

การศึกษาการผลิตแก๊สจากเศษชีวมวลโดยใช้เตาผลิตแก๊สชนิดไหลลงขนาดเล็ก

Study on Biomass Residue Gasification Using Small Downdraft Gasifier

จิระพงษ์ กวนกระโทก¹, ไมตรี พลสงคราม¹, อมรทัศน์ จิวแจ่มใส¹ และ ปรีชา ชันติโกมล^{1*}

¹ ห้องปฏิบัติการวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทน

(Research and Development of Renewable Energy Laboratory, RDREL)

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

744 ถ.สุนทรารายณ์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

*ติดต่อ: E-mail: Preecha@rmuti.ac.th โทรศัพท์มือถือ 080-4705287

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตแก๊สชีวมวลจากเศษชีวมวล 3 ชนิด ได้แก่ กะลามะพร้าว ไม้กระถินยักษ์ และ ไม้ยูคาลิปตัส เพื่อศึกษากลไกการผลิตแก๊สชีวมวล อุณหภูมิของเตาผลิตแก๊สชีวมวล และองค์ประกอบของแก๊สชีวมวล ซึ่งระบบการผลิตแก๊สชีวมวลขนาดเล็กประกอบด้วย ชุดเตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบไหลลง (Downdraft gasifier) ความจุ 0.01 m³ แบบขยายห้องพักแก๊ส พร้อมระบบปรับปรุงคุณภาพแก๊สชีวมวล อัตราการจ่ายอากาศเข้าเตาผลิตแก๊สชีวมวลที่ 150 l/min โดยใช้ชีวมวล 3 kg ขนาด 2 - 5 cm ความชื้นไม่เกิน 25 % จากการศึกษาพบว่า กะลามะพร้าวให้ปริมาณแก๊สชีวมวลเข้มข้นกว่าชีวมวลทั้ง 2 ชนิด รองลงมาคือ ไม้กระถินยักษ์และไม้ยูคาลิปตัส ตามลำดับ ซึ่งกะลามะพร้าวมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเกิดแก๊ส Drying zone, Pyrolysis zone, Combustion zone, Reduction zone ที่ 353.6 °C, 409.8 °C, 936.1 °C, 470.1 °C ตามลำดับ, ไม้กระถินยักษ์ 322.4 °C, 404.3 °C, 876.5 °C, 415.9 °C ตามลำดับ, ไม้ยูคาลิปตัส 140.3 °C, 308.4 °C, 1,062.6 °C, 494.5 °C ตามลำดับ องค์ประกอบแก๊สชีวมวล คือ CO, CO₂, CH₄, H₂, และ O₂ โดยกะลามะพร้าวมีปริมาณแก๊ส 17.29%, 16.59%, 5.35%, 15.20% และ 0.26% ตามลำดับ, ไม้กระถินยักษ์มีส่วนประกอบแก๊ส 11.78%, 20.01%, 3.94%, 19.95% และ 0.20% ตามลำดับ และ ไม้ยูคาลิปตัสมีส่วนประกอบแก๊ส 16.68%, 11.98%, 3.85%, 14.21% และ 0.24% ตามลำดับ ค่าความร้อน HHV ของแก๊สชีวมวลที่ได้จากกะลามะพร้าว ไม้กระถินยักษ์ และ ไม้ยูคาลิปตัสมีค่า 6.48, 5.80 และ 5.65 MJ/Nm³ ตามลำดับ

คำหลัก: ชีวมวล; ชุดเตาผลิตแก๊สซีไฟเออร์แบบไหลลง; อัตราการจ่ายอากาศ; องค์ประกอบแก๊สชีวมวล

Abstract

This research is to study the biomass gasification of 3 types of the biomass waste: coconut shell, Leucaena leucocephala and Eucalyptus. The mechanism of biomass gasification, the temperature inside the gasifier and the biomass gas composition has been investigated. The small downdraft gasifier having volume 0.01 m³ with the extension gas room has been equipped. The equipment also includes the biomass gas improvement system. The supplying air was 150 l/min. The 3 kg biomass with moisture content not over 25%wt with length of 2-5 cm was examined. The experimental results showed that the obtained biomass gas from coconut shell was more concentration than both of Eucalyptus and Leucaena

AEC-91

leucocephala. The average temperatures of drying zone, pyrolysis zone, combustion zone and reduction zone inside the gasifier at biomass gasification range for coconut shell biomass gasification were 353.6, 409.8, 936.1, and 470.1 °C, respectively. The average temperatures of each zone for Leucaena leucocephala biomass gasification were 322.4, 404.3, 876.5, and 415.9 °C, respectively. While the average temperatures of each zone for Eucalyptus biomass gasification were 140.3, 308.4, 1,062.6, and 494.5 °C, respectively. The gas compositions of that biomass are CO, CO₂, CH₄, H₂, and O₂ which of the coconut shell are 17.29%, 16.59%, 5.35%, 15.20% and 0.26% by volume, respectively; of the Leucaena leucocephala are 11.78%, 20.01%, 3.94%, 19.95% and 0.20% by volume, respectively; of the Eucalyptus are 16.68%, 11.98%, 3.85%, 14.21% and 0.24% by volume, respectively. The HHV of obtained biomass gas from the coconut shell, Leucaena leucocephala and Eucalyptus were 6.48, 5.80 and 5.65 MJ/Nm³, respectively.

Keywords: biomass; Stove manufacturer in down-flow gasifier; Flow rate; Gas composition, biomass

1. บทนำ

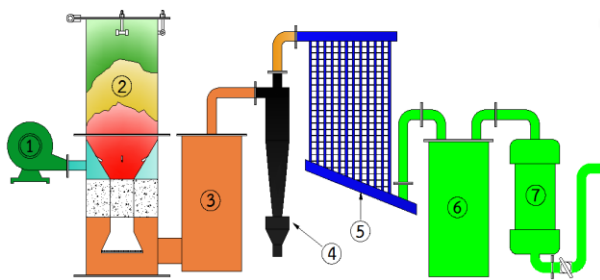
จากข้อมูลของกระทรวงพลังงาน [1] แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างมาก ซึ่งเป็นพลังงานที่ได้จากปิโตรเลียม เป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป เป็นสาเหตุทำให้ราคาของเชื้อเพลิงสูงขึ้น จึงจำเป็นต้องหาแหล่งพลังงานอื่นมาทดแทน ได้แก่ น้ำ ลม แสงอาทิตย์ [2-4] และพลังงานที่ได้จาก (Biomass energy) ซึ่งเป็นพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) ที่สามารถผลิตขึ้นเองได้ โดยเฉพาะประเทศไทยที่เป็นประเทศเกษตรกรรม มีการปลูกพืชหมุนเวียนในแต่ละปีหลายครั้ง มีเศษชีวมวลเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก [5] ดังนั้นจึงมีการศึกษาการนำเศษชีวมวลเหล่านี้มาแปรรูปเป็นพลังงาน [6-10] วิธีหนึ่งที่ใช้คือการผ่านกระบวนการทางความร้อนซึ่งเรียกว่า แก๊สซิฟิเคชัน [6] ซึ่งเป็นกระบวนการแปรรูปชีวมวลหรือเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นพลังงานในรูปของเชื้อเพลิงแก๊ส โดยจะอาศัยกระบวนการทางความร้อน ซึ่งแก๊สที่ได้จากกระบวนการนี้จะประกอบด้วย คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbonmonoxide, CO) ไฮโดรเจน (Hydrogen, H₂) มีเทน (Methane, CH₄) คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide, CO₂) ไนโตรเจน (Nitrogen, N₂) และ อื่นๆ เรียกว่า โพรดิวเซอร์แก๊ส (Producer gas) และหากแก๊สมีความบริสุทธิ์สูงจะประกอบไปด้วยแก๊สหลักๆ

ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไฮโดรเจน (H₂) จะเรียกว่า แก๊สสังเคราะห์ (Synthesis gas, SYNGAS) [6,7] ซึ่งพลังงานที่ได้จากพลังงานชีวมวล (Biomass energy) เป็นพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) ที่มีความน่าสนใจ ทำให้นักวิจัยได้ทำการศึกษาและพัฒนากระบวนการแปรรูปพลังงานด้วยวิธีแก๊สซิฟิเคชัน เช่น ปฐมวงศ์ คงช่วย และคณะ [10] ได้ศึกษาการออกแบบ สร้าง และทดสอบเตาผลิตแก๊สชีวมวลขนาดเล็กแบบไหลขึ้น พบว่าการใช้เตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบไหลขึ้นโดยใช้ถ่านไม้สำเร็จรูปเป็นเชื้อเพลิง มีศักยภาพในการเผาไหม้ที่ดีเนื่องจากถ่านไม้สำเร็จรูปนั้นไม่มีความชื้นและเกิดน้ำมันดินน้อยถึงไม่มีเลย แต่อัตราการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงจะเร็วกว่าเชื้อเพลิงอื่นๆ อาทิ เช่น ไม้ยางพารา เป็นต้น จากผลการทดลองที่ได้ถ่านไม้สำเร็จรูปเหมาะสมกับเตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบไหลขึ้น โดยที่อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 0.008468 m³/s ซึ่งจะทำให้แก๊สมีสภาพเป็นแก๊สซิฟิเคชันมากที่สุด โดยค่าความร้อนของแก๊สจากเตาผลิตแก๊สเมื่อใช้ถ่านไม้สำเร็จรูปเป็นเชื้อเพลิงประกอบกับมีอัตราการไหลของอากาศที่ได้กล่าวข้างต้น มีค่าเท่ากับ 2989.633 kJ/kg และมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงประมาณ 0.0018640 kg/s

AEC-91

จากข้อมูลดังกล่าว เห็นชัดเจนได้ว่าพลังงานแก๊สชีววมวลมีความสำคัญ เนื่องจากเป็นพลังงานบริสุทธิ์ที่ประเทศไทยสามารถผลิตเองได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษากลไกการผลิตแก๊สชีววมวล อุณหภูมิของเตาผลิตแก๊สชีววมวล และองค์ประกอบของแก๊สชีววมวล เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับออกแบบวิธีการผลิตแก๊สชีววมวลที่เหมาะสมสำหรับชีววมวลในแต่ละชนิด

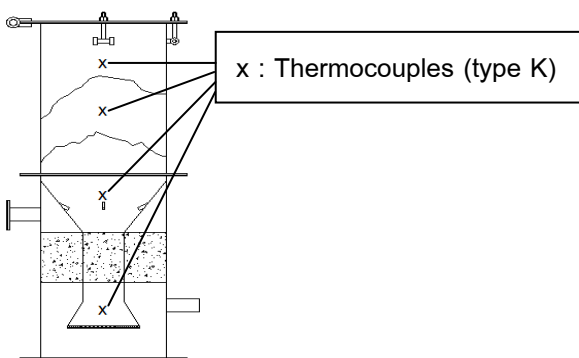
2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง



รูปที่ 1 แผนผังอุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 2 เศษชีววมวล (ไม้ยูคาลิปตัสแห้ง, ไม้กระถินยักษ์, กะลามะพร้าว)



รูปที่ 3 ตำแหน่งการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล

รูปที่ 1 แสดงแผนผังชุดทดลองการผลิตแก๊สชีววมวลโดยใช้เตาผลิตแก๊สชนิดไหลลงขนาดเล็ก มี

ส่วนประกอบดังนี้ (1) โบลเวอร์ (Blower), (2) เตาผลิตแก๊สซิฟิเออร์ (Gasifier), (3) ถังพักแก๊ส (Tank gas), (4) ไซโคลน (Cyclone), (5) คอนเดนเซอร์ (Condenser), (6) กรองแก๊สหยาบ (Coarse filter gas) และ (7) กรองแก๊สละเอียด (Profile filter gas) ในการผลิตแก๊สชีววมวลจะใช้เศษชีววมวล (รูปที่ 2) ความยาว 2 – 5 cm ความชื้นไม่เกิน 25 % เป็นเชื้อเพลิง โดยใช้เตาผลิตแก๊สชีววมวลแบบไหลลง Downdraft ขนาดความจุ 0.01 m³ เริ่มจากการนำเศษชีววมวลที่จะใช้ในการผลิตแก๊สมาจุดไฟจนเศษชีววมวลติดไฟแล้วเทลงไปในเตาผลิตแก๊ส จากนั้นเติมเศษชีววมวลที่ตากแห้งลงไปในเตาผลิตแก๊สตามความต้องการ ปิดฝาเตาผลิตแก๊สชีววมวลให้แน่นสนิท เปิด Blower จ่ายอากาศเข้าไปในบริเวณห้องเผาไหม้ของเตาผลิตแก๊สที่อัตรา 150 l/min รอบประมาณ 5 - 10 นาที ก็จะได้แก๊สชีววมวลหรือแก๊สเชื้อเพลิงออกมาและไหลเข้าสู่ไซโคลน คอนเดนเซอร์ หม้อกรองแก๊สและถังพักแก๊ส ซึ่งจะช่วยให้ได้แก๊สชีววมวลที่สะอาดและมีอุณหภูมิที่เหมาะสม จากนั้นทดสอบความหนาแน่นของแก๊ส โดยการทดสอบเบื้องต้นคือการจุดไฟเพื่อดูการลุกไหม้ของแก๊สชีววมวล ถ้าจุดไฟติดแสดงว่าเริ่มมีแก๊สออกแล้วและสังเกตดูเปลวไฟจนกว่าเปลวไฟจะมีสีแดงเข้มแสดงว่าแก๊สมีความหนาแน่นมากพอจึงทำการตรวจสอบอุณหภูมิของแก๊สจาก Data logger และวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีววมวล

รูปที่ 3 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิภายในเตาผลิตแก๊ส ได้ทำการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลชนิด K เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ 4 ตำแหน่ง คือ Drying zone, Pyrolysis zone, Combustion zone และ Reduction zone โดยเริ่มจับเวลาตั้งแต่ปิดฝาเตาผลิตแก๊ส จนถึงสิ้นสุดกระบวนการผลิตแก๊สชีววมวล

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 อุณหภูมิเตา

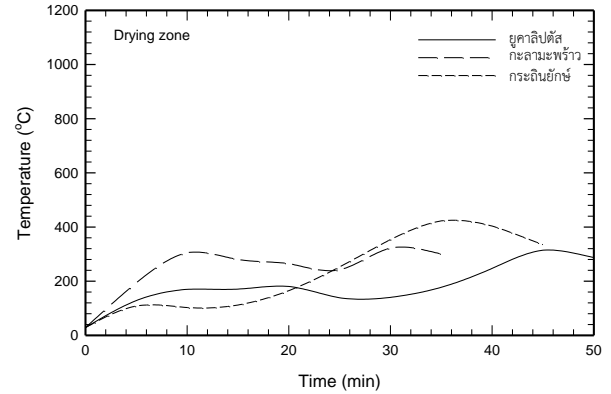
ในการทดสอบอุณหภูมิภายในเตาผลิตแก๊สจะเริ่มจับเวลาตั้งแต่ปิดฝาเตาผลิตแก๊ส จากนั้นบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในแต่ละส่วนโดยใช้

AEC-91

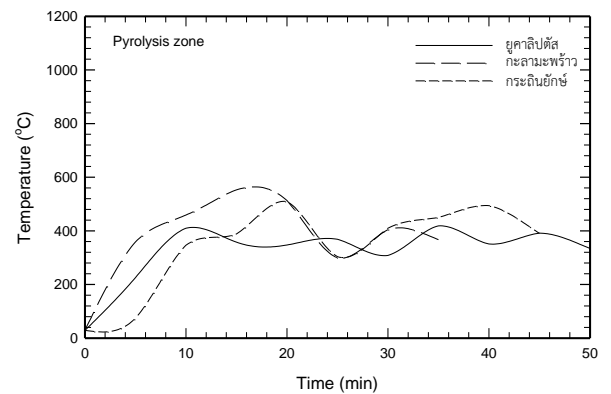
Data Logger โดยบันทึกการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิทุกๆ 5 นาที ซึ่งสามารถแสดงผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ดังรูปที่ 4-7 ซึ่งสังเกตเห็นว่าอุณหภูมิในส่วนของ Drying zone กรณีใช้เศษชีวมวล ยูคาลิปตัสจะต่ำกว่าเศษชีวมวลของกะลามะพร้าวและกระถินยักษ์ เนื่องจากเนื้อไม้มีความหนาแน่นมากกว่า ซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิในส่วนนี้ต่ำลงและใช้เวลาในการอบแห้งนานขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4 ในขณะที่กะลามะพร้าวและกระถินยักษ์มีความพรุนในเนื้อไม้มากกว่าทำให้การอบแห้งใช้เวลาสั้นลง อย่างไรก็ตามอุณหภูมิในส่วนของ Drying zone มีค่าระหว่าง 150 - 500 °C เมื่อชีวมวลถูกอบแห้งแล้วจะถูกดำเนินการด้วยกระบวนการไพโรไลซิสใน Pyrolysis zone ซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 300 - 600 °C และทำการเผาไหม้ในส่วน Combustion zone ให้ทำให้เศษชีวมวลส่วนหนึ่งถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานสำหรับกระบวนการอบแห้งและไพโรไลซิส ซึ่งจะกระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่ออุณหภูมิห้อง Combustion zone มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 700 - 1,200 °C หลังจากนั้นจะดำเนินการเปลี่ยนชีวมวลให้เป็นแก๊สชีวมวลในส่วนของการ Reduction zone ซึ่งมีอุณหภูมิในช่วง 400 - 650 °C

3.2 องค์ประกอบของแก๊สชีวมวล

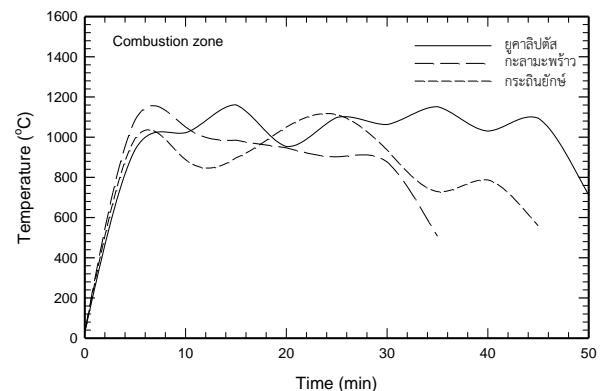
ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีวมวลที่ได้จากเตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบ Downdraft gasifier โดยใช้เครื่อง Online Infrared Syngas Analyzer-Gasboard 3100 พบว่าส่วนประกอบหลักของแก๊สชีวมวลได้แก่ CO, CO₂, CH₄ และ H₂ จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าชีวมวลแต่ละชนิดจะให้องค์ประกอบของแก๊สที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งกะลามะพร้าวจะให้แก๊สชีวมวลที่เป็น CO มากที่สุด (17.29% โดยปริมาตร) ในขณะที่ไม้กระถินยักษ์ให้ส่วนประกอบ H₂ มากที่สุด (19.95% โดยปริมาตร) สำหรับไม้ยูคาลิปตัสจะมีองค์ประกอบของแก๊สอยู่ในระดับกลางๆ ดังตารางที่ 1 และรูปที่ 8



รูปที่ 4 อุณหภูมิใน Drying zone เมื่อใช้ชีวมวลน้ำหนัก 3 kg อัตราการจ่ายอากาศเข้าเตาผลิตแก๊ส 150 l/min

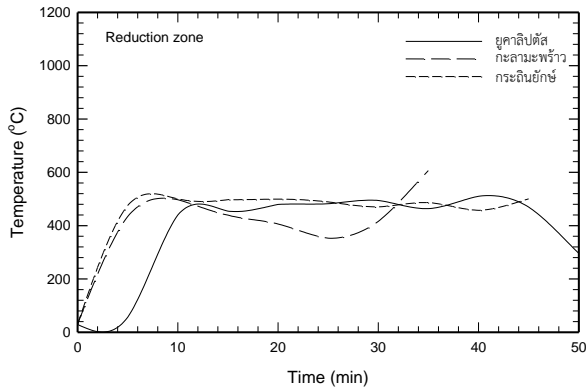


รูปที่ 5 อุณหภูมิใน Pyrolysis zone เมื่อใช้ชีวมวลน้ำหนัก 3 kg อัตราการจ่ายอากาศเข้าเตาผลิตแก๊ส 150 l/min

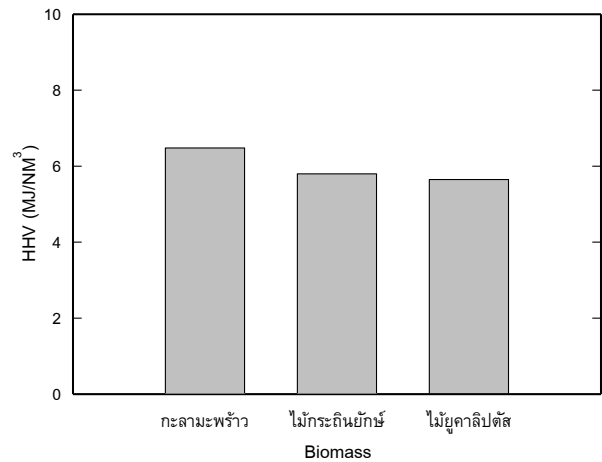


รูปที่ 6 อุณหภูมิใน Combustion zone เมื่อใช้ชีวมวลน้ำหนัก 3 kg อัตราการจ่ายอากาศเข้าเตาผลิตแก๊ส 150 l/min

AEC-91



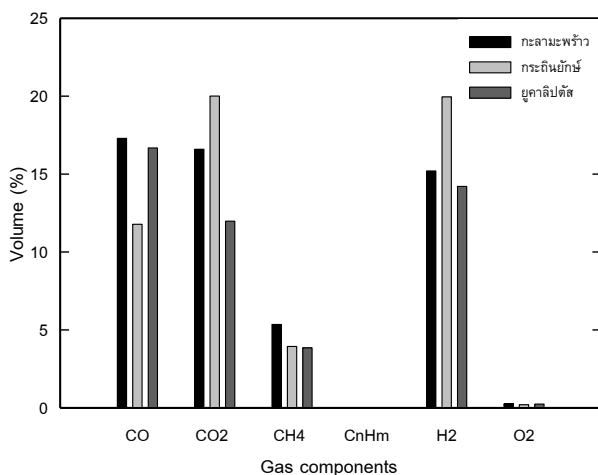
รูปที่ 7 อุณหภูมิใน Reduction zone เมื่อใช้ชีวมวล น้ำหนัก 3 kg อัตราการจ่ายอากาศเข้าเตาผลิตแก๊ส 150 l/min



รูปที่ 9 ค่าความร้อนของแก๊สชีวมวล (HHV)

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีวมวลแต่ละชนิด

องค์ประกอบแก๊ส	ชนิดเศษชีวมวล			ค่ามาตรฐาน
	กะลามะพร้าว	กระจับปักษ์	ยูคาลิปตัส	
CO (%)	17.29	11.78	16.68	20
CO ₂ (%)	16.59	20.01	11.98	-
CH ₄ (%)	5.35	3.94	3.85	5
C _n H _m (%)	0.04	0.05	0.00	-
H ₂ (%)	15.20	19.95	14.21	20
O ₂ (%)	0.26	0.20	0.24	20
LHV (MJ/m ³)	5.44	4.73	5.09	-
HHV (MJ/Nm ³)	6.48	5.80	5.65	-



รูปที่ 8 องค์ประกอบของแก๊สชีวมวล

3.3 ค่าความร้อนของแก๊สชีวมวล

ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของแก๊สชีวมวลที่ได้จากเตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบ Downdraft gasifier โดยใช้เครื่อง Online Infrared Syngas Analyzer-Gasboard 3100 พบว่าค่าความร้อน HHV ของแก๊สชีวมวลที่ได้จากกะลามะพร้าว ไม่กระจับปักษ์ และไม่ยูคาลิปตัสมีค่า 6.48, 5.80 และ 5.65 MJ/Nm³ ตามลำดับ ดังรูปที่ 9 ซึ่งแก๊สชีวมวลที่ได้จากกะลามะพร้าวจะให้ค่าความร้อนสูงที่สุดเนื่องจากมีส่วนประกอบของน้ำมันมะพร้าว

4. สรุปผล

จากผลการศึกษการผลิตแก๊สจากเศษชีวมวลโดยใช้เตาผลิตแก๊สชนิดไหลลงขนาดเล็กสามารถสรุปได้ดังนี้

1. อุณหภูมิที่เหมาะสมในส่วนห้องเผาไหม้ไม่ควรต่ำกว่า 1000 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่จะทำมีแก๊สชีวมวลออกมามากที่สุด ซึ่งสามารถทำได้โดยการควบคุมอัตราการป้อนของอากาศ

2. ปริมาณแก๊สชีวมวลที่ได้จากชีวมวลกะลามะพร้าวจะมีความเข้มข้นมากกว่า แก๊สชีวมวลที่ได้จากไม่กระจับปักษ์ และไม่ยูคาลิปตัส อย่างไรก็ตามอัตราการเผาไหม้กะลามะพร้าวจะเกิดขึ้นรวดเร็วกว่าชีวมวลชนิดอื่น เนื่องจากเนื้อชีวมวลมีความหนาแน่นน้อยกว่าชีวมวลชนิดอื่นและกะลามะพร้าวยังมี

AEC-91

ส่วนประกอบของน้ำมันมะพร้าวทำให้เกิดการเผาไหม้ที่เร็วขึ้น

3. องค์ประกอบแก๊สชีวมวล คือ CO, CO₂, CH₄, H₂, และ O₂ โดยกะลามะพร้าวมีปริมาณแก๊ส 17.29%, 16.59%, 5.35%, 15.20% และ 0.26% ตามลำดับ และมีค่า HHV 6.48 MJ/Nm³, LHV 5.44 MJ/m³, ไนโตรเจน 11.78%, 20.01%, 3.94%, 19.95% และ 0.20% ตามลำดับ และมีค่า HHV 5.80 MJ/Nm³, LHV 4.73 MJ/m³, ไนโตรเจน 16.68%, 11.98%, 3.85%, 14.21% และ 0.24% ตามลำดับ และมีค่า HHV 5.65 MJ/Nm³, LHV 5.09 MJ/m³

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน และแผนกวิชาเครื่องกลวิทยาลัยเทคนิคนครราชสีมา ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์บางส่วนในการดำเนินการทดลองงานวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่สนับสนุนทุนวิจัย นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณนักศึกษาระดับปริญญาตรีผู้ช่วยสร้างอุปกรณ์การทดลองและดำเนินการเก็บข้อมูลครั้งนี้ คือนายปกครอง แดงอ่อน นายณัฏพงษ์ งามพลคลัง และนายนพพร เพ็ชรธรรม

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2556). รายงานสถิติพลังงานของ ประเทศไทย 2556, กระทรวงพลังงาน, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.eppo.go.th/info/cd-2013/index.html>, เข้าดูเมื่อวันที่ 26/08/2556
- [2] Rupendra Kumar Pachauri, Yogesh K. Chauhan. (2012). Assessment of Wind Energy Technology Potential in Indian Context, *Renewable Energy Research Rupendra Kumar Pachauri et al.*, Vol.2, No.4
- [3] N. A. Handayani, D. Ariyanti. (2012). Potency of Solar Energy Applications in Indonesia, *Journal*

of Renewable Energy Development 1 (2) 2012, pp. 33-38

[4] SERI, Golden, Colorado. (1979). Solar Energy Research Institute (SERI) *Generator Gas – The Swedish Experience* pp. 1939-1945

[5] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน. (2555). รายงานการอนุรักษ์พลังงานของประเทศไทย 2555, กระทรวงพลังงาน, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <http://www.dede.go.th> เข้าดูเมื่อวันที่ 26/12/2555

[6] กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงจากเศษไม้, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <http://www.dpim.go.th> เข้าดูเมื่อวันที่ 18/02/2557

[7] Tushar Srivastava. (2013). *Renewable Energy (Gasification)*, Research India Publications ISSN 2231-1297 Vol.(3) (2013), pp.1243 -1250

[8] Suppawit Lawanaskol. (2006). Charcoal Gasifier Engine for Power Generation, *Mechanical Engineering*

[9] Krushna Patil. (2011). *Biomass downdraft gasifier with internal cyclonic combustion chamber: Design, construction, and experimental results*, *Bioresource Technology* 102 (2011), pp. 6286–6290

[10] ปฐมวงศ์ คงช่วย, รัชพล ทองมา และวัชรพงศ์ ชูพินิจ (2553). การออกแบบ สร้าง และทดสอบเตาผลิตแก๊สชีวมวลขนาดเล็กแบบไหลขึ้น, *วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*