

ภาคผนวก ข
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

การประชุมวิชาการระดับชาติเพื่อการพัฒนาความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
วันที่ 25-26 ธันวาคม 2555 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากเตาผลิตแก๊สชนิดแก๊สไหลขึ้นแบบสองชั้น

SYNTHETIC GAS PRODUCTION FROM TWO-STAGE UPDRAFT GASIFIER

ณัฐสรรค์ อนุดิระ¹, มานะ อมรกิจบำรุง², รัตนชัย ไพรินทร์³, วีรชัย สุนทรรังสรรค์⁴

Nuttasun Anutaliya¹, Mana Amornkitbamrung², Rattanachai Pairintra³, Wirachai Soontomrangson⁴

¹สายวิชาเทคโนโลยีพลังงาน, ²สายวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ,

³สายวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี, คณะทรัพยากรชีวภาพและเคมี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถนนพระอาทิตย์ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

¹Division of Energy Technology, ²Division of Thermal Technology, School of Energy Environment and Materials, ³Division of Biochemical Technology, School of Bioresources and Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand.

⁴ฝ่ายเทคโนโลยีพลังงาน สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) 35 หมู่ 3 ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

⁴Department of Energy Technology, Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR), Thailand.

*Corresponding author, E-mail: 53402610@st.kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการแก๊สซิฟิเคชันด้วยเตาผลิตแก๊สชนิดไหลขึ้นแบบ 2 ชั้น โดยใช้ซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิง ทำการทดลองหาสภาวะการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่ดีที่สุด โดยการปรับอุณหภูมิชั้นรีดักชันและทดลองใช้ไอน้ำช่วยเพิ่มปริมาณแก๊สเชื้อเพลิง ในการผลิตแก๊สที่อุณหภูมิชั้นรีดักชันต่างกันพบว่า ที่อุณหภูมิชั้นรีดักชัน 800, 850 และ 900 °C แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีค่าความร้อนสูงเฉลี่ย 3.25, 3.53 และ 3.58 MJ/Nm³ โดยมีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนเฉลี่ย 18.1%, 19.8%, 20.7% และ 4.1%, 4.7%, 4.8% ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิชั้นรีดักชัน 900 °C มีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น 12.6% และ 14.6% ค่าความร้อนสูงเพิ่มขึ้น 9.2% เทียบกับที่อุณหภูมิ 800 °C ซึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยาในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงเป็นปฏิกิริยาคูดความร้อนจึงเกิดปฏิกิริยาได้ดีเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในการทดลองใช้ไอน้ำเพิ่มปริมาณแก๊สเชื้อเพลิง ทดลองที่อุณหภูมิชั้นรีดักชัน 900 °C ที่อัตราการฉีดไอน้ำ 0.03, 0.07 และ 0.15 L/min พบว่า แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีค่าความร้อนสูงเฉลี่ย 3.83, 3.82 และ 3.78 MJ/Nm³ ตามลำดับ มีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ย 21.1%, 29.8% และ 20.3% และปริมาณไฮโดรเจนเฉลี่ย 6.5%, 6.7% และ 7.0% ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า การฉีดไอน้ำช่วยเพิ่มปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาวอเตอร์แก๊ส แต่การฉีดไอน้ำมากเกินไปจะทำให้เกิดปฏิกิริยาวอเตอร์ชิฟมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิชั้นรีดักชัน 900 °C ใช้ไอน้ำอัตรา 0.03 L/min เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด โดยมีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น 1.9% และ 26.1% ค่าความร้อนสูงเพิ่มขึ้น 6.5% เทียบกับกรณีไม่ฉีดไอน้ำ

คำสำคัญ: เตาผลิตแก๊สชนิดไหลขึ้นแบบสองชั้น ซังข้าวโพด ค่าความร้อนสูง ปฏิกิริยาวอเตอร์ชิฟ

Abstract

This research is study the performance of a two-stage updraft gasifier via the production of synthetic gas using corncobs as feedstock. Particularly, the temperatures of reduction zone would be varied. The injection of steam in the middle of the process to increase the gas yield is also included. Variations of temperatures in reduction zone, i.e. 800, 850 and 900 °C, resulting for the average high heating values (HHV) of 3.25, 3.53, and 3.58 MJ/Nm³ respectively. The corresponding yields of carbon monoxide (CO) are 18.1%, 19.8%, 20.7%, and 4.1%, 4.7%, 4.8% yields of hydrogen (H₂) are also obtained. The results obtained CO and H₂ contents, including HHV of gas produced at 900 °C are 12.6%, 14.6%, and 9.2% greater than those of gas produced at 800 °C due to the endothermic reaction (The process is fastened in a high-temperature environment). The injection of steam at 0.03, 0.07 and 0.15 L/min into the 900 °C reduction zone produced gas with the average HHV of 3.83, 3.82, and 3.78 MJ/Nm³ respectively. The corresponding CO yields are 21.1%, 29.8%, and 20.3% while the H₂ yields are 6.5%, 6.7%, and 7.0% respectively. The injection of steam increased CO and H₂ contents by means of the water gas reaction. However, the overinjection of steam can cause higher water shift reaction that reduces the content of CO. Based on the findings, the optimal condition could be achieved when the temperature of the reduction zone is 900 °C and steam injection rate is 0.03 L/min. The CO and H₂ contents are increased by 1.9% and 26.1% with the addition of steam. HHV is also increased by 6.5% from the case of no steam injection.

Keyword: Two-Stage Updraft Gasifier, Corncob, High Heating Value, Water Shift Reaction

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมจึงมีวัสดุชีวมวลเหลือทิ้งจำนวนมาก ชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่มีศักยภาพสูง สามารถนำไปเปลี่ยนเป็นพลังงานทดแทนได้หลากหลายวิธี โดยวิธีที่น่าสนใจและมีความเป็นไปได้สูงมาก คือ การเปลี่ยนรูปชีวมวลไปเป็นแก๊สเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) ซึ่งเป็นกระบวนการเผาไหม้ชีวมวลภายใต้ภาวะที่มีการจำกัดออกซิเจนทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (Partial combustion or Oxidation) แก๊สที่เกิดจากกระบวนการนี้ประกอบด้วยแก๊สที่เผาไหม้ได้คือ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แก๊สไฮโดรเจน (H₂) และแก๊สมีเทน (CH₄) [1]

ข้าวโพดเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่มีการปลูกเป็นจำนวนมาก และมีส่วนที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์เหลือเป็นชีวมวลจำนวนมาก เช่น ชังข้าวโพด ลำต้น และใบ เป็นต้น จากข้อมูลในปี 2550 ประเทศไทยมีการผลิตเมล็ดข้าวโพดประมาณ 4.3 ล้านตัน มีส่วนเหลือทิ้งที่เป็นชังข้าวโพดประมาณ 0.8 ล้านตัน และเป็นต้นและใบประมาณ 3.8 ล้านตัน [2] การนำส่วนเหลือทิ้งเหล่านี้โดยเฉพาะชังข้าวโพดซึ่งมีการกองทิ้งเป็นจำนวนมากในระหว่างกระบวนการแยกเมล็ด มาเปลี่ยนเป็นแก๊สเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน จึงเป็นแนวทางที่จะแก้ปัญหาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรได้วิธีหนึ่ง อีกทั้งได้ผลผลิตเป็นแก๊สเชื้อเพลิงที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไป แต่ปัญหาหนึ่งที่มักพบจากการนำชีวมวลมาผ่านกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันคือ เชื้อเพลิงชีวมวลมีปริมาณสารระเหยและความชื้นอยู่มาก [3,4] ซึ่งโดยทั่วไปเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจะสามารถทำงานได้เมื่อใช้เชื้อเพลิงที่มีความชื้นไม่เกิน 50 % wet basis [1] และเมื่อนำชีวมวลไปใช้ในเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจะทำให้เตาไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ทำให้แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีค่าความร้อนลดลง และมีการปนเปื้อนเป็นจำนวนมาก [5,6]

โดยงานวิจัยนี้ได้ออกแบบเตาผลิตแก๊สชนิดไหลขึ้น แบบ 2 ชั้น โดยการแยกเอาชั้นเผาไหม้ออกจากชั้นรีดักชัน แล้วเพิ่มห้องสำหรับหน่วงเวลาให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากชั้นเผาไหม้ มีเวลาทำปฏิกิริยากับถ่านร้อน

ไนรีดักชันโซนให้นานขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตแก๊ส และได้ออกแบบชั้นรีดักชันให้สามารถเพิ่มอุณหภูมิได้โดยการเติมอากาศเพื่อทำหน้าที่เป็นชุดกำจัดน้ำมันดินด้วยความร้อน (Thermal Tar Cracking) ได้อีกส่วนหนึ่ง และทำการศึกษาระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจากเตาผลิตแก๊สชนิดไหลขึ้นแบบ 2 ชั้น โดยใช้ซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิง ทำการทดลองหาสภาวะการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่ดีที่สุดโดยการปรับอัตราการไหลของอากาศเพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในเตาผลิตแก๊สชั้นรีดักชัน และทดลองใช้อิธานช่วยเพิ่มปริมาณการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

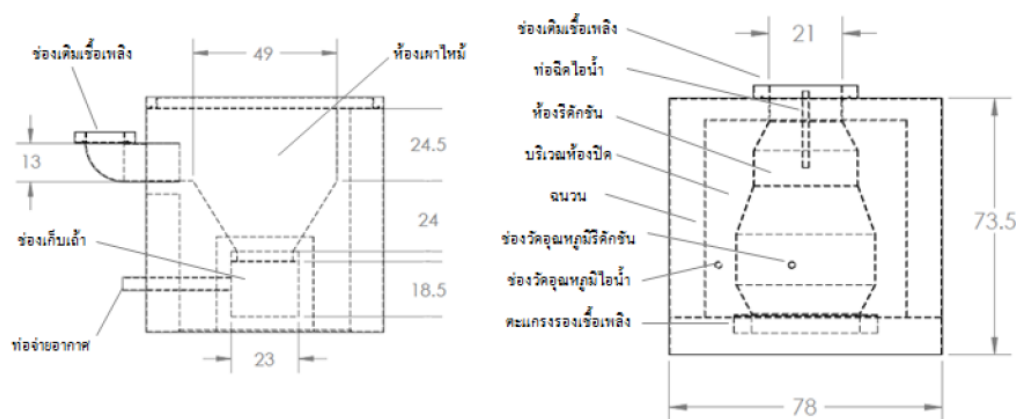
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากเตาผลิตแก๊สชนิดไหลขึ้นแบบสองชั้นโดยใช้ซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิง

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีการสร้างเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

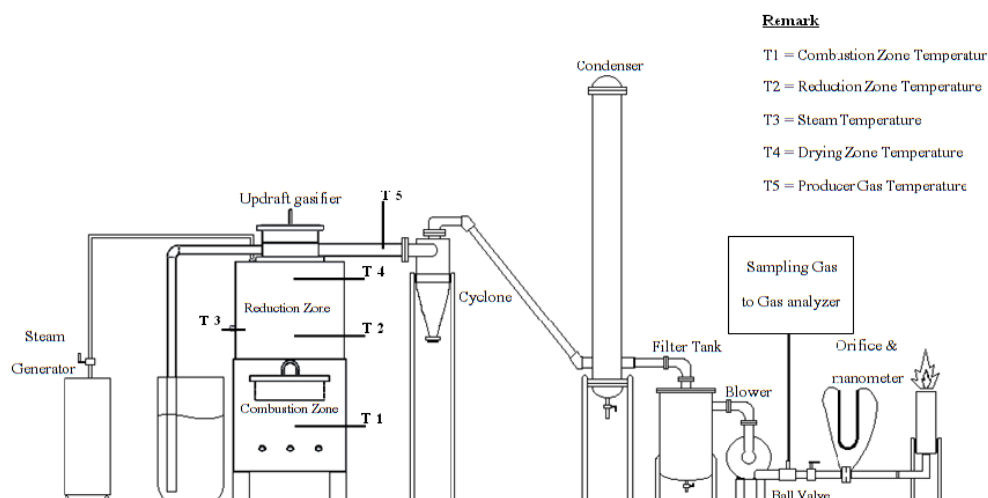
1. เตาผลิตแก๊สชนิดไหลขึ้น ถูกออกแบบให้แบ่งเป็นสองชั้นเพื่อเพิ่มปริมาณการผลิตแก๊ส โดยชั้นบนเป็นชั้นรีดักชันทำจากเหล็กแผ่นหนา 3 mm มีปริมาตร 0.1 m³ ชั้นล่างเป็นชั้นเผาไหม้ทำจากอิฐทนไฟ มีปริมาตร 0.04 m³ แสดงดังภาพประกอบที่ 1



ภาพประกอบที่ 1 เตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงชนิดไหลขึ้นแบบสองชั้นชั้นเผาไหม้ (ซ้าย) และชั้นรีดักชัน (ขวา)

2. อุปกรณ์ให้ความสะอาดแก๊สเชื้อเพลิงซึ่งประกอบด้วย ไซโคลนดักฝุ่น เครื่องควบแน่นชนิดเป็ลลิกและท่อระบายความร้อนด้วยน้ำเย็น 6 °C และถังดักน้ำมันดินปริมาตร 0.07 m³
3. ชุดพัฒนาคัดแก๊ส ใช้มอเตอร์ 3 เฟส 1 แรงม้า ประกอบบอลลาล์วควบคุมอัตราการไหลแก๊สเชื้อเพลิง
4. เครื่องกำเนิดไอน้ำที่อุณหภูมิ 140 °C ความดัน 0.3 MPa
5. เครื่องมือวัดอัตราการไหลแก๊ส 2 ตำแหน่ง คือ วัดอัตราการไหลอากาศเข้าเตาผลิตแก๊สใช้เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer) และวัดอัตราการไหลแก๊สเชื้อเพลิงใช้เครื่องมือวัดแบบออร์ฟิสและแมนอมิเตอร์
6. เครื่องมือวัดอุณหภูมิใช้เทอร์โมคัปเปิล Type K จำนวน 5 ตำแหน่ง
7. เครื่องวิเคราะห์แก๊สแบบต่อเนื่องสำหรับตรวจวัดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน และ ไฮโดรเจน อุปกรณ์ทั้งหมดถูกประกอบเป็นระบบเพื่อทดลองการผลิตแก๊สแสดงดังภาพประกอบที่ 2

การประชุมวิชาการระดับชาติเพื่อการพัฒนาความรู้วิจัยอย่างยั่งยืน
วันที่ 25-26 ธันวาคม 2555 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



ภาพประกอบที่ 2 ระบบผลิตแก๊สจากเตาผลิตแก๊สชนิดไหลขึ้นเพื่อลดความชื้นเชื้อเพลิงชีวมวล

การดำเนินการทดลองโดยมีขั้นตอนการทดลองตามลำดับดังนี้

1. บรรจุเชื้อเพลิงลงในเตา โดยชั้นรีดักชันใส่ขี้ังข้าวโพด 15 kg และชั้นเผาไหม้ใส่ถ่านไม้ 2 kg
2. เริ่มเดินเตาผลิตแก๊สโดยเปิดชุดพัดลมดูดแก๊ส จากนั้นจุดไฟชั้นรีดักชัน และเมื่อเชื้อเพลิงในชั้นรีดักชันติดไฟดีแล้วจึงเริ่มจุดไฟบริเวณชั้นเผาไหม้
3. ปรับอัตราการไหลของอากาศที่วาล์วของชุดพัดลมดูดแก๊สเพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในเตาชั้นรีดักชันให้ได้ตามที่กำหนด (800, 850 และ 900 °C) บันทึกอุณหภูมิทุกๆ 10 นาที บันทึกปริมาณ คาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน และไฮโดรเจน บันทึกความแตกต่างของระดับน้ำในแมนอมิเตอร์ และบันทึกความเร็วอากาศที่เข้าสู่เตาผลิตแก๊ส โดยบันทึกผลเป็นเวลา 90 นาที
4. เปรียบเทียบปริมาณแก๊สเชื้อเพลิง และคำนวณค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้ จากการทดลองทั้ง 3 ครั้ง เพื่อหาสภาวะการทดลองที่ดีที่สุด และใช้สภาวะการทดลองนั้นในการเดินเตาผลิตแก๊สเพื่อทดลองการฉีดไอน้ำช่วยในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง
5. ทดลองการฉีดไอน้ำช่วยในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงโดยการเดินเตาผลิตแก๊สตามขั้นตอนในข้อ 1-4 จากนั้นสังเกตอุณหภูมิในเตาเมื่อเริ่มครั้งที่ จึงเปิดวาล์วที่เครื่องกำเนิดไอน้ำเพื่อฉีดไอน้ำเข้าสู่เตาในปริมาณที่กำหนด (อัตรา 0.03, 0.07 และ 0.15 L/min) บันทึกผลการทดลองตามข้อที่ 3 และบันทึกปริมาณไอน้ำที่ป้อนสู่เตาผลิตแก๊สจากระดับน้ำที่ลดลงของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

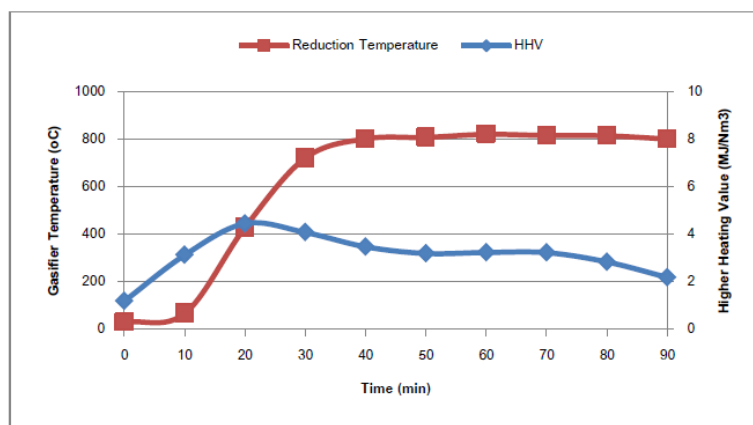
ผลการวิจัย

การวิจัยนี้แบ่งผลการทดลองได้เป็น 2 ขั้นตอนคือ การทดลองผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิรีดักชันต่างกัน 3 ระดับคือ 800, 850 และ 900 °C และ การทดลองใช้ไอน้ำช่วยในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง โดยใช้อัตราการฉีดไอน้ำต่างกัน 3 ระดับคือ 0.03, 0.07 และ 0.15 L/min โดยผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

1. จากการทดลองผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิรีดักชันต่างกัน ที่อุณหภูมิรีดักชัน 800 °C มีอัตราการไหลของอากาศเข้าภายในเตาเฉลี่ย $1.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ องค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงมีคาร์บอนมอนอกไซด์

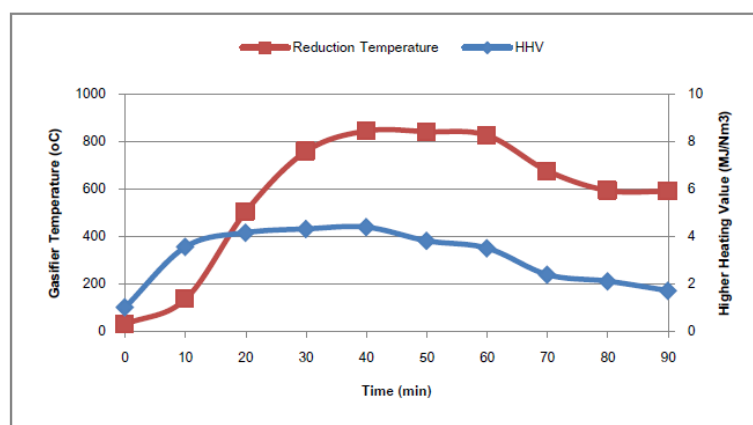
การประชุมวิชาการระดับชาติเพื่อการพัฒนาความรู้ด้านวิจัยอย่างยั่งยืน
วันที่ 25-26 ธันวาคม 2555 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

มีเทน และไฮโดรเจน เจลลี่ 18.1%, 1.8% และ 4.1% ตามลำดับ ค่าความร้อนสูง (HHV) เจลลี่ 3.25 MJ/Nm³ สามารถผลิตแก๊สเชื้อเพลิงได้เป็นเวลา 60 นาที (ตั้งแต่วันที่ 20-80) แสดงดังภาพประกอบที่ 3



ภาพประกอบที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับค่าความร้อนสูงและอุณหภูมิรีดักชันที่ 800 °C

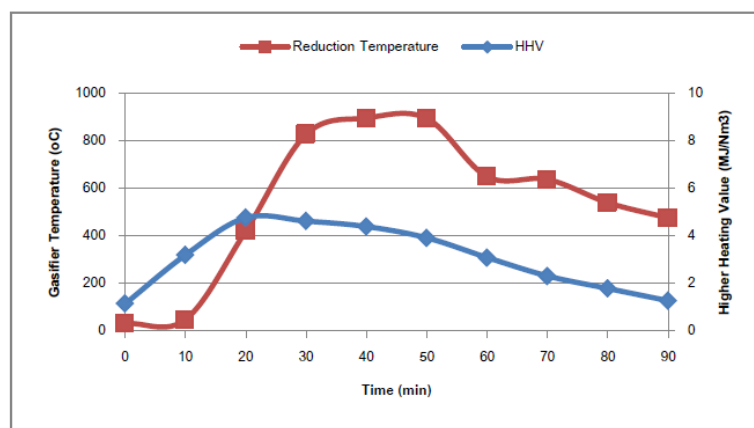
ที่อุณหภูมิรีดักชัน 850 °C มีอัตราการไหลของอากาศเข้าภายในเตาเฉลี่ย 1.9x10⁻³ m³/s องค์ประกอบแก๊สเชื้อเพลิงมีคาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน และไฮโดรเจน เจลลี่ 19.8%, 1.9% และ 4.7% ตามลำดับ ค่าความร้อนสูง (HHV) เจลลี่ 3.53 MJ/Nm³ สามารถผลิตแก๊สเชื้อเพลิงได้เป็นเวลา 40 นาที (ตั้งแต่วันที่ 20-60) แสดงดังภาพประกอบที่ 4



ภาพประกอบที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับค่าความร้อนสูงและอุณหภูมิรีดักชันที่ 850 °C

ที่อุณหภูมิรีดักชัน 900 °C มีอัตราการไหลของอากาศเข้าภายในเตาเฉลี่ย 2.2x10⁻³ m³/s องค์ประกอบแก๊สเชื้อเพลิงมีคาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน และไฮโดรเจน เจลลี่ 20.7%, 1.9% และ 4.8% ตามลำดับ ค่าความร้อนสูง (HHV) เจลลี่ 3.58 MJ/Nm³ สามารถผลิตแก๊สเชื้อเพลิงได้เป็นเวลา 30 นาที (ตั้งแต่วันที่ 20-50) แสดงดังภาพประกอบที่ 5

การประชุมวิชาการระดับชาติเพื่อการพัฒนาความรู้ด้านวิจัยอย่างยั่งยืน
วันที่ 25-26 ธันวาคม 2555 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



ภาพประกอบที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับค่าความร้อนสูงและอุณหภูมิขั้นรีดักชันที่ 900 °C

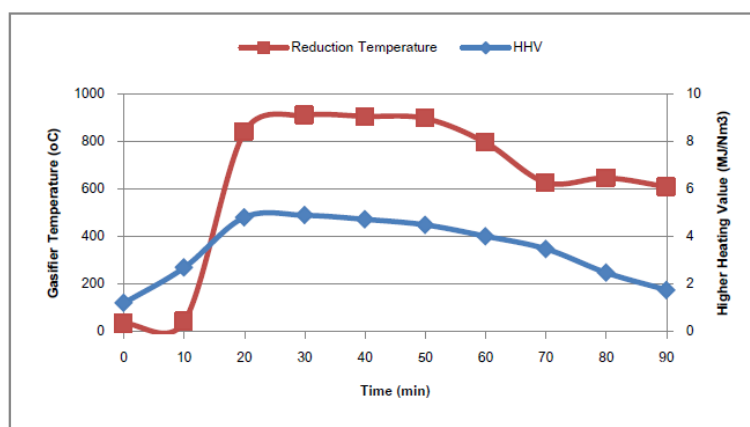
จากการทดลองผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิขั้นรีดักชันที่ 800, 850 และ 900 °C พบว่า การผลิตแก๊สที่อุณหภูมิขั้นรีดักชันสูงทำให้ได้ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และแก๊สไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น แต่ไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของแก๊สมีเทน ซึ่งทำให้การผลิตแก๊สที่อุณหภูมิ 900 °C ได้แก๊สเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพดีที่สุดในแง่ของค่าความร้อนสูงที่สุด ข้อมูลผลการทดลองผลิตแก๊สที่อุณหภูมิขั้นรีดักชันต่างกัน 3 ระดับแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดลองผลิตแก๊สที่อุณหภูมิขั้นรีดักชัน 3 ระดับ

Reduction Temperature (°C)	CO Yield (%)		CH ₄ Yield (%)		H ₂ Yield (%)		Average Gas Out Temperature (°C)	Average HHV (MJ/Nm ³)
	Max.	Ave.	Max.	Ave.	Max.	Ave.		
800	20.2	18.1	3.0	1.8	5.5	4.1	115	3.25
850	21.4	19.8	2.8	1.9	5.8	4.7	145	3.53
900	22.7	20.7	3.1	1.9	6.7	4.8	149	3.58

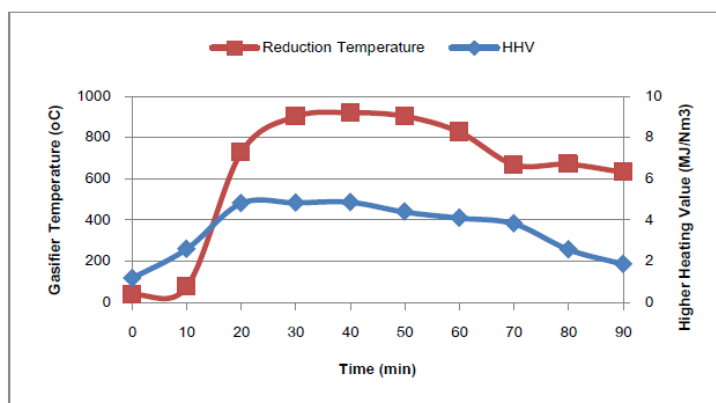
2. การทดลองฉีดไอน้ำเพื่อช่วยในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่ปริมาณต่างกัน ทำการทดลองโดยนำสภาวะการทดลองที่อุณหภูมิขั้นรีดักชัน 900 °C มาเดินเตาผลิตแก๊สเนื่องจากเป็นสภาวะที่ได้ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิง และค่าความร้อนสูงสุด โดยการทดลองฉีดไอน้ำที่เวลา 30-60 นาที ที่อัตราการฉีดไอน้ำ 0.03 L/min องค์ประกอบแก๊สเชื้อเพลิงมีคาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน และไฮโดรเจน เฉลี่ย 21.1%, 1.8% และ 6.5% ตามลำดับ ค่าความร้อนสูง (HHV) เฉลี่ย 3.83 MJ/Nm³ แสดงในภาพประกอบที่ 6

การประชุมวิชาการระดับชาติเพื่อการพัฒนาความรู้ด้านวิจัยอย่างยั่งยืน
วันที่ 25-26 ธันวาคม 2555 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



ภาพประกอบที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับค่าความร้อนสูงและอุณหภูมิที่ 900 °C
(ที่อัตราการฉีดไอน้ำ 0.03 L/min)

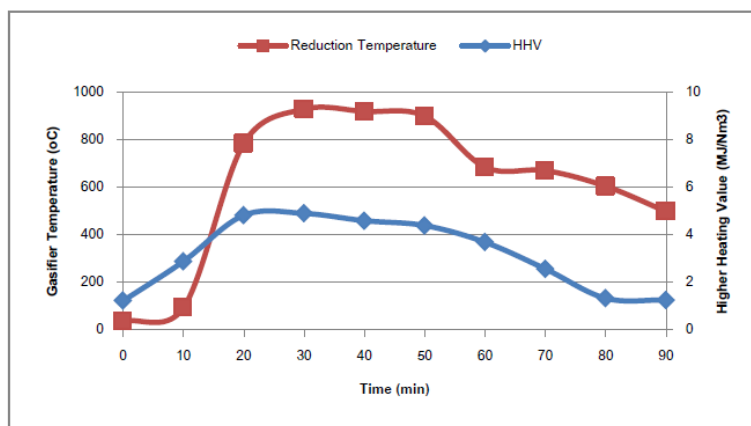
ที่อัตราการฉีดไอน้ำ 0.07 L/min องค์ประกอบแก๊สเชื้อเพลิงมีคาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน และไฮโดรเจน
เฉลี่ย 20.8%, 1.8% และ 6.7% ตามลำดับ ค่าความร้อนสูง (HHV) เฉลี่ย 3.82 MJ/Nm³ แสดงในภาพประกอบที่ 7



ภาพประกอบที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับค่าความร้อนสูงและอุณหภูมิที่ 900 °C
(ที่อัตราการฉีดไอน้ำ 0.07 L/min)

ที่อัตราการฉีดไอน้ำ 0.15 L/min ได้แก๊สเชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน และ
ไฮโดรเจน เฉลี่ย 20.3%, 1.8% และ 8.9% ตามลำดับ ค่าความร้อนสูง (HHV) เฉลี่ย 3.78 MJ/Nm³
แสดงในภาพประกอบที่ 8

การประชุมวิชาการระดับชาติเพื่อการพัฒนาความรู้ด้านวิจัยอย่างยั่งยืน
วันที่ 25-26 ธันวาคม 2555 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



ภาพประกอบที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับค่าความร้อนสูงและอุณหภูมิขึ้นรีดักชันที่ 900 °C
(ที่อัตราการฉีดไอน้ำ 0.15 L/min)

จากการทดลองผลิตแก๊สเชื้อเพลิงโดยใช้ไอน้ำเข้าช่วยที่อัตราการฉีดไอน้ำต่างๆ กันพบว่า ปริมาณการฉีดไอน้ำไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของแก๊สมีเทน แต่มีผลทำให้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรเจนมีค่าเพิ่มขึ้น โดยปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์จะมีค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุดในการทดลองที่อัตราการฉีดไอน้ำ 0.03 L/min และปริมาณแก๊สไฮโดรเจนจะมีค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุดที่อัตราการฉีดไอน้ำ 0.15 L/min แต่โดยรวมในการทดลองฉีดไอน้ำที่อัตรา 0.03 L/min ทำให้ได้ค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงสูงที่สุด ที่ 3.83 MJ/Nm³ ข้อมูลการทดลองผลิตแก๊สโดยใช้ไอน้ำเข้าช่วยที่อัตราการฉีดไอน้ำต่างกัน 3 ระดับ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดลองผลิตแก๊สโดยใช้ไอน้ำเข้าช่วยที่อัตราการฉีดไอน้ำ 3 ระดับ

Steam Rate (L/min)	CO Yield (%)		CH ₄ Yield (%)		H ₂ Yield (%)		Average Gas Out Temperature (°C)	Average HHV (MJ/Nm ³)
	Max.	Ave.	Max.	Ave.	Max.	Ave.		
No Steam	22.7	20.7	3.1	1.9	6.7	4.8	149	3.58
0.03	23.5	21.1	2.9	1.8	7.8	6.5	157	3.83
0.07	23.6	20.8	2.9	1.8	8.3	6.7	143	3.82
0.15	23.2	20.3	2.9	1.8	8.9	7.0	153	3.78

สรุปและอภิปรายผล

จากผลการทดลองการผลิตแก๊สที่อุณหภูมิขึ้นรีดักชันต่างกันพบว่า อุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศเข้าภายในเตาแปรผันตามกัน เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิภายในเตาจำเป็นต้องใช้ปริมาณอากาศมากขึ้นในปฏิกิริยาการเผาไหม้เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่สูงขึ้น และส่งผลถึงการใช้เชื้อเพลิงที่มากขึ้น ทำให้ระยะเวลาในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นรีดักชัน อุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศเข้าภายในเตายังมีผลโดยตรงต่อปริมาณการเกิดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และแก๊สไฮโดรเจน โดยในอุณหภูมิที่สูงจะทำให้การเกิดแก๊สเชื้อเพลิงทั้งสองทำได้ดี เนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดแก๊สเชื้อเพลิงทั้งสองคือ ปฏิกิริยาบาร์ดัวร์ (Boudouard Reaction) และปฏิกิริยาออกซิเดชันแก๊ส (Water Gas Reaction) เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อนซึ่งเกิดได้ดีที่

อุณหภูมิสูง [7] ส่วนการเกิดแก๊สมีเทนนั้นไม่เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ เนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดแก๊สมีเทนจะเกิดได้ดีภายใต้ความดันสูงและอุณหภูมิประมาณ 700 °C [8] โดยการทดลองผลิตแก๊สที่อุณหภูมิ 900 °C แก๊สเชื้อเพลิงที่ได้มีค่าความร้อนสูงมากที่สุด มีปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น 12.6% และ 14.6% มีค่าความร้อนสูงเพิ่มขึ้น 9.2% เทียบกับการทดลองที่อุณหภูมิ 800 °C

การทดลองฉีดไอน้ำช่วยในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงพบว่า การฉีดไอน้ำช่วยเพิ่มปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และแก๊สไฮโดรเจน ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาวอเตอร์แก๊ส แต่อย่างไรก็ตามการฉีดไอน้ำมากเกินไปจะทำให้เกิดปฏิกิริยาวอเตอร์ชิฟ (Water Shift Reaction) มากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง [9] ภาวะการทดลองที่อุณหภูมิขึ้นรีดักชัน 900 °C ใช้ไอน้ำอัตรา 0.03 L/min จึงเป็นจุดที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีค่าความร้อนสูงของแก๊สเชื้อเพลิงสูงสุด โดยมีปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น 1.9% และ 26.1% มีค่าความร้อนสูงเพิ่มขึ้น 6.5% เทียบกับกรณีไม่ฉีดไอน้ำ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณคณาจารย์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และนักวิจัยฝ่ายเทคโนโลยีพลังงาน สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยที่ให้การปรึกษางานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Prabir Basu. (2010). *Biomass Gasification and Pyrolysis*. Burlington: Elsevier.
- [2] ธเนศ อภิธรรม, วีรชัย สุนทรวิจิตร และประพันธ์ ปิยะกุลดำรง. (2550). ศึกษาภาพพลังงานจากชีวมวล. ใน *เอกสารการประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 3*. หน้า 2-4. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ไทยกมล.
- [3] สำนักนโยบายและแผนพลังงาน. 2555. *ชีวมวล ความหมายและคุณสมบัติ*. สืบค้นเมื่อ 6 พฤษภาคม 2555, จาก <http://www.eppo.go.th/eng/Load/ET068.pdf>
- [4] Kirubakaran V, Sivaramkrishnan V, Nalini R, Sekar T, Premalatha M, Subramanian P. (2011 July). A Review on Gasification of Biomass. *Renewable & Sustainable Energy Review*. 14(9): 179-186.
- [5] Plis P, Wilk R K. (2011). Theoretical and experimental investigation of biomass gasification process in a fixed bed gasifier. *Energy*. 36(6): 3838-3845.
- [6] Lopamudra Devi, Krzysztof J Ptasinski, Frans J J G Janssen. (2003). A review of the primary measures for tar elimination in biomass gasification processes. *Biomass & Bioenergy*. 24(2): 125-140.
- [7] Yoon H C, Cooper T, Steinfeld A. (2011). Non-Catalytic Autothermal Gasification of Woody Biomass. *Hydrogen Energy*. 36(13): 7852-7860.
- [8] จิตกร บุญชูวงศ์. 2551. *การศึกษาการใช้พลังงานความร้อนจากเตาผลิตแก๊สชนิดไหลลงเพื่อใช้ในการผลิตเซรามิก*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีพลังงาน). กรุงเทพฯ: คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [9] Suphamon Tanthansakun. (1993). *Steam Gasification in Up-Flow Biomass Gasification*. Master Thesis of Engineering (Energy Management Technology). Bangkok: King Mongkut's Institute of Technology Thonburi.