

AEC-116

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สชีฟเออร์ โดยใช้ซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิง

Thermal Efficiency Analysis of Downdraft Gasifier Using Corn Cobs as Fuel

ภาณุพงศ์ ตันตตินัย¹ และ ณัฐวิทย์ พรหมมา^{*2}

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

ติดต่อ: โทรศัพท์: 053 944 146 โทรสาร: 053 944 145

อีเมล: panupong.ttn@gmail.com¹, nano_504@hotmail.com^{*2}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้กล่าวถึงผลของการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สชีฟเออร์ชนิดไหลลง (Downdraft Gasifier) โดยใช้ซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิง โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือ เพื่อเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สชีฟเออร์ที่มีผลเนื่องจากการปรับค่าอัตราส่วนสมมูล (Equivalent Ratio; ER) โดยคำนวณค่าความร้อนจากปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่วัดได้ เตาแก๊สชีฟเออร์ชนิดไหลลงที่ใช้มีลักษณะเป็นคอคอด โดยกำหนดขนาดของคอคอด คือ ความกว้างของชั้นรีดักชัน ความสูงของชั้นรีดักชันและมุมเอียงของชั้นเผาไหม้ เท่ากับ 140 มิลลิเมตร 75 มิลลิเมตรและ 80 องศา ตามลำดับ และใช้ค่าอัตราส่วนสมมูลระหว่าง 0.1 ถึง 0.9

การวิจัยเริ่มต้นจากการเก็บข้อมูลองค์ประกอบของซังข้าวโพดเพื่อคำนวณหาอัตราส่วนสมมูลซึ่งเป็นค่าบ่งชี้ปริมาณอากาศที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงที่เหมาะสม ควบคุมอัตราการป้อนเชื้อเพลิง 6 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เตาที่ใช้ในการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนบนเป็นที่ป้อนเชื้อเพลิง ส่วนกลางเป็นถังปฏิกรณ์และส่วนล่างสำหรับนำซีแก๊สออก เชื้อเพลิงที่ใช้เป็นซังข้าวโพดที่ถูกป่นย่อยให้มีขนาดเล็กกร่อนผ่านรูตะแกรงขนาด 1 ตารางเซนติเมตรโดยประมาณ บันทึกข้อมูลที่สำคัญ คือ ปริมาณอากาศที่เข้าทำปฏิกิริยา ความเร็วของแก๊สภายในท่อและปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณความร้อน ประเมินประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาและนำไปเปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนสมมูลต่างๆ ต่อไป

คำหลัก: อัตราส่วนสมมูล, ประสิทธิภาพเชิงความร้อน, ซังข้าวโพด, เตาแก๊สชีฟเออร์ชนิดไหลลง

Abstract

This research presents the results of the thermal efficiency analysis of Downdraft Gasifier using corn cobs as fuel. The purpose of this research is to compare the thermal efficiency of Downdraft Gasifier at any equivalence ratios (Equivalent Ratio; ER) by calculating the heating value of the gas carbon monoxide from production gas. Downdraft Gasifier has an isthmus shape and the size of the isthmus is

AEC-116

the width of the reduction zone. The height of the reduction zone and the tilt angle of the combustion zone is 140 mm, 75 mm and 80 degrees respectively and the interval of equivalence ratio is between 0.1 and 0.9.

This research consists of collecting data of corn cobs composition to calculate equivalence ratio which indicates the amount of air used to react with corn cob. Control the feed rate of fuel at 6 kg/hr. Downdraft gasifier used in the experiment was divided into three parts: the upper part is the inlet of fuel, central part is the reactor and lower part has the ash outlet port. Corn cobs were sliced and sifted through a sieve which has grid size about $1 \times 1 \text{ cm}^2$. The experiments collect data such as the amount of air entering the reaction, the air speed inside tube and the amount of carbon monoxide (CO) in order to calculate the heating value and the thermal efficiency of Downdraft Gasifier to compare the effect of equivalence ratio.

Keywords: Equivalent Ratio, Thermal Efficiency, Corn Cobs, Downdraft Gasifier

1. บทนำ

บทความนี้กล่าวถึงผลของการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สซิไฟเออร์ชนิดไหลงโดยใช้ซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิง เทคโนโลยีแก๊สซิไฟเออร์ (Gasifier) [1, 2] เป็นกระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแข็งด้วยปฏิกิริยาที่เรียกว่า แก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) ซึ่งกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันเป็นการเผาไหม้แปลงสภาพชีวมวลแข็งมาเป็นก๊าซเชื้อเพลิง (Producer Gas) [3] โดยควบคุมอากาศไหลเข้าไปทำปฏิกิริยาในปริมาณจำกัด ทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะได้ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน และเกิดก๊าซมีเทนเล็กน้อย ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น การนำไปเผาให้ความร้อนโดยตรง การใช้เป็นก๊าซเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์เพื่อผลิตไฟฟ้า

ในปัจจุบันพื้นที่ทางการเกษตรภาคเหนือมีการเพาะปลูกข้าวโพดมากขึ้น จึงทำให้เกิดปัญหาซังข้าวโพดที่เหลือใช้และไม่จำเป็นอยู่จำนวนมาก การเผาจึงเป็นวิธีกำจัดซังข้าวโพดอย่างไร้ทางเลือก เพราะเป็นวิธีที่สะดวกและประหยัดที่สุด ซึ่งทำให้เกิดมลพิษทางอากาศอีกทั้งยังเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน

โดยใช้เหตุอีกด้วย ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำเอาซังข้าวโพดที่เหลือทิ้งจากการเกษตรกรรมมาเป็นเชื้อเพลิงตัวอย่างในการทำงานวิจัยนี้ เพราะเห็นว่าซังข้าวโพดก็เป็นชีวมวลประเภทหนึ่งที่สามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในหลายๆด้านได้

ปัจจุบันเตาแก๊สซิฟิเคชัน ได้เป็นส่วนหนึ่งของการผลิตพลังงานทดแทนโดยการใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงทำให้เกิดงานวิจัยในหลายๆสถาบันเกี่ยวกับการพัฒนาและออกแบบสร้างเตาผลิตแก๊สชีวมวล รูปแบบการใช้งาน ลักษณะเตาผลิตแก๊สชีวมวล และวัสดุที่นำมาเป็นเชื้อเพลิง เป็นต้น เป้าหมายของงานวิจัยนี้คือการออกแบบชุดทดสอบเตาผลิตแก๊สชีวมวลชนิดไหลงที่มีลักษณะป้อนเชื้อเพลิงต่อเนื่อง รวมถึงศึกษาค่าอัตราส่วนสมมูลที่มีผลต่อก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สซิไฟเออร์โดยใช้ซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิง

2. กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

2.1 หลักการของแก๊สซิฟิเคชัน

AEC-116

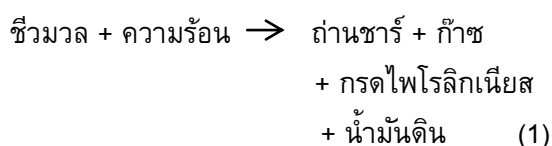
กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน เป็นกระบวนการแปลงสภาพชีวมวลแข็งโดยให้เปลี่ยนไปเป็นก๊าซเชื้อเพลิง (Producer Gas) โดยการจำกัดอากาศเข้าไปทำปฏิกิริยาภายในเตาแก๊สซิไฟเออร์เพื่อทำให้เกิดการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้ออกมาจะประกอบไปด้วย ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซมีเทน

2.2 ปฏิกิริยาในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

ปฏิกิริยาเคมีภายในเตาที่สำคัญที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตก๊าซชีวมวล สามารถแบ่งช่วงพื้นที่ของการเกิดปฏิกิริยาออกเป็น 4 โซนดังนี้

โซนการทำแห้ง (Drying Zone) ความร้อนในเตามีอุณหภูมิไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดการสลายตัวของสารระเหย แต่ความชื้นในเชื้อเพลิงจะสามารถระเหยตัวออกมาในรูปของไอน้ำ

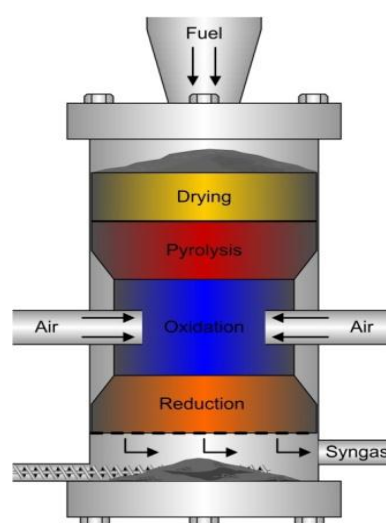
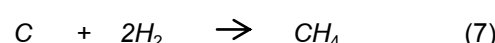
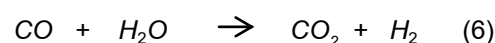
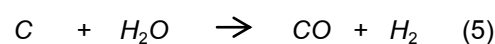
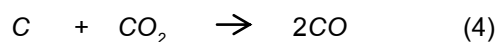
โซนไพโรไลซิส (Pyrolysis Zone) ความร้อนจากโซนเผาไหม้จะแพร่มาสู่เชื้อเพลิงแข็ง ทำให้เกิดเป็นปฏิกิริยาไพโรไลซิส ของแข็งที่เหลืออยู่ภายหลังจากผ่านกระบวนการคือ คาร์บอนในรูปของถ่านชาร์ ซึ่งเข้าทำปฏิกิริยาต่อไป



โซนเผาไหม้ (Combustion Zone) เป็นโซนที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างถ่านคาร์บอนกับไฮโดรเจนซึ่งจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน มีสมการเคมีดังต่อไปนี้



โซนรีดักชัน (Reduction Zone) ก๊าซบางส่วนจากการเผาไหม้จะไหลเข้าทำปฏิกิริยากับถ่านร้อนที่กำลังลุกไหม้อยู่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาแปลงสภาพของแข็งเป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน



รูปที่ 1 ลักษณะของเตาแก๊สซิไฟเออร์ (Downdraft Gasifier) ที่มา: [2]

2.3 ค่าอัตราส่วนสมมูล (Equivalent ratio, ER)

ค่าอัตราส่วนสมมูล [2, 4] หรือค่า ER เป็นค่าที่แสดงอัตราส่วนน้ำหนักอากาศต่อน้ำหนักเชื้อเพลิงแห้งที่ใช้จริง เทียบกับอัตราส่วนส่วนน้ำหนักของอากาศต่อน้ำหนักเชื้อเพลิงทางทฤษฎี ค่าอัตราส่วนสมมูล เป็นค่าอัตราส่วนที่ใช้ประเมินกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งมีผลต่อองค์ประกอบและค่าความร้อนของก๊าซชีวมวล ค่าอัตราส่วนสมมูลของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันที่เหมาะสม จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.2-0.4 ซึ่งเป็นการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (partial combustion) และอัตราส่วนสมมูลมีค่าเท่ากับ 1 จะ

AEC-116

เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ อุณหภูมิจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$ER = \frac{[\text{Weight of oxidant} / \text{Weight of dry fuel}]}{[\text{Oxidant} / \text{Fuel}]_{(\text{Stoichiometric})}}$$

$$ER = \frac{[A/F]_{\text{ratio},ac}}{[A/F]_{\text{ratio},th}} \quad (8)$$

AEC-116

2.4 การหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ประสิทธิภาพเชิงความร้อน [5] ของเตาแก๊สซีพีเออร์จะหาค่าความร้อนนของก๊าซเทียบกับค่าความร้อนนของเชื้อเพลิงซึ่งแสดงในสมการต่อไปนี้

$$\eta_{th} = \frac{Q_{GAS} \times HV_{GAS}}{FCR \times HV_{FUEL}} \quad (9)$$

เมื่อ

Q_{GAS} คืออัตราการไหลของก๊าซ (m^3/min)

HV_{GAS} คือค่าความร้อนนของก๊าซ (kJ/m^3)

FCR คืออัตราการใช้เชื้อเพลิง (kg/min)

HV_{FUEL} คือค่าความร้อนนของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

อัตราการไหลก๊าซภายในท่อ (Gas Flow Rate) มีหน่วยเป็น (m^3/s)

$$Q_{GAS} = v_{GAS} A \quad (10)$$

เมื่อ

v_{GAS} คือความเร็วของแก๊ส (m/s)

A คือพื้นที่หน้าตัดของท่อแก๊ส (m^2)

ค่าความร้อนนของก๊าซผลิตภัณฑ์ (Heating value of Producer Gas) มีหน่วยเป็น (kJ/m^3) เป็นพลังงานที่มีอยู่ในก๊าซแต่ละชนิด ซึ่งสามารถให้ค่าความร้อนน และสามารถจุดติดไฟได้ จะพิจารณาจากปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ที่ได้จากการดูดตัวอย่างก๊าซมาวิเคราะห์ในเครื่องวัดก๊าซชีวมวล ซึ่งเป็นก๊าซหลักที่นำมาวิเคราะห์และศึกษาในงานวิจัยนี้ โดยการนำปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์มาแทนในสมการค่าความร้อนน [6] ดังต่อไปนี้

$$HV_{GAS} = [(30 \times CO\%) + (25.7 \times H_2\%)$$

$$+ (85.4 \times CH_4\%)] \times 4.2 \quad (11)$$

เมื่อ

CO% คือความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (%vol)

H₂% คือความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจน (%vol)

CH₄% คือความเข้มข้นก๊าซมีเทน (%vol)

อัตราการใช้เชื้อเพลิง (Fuel Consumption Rate) มีหน่วยเป็น (kg/min) คือ น้ำหนักของเชื้อเพลิงที่ใช้ต่อเวลาในการทดลอง

$$FCR = \frac{\text{Weight of Fuel Used}}{\text{Operating Time}} \quad (12)$$

เมื่อ

Weight of Fuel Use คือน้ำหนักเชื้อเพลิง (kg)

Operating Time คือเวลา (min)

3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 ขั้นตอนการหาข้อมูล

3.1.1 ศึกษาหาข้อมูลผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของซังข้าวโพด [7]

ตารางที่ 1 ผลวิเคราะห์คุณสมบัติของซังข้าวโพด

ลำดับ	คุณสมบัติทางเคมี	(%)
Proximate value (การวิเคราะห์แบบประมาณ)		
1	ความชื้น (dry basis)	8.73
2	เถ้า	1.20
3	สารละลาย	75.54
4	คาร์บอนคงที่	14.53
Ultimate value (การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ)		
1	คาร์บอน (C)	44.77
2	ไฮโดรเจน (H)	5.99
3	ไนโตรเจน (N)	0.46
4	ซัลเฟอร์ (S)	1.03
5	ออกซิเจน (O)	47.48

AEC-116

Heating value (ค่าความร้อน)		
1	ค่าความร้อน (MJ/kg)	16.96

3.2 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

3.2.1 นำขังข้าวโพดที่เหลือจากการเกษตรกรรมย่อยในเครื่องหั่นย่อยให้มีขนาด 1 ตารางเซนติเมตรโดยประมาณ แสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะของขังข้าวโพดก่อนและหลังการถูกหั่นย่อย

3.2.2 ขังข้าวโพดที่ถูกหั่นย่อยประมาณ 6 kg จุดเตาโดยเผาถ่านให้ร้อนแดงและบรรจุขังข้าวโพดใส่เตาประมาณ 4 kg ปรับปริมาณของอากาศเพิ่มขึ้นเพื่อเป็นการเผาไหม้ในเตาในช่วงแรก เมื่อสังเกตเห็นว่าเตาจุดติด จะทำการปรับปริมาณอากาศตามค่า ER (Equivalent ratio) ที่กำหนดไว้

3.2.3 เชื้อเพลิงที่เหลืออยู่ประมาณ 2 kg จะถูกป้อนต่อเนื่องจนหมด โดยเชื้อเพลิงและอากาศจะถูกป้อนที่ด้านบนของเตา เชื้อเพลิงต้องเติมเตาตลอดเวลาที่ทำการทดลองและอากาศจะแทรกตัวผ่านชั้นเชื้อเพลิงลงไปสู่ชั้นการเผาไหม้

3.2.4 ก๊าซชีววมวลที่ได้จะถูกดูดด้วยเครื่องดูดอากาศ จากเตาแก๊สซีไฟเออร์ ผ่านไซโคลน ผ่านเครื่องกรองก๊าซเชื้อเพลิง ผ่านเครื่องควบแน่นโดยจะกลั่นตัวเป็นน้ำส้มควันไม้ และก๊าซถูกปล่อยออกสู่ปล่องไฟหรือหัวเผาระบายออกสู่บรรยากาศ (ดังแสดงในรูปที่ 3) ก๊าซชีววมวลที่ได้จะมีน้ำมันทาร์ปะปนอยู่พอสมควร

3.2.5 การทดสอบหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สซีไฟเออร์ จะใช้วิธีดูดตัวอย่างก๊าซชีววมวลมาวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณความเข้มข้น โดยใช้เครื่องวัดก๊าซชีววมวล (ดังแสดงในรูปที่ 4) ซึ่งจะตรวจวัดก๊าซหลักๆ ได้ 3 ชนิดคือ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซมีเทน งานวิจัยครั้งนี้จะนำก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์มาพิจารณาหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สซีไฟเออร์เพียงก๊าซเดียวเท่านั้น[8] โดยวัดปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์จากเครื่องวัดก๊าซชีววมวลที่มีความสามารถวัดค่าในช่วง 0 ถึง 5000 ppm และมีความแม่นยำ ± 5 ถึง 10% ของค่าที่อ่าน ซึ่งค่าที่อ่านได้เป็นก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ถูกลดความเข้มข้นโดยการนำอากาศเข้าไปผสมเพื่อไม่ให้เกินขอบเขตของเครื่องมือวัด และค่าที่วัดได้จะถูกนำมาคำนวณกลับเพื่อหาปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์จริงที่ได้จากเตาผลิตก๊าซชีววมวล ซึ่งใช้สมการทางเคมีเกี่ยวกับร้อยละของความเข้มข้นของสารละลาย



รูปที่ 3 เตาแก๊สซีไฟเออร์ที่ใช้ในการทดลอง



AEC-116

- (ก) (ข)
รูปที่ 4 (ก) เครื่องวัดก๊าซชีววมวล
(ข) อุปกรณ์ภายในเครื่องวัดก๊าซชีววมวล

4. วิเคราะห์ข้อมูล

4.1 วิเคราะห์ข้อมูลโดยการกำหนดตัวแปร

งานวิจัยในครั้งนี้ ได้กำหนดตัวแปรเพื่อให้การทดลองสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้และง่ายต่อการวิเคราะห์ผล ดังแสดงต่อไปนี้

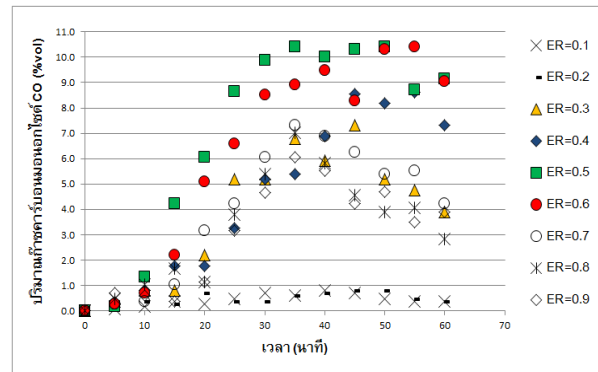
ตัวแปรต้น คือ อัตราส่วนสมมูล (Equivalent ratio, ER)

ตัวแปรตาม คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สซีพีเคช้น

ตัวแปรควบคุม คือ ขนาดของเชื้อเพลิง, ความชื้นของขังข้าวโพด และความดันระหว่างการทดลองเป็นความดันบรรยากาศ

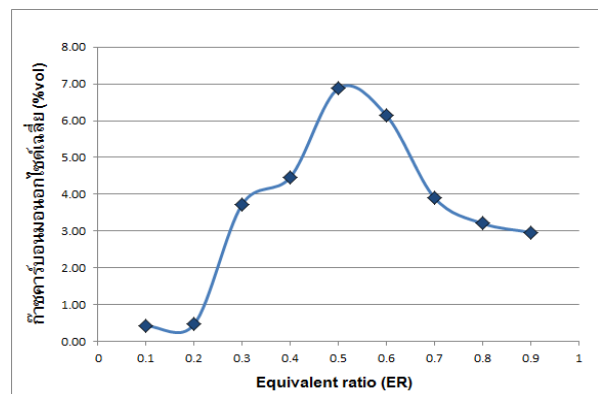
4.2 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

จากรูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์กับเวลา เกี่ยวกับการทดลอง ณ อัตราส่วนสมมูลต่างๆ ระหว่าง 0.1 - 0.9 สังเกตได้ว่าในระยะแรกจะพบว่าเมื่อเตาจุดติด ปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เกิดขึ้นน้อย เนื่องจากการเผาไหม้ช่วงแรกอุณหภูมิภายในเตายังไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ จึงทำให้ปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในช่วงแรกของแต่ละอัตราส่วนสมมูลมีค่าน้อย หลังจากที่มีการเผาไหม้ในเตาเริ่มดีขึ้นจนการทำงานของเตาเริ่มคงที่ จะเกิดการเรียงตัวของชั้นโซนการทำงาน และเกิดปฏิกิริยาต่างๆขึ้นภายในเตา คือ โซนการทำแห้ง (Drying Zone), โซนไพโรไลซิส (Pyrolysis Zone), โซนเผาไหม้ (Combustion Zone) และโซนรีดักชัน (Reduction Zone) ทำให้ปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าเพิ่มมากขึ้น แสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์กับเวลาในการทดลอง

จากข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 5 การทดลองในแต่ละค่าอัตราส่วนสมมูลจะพิจารณาข้อมูลปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งอยู่ในช่วงค่าอัตราส่วนสมมูลที่ก๊าซนั้นสามารถจุดติดไฟได้ดีและมีความต่อเนื่อง นั่นก็คือ ค่า ER ในช่วงระหว่าง 0.3 - 0.6 และอยู่ในช่วงเวลา 25 - 60 นาที โดยจะนำปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในช่วงดังกล่าว มาเฉลี่ยเพื่อหาแนวโน้มของค่าอัตราส่วนสมมูลในแต่ละค่าซึ่งจะแสดงไว้ในรูปที่ 6



รูปที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยกับค่าอัตราส่วนสมมูล

จากรูปที่ 6 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนสมมูล (ER) กับปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ย โดยจะอธิบายช่วงกราฟทั้งหมด 3 ช่วง ดังต่อไปนี้ ช่วงแรกค่า ER ที่ 0.1 ถึง

AEC-116

0.2 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์น้อยมาก เนื่องจากออกซิเจนในอากาศเข้าทำปฏิกิริยาไม่เพียงพอ กระบวนการเผาไหม้จึงไม่สามารถเกิดขึ้นและดำเนินต่อไปได้

ช่วงค่า ER ระหว่าง 0.3-0.5 หลังจากปรับปริมาณอากาศเข้าไปทำปฏิกิริยามากขึ้นออกซิเจนก็จะเข้าทำปฏิกิริยามากขึ้นทำให้การเผาไหม้ภายในเตาเริ่มดีขึ้น จนภายในเตาเกิดกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งเป็นการจำกัดอากาศเข้าทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ก๊าซที่ได้จากกระบวนการนี้ส่วนใหญ่จะเป็นก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาที่โซนรีดักชัน ทำให้แนวโน้มของกราฟมีค่าสูงขึ้นจนถึงไปสูงสุดที่ ER ค่าหนึ่ง

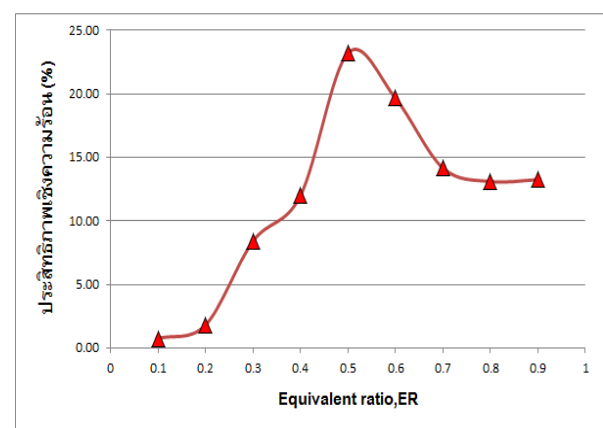
ช่วงค่า ER ระหว่าง 0.6-0.9 เป็นช่วงก่อนที่จะเข้าสู่การเผาไหม้สมบูรณ์ เมื่อปรับอากาศมากขึ้นออกซิเจนในอากาศก็จะเข้าทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงภายในเตามากเกินไปทำให้การเผาไหม้ภายในเตาสูงขึ้นจนเข้าใกล้การเผาไหม้สมบูรณ์ ซึ่งจะเป็นการลดบริเวณของโซนรีดักชันและทำให้โซนการเผาไหม้กว้างขึ้น ในช่วงนี้ก๊าซที่ได้ส่วนใหญ่จึงเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งทำให้ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์มีปริมาณที่ลดลง เมื่อมีการปรับปริมาณอากาศเข้าไปทำปฏิกิริยาภายในเตาผลิตก๊าซชีววมวลมากขึ้นไป จากรูปที่ 6 เมื่อค่าอัตราส่วนสมมูลมีค่ามากขึ้นจนเข้าใกล้การเผาไหม้สมบูรณ์ส่งผลทำให้แนวโน้มของกราฟในช่วงนี้ลดลง

ปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ถูกนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ผล จะถูกใช้เพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สซิฟิเคอร์ต่อไป ค่าอัตราส่วนสมมูลเป็นค่าบ่งชี้ปริมาณอากาศที่เข้าทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิง ในรูปที่ 7 แสดงค่าอัตราส่วนสมมูลที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน ซึ่งจะมีแนวโน้มในช่วงแรกที่ค่า ER 0.1 และ 0.2 ก่อนข้างต่ำ เนื่องจากการทดลองในช่วงอัตราส่วนสมมูลที่มีค่าต่ำ จะมีปริมาณอากาศเข้าทำปฏิกิริยาต่ำ

ไปด้วยในช่วงดังกล่าว กระบวนการเผาไหม้จึงไม่สามารถเกิดขึ้นและดำเนินต่อไปได้ (ไม่เกิดกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน) ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์จึงมีปริมาณที่ต่ำและส่งผลต่อประสิทธิภาพในช่วงแรกนั้นมีค่าต่ำไปด้วย

ช่วง ER 0.3-0.5 เมื่ออัตราส่วนสมมูลเพิ่มขึ้นในช่วงนี้จะทำให้ประสิทธิภาพเตาสูงขึ้น และสูงสุดที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.5 เนื่องจากเมื่อปรับปริมาณอากาศให้สูงขึ้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาและการเผาไหม้ภายในเตาแก๊สซิฟิเคอร์มากขึ้นจนเกิดกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งเป็นการจำกัดอากาศเข้าทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ขึ้น ก๊าซที่ได้ส่วนใหญ่จะเป็นก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เป็นหลัก จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สซิฟิเคอร์สูงขึ้นตามไปด้วย

ช่วงค่า ER 0.6-0.9 เป็นช่วงที่เกิดการเปลี่ยนแปลง กล่าวคือเมื่อเพิ่มปริมาณอากาศเข้าทำปฏิกิริยามากขึ้นจะทำให้การเผาไหม้ภายในเตาสูงขึ้นจนเข้าใกล้การเผาไหม้สมบูรณ์ ก๊าซที่ได้ส่วนใหญ่จะเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจะทำให้ปริมาณก๊าซที่ต้องการคือ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ลดลง จึงทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สซิฟิเคอร์ในช่วงดังกล่าวมีแนวโน้มที่ลดลง จะแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับค่าอัตราส่วนสมมูล

AEC-116

5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองที่ได้จะพบว่า ค่าอัตราส่วนสมมูลในแต่ละค่าซึ่งมีค่าระหว่าง 0.1 - 0.9 จะส่งผลถึงปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สซีฟเออร์ ซึ่งสังเกตจากรูปที่ 7 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาผลิตก๊าซชีววมวลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนสูงสุดที่ค่าหนึ่งเมื่ออัตราส่วนสมมูล (ER) มีค่าเพิ่มขึ้นขึ้น แต่ค่าอัตราส่วนสมมูลที่มากเกินไปก็จะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีแนวโน้มที่ลดลงเช่นกัน โดยค่าอัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.5 มีปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มากที่สุดเท่ากับ 6.877 %voll ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สซีฟเออร์สูงสุดเท่ากับ 23.22% ค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงเท่ากับ 866.50 kJ/m³ อัตราการใช้เชื้อเพลิงเท่ากับ 2.868 kg/hr และยิ่งไปกว่านั้น สามารถเก็บน้ำส้มควันไม้จากอุปกรณ์คอนเดนเซอร์ได้ 1 ลิตรโดยประมาณ

การใช้ซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิงแสดงให้เห็นว่าสามารถให้พลังงานที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ ได้มากมาย เตาที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเครื่องต้นแบบที่เริ่มทำการทดลองในการหาเงื่อนไขที่เหมาะสม เพื่อเป็นแนวทางของการวิจัยระยะแรกและเป็นข้อมูลเบื้องต้น เพื่อนำไปประยุกต์และปรับปรุงเตาให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นผลงานระหว่างที่ศึกษาอยู่ ณ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] นคร ทิพย์วงศ์ (2553). เทคโนโลยีการแปลงสภาพชีวมวล, กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

[2] วิชชาวุธ มนูญผล และ ญัฐวิทย์ พรหมมา (2555). คุณสมบัติเชิงความร้อนของเตาแก๊สซีฟเออร์โดยใช้ใบไม้และกิ่งไม้แห้งเป็นเชื้อเพลิง. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25, จังหวัดกระบี่

[3] Renewable Energy Information (2011). Biomass, Energy for Environment Foundation, URL: <http://www.efe.or.th>, access on 28/04/2014.

[4] สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (2544). ระบบเครื่องยนต์ก๊าซโปรดีวเซอร์จากชีวมวล (Gas Product Engine System From Biomass), กรุงเทพฯ.

[5] เกียรติไกล आयुวัฒน์ และพิมลรัตน์ พุทธิมิลินประทีป (2542). การใช้ประโยชน์จากเตาเผาชีวมวลผลิตแก๊สเชื้อเพลิงกับการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร. การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 37

[6] Lv, P.M., Xiong, Z.H., Chang, J., Wu, C.Z., Chen, Y. and Zhu, J.X. (2004). An experimental study on biomass air-steam gasification in a fluidized bed, Bioresource Technology, vol. 95, March 2004, pp. 95-101.

[7] โครงการการสาธิตการใช้แก๊สซีฟเออร์ผลิตเชื้อเพลิงแก๊สใช้ในด้านความร้อนสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก (2553). ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของซังข้าวโพด, สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, หน้า 145

[8] Ioannidou, O., Zabaniotou, A., Antonakou, E.V., Papazisi, K.M., Lappas, A.A. and Athanassiou, C. (2009). Investigating the potential for energy, fuel, materials and chemicals

AEC-116

production from corn residues (cobs and stalks)
by non-catalytic and catalytic pyrolysis in two
reactor configurations, Renewable and
Sustainable Energy, vol. 13, January 2008,
pp. 750–762.