

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษาการใช้ประโยชน์ทางความร้อนจากกระบวนการแปรสภาพเป็นแก๊สเพื่อลดความชื้น เชื้อเพลิงชีวมวล มีการทดลองแบ่งเป็นช่วงต่างๆ คือ การทดลองการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิชั้น รีดักชันต่างกัน การทดลองใช้ไอน้ำช่วยในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง และการทดลองนำแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้ ไปลดความชื้นซังข้าวโพดที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตแก๊สครั้งต่อไป นอกจากนี้ยังได้มีการวิเคราะห์ ผลของน้ำมันดินที่ได้จากการผลิตแก๊สที่สภาวะต่างๆ และวิเคราะห์ผลของความสูงเชื้อเพลิงในชั้น รีดักชันที่มีต่อการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง จากการศึกษาวิจัยสามารถสรุปผลได้เป็นลำดับดังนี้

5.1 สรุป

5.1.1 สรุปผลการทดลองผลิตแก๊สที่อุณหภูมิชั้นรีดักชันต่างกัน

การทดลองผลิตแก๊สที่อุณหภูมิชั้นรีดักชันต่างๆ คือ 800, 850 และ 900 °C พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิชั้น รีดักชันมีความสัมพันธ์แปรผันตรงกับการเพิ่มขึ้นของอากาศที่ป้อนเข้าภายในเตา และการผลิตแก๊สที่ อุณหภูมิชั้นรีดักชันสูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนในแก๊สเชื้อเพลิง เพิ่มขึ้น แต่ไม่ส่งผลต่อปริมาณของมีเทนในแก๊สเชื้อเพลิง การผลิตแก๊สที่อุณหภูมิชั้นรีดักชันสูงจึง ส่งผลให้ค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้สูงขึ้น และส่งผลให้ประสิทธิภาพในการผลิตแก๊ส (Cold Gas Efficiency) สูงขึ้นด้วย

ในการทดลองผลิตแก๊สที่อุณหภูมิชั้นรีดักชัน 900 °C เป็นจุดที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง จากซังข้าวโพดโดยใช้เตาผลิตแก๊สที่ออกแบบสร้างขึ้น คือ มีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทนเฉลี่ย 21.7 %, 5.5 % และ 2.2 % ตามลำดับ มีค่าความร้อนสูงเฉลี่ย 4.15 MJ/Nm³ มี ประสิทธิภาพ Cold Gas Efficiency 64.31 % โดยปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรเจน เพิ่มขึ้น 14.3 % และ 36.4 % ค่าความร้อนสูงเพิ่มขึ้น 15.7 % และทำให้ประสิทธิภาพ Cold Gas Efficiency เพิ่มขึ้น 50.7 % เมื่อเทียบกับการทดลองที่อุณหภูมิชั้นรีดักชัน 800 °C

การทดลองเปรียบเทียบการผลิตแก๊สที่อุณหภูมิชั้นรีดักชัน 900 °C จากเชื้อเพลิงซังข้าวโพดกับถ่านไม้ พบว่า ถ่านไม้สามารถผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่มีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์สูงกว่าซังข้าวโพด มีปริมาณ มีเทนต่ำกว่า แต่โดยรวมสามารถให้แก๊สเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูงกว่าซังข้าวโพด แสดงใน ตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สรุปผลการทดลองผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากขี้เถ้าข้าวโพดที่อุณหภูมิชั้นรีดักชัน 3 ระดับ

Reduction Temperature (°C)	Air input ($\times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$)	CO Yield (%)		CH ₄ Yield (%)		H ₂ Yield (%)		Average HHV (MJ/Nm ³)	Cold Gas Efficiency (%)
		Max.	Ave.	Max.	Ave.	Max.	Ave.		
800	1.3	20.2	18.6	3.0	1.8	5.5	3.5	3.50	31.71
850	1.9	21.4	20.4	2.8	2.1	5.8	4.9	4.03	48.03
900	2.2	22.7	21.7	3.1	2.2	6.7	5.5	4.15	64.31
900 (char)	4.0	26.7	25.5	1.9	1.3	7.9	6.4	4.56	-

5.1.2 สรุปผลการทดลองใช้ไอน้ำช่วยในการผลิตแก๊ส

การทดลองใช้ไอน้ำช่วยในการผลิตแก๊สที่อุณหภูมิชั้นรีดักชัน 900 °C โดยใช้ไอน้ำช่วยในการผลิตแก๊สต่างกัน คือ 0.03, 0.07 และ 0.15 L/min พบว่า การฉีดไอน้ำช่วยเพิ่มปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนในแก๊สเชื้อเพลิงได้ แต่การฉีดไอน้ำปริมาณมากเกินไปจะส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง โดยปริมาณไอน้ำไม่ส่งผลต่อปริมาณมีเทนในแก๊สเชื้อเพลิง

การทดลองที่อุณหภูมิรีดักชัน 900 °C ใช้ไอน้ำช่วยในการผลิตแก๊ส 0.15 L/min ทำให้ได้ปริมาณไฮโดรเจนสูงที่สุดเฉลี่ย 7.7 % แต่จะให้ค่าคาร์บอนมอนอกไซด์และค่าความร้อนเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 21.8 % และ 4.49 MJ/Nm³ ตามลำดับ โดยสภาวะการทดลองที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากขี้เถ้าข้าวโพด คือ ที่อุณหภูมิรีดักชัน 900 °C ใช้ไอน้ำช่วยในการผลิตแก๊ส 0.03 L/min ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทนเฉลี่ย 22.9 %, 7.1 % และ 2.0 % ตามลำดับ ค่าความร้อนสูงเฉลี่ย 4.95 MJ/Nm³ และประสิทธิภาพ Cold Gas Efficiency 78.68 % โดยปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรเจน เพิ่มขึ้น 5.2 % และ 22.5 % ค่าความร้อนสูงเพิ่มขึ้น 9.6 % และทำให้ประสิทธิภาพ Cold Gas Efficiency เพิ่มขึ้น 18.3 % เมื่อเทียบกับการทดลองที่ไม่ฉีดไอน้ำ

การทดลองเปรียบเทียบการผลิตแก๊สที่อุณหภูมิชั้นรีดักชัน 900 °C ใช้ไอน้ำช่วยในการผลิตแก๊ส 0.03 L/min ด้วยเชื้อเพลิงขี้เถ้าข้าวโพดกับถ่านไม้พบว่า การฉีดไอน้ำช่วยเพิ่มปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน แต่ไม่มีผลต่อปริมาณมีเทนเช่นเดียวกับการผลิตแก๊สจากขี้เถ้าข้าวโพด แสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 สรุปผลการทดลองผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากขี้ข้าวโพดโดยใช้ไอน้ำเข้าช่วย

Steam Rate (L/min)	CO Yield (%)		CH ₄ Yield (%)		H ₂ Yield (%)		Average HHV (MJ/Nm ³)	Cold Gas Efficiency (%)
	Max.	Ave.	Max.	Ave.	Max.	Ave.		
No Steam	22.7	21.7	3.1	2.2	6.70	5.5	4.15	64.31
0.03	23.5	22.9	2.9	2.0	7.84	7.1	4.59	78.68
0.07	23.4	22.4	2.9	2.0	8.31	7.4	4.57	78.62
0.15	23.2	21.8	2.9	1.9	8.96	7.7	4.49	72.60
Char no St.	26.7	25.5	1.9	1.3	7.90	6.4	4.56	-
Char 0.03	27.4	26.9	1.8	1.5	8.91	7.8	5.01	-

5.1.3 สรุปผลการทดลองวัดระดับความสูงเชื้อเพลิงในชั้นรีดักชัน

การทดลองวัดระดับความสูงเชื้อเพลิงในชั้นรีดักชันทำการทดลองที่อุณหภูมิชั้นรีดักชัน 900 °C อัตราการฉีดไอน้ำ 0.03 L/min โดยใช้เชื้อเพลิงเป็นขี้ข้าวโพดและถ่านไม้พบว่า ในกรณีใช้ขี้ข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิงจะต้องรักษาระดับความสูงเชื้อเพลิงชั้นรีดักชันให้มากกว่า 22.0 cm จึงสามารถผลิตแก๊สเชื้อเพลิงได้อย่างมีประสิทธิภาพ และในกรณีใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง จะต้องมีความสูงของเชื้อเพลิงชั้นรีดักชันมากกว่า 15.4 cm จึงสามารถผลิตแก๊สเชื้อเพลิงได้

5.1.4 สรุปผลการทดลองใช้ความร้อนจากแก๊สเชื้อเพลิงลดความชื้นขี้ข้าวโพด

การทดลองใช้ความร้อนจากแก๊สเชื้อเพลิงลดความชื้นขี้ข้าวโพด ทำการทดลองผลิตแก๊สที่อุณหภูมิชั้นรีดักชัน 900 °C อัตราการฉีดไอน้ำ 0.03 L/min โดยใช้ขี้ข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิงพบว่า แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ มีศักยภาพมากเพียงพอที่ใช้ในการอบแห้งขี้ข้าวโพดที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตแก๊สในครั้งถัดไป โดยแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีอุณหภูมิก่อนเข้าห้องอบแห้งเฉลี่ย 163 °C ในระยะเวลาการทดลองผลิตแก๊สสามารถอบแห้งขี้ข้าวโพดความชื้น 30 %wb เหลือความชื้นน้อยที่สุด 1.5 %wb

การทดลองใช้ขี้ข้าวโพดที่ผ่านการอบแห้งเป็นเชื้อเพลิงในการทดลองผลิตแก๊สพบว่า แก๊สเชื้อเพลิงที่ได้มีองค์ประกอบของคาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน และไฮโดรเจนใกล้เคียงกับการผลิตแก๊สด้วยขี้ข้าวโพดที่ความชื้นปกติ (12.8 % wb) แต่การใช้เชื้อเพลิงที่ผ่านการอบแห้งจะทำให้ระยะเวลาในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงนานขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพ Cold Gas Efficiency เพิ่มขึ้น 2.7 % เมื่อเทียบกับการผลิตแก๊สด้วยขี้ข้าวโพดที่ความชื้นปกติ แสดงในตารางที่ 5.3

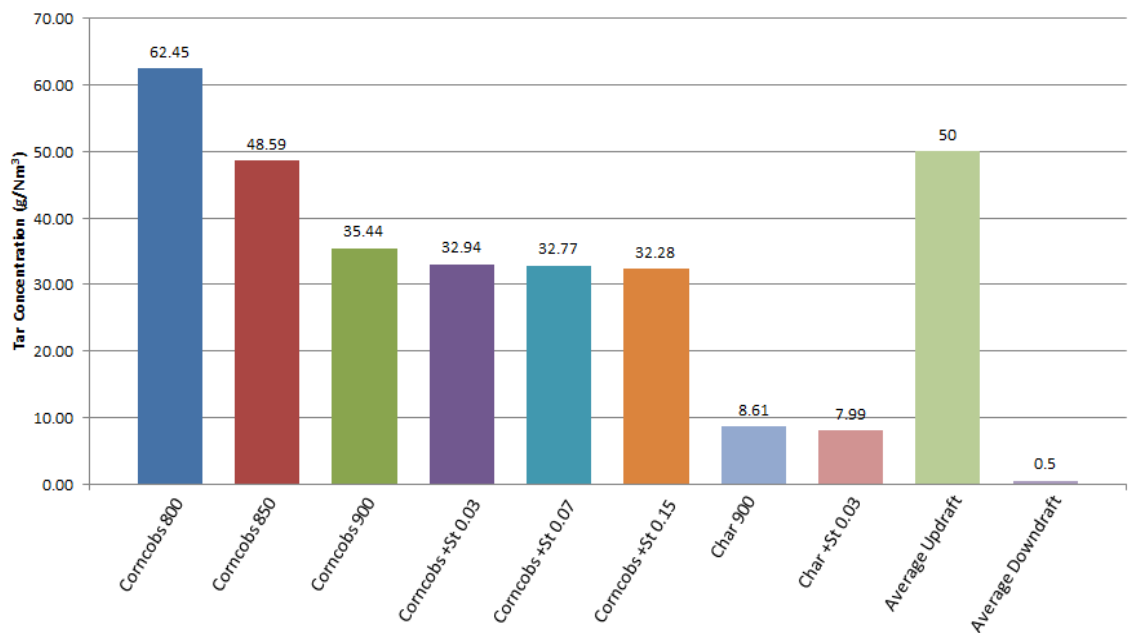
ตารางที่ 5.3 สรุปผลการทดลองผลิตแก๊สจากขี้ข้าวโพดที่ความชื้นต่างกัน

Corn cobs Moisture (%wb)	Average CO (%)	Average CH ₄ (%)	Average H ₂ (%)	HHV (MJ/Nm ³)	Cold Gas Efficiency (%)
12.8	22.9	2.0	7.1	4.59	78.68
1.5	22.9	2.0	7.0	4.58	80.89

5.1.5 สรุปผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันดินจากการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันดินที่ปนเปื้อนกับแก๊สเชื้อเพลิงพบว่า ในการทดลองผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากขี้ข้าวโพดที่อุณหภูมิชั้นรีดักชันสูงส่งผลให้ปริมาณน้ำมันดินที่ปนเปื้อนในแก๊สเชื้อเพลิงลดลง และในการทดลองผลิตแก๊สเชื้อเพลิงโดยใช้ไอน้ำเข้าช่วยจากเชื้อเพลิงขี้ข้าวโพดและถ่านไม้ การเพิ่มปริมาณการฉีดไอน้ำส่งผลให้ปริมาณน้ำมันดินลดลงเช่นกัน

การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวลด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจากเตาผลิตแก๊สต่างชนิดกัน จะมีปริมาณน้ำมันดินปนเปื้อนในแก๊สเชื้อเพลิงไม่เท่ากัน โดยทั่วไปการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงโดยเตาผลิตแก๊สชนิดไหลขึ้นจะมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของน้ำมันดินในแก๊สเชื้อเพลิงที่ 50 g/Nm³ เตาผลิตแก๊สชนิดไหลลงมีค่าเฉลี่ย 0.5 g/Nm³ และเตาชนิดฟลูอิดไบซ์เบด มีค่าเฉลี่ย 12 g/Nm³ [44] ในการศึกษาการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากเตาผลิตแก๊สชนิดไหลขึ้น โดยใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิงของ Umeki และคณะ [25] พบว่า มีน้ำมันดินปนเปื้อนในแก๊สเชื้อเพลิงเฉลี่ย 61 g/Nm³ การศึกษาการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากเตาผลิตแก๊สชนิดไหลขึ้นด้วยเทคนิคป้อนอากาศและไอน้ำอุณหภูมิสูง (HTAG) โดยใช้ขยะพลาสติกเป็นเชื้อเพลิงของ Ponzio และคณะ [27] พบว่า มีน้ำมันดินปนเปื้อนในแก๊สเชื้อเพลิงเฉลี่ย 21.6 g/Nm³ และการศึกษาการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากเตาผลิตแก๊สชนิดไหลลงโดยใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิงของ ภัทชนก แก้วพงศธร [45] พบว่า มีน้ำมันดินปนเปื้อนในแก๊สเชื้อเพลิงเฉลี่ย 5.7 g/Nm³ จากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันดินในงานวิจัยนี้พบว่า ในการทดลองผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่สภาวะที่ดีที่สุดคือ ที่อุณหภูมิชั้นรีดักชัน 900 °C มีน้ำมันดินปนเปื้อนในแก๊สเชื้อเพลิง 35.4 g/Nm³ และที่อุณหภูมิชั้นรีดักชัน 900 °C อัตราการฉีดไอน้ำ 0.03 L/min มีน้ำมันดินปนเปื้อนในแก๊สเชื้อเพลิง 32.9 g/Nm³ ปีนค่าที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวลโดยเตาผลิตแก๊สชนิดไหลขึ้นทั่วไป ซึ่งเป็นผลจากการออกแบบเตาผลิตแก๊สชนิดไหลขึ้นสองชั้นที่มีการ เพิ่ม ห้องสำหรับหน่วงเวลาให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากชั้นเผาไหม้ มีเวลาทำปฏิกิริยากับถ่านร้อนในรีดักชันโซนให้นานขึ้น ทำให้น้ำมันดินมีการสลายตัวด้วยความร้อน (Thermal Tar Cracking) ได้ดีขึ้นส่งผลให้มีปริมาณน้ำมันดินในแก๊สเชื้อเพลิงลดลง แสดงในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 เปรียบเทียบปริมาณน้ำมันดินในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่สภาวะต่างๆ

5.2 ข้อเสนอแนะ

การวิจัยการใช้ประโยชน์ทางความร้อนจากกระบวนการแปรสภาพเป็นแก๊สเพื่อลดความชื้นเชื้อเพลิงชีวมวล ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตแก๊สจากเตาผลิตแก๊สแบบ 2 ชั้นโดยใช้ขังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิง จากการทดลองได้พบปัญหาและข้อสังเกตซึ่งจะเป็นข้อมูลในการปรับปรุงการศึกษาวิจัยต่อไป สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ในการทดลองผลิตแก๊สจากเตาผลิตแก๊สแบบ 2 ชั้นพบว่า ในบางช่วงในการทดลองอุณหภูมิในชั้นรีดักชันลดลง เนื่องจากเกิดการเผาไหม้ในชั้นเผาไหม้มากทำให้ออกซิเจนที่ขึ้นไปสู่ชั้นรีดักชันลดลง และทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้น จึงควรออกแบบช่องเดิมอากาศด้านล่างชั้นรีดักชันจ่ายอากาศทำให้ชั้นรีดักชันเกิดการเผาไหม้เล็กน้อย เพื่อรักษาอุณหภูมิในชั้นรีดักชันให้คงที่และทำปฏิกิริยาในการผลิตแก๊สได้อย่างต่อเนื่อง
2. ในระบบการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงได้มีการติดตั้งชุดพัฒนาชุดแก๊สไว้หลังเครื่องควบแน่น ซึ่งในการทดลองพบว่ามีน้ำมันดินจำนวนหนึ่งหลุดออกมาติดที่ชุดพัฒนาเมื่อสะสมเป็นเวลานานจะทำให้พัฒนาหยุดทำงานได้ การออกแบบให้ใช้ชุดพัฒนาในการจ่ายอากาศเข้าภายในเตาโดยติดตั้งที่ท่ออากาศเข้าของเตา จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมกว่าเพื่อลดขั้นตอนในการบำรุงรักษาชุดพัฒนา และทำให้วัดปริมาณอากาศเข้าภายในเตาได้แม่นยำยิ่งขึ้น นอกจากนี้การติดตั้งชุดพัฒนาในการจ่ายอากาศเข้าภายในเตายังส่งผลให้ความดันภายในเตาเพิ่มขึ้น ทำให้มีเทนเกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้นและได้แก๊สเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนเพิ่มขึ้น

3. จากการทดลองใช้ความร้อนจากแก๊สเชื้อเพลิงในการลดความชื้นซังข้าวโพดพบว่าแก๊สเชื้อเพลิงมีศักยภาพพอที่จะอบแห้งซังข้าวโพดได้แต่แก๊สเชื้อเพลิงที่ผ่านการอบแห้งซังข้าวโพดจะมีความชื้นและสารระเหยปะปนอยู่มากและเป็นภาระแก่เครื่องควบแน่น จึงควรออกแบบห้องอบแห้งไม่ให้แก๊สเชื้อเพลิงสัมผัสซังข้าวโพดโดยตรงเพื่อไม่ให้ไอน้ำและสารระเหยจากการอบแห้งปะปนไปกับแก๊สเชื้อเพลิง