AEC-21

ผลของตำแหน่งการเพิ่มเอทานอลที่มีต่อปริมาณและคุณสมบัติของไบโอออยล์ที่ได้จากไพโรไลซีสแบบเร็วของชานอ้อย

Effect of ethanol addition position on yield and properties of bio-oil obtained from fast pyrolysis of sugarcane bagasse

ธวัชชัย สีลาโส[1], สันติ ป้อมสุวรรณ[2] และ สุนทร สุทธิบาก[3]*

[1,2,3] สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี 64 ถนนทหาร ตำบลหมากแข้ง อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี 41000
*ติดต่อ: E-mail : suntorn_su@hotmail.com, เบอร์โทรศัพท์ : o42-211040 ต่อ 1425, เบอร์โทรสาร : 042-221978

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาผลของตำแหน่งการเพิ่มเอทานอลที่มีต่อปริมาณและคุณสมบัติของไบโอออยล์ที่ได้จากไพโรไลซีสแบบเร็วของชานอ้อยในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบด โดยทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 500°C ใช้ขนาดอนุภาคชีวมวล 0.250–0.425 mm. จากผลการทดลองพบว่า การปรับปรุงคุณภาพโดยการเพิ่มเอทานอลเข้าไปทำปฏิกิริยาในระบบไพโรไลซีสแบบเร็วของชานอ้อยจะทำให้ได้ปริมาณไบโอออยล์เพิ่มขึ้น โดยตำแหน่งการเพิ่มเอทานอล ตำแหน่งที่ 1 (ก่อนอุ่นไนโตรเจนร้อน) จะให้ปริมาณไบโอออยล์สูงสุดประมาณ 74.60 wt.% และตำแหน่งการเพิ่มเอทานอลที่ตำแหน่งที่ 2 (ก่อนการควบแน่นด้วยน้ำหล่อเย็น) จะได้ปริมาณไบโอออยล์ 62.54 wt.% ส่วนการทดลองปกติที่ไม่มีการเพิ่มเอทานอลจะได้ปริมาณไบโอออยล์ประมาณ 59.48 wt.% จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานของไบโอออยล์ที่ได้ พบว่าการปรับปรุงคุณภาพโดยการเพิ่มเอทานอลเข้าไปทำปฏิกิริยาทั้งสองตำแหน่งจะทำให้คุณสมบัติของไบโอออยล์ดีขึ้นอย่างชัดเจนในด้านองค์ประกอบแร่ธาตุพื้นฐาน ค่า pH และค่าความร้อน

คำหลัก: ไพโรไลซีสแบบเร็ว; ชานอ้อย; การเพิ่มเอทานอล

Abstract

This paper presents a study of effect of ethanol addition position on yield and properties of bio–oil obtained from fast pyrolysis of sugarcane bagasse in a fluidized-bed reactor. Fast pyrolysis experiment was conducted at a temperature was 500°C using a biomass particle size of 0.250–0.425 mm. Results showed that the improvement by the ethanol addition led to the increased of bio–oil yields. The ethanol addition of position 1 (before pre-heater) and 2 (before water-cooled condenser), which gave maximum bio–oil yields of 74.60 wt.% and 62.54 wt.% on dry biomass, respectively. The normal experiment, which gave maximum bio–oil yield of 59.48 wt.% on dry biomass. The bio–oil products were also tested for their basic properties. Results showed that the ethanol addition of bio-oils appeared to have a better properties in terms of elemental composition, pH value and heating value.

Keywords: 3 – 5 Fast pyrolysis; Sugarcane bagasse; ethanol addition

1. บทนำ

ปัญหาวิกฤตน้ำมันเชื้อเพลิงและสิ่งแวดล้อมถือว่าเป็นปัญหาหลักที่สำคัญของโลก เนื่องจากปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ และปริมาณเชื้อเพลิงดังกล่าวมีแนวโน้มที่จะหมดลงในอนาคต นอกจากนี้การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลยังส่งผลกระทบกับสิ่งแวดล้อม เนื่องจากไอเสียจากการเผาไหม้จะก่อให้เกิดปัญหาต่างๆ ตามมา อาทิเช่น ปัญหามลพิษ ปัญหาสภาวะโลกร้อน ปัญหาฝนกรด เป็นต้น [1,2] ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ของโลกและก่อให้เกิดความเปลี่ยนแปลงต่อสภาพแวดล้อม การคิดค้นแหล่งพลังงานทดแทน จึงเป็นสิ่งสำคัญและพลังงานทางเลือกหนึ่งที่กำลังเป็นที่สนใจ คือ พลังงานจากชีวมวล (Biomass) ซึ่งเป็นที่รู้จักมานานว่าเป็นพลังงานหมุนเวียนที่ยั่งยืน สะอาด และมีมูลค่าพลังงานมหาศาล การนำชีวมวลไปใช้เป็นพลังงงานจำเป็นต้องผ่านเทคโนโลยีการเปลี่ยนรูปชีวมวล และเทคโนโลยีในการเปลี่ยนรูปชีวมวลที่น่าสนใจอีกเทคโนโลยีหนึ่ง คือ ไพโรไลซีสแบบเร็ว (Fast pyrolysis) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการเปลี่ยนรูปชีวมวลที่เป็นของแข็งให้เป็นของเหลวด้วยความร้อนสูงและรวดเร็ว ผลิตภัณฑ์หลักที่ได้จะเป็นของเหลว เรียกว่า ไบโอออยล์ (Bio-oil) [3]

ไบโอออยล์จัดว่าเป็นพลังงานทดแทนที่อยู่ในรูปของเชื้อเพลิงเหลว มีสีน้ำตาลเข้ม หนืด เมื่อเผาไหม้แล้วจะให้เปอร์เซ็นต์ของซัลเฟอร์และไนโตรเจนในปริมาณที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิล ซึ่งถือว่าเป็นข้อดีต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อนำไปใช้งาน ไบโอออยล์สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ทั้งในการผลิตให้ความร้อน ผลิตกระแสไฟฟ้า หรือใช้ในอุตสาหกรรมทางเคมี [4,5] มีค่าความร้อนประมาณ 17-18 MJ/kg ปัจจุบันไบโอออยล์ที่ได้จากไพโรไลซีสแบบเร็วของชีวมวลยังไม่เหมาะกับการนำไปใช้งานสำหรับเป็นเชื้อเพลิงในด้านการขนส่ง เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีไบโอออยล์ยังแตกต่างจากเชื้อเพลิงฟอสซิลมาก อาทิเช่น มีปริมาณน้ำที่สูง ความหนืดสูง ปริมาณเถ้าสูง ค่าความความร้อนที่ต่ำ มีค่า pH ต่ำ (ประมาณ 2-4) ทำให้เกิดการกัดกร่อน และมีปัญหาในด้านเสถียรภาพในการเก็บรักษา เป็นต้น ดังนั้นการที่จะนำไบโอออยล์ไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพไบโอออยล์ก่อนนำไปใช้งาน

กระบวนการปรับปรุงคุณภาพไบโอออยล์ที่ได้จากไพโรไลซีสแบบเร็วของชีวมวล (Upgrading of bio-oil) มีหลายวิธี และมีนักวิจัยจำนวนมากได้ทำการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของไบโอออยล์ในแต่ละวิธี ซึ่งได้ผลการทดลองที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับวิธีที่ทำการศึกษา เช่น การกรองเพื่อกำจัดผงถ่าน (Hot filtration) การทำอีมัลซิฟิเคชั่นกับสารไฮโดรคาร์บอน (Emulsification) การเติมสารละลาย (Solvent addition) การกลั่นด้วยสุญญากาศ (Vacuum distillation) การทำปฏิกิริยากับเอทานอล (Ethanol reaction) การดึงออกซิเจนออกโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic deoxygenation) การดึงออกซิเจนออกโดยการเติมไฮโดรเจน (Hydrodeoxygenation) และการแยกแก๊สโดยผ่านตัวเร่ง (Reforming) [3] เป็นต้น

งานวิจัยที่ผ่านมา Zheng. [6] ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของไบโอออยล์จากไพโรไลซีสของแกลบ โดยการป้อนเอทานอลเข้าไปทำปฏิกิริยากับไอไพโรไลซีสในขณะทำการควบแน่นในชุดควบแน่น พบว่า ไบโอออยล์ที่ได้จะมีส่วนผสมระหว่างไบโอออยล์กับเอทานอล ทำให้ไบโอออยล์ที่ได้มีค่าความร้อนที่สูงขึ้น และคุณสมบัติของไบโอออยล์ที่ได้จากการศึกษามีค่าใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงฟอสซิล สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ นอกจากนี้ Pidtasang et al. [7] ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของไบโอออยล์โดยการเติมเอทานอลและเมทานอลในสัดส่วน 2.5-10% เพื่อผสมกับไบโอออยล์ที่ได้จากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสโดยกระบวนการไพโรไลซีสแบบเร็วในเครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระ (Free-fall reactor) พบว่าไบโอออยล์ที่ได้มีคุณสมบัติดีขึ้นในด้านของค่าความหนืด และความมีเสถียรภาพในการจัดเก็บ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพไบโอออยล์ที่ได้จากไพโรไลซีสแบบเร็วของชานอ้อยในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบด โดยวิธีการทำปฏิกิริยากับเอทานอล (Ethanol reaction) โดยการเพิ่มเอทานอลเข้าไปทำปฏิกิริยาในระบบไพโรไลซีสแบบเร็ว และศึกษาผลของตำแหน่งการเพิ่มเอทานอลที่มีต่อปริมาณและคุณสมบัติของไบโอออยล์ที่ได้ โดยทำการศึกษาการเพิ่มเอทานอลเข้าสู่ระบบ 2 ตำแหน่ง ประกอบด้วย ตำแหน่งที่ 1 ป้อนเอทานอลเข้าชุดอุ่นไนโตรเจนร้อนก่อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบด และตำแหน่งที่ 2 ป้อนเอทานอลเข้าตำแหน่งก่อนการควบแน่นไอไพโรไลซีสที่ชุดควบแน่นน้ำหล่อเย็น ไบโอออยล์ที่ได้

จากการเพิ่มเอทานอลทั้งสองตำแหน่งจะนำไปเปรียบเทียบปริมาณและคุณสมบัติพื้นฐานกับไบโอออยล์ที่ได้จากการทดลองปกติที่ไม่มีการเพิ่มเอทานอล

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

ตัวอย่างชีวมวลที่ใช้ในการศึกษาจะใช้ชานอ้อย โดยทำการตากแดดให้แห้งและบดย่อยด้วยเครื่องบดย่อย พร้อมคัดแยกขนาดด้วยเครื่องคัดแยกขนาด โดยเลือกใช้ขนาดอนุภาค 0.25-0.425 mm. จากนั้นทำการอบแห้งในเตาอบ ที่อุณหภูมิ 105°C นาน 24 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้นให้เหลือน้อยที่สุด

ตัวอย่างชีวมวลจะทำการวิเคราะห์พื้นฐาน ได้แก่ การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) เป็นการวิเคราะห์หาความชื้น (Moisture) สารระเหยได้ (Volatile matter) เถ้า (Ash) และคาร์บอนเสถียรหรือคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM E1756-01, E872-82 และ E1755-01 ตามลำดับ สำหรับคาร์บอนเสถียรจะคำนวณได้จากค่าความแตกต่างที่เหลือจากปริมาณความชื้น สารระเหยได้ และเถ้า การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) เป็นการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของแร่ธาตุพื้นฐานในชีวมวล ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และกำมะถัน ส่วนออกซิเจนจะคำนวณหาจากค่าความแตกต่างโดยใช้เครื่องมือ Carbon Hydrogen Nitrogen & Sulfur analyzer Model Carbon 628, 628 S ทำการวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย ค่าความร้อน (Heating value) จะใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) มาคำนวณหา การคำนวณหาค่าความร้อนสูง (HHV) ของชีวมวลจะใช้สมการของ Sheng and Azevedo [8] ดังสมการที่ (1) ส่วนการหาค่าความร้อนต่ำ (LHV) จะใช้ค่าความร้อนสูง (HHV) และปริมาณไฮโดรเจน (H) คำนวณตามสมการของ ECN [9] ดังสมการที่ (2)

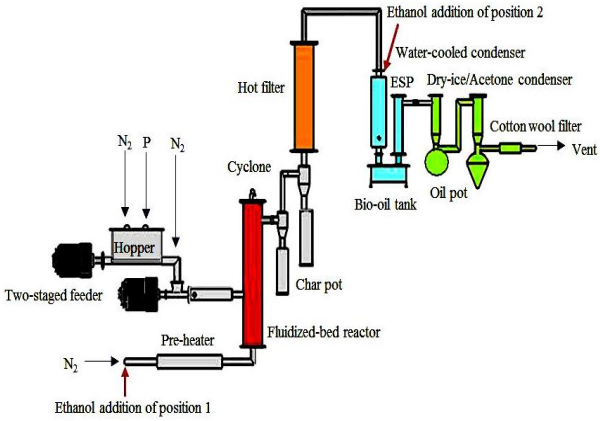
$$V\left(\frac{MJ}{kg}\right) = -1.3675 + 0.3137C + 0.7009H + 0.0318O^{*} \quad (1)$$

$$LHV\left(\frac{MJ}{kg}\right) = HHV - 2.442 * 8.936\left(\frac{H}{100}\right) \quad (2)$$

เมื่อ C และ H คือ ร้อยละของปริมาณคาร์บอน และไฮโดรเจน (ฐานแห้ง) ตามลำดับ และ O^{*} คือ 100-C-H-Ash

2.2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

การศึกษานี้จะใช้หน่วยผลิตไพโรไลซีสแบบเร็วที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบด ขนาดอัตราป้อน 200-300 g/hr ทำการทดลอง อุปกรณ์ในหน่วยผลิตไพโรไลซีสแบบเร็ว ประกอบด้วย ชุดป้อนเอทานอล ถังบรรจุชีวมวล ชุดสกรูป้อนชีวมวล ชุดอุ่นไนโตรเจนร้อน เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบด ชุดแยกและเก็บรวบรวมถ่านและชุดควบแน่นและเก็บรวบรวมไบโอออยล์ ไดอะแกรมการทดลองจะดังแสดงในรูปที่ 1 สำหรับหน่วยผลิตไพโรไลซีสแบบเร็วที่ใช้ในการศึกษาจะแสดงไว้ในรูปที่ 2



รูปที่ 1 ไดอะแกรมหน่วยผลิตไพโรไลซีสแบบเร็ว

รูปที่ 2 หน่วยผลิตไพโรไลซีสแบบเร็วที่ใช้ในการทดลอง

2.3. เงื่อนไขการทดลอง

การทดลองนี้จะเป็นการศึกษาผลของตำแหน่งการเพิ่มเอทานอลที่มีต่อปริมาณและคุณสมบัติของไบโอออยล์ที่ได้จากไพโรไลซีสแบบเร็วของชานอ้อย

โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 การทดลอง ทุกการทดลองจะทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 500°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ให้ปริมาณไบโอออยล์สูงสุดจากการทดลองผลิตไบโอออยล์จากชานอ้อยที่อุณหภูมิต่างๆ ในเบื้องต้น และจากงานวิจัยที่ผ่านมา [10] ในการทดลองที่ 1 เป็นการทดลองปกติที่ไม่มีการทำปฏิกิริยากับเอทานอล หรือไม่มีการเพิ่มเอทานอล การทดลองที่ 2 เป็นการทำปฏิกิริยากับเอทานอลโดยทำการป้อนเอทานอลเข้าตำแหน่งที่ 1 (ก่อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ไอของเอทานอลเข้าไปทำปฏิกิริยาโดยตรงในกระบวนการไพโรไลซีสแบบเร็ว และการทดลองที่ 3 เป็นการทำปฏิกิริยากับเอทานอลโดยทำการป้อนเอทานอลเข้าตำแหน่งที่ 2 (ก่อนการควบแน่นไอไพโรไลซีสด้วยน้ำหล่อเย็น) ซึ่งเป็นตำแหน่งหลังการทำปฏิกิริยาไพโรไลซีสแบบเร็วในกระบวนการโดยการนำเอาไอของเอทานอลเข้าไปผสมกับไอไพโรไลซีสก่อนทำการควบแน่นด้วยน้ำหล่อเย็น อัตราการป้อนเอทานอลของการทดลองที่ 2 และ 3 ประมาณ 10 g/hr แต่ละการทดลองจะใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง ดังรายละเอียดในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการทดลอง

ตัวแปร	การทดลอง		
	1	2	3
อุณหภูมิไพโรไลซีส (°C)	500		
ขนาดอนุภาคชีวมวล (mm)	0.25-0.425		
อัตราการป้อนเอทานอล (g/hr)	-	10	10
อัตราป้อนชีวมวล (g/hr)	200		
อัตราการไหลของ N_2 ร้อน (L/min)	6		
เวลาที่ใช้ในการทดลอง (hr)	1		

2.4. การวิเคราะห์ไบโอออยล์

คุณสมบัติพื้นฐานของไบโอออยล์ที่ทำการวิเคราะห์ประกอบด้วย องค์ประกอบแร่ธาตุพื้นฐาน ปริมาณน้ำ ปริมาณของแข็ง ปริมาณเถ้า ค่า pH ความหนาแน่น ความหนืด และค่าความร้อน โดยองค์ประกอบแร่ธาตุพื้นฐาน เป็นการวิเคราะห์หาแร่ธาตุในไบโอออยล์ประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน กำมะถัน และออกซิเจน เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ชีวมวล ปริมาณน้ำในไบโอออยล์จะทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคคาลฟิชเชอร์ไตเตรชั่น (Karl-Fisher Titration) โดยใช้เครื่องมือ Karl Fisher Moisture Titrator รุ่น MKC-520 ปริมาณของแข็งในไบโอออยล์จะวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่โดยเทคนิคการดูดด้วยสุญญากาศ ดูดของเหลวผ่านกระดาษกรอง ตามวิธีของ Oasmaa and Peacocke [11] ปริมาณเถ้าจะวิเคราะห์โดยนำไบโอออยล์ไปเผาที่อุณหภูมิ 775°C นาน 24 ชั่วโมง [12] สิ่งที่เหลือจากการเผา คือปริมาณเถ้าของไบโอออยล์ ค่า pH ของไบโอออยล์ ทำการวิเคราะห์โดยใช้ pH meter ทำการวัดที่อุณหภูมิห้อง ความหนาแน่นของไบโอออยล์ทำการวัดโดยใช้ขวดวัดความหนาแน่น ทำการวัดที่อุณหภูมิห้องและทำการชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาค่าความหนาแน่น ดังสมการที่ (3)

$$\rho = \frac{m}{v} \tag{3}$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของไบโอออยล์ (kg/m^3)
m คือ น้ำหนักของไบโอออยล์ (kg)
V คือ ปริมาตรของไบโอออยล์ ในขวดวัดความหนาแน่น (m^3)

ความหนืดของไบโอออยล์ จะทำการวัดโดยใช้เครื่องทดสอบความหนืด ทำการวัดที่อุณหภูมิ 40°C ตามมาตรฐาน ASTM D445 และ D446 และค่าความร้อนของไบโอออยล์จะทำการคำนวณหาค่าความร้อนสูง (HHV) และค่าความร้อนต่ำ (LHV) (ฐานแบบแห้ง) โดยใช้ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแร่ธาตุพื้นฐานของไบโอออยล์ สำหรับค่าความร้อนสูง (HHV) จะใช้สมการของ Channiwala and Parikh [13] ดังสมการที่ (4) และค่าความร้อนต่ำ (LHV) จะคำนวณจากค่าความร้อนสูงและปริมาณไฮโดรเจนดังสมการที่ (2) [9]

$$V_{dry}\left(\frac{MJ}{kg}\right) = 0.3491C + 1.1783 + 0.1005S - 0.10340O - 0.0151N - 0.0211A \tag{4}$$

โดยที่ C H S O N และ A คือ ร้อยละของปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน กำมะถัน ออกซิเจน ไนโตรเจน และ เถ้าของไบโอออยล์ที่วิเคราะห์ฐานแบบแห้ง (On dry basis)

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 ผลการวิเคราะห์พื้นฐานตัวอย่างชีวมวล

ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานของชานอ้อย จะเห็นว่า ในการวิเคราะห์แบบประมาณของ

ชานอ้อย จะมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 0.92 wt.% (ฐานเปียก) สารระเหยได้ 77.46 wt.% เถ้า 4.85 wt.% และคาร์บอนคงตัว 17.69 wt.% (ฐานแห้ง) และในการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ฐานแห้ง) พบว่า มีปริมาณคาร์บอน 44.03 wt.% ไฮโดรเจน 6.85 wt.% ไนโตรเจน 0.36 wt.% กำมะถัน 0.30 wt.% และออกซิเจน 43.61 wt.% และจากผลการวิเคราะห์ค่าความร้อน พบว่าชานอ้อยมีค่าความร้อนต่ำ (LHV) ประมาณ 17.16 MJ/kg (ฐานแห้ง) ซึ่งถือว่ามีปริมาณที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับชีวมวลชนิดอื่นๆ ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน เช่น เปลือกไม้ยูคาลิปตัส [7]

ตารางที่ 2 คุณสมบัติพื้นฐานของชานอ้อย

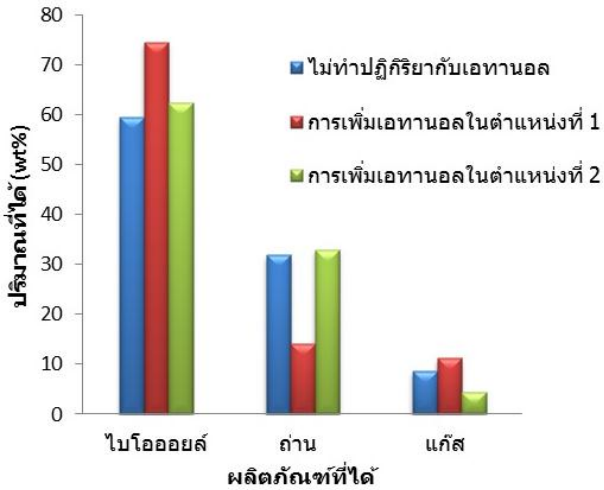
การวิเคราะห์	ชานอ้อย	เปลือกไม้ยูคาลิปตัส[a]
การวิเคราะห์แบบประมาณ (ฐานแห้ง, wt.%)		
ความชื้น (ฐานเปียก)	0.92 ±0.27	10.7
สารระเหยได้	77.46 ±0.33	76.1
คาร์บอนคงตัว*	17.69 ±0.19	19.7
เถ้า	4.85 ±0.16	4.2
การวิเคราะห์แบบขั้นสูง (ฐานแห้ง, wt.%)		
คาร์บอน	44.03 ±0.08	38.7
ไฮโดรเจน	6.85 ±0.07	4.5
ไนโตรเจน	0.36 ±0.01	0.3
ออกซิเจน*	43.61 ±0.17	54.9
กำมะถัน	0.30 ±0.01	<1.6
การวิเคราะห์ค่าความร้อน (ฐานแห้ง, MJ/kg)		
ค่าความร้อนสูง	18.65 ±0.04	15.7
ค่าความร้อนต่ำ	17.16 ±0.02	14.7

*คำนวณหาจากค่าความแตกต่าง

[a]Pidtasang et al. [7]

3.2 ผลของตำแหน่งการเพิ่มเอทานอลที่มีต่อปริมาณไบโอออยล์ที่ได้

รูปที่ 3 แสดงผลของตำแหน่งการเพิ่มเอทานอลที่มีต่อปริมาณไบโอออยล์ที่ได้จากไพโรไลซีสแบบเร็วของชานอ้อยในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไดซ์เบด จากผลการทดลอง พบว่า การทำปฏิกิริยากับเอทานอลโดยการเพิ่มเอทานอลเข้าไปทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่งที่ 1 (ชุดอุ่นไนโตรเจนร้อน) จะได้ปริมาณไบโอออยล์สูงสุด ประมาณ 74.6 wt.% ส่วนการทำปฏิกิริยากับเอทานอลโดยการเพิ่มเอทานอลที่ตำแหน่งที่ 2 (ก่อนชุดควบแน่นน้ำหล่อเย็น) จะได้ปริมาณไบโอออยล์ ประมาณ 62.54 wt.% และการทดลองปกติที่ไม่มีการทำปฏิกิริยากับเอทานอล (การทดลองที่ 1) จะได้ปริมาณไบโอออยล์ ประมาณ 59.48 wt.% จากผลการทดลองจะเห็นว่า การทำปฏิกิริยากับเอทานอลโดยการเพิ่มเอทานอลเข้าไปทำปฏิกิริยาในตำแหน่งที่ 1 และ 2 จะทำให้ได้ปริมาณไบโอออยล์เพิ่มขึ้น ปริมาณไบโอออยล์ที่ได้เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มเอทานอลในตำแหน่งที่ 1 เป็นผลมาจากไอของเอทานอลที่มีค่าความร้อนสูงจะช่วยในการย่อยสลายอนุภาคชีวมวลได้ดีขึ้นและแตกตัว (Cracking) ได้อย่างสมบูรณ์ส่งผลให้ได้ปริมาณไบโอออยล์เพิ่มขึ้น



รูปที่ 3 ผลของตำแหน่งการเพิ่มเอทานอลที่มีต่อปริมาณไบโอออยล์ที่ได้

3.3 ผลการวิเคราะห์ไบโอออยล์

ตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานของไบโอออยล์ จากผลการวิเคราะห์จะเห็นว่า ไบโอออยล์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยากับเอทานอลโดยการป้อนเข้าไปทำปฏิกิริยาในระบบไพโรไลซีสในตำแหน่งที่ 1 (การทดลองที่ 2) จะให้คุณสมบัติดีขึ้นอย่างชัดเจนในด้านขององค์ประกอบแร่ธาตุพื้นฐาน ค่า pH และค่าความร้อน ซึ่งการป้อนเอทานอลเข้าไปทำปฏิกิริยาในระบบไพโรไลซีสจะให้ปริมาณคาร์บอนที่สูงขึ้น และทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลง ส่งผลทำให้มีค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน อีกทั้งเอทานอลมีค่าความร้อนที่สูงอยู่แล้ว ดังนั้นเมื่อนำมาทำปฏิกิริยาในระบบไพโรไลซีสแบบเร็วจะทำให้ไบโอออยล์ที่ได้มีค่าความร้อนที่สูงขึ้นตามไปด้วย สำหรับคุณสมบัติด้านอื่น เช่น ปริมาณน้ำ ปริมาณของแข็ง ปริมาณเถ้า ความหนาแน่น และความหนืด

เริ่มต้นยังไม่ชัดเจนมากนัก และจาก ผลการศึกษาจะเห็นว่าคุณสมบัติพื้นฐานของไบโอออยล์ที่ได้จะอยู่ในมาตรฐานที่ยอมรับได้ของไพโรไลซีสออยล์สอดคล้องกับงานวิจัยของ Oasmaa et al. [14].

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของไบโอออยล์ที่ได้

การวิเคราะห์	การทดลอง		
	1	2	3
อุณหภูมิไพโรไลซีส (°C)	500	500	500
องค์ประกอบแร่ธาตุพื้นฐาน (ฐานแห้ง, wt.%)			
คาร์บอน	58.51	73.68	60.90
ไฮโดรเจน	5.62	6.99	6.39
ไนโตรเจน	0.52	0.36	0.62
ออกซิเจน*	33.86	18.66	31.81
กำมะถัน	1.45	0.29	0.25
ปริมาณน้ำ (wt.%)	25.34	20.21	23.56
ปริมาณของแข็ง (wt.%)	0.65	0.32	0.51
ปริมาณเถ้า (wt.%)	0.04	0.03	0.05
ความหนาแน่น (kg/m^3)	1,182.3	1,103.2	1,109.8
ค่า pH	2.96	4.98	4.02
ความหนืดเริ่มต้น (cSt)	25.15	22.35	24.46
ค่าความร้อน โดยวิธีการคำนวณ (ฐานแห้ง, MJ/kg)			
ค่าความร้อนสูง	23.69	32.05	25.51
ค่าความร้อนต่ำ	22.46	30.52	24.12

*คำนวณจากค่าความแตกต่าง

4. สรุปผลการทดลอง

จากผลการศึกษาผลของตำแหน่งการเพิ่มเอทานอลที่มีต่อปริมาณและคุณสมบัติของไบโอออยล์ที่ได้จากไพโรไลซีสแบบเร็วของชานอ้อย โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 500°C และเลือกใช้ขนาดอนุภาคชีวมวล 0.250–0.425 mm ใช้อัตราป้อนเอทานอลประมาณ 10 g/hr พบว่า การเพิ่มเอทานอลเข้าไปทำปฏิกิริยาในระบบไพโรไลซีสแบบเร็ว ในตำแหน่งที่ 1 (ชุดอุ่นไนโตรเจนร้อน) จะทำให้ได้ปริมาณไบโอออยล์เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน (ประมาณ 74.6 wt.%) เนื่องจากไอของเอทานอลจะมีความร้อนสูงช่วยในการย่อยสลายอนุภาคชีวมวลได้ดี ทำให้ได้ปริมาณไบโอออยล์เพิ่มขึ้น สำหรับการเพิ่มเอทานอลเข้าไปทำปฏิกิริยากับไอไพโรไลซีสในตำแหน่งที่ 2 (ก่อนการควบแน่นของชุดควบแน่นน้ำหล่อเย็น) เพื่อทำการควบแน่นจะได้ไบโอออยล์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ประมาณ 62.54 wt.%) และในการทดลองปกติที่ไม่มีการทำปฏิกิริยากับเอทานอลจะได้ปริมาณไบโอออยล์ประมาณ 59.48 wt.% จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานของไบโอออยล์ พบว่า การทำปฏิกิริยากับเอทานอลโดยการเพิ่มเอทานอลเข้าไปทำปฏิกิริยาในตำแหน่งที่ 1 จะทำให้คุณสมบัติของไบโอออยล์ดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในด้าน องค์ประกอบแร่ธาตุพื้นฐาน ค่า pH และค่าความร้อน ส่วนคุณสมบัติด้านอื่นๆ ยังไม่ชัดเจนมากนัก

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (EPPO) กระทรวงพลังงาน และขอขอบคุณนายนัฐพงษ์ วิเศษศรี นายนำพล สีลา และนายสุรศักดิ์ อินลาที่ช่วยอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูลการวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] สุนทร สุทธิบาก และอดิศักดิ์ ปัตติยะ (2555). ผลของอุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยาไพโรไลซีสที่มีต่อปริมาณไบโอออยล์ที่ได้จากไพโรไลซีสของใบและยอดอ้อย, *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8*, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม

[2] Asadullah, M., Anisur Rahman, M., Mohsin Ali, M., Abdul Motin, M., Borhanus Sultan, M., Robiul Alam, M. and Sahidue Rahman, M. (2008). Jute stick pyrolysis for bio-oil production in fluidized bed reactor, *Bioresource Technology*, vol. 99(1), January 2007, pp. 44 - 50.

[3] Bridgwater, A.V. (2012). Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading, *Biomass and Bioenergy*, vol. 38(0), March 2011, pp. 68 - 94.

[4] Pattiya, A. and Suttibak, S. (2012). Influence of a glass wool hot vapour filter on yields and properties of bio-oil derived from rapid pyrolysis of paddy residues, *Bioresource Technology*, vol. 116(0), April 2012, pp. 107 - 113.

[5] Liu, R., Deng, C. and Wang, J. (2010). Fast pyrolysis of corn straw for bio-oil production in a

bench-scale fluidized bed reactor, *Energy Sources Part A*, vol. 32(1), January 2010, pp. 10 - 19.

[6] Zheng, J.L. (2007). Bio-oil from fast pyrolysis of rice husk: Yields and related properties and improvement of the pyrolysis system, *Journal Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 80(1), January 2007, pp. 30 - 35.

[7] Pidtasang, B., Udomsap, P., Sukkasi, S., Chollacoop, N. , and Pattiya, A. (2013). Influence of alcohol addition on properties of bio-oil produced from fast pyrolysis of eucalyptus bark in a free-fall reactor, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry,* vol. 19(0) March 2013, pp. 1851 - 1857.

[8] Sheng, C.D. and Azevedo, J.L.T. (2005). Estimating the higher heating value of biomass fuels from basic analysis data, *Biomass and Bioenergy*, vol. 28(5), November 2004, pp. 499 - 507.

[9] ECN. (2014). *Phyllis, database for biomass and waste,* Energy research Centre of the Netherlands. Energy research Centre of the Netherlands [database on the internet], Energy research Centre of the Netherlands. URL: http//www.ecn.nl/phyllis, access on 2/10/2014.

[10] Perez, M.G., Chaala, A. and Roy, C. (2002). Vacuum pyrolysis of sugarcane bagasse, *Journal Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 65(0), September 2001, pp. 111 - 136.

[11] Oasmaa, A. and Peacocke, C. (2010). Properties and fuel use of biomassderived fast pyrolysis liquids: A guide, VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo 2010. p. 134.

[12] Lu, Q., Li, W.Z. and Zhu, X.F. (2009). Overview of fuel properties of biomass fast pyrolysis oils, *Energy Conversion and Management*, vol. 50(5), February 2009, pp. 1376 - 1383.

[13] Channiwala, S.A. and Parikh, P.P. (2002). A unified correlation for estimating HHV of solid, liquid and gaseous fuels, *Fuel*, vol. 81(8), August 2001, pp. 1051 - 1063.

[14] Oasmaa, A., Elliott, D.C. and Muller, S. (2009). Quality control in fast pyrolysis bio-oil production and use, *Environ Prog Sustain*, vol. 28(3), August 2009, pp. 404-409.