



ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์แบบประมาณของยูคาลิปตัส และขี้เลื่อย

วิธีวิเคราะห์แบบประมาณทำได้ดังนี้

1. วิธีวิเคราะห์ความชื้น (ASTM E871-82) ⁽⁴⁰⁾

ชั่งตัวอย่างยูคาลิปตัสประมาณ 1 กรัม ใส่ในถ้วยพอสเลน (Porcelain crucible) ที่รู้น้ำหนักแน่นอนแล้วไปอบในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 104 - 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักของขี้เลื่อยหลังอบ คำนวณหาปริมาณความชื้นเป็นร้อยละดังนี้

ร้อยละของความชื้น

$$= \frac{(\text{น.น.ของยูคาลิปตัส} - \text{น.น.ของยูคาลิปตัสหลังอบที่ 104 องศาเซลเซียส}) \times 100}{\text{น.น.ของยูคาลิปตัส}}$$

2. วิธีวิเคราะห์หาปริมาณสารระเหย (ASTM E872-82) ⁽⁴¹⁾

ชั่งตัวอย่างยูคาลิปตัสประมาณ 1 กรัม ใส่ในถ้วยพอสเลน ที่รู้น้ำหนักแล้วพร้อมทั้งปิดฝา นำไปเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 750 ± 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักที่หายไป คำนวณปริมาณของสารระเหยเป็นร้อยละดังนี้

ร้อยละของสารระเหย

$$= \frac{(\text{น.น.ของยูคาลิปตัส} - \text{น.น.ของยูคาลิปตัสหลังเผาที่ 750 องศาเซลเซียส}) \times 100}{\text{น.น.ของยูคาลิปตัส}}$$

3. วิธีวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (ASTM D1102-84) ⁽⁴²⁾

ซึ่งตัวอย่างยูคาลิปตัส ประมาณ 1 กรัม ใส่ในถ้วยพอสเลน ที่รู้น้ำหนักนำไปเผาในเตาไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วเผาต่อที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำออกมาทำให้เย็นในเคซิเคเตอร์ ซึ่งน้ำหนักเถ้าแล้วคำนวณเป็นร้อยละดังนี้

$$\text{ร้อยละของเถ้า} = \frac{\text{น.น.ของเถ้า} \times 100}{\text{น.น.ของยูคาลิปตัส}}$$

4. วิธีวิเคราะห์หาคาร์บอนคงตัว

ค่าผลต่างของร้อยละด้วยผลบวกของความชื้น สารระเหย และเถ้าที่คิดเป็นร้อยละ ดังนี้

$$\text{ร้อยละของคาร์บอนคงตัว} = 100 - (\text{ร้อยละของความชื้น} + \text{ร้อยละของสารระเหย} + \text{ร้อยละของเถ้า})$$

หมายเหตุ ในการวิเคราะห์แบบประมาณของชี้เลี้ยงทำเช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์ของยูคาลิปตัส

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์แบบประมาณของถ่านหิน

วิธีการวิเคราะห์แบบประมาณทำได้ดังนี้

1. วิธีวิเคราะห์ความชื้น (ASTM D3173-00) ⁽⁴⁴⁾

ซึ่งตัวอย่างถ่านหินประมาณ 1 กรัม ใส่ในถ้วยพอสเลน (Porcelain crucible) ที่รู้น้ำหนักแน่นอนแล้วไปอบในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 104 - 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักของถ่านหินหลังอบ คำนวณหาปริมาณความชื้นเป็นร้อยละดังนี้

$$\text{ร้อยละของความชื้น} = \frac{(\text{น.น.ของถ่านหิน} - \text{น.น.ของถ่านหินหลังอบที่ } 104^{\circ}\text{C}) \times 100}{\text{น.น.ของถ่านหิน}}$$

2. วิธีวิเคราะห์หาปริมาณสารระเหย (ASTM D3175-00) ⁽⁴⁵⁾

ซึ่งตัวอย่างถ่านหินประมาณ 1 กรัม ใส่ในถ้วยพอสเลน ที่รู้น้ำหนักแล้วพร้อมทั้งปิดฝานำไปเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักที่หายไป คำนวณปริมาณของสารระเหยเป็นร้อยละดังนี้

$$\text{ร้อยละของสารระเหย} = \frac{(\text{น.น.ของถ่านหิน} - \text{น.น.ของถ่านหินหลังเผาที่ } 900^{\circ}\text{C}) \times 100}{\text{น.น.ของถ่านหิน}}$$

3. วิธีวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (ASTM D3174-00) ⁽⁴⁶⁾

ซึ่งตัวอย่างถ่านหินประมาณ 1 กรัม ใส่ในถ้วยพอสเลนที่รู้น้ำหนักแล้วนำไปเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วเผาต่อที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำออกมาทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักเถ้าแล้วคำนวณเป็นร้อยละดังนี้

$$\text{ร้อยละของเถ้า} = \frac{\text{น.น.ของเถ้า} \times 100}{\text{น.น.ของถ่านหิน}}$$

4. วิธีวิเคราะห์หาคาร์บอนกั่ว

ค่าผลต่างของร้อยละด้วยผลบวกของความชื้น เถ้า และสารระเหยที่คิดเป็นร้อยละ ดังนี้

ร้อยละของคาร์บอนกั่ว = $100 - (\text{ร้อยละของความชื้น} + \text{ร้อยละของสารระเหย} + \text{ร้อยละของเถ้า})$



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์แบบแยกธาตุของยูคาลิปตัส จีเลื้อย และถ่านหิน

วิธีการวิเคราะห์แยกธาตุทำได้ดังนี้

1. ทำการทดสอบแบลнк (blank) โดยให้ค่าคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้โดยมีเกณฑ์มาตรฐานแสดงอยู่ที่เครื่อง
2. ทำการทดสอบมาตรฐาน คือ ซีสทีน (Cystine) โดยทำการทดสอบจนกว่าค่าร้อยละ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ระบุไว้ข้างขวดของสาร มาตรฐาน
3. ชั่งตัวอย่างยูคาลิปตัส จีเลื้อย และถ่านหินให้อยู่ในช่วง 1.5 ถึง 2.0 มิลลิกรัมในถ้วยดีบุก (Tin capsule) บันทึกรหัสของตัวอย่างไว้ แล้วใช้ครีมทรีปปากถ้วยดีบุกไว้ให้แน่น
4. นำถ้วยดีบุกใส่ในหลุมของเครื่องทำการเผาไหม้
5. ผลการวิเคราะห์คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ จะแสดงออกทาง เครื่องพิมพ์ซึ่งเครื่องวิเคราะห์แบบแยกธาตุแสดงในรูป ก-1



รูป ก-1 เครื่องวิเคราะห์ CHNS/O

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์หาค่าความร้อนและปริมาณแคลอรีของยูคาลิปตัส จีเลื่อย และถ่านหิน

ทำการ Standardized calorimeter เพื่อหา Energy equivalent of calorimeter โดยใช้กรดเบนโซอิก (Benzoic acid) ทำการทดลองเหมือนการหาค่าความร้อนทุกประการ

$$W = \frac{Hm + e_1 + e_2}{t}$$

เมื่อ

W = energy equivalent of calorimeter (แคลอรีต่อองศาเซลเซียส)

H = ค่าความร้อนในการเผาไหม้ของสารมาตรฐานกรดเบนโซอิก (2,440 แคลอรีต่อกรัม)

m = มวลของสารมาตรฐานกรดเบนโซอิกที่ใช้ (กรัม)

t = ค่าแก้ไขของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (องศาเซลเซียส)

e₁ = ค่าแก้ไขสำหรับความร้อนในการเกิดของ HNO₃

e₂ = ค่าแก้ไขสำหรับความร้อนในการเผาไหม้ของลวด (2.3 แคลอรี/เซนติเมตร), (แคลอรี)

ข้อมูลที่เก็บได้มีดังนี้

a = เวลาที่เริ่มการเผาไหม้ Ignition

b = เวลาที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 60 ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทั้งหมด (ละเอียดถึง 0.01

องศาเซลเซียส)

c = เวลาอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะคงที่ (หลังจากการเผาไหม้แล้ว)

t_a = อุณหภูมิที่เวลา a

t_c = อุณหภูมิที่เวลา c

r₁ = อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (องศาเซลเซียสต่อนาที) ภายใน 5 นาทีก่อนการเผาไหม้

r₂ = อัตราการลดลงของอุณหภูมิ (องศาเซลเซียสต่อนาที) หลังจาก 5 นาที หลังเวลา c

(ถ้าหลังเวลา c ไปแล้วอุณหภูมิมีการเพิ่มขึ้นอีกก็ให้ลบค่า r₂(c-b) ออกจากค่า t แทนที่จะใช้

การบวก)

c₁ = มิลลิลิตรของ 0.0725 N Na₂CO₃ ที่ใช้ในการไตเตรท

c_2 = เปอร์เซ็นต์ของสารกำมะถันในสารตัวอย่าง

c_3 = เซนติเมตรของหลอดที่ถูกเผาไหม้

W = Energy equivalent of calorimeter ซึ่งหาได้จากการ Standardized

m = มวลของสารตัวอย่าง (กรัม)

Corrected temperature rise (t)

$$t = t_c - t_a - r_1(b - a) + r_2(c - b)$$

ถ้าหลังจากเวลา c แล้วอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอีก ให้คำนวณดังนี้

$$t = t_c - t_a - r_1(b - a) - r_2(c - b)$$

Thermo chemical corrections

1. ถ้าใช้ 0.0725 N Na_2CO_3 แล้ว $c_1 = e_1$ = ค่าแก้ไขสำหรับความร้อนในการเกิด HNO_3 (แคลอรี) ถ้าไม่ได้ใช้ 0.0725 N ต้องคิดเทียบเป็น 0.0725N Na_2CO_3 ที่มีลิตรที่ใช้
2. e_2 = ค่าแก้ไขสำหรับความร้อนในการเกิดของ H_2SO_4 (แคลอรี)
 $= 14(c_2)(m)$
3. e_3 = ค่าแก้ไขสำหรับความร้อนในการเผาไหม้ของหลอด (แคลอรี)
 $= 2.3(c_3)$

ค่าความร้อนสูงของสารตัวอย่าง

$$W = \frac{tW - e_1 - e_2 - e_3}{m}$$

ร้อยละของกำมะถัน

$$\text{ร้อยละของกำมะถัน} = \frac{\text{น.น. BaSO}_4 \times 13.738}{\text{น.น. สาร}}$$

ตัวอย่างการคำนวณ ค่าความร้อนของยูคาลิปตัส

ผลการทดลองในการวิเคราะห์หาค่าความร้อนโดยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ แสดงในตาราง ง-1 แล้วนำข้อมูลที่ได้ในตาราง ง-2 ไปพลอตกราฟ แสดงในรูป ง-1

น้ำหนักของยูคาลิปตัส = 1.0007 กรัม

ความยาวของหลอดก่อนการทดลอง = 10.00 เซนติเมตร

ตาราง ง-1 การวิเคราะห์หาค่าความร้อนในการทดลอง

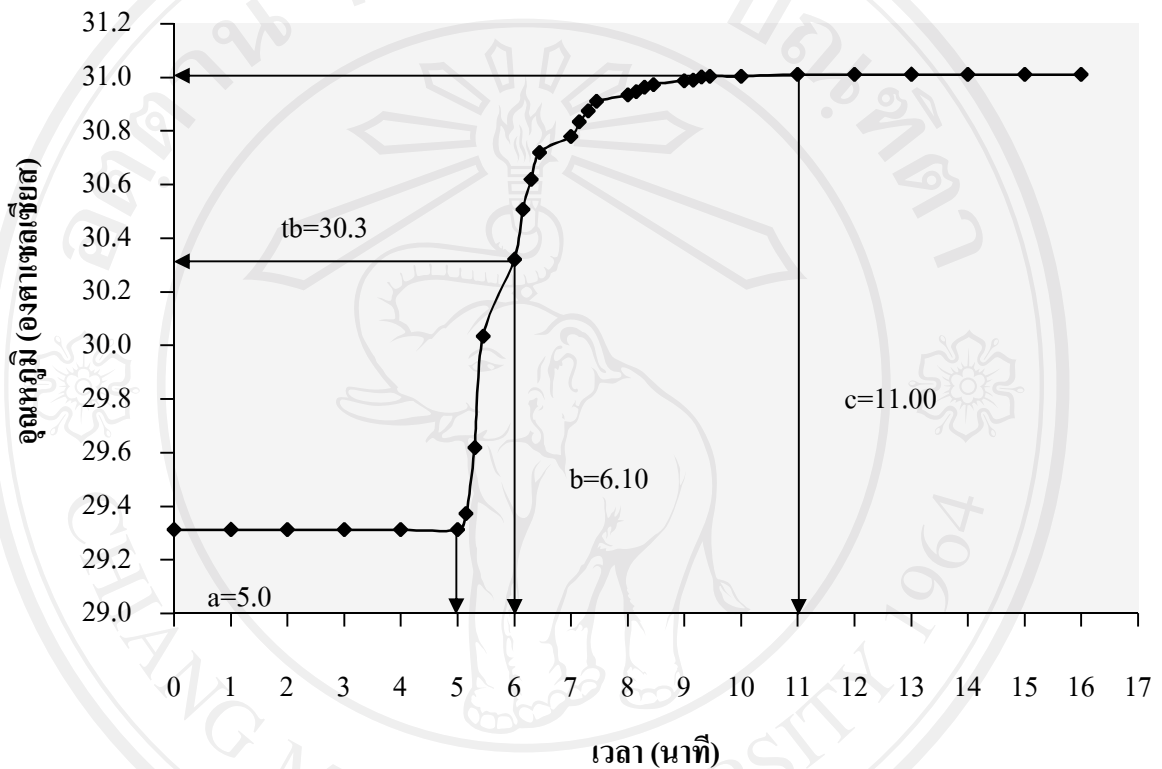
เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาทีก)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
0.00	29.31	8.00	30.93
1.00	29.31	8.15	30.95
2.00	29.31	8.30	30.96
3.00	29.31	8.45	30.97
4.00	29.31	9.00	30.99
5.00	29.31	9.15	30.99
5.15	29.37	9.30	31.00
5.30	29.62	9.45	31.00
5.45	30.03	10.00	31.00
6.00	30.32	10.15	31.01
6.15	30.51	10.30	31.01
6.30	30.62	10.45	31.01
6.45	30.72	11.00	31.01
7.00	30.78	12.00	31.01
7.15	30.83	13.00	31.01
7.30	30.87	14.00	31.01
7.45	30.91	15.00	31.01

ลวดที่ไม่ถูกเผาไหม้ = 3.94 เซนติเมตร

ลวดที่ถูกเผาไหม้ = 6.06 เซนติเมตร

ปริมาตรของ 0.0725 N Na_2CO_3 ที่ใช้ไป = 3.9 มิลลิลิตร

น้ำหนักตะกอนของ BaSO_4 = 0.0006 กรัม



รูป ง-1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงกับเวลาในการทดลองบอมบ์แคลอรีมิเตอร์
ของยูคาลิปตัส

สรุปข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากรูป ง-1 แสดงในตาราง ง-2

ภายใน 5 นาทีก่อนการเผาไหม้ จะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น

ดังนั้นอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (r_1) = 0 องศาเซลเซียสต่อนาที

หลังจาก 5 นาที หลังเวลา c มีอุณหภูมิ = 29.90 องศาเซลเซียส

ดังนั้นอัตราการลดลงของอุณหภูมิ (r_2) = 0 องศาเซลเซียสต่อนาที

ค่าร้อยละเฟอรัในตัวอย่างยูคาลิปตัส

$$\text{ร้อยละเฟอรั} = \frac{0.0061 \times 13.738}{1.0007} = 0.08$$

ตาราง ง-2 ข้อมูลต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณค่าความร้อนของยูคาลิปตัส

ข้อมูล	ค่าที่ได้	ข้อมูล	ค่าที่ได้
a	5.00 min	c ₁	3.9 ml.
b	6.40 min	c ₂	0.084 %S
c	11.00 min	c ₃	6.06 cm.
t _a	29.31 °C	e ₁	3.9 cal
t _b	30.99 °C	e ₂ = 14(c ₂)(m)	1.18 cal
t _c	31.01 °C	e ₃ = 2.3(c ₃)	13.94 cal
r ₁	0 °C/min	W	2495.88 cal/°C
r ₂	0 °C/min	m	1.0007 g

1. การคำนวณค่า Corrected temperature rise (t)

$$\begin{aligned} t &= t_c - t_a - r_1(b - a) + r_2(c - b) \\ &= 31.01 - 29.31 \\ &= 1.7 \end{aligned}$$

2. คำนวณค่าความร้อนของยูคาลิปตัส

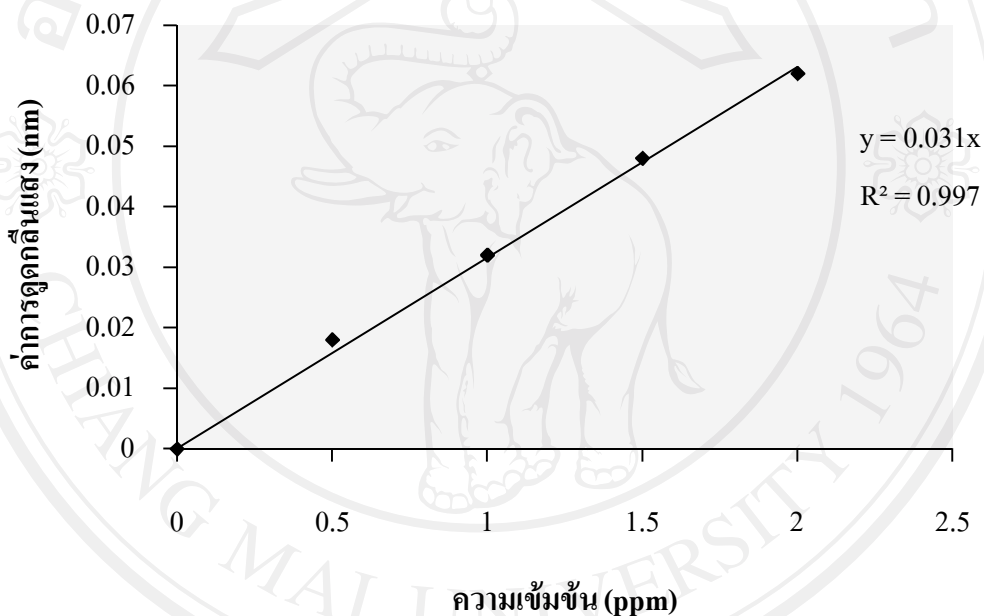
$$\begin{aligned} W &= \frac{tW - e_1 - e_2 - e_3}{m} \\ &= \frac{1.7(2,495.88) - 3.9 - 1.18 - 13.94}{1.0007} \\ &= 4,221.02 \text{ แคลอรีต่อกรัม} \end{aligned}$$

หมายเหตุ : W = energy equivalent of calorimeter ซึ่งหาได้จากการ standardized
สำหรับตัวอย่างอื่นๆ ก็สามารถคำนวณได้ในทำนองเดียวกัน

ภาคผนวก จ

การหาปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของนิกเกิลในตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินลิกไนต์

การคำนวณหาปริมาณร้อยละของนิกเกิลในตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินลิกไนต์ที่เตรียมโดยการแลกเปลี่ยนไอออน ผลการทำกราฟมาตรฐานนิกเกิล แสดงดังรูป จ-1



รูป จ-1 กราฟมาตรฐานนิกเกิล

การคำนวณปริมาณนิกเกิลที่แลกเปลี่ยนไอออนบนถ่านหินลิกไนต์

นำสารตัวอย่างมาทำการเจือจาง 100 เท่า ก่อนนำไปทำการวิเคราะห์โดยวิธีอะตอมมิกแอส-ซอร์พชัน เพื่อหาปริมาณนิกเกิลในตัวเร่งปฏิกิริยา

ผลการวิเคราะห์มีดังนี้

จากการวิเคราะห์ AAS ได้ Ni มีความเข้มข้น 5.935 ppm

$$\begin{aligned}\text{ดังนั้น ค่าที่ได้มาจากการเจือจาง 100 เท่า} &= 100 \times 5.935 = 593.5 \text{ ppm} \\ &= 593.5 \text{ mg/l}\end{aligned}$$

แสดงว่าใน	1000 ml.	มี Ni	0.5935 g	
	100 ml.	มี Ni	0.05935×100	$= 0.05935 \text{ g}$
			1000	

นำตัวเร่งปฏิกิริยามาชั่ง 0.22 g มี Ni 0.05935 g

$$\text{คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ } \frac{0.05935 \times 100}{0.22} = 26.97 \%$$

ดังนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมจะมีนิกเกิลอยู่ร้อยละ 26.97 โดยน้ำหนัก

ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์แก๊สโครมาโทกราฟของผลิตภัณฑ์แก๊ส

1. เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ (Gas chromatograph) ⁽³⁸⁾

ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟยี่ห้อ Agilent 6890 แสดงดังรูป จ-1 เป็นเทคนิคที่ใช้ในการแยกสารผสมที่ระเหยง่ายโดยสารผสมจะถูกฉีดเข้าไปในคอลัมน์ (Column) ที่บรรจุด้วยสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวยึดจับที่เรียกว่า stationary phase และมีแก๊สพา (Carrier gas) เป็นเฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase) เคลื่อนที่ไปตามคอลัมน์เข้าสู่เครื่องวัด (Detector) สัญญาณที่เครื่องตรวจวัดได้รับนั้นจะถูกส่งไปบันทึกเป็นโครมาโทแกรม (Chromatogram) โดยเครื่องบันทึก

โดยแก๊สโครมาโทกราฟมีส่วนประกอบที่สำคัญ

1. แก๊สพา (Carrier gas)
2. ตัวควบคุมการไหล (Flow controller)
3. ส่วนที่ฉีดสารตัวอย่าง (Injector port)
4. คอลัมน์ (Column)
5. ดีเทกเตอร์ (Detector)
6. เครื่องบันทึก (Recorder)



รูป จ-1 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ

1.1 รายละเอียดของส่วนประกอบสำคัญมีดังนี้

1. แก๊สพา

แก๊สพาเป็นแก๊สที่ใช้สำหรับพาสารตัวอย่างที่ถูกทำให้เป็นไอหรือแก๊สที่ส่วนนิตสารตัวอย่างให้เข้าสู่คอลัมน์ต่อไป แก๊สพานี้ต้องมีการควบคุมอัตราการไหลให้คงที่เสมอ โดยสามารถเลือกให้อัตราการไหลให้เหมาะสมได้ตามต้องการ อัตราการไหลของแก๊สพามีส่วนสำคัญต่อการวิเคราะห์ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมให้คงที่

แก๊สพาโดยทั่วไปมีคุณสมบัติคือ มีสมบัติเฉื่อยไม่เกิดปฏิกิริยากับสารตัวอย่าง มีมวลโมเลกุลต่ำและมีการแพร่กระจายมีความบริสุทธิ์สูงและราคาไม่แพง แก๊สพาที่ใช้กันโดยทั่วไปได้แก่ แก๊สไนโตรเจน ฮีเลียม และแก๊สไฮโดรเจน

2. คอลัมน์

คอลัมน์เป็นส่วนสำคัญของการแยกสารด้วยเทคนิคทางแก๊สโครมาโทกราฟี เมื่อแก๊สหรือไอของสารผสมในตัวอย่างผ่านคอลัมน์ สารที่บรรจุอยู่ในคอลัมน์เปล่านั้นจะทำหน้าที่เป็นตัวแยกแก๊สหรือไอของสารผสมเหล่านั้นออกจากกันเป็นส่วน ๆ ดังนั้นโครมาโทแกรมที่จะดีหรือไม่จึงขึ้นอยู่กับชนิดของคอลัมน์มาก

3. ดีเทคเตอร์

ดีเทคเตอร์ คือเครื่องที่สามารถบ่งบอกว่ามีสารที่ต้องการวิเคราะห์หรือมีสารอื่นที่แตกต่างไปจากแก๊สพาออกมาจากคอลัมน์หรือไม่ ถ้ามีก็จะสามารถวัดได้ว่ามีปริมาณเท่าไรได้ด้วย ดังนั้นเครื่องตรวจวัดจึงต้องเป็นเครื่องมือที่มีลักษณะเฉพาะ สามารถให้สัญญาณกับสารต่าง ๆ ได้ ให้สภาพไวที่สูงพอ มีการตอบสนองที่ดีในช่วงความเข้มข้นของสารที่กว้างพอ และมีหลากหลายชนิดตามความเหมาะสมของงานก็ได้ ลักษณะเฉพาะที่ต้องการของดีเทคเตอร์นั้น ควรจะมีลักษณะเฉพาะในการตอบสนองต่อสารเคมีที่ต้องการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

- ให้สภาพความไวสูง (High sensitivity)
- มีความเฉพาะต่อการตรวจหา (Selectivity)
- ให้ผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณในช่วงความเข้มข้นที่กว้างพอที่จะวัดได้อย่างถูกต้อง
- มีเสถียรภาพ (Stability) ความเที่ยง (Reproducibility)

ดีเทคเตอร์ที่นิยมใช้มี 2 ชนิดคือ ทอร์มอลคอนดักติวิตีดีเทคเตอร์ (TCD) และเฟลม-ไอออนไนเซชันดีเทคเตอร์ (FID) โดยในงานวิจัยนี้ใช้ดีเทคเตอร์แบบ TCD

ดีเทคเตอร์แบบ TCD

วิเคราะห์สารที่ออกมาจากแก๊สพาโดยให้หลักการทำงานดังนี้แก๊สพาบริสุทธิ์ (Reference gas) กับแก๊สพาที่มีสารตัวอย่างอยู่ด้วยจะมีคุณสมบัติในการนำความร้อน (Thermal conductivity) ที่แตกต่างกัน เมื่อสารตัวอย่างที่ถูกแยกจากคอลัมน์พร้อมกับแก๊สพาผ่านเข้าไปเครื่องตรวจวัดและผ่านขดลวด (Filament) ซึ่งทำให้ร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าปริมาณหนึ่งขดลวดจะเสียความร้อนให้กับแก๊สพาที่มีสารตัวอย่างที่เข้ามาในดีเทคเตอร์แล้วดีเทคเตอร์ก็จะทำการปรับกระแสไฟฟ้าเพื่อให้ขดลวดมีความร้อนเท่าเดิม กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับความร้อนนี้จะเป็นสัญญาณส่งเข้าเครื่องบันทึกออกมาเป็นโครมาโทแกรม

2. สภาพะการทดลองการวิเคราะห์แก๊สโครมาโทกราฟี

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง

HP6890 GC METHOD

OVEN

Initial temp. : 35 °C (On)

Maximum temp. : 300 °C

Initial time : 5.00 min

Equilibration time : 1.00 min

Ramps :

#	Rate	Final temp.	Final time
1	45.00	150	9.00
2	10.00	170	2.00
3.	0.0 (off)		

Post temp. : 0 °C

Post time : 0.00 min

Run time : 20.56 min

FRONT INLET (PURGED PACKED)

Initial temp. : 120 °C (On)

Pressure : 20.51 psi (On)

Gas type : Helium

COLUMN GC

Capillary Column

Model Number : HP 19091P-Q04

HP-PLOT MoleSieve 5A

Max temp. : 350 °C

Nominal length: 30.0 m

BACK DETECTOR (TCD)

Temperature: 250 °C (On)

Reference flow: 20.0 ml/min (On)

Mode: Constant makeup flow

Makeup Gas Type: Helium

Filament : On

Negative polarity : off

COLUMN GC (ท่อ)Nominal diameter: 320.00 μm Nominal film thickness: 12.00 μm

Mode: constant pressure

Pressure: 20.51 psi

Nominal initial flow: 4.4 ml/min

Average velocity: 61 cm/sec

Inlet: Front Inlet

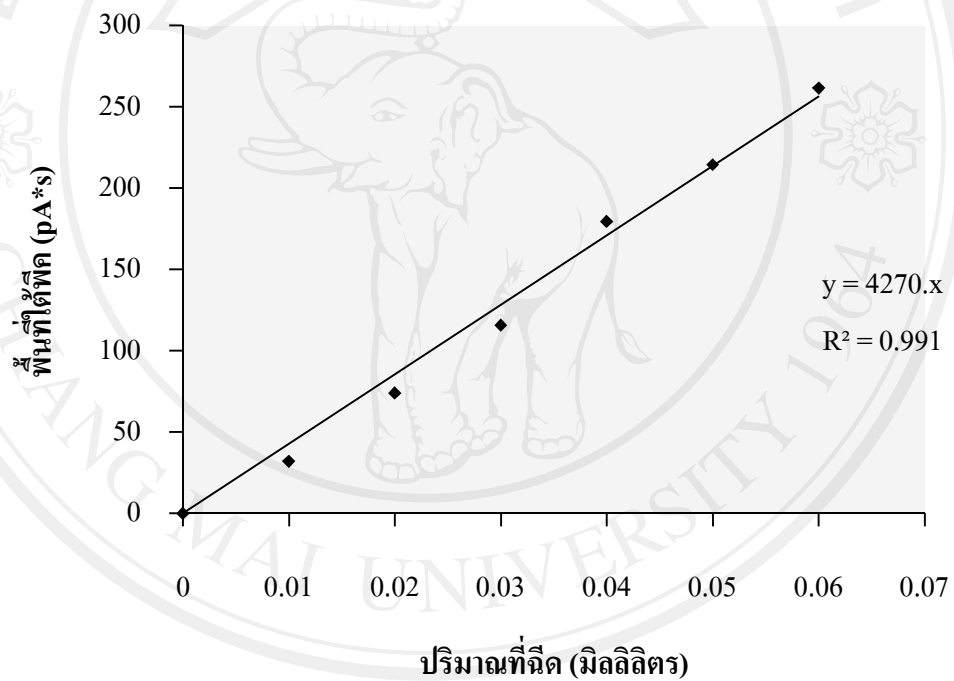
Outlet: Back Detector (TCD) 250 °C

Outlet pressure: ambient

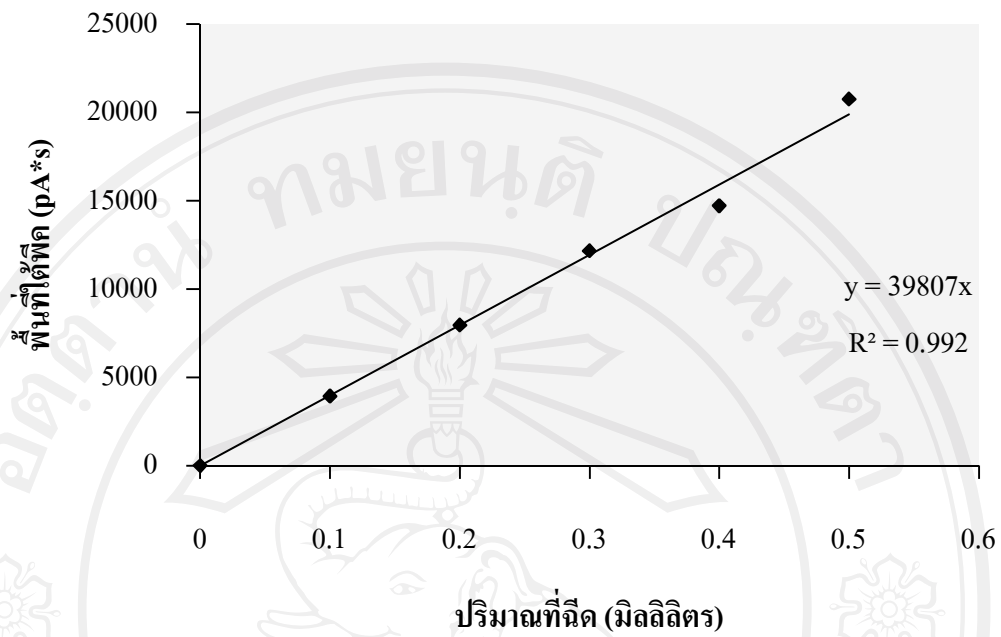
ภาคผนวก ข

กราฟมาตรฐานของผลิตภัณฑ์แก๊ส

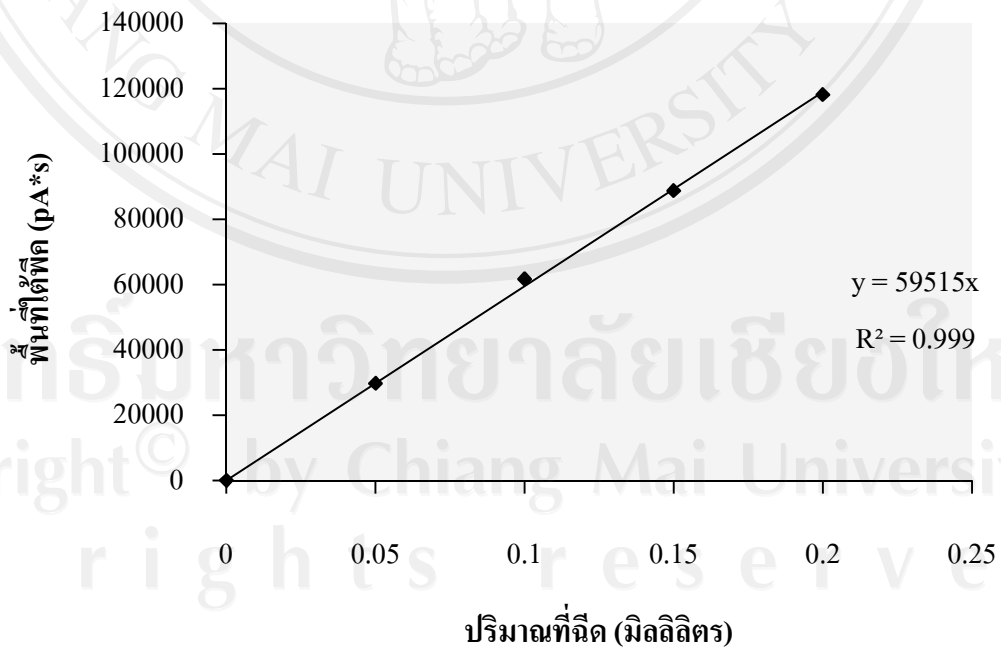
กราฟมาตรฐานของผลิตภัณฑ์แก๊สไฮโดรเจนแสดงดัง รูป ข-1 แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์แสดงดัง รูป ข-2 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แสดงดังรูป ข-3 เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณของผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จากการแก๊สเฟสขึ้นด้วยไอน้ำแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยาที่สภาวะต่าง ๆ



รูป ข-1 กราฟมาตรฐานของแก๊สไฮโดรเจน



รูป ข-2 กราฟมาตรฐานของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์



รูป ข-3 กราฟมาตรฐานของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

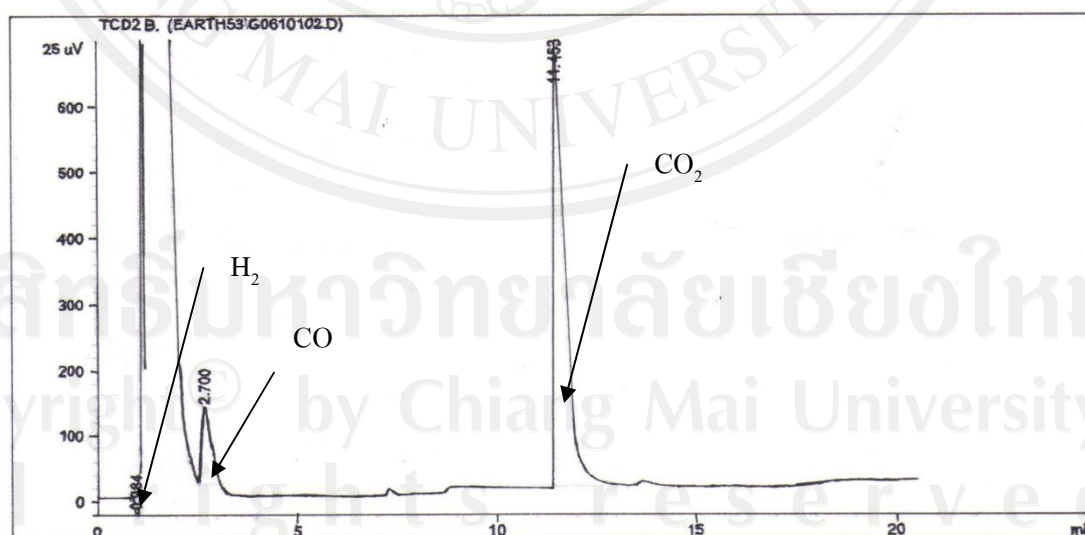
ภาคผนวก ข

โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์แก๊ส

การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สจากการแก๊สไฟเคชันยูคาลิปตัสด้วยไอน้ำแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินลิกไนต์โดยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟ ค่า Retention time เปรียบเทียบแสดงในตาราง ข-1 และตัวอย่างโครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์แก๊สแสดงดังรูป ข-1 และ ข-2

ตาราง ข -1 ค่า Retention time ของผลิตภัณฑ์แก๊ส และแก๊สมาตรฐาน

แก๊ส	Retention time ของผลิตภัณฑ์ที่ 650 °C	Retention time ของแก๊สมาตรฐาน
H ₂	0.984	1.005
CH ₄	-	1.656
CO	2.700	2.576
CO ₂	11.453	11.008



รูป ข-1 โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จากการแก๊สไฟเคชันยูคาลิปตัสด้วยไอน้ำแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยาโดยมีอัตราส่วนโดยมวลของยูคาลิปตัสต่อตัวเร่งปฏิกิริยา 1:1 ที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส

ภาคผนวก ฅ

การคำนวณหาความดันย่อยของไอน้ำ

$$\text{อัตราการไหลโดยโมลของไอน้ำ}(n_w) = 2.08 \times 10^{-3} \text{ mol/min}$$

$$\text{อัตราการไหลโดยโมลของไนโตรเจน}(n_{N_2}) = 4.82 \times 10^{-3} \text{ mol/min}$$

$$\begin{aligned} \text{อัตราการไหลโดยโมลของแก๊สรวม} &= n_w + n_{N_2} \\ &= 2.08 \times 10^{-3} + 4.82 \times 10^{-3} \\ &= 6.9 \times 10^{-3} \text{ mol/min} \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นอัตราการไหลโดยโมลของแก๊สรวมเท่ากับ $6.9 \times 10^{-3} \text{ mol/min}$

ความดันย่อยของไอน้ำ

- ความดันของระบบเท่ากับความดันบรรยากาศ

จากสูตร

$$P_i = x_i P_T$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้ความดันไอน้ำ} &= \left(\frac{2.08 \times 10^{-3}}{6.9 \times 10^{-3}} \right) \times 101.3 \text{ kPa} \\ &= 30.53 \text{ kPa} \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นความดันไอน้ำมีค่าเท่ากับ 30.53 กิโลปาสกาล

ภาคผนวก ญ

การทำสมดุลคาร์บอน

การคำนวณสมดุลคาร์บอนโดยใช้ผลจากการวิเคราะห์แบบแยกธาตุในตาราง 3.1 ตัวอย่าง
ยูคาลิปตัส มีปริมาณคาร์บอนร้อยละ 48.28 โดยน้ำหนัก คิดเป็นปริมาณคาร์บอนเท่ากับประมาณ 55
มิลลิโมล

สูตรการคำนวณ

$$C \text{ in biomass} = C \text{ in gas phase} + C \text{ in liquid phase (Tar)} + C \text{ in solid phase (char)}$$

โดยที่

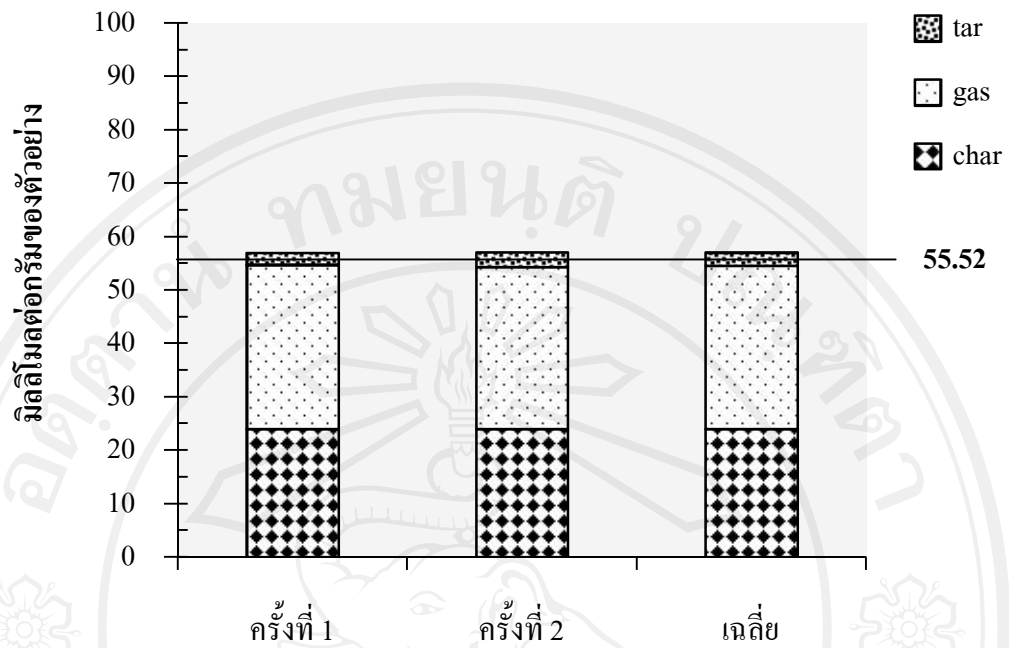
$$C \text{ in gas phase} = C \text{ in gasification of biomass} - C \text{ in gasification of catalyst}$$

$$C \text{ in liquid phase} = C \text{ on wall deposit after biomass gasification} - C \text{ on catalyst char burning}$$

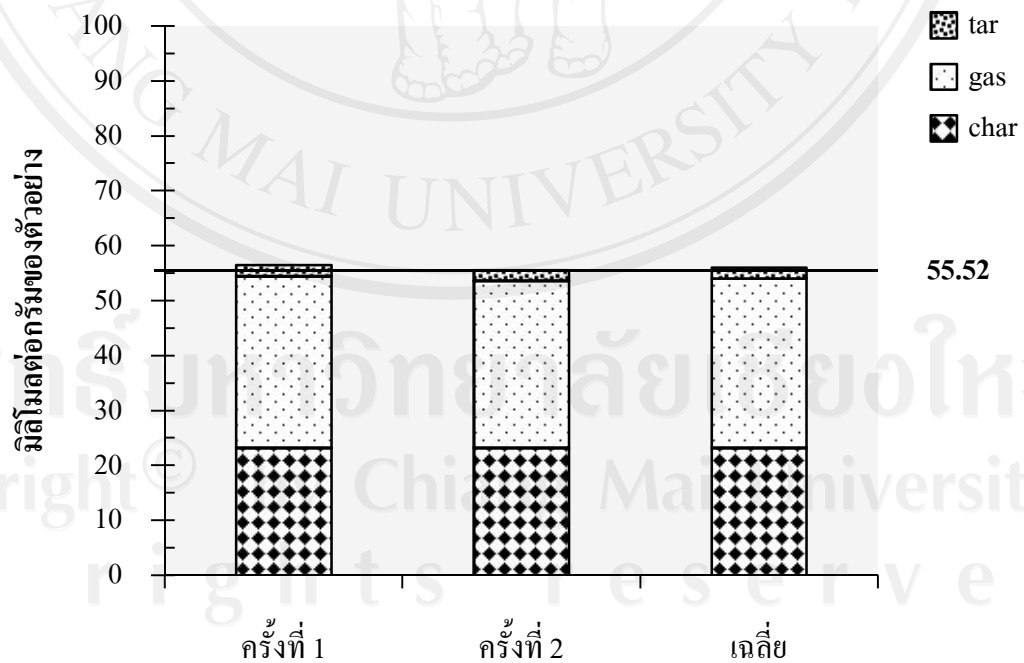
$$C \text{ in solid phase} = C \text{ in biomass char (คำนวณจากการวิเคราะห์แบบแยกธาตุของถ่านชาร์ยูคา
ลิปตัส)}$$

ตัวอย่างกราฟแสดงการทำสมดุลคาร์บอนที่สภาวะต่าง ๆ ในการแกสซิฟิเคชันยูคาลิปตัสด้วย
ไอน้ำแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินลิกไนต์แสดงรูป ญ-1 ถึง ญ-2

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป ญ-1 สมดุลคาร์บอนที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียสที่อัตราส่วนโดยมวลของยูคาลิปตัสต่อตัวเร่งปฏิกิริยา 1:1



รูป ญ-2 สมดุลคาร์บอนที่อัตราส่วนโดยมวลของยูคาลิปตัสต่อตัวเร่งปฏิกิริยา 1:5 อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – สกุล	นางสาวชีวิสุ ภูหิรัญ
วัน/เดือน/ปีเกิด	18 กุมภาพันธ์ 2525
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนวัดโนนทัยพาย์ จังหวัดเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2542 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จังหวัด เชียงใหม่ ปีการศึกษา 2547
ผลงานวิชาการ	เสนอผลงานวิจัยแบบบรรยาย ในหัวข้อ การผลิตแก๊สไฮโดรเจนโดย แกสิฟิเคชันด้วยไอน้ำแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยา: ส่วนที่ 1 การแยกสลาย ชีวมวลด้วยความร้อนโดยการวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนัก ตัวเร่งปฏิกิริยา निकิลบนถ่านหิน และผลกระทบของอุณหภูมิ, การประชุมทางวิชาการ เครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6 ระหว่างวันที่ 5 - 7 พฤษภาคม 2553 ณ โรงแรม ฮอติเคย์อินน์ รีสอร์ท ริเจนท์ บีช ชะอำ จังหวัดเพชรบุรี