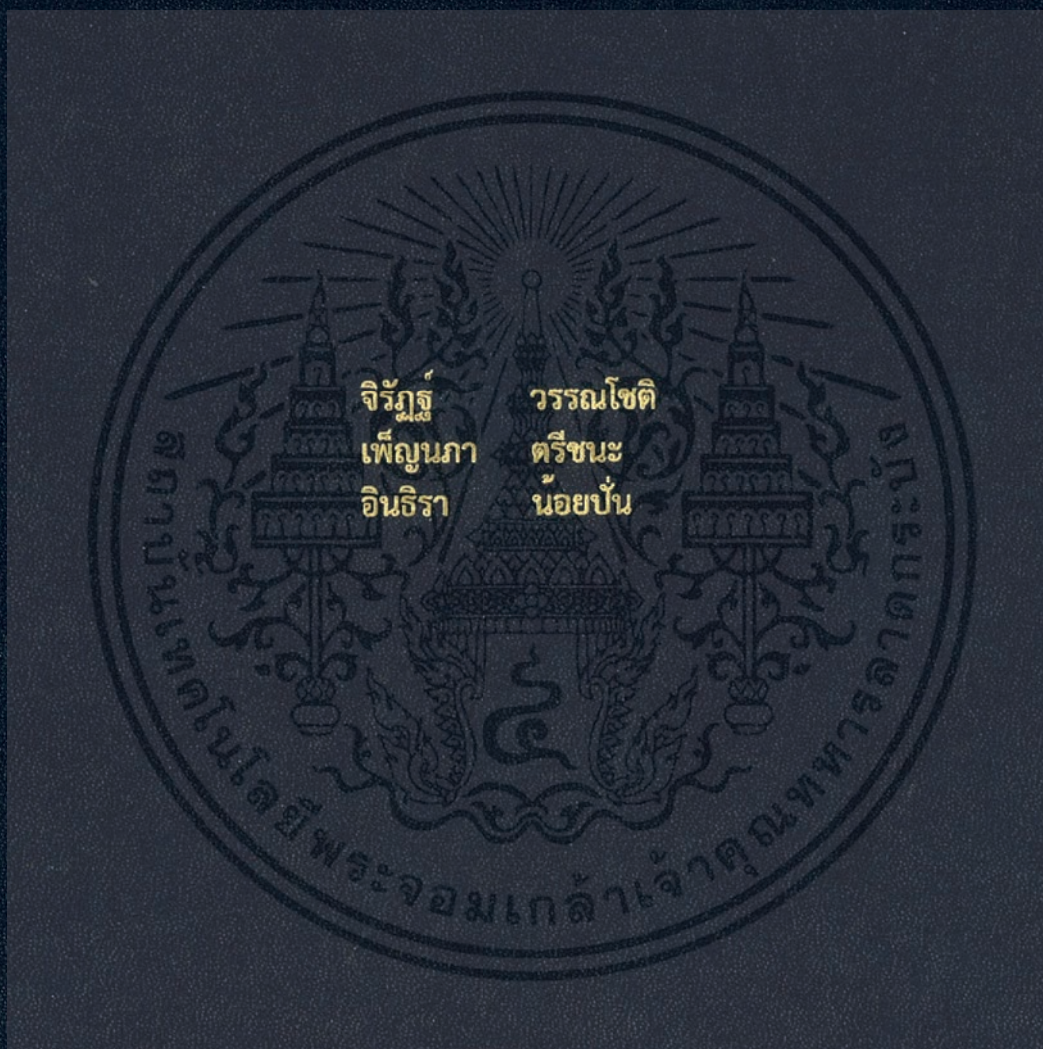


การวิเคราะห์ค่าความร้อนสูงของกระถินเทพาโดย

เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

Evaluation of higher heating value of Acacia Mangium Willd using

near infrared spectroscopy



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

การวิเคราะห์ค่าความร้อนสูงของกระถินเทพาโดย

เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

Evaluation of higher heating value of Acacia Mangium Willd using
near infrared spectroscopy



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EVALUATION OF HIGHER HEATING VALUE OF
ACACIA MANGIUM WILLD USING NEAR INFRARED SPECTROSCOPY



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT
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 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | |
|--------------------|---|----------|---------------|
| หัวข้อปริญญานิพนธ์ | การวิเคราะห์ค่าความร้อนสูงของกระถินเทพาโดย เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี | | |
| นักศึกษาผู้จัดทำ | นายจิรัฏฐ์ | วรรณโชติ | รหัส 58010196 |
| | นางสาวเพ็ญภา | ตรีชนะ | รหัส 58010923 |
| | นางสาวอินธิรา | น้อยปิ่น | รหัส 58011457 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ดร.วันพุท แซ่ฉั่ว | | |
| ปีการศึกษา | 2561 | | |

บทคัดย่อ

ในการศึกษานี้เป็นการสร้างแบบจำลองด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี สำหรับใช้ในการทำนายค่าความร้อนสูงของกระถินเทพาซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาในการวิเคราะห์ค่าความร้อนสูงได้ซึ่งโดยปกติจะใช้เวลานาน ในการทดลองนี้ใช้กระถินเทพา จำนวน 120 ตัวอย่าง โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้ ส่วนโคนลำต้น (A) ส่วนกลางลำต้น (B) และส่วนปลายลำต้น (C) จากนั้นนำมาสแกนด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีและหาค่าความร้อนสูงด้วยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ และสร้างแบบจำลองทำนายค่าความร้อนสูง ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ค่ารากที่สองของความผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสองของการพิสูจน์แบบไขว้ (RMSEP) ค่า RPD และค่า Bias เท่ากับ 70.99% 246 J/g 1.87 และ 33.7 J/g ตามลำดับ สำหรับการวิเคราะห์ค่าความร้อนสูงของกระถินเทพาทั้ง 3 ส่วนด้วยวิธีการทางสถิติ (One Way ANOVA) พบว่าส่วนโคนลำต้น (A) และส่วนกลางลำต้น (B) ไม่แตกต่างกัน แต่ส่วนปลายลำต้น (C) แตกต่างกับส่วนโคนลำต้น (A) และส่วนกลางลำต้น (B) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยส่วนโคนลำต้น (A) ส่วนกลางลำต้น (B) มีค่าความร้อนสูงเฉลี่ย $19,275.61 \pm 418.27$ J/g และส่วนปลายลำต้น (C) มีค่าความร้อนสูงเฉลี่ย $18,957.48 \pm 164.65$ J/g นอกจากนี้การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงปริมาณด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกพบว่ากระถินเทพามีปริมาณความชื้นเฉลี่ย ปริมาณคาร์บอนคงตัวเฉลี่ย ปริมาณไอรระเหยเฉลี่ยและปริมาณเถ้าเฉลี่ยดังนี้ 7.94% 6.13% 85.20% และ 1.76% ตามลำดับ

| | | | |
|----------------|---|------------|----------|
| Thesis Title | Evaluation of higher heating value of Acacia Mangium Willd using near infrared spectroscopy | | |
| Authors | Jirat | Wannachote | 58010196 |
| | Pennapa | Threechana | 58010923 |
| | Inthira | Noipan | 58011457 |
| Thesis Advisor | Dr.Wanphut | Saechua | |
| Year | 2018 | | |

Abstract

This study aimed to generate the model by using near infrared spectroscopy for evaluation of higher heating value (HHV) of Acacia mangium willd in order to reduce the time for higher heating value analysis. The experiment used 120 samples which were cut from 3 parts of Acacia mangium willd i.e. lower (A), middle (B), and higher (C). First, they were scanned by near infrared spectrometer and scanned samples were determined higher heating value by bomb calorimeter. Subsequently, the model was generated to predict HHV. The interpretation for reliability of the model using parameters as follows: coefficients of determination (R^2), root mean square error of prediction (RMSEP), ratio of standard derivation to SEP (RPD) and Bias which were 70.99%, 246 J/g, 1.87 and 33.7 J/g respectively. Analysis of the higher heating value between the 3 parts of Acacia mangium willd with statistical method (One Way ANOVA) showed no significant difference between part A and B, but showed significant difference between part C and part A, B with 95% confidence. The average higher heating value of part A and B was $19,275.61 \pm 418.27$ J/g and part C was $18,957.48 \pm 164.65$ J/g. The proximate analysis by thermogravimetric showed the moisture content, fixed carbon, volatile matter, and ash content which were 7.94%, 6.13%, 85.20% and 1.76% respectively.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ดร. วันพุทธ แซ่ฉั่ว ที่กรุณาให้คำปรึกษาปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง ตลอดจนให้ความรู้ เอาใจใส่ ให้คำแนะนำช่วยเหลือ ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และเพื่อน ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ช่วยเหลือทำการทดลอง และให้กำลังใจเสมอมา

จิรัฏฐ์

วรรณโชติ

เพ็ญญา

ตรีชนะ

อินธิรา

น้อยปิ่น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | |
|--|----|
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์..... | 2 |
| 1.3 ขอบเขตการศึกษา..... | 2 |
| 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ..... | 2 |
| 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 3 |
| 2.1 ชีวมวล..... | 3 |
| 2.2 กระจกอินทเพา..... | 5 |
| 2.3 กระจกอินยักษ์..... | 7 |
| 2.4 กระจกอินรงค์..... | 8 |
| 2.5 การหาปริมาณความชื้น..... | 10 |
| 2.6 ค่าความร้อน (Calorific Value) | 10 |
| 2.7 เครื่อง Bomb calorimeter..... | 12 |
| 2.8 หลักการทำงานของเครื่อง Thermogravimetric Analysis | 13 |
| 2.9 การแยกสลายด้วยความร้อน | 15 |
| 2.10 สมรรถนะการแยกสลายด้วยความร้อน..... | 17 |
| 2.11 เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี..... | 18 |
| 2.12 หลักการทำงานของเครื่อง Near Infrared Spectroscopy | 19 |
| 2.13 การเลือกวิธีการจัดการข้อมูลเบื้องต้น | 20 |
| 2.14 การเลือกแพ็คเกจที่เหมาะสม..... | 22 |
| 2.14.1 การสร้างสมการโดยวิธี partial least square Regression (PLS-Regression) | 23 |
| 2.15 วิธีการทดสอบสมการ (Validation Test)..... | 26 |
| 2.16 ค่าทางสถิติที่ใช้ในการพิจารณาการสร้างสมการ | 26 |
| 2.16.1 สัมประสิทธิ์การพิจารณา (Coefficient of determination, R^2)..... | 26 |
| 2.16.2 RMSECV (Root Mean Squared Error of Cross Validation) | 27 |
| 2.16.7 ความผิดพลาด (Bias)..... | 28 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

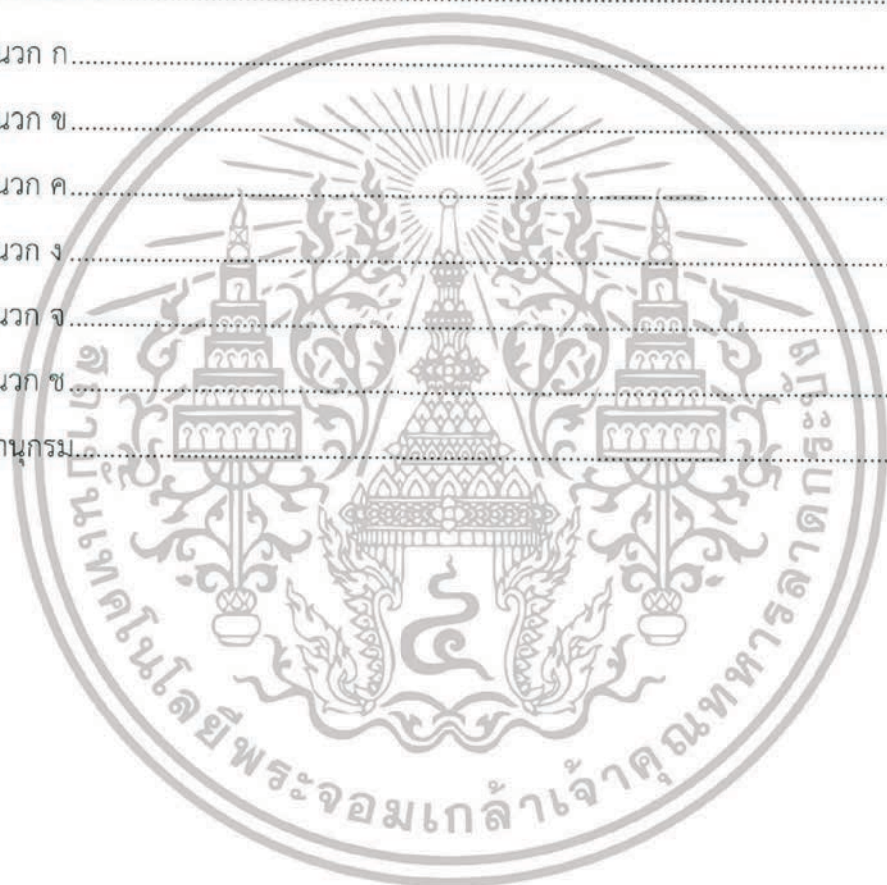
สารบัญ (ต่อ)

| | |
|--|----|
| 2.16.8 ประโยชน์ของเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (NIR) | 29 |
| 2.17 การทำ Repeatability และ Reproducibility | 29 |
| 2.18 การทดสอบ Blind Sample | 29 |
| 2.19 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 30 |
| บทที่ 3 วิธีการทดลอง | 33 |
| 3.1 ขั้นตอนการทดลอง | 33 |
| 3.2 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดลอง | 34 |
| 3.3 การดูคลื่นแสงด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer..... | 35 |
| 3.4 การวัดค่าความร้อน | 36 |
| 3.5 การทดสอบสมรรถภาพการแยกสลายด้วยความร้อนด้วยเครื่อง TGA..... | 38 |
| 3.6 การทำ Repeatability และ Reproducibility..... | 39 |
| 3.7 การวิเคราะห์ผลการทดลอง..... | 40 |
| บทที่ 4 ผลการทดลอง..... | 42 |
| 4.1 ปริมาณความชื้น..... | 42 |
| 4.2 ผลการทำ Repeatability และ Reproducibility ของเครื่อง Bomb calorimeter | 43 |
| 4.2.1 การทำ Repeatability ของเครื่อง Bomb calorimeter..... | 43 |
| 4.2.2 การทำ Reproducibility ของเครื่อง Bomb calorimeter..... | 44 |
| 4.3 ผลการทำ Repeatability และ Reproducibility ของเครื่อง NIR..... | 45 |
| 4.3.1 การทำ Repeatability ของเครื่อง NIR | 45 |
| 4.3.2 การทำ Reproducibility ของเครื่อง NIR..... | 46 |
| 4.4 ผลค่าความร้อนสูงของต้นกระถินเทพา | 46 |
| 4.5 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสเปกตรัมของลำต้นกระถินเทพาโดยอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี | 47 |
| 4.6 ผลการทำนายค่าความร้อนของลำต้นกระถินเทพาด้วยวิธี PLS Regression..... | 47 |
| 4.7 ผลการสร้างสมการทำนายค่าความร้อน | 49 |
| 4.7.1 ผลการสร้างสมการทำนายค่าความร้อนสูง..... | 49 |
| 4.7.2 ผลการสร้างสมการทำนายค่าความร้อนต่ำ..... | 51 |
| 4.8 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงประमाण | 53 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| | |
|---|-----|
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง..... | 55 |
| 5.1 สรุปผลปริมาณความชื้นของกระถินเทพา..... | 55 |
| 5.2 สรุปผลค่าความร้อนสูงของชีวมวลโดย Bomb Calorimeter | 55 |
| 5.3 สรุปผลการวิเคราะห์ลักษณะสเปกตรัมของกระถินเทพาโดยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.. | 55 |
| 5.4 สรุปผลการทำนายค่าความร้อนของกระถินเทพาด้วยวิธี PLS Regression | 56 |
| 5.5 สรุปผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงประมาณ | 56 |
| 5.6 ข้อเสนอแนะ..... | 56 |
| ภาคผนวก ก..... | 57 |
| ภาคผนวก ข..... | 61 |
| ภาคผนวก ค..... | 68 |
| ภาคผนวก ง..... | 72 |
| ภาคผนวก จ..... | 91 |
| ภาคผนวก ช..... | 98 |
| บรรณานุกรม..... | 110 |



สารบัญตาราง

| | | |
|--------------|---|----|
| ตารางที่ 1.1 | ขั้นตอนการดำเนินงาน..... | 2 |
| ตารางที่ 2.1 | แสดงปริมาณองค์ประกอบต่าง ๆ ของพืช..... | 4 |
| ตารางที่ 2.2 | แสดงศักยภาพและองค์ประกอบทางเคมีของชีวมวลชนิดต่าง ๆ | 9 |
| ตารางที่ 2.3 | การแปลความหมายของค่า R และ R ² | 27 |
| ตารางที่ 2.4 | การอธิบายผลของค่า RPD และ RER..... | 28 |
| ตารางที่ 4.1 | ปริมาณความชื้นของลำต้นกระถินเทพา | 42 |
| ตารางที่ 4.2 | แสดงค่า Repeatability ของเครื่อง Bomb calorimeter | 43 |
| ตารางที่ 4.3 | แสดงค่า Reproducibility ของเครื่อง Bomb calorimeter..... | 44 |
| ตารางที่ 4.4 | แสดงค่า Repeatability ของเครื่อง NIR..... | 45 |
| ตารางที่ 4.5 | แสดงค่า Reproducibility ของเครื่อง NIR..... | 46 |
| ตารางที่ 4.6 | แสดงค่าความร้อนสูงของลำต้นกระถินเทพาโดย Bomb calorimeter | 46 |
| ตารางที่ 4.7 | สมการทำนายค่าความร้อนที่สร้างจากเทคนิค PLSRegression แบบ Test Set Validation ของลำต้นกระถินเทพา | 48 |
| ตารางที่ ก.1 | แสดงผลค่าความร้อนสูงค่าความร้อนต่ำของลำต้นกระถินเทพาส่วนโคนลำต้น | 58 |
| ตารางที่ ก.2 | แสดงผลค่าความร้อนสูงค่าความร้อนต่ำของลำต้นกระถินเทพาส่วนกลางลำต้น | 59 |
| ตารางที่ ก.3 | แสดงผลค่าความร้อนสูงค่าความร้อนต่ำของลำต้นกระถินเทพาส่วนปลายลำต้น | 60 |
| ตารางที่ ข.1 | ผลของค่าความชื้นของกระถินเทพาส่วนปลายลำต้น..... | 62 |
| ตารางที่ ข.2 | แสดงผลของค่าความชื้นของกระถินเทพาส่วนกลางลำต้น..... | 63 |
| ตารางที่ ข.3 | แสดงผลของค่าความชื้นของกระถินเทพาส่วนปลายลำต้น..... | 66 |
| ตารางที่ ค.1 | แสดงค่าองค์ประกอบเชิงปริมาณของกระถินเทพา | 70 |
| ตารางที่ ค.2 | อัตราการผลิตและอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตของกระถินเทพา..... | 71 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปรูปภาพ

| | |
|--|----|
| รูปที่ 2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกระถินเทพา ลำต้นเมื่อยังอายุน้อย(ก) ลำต้นเมื่อแก่แล้ว(ข) ใบจริงของกระถินเทพา(ค) ใบเทียมของกระถินเทพา(ง) ดอกของกระถินเทพา(จ) ฝักอ่อน ของกระถินเทพา(ฉ) ฝักแก่และเมล็ดของกระถินเทพา(ช)..... | 6 |
| รูปที่ 2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกระถินยักษ์ ใบของกระถินยักษ์(ก) ลำต้นของกระถินยักษ์(ข) ดอกของกระถินยักษ์(ค) ฝักอ่อนของกระถินยักษ์(ง) ฝักแก่ของกระถินยักษ์(จ) เมล็ด กระถินยักษ์(ฉ)..... | 7 |
| รูปที่ 2.3 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกระถินณรงค์ ลำต้นของกระถินณรงค์(ก) ใบของกระถิน ณรงค์ (ข) ดอกของกระถินณรงค์(ค) ฝักอ่อนของกระถินณรงค์(ง) ฝักแก่ของกระถินณรงค์(จ)..... | 8 |
| รูปที่ 2.4 ประเภทของ Bomb calorimeter Isooperibol Calorimeter(ก) Adiabatic Calorimeter(ข)..... | 11 |
| รูปที่ 2.5 เครื่อง Bomb Calorimeter รุ่น IKA C-200(ก)..... | 12 |
| รูปที่ 2.6 เครื่อง Thermogravimetry Analyzer (TGA)..... | 13 |
| รูปที่ 2. 7 การเผาห้องค์ประกอบเชิงปริมาณของชีวมวล แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับ เวลา(ก) น้ำหนักกับอุณหภูมิ(ข)..... | 14 |
| รูปที่ 2.8 ช่วงการสลายองค์ประกอบทางเคมีในกระบวนการการสลายตัวด้วยความร้อน | 15 |
| รูปที่ 2.9 ช่วงการสลายองค์ประกอบทางเคมีในกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อน..... | 16 |
| รูปที่ 2.10 การพิจารณาความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาและความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา..... | 17 |
| รูปที่ 2.11 การกระทำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับสารต่าง ๆ..... | 19 |
| รูปที่ 2.12 พลอตระหว่างค่าดูดกลืนแสงของสเปกตรัมของตัวอย่าง(ก)..... | 21 |
| รูปที่ 2.13 สเปกตรัม (เส้นทึบ) และอนุพันธ์อันดับสอง (second Derivative)..... | 22 |
| รูปที่ 2.14 ข้อมูลสเปกตรัมและความเข้มข้นในรูปแบบเมทริกซ์ ในตัวอย่างนี้มีตัวอย่างคาลิเบรชัน M ตัวอย่างที่วัดและ - ในขั้นตอนที่สอง - N ความยาวคลื่นทั้งหมดของผลสเปกตรัมจะถูก เขียนในแถว (M,N) เมทริกซ์ เมทริกซ์นี้จะเทียบเท่ากับข้อมูลสเปกตรัมเมทริกซ์ X ในทาง เดียวกันค่าองค์ประกอบทั้งหมด L จะเขียนลงไปใน (M,L) เมทริกซ์ของข้อมูลความเข้มข้น | 24 |
| รูปที่ 3.1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดลอง ตัดต้นกระถินเทพาสูงจากดิน 20 เซนติเมตร(ก) ตัดต้นกระถินเทพาออกเป็น 3 ท่อน(ข) ผ่าเป็นซีกเล็ก ๆ เตรียมเข้าเครื่องหั่นย่อย(ค) ตะแกรงร่อนคัดขนาด(ง) กระถินเทพาที่มีขนาดน้อยกว่า 4.75 มิลลิเมตร(จ)..... | 34 |
| รูปที่ 3.2 การสแกนด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer กระถินเทพาในถ้วยควอทซ์(ก) การสแกนด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer(ข)..... | 35 |
| รูปที่ 3.3 การวัดค่าความร้อนด้วยเครื่อง Bomb calorimeter ชั่งน้ำหนักชีวมวล(ก) อัดเม็ดกระถิน เทพาด้วยเครื่อง(ข) เครื่องอัดเม็ด(ค) เม็ดชีวมวลที่อัดแล้ว(ง) เครื่อง Bomb calorimeter(จ)..... | 36 |

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

| | |
|--|----|
| รูปที่ 3.4 การทดสอบสมรรถภาพการแยกสลายด้วยความร้อนด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyzer การใส่ตัวอย่างลงถ้วยครุชิวีล(ก) การนำถ้วยครุชิวีลวางลงบนแท่นที่เชื่อมกับเครื่องชั่งน้ำหนักละเอียดภายในเครื่อง Thermogravimetric Analyzer(ข)..... | 38 |
| รูปที่ 4.1 สเปกตรัมการดูดซับคลื่นของลำต้นกระถินเทพาทั้ง 120 ตัวอย่าง..... | 47 |
| รูปที่ 4.2 Scatter plot ของข้อมูลอ้างอิง (X) และข้อมูลทำนาย (Y) สำหรับความค่าความร้อนสูงของกระถินเทพาโดยใช้ FT-NIR spectrometer..... | 49 |
| รูปที่ 4.3 Regression coefficient plot ของสมการค่าความร้อนสูงของกระถินเทพา..... | 50 |
| รูปที่ 4.4 Scatter plot ของข้อมูลอ้างอิง (X) และข้อมูลทำนาย (Y) สำหรับความค่าความร้อนต่ำของกระถินเทพาโดยใช้ FT-NIR spectrometer..... | 51 |
| รูปที่ 4.5 Regression coefficient plot ของสมการค่าความร้อนต่ำของกระถินเทพา..... | 52 |
| รูปที่ 4.6 ตัวอย่างกราฟแสดงองค์ประกอบเชิงปริมาณของกระถินเทพา..... | 53 |
| รูปที่ 4.7 ตัวอย่างกราฟ First derivative (DTG)..... | 54 |



บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีพื้นที่ที่เหมาะสมแก่การเพาะปลูกเนื่องจากพื้นที่เป็นที่ราบ สามารถปลูกพืชได้หลายชนิด และมีความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรทางธรรมชาติเป็นอย่างมากทำให้ประเทศไทยมีแหล่งพลังงานธรรมชาติหรือพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy resources) ซึ่งเป็นพลังงานที่ได้จากธรรมชาติที่สามารถใช้ได้ไม่มีวันหมด อาทิเช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานจากชีวมวล แต่เนื่องจากในปัจจุบันความต้องการพลังงานเพิ่มมากขึ้น จึงต้องมีการพัฒนาพลังงานเพื่อให้ตอบสนองต่อความต้องการที่มากขึ้น จากกระทรวงพลังงานได้กล่าวถึงแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP 2015 : Alternative Energy Development Plan) ปีพ.ศ. 2558 - 2579 ระบุว่า ต้องการเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนทั้งในรูปของพลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อน และพลังงานเชื้อเพลิงชีวมวลเป็น 30%ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในปี พ.ศ. 2579 [1] จากแผน AEDP พลังงานจากเชื้อเพลิงชีวมวลนั้นส่วนใหญ่ได้จากอุตสาหกรรมเกษตรต่าง ๆ เช่นอุตสาหกรรมน้ำตาล อุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์ม อุตสาหกรรมแปรรูปมันสำปะหลัง อุตสาหกรรมแปรรูปไม้ ที่ได้นำเศษวัสดุเหลือทิ้งมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล และเพื่อช่วยเหลือเกษตรกรให้มีรายได้จึงได้มีการพัฒนาและศึกษาเกี่ยวกับไม้โตเร็วในประเทศไทยเพื่อนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล จากการศึกษาเกี่ยวกับไม้โตเร็วในประเทศไทยพบว่าไม้กระถินยักษ์ กระถินเทพา สนประติพัทธ์ ยูคาลิปตัส และเสม็ดขาว ที่โตเร็ว สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย และไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมอีกด้วย [2] ซึ่งพืชแต่ละชนิดที่กล่าวมามีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ทำให้ค่าความร้อนสูงแตกต่างกันไปด้วย ซึ่งค่าความร้อนสูงมีความสำคัญต่อชีวมวลเป็นอย่างมากเพราะค่าความร้อนสูงสามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการให้ความร้อนของชีวมวลและคุณภาพของชีวมวล ถ้าหากชีวมวลมีค่าความร้อนสูง (higher heating value) ที่สูงมากนั้นแปลว่าประสิทธิภาพในการให้ความร้อนก็มากตามไปด้วย รวมถึงคุณภาพของชีวมวลก็ดีมากด้วยเช่นกัน ใช้ชีวมวลในปริมาณน้อยก็สามารถให้พลังงานความร้อนในปริมาณมากได้ ดังนั้นการใช้คุณภาพของชีวมวลในการกำหนดราคาซื้อขาย เช่นค่าความร้อนสูง จะทำให้การซื้อขายพืชพลังงานเป็นไปอย่างยุติธรรมและมีมาตรฐานที่ชัดเจน

เนื่องจากการหาค่าความร้อนสูง (Higher Heating Value) ของพืชแต่ละชนิดใช้ระยะเวลาในห้องปฏิบัติการที่นานประมาณตัวอย่างละเอียด 1 ชั่วโมง ทางโครงการจึงมีแนวคิดนำเทคนิคเนียร์อินฟราเรด สเปกโทรสโกปีมาทำการสร้างแบบจำลองทำนายค่าความร้อนสูง โดยใช้พืชทดลองเป็นไม้กระถินพันธุ์เทพาซึ่งเป็นไม้ที่โตเร็ว ง่าย ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม และได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมในการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงประมาณ (Proximately Analysis) เพื่อดูถึงคุณสมบัติของชีวมวล นอกจากนี้ในโครงการวิจัยปี พ.ศ.2560 ได้มีการวิเคราะห์ค่าความร้อนสูงของกระถินยักษ์ด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเช่นเดียวกัน ดังนั้นข้อมูลที่เคยศึกษาและข้อมูลที่เป็นการศึกษาเพิ่มเติมนับกับพืชคนละสายพันธุ์จะทำให้แบบจำลองที่สร้างโดยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมีความสามารถในการวิเคราะห์ค่าความร้อนสูงได้กว้างขวางยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อวิเคราะห์ค่าความร้อนสูงของกระถินเทพาและสร้างแบบจำลองทำนายค่าความร้อนสูงของกระถินเทพาโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1.3.1 ใช้กระถินพันธุ์กระถินเทพาโดยทำการทดลอง 120 ตัวอย่าง
- 1.3.2 หาค่าความร้อนสูงของไม้กระถินเทพาโดยบอมบ์แคลอริมิเตอร์ และสร้างแบบจำลองทำนายค่าความร้อนสูงโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี
- 1.3.3 วิเคราะห์องค์ประกอบเชิงประมาณ (Proximately Analysis) ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณไอร่หะเหย ปริมาณคาร์บอนคงตัว และปริมาณเถ้าของกระถินเทพา

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้ค่าความร้อนสูงของกระถินเทพาโดยใช้เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์
- 1.4.2 ได้แบบจำลองทำนายค่าความร้อนของกระถินเทพาโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี
- 1.4.3 สามารถนำเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีที่ใช้ทำนายค่าความร้อนสูงให้กับกระถินเทพาไปประยุกต์ใช้กับวัสดุชีวมวลอื่น ๆ ได้

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

| ขั้นตอนการดำเนินงาน | พุทธศักราช 2561 | | | | พุทธศักราช 2562 | | | | |
|--|-----------------|------|------|------|-----------------|------|------|-------|-------|
| | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. |
| 1 เตรียมวัสดุ | | | | | | | | | |
| 2 วัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIR | | | | | | | | | |
| 3 วัดค่าความร้อนด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter | | | | | | | | | |
| 4 วิเคราะห์องค์ประกอบเชิงประมาณด้วยเครื่อง TGA | | | | | | | | | |
| 5 วิเคราะห์ผล | | | | | | | | | |
| 6 เล่มปริญญาานิพนธ์ | | | | | | | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชีวมวล

ชีวมวล (Biomass) หมายถึง วัสดุหรือสารอินทรีย์ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานได้โดยอาศัยแสงอาทิตย์ในการสังเคราะห์แสงหรือเจริญเติบโต หลังจากนั้นจะเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็งและแปรรูปเป็นของเหลวที่สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานได้ พลังงานดังกล่าวจัดเป็นพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) [3] สามารถแบ่งชีวมวลตามแหล่งที่มาได้ดังนี้

1. พืชผลทางการเกษตร (Agricultural Crops) เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด ข้าวฟ่างหวาน ที่เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต แป้งและน้ำตาล รวมถึงพืชน้ำมันต่าง ๆ ที่สามารถนำน้ำมันมาใช้เป็นพลังงานได้
2. เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (Agricultural Residues) เช่น ฟางข้าว เศษลำต้นข้าวโพด ชังข้าวโพด เหง้ามันสำปะหลัง
3. ไม้และเศษไม้ (Wood and Wood Residues) เช่น ไม้โตเร็ว ยูคาลิปตัส กระจินณรงค์ กระจินเทพา กระจินยักษ์ เศษไม้จากโรงงานผลิตเครื่องเรือน และโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ เป็นต้น
4. ของเหลือจากอุตสาหกรรมและชุมชน (Waste Streams) เช่น กากน้ำตาล และชานอ้อยจากโรงงานน้ำตาล แกลบ ชี้เลื่อย เส้นใยปาล์ม และกะลาปาล์ม

2.1.1 คุณสมบัติหลักของชีวมวล

คุณสมบัติของชีวมวลจะเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงคุณภาพของชีวมวลและประสิทธิภาพการเผาไหม้ [4] ซึ่งคุณสมบัติหลัก ๆ ของชีวมวลมีดังนี้ [5]

1. ความชื้น (MC : Moisture Content) เป็นปริมาณน้ำที่มีอยู่ในชีวมวล โดยปกติแล้วชีวมวลที่ได้จากพืชผลทางการเกษตรมักมีค่าความชื้นที่สูง ถ้าหากต้องการนำชีวมวลเป็นพลังงานต้องจัดการกับความชื้นเสียก่อน
2. ส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible substance) แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกคือไอระเหย (VM : Volatile Matter) ถ้าหากมีค่าไอระเหยสูงแสดงว่าชีวมวลนั้นติดไฟได้ง่าย และอีกส่วนคือสัดส่วนของคาร์บอนคงที่ (FC : Fixed Carbon) ซึ่งบอกปริมาณคาร์บอนคงตัวในชีวมวล
3. ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ คือ เถ้า (A : Ash) ชีวมวลที่ดีควรมีปริมาณเถ้าไม่เกิน 3% เนื่องจากส่งผลต่อการเผาไหม้และยังมีปัญหาในการกำจัดอีกด้วย

2.1.2 องค์ประกอบทั่วไปของชีวมวล

นอกจากคุณสมบัติข้างต้นที่ส่งผลต่อค่าความร้อนของชีวมวลแล้วยังมีองค์ประกอบทางเคมีที่ส่งผลต่อค่าความร้อนของชีวมวลอีกด้วย ซึ่งได้แก่ ลิกนิน เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส ซึ่งในแต่ละชนิดประกอบด้วยธาตุต่าง ๆ ที่ไม่เหมือนกัน ดังนี้

1. เซลลูโลส (cellulose) มีสูตรทางเคมีคือ $[C_6(H_2O)_5]_n$ เป็นสารประกอบประเภทคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) ชนิดพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ประเภทโฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ (homopolysaccharide) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส (glucose) มาต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (glycosidic bond) เซลลูโลสเป็นโครงสร้างหลักของผนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลลูโลส เช่น ผัก ผลไม้ และ เมล็ดธัญพืช โดยอยู่ร่วมกับเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลสทำให้มีลักษณะเป็นเส้นใย และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เช่นนำไปทำกระดาษ เชือก สิ่งทอต่าง ๆ [1]

2. เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เป็นสารประกอบประเภทคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) ชนิดพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) มีสูตรทางเคมีคือ $[C_5(H_2O)_4]_n$ โมเลกุลของเฮมิเซลลูโลส เป็น heteropolysaccharide ที่ประกอบด้วยน้ำตาลหลายชนิด มีน้ำตาลไซโลส (xylose) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (glycosidic bond) เป็นโซ่หลัก อาจมีน้ำตาลแมนโนส (mannose) กาแล็กโทส (galactose) หรือกลูโคส (glucose) มาต่อกันเป็นโซ่หลักด้วย เฮมิเซลลูโลส จัดเป็นเส้นใยอาหาร (dietary fiber) ที่ไม่ละลายน้ำ [2]
3. ลิกนิน เป็นสารประกอบประเภทคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) ชนิดใยอาหาร (dietary fiber) มีสูตรทางเคมีคือ $C_{10}H_{12}O_4$ ซึ่งเป็นสารประกอบระหว่างคาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจนรวมกัน ลิกนินเป็นสารประกอบที่สำคัญของเนื้อเยื่อพืชมักพบในส่วนของผนังเซลล์ทำให้ผนังเซลล์พืชแข็งแรงโดยจะอยู่ร่วมกับเซลลูโลส (cellulose) และ เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เป็นส่วนประกอบของเปลือก ชัง หรือส่วนที่เป็นเยื่อใยของราก ลำต้น และจะถูกสร้างจากส่วนโคนต้นไปสู่ออก เมื่อพืชมีอายุมากขึ้น ปริมาณลิกนินจะเพิ่มมากขึ้นด้วย สำหรับหน่วยย่อยของลิกนิน (Monolignols) จะมีโครงสร้างแบบอะโรมาติกและมักพบได้ในธรรมชาติทั้งหมด 3 มอนอนเมอร์ ได้แก่ p-Coumaryl alcohol พบมากในพืชตระกูลหญ้า ส่วน Coniferyl alcohol จะพบมากในพืชใบแคบ (Softwood) ประมาณ 26-32% และพืชใบกว้าง (Hardwood) ประมาณ 20-28% และ Sinapyl alcohols จะพบมากในพืชใบกว้าง ทั้งเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ต่างมีปริมาณในชีวมวลที่แตกต่างกันดังตารางที่ 2.1 [2]

ตารางที่ 2.1 ปริมาณองค์ประกอบเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินของวัสดุชนิดต่าง ๆ

| วัสดุ | เซลลูโลส (%) | เฮมิเซลลูโลส (%) | ลิกนิน (%) |
|-------------------|--------------|------------------|------------|
| ลำต้นไม้เนื้อแข็ง | 40-55 | 24-40 | 18-25 |
| ลำต้นไม้เนื้ออ่อน | 40-50 | 25-35 | 25-35 |
| เปลือกถั่ว | 25-30 | 25-30 | 30-40 |
| ฟางข้าวสาลี | 30 | 50 | 15 |
| แกนข้าวโพด | 45 | 35 | 15 |
| เปลือกถั่ว | 25-30 | 25-30 | 30-40 |
| หญ้า | 25-40 | 35-50 | 10-30 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

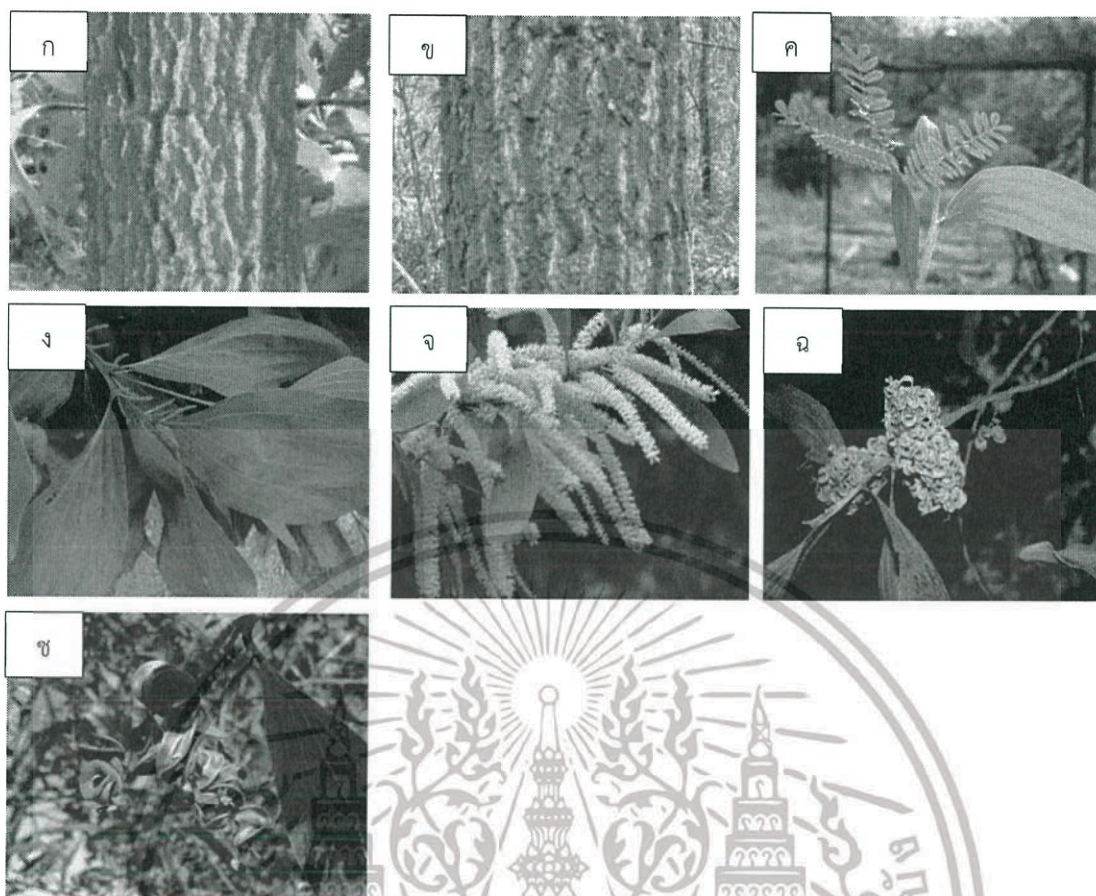
2.2 กระจินเทพา

กระจินเทพาเป็นพืชในวงศ์ Fabaceae - Mimosoideae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Acacia mangium* Willd. และมีชื่อทางภาษาอังกฤษว่า Brown salwood [6] ซึ่งจัดอยู่ในพืชตระกูลถั่วและเป็นไม้โตเร็ว ส่วนใหญ่มักพบที่ความสูงไม่เกิน 100 เมตรจากระดับน้ำทะเล มีถิ่นกำเนิดที่ประเทศปาปัวนิวกินี ออสเตรเลีย อินโดนีเซีย เนื่องจากสามารถปรับตัวในการเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ที่สภาพแวดล้อมถูกทำลาย และมีค่าความร้อนสูงถึง 16,047 กิโลจูลต่อกิโลกรัม [2] ซึ่งกระจินเทพามีคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้

1. เป็นไม้โตเร็ว มีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่าไม้ซ้อและยูคาลิปตัส ซึ่งไม้ทั้งสองชนิดนี้จัดเป็นไม้โตเร็วมากที่สุดจำพวกหนึ่งในเขตร้อนชื้น
2. สามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าไม้อื่น ๆ ในสภาพดินที่ไม่ค่อยสมบูรณ์ เช่น ดินลูกรัง ดินที่ผ่านการทำไร่เลื่อนลอย ดินที่มีหินปะปน ดินที่ถูกชะล้างมากอนซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ต่ำ และดินตามบริเวณพื้นที่ลาดชัน เป็นต้น รวมไปถึงสามารถขึ้นได้ดีในสภาพดินที่เป็นกรด (pH = 4-6)
3. อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตจะมีอากาศร้อนชื้น ซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยระหว่าง 13-21 องศาเซลเซียส แต่กระจินเทพาจะไม่ขึ้นในบริเวณที่อุณหภูมิสูงกว่า 38 องศาเซลเซียส
4. เป็นพืชบำรุงดินเนื่องจากมีเชื้อแบคทีเรียสกุลไรโซเบียมอาศัยอยู่ที่ปมราก ช่วยดึงธาตุไนโตรเจนจากอากาศในดินมาใช้ให้เกิดประโยชน์เช่นเดียวกับพืชตระกูลถั่วชนิดอื่น ๆ
5. สามารถเจริญเติบโตได้ในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนตั้งแต่ 1,000 มิลลิเมตร ถึง 4,500 มิลลิเมตรต่อปี แต่จะสามารถเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนมากกว่า 2,000 มิลลิเมตรต่อปี

กระจินเทพามีลำต้นตรง มีช่วงที่ไร้กิ่งก้านเกือบครึ่งหนึ่งของความสูงทั้งหมด เนื่องจากกระจินเทพาสามารถริดกิ่งเองได้ตามธรรมชาติโดยที่กิ่งส่วนล่างจะทยอยแห้งตายไปตั้งแต่อายุน้อย ๆ ทรงพุ่มก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อมโดยจะมีพุ่มกว้างถ้าปลูกห่างหรือขึ้นในที่โล่ง และจะสูงโปร่งถ้าปลูกชิดกันตามสภาพของสวนป่า โดยลำต้นสีมีเทาหรือเทาอมน้ำตาล ดังรูปที่ 2.1ก เมื่อแก่เปลือกจะแข็งหนา ขรุขระและแตกเป็นร่องตามยาวดังรูปที่ 2.1ข เนื้อไม้ส่วนกระพี้บางและสีค่อนข้างอ่อน ส่วนแก่นมีสีน้ำตาลมีความหนาแน่น 0.56 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมีค่าความแข็ง (Hardness) 4,900 นิวตัน ในระยะที่เป็นต้นอ่อนกระจินเทพาจะมีใบจริงประเภทใบรวม นั่นคือมีใบย่อยหลายหลายใบ คล้ายกับใบของกระจินดังรูปที่ 2.1ค แต่เมื่ออายุได้ 2-3 สัปดาห์ก็จะสร้างใบเทียมที่มีลักษณะเป็นใบเดี่ยวมีเส้นใบแบบขนานขึ้นมาแทนใบจริง โดยที่ใบเทียมดังกล่าวจะเป็นส่วนของก้านใบและแกนกลางของใบที่ขยายตัวแผ่กว้างออกไปจนมีลักษณะดังรูปที่ 2.1ง ดอกของกระจินเทพาเป็นช่อคล้ายหางกระรอกประกอบด้วยดอกย่อยขนาดเล็กสีขาวหรือสีครีม ยาวประมาณ 10 เซนติเมตรดังรูปที่ 2.1จ ส่วนฝักอ่อนของกระจินเทพาจะมีสีเขียวบิดไปมาเป็นกลุ่มก้อนแน่นดังรูปที่ 2.1ฉ เมื่อแก่มีสีน้ำตาลเข้มและแตกออกเมื่อแก่เต็มที่ได้เมล็ดมีสีดำคล้ายรูปไข่ขนาด 3 - 5 มิลลิเมตรเกิดเรียงไปตามความยาวของฝัก และยึดติดกับฝักด้วยรก ซึ่งมีสีเหลืองสดดังรูปที่ 2.1ซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกระถินเทพา ลำต้นเมื่อยังอายุน้อย(ก) ลำต้นเมื่อแก่แล้ว(ข) ใบจริงของกระถินเทพา(ค) ใบเทียมของกระถินเทพา(ง) ดอกของกระถินเทพา(จ) ฝักอ่อนของกระถินเทพา(ฉ) ฝักแก่และเมล็ดของกระถินเทพา(ช)

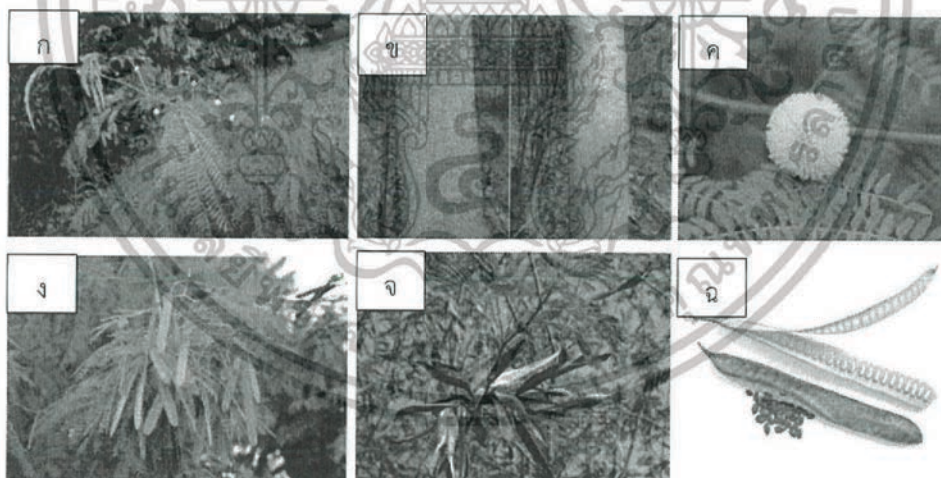
ถ้าหากมีการกล่าวถึงประโยชน์ของกระถินเทพาก็มีมากมายเช่นการนำไปทำเฟอร์นิเจอร์ ไม้อัด วงกบประตู เยื่อกระดาษ และใช้ในงานก่อสร้างเนื่องจากลักษณะของเนื้อไม้แปรรูปง่าย นอกจากนี้ยังเหมาะที่จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเนื่องจากมีความหนาแน่นและมีค่าความร้อนและมีค่าความร้อนสูง [7] ในด้านพลังงานกระถินเทพาสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ทุกส่วนทั้งลำต้น เนื้อไม้ส่วนปลอดยอด กิ่งก้านใบ ตอไม้ ราก และขี้เลื่อย ซึ่งสามารถนำมาทำฟืนจะได้ค่าความร้อนเฉลี่ย 23,000 กิโลจูลต่อกิโลกรัม [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 กระถินยักษ์

กระถินยักษ์เป็นพืชในวงศ์ Fabaceae - Mimosoideae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit และมีชื่อภาษาอังกฤษว่า White popinac, Lead tree กระถินยักษ์มีความคงทนต่อสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ดี แม้ในที่ที่มีความแห้งแล้งหรือพื้นที่ที่มีน้ำท่วมเป็นระยะก็สามารถเจริญเติบโตได้ แต่จะเจริญเติบโตได้ดีในที่สูงไม่เกิน 500 เมตร จากระดับน้ำทะเล และบริเวณที่มีฝนตกประมาณ 600-1,700 มิลลิเมตรต่อปี ขึ้นได้ดีในดินที่เป็นหินปูน สภาพความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ควรเป็นกลางหรือมี pH ตั้งแต่ 5.5 ขึ้นไป และมีค่าความร้อนสูงเท่ากับ 15,910 กิโลจูลต่อกิโลกรัม [9]

ลักษณะใบตลอดปี ใบย่อยแตกออกจากก้านใบ 3-10 คู่ ใบย่อย 5-20 คู่ ใบรูปขอบขนาน ปลายใบแหลมทำมุมกว้าง ไม่มีขนดังรูปที่ 2.2ก ส่วนลำต้นของกระถินยักษ์ คือมีลำต้นเรียบ เปลือกบางสีเทาปนน้ำตาลแดง เนื้อไม้มีกระพี้สีจางกว่าส่วนที่เป็นแก่น เนื้อไม้มีสีเหลืองอ่อนจนถึงสีน้ำตาลอ่อน เส้นตรงเนื้อไม้ค่อนข้างแข็ง ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.52 มีความชื้นเท่ากับ 15% ดังรูปที่ 2.2ข ดอกมีสีขาวรวมเป็นจุกดังรูปที่ 2.2ค เมื่อแก่จะมีสีน้ำตาล ซ่อดอกหนึ่ง ๆ จะมีฝักประมาณ 15-20 ฝัก ออกดอกในช่วงเดือนมกราคมและพักจะแก่ในช่วงกุมภาพันธ์ถึงมีนาคมดังรูปที่ 2.2ง ส่วนฝักและเมล็ดจะเกิดเป็นกลุ่ม ๆ มีลักษณะบาง แบนและตรง มีสีเขียวเข้มดังรูปที่ 2.2จ และกลายเป็นสีแดงหรือสีน้ำตาลเมื่อแก่เต็มที่ฝักมีความกว้างประมาณ 2 เซนติเมตร ยาวประมาณ 12-18 เซนติเมตรดังรูปที่ 2.2ฉ ในฝักแก่จะมีเมล็ดอยู่ประมาณ 15-30 เมล็ด เมล็ดสีน้ำตาลเมื่อแก่ รูปร่างแบนรี กว้างประมาณ 3-4 มิลลิเมตร มีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2.2ฉ



รูปที่ 2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกระถินยักษ์ ใบของกระถินยักษ์(ก) ลำต้นของกระถินยักษ์(ข) ดอกของกระถินยักษ์(ค) ฝักอ่อนของกระถินยักษ์(ง) ฝักแก่ของกระถินยักษ์(จ) เมล็ดกระถินยักษ์(ฉ)

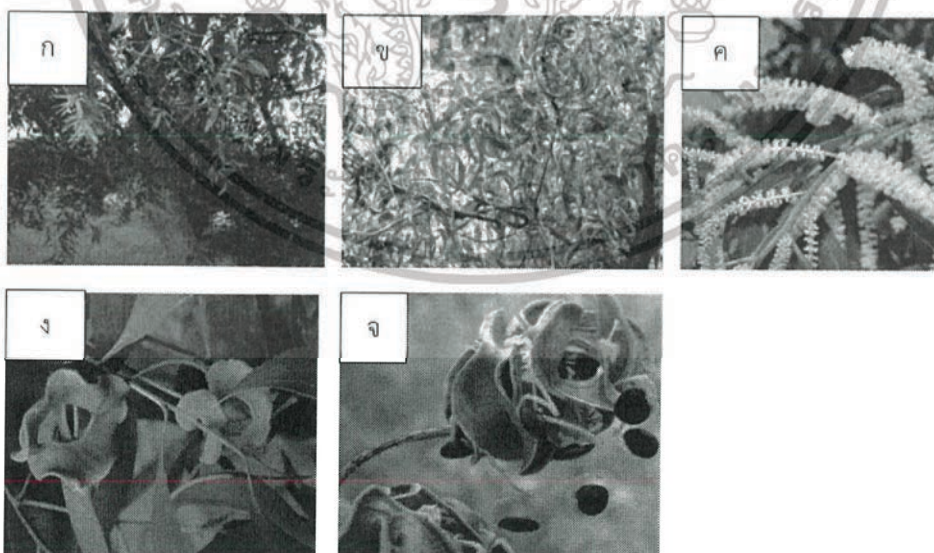
ประโยชน์ของกระถินยักษ์มีมากมายเช่นปลูกไว้เพื่อรับประทานส่วนยอด ปลูกเพื่อทำเป็นแนวรั้วหรือแม้กระทั่งแนวกันฝนชะล้างหน้าดิน [10] แต่ถ้าหากเป็นเรื่องของพลังงาน กระถินยักษ์ให้ค่าความร้อนเท่ากับ 17,600 - 19,300 กิโลจูลต่อกิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 กระถินณรงค์

กระถินณรงค์เป็นพืชในวงศ์ Fabaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Acacia auriculiformis* Cunn. และมีชื่อภาษาอังกฤษว่า Auri, Earleaf acacia, Earpod wattle, Northern black wattle, Papuan wattle, Tan wattle เป็นพืชตระกูลถั่ว [6] มีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมตามธรรมชาติในพุ่มหญ้าของประเทศปาปัวนิวกินี ไปจนถึงพื้นที่ทางตอนเหนือของประเทศออสเตรเลีย แต่ปัจจุบันได้มีการนำไปปลูกกันทั่วโลกทั้งทวีปเอเชีย แอฟริกา และอเมริกาใต้ เนื่องจากสามารถฟื้นฟูสภาพป่าเสื่อมโทรมได้ กระถินณรงค์เป็นไม้ที่มีขนาดเล็กถึงขนาดกลางมีความสูง 8 เมตร ไปจนถึง 20 เมตร มีความกว้างจำเพาะ 0.6-0.75 [11] ค่าความร้อน 19,700 กิโลจูลต่อกิโลกรัม [8]

ลักษณะของกระถินณรงค์ [12] จะมีลำต้นสูงประมาณ 10-20 เมตร ลำต้นทรงกลม ตั้งตรง แต่หากพื้นที่แห้งแล้งมาก ลำต้นจะไม่สมมาตร เปลือกของต้นอายุน้อยมีสีเทา ผิวขรุขระ เมื่อต้นเจริญเต็มที่ เปลือกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้ม ผิวเป็นร่องแตกสะเก็ด แตกกิ่งก้านมากตั้งรูปที่ 2.3ก กระถินณรงค์เป็นพืชไม่ผลัดใบ แตกใบได้ตลอดทั้งปี ต้นอ่อนแตกใบ 1-2 คู่ เป็นใบผสมขนาดเล็ก เมื่อโตขึ้นใบผสมจะร่วงหมดเกิดเป็นใบเดี่ยวแท้ แตกออกตามกิ่งเรียงสลับกัน ใบมีลักษณะเรียวยาว และโค้งเป็นรูปเคียว มีสีเขียวเข้ม ลักษณะค่อนข้างหนา ใบกว้างประมาณ 1.2-2.5 เซนติเมตร ยาวประมาณ 10-16 เซนติเมตร มองเห็นเป็นเส้นใบ 3 เส้น ขนานกันตามแนวยาวจากโคนใบจรดปลายใบตั้งรูปที่ 2.3ข กระถินณรงค์มักจะออกดอกเป็นช่อ ตามซอกใบ ดอกห้อยยาวคล้ายหางกระรอก มีสีเหลือง ส่งกลิ่นหอม แต่ละช่อดอกประกอบด้วยดอกย่อยจำนวนมาก 70-100 ดอก มีขนาดเล็กประมาณ 1 มิลลิเมตร ตั้งรูปที่ 2.3ค ฝักและเมล็ดจะม้วนงอขยุกขยิก โดยฝักอ่อนจะมีสีเขียวตั้งรูปที่ 2.3ง ฝักแก่มีสีน้ำตาลเข้ม และดำตามอายุของฝัก เมื่อแก่มากฝักจะแตกเป็น 2 ซีก ตามแนวตะเข็บขอบฝัก แต่ละฝักมีเมล็ดประมาณ 10-15 เมล็ด เมล็ดมีลักษณะกลมแบน มีริ้วสีเหลืองติดเมล็ด เมล็ดมีขนาดประมาณ 2.5-4.5 มิลลิเมตร สีเมล็ดออกสีน้ำตาลเข้มถึงดำ ตั้งรูปที่ 2.3จ



รูปที่ 2.3 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกระถินณรงค์ ลำต้นของกระถินณรงค์(ก) ใบของกระถินณรงค์(ข) ดอกของกระถินณรงค์(ค) ฝักอ่อนของกระถินณรงค์(ง) ฝักแก่ของกระถินณรงค์(จ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้างต้นพืชทั้ง 3 ชนิดจัดเป็นไม้โตเร็วซึ่งเป็นไม้ที่ปลูกและโตได้เร็ว และทุกส่วนของต้นไม้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านพลังงานได้ทั้งสิ้น ซึ่งแบ่งสัดส่วนเป็น ราก 12.5% ตอ 7.5% ลำต้น 62.5% กิ่งก้านใบ 12.5% และยอดไม้ 5% ทั้งหมดที่กล่าวมาสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงหรือพลังงานได้ในรูปของของแข็ง โดยการนำไปอัดแท่ง ทำเป็นถ่าน ซึ่งเชื้อเพลิงที่ได้เหมาะที่จะนำไปเผาไหม้และให้ความร้อนเพื่อใช้งานกระบวนการผลิตไอน้ำหรือผลิตไฟฟ้าต่อไป โดยถ้าหากพืชทั้ง 3 ชนิดที่กล่าวมาอยู่ในรูปของไม้ฟืนจะให้ค่าความร้อนเท่ากับ 18,600 กิโลจูลต่อกิโลกรัม คิดเป็นค่าพลังงาน 127.7 เมกกะวัตต์ต่อชั่วโมงต่อไร่ และพืชทั้ง 3 ชนิดอยู่ในรูปของถ่านไม่มีค่าความร้อนเท่ากับ 30,600 กิโลจูลต่อกิโลกรัม คิดเป็นพลังงาน 141.2 เมกกะวัตต์ต่อชั่วโมงต่อไร่ แต่ถ้าหากชีวมวลอยู่ในรูปของเหลวทำได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิจนเกิดปฏิกิริยาทางเคมีรวมไปถึงการหมักจนกลายเป็นของเหลว ได้แก่ เมทานอล น้ำมัน แอลกอฮอล์ ซึ่งเชื้อเพลิงที่ได้เหมาะกับการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ และสุดท้ายหากชีวมวลอาจจะอยู่ในสถานะแก๊ส ได้แก่ มีเทน ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเชื้อเพลิงที่ได้เหมาะกับการนำไปใช้ในกระบวนการ Gasification เพื่อผลิตพลังงานความร้อนพลังงานไฟฟ้าต่อไปได้เช่นกัน [8] โดยพืชแต่ละชนิดมีองค์ประกอบเชิงปริมาณที่ต่างกันนั้นเป็นผลให้ได้ค่าความร้อนที่ต่างกันด้วยแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงศักยภาพและองค์ประกอบทางเคมีของชีวมวลชนิดต่าง ๆ [13]

| ชีวมวล | Proximate Value | | | | | Ultimate Value | | | | |
|------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------------|----------------|------|------|------|-------|
| | %MC | %VM | %Ash | %FC | HHV (kJ/kg) | %C | %H | %N | %S | %O |
| กะลาปาล์ม | 7.26 | 75.28 | 2.2 | 15.26 | 10126 | 48.1 | 8.41 | 0.51 | 0.04 | 42.94 |
| แกลบ | 3.53 | 63 | 19.45 | 14.02 | 12393 | 37.4 | 4.63 | 0.54 | 0.07 | 57.36 |
| กากมันสำปะหลัง | 3.55 | 82 | 3.28 | 11.17 | 14407 | 43.21 | 8.01 | 0.35 | 0.02 | 48.41 |
| เหล้ามันสำปะหลัง | 4.66 | 80 | 2.73 | 12.61 | 14591 | 46.12 | 7.55 | 1.13 | 0.03 | 45.17 |
| ทางปาล์ม | 1.62 | 76 | 4.72 | 17.66 | 14777 | 47.94 | 7.63 | 0.63 | 0.03 | 43.77 |
| ไม้ยูคาลิปตัส | 1.14 | 79 | 2.64 | 17.22 | 15454 | 48.93 | 8.05 | 0.52 | 0.02 | 42.48 |
| ซังข้าวโพด | 2.23 | 81 | 1.38 | 15.39 | 15580 | 48.09 | 7.45 | 0.38 | 0.01 | 44.07 |
| ไม้กระถินยักษ์ | 0.63 | 81 | 1.78 | 16.59 | 15910 | 47.55 | 6.55 | 0.38 | 0.01 | 45.51 |
| กะลามะพร้าว | 4.46 | 76 | 1.32 | 18.22 | 15945 | 46.2 | 5.42 | 0.87 | 0.05 | 47.46 |
| ไม้กระถินเทพา | 1.03 | 82 | 1.86 | 15.11 | 16047 | 48.28 | 7.2 | 0.7 | 0.03 | 43.81 |
| เปลือกยูคาลิปตัส | 0.27 | 41 | 11.2 | 47.53 | 18821 | 52.15 | 9.17 | 0.83 | 0.03 | 37.82 |

จากตารางที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าไม้กระถินเทพาให้ค่าความร้อนสูงเท่ากับ 16,047 กิโลจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งให้ค่าความร้อนสูงมากกว่าของเหลือใช้ทางการเกษตร และจากตารางจะเห็นได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าความร้อนมีอีกหลายประการเช่น ค่าความชื้น (MC) ค่าสารระเหย (VM) ปริมาณเถ้า (Ash) และปริมาณคาร์บอนคงตัว (FC) ซึ่งกล่าวในหัวข้อถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การหาปริมาณความชื้น

การหาปริมาณความชื้นเริ่มจากการนำวัตถุดิบที่ต้องการหาค่าความชื้นมาชั่งน้ำหนักเริ่มต้น แล้วทำการบันทึกค่าไว้เป็นน้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้น จากนั้นนำไปอบไล่ความชื้นในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จนกระทั่งน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลง จากนั้นบันทึกค่าน้ำหนักไว้เป็นน้ำหนักตัวอย่างแห้ง โดยแบ่งเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่

ความชื้นฐานเปียก (wet basis) เป็นค่าความชื้นที่มักใช้ในทางการค้า เป็นค่าที่ใช้บ่งชี้ความชื้นโดยทั่วไปในชีวิตประจำวัน สามารถคำนวณหาได้โดยใช้สูตร

เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียก = $\left(\frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \right) \times 100$ พาราน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น

ความชื้นฐานแห้ง (dry basis) เป็นค่าที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้ง (dehydration) เพราะช่วยให้คำนวณได้สะดวก เนื่องจากน้ำหนักแห้งของอาหารจะคงที่ สามารถคำนวณหาได้โดยใช้สูตร

เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้ง = $\left(\frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}} \right) \times 100$ พาราน้ำหนักตัวอย่างแห้ง

2.6 ค่าความร้อน (Calorific Value) [14]

ค่าความร้อน (CV) เป็นปริมาณความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ด้วยอากาศ (Combustion) ของชีวมวลแต่ละชนิด โดยทั่วไปค่าความร้อนจะแสดงในรูปของปริมาณความร้อนต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักหรือหนึ่งหน่วยปริมาตร ยกตัวอย่างเช่น MJ/kg สำหรับของแข็ง, MJ/m³ (ลูกบาศก์เมตร) สำหรับของเหลว และ MJ/N.m³ สำหรับก๊าซ (อ้างอิงที่ อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และความดัน 1.01325 bar) เป็นต้น

ค่าความร้อนสูง (Gross Calorific Value หรือ High Heating Value) คือค่าความร้อนทั้งหมดที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง โดยปกติแล้วในวัสดุชีวมวลจะมีน้ำปนอยู่ด้วย และเมื่อเกิดการเผาไหม้น้ำส่วนที่ปนอยู่ในชีวมวลจะรวมกับน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ของ Hydrogen ซึ่งจะมีความร้อนส่วนหนึ่งถูกนำไปเผาไหม้น้ำดังกล่าวโดยอยู่ในรูปความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ สำหรับค่า Gross Calorific Value นี้เป็นค่าความร้อนที่รวมค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไวด้วย

ค่าความร้อนต่ำ (Net Calorific Value หรือ Low Heating Value) คือค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้โดยหักค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ ซึ่งจะเท่ากับค่า Gross Calorific Value ลบด้วยค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ

2.6.1 การวิเคราะห์ค่าความร้อน

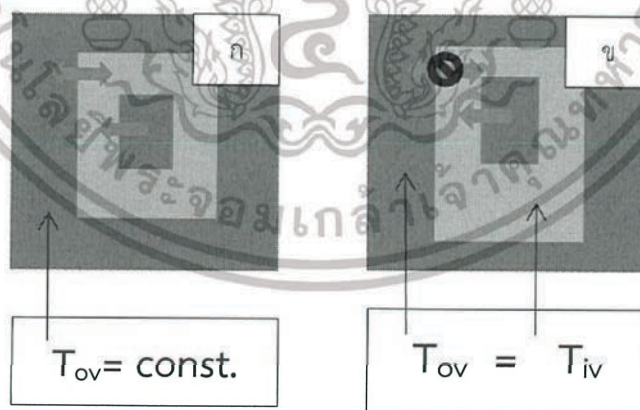
การวิเคราะห์ค่าความร้อนแบบ Bomb calorimeter เป็นการวัดค่าความร้อนด้วยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ ซึ่งเป็นการวัดความร้อนที่ปลดปล่อยจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงด้วยออกซิเจน น้ำเป็นผลผลิตของปฏิกิริยาการเผาไหม้ ค่าความร้อนที่ได้จึงเป็นค่าความร้อนสูง ซึ่งค่าความร้อนสูงรวมค่าพลังงานที่ปลดปล่อยโดยการควบแน่นของน้ำที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงตอนเริ่มต้นและน้ำที่เกิดจากไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง โดยการวิเคราะห์ค่าความร้อนแบบ Bomb calorimeter แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

2.6.1.1 Isoperibol Calorimeter

ในการวัดแบบ Isoperibol Calorimeter อุณหภูมิของเวสเซล (Vessel) ด้านนอกจะถูกทำให้คงที่ตลอดการทดลอง ถึงแม้อุณหภูมิของเวสเซลด้านนอกจะถูกทำให้คงที่แต่ไม่ได้หมายความว่าระบบจะถูกแยกออกอย่างสมบูรณ์ ยังคงมีอุณหภูมิเล็กน้อยแลกเปลี่ยนกันระหว่างเวสเซลด้านในและด้านนอก ควรรักษาอุณหภูมิห้องด้วยเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิห้องเพื่อทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการทดลองน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ปัจจัยการคลาดเคลื่อนเหล่านี้จะถูกคำนวณหักลบหลังจากการทดลอง ดังรูปที่ 2.4ก

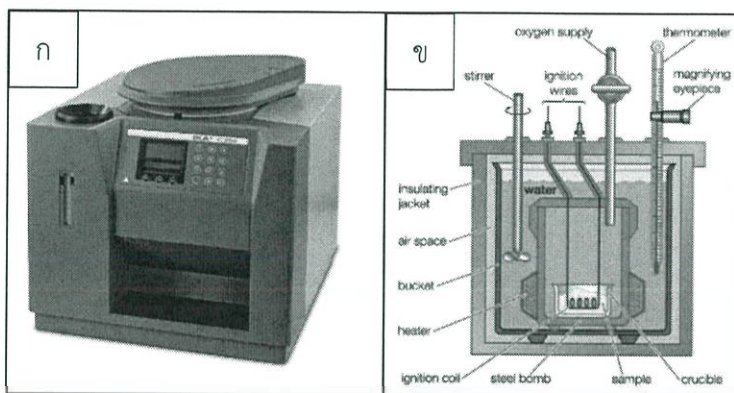
2.6.1.2 Adiabatic Calorimeter

ในการวัดแบบ Adiabatic Calorimeter อุณหภูมิของเวสเซลด้านนอกจะมีอุณหภูมิเดียวกับเวสเซลด้านในตลอดการทดลอง จึงทำให้ใกล้เคียงกับการแยกระบบออกจากสิ่งแวดล้อมได้สมบูรณ์ ถึงอย่างไรก็ตามยังต้องรักษาอุณหภูมิห้องด้วยเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการทดลองน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ไม่มีปัจจัยการคลาดเคลื่อนที่ถูกคำนวณหักลบหลังจากการทดลอง ดังรูปที่ 2.4ข



รูปที่ 2.4 ประเภทของ Bomb calorimeter Isoperibol Calorimeter(ก) Adiabatic Calorimeter(ข)

2.7 เครื่อง Bomb calorimeter [15]



รูปที่ 2.5 เครื่อง Bomb Calorimeter รุ่น IKA C-200(ก)

โครงสร้างภายในของเครื่อง Bomb Calorimeter(ข)

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

จากรูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างภายในของ Bomb calorimeter ประกอบด้วย stainless steel bomb (ภายในบรรจุตัวอย่าง (sample) ที่ต้องการหาค่าพลังงาน และ ออกซิเจน) น้ำ เทอร์มิเตอร์ อุปกรณ์ที่ใช้ในการควน (stirrer) โดย bomb calorimeter จะถูกหุ้มด้วยฉนวนเพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนจาก bomb calorimeter ถ่ายเทไปยังสภาวะแวดล้อม $Q_{\text{calorimeter}}$ เท่ากับ ศูนย์ เนื่องจากโครงสร้างของ Bomb calorimeter ทำจากstainless steel ปฏิกริยาการเผาไหม้จะเกิดภายใต้สภาวะที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตร (constant volume) จึงไม่เกิดงานขึ้น $W_{\text{calorimeter}}$ เท่ากับ $- \int PdV$ ซึ่งเท่ากับศูนย์ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลง internal energy, ΔU , สำหรับ calorimeter เท่ากับศูนย์

การทำงานของ bomb calorimeter จะใช้หลักการของ direct calorimetry ซึ่งเป็นการวัดปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาเมื่อการเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ชีวมวลจะถูกบรรจุใน chamber และ charged ด้วยออกซิเจนภายใต้ความดันสูง (high-pressure) จากนั้นให้กระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่าน fuse และทำให้เกิดการจุดระเบิด (ignites) เชื้อเพลิงซึ่งได้แก่ส่วนผสมของชีวมวลและออกซิเจน (biomass-oxygen mixture) เนื่องจาก calorimeter จะถูกหุ้มด้วยฉนวนเพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนถ่ายเทออกไปสู่สภาวะแวดล้อม การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของน้ำทำให้ทราบปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยจากชีวมวล

การคำนวณหาปริมาณความร้อนโดยใช้สูตร

$$Q = mC_p\Delta t \quad (2.1)$$

Q คือ ปริมาณความร้อน (kJ)

m คือ มวลของสาร (kg)

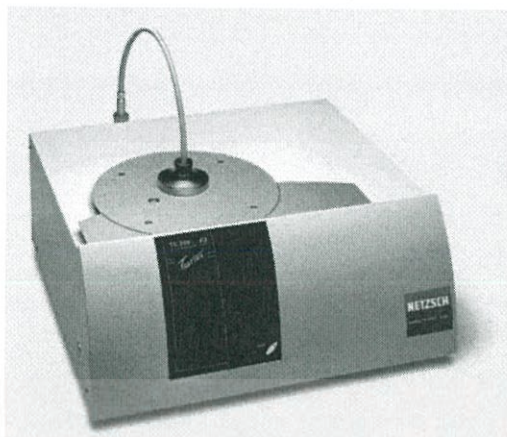
C_p คือ ความร้อนจำเพาะ (kJ/kg K)

Δt คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป (K)

เนื่องจากการคำนวณปริมาณความร้อนนี้เป็นปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับและค่าความร้อนจำเพาะของน้ำมีค่าเป็น 4.187 kJ/kg K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 หลักการทำงานของเครื่อง Thermogravimetric Analysis [16]



รูปที่ 2.6 เครื่อง Thermogravimetry Analyzer (TGA)

ที่มา : www.lihyuan.com.tw/en/attachment/product_en_attach_21.pdf

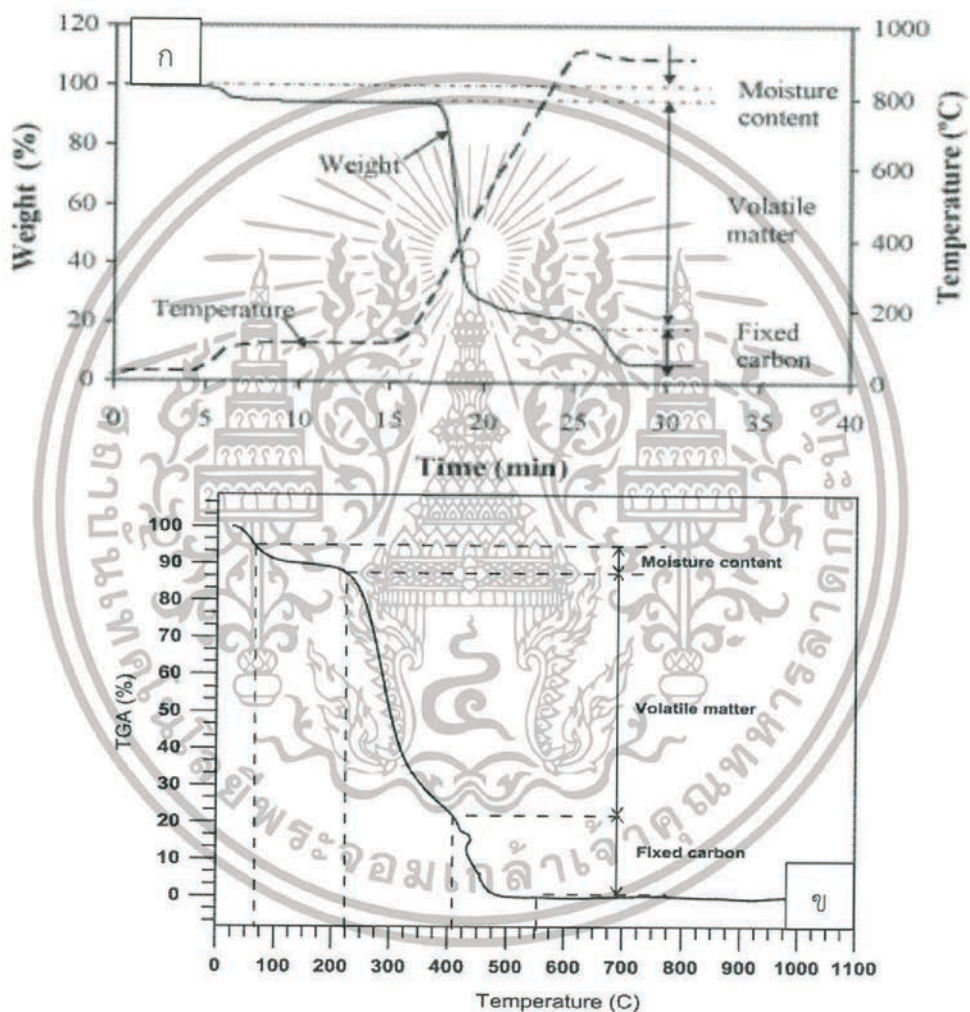
การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงปริมาณของกระถินเทพา โดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักคือ ความชื้น (Moisture) , ส่วนที่เผาไหม้ได้ ซึ่งได้แก่ ไอรระเหย (Volatile Matter) และ คาร์บอนคงตัว(Fix Carbon) และส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ คือ เถ้า(Ash) รายละเอียดขององค์ประกอบต่าง ๆ มีดังนี้

1. ความชื้น (MC : Moisture Content) เป็นปริมาณน้ำที่มีอยู่ในชีวมวล ซึ่งค่าความชื้นมีผลต่อกระบวนการเผาไหม้เป็นอย่างมาก เพราะถ้าหากชีวมวลที่มีค่าความชื้นมากจะทำให้ค่าความร้อนลดลงและประสิทธิภาพในการเผาไหม้ก็จะลดลง ความชื้นที่เหมาะสมแก่การเผาไหม้ต้องไม่เกิน 30-50%
2. ไอรระเหย (VM : Volatile Matter) คือปริมาณไอรระเหยในชีวมวลเป็นน้ำหนักที่หายไปหลังจากการให้ความร้อนแก่ชีวมวลภายใต้สภาวะที่กำหนด คือ อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 7 นาทีหรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่โดยไม่ให้สัมผัสกับอากาศ ไอรระเหยจะเกิดจากการสลายด้วยความร้อนหรือไพโรไลซิส (Pyrolysis) ถ้าหากชีวมวลมีค่า Volatile Matter สูง แสดงว่าชีวมวลติดไฟได้ง่าย
3. เถ้า (A : Ash) เป็นองค์ประกอบหนึ่งของชีวมวลที่ไม่เกิดการเผาไหม้ ถ้าหากมีปริมาณเถ้ามาก จะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ลดลง เถ้าอาจจะอยู่ในรูปของเถ้าหลอม (Slagging) ที่อยู่ในห้องเผาไหม้และอาจทำให้ท่อความร้อนในห้องเผาไหม้เกิดการชำรุดเสียหายได้ โดยปกติเถ้าในชีวมวลไม่ควรเกิน 3% เถ้าสามารถวิเคราะห์ได้จากน้ำหนักที่เหลืออยู่จากการเผาไหม้ชีวมวลที่อุณหภูมิ 575 องศาเซลเซียสเป็นเวลามากกว่า 3 ชั่วโมง ส่วนประกอบที่เป็นอนินทรีย์จะถูกละลายออกซิไดซ์จนกลายเป็นสารประกอบออกไซด์หรือที่เรียกว่าเถ้า
4. สัดส่วนของคาร์บอนคงที่ (FC : Fixed Carbon) เป็นส่วนที่เหลือของโครงสร้างโมเลกุลของชีวมวล ซึ่งส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยธาตุคาร์บอน ยิ่งค่าคาร์บอนคงที่มาก ค่าความร้อนก็จะยิ่งสูง สามารถคำนวณหาปริมาณคาร์บอนคงที่ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\%FC = 100 - (\%MC + \%A + \%VM) \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงปริมาณ (proximate analysis) ของกระถินเทพาสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเทคนิค Thermogravimetry ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ตรวจสอบมวลของกระถินเทพาเทียบกับเวลา หรืออุณหภูมิที่ให้แก่กระถินเทพานั้นในบรรยากาศเฉพาตัว เรียกว่า การวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักเชิงความร้อน (Thermogravimetric analysis, TGA) ใช้อุปกรณ์ที่วิเคราะห์ที่เรียกว่า Thermogravimetric analyzer (TGA) ผลการทดสอบจะถูกแสดงออกมาในรูปกราฟซึ่งมีแกน Y แสดงน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป (weight% หรือ mg) และแกน X แสดงอุณหภูมิหรือเวลา จากการวิเคราะห์โดยเครื่อง TGA จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกระถินเทพา อุณหภูมิ และเวลา ดังรูปที่ 2. 7



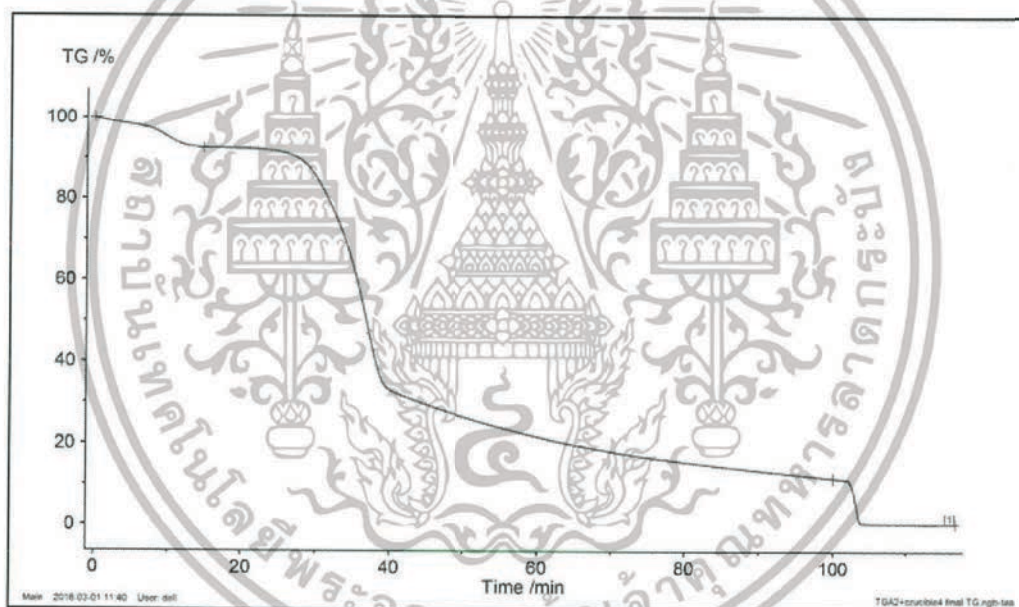
รูปที่ 2. 7 การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงปริมาณของชีวมวล แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับเวลา(ก) น้ำหนักกับอุณหภูมิ(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 การแยกสลายด้วยความร้อน [17]

กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis Process) เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนรูปชีวมวลให้มีค่าความร้อนที่สูงขึ้น และเป็นกระบวนการทางเคมีความร้อน ในลักษณะให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิกลางๆ 500-800 องศาเซลเซียส โดยปราศจากออกซิเจนตลอดกระบวนการ มีอัตราการให้ความร้อนที่สูง ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือน้ำมันชีวมวล (Bio Oil) ซึ่งประกอบด้วยสารเคมีจากการสลายตัวของเซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และลิกนิน (Lignin) โดยผ่านความร้อนและการทำปฏิกิริยาระหว่างกระบวนการ

การแยกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis) คือ การสลายตัวของวัสดุอินทรีย์จากของแข็งเป็นก๊าซเชื้อเพลิงเนื่องจากถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง โดยไม่เกิดการลุกไหม้หรือจุดระเบิด (สภาวะไร้ออกซิเจน) ซึ่งเชื้อเพลิงชีวมวลมีองค์ประกอบทางเคมีหลักๆ อยู่ 3 ชนิด คือ เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส ลิกนิน โดยองค์ประกอบทางเคมีแต่ละชนิดมีการสลายที่อุณหภูมิแตกต่างกัน รวมถึงอัตราการสลายตัวขององค์ประกอบทางเคมีก็มีสัดส่วนแตกต่างกันด้วย โดยขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ ในกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนสามารถแบ่งช่วงสลายขององค์ประกอบทางเคมีได้ 3 ช่วง ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ช่วงการสลายขององค์ประกอบทางเคมีในกระบวนการการสลายตัวด้วยความร้อน

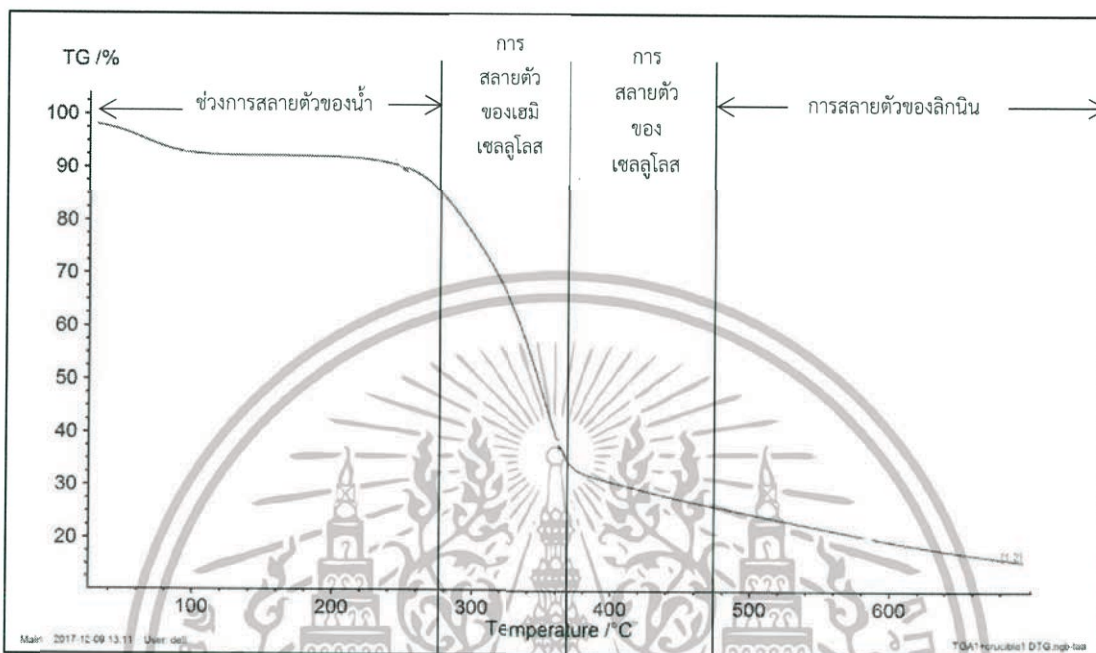
ช่วงการระเหยของน้ำ คือ ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 32-220 องศาเซลเซียส (0-19 min) ช่วงการระเหยสารระเหย คือ ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 220 °C เป็นต้นไป สามารถแบ่งออกได้เป็นสองช่วงคือ ช่วงการระเหยสารระเหยหลัก (Main devolatilisation) และช่วงการระเหยสารระเหยรอง (Continuous slight devolatilisation) สารระเหยเหล่านี้เป็นก๊าซเชื้อเพลิง หลังจากได้สารระเหยจากการสลายด้วยความร้อนแล้วสิ่งที่เหลือคือคาร์บอนและเถ้า จากรูปที่ 2.8

ช่วงสุดท้ายจะทำให้เกิดกระบวนการเผาไหม้คาร์บอน คือ ช่วงอุณหภูมิที่ต่อจากช่วงการระเหยสารระเหย (อุณหภูมิที่เริ่มช่วงการเผาไหม้คาร์บอนจะขึ้นอยู่กับจุดวาบไฟของวัสดุ) โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วงย่อย ๆ ได้ดังนี้ ในช่วงแรกจะเกิดการเผาไหม้คาร์บอนอย่างรวดเร็ว และช่วงท้ายจะเป็นการเผาไหม้คาร์บอนอย่างช้า ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งที่เหลือจากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนคือ ขี้เถ้า และผลผลิตที่ได้จากกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนคือ ก๊าซเชื้อเพลิง และคาร์บอนหรือเรียกว่า Char

แต่หากพิจารณาจากบทความวิจัยของ Yang et al รายงานไว้ว่ากระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อนสามารถแบ่งช่วงสลายองค์ประกอบทางเคมีได้ 4 ช่วง ดังรูปที่ 2.9

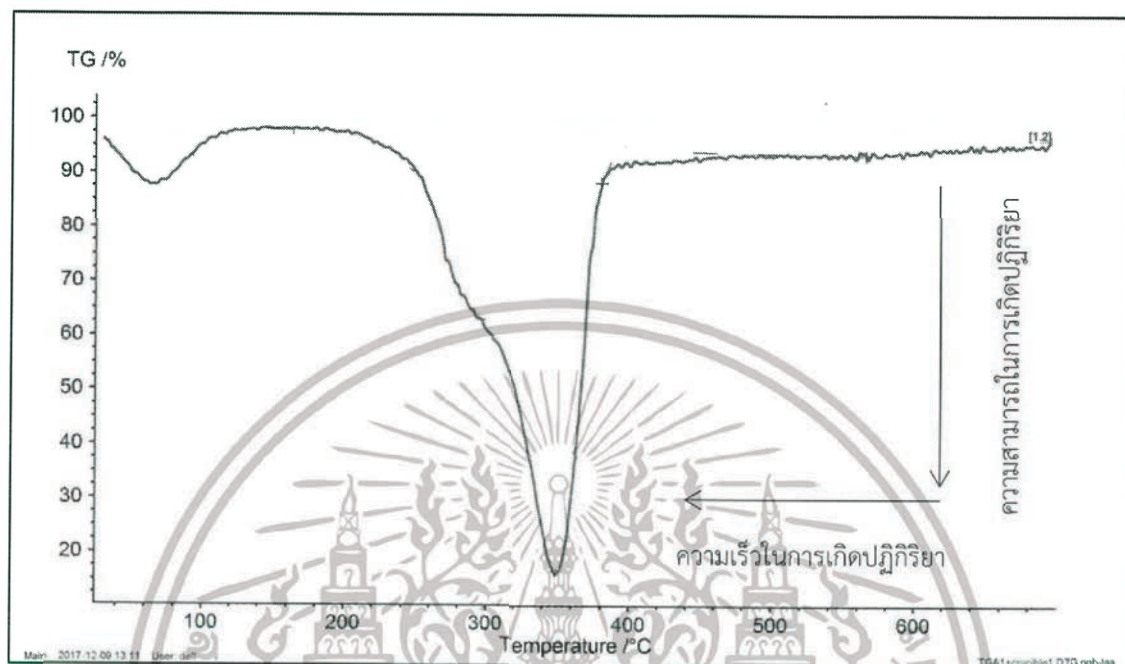


รูปที่ 2.9 ช่วงการสลายองค์ประกอบทางเคมีในกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อน จากบทความวิจัยของ Yung et al

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

2.10 สมรรถนะการแยกสลายด้วยความร้อน

สมรรถนะการแยกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis performance) คือ ความสามารถในการเกิดกระบวนการการแยกสลายด้วยความร้อน โดยมีองค์ประกอบในการพิจารณาดังนี้ ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา และความเร็วในการเกิดปฏิกิริยา ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การพิจารณาความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาและความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา

จากรูปที่ 2.10 แสดงการพิจารณาความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา พิจารณาจากอัตราการสลายมวลสูงสุดในกราฟ DTG (%/min) โดยหากมีอัตราการสลายมวลสูงสุดที่ค่าที่ต่ำมากแสดงว่า มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาสูงและรวดเร็ว พิจารณาจากอุณหภูมิหรือเวลาในการเกิดอัตราการสลายมวลสูงสุด โดยหากเกิดอัตราการสลายมวลสูงสุดที่อุณหภูมิต่ำ (องศาเซลเซียส) หรือเวลาน้อย (นาทื) แสดงว่า มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาได้เร็ว

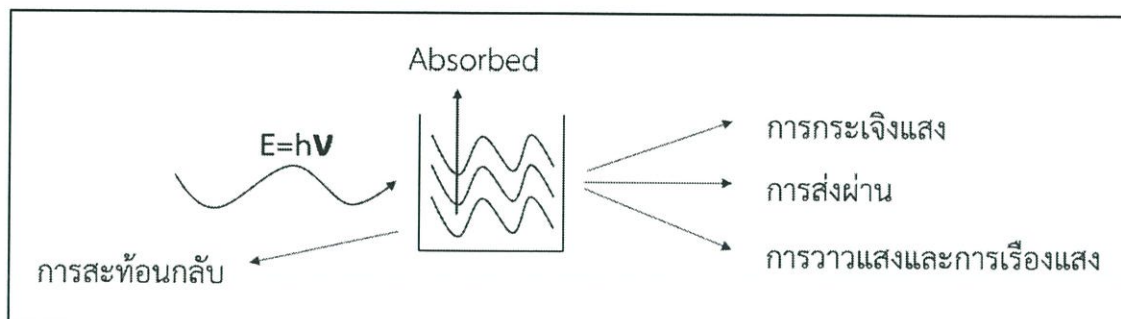
2.11 เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Near infrared spectroscopy) เป็นเทคนิคที่ใช้หลักการอันตรกิริยา (Interaction) เมื่อคลื่นเนียร์อินฟราเรด (ความยาวคลื่นระหว่าง 700-2500 nm) ที่ส่องไปยังวัสดุ เช่น ผลผลิตทางเกษตรและอาหาร ทำให้พันธะทางเคมีภายในวัสดุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพันธะ O-H, C-H และ N-H ของวัสดุ ดูดซับคลื่นและทำให้เกิดอาการสั่นสะเทือนของพันธะ โดยการเปลี่ยนระดับพลังงานข้ามชั้นมากกว่า 1 ชั้น (Overtone) หรือเกิดจากการสั่นสะเทือนข้าม 1 ชั้น (Fundamental vibration) พร้อมกันของพันธะตั้งแต่ 2 พันธะขึ้นไป ทำให้ได้ผลรวมของการสั่น (Combination vibration) เครื่องมือที่ใช้เรียกว่า สเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer) ซึ่งมีแหล่งแสงที่ให้ช่วงคลื่นเนียร์อินฟราเรด ปกติเป็นหลอดทังสเตนฮาโลเจน (Tungsten halogen) ตัวตรวจวัด (Detector) ในเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ทำจากสารต่าง ๆ ไม่เหมือนกันขึ้นกับช่วงคลื่นที่ต้องการตรวจวัด เช่น ช่วงคลื่น 350-1100 nm ใช้ Si (Silicon) ช่วง 1100-2500 nm ใช้ PbS (Lead sulphide) หรือ InGaAs (Indium Gallium Arsenide) ช่วงแสงที่มองเห็นได้และช่วงเนียร์อินฟราเรด (400-2600 nm) ใช้ PbS ควบคู่ (Sandwiched) กับ Silicon photodiodes วิธีการจัดวางตัวอย่างเพื่อการสแกนด้วยสเปกโตรมิเตอร์ สามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีสะท้อน (Reflectance) เป็นวิธีที่ง่ายต่อการจัดวางตัวอย่าง เมื่อแสงส่องไปยังวัตถุแล้วแพร่ลงไปใ้ในเนื้อวัตถุบางส่วนแล้วสะท้อนกลับขึ้นมาสู่ตัวตรวจวัด บางทีเรียกว่า การสะท้อนแบบแพร่ (Diffused reflectance) โดยมีแหล่งแสงและตัวตรวจวัดอยู่ด้านล่าง ในปัจจุบันเนื่องจากมีความสะดวกในการใช้สายไฟเบอร์ออปติก การวัดสะท้อนจากวัตถุจึงเป็นแบบ Interactance ซึ่งมีสายไฟเบอร์ออปติกที่เป็นตัวนำคลื่นที่สะท้อนจากวัตถุกลับไปยังตัวตรวจวัด ซึ่งอยู่ใกล้กัน เรียกว่า Interactance-Reflectance ได้ วิธีส่องผ่านคลื่นไปในตัวอย่าง ก่อนที่จะรับแสงที่ผ่านออกมาไปวิเคราะห์ เรียกว่า วิธีส่องผ่าน (Transmittance) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กับของเหลว นอกจากนี้ยังสามารถใช้กับของแข็ง เช่น กรณีนของผลไม้ นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้ FOA NIR GUN ซึ่งปกติเป็นแบบสะท้อนให้เป็นวิธีส่องผ่าน โดยใช้ ถ้วยทองคำ (Gold cup) นอกจากนี้ยังมีการวัดแบบส่องผ่านสะท้อน (Transflectance) เป็นการส่งคลื่นผ่านตัวอย่าง ซึ่งโดยปกติเป็นของเหลวที่อยู่ในภาชนะที่ทำด้วยอะลูมิเนียมที่มีความลึกละเอียด ๆ เมื่อคลื่นกระทบพื้นอะลูมิเนียมจะสะท้อนผ่านตัวอย่างขึ้นมาเข้าสู่ตัวตรวจวัด

เนื่องจากเนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมจะมีค่าพิก ส่วนใหญ่เป็นพีคกว้าง (Broad spectrum) บางทีมีพีคกว้างที่มีความเข้มสูง เนื่องจากการซ้อนทับกัน (Overlapping bands) บางทีอาจจะเห็นพีคที่คมชัด (แต่มีน้อย) สเปกตรัมของวัสดุเกษตรและอาหารส่วนใหญ่มีพีคของน้ำเป็นพีคใหญ่และกว้างที่บริเวณ 760, 970, 1450 และ 1940 nm ลักษณะของสเปกตรัมเช่นนี้ ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุได้โดยตรง จำเป็นต้องใช้หลักทางเคโมเมตริก (Chemometric) มาใช้ โดยต้องทำสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าองค์ประกอบทางเคมีหรือสมบัติทางกายภาพหรือสมบัติอื่นที่ต้องการวิเคราะห์ (เช่น ไขมันในปลา ความหวานของผลไม้ สมบัติเนื้อสัมผัสของอาหาร ปริมาณเนื้อเยื่อของน้ำยาง เป็นต้น) กับข้อมูลของสเปกตรัม ซึ่งเรียกว่าข้อมูลเชิงแสง (Optical data) เพื่อประมาณค่าองค์ประกอบหรือสมบัติที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 หลักการทำงานของเครื่อง Near Infrared Spectroscopy [18]



รูปที่ 2.11 การกระทำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับสารต่าง ๆ

หลักการของสเปกโทรสโกปี คือ เมื่อลำแสงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านเข้าไปยังสารละลายหรือวัตถุ จะมีแสงบางส่วนที่จะถูกดูดกลืน (absorbed) บางส่วนผ่านทะลุออกไป (transmitted) บางส่วนเกิดการสะท้อนกลับ(reflected) บางส่วนเกิดการวาวแสงหรือการเรืองแสง (fluorescence or phosphorescence) และบางส่วนอาจเกิดการกระเจิงแสง (scattered) ดังรูปที่ 2.11 โดยมีกฎของการดูดกลืนแสงที่สำคัญที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 กฎ คือ

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

2. กฎของเบียร์ (Beer's Law) กล่าวว่า “เมื่อแสงที่มีความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียวสัดส่วนของความเข้มของแสงที่ถูกตัวกลางดูดกลืนไว้จะแปรโดยตรงกับปริมาณของตัวกลางที่ดูดกลืนแสงนั้น” [19]

ในทางปฏิบัติปริมาณความเข้มชั้นของแสงที่ถูกดูดกลืนจะขึ้นอยู่กับทั้งความเข้มข้นของสารละลายและความหนาของสารละลายที่ลำแสงส่องผ่าน จึงต้องรวมกฎทั้งสองเข้าด้วยกันเรียกว่ากฎของเบียร์-แลมเบิร์ต เขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$A = \log \frac{I_0}{I} = \epsilon bc \quad (2.3)$$

เนื่องจาก T (Transmittance) เท่ากับ

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (2.4)$$

เพราะฉะนั้น

$$A = \log \frac{I_0}{I} = \epsilon bc = \log \frac{1}{T} \quad (2.4)$$

เมื่อ I = ความเข้มข้นของแสงความยาวคลื่นเดียวที่ส่งผ่านออกมา

ϵ = สัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนแสงปกติเปลี่ยนแปลงตามความยาวคลื่น และอุณหภูมิ

I_0 = ความเข้มของแสงก่อนผ่านตัวกลางเมื่อ $b=0$

b = ความหนาของตัวกลางในหน่วยเซนติเมตร

c = ความเข้มข้นของสารในหน่วยโมล/ลิตร

A = ค่าการดูดกลืนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

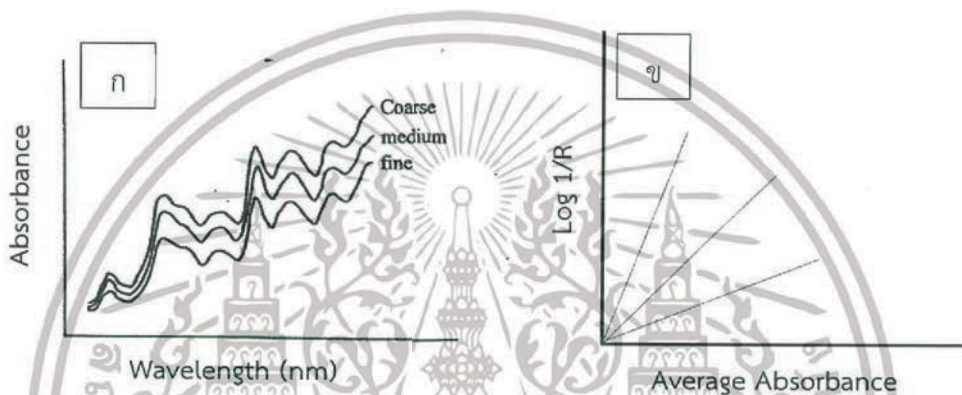
2.13 การเลือกวิธีการจัดการข้อมูลเบื้องต้น [18, 20]

วิธีการจัดการข้อมูลเบื้องต้นเป็นพารามิเตอร์ของแบบจำลองที่สำคัญ ที่มีจุดประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองของสเปกตรัมในทางที่อัลกอริธึม PLS สามารถให้ความสัมพันธ์ที่ดีระหว่างสเปกตรัมกับข้อมูลความเข้มข้นโดยมีวิธีต่าง 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 สิ่งนี้เรียกว่า 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

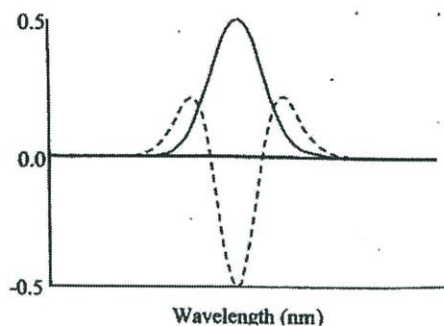
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. Multiplicative Scatter Correction: เป็นเทคนิคทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นมาเพื่อลดผลที่เกิดจากการกระเจิงแสง (Scattered Light) ต่อสเปกตรัม NIR ที่ได้จากการวัดแบบสะท้อนแพร่ (Diffuse Reflectance) และแบบส่องผ่าน (Transmittance) โดยทั่วไปการกระเจิงแสงจะทำให้ความชันโดยรวมของสเปกตรัมเปลี่ยนไป ซึ่งเปรียบเสมือนว่าสเปกตรัมถูกทำให้หมุนรอบจุดที่มีความยาวคลื่นต่ำสุดของสเปกตรัม (Multiplicative Effect) ถ้าสมมติให้สเปกตรัมเป็นเส้นตรง สเปกตรัมจะถูกทำให้มีความชันแตกต่างกันไปจากเดิม หรือเหมือนกับเส้นตรงถูกหมุนไปดังแสดงรูปที่ 2.12 ซึ่งวิธีนี้สร้างขึ้นมาเพื่อให้สามารถลดผลกระทบแบบผลคูณ (Multiplicative Effect) แต่ในทางปฏิบัติสามารถลดผลในแบบผลบวก (Additive Effect) ได้ด้วย หรือผลกระทบที่ทำให้สเปกตรัมทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงเท่ากันตลอดช่วงความยาวคลื่น



รูปที่ 2.12 พล็อตระหว่างค่าดูดกลืนแสงของสเปกตรัมของตัวอย่าง(ก) พล็อตระหว่างค่าดูดกลืนแสงของสเปกตรัมเฉลี่ย กับ $\log(1/R)$ (ข)

7. อนุพันธ์อันดับหนึ่ง (First Derivative): ค่าอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของสเปกตรัม
 การใช้งาน: โดยการคำนวณอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่ง สัญญาณที่มีความชันจะถูกเน้นมากกว่าสัญญาณที่ค่อนข้างแบนราบ วิธีนี้จะถูกใช้เน้นลักษณะชัดเจน แต่มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับโครงสร้างที่มีแถบการดูดซับคลื่นที่กว้าง การประยุกต์ใช้ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ การประเมินแถบการดูดซับคลื่นที่กว้างนี้มักจะทำในเทคโนโลยี NIR โดยการคำนวณอนุพันธ์ โครงสร้างเหล่านี้จะมีรูปร่างที่สูงชันขึ้น ซึ่งสามารถได้รับการประเมินได้ง่ายขึ้น
 เมื่อใช้อนุพันธ์เป็นการจัดการข้อมูลเบื้องต้น จะต้องคำนึงถึงว่าสัญญาณรบกวนจะถูกจัดการเช่นกัน สิ่งนี้จะซ้อนทับบนสเปกตรัมเป็นสิ่งรบกวนเพิ่มเติม และสามารถทำให้สัญญาณของตัวอย่างเลวลง
8. อนุพันธ์ที่สอง (Second Derivative): ค่าอนุพันธ์อันดับสองของสเปกตรัมนั้น
 การใช้งาน: เมื่อเทียบกับอนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง แม้โครงสร้างที่ราบเรียบมาก ๆ สามารถประเมินได้ ผลการรบกวนของสัญญาณรบกวน ซึ่งโดยทั่วไปมีมากจนทำให้สเปกตรัมถูกวิเคราะห์ในช่วงสเปกตรัมที่จำกัดมาก ๆ



รูปที่ 2.13 สเปกตรัม (เส้นทึบ) และอนุพันธ์อันดับสอง (second Derivative) ของสเปกตรัม (เส้นประ)

จากรูปที่ 2.13 แสดงการหาค่าอนุพันธ์ (derivative) ของสเปกตรัมเป็นวิธีที่ใช้ประโยชน์ในการแก้ปัญหาการซ้อนทับกันของจุดยอดในสเปกตรัมและการเลื่อนขึ้นของสเปกตรัมทั้งแบบเบสไลน์ออฟเซตและเบสไลน์ชิฟต์เชิงเส้น การคำนวณอนุพันธ์อันดับสอง (second derivative) ของสเปกตรัม จะทำให้เกิดการแยกของจุดยอดที่เหลื่อมซ้อนกันออกมา แสดงให้เห็นภาพทั่วไปของแถบดูดกลืนแสงของสเปกตรัมเริ่มต้น (absorption band) และอนุพันธ์อันดับสองของสเปกตรัมนั้น ทั้งนี้จะพบว่าจุดยอดที่เป็นบวกในส่วนซ้ายและส่วนขวาของค่าอนุพันธ์อันดับสอง ส่วนจุดยอดตรงกลางจะมีค่าลบสูงสุดและตรงกับจุดยอดของสเปกตรัมเริ่มต้น

วิธีที่เหมาะสมที่สุดขึ้นอยู่กับระบบที่วิเคราะห์ จากประสบการณ์แสดงให้เห็นว่าในหลายกรณีการลบด้วยเส้นตรง การนอร์มัลไลเซชันสเปกตรัม หรือการทำอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งได้ผลดีที่สุดในการคาลิเบรชัน ในบางกรณีการใช้วิธีการจัดการข้อมูลเบื้องต้น 2 วิธี รวมกันก็ได้ผลดีที่สุดเช่นกันบ่อยครั้งที่แบบจำลองแบบต่าง ๆ ให้ผลได้ดีเท่าเทียมกันซึ่งโดยทั่วไปควรทดสอบดูหลายๆวิธีเปรียบเทียบกับ

2.14 การเลือกแพคเตอร์ที่เหมาะสม

ใน PLS Regression ข้อมูลสเปกตรัมและข้อมูลความเข้มข้นจะถูกเปลี่ยนแปลงเป็นรูปแบบของเมทริกและลดลงเป็นแพคเตอร์จำนวนไม่มาก จำนวนแพคเตอร์ ในแบบจำลองเคโมเมตริกจะถูกเรียกว่า “rank” การหาจำนวน rank มีความสำคัญกับคุณภาพในการวิเคราะห์

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

มีแนวทางหลายอย่างที่น่าไปสู่การหาจำนวนแพคเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลองบางอย่างเป็นค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดของการทำนาย (RMSECV ของการพิสูจน์แบบไขว้หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RMSEP ของการพิสูจน์แบบชุดทดสอบ) ต้องมีค่าต่ำสุดจึงจะได้จำนวนแพคเตอร์ที่เหมาะสม ในทางตรงข้ามค่าของสัมประสิทธิ์ของการพิจารณา R^2 มีค่าสูงสุด ดังนั้นจำนวนแพคเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลองสามารถหาได้อย่างง่ายดาย: ขั้นที่ 1 คำนวณค่า R^2 และค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของการทำนาย จากนั้นพล็อตค่าเหล่านี้ โดยให้แกนนอนเป็นจำนวนแพคเตอร์ จำนวนแพคเตอร์ที่เหมาะสมเมื่อมีค่าตามที่กล่าวมามีค่าที่เหมาะสม (น้อยสุด) และ/ หรือจะไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อมีจำนวนแพคเตอร์สูงขึ้น ถ้ามีจำนวนแพคเตอร์ที่มากและได้ผลการทำนายที่ดีเหมือนกับที่มีจำนวนแพคเตอร์น้อย จะแนะนำให้เลือกแบบจะลองที่มีจำนวนแพคเตอร์น้อยสุด

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

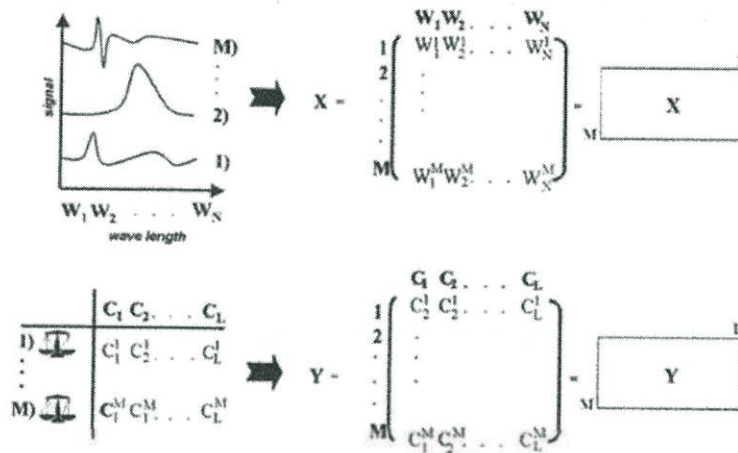
2.14.1 การสร้างสมการโดยวิธี partial least square Regression (PLS-Regression) [20]

การเปรียบเทียบวิธีการทางเคมีเมทริกที่ใช้ในเคมีวิเคราะห์สามารถพบได้ในอัลกอริธึมของ PLS ถูกสร้างขึ้นเป็นวิธีหนึ่งที่มีนิยมนิยมใช้มากที่สุด ดังนั้นจะอธิบายวิธีนี้เท่านั้น เนื่องจากขอบเขตและความซับซ้อนทางคณิตศาสตร์ของคำอธิบายทั้งหมดจะไม่ได้แสดงไว้

เพื่อที่จะทำ PLS-Regression ของระบบใดๆ ข้อมูลของสเปกตรัมของสารต้องถูกเปรียบเทียบกับข้อมูลความเข้มข้นของสารนั้น การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นทั้งในโครงสร้างข้อมูลทั้งสองต้องได้รับการยอมรับและมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน สำหรับวัตถุประสงค์นี้จำเป็นต้องวัดตัวอย่างจำนวนมากสำหรับการแสดงผลทางคณิตศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงทั้งในชุดข้อมูลทั้งสองจะต้องเขียนเมทริกซ์ของข้อมูล (รูปที่ 2.14) และไอเกนเวกเตอร์ ของข้อมูลเหล่านั้นจะถูกสร้างขึ้น ไอเกนเวกเตอร์เหล่านี้เรียกว่าแพคเตอร์หรือองค์ประกอบเบืองตัน ซึ่งสามารถใช้สำหรับการทำนายความเข้มข้นแทนสเปกตรัมดั้งเดิมเนื่องจากมันมีข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งหมดของระบบที่ศึกษา

การลดตัวแปรนี้มีประโยชน์อย่างชัดเจน ข้อมูลที่เกี่ยวข้องเชิงการวิเคราะห์จากชุดข้อมูลขนาดใหญ่ได้ถูกบีบอัดเป็นแพคเตอร์ซึ่งจะถูกใช้สำหรับการคาลิเบรชัน

ในกรณีของคาลิเบรชัน PLS ไอเกนเวกเตอร์จะถูกเก็บโดยเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยแพคเตอร์ แรกบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงหลักของสเปกตรัม มีความสำคัญที่มากที่สุดสำหรับแบบจำลองคาลิเบรชัน และเมื่อจำนวนแพคเตอร์เพิ่มขึ้นแม้แต่การเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในโครงสร้างข้อมูลก็ถูกบ่งชี้ ซึ่งมีผลสำคัญที่ตามมาของการประเมินสเปกตรัม นั่นคือจำนวนแพคเตอร์ที่น้อยลงส่วนใหญ่จะบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญของโครงสร้างของสเปกตรัม ขณะที่จำนวนแพคเตอร์ที่สูงขึ้นส่วนใหญ่จะแสดงถึงส่วนที่เป็นสัญญาณรบกวนของสเปกตรัม



รูปที่ 2.14 ข้อมูลสเปกตรัมและความเข้มข้นในรูปแบบเมทริกซ์ ในตัวอย่างนี้มีตัวอย่างคาลิเบรชัน M ตัวอย่างที่วัดและ - N ความยาวคลื่นทั้งหมดของผลสเปกตรัมจะถูกเขียนในแถว (M,N) เมทริกซ์ เมทริกซ์นี้จะเทียบเท่ากับข้อมูลสเปกตรัมเมทริกซ์ X ในทางเดียวกันค่าองค์ประกอบทั้งหมด L จะเขียนลงไปใน (M,L) เมทริกซ์ของข้อมูลความเข้มข้น [20]

การเลือกจำนวนแฟคเตอร์ที่เหมาะสมเป็นความสำคัญกลางสำหรับคุณภาพของแบบจำลอง PLS ถ้ามีจำนวนแฟคเตอร์น้อยเกินไปโครงสร้างสเปกตรัมจะไม่ถูกรู้เพียงพอ Regression ที่เกี่ยวข้องจึงไม่สามารถนำไปสู่ผลการวิเคราะห์ที่น่าพอใจ นั่นคือแบบจำลอง “underfitting” ถ้าจำนวนแฟคเตอร์มีมาก การวิเคราะห์ก็จะมีปัญหา เนื่องจากมีสัญญาณรบกวนเชิงสเปกตรัมหลายส่วนมากเกินไป (Overfitting)

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

ข้อมูลสเปกตรัม:

$$X = t_1 p_1^T + t_2 p_2^T + t_3 p_3^T + \dots + t_R p_R^T + F$$

ข้อมูลความเข้มข้น:

$$Y = t_1 q_1^T + t_2 q_2^T + t_3 q_3^T + \dots + t_R q_R^T + G$$

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

โดยทั่วไป จำนวนสำหรับค่าการดูดซับที่ได้จากการวัดจะมากกว่าตัวเลขขององค์ประกอบที่แสดงให้เห็น ดังนั้นระบบนี้คือ “over-determined” และจึงสามารถไม่เพียงแต่จะสร้างความสัมพันธ์กับจุดของข้อมูลสเปกตรัมจุดเดียว (เช่น จุดสูงสุดของการคาลิเบรชันแบบตัวแปรเดียว) แต่ยังมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างข้อมูลสเปกตรัมทั้งหมด ข้อมูลชุดคาลิเบรชันด้วยวิธีนี้จะมีความแม่นยำได้มากกว่าการคาลิเบรชันด้วยวิธีตัวแปรเดียวมาก นอกจากนี้ยังมีความเป็นไปได้ที่จะหาตัวแปรที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผิดพลาด ในระหว่างการวิเคราะห์และสามารถตัดสินใจได้ว่าองค์ประกอบของสิ่งรบกวนที่ไม่รู้ค่า ซึ่งไม่มีความสัมพันธ์กับชุดของข้อมูล ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมตรงข้ามกับการคาลิเบรชันแบบตัวแปรเดียว เป็นไปได้ที่จะใช้ข้อมูลเชิงสเปกตรัมของด้านข้างของพีค ซึ่งสามารถวิเคราะห์สเปกตรัมได้โดยโครงสร้างของสเปกตรัมเอง ด้วยเหตุนี้แถบการดูดซับที่ซ้อนทับกัน (overlapping bands) สามารถที่จะแยกออกจากกันได้ในสเปกตรัม トラบิตที่มีความแปรปรวนในรูปร่างสเปกตรัมน้อย ในทำนองเดียวกันสามารถรับรู้ถึงโครงสร้างของสเปกตรัมบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนมากได้ ซึ่งนำไปสู่การปรับปรุงการทำนายความเข้มข้นสารให้แม่นยำ

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

ความสำคัญพิเศษของ PLS Regression สำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี เกิดจากการสร้างแฟกเตอร์ (Factorization) ของข้อมูล X และ Y โดยไม่เป็นอิสระต่อกันและเกิดขึ้นพร้อมกัน เมื่อประเมินสเปกตรัมของการดูดซับที่สามารถที่จะประมาณว่าการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลสเปกตรัมมีต้นกำเนิดจากความแปรปรวนของความเข้มข้นที่สอดคล้องกัน นั่นหมายความว่า การเปลี่ยนแปลงของข้อมูลสเปกตรัมควรจะไปสู่การเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกันของสเปกตรัม เพราะฉะนั้น scores vectors ของเมทริกซ์ของข้อมูลความเข้มข้นและข้อมูลสเปกตรัมควรจะเหมือนกัน อย่างไรก็ตามในกรณีของตัวอย่างจริง ถ้าเมทริกซ์นั้นถูกลดขนาดลงโดยวิธีการทางคณิตศาสตร์อย่างบริสุทธิ์ (นั่นคือเป็นอิสระ) ค่าความผิดพลาดในการเตรียมตัวอย่างและในวิธีอ้างอิงที่ใช้ในการวัดค่าความเข้มข้นและการเกิดดริฟท์ (Drift) ของเครื่องวัดและสัญญาณรบกวนในสเปกตรัมจะก่อให้เกิดความแตกต่างของ scores vectors ดังนั้นในวิธี PLS จะสมมุติว่า scores vectors ที่เหมือนกัน (Identical) สำหรับชุดข้อมูลทั้งสองที่จำนวนแฟกเตอร์ใดๆ ซึ่งจะถูกเลือกเมื่อค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าเริ่มต้นมีค่าน้อยที่สุด เป็นการประนีประนอมระหว่างความเหมาะสมของแฟกเตอร์ที่ใช้ในการอธิบายตัวอย่างและความสัมพันธ์ที่เพิ่มขึ้นในระหว่างชุดข้อมูล

อัลกอริธึมที่มีชื่อว่า PLS1 เพียงแค่ นำค่าความเข้มข้นของเพียงหนึ่งองค์ประกอบทางเคมีมาพิจารณาข้อมูลอื่นๆ ทั้งหมดจะถูกตีความว่าเป็นสิ่งรบกวน นั่นคือ Y-เมทริกซ์ของข้อมูลความเข้มข้นเป็นเวกเตอร์เดียว ส่วนในอัลกอริธึม PLS2 ความเข้มข้นขององค์ประกอบทุกอย่างในระบบจะถูกนำมาพิจารณาในการคาลิเบรชัน สำหรับการทำนายตัวอย่างใหม่แบบจำลองนี้ นำไปสู่การวิเคราะห์องค์ประกอบทุกอย่างในเวลาเดียวกัน ตรงข้ามการคาลิเบรชันแบบ PLS1 ข้อมูลทั้งหมดของเมทริกซ์ความเข้มข้นจะถูกนำมาสัมพันธ์กันกับข้อมูลสเปกตรัมเมทริกซ์ โดยทั่วไปแล้ว การทำนายแบบ PLS2 จะให้ผลลัพธ์ที่ไม่ดีกว่าการทำนายแบบ PLS1 จากเหตุผลดังกล่าวโดยทั่วไปจึงแนะนำให้ใช้อัลกอริธึม PLS1 ในการวิเคราะห์ระบบที่มีหลายองค์ประกอบ อัลกอริธึมแบบนี้ก็สามารถถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างประสบความสำเร็จในทุกองค์ประกอบ ดังนั้นแบบจำลองที่สำหรับทุกองค์ประกอบที่ต้องการจะถูกสร้างขึ้นเช่นเดียวกับแบบอัลกอริธึม PLS2

2.15 วิธีการทดสอบสมการ (Validation Test)

เมื่อได้สมการ Calibration แล้วต้องนำสมการที่ได้มาทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพของสมการว่าสามารถใช้ในการประเมินค่าได้แม่นยำมากน้อยเพียงใดวิธีที่นิยมใช้ในเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี มี 2 วิธีคือ

2.15.1 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

2.15.2 Test set validation

เป็นการทดสอบกลุ่มตัวอย่างที่เหมาะสมกับตัวอย่างมากกว่า 50 ตัวอย่างโดยตัวอย่างที่ทดสอบจะถูกแบ่งเป็น 70% ในการสร้างแบบจำลองทำนาย (Calibration) และอีก 30% จะถูกนำไปทำนายแบบจำลอง (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

2.16 ค่าทางสถิติที่ใช้ในการพิจารณาการสร้างสมการ

2.16.1 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 5.9เปอร์เซ็นต์ 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 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R^2 = \left[1 - \frac{\sum_1^n (Y_i^{\text{meas}} - Y_i^{\text{pred}})^2}{\sum_1^n (Y_i^{\text{meas}} - \bar{Y})^2} \right] \times 100 \quad (2.6)$$

เมื่อ Y^{meas} คือ ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมี
 Y^{pred} คือ ค่าที่ได้จากการทำนายด้วย NIRS
 n คือ จำนวนตัวอย่าง

ตารางที่ 2.3 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) อย่างหยาบๆ |
| +/-81-90 | 66-81 | เหมาะสม สำหรับการคัดเลือก (แบ่งกลุ่ม) และการประมาณค่าอย่างหยาบๆ |
| +/-91-95 | 83-90 | ใช้ด้วยความระมัดระวังในการประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่ รวมถึงการวิจัย |
| +/-96-98 | 92-96 | ใช้ในการประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่ รวมถึงการประกันคุณภาพ |
| +/-99+ | 98+ | ดีเยี่ยม ใช้ได้กับทุกการประยุกต์ใช้ |

2.16.2 RMSECV (Root Mean Squared Error of Cross Validation)

Cross-validation สามารถใช้ตัวอย่างชุดเดียวกันกับที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อการทำการพิสูจน์แบบจำลอง (Validation) สิ่งนี้ทำโดยนำตัวอย่างออกหนึ่งตัวอย่างหรือกลุ่มของหลายตัวอย่างจากชุดสร้างแบบจำลองและสร้างแบบจำลองด้วยตัวอย่างที่เหลืออยู่ แล้วทำนายตัวอย่างที่ถูกกำจัดออกไปและบันทึกค่าความผิดพลาด แล้วนำตัวอย่างที่ถูกกำจัดออกไปนั้นกลับมาแล้วนำตัวอย่างอื่นออกไปละทำซ้ำกระบวนการจนกระทั่งตัวอย่างทั้งหมดถูกใช้ในการพัฒนาแบบจำลองและทำนาย จะไม่มีตัวอย่างที่ถูกทำนายถูกใช้ในการพัฒนาแบบจำลองซึ่งได้ใช้ในการทำนาย ถ้าเอาออกเพียงทีละ 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 2.7

$$\text{RMSECV} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n (Y_i^{\text{meas}} - Y_i^{\text{pred}})^2} \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.16.3 RMSEP (Root Mean Square Error of Prediction)

แสดงประสิทธิภาพในการทำนายแบบจำลองของการสร้างแบบจำลองด้วยวิธีแบบ Test set validation และสามารถคำนวณได้จากสมการ 2.8

$$\text{RMSEP} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i^{\text{meas}} - Y_i^{\text{pred}})^2} \quad (2.8)$$

2.16.4 RMSEE (Root Mean Square Error of Estimation)

แสดงประสิทธิภาพในการสร้างแบบจำลอง (Calibration) ด้วยวิธีแบบ Test set validation

2.16.5 RPD (Residual prediction deviation)

เป็นส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) กับอัตราส่วนของค่าความผิดพลาดมาตรฐานการทำนาย (SEP) ของข้อมูลของค่าอ้างอิงของชุดทำนาย 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 2.4 และและสามารถคำนวณได้จากสมการ 2.9

$$\text{RPD} = \frac{\text{SD}_{\text{validation}}}{\text{SEP}} \quad (2.9)$$

2.16.6 RER (Ratio of the SEP to the range)

คืออัตราส่วนของช่วงกว้างของข้อมูลอ้างอิงของชุดทำนาย ต่อ SEP ค่า RER ควรจะสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้แสดงประสิทธิภาพดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 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)แบบหยาบๆ |
| 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 |

2.16.7 ความผิดพลาด (Bias)

เมื่อทำนายค่าตัวแปรที่ต้องการของข้อมูลในชุดตัวอย่างทดสอบแบบจำลอง (Validation set) ค่า Bias หมายถึง ความแตกต่างระหว่างค่าจากการวัดด้วยวิธีอ้างอิงและค่าที่ทำนายโดยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีและเป็นการวัดความแม่นยำโดยรวมของแบบจำลอง (Calibration model)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโลกความเป็นจริงของทางการค้าและอุตสาหกรรม Bias เป็นหนึ่งในสิ่งที่สำคัญมากในทางสถิติ Bias สามารถเกิดขึ้นได้แม้เมื่อค่าสถิติสัมพันธ์กับความสัมพันธ์และ SEP ที่แสดงว่าแบบจำลอง นั้นดีเยี่ยม

2.16.8 ประโยชน์ของเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (NIR)

Osborne et al [18] ได้กล่าวว่าเครื่องมือแต่ละประเภทต่างก็มีข้อจำกัดในการใช้งาน แต่เครื่อง NIR มีประโยชน์ และข้อดีมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวิเคราะห์ทางเคมี หรือการวิเคราะห์ด้วยวิธีอื่น สำหรับการนำเครื่อง NIR ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมีประโยชน์มากมาย เช่น

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

2.17 การทำ Repeatability และ Reproducibility [21]

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

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

2.18 การทดสอบ Blind Sample

การทดสอบ Blind Sample หมายถึง การนำซิมพลที่ผู้วิจัยไม่ทราบค่า มาทำการวิเคราะห์ค่าความร้อนด้วยแบบจำลองที่สร้างขึ้น และเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงของซิมพลนั้น ๆ ว่ามีความแตกต่างมากน้อยเพียงใดและสามารถบ่งบอกถึงความแม่นยำในการทำนายค่าความร้อนของแบบจำลองได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.19 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.19.1 Complete characterization of pruning waste from the lechero tree (*Euphorbia laurifolia* L.) as raw material for biofuel. [3]

จุดประสงค์ในการศึกษาเพื่อนำไปบ่งบอกคุณลักษณะของเศษจากการตัดแต่งต้น Lechero tree ในพื้นที่ส่วนใหญ่ในประเทศเอกวาดอร์เต็มไปด้วยเศษจากการตัดแต่งกิ่งต้นไม้ชนิดนี้เป็นจำนวนมาก ต้นไม้ชนิดนี้จึงมีความสัมพันธ์อย่างยิ่งในการนำมาทำเป็นวัสดุชีวมวลในประเทศเอกวาดอร์ ต้นไม้ชนิดนี้มีการแพร่พันธุ์และการแตกกิ่งก้านอย่างรวดเร็ว เศษจากการตัดแต่งกิ่งที่นำมาวิเคราะห์นั้นเป็นการผสมกันทั้งไม้และใบไม้ซึ่งนำมาวิเคราะห์โดยวิธี Caloric analysis, elemental analysis, proximate analysis, thermogravimetric analysis และ fermentability น้ำหนักแห้งของชีวมวลที่ได้จากการตัดแต่งกิ่งเฉลี่ยแล้วหนัก 9.95kg ต่อต้น โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.49 kg และมีค่าเฉลี่ยของสัดส่วนใบที่อยู่ในชีวมวล 40% ได้ค่าความร้อนเฉลี่ย 19 MJ/kg จำนวนของ N และ ash นั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของใบที่ประกอบอยู่ในชีวมวล ถ้าปริมาณใบมีน้อยกว่า 25% ปริมาณ N และ ash ที่ประกอบจะมีค่าน้อยกว่า 1% และ 6% ตามลำดับ

2.19.2 Heating values of wood pellets from different species. [4]

ค่าพลังงานความร้อนของไม้อัดเม็ดจากไม้แต่ละชนิดอธิบายโดยใช้ Parr 6300 bomb calorimeter จุดประสงค์ของการศึกษาลักษณะเฉพาะของไม้อัดเม็ดแต่ละชนิด ไม้เนื้ออ่อน (Softwood) มีค่าความร้อนอยู่ระหว่าง 19660.02 ถึง 20360.45 kJ/kg ไม้เนื้อแข็ง (Hardwood) ค่าความร้อนอยู่ระหว่าง 17631.66 ถึง 20809.47 kJ/kg ในส่วนของค่าความร้อนสูง (HHV) และค่าความร้อนต่ำ (LHV) สูงสุดได้จากต้น *Bowdicia nitida* มีค่าระหว่าง 20809.47-17907.85 kJ/kg ต้น *Cedrus atlantica* เป็นไม้เนื้ออ่อนที่มีค่าความร้อนสูงมากสุดอยู่ที่ 20360.45 kJ/kg *Pinus pinaster* ที่เป็นไม้เนื้ออ่อนที่มีค่าความร้อนต่ำมากที่สุด 16935.72 kJ/kg *Fagus sylvatica* เป็นไม้เนื้อแข็งที่มีค่าความร้อนสูงมากสุดอยู่ที่ 19132.47 kJ/kg และ *Fraxinus angustifolia* เป็นไม้เนื้อแข็งที่มีค่าความร้อนต่ำมากที่สุดที่ 16450.82 kJ/kg และต้นที่มีค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำน้อยที่สุดคือ *Eucalyptus globulus* มีค่าเท่ากับ 17631.66-14411.54 kJ/kg

2.19.3 Higher heating value determination of wheat straw from Baja California, Mexico.

ข้าวสาลีเป็นหนึ่งในข้าวที่ปลูกมากที่สุดในนานาชาติ ในปี 2012 ประเทศเม็กซิโกจัดสรรกว่า ปลูกพืช 578,836 ha ในหุบเขาของ Mexicali, Baja California, Mexico โดยมีการปลูกข้าวสาลีเป็นพืชหลัก 72,206 ha โดยได้ฟางข้าวจากการปลูกข้าวสาลีประมาณ 527,103 t/year ในท้ายของฤดูเก็บเกี่ยวส่วนที่เหลือส่วนใหญ่จะถูกเผาทิ้งเนื่องจากไม่ถูกใช้ให้เกิดประโยชน์แต่ก็จะเกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมแต่ในระหว่างนั้นจะได้ปริมาณพลังงานสูง ฟางข้าวสามารถนำไปใช้ในการให้พลังงานสำหรับเครื่องปั่นไฟฟ้า หรือ ผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel) ในงานวิจัยนี้จะแสดงผลลัพธ์คุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของฟางข้าวสาลีชนิด *Triticum aestivum* จาก Baja California จากการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีโดยมี เซลลูโลส 57.09%, hemicellulose 16,81% และ 19.10% ของลิกนิน จากการวิเคราะห์ขั้นต้นพบ 64.42% ของสารระเหย, 19.49% ของคาร์บอนคงที่ และ 16.09% ของซีเถ้า และการวิเคราะห์ขั้นสูงพบ C 37.20%, H 5.57%, N 1.14%, S 0.20% และ O

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

37.30% จากการทดลองหาค่าความร้อนสูงของฟางข้าวสาเลีได้ 14.86 MJ/kg การประเมินค่าความร้อนสูงจากการวิเคราะห์ขั้นต้นและขั้นสูงได้ 15.71 MJ/kg และ 14.59 MJ/kg ตามลำดับ โดยยึดหลักการทดลองทางวิทยาศาสตร์ ค่าความร้อนต่ำมีค่า 14.5 MJ/kg [5]

2.19.4 An online visible and near-infrared spectroscopic technique for the real-time T evaluation of the soluble solids content of sugarcane billets on an elevator conveyor.

จุดประสงค์ของการศึกษางานวิจัยฉบับนี้คือเป็นต้นแบบในระบบการตรวจสอบการประเมินออนไลน์ในของแข็งที่สามารถละลายได้ (SSC) ของอ้อยสับบนกระพ้อลำเลียงโดยใช้เทคนิคจากเครื่อง Near Infrared spectroscopic (NIR) และใช้แสงในช่วงมองเห็น ระบบนี้ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ ได้แก่ การลำเลียงท่อนไม้และการตรวจสอบสเปกตรัมจากเครื่องมือ โดยความเร็วที่ใช้ลำเลียงคือ 2 m/s โดยในการหาค่าสเปกตรัมนั้นได้ใช้หลอดไฟทั้งสแตนขนาด 50W เป็นแหล่งที่มาของแสงซึ่งเป็นจุดเชื่อมระหว่างแสงในช่วงมองเห็นและแสงช่วงใกล้อินฟราเรดในการสะท้อนกลับในเครื่อง NIR spectrometer Partial least squares regression (PLSR) ถูกใช้ในการสร้างความสัมพันธ์ของสเปกตรัมกับค่าจากการทดลองของของแข็งที่สามารถละลายได้ (SSC) ประสิทธิภาพของแบบจำลองจะถูกกำหนดค่าในชุดการทำนายอย่างอิสระ แบบจำลองถูกแสดงในรูปของสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (R²) 0.785 เมื่อถอดรอกที่สองจะได้ค่าความผิดพลาดของการทำนาย (RMSEP) 0.30 และค่าความเบี่ยงเบนในการทำนายของส่วนที่เหลือ (RPD) คือ 2.16 ผลลัพธ์ที่ได้จากชุดการทำนายยืนยันได้ว่าระบบการทำนายเหมาะสมสำหรับการวัดของแข็งที่สามารถละลายได้ (SSC) ของอ้อยสับที่อยู่บนกระพ้อในรูปแบบออนไลน์ [6]

2.19.5 Chemical composition of small diameter wild Acacia Mangium Species. [7]

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.19.6 Basic properties of Acacia mangium and Acacia auriculiformis as a heating fuel.

เราได้มีการหาค่าศึกษากภาพจากชีวมวล 2 ชนิด คือ กระจินเทพา และ กระจินณรงค์ โดยจุดประสงค์ของการศึกษาคือหาค่าองค์ประกอบชั้นพื้นฐานของชีวมวล 2 ชนิดนี้ และเปรียบเทียบค่าศึกษากภาพของชีวมวล 2 ชนิดนี้สุ่มจากต้นไม้ม่า 6 ต้น อายุ 3 ปี ที่ปลูกอยู่ที่ South Kalimantan โดยได้มีการแบ่งชีวมวลเป็น 3 ท่อน คือ ท่อนบน ท่อนกลาง และท่อนล่าง ได้นำทั้ง 3 ท่อนไปหาองค์ประกอบเชิงประมาณและค่าความร้อนสูง โดยท่อนบนมีค่าความชื้น 12.6% ปริมาณ Lignin 21.6% ปริมาณสารระเหย 65.4% ปริมาณคาร์บอนคงตัว 21.8% ปริมาณเถ้า 0.24% และค่าความร้อนสูง 16.6 กิโลจูลต่อกรัม ท่อนกลาง ค่าความชื้น 10.8% ปริมาณ Lignin 24.3% ปริมาณสารระเหย 66% ปริมาณคาร์บอนคงตัว 23% ปริมาณเถ้า 0.25% และค่าความร้อนสูง 17.5 กิโลจูลต่อกรัม และสุดท้ายท่อนล่าง ค่าความชื้น 13.6% ปริมาณ Lignin 23.3% ปริมาณสารระเหย 64.4% ปริมาณคาร์บอนคงตัว 21.6% ปริมาณเถ้า 0.31% และค่าความร้อนสูง 17 กิโลจูลต่อกรัมและเมื่อได้มีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนและองค์ประกอบเชิงประมาณ พบว่าองค์ประกอบเชิงประมาณส่งผลต่อค่าความร้อนของกระจินเทพาทั้งสิ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณ lignin ในท่อนบนจะเห็นได้ว่ามีปริมาณที่น้อยที่สุดส่งผลให้ค่าความร้อนน้อยตามไปด้วย [8]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 วิธีการทดลอง

3.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. การศึกษาเบื้องต้น

- ปริมาณวัสดุทางการเกษตร (กระถินพันธุ์เทพา)
- กระบวนการวิเคราะห์ค่าความร้อน
- การทำงานของ Thermogravimetry Analysis (TGA) Near Infrared Spectroscopy (NIR) และ Bomb Calorimeter

2. วางแผนการทดลอง

3. หาแหล่งกระถินเทพา

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

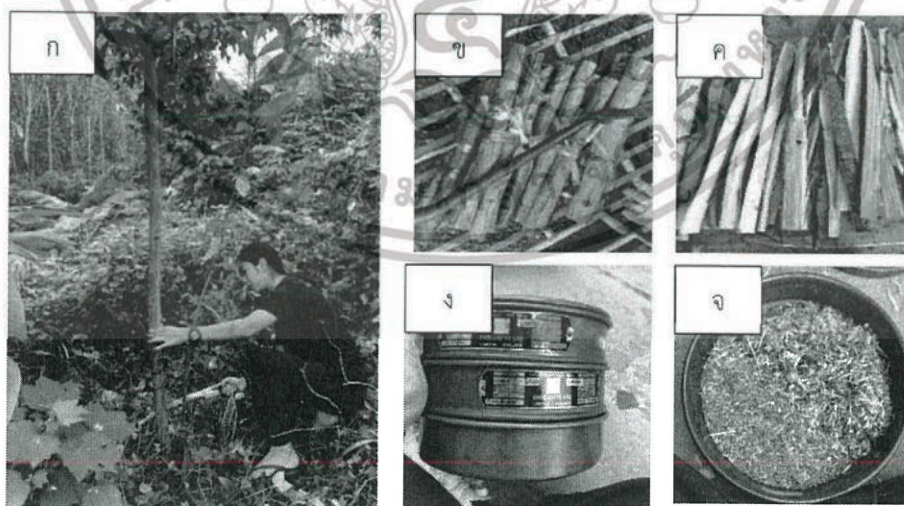
- นำลำต้นของกระถินเทพามาลดขนาด
- อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงและทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (อุณหภูมิ 25 ± 1 องศาเซลเซียส) เพื่อสมดุลความชื้น
- สแกนสเปกตรัมด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer (MPA, Bruker, Germany)
- นำชีวมวลไปอัดเม็ด เม็ดละ 0.5 กรัม
- วิเคราะห์ค่าความร้อนสูงของกระถินเทพาโดยเครื่อง Bomb calorimeter (C200, IKA, Germany)
- วิเคราะห์องค์ประกอบเชิงปริมาณของกระถินเทพาด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TG209F3 Tarsus, Netzsch, Germany)

6. สรุปผลการทดลองและเขียนรายงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดลอง

ตัวอย่างชีวมวลที่ใช้ในการทดลอง คือกระถินเทพาที่มีลักษณะลำต้นสีน้ำตาลปนเทาเก็บเกี่ยวจากตำบลบ้านนา อำเภอมือง จังหวัดชุมพร ประเทศไทย ได้ทำการตัดต้นกระถินเทพาจำนวน 20 ต้นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6- 8 เซนติเมตร นำมาเป็นท่อนโดยตัดห่างจากพื้นดิน 20 เซนติเมตรดังรูปที่ 3.1ก และแบ่งเป็น 3 ท่อน ท่อนละ 50 เซนติเมตรดังรูปที่ 3.1ข หลังจากนั้นผ่าเป็นซีกเล็ก ๆ ดังรูปที่ 3.1ค โดยตัวอย่างทั้งหมดถูกนำมาย้งห้องปฏิบัติการสมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของผลผลิตทางการเกษตรและอาหาร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง หลังจากนั้นนำไปเข้าเครื่องหั่นย่อยซากพืชปฏิพงค์โดยนำเข้าเครื่องหั่นย่อยซากพืชปฏิพงค์ 2 รอบเพื่อให้ได้ไม้ที่มีลักษณะเป็นเศษไม้ เมื่อได้ไม้ที่มีการหั่นย่อยแล้วให้นำไปร่อนด้วยตะแกรงที่มีขนาด 4 mech ดังรูปที่ 3.1ง จนได้กระถินเทพาที่มีขนาดน้อยกว่า 4.76 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.1จ นำชีวมวลที่มีขนาดตามที่ต้องการไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงด้วยตู้อบไฟฟ้า และหาความชื้นของชีวมวลหลังจากที่ได้ทำการสมมูลความชื้นโดยการนำไปตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บด้วยถุงซิปปอยล์เพื่อรอทำการทดลองต่อไป คือ การวัดค่าตุกกลินคลีนด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีซึ่งการทดลองนี้ใช้ตัวอย่างลำต้นของกระถินเทพา 120 ตัวอย่างโดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือส่วนโคนของลำต้นกระถินเทพา 40 ตัวอย่าง ส่วนกลางของลำต้นกระถินเทพา 40 ตัวอย่างและส่วนปลายของลำต้นกระถินเทพา 40 ตัวอย่าง หลังจากนั้นนำตัวอย่างของลำต้นกระถินเทพาบริเวณที่โดนลำแสงของคลื่นเนียร์อินฟราเรดจากการสแกนด้านใต้ถ้วยควอทซ์ 120 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 1-2 กรัม ไปอัดเม็ดชีวมวล (เม็ดละ 0.5 กรัม) เพื่อทำการวิเคราะห์ค่าความร้อนสูงของกระถินเทพาโดยเครื่อง Bomb calorimeter และนำที่เหลือไปหาองค์ประกอบเชิงปริมาณของกระถินเทพาด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyzer



รูปที่ 3.1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดลอง ตัดต้นกระถินเทพาสูงจากดิน 20 เซนติเมตร(ก) ตัดต้นกระถินเทพาออกเป็น 3 ท่อน(ข) ผ่าเป็นซีกเล็ก ๆ เตรียมเข้าเครื่องหั่นย่อย(ค) ตะแกรงร่อยคัดขนาด(ง) กระถินเทพาที่มีขนาดน้อยกว่า 4.75 มิลลิเมตร(จ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer (MPA, Bruker, Germany)

การทดลองใช้ตัวอย่างลำต้นกระถินเทพา 3 ส่วนดังหัวข้อ 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

การทำนายสมบัติเชิงความร้อนของกระถินเทพาโดยเตรียมตัวอย่างการทดลองทั้งหมด 120 ตัวอย่าง โดยแบ่งเป็นการทดสอบกับกระถินเทพาในส่วนโคนของลำต้นกระถินเทพา 40 ตัวอย่าง ส่วนกลางของลำต้นของกระถินเทพา 40 ตัวอย่าง และส่วนปลายของลำต้นกระถินเทพา 40 ตัวอย่าง โดยแต่ละตัวอย่างต้องทำการตรวจให้ได้ปริมาตรตัวอย่างเท่ากัน โดยใช้ช้อนตักแล้วเทลงถ้วยควอทซ์ดังรูปที่ 3.2ก จากนั้นนำมาสแกนด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer (MPA, Bruker, Germany) ดังรูปที่ 3.2ข ซึ่งมีการวัดแบบ Diffuse Reflectance ที่ช่วงจำนวนคลื่นระหว่าง $12500\text{-}3600\text{ cm}^{-1}$ (ความยาวคลื่น $700\text{-}2500\text{ nm}$) การสแกนซ้ำ 32 ครั้งต่อ 1 spectrum จากนั้นนำตัวอย่างมาอัดให้เป็นเม็ดน้ำหนักประมาณ 0.55 ± 0.03 กรัม และนำไปหาค่าความร้อนต่อไป



รูปที่ 3.2 การสแกนด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer กระถินเทพาในถ้วยควอทซ์(ก)
การสแกนด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การวัดค่าความร้อน

1. การวัดค่าความร้อนสูงด้วยเครื่อง Bomb calorimeter

การทดลองโดยใช้ตัวอย่างที่ผ่านการตรวจวัดด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer ทั้ง 3 ส่วน ตามหัวข้อ 3.3 แล้วนำมาอัดขึ้นรูปให้เป็นเม็ดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร สูง 5 มิลลิเมตร

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

วิธีการทดลอง

นำตัวอย่างที่ผ่านการตรวจวัดด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer น้ำหนักประมาณ 0.5-1 กรัม ที่มีลักษณะเป็นเศษไม้ดังรูปที่ 3.3ก จากนั้นอัดให้เป็น pellet น้ำหนัก 0.5-1 กรัม โดยใช้เครื่อง Pellet press ดังรูปที่ 3.3ข หลังจากนั้นผูกด้วยฝ้าย (Cotton thread) ที่ตำแหน่งศูนย์กลางลวด และนำ Crucible วางบน Crucible hold แล้วนำตัวอย่างชีวมวลวางลงบน Crucible โดยชีวมวลที่อัดเม็ด ดังรูปที่ 3.3ค แล้วต้องวางทับปลายเส้นด้ายทั้งสอง ขั้นตอนนี้ควรระวังอย่าให้ด้ายถูกตรงบริเวณขอบของ Crucible จากนั้นนำ Bomb head ใส่ลงใน Oxygen bomb และปิดฝาให้เรียบร้อย เติมออกซิเจนลงใน Vessel โดยการเปิดวาล์วของถังแก๊สออกซิเจน ตั้ง Pressure gauge ไว้ที่ 30 bar จากนั้นกด O₂ Fill Key เครื่องจะทำการเติมออกซิเจนให้อัตโนมัติโดยใช้เวลาประมาณ 30 วินาที เมื่ออัดแก๊สออกซิเจนเรียบร้อยแล้วให้ปิดจุดฉนวนให้เรียบร้อย จากนั้นนำชุด oxygen bomb วางลงในเครื่อง bomb calorimeter ดังรูปที่ 3.3ง โดยต้องวางลงให้ตรงตำแหน่งพอดี หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่นลงในเครื่องโดยให้น้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิในช่วง 22-25 องศาเซลเซียส อยู่ในช่วงระดับน้ำที่กำหนด ปรับค่าการวัดเป็นแบบ isoperibol ใส่ค่าน้ำหนักของตัวอย่างแล้วกด Start รอประมาณ 17 นาที เครื่องจะแสดงค่าความร้อน ออกมาในหน่วย J/g



รูปที่ 3.3 การวัดค่าความร้อนด้วยเครื่อง Bomb calorimeter ซึ่งน้ำหนักชีวมวล (ก) อัดเม็ดกระถินเทพาดด้วยเครื่อง(ข) เครื่องอัดเม็ด(ค) เม็ดชีวมวลที่อัดแล้ว(ง) เครื่อง Bomb calorimeter(จ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวัดค่าความร้อนต่ำ

การหาค่าความร้อนต่ำสามารถคำนวณได้จากการนำค่าความร้อนสูงหักลบด้วยค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ สามารถคำนวณได้จากสูตร 3.1

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

เมื่อ m คือ น้ำหนักน้ำที่มีอยู่ในชีวมวล 1 g.

h คือ ค่าความร้อนแฝงของการเป็นไอ มีค่าเท่ากับ 2,256.4 J/g

ตัวอย่างการคำนวณค่าความร้อนต่ำ

สูตร $\text{LHV} = \text{HHV} - mh_{fg}$

สมมติให้ $\text{HHV} = 18,000 \text{ J/g}$ (บ่งบอกปริมาณความร้อนสูงต่อชีวมวล 1 g)

หา m ได้ดังนี้

น้ำหนักชีวมวลหลังสมดุลความชื้น 50 g มีน้ำอยู่ภายในชีวมวล (m) 10 g

ถ้าหากน้ำหนักชีวมวล 1 g มีน้ำอยู่ภายใน pellet (m) $10/50 \times 1 = 0.2 \text{ g}$

$$\begin{aligned} \text{จะได้ } \text{LHV} &= \text{HHV} - mh_{fg} \\ &= 18,000 - (0.2 \times 2,256.4) \\ &= 17,548.72 \text{ J/g} \end{aligned}$$

ดังนั้น เม็ด pellet นี้มีค่าความร้อนสูงอยู่ที่ 18,000 J/g และมีค่าความร้อนต่ำอยู่ที่ 17,548.72 J/g



3.5 การทดสอบสมรรถภาพการแยกสลายด้วยความร้อนด้วยเครื่อง

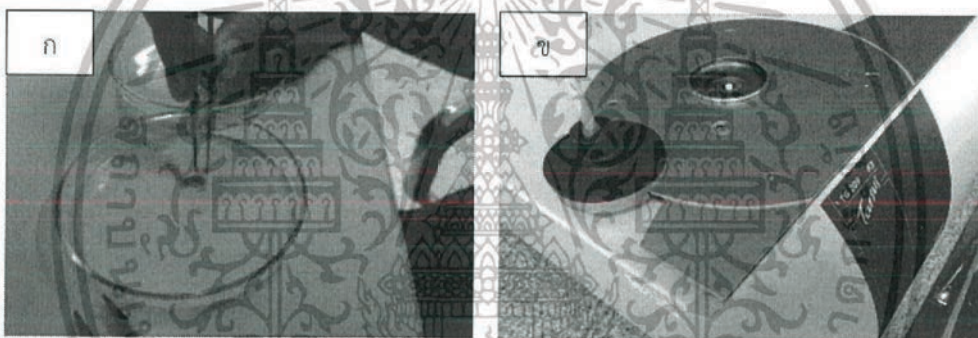
Thermogravimetric Analyzer

การทดลองโดยใช้ตัวอย่างที่ผ่านการตรวจวัดด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer ทั้ง 3 ส่วน ส่วนละ 40 ตัวอย่าง รวมเป็น 120 ตัวอย่าง ตามหัวข้อ 3.3 เพื่อทำการทดลองหาองค์ประกอบเชิงปริมาณของกระถินเทพา

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

วิธีการทดลอง

นำตัวอย่างที่ผ่านการตรวจวัดด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer ที่มีขนาดประมาณ 2x2 มิลลิเมตรน้ำหนักรวมแล้วประมาณ 11-12 มิลลิกรัม ใส่ในถ้วย Crucible ดังรูปที่ 3.4ก จากนั้นนำถ้วย Crucible วางลงบนแท่นเชื่อมกับเครื่องซึ่งน้ำหนักละเอียดภายในเครื่อง Thermogravimetric Analyzer ดังรูปที่ 3.4ข แล้วทำการตั้งค่าการทำงานจากนั้นเริ่มกดดำเนินการทดลอง (ดูการตั้งค่าในภาคผนวก)



รูปที่ 3.4 การทดสอบสมรรถภาพการแยกสลายด้วยความร้อนด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyzer การใส่ตัวอย่างลงถ้วยครุซิบิล(ก) การนำถ้วยครุซิบิลวางลงบนแท่นที่เชื่อมกับเครื่องซึ่งน้ำหนักละเอียดภายในเครื่อง Thermogravimetric Analyzer(ข)

3.6 การทำ Repeatability และ Reproducibility

3.6.1 วิธีการทำ Repeat และ Reproduce ของเครื่อง NIR

ขั้นตอนในการทำ Repeat

1. ทำการสุ่มกระถินเทพาจำนวน 1 ตัวอย่าง
2. นำกระถินเทพาที่ได้จากการสุ่มใส่ในถ้วยควอทซ์แล้วทำการสแกนกระถินเทพาทั้งหมด 10 ครั้งโดยถ้วยควอทซ์จะต้องไม่มีการเคลื่อนที่
3. หาค่า Repeat ของเส้นสเปกตรัมทั้ง 10 เส้นจากค่า SD ของ Absorbance ในแต่ละพีคที่สำคัญของกระถินเทพา

ขั้นตอนในการทำ Reproduce

1. ทำการสุ่มกระถินเทพาจำนวน 1 ตัวอย่าง
2. นำกระถินเทพาที่ได้จากการสุ่มใส่ในถ้วยควอทซ์และทำการสแกนครั้งที่ 1
3. นำกระถินเทพาที่สแกนแล้วในข้อ 2 เทใส่ถ้วยอะลูมิเนียมหลังจากนั้นเทกลับใส่ถ้วยควอทซ์อีกครั้งเพื่อให้ขนาดกระถินเทพาส่วนอื่นโดนสแกนด้วย
4. นำกระถินเทพาจากข้อ 3 สแกนด้วยเครื่อง NIR ครั้งที่ 2
5. ทำซ้ำข้อ 3 และ 4 จนครบทั้งหมด 10 ครั้ง
6. หาค่า Reproduce ของเส้นสเปกตรัมทั้ง 10 เส้นจากค่า SD ของ Absorbance ในแต่ละพีคที่สำคัญของกระถินเทพา

3.6.2 วิธีการทำ Repeat และ Reproduce ของเครื่อง Bomb calorimeter

ก่อนทำ Repeat และ Reproduce ให้ user1 สุ่มกระถินเทพาจำนวน 10 ตัวอย่าง และนำกระถินเทพาไปอัดเม็ดตัวอย่างละ 3 เม็ด โดยเม็ดที่ 1 และเม็ดที่ 2 จะนำไปหาค่า Repeat และเม็ดที่ 3 จะนำไปหาค่า Reproduce

ขั้นตอนในการทำ Repeat

1. ให้ user2 ทำการหาค่าความร้อนของกระถินเทพาเม็ดที่ 1 และเม็ดที่ 2 โดยที่ตัว user2 ต้องไม่ทราบว่กระถินเทพาเป็นตัวอย่างที่เท่าใด
2. เปรียบเทียบค่าแตกต่างระหว่างค่าความร้อนทั้ง 2 เม็ด
3. ทำซ้ำข้อ 1-2 จนครบทั้ง 10 ตัวอย่าง
4. นำค่าความร้อนที่ได้หาค่า Repeat จากสูตรที่ 3.2

ขั้นตอนในการทำ Reproduce

1. ให้ user3 หาค่าความร้อนของกระถินเทพาเม็ดที่ 3 โดยที่ตัว user3 ต้องไม่ทราบว่กระถินเทพาเป็นตัวอย่างที่เท่าใด
2. นำค่าอ้างอิงที่ได้จากการหาค่าความร้อนของกระถินเทพาโดย user2 ในเม็ดที่ 1 เปรียบเทียบความแตกต่างกับค่าความร้อนที่ได้จากของ user3 ในเม็ดที่ 3
3. ทำซ้ำข้อ 1-2 จนครบทั้ง 10 ตัวอย่าง และหาค่า Reproduce จากสูตรที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.7.1 การวิเคราะห์ค่า Repeatability และ Reproducibility

ในการวิเคราะห์ค่า Repeatability และ Reproducibility ทำเพื่อวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง โดยค่า Repeatability ของเครื่อง Bomb calorimeter วัดเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องแม่นยำของเครื่องมือที่ใช้ทำการทดลอง และค่า Reproducibility ของเครื่อง Bomb calorimeter วัดเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของกระบวนการที่ของผู้วิจัยทำการทดลองซึ่งวัดได้จากค่า R_{\max}^2 ค่าที่ได้จะมีค่าตั้งแต่ 0 - 1 โดยค่า ที่ดีควร R_{\max}^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 คำนวณได้จากสมการ 3.2

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

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

ในการวิเคราะห์ค่า Repeatability และ Reproducibility ของเครื่อง NIRs เป็นการวัดเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการสแกน โดยค่า Repeatability ของเครื่อง NIRs วัดเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องแม่นยำของเครื่องมือที่ใช้ทำการทดลอง และค่า Reproducibility ของเครื่อง NIRs วัดเปอร์เซ็นต์ความสม่ำเสมอของขนาดชีวมวล

3.7.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างที่อยู่นอกกลุ่ม

ในการวิเคราะห์ค่าความร้อนสูง จากการทดลองจำเป็นต้องตัดค่าบางส่วนที่มีค่านอกกลุ่ม (Outlier) ออกจากผลการทดลอง ซึ่งอาจเกิดจากตัวอย่างไม่สม่ำเสมอ หรือเกิดจากความผิดพลาดในกระบวนการทดลอง ซึ่งตัวอย่างที่ผ่านการตรวจสอบแล้วนั้นจะต้องมีค่าอยู่ในช่วง ± 3 หากค่าอยู่นอกช่วงดังกล่าวนี้ต้องตัดออกจากกลุ่มเพราะเกิดจากตัวอย่างผิดปกติ หรือเกิดจากความผิดพลาดในกระบวนการทดลอง สามารถคำนวณได้จากสมการ 3.3

$$-3 < \frac{(X_i - \bar{X})}{SD} < 3 \quad (3.3)$$

เมื่อ X_i คือ ค่าที่ได้จากวิธีมาตรฐานแต่ละตัวอย่าง
 \bar{X} คือ ค่าเฉลี่ย
 SD (Standard Deviation) คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง

3.7.3 การวิเคราะห์ลักษณะสเปกตรัม

การวิเคราะห์สเปกตรัมดั้งเดิม (Raw spectrum) จากค่าการดูดซับคลื่นในช่วงจำนวนคลื่นระหว่าง 800-2500 nm ด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer ของลำต้นกระถินเทพา จะวิเคราะห์จากแถบการดูดซับคลื่นปรากฏในสเปกตรัม โดยพิจารณาให้สอดคล้องกับองค์ประกอบที่มีในลำต้นกระถินเทพา

3.7.4 การสร้างสมการในการทำนาย

การสร้างสมการทำนายทำโดยสร้างความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเชิงแสง (optical data) กับสมบัติเชิงความร้อน ได้แก่ การแพร่ความร้อน การนำความร้อน (ส่วนความร้อนจำเพาะใช้วิธีคำนวณ) ความชื้นและปริมาณน้ำมันที่วัดด้วยวิธีมาตรฐานดั้งเดิม โดยวิธี Partial least squares regression (PLS) และใช้โปรแกรม OPUS version 7.0.129 ทั้งนี้ใช้ข้อมูลเชิงแสง (สเปกตรัม) ที่ไม่มีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้นหรือที่มีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้นโดยวิธี 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 และ first derivative + MSC จะพิสูจน์แบบจำลองโดยวิธี full cross-validation เมื่อได้แบบจำลองจะคัดเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุดโดยพิจารณาจากค่า root mean square error of cross validation (RMSECV) ที่ต่ำที่สุด จากนั้นจะบันทึกค่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination; R^2), ค่ารากที่สองของความผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสองของการพิสูจน์แบบไขว้ (root mean squared error of cross validation; RMSECV), ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (bias), และอัตราส่วนระหว่างค่าความผิดพลาดเฉลี่ยกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ratio of standard error of validation to standard deviation; RPD) และยังบันทึกค่า regression coefficient และ X-loading weight ที่จำนวนคลื่นต่าง ๆ

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 ปริมาณความชื้น

ผลการหาปริมาณความชื้นของลำต้นกระถินเทพาทั้ง 3 ส่วน คือ ส่วนโคนลำต้น กลางลำต้น และปลายลำต้น แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณความชื้นของลำต้นกระถินเทพา

| ส่วน | ความชื้น (%db) | |
|-----------|----------------------|---------------------|
| | ค่าเฉลี่ย | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
| โคนลำต้น | 8.0541 ^{ns} | 0.9590 |
| กลางลำต้น | 7.8908 ^{ns} | 0.9188 |
| ปลายลำต้น | 7.8742 ^{ns} | 0.9197 |
| เฉลี่ย | 7.9397 | 0.9325 |

จะเห็นว่าลำต้นกระถินเทพาทั้ง 3 ส่วน คือ ส่วนโคนลำต้น กลางลำต้น และปลายลำต้น มีปริมาณความชื้นเท่ากับ 8.0541 7.8908 และ 7.8742 %db ตามลำดับ จะเห็นว่าปริมาณความชื้นของลำต้นกระถินเทพาทั้ง 3 ส่วนมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งทดสอบด้วยวิธี one-way ANOVA



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทำ Repeatability และ Reproducibility ของเครื่อง Bomb calorimeter

ผลการทำ Repeatability และ Reproducibility ของเครื่อง Bomb calorimeter ของลำต้นกระถินเทพาทั้ง 3 ส่วน คือ ส่วนโคนลำต้น กลางลำต้น และปลายลำต้น แสดงดัง

ตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 ตามลำดับ

4.2.1 การทำ Repeatability ของเครื่อง Bomb calorimeter

ตารางที่ 4.2 แสดงค่า Repeatability ของเครื่อง Bomb calorimeter

| Repeatability | | | |
|-----------------------------------|--------|--------------------------------------|------------|
| Number | Test 1 | Test 2 | Difference |
| 1 | 19171 | 19402 | 231 |
| 2 | 19377 | 19108 | 269 |
| 3 | 18817 | 18828 | 11 |
| 4 | 18475 | 18527 | 52 |
| 5 | 18817 | 19111 | 294 |
| 6 | 19768 | 19469 | 299 |
| 7 | 18211 | 18650 | 439 |
| 8 | 19384 | 18963 | 421 |
| 9 | 19684 | 19614 | 70 |
| 10 | 18762 | 18560 | 202 |
| SD _{total} = 442.91 | | R ² _{max} = 0.89 | |
| SD _{difference} = 147.78 | | | |

จาก

ตารางที่ 4.2 เป็นผลการทำ Repeatability ของเครื่อง Bomb calorimeter เป็นผลการวัดความแม่นยำของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ในขั้นตอนนี้วัดได้จากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานซึ่งได้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานรวม เท่ากับ 442.91 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่าง เท่ากับ 147.78 โดยค่า Repeatability มีค่าความแม่นยำสูงที่ 89% และมีค่าความผิดพลาดที่ 11% แสดงให้เห็นว่าเครื่องมือที่ใช้ในการวัดมีความแม่นยำค่อนข้างสูง

4.2.2 การทำ Reproducibility ของเครื่อง Bomb calorimeter

ตารางที่ 4.3 แสดงค่า Reproducibility ของเครื่อง Bomb calorimeter

| Reproducibility (J/g) | | | |
|-----------------------------------|-----------|--------------------------------------|------------|
| Number | Reference | Unknown | Difference |
| 1 | 19075 | 19171 | 96 |
| 2 | 19479 | 19377 | 102 |
| 3 | 18514 | 18817 | 303 |
| 4 | 18795 | 18475 | 320 |
| 5 | 19328 | 18817 | 511 |
| 6 | 19546 | 19768 | 222 |
| 7 | 18784 | 18211 | 573 |
| 8 | 19583 | 19384 | 199 |
| 9 | 19963 | 19684 | 279 |
| 10 | 18948 | 18762 | 186 |
| SD _{total} = 477.17 | | R ² _{max} = 0.89 | |
| SD _{difference} = 158.34 | | | |

จากตารางที่ 4.3 เป็นผลการทำ Reproducibility ของเครื่อง Bomb calorimeter เป็นผลการวัดความแม่นยำถูกต้องของกระบวนการที่ทำการทดลอง ในขั้นตอนนี้วัดได้จากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานซึ่งได้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานรวม เท่ากับ 477.17 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่าง เท่ากับ 158.34 ดังนั้นผลจากการทำ Reproducibility ของเครื่อง Bomb calorimeter มีค่าความแม่นยำและถูกต้องของกระบวนการ 89% และมีค่าความผิดพลาดที่ 11%

4.3 ผลการทำ Repeatability และ Reproducibility ของเครื่อง NIR

ผลการทำ Repeatability และ Reproducibility ของเครื่อง NIR ของลำต้นกระถินเทพาทั้ง 3 ส่วน คือ ส่วนโคนลำต้น กลางลำต้น และปลายลำต้น แสดงดังตารางที่ 4.4 และตารางที่ 4.5

4.3.1 การทำ Repeatability ของเครื่อง NIR

ตารางที่ 4.4 แสดงค่า Repeatability ของเครื่อง NIR

| Repeatability | | |
|--------------------------------|--------------------|--------|
| Wavenumber (cm ⁻¹) | Average Absorbance | SD |
| 6827.169 | 0.3630 | 0.0004 |
| 5195.591 | 0.5666 | 0.0007 |
| 4694.161 | 0.5172 | 0.0004 |
| 4254.445 | 0.5701 | 0.0003 |
| 3999.874 | 0.7023 | 0.0004 |
| Average SD | | 0.0005 |

จากตารางที่ 4.4 เป็นผลการทำ Repeatability ของเครื่อง NIR เป็นผลการวัดความแม่นยำของเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งวัดได้จากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยเท่ากับ 0.0005 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด 0.08%



4.3.2 การทำ Reproducibility ของเครื่อง NIR

ตารางที่ 4.5 แสดงค่า Reproducibility ของเครื่อง NIR

| Reproducibility | | |
|--------------------------------|--------------------|--------|
| Wavenumber (cm ⁻¹) | Average Absorbance | SD |
| 6827.169 | 0.3602 | 0.0176 |
| 5195.591 | 0.5586 | 0.0229 |
| 4698.018 | 0.5121 | 0.0225 |
| 4397.160 | 0.5475 | 0.0210 |
| 4003.730 | 0.6978 | 0.0252 |
| Average SD | | 0.0219 |

จากตารางที่ 4.5 เป็นผลการทำ Reproducibility ของเครื่อง NIR เป็นผลการวัดความสม่ำเสมอของตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง วัดได้จากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ได้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยเท่ากับ 0.0219 จะเห็นได้ว่าผลของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าน้อย คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด 4.08% ดังนั้นผลการทำ Reproducibility ของเครื่อง NIR แสดงว่าขนาดตัวอย่างที่นำไปใช้ทำการทดลองมีความสม่ำเสมอ

4.4 ผลค่าความร้อนสูงของต้นกระถินเทพา

ผลการหาค่าความร้อนของลำต้นกระถินเทพาทั้ง 3 ส่วนคือ ส่วนโคนลำต้น กลางลำต้น และปลายลำต้น ส่วนละ 40 ตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 4.6

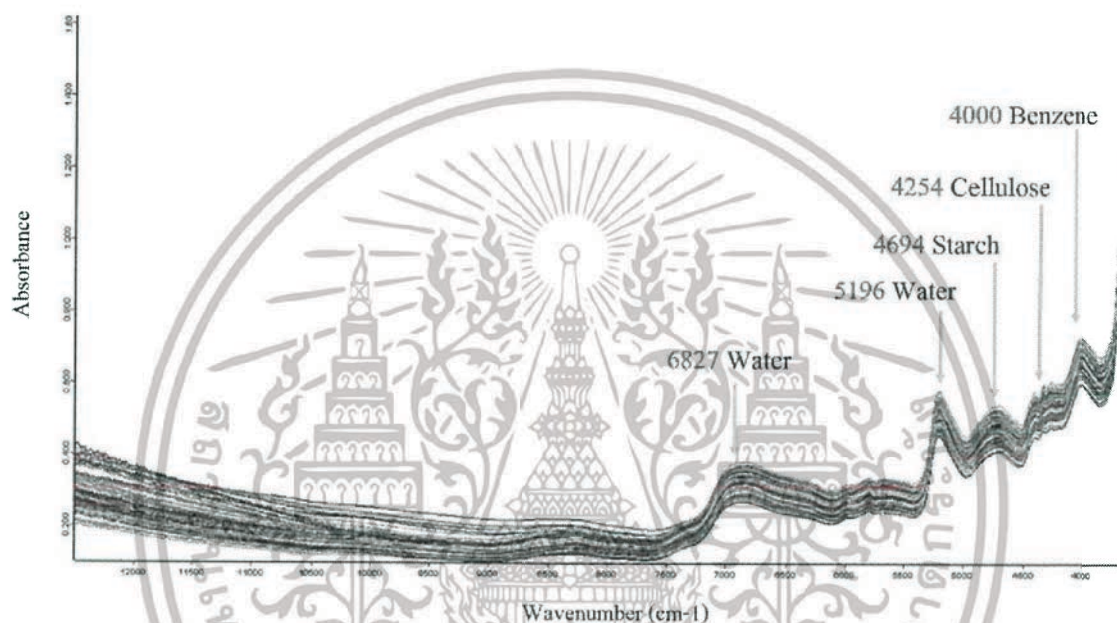
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความร้อนสูงของลำต้นกระถินเทพาโดย Bomb calorimeter

| ส่วน | ค่าความร้อนสูง (J/g) | |
|-----------|-----------------------|--------|
| | Average | SD |
| โคนลำต้น | 19308.28 ^a | 168.68 |
| กลางลำต้น | 19234.96 ^a | 139.11 |
| ปลายลำต้น | 18957.48 ^b | 164.65 |

ผลการทดลองหาค่าความร้อนของลำต้นกระถินเทพาทั้ง 3 ส่วน คือ ส่วนโคนลำต้น ส่วนกลางลำต้น และส่วนปลายลำต้น มีค่าเท่ากับ 19308.28, 19234.96 และ 18957.48 J/g ตามลำดับ โดยจากการวิเคราะห์ด้วยกระบวนการทางสถิติด้วยวิธี One-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนโคนลำต้นและกลางลำต้นมีค่าความร้อนสูงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ส่วนปลายลำต้นมีความแตกต่างกับทั้ง 2 ส่วน เนื่องจากบริเวณส่วนปลายลำต้นมีปริมาณเปลือกไม้มากกว่าเนื้อไม้ จึงทำให้มีปริมาณลิกนินน้อยกว่าที่ส่วนโคนลำต้นและกลางลำต้น [7] ซึ่งปริมาณลิกนินที่น้อยกว่านั้นส่งผลให้มีค่าความร้อนที่น้อยกว่าส่วนโคนลำต้นและกลางลำต้น [8]

4.5 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสเปกตรัมของลำต้นกระถินเทพาโดยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

ในการวิเคราะห์สเปกตรัมของลำต้นกระถินเทพาทั้ง 3 ส่วน คือ ส่วนโคนลำต้น ส่วนกลางลำต้น และส่วนปลายลำต้นที่ได้จากเครื่อง FT-NIR ที่ wavenumber ระหว่าง $12500\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ ($800\text{-}2500\text{ nm}$) แสดงดังรูปที่ 4.3 พบว่าพีคที่ 6827 cm^{-1} (1446 nm) และ พีคที่ 5196 cm^{-1} (1924 nm) เกิดการดูดซับคลื่นของ water, พีคที่ 4694 cm^{-1} (2130 nm) เกิดการดูดซับคลื่นของ starch, พีคที่ 4254 cm^{-1} (2350 nm) เกิดการดูดซับคลื่นของ cellulose และพีคที่ 4000 cm^{-1} (2500 nm) เกิดการดูดซับคลื่นของ benzene ตามลำดับดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 สเปกตรัมการดูดซับคลื่นของลำต้นกระถินเทพาทั้ง 120 ตัวอย่าง

4.6 ผลการทำนายค่าความร้อนของลำต้นกระถินเทพาด้วยวิธี Partial Least Squares Regression

ค่าทางสถิติของค่าความร้อนของลำต้นกระถินเทพาที่ใช้สร้างสมการทำนายโดยใช้วิธี Partial Least Squares Regression จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ แสดงดังตารางที่ 4.7 ซึ่งผลการสร้างสมการทำนายค่าความสัมพันธ์ มีรายละเอียดดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 สมการทำนายค่าความร้อนที่สร้างจากเทคนิค Partial Least Squares Regression (PLSR) แบบ Test Set Validation ของลำต้นกระถินเทพา

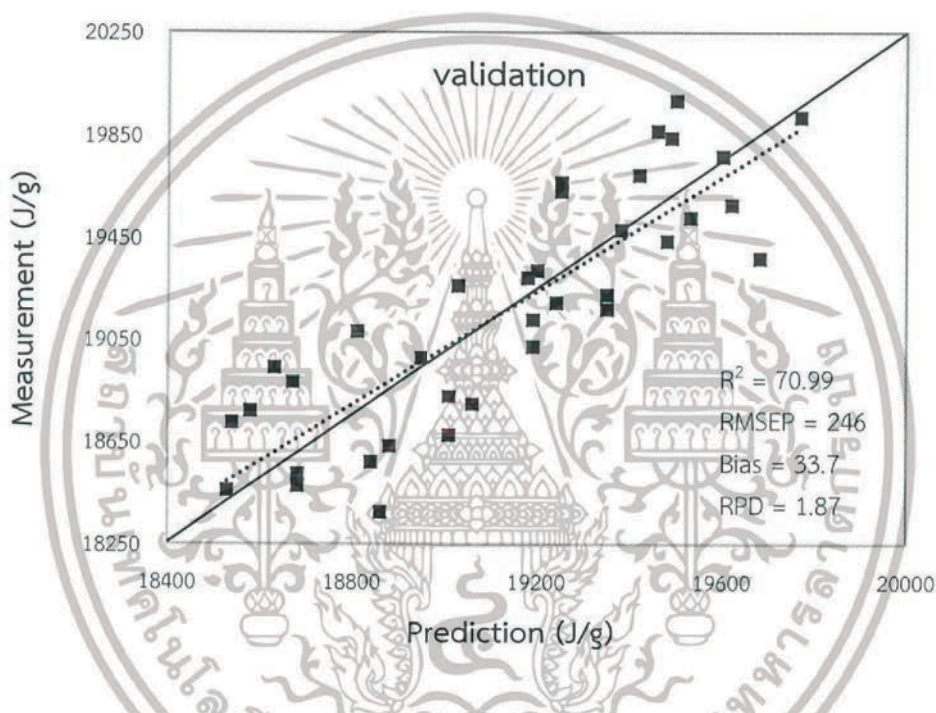
| Parameter | Pre-processing | Rank | Calibration | | | Validation | | | |
|----------------------------|---------------------------|------|----------------|-------|------|----------------|-------|------|------|
| | | | R ² | RMSEE | RPD | R ² | RMSEP | RPD | Bias |
| Higher heating Value (J/g) | First Derivative | 6 | 73.1 | 219 | 1.93 | 70.99 | 246 | 1.87 | 33.7 |
| Lower heating Value (J/g) | Straight line subtraction | 6 | 71.04 | 229 | 1.86 | 60.66 | 289 | 1.6 | 27 |

R² = The coefficient of determination, RMSEE = Root mean square error of estimation, RMSECV = Root mean square error of Cross Validation, RPD = Residual prediction deviation, Bias = Mean value of deviation

4.7 ผลการสร้างสมการทำนายค่าความร้อน

4.7.1 ผลการสร้างสมการทำนายค่าความร้อนสูง

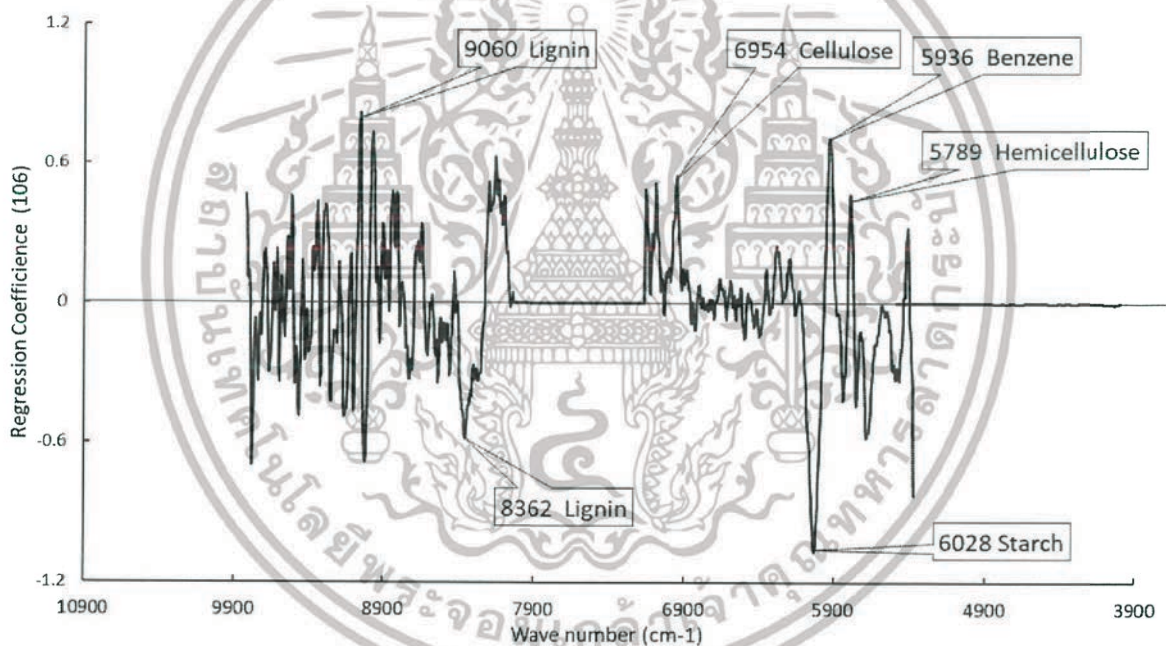
จากตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.1 ผลการทำนายค่าความร้อนสูงเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้โดยวิธีมาตรฐานโดยมีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้นแบบ First Derivative มีค่าสัมประสิทธิ์การพิจารณา (coefficient of determination; R^2) เท่ากับ 70.99 อยู่ในเกณฑ์เหมาะสมสำหรับการคัดเลือก (แบ่งกลุ่ม) และการประมาณค่าอย่างหยาบ ๆ ซึ่งอ้างอิงจากเกณฑ์ของ Williams (2007), ค่ารากที่สองของความถูกต้องของการทำนายเฉลี่ยยกกำลังสองของการพิสูจน์แบบไขว้ (Root Mean Square Error of Prediction; RMSEP) เท่ากับ 246 J/g, Bias เท่ากับ 33.7 J/g และค่าอัตราส่วนระหว่าง SD กับ SEP (Ratio of Prediction to Deviation; RPD) เท่ากับ 1.87 แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 Scatter plot ของข้อมูลอ้างอิง (X) และข้อมูลทำนาย (Y) สำหรับความค่าความร้อนสูงของ กระถินเทพาโดยใช้ FT-NIR spectrometer

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

Regression coefficient plot ในการสร้างสมการทำนายค่าความร้อนสูงของกระถินเทพาในช่วงคลื่นที่ $4000 - 9900 \text{ cm}^{-1}$ พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสมการในช่วงเลขคลื่นที่นำมาสร้างสมการทำนายพบว่า เลขคลื่นที่มีผลต่อการทำนายค่าความร้อนสูงนั้น ได้แก่ 9060 cm^{-1} (1103 nm), 8362 cm^{-1} (1196 nm), 6954 cm^{-1} (1438 nm), 6028 cm^{-1} (1658 nm) 5936 cm^{-1} (1684 nm) และ 5786 cm^{-1} (1727 nm) โดยที่เลขคลื่น 9060 และ 8362 cm^{-1} เป็นการดูดซับคลื่นของโครงสร้างทางเคมีคือ Lignin เลขคลื่น 6954 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนคลื่นของโครงสร้างทางเคมีคือ Cellulose เลขคลื่น 6028 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนคลื่นของโครงสร้างทางเคมีคือ Starch เลขคลื่น 5936 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนคลื่นของโครงสร้างทางเคมีคือ Benzene และเลขคลื่น 5786 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนคลื่นของโครงสร้างทางเคมีคือ Hemicellulose แสดงดังรูปที่ 4.3

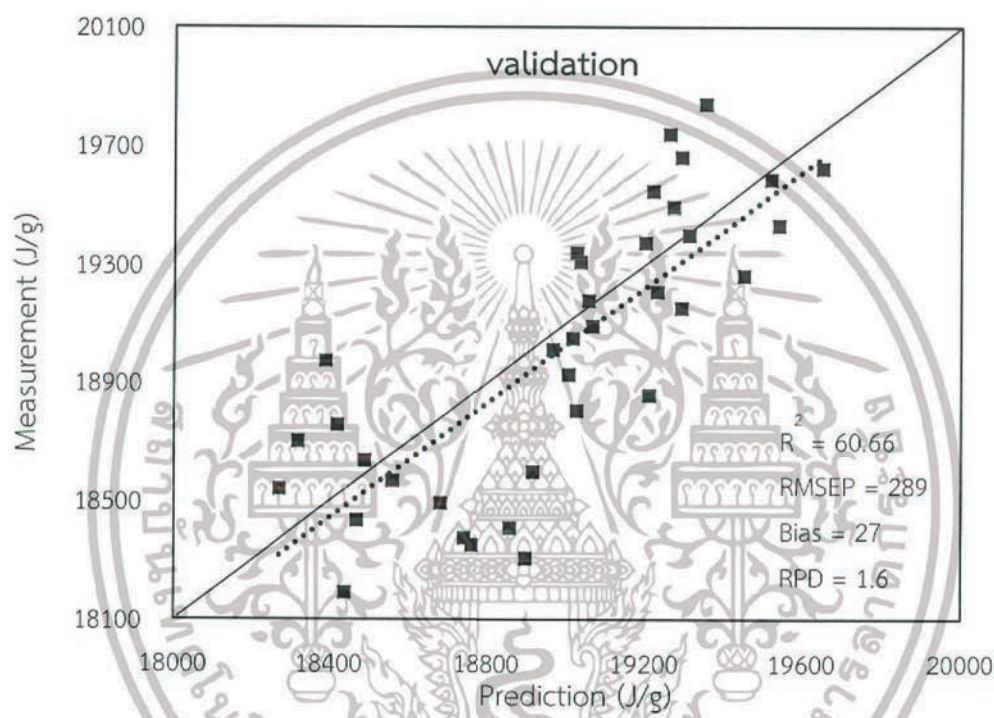


รูปที่ 4.3 Regression coefficient plot ของสมการค่าความร้อนสูงของกระถินเทพา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.2 ผลการสร้างสมการทำนายค่าความร้อนต่ำ

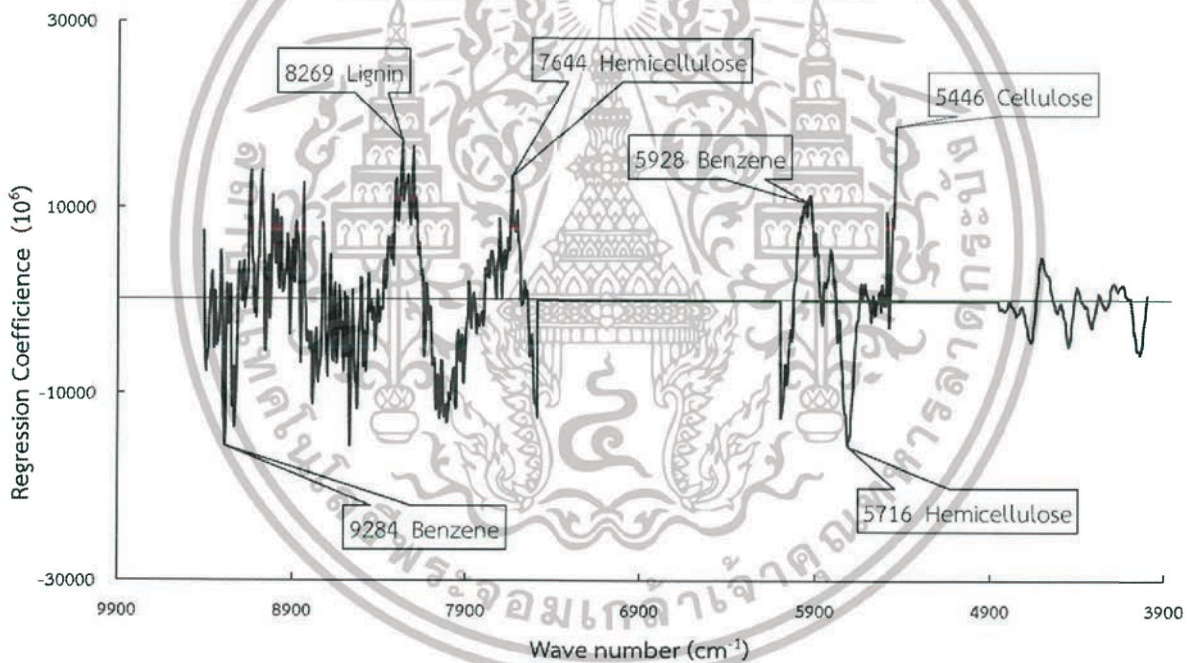
จากตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.1 ผลการทำนายค่าความร้อนต่ำเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้โดยวิธีมาตรฐานโดยมีการจัดการสเปกตรัมเบื้องต้นแบบ Straight line subtraction มีค่าสัมประสิทธิ์การพิจารณา (coefficient of determination; R^2) เท่ากับ 60.66 อยู่ในเกณฑ์การคัดเลือก (แบ่งกลุ่ม) อย่างหยาบ ๆ ซึ่งอ้างอิงจากเกณฑ์ของ Williams (2007), ค่ารากที่สองของความถูกต้องของการทำนายเฉลี่ยยกกำลังสองของการพิสูจน์แบบไขว้ (Root Mean Square Error of Prediction; RMSEP) เท่ากับ 289 J/g, Bias เท่ากับ 27 J/g และค่าอัตราส่วนระหว่าง SEP กับ SD (Ratio of Prediction to Deviation; RPD) เท่ากับ 1.6 แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 Scatter plot ของข้อมูลอ้างอิง (X) และข้อมูลทำนาย (Y) สำหรับค่าความร้อนต่ำของกระถินเทพาโดยใช้ FT-NIR spectrometer

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

Regression coefficient plot ในการสร้างสมการทำนายค่าความร้อนสูงของกระถินเทพาในช่วงคลื่นที่ $3900 - 9900 \text{ cm}^{-1}$ พิจารณาความสัมพันธ์สหสัมพันธ์ของสมการในช่วงเลขคลื่นที่นำมาสร้างสมการทำนายพบว่า เลขคลื่นที่มีผลต่อการทำนายค่าความร้อนสูงนั้น ได้แก่ 9284 cm^{-1} (1077 nm), 8269 cm^{-1} (1209 nm), 7644 cm^{-1} (1308 nm), 5928 cm^{-1} (1685 nm), 5716 cm^{-1} (1749 nm) และ 5446 cm^{-1} (1836 nm) โดยที่เลขคลื่น 9284 cm^{-1} เป็นการดูดซับคลื่นของโครงสร้างทางเคมีคือ Benzene เลขคลื่น 8269 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนคลื่นของโครงสร้างทางเคมีคือ Lignin เลขคลื่น 7644 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนคลื่นของโครงสร้างทางเคมีคือ Hemicellulose เลขคลื่น 5928 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนคลื่นของโครงสร้างทางเคมีคือ Benzene เลขคลื่น 5716 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนคลื่นของโครงสร้างทางเคมีคือ Hemicellulose และเลขคลื่น 5446 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนคลื่นของโครงสร้างทางเคมีคือ Cellulose แสดงดังรูปที่ 4.5

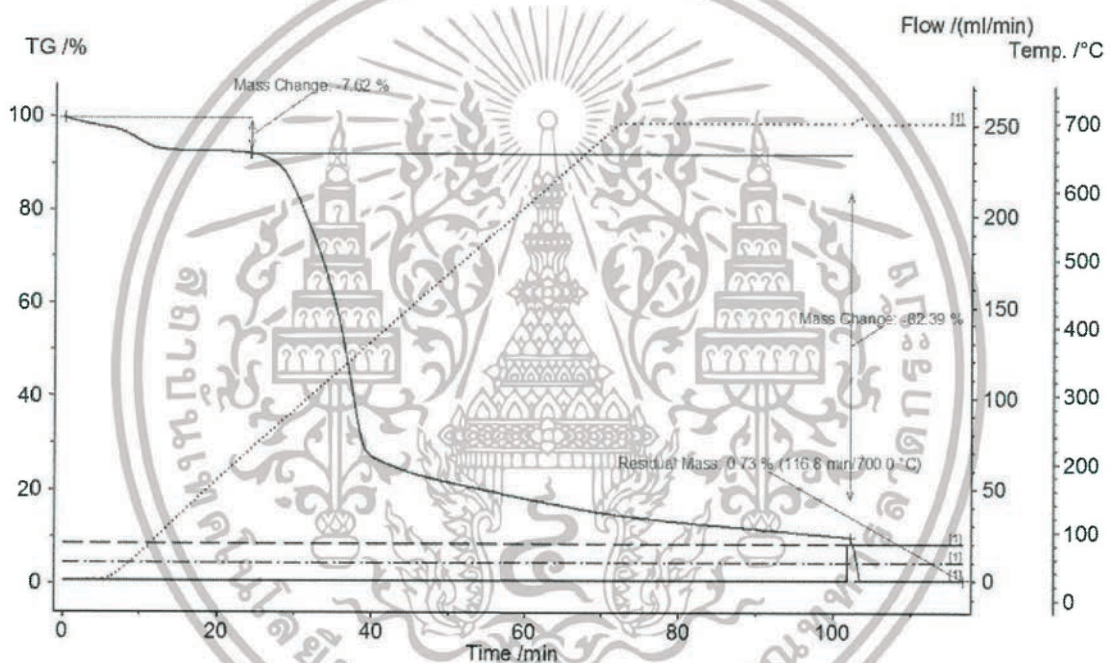


รูปที่ 4.5 Regression coefficient plot ของสมการค่าความร้อนต่ำของกระถินเทพา

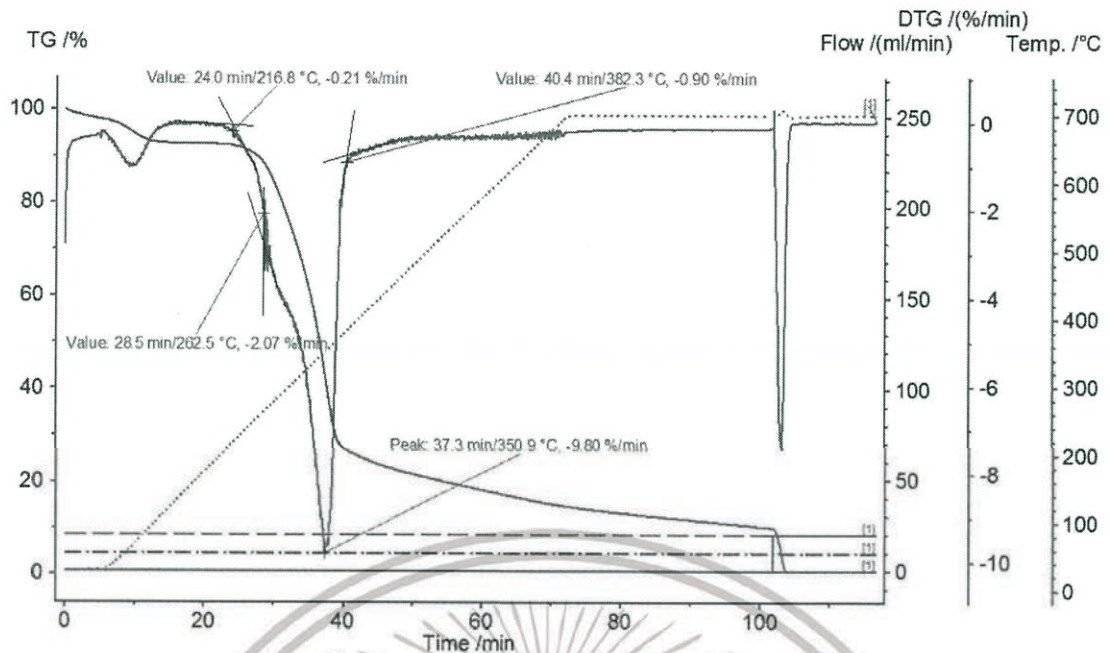
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงปริมาณ

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงปริมาณของกระถินเทพาจำนวน 20 ตัวอย่าง แสดงดังรูปที่ 4.6 พบว่ามีปริมาณความชื้น (moisture content) ร้อยละ 6.91 ± 1.10 มีปริมาณคาร์บอนคงตัว (fixed carbon) ร้อยละ 6.13 ± 2.10 มีปริมาณไอรระเหย (volatile matter) ร้อยละ 85.20 ± 2.19 และมีปริมาณเถ้า (ash) ร้อยละ 1.76 ± 2.17 และพบว่าอุณหภูมิที่เฮมิเซลลูโลสเริ่มสลายตัว (T_{onset}) 201.7 ± 47.6 องศาเซลเซียส อัตราการสลายตัวสูงสุดของเฮมิเซลลูโลส (dm/dt_{sh}) 2.1 ± 0.20 มิลลิกรัมต่อนาที อุณหภูมิที่เฮมิเซลลูโลสมีการสลายตัวสูงสุด (T_{sh}) 263.2 ± 2.60 องศาเซลเซียส อัตราการสลายตัวสูงสุดของเซลลูโลส (dm/dt_{peak}) 9.6 ± 1.0 มิลลิกรัมต่อนาที อุณหภูมิที่เซลลูโลสมีการสลายตัวสูงสุด (T_{peak}) 348.2 ± 7.50 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่เซลลูโลสไม่มีการสลายตัว (T_{offset}) 378.9 ± 4.30 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.6 ตัวอย่างกราฟแสดงองค์ประกอบเชิงปริมาณของกระถินเทพา



รูปที่ 4.7 ตัวอย่างกราฟ First derivative (DTG)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการวิเคราะห์ค่าความร้อนสูงของกระถินเทพาโดยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี โดยเริ่มศึกษาจากปัจจัยทางด้านความชื้น ค่าความร้อนสูง องค์ประกอบเชิงประมาณ ลักษณะของสเปกตรัม และการทำนายค่าความร้อนของกระถินเทพาด้วยวิธี Partial Least Squares Regression สามารถทดลองตามกรอบเวลาที่ได้กำหนดไว้ ผลการศึกษาสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1 สรุปผลปริมาณความชื้นของกระถินเทพา

สรุปผลปริมาณความชื้นของกระถินเทพาได้ค่าความชื้นเฉลี่ยของกระถินเทพาจากทั้ง 3 ส่วน คือ ส่วนโคนลำต้น ส่วนกลางลำต้น และส่วนปลายลำต้น ประมาณ 7.9397 ± 0.0994 %db พบว่ามีปริมาณความชื้นทั้ง 3 ส่วนไม่แตกต่างกัน จึงไม่มีผลต่อตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง และเนื่องจากปริมาณความชื้นของกระถินเทพาทั้งสามส่วนนั้นไม่มีความแตกต่างกัน จึงกล่าวได้ว่าผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนสูง ความชื้นจะไม่ใช่ปัจจัยที่ทำให้ค่าความร้อนสูงแตกต่างกันในการทดลองแต่ละตัวอย่าง

5.2 สรุปผลค่าความร้อนสูงของชีวมวลโดย Bomb Calorimeter: กรณีศึกษาลำต้นกระถินเทพา

สรุปผลค่าความร้อนสูงของกระถินเทพา 3 ส่วนคือส่วนโคนลำต้น กลางลำต้น และปลายลำต้นโดยแต่ละส่วนมีค่าความร้อนเฉลี่ย $19,316.26 \pm 160.28$ J/g, $19,234.96 \pm 139.11$ J/g และ $18,957.48 \pm 164.65$ J/g ตามลำดับ และทำการเปรียบเทียบด้วยกระบวนการทางสถิติโดยวิธี One-Way ANOVA พบว่าส่วนโคนลำต้นและกลางลำต้นมีค่าความร้อนไม่แตกต่างกันเฉลี่ยอยู่ที่ $19,275 \pm 415.65$ J/g และส่วนปลายลำต้นแตกต่างกับทั้ง 2 ส่วนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ทั้ง 3 ส่วนมีค่าความร้อนเฉลี่ยโดยรวมประมาณ $19,169.57 \pm 154.68$ J/g เมื่อนำไปเทียบกับชีวมวลชนิดอื่น ๆ แล้วพบว่ากระถินเทพามีค่าความร้อนที่ค่อนข้างสูง อีกทั้งยังมีการสนับสนุนให้ปลูกไม้โตเร็ว ดังนั้นกระถินเทพาจึงเหมาะสมที่จะนำมาทำเป็นพลังงานทดแทนในการเผาไหม้ (combustion) ได้เนื่องจากมีค่าความร้อนที่ค่อนข้างสูง

5.3 สรุปผลการวิเคราะห์ลักษณะสเปกตรัมของกระถินเทพาโดยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

จากการวิเคราะห์สเปกตรัมดั้งเดิม (raw spectrum) ที่เกิดจากการดูดกลืนแสงของลำต้นกระถินเทพาในช่วงจำนวนคลื่น $12500-4000$ cm^{-1} ความยาวคลื่น $800-2500$ nm ด้วยเครื่อง FT-NIR Spectrometer พบว่าสเปกตรัมดั้งเดิมของค่าความร้อนมีพีคที่ 6827 cm^{-1} (1446 nm) เกิดการดูดซับคลื่นของ water, พีคที่ 5196 cm^{-1} (1924 nm) เกิดการดูดซับคลื่นของ water, พีคที่ 4694 cm^{-1} (2130 nm) เกิดการดูดซับคลื่นของ starch, พีคที่ 4254 cm^{-1} (2350 nm) เกิดการดูดซับคลื่นของ cellulose และพีคที่ 4000 cm^{-1} (2500 nm) เกิดการดูดซับคลื่นของ benzene

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 สรุปผลการทำนายค่าความร้อนของกระถินเทพาด้วยวิธี Partial Least Squares Regression

ในการทำนายค่าความร้อนสูงของลำต้นกระถินเทพาโดยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination; R^2) เท่ากับ 70.99 RMSEP เท่ากับ 246 J/g และค่า RPD เท่ากับ 1.87 ซึ่งค่า R^2 (Williams, 2007) ช่วง 66 - 81 ใช้ได้สำหรับการคัดเลือก (แบ่งกลุ่ม) และการประมาณค่าอย่างหยาบๆ ควรใช้ด้วยความระมัดระวังในการนำไปประยุกต์ใช้รวมถึงงานวิจัย สำหรับ RPD ช่วง 0.0 - 2.3 ไม่แนะนำในการนำไปใช้คัดเลือก อย่างไรก็ตามการที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานดังกล่าวหากมีการยอมรับค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (Bias) ซึ่งมีค่าน้อยคิดเป็น 0.18% ของค่าความร้อนสูงเฉลี่ยทั้ง 3 ส่วน

ในการทำนายค่าความร้อนต่ำของลำต้นกระถินเทพาโดยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination; R^2) เท่ากับ 60.66 RMSEP เท่ากับ 289 J/g และค่า RPD เท่ากับ 1.6 ซึ่งค่า R^2 (Williams, 2007) ช่วง 50 - 64 ใช้ได้สำหรับการคัดเลือก (แบ่งกลุ่ม) อย่างหยาบๆ ควรใช้ด้วยความระมัดระวังถ้าหากมีการนำไปประยุกต์ใช้รวมถึงงานวิจัย สำหรับ RPD ช่วง 0.0 - 2.3 ไม่แนะนำในการนำไปใช้คัดเลือก อย่างไรก็ตามการที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานดังกล่าวหากมีการยอมรับค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (Bias) ซึ่งมีค่าน้อยคิดเป็น 0.14% ของค่าความร้อนต่ำเฉลี่ยทั้ง 3 ส่วน

จากข้อมูลข้างต้นเห็นได้ว่าแบบจำลองก็สามารถนำไปใช้งานได้ แทนวิธีการทางห้องปฏิบัติการซึ่งใช้เวลาค่อนข้างนาน โดยใช้เวลาในการเตรียมตัวอย่างประมาณ 43 นาทีต่อหนึ่งตัวอย่าง และใช้เวลาในการวัดค่าความร้อนประมาณ 17 นาทีต่อหนึ่งตัวอย่าง หากใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีจะใช้เวลาเพียง 2 นาที

5.5 สรุปผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงปริมาณ

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงปริมาณของกระถินเทพา พบว่ามีปริมาณความชื้น (moisture content) ร้อยละ 6.91 มีปริมาณคาร์บอนคงตัว (fixed carbon) ร้อยละ 6.13 มีปริมาณไอระเหย (volatile matter) ร้อยละ 85.20 ซึ่งถือว่ามีปริมาณที่สูง และมีปริมาณเถ้า (ash) ร้อยละ 1.76 ซึ่งถือว่ามีปริมาณที่ค่อนข้างน้อย ทำให้กระถินเทพามีศักยภาพดีในกระบวนการเผาไหม้และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการไพโรไลซิสต่อไปในอนาคตได้

5.6 ข้อเสนอแนะ

เนื่องด้วยจำนวนตัวอย่างที่มีเพียง 120 ตัวอย่างและค่าความร้อนในแต่ละส่วนแตกต่างกันทำให้แบบจำลองที่ได้ยังไม่เป็นที่พึงพอใจ จึงควรมีจำนวนตัวอย่างที่เพิ่มมากขึ้นเพื่อสร้างแบบจำลองให้มีความหลากหลายและครอบคลุมมากกว่านี้ ซึ่งอาจจะทำให้แบบจำลองมีความแม่นยำในการทำนายค่าความร้อนมากยิ่งขึ้นและมีความน่าเชื่อถือเพิ่มขึ้นไปอีก



ภาคผนวก ก
ผลการวัดค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำของกระถินเทพา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 แสดงผลค่าความร้อนสูงค่าความร้อนต่ำของลำต้นกระถินเทพาสวนโคนลำต้น

| ตัวอย่าง | น้ำหนัก (g) | ค่าความร้อนสูง (J/g) | ค่าความร้อนต่ำ (J/g) | หมายเหตุ |
|----------|-------------|----------------------|----------------------|----------|
| 01A | 0.5052 | 18757 | 18563 | |
| | 0.5189 | 18593 | 18434 | |
| 02A | 0.5563 | 19120 | 18939 | |
| | 0.5419 | 18993 | 18829 | |
| 03A | 0.5829 | 18374 | 18189 | |
| | 0.5291 | 18829 | 18681 | |
| 04A | 0.5902 | 18480 | 18292 | |
| | 0.5535 | 18783 | 18635 | |
| 05A | 0.5833 | 18428 | 18235 | |
| | 0.5556 | 18888 | 18734 | |
| 06A | 0.5540 | 18792 | 18598 | |
| | 0.5490 | 18751 | 18586 | |
| 07A | 0.5804 | 19264 | 19077 | |
| | 0.5167 | 19528 | 19382 | |
| 08A | 0.5486 | 19395 | 19208 | |
| | 0.5403 | 19441 | 19288 | |
| 09A | 0.5382 | 19446 | 19262 | |
| | 0.5487 | 19453 | 19304 | |
| 10A | 0.5627 | 19560 | 19374 | |
| | 0.5283 | 19901 | 19758 | |
| 11A | 0.5520 | 19524 | 19339 | |
| | 0.5527 | 19709 | 19565 | |
| 12A | 0.5157 | 19546 | 19361 | |
| | 0.5399 | 19583 | 19439 | |
| 13A | 0.5435 | 19383 | 19197 | |
| | 0.5523 | 19631 | 19480 | |
| 14A | 0.5625 | 19693 | 19500 | |
| | 0.5565 | 19599 | 19440 | |
| 15A | 0.5469 | 18948 | 18774 | |
| | 0.5449 | 19411 | 19271 | |
| 16A | 0.5602 | 19436 | 19245 | |
| | 0.5243 | 19760 | 19601 | |
| 17A | 0.5583 | 19627 | 19445 | |
| | 0.5317 | 19920 | 19774 | |
| 18A | 0.5565 | 19581 | 19400 | |
| | 0.5392 | 19695 | 19546 | |
| 19A | 0.5545 | 19601 | 19419 | |
| | 0.5362 | 19837 | 19683 | |
| 20A | 0.5411 | 19535 | 19367 | |
| | 0.5373 | 19865 | 19718 | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 แสดงผลค่าความร้อนสูงค่าความร้อนต่ำของลำตันกระถินเทพาส่วนกลางลำตัน

| ตัวอย่าง | น้ำหนัก (g) | ค่าความร้อนสูง (J/g) | ค่าความร้อนต่ำ (J/g) | หมายเหตุ |
|----------|-------------|----------------------|----------------------|----------|
| 01B | 0.5338 | 18570 | 18388 | |
| | 0.4850 | 18677 | 18528 | |
| 02B | 0.5593 | 19661 | 19480 | |
| | 0.5570 | 18642 | 18491 | |
| 03B | 0.5636 | 18756 | 18567 | |
| | 0.5116 | 18896 | 18744 | |
| 04B | 0.5671 | 18748 | 18559 | |
| | 0.5280 | 18772 | 18625 | |
| 05B | 0.5653 | 18726 | 18540 | |
| | 0.5317 | 18751 | 18595 | |
| 06B | 0.5843 | 19247 | 19058 | |
| | 0.5594 | 19153 | 18992 | |
| 07B | 0.5365 | 18940 | 18755 | |
| | 0.5333 | 19172 | 19025 | |
| 08B | 0.5374 | 18978 | 18793 | |
| | 0.5584 | 19294 | 19134 | |
| 09B | 0.5328 | 18801 | 18622 | |
| | 0.5157 | 19304 | 19159 | |
| 10B | 0.5797 | 19581 | 19397 | |
| | 0.5369 | 19766 | 19624 | |
| 11B | 0.5676 | 19192 | 19009 | |
| | 0.5056 | 19295 | 19153 | |
| 12B | 0.5320 | 19027 | 18845 | |
| | 0.5187 | 19166 | 19026 | |
| 13B | 0.5517 | 19350 | 19164 | |
| | 0.5345 | 19354 | 19207 | |
| 14B | 0.5705 | 19924 | 19739 | |
| | 0.5402 | 20045 | 19890 | |
| 15B | 0.5363 | 19212 | 19039 | |
| | 0.5578 | 18947 | 18803 | |
| 16B | 0.5551 | 19187 | 19012 | |
| | 0.5343 | 19312 | 19161 | |
| 17B | 0.5482 | 19668 | 19493 | |
| | 0.5280 | 19549 | 19405 | |
| 18B | 0.5542 | 19836 | 19661 | |
| | 0.5201 | 19984 | 19839 | |
| 19B | 0.5563 | 19530 | 19349 | |
| | 0.5463 | 19613 | 19465 | |
| 20B | 0.5396 | 19482 | 19309 | |
| | 0.5445 | 19302 | 19159 | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 แสดงผลค่าความร้อนสูงค่าความร้อนต่ำของลำตันกระถินเทพาส่วนปลายลำตัน

| ตัวอย่าง | น้ำหนัก (g) | ค่าความร้อนสูง (J/g) | ค่าความร้อนต่ำ (J/g) | หมายเหตุ |
|----------|-------------|----------------------|----------------------|----------|
| 01C | 0.5477 | 18595 | 18409 | |
| | 0.5158 | 18455 | 18305 | |
| 02C | 0.5637 | 19454 | 19274 | |
| | 0.5050 | 18460 | 18308 | |
| 03C | 0.5236 | 18686 | 18500 | |
| | 0.5166 | 18477 | 18330 | |
| 04C | 0.5768 | 18791 | 18606 | |
| | 0.5395 | 18835 | 18686 | |
| 05C | 0.5601 | 18365 | 18178 | |
| | 0.5386 | 18525 | 18373 | |
| 06C | 0.5720 | 18819 | 18631 | |
| | 0.5459 | 18752 | 18592 | |
| 07C | 0.5659 | 19115 | 18927 | |
| | 0.5497 | 19196 | 19048 | |
| 08C | 0.5478 | 18633 | 18449 | |
| | 0.5138 | 18833 | 18687 | |
| 09C | 0.5386 | 18533 | 18350 | |
| | 0.5421 | 18697 | 18551 | |
| 10C | 0.5386 | 19154 | 18973 | |
| | 0.5387 | 19080 | 18933 | |
| 11C | 0.5436 | 18884 | 18700 | |
| | 0.5730 | 19442 | 19298 | |
| 12C | 0.5174 | 18991 | 18807 | |
| | 0.5294 | 19003 | 18860 | |
| 13C | 0.5439 | 18712 | 18527 | |
| | 0.5431 | 19168 | 19021 | |
| 14C | 0.5484 | 19343 | 19161 | |
| | 0.5081 | 18905 | 18749 | |
| 15C | 0.5185 | 18604 | 18428 | |
| | 0.4857 | 18700 | 18558 | |
| 16C | 0.5304 | 19129 | 18955 | |
| | 0.5604 | 19321 | 19172 | |
| 17C | 0.5336 | 19228 | 19051 | |
| | 0.5283 | 18982 | 18837 | |
| 18C | 0.5586 | 19763 | 19585 | |
| | 0.5577 | 19578 | 19432 | |
| 19C | 0.5498 | 19371 | 19191 | |
| | 0.5122 | 19147 | 19001 | |
| 20C | 0.5624 | 19349 | 19180 | |
| | 0.5377 | 19233 | 19092 | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ผลของค่าความชื้นของกระถินเทพาส่วนโคนลำต้น

| ต้นกระถิน ตัวอย่างที่ | ส่วน | น้ำหนักกระป๋อง (g) | น้ำหนักกระป๋อง +ตัวอย่างเปียก(g) | น้ำหนักกระป๋อง +ตัวอย่างแห้ง(g) | น้ำหนักกระป๋อง +ตัวอย่างแห้งที่ สมดุลความชื้น (g) | น้ำหนัก ตัวอย่างเปียก (g) | น้ำหนัก ตัวอย่างแห้ง (g) | น้ำหนักแห้ง หลังสมดุล ความชื้น(g) | %ความชื้น db | % ความชื้นdb ที่สมดุล ความชื้น |
|--------------------------|------|-----------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---|---------------------------------|--------------------------------|---|-----------------|--------------------------------------|
| 1A | 1 | 16.6570 | 22.1088 | 21.5836 | 22.0466 | 5.4518 | 4.9266 | 5.3896 | 10.6605 | 9.3980 |
| | 2 | 15.7795 | 21.4118 | 20.8304 | 21.2130 | 5.6323 | 5.0509 | 5.4335 | 11.5108 | 7.5749 |
| 2A | 1 | 16.2099 | 19.9237 | 19.5981 | 19.8920 | 3.7138 | 3.3882 | 3.6821 | 9.6098 | 8.6742 |
| | 2 | 16.1631 | 21.0500 | 20.5455 | 20.8873 | 4.8869 | 4.3824 | 4.7242 | 11.5120 | 7.7994 |
| 3A | 1 | 16.2653 | 23.8383 | 23.1745 | 23.7903 | 7.5730 | 6.9092 | 7.5250 | 9.6075 | 8.9128 |
| | 2 | 16.3494 | 22.7616 | 22.1944 | 22.6044 | 6.4122 | 5.8450 | 6.2550 | 9.7040 | 7.0145 |
| 4A | 1 | 16.5141 | 22.5266 | 22.0276 | 22.5295 | 6.0125 | 5.5135 | 6.0154 | 9.0505 | 9.1031 |
| | 2 | 16.2213 | 24.4873 | 23.7639 | 24.2920 | 8.2660 | 7.5426 | 8.0707 | 9.5909 | 7.0016 |
| 5A | 1 | 16.3100 | 23.1815 | 22.5510 | 23.1352 | 6.8715 | 6.2410 | 6.8252 | 10.1025 | 9.3607 |
| | 2 | 16.3658 | 24.2567 | 23.5068 | 24.0287 | 7.8909 | 7.1410 | 7.6629 | 10.5013 | 7.3085 |
| 6A | 1 | 15.9026 | 19.2435 | 18.9244 | 19.2082 | 3.3409 | 3.0218 | 3.3056 | 10.5599 | 9.3918 |
| | 2 | 15.1111 | 18.7095 | 18.3366 | 18.5919 | 3.5984 | 3.2255 | 3.4808 | 11.5610 | 7.9151 |
| 7A | 1 | 15.4212 | 19.4833 | 19.1555 | 19.4923 | 4.0621 | 3.7343 | 4.0711 | 8.7781 | 9.0191 |
| | 2 | 14.9444 | 19.4526 | 19.0777 | 19.3644 | 4.5082 | 4.1333 | 4.4200 | 9.0702 | 6.9363 |
| 8A | 1 | 15.8629 | 19.5152 | 19.1898 | 19.4894 | 3.6523 | 3.3269 | 3.6265 | 9.7809 | 9.0054 |
| | 2 | 15.6179 | 19.9662 | 19.5500 | 19.8370 | 4.3483 | 3.9321 | 4.2191 | 10.5847 | 7.2989 |
| 9A | 1 | 15.6631 | 19.5384 | 19.1964 | 19.5094 | 3.8753 | 3.5333 | 3.8463 | 9.6793 | 8.8586 |
| | 2 | 15.1255 | 19.6730 | 19.2419 | 19.5319 | 4.5475 | 4.1164 | 4.4064 | 10.4727 | 7.0450 |
| 10A | 1 | 18.1882 | 22.8706 | 22.4931 | 22.8805 | 4.6824 | 4.3049 | 4.6923 | 8.7691 | 8.9990 |
| | 2 | 15.2666 | 19.8677 | 19.4901 | 19.7757 | 4.6011 | 4.2235 | 4.5091 | 8.9405 | 6.7622 |

ตารางที่ ข.1 ผลของค่าความชื้นของกระถินเทพาส่วนโคนลำต้น (ต่อ)

| ต้นกระถิน ตัวอย่างที่ | ส่วน | น้ำหนักกระป๋อง (g) | น้ำหนักกระป๋อง +ตัวอย่างเปียก(g) | น้ำหนักกระป๋อง +ตัวอย่างแห้ง(g) | น้ำหนักกระป๋อง +ตัวอย่างแห้งที่ สมดุลความชื้น (g) | น้ำหนัก ตัวอย่างเปียก (g) | น้ำหนัก ตัวอย่างแห้ง (g) | น้ำหนักแห้ง หลังสมดุล ความชื้น(g) | %ความชื้น db | % ความชื้นdb ที่สมดุล ความชื้น |
|--------------------------|------|-----------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---|---------------------------------|--------------------------------|---|-----------------|--------------------------------------|
| 11A | 1 | 15.2599 | 19.9326 | 19.5578 | 19.9402 | 4.6727 | 4.2979 | 4.6803 | 8.7205 | 8.8974 |
| | 2 | 16.3588 | 21.1184 | 20.7282 | 21.0252 | 4.7596 | 4.3694 | 4.6664 | 8.9303 | 6.7973 |
| 12A | 1 | 15.2391 | 19.3596 | 19.0152 | 19.3514 | 4.1205 | 3.7761 | 4.1123 | 9.1205 | 8.9034 |
| | 2 | 16.7470 | 24.4091 | 23.7203 | 24.1945 | 7.6621 | 6.9733 | 7.4475 | 9.8777 | 6.8002 |
| 13A | 1 | 14.6312 | 17.9848 | 17.6924 | 17.9659 | 3.3536 | 3.0612 | 3.3347 | 9.5518 | 8.9344 |
| | 2 | 15.2929 | 19.5941 | 19.1838 | 19.4625 | 4.3012 | 3.8909 | 4.1696 | 10.5451 | 7.1629 |
| 14A | 1 | 17.0610 | 21.1607 | 20.7965 | 21.1450 | 4.0997 | 3.7355 | 4.0840 | 9.7497 | 9.3294 |
| | 2 | 15.9477 | 20.3483 | 19.9480 | 20.2504 | 4.4006 | 4.0003 | 4.3027 | 10.0067 | 7.5594 |
| 15A | 1 | 15.2536 | 18.8018 | 18.5074 | 18.7792 | 3.5482 | 3.2538 | 3.5256 | 9.0479 | 8.3533 |
| | 2 | 15.4706 | 21.1228 | 20.6294 | 20.9704 | 5.6522 | 5.1588 | 5.4998 | 9.5642 | 6.6101 |
| 16A | 1 | 14.9962 | 18.5087 | 18.1840 | 18.4787 | 3.5125 | 3.1878 | 3.4825 | 10.1857 | 9.2446 |
| | 2 | 15.7273 | 19.7760 | 19.3802 | 19.6570 | 4.0487 | 3.6529 | 3.9297 | 10.8352 | 7.5775 |
| 17A | 1 | 15.0182 | 19.5917 | 19.2206 | 19.5890 | 4.5735 | 4.2024 | 4.5708 | 8.8307 | 8.7664 |
| | 2 | 14.8453 | 20.7893 | 20.2866 | 20.6621 | 5.9440 | 5.4413 | 5.8168 | 9.2386 | 6.9009 |
| 18A | 1 | 14.9677 | 19.2786 | 18.9273 | 19.2731 | 4.3109 | 3.9596 | 4.3054 | 8.8721 | 8.7332 |
| | 2 | 17.8783 | 22.8814 | 22.4527 | 22.7760 | 5.0031 | 4.5744 | 4.8977 | 9.3717 | 7.0676 |
| 19A | 1 | 14.6258 | 18.2224 | 17.9367 | 18.2280 | 3.5966 | 3.3109 | 3.6022 | 8.6291 | 8.7982 |
| | 2 | 15.4252 | 20.8704 | 20.3899 | 20.7531 | 5.4452 | 4.9647 | 5.3279 | 9.6783 | 7.3156 |
| 20A | 1 | 15.9983 | 18.8999 | 18.6600 | 18.8747 | 2.9016 | 2.6617 | 2.8764 | 9.0130 | 8.0663 |
| | 2 | 15.2544 | 19.2058 | 18.8306 | 19.0797 | 3.9514 | 3.5762 | 3.8253 | 10.4916 | 6.9655 |

ตารางที่ ข.2 แสดงผลของค่าความชื้นของกระถินเทพาส่วนกลางลำต้น

| ต้นกระถิน ตัวอย่างที่ | ส่วน | น้ำหนัก กระป๋อง (g) | น้ำหนักกระป๋อง +ตัวอย่างเปียก (g) | น้ำหนักกระป๋อง +ตัวอย่างแห้ง (g) | น้ำหนักกระป๋อง +ตัวอย่างแห้งที่ สมดุลความชื้น(g) | น้ำหนัก ตัวอย่างเปียก (g) | น้ำหนัก ตัวอย่างแห้ง (g) | น้ำหนักแห้ง หลังสมดุลความ ชื้น(g) | %ความชื้น db | % ความชื้นdb ที่สมดุล ความชื้น |
|--------------------------|------|---------------------------|---|--|--|---------------------------------|--------------------------------|---|-----------------|--------------------------------------|
| 01B | 1 | 15.7930 | 23.8815 | 23.1802 | 23.8264 | 8.0885 | 7.3872 | 8.0334 | 9.4934 | 8.7476 |
| | 2 | 16.3476 | 23.3450 | 22.7077 | 23.1570 | 6.9974 | 6.3601 | 6.8094 | 10.0203 | 7.0644 |
| 02B | 1 | 16.3649 | 21.5094 | 21.0490 | 21.4586 | 5.1445 | 4.6841 | 5.0937 | 9.8290 | 8.7445 |
| | 2 | 16.6585 | 24.9069 | 24.1523 | 24.6893 | 8.2484 | 7.4938 | 8.0308 | 10.0697 | 7.1659 |
| 03B | 1 | 16.3488 | 21.6823 | 21.1923 | 21.6347 | 5.3335 | 4.8435 | 5.2859 | 10.1167 | 9.1339 |
| | 2 | 16.2669 | 21.1035 | 20.5496 | 20.8572 | 4.8366 | 4.2827 | 4.5903 | 12.9334 | 7.1824 |
| 04B | 1 | 16.2617 | 22.1758 | 21.7410 | 22.2431 | 5.9141 | 5.4793 | 5.9814 | 7.9353 | 9.1636 |
| | 2 | 17.6282 | 26.4748 | 25.6645 | 26.2244 | 8.8466 | 8.0363 | 8.5962 | 10.0830 | 6.9671 |
| 05B | 1 | 16.3650 | 21.1322 | 20.5697 | 20.9454 | 4.7672 | 4.2047 | 4.5804 | 13.3779 | 8.9352 |
| | 2 | 16.2933 | 21.0897 | 20.6077 | 20.9264 | 4.7964 | 4.3144 | 4.6331 | 11.1719 | 7.3869 |
| 06B | 1 | 16.3355 | 21.7664 | 21.2843 | 21.7359 | 5.4309 | 4.9488 | 5.4004 | 9.7418 | 9.1254 |
| | 2 | 15.1262 | 21.5445 | 20.9304 | 21.3754 | 6.4183 | 5.8042 | 6.2492 | 10.5803 | 7.6669 |
| 07B | 1 | 17.8505 | 22.3804 | 22.0117 | 22.3830 | 4.5299 | 4.1612 | 4.5325 | 8.8604 | 8.9229 |
| | 2 | 15.1132 | 20.4456 | 19.9920 | 20.3303 | 5.3324 | 4.8788 | 5.2171 | 9.2974 | 6.9341 |
| 08B | 1 | 15.0328 | 19.2588 | 18.8792 | 19.2214 | 4.2260 | 3.8464 | 4.1886 | 9.8690 | 8.8966 |
| | 2 | 15.3084 | 19.2950 | 18.9138 | 19.1887 | 3.9866 | 3.6054 | 3.8803 | 10.5730 | 7.6247 |
| 09B | 1 | 18.1484 | 21.8534 | 21.5331 | 21.8233 | 3.7050 | 3.3847 | 3.6749 | 9.4632 | 8.5739 |
| | 2 | 15.5093 | 20.3935 | 19.9408 | 20.2437 | 4.8842 | 4.4315 | 4.7344 | 10.2155 | 6.8352 |
| 10B | 1 | 14.8720 | 19.6521 | 19.2696 | 19.6598 | 4.7801 | 4.3976 | 4.7878 | 8.6979 | 8.8730 |
| | 2 | 16.6208 | 23.5657 | 22.9833 | 23.4117 | 6.9449 | 6.3625 | 6.7909 | 9.1536 | 6.7332 |

ตารางที่ ข.2 แสดงผลของค่าความชื้นของกระถินเทพาส่วนกลางลำต้น (ต่อ)

| ต้นกระถิน ตัวอย่างที่ | ส่วน | น้ำหนัก กระป๋อง (g) | น้ำหนักกระป๋อง +ตัวอย่างเปียก (g) | น้ำหนักกระป๋อง +ตัวอย่างแห้ง (g) | น้ำหนักกระป๋อง +ตัวอย่างแห้งที่ สมดุลความชื้น(g) | น้ำหนัก ตัวอย่างเปียก (g) | น้ำหนัก ตัวอย่างแห้ง (g) | น้ำหนักแห้ง หลังสมดุลความ ชื้น(g) | %ความชื้น db | % ความชื้นdb ที่สมดุล ความชื้น |
|--------------------------|------|---------------------------|---|--|--|---------------------------------|--------------------------------|---|-----------------|--------------------------------------|
| 11B | 1 | 15.5645 | 21.1711 | 20.7201 | 21.1755 | 5.6066 | 5.1556 | 5.6110 | 8.7478 | 8.8331 |
| | 2 | 16.4613 | 23.5717 | 22.9834 | 23.4197 | 7.1104 | 6.5221 | 6.9584 | 9.0201 | 6.6896 |
| 12B | 1 | 15.3780 | 19.3913 | 19.0349 | 19.3554 | 4.0133 | 3.6569 | 3.9774 | 9.7460 | 8.7643 |
| | 2 | 15.7947 | 20.4388 | 20.0110 | 20.2908 | 4.6441 | 4.2163 | 4.4961 | 10.1463 | 6.6362 |
| 13B | 1 | 15.4974 | 19.4928 | 19.1689 | 19.4985 | 3.9954 | 3.6715 | 4.0011 | 8.8220 | 8.9773 |
| | 2 | 15.5722 | 20.8476 | 20.4014 | 20.7390 | 5.2754 | 4.8292 | 5.1668 | 9.2396 | 6.9908 |
| 14B | 1 | 15.3505 | 20.3570 | 19.9124 | 20.3194 | 5.0065 | 4.5619 | 4.9689 | 9.7459 | 8.9217 |
| | 2 | 15.5481 | 21.3408 | 20.8061 | 21.1936 | 5.7927 | 5.2580 | 5.6455 | 10.1693 | 7.3697 |
| 15B | 1 | 14.8085 | 18.8099 | 18.4947 | 18.8011 | 4.0014 | 3.6862 | 3.9926 | 8.5508 | 8.3121 |
| | 2 | 18.4582 | 24.1099 | 23.6121 | 23.9629 | 5.6517 | 5.1539 | 5.5047 | 9.6587 | 6.8065 |
| 16B | 1 | 15.5418 | 19.2369 | 18.9075 | 19.1897 | 3.6951 | 3.3657 | 3.6479 | 9.7870 | 8.3846 |
| | 2 | 15.5492 | 18.8871 | 18.5491 | 18.7638 | 3.3379 | 2.9999 | 3.2146 | 11.2670 | 7.1569 |
| 17B | 1 | 15.3549 | 18.6346 | 18.3490 | 18.6002 | 3.2797 | 2.9941 | 3.2453 | 9.5388 | 8.3898 |
| | 2 | 15.4847 | 20.5523 | 20.0730 | 20.3835 | 5.0676 | 4.5883 | 4.8988 | 10.4461 | 6.7672 |
| 18B | 1 | 15.4081 | 19.3751 | 19.0474 | 19.3538 | 3.9670 | 3.6393 | 3.9457 | 9.0045 | 8.4192 |
| | 2 | 15.9068 | 21.6018 | 21.0924 | 21.4479 | 5.6950 | 5.1856 | 5.5411 | 9.8234 | 6.8555 |
| 19B | 1 | 16.0772 | 20.0740 | 19.7588 | 20.0780 | 3.9968 | 3.6816 | 4.0008 | 8.5615 | 8.6701 |
| | 2 | 14.8984 | 19.8522 | 19.4293 | 19.7474 | 4.9538 | 4.5309 | 4.8490 | 9.3337 | 7.0207 |
| 20B | 1 | 18.0232 | 21.3284 | 21.0473 | 21.2973 | 3.3052 | 3.0241 | 3.2741 | 9.2953 | 8.2669 |
| | 2 | 15.0644 | 19.5576 | 19.1413 | 19.4153 | 4.4932 | 4.0769 | 4.3509 | 10.2112 | 6.7208 |

ตารางที่ ข.3 แสดงผลของค่าความชื้นของกระถินเทพาส่วนปลายลำต้น

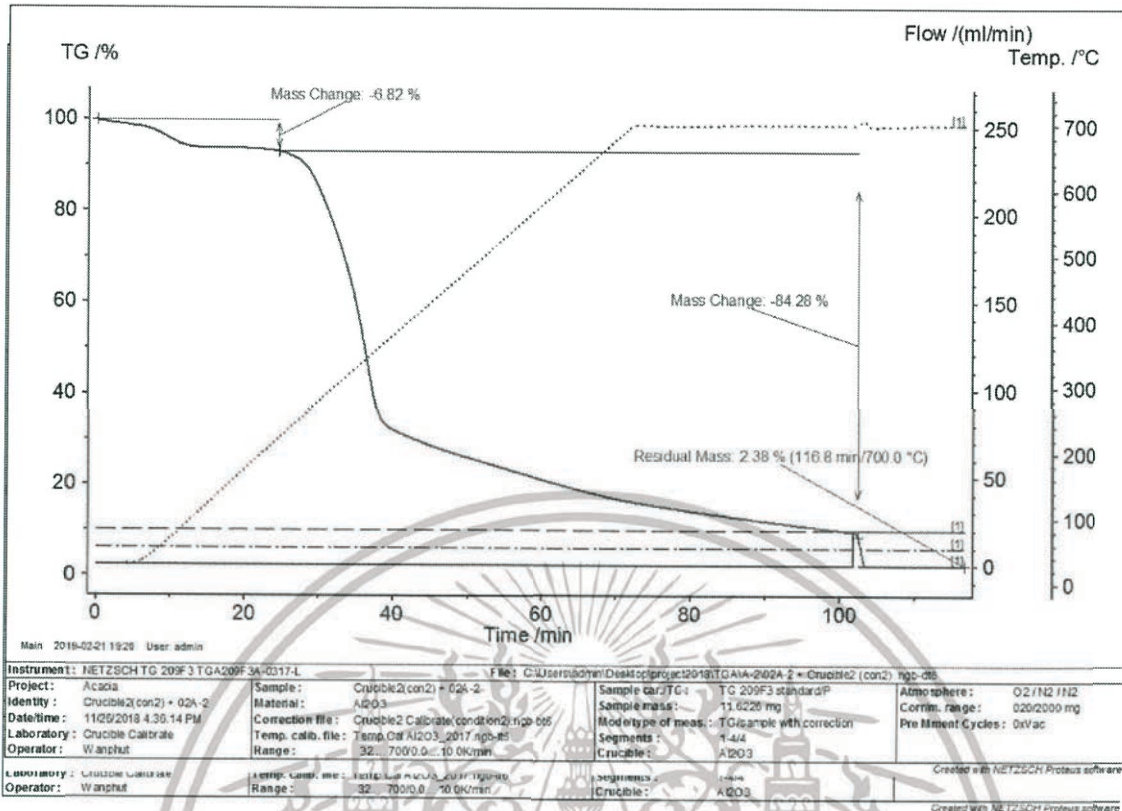
| ต้นกระถิน ตัวอย่างที่ | ส่วน | น้ำหนักกระป๋อง (g) | น้ำหนักกระป๋อง +ตัวอย่างเปียก (g) | น้ำหนักกระป๋อง +ตัวอย่างแห้ง (g) | น้ำหนักกระป๋อง +ตัวอย่างแห้งที่ สมดุลความชื้น(g) | น้ำหนัก ตัวอย่าง เปียก(g) | น้ำหนัก ตัวอย่างแห้ง (g) | น้ำหนักแห้ง หลังสมดุล ความชื้น(g) | %ความชื้น db | % ความชื้นdb ที่สมดุล ความชื้น |
|--------------------------|------|-----------------------|---|--|--|---------------------------------|--------------------------------|---|-----------------|--------------------------------------|
| 01C | 1 | 16.4036 | 23.7222 | 23.0666 | 23.6658 | 7.3186 | 6.6630 | 7.2622 | 9.8394 | 8.9929 |
| | 2 | 15.8426 | 22.8204 | 22.1635 | 22.6119 | 6.9778 | 6.3209 | 6.7693 | 10.3925 | 7.0939 |
| 02C | 1 | 16.4185 | 21.2676 | 20.8457 | 21.2294 | 4.8491 | 4.4272 | 4.8109 | 9.5297 | 8.6669 |
| | 2 | 16.2694 | 23.6936 | 23.0255 | 23.5108 | 7.4242 | 6.7561 | 7.2414 | 9.8888 | 7.1831 |
| 03C | 1 | 16.1660 | 22.9256 | 22.3301 | 22.8837 | 6.7596 | 6.1641 | 6.7177 | 9.6608 | 8.9810 |
| | 2 | 16.5085 | 23.6913 | 23.0369 | 23.4913 | 7.1828 | 6.5284 | 6.9828 | 10.0239 | 6.9604 |
| 04C | 1 | 16.7313 | 23.8235 | 23.2167 | 23.7940 | 7.0922 | 6.4854 | 7.0627 | 9.3564 | 8.9015 |
| | 2 | 18.0522 | 24.8396 | 24.2357 | 24.6727 | 6.7874 | 6.1835 | 6.6205 | 9.7663 | 7.0672 |
| 05C | 1 | 17.5821 | 23.5419 | 22.9797 | 23.4686 | 5.9598 | 5.3976 | 5.8865 | 10.4157 | 9.0577 |
| | 2 | 16.2690 | 22.5019 | 21.9154 | 22.3209 | 6.2329 | 5.6464 | 6.0519 | 10.3871 | 7.1816 |
| 06C | 1 | 16.3189 | 23.0736 | 22.4979 | 23.0579 | 6.7547 | 6.1790 | 6.7390 | 9.3170 | 9.0630 |
| | 2 | 16.6213 | 21.8231 | 21.3630 | 21.7239 | 5.2018 | 4.7417 | 5.1026 | 9.7033 | 7.6112 |
| 07C | 1 | 15.1308 | 20.2789 | 19.8531 | 20.2802 | 5.1481 | 4.7223 | 5.1494 | 9.0168 | 9.0443 |
| | 2 | 15.4286 | 20.4775 | 20.0449 | 20.3680 | 5.0489 | 4.6163 | 4.9394 | 9.3711 | 6.9991 |
| 08C | 1 | 15.5760 | 19.5338 | 19.1781 | 19.4961 | 3.9578 | 3.6021 | 3.9201 | 9.8748 | 8.8282 |
| | 2 | 15.1065 | 18.4300 | 18.1100 | 18.3169 | 3.3235 | 3.0035 | 3.2104 | 10.6542 | 6.8886 |
| 09C | 1 | 15.4895 | 19.5051 | 19.1432 | 19.4651 | 4.0156 | 3.6537 | 3.9756 | 9.9050 | 8.8102 |
| | 2 | 15.5591 | 19.9730 | 19.5552 | 19.8314 | 4.4139 | 3.9961 | 4.2723 | 10.4552 | 6.9117 |
| 10C | 1 | 18.2782 | 21.1434 | 20.8903 | 21.1172 | 2.8652 | 2.6121 | 2.8390 | 9.6895 | 8.6865 |
| | 2 | 16.3343 | 21.1774 | 20.7123 | 21.0169 | 4.8431 | 4.3780 | 4.6826 | 10.6236 | 6.9575 |

ตารางที่ ข.3 แสดงผลของค่าความชื้นของกระถินเทพาส่วนปลายลำต้น (ต่อ)

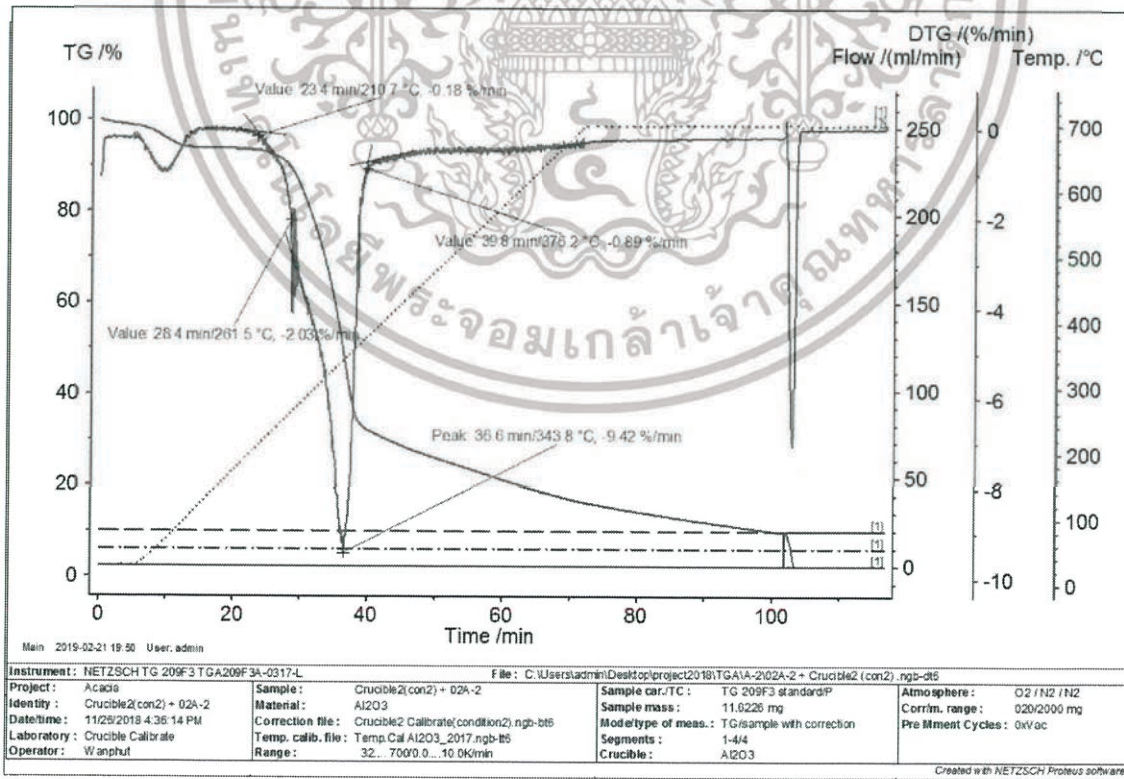
| ต้นกระถิน ตัวอย่างที่ | ส่วน | น้ำหนักกระป๋อง (g) | น้ำหนักกระป๋อง +ตัวอย่างเปียก (g) | น้ำหนักกระป๋อง +ตัวอย่างแห้ง (g) | น้ำหนักกระป๋อง +ตัวอย่างแห้งที่ สมดุลความชื้น(g) | น้ำหนัก ตัวอย่าง เปียก(g) | น้ำหนัก ตัวอย่างแห้ง (g) | น้ำหนักแห้ง หลังสมดุล ความชื้น(g) | %ความชื้น db | % ความชื้นdb ที่สมดุล ความชื้น |
|--------------------------|------|-----------------------|---|--|--|---------------------------------|--------------------------------|---|-----------------|--------------------------------------|
| 11C | 1 | 14.8065 | 20.0389 | 19.6183 | 20.0448 | 5.2324 | 4.8118 | 5.2383 | 8.7410 | 8.8636 |
| | 2 | 16.3214 | 21.8974 | 21.4332 | 21.7813 | 5.5760 | 5.1118 | 5.4599 | 9.0809 | 6.8097 |
| 12C | 1 | 15.8800 | 21.3529 | 20.9084 | 21.3536 | 5.4729 | 5.0284 | 5.4736 | 8.8398 | 8.8537 |
| | 2 | 15.2107 | 20.9510 | 20.4678 | 20.8215 | 5.7403 | 5.2571 | 5.6108 | 9.1914 | 6.7280 |
| 13C | 1 | 14.9367 | 18.2686 | 17.9998 | 18.2724 | 3.3319 | 3.0631 | 3.3357 | 8.7754 | 8.8995 |
| | 2 | 17.9360 | 22.4337 | 22.0507 | 22.3365 | 4.4977 | 4.1147 | 4.4005 | 9.3081 | 6.9458 |
| 14C | 1 | 15.1340 | 17.8801 | 17.6383 | 17.8571 | 2.7461 | 2.5043 | 2.7231 | 9.6554 | 8.7370 |
| | 2 | 15.5770 | 19.8148 | 19.4071 | 19.6908 | 4.2378 | 3.8301 | 4.1138 | 10.6446 | 7.4071 |
| 15C | 1 | 15.8436 | 21.2293 | 20.8145 | 21.2343 | 5.3857 | 4.9709 | 5.3907 | 8.3446 | 8.4452 |
| | 2 | 15.5561 | 21.6160 | 21.1271 | 21.5017 | 6.0599 | 5.5710 | 5.9456 | 8.7758 | 6.7241 |
| 16C | 1 | 15.6044 | 18.5928 | 18.3396 | 18.5685 | 2.9884 | 2.7352 | 2.9641 | 9.2571 | 8.3687 |
| | 2 | 16.6331 | 21.0207 | 20.6038 | 20.8852 | 4.3876 | 3.9707 | 4.2521 | 10.4994 | 7.0869 |
| 17C | 1 | 15.5854 | 19.2770 | 18.9734 | 19.2614 | 3.6916 | 3.3880 | 3.6760 | 8.9610 | 8.5006 |
| | 2 | 15.1777 | 22.2278 | 21.5868 | 22.0273 | 7.0501 | 6.4091 | 6.8496 | 10.0014 | 6.8730 |
| 18C | 1 | 14.7065 | 19.7452 | 19.3246 | 19.7199 | 5.0387 | 4.6181 | 5.0134 | 9.1076 | 8.5598 |
| | 2 | 15.4282 | 20.6598 | 20.1965 | 20.5268 | 5.2316 | 4.7683 | 5.0986 | 9.7163 | 6.9270 |
| 19C | 1 | 15.6123 | 19.9301 | 19.5840 | 19.9277 | 4.3178 | 3.9717 | 4.3154 | 8.7142 | 8.6537 |
| | 2 | 15.2329 | 19.4747 | 19.1136 | 19.3817 | 4.2418 | 3.8807 | 4.1488 | 9.3050 | 6.9085 |
| 20C | 1 | 14.8812 | 17.9306 | 17.6828 | 17.9102 | 3.0494 | 2.8016 | 3.0290 | 8.8449 | 8.1168 |
| | 2 | 15.3936 | 18.8986 | 18.5853 | 18.7983 | 3.5050 | 3.1917 | 3.4047 | 9.8161 | 6.6736 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Thermogravimetric analyzer



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 แสดงค่าองค์ประกอบเชิงปริมาณของกระถินเทพา

| ตัวอย่าง | MC | VM | Ash | FC |
|----------|------|-------|------|------|
| 01A-2 | 7.62 | 82.39 | 0.73 | 9.26 |
| 02A-2 | 6.82 | 84.28 | 2.38 | 6.52 |
| 03A-2 | 5.63 | 85.8 | 1.1 | 7.47 |
| 04A-2 | 7.75 | 86.87 | 0.94 | 4.44 |
| 05A-2 | 7.92 | 80.95 | 8.29 | 2.84 |
| 06A-2 | 6.92 | 84.02 | 0.87 | 8.19 |
| 07A-2 | 6.06 | 86.32 | 2.51 | 5.11 |
| 08A-2 | 8.05 | 83.8 | 1.06 | 7.09 |
| 09A-2 | 6.84 | 88.44 | 0.69 | 4.03 |
| 10A-2 | 5.42 | 87.66 | 0.02 | 6.9 |
| 11A-2 | 5.75 | 86.06 | 0.19 | 8 |
| 12A-2 | 8.24 | 83.91 | 0.08 | 7.77 |
| 13A-2 | 8.12 | 85.4 | 0.22 | 6.26 |
| 14A-2 | 7.05 | 81.97 | 1.73 | 9.25 |
| 15A-2 | 7 | 88.46 | 1.32 | 3.22 |
| 16A-2 | 8.35 | 83.51 | 1.09 | 7.05 |
| 17A-2 | 6.99 | 84.05 | 6.94 | 2.02 |
| 18A-2 | 7.59 | 88.88 | 0.06 | 3.47 |
| 19A-2 | 4.1 | 84.29 | 3.93 | 7.68 |
| 20A-2 | 5.97 | 86.89 | 1.12 | 6.02 |
| mean | 6.91 | 85.20 | 1.76 | 6.13 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 อัตราการสลายตัวและอุณหภูมิที่ใช้ในการสลายตัวของกระถินเทพา

| ตัวอย่าง | T _{onset} (°C) | Hemicellulose | | Cellulose | | T _{offset} (°C) |
|----------|-------------------------|------------------------------|----------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------|
| | | (dm/dt) _{sh} (%min) | T _{sh} (°C) | (dm/dt) _{peak} (%min) | T _{peak} (°C) | |
| 01A-2 | 216.8 | 2.07 | 262.5 | 9.8 | 350.9 | 382.3 |
| 02A-2 | 210.7 | 2.03 | 261.5 | 9.42 | 343.8 | 376.2 |
| 03A-2 | 207.6 | 2.05 | 261.5 | 8.9 | 349.2 | 380.3 |
| 04A-2 | 0.13 | 2.17 | 262.4 | 8.9 | 337.2 | 369.2 |
| 05A-2 | 211.7 | 1.95 | 260.4 | 7.99 | 345.3 | 378.2 |
| 06A-2 | 216.8 | 2.24 | 262.5 | 9.5 | 340.9 | 372.2 |
| 07A-2 | 209.6 | 2.14 | 263.5 | 10.28 | 351.3 | 383.2 |
| 08A-2 | 211.7 | 2.23 | 265.5 | 9.95 | 342.9 | 374.2 |
| 09A-2 | 210.7 | 2.18 | 263.5 | 9.81 | 346 | 374.3 |
| 10A-2 | 216.9 | 1.95 | 261.5 | 10.06 | 353.2 | 381.3 |
| 11A-2 | 211.8 | 1.93 | 262.6 | 8.37 | 356.7 | 383.3 |
| 12A-2 | 213.7 | 1.95 | 264.5 | 10.57 | 359.3 | 382.3 |
| 13A-2 | 213.7 | 2.07 | 268.6 | 10.58 | 351 | 383.3 |
| 14A-2 | 211.7 | 1.63 | 256.4 | 8.558 | 331.9 | 379.2 |
| 15A-2 | 211.6 | 2.1 | 264.5 | 9.6 | 352.3 | 377.3 |
| 17A-2 | 219.9 | 1.76 | 265.5 | 11.6 | 360.2 | 382.3 |
| 18A-2 | 209.6 | 1.95 | 262.5 | 8.29 | 355.5 | 382.3 |
| 19A-2 | 211.6 | 2.3 | 266.5 | 8.91 | 342.1 | 383.2 |
| 20A-2 | 216.9 | 2.51 | 265.6 | 11.39 | 352.6 | 378.3 |
| mean | 211.9 | 2.1 | 264.5 | 10.1 | 350.4 | 380.1 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่อง Bomb Calorimeter

การคาร์ิเบรทเครื่อง Bomb Calorimeter system c200

1. ต้องเอาน้ำในเครื่องออกให้หมด

1.1 โดยเปลี่ยนสายยางไปรูกลาง (Tank) เพื่อเอาน้ำออกให้หมด ดังรูปที่ ง1



รูปที่ ง1

1.2 หมุนฝาปิด Filter ไปในทิศทางเข็มนาฬิกาเพื่อเอาออกดังรูปที่ ง2 และรอให้น้ำไหลออกให้หมด



รูปที่ ง2

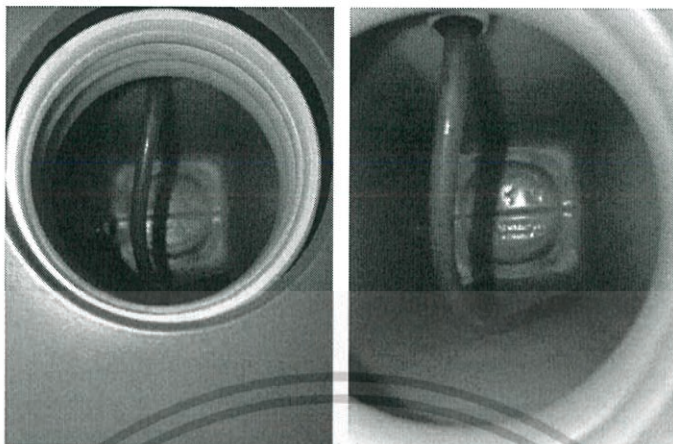
1.3 ดึง Filter ออกและนำไปทำความสะอาดด้วยน้ำเปล่าดังรูปที่ ง3 และใส่กลับไปให้เต็มปิดฝาให้เรียบร้อย



รูปที่ ง3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ทำความสะอาดบริเวณที่ใส่น้ำให้สะอาดดังรูปที่ ง4



รูปที่ ง4

2.ผสมน้ำคาร์บริเบรทใสในถังที่สะอาดโดยที่น้ำ AQUA-PRO 2 มิลลิลิตร : น้ำกลั่น 1 ลิตร ตามที่ต้องการดังรูปที่ ง5

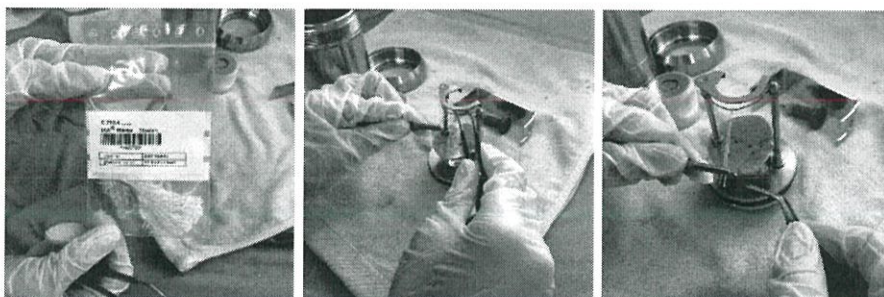


รูปที่ ง5

3.นำน้ำที่ผสมแล้วไปแช่เย็นจนมีอุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส ถึง 23 องศาเซลเซียส

4.เมื่ออุณหภูมิตามที่ต้องการแล้วนำไปคาร์บริเบรทที่เครื่อง

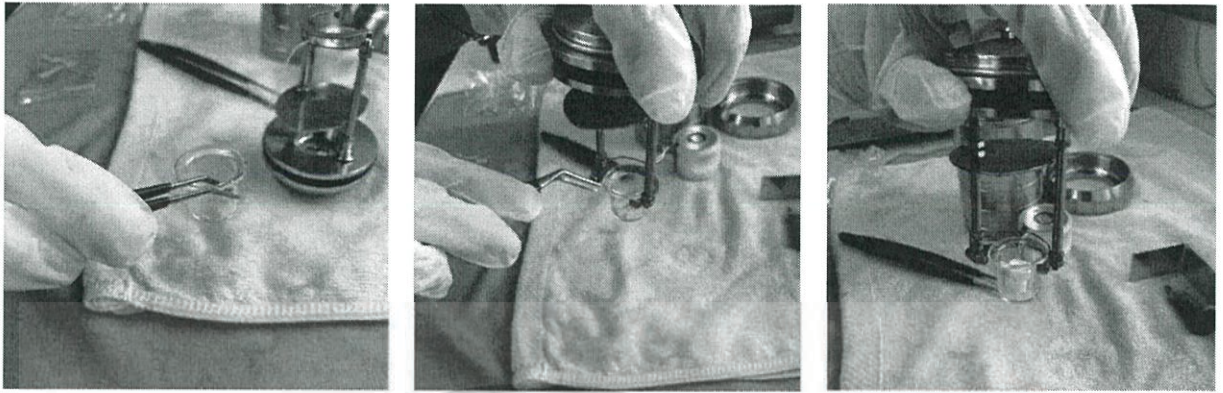
4.1 ผูกด้ายกับลวดจุดฉนวนโดยด้ายต้องอยู่กึ่งกลางลวดและมีความยาวเท่ากันดังรูปที่ ง6



รูปที่ ง6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4.2 นำถ้วย crucible สำหรับคาร์บริเบรทวางลงบนชุดและนำเม็ด Benzoic acid จำนวน 2 เม็ด (เม็ดละ 0.5 กรัม) ใส่ในถ้วยและต้องห้อยอยู่บนปลายทั้ง 2 ของเส้นด้ายดังรูปที่ ๗



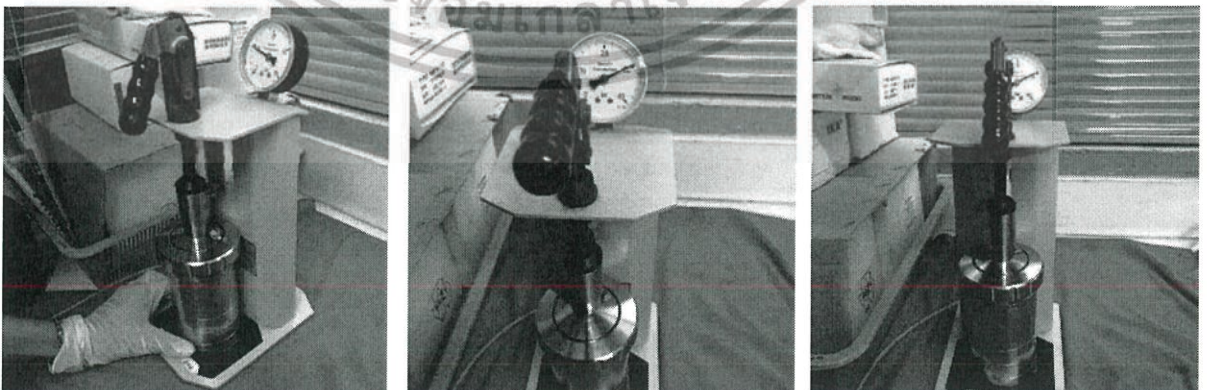
รูปที่ ๗

- 4.3 นำวัสดุใส่ในเวสเซลและปิดฝาให้เรียบร้อยดังรูปที่ ๘



รูปที่ ๘

- 4.4 นำไปเวสเซลไปอัดแก๊สออกซิเจน 30 bar เป็นเวลา 30 วินาทีดังรูปที่ 9



รูปที่ ๙

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ปิดฝาจุดฉนวนดังรูปที่ ง10



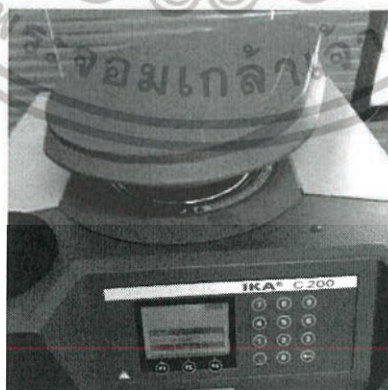
รูปที่ ง10

4.6 นำเวสเซลเข้าเครื่อง Bomb Calorimeter system c200 ดังรูปที่ ง11



รูปที่ ง11

4.7 ปิดฝาเครื่อง Bomb Calorimeter system c200 ดังรูปที่ ง12



รูปที่ ง12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4.8 นำน้ำที่มีการผสมไว้ใส่ลงไปในเครื่อง ในครั้งแรกต้องมีการเติมน้ำให้มากเพื่อที่จะได้น้ำหล่ออยู่ในเครื่อง (ต้องรักษาอุณหภูมิให้ไม่เกิน 25 องศาเซลเซียส) ดังรูปที่ ง13



รูปที่ ง13

- 4.9 กด F3 (Menu) เพื่อตั้งค่าดังรูปที่ ง14



รูปที่ ง14

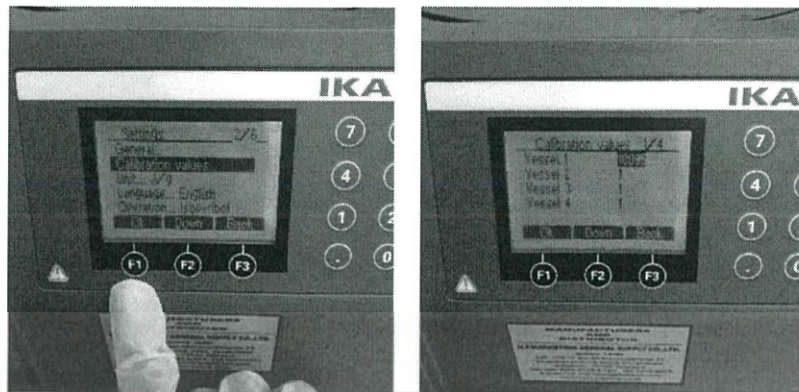
- 4.9.1 กด F1 General = 26461 J/g (ค่าความร้อนของ Benzoic acid อยู่ทางด้านหลังของแผงดังรูปที่ ง15



รูปที่ ง15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9.2 Calibration values : Vessel 1 = 10095 (ถ้าหากเป็นการปรับค่าครั้งแรกให้ตั้งเป็นค่าเดิมที่เครื่องมี เมื่อปรับเสร็จค่อยนำมาใส่) ดังรูปที่ ง16



รูปที่ ง16

4.9.3 Unit = J/g ดังรูปที่ ง16

4.9.4 Operation = isoperibo ดังรูปที่ ง17



รูปที่ ง17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.10 กด F2 (Prepare) เพื่อตั้งค่าต่างๆ ดังนี้

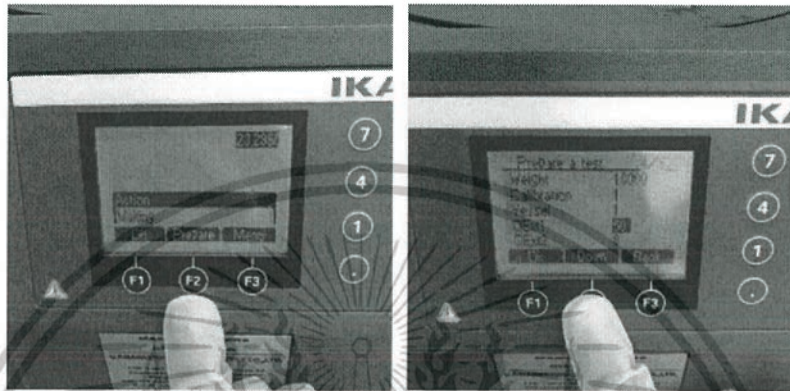
4.10.1 Weight = 1 g

4.10.2 Calibration = 1 รูปที่ ง18

4.10.3 Vessel = 1

4.10.4 QExt1 = 50 J (ค่าความร้อนของเส้นด้าย)

4.10.5 QExt2 = 0



รูปที่ ง18

4.11 กด F1 เพื่อ Ok ดังรูปที่ ง19



รูปที่ ง19

4.12 เครื่องจะถามเราว่า Storage filled? ให้กด F1 เพื่อ Continue ดังรูปที่ ง20



รูปที่ ง20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.13 เครื่องจะถามเราอีกว่า Vessel closed safety? กด F1 เพื่อดำเนินการต่อดังรูปที่ ง21



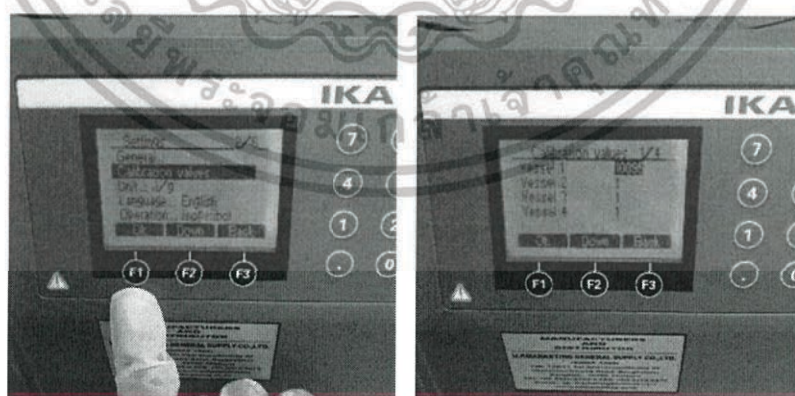
รูปที่ ง21

4.14 เครื่องจะทำงานและได้ค่าความร้อนของเวสเซลออกมาเป็นหน่วย J/k ดังรูปที่ ง22



รูปที่ ง22

4.15 ให้ทำซ้ำข้อ 4.1 – 4.14 เพื่อดูค่าความร้อนว่าใกล้เคียงกันหรือไม่ถ้าหากใกล้เคียงกันแล้วให้ใช้ค่าเฉลี่ย เมื่อได้ค่าความร้อนแล้วให้นำไปใส่ในข้อ 4.9.3 ดังรูปที่ ง23

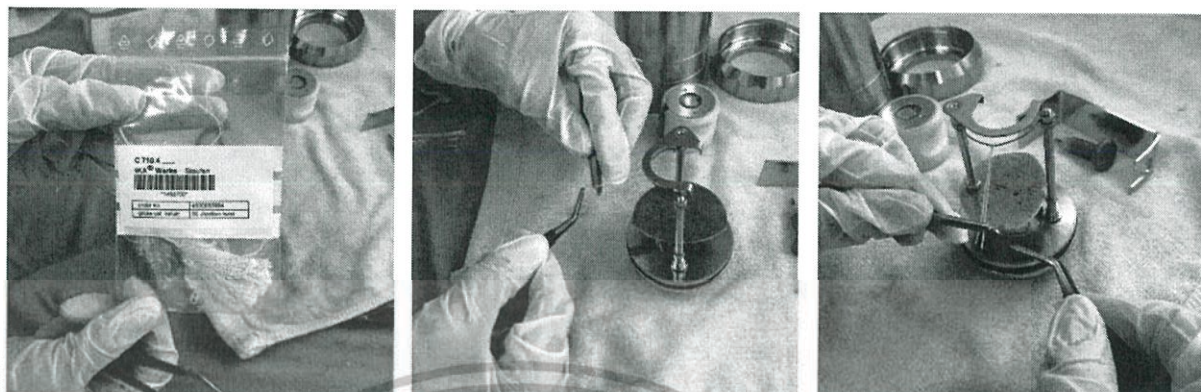


รูปที่ ง23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดค่าความร้อนของวัสดุด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter system c200

1. ผูกด้ายกับลวดจุดฉนวนโดยด้ายต้องอยู่กึ่งกลางลวดและมีความยาวเท่ากันดังรูปที่ ง24



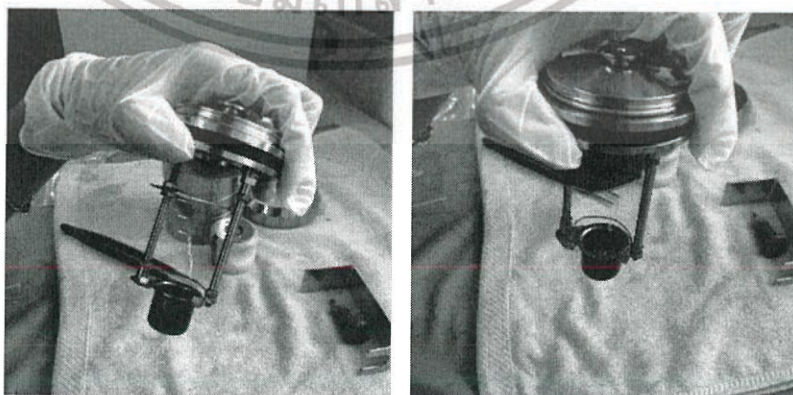
รูปที่ ง24

2. ชั่งชิวมวลที่ต้องการดังรูปที่ ง25



รูปที่ ง25

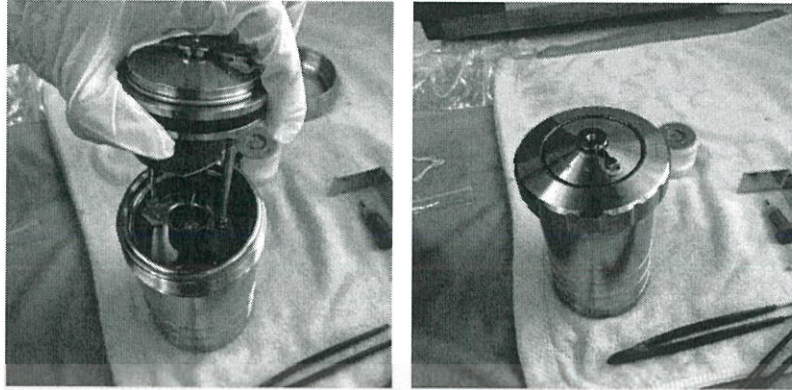
3. นำถ้วย crucible วางลงบนชุดและนำเม็ดชิวมวลที่ต้องการใส่ในถ้วยโดยเม็ดชิวมวลต้องทับอยู่บนปลายทั้ง 2 ของเส้นด้ายดังรูปที่ ง26



รูปที่ ง26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำวัสดุใส่ในเวสเซลและปิดฝาให้เรียบร้อยดังรูปที่ ง27



รูปที่ ง27

5. นำไปเวสเซลไปอัดแก๊สออกซิเจน 30 bar เป็นเวลา 30 วินาทีดังรูปที่ ง28



รูปที่ ง28

6. ปิดฝาจุดฉนวนดังรูปที่ ง29



รูปที่ ง29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. นำเวสเซลเข้าเครื่อง Bomb Calorimeter system c200 ดังรูปที่ ง30



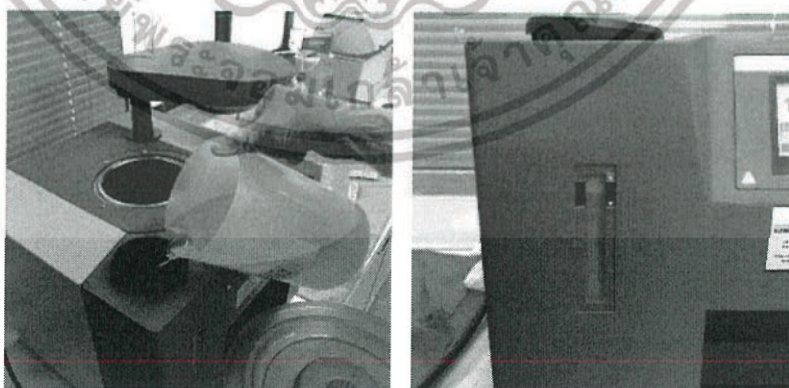
รูปที่ ง30

8. ปิดฝาเครื่อง Bomb Calorimeter system c200 ดังรูปที่ ง31



รูปที่ ง31

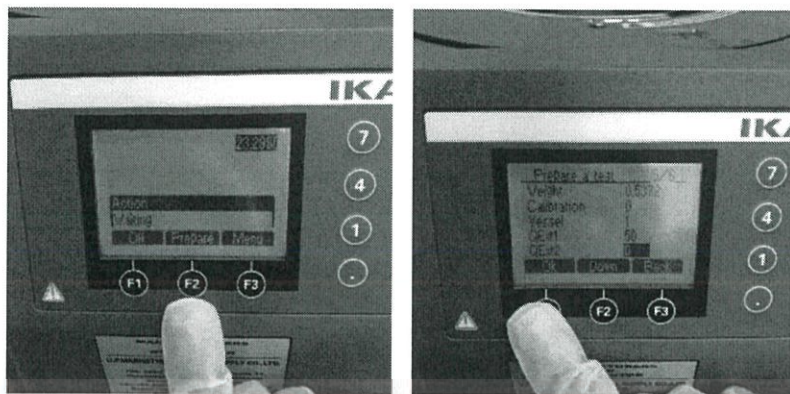
9. นำน้ำที่ได้มีการคาร์ิเบรทแล้วใส่ลงไปในเครื่องให้ระดับอยู่ระหว่างขีด MAX และ MIN (ต้องรักษาอุณหภูมิให้ไม่เกิน 25 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ ง32



รูปที่ ง32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. กด F2 เพื่อทำการ Prepare และตั้งค่าต่าง ๆ ดังรูปที่ ง33



รูปที่ ง33

10.1 Weight = 0.5372 g (ตามที่ขังไว้ในข้อ 2)

10.2 Calibration = 0

10.3 Vessel = 1

10.4 QExt1 = 50 J (ค่าความร้อนของเส้นด้าย)

10.5 QExt2 = 0

11. กด F1 เพื่อ Ok ดังรูปที่ ง34



รูปที่ ง34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. เครื่องจะถามเราว่า Storage filled? ให้กด F1 เพื่อ Continue ดังรูปที่ ง35



รูปที่ ง35

13. เครื่องจะถามเราอีกว่า Vessel closed safety? กด F1 เพื่อดำเนินการต่อดังรูปที่ ง36



รูปที่ ง36

14. เครื่องจะทำงานและได้ค่าความร้อนสูงของชีวมวลออกมาเป็นหน่วย J/g ดังรูปที่ ง37



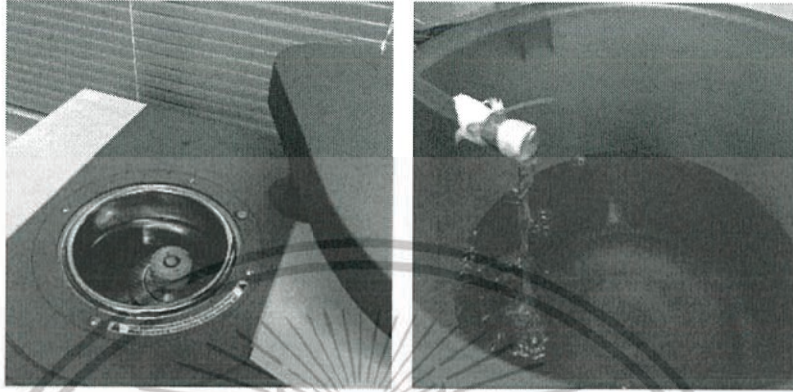
รูปที่ ง37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการดูแลทำความสะอาดเวสเซล

เมื่อทำการ Bomb หาค่าความร้อนเรียบร้อยแล้วให้ทำความสะอาดเวสเซลทุกครั้งและต้องเช็ดให้แห้งสนิทก่อนนำกลับเข้ากล่องทุกครั้ง

1. เปิดฝาเครื่องออกเพื่อให้น้ำไหลเข้าถังคาร์บริเบรตดังรูปที่ ง38



รูปที่ ง38

2. ใช้หัวกดเพื่อทำการกดแก๊สออกดังรูปที่ ง39



รูปที่ ง39

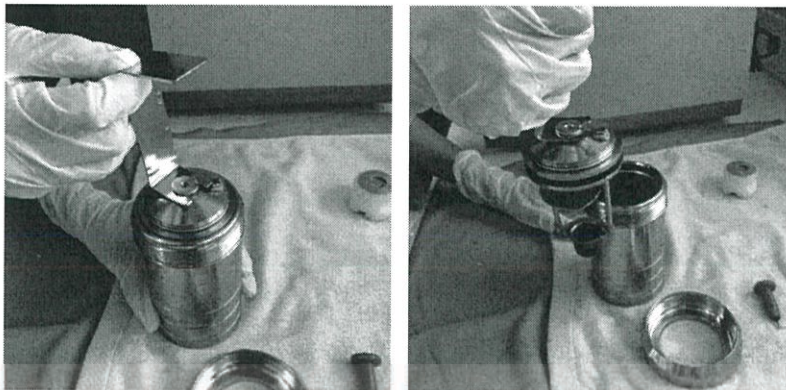
3. หมุนฝาปิดเวสเซลออกดังรูปที่ ง40



รูปที่ ง40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ใช้อุปกรณ์ที่ช่วยในการจับชุดจุดฉนวนออกดังรูปที่ ๔1



รูปที่ ๔1

5. ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่นและเช็ดด้วยกระดาษเช็ดเลนส์ให้สะอาดดังรูปที่ ๔2



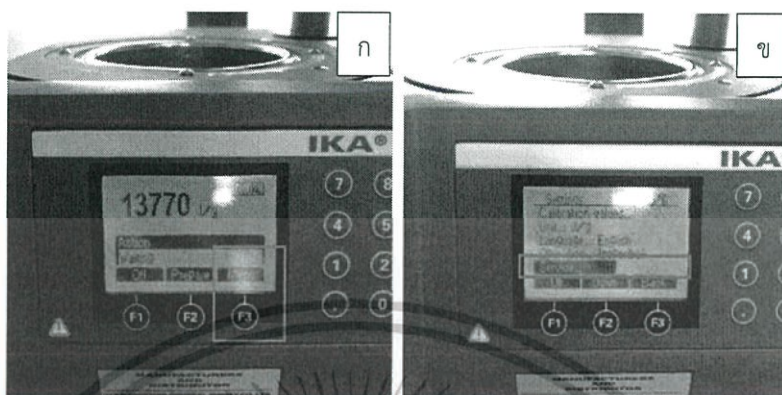
รูปที่ ๔2

6. ต้องมั่นใจว่าอุปกรณ์แห้งสนิทจึงสามารถนำไปเก็บในกล่องได้ ถ้าหากไม่มั่นใจให้ตากไว้ข้างนอกประมาณ 1-2 วันเพื่อรอให้แห้งสนิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การ Drain น้ำออกจากเครื่องให้หมดในกรณีที่หยุดใช้เครื่องเป็นระยะเวลานาน

1. กด Menu ดังรูปที่ ง43 (ก) ตามด้วย กด Service ดังรูปที่ ง43 (ข)



รูปที่ ง43

2. เลื่อนหาเมนู outer vessel จากนั้นจะพบว่าด้านหลัง outer vessel ตามด้วย off ให้กด ok 1 ครั้ง เพื่อเปลี่ยนเป็น on และรอให้น้ำไหลออกจากเครื่องให้หมด (สามารถนำน้ำที่ออกไปกรองด้วยผ้าขาวบางและนำไปใช้ได้) ดังรูปที่ ง44



รูปที่ ง44

3. เมื่อน้ำออกจนหมดให้กด Ok อีก 1 ครั้งเพื่อเปลี่ยนเป็น off ดังรูปที่ ง45



รูปที่ ง45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. กด Back ออกไปยังหน้าปกติและปิดเครื่องได้
5. เมื่อกลับมาใช้เครื่องใหม่จะต้องมีการนำน้ำกลับเข้าไปโดยทำการเปิดเครื่อง Bomb Calorimeter จากนั้นจะพบหน้าจอตั้งรูปที่ ง46 ยังไม่ต้องกดอะไร



รูปที่ ง46

6. เติมน้ำคาร์โบเรทในช่องเติมน้ำให้อยู่ระหว่างขีด min และ max ดังรูปที่ ง47



รูปที่ ง47

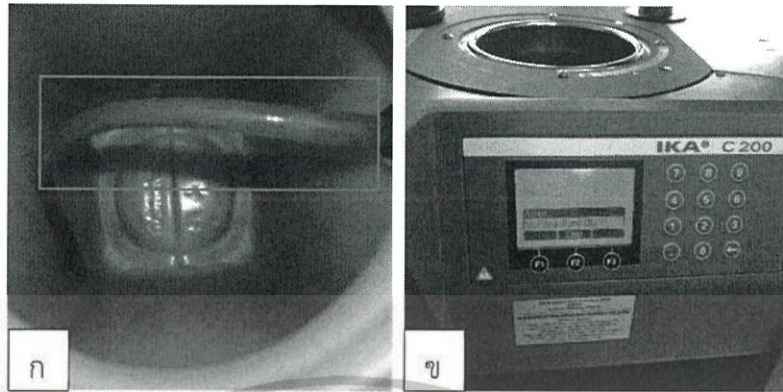
7. กด F2 (1st fill) ดังรูปที่ ง48



รูปที่ ง48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. หลังจากนั้นน้ำจะถูกเติมเข้าไปภายในเครื่อง ให้สังเกตสายยางที่อยู่ในช่องเติมน้ำดังรูปที่ ง49 (ก) ถ้าหากน้ำไหลออกจากสายยางแล้วให้กด F2 (Stop) ดังรูปที่ ง49 (ข)



รูปที่ ง49

9. หลังจากนั้นให้กด Ok เพื่อกลับไปยังหน้าแรก ก็สามารถใช้งานได้ตามปกติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่อง Near Infrared Spectroscopy

1. เปิดเครื่องสำรองไฟจะขึ้นดังรูปที่ จ1



รูปที่ จ1 Bypass Mode

2. เปลี่ยนจาก Bypass Mode ดังรูปที่ จ1 เป็น Inverter Mode ดังรูปที่ โดยการกดปุ่ม on/off ค้างไว้ 2 วินาที

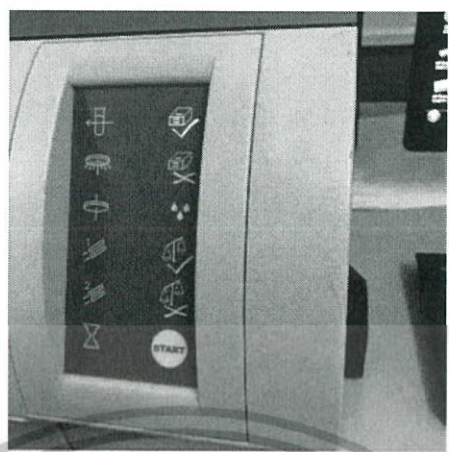


รูปที่ จ2 Inverter Mode

3. เปิด Computer และใส่รหัสเครื่องคือ nirs

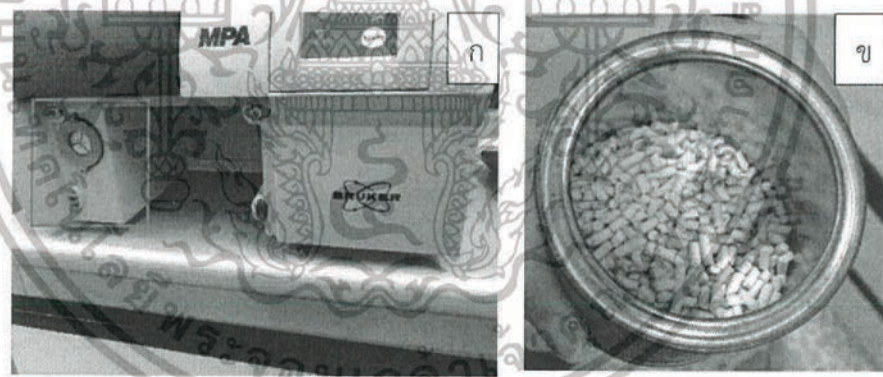
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เปิดเครื่องสแกนโดยกดสวิทช์ด้านหลังถ้าหากเครื่องพร้อมสแกนจะมีลักษณะดังรูปที่ จ3



รูปที่ จ3 เครื่องพร้อมทำงาน

แต่ถ้าหากเครื่องไม่พร้อมทำงานในกรณีที่มีสีขึ้นยังเมนู บ่งบอกถึงเม็ดดูด ความชื้นมีความชื้นมากแล้วให้เปลี่ยนเม็ดดูดความชื้นโดยการไขที่เก็บเม็ดดูดความชื้น บริเวณด้านหน้าเครื่องดังรูปที่ จ4 (ก) และเปลี่ยนเม็ดดูดความชื้นอันใหม่ใส่เข้าไปให้เต็ม ดังรูปที่ จ4 (ข) แต่ถ้าหากขึ้นนอกเหนือจากนี้ให้สอบถามอาจารย์

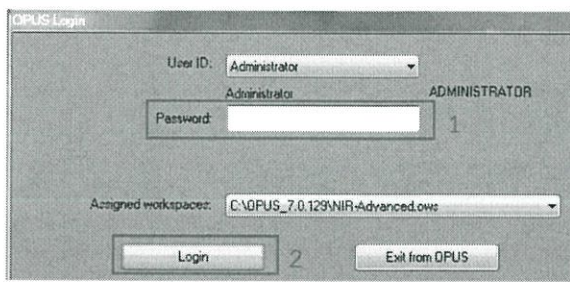


รูปที่ จ4 ที่เก็บเม็ดดูดความชื้นด้านหน้าเครื่อง(ก) เม็ดดูดความชื้น(ข)

เม็ดดูดความชื้นที่เอาออกมาให้นำแยกถุงและนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก็สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก

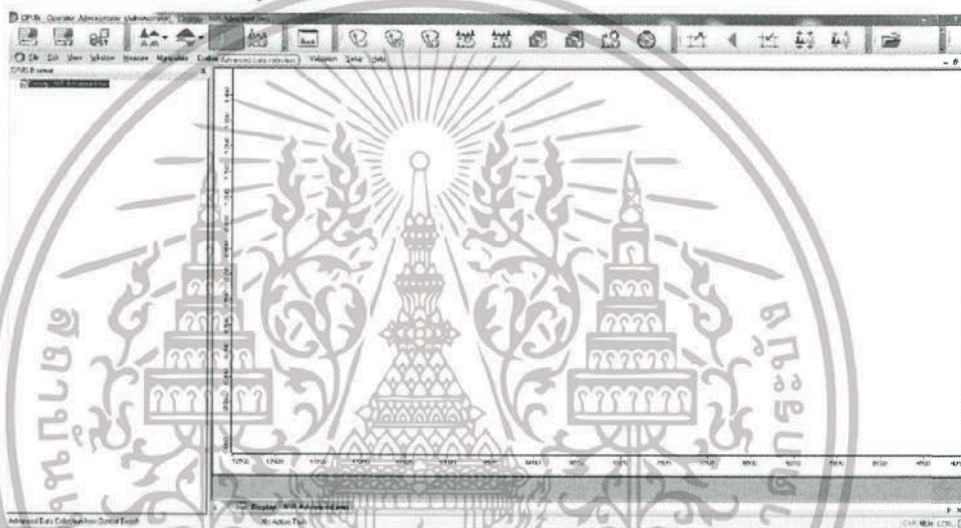
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เข้าโปรแกรม OPUS ใส่ Password : OPUS ดังรูปที่ 5จ (1) แล้วกด Login ดังรูปที่ 5จ (2)



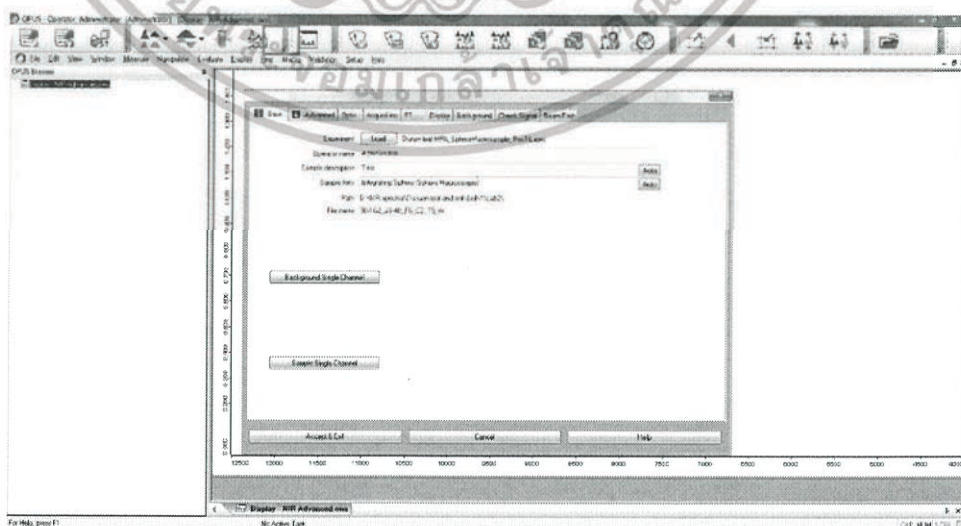
รูปที่ 5จ

6. โปรแกรมจะเปิดขึ้นดังรูปที่ 6จ



รูปที่ 6จ

7. กดเมนู Advanced Data Collection จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 7จ



รูปที่ 7จ

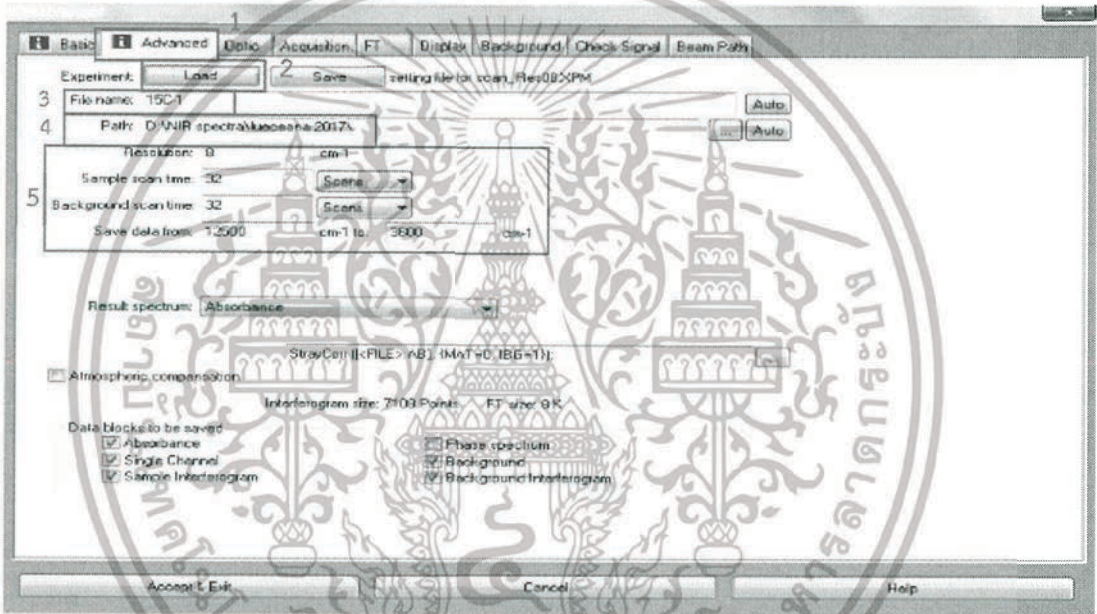
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. กด Advanced ดังรูปที่ จ8 (กรอบสีแดงที่ 1) หลังจากนั้นกด Load (กรอบสีแดงที่ 2) เพื่อโหลดไฟล์สำหรับการตั้งค่าสแกนดังกรอบสีแดงที่ 5 โดยจะปรากฏข้อมูลดังนี้

- Resolution : 8 cm⁻¹ (ความละเอียดที่ละ 8 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 cm⁻¹ (ช่วงจำนวนคลื่นที่ใช้ในการสแกนเท่ากับ 12500 – 3600 cm⁻¹)

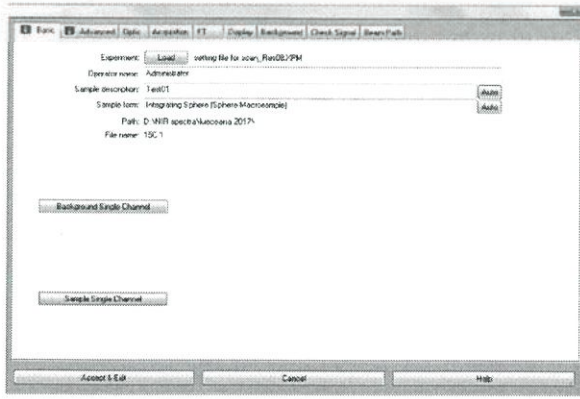
กรอบสีแดงที่ 3 : เปลี่ยนชื่อไฟล์เป็นชื่อตามที่เรากำลังต้องการ

กรอบสีแดงที่ 4 : เลือกที่เก็บไฟล์



รูปที่ จ8

9. กดเมนู Basic ดังรูปที่ จ9



รูปที่ จ9

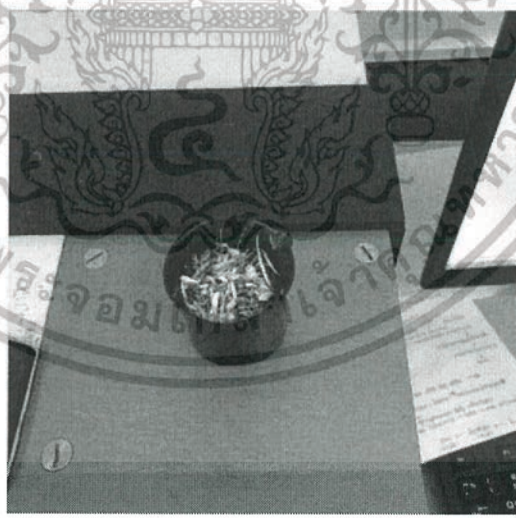
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. กด Background single channel เพื่อทดสอบเครื่องก่อนนำชีวมวลสแกน
11. นำชีวมวลใส่ถ้วยควอทซ์ดังรูปที่ จ10 (ทุกครั้งก่อนจะมีการใช้ถ้วยควอทซ์ต้องมีการทำความสะอาดและเช็ดให้แห้งก่อนทุกครั้ง)



รูปที่ จ10

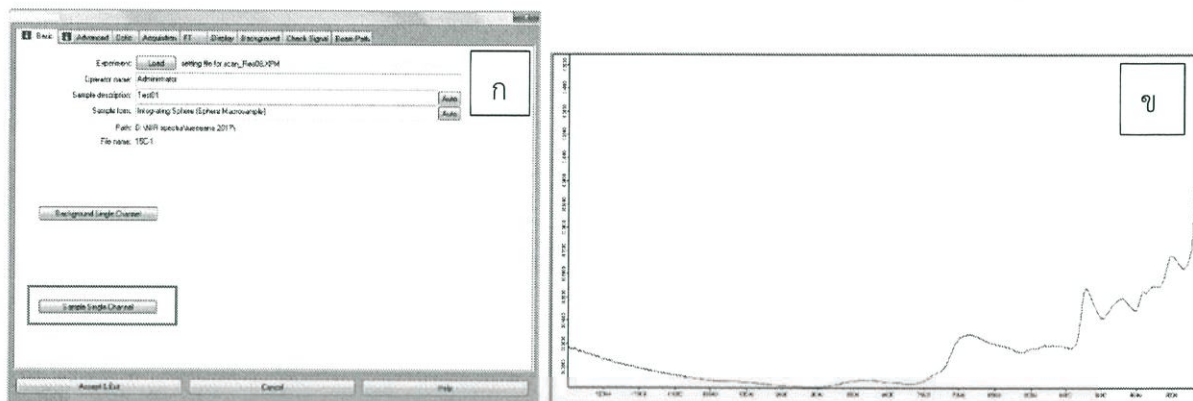
12. นำถ้วยควอทซ์ที่ใส่ชีวมวลแล้ววางบนเครื่อง FT-NIR Spectrometer (MPA, Bruker, Germany) โดยวางให้ถ้วยอยู่กึ่งกลางของบริเวณที่มีการสแกนดังรูปที่ จ11



รูปที่ จ11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. กดเมนู Sample single channel ดังรูปที่ จ12 (ก) และได้เส้นสเปกตรัมดังรูปที่ จ12(ข)



รูปที่ จ12

14. เมื่อสแกนเสร็จแล้วให้นำชีวมวลบริเวณที่โดนสแกนดังรูปที่ จ13 นำไปชั่ง 0.5 กรัม เพื่ออัดเม็ดและหาค่าความร้อนด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter ต่อไป



รูปที่ จ13 บริเวณที่ชีวมวลโดนสแกน

15. ทำความสะอาดด้วยควอทซ์ด้วยเครื่องดูดฝุ่นทุกครั้งเมื่อมีการเปลี่ยนตัวอย่างใหม่
16. เมื่อทำครบทุกตัวอย่างให้ทำความสะอาดด้วยควอทซ์ด้วยน้ำให้สะอาดและเช็ดให้แห้งก่อนเก็บใส่กล่องทุกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

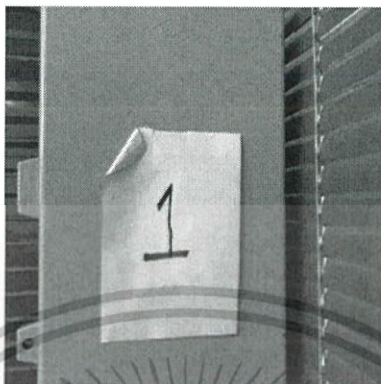


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่อง Thermogravimetric Analyzer

ขั้นตอนการเปิดเครื่อง

1. สับเบรกเกอร์ (หมายเลข 1) ทั้ง 2 ตัวขึ้น ดังรูปที่ ซ1



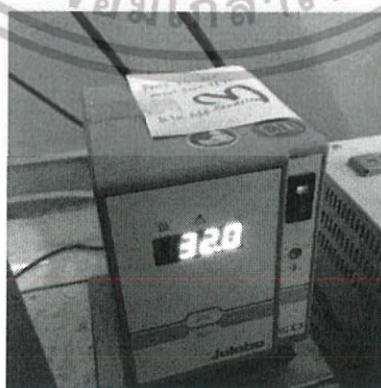
รูปที่ ซ1

2. สับเบรกเกอร์ Voltage Regulator (หมายเลข 2) ขึ้น ดังรูปที่ ซ2



รูปที่ ซ2

3. กดสวิทช์ Circulator (หมายเลข 3) แล้วกดปุ่ม OK ค้างจนได้ยินเสียง กริ๊ก!! ดังรูปที่ ซ3



รูปที่ ซ3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เปิด PCM powercom โดยการกดปุ่ม ON หนึ่งครั้ง ดังรูปที่ ข4



รูปที่ ข4

5. เปิดสวิตช์เครื่อง Thermogravimetric Analyzer ที่ด้านหลังเครื่อง ปล่อยให้เครื่องทำงานอย่างน้อย 3 ชั่วโมง



รูปที่ ข5

6. เปิดคอมพิวเตอร์ และเปิดโปรแกรม TG 209F3

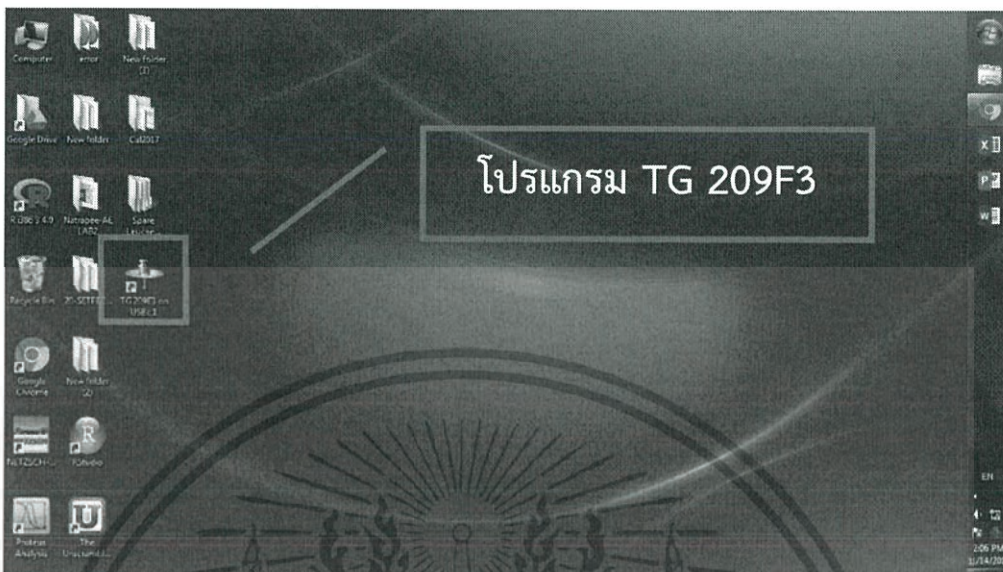
ขั้นตอนการปิดเครื่อง

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการ Calibrate Correction

1. เปิดโปรแกรม TG 209F3 ดังรูปที่ ข6



รูปที่ ข6

2. กด Diagnosis > View Signals ดังรูปที่ ข7



รูปที่ ข7

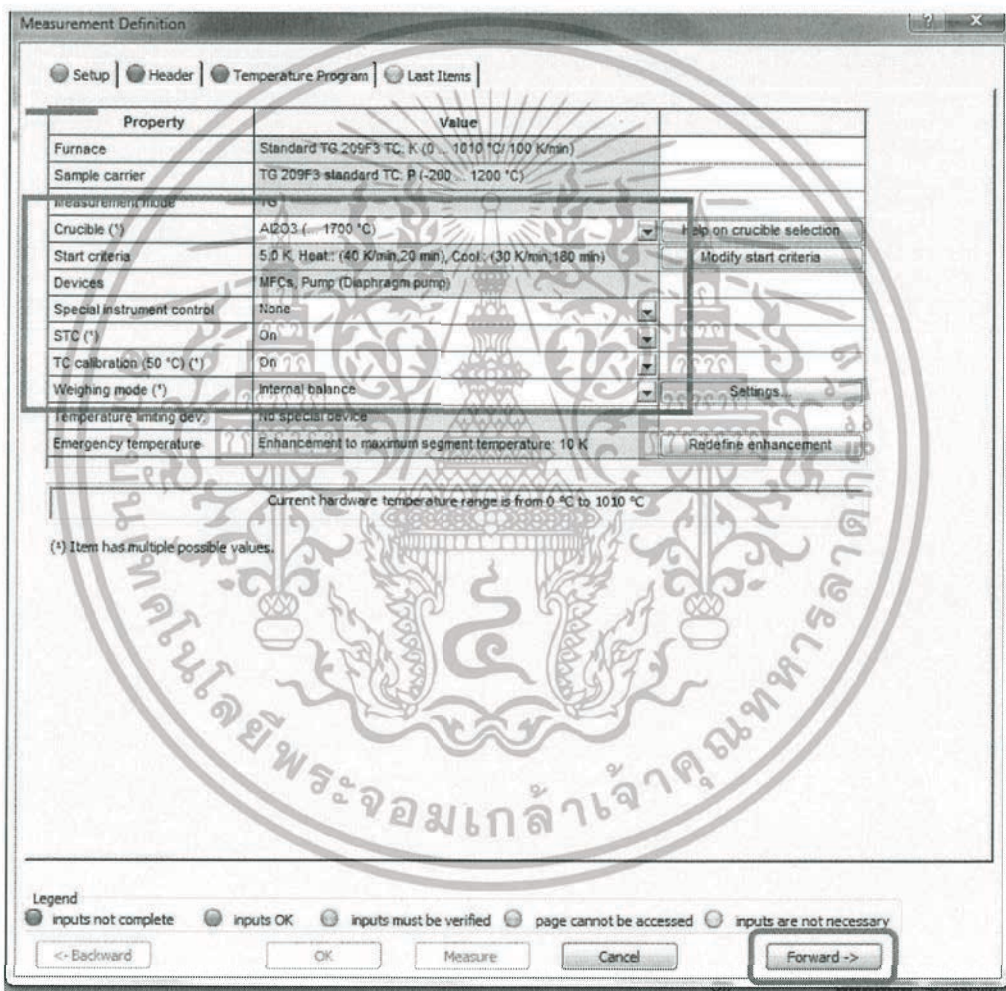
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กด File > new จะขึ้นหน้าต่างให้ตั้งค่าดังรูปที่ ข8

3.1 หน้าต่าง Setup ในช่องที่มีเครื่องหมาย (*) ให้ทำการตั้งค่าดังนี้

- Crucible (*) : Al2O3 (...1700°C)
- Special instrument control : (None)
- STC (*) : (ON)
- TC calibration (50°C) (*) : (ON)
- Weighting mode (*) : (Internal balance)

เมื่อตั้งค่าเสร็จกด Forward



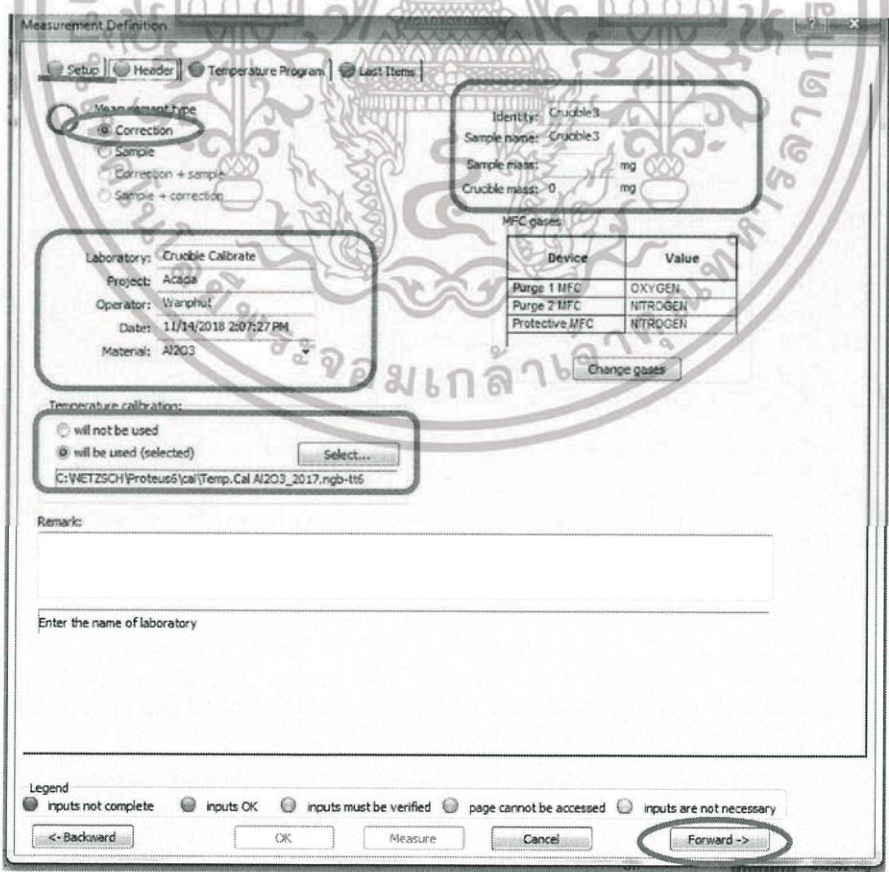
รูปที่ ข8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 หน้าต่างหน้า Header ในขั้นแรกจะเป็นการตั้งค่าในส่วนของ Correction เพื่อเป็นข้อมูลในการอ้างอิงสำหรับการทำในส่วนของ Correction + Sample ต่อไป โดยทำการตั้งค่าดังนี้

- Measurement type : Correction
- Laboratory : ตั้งชื่อ
- Project : ตั้งชื่อ
- Operator : ตั้งชื่อ
- Material : เลือก AL2O3
- 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 ข9



รูปที่ ข9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ตั้งค่า Step การเผาไหม้ดังรูปที่ ช10 จากนั้น กด Forward

The screenshot shows the 'Measurement Definition' window with the following data table:

| 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"/> | 20 | 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 |

Below the table, the 'Post - Conditions' section includes:

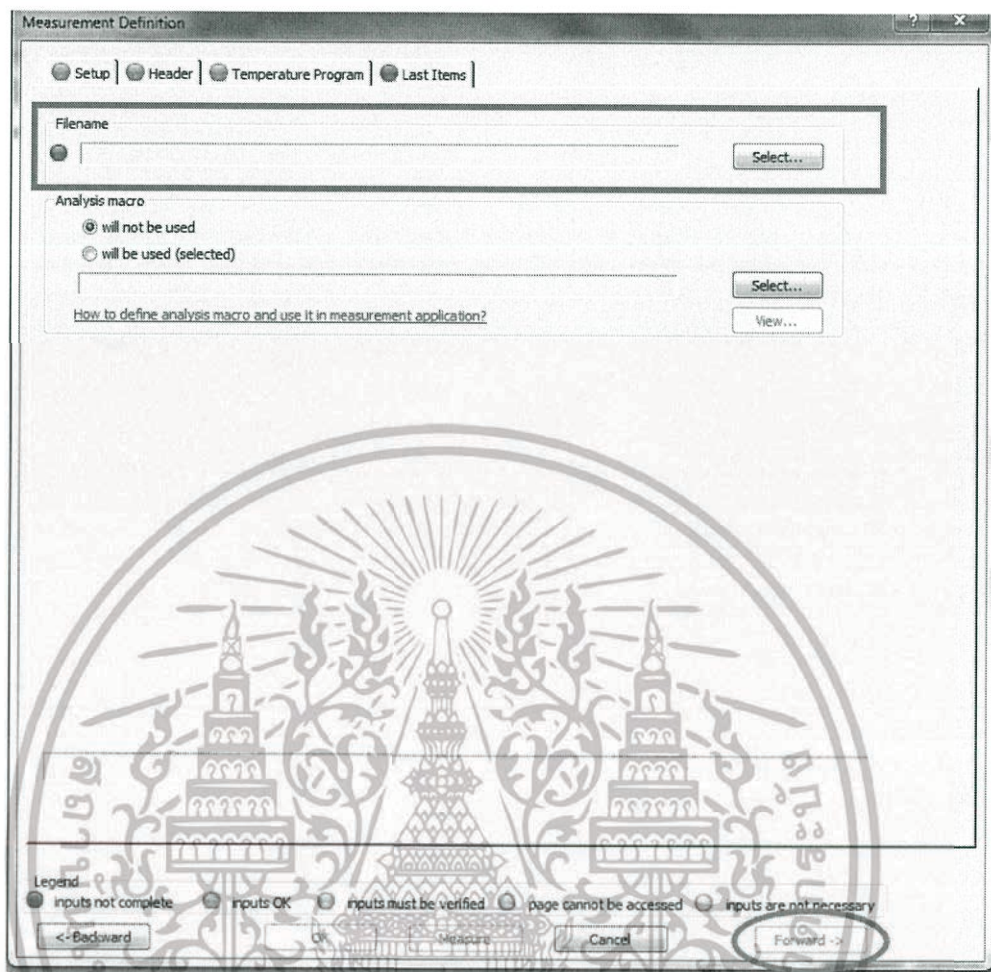
- STC
- Purge 1 MFC: Flow active, OXYGEN: 20 ml/min
- Purge 2 MFC: Flow active, NITROGEN: 0 ml/min
- Protective MFC: Flow active, NITROGEN: 10 ml/min

The 'Step Category' section shows 'Final' selected. A dialog box prompts: 'Please enter a number between 0.0 and 1020.0'. The 'Points' summary shows Segment: 0, Total: 25080, Total Time: 02:55.

รูปที่ ช10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 หน้าต่าง Last Item ทำการบันทึกไฟล์ จากนั้น กด Forward ดังรูปที่ ข11

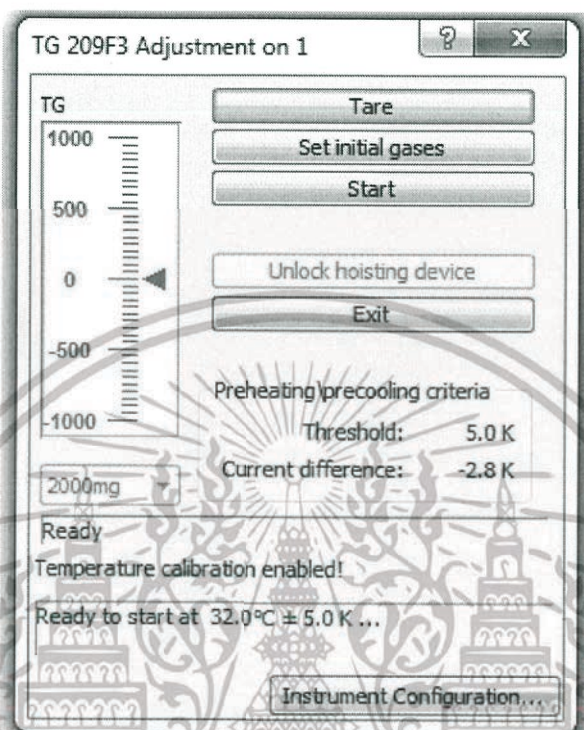


รูปที่ ข11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 เมื่อบันทึกไฟล์เรียบร้อยแล้วจะปรากฏหน้าต่าง TG 209F3 Adjustment

- ทำการเปิดฝาเครื่อง TGA และใส่ Crucible ลงไป และปิดฝา จะปรากฏหน้าต่างที่ขึ้นที่ TG (View Signals) รอนเลขหนึ่ง กด Tare จากนั้นกด Start ดังรูปที่ ข12



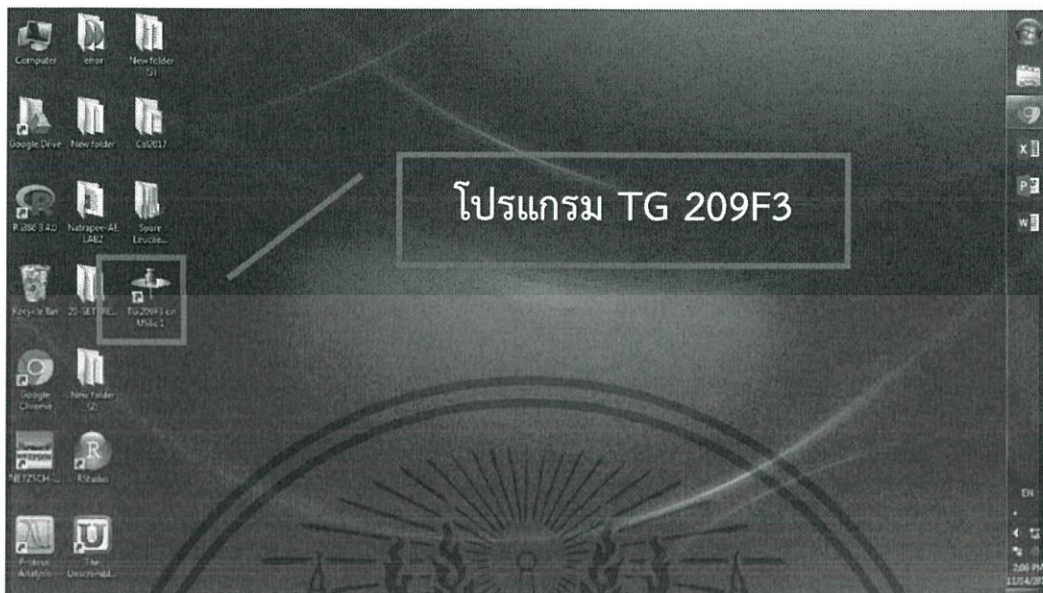
รูปที่ =12

4. จากนั้นเครื่องจะ RUN รอจนกว่าจะเสร็จสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการ Correction + Sample

1. เปิดโปรแกรม TG 209F3 ดังรูปที่ ข13



รูปที่ ข13

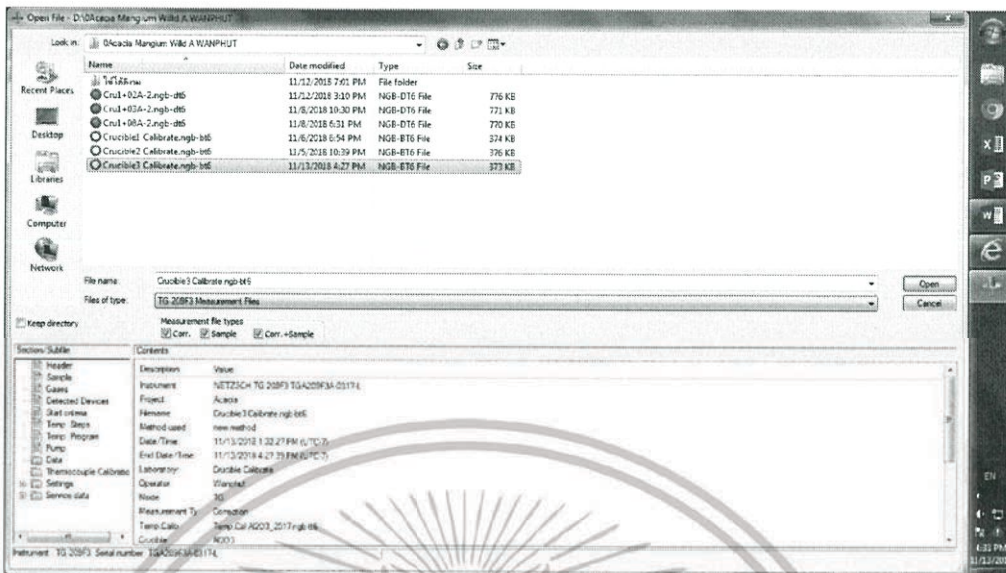
2. กด Diagnosis > View Signals ดังรูปที่ ข14



รูปที่ ข14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กด File > open เลือกไฟล์ที่ save Correction ไว้ก่อนหน้า จากนั้นกด open ดังรูปที่ ข15



รูปที่ ข50

3.1 หน้าต่าง First definition ในขั้นแรกจะเป็นการตั้งค่าในส่วนของการตั้งค่าดังนี้

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

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

- File name : ป้อนชื่อที่ต้องการบันทึกข้อมูลและแหล่งเก็บ

เมื่อตั้งค่าเสร็จกด Forward ไปเรื่อย ๆ ดังรูปที่ ข16

รูปที่ ช16

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] digitalschool, "DIGITAL SCHOOL THAILAND 4.0," [ออนไลน์]. Available: http://www.digitalschool.club/digitalschool/science1_2_2/science9_1/more/cellulose_1.php. [วันที่เข้าถึง 21 กุมภาพันธ์ 2019].
- [2] พรเพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, "Food Network Solution," [ออนไลน์]. Available: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3154/hemicellulose-เฮมิเซลลูโลส>. [วันที่เข้าถึง 21 กุมภาพันธ์ 2019].
- [3] B. Velázquez-Martí, B., et al., "Complete characterization of pruning waste from the lechero tree (Euphorbia laurifolia L.) as raw material for biofuel," Renewable Energy, pp. 629-637, 2018.
- [4] C. Telmo และ L. J. , "Heating values of wood pellets from different species," Biomass and Bioenergy, pp. 2634-2639, 2011.
- [5] Phetpan, K., V. Udompetaikul, and P. Sirisomboon, "Higher heating value determination of wheat straw from Baja California, Mexico," Energy, pp. 612-619, 2016.
- [6] Phetpan, K., V. Udompetaikul, and P. Sirisomboon, "An online visible and near-infrared spectroscopic technique for the real-time evaluation of the soluble solids content of sugarcane billets on an elevator conveyor," Computers and Electronics in Agriculture, pp. 460-466, 2018.
- [7] Mohd Hazim Mohamad Amini, et al., "Chemical composition of small diameter wild acacia mangium species," pp. 2698-2702, 2017.
- [8] Karlinasari, L., et al., "Near infrared (NIR) spectroscopy for estimating the chemical composition of (Acacia mangium Willd.) wood," Journal of the Indian Academy of Wood Science, pp. 162-167, 2014.
- [9] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2559. [ออนไลน์]. Available: [http://www.iie.or.th/iie2016/images/postdoc/files/1.แผนพลังงานใหม่\(พ.ศ.2558-2579\)อนาคตของอุตสาหกรรมไทยกระทรวงพลังงาน.pdf](http://www.iie.or.th/iie2016/images/postdoc/files/1.แผนพลังงานใหม่(พ.ศ.2558-2579)อนาคตของอุตสาหกรรมไทยกระทรวงพลังงาน.pdf). [วันที่เข้าถึง 21 กันยายน 2018].
- [10] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2556. [ออนไลน์]. Available: <http://e-lib.dede.go.th/mm-data/Bib15105>. [วันที่เข้าถึง 30 กันยายน 2561].
- [11] วิกิพีเดีย, 2561. [ออนไลน์]. Available: <https://th.wikipedia.org/wiki/กระถินเทพา>. [วันที่เข้าถึง 21 กันยายน 2018].

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] กรมส่งเสริมการเกษตร, 2561. [ออนไลน์]. Available: <http://www.servicelink.doae.go.th/webpage/book%20PDF/crop/c001.pdf>. [วันที่เข้าถึง 1 กันยายน 2561].
- [13] มะลิวัลย์ หฤทัยธนาสันต์ และคณะ, 2550. [ออนไลน์]. Available: <http://www.lib.ku.ac.th/KUCONF/data53/KC4801072.pdf>. [วันที่เข้าถึง 1 กันยายน 2561].
- [14] วิกิพีเดีย, 2561. [ออนไลน์]. Available: <https://th.wikipedia.org/wiki/กระถินณรงค์>. [วันที่เข้าถึง 1 กันยายน 2561].
- [15] เสรี ทรัพย์สาร, 2535. [ออนไลน์]. Available: <http://puechkaset.com/กระถินณรงค์/>. [วันที่เข้าถึง 1 กันยายน 2561].
- [16] พรศักดิ์ มีแก้ว และคณะ, 2533. [ออนไลน์]. Available: <http://puechkaset.com/กระถินณรงค์/>. [วันที่เข้าถึง 1 กันยายน 2561].
- [17] อนุรักษ์ ไซสิทธิ์, "KAKA Engineering," 2561. [ออนไลน์]. Available: <https://www.kakaengineering.com/boiler-combustion-part-ii.html>. [วันที่เข้าถึง 1 ตุลาคม 2561].
- [18] มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2561. [ออนไลน์]. Available: <http://digi.library.tu.ac.th/thesis/en/0419/03chapter2.pdf>. [วันที่เข้าถึง 25 กันยายน 2561].
- [19] สำนักงานส่งเสริมการปลูกป่า กรมป่าไม้, 2561. [ออนไลน์]. Available: <https://th.wikipedia.org/wiki/กระถินณรงค์>. [วันที่เข้าถึง 15 กันยายน 2561].
- [20] อนุรักษ์ ไซสิทธิ์, "KAKA Engineering," 2561. [ออนไลน์]. Available: <https://www.kakaengineering.com/boiler-combustion-part-ii.html>. [วันที่เข้าถึง 1 กันยายน 2561].
- [21] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2558. [ออนไลน์]. Available: http://www.dede.go.th/download/files/AEDP2015_Final_version.pdf. [วันที่เข้าถึง 1 กันยายน 2561].
- [22] สำนักประสานงานการพัฒนาวัตกรรม ศูนย์วิจัยป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2553. [ออนไลน์]. Available: <https://www.palangkaset.com/พืชพลังงาน/ไม้เศรษฐกิจ-2-ไม้โตเร็ว-3/>. [วันที่เข้าถึง 1 กันยายน 2561].

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [23] ไทยเกษตรศาสตร์, 2554. [ออนไลน์]. Available: <http://www.thaikasetsart.com/ประโยชน์ของกระถินยักษ์>. [วันที่เข้าถึง 1 กันยายน 2561].
- [24] ปานมนัส ศิริสมบุรณ์, “การศึกษาความเป็นไปได้ในการตรวจวัดปริมาณความชื้นในแป้งมันสำปะหลังหมัก,” คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2557.
- [25] นารณระพี นาคะวัจนะ, “The proximate Analysis and Thermal Decomposition Behavior of Biomass using Thermogravimetric Analyzer” คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2560.
- [26] กลุณันท์ วีรณรงค์กร และ อ. อ. , “ไฟโรไลซิส,” ใน Energy & Environmental, กรุงเทพฯ , สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี, 2015, pp. 61-64.
- [27] เจษฎา โพธิ์สม, “การพัฒนาเทคนิคการวัดสมบัติเชิงความร้อน ความชื้น ปริมาณน้ำมันและค่าความร้อนของชีวมวลโดยวิธีไม่ทำลายด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีกรณีศึกษา เนื้อในเมล็ดสับุดำ,” สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, 2556.
- [28] เบญจา ชุตินทราศรี., “e-book ramkhamhaeng university,” 2561. [ออนไลน์]. Available: [e-book.ramkhamhaeng.edu/e-book/f/FY473\(51\)/FY473-13.pdf](http://e-book.ramkhamhaeng.edu/e-book/f/FY473(51)/FY473-13.pdf). [วันที่เข้าถึง 1 กันยายน 2561].
- [29] อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุลและคณะ, เทคนิคการตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลายด้วยวิธีสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546.
- [30] วรารุณี ศุภมิตรมงคลและคณะ, 13 ตุลาคม 2560. [ออนไลน์]. Available: https://www.technologychaoban.com/agricultural-technology/article_32981. [วันที่เข้าถึง 1 กันยายน 2561].
- [31] นคร วรสุวรรณ์รักษ์, บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม, 2558. [ออนไลน์]. Available: http://www.jgsee.kmutt.ac.th/v2/uploads/images/files/Biomass%20Workshop_Dr_Nakorn.pdf. [วันที่เข้าถึง 11 กันยายน 2561].
- [32] หิรัญ ชันทองคำและคณะ, ศักยภาพพลังงานชีวมวลไม้โตเร็ว, กรุงเทพฯ: สำนักพัฒนาพลังงาน, 2546.
- [33] ณัฐ วรยศ และคณะ, 2551. [ออนไลน์]. Available: <http://webkc.dede.go.th/webmax/sites/default/files/>. [วันที่เข้าถึง 30 กันยายน 2561].

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [34] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, “Food Network Solution,” [ออนไลน์]. Available: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/4294/reproducibility-ความสามารถในการทำซ้ำ>. [วันที่เข้าถึง 6 กุมภาพันธ์ 2019].



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้