

การกำจัดน้ำมันดินของไม้ยูคาลิปตัสในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันแบบแก๊สไหลลง

Tar Removal of Eucalyptus Wood in a Downdraft Gasification Process

ภัทชนก แก้วพงศธร,¹ อภิญญา ดวงจันทร์,^{2*} สุจินณา กรรณสูตร,³ วีรชัย สุนทรรังสรรค์,⁴ โสภณ พรหมสุวรรณ,⁵ มะนุ บุญแสร์⁶

Patchanok Kaewpongsaton,¹ Apinya Duangchan,^{2*} Sujinna Karnasuta,³ Wirachai Soontornrangson,⁴ Sophon Phromsuwan,⁵ Manoo Boonsae⁶

Received : 15 October 2012 ; Accepted : 10 December 2012

บทคัดย่อ

งานวิจัยเพื่อหาแนวทางกำจัดน้ำมันดิน (Tar) ที่ปนเปื้อนในแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันแบบแก๊สไหลลงโดยใช้ไม้ยูคาลิปตัสเป็นวัตถุดิบ แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นการทดลองกำจัดน้ำมันดินโดยการปรับอัตราการไหลของอากาศในระดับที่ต่างกัน ส่วนที่สองเป็นการทดลองใช้ไม้ยูคาลิปตัสผสมกับถ่าน, โซเดียมคาร์บอเนตและอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์เป็นวัตถุดิบ ทำการเก็บข้อมูลแก๊สองค์ประกอบ เช่นมีเทน, ไฮโดรเจน, คาร์บอนมอนอกไซด์ และปริมาณน้ำมันดินที่ปนเปื้อนในแก๊สผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน แล้วนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้ไม้ยูคาลิปตัสเป็นวัตถุดิบเพียงอย่างเดียว การทดลองพบว่าการใช้ไม้ผสมกับถ่านทำให้ปริมาณแก๊สองค์ประกอบและปริมาณน้ำมันดินสูงขึ้น การใช้อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์จะให้ปริมาณแก๊สองค์ประกอบและน้ำมันดินลดลง ส่วนการใช้โซเดียมคาร์บอเนตทำให้ปริมาณน้ำมันดินลดลง โดยไม่ทำให้องค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: แก๊สซิฟิเคชันแบบแก๊สไหลลง ไม้ยูคาลิปตัส น้ำมันดิน

Abstract

Mitigating tar produced by gasifying Eucalyptus wood via a downdraft gasification process was under investigation. The study is divided into two parts, part one, mitigation of tar by controlling flow rate of the inlet air fed into the gasification and part two, selecting a suitable material to mix with the wood. Different materials: bio-char, sodium carbonate and aluminum hydroxide were mixed with the wood and effects of the materials were compared. Contents of tar, methane, hydrogen and carbon monoxide were recorded and compared with the blank experiment (only Eucalyptus). Results from the gasification of Eucalyptus wood with bio-char increased both the volumes of gases and tar. Aluminum hydroxide reduced both the volume of tar and gas produced. Sodium carbonate showed the best results for reduction of tar with no significant change of gas produced.

Keywords: downdraft gasifier, eucalyptus, tar

¹ นักศึกษาปริญญาโท, ³ อาจารย์, ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

² รองศาสตราจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

⁴ นักวิชาการ, ฝ่ายเทคโนโลยีพลังงาน สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 10210

^{5,6} เจ้าหน้าที่, ฝ่ายเทคโนโลยีพลังงาน สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 10210

¹ Master degree student, ³ Lecturer, Department of Environmental Science, Faculty of College of Environment, Kasetsart University, Bangkok 10900.

² Assoc. Prof, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering Kasetsart University, Kasetsart University, Bangkok 10900.

⁴ Researcher Officer, ^{5,6} Technician Energy Technology Department, Thailand Institute of Scientific and Technological Research, Amphoe Khlong Luang, Pathum Thani 10210, Thailand.

* Corresponding author; Apinya Duangchan, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering Kasetsart University, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand. fengapd@ku.ac.th.

บทนำ

ชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่มีประโยชน์เพราะจะช่วยแก้ปัญหาวิกฤตพลังงาน ในการแปรสภาพจากชีวมวลเป็นแก๊สและอื่นๆ เช่น น้ำมันดินและเถ้า³ การนำชีวมวลมาผลิตพลังงานทดแทนโดยเฉพาะการนำชีวมวลมาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันมีอุปสรรคอันเกิดจากปัญหาการปนเปื้อนของน้ำมันดิน (Tar) ในแก๊สผลิตภัณฑ์อันเป็นผลมาจากอุณหภูมิของ โซนเผาไหม้ (Combustion zone) ของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันสูงไม่เพียงพอ น้ำมันดินจะส่งผลให้คุณภาพของแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้ต่ำลง กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้ปฏิกรณ์แบบแก๊สไหลลง (Downdraft gasifier) จะได้แก๊สผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำมันดินปนเปื้อนน้อยกว่าการใช้ปฏิกรณ์แบบอื่นๆ⁴ เนื่องจากน้ำมันดินมีผลต่อคุณภาพของแก๊สผลิตภัณฑ์และสมรรถนะของอุปกรณ์ที่ใช้แก๊สที่ใช้แก๊สผลิตภัณฑ์เป็นเชื้อเพลิงทำให้มีการวิจัยเพื่อหาแนวทางในการกำจัดน้ำมันดินอย่างแพร่หลาย ในประเทศแคนาดาได้รายงานผลการทดลองการใช้แร่เหล็ก limonite ของประเทศแคนาดาในการร่อนพื้นของระบบแก๊สซิฟิเคชันแบบป้อนอากาศที่ใช้ขี้เลื่อยไม้สนเป็นวัตถุดิบในการผลิตแก๊สว่าการใช้แร่เหล็กนั้นให้ผลดีในการลดน้ำมันดินได้ดีกว่าการใช้ Olivine² และพบว่าการใช้

ใช้อะเซทิลีนกับเปลวไฟไฮโดรเจนเผาแก๊สผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำมันดินปนเปื้อนในสถานะที่แวดล้อมด้วยไอน้ำและไนโตรเจนจะเปลี่ยนน้ำมันดินให้เป็นไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์และได้ทำการศึกษาผลของการปรับอัตราการใช้ของอากาศที่เหมาะสมต่อการลดปริมาณน้ำมันดินด้วย¹

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาหาสัดส่วนอากาศกับวัตถุดิบที่เหมาะสมควบคู่ไปกับการทดลองหาส่วนผสมของวัตถุดิบเพื่อลดปริมาณน้ำมันดินที่ปนเปื้อนในแก๊สผลิตภัณฑ์

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการกำจัดน้ำมันดินของไม้ยูคาลิปตัสในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันแบบแก๊สไหลลง

วิธีดำเนินการวิจัย

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

สำหรับอุปกรณ์การทดลองที่สำคัญหรือเป็นหัวใจหลักในการทดลอง คือ แก๊สซิฟิเคเตอร์แบบแก๊สไหลลง และอีกอย่างหนึ่ง เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกน้ำมันดิน คือ เครื่องระเหยด้วยไอน้ำ



Figure 1 Downdraft Gasifier



Figure 2 Evaporator

การทดลองส่วนที่หนึ่ง

นำไม้ยูคาลิปตัสที่ใช้เป็นวัตถุดิบนั้นไปตากแดดเพื่อไล่ความชื้นออก ความชื้นของวัตถุดิบที่จะนำมาผลิตแก๊สด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันควรมีค่าร้อยละโดยน้ำหนักระหว่าง

15-20 โดยก่อนทำการทดลองได้มีการนำไม้ยูคาลิปตัสไปวิเคราะห์หาค่าประกอบ เช่น ความชื้น ไฮโดรเจน ไนโตรเจน คาร์บอน ชี้อัด ตามการวิเคราะห์ของวิธีมาตรฐาน ASTM D3172

Table 1 Elemental composition of Eucalyptus wood (wt%)

Proximate Analysis		Ultimate Analysis	
Compositoin	Volume	Element	Volume
Ash	3.79	Carbon	45.1
Moisture	13.15	Hydrogen	6.28
Volatile	62.56	Nitrogen	0.02
Fixed carbon	20.5	Oxygen	48.6

การทดลองใช้ถ่านเป็นแหล่งพลังงานความร้อนเริ่มต้นของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน โดยใช้ถ่าน 1 กิโลกรัม วางไว้ด้านล่างสุดของเครื่องปฏิกรณ์ ถ่านจะถูกจุดจนไหม้แดงทั่วทั้งก้อน จากนั้นจึงเติมไม้ยูคาลิปตัส 3 กิโลกรัม ไว้ด้านบนหลังจากนั้นก็ปิดฝาเครื่องปฏิกรณ์แล้วป้อนอากาศเข้าสู่ปฏิกรณ์ โดยทดลองปรับอัตราการไหลของอากาศที่ 130, 140 และ 150 L/min เพื่อหาอัตราการไหลของอากาศที่ดีที่สุดสำหรับการลดน้ำมันดิน เพื่อนำไปใช้ในการทดลองขั้นอื่นๆ ต่อไป

การทดลองส่วนที่สอง

การทดลองใช้ตัวเร่งอื่นๆ เพื่อผสมกับไม้ยูคาลิปตัส โดยในการทดลองนี้ใช้ โซเดียมคาร์บอเนต (Ca_2CO_3) และ อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Al}(\text{OH})_3$) อย่างละ 600 กรัม แต่ผลการทดลองใช้ระยะเวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมง และจะมีการเก็บตัวอย่างแก๊สที่ได้ไปวิเคราะห์โดย gas chromatograph รุ่น GC Varian 450-GC แก๊สผลิตภัณฑ์ที่นำไปวิเคราะห์มี 3

ชนิด ได้แก่ ไฮโดรเจน มีเทน และคาร์บอนมอนอกไซด์ ส่วนของเหลวที่ได้จากระบบ จะมีการไปแยกส่วนที่เป็นน้ำส้มควันไม้กับน้ำมันดินออกจากกัน โดยการสกัดด้วยตัวทำละลาย ไดคลอโรมีเทนแล้วนำไประเหยออกโดยใช้เครื่อง B"U"CHI Rotavapor R-250 ส่วนที่เหลือคือปริมาณน้ำมันดินที่ปนเปื้อนในแก๊สผลิตภัณฑ์

ผลการวิจัย

ผลของปริมาณอากาศที่ป้อนเข้าปฏิกรณ์

การแปรสภาพจากชีวมวลเป็นแก๊สของยูคาลิปตัสด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันโดยการทดลองปรับอัตราการไหลของอากาศที่ป้อนเข้าสู่ปฏิกรณ์ในระดับต่างๆ ได้ผลลัพธ์คือ อัตราการไหลของอากาศที่ 150 L/min ให้ปริมาณน้ำมันดินต่ำสุดและให้แก๊สผลิตภัณฑ์สูงสุด

Table 2 The rate of air effect of gas and tar products

Air flow rate (l/min)	CO(mol%)	H ₂ (mol%)	CH ₄ (mol%)	Tar(g/kg biomass)
130	13.55	10.46	3.61	30.04
140	15.50	12.78	3.40	27.54
150	16.00	13.45	3.51	26.44

ในขั้นตอนต่อไปจะทดลองติดตั้งอุปกรณ์ให้ความร้อน (Heater) ภายนอกท่อที่แก๊สไหลผ่านเพื่อให้ความร้อนเป็นตัวช่วยลดหรือกำจัดปริมาณของน้ำมันดิน ในทางปฏิบัติจะต้องทำให้แก๊สผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 1,000 องศาเซลเซียส จึงจะทำให้้ำมันดินที่ปนเปื้อนในแก๊สแตกตัวหรือแปรรูปเป็นแก๊สผลิตภัณฑ์ (Thermal tar cracking) ซึ่งนอกจากจะทำให้แก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้สะอาดขึ้นแล้วยังเป็นการเพิ่มค่าความร้อน (Heating value or Calorific value) ของแก๊สผลิตภัณฑ์ได้อีกทางหนึ่ง

ผลกระทบของการใช้วัตถุดิบที่ต่างกัน

การทดลองใช้วัตถุดิบที่แตกต่างกัน 4 แบบ คือ 1.การใช้ไม้ยูคาลิปตัสอย่างเดียว 2.ไม้ยูคาลิปตัสกับถ่าน 3.ไม้ยูคาลิปตัสผสมกับอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ และ 4.ไม้ยูคาลิปตัสผสมกับโซเดียมคาร์บอเนตนั้น พบว่า ไม้ยูคาลิปตัสที่ผสมกับถ่านจะจุดติดไฟได้ง่ายกว่าการใช้ไม้ยูคาลิปตัสอย่างเดียว และจะได้แก๊สผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนแต่ปริมาณน้ำมันดินก็จะสูงด้วยเช่นกัน ซึ่งมีสาเหตุจากการเติมถ่านทำให้เกิดการเพิ่มแหล่งคาร์บอนเมื่อให้ความร้อนก็จะทำ

ปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนชีวมวลให้กลายเป็นแก๊สเชื้อเพลิง (CO และ H₂) ได้ง่าย ส่วนการเติมตัวเร่ง คือ อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ผสมกับไม้ยูคาลิปตัสนั้นปริมาณน้ำมันดินที่ได้จะต่ำกว่า 2 แบบแรก (ไม่อย่างเดียวยังและไม่ผสมกับถ่าน) แต่แก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จะน้อยกว่าไม่ผสมกับถ่านเนื่องจากไม่มีแหล่งเชื้อเพลิงที่เพียงพอเหมือนใส่ถ่าน และสำหรับตัวเร่งตัวสุดท้ายคือ โซเดียมคาร์บอเนต จากการทดลอง พบว่า เป็นตัวเร่งที่ให้ผลที่ดีที่สุด มีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันดินได้ดีกว่าอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ โดยจะได้ปริมาณน้ำมันดินออกมา 19% (ซึ่งน้อยกว่าเมื่อเทียบกับไม้ยูคาลิปตัสอย่างเดียว) และแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็ค่อนข้างสูงแต่ก็ยังน้อยกว่าการใช้ไม้ยูคาลิปตัสผสมกับถ่าน การเปรียบเทียบผลการทดลองทั้ง 4 แบบ พบว่าการใช้ไม้ยูคาลิปตัสผสมกับโซเดียมคาร์บอเนตที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้นให้ผลการทดลองที่ดีที่สุด คือ ปริมาณน้ำมันดินที่ได้น้อยละ 19.29 (โดยน้ำหนักต่อกิโลกรัมไม้ยูคาลิปตัส) และแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้ CO, H₂ และ CH₄ คิดเป็นร้อยละโดยปริมาตรของแก๊สผลิตภัณฑ์เท่ากับ 13.00, 10.90 และ 1.19 ตามลำดับ

Table 3 To compare the results of different raw materials 4 by air flow rate 150 L/min

Products	Blank	Char	Al(OH) ₃	Na ₂ CO ₃
Tar (g/kgiomass)	23.85	26.44	21.17	19.29
CO (mol%)	9.50	16.00	10.83	13.00
H ₂ (mol%)	3.13	13.45	7.70	10.90
CH ₄ (mol%)	1.17	3.51	1.20	1.19

สรุปผลและวิจารณ์

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการลดปริมาณ หรือกำจัดน้ำมันดินที่ปนเปื้อนในแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นสลายชีวมวลด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันสามารถทำได้ทั้งกระบวนการทางกายภาพและ กระบวนการทางเคมีความร้อน นอกเหนือจากการออกแบบปฏิกรณ์ให้มีโซนเผาไหม้อุณหภูมิสูง (สูง

กว่า 1,000 องศาเซลเซียส) แล้วการปรับอัตราการป้อนอากาศที่เหมาะสมเป็นวิธีลดปริมาณน้ำมันดินด้วยกระบวนการกายภาพพื้นฐานที่มีประสิทธิภาพระดับหนึ่ง แต่มีข้อดีที่ต้นทุนต่ำ สามารถดำเนินการได้ง่าย และไม่ต้องใช้เครื่องมือ/อุปกรณ์เพิ่ม ในกรณีที่ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันดินด้วยกระบวนการทางกายภาพ สามารถทำได้โดยการติด

ตั้งแหล่งให้ความร้อนภายนอกสำหรับเพิ่มอุณหภูมิของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ไหลออกจากปฏิกรณ์ให้สูง 1,000 – 1,200 องศาเซลเซียส (กำลังดำเนินการเตรียมอุปกรณ์สำหรับทดลองในขั้นตอนต่อไป) ซึ่งจะทำให้น้ำมันดินแตกตัวเป็นแก๊สไฮโดรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ และแก๊สอื่นๆ ซึ่งนอกจากสามารถกำจัดน้ำมันดินแล้วยังเป็นการเพิ่มคุณภาพของแก๊สผลิตภัณฑ์ได้อีกทางหนึ่ง อย่างไรก็ตามการติดตั้งแหล่งผลิตความร้อนที่ทำให้แก๊สผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิสูงต้องใช้เทคนิคการออกแบบ/สร้างเฉพาะตลอดจนความสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงที่ใช้ทำให้มีต้นทุนสูง

การกำจัดน้ำมันดินด้วยกระบวนการทางเคมีความร้อนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นการทดลองใช้สารเคมีราคาไม่แพงที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์มาประยุกต์ใช้เป็นสารเร่งการแตกตัวของน้ำมันดินอย่างง่าย แม้จะสามารถกำจัดน้ำมันดินได้ระดับหนึ่งแต่มีข้อจำกัดเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพ ความสิ้นเปลืองและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดจาก ถ่านหรือเถ้าที่มีสารเคมีปนเปื้อน

ผลการวิจัยที่น่าเสนอนี้จะนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับต่อยอดงานวิจัยในลำดับต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย และวิทยาลัยสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากพระราชดำริ

เอกสารอ้างอิง

1. Granovskii, M., Gerspacher, R., Pugsley, T., Sanchez, F. An effect of tar model compound toluene treatment with high-temperature flames. *Fuel* 2012 Feb(1);92:369-372.
2. Hurley, S., Xu, C., Preto, F., Shao, Y., Li, H., Wang, J., Tourigny, G. Catalytic gasification of woody biomass in an air-blown fluidized-bed reactor using Canadian limonite iron ore as the bed material. *Fuel* 2012 Jan(1);91:170-176.
3. Li, C., Suzuki, K. Tar property, analysis, reforming mechanism and model for biomass gasification. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2009 Apr(3);13:594-604.
4. Remulla, J.A. Gasifier Manufacture in the Philippines: Status and Prospects. Presented at Technical Consultation Meeting between People's Republic of China and Philippines Manila 1982 Jun; 23-30.
5. Klass, D.L. Biomass for Renewable Energy, Fuel and Chemical. Academic Press; 1994.