

ผลของอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นต่อปริมาณและสมบัติของไบโอดีเซลที่ได้จากการไพโรไลซิสแบบเร็วของลำต้นและเหง้ามันสำปะหลังในเครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระ

## Effect of Cooling Water Temperature on Yields and Properties of Bio-oil derived from Fast Pyrolysis of Cassava Stalk and Rhizome in a Free-Fall Reactor

นิวัฒน์ ประทุมไชย<sup>1</sup>, นุชิดา สุวแพทย<sup>2</sup>, อติศักดิ์ ปัตติยะ<sup>3\*</sup>

Niwat Pratoomchai<sup>1</sup>, Nuchida Suwapate<sup>2</sup>, Adisak Pattiya<sup>3\*</sup>

Received: 15 October 2012 ;Accepted: 10 December 2012

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นต่อปริมาณและสมบัติของไบโอดีเซลที่ได้จากการไพโรไลซิสแบบเร็วของลำต้นและเหง้ามันสำปะหลังในเครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระ อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ทำการศึกษามีทั้งหมด 4 ระดับคือ 0 30 50 และ 70 องศาเซลเซียส สมบัติพื้นฐานของไบโอดีเซลที่ศึกษา ได้แก่ ปริมาณของแข็ง ปริมาณเถ้า ความหนาแน่น ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และความหนืด ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ใช้ในการควบแน่นที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งได้ปริมาณไบโอดีเซลสูงสุดร้อยละ 64.23 โดยมวล ไบโอดีเซลที่ได้นี้มีปริมาณของแข็งร้อยละ 1.93 โดยมวล ปริมาณเถ้าร้อยละ 0.04 โดยมวล ความหนาแน่น 1.1 กรัมต่อมิลลิลิตร ค่าความเป็นกรด-ด่าง 3 และค่าความหนืด 14.79 เซนติสโตก

**คำสำคัญ:** ไพโรไลซิสแบบเร็ว น้ำหล่อเย็น เครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระ ลำต้นและเหง้ามันสำปะหลัง

### Abstract

This research is a study of the effect of cooling water temperature on yields and properties of bio-oil produced from fast pyrolysis of cassava stalk and rhizome in a free-fall reactor. There were 4 levels of cooling water temperatures investigated in this work including 0, 30, 50 and 70°C. The basic properties of bio-oil studied were solids content, ash content, density, pH and viscosity. The results showed that the optimum cooling water temperature was 30°C, which gave the maximum bio-oil yield of 64.23 wt%. The bio-oil had solids content of 1.93 wt%, ash content of 0.04 wt%, density of 1.1 g/ml, pH of 3 and viscosity of 14.79 cSt.

**Keywords:** Fast Pyrolysis, cooling water temperature, free-fall reactor, cassava stalk and rhizome

<sup>1</sup> นิสิตปริญญาโท, <sup>2</sup>อาจารย์, <sup>3</sup>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานชีวภาพและทรัพยากรหมุนเวียนคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียงอำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

<sup>1</sup> Master Student, <sup>2</sup>Lecturer, <sup>3</sup>Assistant Professor, Bio-Energy and Renewable Resources Research Laboratory, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kamriang, Kantharawichai, MahaSarakhm 44150, Thailand

\* Corresponding Author: adisak\_pattiya@yahoo.com, Tel.: +664 375 4321x 3036; Fax: +664 375 4316

## บทนำ

กระบวนการแปลงรูปชีวมวลทางความร้อนที่นิยมใช้กันมาก ประกอบไปด้วยการเผาไหม้โดยตรง ซึ่งเป็นเทคโนโลยีแบบเก่าที่ใช้กันมาตั้งแต่เดิม ผลที่ได้คือความร้อนที่สามารถนำไปใช้ได้โดยตรงกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันสำหรับผลิตแก๊สเชื้อเพลิงซึ่งใช้อุณหภูมิสูงมาก ( $>800^{\circ}\text{C}$ ) และกระบวนการไพโรไลซิสซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่กำลังได้รับความสนใจในขณะนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว (Fast Pyrolysis)

การไพโรไลซิสแบบเร็วชีวมวลเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่ใช้แปลงรูปชีวมวลจากของแข็งให้เป็นเชื้อเพลิงเหลว ที่เรียกว่า “ไบโอออยล์” ซึ่งมีข้อดีในการจัดเก็บและขนส่งได้สะดวกเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งและแก๊ส ไบโอออยล์สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อน ผลิตกระแสไฟฟ้าให้ความร้อนร่วมและสามารถใช้ในอุตสาหกรรมทางเคมีได้<sup>1-4</sup> มีผู้ศึกษาการผลิตไบโอออยล์จากกระบวนการไพโรไลซิสจำนวนมากโดยใช้ชีวมวลที่แตกต่างกันและมีการศึกษาปัจจัยต่างๆในกระบวนการ เช่น อุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยาไพโรไลซิส ขนาดอนุภาคของชีวมวล อัตราการป้อนชีวมวล อัตราการให้ความร้อน เวลาคงอยู่ของไอ อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน เป็นต้น แต่ในส่วนของการควบแน่นเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวยังมีการศึกษาน้อยมาก ที่ผ่านมา<sup>5</sup> ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิควบแน่นที่  $0-10$  และ  $-20^{\circ}\text{C}$  ในเตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งโดยใช้แอลกอฮอล์เป็นวัตถุดิบ พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ที่  $-10^{\circ}\text{C}$  แต่ยังไม่มีการศึกษาเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิควบแน่นที่มีผลต่อปริมาณไบโอออยล์และสมบัติของไบโอออยล์ ดังนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ ซึ่งศึกษาผลของอุณหภูมิควบแน่นที่มีผลต่อปริมาณผลได้และสมบัติของไบโอออยล์จากการไพโรไลซิสแบบเร็วของลำต้นและเหง้ามันสำปะหลังในเครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระ

## วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

### 1. ชีวมวล

ตัวอย่างชีวมวลที่ใช้ในการทดลอง คือ ลำต้นและเหง้ามันสำปะหลังผสมกันในอัตราส่วน 1:1 ซึ่งชีวมวลนี้ได้จากไร่ในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยโดยเริ่มต้นนำชีวมวลมาตากแห้งและบดย่อยผสมกัน จากนั้นคัดแยกขนาดให้มีความยาว 212-500 ไมโครเมตร ชีวมวลที่ได้นำมาวิเคราะห์แบบประมาณ เพื่อหาปริมาณความชื้น สารระเหย คาร์บอนเสถียร และค่าผลการวิเคราะห์แสดงดัง Table 1

**Table 1** Proximate analysis of Cassava Stalk and Rhizome

| composition               | (wt%, dry basis) |
|---------------------------|------------------|
| Moisture <sup>a</sup>     | 7.1              |
| Volatile                  | 75.8             |
| Fixed carbon <sup>b</sup> | 11.76            |
| Ash                       | 5.34             |

<sup>a</sup>As-received basis

<sup>b</sup>Calculated by difference

### 2. อุปกรณ์ไพโรไลซิสแบบเร็ว

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแสดงดัง Figure 1 ซึ่งประกอบด้วย ถังเก็บชีวมวลชุดสกรูป้อน เตาปฏิกรณ์ แบบตกอิสระไซโคลน ถังเก็บถ่าน ชุดกรองไอร้อน ชุดควบแน่นน้ำหล่อเย็น ชุดควบแน่นด้วยไฟฟ้าสถิตแรงดันสูง (ESP) ชุดควบแน่นด้วยน้ำแข็งแห้งผสม อะซิโตน

### 3. เงื่อนไขการทดลอง

ตัวแปรหลักในการทดลองคืออุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น ส่วนตัวแปรที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ เป็นตัวแปรควบคุม Table 2 แสดงตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการทดลองทั้งหมด

### 4. การวิเคราะห์ไบโอออยล์

สมบัติของไบโอออยล์จะศึกษาได้แก่ปริมาณของแข็ง ปริมาณเถ้า ความหนาแน่น ค่า pH และความหนืด โดยทำการวิเคราะห์ 3 ข้อ

4.1 ปริมาณของแข็ง (Solids content) โดยใช้เอทานอลในการทำละลายไบโอออยล์ 100 ml ต่อไบโอออยล์ 1-3 กรัม<sup>5</sup>

4.2 ปริมาณเถ้า (Ash content) โดยการนำไบโอออยล์ไปเผาที่อุณหภูมิ  $775^{\circ}\text{C}$  และทำการคำนวณหาสิ่งที่เหลืออยู่จากการเผาไหม้ตามมาตรฐาน ASTM E 1755-01<sup>6</sup>

4.3 ความหนาแน่น (Density) จะใช้หลอดวัดความหนาแน่นทำการวัดที่อุณหภูมิห้อง ( $30^{\circ}\text{C}$ ) หน่วยที่ใช้ในการวัดจะเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร (g/ml)

4.4 ค่า pH (pH value) จะใช้เครื่องทดสอบความเป็นกรด-ด่าง ที่อุณหภูมิห้อง โดยก่อนทำการวัดทุกครั้ง จะทำการเปรียบเทียบค่า pH 7

4.5 ความหนืด (Viscosity) จะทำการวัดโดยใช้เครื่องมือทดสอบความหนืดจลน์ CANNON FENSKE (REVERSE FLOW) TYPE FOR OPAQUE LIQUIDS (Standard Test ASTM D445 and D3104) หน่วยที่ใช้วัดจะเป็นเซนติสโตก (cSt) ทดสอบที่  $40^{\circ}\text{C}$

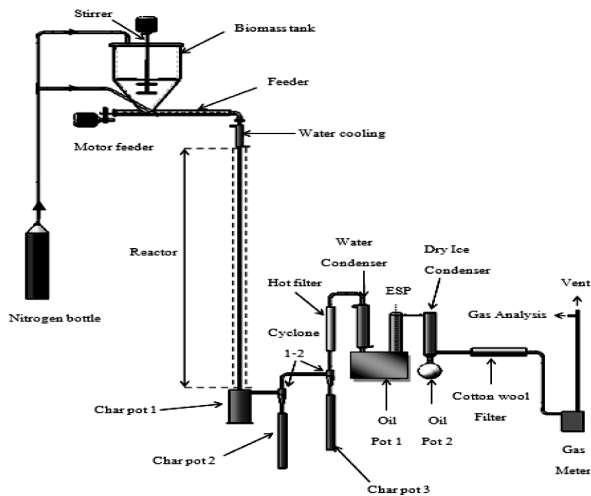


Figure 1 Schematic diagram of the free-fall fast pyrolysis unit

Table 2 Pyrolysis conditions

| Parameter                      | Run no.    |    |    |    |
|--------------------------------|------------|----|----|----|
|                                | 1          | 2  | 3  | 4  |
| Cooling water temperature (°C) | 0          | 30 | 50 | 70 |
| Pyrolysis temperature (°C)     | 450        |    |    |    |
| Biomass particle size (mm)     | 212-500    |    |    |    |
| Biomass feed rate (g/hr)       | 150        |    |    |    |
| Nitrogen flow rate (L/min)     | 5          |    |    |    |
| Hot filter medium              | Glass wool |    |    |    |
| Experimental run time (hour)   | 1          |    |    |    |

## ผลการทดลองและอภิปรายผล

ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. ผลของอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นต่อปริมาณไบโอออยล์ ไบโอออยล์ที่ได้จากการไพโรไลซิสแบบเร็วของลำต้นและเหง้ามันสำปะหลังโดยใช้เตาปฏิกรณ์แบบตกอิสระ แบ่งได้เป็น 2 ส่วน ดังแสดงใน Figure 1 ส่วนแรกเรียกว่า "Bio-oil I" ซึ่งคือ ไบโอออยล์ที่รวบรวมได้จากชุดควบแน่นด้วยน้ำ (water condenser) ชุดตกตะกอนไฟฟ้าสถิต (ESP) และถังเก็บไบโอออยล์ที่ 1 (Oil Pot 1) และส่วนที่ 2 คือ ไบโอออยล์ที่รวบรวมได้จากชุดควบแน่นน้ำแข็งแห้งผสมอะซิโตน (Dry Ice Condenser) ถังเก็บไบโอออยล์ที่ 2 (Oil Pot 2) และชุดกรองสำลี (Glass wool Filter) Figure 2 แสดงร้อยละของผลได้ของไบโอออยล์ทั้ง 2 ส่วน และผลรวมของปริมาณผลได้ (Total bio-oil) จากรูปพบว่าปริมาณผลได้โดยรวมของไบโอออยล์ (Total bio-oil) สูงสุดคือร้อยละ 64.23 ของชีวมวลแห้งเมื่อใช้อุณหภูมิ

น้ำหล่อเย็นเป็น 30 องศาเซลเซียส เมื่อลดอุณหภูมิเป็น 0 องศาเซลเซียส หรือเพิ่มอุณหภูมิเป็น 50 องศาเซลเซียส ปริมาณผลได้โดยรวมของไบโอออยล์ลดลงประมาณร้อยละ 1-2 ของชีวมวลแห้ง ขณะที่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเป็น 70 องศาเซลเซียส ปริมาณผลได้โดยรวมของ ไบโอออยล์ลดลงประมาณร้อยละ 5 ของชีวมวลแห้งที่ป้อน เมื่อพิจารณาแบบแยกส่วนไบโอออยล์ พบว่าปริมาณผลได้ของ Bio-oil I สูงที่สุดเมื่อใช้อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเป็น 0 องศาเซลเซียส ซึ่งได้ปริมาณร้อยละ 57.14 ของชีวมวลแห้งทั้งนี้เนื่องจากปริมาณผลได้ของ Bio-oil II ที่อุณหภูมินี้มีค่าต่ำที่สุด (ร้อยละ 5.29) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ต่ำถึง 0 องศาเซลเซียส นี้ทำให้ไบโอออยล์ส่วนที่ควรจะอยู่ใน Bio-oil II เมื่อใช้อุณหภูมิห้องเลื่อนมาอยู่ในไบโอออยล์ส่วนที่ 1 แทน ซึ่งจากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นมีผลต่อปริมาณผลได้ของไบโอออยล์อย่างชัดเจนและส่งผลกระทบต่อสมบัติของ ไบโอออยล์ในส่วนที่ 1 ซึ่งเป็นไบโอออยล์ส่วนหลักที่ผลิตได้ ดังรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

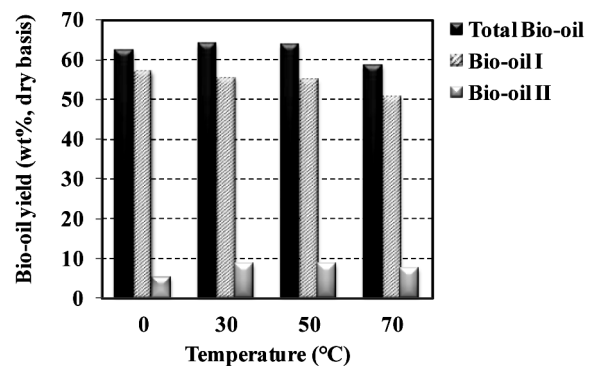


Figure 2 Effect of cooling water temperature on bio-oil yields

## 2. ผลของอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นต่อสมบัติไบโอออยล์

เมื่อนำไบโอออยล์ที่ได้จากการไพโรไลซิสลำต้นและเหง้ามันสำปะหลังในเตาปฏิกรณ์แบบตกอิสระโดยใช้อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่แตกต่างกัน เนื่องจาก Bio-oil II มีลักษณะเหลวและคาดว่ามีความหนืดจำนวนมากจึงไม่นำไบโอออยล์ในส่วนนี้มาวิเคราะห์ ผลการวิเคราะห์สมบัติแสดงดัง Table 3 จากตารางพบว่าค่าความหนาแน่นและ pH ของไบโอออยล์มีค่าใกล้เคียงกันมาก แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นไม่มีผลต่อสมบัติทั้งสองขณะที่ค่าความหนืดไบโอออยล์ที่ได้จากการใช้อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นในการควบแน่นที่ต่างกันมีค่าต่างกัน เมื่ออุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น 0 องศาเซลเซียส การควบแน่นทำให้ค่าความหนืดของไบโอออยล์ให้ค่าต่ำสุด (3.9 cSt) ทั้งนี้เนื่อง

มาจากปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นนี้สอดคล้องกับปริมาณผลได้ในหัวข้อ 3.1 ที่พบว่า Bio-oil II มีการเคลื่อนที่มาผสมกับ Bio-oil I เมื่อใช้อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส จากการศึกษาสมบัติของไบโอออยล์แสดงให้เห็นชัดเจนว่าอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นมีผลต่อลักษณะของไบโอออยล์

**Table 3** Characteristics of bio-oil from fast pyrolysis of cassava stalk and rhizome.

| Properties                        | Cooling water temperature (°C) |      |      |      |
|-----------------------------------|--------------------------------|------|------|------|
|                                   | 0                              | 30   | 50   | 70   |
| Solids content(wt%)               | 0.69                           | 0.88 | 0.82 | 0.78 |
| Ash content (wt%)                 | -                              | 0.04 | -    | -    |
| Density (g/ml)                    | 1.1                            | 1.1  | 1.1  | 1.1  |
| pH                                | 3.1                            | 3.3  | 3    | 3    |
| Kinematic viscosity at 40°C (cSt) | 3.9                            | 18.5 | 50.2 | 42.4 |

### สรุปผลการทดลอง

จากผลการศึกษาผลของอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นที่ใช้ในการควบแน่นต่อปริมาณของไบโอออยล์จากการ ไพโรไลซิสแบบเร็วของลำต้นและเหง้ามันสำปะหลังในเครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการควบแน่นคือ 30°C ปริมาณไบโอออยล์สูงสุดร้อยละ 64.23 เมื่ออุณหภูมิควบแน่นต่ำปริมาณไบโอออยล์ในถังเก็บจากการควบแน่น น้ำหล่อเย็นและ ESP จะมีค่าสูงผลการวิเคราะห์สมบัติของไบโอออยล์พบว่าอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นที่ใช้ในการควบแน่นไม่มีผลต่อความหนาแน่นและ ค่า pH ของไบโอออยล์แต่มีผลต่อค่าความหนืด โดยที่อุณหภูมิควบแน่นต่ำความหนืดของไบโอออยล์จะมีแนวโน้มต่ำตามไปด้วย

### กิตติกรรมประกาศ

ผลงานวิจัยพัฒนาและวิศวกรรมภายใต้โครงการนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินทุนอุดหนุนโครงการวิจัย พัฒนา และวิศวกรรมจากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ภายใต้โปรแกรมเทคโนโลยีฐาน (MTEC Platform) เลขที่โครงการ MT-B-54-END-53-089-G

### เอกสารอ้างอิง

1. Liu R, Deng C, Wang J. Fast Pyrolysis of Corn Straw for Bio-oil Production in a Bench-scale Fluidized Bed Reactor. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*. 2009;32(1):10-9.
2. Goyal HB, Seal D, Saxena RC. Bio-fuels from thermochemical conversion of renewable resources: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2008;12(2):504-17.
3. Chiaramonti D, Oasmaa A, Solantausta Y. Power generation using fast pyrolysis liquids from biomass. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2007;11(6):1056-86.
4. Brammer JG, Lauer M, Bridgwater AV. Opportunities for biomass-derived "bio-oil" in European heat and power markets. *Energy Policy*. 2006;34(17):2871-80.
5. Tsai WT, Lee MK, Chang YM. Fast pyrolysis of rice husk: Product yields and compositions. *Bioresource Technology*. 2007;98(1):22-8.
6. Oasmaa A, Peacocke C. Properties and fuel use of biomass-derived fast pyrolysis liquids: A guide: VTT Technical Research Centre of Finland; 2010. 134 p.