

แบบจำลองทำนายค่าความร้อนสูงสำหรับพืชพลังงาน

โดยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

Prediction Model of High Heating Value for Energy Plants

Using Near Infrared Spectroscopy



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองทำนายค่าความร้อนสูงสำหรับพืชพลังงาน

โดยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

Prediction Model of High Heating Value for Energy Plants

Using Near Infrared Spectroscopy



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PREDICTION MODEL OF HIGH HEATING VALUE FOR ENERGY PLANTS  
USING NEAR INFRARED SPECTROSCOPY



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**หัวข้อปริญญานิพนธ์** แบบจำลองทำนายค่าความร้อนสูงสำหรับพืชพลังงาน  
โดยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

**นักศึกษาผู้จัดทำ** นายกิตติคุณ เปี่ยมเพ็ชร รหัส 59010125  
นางสาวจารุวรรณ สุขประเสริฐ รหัส 59010190  
นางสาวอัญมณี ราชแสง รหัส 59011544

**อาจารย์ที่ปรึกษา** ผศ.ดร. วันพุทธ แซ่ฉั่ว

**ปีการศึกษา** 2562

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาการสร้างแบบจำลองโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในการทำนายค่าความร้อนสูงของพืชพลังงานเพื่อช่วยลดระยะเวลาในการวิเคราะห์ค่าความร้อนสูง ซึ่งปกติจะใช้ระยะเวลาค่อนข้างนาน ในการทดลองใช้พืชพลังงานจำนวน 10 ชนิด ชนิดละ 10 ตัวอย่าง รวม 100 ตัวอย่าง โดยนำมาสแกนด้วยเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีและหาค่าความร้อนสูงด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ จากนั้นสร้างแบบจำลองทำนายค่าความร้อนสูงโดยวิธีมาตรฐานทำการทดสอบสมการด้วยวิธี Full cross validation และ Test set validation ได้ค่าสัมประสิทธิ์การพิจารณา ( $R^2$ ) เท่ากับ 81.75 และ 89.05 ตามลำดับ ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนาย (RMSEP) เท่ากับ 266 J/g และ 231 J/g ตามลำดับ อัตราส่วนระหว่างค่าความผิดพลาดมาตรฐานการทำนายกับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (RPD) เท่ากับ 2.34 และ 3.05 ตามลำดับ ค่าความผิดพลาด (Bias) เท่ากับ 1.15 J/g และ 31.9 J/g ซึ่งค่าความเบี่ยงเบนทั้งหมดที่เกิดจากแบบจำลองอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำและหากมีการยอมรับในค่านี้ โมเดลสามารถนำไปใช้ในการทำนายค่าความร้อนแทนวิธีการเดิมเพื่อลดระยะเวลาจากเวลาประมาณ 60 นาทีต่อตัวอย่างเหลือเพียงประมาณ 2 นาที ศักยภาพด้านพลังงานในการเผาไหม้พิจารณาโดยค่าความร้อนสูงที่ได้จากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ ค่าความร้อนสูงเฉลี่ยของพืชพลังงานทั้ง 10 ชนิดอยู่ในช่วง  $17415 \pm 851$  J/g ถึง  $19627 \pm 316$  J/g พบว่ามีศักยภาพจากความร้อนเพียงพอเพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือก นอกจากนี้การพิจารณาศักยภาพด้านพลังงานที่ได้จากการสลายตัวทางความร้อน (Pyrolysis) ด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกซ์โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงประมาณ พบว่าพืชพลังงานทั้ง 10 ชนิด มีปริมาณความชื้นเฉลี่ย  $6.95 \pm 2.81\%$  ปริมาณคาร์บอนคงตัวเฉลี่ย  $10.02 \pm 9.07\%$  ปริมาณไฮโดรเจนเฉลี่ย  $75.32 \pm 11.14\%$  และปริมาณเถ้าเฉลี่ย  $3.69 \pm 3.43\%$  ปริมาณไฮโดรเจนที่สูงทำให้พืชพลังงานเหล่านี้มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการไพโรไลซิสต่อไปในอนาคตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis Title</b>	Prediction Model of High Heating Value for Energy Plants Using Near Infrared Spectroscopy		
<b>Authors</b>	Kittipon	Piamphet	59010125
	Jaruwan	Sukprasert	59010190
	Anyamanee	Ratchasang	59011544
<b>Thesis Advisor</b>	Asst.Prof. Wanphut Saechua		
<b>Year</b>	2019		

### Abstract

This project aimed to study and generate the model using near infrared spectroscopy for predicting high heating value of energy plants in order to reduce analyzing time for evaluating high heating value which normally takes rather a long time. The experiments were carried out with 10 types of energy plants which were taken 10 samples for each type in a total of 100 samples. The samples were firstly scanned by near infrared spectrometer, and then the high heating value was measured by a bomb calorimeter. Later on the model to predict the high heating value was generated with standard methods as testing of the equation using full cross validation and test set validation. The results of the models from these two different tests showed as the following; coefficients of determination ( $R^2$ ) were 81.75 and 89.05, root mean square error of prediction (RMSEP) were 266 J/g and 231 J/g, ratio of prediction to deviation (RPD) were 2.34 and 3.05, bias were 1.15 J/g and 31.9 J/g respectively. Due to the deviation very small if it can be accepted in practice, the models can be implemented instead of the conventional method. As a result, the carried out time of measurement can be reduced from 60 minutes to 2 minutes for each sample. In combustion analysis with bomb calorimeter, the results for high heating value of those samples were ranged between  $17416 \pm 851$  and  $19627 \pm 316$  J/g. These showed high potential heating value enough to use as alternative fuels. The evaluation of proximate analysis for pyrolysis process implementing with thermogravimetric showed that average of the moisture content of energy plants was  $6.95 \pm 2.81\%$ , fixed carbon was  $10.02 \pm 9.07\%$ , volatile matter was  $75.32 \pm 11.14\%$ , and ash content was  $3.69 \pm 3.43\%$ . As the values were shown, the volatile matter had rather high value which means those energy plants have a good potential to use with pyrolysis process in the future.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้รู้เห็นได้เห็นไปใช้โดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผศ.ดร. วันพุทธ แซ่ฉั่ว ที่กรุณาให้คำปรึกษาปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง ตลอดจนให้ความรู้ เอาใจใส่ ให้คำแนะนำช่วยเหลือ ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และเพื่อน ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ช่วยเหลือในการทำการทดลอง และให้กำลังใจเสมอมา

นายกิตติภณ เปี่ยมเพ็ชร รหัส 59010125

นางสาวจรรุวรรณ สุขประเสริฐ รหัส 59010190

นางสาวอัญมณี ราชแสง รหัส 59011544



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

บทคัดย่อ .....	ก
Abstract .....	ข
กิตติกรรมประกาศ .....	ค
สารบัญ .....	ง
สารบัญรูปภาพ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ฅ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ .....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา .....	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ .....	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน .....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ชีวมวล .....	4
2.2 การหาปริมาณความชื้น (Moisture Content).....	7
2.3 เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy).....	8
2.4 หลักการทำงานของเครื่อง Bomb Calorimeter.....	10
2.5 หลักการทำงานของเครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA) .....	11
2.6 การแยกสลายด้วยความร้อน.....	12
2.7 สมรรถนะการแยกสลายด้วยความร้อน .....	14
2.8 การเลือกวิธีการจัดการข้อมูลเบื้องต้น [15-17].....	15
2.9 การเลือกแพ็คเกจที่เหมาะสม.....	18
2.10 วิธีการทดสอบสมการ (Validation Test).....	22
2.11 ค่าทางสถิติที่ใช้ในการพิจารณาการสร้างสมการ.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 การทำ Repeatability และ Reproducibility [20].....	26
2.13 การทดสอบ Blind Sample .....	26
2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	27
บทที่ 3 วิธีการทดลอง.....	29
3.1 กระบวนการทำการทดลอง .....	29
3.2 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดลอง .....	30
3.3 การดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer (MPA, Bruker, Germany).....	31
3.4 การวัดค่าความร้อนสูงด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter (C200, IKA, Germany).....	32
3.5 การวัดค่าความร้อนต่ำ .....	33
3.6 การทดสอบสมรรถภาพการแยกสลายด้วยความร้อนด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyzer.....	34
3.7 การวิเคราะห์ผลการทดลอง .....	35
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	37
4.1 ปริมาณความชื้น .....	37
4.2 ผลการทำ Repeatability และ Reproducibility ของเครื่อง Bomb Calorimeter.....	38
4.3 ผลการทำ Repeatability และ Reproducibility ของเครื่อง Near Infrared Spectrometer.....	39
4.4 ผลค่าความร้อนสูง .....	43
4.5 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสเปกตรัมของพีชพลังงานโดยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ....	44
4.6 ผลการทำนายค่าความร้อนของลำต้นกระถินเทพาด้วยวิธี Partial Least Squares Regression .....	45
4.7 ผลการสร้างสมการทำนายค่าความร้อนสูง .....	46
4.8 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงประมาณ.....	50
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง .....	52
5.3 สรุปผลการวิเคราะห์ลักษณะสเปกตรัมของพีชพลังงานทั้ง 10 ชนิด โดยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.....	52
5.4 สรุปผลการทำนายค่าความร้อนของพีชพลังงานทั้ง 10 ชนิด ด้วยวิธี Partial Least Squares Regression .....	53

ภาคผนวก.....	55
ภาคผนวก ก.....	56
ภาคผนวก ข.....	61
ภาคผนวก ค.....	111
ภาคผนวก ง.....	116
ภาคผนวก จ.....	119
ภาคผนวก ฉ.....	129
ภาคผนวก ช.....	148
ภาคผนวก ซ.....	167
บรรณานุกรม.....	180



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1 การกระทำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับสารต่าง ๆ .....	8
รูปที่ 2.2 เครื่อง Bomb Calorimeter รุ่น IKA C-200 (ก), โครงสร้างภายในของเครื่อง Bomb Calorimeter (ข) .....	10
รูปที่ 2.3 เครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA).....	11
รูปที่ 2.4 ช่วงการสลายองค์ประกอบทางเคมีในกระบวนการการสลายตัวด้วยความร้อน .....	12
รูปที่ 2.5 ช่วงการสลายองค์ประกอบทางเคมีในกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อน .....	13
รูปที่ 2.6 การพิจารณาความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาและความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา.....	14
รูปที่ 2.7 พล็อตระหว่างค่าดูดกลืนแสงของสเปกตรัมของตัวอย่าง (ก) พล็อตระหว่างค่าดูดกลืนแสงของสเปกตรัมเฉลี่ย กับ $\log(1/R)$ (ข) .....	16
รูปที่ 2.8 สเปกตรัม (เส้นทึบ) และอนุพันธ์อันดับสอง (second Derivative).....	17
รูปที่ 2.9 ข้อมูลสเปกตรัมและความเข้มข้นในรูปแบบเมทริกซ์ .....	19
รูปที่ 3.1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดลอง พืชตัวอย่างที่ความยาวประมาณ 30 เซนติเมตร (ก), ตระแกรงร้อน Mesh no.4 (ข), พืชตัวอย่างขนาดน้อยกว่า 5 มิลลิเมตร (ค) .....	30
รูปที่ 3.2 การสแกนด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer พืชตัวอย่างในถ้วยควอทซ์ (ก) , การสแกนด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer (MPA, Bruker, Germany) (ข) .....	31
รูปที่ 3.3 การวัดค่าความร้อนด้วยเครื่อง Bomb calorimeter ชั่งน้ำหนักชีวมวล (ก) , อัดเม็ดพืชตัวอย่างด้วยเครื่อง (ข) , เครื่อง Bomb calorimeter (ค).....	32
รูปที่ 3.4 การทดสอบสมรรถภาพการแยกสลายด้วยความร้อนด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyzer การใส่ตัวอย่างลงถ้วย Crucible (ก) , การนำถ้วย Crucible วางลงบนแท่นที่เชื่อมกับเครื่องชั่งน้ำหนักละเอียดภายในเครื่อง Thermogravimetric Analyzer (ข).....	34
รูปที่ 4.1 Repeatability ของเครื่อง NIRs โดยวัดจากการสแกนกะลามะพร้าวและกะลาตาล .....	39
รูปที่ 4.2 Repeatability ของเครื่อง NIRs โดยวัดจากการสแกนเนื้อไม้ยูคาลิปตัส สนประดิพัทธ์ ยางพารา หลิว ยางนา ก้านฝ้าย ชี้อ้อยไม้สัก และเปลือกไม้ยูคาลิปตัส .....	40
รูปที่ 4.3 Reproducibility ของเครื่อง NIRs โดยวัดจากการสแกนกะลามะพร้าวและกะลาตาล ...	41
รูปที่ 4.4 Reproducibility ของเครื่อง NIRs โดยวัดจากการสแกนเนื้อไม้ยูคาลิปตัส สนประดิพัทธ์ ยางพารา หลิว ยางนา ก้านฝ้าย ชี้อ้อยไม้สัก และเปลือกไม้ยูคาลิปตัส .....	42
รูปที่ 4.5 สเปกตรัมการดูดซับคลื่นของพืชพลังงานทั้ง 10 ชนิด 100 ตัวอย่าง.....	44
รูปที่ 4.6 Scatter plot ของข้อมูลอ้างอิง (X) และข้อมูลทำนาย (Y) สำหรับค่าความร้อนสูงของพืชพลังงานที่ทำการทดสอบด้วยวิธี Full cross validation.....	46

รูปที่ 4.7 Scatter plot ของข้อมูลอ้างอิง (X) และข้อมูลทำนาย (Y) สำหรับค่าความร้อนสูงของพีช  
พลังงานที่ทำการทดสอบด้วยวิธี Test set validation .....47

รูปที่ 4.8 Regression coefficient plot ของสมการค่าความร้อนสูงของพีชพลังงานด้วยวิธี Full  
cross validation .....48

รูปที่ 4.9 Regression coefficient plot ของสมการค่าความร้อนสูงของพีชพลังงานด้วยวิธี Test  
set validation .....49

รูปที่ 4.10 ตัวอย่างกราฟแสดงองค์ประกอบเชิงประมาณของหลิว.....50

รูปที่ 4.11 ตัวอย่างกราฟ First derivative ของหลิว.....51



## สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1	ขั้นตอนการดำเนินงาน .....	3
ตารางที่ 2.1	องค์ประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ....	5
ตารางที่ 2.2	การแปลความหมายของค่า R และ R <sup>2</sup> (ดัดแปลงจาก Williams. 2007) .....	23
ตารางที่ 2.3	การอธิบายผลของค่า RPD และ RER (Williams. 2007) .....	25
ตารางที่ 4.1	ปริมาณความชื้นของพืชพลังงาน .....	37
ตารางที่ 4.2	แสดงค่า Repeatability และ Reproducibility ของเครื่อง Bomb calorimeter ...	38
ตารางที่ 4.3	แสดงค่าความร้อนสูงของพืชพลังงานโดยเครื่อง Bomb calorimeter .....	43
ตารางที่ 4.4	สมการทำนายค่าความร้อนสูงที่สร้างโดยวิธี Partial Least Squares Regression (PLS) ของพืชพลังงาน .....	45
ตารางที่ 4.5	องค์ประกอบเชิงปริมาณของพืชพลังงาน โดยเครื่อง Thermogravimetric analyzer .....	50
ตารางที่ 4.6	อัตราการสลายตัวด้วยความร้อนของพืชพลังงาน โดยเครื่อง Thermogravimetric analyzer .....	51

# บทที่ 1 บทนำ

## 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันโลกมีการพัฒนาไปอย่างต่อเนื่องในทุก ๆ ด้าน ไม่ว่าจะเป็นการพัฒนาทางด้านเกษตรกรรม อุตสาหกรรม เศรษฐกิจ สังคม และด้านอื่น ๆ เมื่อความเจริญและการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเหล่านี้มีความรวดเร็วมากเท่าใดการใช้พลังงานในด้านต่าง ๆ ก็เพิ่มมากขึ้นไปด้วย ซึ่งย่อมมีผลกระทบต่อมาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ รวมถึงการไถ่หมดไปของเชื้อเพลิงฟอสซิลจำพวกก๊าซธรรมชาติ น้ำมันปิโตรเลียม และถ่านหิน โดยเรื่องของพลังงานชีวภาพก็นับว่าเป็นสิ่งสำคัญที่มนุษย์สามารถคิดค้นเพื่อเป็นประโยชน์ที่จะทดแทนให้กับโลกของเราได้ แม้ยังคงต้องพัฒนาอย่างต่อเนื่องแต่ก็เป็นเรื่องดีไม่น้อยที่เราจะสามารถใช้ประโยชน์จากสิ่งเหล่านี้ การคิดค้นพลังงานทางเลือกจึงเป็นรูปแบบหนึ่งของการพัฒนาเพื่อทดแทน ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยได้ให้ความสำคัญกับชีวมวลเป็นอย่างมาก เนื่องจากชีวมวลเป็นส่วนหนึ่งของพลังงานทางเลือกที่สามารถจัดการกับวัสดุเหลือใช้และเหลือทิ้งจากการเก็บเกี่ยวหรือจากการแปรรูปผลผลิตได้ และเพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมสำหรับการรับมือกับวิกฤตพลังงานที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจากการใช้พลังงานอย่างต่อเนื่อง ซึ่งพลังงานเหล่านั้นอาจหมดไปในอนาคต การศึกษา ทดลอง รวมไปถึงการเก็บรวบรวมข้อมูลที่มีความเกี่ยวข้องกับชีวมวลจึงมีความสำคัญทั้งในปัจจุบันและเพื่อการใช้งานในอนาคต

ชีวมวล (Biomass) กล่าวคือ วัสดุหรือสารอินทรีย์ที่สามารถเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานได้ ชีวมวลนับรวมถึงวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เศษไม้ ปลายไม้จากอุตสาหกรรมไม้ มูลสัตว์ ของเสียจากโรงงานแปรรูปทางการเกษตร และของเสียจากชุมชน ซึ่งในการหาค่าความร้อนสูง (High Heating Value) ของพืชแต่ละชนิดต้องใช้เวลาในการทำงานภายในห้องปฏิบัติการประมาณ 1 ชั่วโมงต่อ 1 ตัวอย่าง งานวิจัยฉบับนี้จึงมีแนวคิดในการนำเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมาทำการสร้างแบบจำลองเพื่อการทำนายค่าความร้อนสูง โดยใช้พืชในการทดลองจำนวน 10 ชนิด ได้แก่ ชี้อ้อยไม่ สัก สนประดิพัทธ์ ก้านฝ้าย เปลือกไม้อูคาลิปตัส เนื้อไม้อูคาลิปตัส กะลาตาล กะลามะพร้าว ไม้ยางพารา ไม้ยางนา และไม้หลิว โดยพืชทดลองเหล่านี้เป็นพืชพลังงานที่สำคัญในประเทศไทยรวมถึงการศึกษาเพิ่มเติมในการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงปริมาณ (Proximate Analysis) เพื่อดูถึงคุณสมบัติของชีวมวล นอกจากนี้ในโครงการวิจัยปี พ.ศ. 2561 ได้มีการศึกษาการสร้างแบบจำลองทำนายค่าความร้อนสูงจากกระถินเทพาด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเช่นเดียวกัน ดังนั้นข้อมูลโครงการวิจัยที่ผ่านการเก็บข้อมูลและศึกษา รวมกับข้อมูลที่ทำการศึกษาเพิ่มเติมในครั้งนี้จะช่วยให้แบบจำลองที่สร้างด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้นโดยการปรับปรุงค่า RPD และสามารถเป็นแบบจำลองในการวิเคราะห์ค่าความร้อนสูงในช่วงที่กว้างขวางมากยิ่งขึ้นให้กับพืชที่ไม่ทราบค่าความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาและพัฒนาการสร้างแบบจำลองทำนายค่าความร้อนสูงสำหรับพืชพลังงาน โดยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1.3.1 ศึกษาการใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี เพื่อสร้างแบบจำลองทำนายค่าความร้อนสูงจากพืชพลังงานในประเทศไทย 10 ชนิด ได้แก่ ข้าเลื่อยไม้สัก สนประดิพัทธ์ ก้านฝ้าย เปลือกไม้ยูคาลิปตัส เนื้อไม้ยูคาลิปตัส กะลาตาล กะลามะพร้าว ไม้ยางพารา ไม้ยางนา และไม้ทิว โดยทำการทดลองชนิดละ 10 ตัวอย่าง รวม 100 ตัวอย่าง
- 1.3.2 หาค่าความร้อนสูง (High Heating Value) ของพืชตัวอย่างทั้ง 10 ชนิด โดยการใช้เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์
- 1.3.3 วิเคราะห์องค์ประกอบเชิงปริมาณ (Proximate Analysis) ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณไอรระเหย ปริมาณคาร์บอนคงตัว และปริมาณเถ้าของพืชตัวอย่างทั้ง 10 ชนิด โดยใช้เครื่อง Thermogravimetric analyzer

## 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้แบบจำลองทำนายค่าความร้อนสูงสำหรับพืชพลังงานโดยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี
- 1.4.2 ได้ค่าองค์ประกอบเชิงปริมาณ ( Proximate Analysis ) ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณไอรระเหย ปริมาณคาร์บอนคงตัว และปริมาณเถ้าของพืชตัวอย่างทั้ง 10 ชนิด
- 1.4.3 สามารถนำเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีที่ใช้ทำนายค่าความร้อนสูงกับพืชตัวอย่างทั้ง 10 ชนิด ไปประยุกต์ใช้กับวัสดุชีวมวลอื่น ๆ ได้

## 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

สำหรับขั้นตอนการดำเนินงานแสดงแผนดำเนินงานดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ปี / เดือน									
	พุทธศักราช 2562				พุทธศักราช 2563					
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1	เตรียมวัสดุและหาค่าปริมาณความชื้นเริ่มต้น									
2	วัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง Near Infrared Spectrometer									
3	วัดค่าความร้อนด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter									
4	วิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเครื่อง TGA									
5	วิเคราะห์ผล									
6	สร้างแบบจำลองทำนายค่าความร้อนสูง									
7	ทำเล่มปริยญาานิพนธ์									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ชีวมวล

ชีวมวล (Biomass) คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ สารอินทรีย์เหล่านี้ได้มาจากพืชและสัตว์ต่าง ๆ เช่น เศษไม้ ขยะ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร การใช้งานชีวมวลเพื่อให้ได้พลังงานอาจจะทำโดยนำมาเผาไหม้เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าทดแทนพลังงานจากฟอสซิล (เช่น น้ำมันปิโตรเลียม) ซึ่งมียู้อย่างจำกัดและอาจหมดลงได้ [1] ชีวมวลเหล่านี้มีแหล่งที่มาต่าง ๆ กันสามารถแบ่งได้ ดังนี้

1. พืชผลทางการเกษตร (agricultural crops) เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ผลสับปะรด ปาล์มน้ำมัน ข้าวโพด เป็นแหล่งของแป้ง และไขมัน
2. เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (agricultural residues) เช่น แกลบจากเปลือกข้าวเปลือก ฟางจากต้นข้าวที่ผ่านการเก็บเกี่ยว ชังข้าวโพดและต้นข้าวโพด
3. ไม้และเศษไม้ (wood and wood residues) เช่น ไม้โตเร็ว ยูคาลิปตัส กระถินณรงค์ กระถินเทพา กระถินยักษ์ เศษไม้จากโรงงานผลิตเครื่องเรือน และโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ เป็นต้น
4. ของเหลือจากจากอุตสาหกรรมและชุมชน (waste streams) กาบมะพร้าว กะลามะพร้าว ขานอ้อย กากน้ำตาล เศษอาหาร และขยะเปียก

#### 2.1.1 คุณสมบัติหลักของชีวมวล

คุณสมบัติของชีวมวลจะเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงคุณภาพของชีวมวลและประสิทธิภาพการเผาไหม้ [2] โดยคุณสมบัติของชีวมวลจะประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ดังนี้

1. ความชื้น (Moisture) คือ ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในชีวมวล ชีวมวลส่วนมากจะมีความชื้นค่อนข้างสูง สำหรับชีวมวลที่ใช้เป็นพลังงานโดยการเผาไหม้ ความชื้นไม่ควรเกินร้อยละ 50
2. ส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible substance) แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ไอรระเหย (Volatiles matter) ดังนั้นชีวมวลใดที่มีค่าไอรระเหยสูงแสดงว่าสามารถติดไฟได้ง่ายและอีกส่วนคือ คาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) ซึ่งบอกปริมาณคาร์บอนคงตัวในชีวมวล
3. ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ คือ ขี้เถ้า (Ash) ชีวมวลส่วนใหญ่จะมีขี้เถ้าประมาณ 1-3 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นแกลบและฟางข้าว จะมีสัดส่วนขี้เถ้าประมาณ 10-20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะมีปัญหาในการเผาไหม้และกำจัดพอสมควร

### 2.1.2 องค์ประกอบทั่วไปของชีวมวล

นอกจากคุณสมบัติหลักข้างต้นแล้วชีวมวลมีองค์ประกอบทางเคมีที่ส่งผลต่อค่าความร้อนของชีวมวลอีกด้วย ซึ่งได้แก่ ลิกนิน เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส ซึ่งในแต่ละชนิดประกอบด้วยธาตุต่าง ๆ ที่ไม่เหมือนกัน โดยยกตัวอย่างค่าองค์ประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร	ร้อยละของเซลลูโลส	ร้อยละของเฮมิเซลลูโลส	ร้อยละของลิกนิน
ไม้เนื้อแข็ง	40-55	24-40	18-25
ไม้เนื้ออ่อน	45-50	25-35	25-35
เปลือกถั่ว	25-30	25-30	30-40
ซังข้าวโพด	45	35	15
หญ้า	25-40	35-50	10-30
ฟางข้าว	30	50	15
ใบไม้	15-20	80-85	0
ใยเมล็ดฝ้าย	80-95	5-20	0
หญ้าคอสทอล	25	35.7	6.4
หญ้าสวิช	45	31.4	12

Adapted from [6, 7]

#### 1. เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบที่พบมากในวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส โดยพบในส่วนของผนังเซลล์ของพืช อยู่ร่วมกับเฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ปริมาณที่พบแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดและส่วนของพืช เช่น ไม้พบประมาณร้อยละ 40-50 และเส้นใยฝ้ายพบประมาณร้อยละ 98

เซลลูโลสเป็นโพลิเมอร์มีลักษณะเป็นเส้นตรง ไม่มีกิ่งก้าน ประกอบด้วยหน่วยย่อยคือ เบต้า-D-กลูโคส (β-D-Glucopyranose) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบต้า 1,4-ไกลโคซิดิก (β-1,4-glycosidic bond) เกิดเป็นโพลิเมอร์กลูแคน (glucan) มีความยาวตามธรรมชาติประมาณ 10,000 หน่วย ยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยทั่วไปในธรรมชาติพบเซลลูโลส 2 แบบ คือ crystalline cellulose และ amorphous cellulose โดยส่วนของ crystalline cellulose จะถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ยากกว่า amorphous cellulose [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบชนิดหนึ่งในวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส เป็นเฮเทอโรโพลิเมอร์ของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ หลายชนิดผสมกัน เช่น กลูโคส แมนโนส ไซโลส และอะราบิโนส ซึ่งพบอยู่ในรูปโพลิเมอร์ไซแลน แมนแนน กาแลกแตน และอะราบิแนน มีความยาวเฉลี่ยประมาณ 200 หน่วย โดยในพอลิเมอร์ไวแลน ดี-ไซโลสมีปริมาณมากที่สุดคือ ร้อยละ 85-93 ส่วนองค์ประกอบอื่น เช่น กลูโคส กรดกลูควิโรนิก กรดกาแลคตุโรนิก จะพบปริมาณน้อย โดยไซโลสที่พบจะเชื่อมด้วยพันธะเบตา 1,4 ไกลโคซิดิก [4]

## 3. ลิกนิน (Lignin)

ลิกนินเป็นสารประกอบประเภทอะโรมาติกที่พบในส่วนผนังเซลล์ของพืช พบในปริมาณที่แตกต่างไปตามชนิดของพืช ในธรรมชาติลิกนินเป็นส่วนป้องกันเซลลูโลสไม่ให้ถูกย่อยสลายได้ง่ายโดยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ ลิกนินเป็นเฮเทอโรพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบ 3 มิติ ไม่แตกสลาย ประกอบด้วยสารประกอบอะโรมาติก 3 ชนิด คือ tran-p-coumaryl alcohol, trans-coniferyl alcohol และ trans-p-sinapyl alcohol นอกจากนี้โมเลกุลของลิกนินยังเชื่อมต่อกับสารประกอบอะโรมาติกอื่นอีกมากมาย เช่น vanillin และ syringaldehyde [5]

## 2.2 การหาปริมาณความชื้น (Moisture Content)

ปริมาณความชื้น (MC) เป็นสัดส่วนระหว่างน้ำที่อยู่ในชีวมวลต่อน้ำหนักชีวมวลทั้งหมด โดยการหาปริมาณความชื้นเริ่มจากการนำชีวมวลที่ต้องการหาค่าความชื้นมาชั่งน้ำหนักเริ่มต้นแล้วทำการบันทึกค่าไว้เป็นน้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้น จากนั้นนำไปอบไล่ความชื้นในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จนกระทั่งน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลง จากนั้นบันทึกค่าน้ำหนักไว้เป็นน้ำหนักตัวอย่างแห้ง [8] โดยแบ่งเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่

ความชื้นฐานเปียก (wet basis) เป็นค่าความชื้นที่มักใช้ในทางการค้า เป็นค่าที่ใช้บ่งชี้ความชื้นโดยทั่วไปในชีวิตประจำวัน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.1

$$\% \text{Wet basis} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100 \quad (2.1)$$

ความชื้นฐานแห้ง (dry basis) เป็นค่าที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้ง (dehydration) เพราะสามารถคำนวณได้สะดวก เนื่องจากน้ำหนักแห้งจะคงที่ สามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 2.2

$$\% \text{Dry basis} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}} \times 100 \quad (2.2)$$

ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของพืชตัวอย่างสามารถหาได้จากการนำพืชตัวอย่างหลังอบไล่ความชื้นในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงมาทำการสมดุลความชื้นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.3

$$\text{ปริมาณความชื้นเริ่มต้น} (\% \text{db}) = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังทำการสมดุล} - \text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}} \times 100 \quad (2.3)$$

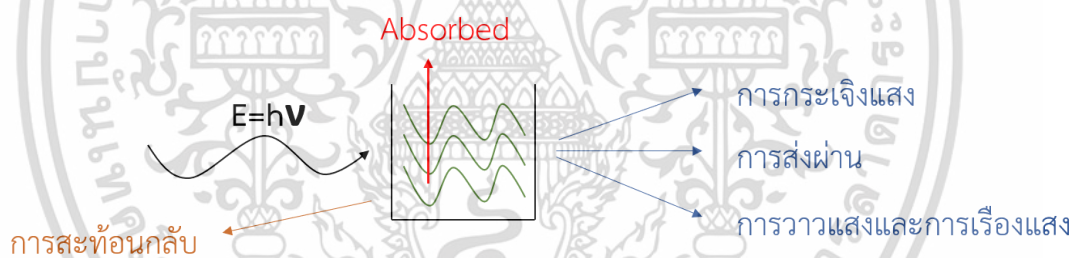
## 2.3 เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy)

### 2.3.1 ทฤษฎีของสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared Spectroscopy, NIR)

เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีจะอยู่ในช่วงรังสีอินฟราเรด โดยมีตำแหน่งติดกับรังสีซีบีลกับรังสีอินฟราเรดย่านกลาง เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเป็นการศึกษาอันตรกิริยาระหว่างรังสีอินฟราเรดย่านใกล้ (NIR radiation) กับสสาร สสารที่สามารถเกิดอันตรกิริยากับรังสีอินฟราเรดย่านใกล้ คือ สสารที่โมเลกุลประกอบด้วยพันธะไฮโดรเจน (X-H) อะตอม X ได้แก่ C, O, N, S ฯลฯ อันตรกิริยาดังกล่าว คือการที่โมเลกุลดูดกลืนรังสีอินฟราเรดย่านใกล้เข้าไป ซึ่งมีผลต่อการสั่นของพันธะต่าง ๆ ในโมเลกุล ระดับการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดย่านใกล้ของสสารที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ จะปรากฏในสเปกตรัม NIR เพื่อนำไปประมวลผลในการวิเคราะห์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพต่อไป [9]

### 2.3.2 หลักการทำงานของเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

เมื่อลำแสงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านเข้าไปยังสารละลายหรือวัตถุ จะมีแสงบางส่วนที่จะถูกดูดกลืน (absorbed) บางส่วนผ่านทะลุออกไป (transmitted) บางส่วนเกิดการสะท้อนกลับ (reflected) บางส่วนเกิดการวาวแสงหรือการเรืองแสง (fluorescence or phosphorescence) และบางส่วนอาจเกิดการกระเจิงแสง (scattered) ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การกระทำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับสารต่าง ๆ

โดยมีกฎของการดูดกลืนแสงที่สำคัญที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 กฎ [10] คือ

1. กฎของแลมเบิร์ต (Lambert's law) กล่าวว่า “เมื่อแสงสีเดียว (monochromatic light) คือแสงความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว (homogeneous) เป็นสัดส่วนของความเข้มแสงที่ถูกตัวกลางดูดกลืนแสงไว้ โดยไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มแสงเริ่มต้น และความเข้มแสงจะถูกแต่ละชั้นของตัวกลางดูดกลืนไว้ในสัดส่วนที่เท่ากัน”

2. กฎของเบียร์ (Beer's law) กล่าวว่า “เมื่อแสงที่มีความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว สัดส่วนของความเข้มของแสงที่ถูกตัวกลางดูดกลืนไว้จะแปรโดยตรงกับปริมาณของตัวกลางที่ดูดกลืนแสงนั้น”

ในทางปฏิบัติปริมาณความเข้มข้นของแสงที่ถูกดูดกลืนจะขึ้นอยู่กับทั้งความเข้มข้นของสารละลายและความหนาของสารละลายที่ลำแสงส่องผ่าน จึงต้องรวมกฎทั้งสองเข้าด้วยกันเรียกว่ากฎของเบียร์-แลมเบิร์ต เขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$A = \log \frac{I_0}{I} = \epsilon bc \quad (2.4)$$

เนื่องจาก T (Transmittance) เท่ากับ

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (2.5)$$

เพราะฉะนั้น

$$A = \log \frac{I_0}{I} = \epsilon bc = \log \frac{1}{T} \quad (2.6)$$

เมื่อ  $I$  = ความเข้มข้นของแสงความยาวคลื่นเดียวที่ส่งผ่านออกมา

$\epsilon$  = สัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนแสงปกติเปลี่ยนแปลงตามความยาวคลื่น และอุณหภูมิ

$I_0$  = ความเข้มของแสงก่อนผ่านตัวกลางเมื่อ  $b=0$

$b$  = ความหนาของตัวกลางในหน่วยเซนติเมตร

$c$  = ความเข้มข้นของสารในหน่วยโมล/ลิตร

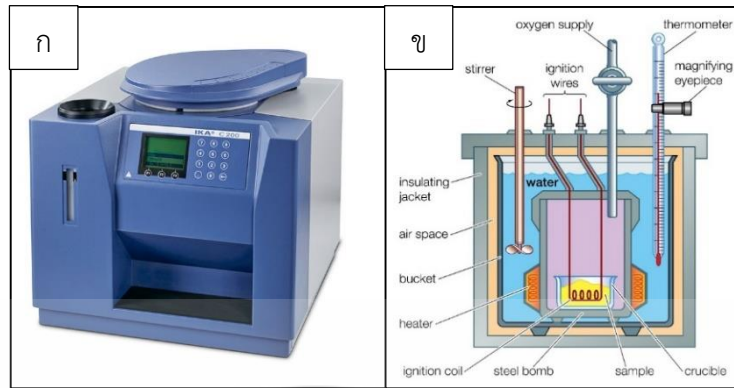
$A$  = ค่าการดูดกลืนแสง

โมเลกุลของสารแต่ละชนิดมีความสัมพันธ์กับช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกันเนื่องจากการจัดเรียงโครงสร้างของโมเลกุลต่างกัน นอกจากนี้ในแต่ละโมเลกุลจะสัมพันธ์กับความยาวคลื่นมากกว่า 1 ช่วง เช่นโมเลกุลของน้ำ ( $H_2O$ ) ที่มีมากในผลิตภัณฑ์อาหาร มีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่น 4 ช่วง คือ 760, 970, 1450 และ 1940 นาโนเมตร ดังนั้นถ้าทำการทดสอบที่ช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวจะสามารถหาความสัมพันธ์ของน้ำภายในตัวอย่างได้

### 2.3.3 หลักการของ Fourier Transform Infrared Spectroscopy

ลำแสงจากหลอดไฟถึงสแตนด์ฮาโลเจนถูกแบ่งเป็น 2 ลำแสง โดยอุปกรณ์แบ่งแสง ลำแสงหนึ่งถูกสะท้อนโดยกระจกอยู่กับที่อีกลำแสงจะสะท้อนโดยกระจกเคลื่อนที่ทั้งสองลำแสงจะสะท้อนกลับมา รวมกันอีก ผลรวมของพลังงานแสงจะถูกตรวจจับโดยตัวจับสัญญาณ ถ้าระยะห่างระหว่างอุปกรณ์แยกแสงกับกระจกสะท้อนแสงที่อยู่กับที่เท่ากันกับระยะห่างระหว่างอุปกรณ์แยกแสงกับกระจกเคลื่อนที่ ผลรวมของคลื่นสัญญาณก็จะเสริมกันสูงสุด แต่ถ้าระยะทั้งสองไม่เท่ากันผลรวมของคลื่นสัญญาณก็จะเสริมกันหรือหักล้างกัน ผลรวมของคลื่นสัญญาณที่ถูกนำไปเขียนกราฟ และสัญญาณที่ได้จะถูกนำไปผ่านกระบวนการแปลงสัญญาณแบบฟูเรียร์ (Fourier transforms) ก็จะได้สเปกตรัมของสัญญาณออกมา [11]

## 2.4 หลักการทำงานของเครื่อง Bomb Calorimeter



รูปที่ 2.2 เครื่อง Bomb Calorimeter รุ่น IKA C-200 (ก), โครงสร้างภายในของเครื่อง Bomb Calorimeter (ข)

ที่มา : <http://www.jankiimpex.com/ika/calorimeters/c-200>

จากรูปที่ 2.2 โครงสร้างภายในของ Bomb calorimeter ประกอบด้วย stainless steel bomb (ภายในบรรจุตัวอย่างที่ต้องการหาค่าพลังงาน และออกซิเจน) น้ำ เทอร์โมมิเตอร์ อุปกรณ์ที่ใช้ในการกวน (stirrer) โดย bomb calorimeter จะถูกหุ้มด้วยฉนวนเพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนจาก bomb calorimeter ถ่ายเทไปยังสภาวะแวดล้อม  $q_{\text{calorimeter}}$  เท่ากับศูนย์ เนื่องจากโครงสร้างของ Bomb calorimeter ทำจาก stainless steel ปฏิบัติการเผาไหม้จะเกิดภายใต้สภาวะที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตร (constant volume) จึงไม่เกิดงานขึ้น  $W_{\text{calorimeter}}$  เท่ากับ  $-P\Delta V$  ซึ่งเท่ากับศูนย์ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลง internal energy,  $\Delta U$ , สำหรับ calorimeter เท่ากับศูนย์

หลักการทำงานของ bomb calorimeter จะใช้หลักการของ direct calorimetry ซึ่งเป็นการวัดปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาเมื่อการเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ชีวมวลจะถูกบรรจุใน chamber และ charged ด้วยออกซิเจนภายใต้ความดันสูง จากนั้นให้กระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านฟิวส์และทำให้เกิดการจุดระเบิดเชื้อเพลิง ซึ่งได้แก่ส่วนผสมของชีวมวลและออกซิเจน เนื่องจาก calorimeter จะถูกหุ้มด้วยฉนวนเพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนถ่ายเทออกไปสู่สภาวะแวดล้อม การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของน้ำทำให้ทราบปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยจากชีวมวล [12]

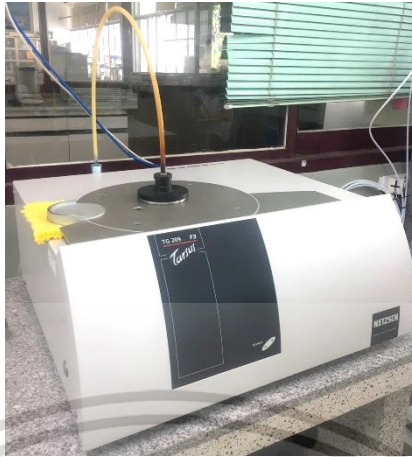
คำนวณหาปริมาณความร้อนโดยใช้สมการที่ 2.7

$$Q = mC_p\Delta t \quad (2.7)$$

Q คือ ปริมาณความร้อน (kJ)       $\Delta t$  คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป (K)  
m คือ มวลของสาร (kg)       $C_p$  คือ ความร้อนจำเพาะ (kJ/kg K)

เนื่องจากการคำนวณปริมาณความร้อนนี้เป็นปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับและค่าความร้อนจำเพาะของน้ำมีค่าเป็น 4.187 kJ/kg K

## 2.5 หลักการทำงานของเครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA)



รูปที่ 2.3 เครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA)

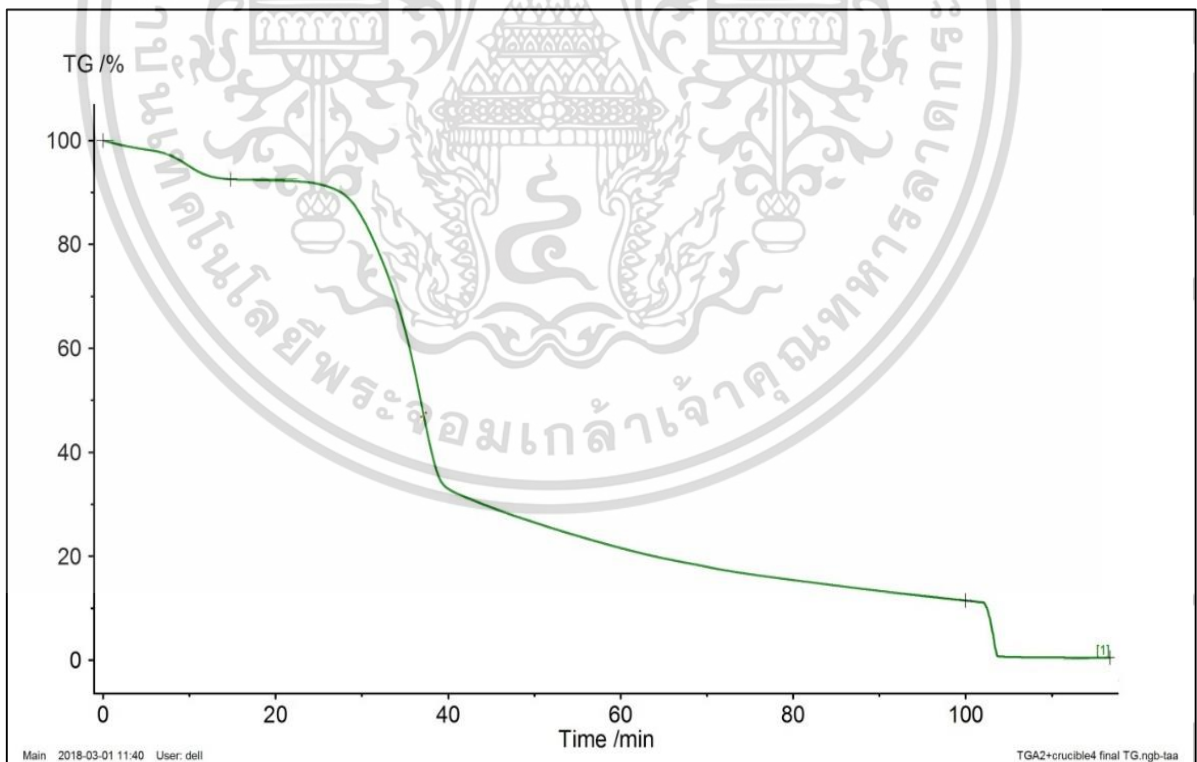
การหาค่าองค์ประกอบเชิงปริมาณ (Proximate Analysis) จะอาศัยการทำงานของเครื่อง Thermogravimetric Analyzer, TGA ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ความเสถียรของวัสดุโดยเฉพาะพอลิเมอร์ เมื่อได้รับความร้อนโดยการวัดน้ำหนักของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงอุณหภูมิด้วยเครื่องชั่งที่มีความไวสูง [13] ค่าที่สามารถวิเคราะห์ได้จะประกอบด้วย ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณไฮโดรเจน และปริมาณคาร์บอนคงตัวของตัวอย่าง ซึ่งแสดงผลออกมาในรูปแบบของกราฟ โดยการแบ่งเป็นสามช่วง คือ ปริมาณความชื้น (Moisture content), ปริมาณไฮโดรเจน (Volatile matter) และปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon)

โดยในช่วงแรกของกราฟหรือช่วงของปริมาณความชื้น จะมีการกำจัดความชื้นรวมถึงสารระเหยที่มีจุดเดือดต่ำและจำแนกแร่ต่าง ๆ เกิดขึ้น ซึ่งลักษณะการลดลงของน้ำหนักชีวมวลนั้นจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่าง ๆ รวมไปถึงองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างนั้น และในช่วงที่สองหรือช่วงของการปลดปล่อยไฮโดรเจน เป็นส่วนที่น้ำหนักมีการลดลงมากที่สุดโดยสามารถสังเกตได้ชัดจากกราฟ และในช่วงสุดท้ายที่สามารถบ่งบอกถึงปริมาณคาร์บอนคงตัว อุณหภูมิจะมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น นอกจากนี้อีกหนึ่งสิ่งที่ควรทราบคืออุณหภูมิที่เผาไหม้หมด (Burnout Temperature) สามารถหาได้จากอุณหภูมิเมื่ออัตราการลดลงของน้ำหนักน้อยกว่าร้อยละ 1 ต่อนาที ซึ่งอุณหภูมิในจุดนี้สามารถบ่งบอกได้ว่า หากอุณหภูมิในการเผาไหม้ของชีวมวลมีค่าสูง ความสามารถในการติดไฟง่ายของชีวมวลก็สูงเช่นกัน แต่หากอุณหภูมิในการเผาไหม้ของชีวมวลมีค่าต่ำ ความสามารถในการติดไฟของชีวมวลนั้นก็น้อยกว่า [14]

## 2.6 การแยกสลายด้วยความร้อน

สำหรับกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis Process) เป็นกระบวนการที่สามารถเพิ่มค่าความร้อนของชีวมวลได้ โดยอาศัยกระบวนการเคมีทางความร้อนด้วยการให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 400–800 องศาเซลเซียส ในสภาพที่ปราศจากออกซิเจนหรือมีออกซิเจนในปริมาณที่น้อยมากตลอดกระบวนการ จนเกิดการแตกตัวของพันธะต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบโมโมเลกุล ซึ่งอัตราการให้ความร้อนที่แตกต่างกันย่อมส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้ กรณีที่มีอัตราการให้ความร้อนต่ำกว่า 500 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแข็ง เช่น ถ่าน แต่ในกรณีที่มีอัตราการให้ความร้อนสูงในช่วง 400 องศาเซลเซียส ไปจนถึง 1000 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอยู่ในรูปก๊าซและของเหลว เช่น น้ำมันชีวมวล (Bio Oil)

การแยกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis) คือ การสลายตัวของวัสดุอินทรีย์จากของแข็งเป็นก๊าซเชื้อเพลิงเนื่องจากถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง โดยไม่เกิดการลุกไหม้หรือจุดระเบิด (สภาวะไร้ออกซิเจน) ซึ่งเชื้อเพลิงชีวมวลมีองค์ประกอบทางเคมีหลัก ๆ อยู่ 3 ชนิด คือ เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส ลิกนิน โดยองค์ประกอบทางเคมีแต่ละชนิดมีการสลายที่อุณหภูมิแตกต่างกัน รวมถึงอัตราการสลายตัวขององค์ประกอบทางเคมีก็มีสัดส่วนแตกต่างกันด้วย โดยขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุในกระบวนการ ซึ่งการแยกสลายด้วยความร้อนสามารถแบ่งช่วงสลายองค์ประกอบทางเคมีได้ 3 ช่วง ดังรูปที่ 2.4

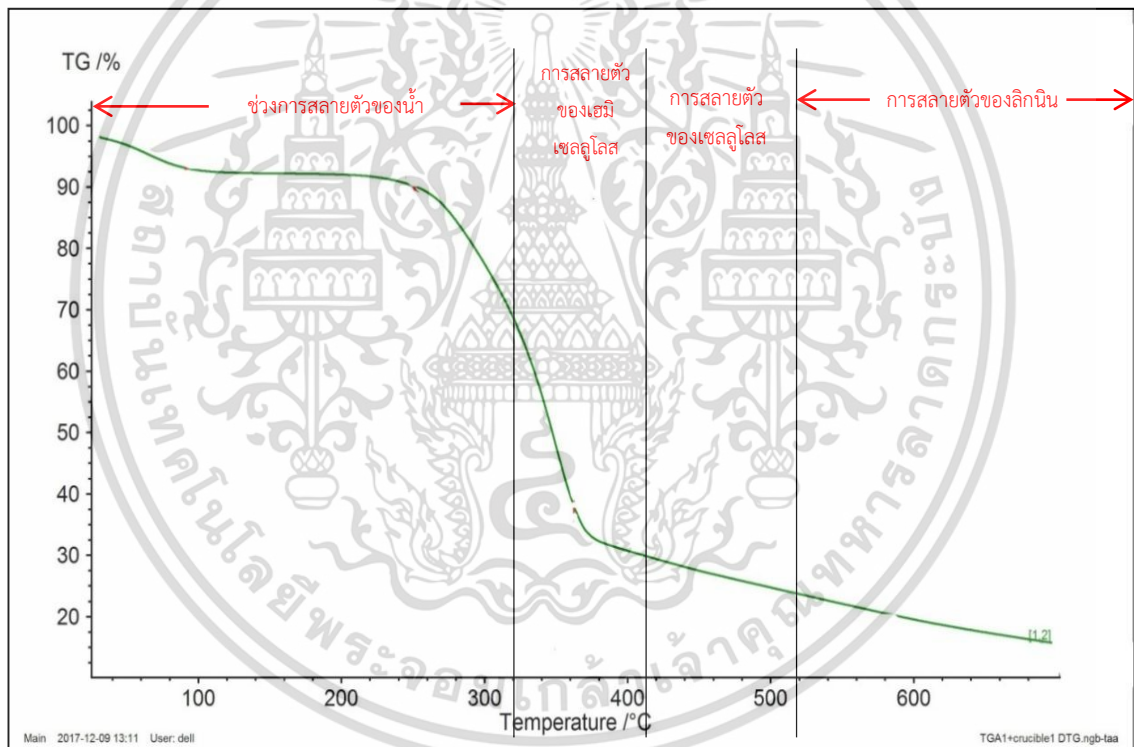


รูปที่ 2.4 ช่วงการสลายองค์ประกอบทางเคมีในกระบวนการการสลายตัวด้วยความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การระเหยของน้ำจะเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 33-220 องศาเซลเซียส (0-19 min) ช่วงการระเหยสารระเหย คือ ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 200-220 องศาเซลเซียสเป็นต้นไป สามารถแบ่งออกได้เป็นสองช่วงคือ ช่วงการระเหยสารระเหยหลัก (Main devolatilization) และช่วงการระเหยสารระเหยรอง (Continuous slight devolatilization) สารระเหยเหล่านี้เป็นก๊าซเชื้อเพลิง โดยที่ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 400 องศาเซลเซียสเป็นต้นไป จะเกิดการสลายตัวมากที่สุดถึงร้อยละ 90 ของน้ำหนัก

ในช่วงสุดท้ายของการเผาไหม้จะเกิดกระบวนการเผาไหม้คาร์บอน โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วงย่อย ได้ดังนี้ ในช่วงแรกจะเกิดการเผาไหม้คาร์บอนอย่างรวดเร็ว และช่วงท้ายจะเป็นการเผาไหม้คาร์บอนอย่างช้า ๆ และสิ่งที่เหลือจากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนคือ เถ้า และผลผลิตที่ได้จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนคือ ก๊าซเชื้อเพลิง และคาร์บอนหรือเรียกว่า Char แต่หากพิจารณาจากบทความวิจัยของ Yang et al รายงานไว้ว่ากระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนสามารถแบ่งช่วงสลายองค์ประกอบทางเคมีได้ 4 ช่วง ดังรูปที่ 2.5

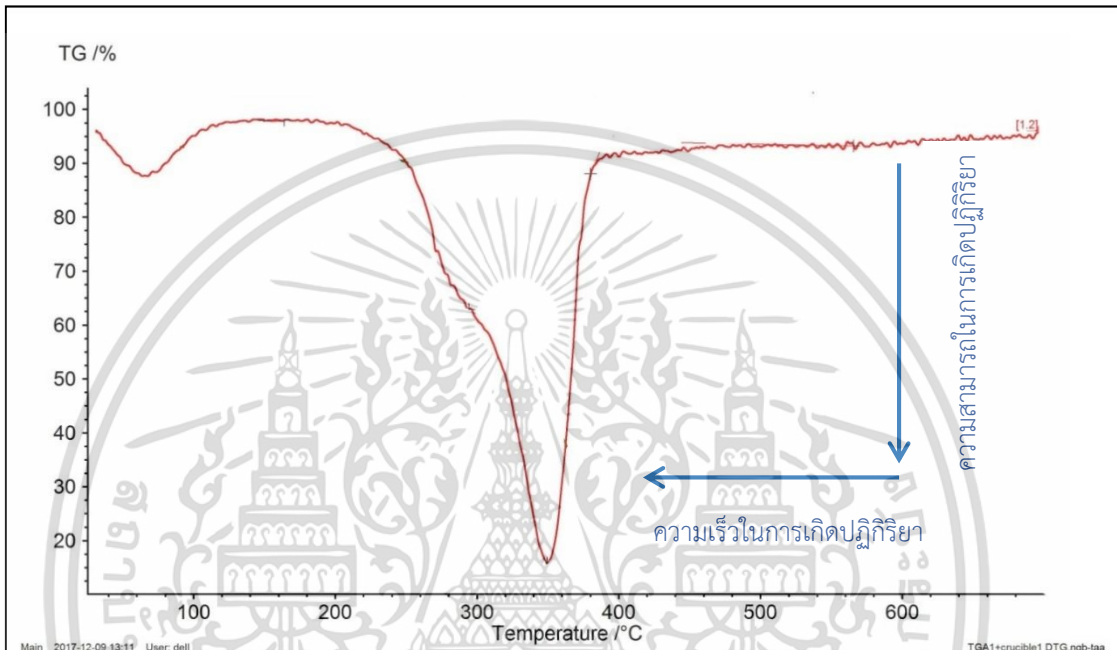


รูปที่ 2.5 ช่วงการสลายองค์ประกอบทางเคมีในกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อน

ช่วงการสลายตัวของน้ำ คือ ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 30-220 °C ช่วงการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลส คือ ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 220-315 °C ช่วงการสลายตัวของเซลลูโลส คือ ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 315-400 °C และช่วงการสลายตัวของลิกนิน คือ ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 400 °C เป็นต้นไป

## 2.7 สมรรถนะการแยกสลายด้วยความร้อน

สมรรถนะการแยกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis performance) คือ ความสามารถในการเกิดกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อน โดยมีการพิจารณาจากอัตราการสลายมวลสูงสุดในกราฟ DTG (%/min) และมีองค์ประกอบในการพิจารณา คือ ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาและความเร็วในการเกิดปฏิกิริยา ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การพิจารณาความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาและความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา

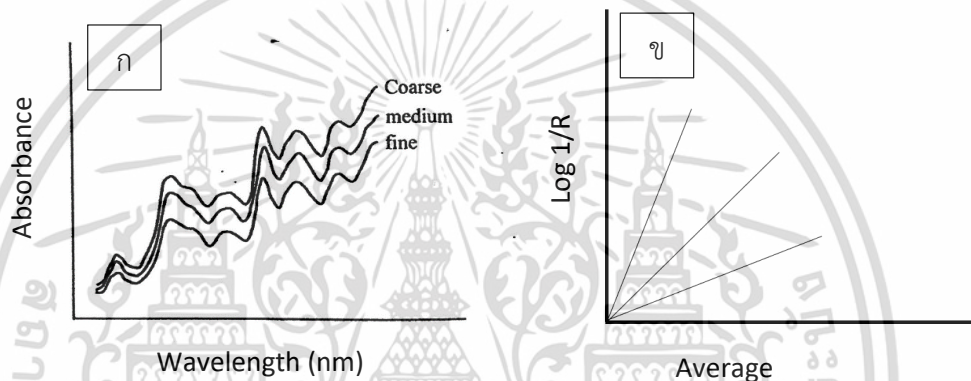
โดยการพิจารณาจากอัตราการสลายมวลสูงสุดในกราฟ DTG (%/min) ที่สามารถบ่งบอกถึงอัตราการสลายมวลและอุณหภูมิที่ใช้ในการสลายมวล หากมีอัตราการสลายมวลสูงสุดที่ค่าติดลบมาก แสดงว่า มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาสูงและรวดเร็ว หากพิจารณาจากอุณหภูมิหรือเวลาในการเกิดอัตราการสลายมวลสูงสุด ที่อัตราการสลายมวลสูงสุดที่อุณหภูมิต่ำ (องศาเซลเซียส) หรือใช้เวลาน้อย (นาทื) แสดงว่า มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาได้เร็ว ในทางกลับกันที่อัตราการสลายมวลสูงสุดที่อุณหภูมิสูง (องศาเซลเซียส) หรือใช้เวลามาก (นาทื) แสดงว่า มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาได้ช้า

## 2.8 การเลือกวิธีการจัดการข้อมูลเบื้องต้น [15-17]

วิธีการจัดการข้อมูลเบื้องต้นเป็นพารามิเตอร์ของแบบจำลองที่สำคัญ ที่มีจุดประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองของสเปกตรัมในทางที่อัลกอริธึม PLS สามารถให้ความสัมพันธ์ที่ตรงระหว่างสเปกตรัมกับข้อมูลความเข้มข้นโดยมีวิธีต่าง ๆ ดังนี้

1. ไม่มีการจัดการข้อมูลเบื้องต้น : ไม่มีการจัดการข้อมูลเบื้องต้น
2. การลบโดยค่าคงที่ (Subtraction of a Constant Offset): สเปกตรัมจะถูกปรับแบบเชิงเส้นเพื่อให้ค่า Y ที่ต่ำสุดมีค่าเท่ากับศูนย์  
การใช้งาน : เป็นการกำจัดปัญหาการขยับขึ้นของเบสไลน์ (Baseline Shift) เชิงเส้น สิ่งเหล่านี้เกิดจาก เช่น จากค่าที่แตกต่างกันของการขยายสัญญาณของดีเทคเตอร์ (Detector Amplification)
3. การลบโดยเส้นตรง (Subtraction of a Straight Line): ในแต่ละช่วงความถี่ที่เลือกไว้เส้นตรงหนึ่งจะถูกฟิตเส้นสเปกตรัมโดยใช้วิธี partial least squares (PLS) เส้นตรงเส้นนี้จะถูกลบออกจากสเปกตรัมดังกล่าว  
การใช้งาน: กำจัดปัญหาความเอียงเชิงเส้นของการขยับขึ้นของเบสไลน์
4. Vector Normalization: ชั้นแรกสเปกตรัมจะถูกหาค่ากลาง จากนั้นผลรวมของค่ายกกำลังสองของค่า Y ทั้งหมดจะถูกคำนวณ และสเปกตรัมใด ๆ จะถูกหารด้วยค่ารากที่สองของผลรวมนี้ สิ่ง que เรียกว่า vector norm ของสเปกตรัมที่ได้จะเท่ากับ 1 เสมอ  
การใช้งาน: ในหลักการสเปกตรัมจะประกอบด้วยสองส่วนของข้อมูล คือความสูงของแถบการดูดซับและโครงสร้าง หลังจากการนอร์มัลไลเซชัน (Normalization) ข้อมูลความสูงจะหายไป มีเพียงโครงสร้างข้อมูลยังคงอยู่ การนอร์มัลไลเซชัน (Normalization) ถูกใช้เพื่อ เช่น การกำจัดผลกระทบของเส้นทางผ่านเชิงแสง (Optical Path Length) ที่แตกต่างกันในกรณีของการวัดแบบส่องผ่าน ความยาวของเส้นทางผ่านเชิงแสงทำให้ความสูงของสัญญาณเปลี่ยนแปลง แต่โครงสร้างยังเหมือนเดิม ในทำนองเดียวกันการวัดแบบสะท้อนแบบแพร่ จะมีผลกระทบของการรบกวนเนื่องจากความหนาแน่นของวัสดุแตกต่างกันหรือขนาดอนุภาคแตกต่างกัน สิ่งเหล่านี้จะลดลง
5. Min-Max-Normalization (สำหรับสเปกตรัมการดูดซับ): สเปกตรัมจะถูกขยับเชิงเส้นเพื่อให้ค่า Y ที่ต่ำสุดมีค่าเท่ากับศูนย์ แล้วสเปกตรัมจะถูกขยายเพื่อให้ค่า Y สูงสุดเท่ากับสองหน่วยของการดูดซับคลื่น  
การใช้งาน: เทียบกับ Vector Normalization

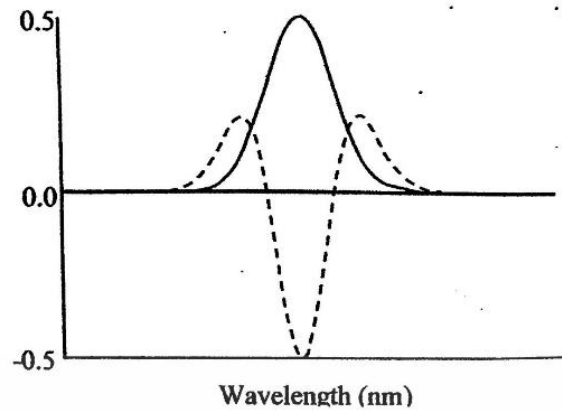
6. Multiplicative Scatter Correction: เป็นเทคนิคทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นมาเพื่อลดผลที่เกิดจากการกระเจิงแสง (Scattered Light) ต่อสเปกตรัม NIR ที่ได้จากการวัดแบบสะท้อนแพร่ (Diffuse Reflectance) และแบบส่องผ่าน (Transmittance) โดยทั่วไปการกระเจิงแสงจะทำให้ความชันโดยรวมของสเปกตรัมเปลี่ยนไป ซึ่งเปรียบเสมือนว่าสเปกตรัมถูกทำให้หมุนรอบจุดที่มีความยาวคลื่นต่ำสุดของสเปกตรัม (Multiplicative Effect) ถ้าสมมติให้สเปกตรัมเป็นเส้นตรง สเปกตรัมจะถูกทำให้มีความชันแตกต่างไปจากเดิม หรือเหมือนกับเส้นตรงถูกหมุนไปดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งวิธีนี้สร้างขึ้นมาเพื่อให้สามารถลดผลกระทบแบบผลคูณ (Multiplicative Effect) แต่ในทางปฏิบัติสามารถลดผลในแบบผลบวก (Additive Effect) ได้ด้วย หรือผลกระทบที่ทำให้สเปกตรัมทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงเท่ากันตลอดช่วงความยาวคลื่น



รูปที่ 2.7 พล็อตระหว่างค่าดูดกลืนแสงของสเปกตรัมของตัวอย่าง (ก) พล็อตระหว่างค่าดูดกลืนแสงของสเปกตรัมเฉลี่ย กับ  $\log(1/R)$  (ข)

7. อนุพันธ์อันดับหนึ่ง (First Derivative): คำนวณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของสเปกตรัม  
การใช้งาน : โดยการคำนวณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่ง สัญญาณที่มีความชันจะถูกเน้นมากกว่าสัญญาณที่ค่อนข้างแบนราบ วิธีนี้จะถูกใช้เน้นลักษณะชัดเจน แต่มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับโครงสร้างที่มีแถบการดูดซับคลื่นที่กว้าง การประยุกต์ใช้ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือ การประเมินแถบการดูดซับคลื่นที่กว้างนี้มักจะทำในเทคโนโลยี NIR โดยการคำนวณอนุพันธ์ โครงสร้างเหล่านี้จะมีรูปร่างที่สูงชันขึ้น ซึ่งสามารถได้รับการประเมินได้ง่ายขึ้น เมื่อใช้อนุพันธ์เป็นการจัดการข้อมูลเบื้องต้น จะต้องคำนึงถึงว่าสัญญาณรบกวนจะถูกจัดการเช่นกัน สิ่งนี้จะซ้อนทับบนสเปกตรัมเป็นสัญญาณเพิ่มเติม และสามารถทำให้สัญญาณของตัวอย่างเลวลง
8. อนุพันธ์ที่สอง (Second Derivative): คำนวณอนุพันธ์อันดับสองของสเปกตรัมนั้น  
การใช้งาน : เมื่อเทียบกับอนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง แม้โครงสร้างที่ราบเรียบมาก ๆ สามารถประเมินได้ ผลการรบกวนของสัญญาณรบกวน ซึ่งโดยทั่วไปมีมากจนทำให้สเปกตรัมถูกวิเคราะห์ในช่วงสเปกตรัมที่จำกัดมาก ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 สเปกตรัม (เส้นทึบ) และอนุพันธ์อันดับสอง (second Derivative)

จากรูปที่ 2.8 แสดงการหาค่าอนุพันธ์ (derivative) ของสเปกตรัมเป็นวิธีที่ใช้ประโยชน์ในการแก้ปัญหาการซ้อนทับกันของจุดยอดในสเปกตรัมและการเลื่อนขึ้นของสเปกตรัมทั้งแบบเบสไลน์ออฟเซตและเบสไลน์ชิฟต์เชิงเส้น การคำนวณอนุพันธ์อันดับสอง (second derivative) ของสเปกตรัม จะทำให้เกิดการแยกของจุดยอดที่เหลื่อมซ้อนกันออกมา แสดงให้เห็นภาพทั่วไปของแถบดูดกลืนแสงของสเปกตรัมเริ่มต้น (absorption band) และอนุพันธ์อันดับสองของสเปกตรัมนั้น ทั้งนี้จะพบว่ามีจุดยอดที่เป็นบวกในส่วนซ้ายและส่วนขวาของค่าอนุพันธ์อันดับสอง ส่วนจุดยอดตรงกลางจะมีค่าลบสูงสุดและตรงกับจุดยอดของสเปกตรัมเริ่มต้น

วิธีที่เหมาะสมที่สุดขึ้นอยู่กับระบบที่วิเคราะห์ จากประสบการณ์แสดงให้เห็นว่าในหลายกรณีการลบด้วยเส้นตรง การนอร์มัลไลเซชันสเปกตรัม หรือการทำอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งได้ผลที่ดีที่สุดในการคาลิเบรชัน ในบางกรณีการใช้วิธีการจัดการข้อมูลเบื้องต้น 2 วิธี รวมกันก็ได้ผลดีที่สุดเช่นกันบ่อยครั้งที่แบบจำลองแบบต่าง ๆ ให้ผลได้ดีเท่าเทียมกันซึ่งโดยทั่วไปควรทดสอบดูหลาย ๆ วิธีเปรียบเทียบกัน

## 2.9 การเลือกแพคเตอร์ที่เหมาะสม

ใน PLS Regression ข้อมูลสเปกตรัมและข้อมูลความเข้มข้นจะถูกเปลี่ยนแปลงเป็นรูปแบบของเมทริกซ์และลดลงเป็นแพคเตอร์จำนวนไม่มาก จำนวนแพคเตอร์ ในแบบจำลองเคมิตริกจะถูกเรียกว่า “rank” การหาจำนวน rank มีความสำคัญกับคุณภาพในการวิเคราะห์

การเลือกจำนวนแพคเตอร์ที่น้อยเกินไปจะนำไปสู่การอธิบายที่ไม่เพียงพอเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงในข้อมูลสเปกตรัมและความเข้มข้น (“under fitting”) มีเพียงความสัมพันธ์เพียงเล็กน้อย ระหว่างสองชุดข้อมูลและผลจากการวิเคราะห์จากแบบจำลองนี้จะไม่เพียงพอ ถ้าเลือกแพคเตอร์จำนวนมากเกินไปแบบจำลองจะพยายามที่จะคิดรวมแม้การเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดในชุดข้อมูล เช่นสัญญาณรบกวนในสเปกตรัม (“over fitting”) วิธีนี้ข้อมูลสเปกตรัมที่ไม่เกี่ยวข้องกับตัวอย่างจะถูกรวมอยู่ในแบบจำลอง แบบจำลองเหล่านี้จะมีความผิดพลาดของผลการวิเคราะห์ ดังนั้นทุก ๆ แบบจำลอง PLS มีจำนวนแพคเตอร์ที่เหมาะสมซึ่งรับประกันว่ามีความผิดพลาดน้อยที่สุดที่เป็นไปได้ในการวิเคราะห์

มีแนวทางหลายอย่างนำไปสู่การหาจำนวนแพคเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลองบางอย่าง เป็นค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดของการทำนาย (RMSECV ของการพิสูจน์แบบไขว้หรือ RMSEP ของการพิสูจน์แบบชุดทดสอบ) ต้องมีค่าต่ำสุดจึงจะได้จำนวนแพคเตอร์ที่เหมาะสม ในทางตรงข้ามค่าของสัมประสิทธิ์ของการพิจารณา  $R^2$  มีค่าสูงสุด ดังนั้นจำนวนแพคเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลองสามารถหาได้อย่างง่ายดาย: ขั้นที่ 1 คำนวณค่า  $R^2$  และค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของการทำนาย จากนั้นพล็อตค่าเหล่านี้ โดยให้แกนนอนเป็นจำนวนแพคเตอร์ จำนวนแพคเตอร์ที่เหมาะสมเมื่อมีค่าตามที่กำลังกล่าวมามีค่าที่เหมาะสม (น้อยสุด) และ/หรือจะไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อมีจำนวนแพคเตอร์สูงขึ้น ถ้ามีจำนวนแพคเตอร์ที่มากและได้ผลการทำนายที่ดีเหมือน ๆ กับที่มีจำนวนแพคเตอร์น้อย จะแนะนำให้เลือกแบบจำลองที่มีจำนวนแพคเตอร์น้อยสุด

ข้อจำกัด : การพิสูจน์วิธีการเป็นไปได้เฉพาะการใช้สเปกตรัมของชุดตัวอย่างที่เป็นอิสระ นั่นคือสเปกตรัมต้องไม่เป็นส่วนหนึ่งของชุดข้อมูลคาลิเบรชัน ซึ่งถ้าเป็นการพิสูจน์แบบไขว้ตัวอย่างทั้งหมดที่ถูกวัดแต่ละตัวอย่างจะถูกดึงออกจากชุดคาลิเบรชัน “leave-out spectra” ในกรณีของการพิสูจน์แบบชุดทดสอบตัวอย่างใหม่จะถูกวัดเพื่อเป็นชุดทดสอบ

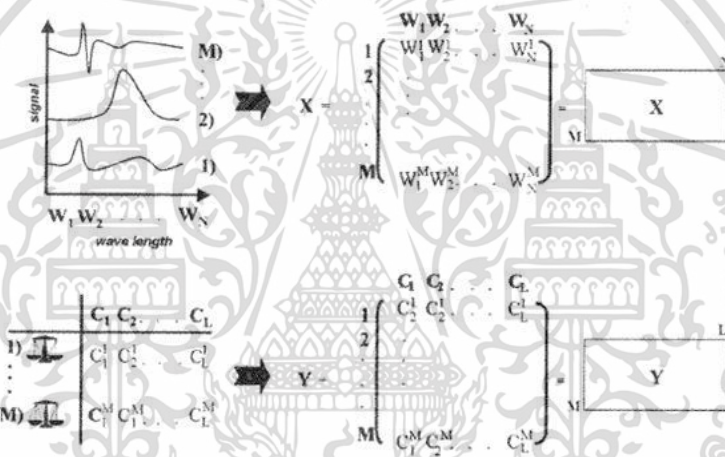
### 2.9.1 การสร้างสมการโดยวิธี partial least square Regression (PLS-Regression) [18]

การเปรียบเทียบวิธีการทางเคมิตริกที่ใช้ในเคมิตริกสามารถพบได้ในอัลกอริทึมของ PLS ถูกสร้างขึ้นเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้มากที่สุด ดังนั้นจะอธิบายวิธีนี้เท่านั้นเนื่องจากขอบเขตและความซับซ้อนทางคณิตศาสตร์ของคำอธิบายทั้งหมดจะไม่ได้แสดงไว้เพื่อที่จะทำ PLS-Regression ของระบบใด ๆ ข้อมูลของสเปกตรัมของสารต้องถูกเปรียบเทียบกับข้อมูลความเข้มข้นของสารนั้น การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นทั้งในโครงสร้างข้อมูลทั้งสองต้องได้รับการยอมรับและมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและ

กัน สำหรับวัตถุประสงค์นี้จำเป็นต้องวัดตัวอย่างจำนวนมากสำหรับการแสดงผลทางคณิตศาสตร์ของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงทั้งในชุดข้อมูลทั้งสองจะต้องเขียนเมทริกซ์ของข้อมูล (รูปที่ 2.9) และไอเกนเวกเตอร์ของข้อมูลเหล่านั้นจะถูกสร้างขึ้น ไอเกนเวกเตอร์เหล่านี้เรียกว่าแฟคเตอร์หรือองค์ประกอบเบื้องต้น ซึ่งสามารถใช้สำหรับการทำนายความเข้มข้นแทนสเปกตรัมดั้งเดิมเนื่องจากมันมีข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งหมดของระบบที่ศึกษา การลดตัวแปรนี้มีประโยชน์อย่างชัดเจน ข้อมูลที่เกี่ยวข้องเชิงการวิเคราะห์จากชุดข้อมูลขนาดใหญ่ได้ถูกบีบอัดเป็นแฟคเตอร์ซึ่งจะถูกใช้สำหรับการคาลิเบรชัน

ในกรณีของคาลิเบรชัน PLS ไอเกนเวกเตอร์จะถูกเก็บโดยเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยแฟคเตอร์ แรกบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงหลักของสเปกตรัม มีความสำคัญที่มากที่สุดสำหรับแบบจำลองคาลิเบรชัน และเมื่อจำนวนแฟคเตอร์เพิ่มขึ้นแม้แต่การเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในโครงสร้างข้อมูลก็ถูกบ่งชี้ ซึ่งมีผลสำคัญที่ตามมาของการประเมินสเปกตรัม นั่นคือจำนวนแฟคเตอร์ที่น้อยลงส่วนใหญ่จะบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญของโครงสร้างของสเปกตรัม ขณะที่จำนวนแฟคเตอร์ที่สูงขึ้นส่วนใหญ่จะแสดงถึงส่วนที่เป็นสัญญาณรบกวนของสเปกตรัม



รูปที่ 2.9 ข้อมูลสเปกตรัมและความเข้มข้นในรูปแบบเมทริกซ์

ในตัวอย่างนี้มีตัวอย่างคาลิเบรชัน  $M$  ตัวอย่างที่วัดและ  $N$  ความยาวคลื่นทั้งหมดของผลสเปกตรัมจะถูกเขียนในแถว  $(M, N)$  เมทริกซ์ เมทริกซ์นี้จะเทียบเท่ากับข้อมูลสเปกตรัมเมทริกซ์  $X$  ในทางเดียวกันค่าองค์ประกอบทั้งหมด  $L$  จะเขียนลงไปใน  $(M, L)$  เมทริกซ์ของข้อมูลความเข้มข้น

การเลือกจำนวนแฟคเตอร์ที่เหมาะสมเป็นความสำคัญกลางสำหรับคุณภาพของแบบจำลอง PLS ถ้ามีจำนวนแฟคเตอร์น้อยเกินไปโครงสร้างสเปกตรัมจะไม่ถูกรับรู้เพียงพอ Regression ที่เกี่ยวข้องจึงไม่สามารถนำไปสู่ผลการวิเคราะห์ที่น่าพอใจ นั่นคือแบบจำลอง “underfitting” ถ้าจำนวนแฟคเตอร์มีมาก การวิเคราะห์ก็จะไม่ดี เนื่องจากมีสัญญาณรบกวนเชิงสเปกตรัมหลายส่วนมากเกินไป (Overfitting)

ใน PLS Regression ข้อมูลสเปกตรัมเมทริกซ์  $X$  และข้อมูลความเข้มข้นเมทริกซ์  $Y$  ถูกลดเหลือเพียง 2-3 แฟคเตอร์ เมทริกซ์ดั้งเดิมจึงแสดงเป็นผลรวมของ  $A$  ผลคูณของสิ่งที่เรียกว่า scores vector  $t_i$  กับ loading vector  $p_i$  หรือ  $q_i$  ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลสเปกตรัม:

$$X = t_1p_1^T + t_2p_2^T + t_3p_3^T + \dots + t_Rp_R^T + F$$

ข้อมูลความเข้มข้น:

$$Y = t_1q_1^T + t_2q_2^T + t_3q_3^T + \dots + t_Rq_R^T + G$$

ค่า R แสดงถึง จำนวน factor และ T หมายถึง Transpose ของแต่ละ loading vector F และ G คือ เมทริกซ์ของ error (Residual metrics) ของ ข้อมูลสเปกตรัมและข้อมูลความเข้มข้น ตามลำดับ ค่าเหล่านี้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของข้อมูล ซึ่งไม่ได้คำนึงในการสร้างแฟคเตอร์ (factorization)

โดยทั่วไป จำนวนสำหรับค่าการดูดซับที่ได้จากการวัดจะมากกว่าตัวเลขขององค์ประกอบที่แสดงให้เห็น ดังนั้นระบบนี้คือ “over-determined” และจึงสามารถไม่เพียงแต่จะสร้างความสัมพันธ์กับจุดของข้อมูลสเปกตรัมจุดเดียว (เช่น จุดสูงสุดของการคาลิเบรชันแบบตัวแปรเดียว) แต่ยังมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างข้อมูลสเปกตรัมทั้งหมด ข้อมูลชุดคาลิเบรชันด้วยวิธีนี้จะมีค่าข้อมูลที่ไ้มากกว่าการคาลิเบรชันด้วยวิธีตัวแปรเดียวมาก นอกจากนี้ยังมีความเป็นไปได้ที่จะหาตัวแปรที่ผิดปกติ ในระหว่างการวิเคราะห์และสามารถตัดสินใจได้ว่าองค์ประกอบของสิ่งรบกวนที่ไม่รู้ค่า ซึ่งไม่มีความสัมพันธ์กับชุดของข้อมูล ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมตรงข้ามกับการคาลิเบรชันแบบตัวแปรเดียว เป็นไปได้ที่จะใช้ข้อมูลเชิงสเปกตรัมของด้านข้างของพีก ซึ่งสามารถวิเคราะห์สเปกตรัมได้โดยโครงสร้างของสเปกตรัมเอง ด้วยเหตุนี้แถบการดูดซับที่ซ้อนทับกัน (overlapping bands) สามารถที่จะแยกออกจากกันได้ในสเปกตรัม ราบใดที่มีความแปรปรวนในรูปร่างสเปกตรัมน้อย ในทำนองเดียวกันสามารถรับรู้ถึงโครงสร้างของสเปกตรัมบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนมากได้ ซึ่งนำไปสู่การปรับปรุงการทำนายความเข้มข้นสารให้แม่นยำ

ใน PLS Regression เบื้องต้นข้อมูลจะถูกทำให้เป็นองค์ประกอบหลัก (Principal Components) แล้วคำนวณหา scores vectors จากข้อมูลสเปกตรัมและข้อมูลความเข้มข้น ซึ่งวิธีการจะครอบคลุม (Robust) ต่อความไม่ถูกต้องของค่าการวัดค่าอ้างอิงและการวัดค่าตัวอย่าง

ความสำคัญพิเศษของ PLS Regression สำหรับการวิเคราะห์ที่คุณสมบัติทางเคมี เกิดจากการสร้างแฟคเตอร์ (Factorization) ของข้อมูล X และ Y โดยไม่เป็นอิสระต่อกันและเกิดขึ้นพร้อมกัน เมื่อประเมินสเปกตรัมของการดูดซับสามารถที่จะประมาณว่าการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลสเปกตรัมมีต้นกำเนิดจากความแปรปรวนของความเข้มข้นที่สอดคล้องกัน นั่นหมายความว่า การเปลี่ยนแปลงของข้อมูลสเปกตรัมควรจะไปสู่การเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกันของสเปกตรัมเพราะฉะนั้น scores vectors ของเมทริกซ์ของข้อมูลความเข้มข้นและข้อมูลสเปกตรัมควรจะเหมือนกัน อย่างไรก็ตามในกรณีของตัวอย่างจริง ถ้าเมทริกซ์นั้นถูกลดขนาดลงโดยวิธีการทางคณิตศาสตร์อย่างบริสุทธิ์ (นั่นคือเป็นอิสระ) ค่าความผิดพลาดในการเตรียมตัวอย่างและในวิธีอ้างอิงที่ใช้ในการวัดค่าความเข้มข้นและการเกิดดริฟท์ (Drift) ของเครื่องวัดและสัญญาณรบกวนในสเปกตรัมจะก่อให้เกิดความแตกต่างของ

scores vectors ดังนั้นในวิธี PLS จะสมมุติว่า scores vectors ที่เหมือนกัน (Identical) สำหรับชุดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลทั้งสองที่จำนวนแพคเตอร์ใด ๆ ซึ่งจะถูกเลือกเมื่อค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าเริ่มต้นมีค่าน้อยที่สุด เป็นการประนีประนอมระหว่างความเหมาะสมของแพคเตอร์ที่ใช้ในการอธิบายตัวอย่างและความสัมพันธ์ที่เพิ่มขึ้นในระหว่างชุดข้อมูล

อัลกอริทึมที่มีชื่อว่า PLS1 เพียงแค่นำค่าความเข้มข้นของเพียงหนึ่งองค์ประกอบทางเคมีมาพิจารณาข้อมูลอื่น ๆ ทั้งหมดจะถูกตีความว่าเป็นสิ่งรบกวน นั่นคือ Y-เมทริกซ์ของข้อมูลความเข้มข้นเป็นเวกเตอร์เดียว ส่วนในอัลกอริทึม PLS2 ความเข้มข้นขององค์ประกอบทุกอย่างในระบบจะถูกนำมาพิจารณาในการคาลิเบรชัน สำหรับการทำนายตัวอย่างใหม่แบบจำลองนี้นำไปสู่การวิเคราะห์องค์ประกอบทุกอย่างในเวลาเดียวกัน ตรงข้ามการคาลิเบรชันแบบ PLS1 ข้อมูลทั้งหมดของเมทริกซ์ความเข้มข้นจะถูกนำสัมพันธ์กันกับข้อมูลสเปกตรัมเมทริกซ์ โดยทั่วไปแล้ว การทำนายแบบ PLS2 จะให้ผลลัพธ์ที่ไม่ดีกว่าการทำนายแบบ PLS1 จากเหตุผลดังกล่าวโดยทั่วไปจึงแนะนำให้ใช้อัลกอริทึม PLS1 ในการวิเคราะห์ระบบที่มีหลายองค์ประกอบ อัลกอริทึมแบบนี้ก็สามารถถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างประสบความสำเร็จในทุกองค์ประกอบ ดังนั้นแบบจำลองที่สำคัญสำหรับทุกองค์ประกอบที่ต้องการจะถูกสร้างขึ้นเช่นเดียวกับแบบอัลกอริทึม PLS2



## 2.10 วิธีการทดสอบสมการ (Validation Test)

เมื่อได้สมการ Calibration แล้วต้องนำสมการที่ได้มาทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพของสมการว่าสามารถใช้ในการประเมินค่าได้แม่นยำมากน้อยเพียงใดวิธีที่นิยมใช้ในเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี มี 2 วิธี คือ

### 2.10.1 Full cross validation

เป็นการทดสอบภายในกลุ่มตัวอย่าง (internal validation) ซึ่งเหมาะกับการทดสอบแบบจำลองที่มีตัวอย่างน้อยกว่า 50 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่นำมาทดสอบสมการ คือ ตัวอย่างชุดเดียวกับที่ใช้สร้างสมการทำนายค่าทางเคมี โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้ ขั้นตอนแรกคือตัดตัวอย่างที่ 1 ออกจากชุดตัวอย่างที่ใช้สร้างสมการทำนายค่าทางเคมีจากนั้นใช้ตัวอย่างที่เหลือทำการคำนวณหาสมการ เมื่อได้สมการแล้วจึงนำตัวอย่างที่ 1 มาทดสอบสมการ ขั้นตอนต่อไปให้นำตัวอย่างที่ 1 กลับคืน และตัดตัวอย่างที่ 2 ออกจากชุดตัวอย่าง แล้วจึงสร้างสมการทำนายค่าทางเคมี นำสมการที่ได้การทำนายของตัวอย่างที่ 2 ทำขั้นตอนข้างต้นซ้ำจนกระทั่งหาค่าทางเคมีของตัวอย่างครบทั้งชุด ดังนั้นตัวอย่างแต่ละความเข้มข้นจะถูกตัดออกจากชุดตัวอย่างที่ 1 ครั้งเท่ากัน โดยวัดผลจากการดูค่า RMSECV (Root mean square error of cross validation) เป็นการวัดค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการประเมินโดยใช้สมการ Calibration กับค่าที่วิเคราะห์ได้ (Measured value or true value) ว่ามีความแม่นยำในการทำนายมากน้อยเพียงใด

### 2.10.2 Test set validation

เป็นการทดสอบกลุ่มตัวอย่างที่เหมาะสมกับตัวอย่างมากกว่า 50 ตัวอย่างโดยตัวอย่างที่ทดสอบจะถูกแบ่งเป็น 70 เปอร์เซ็นต์ในการสร้างแบบจำลองทำนาย (Calibration) และอีก 30 เปอร์เซ็นต์จะถูกนำไปทำนายแบบจำลอง (Validation) โดยค่าทางสถิติที่ใช้วัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง (Calibration) คือ ค่า RMSEE (Root Mean Square Error of Estimation) และค่าทางสถิติที่ใช้วัดประสิทธิภาพในการทำนายแบบจำลอง (Validation) ได้แก่ค่า RMSEP (Root Mean Square Error of Prediction) , RPD , Bias และ  $R^2$  ถ้าผลทำนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับผลที่อ้างอิงและให้ค่าทางสถิติที่ดีแสดงว่า สมการทำนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมีนั้นยอมรับได้และสามารถนำไปใช้ทำนายปริมาณตัวอย่าง ต่อไปได้อย่างถูกต้อง

## 2.11 ค่าทางสถิติที่ใช้ในการพิจารณาการสร้างสมการ

### 2.11.1 สัมประสิทธิ์การพิจารณา (Coefficient of determination, $R^2$ )

แสดงสัดส่วนของความแปรปรวนในข้อมูล X ที่สามารถอธิบายโดยความแปรปรวนในข้อมูล Y ค่าของ  $R^2$  จะเป็นบวกเสมอ เช่น ถ้า  $R = 0.97$  แล้ว  $R^2 = 0.941$  หมายความว่า 94.1% ของความแปรปรวนในข้อมูล X และ 5.9% ของความแปรปรวนในข้อมูล X เกิดขึ้นจากตัวแปรอื่น เช่น การเตรียมตัวอย่าง วิธีการทดลองอ้างอิง และอื่น ๆ ค่า  $R^2$  เป็นบวกเสมอโดยไม่คำนึงถึงเครื่องหมายของ R ในทางปฏิบัติ  $R^2$  ให้ข้อมูลมากกว่า R และใช้กันมากกว่า R การแปลความหมายของค่า R และ  $R^2$  แสดงดังตารางที่ 1  $R^2$  คำนวณได้จากสมการที่ 2.8

$$R^2 = \left[ 1 - \frac{\sum_1^n (Y_i^{meas} - Y_i^{pred})^2}{\sum_1^n (Y_i^{meas} - \bar{Y})^2} \right] \times 100 \quad (2.8)$$

เมื่อ  $Y^{meas}$  คือ ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมี

$Y^{pred}$  คือ ค่าที่ได้จากการทำนายด้วย NIRS

n คือ จำนวนตัวอย่าง

ตารางที่ 2.2 การแปลความหมายของค่า R และ  $R^2$  (ดัดแปลงจาก Williams. 2007)

R (%)	$R^2$ (%)	ความหมาย
ถึง +/-50	ถึง 25	ไม่สามารถใช้ใน NIR calibration
+/-51-70	26-49	เป็นความสัมพันธ์ที่ไม่ดี ควรหาเหตุผล
+/-71-80	50-64	เหมาะสม สำหรับการคัดเลือก (แบ่งกลุ่ม) อย่างหยาบ ๆ
+/-81-90	66-81	เหมาะสม สำหรับการคัดเลือก (แบ่งกลุ่ม) และการประมาณค่าอย่างหยาบ ๆ
+/-91-95	83-90	ใช้ด้วยความระมัดระวังในการประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่ รวมถึงการวิจัย
+/-96-98	92-96	ใช้ในการประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่ รวมถึงการประกันคุณภาพ
+/-99+	98+	ดีเยี่ยม ใช้ได้กับทุกการประยุกต์ใช้

### 2.11.2 RMSECV (Root Mean Squared Error of Cross Validation)

Cross-validation สามารถใช้ตัวอย่างชุดเดียวกันกับที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อการทำการพิสูจน์แบบจำลอง (Validation) สิ่งนี้ทำโดยนำตัวอย่างออกหนึ่งตัวอย่างหรือกลุ่มของหลายตัวอย่างจากชุดสร้างแบบจำลองและสร้างแบบจำลองด้วยตัวอย่างที่เหลืออยู่ แล้วทำนายตัวอย่างที่ถูกกำจัดออกไปและบันทึกค่าความผิดพลาด แล้วนำตัวอย่างที่ถูกกำจัดออกไปนั้นกลับมาแล้วนำตัวอย่างอื่นออกไปและทำซ้ำกระบวนการจนกระทั่งตัวอย่างทั้งหมดถูกใช้ในการพัฒนาแบบจำลองและทำนาย จะไม่มีตัวอย่างที่ถูกทำนายถูกใช้ในการพัฒนาแบบจำลองซึ่งได้ใช้ในการทำนาย ถ้าเอาออกเพียงทีละเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 ตัวอย่าง จะเรียกว่า “Full” หรือ “One-out” cross-validation ถ้านำชุดตัวอย่าง (จำนวนหลายตัวอย่าง) ออกจะเรียกว่า “Segmented” cross-validation ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแตกต่างระหว่างค่าที่ถูกทำนายโดยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีและค่าจากการวัดด้วยวิธีอ้างอิงของชุดสร้างแบบจำลอง คือ RMSECV วิธีพิสูจน์นี้เหมาะที่จะใช้กับข้อมูลที่มีจำนวนตัวอย่างน้อย ๆ เช่น น้อยกว่า 50 ตัวอย่าง ค่า RMSECV คำนวณได้จากสมการ 2.9

$$\text{RMSECV} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n (Y_i^{\text{meas}} - Y_i^{\text{pred}})^2} \quad (2.9)$$

### 2.11.3 RMSEP (Root Mean Square Error of Prediction)

แสดงประสิทธิภาพในการทำนายแบบจำลองของการสร้างแบบจำลองด้วยวิธีแบบ Test set validation มีสูตรดังสมการ 2.10

$$\text{RMSEP} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n (Y_i^{\text{meas}} - Y_i^{\text{pred}})^2} \quad (2.10)$$

### 2.11.4 RMSEE (Root Mean Square Error of Estimation)

แสดงประสิทธิภาพในการสร้างแบบจำลอง (Calibration) ของทั้งวิธี Full cross validation และวิธีแบบ Test set validation

### 2.11.5 RPD (Ratio of Prediction to Deviation)

เป็นส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) กับอัตราส่วนของค่าความผิดพลาดมาตรฐานการทำนาย (SEP) ของข้อมูลของค่าอ้างอิงของชุดทำนายมีสูตรดังสมการ 2.11 ค่า SEP ควรต่ำกว่า SD มาก ๆ ซึ่งอัตราส่วนควรเท่ากับ 5 หรือมากกว่า บางกรณีตัวอย่างมีความสม่ำเสมอมาก ค่า SD จึงไม่สูง ซึ่ง RPD อาจจะไม่สูง ดังนั้น RPD เท่ากับ 2.5-3.0 ก็อาจแสดงถึงการวิเคราะห์ที่แม่นยำถ้า SD มีค่าเพียง 0.4-0.5 ดังตารางที่ 2.3

$$\text{RPD} = \frac{\text{SD}_{\text{validation}}}{\text{SEP}} \quad (2.11)$$

### 2.11.6 ความผิดพลาด (Bias)

เมื่อทำนายค่าตัวแปรที่ต้องการของข้อมูลในชุดตัวอย่างทดสอบแบบจำลอง (Validation set) ค่า Bias หมายถึง ความแตกต่างระหว่างค่าจากการวัดด้วยวิธีอ้างอิงและค่าที่ทำนายโดยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีและเป็นการวัดความแม่นยำโดยรวมของแบบจำลอง (Calibration model) ในโลกความเป็นจริงของทางการค้าและอุตสาหกรรม Bias เป็นหนึ่งในสิ่งที่สำคัญมากในทางสถิติ Bias สามารถเกิดขึ้นได้แม้เมื่อค่าสถิติสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์และ SEP ที่แสดงว่าแบบจำลองนั้นดีเยี่ยม

## 2.11.7 RER (Ratio of the SEP to the range)

อัตราส่วนของช่วงกว้างของข้อมูลอ้างอิงของชุดทำนาย ต่อ SEP ค่า RER ควรจะสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้แสดงประสิทธิภาพดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การอธิบายผลของค่า RPD และ RER (Williams. 2007)

RPD	RER	ความหมาย	การประยุกต์ใช้
0.0-2.3	ถึง 6	ไม่ดีเลย	ไม่แนะนำ
2.4-3.0	7-12	ไม่ดี	ใช้คัดเลือก (แบ่งกลุ่ม)แบบหยาบ ๆ
3.1-4.9	13-20	พอใช้	ใช้คัดเลือก (แบ่งกลุ่ม) ได้
5.0-6.4	21-30	ดี	ใช้ควบคุมคุณภาพได้
6.5-8.0	31-40	ดีมาก	ใช้ควบคุมกระบวนการได้
8.1+	41+	ดีเยี่ยม	ได้ทุกการประยุกต์ใช้

## 2.11.8 ประโยชน์ของเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (NIR)

Osborne et al [19] ได้กล่าวว่าเครื่องมือแต่ละประเภทต่างก็มีข้อจำกัดในการใช้งาน แต่เครื่อง NIR มีประโยชน์ และข้อดีมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ทางเคมี หรือการวิเคราะห์ด้วยวิธีอื่น สำหรับการนำเครื่อง NIR ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมีประโยชน์มากมาย เช่น

1. ง่ายต่อการเตรียมตัวอย่าง ไม่จำเป็นต้องชั่งตัวอย่างก่อนนำมาวัดค่า
2. ใช้เวลารวดเร็วในการวัด
3. การตรวจสอบเป็นแบบไม่ทำลาย ทำให้ตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบสามารถจำหน่าย ส่งออก หรือบริโภคต่อได้ เป็นการประหยัดต้นทุนของผลิตภัณฑ์อีกทางหนึ่ง
4. ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้ลดต้นทุนในการดูแลรักษาสภาพแวดล้อม เมื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี
5. สะดวกต่อการใช้งาน เนื่องจากในการปฏิบัติไม่จำเป็นต้องใช้ผู้ที่มีประสบการณ์ หรือต้องได้รับการฝึกฝนโดยเฉพาะ สามารถปฏิบัติตามคู่มือการใช้งานได้ทันที
6. ไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมี และเครื่องแก้ว ทำให้สามารถลดต้นทุนในเรื่องสารเคมี และอุปกรณ์เครื่องแก้ว
7. เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับนำไปควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นประโยชน์ เช่นเดียวกับกับอุตสาหกรรมอื่นที่สามารถประยุกต์ใช้เทคนิคนี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.12 การทำ Repeatability และ Reproducibility [20]

Repeatability (ความสามารถในการทวนซ้ำ) มีนิยามคือ ความสามารถในการทวนซ้ำของเครื่องมือวัด ซึ่งแสดงถึงระดับความถูกต้องใกล้เคียงกันของผลการวัดที่ได้จากการวัดหลาย ๆ ครั้ง ในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน โดยการวัดทั้งหมดต้องอยู่ภายใต้วิธีการวัด ผู้ทำการวัด และสภาวะแวดล้อมเดียวกัน หรือการแสดงถึงความเที่ยงตรง (precision) ของเครื่องมือวัด

Reproducibility (ความสามารถในการทำซ้ำ) มีนิยามคือ ระดับความใกล้เคียงของค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัด (instrument) ในเวลาที่แตกต่างกัน หรือค่าความสามารถในการแสดงค่าซ้ำ โดยการวัดครั้งหนึ่ง ๆ สามารถเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขดังต่อไปนี้ได้ เช่น วิธีการวัด ผู้วัด รวมถึงสภาวะแวดล้อม ซึ่งค่า reproducibility เกี่ยวข้องกับค่าความเที่ยงตรง (precision) ของเครื่องมือวัด และแสดงความสัมพันธ์กับคุณลักษณะการเลื่อน (drift) ของเครื่องมือวัด

ซึ่งในการวิเคราะห์ค่า Repeatability และค่า Reproducibility ของเครื่อง Bomb calorimeter เป็นการวัดเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองและความถูกต้องของกระบวนการใช้เครื่องมือของผู้ทำการทดลองและการวิเคราะห์ค่า Repeatability และ Reproducibility ของเครื่อง Near Infrared Spectrometer เป็นการวัดเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องแม่นยำในการสแกนและความเป็นเนื้อเดียวกันของวัสดุ

โดยสามารถวัดได้จากค่า  $R_{\max}^2$  ค่าที่ได้จะมีค่าตั้งแต่ 0 - 1 โดยค่า  $R_{\max}^2$  ที่ดีควรมีค่าเข้าใกล้ 1 คำนวณได้จากสูตรดังสมการที่ 2.12

$$R_{\max}^2 = \frac{SD_{\text{total}}^2 - SD_{\text{difference}}^2}{SD_{\text{total}}^2} \quad (2.12)$$

เมื่อ  $SD_{\text{total}}^2$  คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างทั้งหมด

$SD_{\text{difference}}^2$  คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่าง

## 2.13 การทดสอบ Blind Sample

การทดสอบ Blind Sample หมายถึง การนำซิมพลที่ผู้วิจัยไม่ทราบค่า มาทำการวิเคราะห์ค่าความร้อนด้วยแบบจำลองที่สร้างขึ้น และเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงของซิมพลนั้น ๆ ว่ามีความแตกต่างมากน้อยเพียงใดและสามารถบ่งบอกถึงความแม่นยำในการทำนายค่าความร้อนของแบบจำลองได้อีกด้วย

## 2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.14.1 Fast analysis of high heating value and elemental compositions of sorghum biomass using near-infrared spectroscopy [21]

Near-infrared spectroscopy (NIR) เป็นเทคโนโลยีการตรวจจับที่มีประสิทธิภาพ และ ใช้ต้นทุนต่ำ ที่มีศักยภาพในการตรวจสอบลักษณะทางชีวมวลที่แม่นยำ การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลอง NIR ร่วมกับ Chemometrics เพื่อประเมินค่าความร้อนสูง (HHV) และองค์ประกอบพื้นฐานทางชีวมวลของข้าวฟ่าง โดย Partial least squares (PLS) regression and principle component regression (PCR) ถูกนำมาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองการสอบเทียบด้วยช่วงความยาวคลื่นกว้างและแคบ โดยทั่วไปโมเดลในย่านที่มีความยาวคลื่นแคบ จะทำให้ค่าของการสอบเทียบและการทำนายที่แม่นยำยิ่งขึ้น แบบจำลองเพื่อทำนายค่าความร้อนสูง (HHV), คาร์บอน, ไฮโดรเจน, ไนโตรเจน, ซัลเฟอร์และปริมาณออกซิเจนของชีวมวลของข้าวฟ่างได้รับการพัฒนาอย่างดี โดยทำนายได้ค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.96, 0.96, 0.87, 0.86, 0.84, 0.84 และ 0.83 สำหรับชุดตัวอย่าง ตรวจสอบตามลำดับ ค่าความร้อนสูง (HHV) และแบบจำลองปริมาณคาร์บอนมีความแม่นยำในการทำนายที่ดีเยี่ยม ในขณะที่แบบจำลองไฮโดรเจน, ไนโตรเจน, ซัลเฟอร์และออกซิเจนสามารถให้การทำนายที่เชื่อถือได้ โดยแบบจำลองเหล่านี้ให้ข้อมูลเชิงลึกที่ดีเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างพันธะเคมีกับค่าความร้อนสูง (HHV) และองค์ประกอบพื้นฐานทางชีวมวลของข้าวฟ่างทำให้สามารถตรวจสอบค่าความร้อนสูง (HHV) ได้อย่างรวดเร็ว แม่นยำและใช้ต้นทุนต่ำ (จาก 200 USD เป็น 1 USD) และช่วยลดเวลา (จาก 100 นาทีเป็น 1 นาที)

### 2.14.2 Prediction of Higher Heating Value, Lower Heating Value and Ash Content of rice Husk Using FT-NIR Spectroscopy [22]

แคลบเป็นของเสียที่สำคัญที่ใช้เป็นพลังงานหมุนเวียน การเจริญเติบโตของการใช้แคลบเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้านำไปสู่การตรวจสอบคุณสมบัติของมัน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำนายค่าความร้อนที่สูง (HHV) ค่าความร้อนต่ำ (LHV) และปริมาณเถ้า (Ash) ของแคลบโดยใช้ฟูเรียร์ทรานซฟอร์มเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-NIR) ตัวอย่างแคลบที่ใช้ในการทดลองนี้รวบรวมจากพื้นที่ในประเทศไทย เพื่อปรับปรุงโมเดลและรับโมเดลที่แข็งแกร่ง โมเดลถูกสร้างขึ้นโดยใช้ Partial least squares (PLS) และตรวจสอบโดยตัวอย่างที่ไม่รู้จักที่รวบรวมมาจากต่างพื้นที่เพื่อทำการสอบเทียบค่าทำนายของ HHV, LHV และ Ash ได้ค่า Root mean square error of cross validation (RMSECV) เท่ากับ 119 J/g, 119 J/g, และ 0.859 %wb ตามลำดับ โมเดลการสอบเทียบสามารถทำนายตัวอย่างที่ไม่รู้จักโดยได้ค่า Relative standard error of prediction (RSEP) ที่ 1.104%, 1.159% และ 5.975% ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีของโมเดล NIR สำหรับการทำนายในอนาคต ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าแบบจำลอง HHV, LHV และ Ash ควรจะสามารถประเมินคุณสมบัติของ

ตัวอย่างแกลบและแสดงให้เห็นว่า NIR เป็นวิธีที่น่าเชื่อถือและเหมาะสมสำหรับการเผาไหม้โดยไม่ทำลายวัสดุ

### 2.14.3 Relationships between Heating Value and Lignin, Moisture, Ash and Extractive Contents of Biomass Fuels [23]

ค่าเชื้อเพลิงของชีวมวลนั้นส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับค่าความร้อน และโดยทั่วไปแล้วเชื่อว่าเป็นหนึ่งในพารามิเตอร์ที่เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงที่ต่างชนิดกัน ความชื้นในชีวมวลจะทำให้ค่าความร้อนลดลง ปริมาณของเถ้าและสารสกัดเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อค่าความร้อน การที่พืชมีปริมาณเถ้าสูงอาจส่งผลให้เชื้อเพลิงจะเป็นที่ต้องการน้อยลง แต่ว่าการที่มีปริมาณสารแทรกสูงจะช่วยเพิ่มความต้องการให้สูงขึ้นได้ ปริมาณของไฮโดรเจนของเชื้อเพลิงและปริมาณลิกโนเซลลูโลสไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความร้อนสูง (HHV) แต่สารลิกนินมีความสัมพันธ์กับค่าความร้อนสูง (HHV) ของตัวอย่างเชื้อเพลิงลิกโนเซลลูโลส โดยค่าความร้อนสูง (HHV) ของเชื้อเพลิงสามารถคำนวณได้โดยใช้ปริมาณลิกนินที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีอย่างง่าย โดยการที่จะหาค่าความร้อนสูงของพืชนั้นจำเป็นต้องให้ผู้มีความเชี่ยวชาญในการหา โดยข้อมูลการวิเคราะห์ทางเคมีสามารถทำได้ค่อนข้างง่ายถ้าเรามีอุปกรณ์ที่พร้อมในห้องปฏิบัติการ

### 2.14.4 Chemical composition of small diameter wild Acacia Mangium Species [24]

จากการศึกษาองค์ประกอบของกระถินเทพา ซึ่งเป็นพืชที่ได้รับความนิยมในการปลูกอย่างกว้างขวางในมาเลเซียโดยสามารถได้รับประโยชน์จากการปลูกป่าและยังสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ กระถินเทพาที่ได้นำมาศึกษาจากเมือง Jeli ห่างจาก University Malaysia Kelantan (UMK) 10 กิโลเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5-8 เซนติเมตร แบ่งเป็น 3 ท่อน คือท่อนบน ท่อนกลาง และท่อนล่าง ท่อนละ 2 ส่วน คือ เนื้อไม้ และ เปลือกไม้ โดยนำมาใช้วิธีการทางเคมีโดยใช้แอลกอฮอล์หาสารประกอบในกระถินเทพาได้ดังนี้ เนื้อไม้ท่อนบนมีองค์ประกอบ  $\alpha$ -cellulose 47.00% Hemicellulose 35.22% และ lignin 21.07% เปลือกไม้ท่อนบนมี  $\alpha$ -cellulose 46.09% Hemicellulose 11.27% และ Lignin 31.18% เนื้อไม้ท่อนกลางมีองค์ประกอบ  $\alpha$ -cellulose 48.16% Hemicellulose 35.79% และ Lignin 21.06% เปลือกไม้มี  $\alpha$ -cellulose 47.24% Hemicellulose 15.53% และ Lignin 28.80% และในเนื้อไม้ท่อนล่างมีองค์ประกอบดังนี้  $\alpha$ -cellulose 49.84% Hemicellulose 36.14% และ Lignin 17.23% เปลือกไม้  $\alpha$ -cellulose 48.25% Hemicellulose 20.63% และ Lignin 22.68% จากข้อมูลที่ศึกษามาพบว่า  $\alpha$ -cellulose และ Hemicellulose มากที่สุดอยู่ที่เนื้อไม้ในท่อนบน และ Lignin มากที่สุดอยู่ที่เปลือกไม้ในท่อนล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3 วิธีการทดลอง

### 3.1 กระบวนการทำการทดลอง

1. การศึกษาเบื้องต้น
  - ทำการคัดเลือกพืชพลังงาน 10 ชนิด ได้แก่ สนประดิพัทธ์ สัก ยูคาลิปตัส ยางนา ยางพารา กะลามะพร้าว กะลาตาล ฝ้าย หลิว
  - กระบวนการวิเคราะห์ค่าความร้อน
  - การทำงานของเครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA) , Near Infrared Spectrometer (NIR) และ Bomb Calorimeter
2. วางแผนการทดลอง
3. หาแหล่งปลูกของพืชพลังงานทั้ง 10 ชนิด
4. เตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์
  - เครื่องวัดสเปกตรัม FT-NIR Spectrometer (MPA, Bruker, Germany)
  - เครื่องวัดค่าความร้อนสูง Bomb calorimeter (C200, IKA, Germany)
  - เครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TG209F3 Tarsus, Netzsch, Germany)
  - ตู้อบไฟฟ้า รุ่น 30-1060
  - เครื่องชั่งความละเอียด 0.0001 รุ่น JS1203C, NewclassicMF
  - เครื่องอัดเม็ด (Pellet press)
5. ขั้นตอนการทดลอง
  - นำพืชพลังงานมาลดขนาดให้เหลือขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร
  - อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงและตั้งที่อุณหภูมิห้อง (อุณหภูมิ  $25 \pm 1$  องศาเซลเซียส) เพื่อทำการสมดุลความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
  - สแกนสเปกตรัมด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer (MPA, Bruker, Germany)
  - นำชีวมวลที่ผ่านการสแกนไปอัดเม็ด น้ำหนักเม็ดละ 0.5-0.6 กรัม
  - วิเคราะห์ค่าความร้อนสูงของพืชพลังงานโดยเครื่อง Bomb calorimeter (C200, IKA, Germany)
  - วิเคราะห์องค์ประกอบเชิงปริมาณของพืชพลังงานด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TG209F3 Tarsus, Netzsch, Germany)
6. สรุปผลการทดลองและเขียนรายงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดลอง

ตัวอย่างพืชพลังงานทั้ง 10 ชนิดที่ใช้ในการทดลอง คือ ยูคาลิปตัส เปลือกยูคาลิปตัส สน ประติพท์ กะลามะพร้าว กะลาตาล สัก ยางนา ยางพารา หลิว ซึ่งเป็นพืชพลังงานที่สามารถพบได้ในประเทศไทยทั่วทุกภูมิภาค โดยไม้ยูคาลิปตัส ไม้สนประติพท์ ไม้ยางนา ไม้ยางพารา ก้านฝ้ายและไม้หลิวที่นำมาใช้ในการทดลองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5-10 เซนติเมตร ความยาวแต่ละท่อนประมาณ 30 เซนติเมตรดังรูปที่ 3.1(ก) ไม้สักที่นำมาใช้จะเป็นขี้เลื่อยไม้สัก ส่วนกะลาตาลและกะลามะพร้าวจะเป็นวัสดุที่เหลือทิ้งทางการเกษตร หลังจากนั้นนำพืชตัวอย่างทั้งหมดมาลดขนาดด้วยเครื่องหั่นย่อยซากพืชปฏิพงค์ โดยนำเข้าเครื่องหั่นย่อยซากปฏิพงค์ 4 ครั้งเพื่อให้พืชตัวอย่างมีลักษณะเป็นเศษไม้ หลังจากนั้นนำไปร่อนด้วยตระแกรง mesh no.4 ดังรูปที่ 3.1(ข) จนได้พืชตัวอย่างที่มีขนาดน้อยกว่า 5 มิลลิเมตรดังรูปที่ 3.1(ค) แล้วนำพืชตัวอย่างที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงด้วยตู้อบไฟฟ้าและทำการสมดุลความชื้นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อหาปริมาณความชื้นเริ่มต้นของพืชตัวอย่าง หลังจากนั้นจะนำพืชตัวอย่างเก็บไว้ในถุงซิพพอยล์เพื่อเป็นการเก็บรักษาสภาพเริ่มต้นของตัวอย่าง และขั้นตอนการทดลองต่อไปคือการวัดค่าดูดกลืนคลีนด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ซึ่งในการทดลองนี้ใช้พืชตัวอย่าง 10 ชนิด ชนิดละ 10 ตัวอย่าง รวมเป็น 100 ตัวอย่าง หลังจากนั้นจะนำพืชตัวอย่างที่โดนลำแสงของคลีนเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีจากการสแกนบริเวณด้านใต้ถ้วยควอทซ์ทั้งหมด 100 ตัวอย่างไปอัดเม็ดชีวมวลที่มีน้ำหนักเม็ดละ 0.5-0.6 กรัม เพื่อทำการวิเคราะห์ค่าความร้อนสูงของพืชพลังงานโดยเครื่อง Bomb Calorimeter และนำส่วนที่เหลือไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบเชิงประมาณของพืชพลังงานด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyzer



รูปที่ 3.1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดลอง พืชตัวอย่างที่มีความยาวประมาณ 30 เซนติเมตร (ก), ตระแกรกร่อน Mesh no.4 (ข), พืชตัวอย่างขนาดน้อยกว่า 5 มิลลิเมตร (ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การดูคลื่นแสงด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer (MPA, Bruker, Germany)

ทำการทดลองโดยใช้พืชตัวอย่าง 10 ชนิด ชนิดละ 10 ตัวอย่าง ดังหัวข้อที่ 3.2

- อุปกรณ์
1. เครื่องวัดสเปกตรัม FT-NIR Spectrometer (MPA, Bruker, Germany)
  2. เครื่องชั่งความละเอียด 0.0001 รุ่น JS1203C, NewclassicMF
  3. ถ้วยควอทซ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร สูง 55 มิลลิเมตร

#### วิธีการทดลอง

การทำนายสมบัติเชิงความร้อนของพืชพลังงานโดยเตรียมตัวอย่างสำหรับทำการทดลองทั้งหมด 100 ตัวอย่าง โดยแบ่งเป็นการทดสอบกับไม้ยูคาลิปตัส เปลือกยูคาลิปตัส กะลาตาล กะลามะพร้าว ไม้หลิว ไม้ยางนา ไม้ยางพารา ชี้อ้อยไม้สัก ก้านฝ้าย และไม้สนประดิพัทธ์อย่างละ 10 ตัวอย่าง ซึ่งแต่ละตัวอย่างต้องทำการตวงให้ได้ปริมาตรตัวอย่างในถ้วยควอทซ์เท่ากัน โดยใช้ช้อนตวง ตักพืชตัวอย่างแล้วเทลงในถ้วยควอทซ์ จากนั้นนำมาสแกนด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer (MPA, Bruker, Germany) ซึ่งเป็นการวัดแบบ Diffuse Reflectance ช่วงจำนวนคลื่นระหว่าง  $12500-3600\text{ cm}^{-1}$  (ความยาวคลื่น 700-2500 nm) การสแกนซ้ำ 32 ครั้งต่อ 1 Spectrum จากนั้นนำตัวอย่างที่ผ่านการสแกนมาอัดให้เป็นเม็ดน้ำหนักประมาณ 0.5-0.6 กรัม และนำไปหาค่าความร้อนต่อไป



รูปที่ 3.2 การสแกนด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer พืชตัวอย่างในถ้วยควอทซ์ (ก) , การสแกนด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer (MPA, Bruker, Germany) (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การวัดค่าความร้อนสูงด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter (C200, IKA, Germany)

ทำการทดลองโดยใช้พืชตัวอย่างที่ผ่านการสแกนด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer ทั้ง 10 ชนิด ชนิดละ 10 ตัวอย่าง ตามหัวข้อ 3.3 แล้วนำมาอัดเป็นเม็ดชีวมวล

- อุปกรณ์
1. เครื่องชั่งความละเอียด 0.0001 รุ่น JS1203C, NewclassicMF
  2. เครื่องอัดเม็ด (Pellet press)
  3. เครื่องวัดค่าความร้อนสูง Bomb calorimeter (C200, IKA, Germany)

#### วิธีการทดลอง

นำตัวอย่างที่ผ่านการสแกนด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer น้ำหนักประมาณ 0.5–0.6 กรัมที่มีลักษณะเป็นเศษไม้ไปอัดให้เป็น Pellet โดยใช้เครื่องอัดเม็ด หลังจากนั้นผูกด้วยฝ้าย (Cotton thread) ที่ตำแหน่งศูนย์กลางลวด หลังจากนั้นนำ Crucible วางบน Crucible holder แล้วนำเม็ดชีวมวลตัวอย่างวางใน Crucible โดยเม็ดชีวมวลจะต้องวางทับปลายด้ายฝ้ายทั้งสองฝั่ง ชั้นตอนนี้ควรระมัดระวังไม่ให้ด้ายฝ้ายโดนบริเวณขอบ Crucible ต่อมาวางฝาปิดให้อยู่ในตำแหน่งที่ต่ำ ๆ แล้วกดลงจนฝาแนบสนิท จากนั้นขันเกลียวให้แน่นด้วยมืออีกครั้ง เติมออกซิเจนภายใน Vessel โดยการเปิดวาล์วถังออกซิเจน ตั้ง Pressure gauge ไว้ที่ 30 bar วาง Vessel บนตำแหน่งเครื่องหมาย จากนั้นกดให้ Fill head อยู่ที่ตำแหน่งศูนย์กลางของ Vessel ออกซิเจนจะทำการเติมเข้าไปภายใน Vessel ใช้เวลาประมาณ 30 วินาที แล้วทำการล็อกให้แนบสนิทด้วย Adaptor นำ Vessel วางลงในเครื่อง Bomb calorimeter โดยให้อยู่ระหว่างตำแหน่งทั้งสามของสับกเกลียวภายในเครื่อง ปิดฝาเครื่อง Bomb calorimeter หลังจากนั้นเติมน้ำคาร์เบตที่อุณหภูมิ  $22 \pm 3$  องศาเซลเซียสให้อยู่ในระดับที่กำหนด ใส่น้ำหนักตัวอย่างของเม็ดชีวมวลที่อยู่ในโหมบ Prepare แล้วกด Ok หน้าจอจะปรากฏข้อความ “Storage filled?” กด Continue (F1) จากนั้นจะปรากฏข้อความ “Close the cover” และข้อความ “Filling” จากนั้นรอประมาณ 15 นาที เครื่องจะแสดงค่าความร้อนที่ได้จากเม็ดชีวมวลในหน่วย J/g



รูปที่ 3.3 การวัดค่าความร้อนด้วยเครื่อง Bomb calorimeter ชั่งน้ำหนักชีวมวล (ก) , อัดเม็ดพืชตัวอย่างด้วยเครื่อง (ข) , เครื่อง Bomb calorimeter (ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 การวัดค่าความร้อนต่ำ

ค่าความร้อนต่ำสามารถคำนวณได้จากการนำค่าความร้อนสูงที่ได้จากการทดลองหักลบด้วยค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1

$$\text{LHV} = \text{HHV} - m h_{fg} \quad (3.1)$$

เมื่อ  $m$  คือ น้ำหนักน้ำที่มีอยู่ในชีวมวล 1 g

$h_{fg}$  คือ ค่าเอนทัลปีที่ความดัน 30 bar มีค่าเท่ากับ 1,794.9 J/g

#### ตัวอย่างการคำนวณค่าความร้อนต่ำ

จากสูตร  $\text{LHV} = \text{HHV} - m h_{fg}$

สมมติให้ค่าความร้อนสูง (HHV) เท่ากับ 18,000 J/g (บ่งบอกปริมาณความร้อนสูงต่อชีวมวล 1 g)

และปริมาณความชื้นเริ่มต้นของพืชตัวอย่างเท่ากับ 5%db

หาน้ำหนักน้ำที่มีอยู่ในชีวมวล 1 g ( $m$ ) ได้ดังนี้

น้ำหนักชีวมวลหลังสมดุลความชื้น 0.5 g แสดงว่ามีน้ำอยู่ภายในชีวมวล 0.0250 g

ถ้าหากน้ำหนักชีวมวล 1 g มีน้ำอยู่ภายใน pellet  $0.0250/0.5 \times 1 = 0.0500$  g

$$\begin{aligned} \text{LHV} &= \text{HHV} - m h_{fg} \\ &= 18,000 - (0.0500 \times 1,794.9) \\ &= 18,000 - 89.7450 \\ &= 17,910.2550 \text{ J/g} \end{aligned}$$

ดังนั้น เม็ด Pellet นี้มีค่าความร้อนสูงเท่ากับ 18,000 J/g และมีค่าความร้อนต่ำ 17,910.2550 J/g

### 3.6 การทดสอบสมรรถภาพการแยกสลายด้วยความร้อนด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyzer

ทำการทดลองโดยใช้พีซีตัวอย่างที่ผ่านการสแกนด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer ทั้ง 10 ชนิด ชนิดละ 10 ตัวอย่าง ตามหัวข้อ 3.3 เพื่อทำการทดลองหาองค์ประกอบเชิงประมาณของพีซีพลังงาน

- อุปกรณ์
1. เครื่อง Thermogravimetric Analyzer(TG209F3 Tarsus, Netzsch, Germany)
  2. ถ้วย Crucible ชนิดอลูมินาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 6.7 มิลลิเมตร

#### วิธีการทดลอง

นำตัวอย่างที่ผ่านการตรวจวัดด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer ที่มีขนาดประมาณ 2x2 มิลลิเมตร น้ำหนักรวมแล้วประมาณ 11-12 มิลลิกรัม ใส่ในถ้วย Crucible จากนั้นนำถ้วย Crucible วางลงบนแท่นเชื่อมกับเครื่องซึ่งน้ำหนักละเอียดภายในเครื่อง Thermogravimetric Analyzer แล้วทำการตั้งค่าการทำงาน (ดูการตั้งค่าในภาคผนวก) จากนั้นก็เริ่มดำเนินการทดลอง



รูปที่ 3.4 การทดสอบสมรรถภาพการแยกสลายด้วยความร้อนด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyzer การใส่ตัวอย่างลงถ้วย Crucible (ก) , การนำถ้วย Crucible วางลงบนแท่นที่เชื่อมกับเครื่องซึ่งน้ำหนักละเอียดภายในเครื่อง Thermogravimetric Analyzer (ข)

### 3.7 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 3.7.1 การวิเคราะห์ค่า Repeatability และ Reproducibility

การวิเคราะห์ค่า Repeatability และ Reproducibility ทำเพื่อวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำ สำหรับเครื่อง Bomb calorimeter ค่า Repeatability จะเป็นการวัดเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำของเครื่องมือ ค่า Reproducibility จะเป็นการวัดเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของกระบวนการใช้เครื่องมือของผู้ทำการทดลอง

การวิเคราะห์ค่า Repeatability และ Reproducibility ของเครื่อง NIR เป็นการวัดเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการสแกน ค่า Repeatability จะเป็นการวัดเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องแม่นยำและค่า Reproducibility เป็นการวัดเปอร์เซ็นต์ความเป็นเนื้อเดียวกันของวัสดุ

ซึ่งสามารถแสดงได้จากค่า  $R_{\max}^2$  ค่าที่ได้จะมีค่าตั้งแต่ 0 - 1 โดยค่า  $R_{\max}^2$  ที่ดีควรมีค่าเข้าใกล้ 1 คำนวณได้จากสูตรดังสมการที่ 3.2

$$R_{\max}^2 = \frac{SD_{\text{total}}^2 - SD_{\text{difference}}^2}{SD_{\text{total}}^2} \quad (3.2)$$

เมื่อ  $SD_{\text{total}}^2$  คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างทั้งหมด

$SD_{\text{difference}}^2$  คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่าง

#### 3.7.2 การวิเคราะห์ลักษณะสเปกตรัม

การวิเคราะห์สเปกตรัมดั้งเดิม (Raw spectrum) จากค่าการดูดซับคลื่นในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 800-2500 nm ด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer ของพีชพลังงานทั้ง 10 ชนิด ซึ่งจะวิเคราะห์จากแถบการดูดซับคลื่นปรากฏในสเปกตรัม โดยพิจารณาให้สอดคล้องกับองค์ประกอบที่มีในพีชพลังงาน

#### 3.7.3 การสร้างสมการในการทำนาย

การสร้างสมการทำนายค่าความร้อนสูงทำโดยสร้างความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเชิงแสง (สเปกตรัม) ที่มีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้นโดยวิธี Constant offset elimination / Straight line subtraction / Vector normalization (SNV) / Min-max normalization / Multiplicative scattering correction / First derivative / Second derivative / First derivative + Straight line subtraction / First derivative + SNV / First derivative + MSC หรือสเปกตรัมที่ไม่มีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้นกับค่าความร้อนสูงด้วยวิธี Partial least squares regression (PLS) และโปรแกรม OPUS version 7.0.129 ทำการพิสูจน์แบบจำลองโดยวิธี Full cross validation และ Test set validation เมื่อได้แบบจำลองจะคัดเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุดโดยพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายของการพิสูจน์แบบไขว้ (RMSECV) และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนาย (RMSEP) ที่ต่ำที่สุด จากนั้นจะบันทึกค่าสัมประสิทธิ์การพิจารณา (Coefficient of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

determination;  $R^2$ ) ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายของการพิสูจน์แบบไขว้ (Root mean squared error of cross validation; RMSECV) ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนาย (Root mean squared error of prediction; RMSEP) ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (Bias) และอัตราส่วนระหว่างค่าความผิดพลาดเฉลี่ยกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Ratio of prediction to deviation; RPD) และแสดงค่า Regression coefficient เพื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของช่วงความยาวคลื่นใดที่มีผลต่อโมเดล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4 ผลการทดลอง

### 4.1 ปริมาณความชื้น

ผลการหาปริมาณความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยของพืชพลังงานทั้ง 10 ชนิดคือ เนื้อไม้ยูคาลิปตัส เปลือกไม้ยูคาลิปตัส กะลามะพร้าว กะลาตาล หลิว ชี้เลื่อยไม้สัก ยางนา ยางพารา ก้านฝ้าย และสนประดิพัทธ์แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณความชื้นของพืชพลังงาน

ปริมาณความชื้น (%db)		
พืชตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
เปลือกไม้ยูคาลิปตัส	7.9597 <sup>a</sup>	0.5573
กะลาตาล	6.9628 <sup>b</sup>	0.0931
ยางพารา	6.6533 <sup>bc</sup>	0.2385
ชี้เลื่อยไม้สัก	6.4476 <sup>c</sup>	0.3735
ยางนา	6.0624 <sup>d</sup>	0.2400
กะลามะพร้าว	6.0064 <sup>de</sup>	0.5834
สนประดิพัทธ์	5.8604 <sup>def</sup>	0.0837
หลิว	5.8320 <sup>def</sup>	0.1736
เนื้อไม้ยูคาลิปตัส	5.6749 <sup>ef</sup>	0.4979
ก้านฝ้าย	5.6334 <sup>f</sup>	0.2350

จากการวิเคราะห์ด้วยกระบวนการทางสถิติโดยวิธี One-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณความชื้นของบางกลุ่มพืชตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากความหลากหลายของชนิดพืชตัวอย่างและลักษณะทางกายภาพของแต่ละพืชตัวอย่างที่ส่งผลต่อความสามารถในการรับปริมาณความชื้นที่แตกต่างกัน

## 4.2 ผลการทำ Repeatability และ Reproducibility ของเครื่อง Bomb Calorimeter

ผลการทำ Repeatability และ Reproducibility ของเครื่อง Bomb calorimeter ของพืชพลังงานทั้ง 10 ชนิด แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่า Repeatability และ Reproducibility ของเครื่อง Bomb calorimeter

Sample	$R^2_{\max}$	
	Repeatability	Reproducibility
เปลือกไม้ยูคาลิปตัส	0.9530	0.9417
กะลาตาล	0.9179	0.9972
ยางพารา	0.9968	0.9802
ขี้เลื่อยไม้สัก	0.9859	0.9063
ยางนา	0.9253	0.9892
กะลามะพร้าว	0.9754	0.9223
สนประดิพัทธ์	0.9178	0.9780
หลิว	0.9077	0.9178
เนื้อไม้ยูคาลิปตัส	0.9077	0.9541
ก้านฝ้าย	0.9873	0.9114

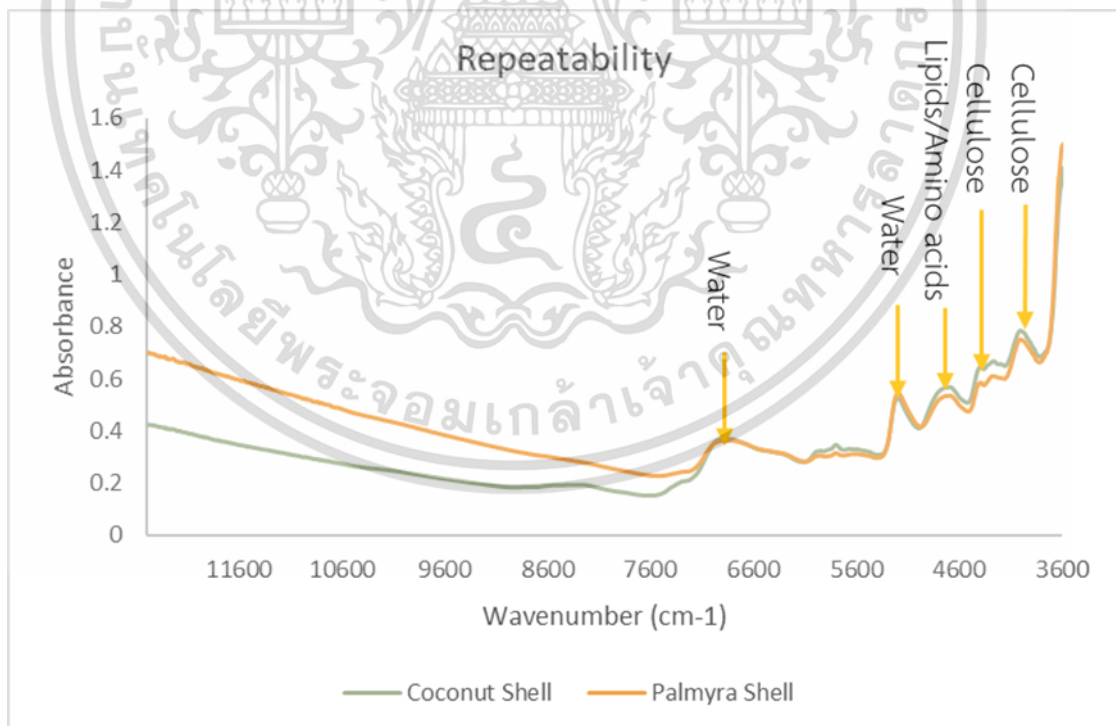
จากตารางที่ 4.2 เป็นผลการทำ Repeatability และ Reproducibility ของเครื่อง Bomb calorimeter เพื่อวิเคราะห์ความแม่นยำของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองและความถูกต้องของกระบวนการใช้เครื่องมือของผู้ทำการทดลอง ในขั้นตอนนี้อ้างอิงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทำการทดลองโดยใช้พืชพลังงานทั้ง 10 ชนิด โดยวัดค่าความแม่นยำจากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานรวมและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่าง ซึ่งค่า Repeatability และค่า Reproducibility มีความแม่นยำสูงมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าเครื่อง Bomb calorimeter มีความแม่นยำสูงและกระบวนการใช้เครื่องมือมีความถูกต้อง

### 4.3 ผลการทำ Repeatability และ Reproducibility ของเครื่อง Near Infrared Spectrometer

ผลการทำ Repeatability และ Reproducibility ของเครื่อง NIRs ของพืชพลังงานทั้ง 10 ชนิด โดยรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 เป็นผลการทำ Repeatability ของเครื่อง NIRs ส่วนรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 เป็นผลการทำ Reproducibility ของเครื่อง NIRs

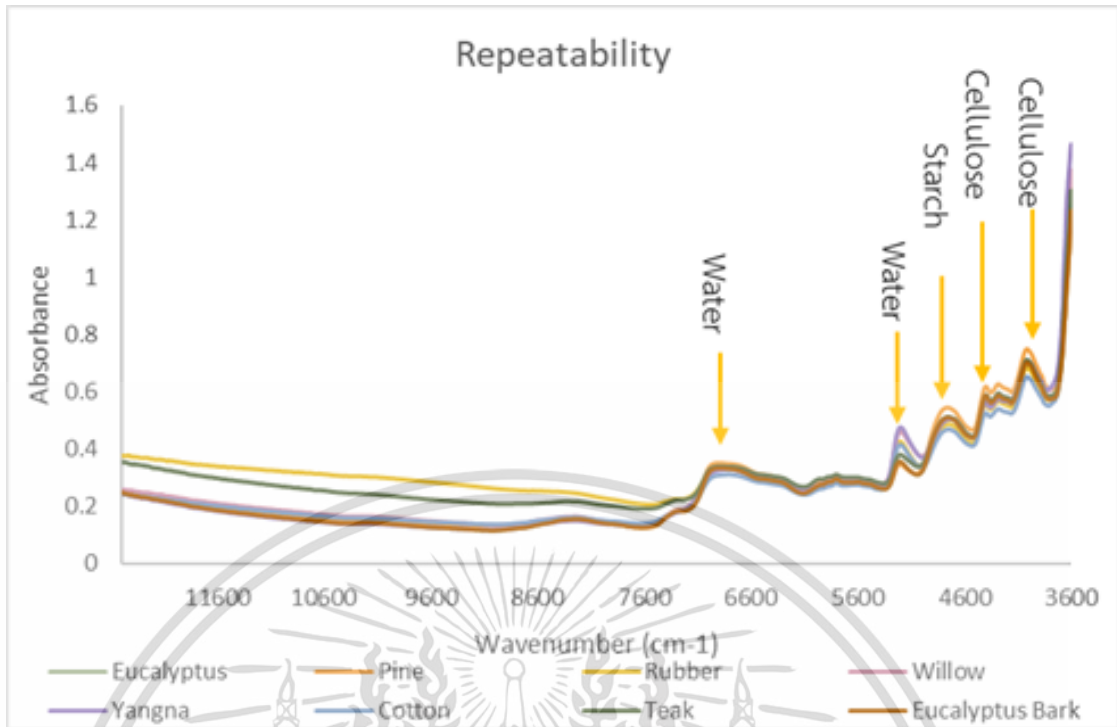
#### 4.3.1 การทำ Repeatability ของเครื่อง NIRs

ผลการทำ Repeatability ของเครื่อง NIRs เป็นผลการวัดเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องแม่นยำในการสแกนสามารถวัดได้จากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของแต่ละพืชตัวอย่างมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยแสดงให้เห็นว่าเครื่อง NIRs มีค่าความถูกต้องแม่นยำในการสแกนสูง และจากผลการทำ Repeatability ของเครื่อง NIRs สามารถแบ่งพืชพลังงานตามการดูดซับคลื่นขององค์ประกอบภายในได้เป็น 2 กลุ่มดังกราฟในรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าทั้งสองกลุ่มพืชตัวอย่างมีการดูดซับคลื่นของ Water และ Cellulose ที่เหมือนกันแต่ในกลุ่มพืชตัวอย่างที่เป็นกะลามะพร้าวและกะลาตาลที่พีคที่ 3 เกิดการดูดซับคลื่นของ Lipids/Amino acids ส่วนอีกกลุ่มพืชตัวอย่างเกิดการดูดซับคลื่นของ Starch อันเนื่องมาจากความแตกต่างขององค์ประกอบภายในของกลุ่มพืชตัวอย่างที่มีความแตกต่างกัน



รูปที่ 4.1 Repeatability ของเครื่อง NIRs โดยวัดจากการสแกนกะลามะพร้าวและกะลาตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

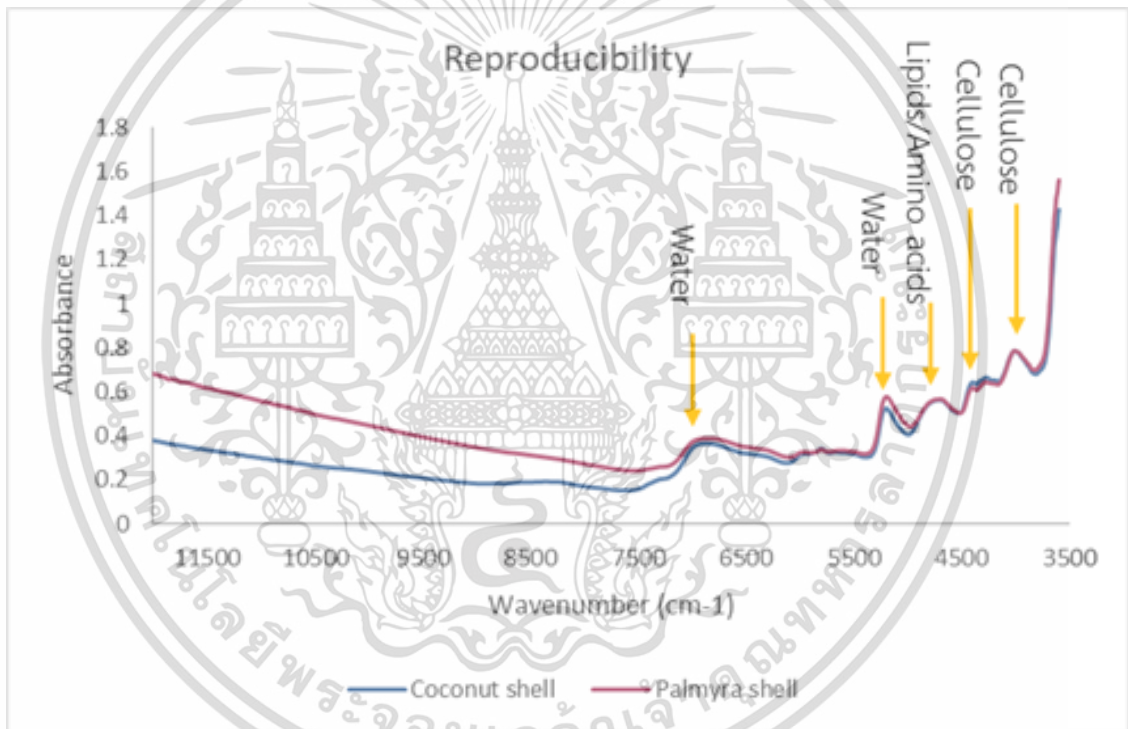


รูปที่ 4.2 Repeatability ของเครื่อง NIRs โดยวัดจากการสแกนเนื้อไม้ยูคาลิปตัส สนประดิพัทธ์ ยางพารา หลิว ยางนา ก้านฝ้าย ชี้เลื่อยไม้สัก และเปลือกไม้ยูคาลิปตัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

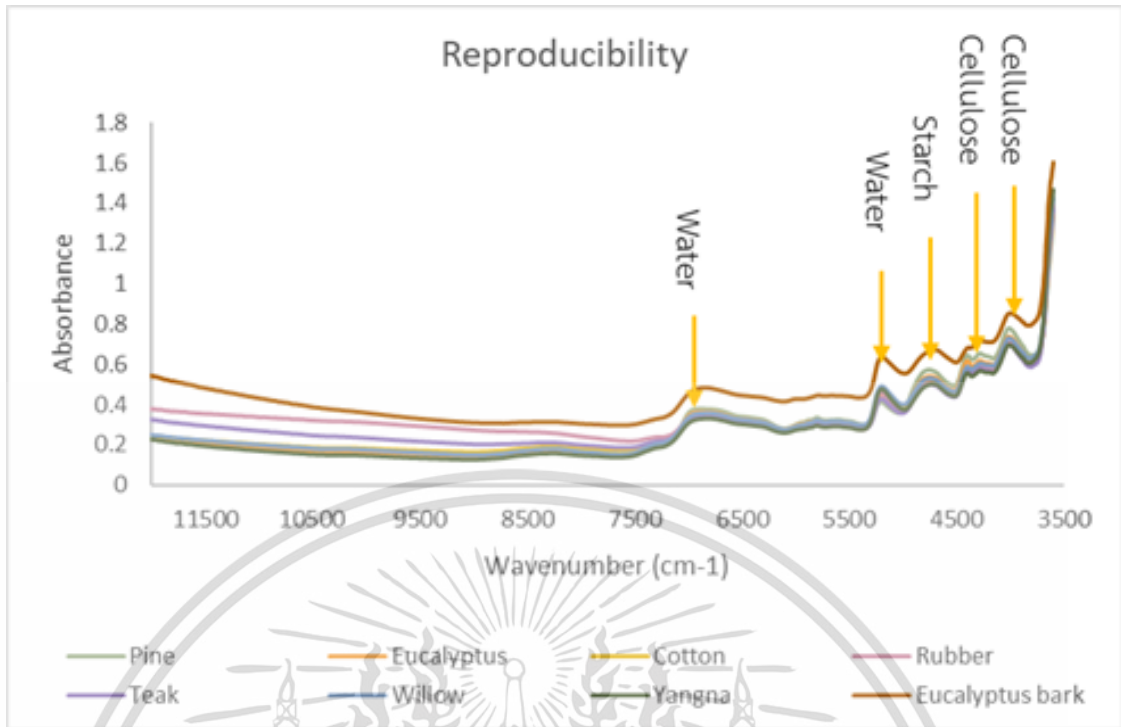
#### 4.3.2 การทำ Reproducibility ของเครื่อง NIRs

ผลการทำ Reproducibility ของเครื่อง NIRs เป็นผลการวัดเปอร์เซ็นต์ความเป็นเนื้อเดียวกันของวัสดุสามารถวัดได้จากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของแต่ละพืชตัวอย่างมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างที่นำมาทำการทดลองค่อนข้างมีความเป็นเนื้อเดียวกัน และจากผลการทำ Reproducibility ของเครื่อง NIRs สามารถแบ่งพืชพลังงานตามการดูดซับคลื่นขององค์ประกอบภายในได้เป็น 2 กลุ่มดังกราฟในรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าทั้งสองกลุ่มพืชตัวอย่างมีการดูดซับคลื่นของ Water และ Cellulose ที่เหมือนกันแต่ในกลุ่มพืชตัวอย่างที่เป็นกะลามะพร้าวและกะลาตาลที่พืชที่ 3 เกิดการดูดซับคลื่นของ Lipids/Amino acids ส่วนอีกกลุ่มพืชตัวอย่างเกิดการดูดซับคลื่นของ Starch อันเนื่องมาจากความแตกต่างขององค์ประกอบภายในของกลุ่มพืชตัวอย่างที่มีความแตกต่างกัน



รูปที่ 4.3 Reproducibility ของเครื่อง NIRs โดยวัดจากการสแกนกะลามะพร้าวและกะลาตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 Reproducibility ของเครื่อง NIRs โดยวัดจากการสแกนเนื้อไม้ยูคาลิปตัส สนประติพัทธ์ ยางพารา หลิว ยางนา ก้านฝ้าย ชี้เลื่อยไม้สัก และเปลือกไม้ยูคาลิปตัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 ผลค่าความร้อนสูง

ผลการหาค่าความร้อนสูงเฉลี่ยของพืชพลังงานทั้ง 10 ชนิด แสดงดังตารางที่ 4.3

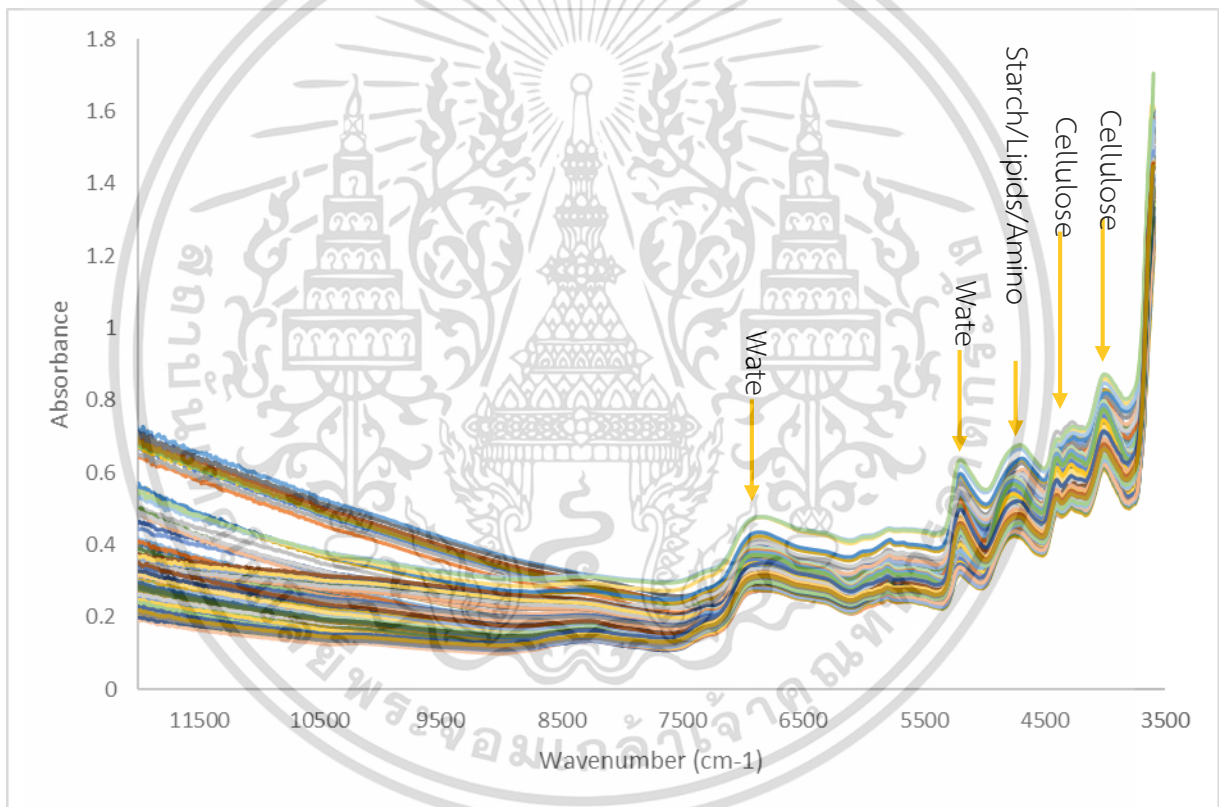
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความร้อนสูงของพืชพลังงานโดยเครื่อง Bomb calorimeter

ค่าความร้อนสูง (J/g)		
พืชตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
เปลือกไม้ยูคาลิปตัส	17492 <sup>a</sup>	540.8352
หลิว	18008 <sup>b</sup>	246.5230
ก้านฝ้าย	18263 <sup>c</sup>	121.1583
ยางนา	18307 <sup>c</sup>	40.7061
กะลาตาล	18471 <sup>cd</sup>	183.6186
ขี้เลื่อยไม้สัก	18589 <sup>d</sup>	331.3967
ยางพารา	18627 <sup>d</sup>	61.0533
สนประดิพัทธ์	19017 <sup>e</sup>	73.5428
เนื้อไม้ยูคาลิปตัส	19029 <sup>e</sup>	177.9849
กะลามะพร้าว	19693 <sup>f</sup>	179.2243

จากการวิเคราะห์ด้วยกระบวนการทางสถิติโดยวิธี One-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าค่าความร้อนสูงของบางกลุ่มพืชตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากความหลากหลายของชนิดพืชตัวอย่าง และจากตารางจะเห็นได้ว่ามีกลุ่มพืชที่เหมือนกันอยู่ 3 กลุ่มได้แก่ กลุ่มแรก ก้านฝ้าย ยางนา กะลาตาล กลุ่มที่ 2 กะลาตาล ขี้เลื่อยไม้สัก ยางพารา กลุ่มที่ 3 สนประดิพัทธ์ และเนื้อไม้ยูคาลิปตัส ซึ่งถ้านำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนพืชพลังงานในกลุ่มเดียวกัน สามารถใช้เพื่อทดแทนกันได้ปริมาณที่เท่ากัน

#### 4.5 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสเปกตรัมของพืชพลังงานโดยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

ในการวิเคราะห์สเปกตรัมของพืชพลังงานทั้ง 10 ชนิดด้วยเครื่อง FT-NIR (MPA, Bruker, Germany) ที่ Wavenumber ระหว่าง  $12500\text{-}3600\text{ cm}^{-1}$  ( $800\text{-}2500\text{ nm}$ ) แสดงดังรูปที่ 4.5 พบว่า พีกที่  $6827\text{ cm}^{-1}$  ( $1446\text{ nm}$ ) เกิดการดูดซับคลื่นของ Water, พีกที่  $5200\text{ cm}^{-1}$  ( $1923\text{ nm}$ ) เกิดการดูดซับคลื่นของ Water, พีกที่  $4694\text{ cm}^{-1}$  ( $2130\text{ nm}$ ) เกิดการดูดซับคลื่นของ Starch, ในตัวอย่างของกะลามะพร้าว และกะลาตาลพีกที่  $4673\text{ cm}^{-1}$  ( $2140\text{ nm}$ ) เกิดการดูดซับคลื่นของ Lipids หรือ Amino acids, พีกที่  $4254\text{ cm}^{-1}$  ( $2350\text{ nm}$ ) เกิดการดูดซับคลื่นของ Cellulose และพีกที่  $4019\text{ cm}^{-1}$  ( $2488\text{ nm}$ ) เกิดการดูดซับคลื่นของ Cellulose เกิดการดูดซับคลื่นที่ Wavenumber แตกต่างกัน อันเนื่องมาจากความแตกต่างขององค์ประกอบภายในแต่ละพืชพลังงาน



รูปที่ 4.5 สเปกตรัมการดูดซับคลื่นของพืชพลังงานทั้ง 10 ชนิด 100 ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.6 ผลการทำนายค่าความร้อนของลำต้นกระถินเทพาด้วยวิธี Partial Least Squares Regression

ค่าทางสถิติของผลการสร้างสมการทำนายค่าความสัมพันธ์ค่าความร้อนสูงของพืชพลังงานจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยใช้วิธี Partial Least Squares Regression ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.4

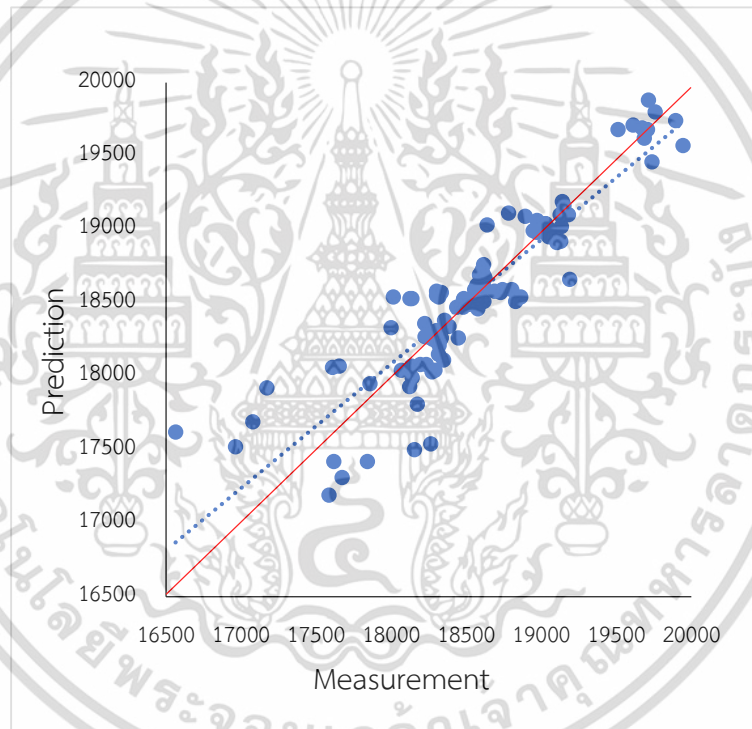
ตารางที่ 4.4 สมการทำนายค่าความร้อนสูงที่สร้างโดยวิธี Partial Least Squares Regression (PLS) ของพืชพลังงาน

Validation test	Pre-processing	Calibration					Validation		
		Rank	R <sup>2</sup>	RMSEE	RPD	R <sup>2</sup>	RMSECV (RMSEP)	RPD	Bias
Full cross validation	First derivative	8	88.26	224	2.92	81.75	266	2.34	1.15
Test set validation	No spectral data preprocessing	6	80.14	276	2.24	89.05	231	3.05	31.9

R<sup>2</sup> = The coefficient of determination, RMSEE = Root mean square error of estimation, RMSECV = Root mean square error of cross validation, RMSEP = Root mean square error of prediction (test set validation), RPD = Ratio of prediction to deviation, Bias = Mean value of deviation

#### 4.7 ผลการสร้างสมการทำนายค่าความร้อนสูง

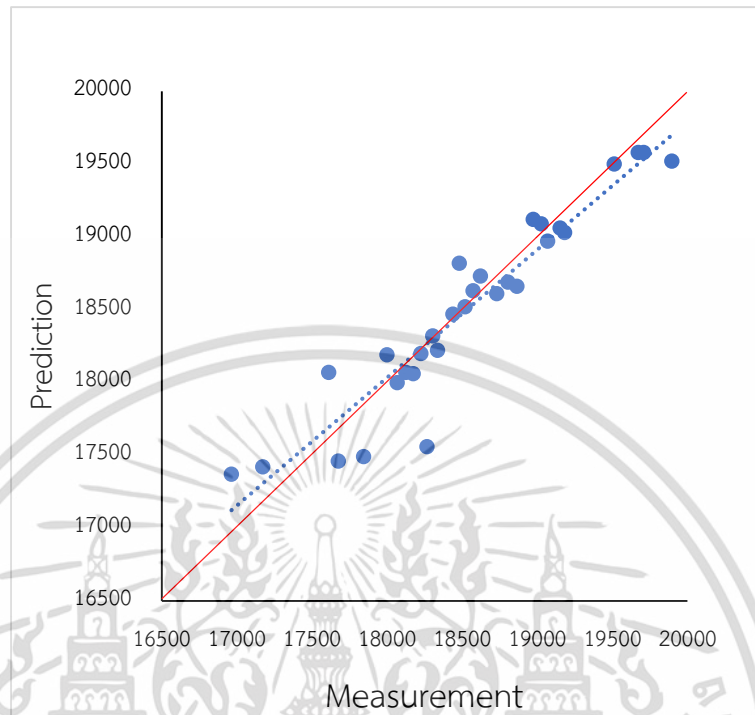
จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 ผลการทำนายค่าความร้อนสูงโดยใช้ช่วงค่าความร้อนสูง 16,564–19,943 J/g เปรียบเทียบกับค่าที่วัดโดยวิธีมาตรฐานที่ทำการทดสอบสมการด้วยวิธี Full cross validation โดยมีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้นแบบ First Derivative มีค่าสัมประสิทธิ์การพิจารณา (Coefficient of determination;  $R^2$ ) เท่ากับ 81.75 อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องใช้ด้วยความระมัดระวังในการประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่ รวมถึงการวิจัย ซึ่งอ้างอิงจากเกณฑ์ของ Williams (2007), ค่ารากที่สองของความถูกต้องของการทำนายเฉลี่ยยกกำลังสองของการพิสูจน์แบบไขว้ (Root Mean Square Error of Cross Validation; RMSECV) เท่ากับ 266 J/g, Bias เท่ากับ 1.15 J/g และค่าอัตราส่วนระหว่าง SD กับ SEP (Ratio of Prediction to Deviation; RPD) เท่ากับ 2.39 แสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 Scatter plot ของข้อมูลอ้างอิง (X) และข้อมูลทำนาย (Y) สำหรับค่าความร้อนสูงของพืชพลังงานที่ทำการทดสอบด้วยวิธี Full cross validation

ผลการทำนายค่าความร้อนสูงเปรียบเทียบกับค่าที่วัดโดยวิธีมาตรฐานที่ทำการทดสอบสมการด้วยวิธี Test set validation โดยไม่มีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้นมีค่าสัมประสิทธิ์การพิจารณา (Coefficient of determination;  $R^2$ ) เท่ากับ 89.05 อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องใช้ด้วยความระมัดระวังในการประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่ รวมถึงการวิจัย ซึ่งอ้างอิงจากเกณฑ์ของ Williams (2007), ค่ารากที่สองของความถูกต้องของการทำนายเฉลี่ยยกกำลังสองของการพิสูจน์แบบ Test set (Root Mean Square

Error of Prediction; RMSEP) เท่ากับ 231 J/g, Bias เท่ากับ 31.9 J/g และค่าอัตราส่วนระหว่าง SD กับ SEP (Ratio of Prediction to Deviation; RPD) เท่ากับ 3.05 แสดงดังรูปที่ 4.7

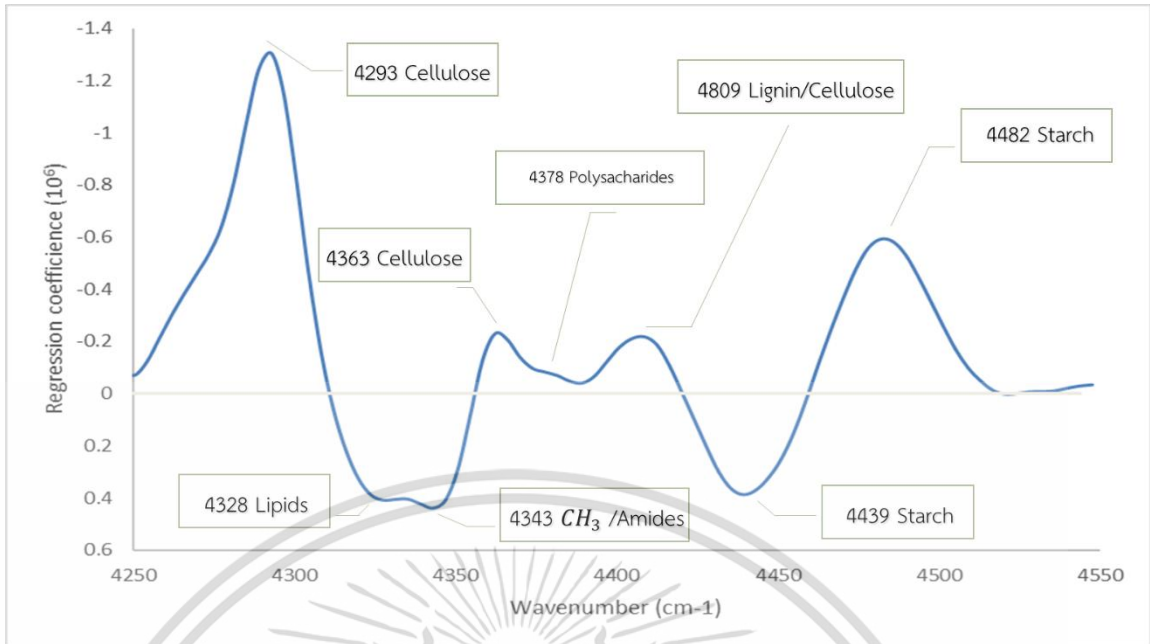


รูปที่ 4.7 Scatter plot ของข้อมูลอ้างอิง (X) และข้อมูลทำนาย (Y) สำหรับค่าความร้อนสูงของพืชพลังงานที่ทำการทดสอบด้วยวิธี Test set validation

ค่า Regression coefficient ถูกใช้เป็นพื้นฐานแรกในการตรวจผลกระทบของความยาวคลื่นต่าง ๆ (X-variable) ในการทำนายตัวแปรตาม (Y) และค่าสัมบูรณ์ของ Regression coefficient ที่มีค่าสูงชี้ได้ถึงความสำคัญของอิทธิพลของความยาวคลื่นนั้นต่อโมเดลอย่างมีนัยสำคัญ

Regression coefficient plot ในการสร้างสมการทำนายค่าความร้อนสูงของพืชพลังงานด้วยวิธี Full cross validation ใช้ช่วงคลื่นที่  $4000 - 5000 \text{ cm}^{-1}$  พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสมการในช่วงเลขคลื่นที่นำมาสร้างสมการทำนายพบว่า เลขคลื่นที่มีผลต่อการทำนายค่าความร้อนสูงนั้น ได้แก่ เลขคลื่น  $4293 \text{ cm}^{-1}$  ( $2329 \text{ nm}$ ) เป็นการดูดซับคลื่นของโครงสร้างทางเคมีคือ Cellulose เลขคลื่น  $4328 \text{ cm}^{-1}$  ( $2311 \text{ nm}$ ) เป็นการดูดซับคลื่นของโครงสร้างทางเคมีคือ Lipids เลขคลื่น  $4343 \text{ cm}^{-1}$  ( $2303 \text{ nm}$ ) เป็นการดูดซับคลื่นของโครงสร้างทางเคมีคือ  $\text{CH}_3/\text{Amides}$  เลขคลื่น  $4363 \text{ cm}^{-1}$  ( $2292 \text{ nm}$ ) เป็นการดูดซับคลื่นของโครงสร้างทางเคมีคือ Cellulose เลขคลื่น  $4378 \text{ cm}^{-1}$  ( $2284 \text{ nm}$ ) เป็นการดูดซับคลื่นของโครงสร้างทางเคมีคือ Polysaccharides เลขคลื่น  $4809 \text{ cm}^{-1}$  ( $2079 \text{ nm}$ ) เป็นการดูดซับคลื่นของโครงสร้างทางเคมีคือ Lignin/Cellulose เลขคลื่น  $4439 \text{ cm}^{-1}$  ( $2253 \text{ nm}$ ) เป็นการดูดซับคลื่นของโครงสร้างทางเคมีคือ Starch และเลขคลื่น  $4482 \text{ cm}^{-1}$  ( $2231 \text{ nm}$ ) เป็นการดูดซับคลื่นของโครงสร้างทางเคมีคือ Starch แสดงดังรูปที่ 4.8

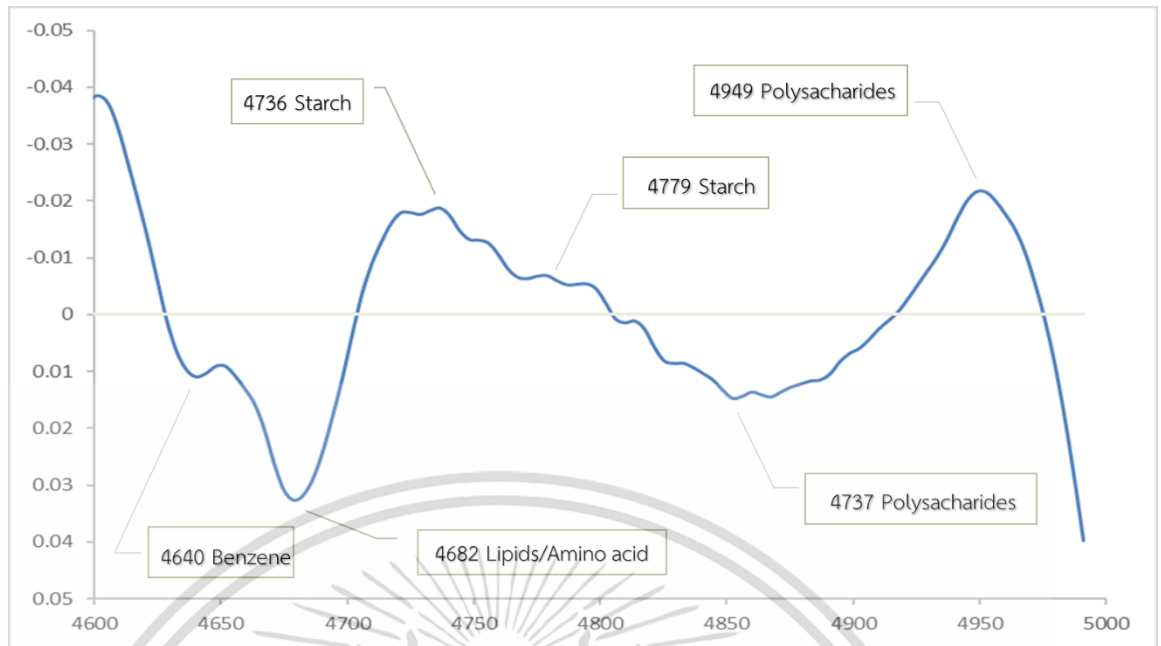
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 Regression coefficient plot ของสมการค่าความร้อนสูงของพีชพลังงานด้วยวิธี Full cross validation

Regression coefficient plot ในการสร้างสมการทำนายค่าความร้อนสูงของพีชพลังงานด้วยวิธี Test set validation ใช้ช่วงคลื่นที่  $4000 - 5000 \text{ cm}^{-1}$  พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสมการในช่วงเลขคลื่นที่นำมาสร้างสมการทำนายเลขคลื่น  $4640 \text{ cm}^{-1}$  ( $2155 \text{ nm}$ ) เป็นการดูดซับคลื่นของโครงสร้างทางเคมีคือ Benzene เลขคลื่น  $4682 \text{ cm}^{-1}$  ( $2136 \text{ nm}$ ) เป็นการดูดซับคลื่นของโครงสร้างทางเคมีคือ Lipids/Amino เลขคลื่น  $4736 \text{ cm}^{-1}$  ( $2112 \text{ nm}$ ) เป็นการดูดซับคลื่นของโครงสร้างทางเคมีคือ Starch เลขคลื่น  $4779 \text{ cm}^{-1}$  ( $2093 \text{ nm}$ ) เป็นการดูดซับคลื่นของโครงสร้างทางเคมีคือ Starch เลขคลื่น  $4737 \text{ cm}^{-1}$  ( $2111 \text{ nm}$ ) เป็นการดูดซับคลื่นของโครงสร้างทางเคมีคือ Polysaccharides และเลขคลื่น  $4949 \text{ cm}^{-1}$  ( $2021 \text{ nm}$ ) เป็นการดูดซับคลื่นของโครงสร้างทางเคมีคือ Polysaccharides แสดงดังรูปที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 Regression coefficient plot ของสมการค่าความร้อนสูงของพืชพลังงานด้วยวิธี Test set validation

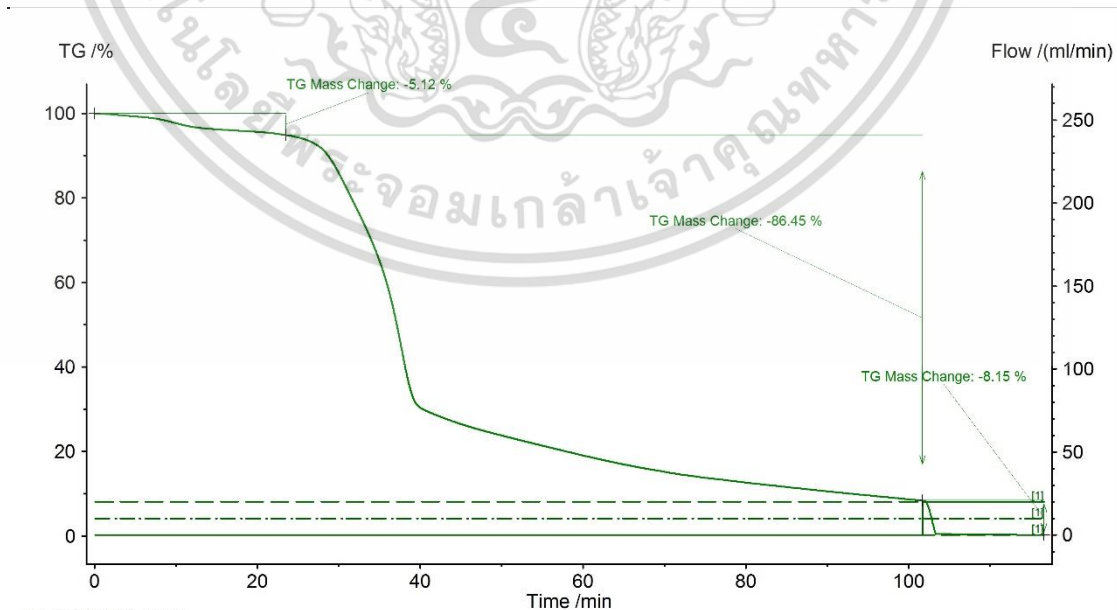
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.8 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงปริมาณ

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงปริมาณของพืชพลังงาน แสดงดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.10 ผลการหาอัตราการสลายตัวด้วยความร้อนแสดงดังตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.11

ตารางที่ 4.5 องค์ประกอบเชิงปริมาณของพืชพลังงาน โดยเครื่อง Thermogravimetric analyzer

Sample	Proximate analysis (%)			
	Moisture content	Volatile matter	Fixed carbon	Ash
เนื้อไม้ยูคาลิปตัส	5.0620	84.5780	0.8720	9.4880
กลามะพร้าว	5.1550	80.5170	1.1730	13.1550
สนประดิพัทธ์	5.2200	83.4620	0.9470	10.3710
ยางพารา	5.4660	80.9720	1.8400	11.7220
ยางนา	5.5960	81.7140	2.1630	10.5270
หลิว	5.6270	83.8360	1.5760	8.9610
ก้านฝ้าย	5.6470	81.5160	2.1580	10.6790
ขี้เลื่อยไม้สัก	6.3640	79.6860	3.7020	10.2480
กะลาตาล	6.5840	78.7460	1.5110	11.7220
เปลือกไม้ยูคาลิปตัส	7.9390	69.2430	4.2850	18.5330



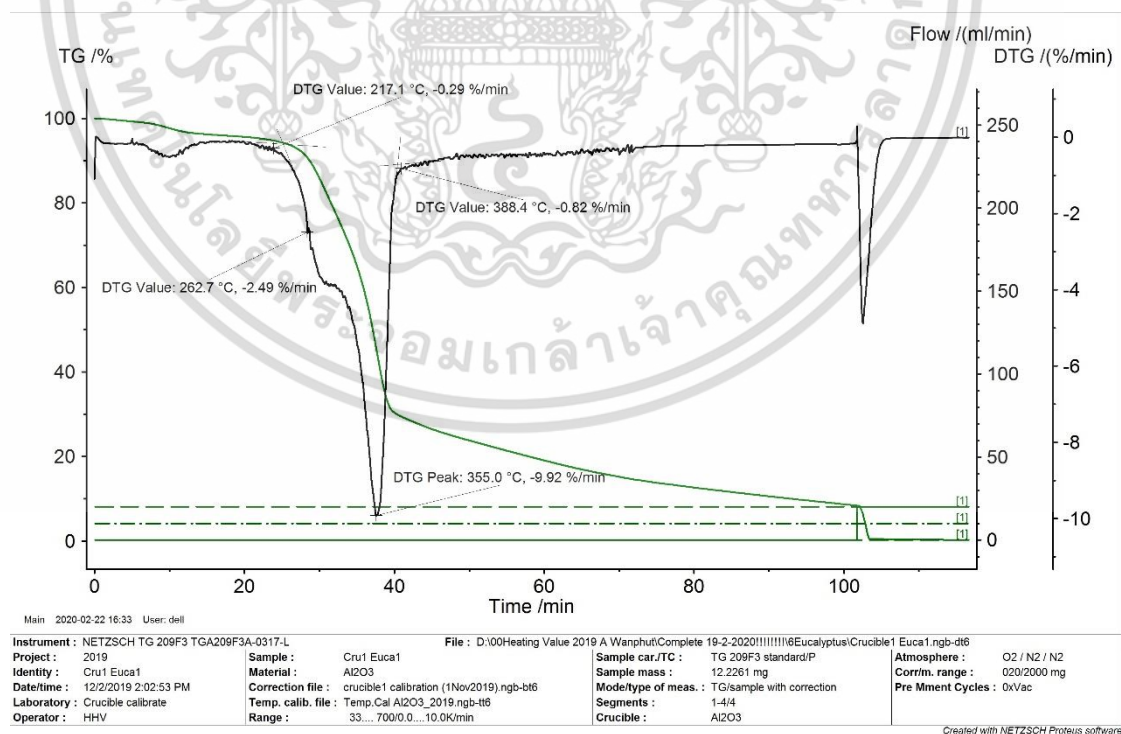
Main 2020-02-04 14:39 User: dell		File : D:\00\Heating Value 2019 A Wanphut\Finish\1111116\Eucalyptus\Crucible1 Euca1.ngb-dt6	
Instrument : NETZSCH TG 209F3 TGA209F3A-0317-L	Sample : Cru1 Euca1	Sample car./TC : TG 209F3 standard/P	Atmosphere : O2 / N2 / N2
Project : 2019	Material : Al2O3	Sample mass : 12.2261 mg	Corr/m. range : 020/2000 mg
Identity : Cru1 Euca1	Correction file : crucible1 calibration (1Nov2019).ngb-bt6	Mode/type of meas. : TG/sample with correction	Pre Mment Cycles : 0x/Vac
Date/time : 12/2/2019 2:02:53 PM	Temp. calib. file : Temp.Cal Al2O3_2019.ngb-tf6	Segments : 1-4/4	
Laboratory : Crucible calibrate	Range : 33... 700/0... 10.0K/min	Crucible : Al2O3	
Operator : HHV			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.10 ตัวอย่างกราฟแสดงองค์ประกอบเชิงปริมาณของหลิว

ตารางที่ 4.6 อัตราการสลายตัวด้วยความร้อนของพืชพลังงาน โดยเครื่อง Thermogravimetric analyzer

Sample	Temperature (°C)			
	T onset	T inflection	T peak	T offset
เนื้อไม้ยูคาลิปตัส	219.15	265.66	350.57	387.57
กะลามะพร้าว	216.47	256.67	347.52	377.35
สนประดิพัทธ์	224.08	265.10	351.76	383.20
ยางพารา	214.44	270.16	351.43	383.30
ยางนา	205.01	269.40	356.83	385.56
หลิว	217.42	264.66	349.00	382.32
ก้านฝ้าย	218.25	258.61	330.92	375.51
ขี้เลื่อยไม้สัก	216.58	271.91	344.22	384.39
กะลาตาล	218.71	268.73	351.54	383.30
เปลือกไม้ยูคาลิปตัส	209.95	270.38	339.99	372.32



รูปที่ 4.11 ตัวอย่างกราฟ First derivative ของหลิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการวิเคราะห์ค่าความร้อนสูงของพืชพลังงานทั้ง 10 ชนิด ได้แก่ ข้าเลื่อยไม้สัก สนประดิพัทธ์ ก้านฝ้าย เปลือกไม้อยูคาลิปตัส เนื้อไม้อยูคาลิปตัส กะลาตาล กะลามะพร้าว ไม้ยางพารา ไม้ยางนา และไม้หลิว ด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี โดยเริ่มจากการศึกษาจากปัจจัยทางด้านความชื้น ค่าความร้อนสูง องค์ประกอบเชิงประมาณ ลักษณะของสเปกตรัม และการทำนายค่าความร้อนของพืชพลังงานทั้ง 10 ชนิด ด้วยวิธี Partial Least Squares Regression โดยการเพิ่มจำนวนและชนิดของพืชตัวอย่างสามารถขยายช่วงของค่าความร้อนให้มากขึ้นได้ดังแสดงในตารางที่ 4.3 อีกทั้งยังสามารถปรับปรุงค่า RPD ของแบบจำลองให้มีความแม่นยำเพิ่มขึ้นได้อีกด้วย เมื่อเทียบกับการศึกษาก่อนหน้านี้ที่ได้มีการศึกษาแบบจำลองทำนายค่าความร้อนสูงของกระถินเทพาด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเพียงชนิดเดียว ซึ่งผลการศึกษาศาสามารถสรุปผลได้ดังนี้

### 5.1 สรุปผลปริมาณความชื้นของพืชพลังงานทั้ง 10 ชนิด

สรุปผลปริมาณความชื้นของพืชพลังงานทั้ง 10 ชนิด ได้ค่าความชื้นเฉลี่ยของพืชพลังงานแตกต่างกันอย่างน้อยสองกลุ่ม แต่ปริมาณความชื้นที่ได้เป็นเพียงองค์ประกอบส่วนน้อยของชีวมวล จึงไม่มีผลต่อตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง และเนื่องจากปริมาณความชื้นของพืชพลังงานทั้ง 10 ชนิดนั้นมีความหลากหลายจึงเหมาะแก่การนำไปสร้างแบบจำลองทำนายค่าความชื้น

### 5.2 สรุปผลค่าความร้อนสูงของชีวมวลโดย Bomb Calorimeter

สรุปผลค่าความร้อนสูงของพืชพลังงานทั้ง 10 ชนิด พบว่าค่าความร้อนสูงเฉลี่ยของพืชพลังงานทั้ง 10 ชนิดอยู่ในช่วง  $17491.9 \pm 540.84$  J/g ถึง  $19693.3 \pm 179.22$  J/g เมื่อนำไปเทียบกับชีวมวลชนิดอื่น ๆ แล้ว พบว่าช่วงของค่าความร้อนที่ได้ค่อนข้างครอบคลุมพืชอื่นหลายอีกชนิด และเป็นช่วงของค่าความร้อนที่ค่อนข้างสูง อีกทั้งยังมีการสนับสนุนให้ปลูกเนื่องจากเป็นพืชเศรษฐกิจและให้พลังงานสูง ดังนั้นพืชพลังงานทั้ง 10 ชนิดจึงเหมาะสมที่จะนำมาทำเป็นพลังงานทดแทนในการเผาไหม้ (combustion) ได้เนื่องจากมีค่าความร้อนที่สูง

### 5.3 สรุปผลการวิเคราะห์ลักษณะสเปกตรัมของพืชพลังงานทั้ง 10 ชนิด โดยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

จากการวิเคราะห์สเปกตรัมดั้งเดิม (raw spectrum) ที่เกิดจากการดูดกลืนแสงของพืชพลังงานทั้ง 10 ชนิด ในช่วงจำนวนคลื่น  $12500-4000$   $\text{cm}^{-1}$  ความยาวคลื่น  $800-2500$  nm ด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer (MPA, Bruker, Germany) พบว่าสเปกตรัมดั้งเดิมของค่าความร้อนมีพีคที่  $6827$   $\text{cm}^{-1}$  ( $1446$  nm) เกิดการดูดซับคลื่นของ water, พีคที่  $5196$   $\text{cm}^{-1}$  ( $1924$  nm) เกิดการดูดซับคลื่นของ water พีคที่  $4694$   $\text{cm}^{-1}$  ( $2130$  nm) เกิดการดูดซับคลื่นของ starch พีคที่  $4673$   $\text{cm}^{-1}$  ( $2140$  nm) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

nm) เกิดการดูดซับคลื่นของ lipids หรือ amino acid ในตัวอย่างของกะลามะพร้าว กะลาตาลและเปลือกไม้ยูคาลิปตัส พิกที่  $4254\text{ cm}^{-1}$  (2350 nm) เกิดการดูดซับคลื่นของ cellulose และพิกที่  $4019\text{ cm}^{-1}$  (2488 nm) เกิดการดูดซับคลื่นของ cellulose

#### 5.4 สรุปผลการทำนายค่าความร้อนของพีชพลังงานทั้ง 10 ชนิด ด้วยวิธี Partial Least Squares Regression

ในการทำนายค่าความร้อนสูงของพีชพลังงานทั้ง 10 ชนิด โดยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี โดยวิธีมาตรฐานที่ทำการทดสอบสมการด้วยวิธี Test set validation และวิธีมาตรฐานที่ทำการทดสอบสมการด้วยวิธี Full cross validation พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination;  $R^2$ ) ของการทดสอบสมการด้วยวิธี Test set validation โดยการ Validation ได้ค่าที่ดีกว่า แต่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination;  $R^2$ ) ของการทดสอบสมการด้วยวิธี Full cross validation โดยการ Calibration ได้ค่าที่ดีกว่าค่าอัตราส่วนระหว่าง SD กับ SEP (Ratio of Prediction to Deviation; RPD) ของการทดสอบสมการด้วยวิธี Test set validation โดยการ Validation ได้ค่าที่ดีกว่า แต่การทดสอบสมการด้วยวิธี Full cross validation โดยการ Calibration ได้ค่าที่ดีกว่า และก่อนการนำไปประยุกต์ใช้งานจะต้องมีการยอมรับค่าความผิดพลาด (Bias) ซึ่งค่าความผิดพลาดของการทดสอบสมการด้วยวิธี Test set validation มีค่าสูงกว่าค่าความผิดพลาดของการทดสอบสมการด้วยวิธี Full cross validation แต่ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนับว่ามีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าความร้อนเฉลี่ยของพีชพลังงานทั้ง 10 ชนิด

โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination;  $R^2$ ) ที่ทำการทดสอบสมการด้วยทั้ง 2 วิธีอยู่ในเกณฑ์ที่ต้องใช้ด้วยความระมัดระวังในการประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่ รวมถึงการวิจัย ซึ่งอ้างอิงจากเกณฑ์ของ Williams (2007) สำหรับค่า RPD อยู่ในเกณฑ์ยังไม่ดี แต่สามารถใช้ในการคัดเลือก (แบ่งกลุ่ม) แบบหยาบ ๆ

จากข้อมูลข้างต้นเห็นได้ว่าแบบจำลองก็สามารถนำไปใช้งานได้ แทนวิธีการทางห้องปฏิบัติการซึ่งใช้เวลาค่อนข้างนาน โดยใช้เวลาในการเตรียมตัวอย่างประมาณ 43 นาทีต่อหนึ่งตัวอย่าง และใช้เวลาในการวัดค่าความร้อนประมาณ 17 นาทีต่อหนึ่งตัวอย่าง หากใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีจะใช้เวลาเพียง 2 นาที

#### 5.4 สรุปผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงประมาณ

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงประมาณของพีชพลังงานทั้ง 10 ชนิด พบว่ามีปริมาณความชื้นเฉลี่ย (moisture content) ร้อยละ  $5.87 \pm 0.88$  มีปริมาณคาร์บอนคงตัวเฉลี่ย (fixed carbon) ร้อยละ  $2.02 \pm 1.14$  มีปริมาณไอระเหยเฉลี่ย (volatile matter) ร้อยละ  $80.43 \pm 4.34$  และมีปริมาณเถ้าเฉลี่ย (ash) ร้อยละ  $11.54 \pm 2.73$  ถือว่ามีปริมาณที่ค่อนข้างสูง แต่เนื่องด้วยปริมาณไอระเหยที่สูงทำให้พีชพลังงานเหล่านี้เหมาะสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการไพโรไลซิสต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.6 ข้อเสนอแนะ

ถึงแม้ว่าผลของการศึกษาและพัฒนารูปแบบจำลองทำนายค่าความร้อนสูงสำหรับพืชพลังงานจะค่อนข้างเป็นที่น่าพอใจและตรงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ แต่แบบจำลองยังสามารถพัฒนาให้มีความแม่นยำได้มากขึ้นอีก โดยการเพิ่มจำนวนตัวอย่างของพืชหนึ่งชนิดให้มากขึ้นและเพิ่มความหลากหลายของช่วงข้อมูลหรือชนิดของตัวอย่างให้มากขึ้น ซึ่งอาจส่งผลให้แบบจำลองมีความแม่นยำในการทำนายค่าความร้อนมากยิ่งขึ้นและมีความน่าเชื่อถือเพิ่มมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก - 1 แสดงผลค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำของพืชพลังงาน

พืชพลังงาน	ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	ค่าความร้อนสูง (J/g)	ค่าความร้อนต่ำ (J/g)
เปลือกไม้ยูคาลิปตัส	1	0.5952	17618	17483
	2	0.5526	17842	17696
	3	0.5524	16964	16814
	4	0.5988	16564	16422
	5	0.5818	17586	17454
	6	0.5832	17674	17520
	7	0.5500	18265	18114
	8	0.5814	18156	18018
	9	0.5991	17172	17046
	10	0.5912	17078	16923
ทิว	1	0.5561	18225	18115
	2	0.5492	18174	18068
	3	0.554	17610	17510
	4	0.5108	17554	17450
	5	0.5876	18124	18017
	6	0.5059	18067	17964
	7	0.5711	18137	18035
	8	0.5798	18140	18034
	9	0.5757	17859	17752
	10	0.5778	18194	18092
ก้านฝ้าย	1	0.5356	18138	18034
	2	0.5514	17999	17898
	3	0.556	18326	18228
	4	0.5771	18273	18178
	5	0.5557	18447	18347
	6	0.5738	18291	18187
	7	0.5728	18235	18138
	8	0.5847	18280	18175
	9	0.5843	18317	18218
	10	0.596	18327	18218

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก - 2 แสดงผลค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำของพืชพลังงาน (ต่อ)

พืชพลังงาน	ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	ค่าความร้อนสูง (J/g)	ค่าความร้อนต่ำ (J/g)
ซีเลียมไม้สัก	1	0.5886	19189	19061
	2	0.5809	18863	18748
	3	0.5777	18519	18409
	4	0.5795	18620	18509
	5	0.5791	18302	18184
	6	0.5671	18126	18003
	7	0.5731	18334	18217
	8	0.574	18302	18189
	9	0.5827	18804	18687
	10	0.5815	18828	18724
กะลาตาล	1	0.5684	18618	18493
	2	0.5527	18481	18357
	3	0.5665	18480	18355
	4	0.5713	18548	18420
	5	0.5677	18688	18561
	6	0.5723	18484	18361
	7	0.5765	18577	18453
	8	0.572	18437	18314
	9	0.5768	18386	18261
	10	0.5921	18014	17888
ยางพารา	1	0.5889	18741	18621
	2	0.5736	18729	18611
	3	0.5888	18615	18502
	4	0.5872	18606	18482
	5	0.567	18616	18497
	6	0.5902	18572	18459
	7	0.5712	18557	18441
	8	0.5972	18589	18465
	9	0.5903	18624	18500
	10	0.592	18619	18496

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก - 3 แสดงผลค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำของพืชพลังงาน (ต่อ)

พืชพลังงาน	ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	ค่าความร้อนสูง (J/g)	ค่าความร้อนต่ำ (J/g)
สนประดิพัทธ์	1	0.5225	18946	18838
	2	0.5211	19070	18965
	3	0.5729	19042	18938
	4	0.5127	19014	18911
	5	0.5035	18970	18864
	6	0.5079	18892	18785
	7	0.5473	18972	18868
	8	0.5615	19030	18924
	9	0.5812	19130	19025
	10	0.5609	19103	18998
ยางนา	1	0.5502	18224	18117
	2	0.5925	18280	18167
	3	0.5923	18319	18213
	4	0.5894	18316	18212
	5	0.5948	18303	18191
	6	0.5837	18264	18155
	7	0.5731	18356	18242
	8	0.5956	18335	18229
	9	0.5949	18323	18220
	10	0.5959	18349	18234
เนื้อไม้ยูคาลิปตัส	1	0.5702	19025	18912
	2	0.5799	19067	18958
	3	0.581	19125	19017
	4	0.5889	19140	19039
	5	0.5419	18782	18682
	6	0.5607	18639	18535
	7	0.5196	19050	18964
	8	0.5871	19181	19094
	9	0.5935	19133	19026
	10	0.5705	19150	19046

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก - 4 แสดงผลค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำของพืชพลังงาน (ต่อ)

พืชพลังงาน	ตัวอย่าง	น้ำหนัก (g)	ค่าความร้อนสูง (J/g)	ค่าความร้อนต่ำ (J/g)
กะลามะพร้าว	1	0.5839	19943	19837
	2	0.5784	19894	19811
	3	0.5721	19512	19392
	4	0.5128	19311	19199
	5	0.5999	19759	19648
	6	0.5597	19737	19628
	7	0.55	19686	19575
	8	0.5717	19670	19561
	9	0.5795	19707	19608
	10	0.5583	19714	19598

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข - 1 แสดงผลค่าความชื้นของกะลามะพร้าว

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
1	1	15.350	18.350	18.020	3.000	2.670	12.3596	18.180	2.830	5.9925
	2	15.410	18.410	18.100	3.000	2.690	11.5242	18.260	2.850	5.9480
	3	15.790	18.790	18.430	3.000	2.640	13.6364	18.590	2.800	6.0606
	4	16.620	19.620	19.270	3.000	2.650	13.2075	19.410	2.790	5.2830
	5	15.100	18.100	17.830	3.000	2.730	9.8901	18.000	2.900	6.2271
	<b>Avg</b>	<b>15.6540</b>	<b>18.6540</b>	<b>18.3300</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.6760</b>	<b>12.1235</b>	<b>18.4880</b>	<b>2.8340</b>	<b>5.9022</b>
2	1	14.660	17.660	17.280	3.000	2.620	14.5038	17.400	2.740	4.5802
	2	15.140	18.140	17.860	3.000	2.720	10.2941	17.980	2.840	4.4118
	3	15.430	18.430	18.030	3.000	2.600	15.3846	18.150	2.720	4.6154
	4	15.930	18.930	18.590	3.000	2.660	12.7820	18.710	2.780	4.5113
	5	15.510	18.510	18.180	3.000	2.670	12.3596	18.311	2.801	4.9064
	<b>Avg</b>	<b>15.3340</b>	<b>18.3340</b>	<b>17.9880</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.6540</b>	<b>13.0648</b>	<b>18.1102</b>	<b>2.7762</b>	<b>4.6050</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
3	1	15.020	18.020	17.580	3.000	2.560	17.1875	17.780	2.760	7.8125
	2	15.010	18.010	17.600	3.000	2.590	15.8301	17.760	2.750	6.1776
	3	18.490	21.490	21.050	3.000	2.560	17.1875	21.190	2.700	5.4688
	4	15.560	18.560	18.200	3.000	2.640	13.6364	18.410	2.850	7.9545
	5	18.170	21.170	20.770	3.000	2.600	15.3846	20.930	2.760	6.1538
	<b>Avg</b>	<b>16.4500</b>	<b>19.4500</b>	<b>19.0400</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.5900</b>	<b>15.8452</b>	<b>19.2140</b>	<b>2.7640</b>	<b>6.7134</b>
4	1	14.880	17.880	17.520	3.000	2.640	13.6364	17.690	2.810	6.4394
	2	15.420	18.420	18.090	3.000	2.670	12.3596	18.250	2.830	5.9925
	3	16.310	19.310	18.930	3.000	2.620	14.5038	19.109	2.799	6.8321
	4	15.790	18.790	18.430	3.000	2.640	13.6364	18.590	2.800	6.0606
	5	15.880	18.880	18.560	3.000	2.680	11.9403	18.720	2.840	5.9701
	<b>Avg</b>	<b>15.6560</b>	<b>18.6560</b>	<b>18.3060</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.6500</b>	<b>13.2153</b>	<b>18.4718</b>	<b>2.8158</b>	<b>6.2589</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
5	1	15.560	18.560	18.280	3.000	2.720	10.2941	18.450	2.890	6.2500
	2	17.930	20.930	20.610	3.000	2.680	11.9403	20.756	2.826	5.4478
	3	14.780	17.780	17.460	3.000	2.680	11.9403	17.635	2.855	6.5299
	4	14.680	17.680	17.370	3.000	2.690	11.5242	17.520	2.840	5.5762
	5	15.770	18.770	18.470	3.000	2.700	11.1111	18.662	2.892	7.1111
	<b>Avg</b>	<b>15.7440</b>	<b>18.7440</b>	<b>18.4380</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.6940</b>	<b>11.3620</b>	<b>18.6046</b>	<b>2.8606</b>	<b>6.1830</b>
6	1	16.450	19.450	19.180	3.000	2.730	9.8901	19.350	2.900	6.2271
	2	16.460	19.460	19.150	3.000	2.690	11.5242	19.320	2.860	6.3197
	3	16.200	19.200	18.850	3.000	2.650	13.2075	18.985	2.785	5.0943
	4	16.540	19.540	19.280	3.000	2.740	9.4891	19.445	2.905	6.0219
	5	16.260	19.260	18.850	3.000	2.590	15.8301	19.025	2.765	6.7568
	<b>Avg</b>	<b>16.3820</b>	<b>19.3820</b>	<b>19.0620</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.6800</b>	<b>11.9882</b>	<b>19.2250</b>	<b>2.8430</b>	<b>6.0840</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
7	1	15.910	18.910	18.700	3.000	2.790	7.5269	18.850	2.940	5.3763
	2	15.270	18.270	18.000	3.000	2.730	9.8901	18.140	2.870	5.1282
	3	15.650	18.650	18.320	3.000	2.670	12.3596	18.500	2.850	6.7416
	4	14.950	17.950	17.600	3.000	2.650	13.2075	17.780	2.830	6.7925
	5	15.670	18.670	18.360	3.000	2.690	11.5242	18.548	2.878	6.9888
	<b>Avg</b>	<b>15.4900</b>	<b>18.4900</b>	<b>18.1960</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.7060</b>	<b>10.9017</b>	<b>18.3636</b>	<b>2.8736</b>	<b>6.2055</b>
8	1	15.220	18.220	17.910	3.000	2.690	11.5242	18.080	2.860	6.3197
	2	18.220	21.220	20.920	3.000	2.700	11.1111	21.075	2.855	5.7407
	3	17.920	20.920	20.610	3.000	2.690	11.5242	20.765	2.845	5.7621
	4	15.070	18.070	17.740	3.000	2.670	12.3596	17.910	2.840	6.3670
	5	15.120	18.120	17.840	3.000	2.720	10.2941	18.011	2.891	6.2868
	<b>Avg</b>	<b>16.3100</b>	<b>19.3100</b>	<b>19.0040</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.6940</b>	<b>11.3626</b>	<b>19.1682</b>	<b>2.8582</b>	<b>6.0953</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
9	1	14.990	17.990	17.690	3.000	2.700	11.1111	17.820	2.830	4.8148
	2	18.180	21.180	20.860	3.000	2.680	11.9403	21.000	2.820	5.2239
	3	15.520	18.520	18.200	3.000	2.680	11.9403	18.340	2.820	5.2239
	4	14.610	17.610	17.360	3.000	2.750	9.0909	17.520	2.910	5.8182
	5	15.080	18.080	17.830	3.000	2.750	9.0909	18.012	2.932	6.6182
	<b>Avg</b>	<b>15.6760</b>	<b>18.6760</b>	<b>18.3880</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.7120</b>	<b>10.6347</b>	<b>18.5384</b>	<b>2.8624</b>	<b>5.5398</b>
10	1	16.360	19.360	19.060	3.000	2.700	11.1111	19.230	2.870	6.2963
	2	16.140	19.140	18.840	3.000	2.700	11.1111	19.030	2.890	7.0370
	3	16.280	19.280	18.910	3.000	2.630	14.0684	19.056	2.776	5.5513
	4	16.280	19.280	18.960	3.000	2.680	11.9403	19.140	2.860	6.7164
	5	16.010	19.010	18.810	3.000	2.800	7.1429	19.000	2.990	6.7857
	<b>Avg</b>	<b>16.2140</b>	<b>19.2140</b>	<b>18.9160</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.7020</b>	<b>11.0748</b>	<b>19.0912</b>	<b>2.8772</b>	<b>6.4774</b>
<b>Average</b>										<b>6.3138</b>

ตารางที่ ข - 2 แสดงผลค่าความชื้นของเนื้อไม้ยูคาลิปตัส

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
1	1	15.350	22.330	21.500	6.980	6.150	13.4959	21.890	6.540	6.3415
	2	15.410	22.420	21.600	7.010	6.190	13.2472	21.995	6.585	6.3813
	3	15.790	22.720	21.880	6.930	6.090	13.7931	22.257	6.467	6.1905
	4	16.620	23.460	22.580	6.840	5.960	14.7651	22.954	6.334	6.2752
	5	15.100	21.690	20.860	6.590	5.760	14.4097	21.221	6.121	6.2674
	<b>Avg</b>	<b>15.6540</b>	<b>22.5240</b>	<b>21.6840</b>	<b>6.8700</b>	<b>6.0300</b>	<b>13.9422</b>	<b>22.0634</b>	<b>6.4094</b>	<b>6.2911</b>
2	1	14.660	20.730	19.780	6.070	5.120	18.5547	20.095	5.435	6.1523
	2	15.140	21.130	20.220	5.990	5.080	17.9134	20.526	5.386	6.0236
	3	15.430	21.330	20.440	5.900	5.010	17.7645	20.745	5.315	6.0878
	4	15.930	22.430	21.470	6.500	5.540	17.3285	21.803	5.873	6.0108
	5	15.510	22.350	21.340	6.840	5.830	17.3242	21.700	6.190	6.1750
	<b>Avg</b>	<b>15.3340</b>	<b>21.5940</b>	<b>20.6500</b>	<b>6.2600</b>	<b>5.3160</b>	<b>17.7770</b>	<b>20.9738</b>	<b>5.6398</b>	<b>6.0899</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
3	1	15.020	22.090	21.290	7.070	6.270	12.7592	21.660	6.640	5.9011
	2	15.010	21.670	20.870	6.660	5.860	13.6519	21.216	6.206	5.9044
	3	18.490	25.030	24.270	6.540	5.780	13.1488	24.625	6.135	6.1419
	4	15.560	21.580	20.940	6.020	5.380	11.8959	21.260	5.700	5.9480
	5	18.170	23.670	22.940	5.500	4.770	15.3040	23.230	5.060	6.0797
	<b>Avg</b>	<b>16.4500</b>	<b>22.8080</b>	<b>22.0620</b>	<b>6.3580</b>	<b>5.6120</b>	<b>13.3519</b>	<b>22.3982</b>	<b>5.9482</b>	<b>5.9950</b>
4	1	14.880	21.120	20.370	6.240	5.490	13.6612	20.680	5.800	5.6466
	2	15.420	22.610	21.770	7.190	6.350	13.2283	22.136	6.716	5.7638
	3	16.310	23.710	22.820	7.400	6.510	13.6713	23.190	6.880	5.6836
	4	15.790	22.710	21.880	6.920	6.090	13.6289	22.216	6.426	5.5172
	5	15.880	22.110	21.390	6.230	5.510	13.0672	21.687	5.807	5.3902
	<b>Avg</b>	<b>15.6560</b>	<b>22.4520</b>	<b>21.6460</b>	<b>6.7960</b>	<b>5.9900</b>	<b>13.4514</b>	<b>21.9818</b>	<b>6.3258</b>	<b>5.6003</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
5	1	15.560	22.570	21.740	7.010	6.180	13.4304	22.105	6.545	5.9061
	2	17.930	25.060	24.200	7.130	6.270	13.7161	24.520	6.590	5.1037
	3	14.780	22.470	21.570	7.690	6.790	13.2548	21.968	7.188	5.8616
	4	14.680	22.240	21.360	7.560	6.680	13.1737	21.750	7.070	5.8383
	5	15.770	23.570	22.660	7.800	6.890	13.2075	23.015	7.245	5.1524
	<b>Avg</b>	<b>15.7440</b>	<b>23.1820</b>	<b>22.3060</b>	<b>7.4380</b>	<b>6.5620</b>	<b>13.3565</b>	<b>22.6716</b>	<b>6.9276</b>	<b>5.5724</b>
6	1	15.910	22.830	21.980	6.920	6.070	14.0033	22.320	6.410	5.6013
	2	15.270	22.670	21.720	7.400	6.450	14.7287	22.050	6.780	5.1163
	3	15.650	22.110	21.310	6.460	5.660	14.1343	21.670	6.020	6.3604
	4	14.950	21.500	20.670	6.550	5.720	14.5105	21.004	6.054	5.8392
	5	15.670	22.080	21.270	6.410	5.600	14.4643	21.614	5.944	6.1429
	<b>Avg</b>	<b>15.4900</b>	<b>22.2380</b>	<b>21.3900</b>	<b>6.7480</b>	<b>5.9000</b>	<b>14.3682</b>	<b>21.7316</b>	<b>6.2416</b>	<b>5.8120</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
7	1	15.220	22.060	21.170	6.840	5.950	14.9580	21.460	6.240	4.8739
	2	18.220	24.710	23.850	6.490	5.630	15.2753	24.110	5.890	4.6181
	3	17.920	24.510	23.630	6.590	5.710	15.4116	23.920	6.000	5.0788
	4	15.070	22.090	21.120	7.020	6.050	16.0331	21.370	6.300	4.1322
	5	15.120	22.390	21.430	7.270	6.310	15.2139	21.760	6.640	5.2298
	<b>Avg</b>	<b>16.3100</b>	<b>23.1520</b>	<b>22.2400</b>	<b>6.8420</b>	<b>5.9300</b>	<b>15.3784</b>	<b>22.5240</b>	<b>6.2140</b>	<b>4.7866</b>
8	1	17.900	24.890	24.060	6.990	6.160	13.4740	24.410	6.510	5.6818
	2	15.880	21.580	20.800	5.700	4.920	15.8537	21.059	5.179	5.2642
	3	18.310	24.120	23.350	5.810	5.040	15.2778	23.560	5.250	4.1667
	4	15.010	20.870	20.100	5.860	5.090	15.1277	20.360	5.350	5.1081
	5	14.890	20.780	20.010	5.890	5.120	15.0391	20.220	5.330	4.1016
	<b>Avg</b>	<b>16.3980</b>	<b>22.4480</b>	<b>21.6640</b>	<b>6.0500</b>	<b>5.2660</b>	<b>14.9544</b>	<b>21.9218</b>	<b>5.5238</b>	<b>4.8645</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
9	1	15.310	22.570	21.730	7.260	6.420	13.0841	22.130	6.820	6.2305
	2	15.230	21.740	20.960	6.510	5.730	13.6126	21.360	6.130	6.9808
	3	15.450	22.570	21.750	7.120	6.300	13.0159	22.015	6.565	4.2063
	4	15.200	21.390	20.660	6.190	5.460	13.3700	21.000	5.800	6.2271
	5	15.410	22.190	21.370	6.780	5.960	13.7584	21.740	6.330	6.2081
	<b>Avg</b>	<b>15.3200</b>	<b>22.0920</b>	<b>21.2940</b>	<b>6.7720</b>	<b>5.9740</b>	<b>13.3682</b>	<b>21.6490</b>	<b>6.3290</b>	<b>5.9706</b>
10	1	14.990	21.690	20.890	6.700	5.900	13.5593	21.240	6.250	5.9322
	2	18.180	25.170	24.340	6.990	6.160	13.4740	24.730	6.550	6.3312
	3	15.520	22.230	21.430	6.710	5.910	13.5364	21.760	6.240	5.5838
	4	14.610	20.660	19.940	6.050	5.330	13.5084	20.240	5.630	5.6285
	5	15.080	21.420	20.680	6.340	5.600	13.2143	20.980	5.900	5.3571
	<b>Avg</b>	<b>15.6760</b>	<b>22.2340</b>	<b>21.4560</b>	<b>6.5580</b>	<b>5.7800</b>	<b>13.4585</b>	<b>21.7900</b>	<b>6.1140</b>	<b>5.7666</b>
<b>Average</b>										<b>5.3354</b>

ตารางที่ ข - 3 แสดงผลค่าความชื้นของซีเมนต์ไม้สัก

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
1	1	15.350	21.170	20.390	5.820	5.040	15.4762	20.750	5.400	7.1429
	2	15.410	22.470	21.500	7.060	6.090	15.9278	21.890	6.480	6.4039
	3	15.790	22.590	21.620	6.800	5.830	16.6381	21.970	6.180	6.0034
	4	16.620	23.480	22.490	6.860	5.870	16.8654	23.000	6.380	8.6882
	5	15.100	21.280	20.410	6.180	5.310	16.3842	20.800	5.700	7.3446
	<b>Avg</b>	<b>15.6540</b>	<b>22.1980</b>	<b>21.2820</b>	<b>6.5440</b>	<b>5.6280</b>	<b>16.2583</b>	<b>21.6820</b>	<b>6.0280</b>	<b>7.1166</b>
2	1	14.660	21.100	20.210	6.440	5.550	16.0360	20.570	5.910	6.4865
	2	15.140	21.800	20.870	6.660	5.730	16.2304	21.200	6.060	5.7592
	3	15.430	22.850	21.740	7.420	6.310	17.5911	22.210	6.780	7.4485
	4	15.930	23.480	22.460	7.550	6.530	15.6202	22.860	6.930	6.1256
	5	15.510	23.700	22.570	8.190	7.060	16.0057	23.000	7.490	6.0907
	<b>Avg</b>	<b>15.3340</b>	<b>22.5860</b>	<b>21.5700</b>	<b>7.2520</b>	<b>6.2360</b>	<b>16.2967</b>	<b>21.9680</b>	<b>6.6340</b>	<b>6.3821</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
3	1	15.020	22.620	21.480	7.600	6.460	17.6471	21.870	6.850	6.0372
	2	15.010	22.280	21.250	7.270	6.240	16.5064	21.640	6.630	6.2500
	3	18.490	25.260	24.230	6.770	5.740	17.9443	24.590	6.100	6.2718
	4	15.560	21.380	20.540	5.820	4.980	16.8675	20.830	5.270	5.8233
	5	18.170	25.330	24.290	7.160	6.120	16.9935	24.680	6.510	6.3725
	<b>Avg</b>	<b>16.4500</b>	<b>23.3740</b>	<b>22.3580</b>	<b>6.9240</b>	<b>5.9080</b>	<b>17.1917</b>	<b>22.7220</b>	<b>6.2720</b>	<b>6.1510</b>
4	1	14.880	21.270	20.370	6.390	5.490	16.3934	20.720	5.840	6.3752
	2	15.420	22.530	21.570	7.110	6.150	15.6098	21.920	6.500	5.6911
	3	16.310	23.230	22.260	6.920	5.950	16.3025	22.620	6.310	6.0504
	4	15.790	23.260	22.220	7.470	6.430	16.1742	22.680	6.890	7.1540
	5	15.880	23.100	22.100	7.220	6.220	16.0772	22.450	6.570	5.6270
	<b>Avg</b>	<b>15.6560</b>	<b>22.6780</b>	<b>21.7040</b>	<b>7.0220</b>	<b>6.0480</b>	<b>16.1114</b>	<b>22.0780</b>	<b>6.4220</b>	<b>6.1795</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
5	1	15.560	23.150	22.140	7.590	6.580	15.3495	22.540	6.980	6.0790
	2	17.930	25.470	24.430	7.540	6.500	16.0000	24.860	6.930	6.6154
	3	14.780	21.080	20.210	6.300	5.430	16.0221	20.580	5.800	6.8140
	4	14.680	20.710	19.850	6.030	5.170	16.6344	20.220	5.540	7.1567
	5	15.770	22.560	21.620	6.790	5.850	16.0684	21.990	6.220	6.3248
	<b>Avg</b>	<b>15.7440</b>	<b>22.5940</b>	<b>21.6500</b>	<b>6.8500</b>	<b>5.9060</b>	<b>16.0149</b>	<b>22.0380</b>	<b>6.2940</b>	<b>6.5980</b>
6	1	16.190	24.310	23.180	8.120	6.990	16.1660	23.620	7.430	6.2947
	2	15.710	22.600	21.680	6.890	5.970	15.4104	22.110	6.400	7.2027
	3	14.540	21.760	20.750	7.220	6.210	16.2641	21.200	6.660	7.2464
	4	16.000	23.330	22.330	7.330	6.330	15.7978	22.790	6.790	7.2670
	5	14.950	22.040	21.060	7.090	6.110	16.0393	21.450	6.500	6.3830
	<b>Avg</b>	<b>15.4780</b>	<b>22.8080</b>	<b>21.8000</b>	<b>7.3300</b>	<b>6.3220</b>	<b>15.9355</b>	<b>22.2340</b>	<b>6.7560</b>	<b>6.8787</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
7	1	15.910	22.220	21.360	6.310	5.450	15.7798	21.750	5.840	7.1560
	2	15.270	21.240	20.420	5.970	5.150	15.9223	20.780	5.510	6.9903
	3	15.650	22.820	21.840	7.170	6.190	15.8320	22.210	6.560	5.9774
	4	14.950	22.230	21.250	7.280	6.300	15.5556	21.650	6.700	6.3492
	5	15.670	23.000	21.970	7.330	6.300	16.3492	22.360	6.690	6.1905
	<b>Avg</b>	<b>15.4900</b>	<b>22.3020</b>	<b>21.3680</b>	<b>6.8120</b>	<b>5.8780</b>	<b>15.8878</b>	<b>21.7500</b>	<b>6.2600</b>	<b>6.5327</b>
8	1	15.220	22.210	21.260	6.990	6.040	15.7285	21.690	6.470	7.1192
	2	18.220	26.470	25.310	8.250	7.090	16.3611	25.740	7.520	6.0649
	3	17.920	25.500	24.450	7.580	6.530	16.0796	24.880	6.960	6.5850
	4	15.070	22.610	21.560	7.540	6.490	16.1787	21.940	6.870	5.8552
	5	15.120	22.620	21.580	7.500	6.460	16.0991	21.960	6.840	5.8824
	<b>Avg</b>	<b>16.3100</b>	<b>23.8820</b>	<b>22.8320</b>	<b>7.5720</b>	<b>6.5220</b>	<b>16.0894</b>	<b>23.2420</b>	<b>6.9320</b>	<b>6.3013</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
9	1	17.900	25.600	24.480	7.700	6.580	17.0213	24.920	7.020	6.6869
	2	15.880	23.770	22.670	7.890	6.790	16.2003	23.120	7.240	6.6274
	3	18.310	25.890	24.830	7.580	6.520	16.2577	25.210	6.900	5.8282
	4	15.010	22.920	21.790	7.910	6.780	16.6667	22.220	7.210	6.3422
	5	14.890	23.070	21.910	8.180	7.020	16.5242	22.410	7.520	7.1225
	<b>Avg</b>	<b>16.3980</b>	<b>24.2500</b>	<b>23.1360</b>	<b>7.8520</b>	<b>6.7380</b>	<b>16.5340</b>	<b>23.5760</b>	<b>7.1780</b>	<b>6.5214</b>
10	1	15.310	20.450	19.770	5.140	4.460	15.2466	20.110	4.800	7.6233
	2	15.230	21.450	20.610	6.220	5.380	15.6134	20.970	5.740	6.6914
	3	15.450	21.720	20.840	6.270	5.390	16.3265	21.170	5.720	6.1224
	4	15.200	22.120	21.150	6.920	5.950	16.3025	21.330	6.130	3.0252
	5	15.410	22.630	21.650	7.220	6.240	15.7051	22.000	6.590	5.6090
	<b>Avg</b>	<b>15.3200</b>	<b>21.6740</b>	<b>20.8040</b>	<b>6.3540</b>	<b>5.4840</b>	<b>15.8388</b>	<b>21.1160</b>	<b>5.7960</b>	<b>5.8143</b>
<b>Average</b>										<b>6.3158</b>

ตารางที่ ข - 4 แสดงผลค่าความความชื้นของสนประดิพัทธ์

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
1	1	15.580	25.120	24.920	9.540	9.340	2.1413	25.489	9.909	6.0921
	2	15.570	26.370	26.150	10.800	10.580	2.0794	26.798	11.228	6.1248
	3	14.630	25.220	25.080	10.590	10.450	1.3397	25.704	11.074	5.9713
	4	15.140	25.940	25.760	10.800	10.620	1.6949	26.380	11.240	5.8380
	5	14.660	24.210	24.050	9.550	9.390	1.7039	24.608	9.948	5.9425
	<b>Avg</b>	<b>15.1160</b>	<b>25.3720</b>	<b>25.1920</b>	<b>10.2560</b>	<b>10.0760</b>	<b>1.7919</b>	<b>25.7958</b>	<b>10.6798</b>	<b>5.9937</b>
2	1	15.200	25.650	25.490	10.450	10.290	1.5549	26.090	10.890	5.8309
	2	15.620	25.880	25.670	10.260	10.050	2.0896	26.280	10.660	6.0697
	3	16.050	26.260	26.050	10.210	10.000	2.1000	26.586	10.536	5.3600
	4	15.790	26.270	26.080	10.480	10.290	1.8465	26.710	10.920	6.1224
	5	14.910	26.020	25.830	11.110	10.920	1.7399	26.470	11.560	5.8608
	<b>Avg</b>	<b>15.5140</b>	<b>26.0160</b>	<b>25.8240</b>	<b>10.5020</b>	<b>10.3100</b>	<b>1.8662</b>	<b>26.4272</b>	<b>10.9132</b>	<b>5.8488</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
3	1	15.770	24.270	24.080	8.500	8.310	2.2864	24.578	8.808	5.9928
	2	15.120	24.430	24.210	9.310	9.090	2.4202	24.760	9.640	6.0506
	3	15.620	24.060	23.860	8.440	8.240	2.4272	24.325	8.705	5.6432
	4	17.660	27.240	27.070	9.580	9.410	1.8066	27.565	9.905	5.2604
	5	14.560	25.980	25.770	11.420	11.210	1.8733	26.430	11.870	5.8876
	<b>Avg</b>	<b>15.7460</b>	<b>25.1960</b>	<b>24.9980</b>	<b>9.4500</b>	<b>9.2520</b>	<b>2.1627</b>	<b>25.5316</b>	<b>9.7856</b>	<b>5.7669</b>
4	1	14.870	24.730	24.590	9.860	9.720	1.4403	25.112	10.242	5.3704
	2	17.930	27.500	27.370	9.570	9.440	1.3771	27.892	9.962	5.5297
	3	15.470	25.580	25.460	10.110	9.990	1.2012	26.040	10.570	5.8058
	4	15.110	24.480	24.330	9.370	9.220	1.6269	24.899	9.789	6.1714
	5	15.180	24.600	24.470	9.420	9.290	1.3994	25.018	9.838	5.8988
	<b>Avg</b>	<b>15.7120</b>	<b>25.3780</b>	<b>25.2440</b>	<b>9.6660</b>	<b>9.5320</b>	<b>1.4090</b>	<b>25.7922</b>	<b>10.0802</b>	<b>5.7552</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
5	1	14.600	24.040	23.900	9.440	9.300	1.5054	24.440	9.840	5.8065
	2	15.310	23.720	23.710	8.410	8.400	0.1190	24.230	8.920	6.1905
	3	14.920	24.320	24.200	9.400	9.280	1.2931	24.720	9.800	5.6034
	4	14.990	24.300	24.200	9.310	9.210	1.0858	24.760	9.770	6.0803
	5	16.020	25.750	25.660	9.730	9.640	0.9336	26.230	10.210	5.9129
	<b>Avg</b>	<b>15.1680</b>	<b>24.4260</b>	<b>24.3340</b>	<b>9.2580</b>	<b>9.1660</b>	<b>0.9874</b>	<b>24.8760</b>	<b>9.7080</b>	<b>5.9187</b>
6	1	14.900	26.110	24.600	11.210	9.700	15.5670	25.210	10.310	6.2887
	2	15.580	27.080	25.540	11.500	9.960	15.4618	26.140	10.560	6.0241
	3	14.660	25.650	24.190	10.990	9.530	15.3200	24.750	10.090	5.8762
	4	15.230	28.540	26.770	13.310	11.540	15.3380	27.480	12.250	6.1525
	5	15.170	27.470	25.880	12.300	10.710	14.8459	26.470	11.300	5.5089
	<b>Avg</b>	<b>15.1080</b>	<b>26.9700</b>	<b>25.3960</b>	<b>11.8620</b>	<b>10.2880</b>	<b>15.3066</b>	<b>26.0100</b>	<b>10.9020</b>	<b>5.9701</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
7	1	15.410	29.000	27.220	13.590	11.810	15.0720	27.940	12.530	6.0965
	2	15.050	26.370	24.930	11.320	9.880	14.5749	25.540	10.490	6.1741
	3	15.620	25.850	24.640	10.230	9.020	13.4146	25.270	2.860	6.3197
	4	15.470	25.600	24.450	10.130	8.980	12.8062	24.910	2.870	5.9041
	5	14.920	24.280	23.120	9.360	8.200	14.1463	23.700	2.970	6.4516
	<b>Avg</b>	<b>15.2940</b>	<b>26.2200</b>	<b>24.8720</b>	<b>10.9260</b>	<b>9.5780</b>	<b>14.0028</b>	<b>18.4800</b>	<b>2.8260</b>	<b>5.7663</b>
8	1	15.390	26.850	26.680	11.460	11.290	1.5058	27.360	11.970	6.0230
	2	15.290	26.140	26.010	10.850	10.720	1.2127	26.660	11.370	6.0634
	3	15.760	26.810	26.650	11.050	10.890	1.4692	27.330	11.570	6.2443
	4	14.710	24.910	24.770	10.200	10.060	1.3917	25.380	10.670	6.0636
	5	15.650	21.340	21.240	5.690	5.590	1.7889	21.520	5.870	5.0089
	<b>Avg</b>	<b>15.3600</b>	<b>25.2100</b>	<b>25.0700</b>	<b>9.8500</b>	<b>9.7100</b>	<b>1.4736</b>	<b>25.6500</b>	<b>10.2900</b>	<b>5.8807</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
9	1	15.220	25.390	25.280	10.170	10.060	1.0934	25.860	10.640	5.7654
	2	15.040	24.510	24.420	9.470	9.380	0.9595	24.989	9.949	6.0661
	3	18.010	28.580	28.440	10.570	10.430	1.3423	29.031	11.021	5.6663
	4	15.470	26.870	26.750	11.400	11.280	1.0638	27.430	11.960	6.0284
	5	15.690	25.550	25.460	9.860	9.770	0.9212	26.012	10.322	5.6499
	<b>Avg</b>	<b>15.8860</b>	<b>26.1800</b>	<b>26.0700</b>	<b>10.2940</b>	<b>10.1840</b>	<b>1.0760</b>	<b>26.6644</b>	<b>10.7784</b>	<b>5.8352</b>
10	1	15.880	25.870	25.730	9.990	9.850	1.4213	26.286	10.406	5.6447
	2	15.000	25.350	25.270	10.350	10.270	0.7790	25.870	10.870	5.8423
	3	14.840	24.910	24.770	10.070	9.930	1.4099	25.370	10.530	6.0423
	4	14.750	24.660	24.530	9.910	9.780	1.3292	25.130	10.380	6.1350
	5	15.690	25.010	24.900	9.320	9.210	1.1944	25.423	9.733	5.6786
	<b>Avg</b>	<b>15.2320</b>	<b>25.1600</b>	<b>25.0400</b>	<b>9.9280</b>	<b>9.8080</b>	<b>1.2268</b>	<b>25.6158</b>	<b>10.3838</b>	<b>5.8686</b>
<b>Average</b>										<b>6.3705</b>

ตารางที่ ข - 5 แสดงผลค่าความชื้นของยางพารา

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
1	1	16.190	19.190	18.730	3.000	2.540	18.1102	18.910	2.720	7.0866
	2	15.770	18.770	18.300	3.000	2.530	18.5771	18.450	2.680	5.9289
	3	14.570	17.570	17.110	3.000	2.540	18.1102	17.290	2.720	7.0866
	4	16.030	19.030	18.550	3.000	2.520	19.0476	18.710	2.680	6.3492
	5	14.940	17.940	17.480	3.000	2.540	18.1102	17.660	2.720	7.0866
	<b>Avg</b>	<b>15.5000</b>	<b>18.5000</b>	<b>18.0340</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.5340</b>	<b>18.3911</b>	<b>18.2040</b>	<b>2.7040</b>	<b>6.7076</b>
2	1	15.570	18.570	18.040	3.000	2.470	21.4575	18.210	2.640	6.8826
	2	15.570	18.570	18.070	3.000	2.500	20.0000	18.240	2.670	6.8000
	3	14.640	17.640	17.100	3.000	2.460	21.9512	17.260	2.620	6.5041
	4	15.150	18.150	17.640	3.000	2.490	20.4819	17.812	2.662	6.9076
	5	14.670	17.670	17.150	3.000	2.480	20.9677	17.290	2.620	5.6452
	<b>Avg</b>	<b>15.1200</b>	<b>18.1200</b>	<b>17.6000</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.4800</b>	<b>20.9717</b>	<b>17.7624</b>	<b>2.6424</b>	<b>6.5479</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
3	1	15.220	18.220	17.710	3.000	2.490	20.4819	17.860	2.640	6.0241
	2	15.540	18.540	17.910	3.000	2.370	26.5823	18.076	2.536	7.0042
	3	16.040	19.040	18.330	3.000	2.290	31.0044	18.460	2.420	5.6769
	4	15.750	18.750	18.080	3.000	2.330	28.7554	18.240	2.490	6.8670
	5	14.880	17.880	17.220	3.000	2.340	28.2051	17.360	2.480	5.9829
	<b>Avg</b>	<b>15.4860</b>	<b>18.4860</b>	<b>17.8500</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.3640</b>	<b>27.0058</b>	<b>17.9992</b>	<b>2.5132</b>	<b>6.3110</b>
4	1	14.860	17.860	17.280	3.000	2.420	23.9669	17.450	2.590	7.0248
	2	17.950	20.950	20.310	3.000	2.360	27.1186	20.470	2.520	6.7797
	3	15.490	18.490	17.860	3.000	2.370	26.5823	18.010	2.520	6.3291
	4	15.080	18.080	17.460	3.000	2.380	26.0504	17.630	2.550	7.1429
	5	15.070	18.070	17.420	3.000	2.350	27.6596	17.590	2.520	7.2340
	<b>Avg</b>	<b>15.6900</b>	<b>18.6900</b>	<b>18.0660</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.3760</b>	<b>26.2756</b>	<b>18.2300</b>	<b>2.5400</b>	<b>6.9021</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
5	1	16.010	19.010	18.440	3.000	2.430	23.4568	18.600	2.590	6.5844
	2	15.280	18.280	17.770	3.000	2.490	20.4819	17.940	2.660	6.8273
	3	14.890	17.890	17.310	3.000	2.420	23.9669	17.470	2.580	6.6116
	4	15.050	18.050	17.420	3.000	2.370	26.5823	17.585	2.535	6.9620
	5	16.000	19.000	18.430	3.000	2.430	23.4568	18.580	2.580	6.1728
	<b>Avg</b>	<b>15.4460</b>	<b>18.4460</b>	<b>17.8740</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.4280</b>	<b>23.5889</b>	<b>18.0350</b>	<b>2.5890</b>	<b>6.6316</b>
6	1	16.230	19.230	18.780	3.000	2.550	17.6471	18.920	2.690	5.4902
	2	15.210	18.210	17.750	3.000	2.540	18.1102	17.900	2.690	5.9055
	3	16.000	19.000	18.550	3.000	2.550	17.6471	18.725	2.725	6.8627
	4	15.070	18.070	17.570	3.000	2.500	20.0000	17.725	2.655	6.2000
	5	17.980	20.980	20.520	3.000	2.540	18.1102	20.699	2.719	7.0472
	<b>Avg</b>	<b>16.0980</b>	<b>19.0980</b>	<b>18.6340</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.5360</b>	<b>18.3029</b>	<b>18.7938</b>	<b>2.6958</b>	<b>6.3011</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
7	1	15.770	18.770	18.210	3.000	2.440	22.9508	18.340	2.570	5.3279
	2	15.080	18.080	17.540	3.000	2.460	21.9512	17.710	2.630	6.9106
	3	15.550	18.550	17.980	3.000	2.430	23.4568	18.150	2.600	6.9959
	4	17.630	20.630	20.070	3.000	2.440	22.9508	20.230	2.600	6.5574
	5	14.540	17.540	16.970	3.000	2.430	23.4568	17.130	2.590	6.5844
	<b>Avg</b>	<b>15.7140</b>	<b>18.7140</b>	<b>18.1540</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.4400</b>	<b>22.9533</b>	<b>18.3120</b>	<b>2.5980</b>	<b>6.4752</b>
8	1	14.590	17.590	16.910	3.000	2.320	29.3103	17.070	2.480	6.8966
	2	15.300	18.300	17.640	3.000	2.340	28.2051	17.800	2.500	6.8376
	3	15.680	18.680	18.000	3.000	2.320	29.3103	18.160	2.480	6.8966
	4	14.720	17.720	17.040	3.000	2.320	29.3103	17.200	2.480	6.8966
	5	15.510	18.510	17.940	3.000	2.430	23.4568	18.110	2.600	6.9959
	<b>Avg</b>	<b>15.1600</b>	<b>18.1600</b>	<b>17.5060</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.3460</b>	<b>27.9186</b>	<b>17.6680</b>	<b>2.5080</b>	<b>6.9046</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
9	1	15.190	18.190	17.560	3.000	2.370	26.5823	17.710	2.520	6.3291
	2	15.840	18.840	18.170	3.000	2.330	28.7554	18.340	2.500	7.2961
	3	17.890	20.890	20.240	3.000	2.350	27.6596	20.410	2.520	7.2340
	4	15.410	18.410	17.740	3.000	2.330	28.7554	17.915	2.505	7.5107
	5	15.620	18.620	17.930	3.000	2.310	29.8701	18.070	2.450	6.0606
	<b>Avg</b>	<b>15.9900</b>	<b>18.9900</b>	<b>18.3280</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.3380</b>	<b>28.3245</b>	<b>18.4890</b>	<b>2.4990</b>	<b>6.8861</b>
10	1	15.880	18.880	18.280	3.000	2.400	25.0000	18.459	2.579	7.4583
	2	14.960	17.960	17.330	3.000	2.370	26.5823	17.490	2.530	6.7511
	3	14.820	17.820	17.170	3.000	2.350	27.6596	17.310	2.490	5.9574
	4	14.730	17.730	17.050	3.000	2.320	29.3103	17.210	2.480	6.8966
	5	15.670	18.670	18.010	3.000	2.340	28.2051	18.180	2.510	7.2650
	<b>Avg</b>	<b>15.2120</b>	<b>18.2120</b>	<b>17.5680</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.3560</b>	<b>27.3515</b>	<b>17.7298</b>	<b>2.5178</b>	<b>6.8657</b>
<b>Average</b>										<b>6.9229</b>

ตารางที่ ข - 6 แสดงผลค่าความชื้นของกะลาตาล

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
1	1	17.891	20.536	20.292	2.645	2.400	10.1908	20.456	2.565	6.8494
	2	16.164	18.806	18.562	2.642	2.398	10.1722	18.722	2.558	6.6856
	3	15.318	17.930	17.687	2.612	2.369	10.2588	17.855	2.537	7.0967
	4	15.555	18.177	17.934	2.622	2.379	10.2177	18.102	2.547	7.0696
	5	14.904	17.598	17.295	2.694	2.391	12.6411	17.466	2.562	7.1172
	<b>Avg</b>	<b>15.9665</b>	<b>18.6093</b>	<b>18.3540</b>	<b>2.6428</b>	<b>2.3874</b>	<b>10.6961</b>	<b>18.5202</b>	<b>2.5537</b>	<b>6.9637</b>
2	1	15.041	18.053	17.774	3.012	2.733	10.2060	17.962	2.921	6.8796
	2	18.161	21.175	20.893	3.014	2.732	10.3232	21.085	2.924	7.0323
	3	18.090	21.101	20.820	3.011	2.730	10.2938	21.008	2.918	6.9053
	4	16.056	19.093	18.810	3.037	2.754	10.2803	19.004	2.948	7.0375
	5	15.432	18.444	18.162	3.011	2.730	10.3081	18.345	2.913	6.6926
	<b>Avg</b>	<b>16.5561</b>	<b>19.5730</b>	<b>19.2917</b>	<b>3.0169</b>	<b>2.7356</b>	<b>10.2823</b>	<b>19.4807</b>	<b>2.9246</b>	<b>6.9095</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
3	1	15.781	18.170	17.943	2.389	2.162	10.4698	18.095	2.314	7.0107
	2	14.737	17.125	16.898	2.388	2.161	10.5331	17.048	2.311	6.9511
	3	15.209	17.597	17.369	2.388	2.160	10.5443	17.522	2.313	7.0820
	4	15.092	17.479	17.249	2.387	2.157	10.6722	17.396	2.305	6.8382
	5	15.444	17.833	17.605	2.389	2.161	10.5568	17.754	2.310	6.8959
	<b>Avg</b>	<b>15.2525</b>	<b>17.6408</b>	<b>17.4127</b>	<b>2.3883</b>	<b>2.1603</b>	<b>10.5553</b>	<b>17.5630</b>	<b>2.3105</b>	<b>6.9556</b>
4	1	18.152	20.360	20.153	2.209	2.002	10.3412	20.296	2.144	7.1040
	2	16.876	19.080	18.873	2.204	1.997	10.3756	19.015	2.139	7.1157
	3	16.467	18.678	18.470	2.211	2.003	10.3944	18.612	2.145	7.0994
	4	17.598	19.807	19.598	2.210	2.001	10.4358	19.740	2.143	7.0822
	5	16.691	18.908	18.699	2.216	2.007	10.4170	18.842	2.150	7.1290
	<b>Avg</b>	<b>17.1567</b>	<b>19.3667</b>	<b>19.1587</b>	<b>2.2100</b>	<b>2.0020</b>	<b>10.3928</b>	<b>19.3009</b>	<b>2.1442</b>	<b>7.1060</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
5	1	15.167	17.983	17.725	2.817	2.558	10.1012	17.908	2.741	7.1381
	2	15.179	18.014	17.750	2.834	2.571	10.2579	17.934	2.754	7.1459
	3	15.050	17.852	17.593	2.802	2.543	10.1939	17.774	2.725	7.1499
	4	15.220	18.059	17.798	2.839	2.578	10.1331	17.981	2.760	7.0800
	5	19.023	21.860	21.599	2.837	2.576	10.1351	21.779	2.756	6.9909
	<b>Avg</b>	<b>15.9277</b>	<b>18.7535</b>	<b>18.4928</b>	<b>2.8258</b>	<b>2.5651</b>	<b>10.1642</b>	<b>18.6750</b>	<b>2.7472</b>	<b>7.1010</b>
6	1	18.048	20.667	20.415	2.620	2.368	10.6568	20.577	2.529	6.8384
	2	16.298	18.901	18.652	2.604	2.355	10.5703	18.812	2.515	6.7864
	3	16.188	18.844	18.589	2.655	2.401	10.6006	18.755	2.567	6.9102
	4	16.311	18.918	18.668	2.606	2.357	10.5915	18.827	2.516	6.7513
	5	16.694	19.335	19.082	2.641	2.387	10.6061	19.245	2.551	6.8404
	<b>Avg</b>	<b>16.7078</b>	<b>19.3329</b>	<b>19.0812</b>	<b>2.6251</b>	<b>2.3734</b>	<b>10.6051</b>	<b>19.2432</b>	<b>2.5354</b>	<b>6.8253</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
7	1	17.615	19.797	19.582	2.182	1.967	10.9196	19.719	2.104	6.9442
	2	16.355	18.547	18.331	2.192	1.976	10.9295	18.468	2.113	6.9321
	3	16.639	18.824	18.605	2.184	1.966	11.1315	18.739	2.100	6.8274
	4	15.792	17.972	17.757	2.180	1.966	10.9014	17.893	2.101	6.8980
	5	16.281	18.479	18.261	2.198	1.980	11.0039	18.399	2.118	6.9740
	<b>Avg</b>	<b>16.5363</b>	<b>18.7237</b>	<b>18.5073</b>	<b>2.1874</b>	<b>1.9710</b>	<b>10.9772</b>	<b>18.6436</b>	<b>2.1073</b>	<b>6.9152</b>
8	1	16.412	18.780	18.559	2.368	2.147	10.2907	18.705	2.293	6.8154
	2	16.211	18.576	18.362	2.365	2.151	9.9428	18.509	2.299	6.8424
	3	16.290	18.653	18.427	2.363	2.137	10.5803	18.569	2.279	6.6355
	4	16.315	18.677	18.459	2.363	2.144	10.1856	18.608	2.293	6.9443
	5	16.110	18.478	18.257	2.367	2.147	10.2860	18.408	2.298	7.0390
	<b>Avg</b>	<b>16.2676</b>	<b>18.6327</b>	<b>18.4127</b>	<b>2.3652</b>	<b>2.1451</b>	<b>10.2571</b>	<b>18.5598</b>	<b>2.2922</b>	<b>6.8553</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
9	1	16.493	18.508	18.309	2.015	1.815	11.0015	18.436	1.943	7.0240
	2	16.490	18.503	18.304	2.013	1.813	11.0082	18.430	1.940	6.9766
	3	16.205	18.206	18.008	2.002	1.803	10.9965	18.134	1.929	6.9927
	4	16.595	18.612	18.413	2.017	1.818	10.9284	18.539	1.944	6.9299
	5	16.250	18.261	18.062	2.010	1.812	10.9615	18.189	1.939	6.9986
	<b>Avg</b>	<b>16.4067</b>	<b>18.4180</b>	<b>18.2190</b>	<b>2.0113</b>	<b>1.8123</b>	<b>10.9792</b>	<b>18.3456</b>	<b>1.9389</b>	<b>6.9844</b>
10	1	18.728	21.349	21.099	2.622	2.371	10.5838	21.271	2.543	7.2851
	2	16.091	18.770	18.511	2.679	2.420	10.6722	18.685	2.594	7.1933
	3	16.745	19.359	19.113	2.614	2.368	10.4012	19.281	2.536	7.0988
	4	18.852	21.523	21.269	2.671	2.417	10.4828	21.440	2.588	7.0740
	5	15.532	18.457	18.205	2.925	2.674	9.4068	18.377	2.845	6.4071
	<b>Avg</b>	<b>17.1895</b>	<b>19.8915</b>	<b>19.6394</b>	<b>2.7020</b>	<b>2.4500</b>	<b>10.3094</b>	<b>19.8109</b>	<b>2.6214</b>	<b>7.0117</b>
<b>Average</b>										<b>6.9324</b>

ตารางที่ ข - 7 แสดงผลค่าความชื้นของยางนา

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
1	1	16.190	19.200	17.990	3.010	1.800	67.2222	18.102	1.912	6.2222
	2	15.770	18.770	17.520	3.000	1.750	71.4286	17.620	1.850	5.7143
	3	14.570	17.590	16.370	3.020	1.800	67.7778	16.490	1.920	6.6667
	4	16.030	19.030	17.820	3.000	1.790	67.5978	17.910	1.880	5.0279
	5	14.940	17.950	16.710	3.010	1.770	70.0565	16.820	1.880	6.2147
	<b>Avg</b>	<b>15.5000</b>	<b>18.5080</b>	<b>17.2820</b>	<b>3.0080</b>	<b>1.7820</b>	<b>68.8166</b>	<b>17.3884</b>	<b>1.8884</b>	<b>5.9692</b>
2	1	15.570	18.580	17.490	3.010	1.920	56.7708	17.620	2.050	6.7708
	2	15.570	18.580	17.440	3.010	1.870	60.9626	17.550	1.980	5.8824
	3	14.640	17.660	16.540	3.020	1.900	58.9474	16.670	2.030	6.8421
	4	15.150	18.170	17.070	3.020	1.920	57.2917	17.190	2.040	6.2500
	5	14.670	17.680	16.590	3.010	1.920	56.7708	16.700	2.030	5.7292
	<b>Avg</b>	<b>15.1200</b>	<b>18.1340</b>	<b>17.0260</b>	<b>3.0140</b>	<b>1.9060</b>	<b>58.1487</b>	<b>17.1460</b>	<b>2.0260</b>	<b>6.2949</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
3	1	15.220	18.240	17.070	3.020	1.850	63.2432	17.180	1.960	5.9459
	2	15.540	18.550	17.390	3.010	1.850	62.7027	17.490	1.950	5.4054
	3	16.040	19.050	17.840	3.010	1.800	67.2222	17.950	1.910	6.1111
	4	15.750	18.760	17.570	3.010	1.820	65.3846	17.680	1.930	6.0440
	5	14.880	17.880	16.740	3.000	1.860	61.2903	16.850	1.970	5.9140
	<b>Avg</b>	<b>15.4860</b>	<b>18.4960</b>	<b>17.3220</b>	<b>3.0100</b>	<b>1.8360</b>	<b>63.9686</b>	<b>17.4300</b>	<b>1.9440</b>	<b>5.8841</b>
4	1	14.860	17.880	16.630	3.020	1.770	70.6215	16.740	1.880	6.2147
	2	17.950	20.970	19.740	3.020	1.790	68.7151	19.840	1.890	5.5866
	3	15.490	18.490	17.250	3.000	1.760	70.4545	17.350	1.860	5.6818
	4	15.080	18.090	16.940	3.010	1.860	61.8280	17.050	1.970	5.9140
	5	15.070	18.080	16.920	3.010	1.850	62.7027	17.025	1.955	5.6757
	<b>Avg</b>	<b>15.6900</b>	<b>18.7020</b>	<b>17.4960</b>	<b>3.0120</b>	<b>1.8060</b>	<b>66.8644</b>	<b>17.6010</b>	<b>1.9110</b>	<b>5.8146</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
5	1	16.010	19.030	17.900	3.020	1.890	59.7884	18.020	2.010	6.3492
	2	15.280	18.280	17.150	3.000	1.870	60.4278	17.259	1.979	5.8289
	3	14.890	17.910	16.710	3.020	1.820	65.9341	16.820	1.930	6.0440
	4	15.050	18.050	16.800	3.000	1.750	71.4286	16.920	1.870	6.8571
	5	16.000	19.020	17.820	3.020	1.820	65.9341	17.930	1.930	6.0440
	<b>Avg</b>	<b>15.4460</b>	<b>18.4580</b>	<b>17.2760</b>	<b>3.0120</b>	<b>1.8300</b>	<b>64.7026</b>	<b>17.3898</b>	<b>1.9438</b>	<b>6.2246</b>
6	1	16.230	19.250	18.050	3.020	1.820	65.9341	18.160	1.930	6.0440
	2	15.210	18.230	17.060	3.020	1.850	63.2432	17.170	1.960	5.9459
	3	16.000	19.010	17.820	3.010	1.820	65.3846	17.930	1.930	6.0440
	4	15.070	18.070	16.890	3.000	1.820	64.8352	17.010	1.940	6.5934
	5	17.980	20.990	19.800	3.010	1.820	65.3846	19.902	1.922	5.6044
	<b>Avg</b>	<b>16.0980</b>	<b>19.1100</b>	<b>17.9240</b>	<b>3.0120</b>	<b>1.8260</b>	<b>64.9563</b>	<b>18.0344</b>	<b>1.9364</b>	<b>6.0463</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
7	1	15.770	18.780	17.670	3.010	1.900	58.4211	17.790	2.020	6.3158
	2	15.080	18.090	17.000	3.010	1.920	56.7708	17.112	2.032	5.8333
	3	15.550	18.570	17.450	3.020	1.900	58.9474	17.580	2.030	6.8421
	4	17.630	20.650	19.500	3.020	1.870	61.4973	19.619	1.989	6.3636
	5	14.540	17.540	16.420	3.000	1.880	59.5745	16.540	2.000	6.3830
	<b>Avg</b>	<b>15.7140</b>	<b>18.7260</b>	<b>17.6080</b>	<b>3.0120</b>	<b>1.8940</b>	<b>59.0422</b>	<b>17.7282</b>	<b>2.0142</b>	<b>6.3476</b>
8	1	14.590	17.600	16.400	3.010	1.810	66.2983	16.500	1.910	5.5249
	2	15.300	18.320	17.160	3.020	1.860	62.3656	17.270	1.970	5.9140
	3	15.680	18.690	17.510	3.010	1.830	64.4809	17.620	1.940	6.0109
	4	14.720	17.730	16.570	3.010	1.850	62.7027	16.680	1.960	5.9459
	5	15.510	18.520	17.470	3.010	1.960	53.5714	17.590	2.080	6.1224
	<b>Avg</b>	<b>15.1600</b>	<b>18.1720</b>	<b>17.0220</b>	<b>3.0120</b>	<b>1.8620</b>	<b>61.8838</b>	<b>17.1320</b>	<b>1.9720</b>	<b>5.9036</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
9	1	15.190	18.410	17.000	3.220	1.810	77.9006	17.098	1.908	5.4144
	2	15.840	18.850	17.700	3.010	1.860	61.8280	17.820	1.980	6.4516
	3	17.890	20.890	19.700	3.000	1.810	65.7459	19.799	1.909	5.4696
	4	15.410	18.420	17.260	3.010	1.850	62.7027	17.360	1.950	5.4054
	5	15.620	18.640	17.480	3.020	1.860	62.3656	17.590	1.970	5.9140
	<b>Avg</b>	<b>15.9900</b>	<b>19.0420</b>	<b>17.8280</b>	<b>3.0520</b>	<b>1.8380</b>	<b>66.1085</b>	<b>17.9334</b>	<b>1.9434</b>	<b>5.7310</b>
10	1	15.880	18.880	17.700	3.000	1.820	64.8352	17.820	1.940	6.5934
	2	14.960	17.980	16.800	3.020	1.840	64.1304	16.920	1.960	6.5217
	3	14.820	17.840	16.710	3.020	1.890	59.7884	16.830	2.010	6.3492
	4	14.730	17.750	16.540	3.020	1.810	66.8508	16.660	1.930	6.6298
	5	15.670	18.680	17.520	3.010	1.850	62.7027	17.630	1.960	5.9459
	<b>Avg</b>	<b>15.2120</b>	<b>18.2260</b>	<b>17.0540</b>	<b>3.0140</b>	<b>1.8420</b>	<b>63.6615</b>	<b>17.1720</b>	<b>1.9600</b>	<b>6.4080</b>
<b>Average</b>										<b>5.9866</b>

ตารางที่ ข - 8 แสดงผลค่าความชื้นของก้านฝ้าย

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
1	1	15.350	18.350	18.030	3.000	2.680	11.9403	18.190	2.840	5.9701
	2	15.410	18.410	18.100	3.000	2.690	11.5242	18.270	2.860	6.3197
	3	15.790	18.790	18.420	3.000	2.630	14.0684	18.590	2.800	6.4639
	4	16.620	19.620	19.280	3.000	2.660	12.7820	19.420	2.800	5.2632
	5	15.100	18.100	17.800	3.000	2.700	11.1111	17.930	2.830	4.8148
	<b>Avg</b>	<b>15.6540</b>	<b>18.6540</b>	<b>18.3260</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.6720</b>	<b>12.2852</b>	<b>18.4800</b>	<b>2.8260</b>	<b>5.7663</b>
2	1	14.660	17.660	17.330	3.000	2.670	12.3596	17.490	2.830	5.9925
	2	15.140	18.140	17.870	3.000	2.730	9.8901	18.000	2.860	4.7619
	3	15.430	18.430	18.090	3.000	2.660	12.7820	18.250	2.820	6.0150
	4	15.930	18.930	18.650	3.000	2.720	10.2941	18.800	2.870	5.5147
	5	15.510	18.510	18.220	3.000	2.710	10.7011	18.380	2.870	5.9041
	<b>Avg</b>	<b>15.3340</b>	<b>18.3340</b>	<b>18.0320</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.6980</b>	<b>11.2054</b>	<b>18.1840</b>	<b>2.8500</b>	<b>5.6376</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
3	1	15.020	18.020	17.620	3.000	2.600	15.3846	17.780	2.760	6.1538
	2	15.010	18.010	17.670	3.000	2.660	12.7820	17.820	2.810	5.6391
	3	18.490	21.490	21.110	3.000	2.620	14.5038	21.260	2.770	5.7252
	4	15.560	18.560	18.230	3.000	2.670	12.3596	18.360	2.800	4.8689
	5	18.170	21.170	20.790	3.000	2.620	14.5038	20.920	2.750	4.9618
	<b>Avg</b>	<b>16.4500</b>	<b>19.4500</b>	<b>19.0840</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.6340</b>	<b>13.9068</b>	<b>19.2280</b>	<b>2.7780</b>	<b>5.4698</b>
4	1	14.880	17.880	17.580	3.000	2.700	11.1111	17.710	2.830	4.8148
	2	15.420	18.420	18.160	3.000	2.740	9.4891	18.320	2.900	5.8394
	3	16.310	19.310	19.030	3.000	2.720	10.2941	19.180	2.870	5.5147
	4	15.790	18.790	18.520	3.000	2.730	9.8901	18.660	2.870	5.1282
	5	15.880	18.880	18.600	3.000	2.720	10.2941	18.740	2.860	5.1471
	<b>Avg</b>	<b>15.6560</b>	<b>18.6560</b>	<b>18.3780</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.7220</b>	<b>10.2157</b>	<b>18.5220</b>	<b>2.8660</b>	<b>5.2888</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
5	1	15.560	18.560	18.320	3.000	2.760	8.6957	18.490	2.930	6.1594
	2	17.930	20.930	20.660	3.000	2.730	9.8901	20.800	2.870	5.1282
	3	14.780	17.780	17.530	3.000	2.750	9.0909	17.680	2.900	5.4545
	4	14.680	17.680	17.410	3.000	2.730	9.8901	17.580	2.900	6.2271
	5	15.770	18.770	18.500	3.000	2.730	9.8901	18.630	2.860	4.7619
	<b>Avg</b>	<b>15.7440</b>	<b>18.7440</b>	<b>18.4840</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.7400</b>	<b>9.4914</b>	<b>18.6360</b>	<b>2.8920</b>	<b>5.5462</b>
6	1	16.450	19.450	19.170	3.000	2.720	10.2941	19.310	2.860	5.1471
	2	16.460	19.460	19.160	3.000	2.700	11.1111	19.320	2.860	5.9259
	3	16.200	19.200	18.890	3.000	2.690	11.5242	19.060	2.860	6.3197
	4	16.540	19.540	19.230	3.000	2.690	11.5242	19.380	2.840	5.5762
	5	16.260	19.260	18.910	3.000	2.650	13.2075	19.070	2.810	6.0377
	<b>Avg</b>	<b>16.3820</b>	<b>19.3820</b>	<b>19.0720</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.6900</b>	<b>11.5322</b>	<b>19.2280</b>	<b>2.8460</b>	<b>5.8013</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
7	1	15.220	18.220	17.890	3.000	2.670	12.3596	18.010	2.790	4.4944
	2	18.220	21.220	20.950	3.000	2.730	9.8901	21.110	2.890	5.8608
	3	17.920	20.920	20.630	3.000	2.710	10.7011	20.790	2.870	5.9041
	4	15.070	18.070	17.760	3.000	2.690	11.5242	17.910	2.840	5.5762
	5	15.120	18.120	17.880	3.000	2.760	8.6957	18.020	2.900	5.0725
	<b>Avg</b>	<b>16.3100</b>	<b>19.3100</b>	<b>19.0220</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.7120</b>	<b>10.6341</b>	<b>19.1680</b>	<b>2.8580</b>	<b>5.3816</b>
8	1	17.900	20.900	20.570	3.000	2.670	12.3596	20.720	2.820	5.6180
	2	15.880	18.880	18.540	3.000	2.660	12.7820	18.710	2.830	6.3910
	3	18.310	21.310	20.930	3.000	2.620	14.5038	21.080	2.770	5.7252
	4	15.010	18.010	17.700	3.000	2.690	11.5242	17.840	2.830	5.2045
	5	14.890	17.890	17.600	3.000	2.710	10.7011	17.770	2.880	6.2731
	<b>Avg</b>	<b>16.3980</b>	<b>19.3980</b>	<b>19.0680</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.6700</b>	<b>12.3741</b>	<b>19.2240</b>	<b>2.8260</b>	<b>5.8423</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
9	1	15.310	18.310	18.020	3.000	2.710	10.7011	18.170	2.860	5.5351
	2	15.230	18.230	17.950	3.000	2.720	10.2941	18.110	2.880	5.8824
	3	15.450	18.450	18.110	3.000	2.660	12.7820	18.260	2.810	5.6391
	4	15.200	18.200	17.920	3.000	2.720	10.2941	18.070	2.870	5.5147
	5	15.410	18.410	18.140	3.000	2.730	9.8901	18.280	2.870	5.1282
	<b>Avg</b>	<b>15.3200</b>	<b>18.3200</b>	<b>18.0280</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.7080</b>	<b>10.7923</b>	<b>18.1780</b>	<b>2.8580</b>	<b>5.5399</b>
10	1	14.990	17.990	17.730	3.000	2.740	9.4891	17.900	2.910	6.2044
	2	18.180	21.180	20.860	3.000	2.680	11.9403	21.030	2.850	6.3433
	3	15.520	18.520	18.220	3.000	2.700	11.1111	18.360	2.840	5.1852
	4	14.610	17.610	17.310	3.000	2.700	11.1111	17.480	2.870	6.2963
	5	15.080	18.080	17.790	3.000	2.710	10.7011	17.960	2.880	6.2731
	<b>Avg</b>	<b>15.6760</b>	<b>18.6760</b>	<b>18.3820</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.7060</b>	<b>10.8705</b>	<b>18.5460</b>	<b>2.8700</b>	<b>6.0604</b>
<b>Average</b>										<b>5.7698</b>

ตารางที่ ข - 9 แสดงผลค่าความชื้นของหลิว

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
1	1	15.350	18.390	18.050	3.040	2.700	12.5926	18.210	2.860	5.9259
	2	15.410	18.450	18.190	3.040	2.780	9.3525	18.360	2.950	6.1151
	3	15.790	18.800	18.480	3.010	2.690	11.8959	18.650	2.860	6.3197
	4	16.620	19.630	19.330	3.010	2.710	11.0701	19.490	2.870	5.9041
	5	15.100	18.150	17.890	3.050	2.790	9.3190	18.070	2.970	6.4516
	<b>Avg</b>	<b>15.6540</b>	<b>18.6840</b>	<b>18.3880</b>	<b>3.0300</b>	<b>2.7340</b>	<b>10.8460</b>	<b>18.5560</b>	<b>2.9020</b>	<b>6.1433</b>
2	1	14.660	17.690	17.410	3.030	2.750	10.1818	17.580	2.920	6.1818
	2	15.140	18.140	17.920	3.000	2.780	7.9137	18.090	2.950	6.1151
	3	15.430	18.480	18.120	3.050	2.690	13.3829	18.270	2.840	5.5762
	4	15.930	18.950	18.680	3.020	2.750	9.8182	18.840	2.910	5.8182
	5	15.510	18.520	18.240	3.010	2.730	10.2564	18.400	2.890	5.8608
	<b>Avg</b>	<b>15.3340</b>	<b>18.3560</b>	<b>18.0740</b>	<b>3.0220</b>	<b>2.7400</b>	<b>10.3106</b>	<b>18.2360</b>	<b>2.9020</b>	<b>5.9104</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
3	1	15.020	18.050	17.680	3.030	2.660	13.9098	17.820	2.800	5.2632
	2	15.010	18.020	17.750	3.010	2.740	9.8540	17.910	2.900	5.8394
	3	18.490	21.510	21.190	3.020	2.700	11.8519	21.350	2.860	5.9259
	4	15.560	18.580	18.270	3.020	2.710	11.4391	18.400	2.840	4.7970
	5	18.170	21.200	20.840	3.030	2.670	13.4831	21.000	2.830	5.9925
	<b>Avg</b>	<b>16.4500</b>	<b>19.4720</b>	<b>19.1460</b>	<b>3.0220</b>	<b>2.6960</b>	<b>12.1076</b>	<b>19.2960</b>	<b>2.8460</b>	<b>5.5636</b>
4	1	14.880	17.880	17.590	3.000	2.710	10.7011	17.740	2.860	5.5351
	2	15.420	18.430	18.120	3.010	2.700	11.4815	18.280	2.860	5.9259
	3	16.310	19.320	19.030	3.010	2.720	10.6618	19.190	2.880	5.8824
	4	15.790	18.790	18.490	3.000	2.700	11.1111	18.650	2.860	5.9259
	5	15.880	18.880	18.630	3.000	2.750	9.0909	18.790	2.910	5.8182
	<b>Avg</b>	<b>15.6560</b>	<b>18.6600</b>	<b>18.3720</b>	<b>3.0040</b>	<b>2.7160</b>	<b>10.6093</b>	<b>18.5300</b>	<b>2.8740</b>	<b>5.8175</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
5	1	15.560	18.560	18.370	3.000	2.810	6.7616	18.540	2.980	6.0498
	2	17.930	20.930	20.640	3.000	2.710	10.7011	20.770	2.840	4.7970
	3	14.780	17.780	17.500	3.000	2.720	10.2941	17.680	2.900	6.6176
	4	14.680	17.680	17.460	3.000	2.780	7.9137	17.630	2.950	6.1151
	5	15.770	18.770	18.510	3.000	2.740	9.4891	18.680	2.910	6.2044
	<b>Avg</b>	<b>15.7440</b>	<b>18.7440</b>	<b>18.4960</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.7520</b>	<b>9.0319</b>	<b>18.6600</b>	<b>2.9160</b>	<b>5.9568</b>
6	1	15.910	18.950	18.650	3.040	2.740	10.9489	18.800	2.890	5.4745
	2	15.270	18.300	18.030	3.030	2.760	9.7826	18.200	2.930	6.1594
	3	15.650	18.700	18.420	3.050	2.770	10.1083	18.590	2.940	6.1372
	4	14.950	18.010	17.720	3.060	2.770	10.4693	17.890	2.940	6.1372
	5	15.670	18.710	18.400	3.040	2.730	11.3553	18.530	2.860	4.7619
	<b>Avg</b>	<b>15.4900</b>	<b>18.5340</b>	<b>18.2440</b>	<b>3.0440</b>	<b>2.7540</b>	<b>10.5329</b>	<b>18.4020</b>	<b>2.9120</b>	<b>5.7340</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
7	1	15.220	18.270	17.990	3.050	2.770	10.1083	18.140	2.920	5.4152
	2	18.220	21.260	21.000	3.040	2.780	9.3525	21.170	2.950	6.1151
	3	17.920	20.980	20.710	3.060	2.790	9.6774	20.880	2.960	6.0932
	4	15.070	18.080	17.770	3.010	2.700	11.4815	17.910	2.840	5.1852
	5	15.120	18.160	17.850	3.040	2.730	11.3553	18.000	2.880	5.4945
	<b>Avg</b>	<b>16.3100</b>	<b>19.3500</b>	<b>19.0640</b>	<b>3.0400</b>	<b>2.7540</b>	<b>10.3950</b>	<b>19.2200</b>	<b>2.9100</b>	<b>5.6606</b>
8	1	17.900	20.910	20.640	3.010	2.740	9.8540	20.790	2.890	5.4745
	2	15.880	18.900	18.610	3.020	2.730	10.6227	18.770	2.890	5.8608
	3	18.310	21.330	20.980	3.020	2.670	13.1086	21.150	2.840	6.3670
	4	15.010	18.010	17.720	3.000	2.710	10.7011	17.880	2.870	5.9041
	5	14.890	17.900	17.580	3.010	2.690	11.8959	17.740	2.850	5.9480
	<b>Avg</b>	<b>16.3980</b>	<b>19.4100</b>	<b>19.1060</b>	<b>3.0120</b>	<b>2.7080</b>	<b>11.2365</b>	<b>19.2660</b>	<b>2.8680</b>	<b>5.9109</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
9	1	15.310	18.310	18.020	3.000	2.710	10.7011	18.180	2.870	5.9041
	2	15.230	18.230	17.960	3.000	2.730	9.8901	18.120	2.890	5.8608
	3	15.450	18.450	18.110	3.000	2.660	12.7820	18.270	2.820	6.0150
	4	15.200	18.210	17.950	3.010	2.750	9.4545	18.110	2.910	5.8182
	5	15.410	18.420	18.190	3.010	2.780	8.2734	18.360	2.950	6.1151
	<b>Avg</b>	<b>15.3200</b>	<b>18.3240</b>	<b>18.0460</b>	<b>3.0040</b>	<b>2.7260</b>	<b>10.2202</b>	<b>18.2080</b>	<b>2.8880</b>	<b>5.9426</b>
10	1	14.990	17.990	17.740	3.000	2.750	9.0909	17.880	2.890	5.0909
	2	18.180	21.180	20.850	3.000	2.670	12.3596	21.000	2.820	5.6180
	3	15.520	18.520	18.220	3.000	2.700	11.1111	18.390	2.870	6.2963
	4	14.610	17.610	17.330	3.000	2.720	10.2941	17.470	2.860	5.1471
	5	15.080	18.080	17.800	3.000	2.720	10.2941	17.970	2.890	6.2500
	<b>Avg</b>	<b>15.6760</b>	<b>18.6760</b>	<b>18.3880</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.7120</b>	<b>10.6300</b>	<b>18.5420</b>	<b>2.8660</b>	<b>5.6804</b>
<b>Average</b>										<b>5.7544</b>

ตารางที่ ข - 10 แสดงผลค่าความชื้นของเปลือกไม้ยูคาลิปตัส

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
1	1	15.810	18.810	18.420	3.000	2.610	14.9425	18.625	2.815	7.8544
	2	18.810	21.810	21.440	3.000	2.630	14.0684	21.635	2.825	7.4144
	3	18.700	21.700	21.320	3.000	2.620	14.5038	21.510	2.810	7.2519
	<b>Avg</b>	<b>17.7733</b>	<b>20.7733</b>	<b>20.3933</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.6200</b>	<b>14.5049</b>	<b>20.5900</b>	<b>2.8167</b>	<b>7.5069</b>
2	1	18.110	21.110	20.700	3.000	2.590	15.8301	20.950	2.840	9.6525
	2	16.850	19.850	19.420	3.000	2.570	16.7315	19.610	2.760	7.3930
	3	16.660	19.660	19.270	3.000	2.610	14.9425	19.460	2.800	7.2797
	<b>Avg</b>	<b>17.2067</b>	<b>20.2067</b>	<b>19.7967</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.5900</b>	<b>15.8347</b>	<b>20.0067</b>	<b>2.8000</b>	<b>8.1084</b>
3	1	18.000	21.000	20.580	3.000	2.580	16.2791	20.780	2.780	7.7519
	2	16.270	19.270	18.860	3.000	2.590	15.8301	19.102	2.832	9.3436
	3	16.690	19.690	19.220	3.000	2.530	18.5771	19.420	2.730	7.9051
	<b>Avg</b>	<b>16.9867</b>	<b>19.9867</b>	<b>19.5533</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.5667</b>	<b>16.8954</b>	<b>19.7673</b>	<b>2.7807</b>	<b>8.3336</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
4	1	17.570	20.570	20.190	3.000	2.620	14.5038	20.360	2.790	6.4885
	2	16.300	19.300	18.900	3.000	2.600	15.3846	19.090	2.790	7.3077
	3	16.260	19.260	18.870	3.000	2.610	14.9425	19.130	2.870	9.9617
	<b>Avg</b>	<b>16.7100</b>	<b>19.7100</b>	<b>19.3200</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.6100</b>	<b>14.9437</b>	<b>19.5267</b>	<b>2.8167</b>	<b>7.9193</b>
5	1	15.730	18.730	18.340	3.000	2.610	14.9425	18.511	2.781	6.5517
	2	14.720	17.720	17.320	3.000	2.600	15.3846	17.520	2.800	7.6923
	3	15.410	18.410	17.990	3.000	2.580	16.2791	18.190	2.780	7.7519
	<b>Avg</b>	<b>15.2867</b>	<b>18.2867</b>	<b>17.8833</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.5967</b>	<b>15.5354</b>	<b>18.0737</b>	<b>2.7870</b>	<b>7.3320</b>
6	1	16.720	19.720	19.310	3.000	2.590	15.8301	19.516	2.796	7.9537
	2	16.040	19.040	18.650	3.000	2.610	14.9425	18.905	2.865	9.7701
	3	18.700	21.700	21.300	3.000	2.600	15.3846	21.510	2.810	8.0769
	<b>Avg</b>	<b>17.1533</b>	<b>20.1533</b>	<b>19.7533</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.6000</b>	<b>15.3858</b>	<b>19.9770</b>	<b>2.8237</b>	<b>8.6002</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
7	1	16.440	19.440	19.030	3.000	2.590	15.8301	19.240	2.800	8.1081
	2	17.540	20.540	20.170	3.000	2.630	14.0684	20.398	2.858	8.6692
	3	16.660	19.660	19.270	3.000	2.610	14.9425	19.492	2.832	8.5057
	<b>Avg</b>	<b>16.8800</b>	<b>19.8800</b>	<b>19.4900</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.6100</b>	<b>14.9470</b>	<b>19.7100</b>	<b>2.8300</b>	<b>8.4277</b>
8	1	16.160	19.160	18.720	3.000	2.560	17.1875	18.920	2.760	7.8125
	2	16.280	19.280	18.850	3.000	2.570	16.7315	19.020	2.740	6.6148
	3	16.690	19.690	19.240	3.000	2.550	17.6471	19.460	2.810	8.6275
	<b>Avg</b>	<b>16.3767</b>	<b>19.3767</b>	<b>18.9367</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.5600</b>	<b>17.1887</b>	<b>19.1333</b>	<b>2.7700</b>	<b>7.6849</b>
9	1	16.620	19.620	19.220	3.000	2.600	15.3846	19.380	2.760	6.1538
	2	15.770	18.770	18.370	3.000	2.600	15.3846	18.600	2.830	8.8462
	3	16.260	19.260	18.880	3.000	2.620	14.5038	19.040	2.810	6.1069
	<b>Avg</b>	<b>16.2167</b>	<b>19.2167</b>	<b>18.8233</b>	<b>3.0000</b>	<b>2.6067</b>	<b>15.0910</b>	<b>19.0067</b>	<b>2.8000</b>	<b>7.0356</b>

Sample No.	Part No.	Moisture can weight (g)	Weight of moisture can and sample before (g)	Weight of moisture can and sample after (g)	Sample weight before (g)	Sample weight after (g)	moisture content (% dry basis)	Weight Balance + moisture can (g)	Weight Balance (g)	Moisture Balance %
10	1	15.160	18.160	17.750	3.000	2.590	15.8301	18.001	2.841	9.6911
	2	15.060	18.060	17.700	3.000	2.640	13.6364	17.926	2.866	8.5606
	3	15.410	18.410	18.010	3.000	2.600	15.3846	18.210	2.800	7.6923
	Avg	15.2100	18.2100	17.8200	3.0000	2.6100	14.9504	18.0457	2.8357	8.6480
Average										7.9597



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค - 1 แสดงค่า Repeatability ของเครื่อง NIRs

Repeatability			
Sample	Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )	Average absorbance	SD
ยางนา	6811.7403	0.3293	0.0002
	5199.4484	0.4765	0.0007
	4736.5895	0.5051	0.0003
	4281.4449	0.5759	0.0003
	4011.4439	0.7081	0.0003
หลิว	6814.5455	0.3361	0.0003
	5196.3627	0.4603	0.0007
	4748.9324	0.5094	0.0003
	4277.2021	0.5860	0.0003
	4015.3011	0.7083	0.0003
ยางพารา	6850.3119	0.3326	0.0002
	5199.4484	0.4267	0.0009
	4748.1610	0.4878	0.0002
	4281.4449	0.5678	0.0002
	4015.3011	0.6838	0.0001
กะลาตาล	6827.1689	0.3624	0.0004
	5199.4484	0.5447	0.0004
	4694.1608	0.5355	0.0004
	4277.5878	0.6109	0.0004
	4011.4439	0.7513	0.0004
ซีเลื่อยไม้สัก	6900.4549	0.3393	0.0030
	5199.4484	0.3805	0.0024
	4752.0182	0.5126	0.0023
	4281.4449	0.5952	0.0019
	4011.4439	0.7119	0.0017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค - 2 แสดงค่า Repeatability ของเครื่อง NIRs (ต่อ)

Repeatability			
Sample	Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )	Average absorbance	SD
สนประดิพัทธ์	6904.3121	0.3517	0.0002
	5199.4484	0.3457	0.0006
	4759.7325	0.5451	0.0003
	4281.4449	0.6271	0.0002
	4015.3011	0.7494	0.0004
ก้านฝ้าย	6811.7403	0.3108	0.0003
	5199.4484	0.4154	0.0009
	4748.161	0.4691	0.0003
	4281.4449	0.5404	0.0003
	4011.4439	0.6528	0.0003
กะลามะพร้าว	6873.4548	0.3708	0.0002
	5199.4484	0.5277	0.0004
	4690.3036	0.5692	0.0002
	4269.8435	0.6678	0.0002
	3710.5856	0.7933	0.0008
เนื้อไม้ยูคาลิปตัส	6900.4549	0.3338	0.0002
	5203.3056	0.3562	0.0003
	4755.8753	0.5101	0.0002
	4281.4449	0.5873	0.0002
	4015.3011	0.7024	0.0003
เปลือกไม้ยูคาลิปตัส	6861.8834	0.4397	0.0003
	5203.3056	0.5869	0.0007
	4694.1608	0.6386	0.0004
	4255.1461	0.6869	0.0004
	4000.6439	0.8161	0.0003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค - 3 แสดงค่า Reproducibility ของเครื่อง NIRs


Reproducibility			
Sample	Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )	Average absorbance	SD
ยางนา	6811.7403	0.0093	0.3299
	5199.4484	0.0107	0.4755
	4728.8752	0.0114	0.5008
	4277.5878	0.0125	0.5675
	4011.4439	0.0141	0.6955
หลิว	6815.5975	0.0097	0.3571
	5199.4484	0.0138	0.4903
	4748.1610	0.0120	0.5309
	4277.5878	0.0129	0.6043
	4011.4439	0.0149	0.7286
ยางพารา	6854.1690	0.0098	0.3473
	5199.4484	0.0110	0.4563
	4744.3038	0.0126	0.5065
	4281.4449	0.0131	0.5888
	4015.3011	0.0149	0.7074
กะลาตาล	6831.0261	0.0113	0.3900
	5199.4484	0.0137	0.5783
	4694.1608	0.0146	0.5677
	4277.5878	0.0156	0.6446
	4011.4439	0.0171	0.7866
ขี้เลื่อยไม้สัก	6819.4546	0.0142	0.3348
	5199.4484	0.0122	0.4279
	4748.1610	0.0150	0.4990
	4281.4449	0.0156	0.5786
	4011.4439	0.0164	0.6969

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค - 4 แสดงค่า Reproducibility ของเครื่อง NIRs (ต่อ)

Reproducibility			
Sample	Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )	Average absorbance	SD
สนประดิพัทธ์	6885.0263	0.0196	0.3779
	5203.3056	0.0328	0.4120
	4755.8753	0.0238	0.5721
	4281.4449	0.0253	0.6536
	4015.3011	0.0273	0.7787
ก้านฝ้าย	6804.0260	0.0203	0.3494
	5199.4484	0.0245	0.4691
	4748.1610	0.0238	0.5127
	4281.4449	0.0251	0.5855
	4011.4439	0.0281	0.7027
กะลามะพร้าว	6877.3120	0.0209	0.3664
	5199.4484	0.0285	0.5254
	4694.1608	0.0304	0.5644
	4269.8735	0.0341	0.6656
	4011.4439	0.0385	0.7858
เนื้อไม้ยูคาลิปตัส	6858.0262	0.0262	0.3633
	5203.3056	0.0251	0.4432
	4752.0182	0.0293	0.5401
	4281.4449	0.0297	0.6180
	4011.4439	0.0309	0.7379
เปลือกไม้ยูคาลิปตัส	6846.4547	0.0426	0.4827
	5195.5913	0.0417	0.6366
	4701.8751	0.0450	0.6715
	4258.3020	0.0462	0.7146
	3999.8724	0.0475	0.8532

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง  
ผลการดูดซับคลื่นของพืชพลังงานโดยเครื่อง Near Infrared Spectrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง - 1 แสดงค่าการดูดซับคลื่นของพืชพลังงานโดยเครื่อง NIRs

Spectrums			
Sample	Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )	Average absorbance	SD
ยางพารา	6858.0262	0.0098	0.3255
	5199.4484	0.0126	0.4364
	4744.3038	0.0144	0.4838
	4277.5878	0.0145	0.5667
	4011.4439	0.0154	0.6832
ก้านฝ้าย	6807.8831	0.0105	0.2865
	5199.4484	0.0105	0.3985
	4744.3038	0.0134	0.4481
	4277.5878	0.0140	0.5198
	4011.4439	0.0154	0.6320
หลิว	6834.8833	0.0131	0.3093
	5195.5913	0.0124	0.4425
	4740.4467	0.0149	0.4726
	4254.4448	0.0091	0.5630
	4015.3011	0.0141	0.6682
กะลาตาล	6834.8833	0.0131	0.3672
	5199.4484	0.0157	0.5463
	4694.1608	0.0170	0.5331
	4277.5878	0.0182	0.6075
	4007.5867	0.0199	0.7467
ยางนา	6811.7403	0.0156	0.3143
	5199.4484	0.0195	0.4562
	4721.1609	0.0194	0.4805
	4277.5878	0.0214	0.5461
	4011.4439	0.0233	0.6707

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

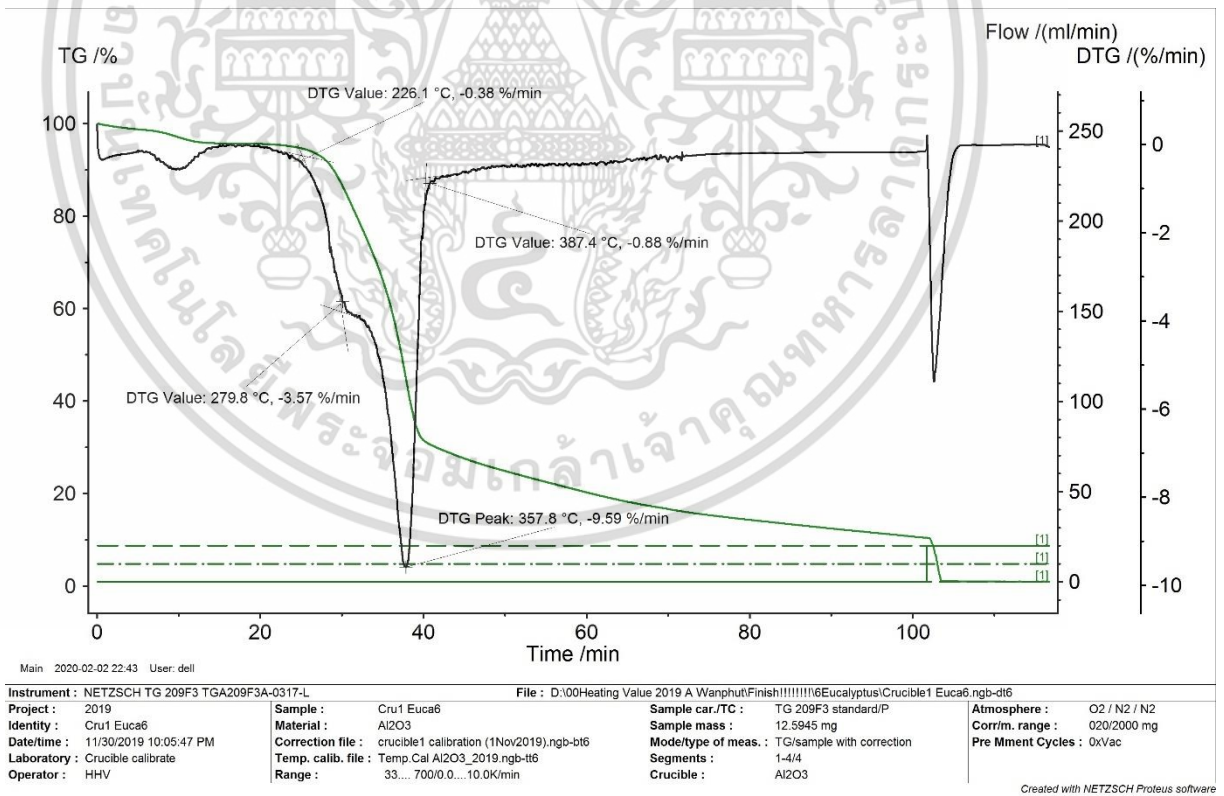
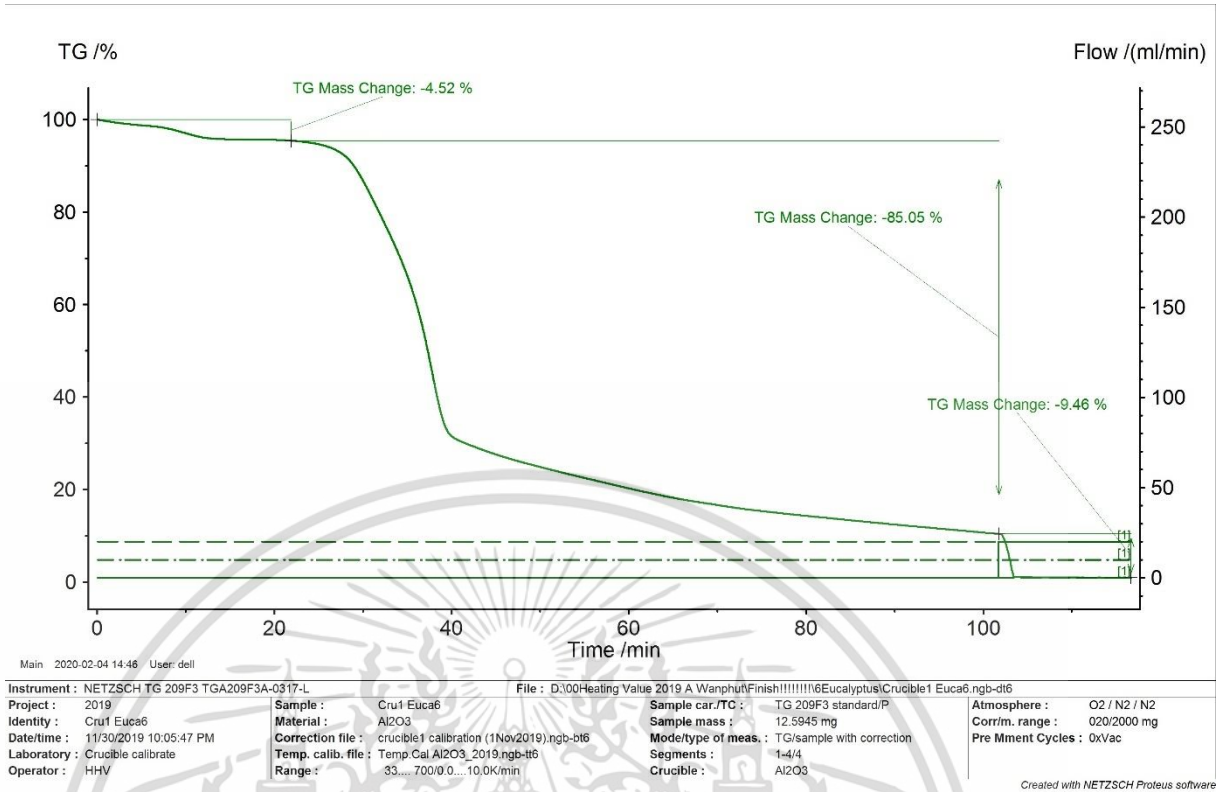
ตารางที่ ง - 2 แสดงค่าการดูดซับคลื่นของพืชพลังงานโดยเครื่อง NIRs (ต่อ)

Spectrums			
Sample	Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )	Average absorbance	SD
เนื้อไม้ยูคาลิปตัส	6888.8835	0.0158	0.3260
	5203.3056	0.0220	0.3670
	4752.0182	0.0169	0.4985
	4281.4449	0.0161	0.5734
	4011.4439	0.0165	0.6895
ขี้เลื่อยไม้สัก	6904.3121	0.0162	0.2922
	5199.4484	0.0195	0.3350
	4752.0182	0.0219	0.4449
	4277.5878	0.0226	0.5241
	4011.4439	0.0251	0.6324
สนประดิพัทธ์	6900.4549	0.0190	0.3712
	5203.3056	0.0243	0.3787
	4755.8753	0.0214	0.5663
	4281.4449	0.0221	0.6492
	4015.3011	0.0235	0.7747
กะลามะพร้าว	6869.5977	0.0238	0.3731
	5199.4484	0.0315	0.5339
	4690.3036	0.0342	0.5708
	4269.8735	0.0378	0.6707
	4011.4439	0.0424	0.7902
เปลือกไม้ยูคาลิปตัส	6854.1690	0.0382	0.4268
	5195.5913	0.0369	0.5845
	4694.1608	0.0317	0.6309
	4254.4448	0.0321	0.6851
	3996.0153	0.0396	0.8125

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ - 1 แสดงค่าองค์ประกอบเชิงปริมาณของพีชปลังงาน

พีชปลังงาน	ตัวอย่าง	%MC	%VM	%Ash	%FC
เปลือกไม้ยูคา ลิปตัส	1	5.10	86.45	0.30	8.15
	2	5.22	81.95	0.72	12.11
	3	5.40	85.34	0.57	8.69
	4	5.37	84.70	0.82	9.11
	5	5.66	86.32	0.72	7.30
	6	4.52	85.05	0.97	9.46
	7	4.26	83.59	1.57	10.58
	8	4.25	82.46	1.10	12.19
	9	5.53	83.78	1.12	9.57
	10	5.31	86.14	0.83	7.72
หลิว	1	6.14	83.30	1.38	9.18
	2	5.28	84.31	1.39	9.02
	3	5.62	85.24	0.80	8.34
	4	5.13	84.26	1.25	9.36
	5	6.47	82.56	0.89	10.08
	6	5.05	84.98	1.16	8.81
	7	5.30	83.56	2.30	8.84
	8	6.53	85.18	1.73	6.56
	9	4.14	83.19	3.88	8.79
	10	6.61	81.78	0.98	10.63
ก้านฝ้าย	1	5.79	82.31	1.78	10.12
	2	6.07	82.81	2.05	9.07
	3	5.07	83.54	1.95	9.44
	4	5.33	83.21	2.25	9.21
	5	5.40	82.06	1.52	11.02
	6	6.85	80.89	2.10	10.16
	7	5.80	79.79	2.07	12.34
	8	4.73	80.19	3.04	12.04
	9	6.41	78.24	2.38	12.97
	10	5.02	82.12	2.44	10.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ - 2 แสดงค่าองค์ประกอบเชิงปริมาณของพืชพลังงาน (ต่อ)

พืชพลังงาน	ตัวอย่าง	%MC	%VM	%Ash	%FC
สนประดิพัทธ์	1	4.27	83.58	1.16	10.99
	2	4.27	86.39	1.32	8.02
	3	5.28	83.36	0.67	10.69
	4	5.77	84.37	0.26	9.60
	5	5.43	83.48	0.85	10.24
	6	4.95	82.31	1.11	11.63
	7	5.47	81.22	1.73	11.58
	8	5.84	86.38	0.85	6.93
	9	5.63	79.99	0.62	13.76
	10	5.29	83.54	0.90	10.27
ยางนา	1	5.51	84.82	1.97	7.70
	2	6.04	81.08	2.56	10.32
	3	6.14	80.66	0.93	12.27
	4	5.21	85.02	2.01	7.76
	5	5.55	84.13	2.29	8.03
	6	5.52	79.56	2.29	12.63
	7	5.26	79.75	1.87	13.12
	8	5.52	82.50	2.08	9.90
	9	4.95	81.24	2.06	11.75
	10	6.26	78.38	3.57	11.79
กะลามะพร้าว	1	5.05	77.02	1.26	16.67
	2	4.58	84.00	1.39	10.03
	3	4.57	83.84	1.35	10.24
	4	5.08	79.99	1.28	13.65
	5	5.02	80.50	1.29	13.19
	6	5.25	76.39	1.14	17.22
	7	5.55	80.31	1.11	13.03
	8	5.71	80.14	0.76	13.39
	9	5.23	83.04	0.78	10.95
	10	5.51	79.94	1.37	13.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ - 3 แสดงค่าองค์ประกอบเชิงปริมาณของพีชพลังงาน (ต่อ)

พีชพลังงาน	ตัวอย่าง	%MC	%VM	%Ash	%FC
เนื้อไม้ยูคา ลิปตัส	1	5.10	86.45	0.30	8.15
	2	5.22	81.95	0.72	12.11
	3	5.40	85.34	0.57	8.69
	4	5.37	84.70	0.82	9.11
	5	5.66	86.32	0.72	7.30
	6	4.52	85.05	0.97	9.46
	7	4.26	83.59	1.57	10.58
	8	4.25	82.46	1.10	12.19
	9	5.53	83.78	1.12	9.57
	10	5.31	86.14	0.83	7.72
ยางพารา	1	4.76	83.66	1.25	10.33
	2	4.86	80.90	1.09	13.15
	3	5.48	77.28	1.70	15.54
	4	6.02	80.42	2.25	11.31
	5	5.02	81.85	2.05	11.08
	6	6.26	80.67	2.79	10.28
	7	6.31	79.11	2.50	12.08
	8	5.56	82.47	1.97	10.00
	9	5.33	80.77	1.66	12.24
	10	5.06	82.59	1.14	11.21
กะลาตาล	1	6.43	76.36	1.28	15.93
	2	6.86	76.02	2.68	14.44
	3	6.67	75.75	1.33	16.25
	4	6.92	77.76	2.01	13.31
	5	6.43	76.36	1.28	15.93
	6	6.86	76.02	2.68	14.44
	7	6.67	75.75	1.33	16.25
	8	6.92	77.76	2.01	13.31
	9	6.43	76.36	1.28	15.93
	10	6.86	76.02	2.68	14.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ - 4 แสดงค่าองค์ประกอบเชิงปริมาณของพีชพลังงาน (ต่อ)

พีชพลังงาน	ตัวอย่าง	%MC	%VM	%Ash	%FC
ชีเลื่อยไม้สัก	1	6.04	77.05	2.24	14.67
	2	4.35	86.18	2.12	7.35
	3	5.09	78.55	4.99	11.37
	4	6.81	76.45	2.72	14.02
	5	6.91	77.03	4.46	11.60
	6	7.84	82.39	3.82	5.95
	7	6.55	82.59	2.41	8.45
	8	7.76	78.08	4.85	9.31
	9	6.81	80.74	2.29	10.16
	10	5.48	77.80	7.12	9.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ - 5 อุณหภูมิที่ใช้ในการสลายตัวของพีชปลั่งงาน

พีชปลั่งงาน	ตัวอย่าง	T onset	T inflection	T peak	T offset
เปลือกไม้ยูคา ลิปตัส	1	210.8	256.6	340.2	370.2
	2	211.8	260.7	338.5	375.3
	3	208.8	256.7	341.7	377.2
	4	208.7	266.6	342.9	372.2
	5	212.8	260.6	341.5	372.2
	6	207.7	252.9	337.8	369.2
	7	209.7	360.2	339.0	371.2
	8	209.8	265.5	340.2	373.2
	9	209.7	267.1	340.3	371.3
	10	209.7	256.9	337.8	371.2
หลิว	1	216.9	266.7	349.4	383.3
	2	217.9	265.7	348.7	382.4
	3	216.9	262.6	347.9	383.3
	4	217.9	264.6	350.0	381.3
	5	216.9	264.7	349.0	383.3
	6	219.0	265.6	351.6	381.3
	7	219.0	263.7	349.3	383.3
	8	214.8	262.6	345.4	382.4
	9	215.9	264.7	349.5	380.3
	10	219.0	265.7	349.2	382.3
ก้านฝ้าย	1	219.0	259.6	337.4	380.2
	2	216.9	258.6	329.6	373.2
	3	216.9	256.6	326.6	378.2
	4	217.0	256.6	331.0	375.2
	5	218.0	260.7	336.4	374.3
	6	219.9	257.6	326.8	370.2
	7	219.9	262.6	330.8	377.2
	8	218.9	257.6	330.8	377.2
	9	217.0	258.6	330.3	379.2
	10	219.0	257.6	329.5	370.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ - 6 อุณหภูมิที่ใช้ในการสลายตัวของพีชพลังงาน (ต่อ)

พีชพลังงาน	ตัวอย่าง	T onset	T inflection	T peak	T offset
สนประดิพัทธ์	1	225.1	264.4	351.1	382.3
	2	224.1	264.7	348.6	379.3
	3	225.1	264.6	350.5	380.3
	4	222.0	263.6	355.2	386.3
	5	222.0	265.6	349.0	382.3
	6	223.1	265.6	352.6	385.3
	7	225.1	267.7	356.7	385.3
	8	227.1	264.6	349.4	383.3
	9	223.1	264.6	352.8	385.3
	10	224.1	265.6	351.7	382.3
ยางนา	1	204.5	267.7	355.4	386.4
	2	201.3	267.7	356.6	386.4
	3	207.7	267.7	357.5	386.3
	4	204.5	268.7	356.6	383.3
	5	206.5	269.7	355.5	383.4
	6	206.6	269.7	355.3	382.3
	7	204.5	270.7	357.2	385.3
	8	202.4	270.7	357.3	386.4
	9	203.4	270.7	358.9	389.4
	10	208.7	270.7	358.0	386.4
กะลามะพร้าว	1	216.9	256.6	347.9	378.3
	2	212.8	256.6	348.2	378.3
	3	216.9	256.6	348.1	374.2
	4	216.9	256.6	347.6	378.2
	5	216.8	254.5	345.0	376.2
	6	218.9	257.5	348.3	377.2
	7	213.7	256.5	349.8	378.3
	8	219.0	257.6	348.7	379.3
	9	215.9	255.6	345.7	378.3
	10	216.9	258.6	345.9	375.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ - 7 อุณหภูมิที่ใช้ในการสลายตัวของพีชพลังงาน (ต่อ)

พีชพลังงาน	ตัวอย่าง	T onset	T inflection	T peak	T offset
เนื้อไม้ยูคา ลิปตัส	1	217.1	262.7	355.0	388.4
	2	219.9	265.6	354.0	388.4
	3	217.9	266.7	350.3	386.4
	4	220.0	265.7	347.5	388.4
	5	219.9	266.6	345.3	385.4
	6	217.9	264.7	357.8	388.4
	7	217.9	262.6	348.0	389.3
	8	220.0	264.6	350.6	386.4
	9	218.9	268.7	350.2	385.3
	10	222.0	268.7	347.0	389.3
ยางพารา	1	214.9	269.6	351.5	382.3
	2	215.8	269.6	352.7	382.3
	3	212.8	269.6	352.0	385.3
	4	212.8	270.7	350.2	383.3
	5	212.8	271.7	353.0	385.3
	6	212.7	268.6	347.3	385.3
	7	218.0	269.7	350.4	383.3
	8	218.0	270.7	350.6	382.3
	9	212.8	270.7	352.2	381.3
	10	213.8	270.7	354.4	382.3
กะลาตาล	1	219.0	268.7	350.9	378.3
	2	222.0	269.6	350.5	378.4
	3	218.9	271.6	352.4	383.3
	4	216.8	267.6	350.9	380.4
	5	219.9	268.6	354.1	384.4
	6	218.9	268.7	352.3	381.4
	7	216.9	267.6	352.3	383.3
	8	219.0	268.7	350.8	385.4
	9	218.9	267.6	351.6	385.4
	10	216.8	268.6	349.6	381.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ - 8 อุณหภูมิที่ใช้ในการสลายตัวของพีชพลังงาน (ต่อ)

พีชพลังงาน	ตัวอย่าง	T onset	T inflection	T peak	T offset
ซีเลียมไม้สัก	1	218.9	277.7	352.4	387.3
	2	214.8	270.7	343.9	383.3
	3	214.9	268.7	341.7	389.3
	4	218.9	271.8	339.1	381.2
	5	214.8	274.7	344.0	382.2
	6	214.8	264.7	344.8	387.3
	7	218.0	275.7	347.5	382.4
	8	214.9	270.7	346.0	382.3
	9	217.9	273.7	340.3	381.3
	10	217.9	270.7	342.5	387.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่อง Bomb Calorimeter system c200

1. ก่อนการคาร์บริเบรทเครื่อง Bomb Calorimeter system c200 กรณีที่มีการหยุดใช้เครื่องเป็นเวลานาน ควรมีการทำความสะอาดก่อนการเติมน้ำคาร์บริเบรท โดยมีขั้นตอนดังนี้

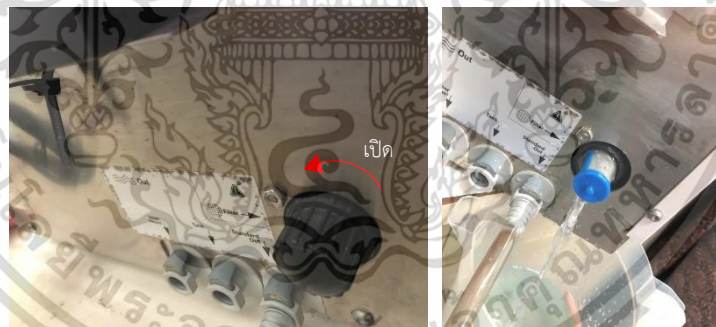
- 1.1 นำน้ำออกจากเครื่องให้หมด (หากยังไม่เคยมีการ Drain น้ำออกให้ปฏิบัติตามข้อ 5.1-5.4 ก่อน) ทำการเปลี่ยนสายยางไปที่ Port 2 (Tank) เพื่อเอาน้ำออกดังรูปที่ 1



รูปที่ 1

\* หมายเหตุ เมื่อมีการนำน้ำออกหมดให้การทำเปลี่ยนสายยางกลับไป Port 1 (Standard Out)

- 1.2 หมุนฝาปิด Filter ในทิศทางเข็มนาฬิกาเพื่อเปิดออก ดังรูปที่ 2 และรอให้น้ำไหลออกจนหมด



รูปที่ 2

- 1.3 ดึง Filter ออกและทำความสะอาดด้วยน้ำเปล่าดังรูปที่ 3 จากนั้นนำใส่กลับที่เดิมและหมุนฝาปิด Filter ในทิศตามเข็มนาฬิกาเพื่อปิด



รูปที่ 3

#### 1.4 ทำความสะอาดบริเวณที่ใส่น้ำให้สะอาด ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4

#### 1.5 เมื่อทำความสะอาดภายนอกจนครบให้ทำการเสียบปลั๊กเพื่อเปิดเครื่อง Bomb Calorimeter ต่อมาทำการเปิดฝาเครื่องขึ้น ดังรูปที่ 5(ก) และหน้าจอจะปรากฏดังรูปที่ 5(ข)



รูปที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ทำการเติมน้ำกลั่นให้อยู่ระหว่างขีด MAX และ MIN ดังรูปที่ 6

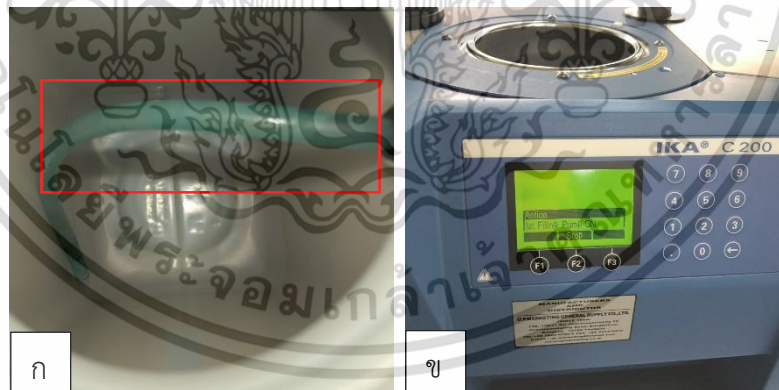


รูปที่ 6

1.7 กด F2 (1<sup>st</sup> fill) จะมีเสียงบี้มทำงาน และระดับน้ำกลั่นจะลดลงเนื่องจากน้ำกลั่นเข้าไปในระบบ

\* หมายเหตุ หากยังไม่มีน้ำในระบบห้ามทำการบอมป์โดยเด็ดขาด เนื่องจากอาจทำให้บี้มเสียหายได้

1.8 เมื่อน้ำกลั่นถูกเติมเข้าไปภายในเครื่อง ให้สังเกตสายยางที่อยู่ในช่องเติมน้ำดังรูปที่ 7(ก) หากมีน้ำไหลผ่านสายยางแล้ว ให้ทำการกด F2 (Stop) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 7(ข)



รูปที่ 7

หมายเหตุ \* หากปริมาณน้ำกลั่นไม่เพียงพอให้ทำการเติมเพิ่มเข้าไป

1.9 นำน้ำกลั่นออกจากเครื่องโดยการ กด F1 (On) > F3 (Menu) > F2 (Down)

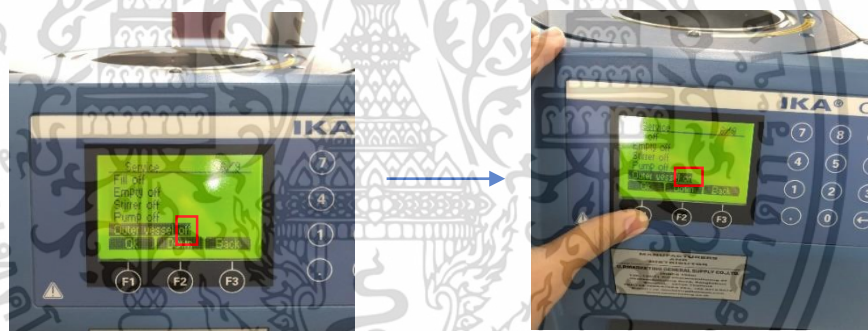
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.10 เลือกเมนู Service โดยการกด F1 (Ok) > F2 (Down) เพื่อเลือก Outer Vessel Off กด F1 (Ok) เพื่อให้กลายเป็น Outer Vessel On ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8

1.11 และรอให้น้ำกลั่นไหลออกจนหมด แล้วกด F1 (Ok) เพื่อให้ Outer Vessel On กลายเป็น Outer Vessel Off ดังรูปที่ 9 เป็นอันเสร็จสิ้นการทำความสะอาดเครื่อง Bomb Calorimeter ด้วยน้ำกลั่น



รูปที่ 9

\* หมายเหตุ น้ำกลั่นที่ใช้ในการทำความสะอาดเครื่องนั้น **ไม่สามารถ**นำมาใช้งานกับเครื่อง Bomb Calorimeter ซ้ำได้อีก (ทั้ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. การคาร์บริเบรตเครื่อง Bomb Calorimeter system c200

2.1 ผสมน้ำคาร์บริเบรตในถังน้ำที่สะอาด โดยทำการผสม AQUA-PRO 2 มิลลิลิตร : น้ำกลั่น 1 ลิตร ให้ได้ปริมาณตามที่ต้องการ ดังรูปที่ 10 แล้วนำน้ำคาร์บริเบรตไปแช่เย็นจนมีอุณหภูมิ 22-23 องศาเซลเซียส



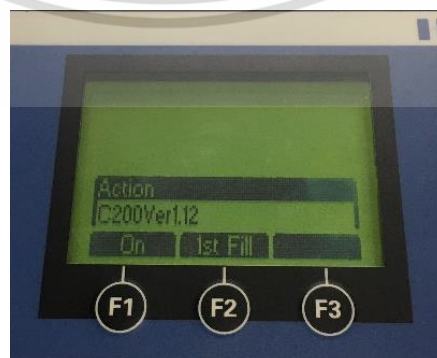
รูปที่ 10

2.2 เมื่อน้ำคาร์บริเบรตได้อุณหภูมิตามต้องการ ทำการเติมน้ำกลั่นให้อยู่ระหว่างขีด MAX และ MIN ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11

2.3 กด F2 (1<sup>st</sup> fill) ดังรูปที่ 12 ซึ่งจะได้ยินเสียงบี้มทำงาน และระดับน้ำคาร์บริเบรตจะลดลง เนื่องจากน้ำกลั่นเข้าไปในระบบ



รูปที่ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

\* หมายเหตุ หากไม่ปรากฏหน้าจอหรือไม่มีฟังก์ชันสำหรับกด 1<sup>st</sup> fill ให้ทำการปิดเครื่องที่สวิชต์ด้านหลังและทำการเปิดใหม่อีกครั้ง และหากยังไม่มีน้ำในระบบห้ามทำการบอมบ์โดยเด็ดขาด เนื่องจากอาจทำให้ปัมเสียหายได้

2.4 เมื่อน้ำคาร์บริเบรทถูกเติมเข้าไปภายในเครื่อง ให้สังเกตสายยางที่อยู่ในช่องเติมน้ำดังรูปที่ 13(ก) หากมีน้ำไหลผ่านสายยางแล้ว ให้ทำการกด F2 (Stop) ดังรูปที่ 13(ข)



รูปที่ 13

2.5 เมื่อทำการ 1<sup>st</sup> fill ด้วยน้ำคาร์บริเบรทแล้วนั้น ให้ทำการผูกด้าย Cotton Thread กับลวดจุดชนวน โดยที่ Cotton Thread ต้องอยู่กึ่งกลางลวดและควรมีความยาวเท่ากัน ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14

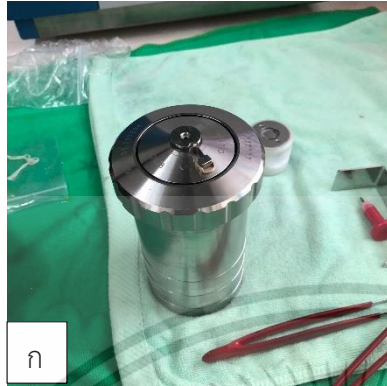
2.6 นำถ้วย crucible สำหรับคาร์บริเบรทวางลง และนำเม็ด Benzoic Acid จำนวน 2 เม็ด (เม็ดละ 0.5 กรัมโดยประมาณหรืออาจทำการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง) วางลงบนถ้วย crucible แล้วต้องทับอยู่บนปลายทั้ง 2 ของด้าย ดังรูปที่ 15



รูปที่ 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 นำวัสดุใส่ในเวสเซลและปิดฝาให้เรียบร้อย ดังรูปที่ 16(ก) จากนั้นอัดแก๊สออกซิเจน ปริมาณ 30 bar ใส่ในเวสเซล หรือใช้เวลาประมาณ 30 วินาทีในการอัดแก๊สออกซิเจนเข้าเวสเซล ดังรูปที่ 16(ข)



ก



ข

รูปที่ 16

2.8 ปิดฝาจุดฉนวน โดยการกดเบา ๆ ดันเลื่อนเข้าไป ดังรูปที่ 17



รูปที่ 17

2.9 นำเวสเซลวางลงในเครื่อง Bomb Calorimeter ในลักษณะดังรูปที่ 18



รูปที่ 18

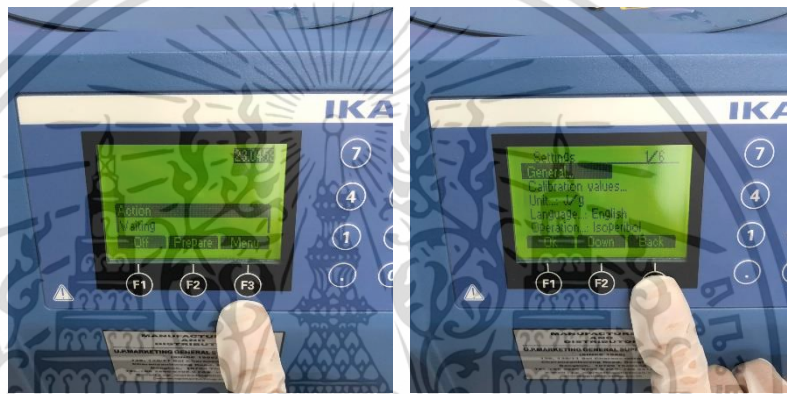
2.10 ทำการตรวจสอบปริมาณน้ำคาร์โบเรทอีกครั้ง หากต่ำกว่าขีด MIN ให้ทำการเติมน้ำคาร์โบเรทเพิ่มเพื่อให้อยู่ระหว่างขีด MAX และ MIN ดังรูปที่ 19

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 19

2.11 กด F3 (Menu) เพื่อทำการตั้งค่า ดังรูปที่ 20



รูปที่ 20

2.12 กด F1 (General) จะกรากฎหน้าจอ ดังรูปที่ 21 ใส่ค่า Reference = 26461 J/g (ค่าความร้อนของ Benzoic Acid อยู่ทางด้านหลังของแผง)



รูปที่ 21

2.13 F2 (Down) ใส่ค่า Calibration values : Vessel 1 = 9973 (ถ้าหากเป็นการคาริเบรทครั้งแรกให้ตั้งเป็นค่าเดิมที่เครื่องมีอยู่) และกด F1 (OK) ดังรูปที่ 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 22

2.14 กด F2 (Down) เลือก Unit = J/g > เลือก Operation = isoperibol > กด F1 (OK)  
 ดังรูปที่ 23



รูปที่ 23

2.15 กด F2 (Prepare) เพื่อตั้งค่าต่าง ๆ ดังรูปที่ 24

- 2.15.1 Weight = 1 g หรือน้ำหนักที่ชั่งด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
- 2.15.2 Calibration = 1
- 2.15.3 Vessel = 1
- 2.15.4 QExt = 50 J (ค่าความร้อนของเส้นด้าย)
- 2.15.5 QExt = 0



รูปที่ 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.16 กด F1 (OK)

2.17 เครื่องจะถามว่า Storage filled? ให้กด F1 (Continue) ดังรูปที่ 25



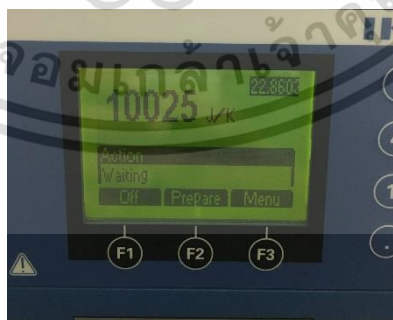
รูปที่ 25

2.18 เครื่องจะถามอีกครั้งว่า Vessel closed safety? ให้ทำการปิดฝาเครื่องบอมบ์ลงและกด F1 (OK) เพื่อดำเนินการต่อ ดังรูปที่ 26



รูปที่ 26

2.19 เครื่องจะทำงานและได้ค่าความร้อนของเวสเซลออกมาในหน่วย J/K ดังรูปที่ 27



รูปที่ 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.20 ให้ทำซ้ำข้อ 2.5-2.19 เพื่อดูว่าค่าความร้อนของเวสเซลมีความใกล้เคียงกันหรือไม่ หากใกล้เคียงกันแล้วให้ใช้ค่าเฉลี่ย (ประมาณ 2-3 ครั้ง) เมื่อได้ค่าความร้อนของเวสเซลแล้วให้นำกลับไปใส่ในข้อ 2.13 แล้วทำการทดสอบความแม่นยำในการหาค่าความร้อนของเครื่องด้วยการทำการทดลองโดยใช้ Benzoic Acid จำนวน 1 เม็ด ตั้งค่าตามหัวข้อที่ 3.1-3.12 แล้วสังเกตว่าได้ค่าใกล้เคียงกับที่ระบุด้านหลังแผงหรือไม่ โดยทำการทดลองซ้ำประมาณ 2-3 ครั้ง ดังรูปที่ 28



รูปที่ 28

\* หมายเหตุ หากค่าความร้อนของเวสเซลที่ได้มีความผิดปกติให้ลองทำการรีเซ็ตเครื่องโดยกด F3(Menu) > F2 (Down) > Service > F2 (Down) > Reset > F1 (OK) และทำการคาไลเบรตเครื่องใหม่ตามข้อ 2.5-2.20 (เมื่อทำการกรี๊ดแล้วค่า Calibration Value ของ Vessel 1 ในข้อ 2.13 จะกลายเป็น 1 ให้ใช้ค่านั้น)

### 3. การหาค่าความร้อนของวัสดุด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter system c200

3.1 ผูกด้าย Cotton Thread กับลวดจุดชนวน โดยที่ Cotton Thread ต้องอยู่กึ่งกลางลวด และควรมีความยาวเท่ากัน ดังรูปที่ 29



รูปที่ 29

3.2 ชั่งน้ำหนักชีวมวลด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 30



รูปที่ 30

3.3 นำถ้วย crucible สำหรับคาร์ไบด์วางลง และนำเม็ดชีวมวลที่ต้องการหาค่าความร้อนวางลงบนถ้วย crucible แล้วต้องทับอยู่บนปลายทั้ง 2 ของด้าย ดังรูปที่ 31



รูปที่ 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 นำวัสดุใส่ในเวสเซลและปิดฝาให้เรียบร้อย จากนั้นอัดแก๊สออกซิเจนปริมาณ 30 bar ใส่ในเวสเซล หรือใช้เวลาประมาณ 30 วินาทีในการอัดแก๊สออกซิเจนเข้าเวสเซล ดังรูปที่ 32



รูปที่ 32

3.5 ปิดฝาจุดฉนวน โดยการกดเบา ๆ ดันเลื่อนเข้าไป ดังรูปที่ 33



รูปที่ 33

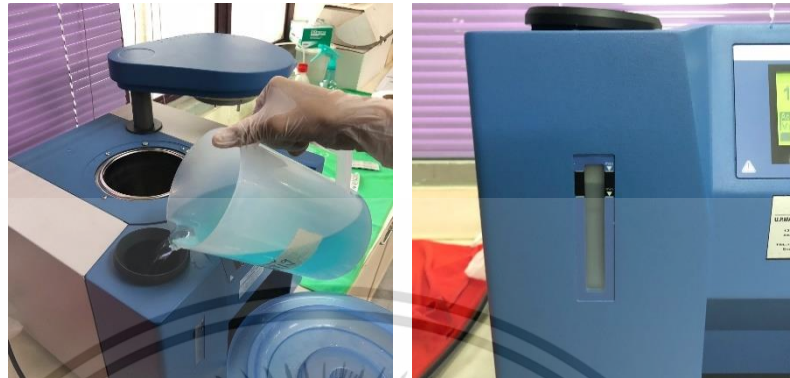
3.6 นำเวสเซลวางลงในเครื่อง Bomb Calorimeter ในลักษณะดังรูปที่ 34



รูปที่ 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 นำน้ำที่ได้มีการคาร์บริเบรทไว้แล้ว ใส่ลงไปเครื่องให้อยู่ในระดับระหว่างขีด MAX และ MIN (น้ำคาร์บริเบรทควรมีอุณหภูมิไม่เกิน 25 องศาเซลเซียส และไม่ต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส) ดังรูปที่ 35



รูปที่ 35

3.8 กด F2 (Prepare) เพื่อตั้งค่าต่าง ๆ ดังรูปที่ 36

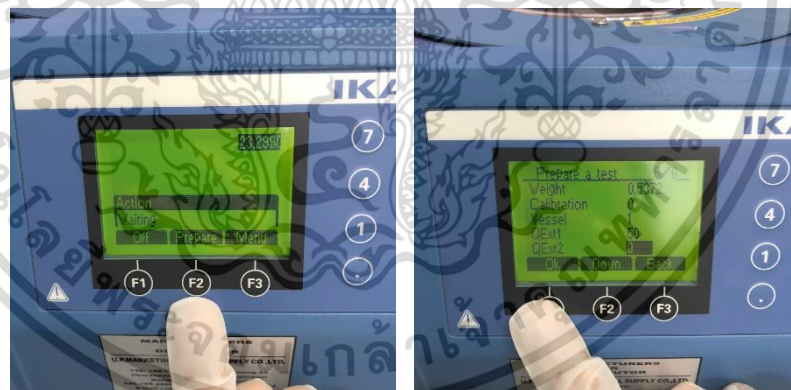
3.8.1 Weight = 0.5372 g หรือน้ำหนักที่ซึ่งตามข้อ 3.2

3.8.2 Calibration = 0

3.8.3 Vessel = 1

3.8.4 QExt = 50 J (ค่าความร้อนของเส้นด้าย)

3.8.5 QExt = 0



รูปที่ 36

3.9 กด F1 (OK)

3.10 เครื่องจะถามว่า Storage filled? ให้กด F1 (Continue)

3.11 เครื่องจะถามอีกครั้งว่า Vessel closed safety? ให้ทำการปิดฝาเครื่องบอมบ์ลงและกด F1 (OK) เพื่อดำเนินการต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.12 เครื่องจะทำงานและได้ค่าความร้อนสูงของชีวมวลออกมาในหน่วย J/g ดังรูปที่ 37



รูปที่ 37



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. การดูแลและทำความสะอาด Vessel

##### 4.1 เปิดฝาเครื่องออกเพื่อให้น้ำไหลเข้าถังคาร์บริเบรท ดังรูปที่ 38



รูปที่ 38

##### 4.2 ให้หัวกดเพื่อทำการปล่อยแก๊สออก ดังรูปที่ 39



รูปที่ 39

##### 4.3 หมุนฝาปิดเวสเซลออก ดังรูปที่ 40



รูปที่ 40

##### 4.4 ใช้อุปกรณ์ช่วยในการจับชุดฉนวนออก ดังรูปที่ 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 41

#### 4.5 ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่นและเช็ดด้วยกระดาษเช็ดเลนส์ให้สะอาด ดังรูปที่ 42



รูปที่ 42

\* หมายเหตุ หากเป็นการบอมบ์ต่อหรือการหาค่าความความร้อนของพีชชนิดเดียวกัน ไม่จำเป็นต้องทำการล้างด้วยน้ำกลั่น แต่ต้องเช็ดด้วยกระดาษเช็ดเลนส์ให้แห้งก่อนการนำไปใช้ต่อ

4.6 ต้องมั่นใจว่าอุปกรณ์แห้งสนิทจึงจะสามารถนำไปเก็บในกล่องได้ ถ้าหากไม่มั่นใจให้ตากไว้ด้านนอกประมาณ 1-2 วัน เพื่อรอให้แห้งสนิท แล้วจึงนำกลับไปเก็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5. การ Drain ออกจากเครื่องให้หมด ก่อนการหยุดใช้งานเป็นเวลานาน

5.1 กด F3 (Menu) ดังรูปที่ 43(ก) กด F2 (Down) เพื่อเลือก Service ดังรูปที่ 43(ข)



รูปที่ 43

5.2 เลื่อนหาฟังก์ชัน Outer Vessel Off > กด F1 (On) เพื่อให้กลายเป็น Outer Vessel On และรอให้น้ำไหลออกจากเครื่องจนหมด (น้ำคาร์บริเบรทที่ไหลออกจากเครื่องสามารถกรองด้วยผ้าขาวบางและนำไปใช้ได้) ดังรูปที่ 44



รูปที่ 44

5.3 เมื่อน้ำไหลออกจนหมดให้กด F1 (Ok) อีกครั้งเพื่อเปลี่ยน Outer Vessel On ให้กลายเป็น Outer Vessel Off ดังรูปที่ 45



รูปที่ 45

5.4 กด F3 (Back) เพื่อกลับไปยังหน้าปกติและปิดเครื่องได้  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่อง Near Infrared Spectrometer

### 1. การสแกน Spectrum

1.1 เสียบปลั๊กเพื่อทำการเปิดเครื่องสำรองไฟดังรูปที่ 46



รูปที่ 46

1.2 เปลี่ยนจาก Bypass Mode เป็น Inverter Mode ดังรูปที่ 47 โดยการกดปุ่ม on/off ค้างไว้ 2 วินาที



รูปที่ 47


1.3 เปิด Computer และใส่รหัสเครื่องคือ nirs

1.4 เปิดเครื่องสแกนโดยกดสวิทช์ด้านหลังถ้าหากเครื่องพร้อมสแกนจะมีลักษณะดังรูปที่ 48



รูปที่ 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

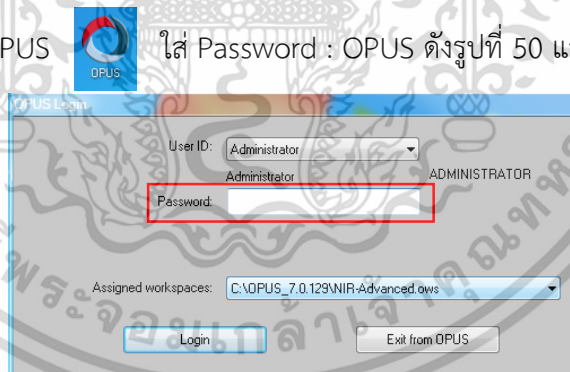
ในกรณีที่เวลาผ่านไป 10 นาทีโดยประมาณ แล้วยังมีสีแดงที่เมนู  หมายถึง เครื่องไม่พร้อมสำหรับการใช้งานเนื่องจากเม็ดดูดความชื้นมีปริมาณความชื้นสูง ให้ทำการปิดเครื่องสแกนเพื่อเปลี่ยนเม็ดดูดความชื้น โดยไขที่เก็บเม็ดดูดความชื้นด้านหน้าเครื่องดังแสดงในรูปที่ 49(ก) และนำเม็ดดูดความชื้นชุดใหม่ใส่ลงไปดังรูปที่ 49(ข) แต่หากในกรณีที่ปรากฏสัญลักษณ์อื่นนอกเหนือจากนี้ให้สอบถามอาจารย์ที่ปรึกษา ( เม็ดดูดความชื้นที่นำออกมาให้แยกถุงและนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงจึงจะสามารถนำกลับมาใช้ได้อีกครั้ง )



รูปที่ 49

- 1.5 เลือก My Computer > NIR Spectra > New Folder แล้วตั้งชื่อตามต้องการ
- 1.6 กลับไปที่โฟลเดอร์ NIR Spectra อีกครั้ง จากนั้นเลือกโฟลเดอร์ Acacia Mangium willd แล้วหาไฟล์ setting file for scan\_Res08.XPM แล้วทำการคัดลอกไฟล์แล้วนำไปวางที่โฟลเดอร์ที่สร้างไว้ในข้อ 1.5

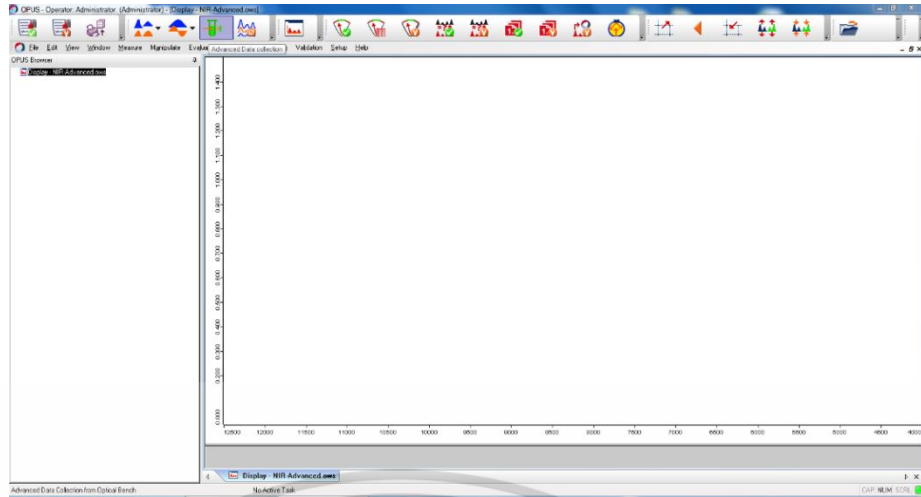
- 1.7 เข้าโปรแกรม OPUS ใส่ Password : OPUS ดังรูปที่ 50 แล้วกด Login



รูปที่ 50

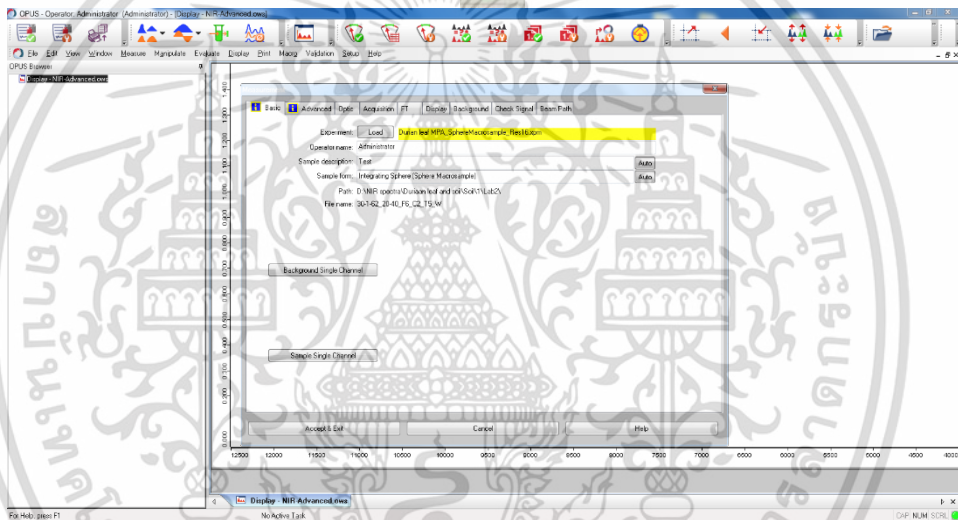
- 1.8 เมื่อเข้าสู่โปรแกรมจะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 51

### 1.9 กดเมนู Advanced Data Collection จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 52



รูปที่ 52

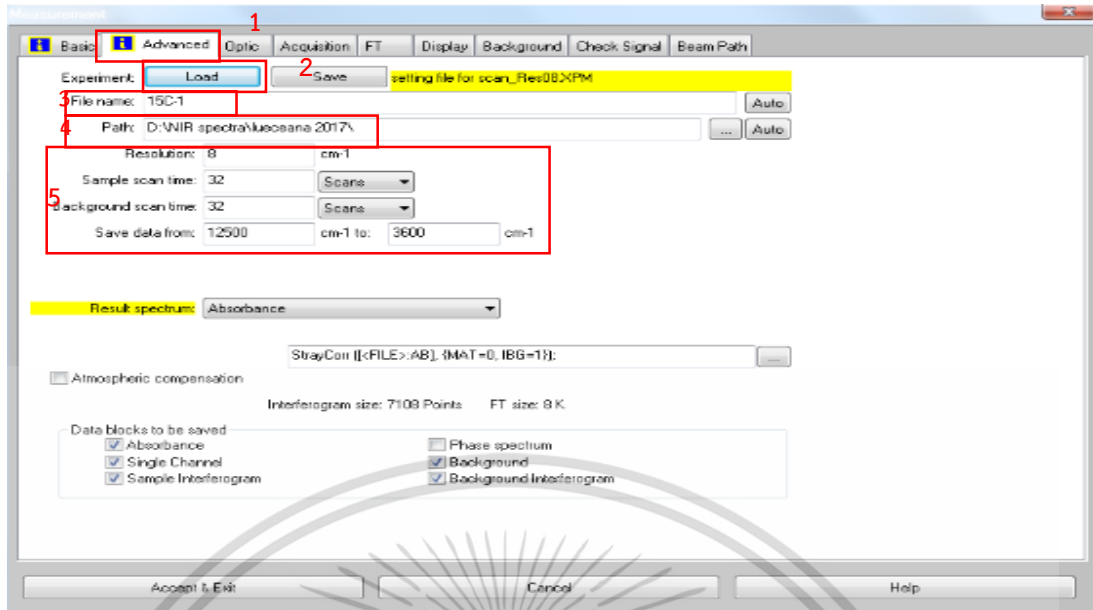
1.10 กด Advanced ดังรูปที่ 53 (กรอบสีแดงที่ 1) หลังจากนั้นกด Load (กรอบสีแดงที่ 2) เพื่อโหลดไฟล์สำหรับการตั้งค่าสแกนดังกรอบสีแดงที่ 5 โดยจะปรากฏข้อมูลดังนี้

- Resolution :  $8 \text{ cm}^{-1}$  (ความละเอียดที่ละ  $8 \text{ cm}^{-1}$ )
- Sample scan time : 32 (การสแกนตัวอย่างซ้ำ 32 ครั้ง : 1 เส้น Spectrum)
- Background scan time : 32 (การสแกน Background ซ้ำ 32 ครั้ง)
- Save data from :  $12500 - 3600 \text{ cm}^{-1}$  (ช่วงจำนวนคลื่นที่ใช้ในการสแกนเท่ากับ  $12500 - 3600 \text{ cm}^{-1}$ )

กรอบสีแดงที่ 3 : เปลี่ยนชื่อไฟล์เป็นชื่อตามที่เราต้องการ

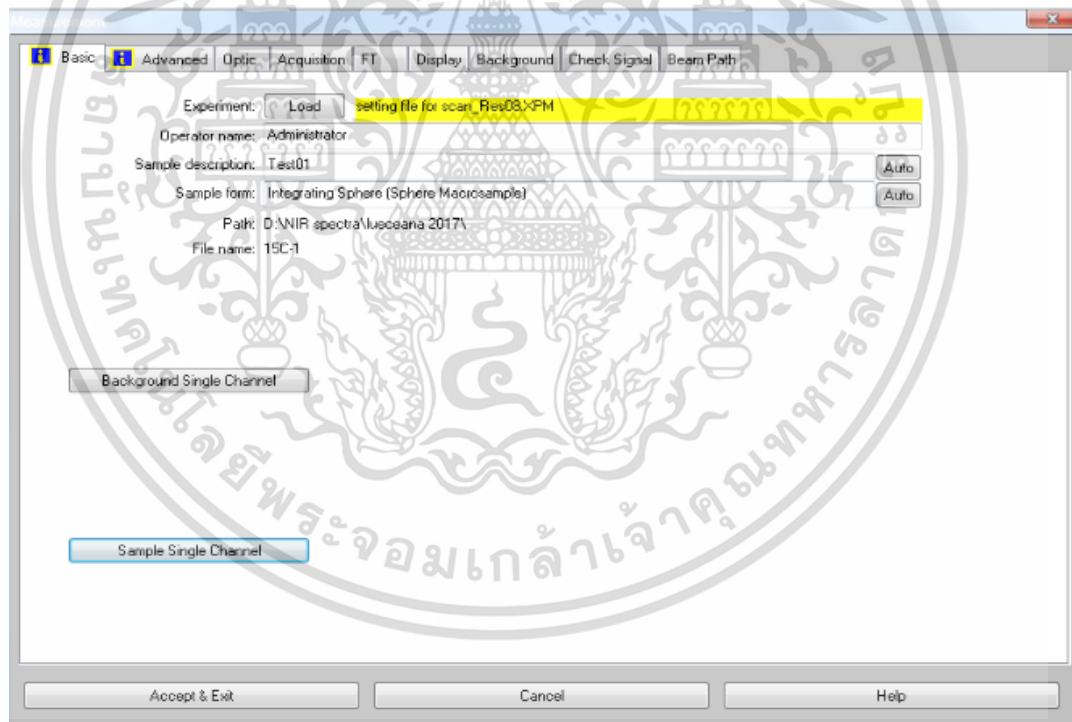
กรอบสีแดงที่ 4 : เลือกที่เก็บไฟล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 53

### 1.11 กดเมนู Basic ดังรูปที่ 54



รูปที่ 54

1.12 กด Background single channel เพื่อทดสอบเครื่อง โดยบริเวณเครื่องสแกนจะมีแผ่นทองคำเลื่อนออกมา และให้สังเกตที่แถบสีเขียวด้านล่างขวาของโปรแกรม หากครบ 100% หมายความว่าพร้อมทำการสแกน

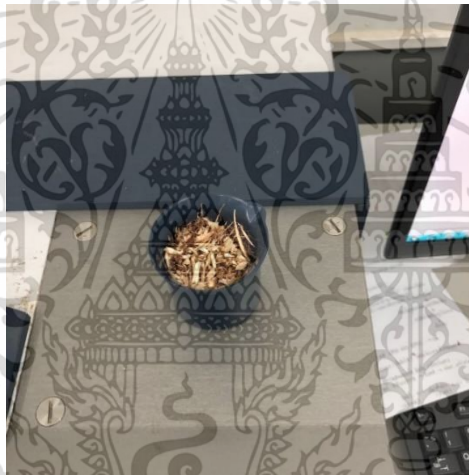
1.13 นำชีวมวลใส่ถ้วยควอทซ์ประมาณ 2 ใน 3 ของถ้วย ดังรูปที่ 55 ก่อนการใช้งานถ้วยควอทซ์ ทุกครั้งจะต้องมีการทำความสะอาดเช็ดให้แห้งก่อน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



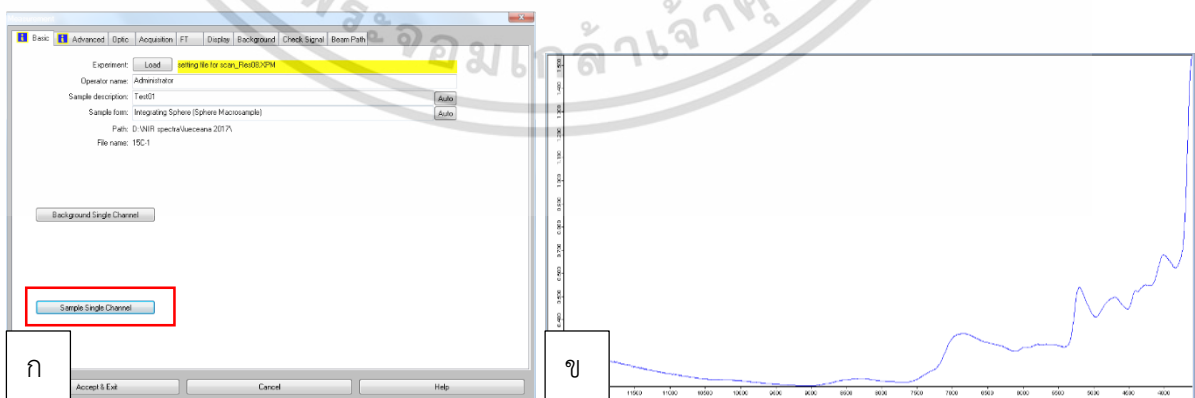
รูปที่ 55

1.14 นำถ้วยควอทซ์ที่ใส่ชีวมวลแล้ววางลงบนเครื่อง FT-NIR Spectrometer (MPA, Bruker, Germany) โดยวางให้ถ้วยอยู่กึ่งกลางของบริเวณที่มีการสแกนดังรูปที่ 56



รูปที่ 56

1.15 กดเมนู Sample single channel ดังรูปที่ 57(ก) และได้เส้นสเปกตรัมดังรูปที่ 57(ข)



รูปที่ 57

1.16 เมื่อสแกนเสร็จแล้วให้นำชีวมวลบริเวณที่โดนสแกนดังรูปที่ 58 นำไปชั่ง 0.5 กรัม เพื่ออัดเม็ด และหาค่าความร้อนด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter ต่อไป  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 58

- 1.17 ทำความสะอาดถ้วยควอทซ์ด้วยเครื่องดูดฝุ่นทุกครั้งเมื่อมีการเปลี่ยนตัวอย่างใหม่
- 1.18 เมื่อทำครบทุกตัวอย่างให้ทำความสะอาดถ้วยควอทซ์ด้วยน้ำให้สะอาดและเช็ดให้แห้งก่อนเก็บใส่กล่องทุกครั้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. การสแกน Spectrum สำหรับการทำให้ Repeatability

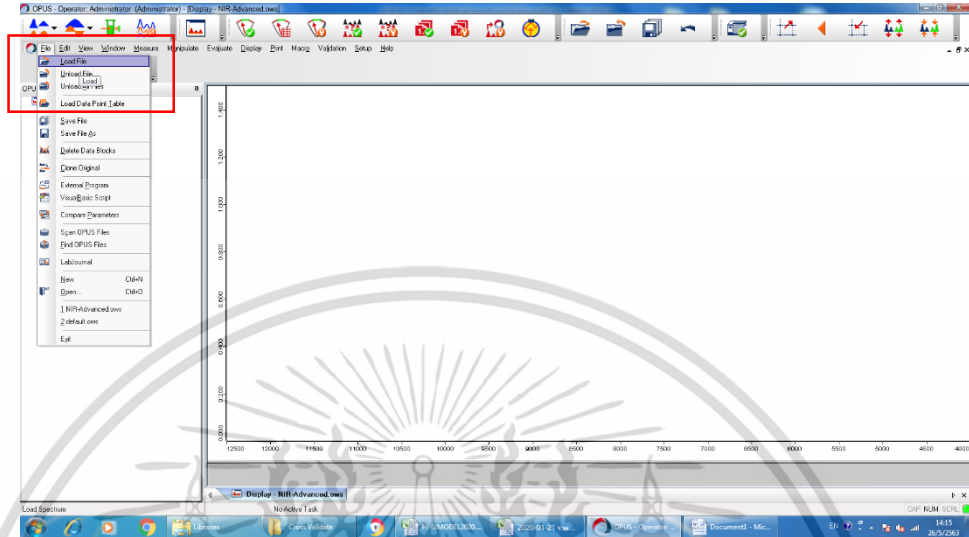
- 2.1 เตรียมความพร้อมของเครื่องโดยการปฏิบัติตามหัวข้อที่ 1.1-1.4
- 2.2 เตรียมความพร้อมของเครื่องโดยการปฏิบัติตามหัวข้อที่ 1.1-1.4
- 2.3 ทำการสแกนโดยเลือกเมนูต่าง ๆ ตามหัวข้อที่ 1.7-1.15
- 2.4 เมื่อทำการสแกนเสร็จให้กด Background single channel อีกครั้งโดยไม่มีการขยับด้วยควอท์ซ์แล้วสังเกตที่แถบสีเขียวบริเวณด้านล่างขวาของโปรแกรมหากครบ 100% หมายความว่าพร้อมทำการสแกนเพื่อให้ได้เส้นสเปกตรัม
- 2.5 กดเมนู Simple Single Channel และรอจนได้เส้นสเปกตรัม
- 2.6 เมื่อทำการสแกนเสร็จจนได้เส้นสเปกตรัม ให้ทำซ้ำในข้อ 2.4-2.5 ตามจำนวนครั้งที่ต้องการทดสอบ
- 2.7 เมื่อทำการสแกนจนครบตามจำนวนครั้งที่ต้องการให้ ทำความสะอาดด้วยควอท์ซ์ด้วยเครื่องดูดฝุ่นทุกครั้งเมื่อมีการเปลี่ยนชนิดตัวอย่าง
- 2.8 เมื่อทำการสแกนครบทุกตัวอย่างให้ทำความสะอาดด้วยควอท์ซ์ด้วยน้ำให้สะอาด และเช็ดให้แห้งก่อนการเก็บใส่กล่องทุกครั้ง

### 3. การสแกน Spectrum สำหรับการทำให้ Reproducibility

- 3.1 เตรียมความพร้อมของเครื่องโดยการปฏิบัติตามหัวข้อที่ 1.1-1.4
- 3.2 เลือก My Computer > NIR Spectra > Folder ที่เคยสร้างไว้ในข้อ 1.5 > New Folder ตั้งชื่อไฟล์ว่า Reproducibility
- 3.3 ทำการสแกนโดยเลือกเมนูต่าง ๆ ตามหัวข้อที่ 1.7-1.15
- 3.4 เมื่อทำการสแกนเสร็จให้ทำการเทตัวอย่างออกจากถ้วยควอทซ์ จากนั้นนำตัวอย่างที่ถูกเทออกใส่กลับเข้าไปในถ้วยควอทซ์อีกครั้ง แล้วกด Background single channel อีกครั้งโดยสังเกตที่แถบสีเขียวบริเวณด้านล่างขวาของโปรแกรมหากครบ 100% หมายความว่าพร้อมทำการสแกน
- 3.5 วางถ้วยควอทซ์ที่ใส่ชีวมวลแล้ววางบนเครื่องสแกน
- 3.6 กดเมนู Simple Single Channel และรอจนได้เส้นสเปกตรัม
- 3.7 เมื่อทำการสแกนเสร็จจนได้เส้นสเปกตรัม ให้ทำซ้ำในข้อ 3.4-3.6 ตามจำนวนครั้งที่ต้องการทดสอบ
- 3.8 เมื่อทำการสแกนจนครบตามจำนวนครั้งที่ต้องการให้ ทำความสะอาดถ้วยควอทซ์ด้วยเครื่องดูดฝุ่นทุกครั้งเมื่อมีการเปลี่ยนชนิดตัวอย่าง
- 3.9 เมื่อทำการสแกนครบทุกตัวอย่างให้ทำความสะอาดถ้วยควอทซ์ด้วยน้ำให้สะอาด และเช็ดให้แห้งก่อนการเก็บใส่กล่องทุกครั้ง

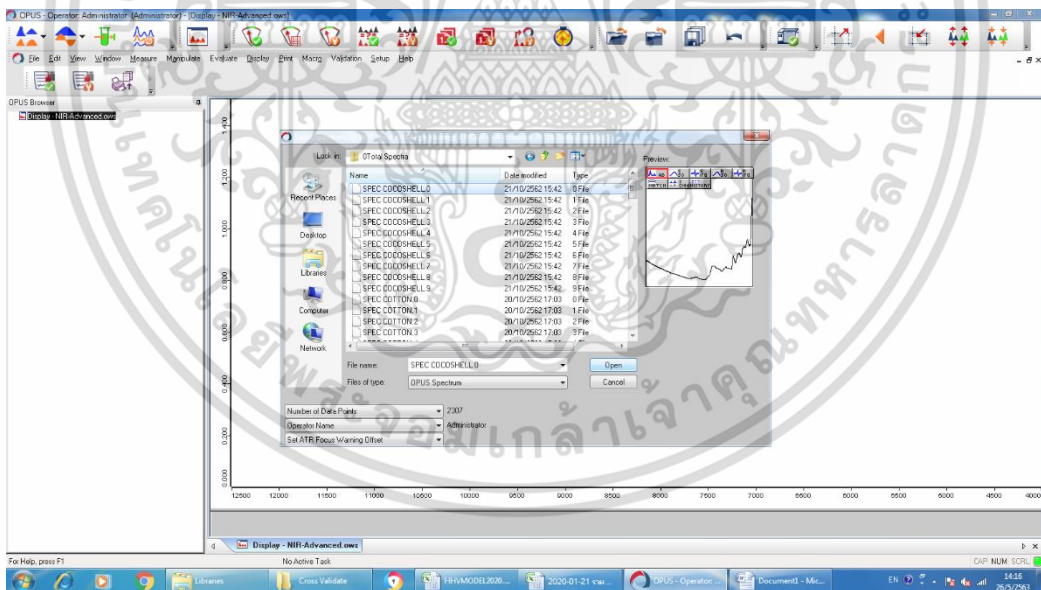
#### 4. การตั้งค่าพารามิเตอร์ของเส้นสเปกตรัม

4.1 เปิดโปรแกรม OPUS และใส่ Password : OPUS เมื่อเข้าสู่โปรแกรมแล้ว เลือก File > Load File ดังรูปที่ 59



รูปที่ 59

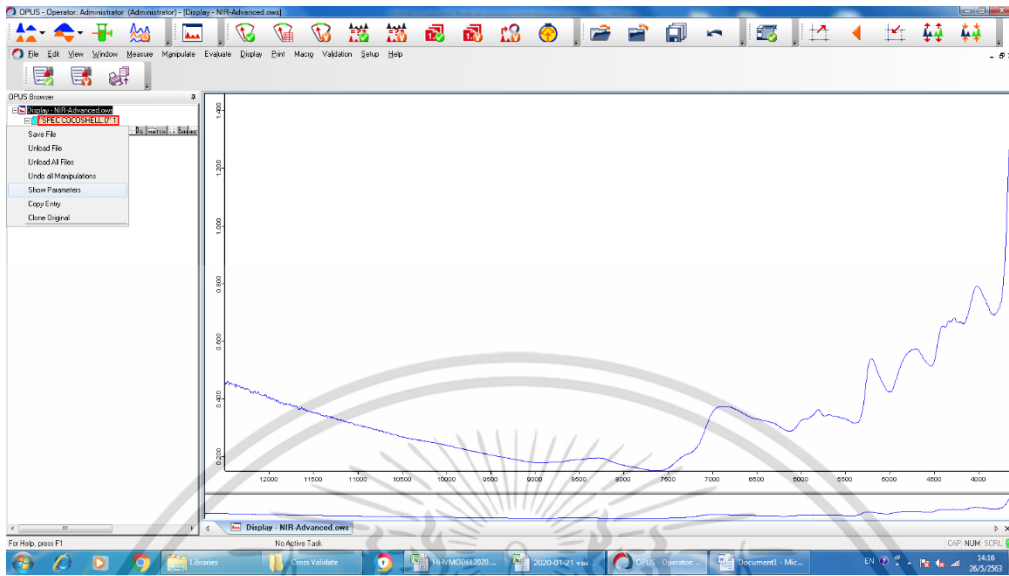
4.2 เลือกสเปกตรัมที่ต้องการค่าพารามิเตอร์ ( เลือกได้มากกว่า 1 ไฟล์ ) ดังรูปที่ 60



รูปที่ 60

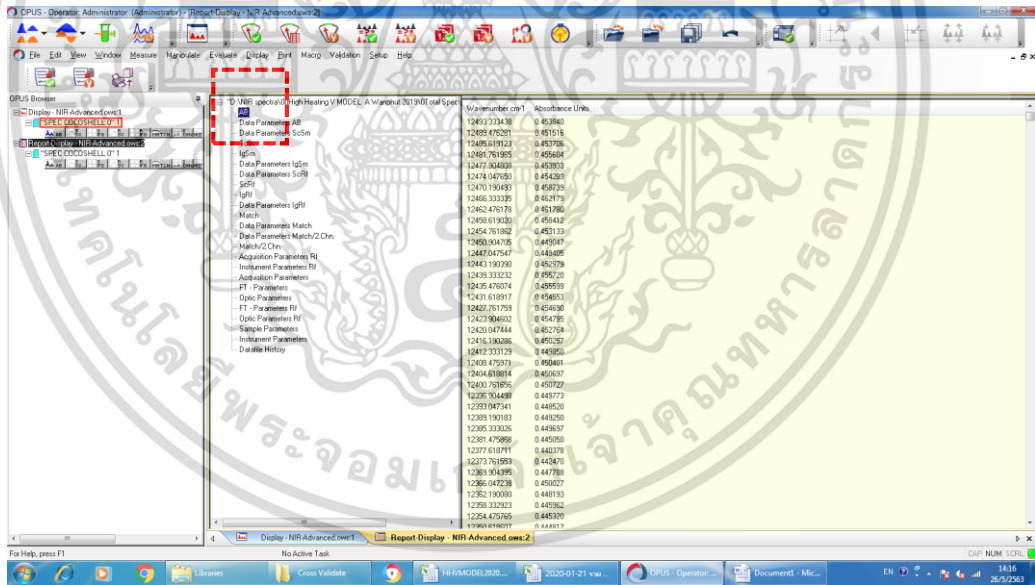
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 เมื่อเปิดไฟล์เส้นสเปกตรัมแล้วให้ทำการเลือกไฟล์ที่ต้องการแล้วคลิกขวา เลือก Show parameter ดังรูปที่ 61



รูปที่ 61

4.4 เลือก AB เพื่อแสดงพารามิเตอร์ ดังรูปที่ 62




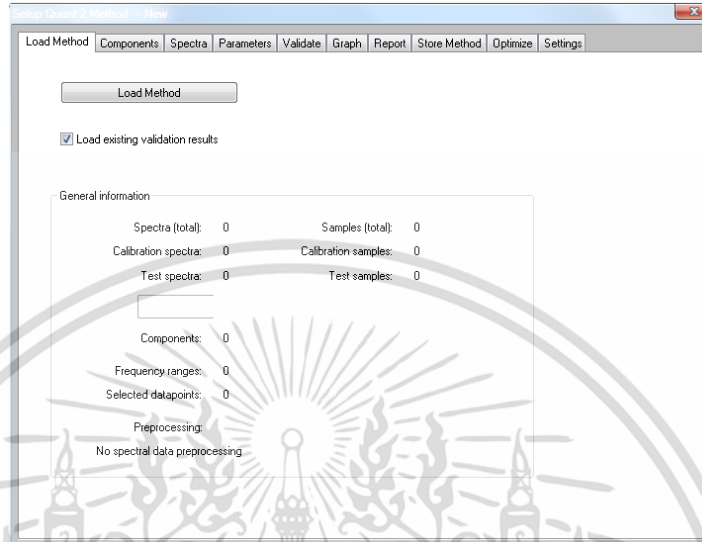
รูปที่ 62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5. การสร้างแบบจำลองสำหรับการทำนายค่าความร้อน

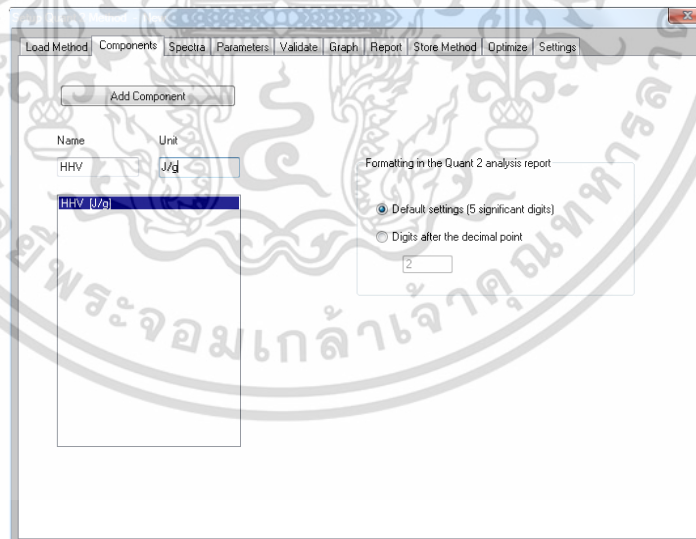
5.1 เปิดโปรแกรม OPUS และใส่ Password : OPUS เพื่อเข้าสู่โปรแกรม เมื่อเข้าสู่โปรแกรมแล้ว

ให้กด  จากแถบเครื่องมือด้านบน จากนั้นจะปรากฏหน้าต่าง ดังรูปที่ 63



รูปที่ 63

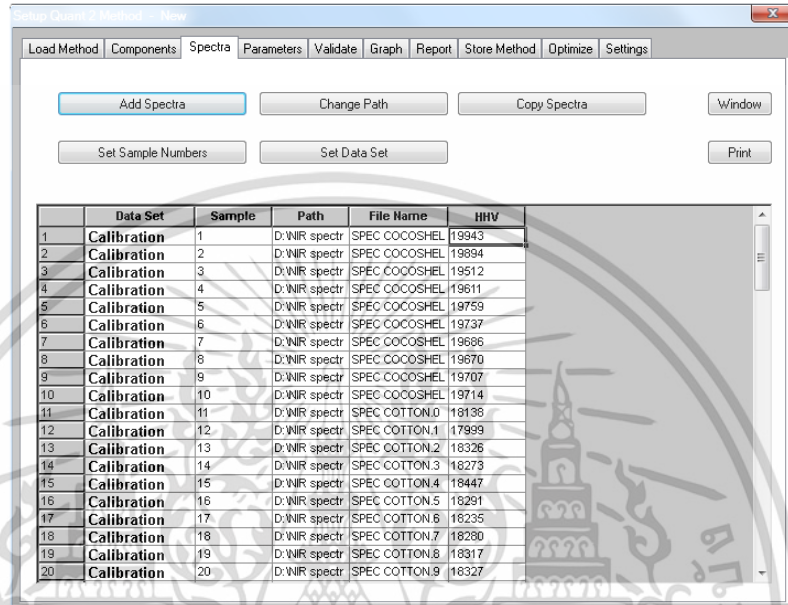
5.2 เลือก Components > Add Component ที่ชื่อ Name ให้ใส่ HHV และในช่อง Unit ให้ใส่ J/g ดังรูปที่ 64



รูปที่ 64

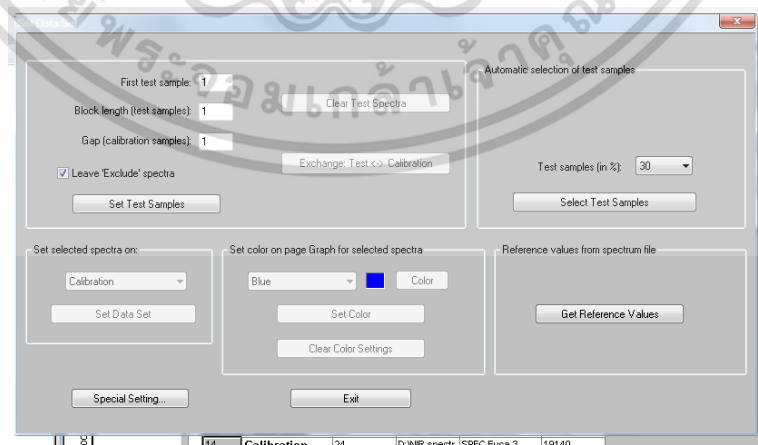
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 เลือก Spectra > Add Spectra จากนั้นทำการเลือกไฟล์สเปกตรัมทั้งหมดที่ต้องการนำมาสร้างแบบจำลอง และในช่อง Sample จะต้องเริ่มต้นด้วย 1 ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งตัวสุดท้ายเป็นเลขเดียวกับจำนวนตัวอย่างทั้งหมดของเรา เช่น หากมี 100 ตัวอย่าง ที่ช่อง Sample จะเริ่มต้นด้วย 1 และจบลงด้วย 100 จากนั้นที่ช่อง HHV ให้ทำการคัดลอกค่าความร้อนของแต่ละชนิดมาใส่ให้ตรงกับไฟล์สเปกตรัม ดังรูปที่ 65



รูปที่ 65

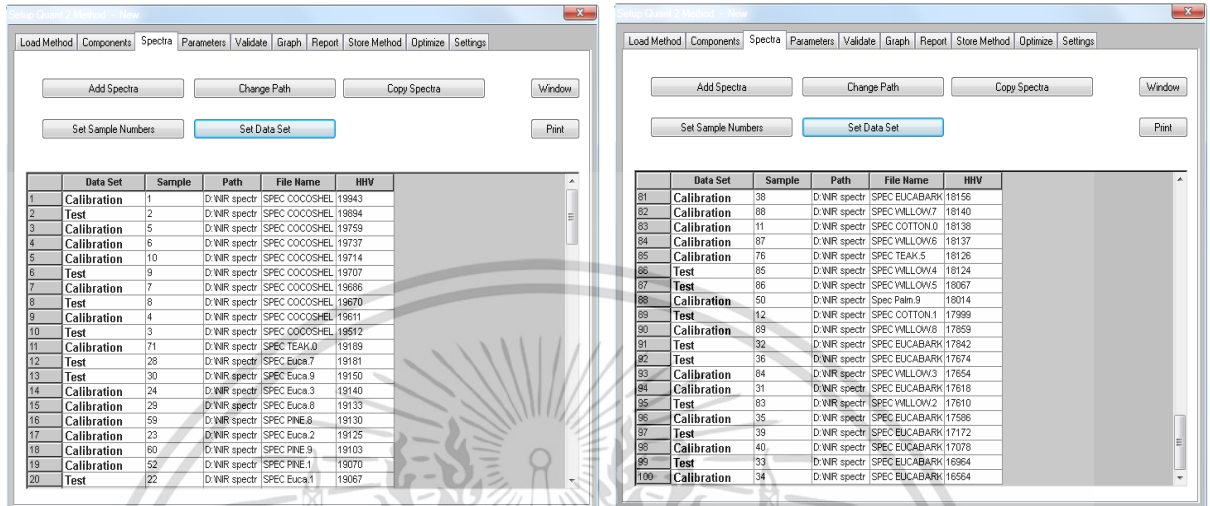
5.4 เมื่อใส่ข้อมูลจนครบทุกช่องให้ทำการคลิกที่ช่อง HHV จำนวน 2 ครั้ง เพื่อให้โปรแกรมเรียงลำดับค่าความร้อนจากมากไปน้อย กรณีที่เลือกวิธีการสร้างแบบจำลองด้วยวิธี Test Set Validation ให้คลิก Set Data Set > Test samples {n%}: 30 > Select Test Samples ดังรูปที่ 66



รูปที่ 66

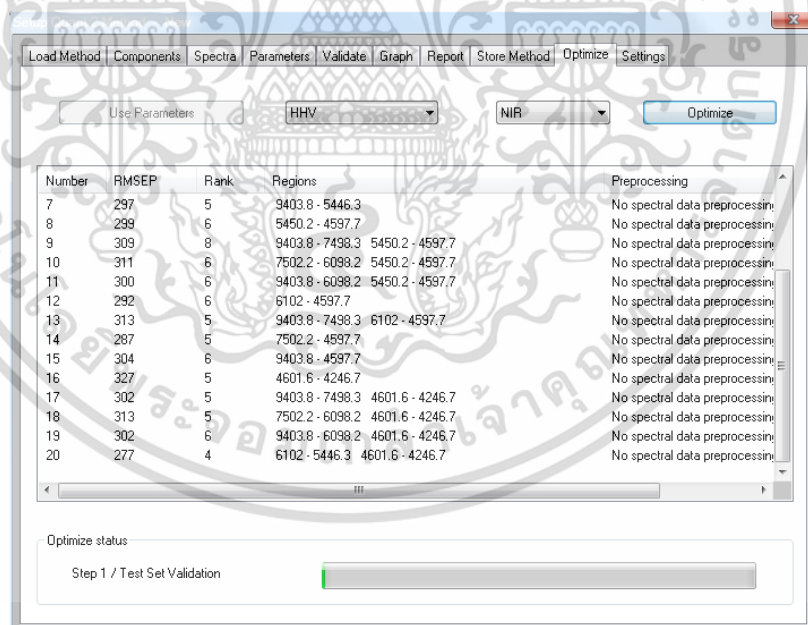
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 ตรวจสอบความถูกต้องของ Data Set กรณีที่เลือกวิธีการสร้างแบบจำลองแบบด้วยวิธี Test set validation จะต้องเริ่มต้นและลงท้ายด้วย Calibration และจะต้องมี Calibration จำนวน 70 ตัวอย่าง และ Test จำนวน 30 ตัวอย่าง ดังรูปที่ 67



รูปที่ 67

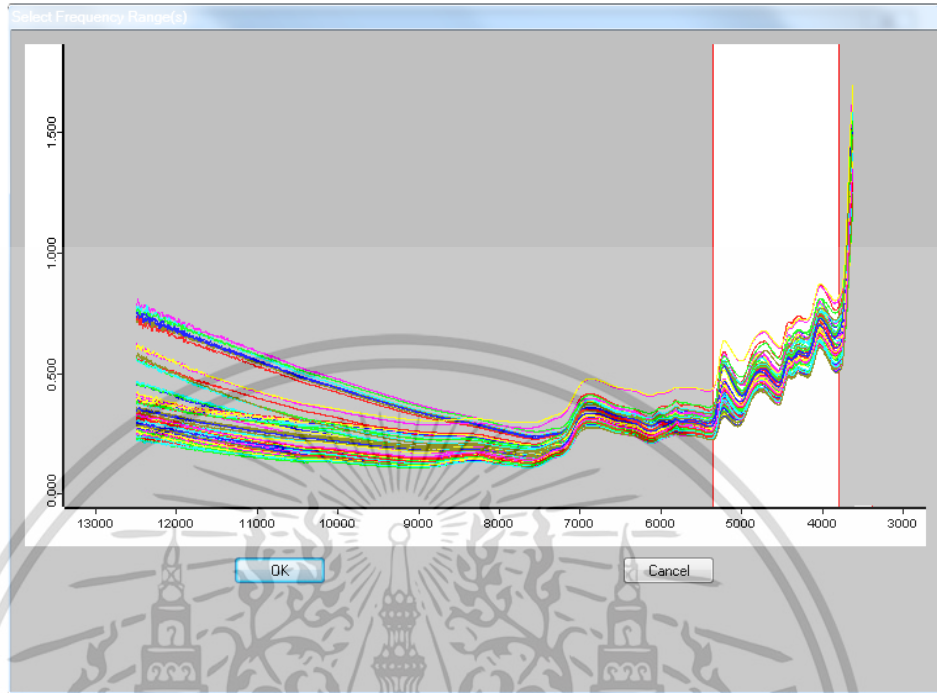
5.6 เลือก Optimize > กด Optimize จะปรากฏ ดังรูปที่ 68



รูปที่ 68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7 เลือก Settings > set region set แล้วทำการเลือกช่วงในกรอบคลุมพิกที่เด่น ๆ และสำคัญ กัด OK แล้วกลับไปทำการกด Optimize อีกครั้ง ดังรูปที่ 69



รูปที่ 69

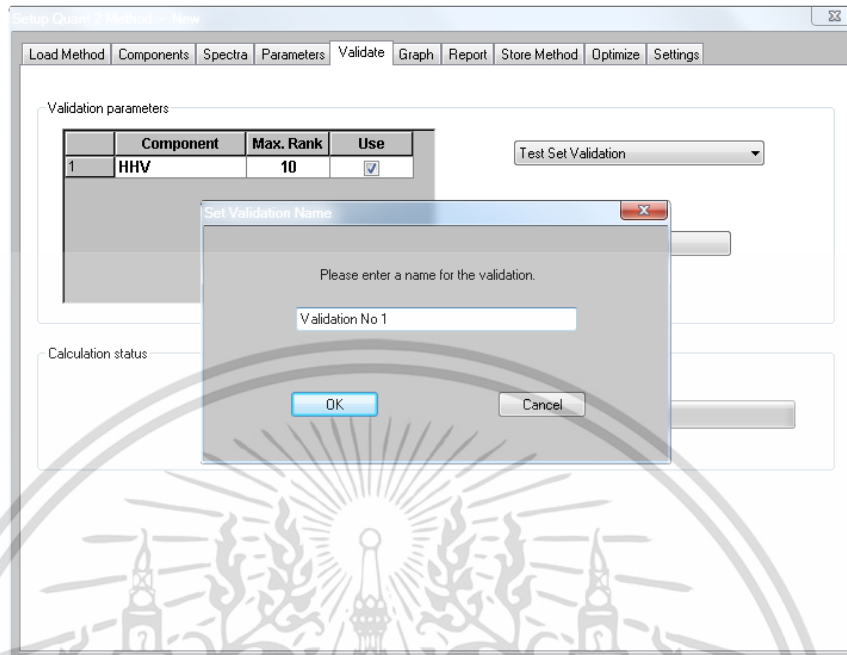
5.8 ทำการเลือกแบบจำลองที่ต้องการ และกด Use Parameter ดังรูปที่ 70

Number	RMSEP	Rank	Regions	Preprocessing
84	243	3	7502.2 - 5446.3 4601.6 - 4246.7	Straight line subtraction
83	256	3	9403.8 - 7498.3 6102 - 5446.3 4601.6 - 4246.7	Straight line subtraction
355	257	2	6476.2 - 5446.3 4601.6 - 4246.7	Straight line subtraction
159	260	4	6102 - 5446.3	Multiplicative scattering correc
97	260	4	6102 - 5446.3	Vector normalization (SNV)
167	260	4	6102 - 4597.7	Multiplicative scattering correc
238	261	3	9403.8 - 7498.3 6102 - 5446.3 4601.6 - 4246.7	Second derivative
82	261	2	6102 - 5446.3 4601.6 - 4246.7	Straight line subtraction
237	262	3	6102 - 5446.3 4601.6 - 4246.7	Second derivative
177	262	3	7502.2 - 5446.3 4601.6 - 4246.7	Multiplicative scattering correc
226	264	4	9403.8 - 7498.3 5450.2 - 4597.7	Second derivative
262	265	4	7502.2 - 4597.7	First derivative + Straight line s
228	265	4	9403.8 - 6098.2 5450.2 - 4597.7	Second derivative
347	265	2	6476.2 - 5446.3 4601.6 - 4424.2	Straight line subtraction
44	267	5	9403.8 - 7498.3 6102 - 4597.7	Constant offset elimination

รูปที่ 70

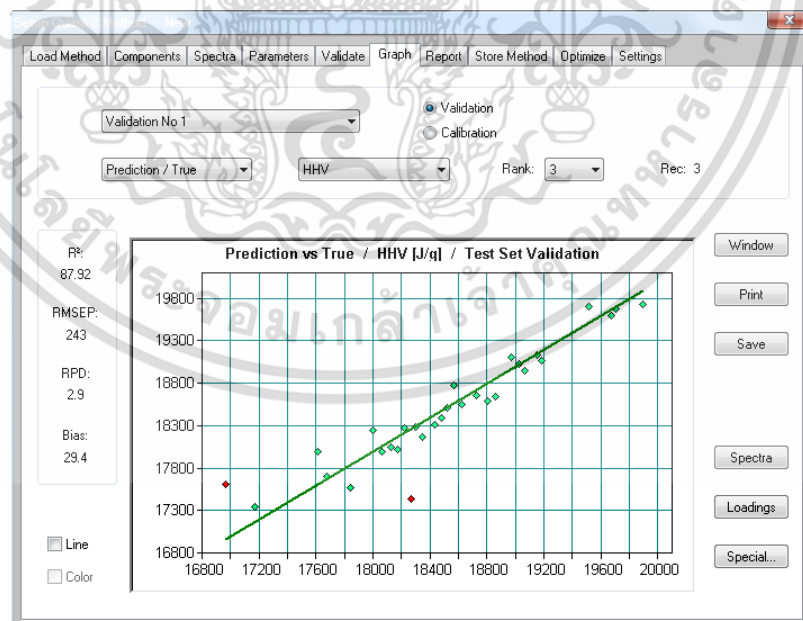
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.9 จากนั้นจะปรากฏหน้าต่าง Validate ให้คลิกที่ปุ่ม Validate จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 71 ให้ใส่ชื่อตามต้องการ และกด OK



รูปที่ 71

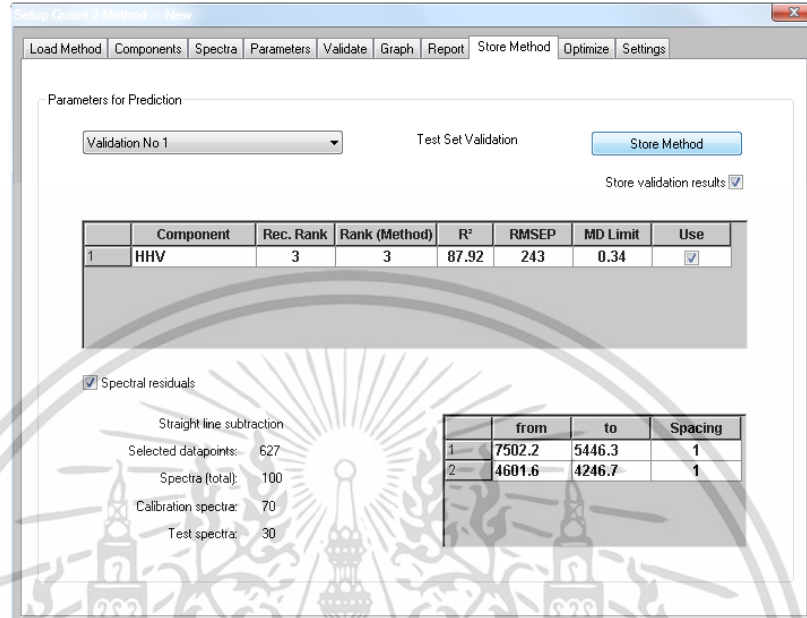
5.10 จากนั้นจะปรากฏหน้าต่าง Graph ดังรูปที่ 72 ให้บันทึกภาพของทั้งแบบ Validation และ Calibration โดยการกด Save



รูปที่ 72

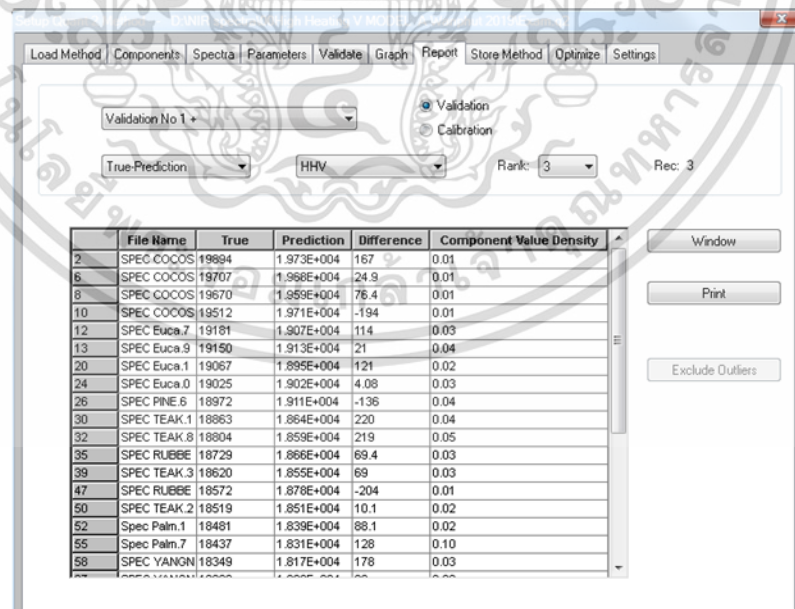
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.11 ให้บันทึกกระบวนการสร้างแบบจำลองที่ต้องการใช้งานไว้ โดยการกด Store Method ดังรูปที่ 73 เพื่อให้สามารถเรียกใช้งานในครั้งถัดไปได้โดยทำตามหัวข้อ 5.1 คลิกเมนู Load Method เพื่อเลือกไฟล์ที่ได้ทำการบันทึกไว้



รูปที่ 73


5.12 เลือกหน้าต่าง Report ดังรูปที่ 74 แล้วทำการคัดลอกข้อมูลในตารางทั้งหมดออกมาแล้วบันทึกเอาไว้ในรูปแบบของไฟล์ Excel เพื่อนำไปใช้งานต่อ และสามารถปิดโปรแกรมได้เลยเมื่อเลิกใช้งาน

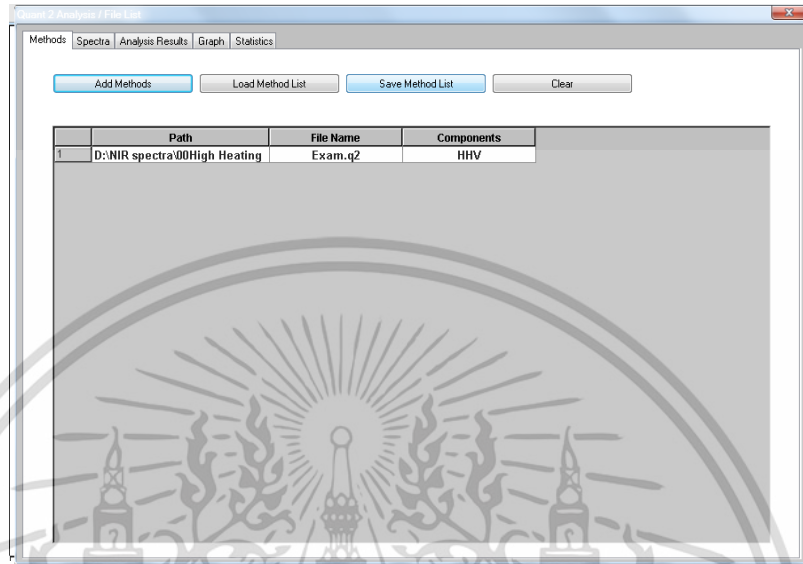


รูปที่ 74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

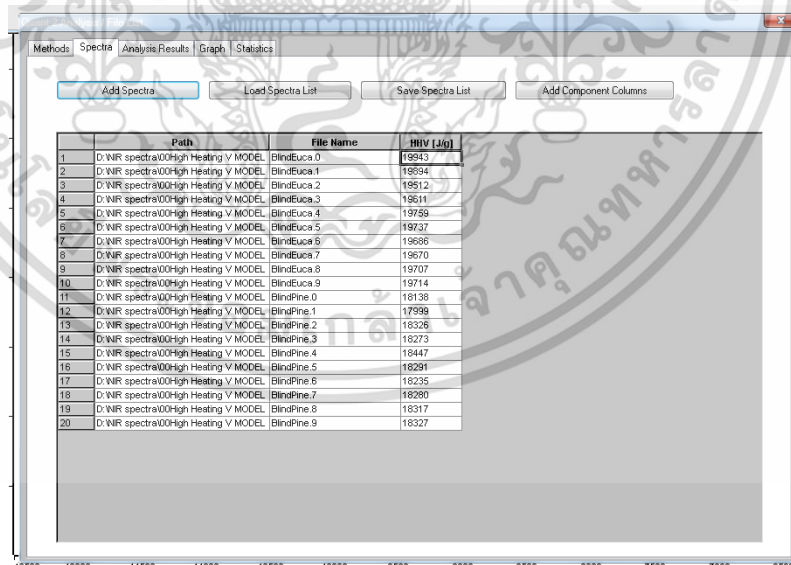
## 6. การทดสอบแบบจำลอง

6.1 เปิดโปรแกรม OPUS และใส่ Password : OPUS เพื่อเข้าสู่โปรแกรม เมื่อเข้าสู่โปรแกรมแล้ว ให้กด  จากแถบเครื่องมือด้านบน คลิก Add Methods > เลือกไฟล์แบบจำลองที่ต้องการใช้งาน จะได้หน้าต่าง ดังรูปที่ 75



รูปที่ 75

6.2 เลือก Spectra > Add Spectra > เลือกไฟล์สเปกตรัมของ Blind Sample > open > Add Component Columns > นำค่าความร้อนมาใส่ให้ตรงกับไฟล์สเปกตรัม ดังรูปที่ 76



รูปที่ 76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 เลือก Analysis Results > Analyze > จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 77 ให้ทำการคัดลอกข้อมูลทั้งหมด ออกมาและนำไปบันทึกไว้รูปของไฟล์ Excel เพื่อนำไปใช้งานต่อ และหากต้องบันทึกรูปภาพที่โปรแกรมทำนายให้ สามารถบันทึกได้โดยกดที่หน้าต่าง Graph

	File Name	Sample Name	Method	Component	True	Prediction	Unit	Outside	M
1	BlindEuca.0	Test01	Exam.q2	HHV	19943	18910	J/g	0	
2	BlindEuca.1	Test01	Exam.q2	HHV	19894	18903	J/g	0	
3	BlindEuca.2	Test01	Exam.q2	HHV	19512	19069	J/g	0	
4	BlindEuca.3	Test01	Exam.q2	HHV	19611	19045	J/g	0	
5	BlindEuca.4	Test01	Exam.q2	HHV	19759	19014	J/g	0	
6	BlindEuca.5	Test01	Exam.q2	HHV	19737	18960	J/g	0	
7	BlindEuca.6	Test01	Exam.q2	HHV	19686	19022	J/g	0	
8	BlindEuca.7	Test01	Exam.q2	HHV	19670	19103	J/g	0	
9	BlindEuca.8	Test01	Exam.q2	HHV	19707	19052	J/g	0	
10	BlindEuca.9	Test01	Exam.q2	HHV	19714	19015	J/g	0	
11	BlindPine.0	Test01	Exam.q2	HHV	18138	19054	J/g	0	
12	BlindPine.1	Test01	Exam.q2	HHV	17999	19005	J/g	0	
13	BlindPine.2	Test01	Exam.q2	HHV	18326	19245	J/g	0	
14	BlindPine.3	Test01	Exam.q2	HHV	18273	19022	J/g	0	
15	BlindPine.4	Test01	Exam.q2	HHV	18447	19161	J/g	0	
16	BlindPine.5	Test01	Exam.q2	HHV	18291	19124	J/g	0	
17	BlindPine.6	Test01	Exam.q2	HHV	18235	19122	J/g	0	
18	BlindPine.7	Test01	Exam.q2	HHV	18280	19045	J/g	0	
19	BlindPine.8	Test01	Exam.q2	HHV	18317	19200	J/g	0	
20	BlindPine.9	Test01	Exam.q2	HHV	18327	19137	J/g	0	

รูปที่ 77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ซ

วิธีการใช้เครื่อง Thermogravimetric Analyzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่อง Thermogravimetric Analyzer

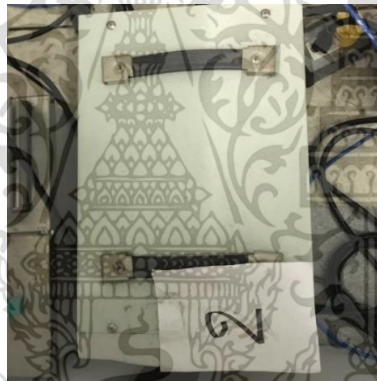
### ขั้นตอนการเปิดเครื่อง

1. สับเบรกเกอร์ (หมายเลข 1) ทั้ง 2 ตัวขึ้น ดังรูปที่ 78



รูปที่ 78

2. สับเบรกเกอร์ Voltage Regulator (หมายเลข 2) ขึ้น ดังรูปที่ 79



รูปที่ 79

3. กดสวิทช์ Circulator (หมายเลข 3) แล้วกดปุ่ม OK ค้างจนได้ยินเสียง กริก!! ดังรูปที่ 80



รูปที่ 80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เปิด PCM powercom โดยการกดปุ่ม ON หนึ่งครั้ง ดังรูปที่ 81



รูปที่ 81

5. เปิดสวิตช์เครื่อง Thermogravimetric Analyzer ที่ด้านหลังเครื่อง ปลดปล่อยให้เครื่องทำงานอย่างน้อย 3 ชั่วโมง



รูปที่ 82

6. เปิดคอมพิวเตอร์ และเปิดโปรแกรม TG 209F3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ขั้นตอนการปิดเครื่อง

1. ปิดโปรแกรม TG 209F3 และปิดคอมพิวเตอร์
2. ปิดสวิทช์เครื่อง Thermogravimetric Analyzer ที่ด้านหลังเครื่อง
3. ปิด PCM powercom โดยกดค้างที่ปุ่ม OFF จนได้ยินเสียงดีด!!
4. กดปิดสวิทช์ Circulator (หมายเลข 3)
5. สับเบรกเกอร์ Voltage Regulator (หมายเลข 2) ลง
6. สับเบรกเกอร์ (หมายเลข 1) ทั้ง 2 ตัวลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

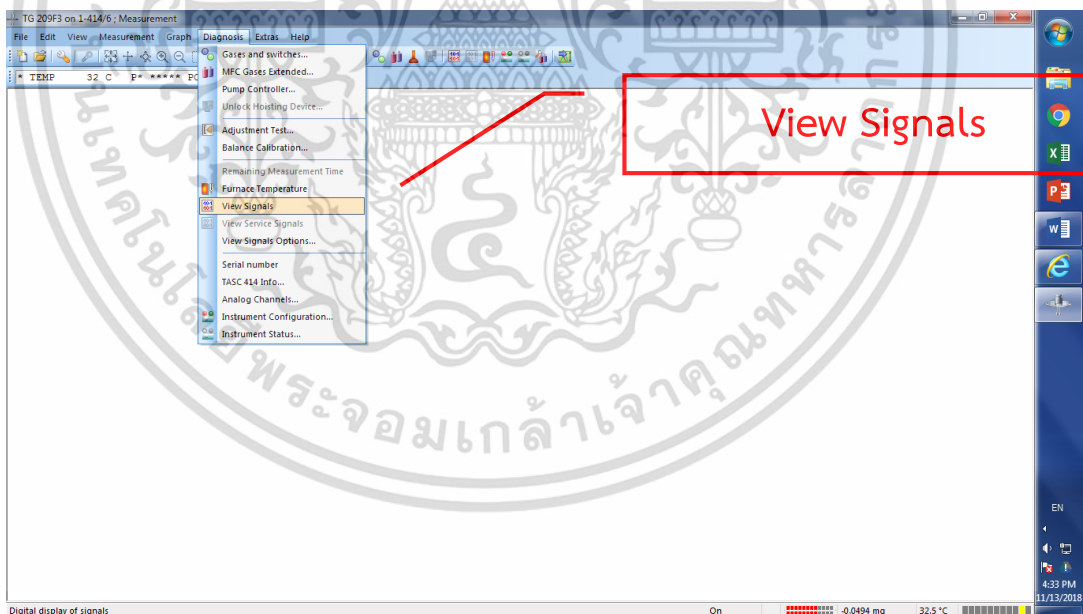
## ขั้นตอนการ Calibrate Correction

1. เปิดโปรแกรม TG 209F3 ดังรูปที่ 83



รูปที่ 83

2. กด Diagnosis > View Signals ดังรูปที่ 84



รูปที่ 84

3. กด File > new จะขึ้นหน้าต่างให้ตั้งค่าดังรูปที่ 85

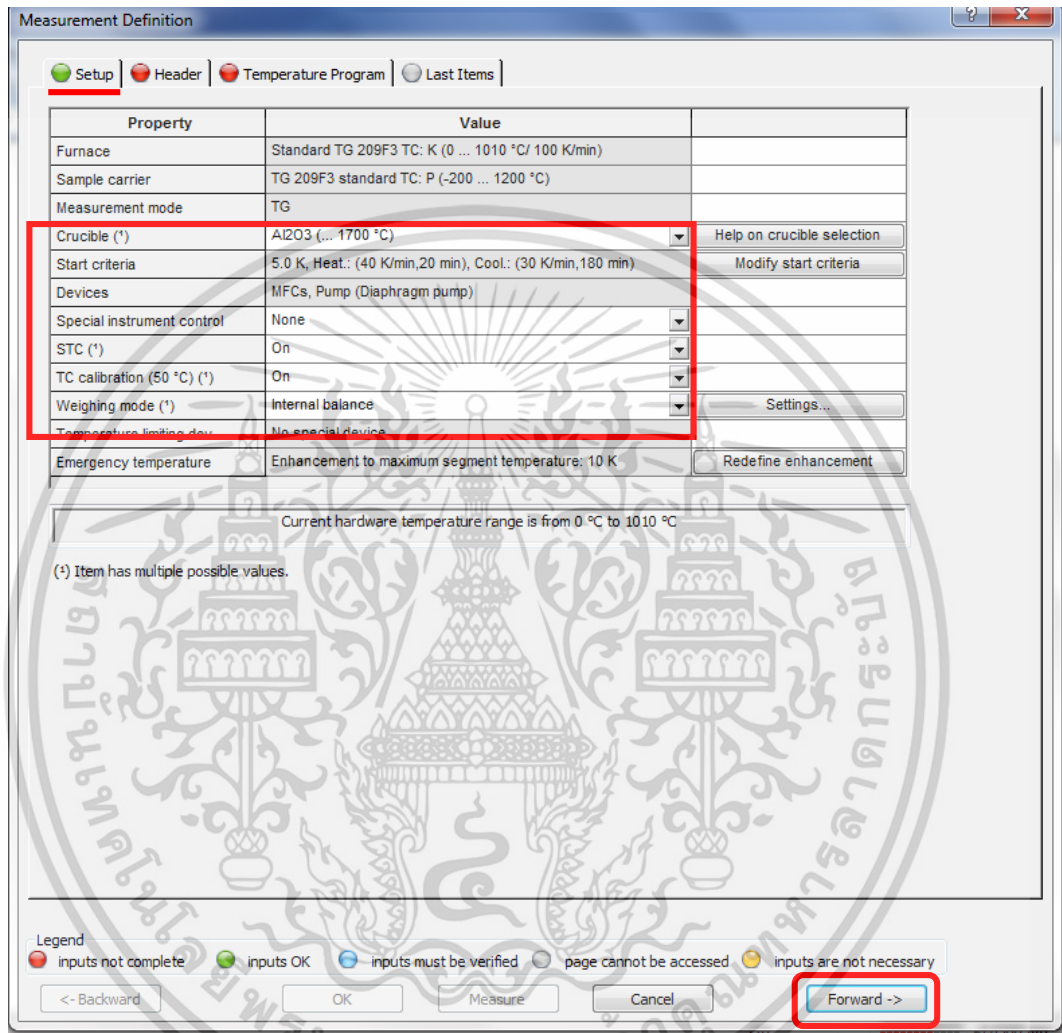
3.1 หน้าต่าง **Setup** ในช่องที่มีเครื่องหมาย (\*) ให้ทำการตั้งค่าดังนี้

- Crucible (\*) : AL2O3 (...1700°C)
- Special instrument control : (None)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- STC (\*) : (ON)
- TC calibration (50°C) (\*) : (ON)
- Weighting mode (\*) : (Internal balance)

เมื่อตั้งค่าเสร็จกด Forward



รูปที่ 85

3.2 หน้าต่างหน้า **Header** ในขั้นแรกจะเป็นการตั้งค่าในส่วนของ Correction เพื่อเป็นข้อมูลในการอ้างอิงสำหรับการทำในส่วนของ Correction + Sample ต่อไป โดยทำการตั้งค่าดังนี้

- Measurement type : Correction
- Laboratory : ตั้งชื่อ
- Project : ตั้งชื่อ
- Operator : ตั้งชื่อ
- Material : เลือก Al2O3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวทช. วัสดุสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ท่านไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Identity : ลำดับที่ (ใส่ตัวเลข หรือ ตัวอักษรอะไรก็ได้)
- Sample name : ชื่อ Crucible (AL2O3)
- Sample mass : - mg
- Crucible mass : 0 mg
- Temperature calibration : เลือก will be used (select) เลือกไฟล์ calibration ที่ชื่อ

Temp.Cal Al2O3\_2017.ngb-tt6

เมื่อตั้งค่าเสร็จกด Forward ดังรูปที่ 86

Measurement Definition

Setup | Header | Temperature Program | Last Items

Measurement type

- Correction
- Sample
- Correction + sample
- Sample + correction

Identity: Crucible3  
Sample name: Crucible3  
Sample mass: 0 mg  
Crucible mass: 0 mg

MFC gases

Device	Value
Purge 1 MFC	OXYGEN
Purge 2 MFC	NITROGEN
Protective MFC	NITROGEN

Change gases

Laboratory: Crucible Calibrate  
Project: Acacia  
Operator: Wanphut  
Date: 11/14/2018 2:07:27 PM  
Material: Al2O3

Temperature calibration:

- will not be used
- will be used (selected)

C:\WETZSCH\Proteus6\cal\Temp.Cal Al2O3\_2017.ngb-tt6

Remark:

Enter the name of laboratory

Legend

- inputs not complete
- inputs OK
- inputs must be verified
- page cannot be accessed
- inputs are not necessary

<- Backward    OK    Measure    Cancel    **Forward ->**

รูปที่ 86

3.3 หน้าต่าง **Temperature Program** (แบ่งเป็น 2 ลักษณะการเผาไหม้ คือ แบบ Combustion และ Pyrolysis)

ตั้งค่า Step การเผาไหม้ดังรูปที่ 87

จากนั้น กด Forward

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Measurement Definition

Setup Header Temperature Program Last Items

Nr	Type	°C	K/min	Time	pts/min	pts/K	STC	O2	N2	N2
1		32.0			0x P+F		<input checked="" type="checkbox"/>	0	20	10
2		32.0		0:05:00	50.00		<input checked="" type="checkbox"/>	0	20	10
3		700.0	10.000	1:06:48	200.00	20.00	<input checked="" type="checkbox"/>	0	20	10
4		700.0		0:30:00	20.00		<input checked="" type="checkbox"/>	0	20	10
5		700.0		0:30:00	20.00		<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	10
6		32.0	20.000	0:33:24	300.00	15.00	<input checked="" type="checkbox"/>	20	0	10
7		32.0		0:10:00	25.00		<input checked="" type="checkbox"/>	20	0	10
8		750.0					<input checked="" type="checkbox"/>	20	0	10

Post - Conditions

STC

Purge 1 MFC

Flow active

OXYGEN 20 ml/min

Purge 2 MFC

Flow active

NITROGEN 0 ml/min

Protective MFC

Flow active

NITROGEN 10 ml/min

Category

Emergency Reset Temp: 750.0 °C

Step Category

Initial Standby

Initial

Dynamic

Isothermal

Final

Final Standby

Add

Update Current Step

Insert Dynamic Step

Insert Isothermal Step

Delete Current Step

Points Segment: 0

Total: 25080

Total Time: 02:55

[How to use 'More Functionality' feature?](#)  More Functionality

Legend

inputs not complete  inputs OK  inputs must be verified  page cannot be accessed  inputs are not necessary

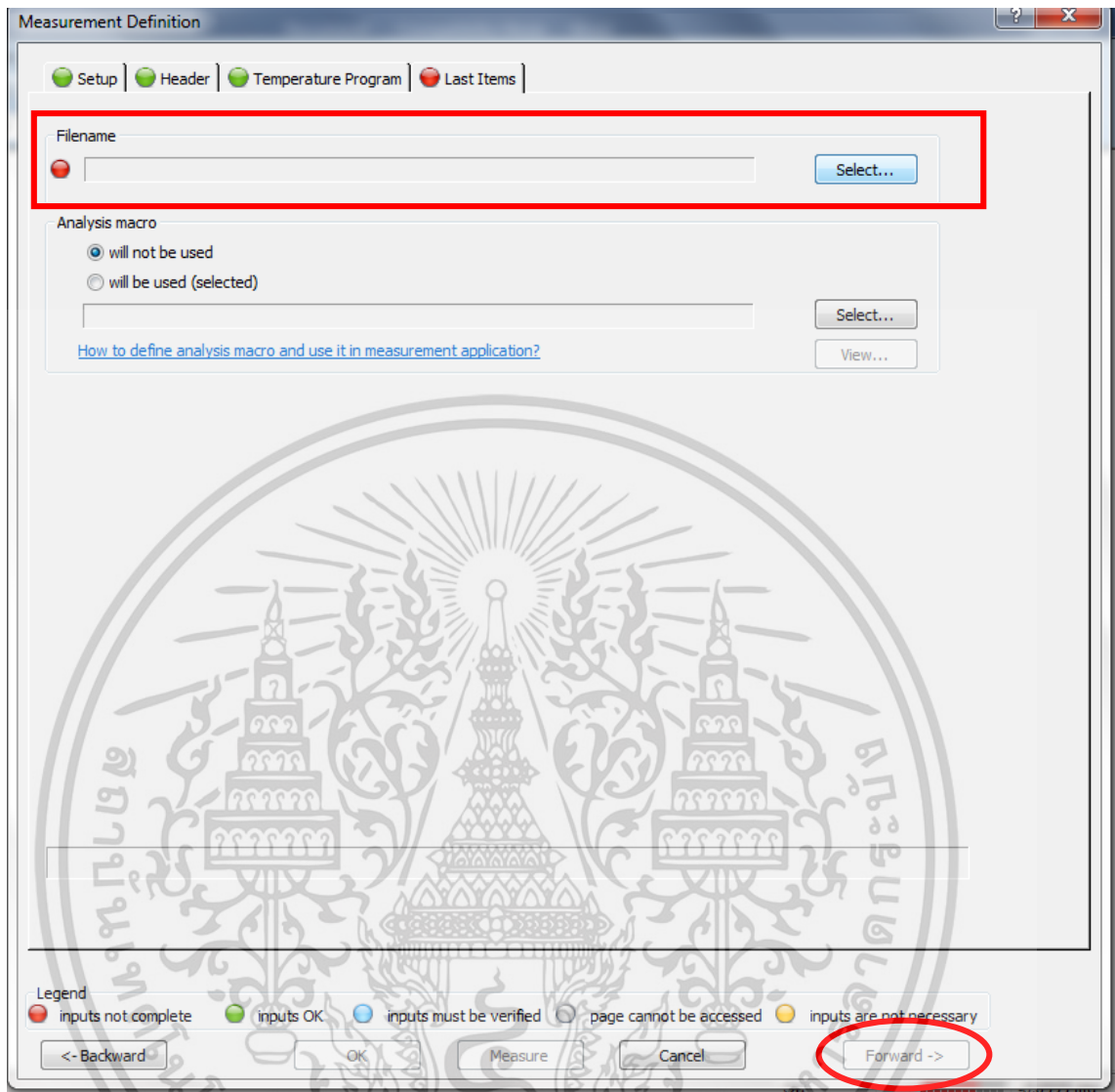
<- Backward OK Measure Cancel Forward ->

Please enter a number between 0.0 and 1020.0

รูปที่ 87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 หน้าต่าง Last Item ทำการบันทึกไฟล์ จากนั้น กด Forward ดังรูปที่ 88

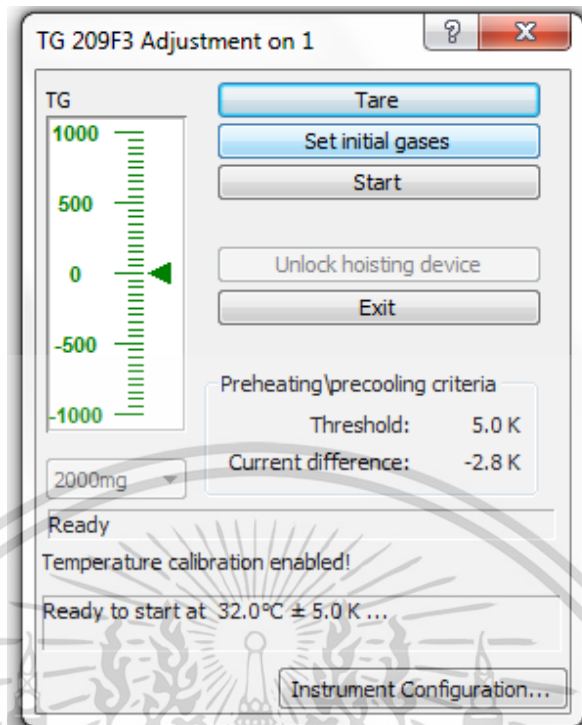


รูปที่ 88

### 3.5 เมื่อบันทึกไฟล์เรียบร้อยแล้วจะปรากฏหน้าต่าง TG 209F3 Adjustment

- ทำการเปิดฝาเครื่อง TGA และใส่ Crucible ลงไป และปิดฝา จะปรากฏหน้าต่างที่ขึ้นที่ TG (View Signals) รอจนเลขหนึ่ง กด Tare จากนั้นกด Start ดังรูปที่ 89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 89

4. จากนั้นเครื่องจะ RUN รอจนกว่าจะเสร็จสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

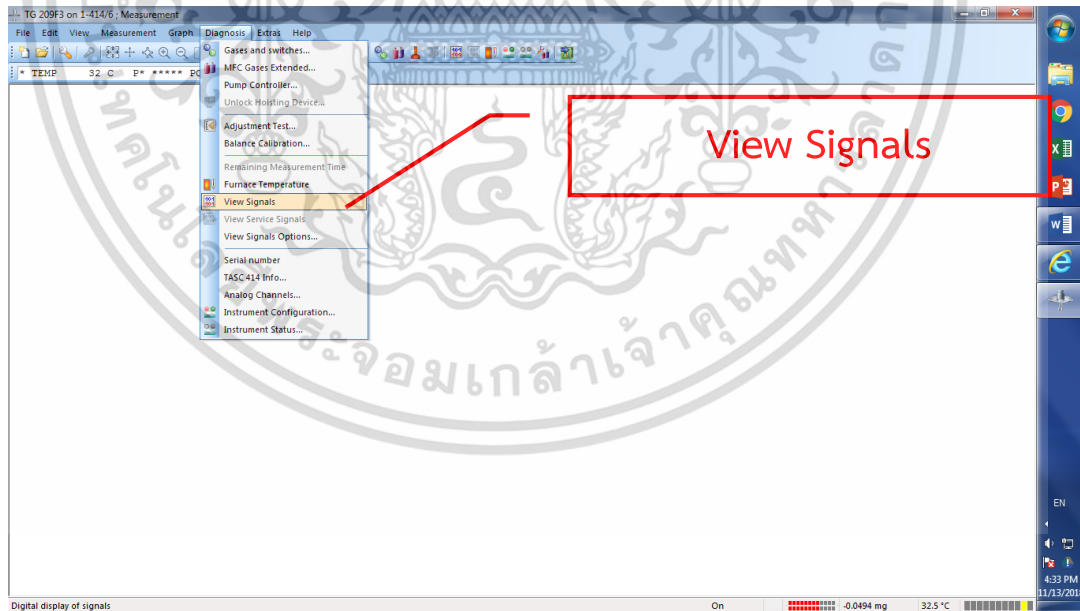
## ขั้นตอนการ Correction + Sample

1. เปิดโปรแกรม TG 209F3 ดังรูปที่ 90



รูปที่ 90

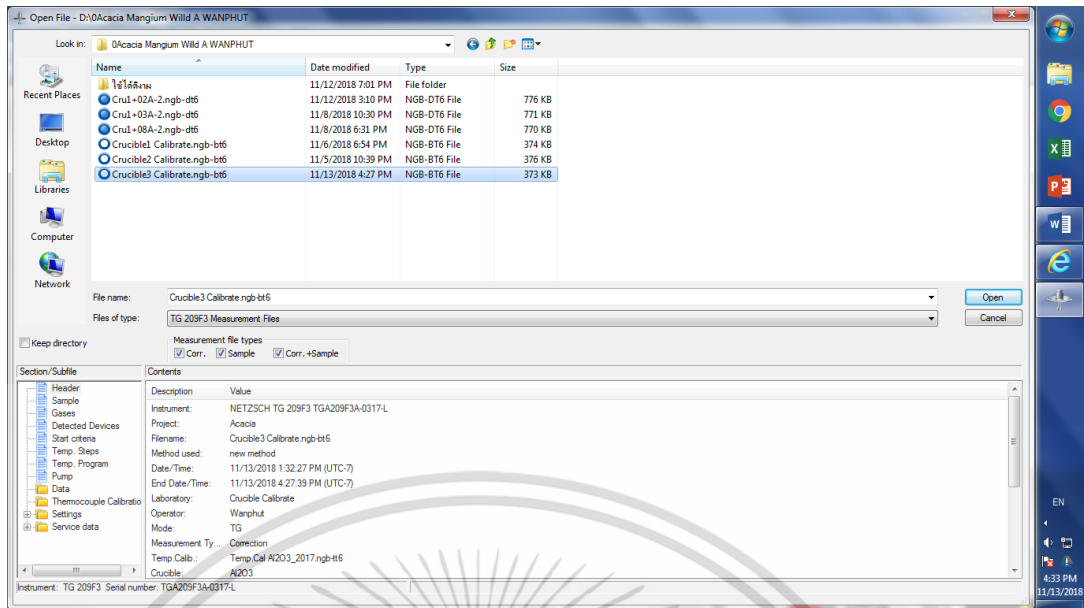
2. กด Diagnosis > View Signals ดังรูปที่ 91



รูปที่ 91

3. กด File > open เลือกไฟล์ที่ save Correction ไว้ก่อนหน้า จากนั้นกด open ดังรูปที่ 92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 92

3.1 หน้าต่าง **First definition** ในขั้นแรกจะเป็นการตั้งค่าในส่วนของการ Correction โดยการตั้งค่าดังนี้

- Measurement type : Correction + Sample
- Identity : ลำดับที่ (ใส่ตัวเลข หรือ ตัวอักษรอะไรก็ได้)
- Sample name : ชื่อ Crucible + Sample
- Sample mass : จะเป็นการ Tare ด้วย Crucible โดย กด ที่

Weight ขึ้นหน้าต่างดังรูป จากนั้น ทำการเปิดฝาเครื่อง TGA และใส่ Crucible ลงไป และปิดฝา > กด Tare สลับ Repeat จนกว่าน้ำหนักถ่วงจะเป็น 0.000 mg จากนั้น เปิดฝาเครื่อง TGA และใส่ Sample ลงไปประมาณ 11 – 12 mg กดที่ถ่วง Crucible ลงไป จากนั้นปิดฝา รอจนกระทั่ง sample mass หนึ่ง > กด store > กด OK

- File name : ป้อนชื่อที่ต้องการบันทึกข้อมูลและแหล่งเก็บ

เมื่อตั้งค่าเสร็จกด Forward ไปเรื่อย ๆ ดังรูปที่ 93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Measurement Definition

Fast definition | Setup | Header | Temperature Program | Last Items

Measurement type

Correction

Sample

Correction + sample

Sample + correction

Identity:

Sample name: Crucible3 calibrate

Sample mass: by int.blnc. mg

Crucible mass: 0 mg

Weigh

Sample Id and sample name...

Get these properties from just opened measurement

Reset these properties

Remark:

Filename  Select...

Correction + sample measurement will be performed

Method for correction+sample measurement: D:\Acacia Mangium Willd A WANPHUT\Crucible3 Calibrate.ngb-bt6

Legend

inputs not complete  inputs OK  inputs must be verified  page cannot be accessed  inputs are not necessary

<- Backward  Measure

รูปที่ 93

- 3.2 หน้าต่าง **Setup** ตั้งค่าเช่นเดิม กด Forward
- 3.3 หน้าต่าง **Header** ก็กด Forward
- 3.4 หน้าต่าง **Temperature Program** ก็ไม่ต้องตั้งค่าใด ๆ เพิ่ม กด Forward
- 3.5 หน้าต่าง **Last Item** ก็ไม่ต้องตั้งค่าใด ๆ เพิ่ม กด Forward
- 3.6 เมื่อบันทึกไฟล์เรียบร้อยแล้วจะปรากฏหน้าต่าง TG 209F3 Adjustment ขั้นตอนนี้ให้กด Start ห้ามกด Tare!!
4. จากนั้นเครื่องจะ RUN รอจนกว่าจะเสร็จสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

1. Energyvision. พลังงานชีวมวล. [cited 2019 20 September]; Available from: <http://www.energyvision.co.th/14424507/พลังงานชีวมวล>.
2. Telmo, C. and J. Louzada, *Heating values of wood pellets from different species*. Biomass and Bioenergy, 2011. **35**: p. 2634-2939.
3. Tavares, A., A. Xavier, and D. Evtuguin, *Biotechnology Applications in Pulp and Paper Industry*. 2014. p. 561–581.
4. Bastawde, K.B., *Xylan structure, microbial xylanases, and their mode of action*. World J Microbiol Biotechnol, 1992. **8**(4): p. 353-68.
5. Cheng, K.K., et al., *Sugarcane bagasse mild alkaline/oxidative pretreatment for ethanol production by alkaline recycle process*. Appl Biochem Biotechnol, 2008. **151**(1): p. 43-50.
6. Boopathy, R., *Biological treatment of swine waste using anaerobic baffled reactors*. Bioresource Technology, 1998. **64**(1): p. 1-6.
7. Cheung, S.W. and B.C. Anderson, *Laboratory investigation of ethanol production from municipal primary wastewater solids*. Bioresource Technology, 1997. **59**(1): p. 81-96.
8. พรเฉลิมพงศ์, พ., *Moisture content / ความชื้น*. 2561, Food Network Solution.
9. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร, เทคโนโลยีอินฟราเรดย่านใกล้และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม. หลักการพื้นฐานของสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้. 2555.
10. วรณ, ศ. and ศ.ส.เ. วาจา, การประยุกต์ใช้ แป้ง ข้าวกล้อง เพาะ งอก ใน ผลิตภัณฑ์ ขนมอบ และ การ ศึกษา ทักษะคติ ของ ผู้ บริโภค ใน อำเภอ เมือง จังหวัด เชียงใหม่ ที่มี ต่อผลิตภัณฑ์ ขนมอบ จาก แป้ง ข้าวกล้อง เพาะ งอก.
11. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร, เทคโนโลยีอินฟราเรดย่านใกล้และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม. เครื่องมือและอุปกรณ์สเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้. 2555.
12. Helmenstine, A.M. *Coffee Cup and Bomb Calorimetry*. 2019 [cited 2019 16/9]; Available from : <https://www.thoughtco.com/coffee-cup-and-bomb-calorimetry-609255>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. El-Sayed, S.A. and M.E. Mostafa, *Pyrolysis characteristics and kinetic parameters determination of biomass fuel powders by differential thermal gravimetric analysis (TGA/DTG)*. Energy Conversion and Management, 2014. **85**: p. 165-172.
14. Nanotec. *Thermogravimetric Analysis (TGA)*. Available from: [https://www2.nanotec.or.th/th/?page\\_id=569](https://www2.nanotec.or.th/th/?page_id=569).
15. Geladi, P. and B.R. Kowalski, *Partial least-squares regression: a tutorial*. Analytica Chimica Acta, 1986. **185**: p. 1-17.
16. Nørgaard, L., et al., *Interval partial least-squares regression (i PLS): a comparative chemometric study with an example from near-infrared spectroscopy*. Applied Spectroscopy, 2000. **54**(3): p. 413-419.
17. Westad, F. and H. Martens, *Variable selection in near infrared spectroscopy based on significance testing in partial least squares regression*. Journal of Near Infrared Spectroscopy, 2000. **8**(2): p. 117-124.
18. Rosipal, R. and L.J. Trejo, *Kernel partial least squares regression in reproducing kernel hilbert space*. Journal of machine learning research, 2001. **2**(Dec): p. 97-123.
19. Osborne, B., *Principles and practice of near infra-red (NIR) reflectance analysis*. International Journal of Food Science & Technology, 1981. **16**(1): p. 13-19.
20. Bartlett, J. and C. Frost, *Reliability, repeatability and reproducibility: analysis of measurement errors in continuous variables*. Ultrasound in Obstetrics and Gynecology: The Official Journal of the International Society of Ultrasound in Obstetrics and Gynecology, 2008. **31**(4): p. 466-475.
21. Zhang, K., et al., *Fast analysis of high heating value and elemental compositions of sorghum biomass using near-infrared spectroscopy*. Energy, 2017. **118**: p. 1353-1360.
22. Nakawajana, N., J. Posom, and J. Paeoui, *The Prediction of Higher Heating Value, Lower Heating Value and Ash Content of rice Husk Using FT-NIR Spectroscopy*. Engineering Journal, 2018. **22**: p. 45-56.
23. Demirbas, A., *Relationships Between Heating Value and Lignin, Moisture, Ash and Extractive Contents of Biomass Fuels*. Energy Exploration & Exploitation - ENERG EXPLOR EXPLOIT, 2002. **20**: p. 105-111.
24. Hazim, M., et al., *Chemical composition of small diameter wild acacia mangium species*. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2017. **12**.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้