค่า specific gravity ของไข่ จะอยู่ที่ 1.08 (Wells, R.G., 1968) การจมการลอยของไข่นั้นสามารถบอกได้ว่าไข่ใบไหนเป็นไข่สดหรือไข่ใบไหนเป็นไข่ที่เสียแล้วโดยไข่สดจะจมลง ส่วนไข่เสียจะลอยเนื่องจากเมื่อไข่ไก่เริ่มเน่าเสียจะเกิดก๊าซขึ้นภายในไข่ก๊าซที่เกิดขึ้นมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำทำให้ไข่ลอยส่วนไข่สดมีความหนาแน่นที่มากกว่าน้ำไข่จึงจม ซึ่งจากกราฟ จะเห็นได้ว่า ยิ่งเก็บไข่ไว้นานค่าความถ่วงจำเพาะยิ่งลดน้อยขึ้นเมื่อนำมาทดสอบทางสถิติ โดยวิธี Samples T-test พบว่าค่า ค่าความถ่วงจำเพาะมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากผลการทดลองการเปรียบเทียบระหว่างค่าเคมีและจำนวนวันที่เก็บรักษา พบว่า ค่า pH ของไข่แดงและไข่ขาวไม่มีผลต่อจำนวนวันที่เก็บรักษา แต่เมื่อพิจารณาถึงค่า Haugh unit, ค่าความสูงไข่แดง, ค่าความสูงไข่ขาว, %weight loss และค่าความถ่วงจำเพาะ จะแสดงให้เห็นว่า ค่าดังกล่าวมีผลต่อวันที่เก็บรักษาเนื่องมาจาก เมื่อเก็บรักษาไข่ไก่ไว้นานขึ้น น้ำหนักฟองไข่ไก่จะลดลงเพราะมีการระเหยน้ำออกจากส่วนของไข่ขาว ซึ่งส่งผลต่อ %weight loss และค่าความถ่วงจำเพาะ นอกจากนี้การเก็บรักษาไข่ไก่นานๆ จะมีการดูดน้ำจากไข่ขาวเข้าสู่ส่วนของไข่แดง เนื่องมาจากผลของแรงดียออสโมติก ซึ่งส่งผลให้เยื่อหุ้มไข่แดง (vitelline

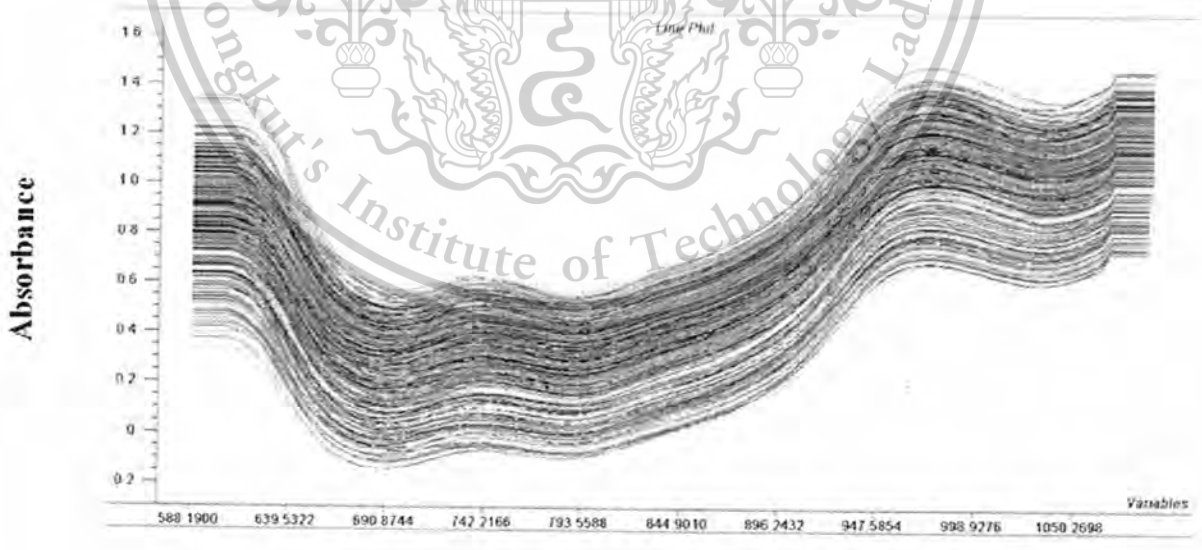
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

membrane) เกิดความอ่อนแอ มีผลให้ไข่แดงมีลักษณะแบนราบ ส่งผลให้ไข่ขาวมีลักษณะบางลงและเหลว และไข่แดงจะแบน

4.2 ผลของการใช้เทคนิค NIRs โหมด interactance ในการสร้างและทดสอบสมการเพื่อทำนายคุณภาพไข่ไก่

จากการทดลองการใช้เทคนิค NIRs โหมด interactance นั้น จะทดสอบโดยใช้เครื่อง NIR -GUN ในช่วงความยาวคลื่น 588-1901 นาโนเมตร สแกนโดยรอบไข่ไก่ทั้งหมด 4 จุดซึ่งทำมุม 90 องศา สเปกตรัมที่วัดได้จากเครื่อง NIR GUN จะแสดงผลได้ดังภาพที่ 4.8 ตัวอย่างที่ใช้จะใช้ไข่ไก่พันธุ์ esa brown ซึ่งบรรจุในแผงกระดาษ และนำมาตรวจสอบคุณภาพในวัน 0, 4, 7, 10, 14, 18 และ 21 โดยคุณภาพที่ใช้เทคนิค NIRs โหมด interactance ตรวจสอบ มีดังนี้

- ตรวจสอบค่า Haugh unit
- ตรวจสอบค่าความสูงของไข่แดง
- ตรวจสอบค่าความสูงของไข่ขาว
- ตรวจสอบ %weight loss
- ตรวจสอบค่าความถ่วงจำเพาะ



Wavelength (nm)

ภาพที่ 4.8 สเปกตรัมที่ได้จากการสแกนด้วยเครื่อง NIR Gun โหมด interactance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.1 การสร้างสมการในการทำนายระดับค่า Haugh unit

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายระดับค่า Hauhg unit

Items	The calibration set	The prediction set
number of sample	165	82
unit		
range	22.2-84.31	25.25-82
mean	50.42	50.98
standard deviation (SD)	13.78	14.07
wavelength	588-1091 nm	588-1091 nm

จากตารางที่ 4.1 จะแสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายปริมาณค่า Hauhg unit ข้อมูลที่ใช้สำหรับการสร้างสมการและทดสอบสมการจะมีทั้งหมด 247 ตัวอย่าง แบ่งกลุ่มสำหรับสร้างสมการ (calibration set) และทดสอบสมการ (prediction set) โดยการนำข้อมูลทั้งหมดมาเรียงตามตัวแปร Y (ค่า Haugh unit) จากน้อยไปมาก จากนั้นเลือกกลุ่มทดสอบสมการออกมา (prediction set) โดยเปอร์เซ็นต์ของกลุ่มสร้างสมการ (calibration set) จะอยู่ 70 เปอร์เซนต์ และกลุ่มทดสอบสมการ (prediction set) จะอยู่ที่ 30 เปอร์เซนต์ในกลุ่มสร้างสมการ (calibration set) จะต้องมีค่าต่ำสุดและสูงสุดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย ซึ่งจะเห็นได้จากตารางที่ 4.1 ว่าค่า Haugh unit ในกลุ่มสร้างสมการทดสอบสมการมีค่า Haugh unit อยู่ที่ 22.2-84.31 และในกลุ่มทดสอบสมการมีค่า Haugh unit อยู่ที่ 25.25-82 เหตุผลที่ต้องเรียงค่า Haugh unit จากน้อยไปมาก เพราะค่า Haugh unit มีค่าที่แตกต่างกัน เนื่องจากอายุการเก็บรักษาที่ต่างกัน และกลุ่มสร้างสมการ (calibration set) ที่มีลักษณะดี คือจะต้องมีช่วงค่าเคมีที่กว้างและกระจายตัว เพื่อให้เหมาะแก่การเป็นตัวแทนของกลุ่มสร้างสมการ (calibration set)

หลังจากนั้นนำข้อมูลกลุ่มสร้างสมการมาปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ ซึ่งจะแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.2 ซึ่งจากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิค smoothing + 1st derivative ให้ผลดีที่สุด คือ ได้ค่า R=0.89 และ RMSECV=6.19 H.U. ดังนั้นจึงเลือกโมเดล smoothing + 1st derivative มาเป็นโมเดลสำหรับสร้างสมการเพื่อทำนายระดับค่า Hauhg unit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.2 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายระดับค่า Hauhg unit ด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

spectral pretreatments	N	F	R	RMSECV
original	165	9	0.89	6.21
smoothing	165	6	0.88	6.27
1st derivative	165	7	0.88	6.26
2nd derivative	165	8	0.87	6.65
MSC	165	5	0.88	6.27
Mean	165	6	0.88	6.35
SNV	165	5	0.87	6.68
smoothing + 1st derivative	165	8	0.89	6.19
smoothing + 2nd derivative	165	16	0.85	7.20
MSC + smoothing + 1st derivative	165	8	0.89	6.18
MSC + smoothing + 2nd derivative	165	7	0.86	6.79
mean + Smoothing + 1st derivative	165	8	0.89	6.22
mean + Smoothing + 2nd derivative	165	16	0.84	7.48
SNV+ Smoothing + 1st derivative	165	5	0.87	6.63
SNV+ Smoothing + 2nd derivative	165	7	0.86	6.86

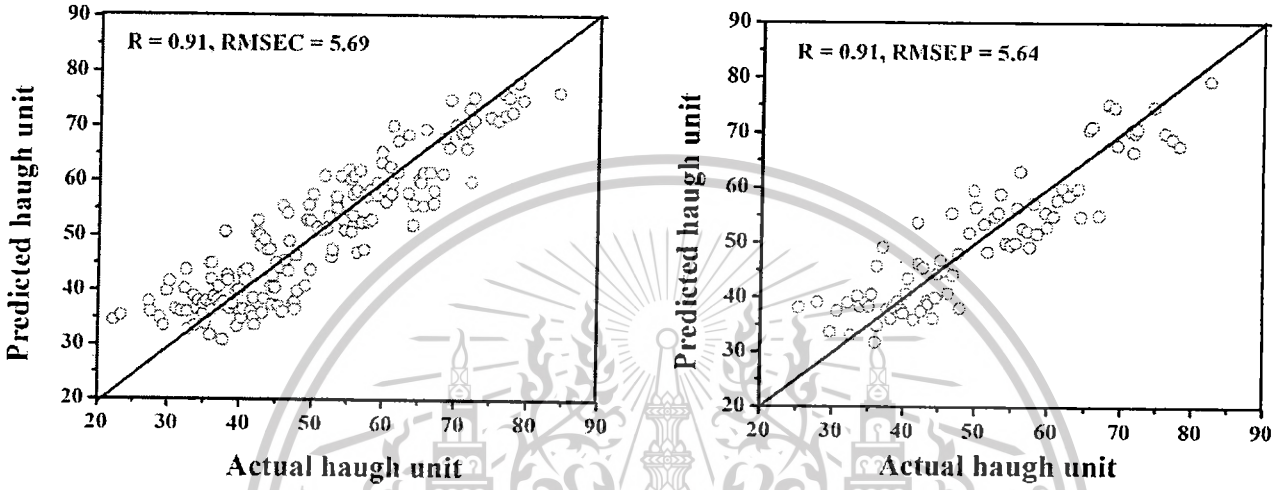
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายระดับค่า Hauhg unit

calibration set					prediction set				
pretreatment	N	F	R	RMSEC	pretreatment	N	F	R	RMSEP
smoothing + 1st derivative	165	8	0.910	5.691	smoothing + 1st derivative	82	8	0.910	5.643

จากตารางที่ 4.3 จะเป็นการนำโมเดลที่ดีที่สุด นั่นก็คือโมเดลที่ปรับปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิค smoothing + 1st derivative มาสร้างสมการ พบว่า ได้ค่า R = 0.910, RMSEC = 5.691และเมื่อนำมาทดสอบในกลุ่มทดสอบสมการ พบว่า ได้ค่า R = 0.910, RMSEP = 5.643ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สมการนี้มีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แม่นยำที่จะสามารถทำนายค่า Hauhg unit ได้ดี พิจารณาได้จากค่า R มีค่าสูงภาพที่ 4.9 (a) แสดงแสดงผลการทำนายระดับค่า Hauhg unit ในกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ และ 4.9 (b) แสดงแสดงผลการทำนายระดับค่า Hauhg unit ในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ



ภาพที่ 4.9 แสดงผลการทำนายระดับค่า Hauhg unit

(a) กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ

(b) กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

4.2.2 การสร้างสมการเพื่อทำนายค่าความสูงของไข่แดง

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายระดับค่าความสูงของไข่แดง

items	calibration set	prediction set
number of sample	233	166
unit	mm.	mm.
range	7.62-18.5	7.85-18.32
mean	2.72	2.71
standard deviation (SD)	12.67	12.69
wavelength	588-1091 nm	588-1091 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การทำนายความสูงของไข่แดง มีความสัมพันธ์กับค่าความสดของไข่ไก่ คือ ไข่ไกที่เก็บไว้นาน จะมีคุณภาพลดลง ซึ่งถ้าความสดลดลงจะส่งผลต่อไข่แดง คือ เยื่อหุ้มไข่แดงจะเกิดความอ่อนแอ ไม่แข็งแรง ทำให้ไข่แดงแบนราบ ความสูงไข่แดงลดลง การสร้างสมการและทดสอบสมการเพื่อทำนายค่าความสูงของไข่แดง จะใช้กลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 399 ตัวอย่าง โดยแบ่งเป็นกลุ่มสร้างสมการ 233 ตัวอย่าง และกลุ่มทดสอบสมการ 166 ตัวอย่าง สำหรับกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ จะต้องมีค่าความสูงของไข่แดงที่มีค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดในกลุ่มนี้ด้วย โดยตารางที่ 4.4 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายระดับค่าความสูงของไข่แดง

ตารางที่ 4.5 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายระดับค่าความสูงของไข่แดงด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

spectral pretreatments	N	F	R	RMSECV
original	233	12	0.92	1.04
smoothing	233	17	0.93	0.98
1st derivative	233	10	9.02	1.03
2nd derivative	233	11	0.91	1.12
MSC	233	10	0.92	1.05
Mean	233	16	0.93	0.97
SNV	233	11	0.92	1.05
smoothing + 1st derivative	233	11	0.91	1.03
smoothing + 2nd derivative	233	14	0.93	0.99
MSC + smoothing + 1st derivative	233	11	0.92	1.06
MSC + smoothing + 2nd derivative	233	12	0.92	1.05
mean + Smoothing + 1st derivative	233	11	0.92	1.03
mean + Smoothing + 2nd derivative	233	14	0.93	0.99
SNV+ Smoothing + 1st derivative	233	15	0.93	0.98
SNV+ Smoothing + 2nd derivative	233	13	0.92	1.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

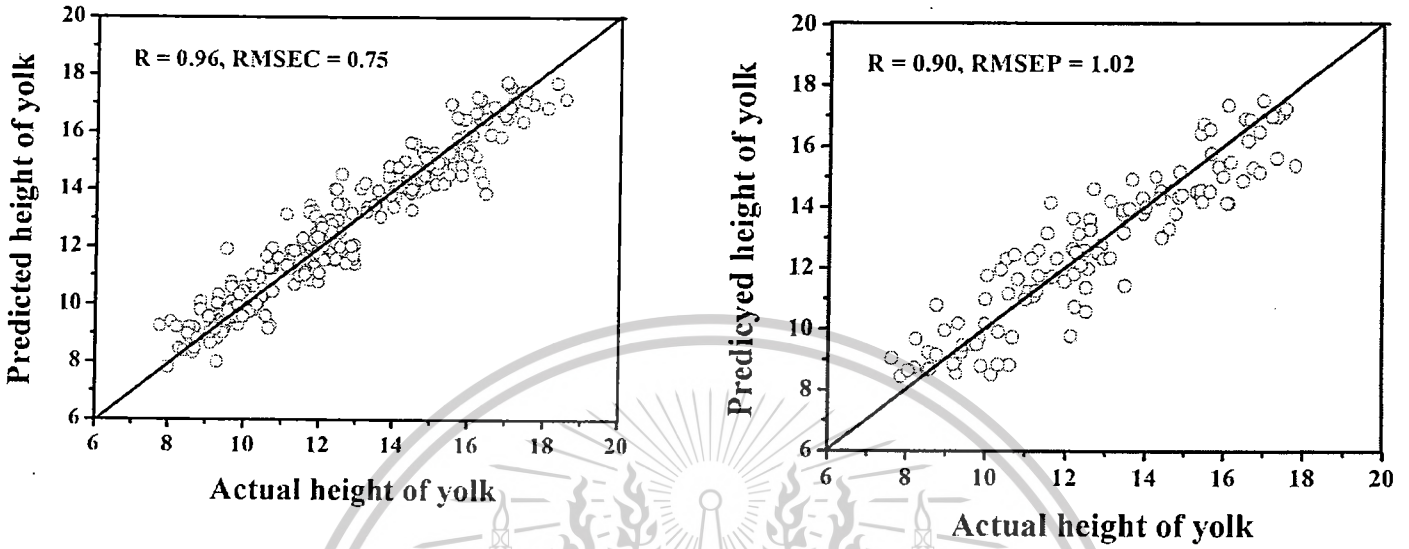
หลังจากนั้นทำการแปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.5 8และพบว่าการแปลงข้อมูลสเปกตรัมดั้งเดิมด้วยวิธีsmoothing + 2nd derivativeให้ค่าความแม่นยำในการทำนายระดับค่าความสูงของไข่แดงในกลุ่มสำหรับสร้างสมการได้ดีที่สุด ดังนั้น จึงเลือกโมเดลที่ทำการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธี smoothing + 2nd derivativeมาเป็นโมเดลที่ใช้สำหรับสร้างสมการและทดสอบความแม่นยำในการทำนายระดับค่าความสูงของไข่แดง

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายระดับค่าความสูงของไข่แดงซึ่งเป็นการนำข้อมูลสเปกตรัมมาผ่านการทำ smoothing + 2nd derivative มาสร้างสมการการทำนายระดับค่าความสูงของไข่แดงโดยใช้วิธี partial least squares regression (PLSR) แล้วพบว่า ในกลุ่มสร้างสมการได้ค่า R = 0.96, RMSEC = 0.75 mm และในกลุ่มทดสอบสมการ ได้ค่า R = 0.90, RMSEP = 1.02 mm ส่วนภาพที่ 4.2 (a) แสดงผลการทำนายระดับค่าความสูงของไข่แดงในกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ และภาพที่ที่ 4.10 (a) แสดงผลการทำนายระดับค่าความสูงของไข่แดงในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ จากภาพที่ 4.210 จะเห็นว่า เป็นกราฟที่พลอตระหว่างค่าความสูงของไข่แดงที่วัดได้จริง และค่าความสูงของไข่แดงที่ได้จากค่าการทำนาย ซึ่งค่าที่ทำนายได้ส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริง ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่า สมการนี้มีความแม่นยำในการทำนายระดับความสูงของไข่แดง

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายระดับค่าความสูงของไข่แดง

calibration set					**prediction set**				
pretreatment	**N**	**F**	**R**	**RMSEC**	**pretreatment**	**N**	**F**	**R**	**RMSEP**
smoothing + 2nd derivative	233	14	0.96	0.75	smoothing + 2nd derivative	166	14	0.90	1.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.10 แสดงผลการทำนายระดับค่าความสูงของไข่แดง

(a) กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ

(b) กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

4.2.3 การสร้างสมการเพื่อทำนายค่าความสูงของไข่ขาว

ค่าความสูงของไข่ขาว มีความสำคัญต่อคุณภาพไข่ไก่เพราะในการคำนวณหาค่า Haught unit จะต้องคำนวณจากความสูงไข่ขาวซึ่งอาจกล่าวได้ว่าค่าความสูงของไข่ขาวมีผลต่อความสดของไข่ไก่ สำหรับการสร้างสมการเพื่อทำนายค่าความสูงของไข่ขาว จะใช้ตัวอย่างทั้งหมด 254 ตัวอย่าง โดยแบ่งเป็นกลุ่มสำหรับสร้างสมการ 165 ตัวอย่าง และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ 89 ตัวอย่าง ซึ่งตารางที่ 4.7 จะแสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายระดับค่าความสูงของไข่ขาว วิธีการแบ่งกลุ่มสร้างสมการและกลุ่มทดสอบสมการจะแบ่งเหมือนวิธีการแบ่งกลุ่มเพื่อทำนายค่า Haugh unit คือนำค่าความสูงของไข่ขาวมาเรียงค่าจาน้อยไปหามาก แล้วเลือกกลุ่มทดสอบสมการออกมาเป็นจำนวน 30% โดยที่กลุ่มสร้างสมการจะต้องมีค่าความสูงไข่ขาวสูงสุดและต่ำสุดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วยเมื่อแบ่งกลุ่มสำหรับสร้างสมการและทดสอบสมการเรียบร้อยแล้ว ก็จะสร้างสมการในการทำนายระดับค่าความสูงของไข่ขาว โดยคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัม NIRS กับค่าความสูงของไข่ขาว วิเคราะห์ด้วยเทคนิค partial least squares regression (PLSR) และปรับเทียบแบบ cross-validation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายระดับค่าความสูงของไข่ขาว

Items	The calibration set	The prediction set
number of sample	165	89
unit	mm.	mm.
Range	1.66-6.62	41.81-6.35
mean	3.29	3.38
standard deviation (SD)	1.08	1.11
wavelength	588-1089 nm	588-1089 nm

สำหรับตารางที่ 4.7 จะแสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายระดับค่าความสูงของไข่ขาวด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆซึ่งข้อมูลที่ใช้สำหรับปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆจะใช้ข้อมูลในกลุ่มสร้างสมการ จากตารางที่ 4.8 จะพบว่า ข้อมูลแบบดั้งเดิม (original) ที่ไม่ได้ผ่านการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ให้ผลดีที่สุด ซึ่งพิจารณาได้จากมีค่า R สูงสุด และค่า RMSECV ต่ำสุด เมื่อหาโมเดลที่ใช้สำหรับสร้างสมการในการทำนายระดับค่าความสูงของไข่ขาวได้แล้ว จะทำการทดสอบสมการด้วยกลุ่มมดสอบสมการ ซึ่งจะแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.9 จะแสดงให้เห็นข้อมูลมีความสมารถในการสร้างสมการ โดยได้ค่า R = 0.92, RMSEC = 0.41 mm และมีความแม่นยำในการทำนายระดับค่าความสูงของไข่ขาว โดยได้ค่า R = 0.91, RMSEP = 0.45 mm ซึ่งผลการทำนายค่าความสูงของไข่ขาวจะแสดงผลได้ดังภาพที่ 4.11(a) และ 4.11(b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

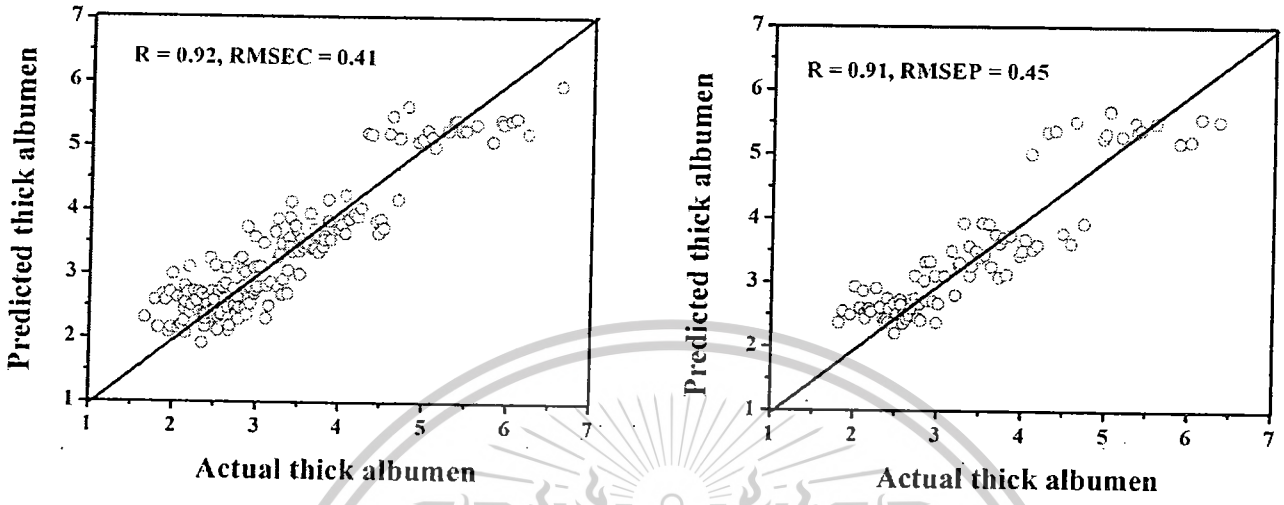
ตารางที่ 4.8 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายระดับค่าความสูงของไข่ขาวด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

spectral pretreatments	N	F	R	RMSECV
original	165	6	0.89	0.48
smoothing	165	6	0.89	0.48
1st derivative	165	7	0.89	0.48
2nd derivative	165	2	0.78	0.66
MSC	165	8	0.89	0.48
Mean	165	6	0.89	0.48
SNV	165	8	0.89	0.48
smoothing + 1st derivative	165	6	0.89	0.48
smoothing + 2nd derivative	165	4	0.83	0.60
MSC + smoothing + 1st derivative	165	5	0.88	0.49
MSC + smoothing + 2nd derivative	165	6	0.86	0.52
mean + Smoothing + 1st derivative	165	6	0.89	0.48
mean + Smoothing + 2nd derivative	165	4	0.83	0.59
SNV+ Smoothing + 1st derivative	165	5	0.88	0.50
SNV+ Smoothing + 2nd derivative	165	6	0.87	0.52

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายระดับค่าความสูงของไข่ขาว

calibration set					prediction set				
pretreatment	N	F	R	RMSEC	pretreatment	N	F	R	RMSEP
original	165	6	0.92	0.41	original	89	6	0.91	0.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.11 แสดงผลการทำนายระดับค่าความสูงของไข่ขาว

(a) กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ

(b) กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

4.2.4 การสร้างสมการเพื่อทำนายเปอร์เซ็นต์ weight loss

ไข่ที่มีน้ำหนักแสดงว่าไข่ยังมีความสด เมื่อเวลาผ่านไป เก็บรักษาไข่ไก่ไว้นานยิ่งขึ้น น้ำในไข่จะแพร่ผ่านรูเล็กๆ บนเปลือกไข่ออกสู่บรรยากาศ ทำให้ไข่สูญเสียน้ำหนัก น้ำหนักไข่ลดลด ดังนั้นการสร้างสมการเพื่อทำนายเปอร์เซ็นต์ weight loss เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้หาคุณภาพความสดของไข่ไก่ได้

สำหรับการสร้างสมการเพื่อทำนายเปอร์เซ็นต์ weight loss นี้ จะใช้ข้อมูลตัวอย่างทั้งหมด 399 ตัวอย่าง ซึ่งข้อมูลทั้ง 399 ตัวอย่าง จะแบ่งออกเป็นกลุ่มที่สำหรับสร้างสมการจำนวน 233 ตัวอย่าง และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ จำนวน 166 ตัวอย่าง ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.10 โดยจำนวนตัวอย่างของกลุ่มสร้างสมการจะต้องมีค่ามากกว่ากลุ่มสำหรับทดสอบสมการ และข้อมูลทางเคมีของกลุ่มสร้างสมการต้องครอบคลุมชุดของกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ ซึ่งตารางที่ 4.10 จะเห็นว่า ค่าเคมีของเปอร์เซ็นต์ weight loss ในกลุ่มสร้างสมการและกลุ่มทดสอบสมการมีค่าอยู่ที่ 0-9.86 และ 0-7.79 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนาย %weight loss

Items	calibration set	prediction set
number of sample	233	166
unit	%	%
Range	0-9.86	0-7.79
mean	2.89	2.85
standard deviation (SD)	2.07	2.05
wavelength	588-1089 nm	588-1089 nm

เมื่อแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสำหรับสร้างสมการและกลุ่มสำหรับทดสอบสมการเรียบร้อยแล้ว จะนำข้อมูลในกลุ่มสร้างสมการมาทำการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆดังตารางที่ 4.11การปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ เป็นวิธีการที่กำจัดปัจจัยที่มีผลต่อสเปกตรัม จากตารางที่ 4.11จะเห็นว่าข้อมูลที่ผ่านการทำ pretreatment ด้วยวิธี smoothing + 1st derivative ได้ผลลัพธ์ดีที่สุด คือ ได้ค่า R=0.92 และ RMSECV=0.80% ซึ่งการทำ pretreatment ด้วยวิธี smoothing + 1st derivative จะช่วยแก้ปัญหาลดความคลาดเคลื่อนของสเปกตรัม ซึ่ง first derivative เป็นการหาความชันของสเปกตรัม และ smoothing จะลดปัญหาของสัญญาณรบกวนต่อค่าการดูดกลืนแสงโดยจะได้สเปกตรัมที่มีลักษณะเหมือนสเปกตรัมดั้งเดิมแต่จะเรียบสม่ำเสมอมากกว่านำข้อมูลที่ผ่านการทำ pretreatment ด้วยวิธี smoothing + 1st derivative มาสร้างสมการทำนายเปอร์เซ็นต์ weight loss โดยใช้วิธี partial least squares regression (PLSR) โดยพบว่า ได้ค่า R= 0.93 และ RMSEC = 0.70% และนำโมเดลมาทดสอบความแม่นยำในกลุ่มทดสอบสมการ พบว่า R = 0.89และ RMSEP = 0.91% ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.12 และแสดงได้ดังภาพที่ 4.12(a) และ 4.4(b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

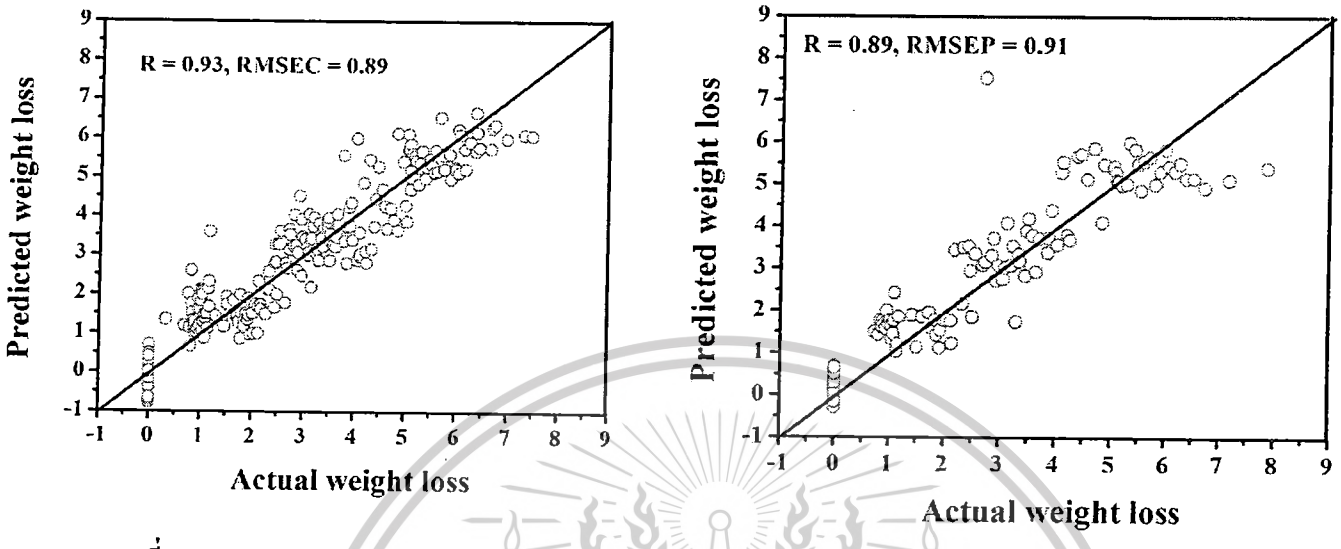
ตารางที่ 4.11 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายเปอร์เซ็นต์ weight loss ด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

spectral pretreatments	N	F	R	RMSECV
original	233	16	0.92	0.80
smoothing	233	17	0.92	0.80
1st derivative	233	19	0.92	0.81
2nd derivative	233	15	0.91	0.86
MSC	233	11	0.91	0.82
Mean	233	16	0.92	0.81
SNV	233	18	0.92	0.81
smoothing + 1st derivative	233	12	0.92	0.80
smoothing + 2nd derivative	233	15	0.92	0.76
MSC + smoothing + 1st derivative	233	10	0.91	0.84
MSC + smoothing + 2nd derivative	233	10	0.90	0.88
mean + Smoothing + 1st derivative	233	12	0.92	0.81
mean + Smoothing + 2nd derivative	233	13	0.92	0.79
SNV+ Smoothing + 1st derivative	233	10	0.91	0.85
SNV+ Smoothing + 2nd derivative	233	17	0.92	0.80

ตารางที่ 4.12 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนาย%weight loss

calibration set					prediction set				
pretreatment	N	F	R	RMSEC	pretreatment	N	F	R	RMSEP
smoothing + 1st derivative	233	12	0.93	0.70	smoothing + 1st derivative	166	12	0.89	0.91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.12 แสดงผลการทำนาย%weight loss

(a) กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ

(b) กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

4.2.5 การสร้างสมการเพื่อทำนายค่าความถ่วงจำเพาะ

ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ตรวจสอบความสดของไข่ไก่ได้ โดยทั่วไปไขจะมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ที่ประมาณ 1.085 (Wells, 1986) การทดสอบความถ่วงจำเพาะ จะสามารถทำได้โดยนำไข่ใส่ลงไปในโหลบรรจุน้ำ แล้วสังเกตว่าไข่จะจมหรือจะลอย ถ้าไข่จมน้ำ แสดงว่าเป็นไข่สด แต่ถ้าไข่ลอย แสดงว่า ไข่นั้นเสียแล้ว เนื่องจากไข่ไก่ที่เก่า และเริ่มเน่าเสีย ภายในไข่จะมีแก๊สเกิดขึ้น ซึ่งแก๊สมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ ส่งผลให้ไข่ลอย สำหรับการสร้างสมการเพื่อทำนายค่าความถ่วงจำเพาะนั้น จะทำโดยการเก็บตัวอย่างข้อมูลไข่ทั้งหมด 191 ตัวอย่าง แบ่งตัวอย่างเป็นข้อมูลสำหรับสร้างสมการจำนวน 128 ตัวอย่าง และกลุ่มทดสอบสมการจำนวน 63 ตัวอย่าง วิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสง NIR ในช่วงความยาวคลื่น 588-1089 nm สร้างสมการในการทำนายค่าความถ่วงจำเพาะ ด้วยเทคนิค partial least squares regression (PLSR) และปรับเทียบแบบ cross-validation ซึ่งตารางที่ 4.13 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายค่าความถ่วงจำเพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายค่าความถ่วงจำเพาะ

Items	calibration set	prediction set
number of sample	128	63
Unit	-	-
Range	0.99-1.09	1-1.09
mean	1.05	1.05
standard deviation (SD)	0.026	0.026
wavelength	588-1089 nm	588-1089 nm

หลังจากนั้นทำการแปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.14 โดยพบว่าการแปลงข้อมูลสเปกตรัมดั้งเดิมด้วยวิธี msc ให้ค่าความแม่นยำในการทำนายกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการได้ดีที่สุด คือ ได้ค่า R=0.91และ RMSECV=0.01ซึ่ง mscเป็นการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งสเปกตรัมเพื่อลดอิทธิพลของการกระเจิงของแสงเมื่อพบว่าการข้อมูลสเปกตรัมที่ผ่านการทำ msc ให้ผลดีที่สุด จึงนำข้อมูลชุดนี้มากสร้างสมการเพื่อทำนายค่าความถ่วงจำเพาะ ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 4.15 คือ ได้ค่า R=0.92 และ RMSEC=0.009 หลังจากนั้นนำโมเดลสมการที่สร้างได้มาทดสอบความแม่นยำในการลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ พบว่าได้ค่า R=0.90 และ RMSEP = 0.010 ซึ่งการได้ค่า R ที่สูง นั่นหมายความว่า สมการนี้มีความแม่นยำในการความถ่วงจำเพาะ ส่วนภาพที่4.13แสดงผลการทำนายค่าความถ่วงจำเพาะ โดยภาพ 4.13 (a) แสดงผลในกลุ่มสำหรับสร้างสมการ และ4.13 (b) แสดงผลในกลุ่มทดสอบสร้างสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

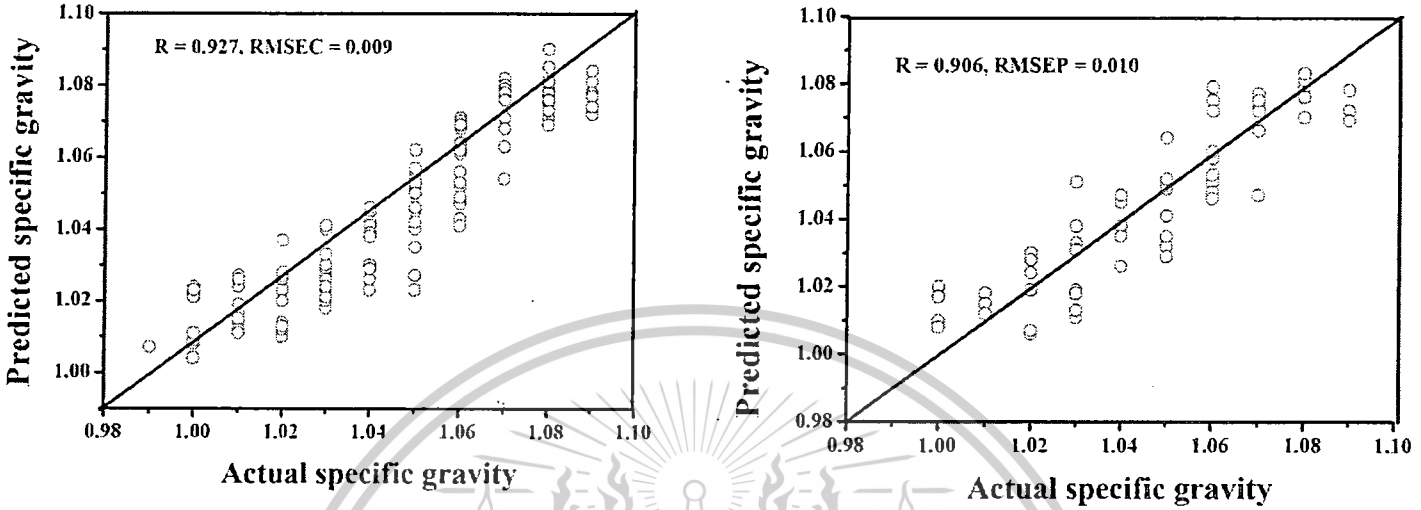
ตารางที่ 4.14 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายค่าความถ่วงจำเพาะด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

spectral pretreatments	N	F	R	RMSECV
original	128	8	0.90	0.01
smoothing	128	9	0.91	0.01
1st derivative	128	8	0.90	0.01
2nd derivative	128	10	0.90	0.01
MSC	128	7	0.91	0.01
Mean	128	7	0.91	0.01
SNV	128	7	0.91	0.01
smoothing + 1st derivative	128	8	0.91	0.01
smoothing + 2nd derivative	128	9	0.90	0.01
MSC + smoothing + 1st derivative	128	7	0.90	0.01
MSC + smoothing + 2nd derivative	128	10	0.88	0.01
mean + Smoothing + 1st derivative	128	8	0.91	0.01
mean + Smoothing + 2nd derivative	128	9	0.90	0.01
SNV+ Smoothing + 1st derivative	128	8	0.91	0.01
SNV+ Smoothing + 2nd derivative	128	8	0.90	0.01

ตารางที่ 4.15 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายค่าความถ่วงจำเพาะ

calibration set					prediction set				
pretreatment	N	F	R	RMSEC	pretreatment	N	F	R	RMSEP
msc	128	7	0.92	0.009	msc	63	7	0.90	0.010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.13 แสดงผลการทำนายค่าความถ่วงจำเพาะ

(a) กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ

(b) กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

4.3 ผลของการใช้เทคนิค NIRs โหมด reflectance ในการสร้างและทดสอบสมการเพื่อทำนายคุณภาพไข่ไก่

การใช้ NIRs โหมด reflectanceในการทำนายค่าความสดของไข่ไก่นั้น จะทดสอบโดยใช้เครื่อง NIR Flex N-500 ในช่วงความยาวคลื่น 1000-2500 nm ซึ่งภาพสเปกตรัมที่สแกนออกมาได้จะแสดงออกมาได้ดังภาพที่ 4.14โดยโหมด reflectance จะเป็นการให้แสงตกกระทบพื้นที่ผิวของตัวอย่าง แล้ววัดปริมาณแสงที่สะท้อนออกมา ซึ่งแตกต่างจากโหมด interaction ซึ่งเป็นการใช้แสง NIR ส่องผ่านมายังตัวอย่างในวงแหวนด้านนอก แล้วแสงที่สะท้อนออกมาจากเนื้อตัวอย่างถูกส่งไปยัง detector บริเวณส่วนกลาง fiber optics probe การตรวจสอบคุณภาพไข่ไก่ในโหมด Reflectance จะแบ่งการตรวจสอบออกเป็นดังนี้

-การสร้างสมการในการทำนายระดับค่า Haugh unit โดย NIR โหมด reflectance

-การสร้างสมการในการทำนายระดับค่าความสูงไข่แดง โดย NIR โหมด reflectance

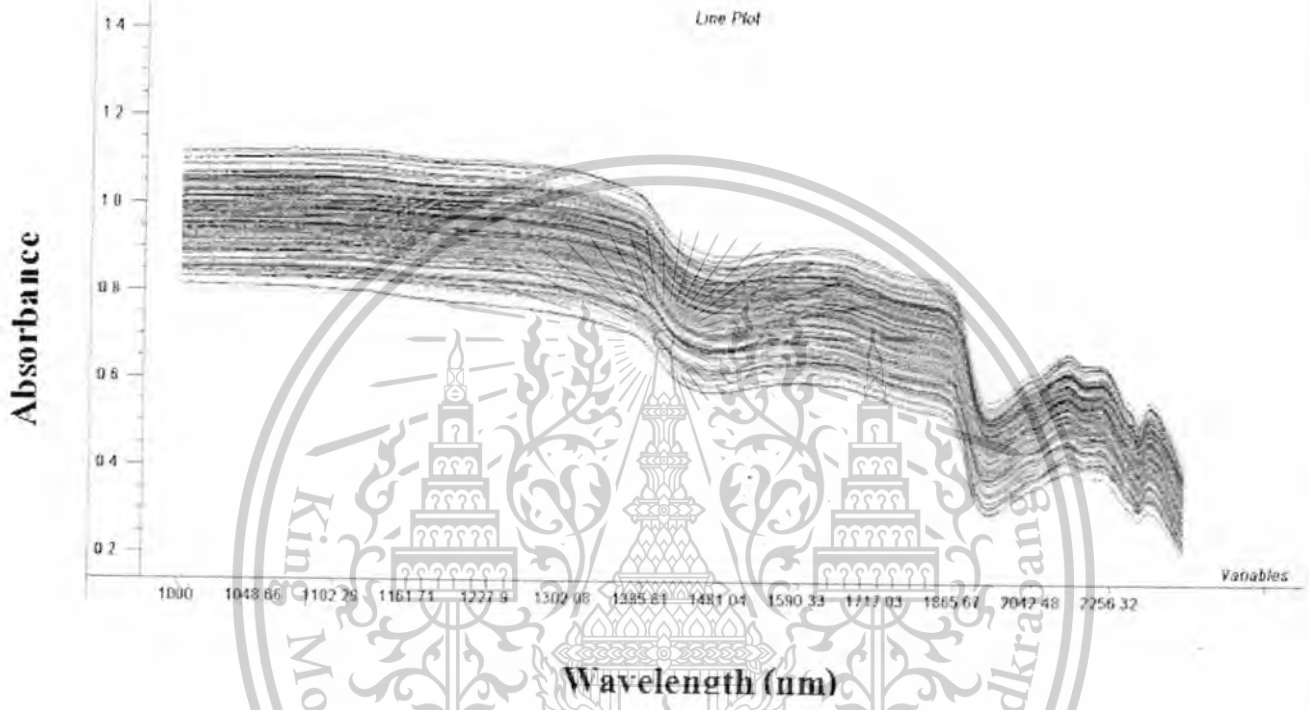
-การสร้างสมการในการทำนายระดับค่าความสูงไข่ขาวโดย NIR โหมด reflectance

-การสร้างสมการในการทำนาย %weight loss โดย NIR โหมด reflectance

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อตรวจสอบคุณภาพไข่ไก่ในโหมด reflectance นั้น จะเหมือนกับการตรวจสอบคุณภาพไข่ไก่ในโหมด interactance คือแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด คือ กลุ่มสำหรับสร้างสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค partial least squares regression (PLSR) ซึ่งผลการทำนายจะแสดงได้ดังหัวข้อ ต่อไปนี้



ภาพที่ 4.14 แสดงสเปกตรัมที่แสดงด้วยเครื่อง NIR Flex N-500 โหมด reflectance

4.3.1 การสร้างสมการในการทำนายระดับค่า Haugh unit

ตารางที่ 4.16 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายระดับค่า Haugh unit

items	calibration set	prediction set
number of sample	102	48
unit		
range	23.4-83.38	29.63-77.72
mean	49.53	49.43
standard deviation (SD)	13.01	12.70
wavelength	1000-2500 nm	1000-2500 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.16 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายระดับค่า Haugh unitโดยมีตัวอย่างทั้งหมด 150 ตัวอย่าง แบ่งเป็นกลุ่มสำหรับสร้างสมการจำนวน 102 ตัวอย่าง และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการจำนวน 48 ตัวอย่าง วิธีการแบ่งกลุ่มสร้างสมการและกลุ่มทดสอบสมการก็เหมือนกับการทดลองอื่น คือ ต้องแบ่งให้กลุ่มสร้างสมการมีค่า Haugh unit สูงสุดและต่ำสุดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย คือ มีค่า Haugh unit อยู่ที่ 23.4-83.38 และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการมีค่า Haugh unit อยู่ที่ 29.63-77.72 ให้กลุ่มสร้างสมการมีการกระจายตัวของค่า Haugh unit ที่ดีด้วย เพื่อให้กลุ่มสร้างสมการมีลักษณะของตัวแทนที่ดี

ตารางที่ 4.17 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายระดับค่า Haugh unit ด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

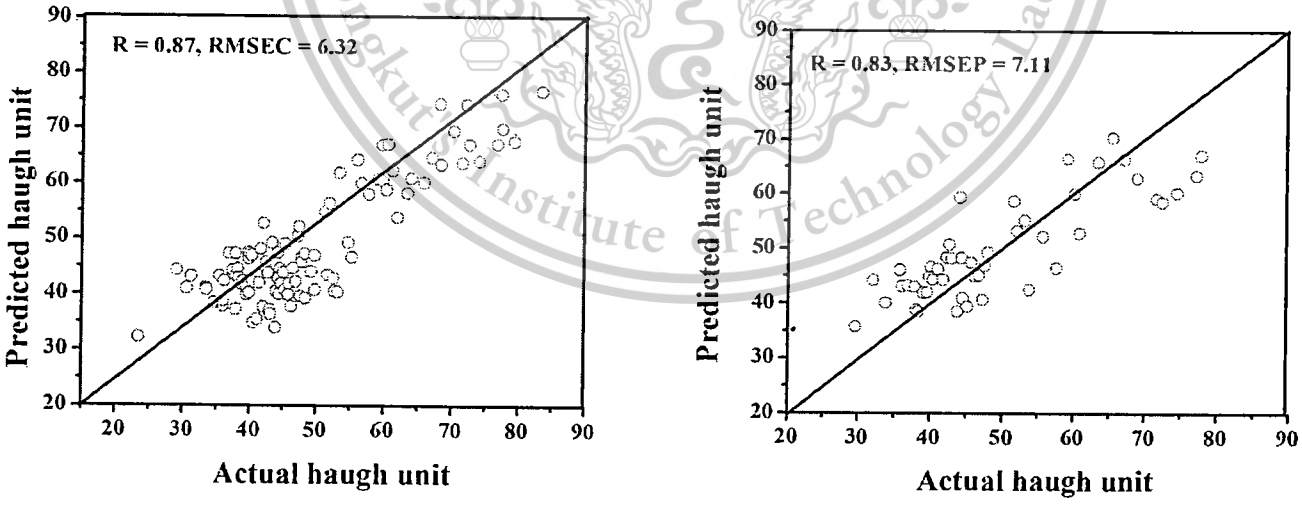
spectral pretreatments	N	F	R	RMSECV
original	102	7	0.81	7.49
smoothing	102	7	0.81	7.55
1st derivative	102	5	0.77	8.18
2nd derivative	102	3	0.79	7.98
MSC	102	8	0.82	7.27
Mean	102	7	0.81	7.52
SNV	102	7	0.79	7.90
smoothing + 1st derivative	102	7	0.78	8.17
smoothing + 2nd derivative	102	4	0.77	8.17
MSC + smoothing + 1st derivative	102	5	0.76	8.34
MSC + smoothing + 2nd derivative	102	6	0.80	7.83
mean + Smoothing + 1st derivative	102	5	0.78	8.05
mean + Smoothing + 2nd derivative	102	5	0.76	8.46
SNV+ Smoothing + 1st derivative	102	6	0.75	8.56
SNV+ Smoothing + 2nd derivative	102	5	0.75	8.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หลังจากนั้นนำข้อมูลในกลุ่มสำหรับสร้างสมการมาผ่านการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆซึ่งพบว่าการสร้างสมการด้วยวิธี msc ให้ผลดีที่สุด คือ ได้ค่า R=0.82 และ RMSECV=7.27 ซึ่งมีค่า R สูงสุด และค่า RMSECV ต่ำสุดดังนั้น จึงเลือกข้อมูลสเปกตรัมที่ผ่านการทำ msc มาสร้างสมการการทำนายระดับค่า Haugh unit โดยใช้วิธี partial least squares regression (PLSR) ซึ่งได้ผลดังนี้ คือ R=0.87 และ RMSEC =6.32 นำโมเดลสมการที่สร้างได้ไปทดสอบในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ พบว่าได้ค่า R=0.83 และ RMSEP=7.11 ซึ่งแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.18 และภาพที่ 4.15(a) แสดงผลการทำนายค่า Haugh unit ในกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ และภาพที่ 4.15(b) แสดงผลการทำนายค่า Haugh unit ในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

ตารางที่ 4.18 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายระดับค่า Haugh unit

calibration set					prediction set				
pretreatment	**N**	**F**	**R**	**RMSEC**	**pretreatment**	**N**	**F**	**R**	**RMSEP**
msc	102	8	0.87	6.32	msc	48	8	0.83	7.11



ภาพที่ 4.15 แสดงผลการทำนายค่า Haugh unit

(a) กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ

(b) กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3.2 การสร้างสมการในการทำนายระดับค่าความสูงไข่แดง

การสร้างสมการในการทำนายระดับค่าความสูงไข่แดงด้วยเทคนิค NIR ในโหมด reflectance นี้ จะใช้ข้อมูลทั้งหมด 166 ตัวอย่าง แบ่งเป็นกลุ่มสำหรับสร้างสมการจำนวน 112 ตัวอย่าง และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการจำนวน 54 ตัวอย่าง ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.19 จะเป็นตารางแสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายระดับค่าความสูงไข่แดงการคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัม NIRS กับค่าความสูงไข่แดง จะใช้วิธีใช้วิธี วิเคราะห์ด้วยเทคนิค partial least squares regression (PLSR) และปรับเทียบแบบ cross-validation โดยให้ตัวแปรต้น (x) เป็นสเปกตรัม และตัวแปรตาม (y) เป็นค่าความสูงของไข่แดง ซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิเมตรสำหรับกลุ่มที่สร้างสมการจะต้องมีค่าความสูงของไข่แดงสูงสุดและต่ำสุดอยู่ในกลุ่มนี้ เมื่อทำการแบ่งข้อมูลเป็นกลุ่มสำหรับสร้างสมการและทดสอบสมการเรียบร้อยแล้ว นำข้อมูลในกลุ่มสำหรับสร้างสมการมาปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆดังตารางที่ 4.20 ซึ่งจากนี้ตารางจะเห็นได้ว่าการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธี 2nd derivative ให้ผลดีที่สุด คือ ให้ค่า R=0.86 และ RMSECV=1.37 mm นำข้อมูลกลุ่มที่ผ่านการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธี 2nd derivative มาสร้างสมการและทดสอบสมการ พบว่าได้ค่า R=0.95 และ RMSEC=0.82 mm และ R=0.91 และ RMSEP=1.10 mm ตามลำดับ แสดงได้ดังตารางที่ 4.21 ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายระดับค่าความสูงไข่แดง และจากตางที่ 4.21 ยังสามารถแสดงผลออกมาได้ดังภาพที่ 4.16 (a) และ 4.16 (b) โดยภาพที่ 4.16 (a) แสดงผลการทำนายค่าความสูงไข่แดงในกลุ่มสำหรับสร้างสมการ และ ภาพที่ 4.16 (b) แสดงผลการทำนายค่าความสูงไข่แดงในกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ

ตารางที่ 4.19 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายระดับค่าความสูงไข่แดง

items	calibration set	prediction set
number of sample	112	54
unit	mm.	mm.
range	8.04-18.55	8.23-17.86
mean	12.69	12.65
standard deviation (SD)	2.71	2.66
wavelength	1000-2500 nm	1000-2500 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

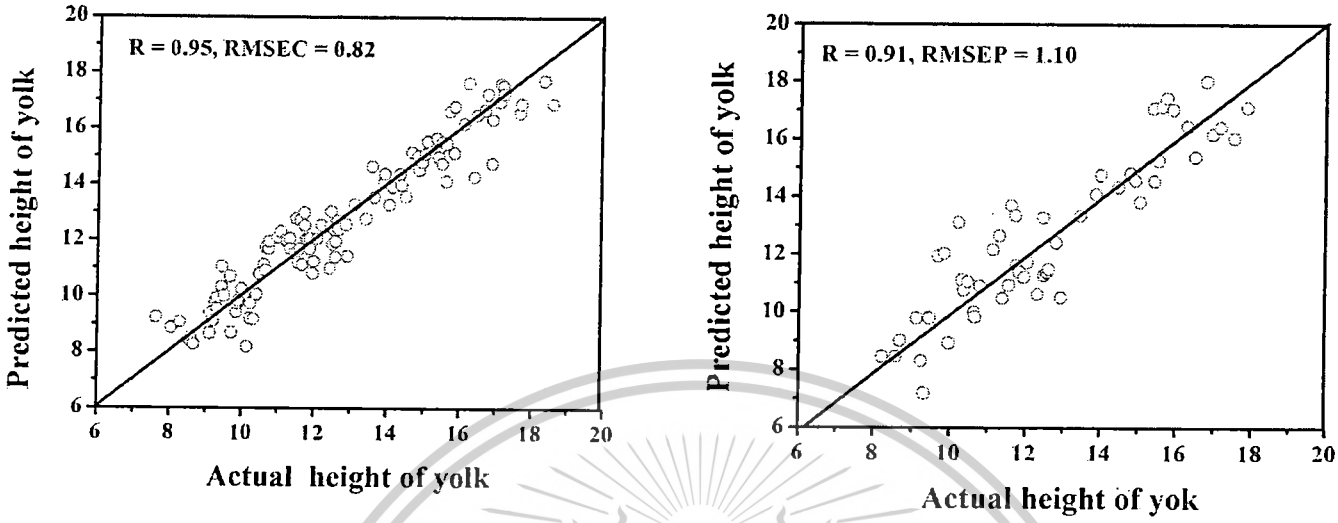
ตารางที่ 4.20 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายระดับค่าความสูงไข่แดงด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

spectral pretreatments	N	F	R	RMSECV
original	112	13	0.86	1.37
smoothing	112	13	0.85	1.44
1st derivative	112	8	0.86	1.37
2nd derivative	112	3	0.86	1.36
MSC	112	13	0.87	1.30
Mean	112	13	0.85	1.42
SNV	112	12	0.86	1.35
smoothing + 1st derivative	112	10	0.86	1.37
smoothing + 2nd derivative	112	8	0.87	1.29
MSC + smoothing + 1st derivative	112	9	0.86	1.37
MSC + smoothing + 2nd derivative	112	5	0.85	1.40
mean + Smoothing + 1st derivative	112	11	0.87	1.31
mean + Smoothing + 2nd derivative	112	7	0.86	1.34
SNV+ Smoothing + 1st derivative	112	10	0.87	1.33
SNV+ Smoothing + 2nd derivative	112	7	0.86	1.34

ตารางที่ 4.21 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายระดับค่าความสูงไข่แดง

calibration set					prediction set				
pretreatment	N	F	R	RMSEC	pretreatment	N	F	R	RMSEP
2nd derivative	112	4	0.95	0.82	2nd derivative	54	4	0.91	1.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.16 แสดงผลการทำนายค่าความสูงไข่แดง

(a) กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ

(b) กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

4.3.3 การสร้างสมการในการทำนายระดับค่าความสูงไข่ขาว

สำหรับการสร้างสมการเพื่อทำนายระดับค่าความสูงไข่ขาว ตัวอย่าง จะมีทั้งหมด 159 ตัวอย่าง โดยตารางที่ 4.22 จะแสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายระดับค่าความสูงไข่ขาวจากตาราง จะเห็นว่า ข้อมูลทั้ง 159 ตัวอย่าง แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสำหรับสร้างสมการ และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ ในกลุ่มสำหรับสร้างสมการ และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ จะมีตัวอย่างในกลุ่ม 108 ตัวอย่าง และ 51 ตัวอย่าง ตามลำดับ สำหรับขั้นตอนการแบ่งกลุ่มสร้างสมการและทดสอบสมการนั้น จะทำโดย นำตัวแปรตาม (y) ซึ่งก็คือค่าความสูงของไข่ขาวมาเรียงค่าจากน้อยไปหามาก แล้วเลือกข้อมูลเพื่อใช้เป็นกลุ่มสำหรับทดสอบสมการออกมาให้ได้ 30% โดยกลุ่มสำหรับสร้างสมการจะต้องมีค่าความสูงของไข่ขาวสูงสุดและต่ำสุดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย จากตารางที่ 4.22 จะเห็นได้ว่าค่าความสูงของไข่ขาวที่วัดได้ในกลุ่มสำหรับสร้างสมการจะมีค่าอยู่ที่ 1.45-6.85 mm และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการจะมีค่าอยู่ที่ 1.61-6.35 mm ซึ่งการแบ่งกลุ่มวิธีนี้ จะช่วยให้ข้อมูลตัวแปรตามหรือค่าความสูงไข่ขาวเกิดการกรจะตัวระหว่างกลุ่มสร้างสมการและกลุ่มทดสอบสมการ และยังช่วยลดความแปรปรวนของข้อมูลอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.22 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายระดับค่าความสูงไข่ขาว

items	calibration set	prediction set
number of sample	108	51
unit	mm.	mm.
range	1.45-6.85	1.61-6.35
mean	3.21	3.19
standard deviation (SD)	1.11	1.17
wavelength	1000-2500 nm	1000-2500 nm

ตารางที่ 4.23 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายระดับค่าความสูงไข่ขาวด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

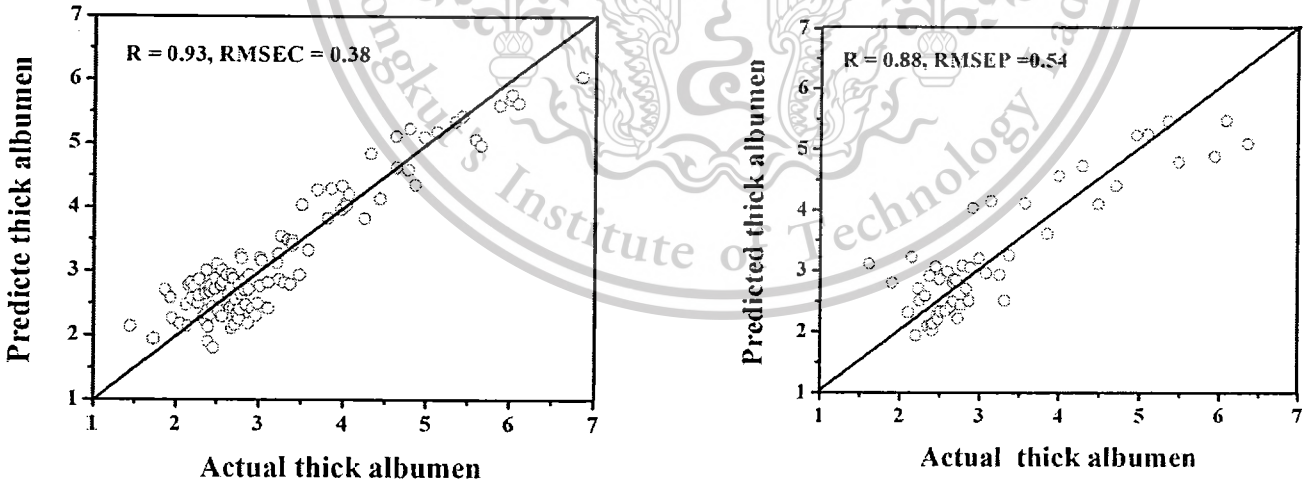
spectral pretreatments	N	F	R	RMSECV
original	108	12	0.86	0.56
smoothing	108	12	0.85	0.56
1st derivative	108	8	0.83	0.60
2nd derivative	108	3	0.81	0.64
MSC	108	11	0.86	0.55
Mean	108	12	0.84	0.58
SNV	108	11	0.85	0.56
smoothing + 1st derivative	108	9	0.83	0.61
smoothing + 2nd derivative	108	8	0.81	0.65
MSC + smoothing + 1st derivative	108	9	0.83	0.61
MSC + smoothing + 2nd derivative	108	7	0.81	0.65
mean + Smoothing + 1st derivative	108	9	0.82	0.62
mean + Smoothing + 2nd derivative	108	8	0.80	0.67
SNV+ Smoothing + 1st derivative	108	10	0.83	0.61
SNV+ Smoothing + 2nd derivative	108	7	0.81	0.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เมื่อแบ่งกลุ่มสำหรับสร้างสมการและทดสอบสมการเรียบร้อยแล้ว นำข้อมูลตัวแปรต้น หรือข้อมูลสเปกตรัมมาทำการปรับแต่งข้อมูลด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆซึ่งก็มีหลายวิธีด้วยกัน แสดงได้ดังตารางที่ 4.23 จากตารางนี้ จะแสดงให้เห็นว่าการการปรับแต่งข้อมูลด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี msc ให้ผลดีที่สุด คือให้ค่า R=0.86 และ RMSECV=0.55mm. ซึ่งพิจารณาได้จาก มีค่า R สูงสุด และมีค่า RMSECV ต่ำสุด หลังจากนั้นนำข้อมูลสเปกตรัมที่ผ่านการทำ pretreatment ด้วยวิธี msc มาสร้างสมการและทดสอบสมการ ซึ่งพบว่า ได้ค่า R=0.93, RMSEC=0.38 mm.และ R=0.0.88, RMSEP=0.54 mm ตามลำดับ และนอกจากนี้ผลการทดลองยังสามารถแสดงออกมาเป็นภาพได้ดังภาพที่ 4.17 ซึ่งเป็นภาพแสดงผลการทำนายค่าความสูงไข่ขาวในกลุ่มสำหรับสร้างสมการและกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ

ตารางที่ 4.24 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายระดับค่าความสูงไข่ขาว

calibration set					prediction set				
pretreatment	**N**	**F**	**R**	**RMSEC**	**pretreatment**	**N**	**F**	**R**	**RMSEP**
msc	108	11	0.93	0.38	msc	51	11	0.88	0.54



ภาพที่ 4.17 แสดงผลการทำนายค่าความสูงไข่ขาว

(a) กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ

(b) กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3.4 การสร้างสมการในการทำนายเปอร์เซ็นต์ weight loss

การสร้างสมการเพื่อนทำนายปอร์เซ็นต์ weight loss โดยใช้เทคนิค NIR ในโหมด reflectance นี้ จะใช้ตัวอย่างทั้งหมด 186 ตัวอย่าง แบ่งเป็นกลุ่มสำหรับสร้างสมการจำนวน 122 ตัวอย่าง และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการจำนวน 64 ตัวอย่าง ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.25 วิธีการแบ่งกลุ่มสำหรับสร้างสมการและทดสอบสมการนั้นจะทำเหมือนการทดลองอื่นๆ คือ แบ่งกลุ่มโดยให้มีกลุ่มสำหรับสร้างสมการอยู่ที่ 70 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการจำนวน 30 เปอร์เซ็นต์ โดยกลุ่มสำหรับสร้างสมการจะต้องมีค่าเปอร์เซ็นต์ weight loss สูงสุดและต่ำสุดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย

ตารางที่ 4.25 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนาย %weight loss

items	calibration set	prediction set
number of sample	122	64
unit	%	%
Range	0-7.98	0-7.86
mean	3.11	3.11
standard deviation (SD)	2.13	2.13
wavelength	1000-2500 nm	1000-2500 nm

หลังจากนั้น นำข้อมูลสเปกตรัมในกลุ่มสำหรับสร้างสมการมาปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆดังตารางที่ 4.26 ซึ่งจากตารางนี้ พบว่า การปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธี 2nd derivative ให้ผลดีที่สุด คือ ได้ค่า ค่า R=0.92และ RMSECV=0.80% การทำ pretreatment โดยวิธี 2nd derivative เป็นการเปลี่ยนแปลงความชันของสเปกตรัมสามารถแยกจุดยอดที่เหลื่อมซ้อนกันอยู่ ทำให้เห็นพีคที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น หลังจากนั้นนำข้อมูลสเปกตรัมทั้งหมดมาปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี 2nd derivative แล้วสร้างสมการเพื่อทำนายค่า %weight loss ด้วยวิธี partial least squares regression (PLSR) ซึ่งได้ผลดังนี้ คือ คือ R=0.97 และ RMSEC =0.48% นำโมเดลสมการที่สร้างได้ไปทดสอบในกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ พบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ได้ค่า R=0.90และ RMSEP=0.93% ดังตารางที่ 4.27 นอกจากนี้ ผลการทดลองเพื่อทำนายค่า %weight loss แสดงผลออกมาได้รูปภาพที่ 4.18 (a) และ 4.18 (b)

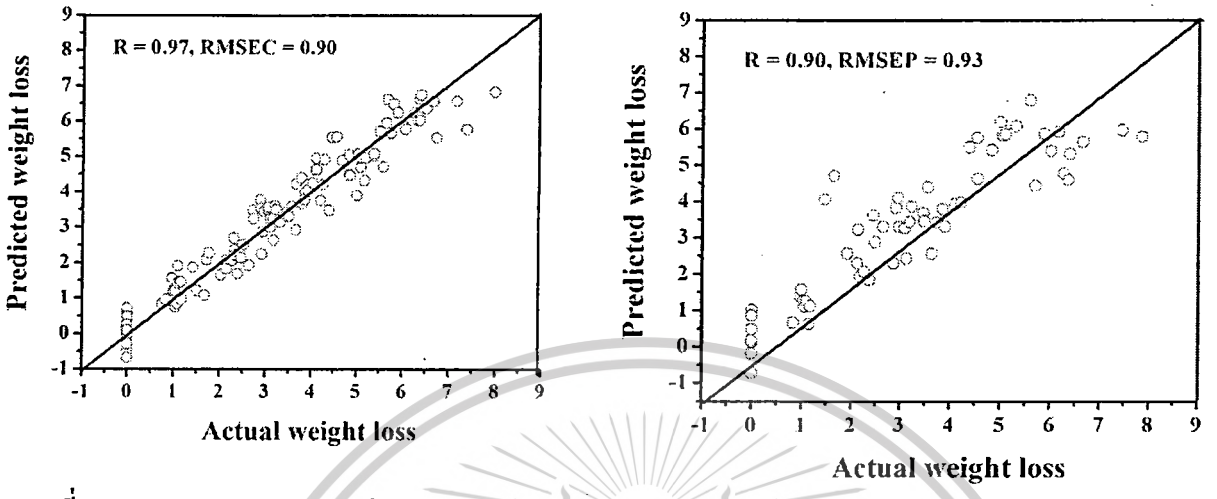
ตารางที่ 4.26 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนาย %weight loss ด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

spectral pretreatments	N	F	R	RMSECV
original	122	19	0.91	0.85
smoothing	122	18	0.90	0.91
1st derivative	122	9	0.91	0.86
2nd derivative	122	6	0.92	0.80
MSC	122	17	0.91	0.86
Mean	122	17	0.89	0.95
SNV	122	17	0.90	0.89
smoothing + 1st derivative	122	12	0.81	0.86
smoothing + 2nd derivative	122	7	0.91	0.83
MSC + smoothing + 1st derivative	122	10	0.89	0.93
MSC + smoothing + 2nd derivative	122	8	0.91	0.84
mean + Smoothing + 1st derivative	122	12	0.90	0.91
mean + Smoothing + 2nd derivative	122	8	0.90	0.88
SNV+ Smoothing + 1st derivative	122	11	0.90	0.92
SNV+ Smoothing + 2nd derivative	122	7	0.90	0.90

ตารางที่ 4.27 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายเปอร์เซ็นต์ weight loss

calibration set					prediction set				
pretreatment	N	F	R	RMSEC	pretreatment	N	F	R	RMSEP
2nd derivative	122	6	0.97	0.48	2nd derivative	64	6	0.90	0.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.18 แสดงผลการทำนายค่า%weight loss

(a) กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ

(b) กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

4.3.5 การสร้างสมการเพื่อทำนายค่าความถ่วงจำเพาะ

สำหรับการสร้างสมการเพื่อทำนายค่าความถ่วงจำเพาะ จะใช้ข้อมูลตัวอย่างจำนวน 191 ตัวอย่าง แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสำหรับสร้างสมการและกลุ่มสำหรับทดสอบสมการ โดยมีกลุ่มสำหรับสร้างสมการจำนวน 130 ตัวอย่าง และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการจำนวน 61 ตัวอย่าง กลุ่มสำหรับสร้างสมการจะมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 0.99-1.09 และกลุ่มสำหรับทดสอบสมการจะมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 1-1.09 ซึ่งข้อมูลทางสถิติจะแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.28

เมื่อแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่มเรียบร้อยแล้ว นำกลุ่มสำหรับสร้างสมการจำนวน 130 ตัวอย่าง มาปรับปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆดังตารางที่ 4.29โดยวิธีการปรับแต่งคณิตศาสตร์ที่ใช้มีหลายวิธี เช่น smoothing, first derivative, second derivative, MSC, Mean และ SNV เมื่อปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมเรียบร้อยแล้ว ให้พิจารณาค่าทางสถิติ โดยเลือก ค่า R มีค่าสูงสุดและควรมีค่าเข้าใกล้ 1 ค่า RMSECV และ factor มีค่าต่ำสุด จากตารางการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัม จะเห็นได้ว่า การทำ 1st derivative มีค่า R สูงสุด คือ 0.92 และ RMSECV มีค่าเท่ากับ 0.01เมื่อหาวิธีการปรับแต่งข้อมูลสเปกตราที่ดีดที่สุดได้แล้ว นั่นก็คือ การทำ1st derivative นำข้อมูลทั้งกลุ่มสำหรับสร้างสมการและกลุ่มสำหรับทดสอบสมการมาทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1st derivativeแล้วสร้างโมเดลขึ้นมา พบว่า โมเดลมีความแม่นยำสูง คือ ได้ค่า R = 0.982 และ RMSEC = 0.004นำกลุ่มสำหรับทดสอบสมการมาทดสอบกับโมเดล พบว่า ได้ค่า R = 0.933 และ RMSEP = 0.009 ซึ่งแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.30 และภาพที่ 4.19 (a) และ 4.19 (b) ตามลำดับ จากภาพที่ 4.19 พบว่า แกน x เป็นค่าเคมีที่วัดได้จริง แกน y คือค่าการทำนาย กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแกน x และแกน y เฉียงทำมุม 45° ซึ่งหมายถึงค่าความถ่วงจำเพาะที่ทำนายได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าความถ่วงจำเพาะที่วัดได้ นั่นหมายถึงเทคนิค NIR ในโหมด reflectance สามารถทำนายค่าความถ่วงจำเพาะได้แม่นยำ

ตารางที่ 4.28 แสดงค่าทางสถิติของกลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการของการทำนายค่าความถ่วงจำเพาะ

items	calibration set	prediction set
number of sample	130	61
unit	-	-
Range	0.99-1.09	1-1.09
mean	1.05	1.05
standard deviation (SD)	0.26	0.25
wavelength	1000-2500 nm	1000-2500 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

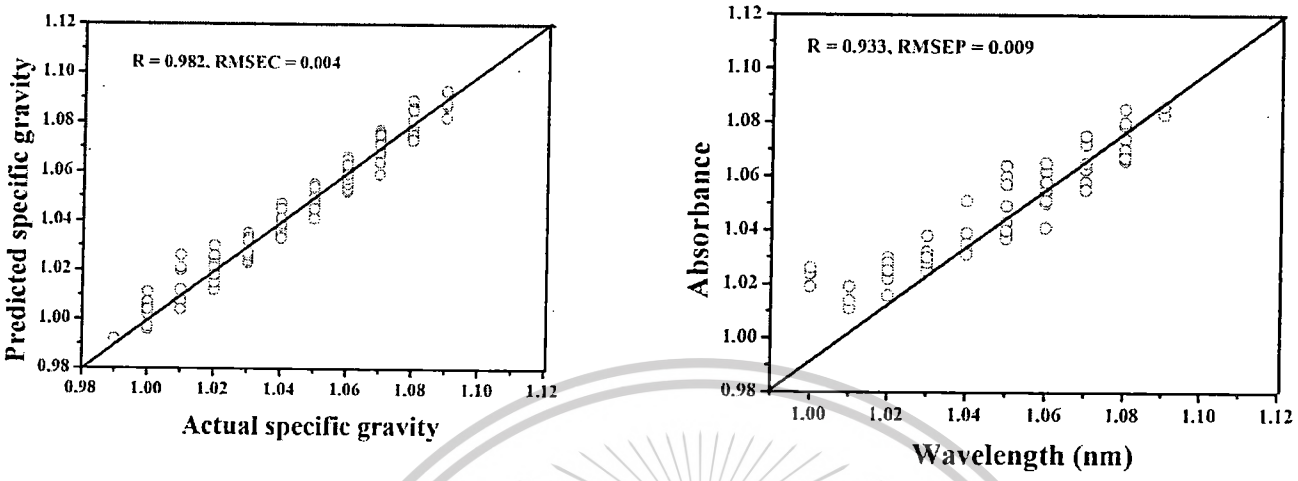
ตารางที่ 4.29 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายค่าความถ่วงจำเพาะด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

spectral pretreatments	N	F	R	RMSECV
Original	130	18	0.91	0.01
smoothing	130	18	0.91	0.01
1st derivative	130	12	0.92	0.01
2nd derivative	130	6	0.89	0.01
MSC	130	18	0.92	0.01
Mean	130	17	0.91	0.01
SNV	130	18	0.92	0.01
smoothing + 1st derivative	130	12	0.92	0.01
smoothing + 2nd derivative	130	8	0.91	0.01
MSC + smoothing + 1st derivative	130	7	0.90	0.01
MSC + smoothing + 2nd derivative	130	8	0.90	0.01
mean + Smoothing + 1st derivative	130	12	0.91	0.01
mean + Smoothing + 2nd derivative	130	7	0.91	0.01
SNV+ Smoothing + 1st derivative	130	12	0.90	0.01
SNV+ Smoothing + 2nd derivative	130	8	0.90	0.01

ตารางที่ 4.30 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายค่าความถ่วงจำเพาะ

calibration set					prediction set				
pretreatment	**N**	**F**	**R**	**RMSEC**	**pretreatment**	**N**	**F**	**R**	**RMSEP**
1st derivative	130	12	0.982	0.004	1nd derivative	61	12	0.933	0.009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.19 แสดงผลการทำนายค่า%weight loss

(a) กลุ่มที่ใช้สำหรับสร้างสมการ

(b) กลุ่มที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

4.4 การสร้างสมการเพื่อทำนายระดับค่า Haugh unit โดยใช้ NIR hyperspectral imaging

4.4.1 ผลการทดลองในเชิงปริมาณเพื่อทำนายปริมาณความสดของไข่ไก่

การสร้างสมการเพื่อทำนายปริมาณความสดขอไข่ไก่ด้วยเครื่อง NIR hyperspectral imaging โดยจะเก็บข้อมูลไข่ไก่ทั้งหมด 398 ฟอง ในช่วงระยะเวลาการเก็บรักษาที่ต่างกัน คือ วันที่ 0, 4, 7, 10, 14, 18 และ 21 โดยแบ่งไข่ไก่ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม calibrationset ซึ่งมีตัวอย่างจำนวน 20 ตัวอย่างและกลุ่ม prediction set ซึ่งมีตัวอย่างจำนวน 378 ตัวอย่าง โดยทั่วไปกลุ่ม calibration set จะต้องมีจำนวนตัวอย่างมากกว่ากลุ่มprediction set แต่ในการทดลองนี้ ใช้จำนวนตัวอย่างเพียง 20 ตัวอย่าง เนื่องจากพิกเซลภาพไข่แต่ละภาพที่สแกนได้จากเครื่อง NIR hyperspectral imaging มีขนาดใหญ่ การ merge ภาพไข่หลายๆ ภาพเพื่อสร้างกลุ่ม calibration set นั้น ส่งผลให้พิกเซลของแต่ละภาพเกิดการรวมตัวกันเพื่อสร้างโมเดล ทำให้พิกเซลภาพมีขนาดใหญ่มากขึ้น และด้วยข้อจำกัดของโปรแกรม Umbio Evince ที่ไม่สามารถ merge ไฟล์ที่มีพิกเซลขนาดใหญ่ได้ ทำให้การทดลองนี้จึงใช้กลุ่มจำนวน calibration set จำนวน 20 ตัวอย่าง เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Umbio Evince ได้ เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างเรียบร้อยแล้ว นำตัวอย่างทั้งหมดมาทำการวัดค่าการดูดกลืนแสง NIR ในช่วงความยาวคลื่น 910-1700 นาโนเมตร โดยจะนำตัวอย่าง 20 ฟองซึ่งเป็นกลุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

calibration set มาสร้างโมเดลจาก hyperspectral imaging จากนั้นทำนายภาพไข่จากโมเดลที่สร้างได้ แล้วนำผลภาพที่ทำนายได้ไปตรวจสอบความถูกต้องอีกครั้ง จากตารางที่ 4.31 จะเห็นได้ว่า กลุ่ม calibration set มีค่า Haugh unit อยู่ที่ 28.93-84.31 และกลุ่ม prediction set มีค่า Haugh unit อยู่ที่ 29.81-83.38 ซึ่งลักษณะการแบ่งกลุ่ม calibration set และกลุ่ม prediction set ที่ดีนั้น กลุ่ม calibration set ซึ่งเป็นกลุ่มสำหรับการสร้างโมเดล จำเป็นต้องมีค่า Haugh unit สูงสุดและต่ำสุดในกลุ่มนี้ด้วยในการวิเคราะห์เพื่อทำนายปริมาณความสดนั้น จะใช้ตัวอย่างในกลุ่ม prediction set ทีละ 1 ตัวอย่างมาทำนาย จนทำนายตัวอย่างครบทั้งหมด 378 ตัวอย่าง

ตารางที่ 4.31 แสดงจำนวนตัวอย่างไข่และค่า HU

กลุ่มตัวอย่าง	n	Haugh unit
calibration set	20	28.93-84.31
prediction set	378	29.81-83.38

N = จำนวนตัวอย่าง

สำหรับตารางที่ 4.30 เป็นการแสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณความสดของไข่ไก่ด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ วิธีการปรับแต่งสเปกตรัม (pretreatments) ที่ได้ทำการวิเคราะห์มีหลายวิธี เช่น Smoothing, first derivative , Second derivative, Multiplicative scatter correction (MSC), and Standard normal variate (SNV) เมื่อข้อมูลผ่านการทำ pretreatments แล้ว จะพิจารณาค่า R^2 และ RMSECV โดยค่า R^2 จะต้องมีค่าสูงสุด และ RMSECV จะต้องมีค่าต่ำสุดด้วย จากตารางที่ 4.32 จะเห็นได้ว่าวิธีการปรับแต่งสเปกตรัมโดยวิธี first derivative ให้ผลดีที่สุด คือ ได้ $R^2 = 0.69$ และ RMSECV = 8.01 H.U.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

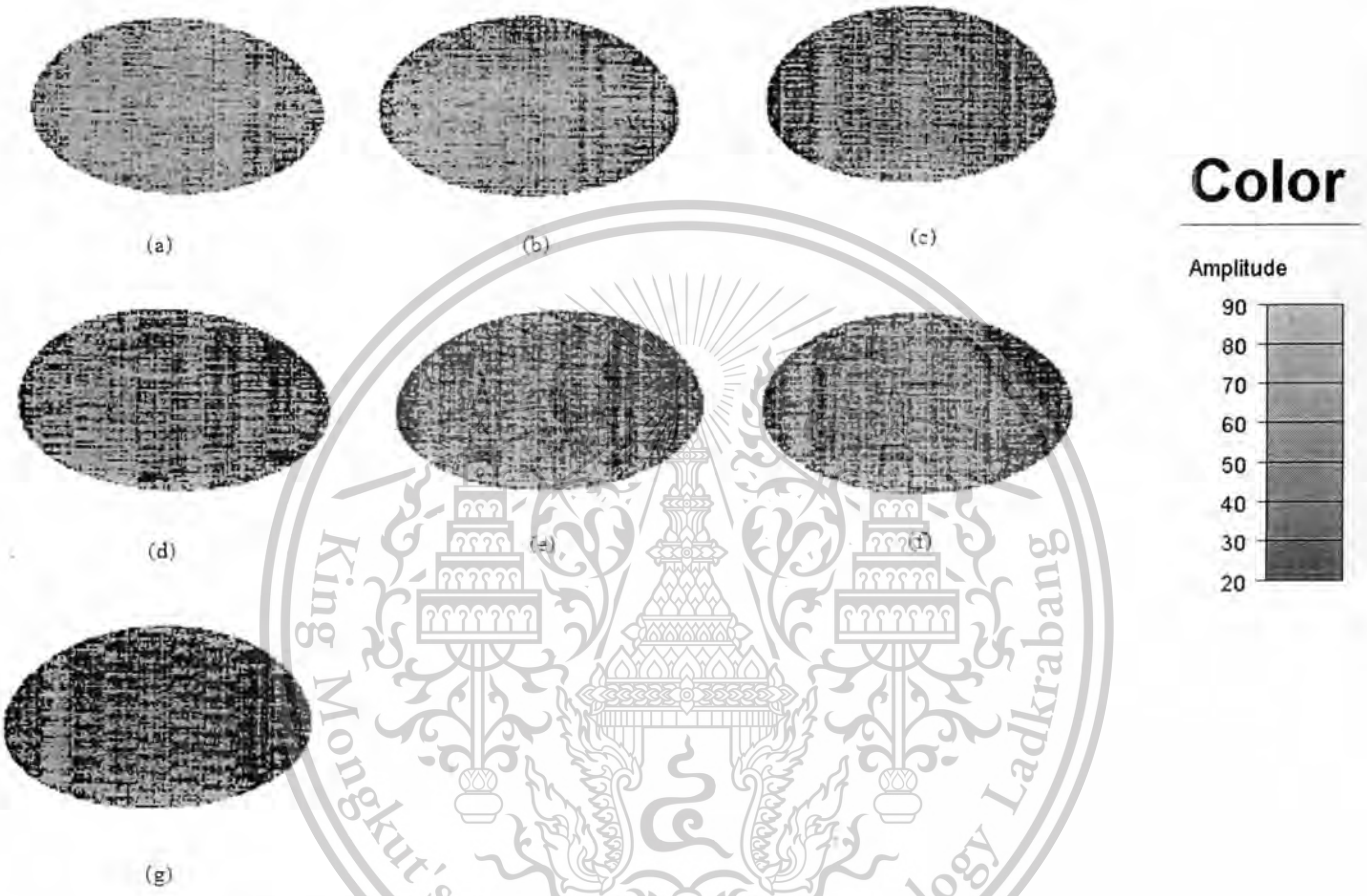
ตารางที่ 4.32 แสดงความแม่นยำในสร้างสมการในการทำนายปริมาณความสดของไข่ไก่ด้วยวิธีปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัมด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

spectral pretreatments	N	F	R^2	RMSECV
original	20	3	0.68	8.16
Smoothing	20	3	0.52	10.02
1st derivative	20	3	0.69	8.01
2nd derivative	20	3	0.66	8.46
MSC	20	3	0.54	9.83
SNV	20	3	0.54	9.80
Smoothing 3 + 1st derivative	20	3	0.58	9.36
Smoothing 3 + 2nd derivative	20	3	0.66	8.46
MSC + smoothing	20	3	0.66	8.34
SNV+ Smoothing	20	3	0.67	8.32

หลังจากนั้น นำข้อมูลที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี first derivative มาสร้างสมการการทำนายปริมาณความสดของไข่ไก่โดยใช้วิธี partial least squares regression (PLSR) และนำตัวอย่างไข่ไก่ในกลุ่ม prediction set มาทดสอบกับโมเดลทีละ 1 ตัวอย่าง จนครบ 387 ตัวอย่าง ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 4.20 ซึ่งผลการทำนายค่าความสดของไข่ไก่โดย NIR hyperspectral imaging นี้ จะได้ผลออกมาเป็นภาพสีในแต่ละพิกเซล ซึ่งภาพสี จะมีสเกลแบ่งระดับสีเพื่อบ่งบอกปริมาณความสดของไข่ไก่ จากสเกลจะมีตัวเลขกำกับไว้อยู่ ซึ่งตัวเลขของสเกลจะมีความสัมพันธ์กับค่า Haugh unit ถ้าตัวเลขสเกลมีค่าสูง ภาพแสดงเฉดสีเขียว นั่นหมายถึงมีค่า Haugh unit สูง ไข่ไก่มีความสดมาก และถ้าสเกลมีค่าต่ำ ภาพแสดงเฉดสีน้ำเงิน นั่นหมายถึง มีค่า Haugh unit ต่ำ ไข่ไก่มีความสดน้อย จากภาพที่ 4.20 จะเห็นได้ว่า 4.20 (a) ภาพจะแสดงออกเป็นเฉดสีเขียวมาก นั่นหมายถึงภาพ 4.20 (a) มีค่า Haugh unit สูง ไข่ไก่มีความสดมาก รองลงมาเป็น 4.20 (b) ซึ่งแสดงออกเป็นสีเขียวน้อยลงและเป็นสีน้ำเงินมากขึ้น นั่นหมายถึง ไข่ไก่มีค่า Haugh unit น้อยกว่าภาพ 4.20 (a) ตามด้วยภาพ 4.20 (c), 4.20 (d), 4.20 (e), 4.20 (f) และ 4.20 (g) ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ภาพ 4.20 (c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เริ่มมีเฉดสีน้ำเงินมากขึ้นและเฉดสีเขียวเริ่มลดลง จนกระทั่งภาพ 4.20 (g) ที่มีปริมาณสีน้ำเงินมากที่สุดและมีเฉดสีเขียวน้อยที่สุด นั่นหมายถึง ภาพนี้มีค่า Haugh unit ต่ำ ไข่ไก่มีความสดน้อยที่สุด



ภาพที่ 4.20 แสดงภาพการทำนายปริมาณค่า Haugh unit ของไข่ไก่

(a) ภาพไข่ไก่ที่ถูกทำนายในวันที่ 0

(b) ภาพไข่ไก่ที่ถูกทำนายในช่วงระยะเวลาการเก็บรักษาวันที่ 4

(c) ภาพไข่ไก่ที่ถูกทำนายในช่วงระยะเวลาการเก็บรักษาวันที่ 7

(d) ภาพไข่ไก่ที่ถูกทำนายในช่วงระยะเวลาการเก็บรักษาวันที่ 10

(e) ภาพไข่ไก่ที่ถูกทำนายในช่วงระยะเวลาการเก็บรักษาวันที่ 14

(f) ภาพไข่ไก่ที่ถูกทำนายในช่วงระยะเวลาการเก็บรักษาวันที่ 18

(g) ภาพไข่ไก่ที่ถูกทำนายในช่วงระยะเวลาการเก็บรักษาวันที่ 21

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เนื่องจากภาพที่ได้จากการทำนายปริมาณค่า Haugh unit แสดงเฉดสีออกมา 2 เฉดสี คือ เฉดสีเขียวและเฉดสีน้ำเงิน นำภาพที่ได้จากการทำนายปริมาณค่า Haugh unit มาหาเปอร์เซ็นต์พื้นที่ระหว่างเฉดสีเขียวและเฉดสีน้ำเงิน โดยใช้โปรแกรม Photoshop เพื่อดูเปอร์เซ็นต์ว่าภาพการทำนายของไข่ไก่แต่ละภาพมีเปอร์เซ็นเฉดสีเขียวคิดเป็นกี่เปอร์เซ็นต์

จากภาพที่ (a) เป็นภาพการทำนายค่า Haugh unit ของไข่ไก่ในวันที่ 0 พบว่า มีพื้นที่เฉดสีเขียว คิดเป็น 84.81% และไข่ไก่ฟองนี้มีค่า Haugh unit อยู่ที่ 78.54

ภาพที่ (b) เป็นภาพการทำนายค่า Haugh unit ของไข่ไก่ในวันที่ 4 พบว่า มีพื้นที่เฉดสีเขียว คิดเป็น 76.29% และไข่ไก่ฟองนี้มีค่า Haugh unit อยู่ที่ 67.02

ภาพที่ (c) เป็นภาพการทำนายค่า Haugh unit ของไข่ไก่ในวันที่ 7 พบว่า มีพื้นที่เฉดสีเขียว คิดเป็น 65.92% และไข่ไก่ฟองนี้มีค่า Haugh unit อยู่ที่ 54.69

ภาพที่ (d) เป็นภาพการทำนายค่า Haugh unit ของไข่ไก่ในวันที่ 10 พบว่า มีพื้นที่เฉดสีเขียว คิดเป็น 54.75% และไข่ไก่ฟองนี้มีค่า Haugh unit อยู่ที่ 46.59

ภาพที่ (e) เป็นภาพการทำนายค่า Haugh unit ของไข่ไก่ในวันที่ 14 พบว่า มีพื้นที่เฉดสีเขียว คิดเป็น 52.90% และไข่ไก่ฟองนี้มีค่า Haugh unit อยู่ที่ 42.12

ภาพที่ (f) เป็นภาพการทำนายค่า Haugh unit ของไข่ไก่ในวันที่ 18 พบว่า มีพื้นที่เฉดสีเขียว คิดเป็น 46.96% และไข่ไก่ฟองนี้มีค่า Haugh unit อยู่ที่ 37.87

ภาพที่ (g) เป็นภาพการทำนายค่า Haugh unit ของไข่ไก่ในวันที่ 21 พบว่า มีพื้นที่เฉดสีเขียว คิดเป็น 47.91% และไข่ไก่ฟองนี้มีค่า Haugh unit อยู่ที่ 34.91

ถ้าเก็บรักษาไข่ไก่ไว้นานยิ่งขึ้น ปริมาณค่า Haugh unit จะมีค่าลดลง ซึ่งจากการทำนายภาพ hyperspectral image จะเห็นได้ว่า ในวันที่ 0 มีค่า Haugh unit สูงสุดซึ่งวันที่ 0 นี้เป็นวันแรกที่ทำการเก็บรักษาไข่ไก่ ดังนั้นวันที่ 0 ไข่ไก่จะมีความสดมาก มีค่า Haugh unit อยู่ที่ 78.54 สีของภาพส่วนใหญ่จะเป็นเฉดสีเขียว แลเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานยิ่งขึ้น ค่า Haugh unit มีปริมาณลดลง โดยเมื่อเก็บรักษาไข่ไก่จนถึงวันที่ 4, 7, 10, 14, 18 และ 21 จะมีปริมาณค่า Haugh unit ลดลง ดังนั้น ภาพที่แสดงการทำนายปริมาณค่า Haugh unit จะค่อยๆมีเฉดสีเขียวลดลงตามปริมาณค่า Haugh unit ด้วย โดยไข่ไก่ที่เก็บรักษาจนถึงวันที่ 21 มีปริมาณค่า Haugh unit ต่ำสุด ภาพที่ทำนายได้ก็จะมีเฉดสีเขียวน้อยสุดและมีเฉดสีน้ำเงินมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4.2 ผลการทดลองในเชิงคุณภาพเพื่อคัดแยกลุ่มระหว่างไข่สด และไข่ไม่สด

สำหรับการทดลองเพื่อคัดแยกระหว่างกลุ่มไข่สดและไข่ไม่สดนั้นจะเป็นผลการทดลองที่วิเคราะห์ต่อเนื่องมากจากดารทดลองที่ 1 คือ จะนำภาพที่ทำนายได้จากการทดลองที่ 4.4.1 มาทำนายความถูกต้องโดยพิจารณาจากพิกเซลโดยใช้โปรแกรม Photoshop เพื่อวิเคราะห์ดูว่าภาพที่ทำนายได้มีเปอร์เซ็นต์พิกเซลระหว่างเฉดสีเขียวและเฉดสีน้ำเงินเป็นเท่าไร เมื่อได้เปอร์เซ็นต์พิกเซลของแต่ละภาพแล้ว ให้ทำการคัดแยกระหว่างกลุ่มไข่สดและกลุ่มไข่ไม่สด โดยจะต้องทำการหา cutoff value ก่อน ซึ่งจะทำโดยการนำปริมาณค่า Haugh unit ที่มีค่าอยู่ที่ 60 ทั้งหมดมาพิจารณาว่า ที่ค่า Haugh unit= 60 มีค่าเปอร์เซ็นต์พิกเซลของเฉดสีเขียวเฉลี่ยคิดเป็นกี่เปอร์เซ็นต์ โดยในการทดลองนี้ ที่ค่า Haugh unit= 60 มีเปอร์เซ็นต์พิกเซลเฉดสีเขียวคิดเป็น 63.01% ดังนั้น ค่า cutoff value จะอยู่ที่ 63.01 ถ้าภาพที่ทำนายมีค่า Haugh unit ต่ำกว่า 60 และมีพื้นที่พิกเซลเฉดสีเขียวต่ำกว่า 63.01% ถือว่าเป็นไข่ไม่สด และถ้าภาพที่ทำนายมีค่า Haugh unit สูงกว่า 60 และมีพื้นที่พิกเซลเฉดสีเขียวสูงกว่า 63.01% ถือว่าเป็นไข่สด ซึ่งจะแสดงผลความแม่นยำในการคัดแยกได้ดังตารางที่ 4.33

ตารางที่ 4.33 แสดงความแม่นยำในการคัดแยกระหว่างกลุ่มไข่สดและกลุ่มไข่ไม่สด

storeage time (day)	N	corrected	uncorrected	%total accuracy
0	52	45/52	7/52	86.54
4	53	30/53	23/53	56.60
7	54	34/54	20/54	62.96
10	54	38/54	16/54	70.37
14	52	44/52	8/52	84.62
18	57	53/57	4/57	92.98
21	56	54/56	2/56	96.43
Total	378	298/378	80/378	78.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากตารางที่ 4.33 จะแสดงความแม่นยำในการคัดแยกระหว่างกลุ่มไข่สดและไข่ไม่สด ซึ่งใช้จำนวนตัวอย่างไข่ไก่ทั้งหมด 378 ฟอง จากตารางนี้ จะเห็นได้ว่า การทำนายค่า Haugh unit ด้วยโปรแกรม hyperspectral image และหาเปอร์เซ็นต์พิกเซลเฉดสีเขียวของแต่ละภาพโดยใช้โปรแกรม Photoshop พบว่า สามารถคัดแยกกลุ่มระหว่างไข่สดและไข่ไม่สดได้ โดยมีสามารถคัดแยกกลุ่มได้ถูกถึง 78.83 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สรุปผลการทดลอง

การทดลองนี้ เป็นการทดลองเพื่อทำนายคุณภาพของไข่ไก่ที่มีอายุการเก็บรักษาที่ต่างกัน โดยไข่ที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลานาน คุณภาพความสดจะเริ่มลดลงเรื่อยๆ โดยคุณภาพความสดที่ใช้ในการทำนายความสดของไข่ไก่ซึ่งมีดังต่อไปนี้

- สร้างสมการเพื่อทำนายค่า Haugh unit
- สร้างสมการเพื่อทำนายค่าความสูงของไข่แดง
- สร้างสมการเพื่อทำนายค่าความสูงของไข่ขาว
- เสร้างสมการเพื่อทำนายเปอร์เซ็นต์ weight loss
- สร้างสมการเพื่อทำนายค่าความถ่วงจำเพาะ

โดยเทคนิคที่ใช้สำหรับทำนายคุณภาพไข่ไก่จะใช้เทคนิค NIRs ในโหมด interactance, reflectance และ NIR hyperspectral imaging ซึ่งได้ผลการทดลองสรุปออกมาได้ดังนี้

1. การใช้เทคนิค NIRs ในโหมด interactance ที่ความยาวคลื่น 588-1089 นาโนเมตร
- ความแม่นยำในการทำนายค่า Haugh unit ได้ค่า R= 0.91 และ RMSEP = 5.643
- ความแม่นยำในการทำนายค่าความสูงของไข่ขาว ได้ค่า R= 0.90 และ RMSEP = 1.02 mm
- ความแม่นยำในการทำนายค่าความสูงของไข่ขาวได้ค่า R= 0.91 และ RMSEP = 0.45 mm
- ความแม่นยำในการทำนายเปอร์เซ็นต์ weight loss ได้ค่า R= 0.89 และ RMSEP = 0.91%
- ความแม่นยำในการทำนายค่าความถ่วงจำเพาะ ได้ค่า R= 0.83 และ RMSEP = 7.11

2. การใช้เทคนิค NIRs ในโหมด Reflectane ที่ความยาวคลื่น 1000-2500 นาโนเมตร
- ความแม่นยำในการทำนายค่าHaugh unit ได้ค่า R= 0.83 และ RMSEP = 7.11
- ความแม่นยำในการทำนายค่าความสูงของไข่ขาว ได้ค่า R= 0.91 และ RMSEP = 1.10 mm
- ความแม่นยำในการทำนายค่าความสูงของไข่แดง ได้ค่า R= 0.88 และ RMSEP = 0.54 mm
- ความแม่นยำในการทำนายเปอร์เซ็นต์ weight loss ได้ค่าR= 0.90 และ RMSEP = 0.95%
- ความแม่นยำในการทำนายค่าความถ่วงจำเพาะ ได้ค่า R = 0.986 และ RMSEP = 0.009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3. การใช้เทคนิค NIRs hyperspectral imagingในโหมด reflectane ที่ความยาวคลื่น 910-1700 นาโนเมตรโดยเทคนิค NIRs hyperspectral imaging จะทำนายปริมาณความสดของไข่ไก่ออกมาเป็นเฉดสี คือ เฉดสีเขียวและเฉดสีน้ำเงิน ภาพใดที่มีพื้นที่สีเขียวมาก นั่นหมายถึง ไข่ไก่มีความสด ภาพใดที่แสดงออกเป็นสีน้ำเงินมากกว่าสีเขียว นั่นหมายถึง ไข่ไก่ไม่มีคามสดจากการทดลองนี้ ได้เก็บไข่ไก่ไว้เป็นระยะเวลา 21 วัน ในช่วงวันที่ 0 ไข่จะมีความสดมาก ภาพที่ทำนายออกมาได้ก็แสดงเป็นพื้นที่สีเขียวมากกว่าสีน้ำเงิน และพื้นที่สีเขียวค่อยๆ ลดลง จนถึงวันที่ 21 ภาพที่ทำนายแสดงผลออกมาเป็นพื้นที่สีน้ำเงินมากกว่าสีเขียว

สำหรับการทดลองการใช้เทคนิค NIRs hyperspectral imaging เพื่อคัดแยกกลุ่มระหว่างความสดและไม่สดของไข่ไก่ จะนำโปรแกรม Photoshop มาวิเคราะห์ภาพที่ทำนายมาจากโปรแกรม Umbio evince โดยจะหาพื้นที่ตัวอย่างไข่ไก่ 1 ฟอง มีเปอร์เซ็นต์พื้นที่เฉดสีเขียวมากน้อยเท่าไร และนำมาเปรียบเทียบกับค่า Haugh unit ที่วัดได้ จากการทดลองนี้ สามารถคัดแยกกลุ่มระหว่างไข่สดและไข่ไม่สดได้ถึง 78.83 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เอกสารอ้างอิง

นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์. 2547. สเปกโตรสโกปีด้านการวิเคราะห์. กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 150.

สมาคมผู้ผลิตผู้ค้าและส่งออกไข่ไก่. 2555. สถานการณ์ไข่ไก่. แหล่งที่มา: http://egg-thailand.com, 1 กันยายน 2555.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรการเกษตร. 2555. ข้อมูลเศรษฐกิจการเกษตร. แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/ewt_news.php?nid=4542, 1 กันยายน 2555

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหาร. มาตรฐานสินค้าเกษตร ไข่ไก่. TAS 6702-2010. 28 ธันวาคม, 2553.

สุวรรณ เกษตรสุวรรณ. 2529. ไข่และไก่เนื้อ. พิมพ์ครั้งที่2 กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. โรงพิมพ์อมรการพิมพ์.

เสกสม อาตมางกูร, อรทัย ไตรวุฒานนท์, สุเจตน์ ชื่นชม, วิไลลักษณ์ ชาวอุทัย, วิรัตน์ สุมน, อรประพันธ์ ส่งเสริม, อรรถวุฒิ พลายบุญ, สุชาติ สงวนพันธุ์, หนุจันทร์ มาตา และยุวเรศ เรืองพานิช. 2549. " การประกันคุณภาพไข่ไก่เพื่อการบริโภค". รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

Barbin, D., G. Elmasry, Da-W. Sun, P. Allen. 2012. Near-infrared hyperspectral imaging for grading and classification of pork. Meat Science, 90: 259-268.

Downey, G. 1994. Qualitative analysis in the Near Infrared region. The Analyst 119: 2367-2375.

ElMasry, G., A. Iqbal, Da-W. Sun, P. Allen, P. Ward. 2011a. Quality classification of cooked, sliced turkey hams using NIR hyperspectral imaging system. Journal of Food Engineering, 103: 333-344.

ElMasry, G., Da-W. Sun, P. Allen. 2011b. Non-destructive determination of water-holding capacity in fresh beef by using NIRhyperspectral imaging.Food Research International.44: 2624-2633.

ElMasry, G., Da-W. Sun, P. Allen. 2012. Near-infrared hyperspectral imaging for predicting colour, pH and tenderness of fresh beef. Journal of Food Engineering, 110:127-140.

Giunchi, A., A. Berardinelli, L. Ragni, A. Fabbri, F. A. Silaghi. 2008. Non-destructive freshness assessment of shell eggs using FT-NIR spectroscopy. Journal of Food Engineering. 89: 142-148.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Hempe, J. M., Jr., Lauxen, R. C. and Savage, J. E. (1988).Rapid determination of egg weight and specific gravity usind a computerized data collection system.Poultry Science. 67(6). 902-907.

Hinton, H. R. 1968. Storage of egg, Oliver and Boyd, Ed in burgh, pp 251-261.

Kawano, S., H. Abe and M. Iwamoto, 1995. Development of a calibration equation with temperature compensation for determining the Brix value in intact peaches. J. Near Infrared Spectrosc. 3: 211-218.

Kamruzzaman, M., G. ElMasry, Da-W. Sun, P. Allen. 2011. Application of NIR hyperspectral imaging for discrimination of lamb muscles.Journal of Food Engineering. 104: 332-340.

Lin, H., J. Zhao, L. Sun, Q. Chen, F. Zhou. 2011. Freshness measurement of eggs using near infrared (NIR) spectroscopy and multivariate data analysis. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 12: 182-186.

Osborne, B.G., T. Fearn, and P. H. Hindle, 1993.Practical NIR Spectroscopy with applications in food and beverage analysis. Second Edition.Longman Scientific and Technical, Harlow, Essex, UK. 227 pp.

Pierna J. A. F., P. Vermeulen, O. Amand, A. Tossens, P. Dardenne, V. Baeten. 2012. NIR hyperspectral imaging spectroscopy and chemometrics for the detection of undesirable substances in food and feed.Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, doi:10.1016/j.chemolab. 2012.02.004

Qiang, L. and T. Mingjie. 2012. Detection of Hidden Bruise on Kiwi fruit Using Hyperspectral Imaging and Parallelepiped Classification.Procedia Environmental Sciences. 12: 1172 – 1179.

Rocculi, P., U. Tylewicz, A. Pekoslawska, S. Romani, F. Sirri, V. Siracusa, M.D. Rosa. 2009. MAP storage of shell hen eggs, Part 1: Effect on physico-chemical characteristics of the fresh product. Food Science and technology. 42 (3): 758-762.

Schulz, H., H. H. Drews, R. Quilitzsch and H. Kr¨uger, 1998.Application of near infrared spectroscopy for the quantification of quality parameters in selected vegetables and essential oil plants. J. Near Infrared Spectrosc. 6: A 125–A 130.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Singh, C. B., D. S. Jayas, J. Paliwal, N. D. G. White. 2010. Identification of insect-damaged wheat kernels using short-wave near-infrared hyperspectral and digital colour imaging.Computers and Electronics in Agriculture. 73:118-125.

Wang, W., C. Li, E. W. Tollner, R. D. Gitaitis, G. C. Rains. 2012. Shortwave infrared hyperspectral imaging for detecting sour skin (Burkholderiacepacia)-infected onions. Journal of Food Engineering, 109: 38-48.

Williams, P., P. Geladi, G. Fox, M. Manley. 2009. Maize kernel hardness classification by near infrared (NIR) hyperspectral imaging and multivariate data analysis.AnalyticaChimicaActa. 653: 121–130.

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

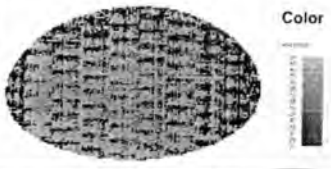
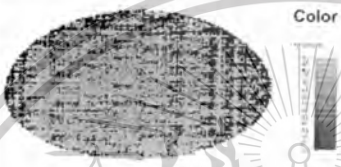
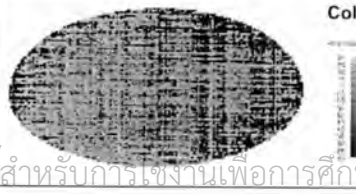
ภาคผนวก ก

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

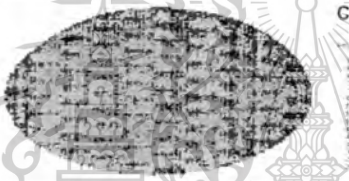
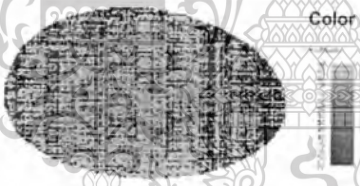
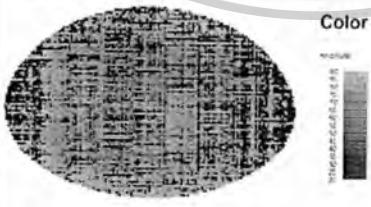
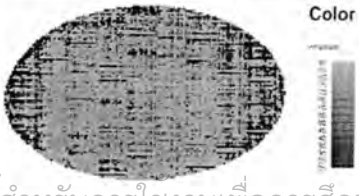
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แสดงภาพการทำนายปริมาณค่า Haugh unit ด้วยเทคนิค NIRs hyperspectral imaging

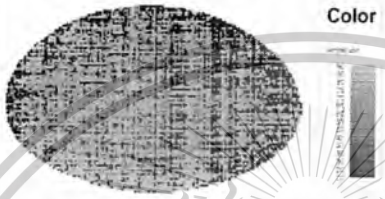
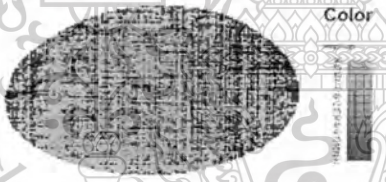
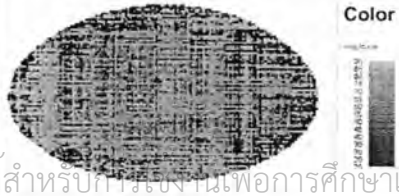
ตารางที่ ก.1 แสดงภาพการทำนายปริมาณค่า Haugh unit ด้วยเทคนิค NIRs hyperspectral imaging

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
0	1		72.68
	2		76.74
	3		74.46
	4		55.97
	5		54.75
	6		60.49
	7		72.49

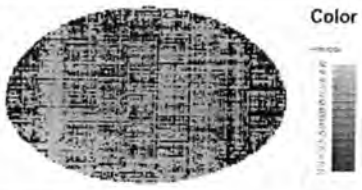
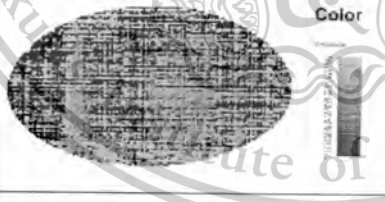
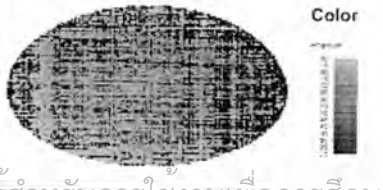
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
0	8		46.27
	9		56.05
	10		79.25
	11		65.82
	12		68.04
	13		63.42
	14		76.85

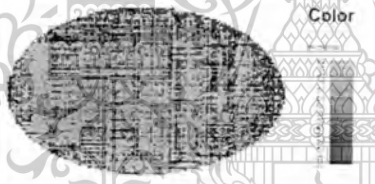
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
0	15		69.13
	16		65.4
	17		77.31
	18		68.31
	19		72.13
	20		71.99
	21		60.07

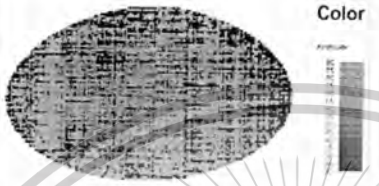
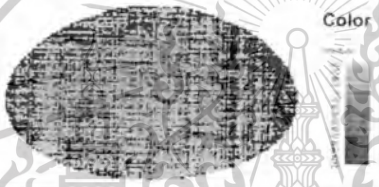
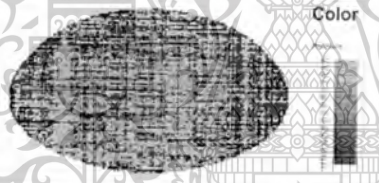
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
0	22		68.89
	23		77.72
	24		70.1
	25		74.02
	26		77.08
	27		77.46
	28		71.57

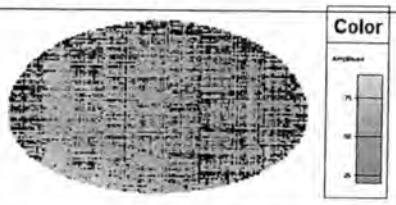
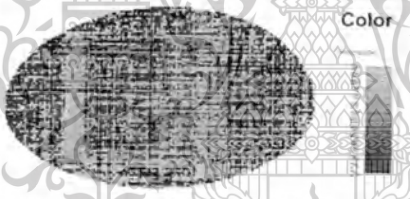
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
0	30		72.4
	36		61.19
	37		75.98
	38		70.77
	39		78.54
	40		50.93
	41		69.98

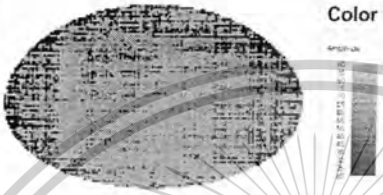
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
0	43		71.87
	45		65.79
	46		59.66
	47		69.36
	48		64.01
	49		61.94
	50		82.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

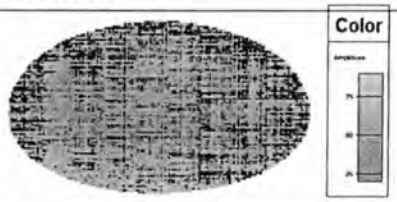
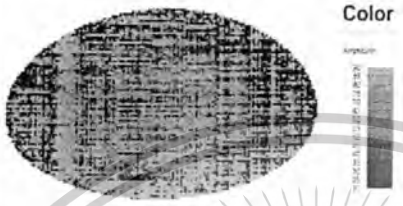
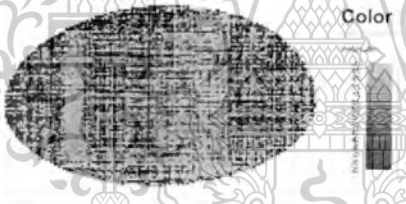
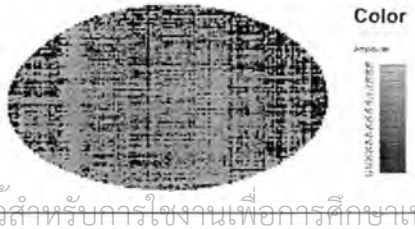
วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
0	51		78.11
	52		83.17
	53		54.97
	54		71.34
	55		67.98
	56		46.35
	57		64.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

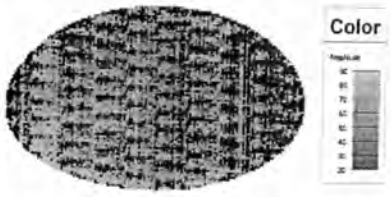
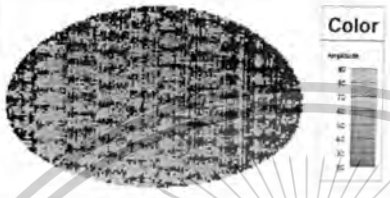
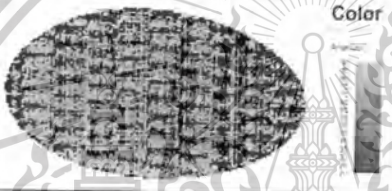
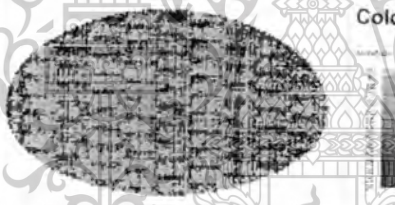
วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
0	58		71.81
	59		69.21
	60		69.23

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

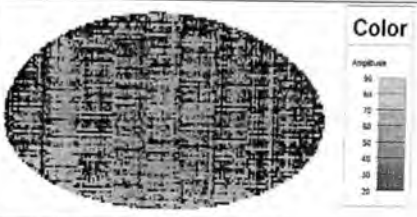
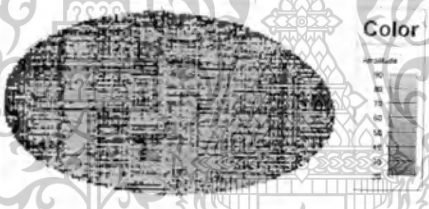
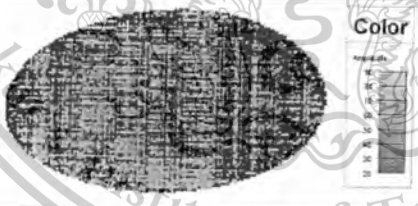
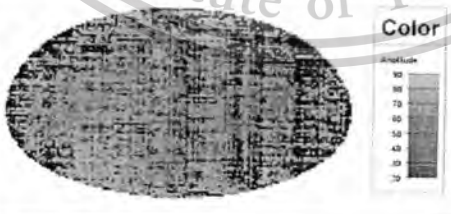
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
0	51		78.11
	52		83.17
	53		54.97
	54		71.34
	55		67.98
	56		46.35
	57		64.93

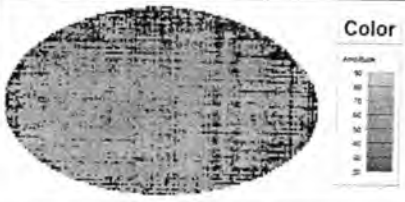
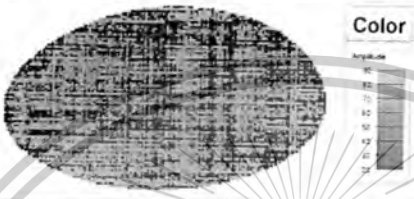
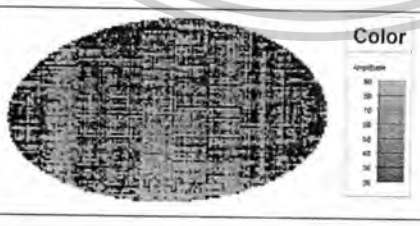
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
4	1		51.71
	2		59.71
	3		60.05
	7		63.93
	8		60.27
	9		59.05
	10		51.18

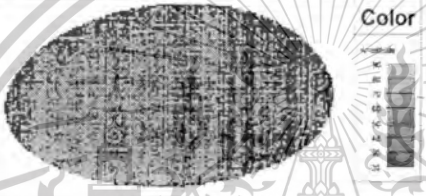
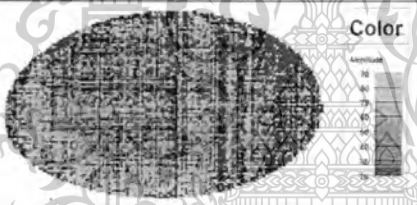
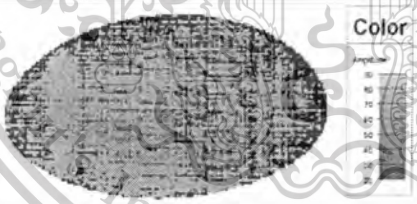
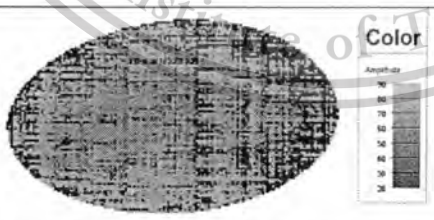
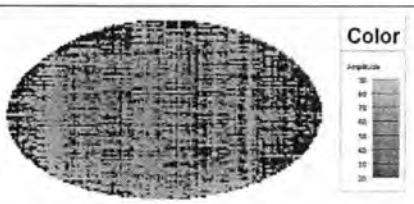
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
	11		52.01
	12		57.43
	13		56.61
	14		55.62
	15		42.35
	17		59.63
	20		66.83

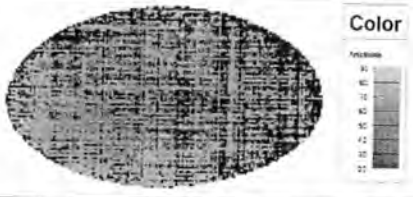
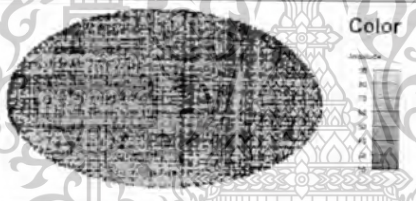
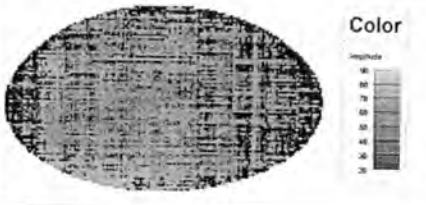
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
4	22		67.03
	23		71.42
	24		63.43
	25		38.2
	26		61.14
	27		53.31

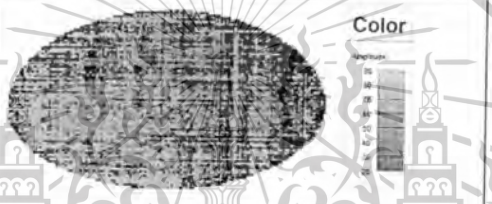
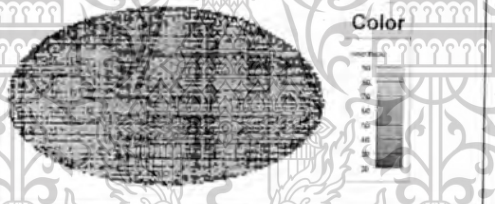
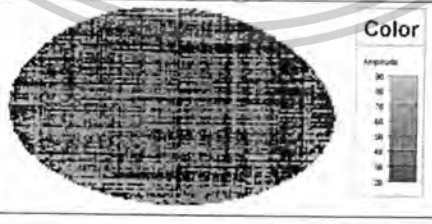
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
4	28		53.06
	29		66.92
	30		56.02
	31		56.93
	33		55.82
	34		55.63
	35		64.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
4	36		58.17
	37		66.47
	38		54.81
	39		41.35
	41		65.51
	43		57.34
	44		60.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

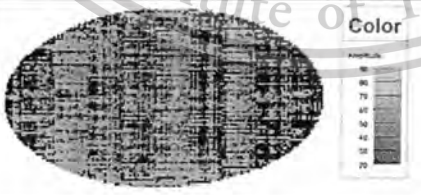
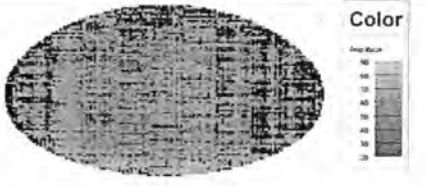
วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
4	45		52.6
	52		68.26
	53		54.33
	54		53.13
	55		61.18
	56		65.18
	57		58.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

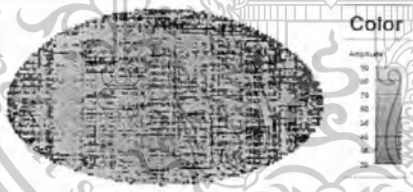
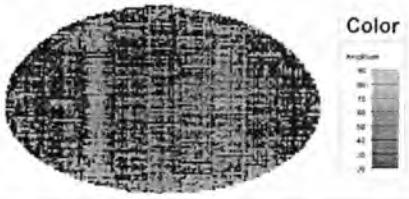
วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
4	58		69.64
	59		62.69
	60		49.41

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

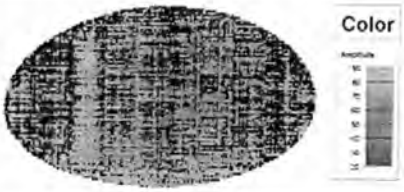
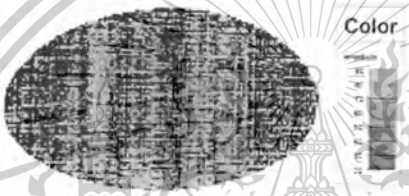
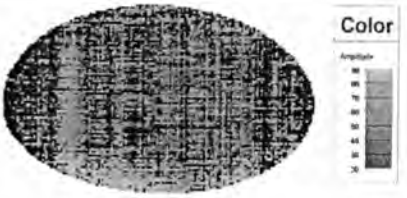
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
7	1		36.11
	2		48.09
	3		42
	4		47.15
	5		53.13
	7		38.28
	9		32.05

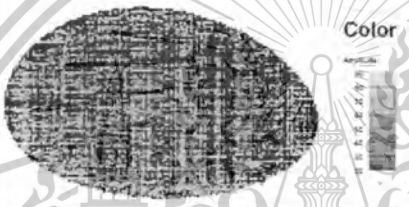
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
7	10		46.71
	11		22.2
	12		50.22
	13		27.42
	14		53.76
	15		57.54
	16		37.37

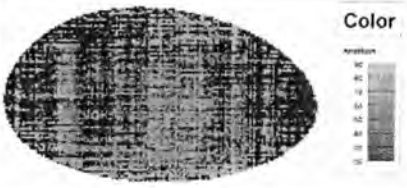
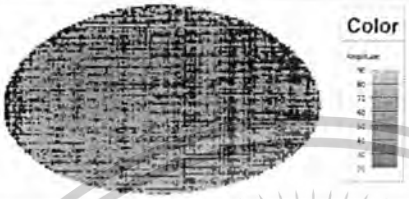
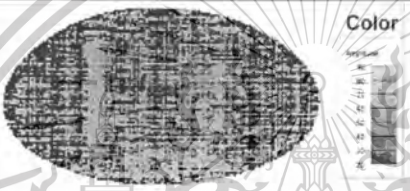
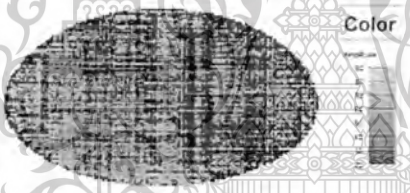
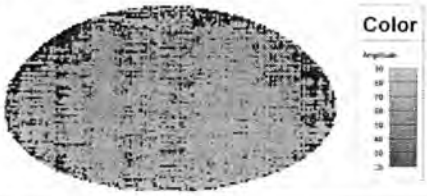
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
7	17		39.58
	18		54.97
	19		30.55
	20		52.48
	21		43.4
	22		42.24
	23		55.36

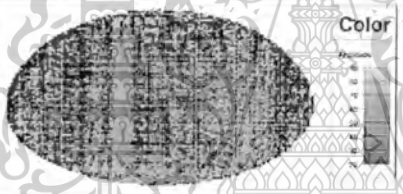
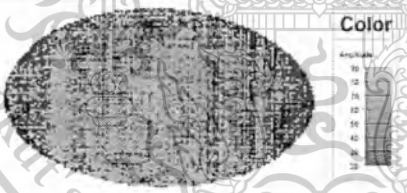
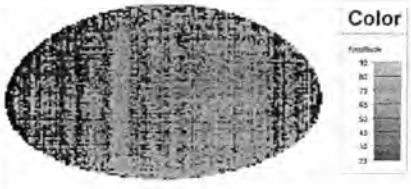
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
7	25		52.66
	26		48.97
	27		49.5
	28		39.81
	29		56.48
	30		39.06
	31		54.18

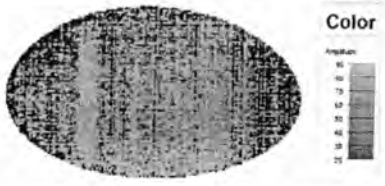
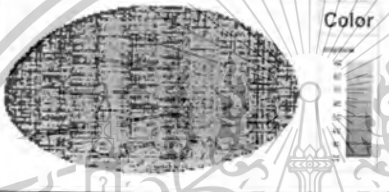
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
7	32		45.87
	33		37.28
	34		60.68
	35		44.38
	36		42.18
	37		50.78
	38		35.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

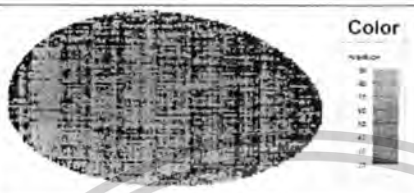
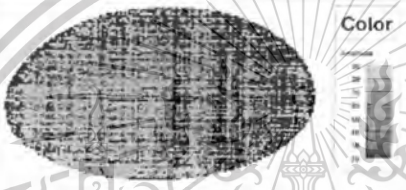
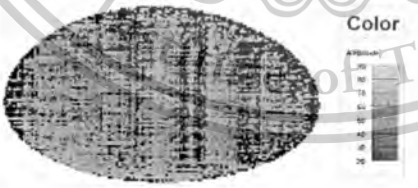
วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
7	40		51.31
	43		44.11
	44		35.37
	45		46.67
	46		41.54
	47		52.18
	48		28.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

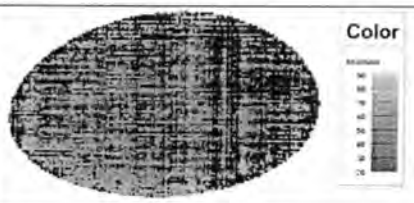
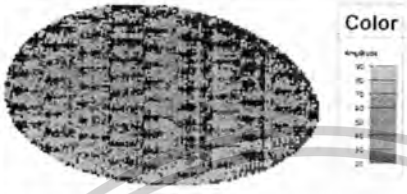
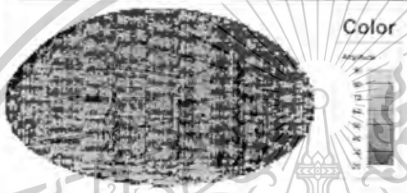
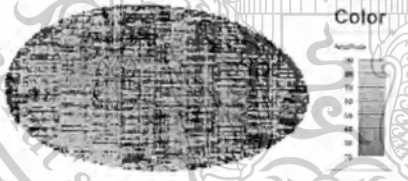
วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
7	50		47.62
	53		46.59
	55		37.68
	58		42.3
	60		39.84

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

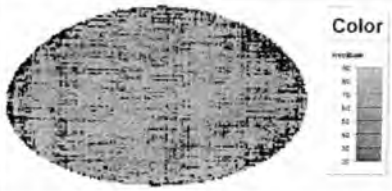
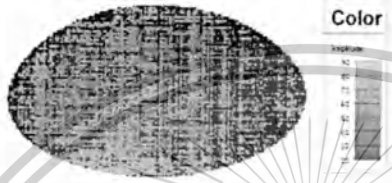
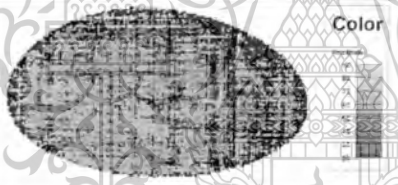
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
10	1		28.88
	2		42.41
	3		55.37
	4		49.01
	5		34.09
	7		53.37
	9		44.49

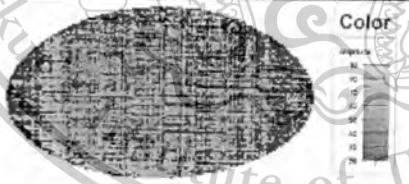
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
10	10		54.69
	11		46.69
	12		49.15
	13		42.66
	14		31.22
	15		38.06
	16		39.05

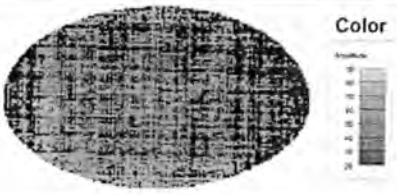
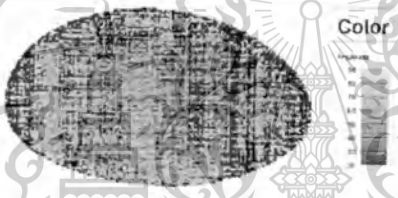
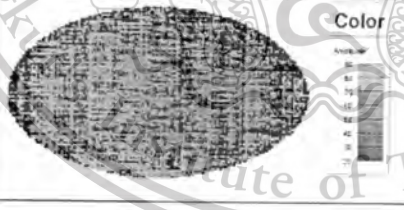
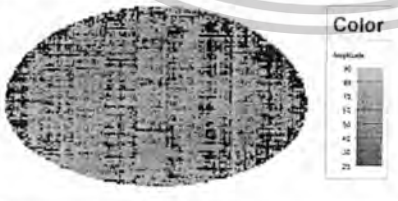
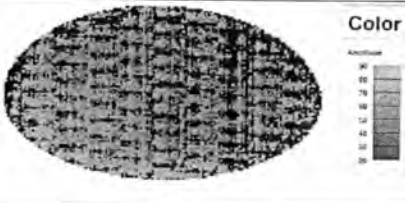
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
10	17		41.68
	18		46.37
	19		47.72
	20		33.46
	21		42.08
	22		49.13
	23		43.32

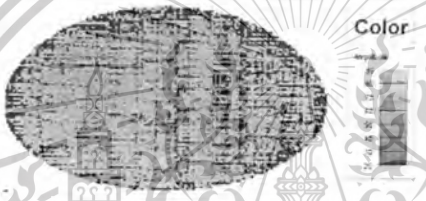
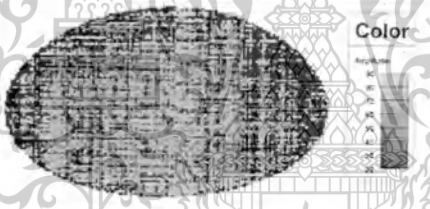
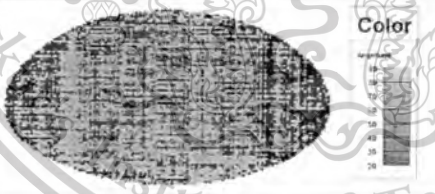
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
10	25		39.96
	26		37.86
	27		41.59
	28		39.81
	29		44.96
	30		36.91
	31		56.46

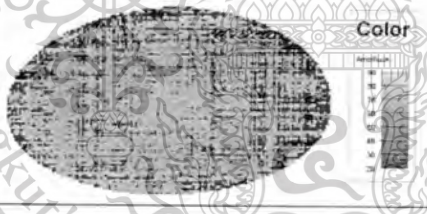
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
10	32		42.73
	33		56.29
	34		41.83
	35		52.79
	36		55.69
	37		45.88
	38		50.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

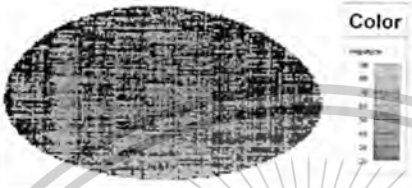
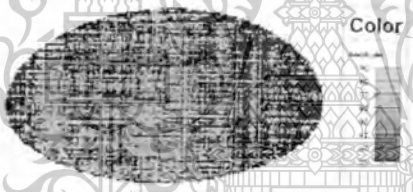
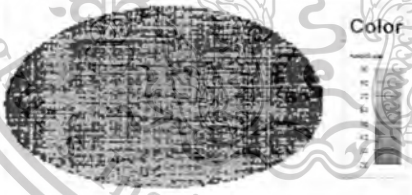
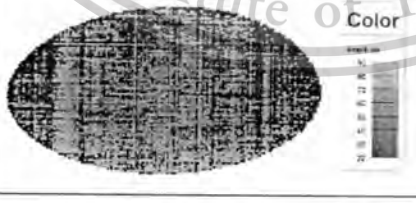
วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
10	43		46.49
	44		58.38
	45		50.02
	46		57.86
	47		49.17
	48		58.94
	50		50.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

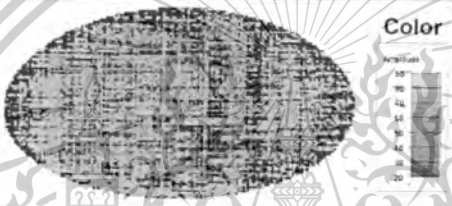
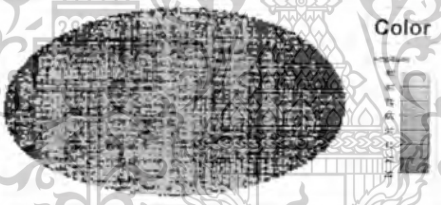
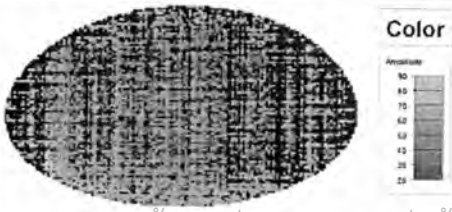
วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
10	53		69.77
	55		64.12
	58		44.14
	60		50.65

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

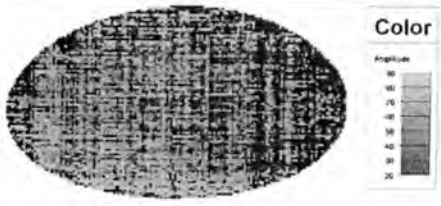
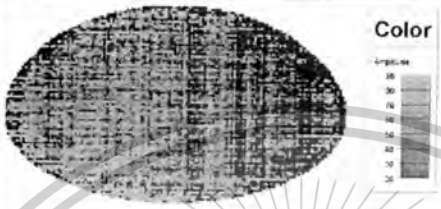
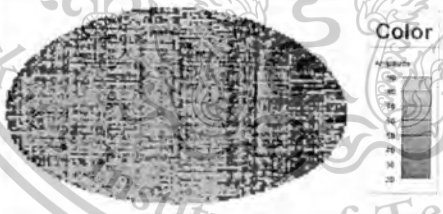
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
14	1		45.81
	2		62.33
	4		54.68
	5		44.20
	6		23.43
	8		38.17
	9		44.52

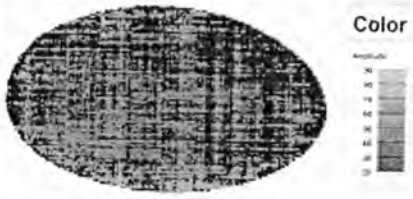
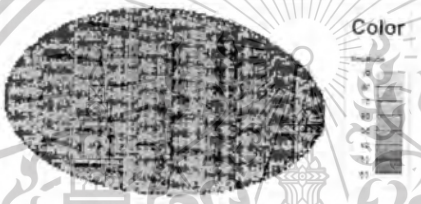
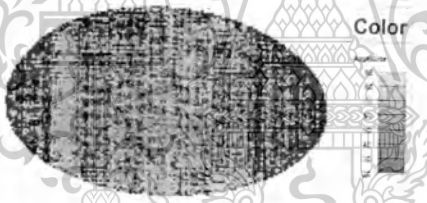
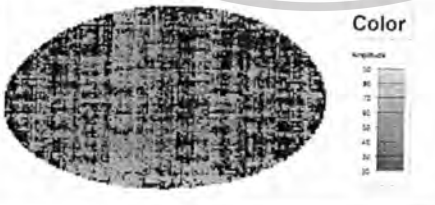
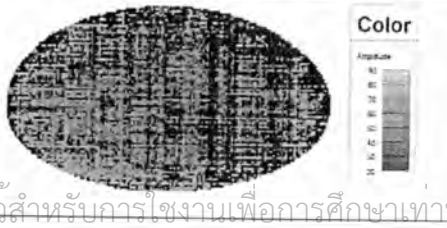
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
14	10		38.08
	11		33.43
	12		46.84
	14		40.06
	16		29.07
	17		41.75
	18		38.6

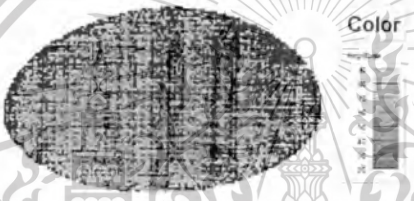
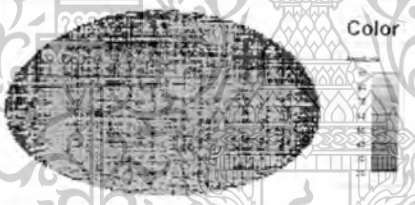
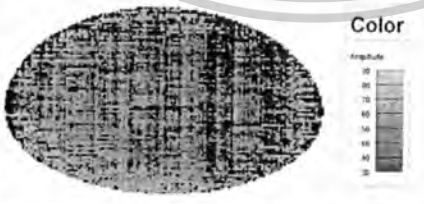
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
14	19		47.52
	20		45.09
	21		39.78
	22		36.07
	23		37.8
	25		42.66
	27		50.45

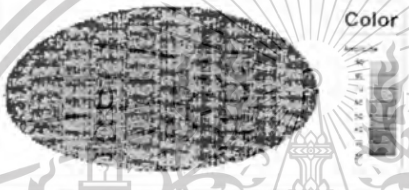
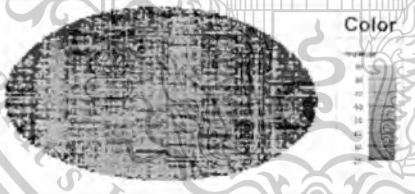
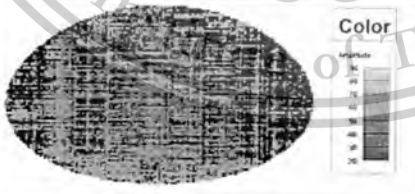
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
14	28		35.96
	29		40.2
	30		43.05
	31		27.48
	32		39.78
	33		23.24
	34		32.82

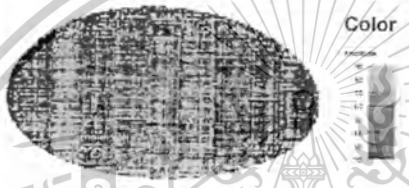
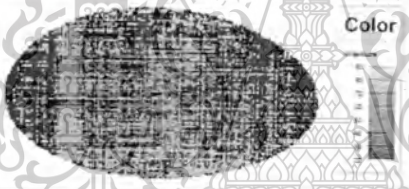
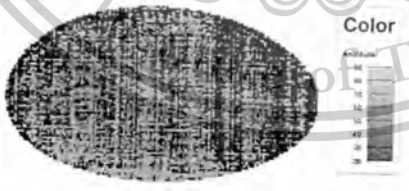
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
14	35		36.3
	36		37.61
	37		44.14
	38		39.43
	39		41.9
	40		34.07
	41		48.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
14	42		32.32
	43		27.8
	46		39.1
	48		43.85
	49		46.61
	50		42.16
	51		43.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

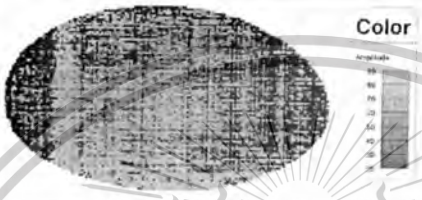
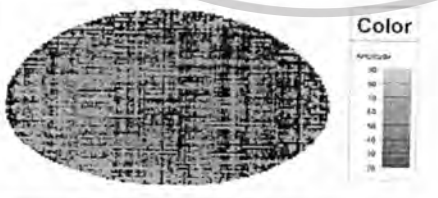
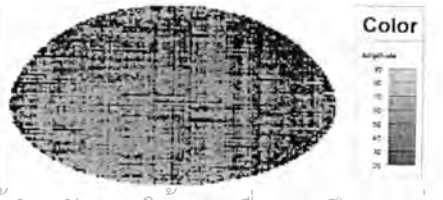
วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
14	52		35.87
	53		45.51
	54		40.27
	55		32.48
	56		42.12
	57		49.85
	58		44.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

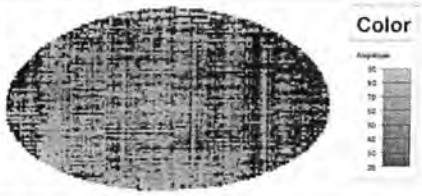
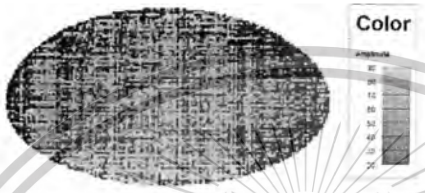
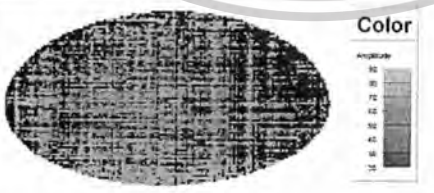
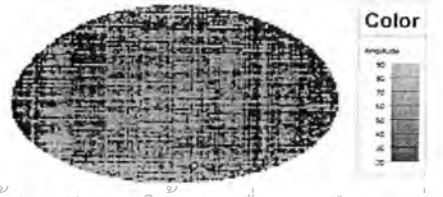
วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
14	59		46.77
	60		37.83

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

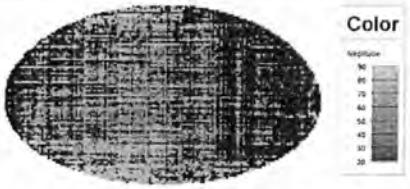
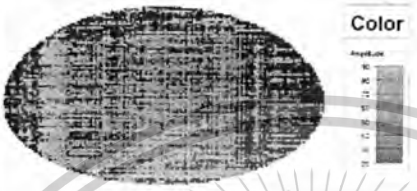
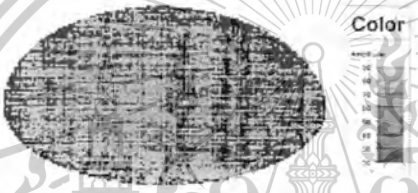
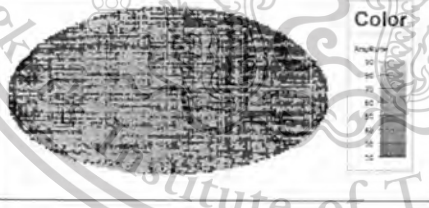
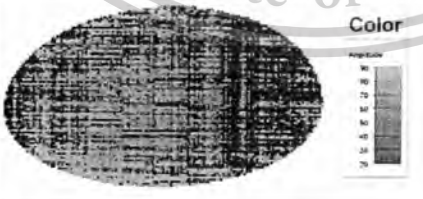
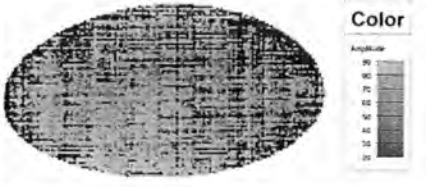
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
18	1		35.8
	2		44.35
	3		46.19
	4		19.16
	5		47.33
	7		27.3
	8		41.49

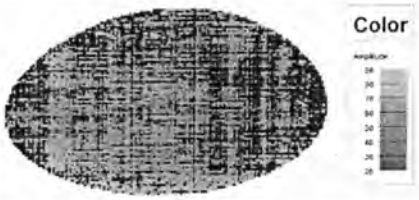
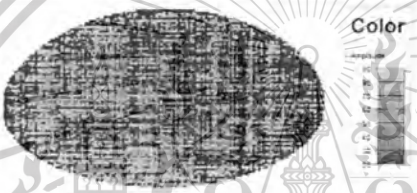
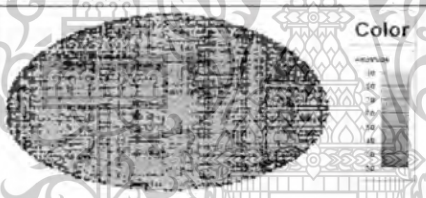
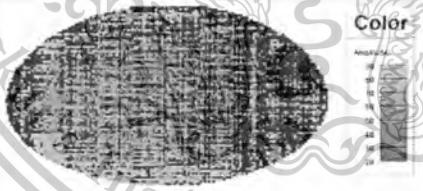
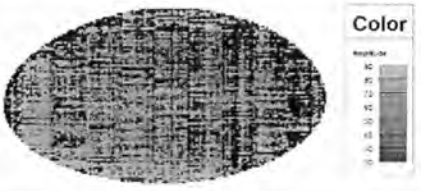
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
18	9		45.19
	10		37.87
	11		34.61
	12		44.79
	13		51.6
	14		55.21
	15		42.38

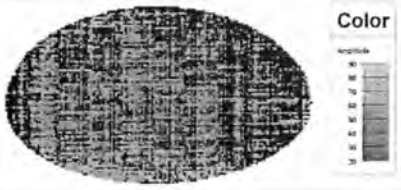
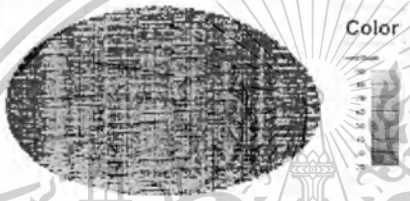
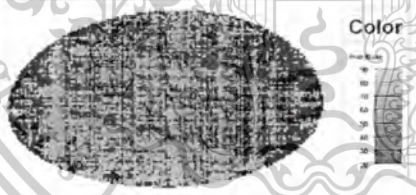
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
18	16		43.79
	17		50.49
	18		37.93
	19		42
	20		40.4
	21		45.85
	22		51.86

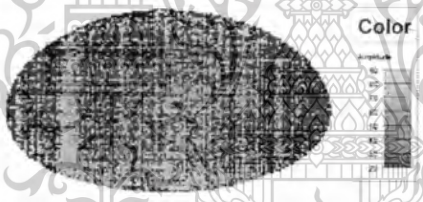
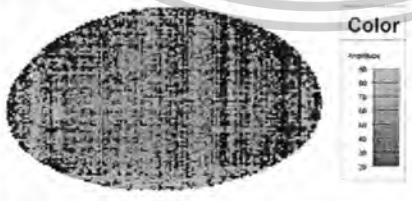
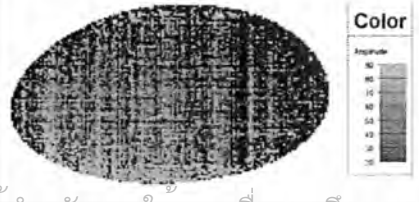
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
18	23		48.3
	24		44.25
	25		47.27
	26		47.7
	27		47.54
	28		46.16
	29		35.39

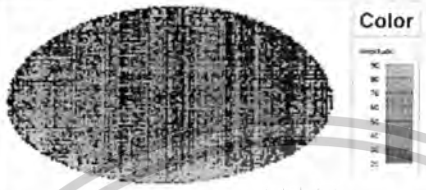
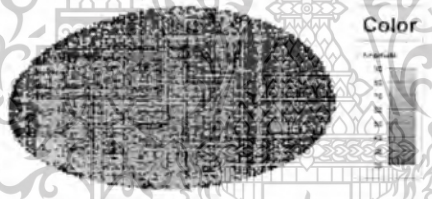
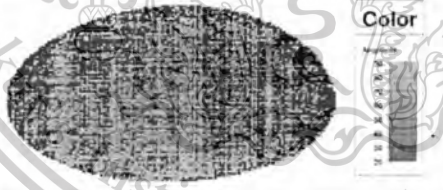
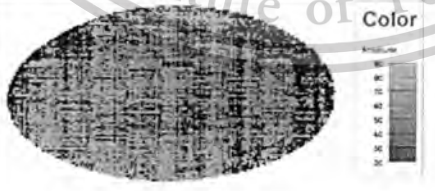
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
18	30		49.71
	31		43.95
	32		43.76
	33		37.05
	34		42.38
	35		45.65
	36		25.25

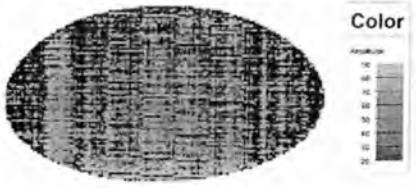
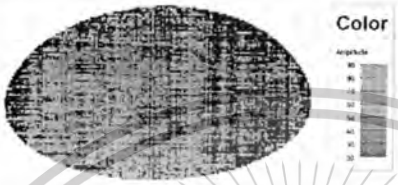
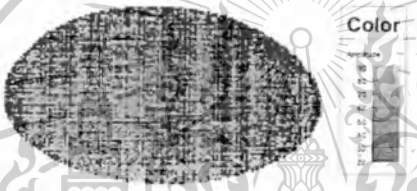
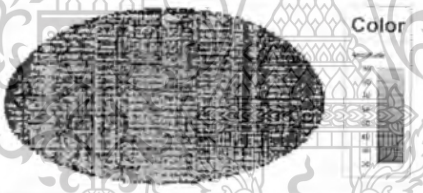
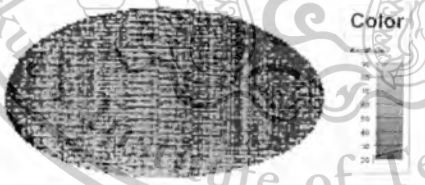
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
18	37		43.21
	38		40.48
	40		40.33
	41		41.36
	42		29.35
	43		44.58
	44		34.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

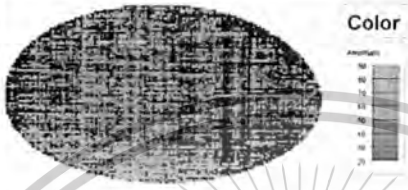
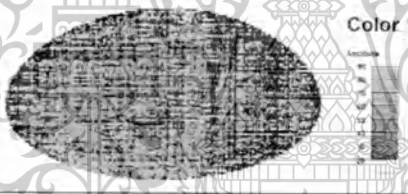
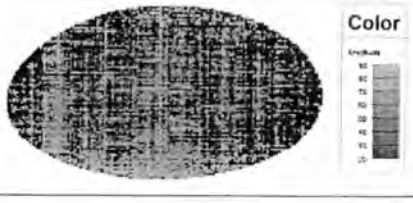
วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
18	45		41.07
	46		33.8
	47		28.85
	49		42.16
	51		40.63
	52		47.82
	53		39.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

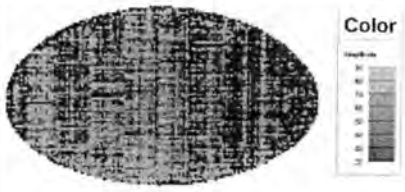
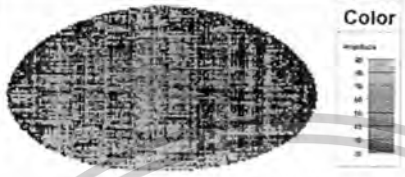
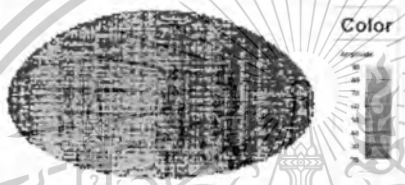
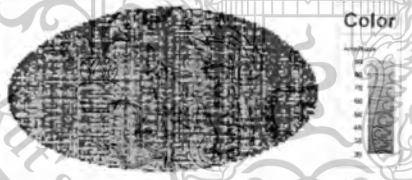
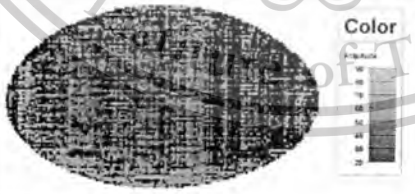
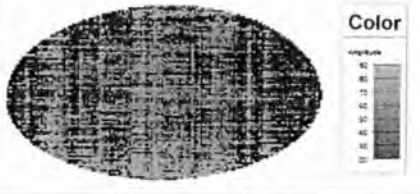
วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
18	54		40.56
	55		43.55
	56		35.17
	57		48.33
	59		39.57

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

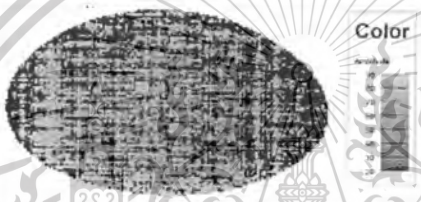
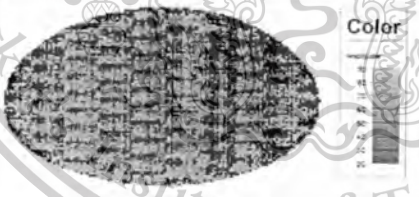
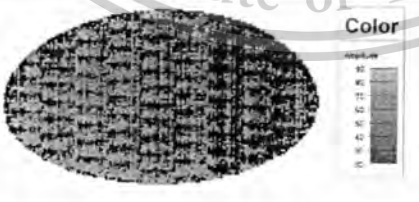
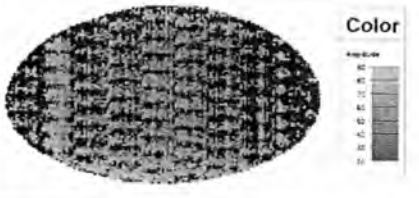
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
21	1		45.64
	2		43.88
	3		41.09
	4		39.85
	5		44.65
	6		33.79
	7		40.4

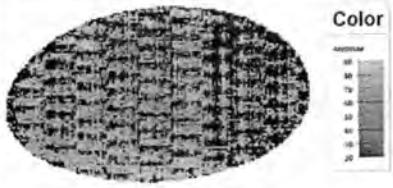
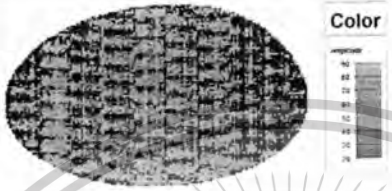
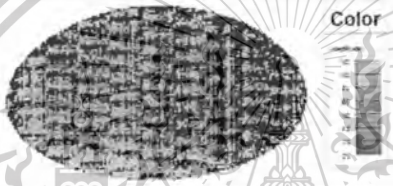
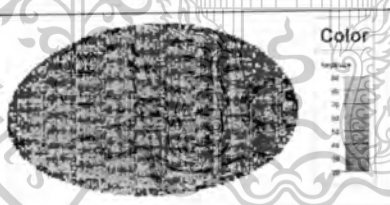
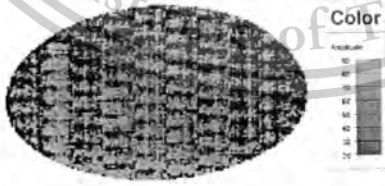
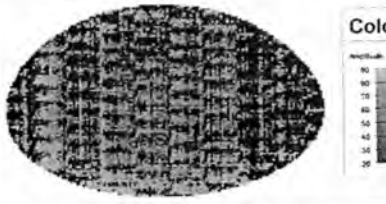
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
21	8		45.28
	9		38.51
	10		40.54
	11		44.63
	12		41.83
	13		40.42
	14		44.21

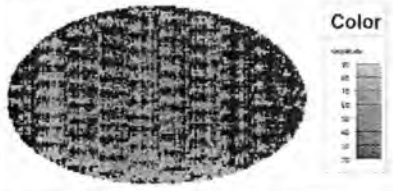
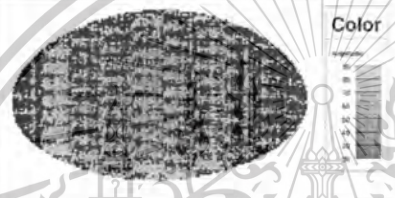
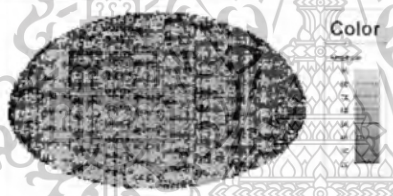
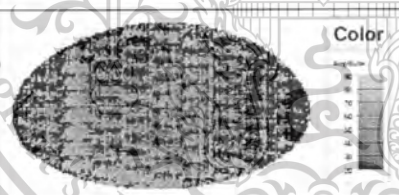
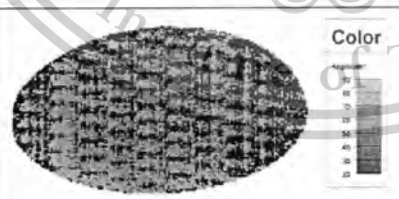
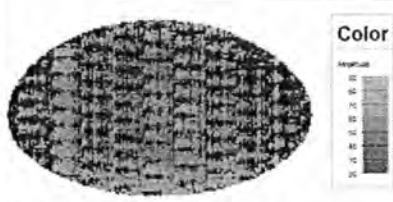
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
21	15		41.08
	16		42.91
	17		36.29
	18		43.76
	19		36.86
	20		38.94
	21		39.52

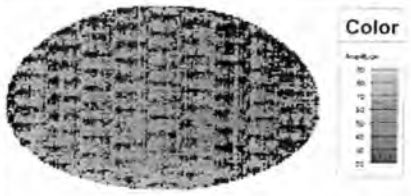
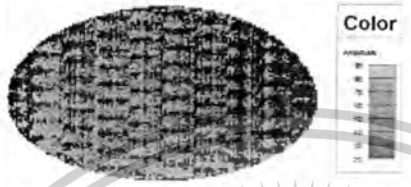
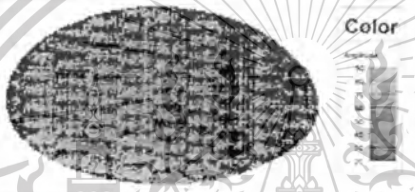
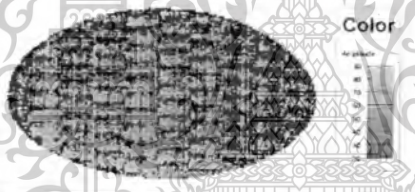
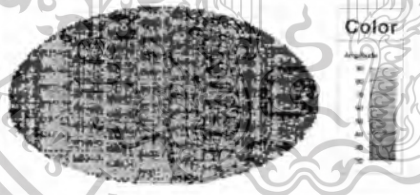
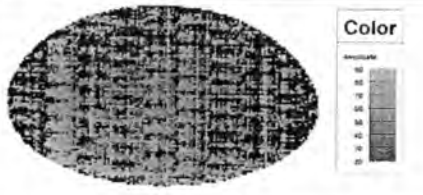
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
21	22		42.27
	23		41.79
	24		41.37
	25		44.42
	26		39.86
	27		36.01
	28		43.3

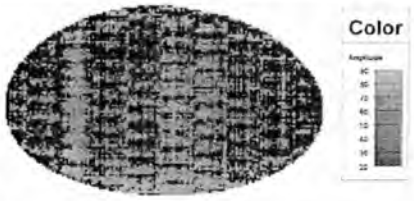
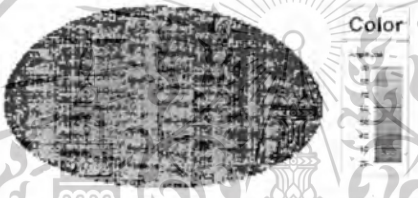
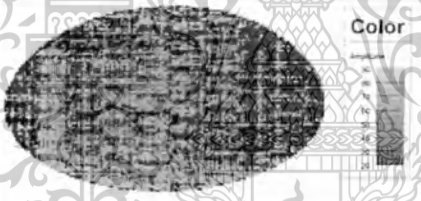
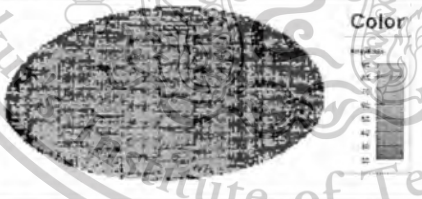
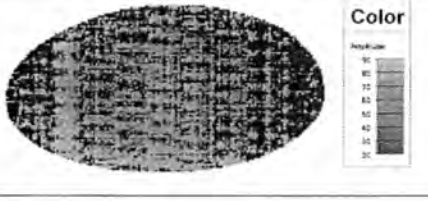
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
21	30		29.63
	31		38.69
	32		45.38
	33		33.58
	34		40.64
	35		32.38
	36		35.04

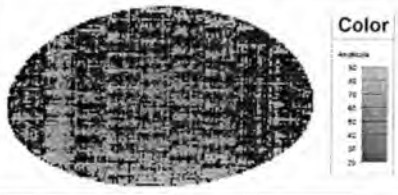
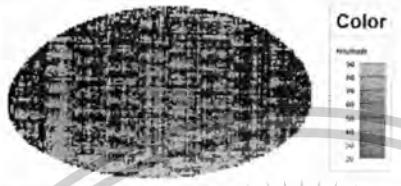
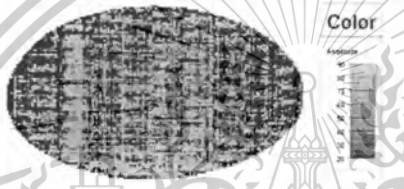
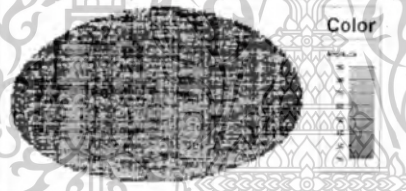
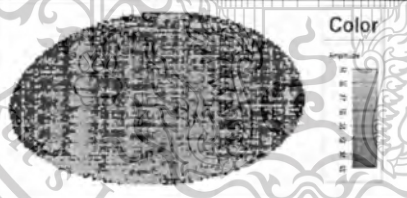
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
21	37		34.25
	38		37.95
	39		31.82
	40		36.36
	41		41.18
	42		39.7
	43		39.85

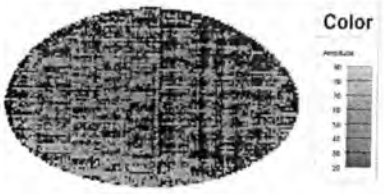
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
21	44		39.87
	45		34.92
	46		41.83
	47		34.37
	48		40.96
	49		39.02
	50		46.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
21	51		34.96
	52		32.64
	53		36.08
	54		35.34
	55		29.81
	56		43.46
	57		40.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วันที่	ตัวอย่างที่	ภาพการทำนาย	ค่า Haugh unit
21	58		38.55
	60		28.93

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

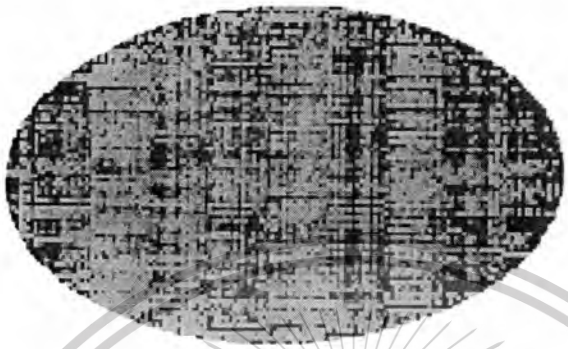
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

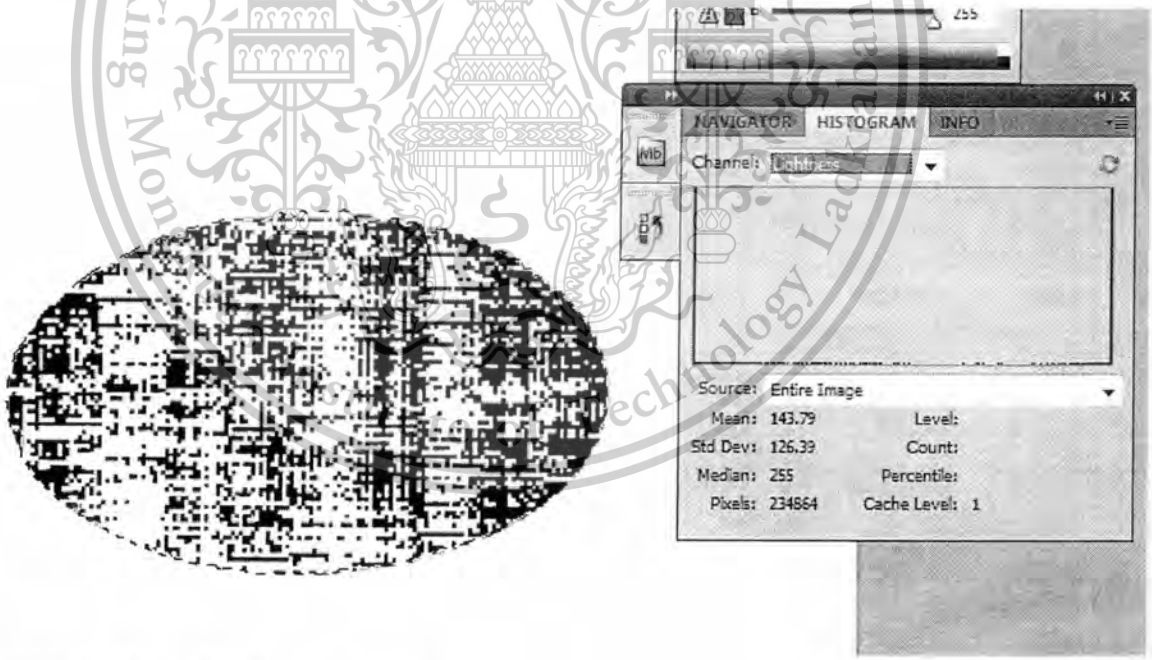
วิธีการหาเปอร์เซ็นต์ภาพระหว่างเฉดสีเขียวและเฉดสีน้ำเงิน โดยใช้โปรแกรม Photoshop

1. เปิดโปรแกรม Photoshop แล้วเลือกภาพไข่ไก่ที่ได้จากการทำนายด้วยโปรแกรม Evince



ภาพ ข.1 แสดงภาพไข่ไก่ที่ได้จากการทำนายด้วยโปรแกรม Evince

2. เปลี่ยนสีภาพจากเฉดสีเขียวและสีน้ำเงิน ให้กลายเป็นภาพขาวดำ ด้วยคลิกที่เมนู threshold



ภาพ ข.2 ตัวอย่างไข่ไก่ที่ถูกเปลี่ยนเป็นภาพสีขาวดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

<u>กาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ภาพระหว่างเฉดสีเขียวและเฉดสีน้ำเงิน</u>

จะคำนวณจากภาพขาวดำที่เปลี่ยนมาจากภาพเฉดสีเขียวและเฉดสีน้ำเงิน โดยเฉดสีเขียวจะเปลี่ยนไปเป็นสีขาว และสีน้ำเงินจะเปลี่ยนไปเป็นสีดำ

วิธีคำนวณ

นำค่า mean ที่ได้จากโปรแกรม Photoshop ซึ่งภาพจาก ข.2 มีค่า mean เท่ากับ 143.79 นำมาหารกับค่า median นั่นก็คือ 255

เปอร์เซ็นต์ภาพระหว่างเฉดสีเขียวและสีน้ำเงิน = 143.79/255*100 = 56.39%

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.