ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณผลได้และสมบัติของไบโอออยล์จากกระบวนการไพโรไลซีสแบบเร็วโดยใช้กากสบู่ดำในเตาปฏิกรณ์แบบตกอิสระ

Influence of Temperature on Yields and Properties of Bio-oil obtained from Fast Pyrolysis of Jatropha Oil Cake in a Free-Fall Reactor

ศรายุทธ ซาเสน[1], นุชิดา สุวแพทย์[2], อดิศักดิ์ ปัตติยะ[3*]

Sarayuth Sasen[1], Nuchida Suwapate[2], Adisak Pattiya[3*]

Received: 15 October 2012 ;Accepted: 10 December 2012

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตไบโอออยล์จากกากเมล็ดสบู่ดำผ่านกระบวนการไพโรไลซีสแบบเร็ว ในชุดเตาปฏิกรณ์แบบตกอิสระ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อหาผลของอุณหภูมิกระบวนการไพโรไลซีสต่อปริมาณผลได้และสมบัติของ ไบโอออยล์ โดยใช้อุณหภูมิ 400 450 500 550 และ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหลแก๊สไนโตรเจนอยู่ที่ 5 ลิตรต่อนาทีขนาดอนุภาคชีวมวล 0.212-0.500 มิลลิเมตร อัตราการป้อน 140-160 กรัมต่อชั่วโมง และศึกษาสมบัติพื้นฐานของ ไบโอออยล์ ได้แก่ ปริมาณของแข็ง ความหนาแน่น ค่าความเป็นกรด-ด่าง และความหนืดจลน์ จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิไพโรไลซีสที่ 550 องศาเซลเซียส ทำให้ได้ปริมาณผลได้ของไบโอออยล์สูงสุดที่ร้อยละ 49.03 โดยมวล และผลการวิเคราะห์สมบัติของไบโอออยล์ซึ่งได้จากอุณหภูมิเหมาะสมที่สุด พบว่าปริมาณของแข็งมีร้อยละ 0.18 โดยมวล ความหนาแน่น 1 กรัมต่อมิลลิลิตร ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.7 และค่าความหนืดจลน์อยู่ที่ 432.27 เซนติสโตก

คำหลัก: ไพโรไลซีสแบบเร็ว กากเมล็ดสบู่ดำ เครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระ

Abstract

This research is a study of the production of bio-oil from Jatropha oil cake by a fast pyrolysis process in a free-fall reactor. The objective of this work was to determine the effect of pyrolysis temperature on yields and properties of bio-oil. The temperatures studied were 400, 450, 500, 550 and 600°C. The nitrogen flow rate was 5 L/min. The biomass particle size was 212-500 μm. The biomass feed rate was 140-160 g/h. The bio-oil properties investigated included solids content, density, pH, and kinetic viscosity. The results showed that at the pyrolysis temperature of 550°C, the maximum bio-oil yield of 49.03 wt% was achieved. At this pyrolysis temperature, the bio-oil had solids content of 0.18 wt%, density of 1.0 g/ml, pH of 4.7, and viscosity of 432.27 cSt.

Keywords: Fast Pyrolysis, Jatropha oil cake, Free-Fall Reactor

[1] *นิสิตปริญญาโท, [2]อาจารย์,[3]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานชีวภาพและทรัพยากรหมุนเวียนคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียงอำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150*

* *ผู้ติดต่อ: adisak_pattiya@yahoo.com, โทรศัพท์ 043-754-321 ต่อ 3036, โทรสาร 043-754-316*

[1] *Master Student,[2]Lecturer, [3]Assistant Professor, Bio-Energy and Renewable Resources Research Laboratory, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kamriang, Kantharawichai, MahaSarakham 44150, Thailand*

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

บทนำ

สำหรับประเทศไทย เรื่องของไบโอดีเซล โดยเฉพาะ เมล็ดสบู่ดำ ได้มีการวิจัยมามากกว่าเวลา 20 ปีด้วยข้อดีที่เมล็ดสบู่ดำเป็นพืชน้ำมันที่สามารถนำมาผลิตน้ำมันไบโอดีเซลได้ซึ่งกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากเมล็ดสบู่ดำ ในขั้นตอนการหีบน้ำมันสบู่ดำ จะทำการแยกสัดส่วนที่เป็นของแข็งหรือกากและส่วนที่เป็นน้ำมัน โดยกากสบู่ดำนั้นจะมีลักษณะแข็งมีขนาดใหญ่ และยังมีปริมาณน้ำมันที่ติดมาด้วยในปริมาณมาก ทำให้ติดไฟได้ง่าย ซึ่งการนำมาใช้งานในปัจจุบันนำมาทำปุ๋ย ใช้เป็นเชื้อเพลิงและนอกจากนี้ยังสามารถนำกากสบู่ดำมาแปรสภาพให้เป็นน้ำมันชีวภาพ หรือที่เรียกว่าไบโอออยล์ (Bio-oil) ได้ด้วยกระบวนการไพโรไลซีสแบบเร็ว

กระบวนการไพโรไลซีสแบบเร็ว (Fast pyrolysis process) เป็นกระบวนการสลายตัวทางความร้อนซึ่งใช้อุณหภูมิสูงกับวัตถุดิบในสภาวะไม่มีออกซิเจนโดยวัตถุดิบจะเกิดการสลายตัวกลายเป็นไอและจะรวมตัวกันใหม่ในอุณหภูมิของการควบแน่นที่ต่ำซึ่งได้ผลิตภัณฑ์หลักเป็นของเหลวหรือไบโอออยล์อยู่ในปริมาณร้อยละ 60-70 ถ่านร้อยละ 10-40 และแก๊สร้อยละ 10-30 โดยน้ำหนัก ของชีวมวลทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้านเช่นลักษณะของเตาปฏิกรณ์อุณหภูมิไพโรไลซีส ขนาดชีวมวลและชนิด ของชีวมวลชนิดของเตาปฏิกรณ์เป็นสิ่งที่สำคัญของกระบวนการไพโรไลซีสโดยปัจจุบันในกระบวนการไพโรไลซีส มีการออกแบบเตาปฏิกรณ์หลายลักษณะ เช่น เตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิไดซ์เบด (Fluidised-bed)[1] สกรูลำเลียง (Auger)[2] สุญญากาศ (Vacuum)[3] หมุนเหวี่ยง (Rotating cone)[4] อัดหมุน (Vortex)[5] และแบบตกอิสระ (Free-fall)[6] โดยใช้ชีวมวลเป็นฟางข้าว[7] ลำต้นมันสำปะหลัง ใบอ้อย[8] ไม้โอ๊กแดง[9]

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา[10] พบว่าได้มีการนำกากเมล็ดสบู่ดำมาผลิตไบโอออยล์ด้วยกระบวนการ ไพโรไลซีสแบบเร็ว โดยใช้เตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิไดซ์เบด พบว่าที่อุณหภูมิไพโรไลซีส 500 องศาเซลเซียสผลิตภัณฑ์ไบโอออยล์ที่ได้ร้อยละ 64 อย่างไรก็ตามถึงจะมีการใช้กากสบู่ดำเป็นวัตถุดิบในกระบวนการไพโรไลซีส แต่ก็ยังไม่มีงานวิจัยที่เคยใช้กากสบู่ดำทดลองใน เตาปฏิกรณ์แบบตกอิสระ ซึ่งลักษณะโดดเด่นของเตาปฏิกรณ์ชนิดนี้คือ มีรายละเอียดรวมถึงกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน และใช้ต้นทุนต่ำกว่าเตาปฏิกรณ์ชนิดอื่น ๆ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิของไพโรไลซีสที่มีผลต่อปริมาณผลได้ของผลิตภัณฑ์และสมบัติของไบโอออยล์ที่ได้ โดยใช้ชีวมวลเป็นกากสบู่ดำที่เหลือจากการหีบเอาน้ำมันออก ในเตาปฏิกรณ์แบบตกอิสระ เพื่อใช้เป็นแนวทางพื้นฐานในการออกแบบ และใช้เป็นฐานข้อมูลในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองในงานวิจัยในครั้งนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

1. วัตถุดิบ

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้กากเมล็ดสบู่ดำที่เหลือจากการหีบแยกน้ำมัน โดยนำมาผ่านขั้นตอนการบดละเอียดและคัดแยกขนาด อยู่ที่ระหว่าง 0.212-0.500 มิลลิเมตร หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำไปวิเคราะห์ผลแสดงใน Table 1

Table 1 Properties of Jatropha oil cake

Proximate analysis (wt%)	
Moisture	11.63
Volatile	67.08
Fixed carbon	21.42
Ash	0.14
Ultimate analysis(wt%)	
Carbon	43.65
Hydrogen	6.09
Nitrogen	5.68
Sulfer	0.16
Oxygen*	44.42
Heating Value (MJ/Kg)	
HHV	20.74
LHV	19.41

*Calculated by difference

แบบประมาณ (Proximate analysis) เพื่อหาสัดส่วนความชื้น (Moisture) ตามมาตรฐาน ASTME1756-01 สารระเหย (Volatile mater) ตามมาตรฐาน ASTME872-82 เถ้า (Ash) ตามมาตรฐาน ASTME1755-01 และคาร์บอนคงที่ (Fixed carbon) หาได้จากการคำนวณค่าความแตกต่าง รวมถึงการนำชีวมวลมาวิเคราะห์แบบ แยกธาตุเพื่อหาธาตุพื้นฐานในชีวมวล ได้แก่ คาร์บอน (Carbon) ไฮโดรเจน (Hydrogen) ไนโตรเจน (Nitrogen) กำมะถัน (Sulfur) และออกซิเจน (Oxygen) ซึ่งหาได้จากส่วนต่างทางการคำนวณ และการวิเคราะห์ชีวมวลนี้ทำการวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ CHNS-932 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2. เครื่องปฏิกรณ์

การทดลองนี้เป็นกระบวนการทดลองแบบห้องปฏิบัติการ (Lab scale) โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบ ตกอิสระ Figure 1 แสดงรายละเอียดเครื่องปฏิกรณ์ ประกอบด้วยเตาปฏิกรณ์ ถังชีวมวล ถังเก็บถ่านชาร์ชุดไซโคลน ชุดกรองไอร้อน ชุดควบแน่นด้วยน้ำ ถังเก็บ ไบโอออยล์ ชุดตกตะกอนด้วยไฟฟ้าสถิตย์ ชุดควบแน่นด้วยน้ำแข็งแห้งผสมกับอะซิโตน และชุดสกรูป้อน อัตราการป้อนชีวมวลอยู่ระหว่าง 140-160 กรัมต่อชั่วโมง เตาปฏิกรณ์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.019 เมตร ความสูง 1.5 เมตร ใช้ลวดฮีตเตอร์ให้ความร้อนพันรอบเตาปฏิกรณ์ชุดกรองไอร้อนใช้ใยแก้วเป็นตัวกลางสำหรับกรองอนุภาคขนาดเล็ก ในระบบนี้ใช้แก๊สไนโตรเจนสำหรับพาไอไพโรไลซีสออกจากระบบ

3. การออกแบบการทดลอง

การศึกษางานวิจัยนี้อุณหภูมิไพโรไลซีสที่ใช้ในการทดลองคือ 400 450 500 550 และ 600 องศาเซลเซียส แผนการทดลองดังแสดงใน Table 2

Table 2 Experimental condition

Parameter	Experiment				
	1	2	3	4	5
Temperature(°C)	400	450	500	550	600
Particle size	212 – 500 μm				
Feed rate	140 – 160 g/h				
Nitrogen flow rate	5 l/min				
Experimental run time	1hour				
Filter medium	Glass wool				

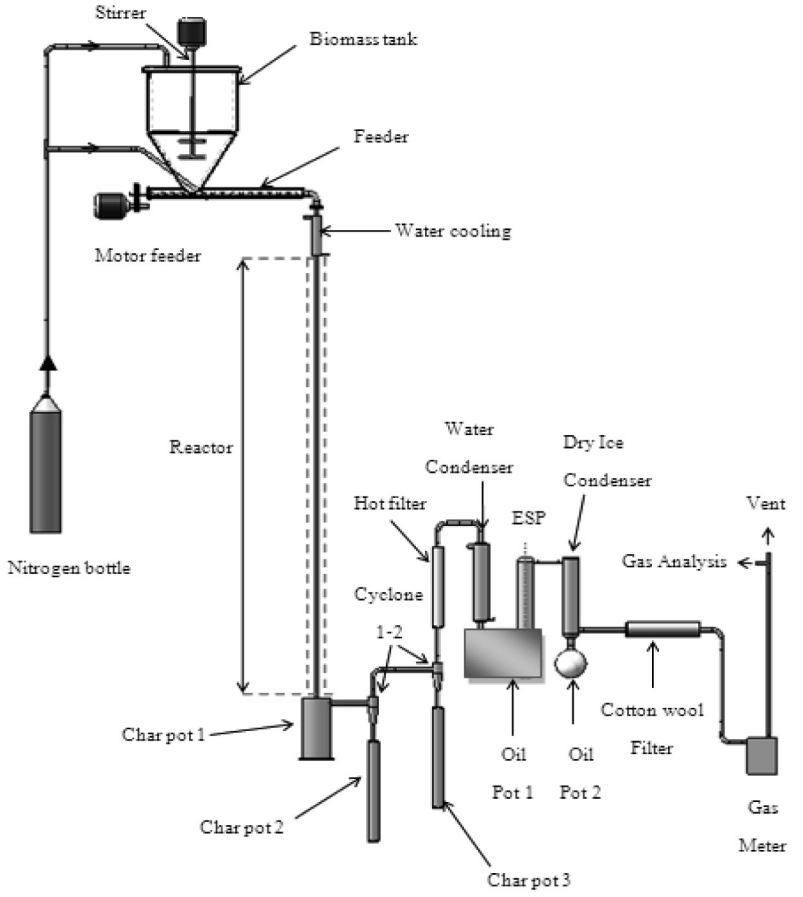

Figure 1 Free-fall pyrolysis reactor unit

4. การวิเคราะห์สมบัติของไบโอออยล์

วิธีการวิเคราะห์สมบัติของไบโอออยล์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซีสแบบเร็วเมื่อใช้ชีวมวลเป็นกากสบู่ดำ โดยผู้ศึกษาได้แบ่งหัวข้อของการวิเคราะห์ออกดังต่อไปนี้ และในการทดลองได้วิเคราะห์ค่าสมบัติ 3 ซ้ำ

ปริมาณของแข็ง (Solids content) ทำการวิเคราะห์โดยใช้เอทานอลทำการละลายไบโอออยล์ เอทานอล 100 มิลลิลิตรต่อไบโอออยล์ 1-3 กรัม

ความหนาแน่น (Density) หลอดแก้ววัดความหนาแน่นทำการวิเคราะห์ที่อุณหภูมิห้องหน่วยที่ใช้ในการวิเคราะห์จะเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH value) ใช้เครื่องทดสอบค่า pH Meter ยี่ห้อ Denver Instrument รุ่น UB-10 โดยก่อนทำการวัดทุกครั้งต้องทำการเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่าง 4,7 และ 10

ความหนืด (Viscosity) วิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือทดสอบความหนืดจลน์ ยี่ห้อ Cannon fenske รุ่น Opaque liquids หลอดเบอร์ 350 ตามมาตรฐาน ASTM D445 และ D3104 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส หน่วยที่ใช้วัดเป็นเซนติสโตก (cSt)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณผลได้ของผลิตภัณฑ์

เมื่อนำกากเมล็ดสบู่ดำไปผ่านกระบวนการไพโรไลซีสแบบเร็วโดยใช้เตาปฏิกรณ์แบบตกอิสระ ที่อุณหภูมิ 400 450 500 550 และ 600 องศาเซลเซียส โดยใช้ขนาดอนุภาค 0.212-0.500 มิลลิเมตร ใช้อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนคงที่ 5 ลิตรต่อนาที ผลที่ได้แสดงดัง Figure 2 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ 400-550 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณไบโอออยล์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหลังจากนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 550-600 องศาเซลเซียส ทิศทางปริมาณไบโอออยล์มีแนวโน้มปริมาณลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณไบโอออยล์สูงสุดที่ร้อยละ 49.03 ของ ชีวมวลแห้ง ทิศทางของถ่านชาร์มีแนวโน้มลดลงร้อยละ 37.25 เป็นร้อยละ 30.68 ขณะที่ปริมาณผลได้ของแก๊สมีทิศทางเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น สาเหตุที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณถ่านชาร์มีแนวโน้มลดลง เนื่องมาจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้การสลายตัวของสัดส่วนที่เป็นลิกนินที่อยู่ในชีวมวล สามารถสลายตัวได้ดี ขณะที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นแนวโน้มของแก๊สเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาแตกตัวขั้นที่สองของไอไพโรไลซีส(Secondary cracking) ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัย[11]

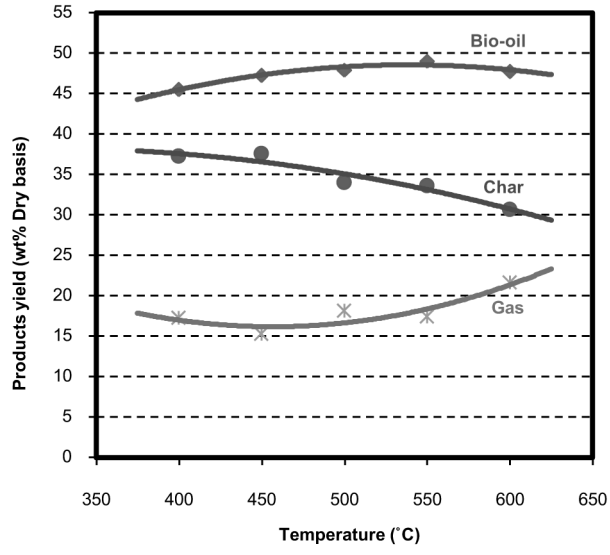

Figure 2 Effect of temperature on products yields

Table 3 Properties of bio-oil

Pyrolysis temperature (˚C)	Properties			
	Solids content (wt%)	Density(kg/dm^3)	pH	Viscosity at 40˚C (cSt)
400	0.42	0.94	4.4	241.67
450	0.39	0.95	3.9	321.16
500	0.12	0.94	4.1	369.82
550	0.18	1.00	4.7	432.27
600	0.05	1.09	4.0	900.21

2. ผลอุณหภูมิต่อสมบัติของไบโอออยล์

เมื่อนำไบโอออยล์ที่ผลิตได้จากกระบวนการไพโรไลซีสแบบเร็ว ที่อุณหภูมิ 400-600 องศาเซลเซียส มาวิเคราะห์สมบัติ ได้แก่ ปริมาณของแข็ง ความหนาแน่น ค่าความเป็นกรด-ด่าง และความหนืดจลน์ ผลที่ได้แสดงดัง Table 3 พบว่าปริมาณของแข็งในไบโอออยล์อยู่ในช่วงร้อยละ 0.05-0.42 ซึ่งมีค่าเป็นไปตามมาตรฐานของ ไบโอออยล์ทั่วไปจากงานวิจัย[11] รวมทั้งมีค่าปริมาณของแข็งอยู่ในช่วงร้อยละ 0-1 ส่วนค่าความหนาแน่นของไบโอออยล์อยู่ในช่วง 0.94-1.09 กรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งมีค่าเป็นไปตามมาตรฐานไบโอออยล์ทั่วไปจากงานวิจัย[11] ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง <1.2 กรัมต่อมิลลิลิตร ค่าความเป็นกรด-ด่างของไบโอออยล์มีค่าอยู่ในช่วง 4-5 และค่าความหนืดจลน์ของไบโอออยล์อยู่ที่ 221-900 cSt นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่ออุณหภูมิเตาปฏิกรณ์เพิ่มสูงขึ้นส่งผลทำให้ค่าความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการแตกตัวขององค์ประกอบที่เป็นน้ำมันในกากสบู่ดำเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิสูง

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองไพโรไลซีสแบบเร็วโดยใช้กากสบู่ดำเปรียบเทียบอุณหภูมิที่เหมาะสมกับปริมาณผลได้ของ ไบโอออยล์ พบว่าอุณหภูมิที่มีผลต่อปริมาณผลได้ ที่ส่งผลให้ปริมาณไบโอออยล์สูงสุดโดยใช้กากสบู่ดำในเตาปฏิกรณ์แบบตกอิสระ อุณหภูมิที่ 550 องศาเซลเซียส ทำให้ได้ไบโอออยล์สูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 49.03 ได้แก่ ปริมาณของแข็ง ความหนาแน่น ความเป็นกรด-ด่าง ยกเว้นค่าความหนืดที่อุณหภูมิมีผลอย่างชัดเจน โดยที่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น แนวโน้มความหนืดของ ไบโอออยล์มีลักษณะแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตาม ซึ่งแสดง ให้เห็นว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเตาปฏิกรณ์แบบตกอิสระอยู่ที่ 550 องศาเซลเซียส

เนื่องจากไบโอออยล์ที่ได้มีคุณสมบัติเทียบเท่าน้ำมันเตา[11] หากจะมีการนำไบโอออยล์ไปใช้ควรมีการปรับปรุงสมบัติทางความหนืด เพื่อลดความหนืดก่อนการใช้งานต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

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

เอกสารอ้างอิง

1. Pattiya A. Bio-oil production via fast pyrolysis of biomass residues from cassava plants in a fluidised-bed reactor. Bioresource Technology. 2011; 102(2):1959-67.
2. Brown JN, Brown RC.Process optimization of an auger pyrolyzer with heat carrier using response surface methodology.Bioresource Technology.2012; 103(1):405-14.
3. deJongh WA, Carrier M, Knoetze JH. Vacuum pyrolysis of intruder plant biomasses.Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 2011;92(1):184-93.
4. Wagenaar BM, Prins W, van Swaaij WPM. Pyrolysis of biomass in the rotating cone reactor: modelling and experimental justification. Chemical Engineering Science.1994;49(24, Part 2):5109-26.
5. Diebold JP, Czernik S. Additives To Lower and Stabilize the Viscosity of Pyrolysis Oils during Storage. Energy & Fuels.1997;11(5):1081-91.
6. Zhang L, Xu S, Zhao W, Liu S. Co-pyrolysis of biomass and coal in a free fall reactor. Fuel. 2007;86(3):353-9.
7. Li S, Xu S, Liu S, Yang C, Lu Q. Fast pyrolysis o f biomass in free-fall reactor for hydrogen-rich gas. Fuel Processing Technology.2004;85(8–10):1201-11.
8. Pattiya A, Sukkasi S, Goodwin V. Fast pyrolysis of sugarcane and cassava residues in a free-fall reactor. Energy.2012;44(1):1067-77.
9. Ellens CJ, Brown RC. Optimization of a free-fall reactor for the production of fast pyrolysis bio-oil. Bioresource Technology. 2012;103(1):374-80.
10. Raja SA, Kennedy ZR, Pillai BC, Lee CLR. Flash pyrolysis of jatropha oil cake in electrically heated fluidized bed reactor. Energy.2010;35(7):2819-23.
11. 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.