

การทดสอบสมรรถนะในการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงของแกลบที่ผ่าน กระบวนการทอริฟิเคชัน

Rice husk torrefaction for gasification test in spout-fluid bed reactor

อนุพนธ์ พิมพ์ช่วย^{1*}, อลงกต แพรพรมราช¹, ชัยณรงค์ บ้านหมู¹ และ เอกราช ปานอำพันธ์¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา 169 ถนนลงหาดบางแสน ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
รหัสไปรษณีย์ 20131

*ผู้ติดต่อ: E-mail: anuphon@buu.ac.th เบอร์โทรศัพท์: (663) 8102222 ต่อ 3385, โทรสาร: (662) 745806

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เน้นการเปรียบเทียบสมรรถนะในการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง ระหว่างการใช้แกลบที่ผ่านกระบวนการทอริฟิเคชันที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กับแกลบธรรมดา ด้วยเครื่องสเปาท์ฟลูอิดเบดรีแอคเตอร์ ซึ่งขอบเขตของการศึกษาจะแบ่งเป็น การศึกษาคุณสมบัติของแกลบที่ผ่านกระบวนการทอริฟิเคชันและการเปรียบเทียบสมรรถนะในการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงที่ค่าอัตราส่วนสมมูล 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 ตามลำดับ ซึ่งจากการศึกษาคุณสมบัติของแกลบที่ผ่านกระบวนการทอริฟิเคชันพบว่าปริมาณความชื้น, ปริมาณสารระเหย และการดูดซับความชื้นของแกลบลดลงร้อยละ 69.89, 3.44 และ 89.15 ตามลำดับ ส่วน ปริมาณชี้ไถ้, ปริมาณคาร์บอนเสถียรและค่าความร้อนของแกลบเพิ่มขึ้นร้อยละ 29.89, 49.13 และ 10.96 ตามลำดับ ส่วนผลการทดสอบสมรรถนะในการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงพบว่า เมื่อป้อนแกลบที่ผ่านกระบวนการทอริฟิเคชันจะส่งผลให้อุณหภูมิในสเปาท์ฟลูอิดเบดรีแอคเตอร์ และส่วนประกอบของ ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้ (คาร์บอนมอนอกไซด์, มีเทนและ ก๊าซไฮโดรเจน) มีค่าสูงกว่าการป้อนด้วยแกลบธรรมดา โดยได้ศึกษาค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิง, อัตราการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงและประสิทธิภาพทางเคมีในการเปลี่ยนคาร์บอนในรูปของแข็งให้อยู่ในรูปของก๊าซ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าค่าดังกล่าวเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 26.27-266.67, 7.29-20.83 และ 11.55-58.19 ตามลำดับ โดยการเปลี่ยนแปลงนั้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนสมมูล

คำหลัก: Torrefaction, แกลบ, ชีวมวล

Abstract

The main objective of this study is to perform series of experiments on the gasification performance of torrefied rice husk at 250 °C and 1 hour in a spout-fluid bed reactor compared with the raw feedstock. The torrefied rice husk will be prepared in the experimental set-up and characteristics of the product such as ultimate analysis and higher heating values will be studied for calculate the gasification parameter. The principal proposed study involved the investigation of gasification with primary air on the Equivalence Ratio (ER) as 0.2, 0.3, 0.4 and 0.5, respectively.

The characteristics of the product shown that moisture, Volatile matter and rise of moisture content after submerges the torrefied products in water during 2 hours was decreases 69.89, 3.44 and 89.15%, respectively. For ashes, fixed carbon and high heating value was increases 29.89, 49.13 and 10.96%, respectively.

The study of gasification performance shown that the increase of heating rate and compositions of inflammable gas (CO , CH_4 and H_2) of torrefied rice husk was much more than raw feedstock. The high heating value of product gas, producer gas flow rate and Carbon conversion efficiency for torrefied rice husk was increase respect on Equivalence Ratio about 26.27-266.67%, 7.29-20.83% and 11.55-58.19%, respectively.

Keywords: torrefication, rice husk, biomass

1. บทนำ

ความต้องการพลังงานเพิ่มขึ้น เป็นเหตุให้การใช้พลังงานฟอสซิลเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นโลกจึงควรที่จะแสวงหาแหล่งพลังงานทดแทน เพื่อทดแทนการใช้พลังงานฟอสซิล เช่น พลังงานชีวมวลที่ขณะนี้มีการนำมาใช้มากขึ้น [1] และคาดว่าจะมีบทบาทสำคัญมากขึ้นในอนาคต [2]

ประเทศไทยคือประเทศที่ปลูกข้าวเป็นจำนวนมาก โดยในปี พ.ศ. 2544-2545 มีแกลบประมาณ 3 ล้านตันต่อปี [3] จะพบว่าหากนำมาใช้เป็นพลังงานความร้อนจะเป็นประโยชน์อย่างมาก แต่เนื่องจากข้อเสียหลายประการยกตัวอย่างเช่น ค่าความร้อนต่ำ ค่าความชื้นสูง ค่าความหนาแน่นพลังงานต่ำ [4] จึงทำให้ได้พลังงานความร้อนไม่เต็มที่จากการเผาไหม้แกลบ ซึ่งข้อเสียดังกล่าวนี้สามารถแก้ไขให้ลดน้อยลงได้โดยกรรมวิธีที่เรียกว่ากระบวนการทอริฟิเคชัน

กระบวนการทอริฟิเคชัน (Torrefication) สามารถลดข้อด้อยด้านพลังงานของชีวมวลได้จริง [5] ด้วยกรรมวิธีที่ใช้ความร้อนในการอบที่อุณหภูมิ 225–300 องศาเซลเซียส และปราศจากออกซิเจน [6] ซึ่งผลิตภัณฑ์จะมีค่าความหนาแน่นพลังงานเพิ่มขึ้น [7] ดังนั้นกระบวนการนี้ จึงเป็นที่น่าสนใจที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง

2. วัตถุประสงค์

โครงการวิจัยนี้ มุ่งเน้นที่จะเปรียบเทียบสมรรถนะในการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง ระหว่างการใช้แกลบธรรมดา

กับแกลบที่ผ่านกระบวนการทอริฟิเคชันที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยเครื่องชเพาท์ฟลูอิดเบด รีแอคเตอร์ (Spout-fluid bed reactor) ที่ค่าอัตราส่วนสมมูลหรืออัตราส่วนระหว่างเชื้อเพลิงต่ออากาศที่ใช้จริงกับเชื้อเพลิงต่ออากาศที่ทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ (Equivalence Ratio: ER) 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 ตามลำดับ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

นำแกลบผ่านกระบวนการที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เนื่องจากการวิจัยของอนุพนธ์ [8] พบว่าช่วงดังกล่าวค้ำค่าที่สุด จากนั้นจะเปรียบเทียบคุณสมบัติของแกลบที่ผ่านกระบวนการและแกลบธรรมดา แล้วบ่อนเชื้อเพลิงเข้าสู่ชเพาท์ฟลูอิดเบดรีแอคเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 1 เพื่อเปรียบเทียบค่าความร้อน, อัตราการผลิตและประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงของแกลบทั้งสองต่อไป



รูปที่ 1 ชเพาท์ฟลูอิดเบดรีแอคเตอร์

4. เปรียบเทียบคุณสมบัติของแกลบ

จากการทดสอบคุณสมบัติทางด้านพลังงานของเชื้อเพลิง ได้ผลทดสอบดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านพลังงานของแกลบธรรมดากับแกลบที่ผ่านกระบวนการทอรีฟิเคชัน

	แกลบธรรมดา	ทอรีฟิเคชัน
การวิเคราะห์ขั้นต้น (Proximate analysis)		
ปริมาณความชื้น (%)	13.12	3.95
ปริมาณสารระเหย (%)	56.71	54.76
ปริมาณขี้เถ้า (%)	18.47	23.99
ปริมาณคาร์บอนเสถียร (%)	13.23	19.73
มวลที่เหลือ (%)	-	77.50
พลังงานที่เหลือ (%)	-	86.00
ความหนาแน่นพลังงาน	1	1.11
การดูดซับความชื้น (%)	36.85	4
ค่าความร้อน* (MJ/kg)	14.32	15.89
** : โดยเครื่องหาความร้อน (Bomb calorimeter)		

นอกจากการเปรียบเทียบคุณสมบัติของแกลบในเบื้องต้นยังทำการศึกษาการวิเคราะห์ขั้นสูง (Ultimate analysis) และคำนวณค่าความร้อนของเชื้อเพลิงจากสมการที่ 1 [9] โดยผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 2

$$HHV \left(\frac{MJ}{kg} \right) = (33.86 \times C) + 144.4 \times \left(H - \frac{O}{8} \right) + (9.428 \times S) \quad (1)$$

เมื่อ C, H, O และ S คือ ส่วนประกอบของเชื้อเพลิงที่ได้ จากการวิเคราะห์ขั้นสูง

จากคุณสมบัติของแกลบที่ผ่านกระบวนการ ทอรีฟิเคชันพบว่าปริมาณความชื้น, ปริมาณสารระเหยและการดูดซับความชื้นของแกลบลดลงร้อยละ 69.89, 3.44 และ 89.15 ตามลำดับ ส่วนปริมาณขี้เถ้า, ปริมาณคาร์บอนเสถียรและค่าความร้อน เพิ่มขึ้นร้อยละ 29.89, 49.13 และ 10.96 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบธาตุองค์ประกอบของแกลบธรรมดากับแกลบที่ผ่านกระบวนการทอรีฟิเคชัน

	แกลบธรรมดา	ทอรีฟิเคชัน
การวิเคราะห์ขั้นสูง**		
คาร์บอน: C (%)	40	40
ไฮโดรเจน: H (%)	4	5
ออกซิเจน: O (%)	53.1	52.4
ไนโตรเจน: N (%)	2.4	2.3
ซัลเฟอร์: S (%)	0.6	0.3
ค่าความร้อน*** (MJ/kg)	9.8	11.3

** : Dry and ash-free basis

*** : โดย Dulong Formula

5. เปรียบเทียบสมรรถนะในการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง

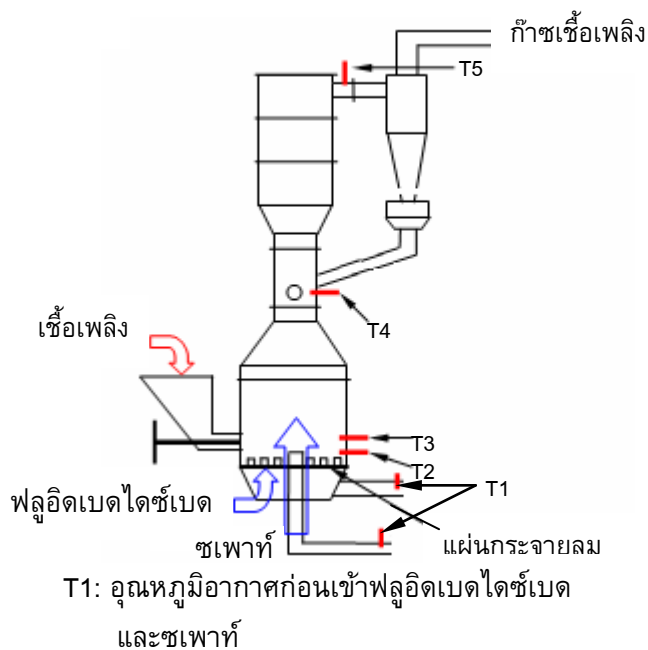
5.1 ปริมาณอากาศและอัตราการป้อนเชื้อเพลิงในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification)

แผนภาพการป้อนอากาศ, เชื้อเพลิง และตำแหน่งของการวัดอุณหภูมิของซเฟาท์ฟลูอิดเบด รีแอกเตอร์แสดงในรูปที่ 2 ซึ่งการป้อนอากาศในส่วนของ ซเฟาท์ที่เหมาะสมมีค่า 5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ดังนั้นต้องปรับการป้อนอากาศในส่วนฟลูอิดเบดไดซ์เบดเพื่อให้ได้อัตราส่วนสมมูลตามต้องการ ซึ่งจากการคำนวณพบว่า จะต้องป้อน อากาศและเชื้อเพลิง ดังตารางที่ 3 เพื่อให้ได้อัตราส่วนสมมูลตามต้องการ

ตารางที่ 3 ตารางแสดงอัตราการป้อนเชื้อเพลิงและปริมาณการป้อนอากาศในส่วนของฟลูอิดเบดไดซ์เบด

ER	อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (kg/s)	ปริมาณการป้อนอากาศ (kg/s)
0.2	0.00417	0.00572
0.3	0.00417	0.00858
0.4	0.00417	0.01116
0.5	0.00417	0.01371

หมายเหตุ: การป้อนอากาศในส่วนของ ซเฟาท์คงที่มีค่า 0.00143 kg/s



T2, T3: อุณหภูมิเบต

T4: อุณหภูมิออกซิเดชันแบบบางส่วน

T5: อุณหภูมิทางออกของก๊าซ

รูปที่ 2 การป้อนอากาศ, เชื้อเพลิง และตำแหน่งการวัดอุณหภูมิของชูเพาทฟลูอิดเบตรีแอคเตอร์

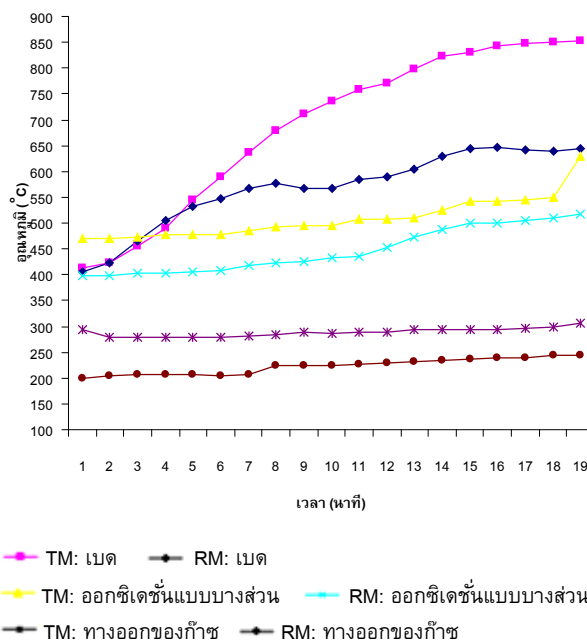
5.2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในชูเพาทฟลูอิดเบตรีแอคเตอร์

อุณหภูมิภายในแต่ละจุดดังแสดงในรูปที่ 2 จะถูกบันทึกทุก 1 นาที ซึ่งอุณหภูมิ ก่อนเข้าฟลูอิดเบตไดซ์เบตและชูเพาทจะมีค่าประมาณ 38-42 องศาเซลเซียส ซึ่งจากการศึกษาค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเบตพบว่า ผลการเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในแต่ละส่วน จะมีแนวโน้มดังรูปที่ 3 โดยพบว่าเมื่อทำการป้อนแก๊สที่ผ่านกระบวนการทอริฟิเคชันจะส่งผลให้ อุณหภูมิใน ชูเพาทฟลูอิดเบต รีแอคเตอร์ สูง กว่า การป้อนด้วยแก๊ส ธรรมดา และพบว่าอุณหภูมิเบตสามารถขึ้นไปถึงสูงสุดที่ประมาณ 850 องศาเซลเซียส ในขณะที่การป้อนด้วยแก๊สธรรมดามีค่าประมาณ 640 องศาเซลเซียส เท่านั้น

5.3 ส่วนประกอบของก๊าซเชื้อเพลิง

การวัดส่วนประกอบของก๊าซเชื้อเพลิงจะใช้ On-line gas analyzer ทำการวัดส่วนประกอบของ

คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ก๊าซมีเทน (CH_4), ก๊าซไฮโดรเจน (H_2), และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยค่าที่วัดได้จะนำไปใช้ในการคำนวณค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงต่อไป



หมายเหตุ TM คือแก๊สที่ผ่านกระบวนการทอริฟิเคชัน

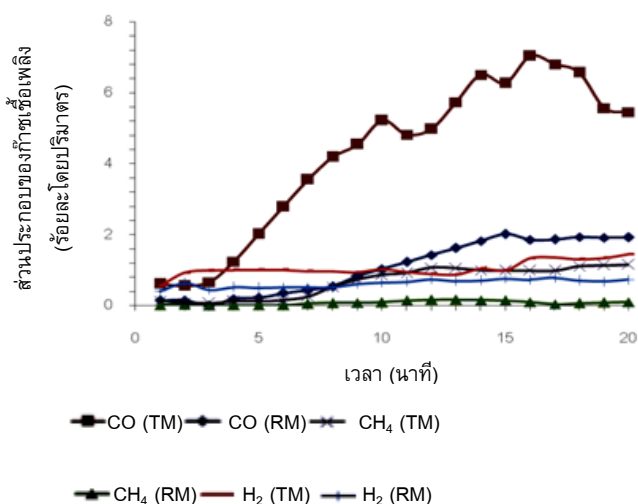
RM คือแก๊สธรรมดา

รูปที่ 3 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในแต่ละส่วนของชูเพาทฟลูอิดเบตรีแอคเตอร์ที่อัตราส่วนผสม = 0.3

จากการศึกษาพบว่า การเพิ่มขึ้นของส่วนประกอบของก๊าซเชื้อเพลิงมีแนวโน้มดังรูปที่ 4 ซึ่งเมื่อทำการป้อนแก๊สที่ผ่านกระบวนการทอริฟิเคชัน จะส่งผลให้ส่วนประกอบของ คาร์บอนมอนอกไซด์, ไฮโดรเจน และ ก๊าซมีเทน สูงกว่าการป้อนด้วยแก๊สธรรมดา โดยค่าที่พบความแตกต่างได้อย่างชัดเจนคือ ค่าอัตราส่วนผสมเท่ากับ 0.5 ซึ่งการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนมอนอกไซด์จะมีค่าคงที่สูงสุดประมาณร้อยละ 7 เมื่อป้อนด้วยแก๊สที่ผ่านกระบวนการ ทอริฟิเคชัน ในขณะที่แก๊สธรรมดาจะมีค่าคงที่สูงสุดเพียง ร้อยละ 1.8 เท่านั้น

นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อส่วนประกอบของคาร์บอนมอนอกไซด์ มีค่าประมาณ ร้อยละ 7 โดย

ปริมาณ ก๊าซเชื้อเพลิงที่จะสามารถทำให้จุดติดไฟ
ได้ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 4 การเพิ่มขึ้นของส่วนประกอบของก๊าซเชื้อเพลิง
โดยศึกษาที่อัตราส่วนผสม = 0.5



รูปที่ 5 การเผาไหม้ของก๊าซเชื้อเพลิง

5.4 ค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิง

จากส่วนประกอบของก๊าซเชื้อเพลิงสามารถนำค่า
CO, H₂, และ CH₄ มาคำนวณค่าความร้อนของก๊าซ
เชื้อเพลิงได้จากสมการที่ 2 [10]

$$HHV_{gas} \left(\frac{MJ}{Nm^3} \right) = \left(\frac{\%CO}{100} \right) 13.1 \frac{MJ}{Nm^3} + \left(\frac{\%H_2}{100} \right) 13.2 \frac{MJ}{Nm^3} + \frac{\%CH_4}{100} 41.2 \frac{MJ}{Nm^3} \quad (2)$$

จากการคำนวณพบว่าค่าความร้อนของก๊าซเชื้อ
เพลิงที่สภาวะการผลิตที่มีการเปลี่ยนแปลงดังแสดง
ในตารางที่ 4 ซึ่งเมื่อนำแกลบผ่านกระบวนการทอริฟิ-
เคชันจะทำให้ค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น

แต่ค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงจะลดลงเมื่อ
อัตราส่วนผสม เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากการลดลงของ
ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ , ไฮโดรเจนและก๊าซ
มีเทน ในก๊าซเชื้อเพลิง

จากตารางที่ 4 พบว่าเมื่ออัตราส่วนผสมเพิ่มขึ้น
จะส่งผลให้อัตราการเพิ่มของค่าความร้อนเพิ่มขึ้นแบบ
ก้าวกระโดด เป็นสาเหตุมาจากกระบวนการ แก๊สซิฟิ-
เคชันที่อัตราส่วนผสมต่ำจะทำให้มีแกลบหลง
เหลือปะปนออกมาพร้อมกับก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้ ซึ่งจากการ
สังเกตขณะทดลองพบว่า แกลบที่ผ่านกระบวนการ
ทอริฟิเคชัน จะมีเหลือออกมา มากกว่า ดังนั้นจึงทำให้
ค่าความร้อนของ ก๊าซเชื้อเพลิง ที่ได้จากการป้อนด้วย
แกลบที่ผ่าน กระบวนการ ทอริฟิเคชัน ไม่เต็มประสิทธิภาพ
เมื่อเทียบกับกระบวนการ แก๊สซิฟิเคชัน ที่
อัตราส่วนผสมสูง การเผาไหม้จะสมบูรณ์กว่า ดังนั้น
จึงทำให้ได้ค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงออกมาเต็มที
กว่า ซึ่งจากการทดลองพบว่า เมื่อนำ แกลบที่ผ่าน
กระบวนการ ทอริฟิเคชันมาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง ที่การ
เผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่าสามารถทำให้ ค่าความร้อนของ
ก๊าซเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 187-266

ตารางที่ 4 ค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิง

ER	HHV (MJ/Nm ³)		
	แกลบธรรมดา	ทอริฟิเคชัน	เพิ่มขึ้น (%)
0.2	1.55	1.9	26.27
0.3	0.99	1.54	55.56
0.4	0.48	1.38	187.5
0.5	0.39	1.43	266.67

หมายเหตุ : Nm³ คือปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงที่สภาวะ
ปกติ (ความดัน 1 บรรยากาศที่อุณหภูมิ 0°C)

5.5 อัตราการผลิต

เมื่อป้อนแกลบในกระบวนการ 1 กิโลกรัมจะ
คำนวณปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากสมการที่ 3 [11]

$$\text{Gas yield} \left(\frac{\text{Nm}^3}{\text{kg}} \right) = \frac{\text{Producer gas flow rate} \left(\frac{\text{Nm}^3}{\text{kg}} \right)}{\text{Fuel feed rate} \left(\frac{\text{kg}}{\text{hr}} \right)} \quad (3)$$

เมื่อ *Producer gas flow rate* (Nm^3/hr) คืออัตราการ
ผลิตเชิงปริมาตรของก๊าซเชื้อเพลิง คำนวณจากสมมูล
ของไนโตรเจน (N_2) ดังแสดงในสมการที่ 4 [11] โดย
ผลการคำนวณอัตราการผลิตแสดงดังตารางที่ 5

$$\text{Producer gas flow rate} \left(\frac{\text{Nm}^3}{\text{hr}} \right) = \frac{\text{Total } \text{N}_2 \text{ input} \left(\frac{\text{kmol}}{\text{hr}} \right)}{\text{Ratio of } \text{N}_2 \text{ in gas}} \quad (4)$$

$$\times 22.4 \left(\frac{\text{Nm}^3}{\text{kmol}} \right)$$

ตารางที่ 5 อัตราการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง

ER	อัตราการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง (Nm^3/kg)		
	แกลบธรรมดา	ทอร์ฟิเคชั่น	เพิ่มขึ้น (%)
0.2	1.51	1.62	7.29
0.3	2.04	2.23	9.31
0.4	2.41	2.75	14.11
0.5	2.64	3.19	20.83

จากผลการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่า
ปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีปริมาณเพิ่มขึ้น นั้น
เป็นผลมาจากปริมาณการป้อนอากาศที่เพิ่มขึ้น

5.6 ประสิทธิภาพ

การวิจัยนี้จะทำการหาค่าประสิทธิภาพทางเคมีใน
การเปลี่ยนคาร์บอนในรูปของแข็งให้อยู่ในรูปของก๊าซ
มีชื่อเฉพาะว่า Carbon conversion efficiency
($\eta_{\text{carbon conversion}}$) คือปริมาณคาร์บอนในก๊าซเชื้อเพลิงต่อ
ปริมาณคาร์บอนในแกลบที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการ ซึ่ง
สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5 [11]

$$\eta_{\text{Carbon conversion}} = \frac{\text{Carbon in producer gas} \left(\frac{\text{kg}}{\text{hr}} \right)}{\text{Carbon in fuel} \left(\frac{\text{kg}}{\text{hr}} \right)} \times 100 \quad (5)$$

เมื่อ *Carbon in producer gas* คำนวณจากค่า
 CO , CH_4 และ CO_2 ที่ได้จาก On-line gas analyzer

และ *Carbon in fuel* คำนวณจากค่า C ที่ได้จากการ
วิเคราะห์ชั้นสูง ซึ่งผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ประสิทธิภาพทางเคมีในการเปลี่ยน
คาร์บอนในรูปของแข็งให้อยู่ในรูปของก๊าซ

ER	$\eta_{\text{carbon conversion}}$ (%)		
	แกลบธรรมดา	ทอร์ฟิเคชั่น	เพิ่มขึ้น (%)
0.2	53.93	60.16	11.55
0.3	55.09	79.97	22.86
0.4	58.38	88.06	50.83
0.5	56.85	89.93	58.19

จากการคำนวณพบว่าแกลบที่ผ่านกระบวนการ
ทอร์ฟิเคชั่นจะทำให้ $\eta_{\text{carbon conversion}}$ เพิ่มขึ้น โดยการเพิ่ม
จะมากขึ้นตามการเพิ่มอัตราส่วนผสม

5.7 ปริมาณความร้อนที่ได้จากก๊าซเชื้อเพลิงเมื่อ ป้อนแกลบ 1 กิโลกรัมเข้าไปในกระบวนการ

เมื่อคำนวณค่าความร้อนและอัตราการผลิตก๊าซ
เชื้อเพลิงแล้วจะสามารถคำนวณความร้อนที่ได้จาก
ก๊าซเชื้อเพลิงเมื่อป้อนแกลบ 1 กิโลกรัมเข้าสู่
กระบวนการดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ปริมาณความร้อนที่ได้จากก๊าซเชื้อเพลิง
เมื่อป้อนแกลบ ธรรมดา กับ แกลบที่ผ่านกระบวนการ
ทอร์ฟิเคชั่น 1 กิโลกรัมเข้าสู่กระบวนการ

ER	HHV (MJ/Nm^3)		อัตรา ผลิตก๊าซ เชื้อเพลิง (Nm^3/kg)		ค่าความร้อนที่ ได้จากก๊าซ เชื้อเพลิง (MJ/kg)	
	RM	TM	RM	TM	RM	TM
0.2	1.55	1.9	1.51	1.62	2.34	3.08
0.3	0.99	1.54	2.04	2.23	2.02	3.13
0.4	0.48	1.38	2.41	2.75	1.16	3.8
0.5	0.39	1.43	2.64	3.19	1.03	4.56

จากตารางที่ 7 พบว่าที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.5 แกลบที่ผ่านกระบวนการทอรีฟิเคชันสามารถให้ค่าความร้อนจากก๊าซเชื้อเพลิงเมื่อป้อนแกลบ 1 กิโลกรัมเข้าสู่กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันมากที่สุดเท่ากับ 4.56 MJ จึงสามารถสรุปได้ว่าที่สภาวะดังกล่าวเหมาะสมในการนำมาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงโดยใช้เซเพาร์ทฟลูอิดเบดรีแอคเตอร์นี้มากที่สุด แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับความต้องการการใช้งานว่าต้องการพลังงานความร้อนต่อหน่วยปริมาตรมากน้อยเพียงใด

6. สรุป

ผลของการทดสอบสมรรถนะในการผลิตเชื้อเพลิงก๊าซนั้นพบว่าเมื่อทำการป้อนแกลบที่ผ่านกระบวนการทอรีฟิเคชันจะส่งผลให้อุณหภูมิในเซเพาร์ทฟลูอิดเบดรีแอคเตอร์และส่วนประกอบของก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้มีค่าสูงกว่าการป้อนด้วยแกลบ ธรรมดา และนอกจากนี้ยังพบว่าแกลบที่ผ่านกระบวนการทอรีฟิเคชันจะส่งผลให้ค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิง, อัตราการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงและ $\eta_{\text{carbon conversion}}$ เพิ่มขึ้นโดยมีแนวโน้มการเพิ่มใกล้เคียงเส้นตรง ซึ่งการเพิ่มขึ้นจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนสมมูล

แกลบที่ผ่านกระบวนการ ทอรีฟิเคชันจะมี ค่าปริมาณความชื้น, ปริมาณสารระเหยและการดูดซับความชื้นลดลง ส่วนปริมาณขี้เถ้า, ปริมาณคาร์บอนเสถียรและค่าความร้อนจะเพิ่มขึ้น ซึ่งนั่นแสดงให้เห็นว่ากระบวนการทอรีฟิเคชันสามารถลดข้อเสียทางด้านพลังงานของชีวมวลได้จริง ซึ่งจากการศึกษาพบว่าเชื้อเพลิงมีการสูญเสียส่วนประกอบที่ไม่จำเป็น เช่น ความชื้นและทาร์ (Tar) ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นพลังงานและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น

7. แนวทางการพัฒนาและข้อเสนอแนะ

จากตารางที่ 7 พบว่าอัตราส่วนสมมูลที่สูงขึ้นมีแนวโน้มจะทำให้ ปริมาณ ความร้อนที่ได้จากก๊าซเชื้อเพลิงเมื่อป้อนแกลบ 1 กิโลกรัมเข้าสู่กระบวนการเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงมีแนวคิดที่จะศึกษา

กระบวนการ แก๊สซิฟิเคชัน ที่อัตราส่วนสมมูล ที่สูงขึ้นต่อไป

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาที่สนับสนุนทุนวิจัย เพื่อใช้ในการดำเนินงานจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลงด้วยดี

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Arias B, Pevida C, Feroso J, Plaza M G, Rubiera F, Pis JJ. (2007). Influence of torrefaction on the grindability and reactivity of woody biomass, *Fuel Processing Technology*, FUPROC-02242 No of Pages 7.
- [2] Bridgeman TG, Jones JM, Shield BI, Williams PT. (2007). Torrefaction of reed canary grass, wheat straw and willow to enhance solid fuel qualities and combustion properties, *Fuel*.
- [3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน. ศักยภาพชีวมวลของประเทศไทย available online at: <http://www.dede.go.th>
- [4] Zanzi R, Tito Ferro D, Torres A, Beaton Soler P, Björnbom E. (2004). Biomass torrefaction.
- [5] Pach M, Zanzi R, Björnbom E. (2002). Torrefied Biomass a Substitute for Wood and Charcoal, *Combustion and Energy Utilization*.
- [6] Mark J Prins, Krzysztof J Ptasinski, Frans JJG. Janssen. (2006). Torrefaction of wood Part 1. Weight loss kinetics. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, pp. 28–34
- [7] Arcate JR. (2000). New process for torrefied wood manufacturing, *Bioenergy update*, Volume. 2, No. 4
- [8] อนุพันธ์ พิมพ์ช่วย. (2007). การศึกษาคุณสมบัติทางด้านพลังงานของแกลบเมื่อผ่านกระบวนการ Torrefication, *การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 4*, มหาวิทยาลัยศิลปากร

- [9] ธนัตชัย กุลวรรณิชพงษ์. เชื้อเพลิงและการเผาไหม้, เอกสารประกอบการสอนวิชา Electrical Power Engineering, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- [10] Suwannakuta, P. (2002). A Study on Biomass Gasification in Spout-Fluid Bed (Master Thesis No. ET-02-22), School of Environment Resources and Development, *Asian Institute of Technology*; Bangkok.
- [11] Salam, P.A. (2005). A Comparative Study of Hydrodynamics and Gasification Performance of Two Types of Spouted Bed Reactor Designs (Dissertation No. ET-05-1), School of Environment Resources and Development, *Asian Institute of Technology*; Bangkok.