

การปรับปรุงคุณสมบัติของชีวมวลด้วยกระบวนการ Torrefaction

Improving the Biomass Properties via torrefaction

ชนมน จันทนา¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อำเภอ กำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

*fengcnm@ku.ac.th, 034-355310

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติของชีวมวล ที่มีความชื้นสูง และพลังงานต่ำหิ่งหน่ายเปริมาตรต่ำ ด้วยกระบวนการ torrefaction ซึ่งจัดเป็นกระบวนการไฟโรโลซิส อย่างหนึ่ง โดยการให้ความร้อนกับชีวมวลในสภาพที่ปราศจากออกซิเจน ในกรณีศึกษานี้ได้ทำการทดสอบกับชิ้นไม้ยูคาลิปตัสในหลอดทดลอง ที่พันด้วยแผ่นให้ความร้อนโดยรอบ และทำให้อุ่นในสภาพปราศจากออกซิเจนโดยการใช้ปืนสูญญากาศ ทำการทดลองที่อุณหภูมิภายในหลอด 200, 230 และ 250 องศาเซลเซียส ที่เวลา 1 และ 2 ชั่วโมงสำหรับทุกค่าอุณหภูมิ ผลจากการทดลองพบว่าค่าความร้อนของชิ้นไม้เพิ่มขึ้นมากที่สุด 30% ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง โดยมีอัตราส่วนระหว่าง H/C และ O/C ของชิ้นไม้ลดลงที่ทุกสภาพทดสอบ ทำให้มีความเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในกระบวนการ gasification ก้าชที่เกิดขึ้นระหว่างการให้ความร้อนเมื่อนำไปวิเคราะห์ ประกอบด้วยการบ่อนไฟออกไซด์ในปริมาณที่สูงสุด รองลงมาคือการบอนมอนออกไซด์ และมีเรนในปริมาณที่น้อยมาก เมื่อนำชิ้นไม้มาทดสอบความสามารถในการบดอัดพบว่ามีสัดส่วนของชิ้นส่วนหินและลักษณะลดลงเมื่อเทียบกับชิ้นไม้เดิม และเมื่อนำมาทิ้งไว้ในสภาวะบรรยายกาศปกติเป็นเวลา 45 วัน นำมาทดสอบหาค่าความชื้นอีกครั้ง พบร่วมกับชิ้นไม้มีการลดความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างมาก

คำหลัก: torrefaction; pyrolysis; ชีวมวล

Abstract

This paper presents the experimental results of improving the biomass properties in order to deal with high moisture and low energy density via torrefaction which is a mild pyrolysis process. The process consists of thermally treating the biomass in the condition of oxygen absence. The eucalyptus residues are tested in the reactor with a wrapped around heater while the vacuum condition is accomplished with the small vacuum pump. The test conditions are performed at 200,230 and 250°C for difference residence time, 1 and 2 hours. The results are found that the high heating values of the samples are increased at the maximum rate of 30% at 250 °C for 2 hours. The ratio of H/C and O/C are decreased for all conditions test which is suitable as a fuel in gasification process. The gas products which arised during the heating process mainly consists of carbondioxide following with carbonmonoxide and the least of methane. From the grindability test, the fractions of coarse particles are reduced. The torrifed products

show hydrophobic property which absorb small moisture during leaving in atmospheric room for forty-five days.

Keywords: torrefaction; pyrolysis; biomass

1. บทนำ

ประเทศไทยมีเศษพืชหรือวัสดุเหลือทิ้งหลังการเก็บเกี่ยว เช่น แกลูนเชิงไม้ ซังข้าวโพด ชานอ้อย เป็นจำนวนมาก การนำวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้มาใช้เป็นแหล่งพลังงานจะทำให้ลดการใช้พลังงานจากฟืนและถ่านได้ แต่การนำเศษวัสดุเหล่านี้มาใช้เป็นแหล่งพลังงานมีข้อบกพร่องอยู่หลายประการ กล่าวคือ มีค่าพลังงานต่ำ มีความชื้นสูง ไม่สามารถเก็บไว้ได้นาน มีความยุ่งยากในการจัดเก็บและขนส่ง วิธีหนึ่งที่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติของชีมวลได้ คือการนำมาอัดให้เป็นแท่ง เพื่อเพิ่มค่าพลังงาน และแก้ปัญหาเรื่องการจัดเก็บ แต่เป็นวิธีที่ยังไม่สามารถขัดปัญหาเรื่องของความชื้นไปได้ และเชื้อเพลิงแท่งยังแตกหักได้ง่าย เมื่อสัมผัสน้ำหรือความชื้น

Torrefaction เป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของชีมวล ด้วยการให้ความร้อนกับชีมวลในสภาพไร้อากาศหรือปราศจากออกซิเจน ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 200-300 องศาเซลเซียส ซึ่งจัดเป็นกระบวนการไฟโรไอลิซิส (pyrolysis) อย่างหนึ่ง ในระหว่างการให้ความร้อน ความชื้นจะถูกขับออก เกิดการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญต่อโครงสร้างของเอมิเซลลูลอส (hemicellulose) โดย ลิกนิน (lignin) และเซลลูลอส (cellulose) จะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย [1,2] ผลที่ได้คือ ชีมวลที่ได้จะมีความชื้นลดลง ความหนาแน่นและความร้อนเพิ่มขึ้น และมีลักษณะที่สำคัญคือ ไม่ดูดความชื้น ทำให้เก็บได้นาน ไม่แตกหักระหว่างการขนส่ง นอกจากนี้ยังแม่વ่าชีมวลจะต่างชนิดกัน แต่เมื่อนำมาปรับปรุงคุณสมบัติผ่านกระบวนการ Torrefaction จะมีคุณสมบัติที่กล้าวมากแล้วสม่ำเสมอใกล้เคียงกัน

จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อศึกษาถึงคุณสมบัติของชีมวลเมื่อนำมาผ่านกระบวนการ Torrefaction ที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ รวมทั้ง

ทดสอบคุณสมบัติที่สำคัญคือ การดูดความชื้น และความสามารถในการถูกบดอัด โดยชีมวลที่นำมาทดสอบคือชิ้นไม้ยุคاليปัตตส

2. ชุดการทดลอง

อุปกรณ์การทดลองประกอบด้วย

1. ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร สูง 30 เซนติเมตร ที่มีแผ่นให้ความร้อน พันอยู่โดยรอบ ดังแสดงในรูปที่ 1 เพื่อให้ความร้อนกับ ชีมวลที่บรรจุอยู่ภายใน



รูปที่ 1 ท่อทดลอง

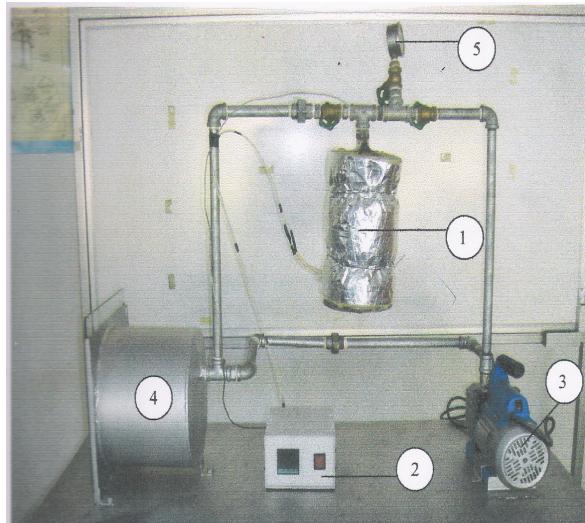
2. ปั๊มสูญญากาศขนาดเล็ก สำหรับดูดเอา

อากาศที่อยู่ภายในหลอดออก เพื่อให้สภาวะข้าวในหลอดเกิดเป็นสภาวะไร้อากาศ โดยสังเกตจากเก็จสูญญากาศที่ติดไว้

3. ชุดควบคุมอุณหภูมิสำหรับควบคุมอุณหภูมิในท่อทดลอง ประกอบด้วยเทอร์โมคัพเบลชนิด K ที่ต่อเข้าไปในท่อทดลอง และต่อไปยังตัวควบคุมอุณหภูมิ

4. ถังเก็บก๊าซเพื่อรับรวมก๊าซที่เกิดขึ้นจากห้องทดสอบระหว่างทำการทดลอง

รายละเอียดของอุปกรณ์รวมทั้งหมดแสดงอยู่ในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงรายละเอียดของอุปกรณ์ทดลอง
1. หลอดทดลอง 2. ชุดควบคุมอุณหภูมิ 3. ปั๊มสูญญากาศ 4. ถังเก็บก๊าซ 5. เกจสูญญากาศ

3. วิธีการทดลอง

นำชิ้นไม้ยูคาลิปตัสที่มีน้ำหนักประมาณ 40-50 กรัม ไปวิเคราะห์ด้วยวิธี Proximate และ Ultimate analysis เพื่อห้องค์ประกอบและค่าความร้อน เมื่อจะทำการทดลอง นำชิ้นไม้ที่จะทำการทดสอบใส่ลงในหลอด ปิดฝาจากนั้นใช้ปั๊มสูญญากาศขนาดเล็กดูดเอาอากาศที่อยู่ภายในหลอดออก เพื่อให้สภาวะข้างในหลอดเกิดเป็นสภาวะไร้อากาศ โดยสังเกตจากเก็บวัดความดันสูญญากาศที่ติดตั้งไว้ที่หลอดทดลอง จากนั้นทำการตั้งอุณหภูมิที่ชุดควบคุมอุณหภูมิตามที่ต้องการ และทำการทดลองจนครบเวลาที่กำหนด จากนั้นเปลี่ยนสภาวะการทดลองเป็นที่สภาวะอื่นต่อไปจนครบ โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองคือ 200, 230 และ 250 องศาเซลเซียส เวลาที่ให้ความร้อนที่แต่ละค่าอุณหภูมิคือ 1 และ 2 ชั่วโมง

สำหรับชิ้นไม้ที่ผ่านการให้ความร้อนแต่ละสภาวะการทดลองส่วนหนึ่งจะถูกนำไปวิเคราะห์เพื่อหาองค์ประกอบและค่าความร้อน เปรียบเทียบกับก่อนทำการทดลอง ส่วนหนึ่งจะถูกนำไปทิ้งไว้ในสภาวะบรรยายกาศปกติเป็นเวลา 45 วันเพื่อทดสอบว่ามีการดูดความชื้นเพิ่มเข้ามาหรือไม่ และอีกส่วนหนึ่งจะนำไปบดเพื่อทดสอบความสามารถในการบด โดยใช้เครื่องบดบล็อกมิลล์ทำการบดเป็นเวลา 1 นาที แล้วนำไปผ่านตะแกรงเพื่อให้ได้ชิ้นไม้ที่มีขนาดอยู่ใน 4 ช่วงคือ มากกว่า $425 \mu\text{m}$ $425-150 \mu\text{m}$ $150-75 \mu\text{m}$ และน้อยกว่า $75 \mu\text{m}$ สำหรับแก๊สที่เกิดขึ้นระหว่างทำการทดลองและเก็บไว้ในถังจะถูกนำไปห้องค์ประกอบเช่นกัน

4. ผลการทดลอง

ตัวอย่างของชิ้นไม้ที่ได้จากการทดลอง แสดงอยู่ในรูปที่ 3 ซึ่งจะมีลักษณะสีดำคล้ำถ่ายถ่าย



รูปที่ 3 ชิ้นไม้ที่ผ่านการ torrefaction
ผลที่ได้จากการทดลอง มีดังนี้

1. ตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบองค์ประกอบของชิ้นไม้ยูคาลิปตัส ก่อนและหลังการทดลองที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ จากตารางที่ 1 พบว่า ปริมาณของสารระเหยง่าย (volatile matters) ลดลงเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิ

และเวลาที่ใช้ในการทดลอง และมีค่าความร้อนเพิ่มขึ้นสูงสุด 30% ที่สภาวะอุณหภูมิการทดลอง 250 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง จากตารางที่ 2 พบว่า อัตราส่วนระหว่าง H/C และ O/C มีค่าลดลงต่อเนื่องอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะเมื่ออุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทดลองมีค่าสูงขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก เอ็มเซลลูลอส (hemicellulose) ในไม้ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่ไวที่สุดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ จะมีการปลดปล่อยออกซิเจนซึ่งจะเปลี่ยนเป็น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และการบ่อนอนของออกไซด์ระหว่างการให้ความร้อน [3,4] ซึ่งช่วงเวลาที่นาน และอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างดังกล่าวเกิดได้อย่างสมบูรณ์มากขึ้น ดังนั้น คุณสมบัติของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการ torrefaction จึงมีความเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในกระบวนการ gasification มากกว่าชีวมวลเดิม [5]

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบองค์ประกอบของชิ้นไม้ก่อน และหลังการทดสอบด้วยวิธี Proximate analysis

Proximate analysis(%, dry basis)				
	Moisture content	Ash	Volatile matter	Low heating value(MJ/kg)
UCA	5.5	1.02	81.1	20.24
UCA-1-200	4.1	1.02	78.1	21.12
UCA-2-200	3.8	1.03	75.4	21.34
UCA-1-230	3.7	1.03	73.1	24.11
UCA-2-230	3.1	1.04	72.2	24.31
UCA-1-250	3.1	1.03	69.5	26.01
UCA-2-250	2.7	1.05	67.3	26.26

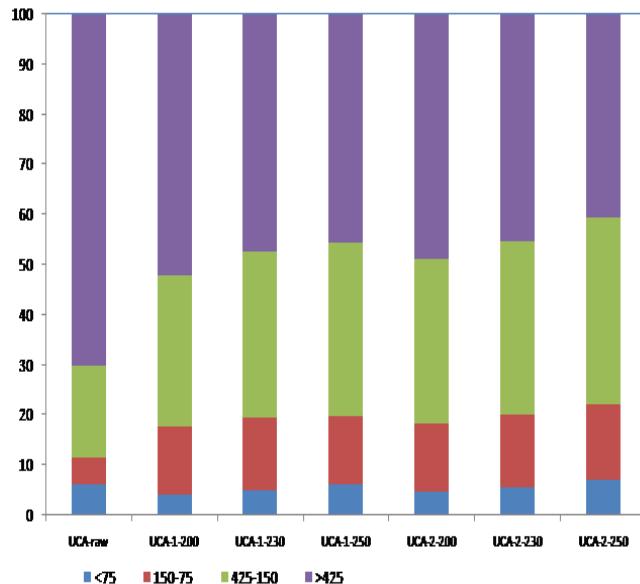
ตารางที่ 2 เปรียบเทียบองค์ประกอบของชิ้นไม้ก่อน และหลังการทดสอบด้วยวิธี Ultimate analysis

Ultimate analysis(% ash free basis)				
	Oxygen	Carbon	Nitrogen	Hydrogen
UCA	45.26	47.05	0.52	7.17
UCA-1-200	44.26	48.21	0.52	7.01
UCA-1-230	43.2	49.35	0.51	6.94
UCA-1-250	42.47	50.1	0.52	6.91
UCA-2-200	40.54	52.2	0.52	6.74
UCA-2-230	38.55	54.2	0.53	6.72
UCA-2-250	37.03	55.8	0.52	6.65

หมายเหตุตารางที่ 1 และ 2 UCA – ชิ้นไม้ยุคปัตตส

1- เวลาทดสอบ 1 ชั่วโมง, 2- เวลาทดสอบ 2 ชั่วโมง,
200 – อุณหภูมิ 200 °C , 230 - อุณหภูมิ 230 °C ,
250 – อุณหภูมิ 250 °C

2.ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการถูกบดอัด ผลของการทดสอบแสดงอยู่ในรูปที่ 4 จากราฟจะเห็นได้ว่าสำหรับชิ้นไม้ที่ผ่านกระบวนการทดสอบที่ทุกสภาวะทดสอบ จะมีเปอร์เซ็นต์ของขนาดของชิ้นส่วนใหญ่ลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นไม้เดิม โดยจะยิ่งมีขนาดที่เล็กลงเมื่ออุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทดลองเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากรูปร่างของเศษชิ้นไม้ที่เปลี่ยนไปมีลักษณะกลมมากขึ้นกว่าเดิม[6] จึงสามารถผ่านรูตะแกรงขนาดเล็กได้



รูปที่ 4 ขนาดของชิ้นส่วนที่ผ่านการบดอัด

3. นำเศษไม้ที่ผ่านกระบวนการไปตั้งทึ้งไว้ในส่วนห้องเผาตากับตีเป็นเวลา 45 วันนำไปทดสอบหาค่าความชื้นอีกรังพบร่วมกับการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมอย่างมาก ตั้งแสดงในตารางที่ 3 นั้นคือเศษไม้จะมีคุณสมบัติเป็น hydrophobic ซึ่งเป็นลักษณะที่สำคัญของชีมวลที่ผ่านกระบวนการ torrefaction ซึ่งเป็นผลมาจากการควบแน่นของ tar (tar) ในรูของเนื้อไม้ ทำให้ความชื้นไม่สามารถเข้าไปได้ [7]

ตารางที่ 3 ความชื้นที่เพิ่มขึ้นของไม้มีเมื่อตั้งทึ้งไว้ 45 วัน

	Moisture content(%)	
	Before test	After test
UCA-1-200	4.2	4.3
UCA-2-200	3.7	3.8
UCA-1-230	3.8	3.9
UCA-2-230	3.2	3.2
UCA-1-250	3.0	3.1
UCA-2-250	2.8	2.8

4. ผลจากการนำแก๊สที่เก็บไว้ในถังจากทุกๆ ส่วนของการทดลอง ไปทางเครื่องประกอบด้วยเครื่อง gas analyzer พบว่ามีองค์ประกอบโดยปริมาณที่ใกล้เคียงกันกล่าวคือ ประกอบด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และมีไฮโดรเจน โดยมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูงที่สุดคือ ประมาณ 80-85% คาร์บอนมอนอกไซด์ 15-20 % และมีไฮโดรเจนในปริมาณที่น้อยมากประมาณ 1%

5. สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองนี้ เป็นการทดลองเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของชีมวล โดยใช้กระบวนการ torrefaction ชิ้นไม้ยุคอลิปตัสเป็นตัวอย่างชีมวลที่ถูกนำมาใช้ทดสอบ โดยทำการทดลองเพื่อให้ความร้อนกับชิ้นไม้ในหลอดทดลองในสภาวะไร้อากาศ ที่อุณหภูมิ 200, 230 และ 250 องศาเซลเซียส เวลาที่ให้ความร้อนที่แต่ละค่าอุณหภูมิคือ 1 และ 2 ชั่วโมง ผลจากการทดลองพบว่าข้อบกพร่องของชีมวลถูกปรับปรุงให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น กล่าวคือ มีค่าความร้อนและปริมาณคาร์บอนที่สูงขึ้น โดยมีค่าความร้อนเพิ่มขึ้นสูงสุด 30% ที่สภาวะอุณหภูมิการทดลอง 250 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราส่วนระหว่าง H/C และ O/C มีค่าลดลง โดยเฉพาะเมื่ออุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทดลองสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนโครงสร้างของเอมิเซลลูลอส (hemicellulose) ในเนื้อไม้ ทำให้ชีมวลที่ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัตินี้ มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในกระบวนการ gasification และเมื่อนำชิ้นส่วนไม้ จากการทดลองไปตั้งทึ้งไว้ เป็นเวลา 45 วัน พบว่ามีการดูดความชื้นเพิ่มเข้ามาน้อยมาก ตั้งนั้นจากผลการทดลองที่ได้ จึงมีความเหมาะสมที่จะนำกระบวนการ torrefaction ไปใช้ปรับปรุงคุณสมบัติชีมวล โดยควรจะมีการนำชิ้ว

มวลที่ต่างชนิดกันนำมาทดสอบเพื่อหาค่าสภาวะที่เหมาะสมในการปรุงคุณสมบัติของชีวมวลแต่ละชนิดต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้สนับสนุนทุนการวิจัย
นี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Overend R.P., Milne T.A. and Mudge L.K. (1985) *Fundamentals of Biomass Thermochemical Conversion*, Elsevier, London.
- [2] Williams P.T. and Besler S., The influence of temperature and heating rate on the slow pyrolysis of biomass, *Renewable Energy*, vol.7, pp.233-250
- [3] Prins, M.J., Ptasiński K.J., and Janssen F.J.J.G (2006). Torrefaction of wood. Part 1. Weight loss kinetics, *Journal of analytical and applied Pyrolysis*, vol.77, pp.28-34
- [4] Strezov V., Patterson M., Zymla V., Fisher T.J. and Nelson P.F. (2007). Fundamental aspects of biomass carbonisation, *Journal of analytical and applied Pyrolysis*, vol.79, pp.91-100
- [5] Prins M.J., Ptasiński K.J., and Janssen F.J.J.G (2006). More efficient biomass gasification via torrefaction, *Energy*, vol. 31, pp. 3458-3470
- [6] Arias B., Pevida C., Fermoso J., Plaza M.G., Rubiera F. and Pis J.J. (2008) Influence of torrefaction on the grindability and reactivity of woody biomass, *Fuel Processing Technology*, vol.89, pp. 169-175
- [7] Felfi F.F. and Luengo C.L. (2005) Wood briquette torrefaction, *Energy for sustainable Development*, vol.3, pp.19-22