



การประเมินประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล เหลือทิ้งด้วยเตาแก๊สซิไฟเออร์แบบก๊าซไหลลง

Efficiency Analysis of Electricity Production from Biomass Waste using Downdraft Gasifier

Sureeya Samutjak and Napat Jakrawatana*

สุรียา สมุทรจักร และ นภัทร จักรวัฒนา*

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา พะเยา 56000

*E-mail : napat_j@hotmail.com

บทคัดย่อ

สมมูลมวลและพลังงานถูกนำมาใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบแก๊สซิไฟเคชั่นแบบก๊าซไหลลง ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการทดสอบระบบแก๊สซิไฟเคชั่นแบบก๊าซไหลลงขนาด 20 kW โดยใช้ซังข้าวโพดที่หาได้ในบริเวณใกล้เคียงเป็นเชื้อเพลิงในการทดสอบระบบ ก๊าซผลิตภัณฑ์ถูกตรวจวัดโดยเครื่องมือวัดก๊าซ ปริมาณก๊าซผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ในระบบประกอบด้วย ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ร้อยละ 20 ก๊าซมีเทนร้อยละ 2 ก๊าซไฮโดรเจนร้อยละ 18 ก๊าซออกซิเจนร้อยละ 2 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 48 ค่าความร้อนของก๊าซที่วัดได้ เท่ากับ 6 MJ/m^3 ก๊าซผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จะถูกทำความสะอาดโดยหน่วยทำความสะอาดก๊าซผลิตภัณฑ์ซึ่งประกอบด้วยไซโคลนและชุดตัวกรอง (Filter) ดังนั้นก๊าซผลิตภัณฑ์ก่อนเข้าเครื่องยัดจึงมีอุณหภูมิประมาณ 38°C ซึ่งการประเมินประสิทธิภาพของระบบจึงสามารถประเมินได้จากประสิทธิภาพก๊าซเย็น ประสิทธิภาพการแปลงก๊าซเป็นพลังงานไฟฟ้า และประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากชีวมวล ผลที่ได้รับจากการคำนวณ เท่ากับร้อยละ 54, 23 และ 12 ตามลำดับ พลังงานที่สูญเสียไปจากระบบในขั้นตอนแก๊สซิไฟเคชั่นร้อยละ 46 และพลังงานที่สูญเสียในการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าร้อยละ 42

คำสำคัญ : ซังข้าวโพด; เตาแก๊สซิไฟเออร์แบบก๊าซไหลลง; สมมูลมวลและสมมูลพลังงาน

Abstract

Mass and energy balance was applied to assess performance operation for downdraft gasifier. This research evaluate performance of downdraft gasifier with generator 20 kW. This system utilizes corncob as a fuel. The system tested and measured syngas by gas analyzer. The quantity of producer gas in system comprise of carbon monoxide 20%, methane 2%, hydrogen 18%, oxygen 2%, carbon dioxide 10% and nitrogen 48%. The heating value of the gas is 6 MJ/m^3 . Producer gas is cleaned by gas cleaning unit which consists of cyclone and filter. Therefore producer gas before entering the engine has a temperature of about 38°C . The performance evaluation system can be evaluate be using cold gas efficiency, gas to power efficiency of the system and wood to electrical power production efficiency was 54%, 23% and 12% respectively. Power losses from the system in the process gasification is 46% and power losses from power generation system of generator is 42%.

Keywords : corncob; downdraft gasifier; mass and energy balance

บทนำ

ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในประเทศไทยเพิ่มสูงขึ้นในแต่ละปี และการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 103,165.20 กิกะวัตต์ – ชั่วโมง ในปี พ.ศ. 2544 [1] ถึง 168,620 กิกะวัตต์ – ชั่วโมง ในปี พ.ศ. 2557 [2]

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีเศษเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก ซึ่งชีวมวลเหลือทิ้งส่วนใหญ่จะถูกกำจัดโดยการเผาซึ่งทำให้เกิดหมอกควัน เพื่อลดการเผาในที่โล่งและนำชีวมวลเหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์ การนำชีวมวลเหลือทิ้งไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้ากระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากชีวมวลจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจในด้านพลังงานทดแทน เนื่องจากช่วยลดปริมาณชีวมวลเหลือทิ้งที่ต้องกำจัดได้มากกว่ารวมถึงได้พลังงานที่เป็นผลพลอยได้อีกด้วย [3] อีกทั้งยังได้พลังงานชีวมวลหมุนเวียนที่สะอาด มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยและยังเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย

แก๊สซิฟิเคชันเป็นเทคโนโลยีสำหรับแปลงเชื้อเพลิงให้เป็นพลังงานและเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ

สำหรับการกำจัดชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตร กระบวนการเผาแบบ Gasification เป็นกระบวนการเผาไหม้ในเตาเผาที่อุณหภูมิสูงและมีอากาศเข้าไปทำปฏิกิริยาการเผาไหม้อย่างจำกัด ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ผลผลิตที่ได้เป็นก๊าซที่สามารถติดไฟได้ ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทนและไฮโดรเจน และก๊าซที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจน ก๊าซที่ผลิตได้เหล่านี้เป็นก๊าซชีวภาพหรือก๊าซเชื้อเพลิง Syngas และเกิดคาร์บอนเหลือที่เรียกว่าถ่าน Char ก๊าซเชื้อเพลิง Syngas เป็นก๊าซสะอาดสามารถใช้ในเครื่องยนต์สันดาปเพื่อผลิตเป็นไฟฟ้า [3]

เตาแก๊สซิฟิเคชันแบบก๊าซไหลลง ถูกออกแบบมาเพื่อขจัดน้ำมันดินในเชื้อเพลิงแข็ง โดยเฉพาะ ซึ่งอากาศถูกดูดผ่านจากด้านบนลงสู่ด้านล่าง ก๊าซเกิดที่อุณหภูมิในช่วงระหว่าง $800-1,000^\circ\text{C}$ บริเวณการเผาไหม้จะมีปริมาณออกซิเจนน้อยมาก ก๊าซที่ผ่านบริเวณการเผาไหม้จะมีส่วนประกอบของน้ำมันดินน้อยกว่าร้อยละ 10 ของน้ำมันดินที่ได้จากเตาแบบก๊าซไหลขึ้น ทำให้ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้สะอาดกว่า [4] โดยมีการศึกษาการใช้ข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิงเข้าสู่ระบบแก๊สซิฟิเคชันในเตาแก๊ส

ซีไฟเออร์แบบก๊าซไหลลงเพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการดำเนินงานของระบบ การทดสอบมีประสิทธิภาพก๊าซเย็นระหว่างร้อยละ 66-68 ซึ่งในงานวิจัยนี้ยังไม่ได้มีการนำก๊าซผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปใช้กับเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าโดยตรง [5]

ในโครงการนี้ได้ใช้แก๊สซีไฟเออร์ขนาดเล็กที่เป็นระบบเปิดให้นำไปวิจัยและพัฒนาต่อยอดได้ (Open platform) เป็นระบบที่สามารถควบคุมตรวจสอบสถานะในการเดินระบบ อุณหภูมิ อัตราการไหลของอากาศ อัตราการป้อนวัตถุดิบ และความดัน โดยทั้งหมดนี้จะถูกควบคุมด้วย ระบบควบคุม (PLC Control) อินเวอร์เตอร์ (Inverter) เซ็นเซอร์คู่วัดอุณหภูมิ (Thermo couple sensor) ซึ่งสามารถนำไปใช้พัฒนา แบบจำลองสมดุลมวลและพลังงานของระบบ [6]

ในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะศึกษาระบบแก๊สซีไฟเคชั่นต้นแบบเพื่อใช้ในการพัฒนาระบบแก๊สซีไฟเคชั่นผลิตพลังงานชีวมวลเป็นพลังงานเหมาะสมสำหรับชุมชนขนาดเล็กและในส่วนองค์กรบริหารส่วนตำบล (อบต.) ทำการทดสอบการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ระบบเตาแก๊สซีไฟเออร์แบบก๊าซไหลลงขนาด 20 กิโลวัตต์ ซึ่งมีขนาดเล็กง่ายต่อการเดินระบบควบคุม อุณหภูมิ อัตราการไหลของอากาศ อัตราการป้อนวัตถุดิบ และความดันด้วยระบบควบคุม (PLC Control) อินเวอร์เตอร์ เซ็นเซอร์คู่วัดอุณหภูมิ (Thermo couple sensor) ซึ่งสามารถนำไปใช้พัฒนา แบบจำลองสมดุลมวลและพลังงานของระบบ (Energy and Mass balance simulation model) โดยเชื้อเพลิงที่ใช้ได้แก่ ชังข้าวโพด ซึ่งเป็นชีวมวลเหลือทิ้งเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบ การศึกษานี้จึงได้พัฒนาแบบจำลองสมดุลมวล พลังงาน สำหรับระบบแก๊สซีไฟเคชั่นและประเมินประสิทธิภาพการผลิตก๊าซในกระบวนการแก๊สซีไฟเคชั่น

อุปกรณ์และวิธีการ

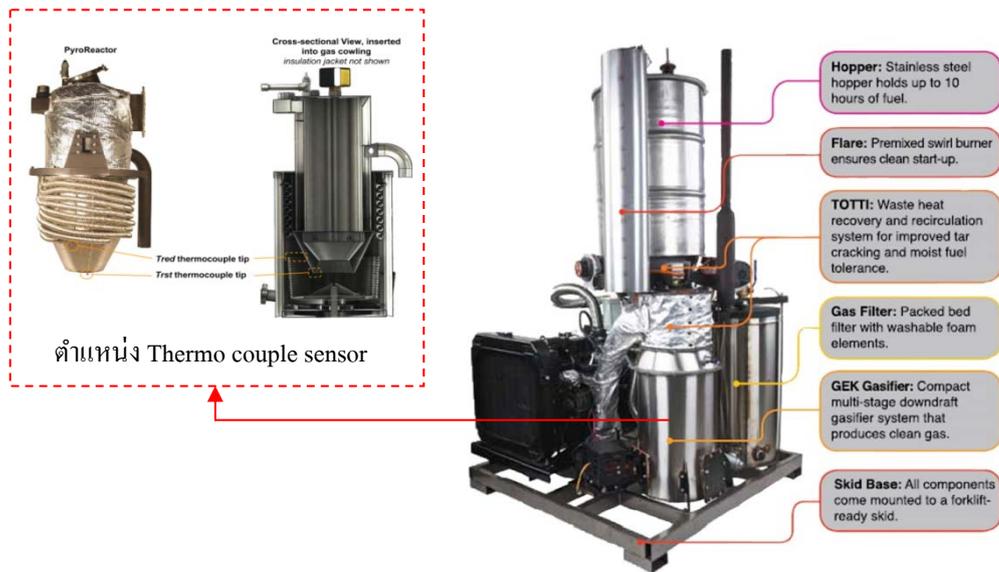
วัสดุเชื้อเพลิง

ในการศึกษานี้ใช้ชังข้าวโพดซึ่งเป็นชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรของชุมชนในพื้นที่บริเวณใกล้เคียงมหาวิทยาลัยพะเยาเป็นเชื้อเพลิงในการทดสอบระบบแก๊สซีไฟเออร์แบบไหลลง โดยชังข้าวโพดจะถูกทำการจัดเก็บและขนส่งมายังพื้นที่ที่ใช้ทำการทดสอบระบบและถูกทำการบดย่อยลดขนาดโดยเครื่องบดย่อยแบบสับรูน MS200 จากนั้นชังข้าวโพดที่ผ่านการย่อยจะถูกทำการร่อนบนตะแกรงขนาดรูตะแกรง 2 เซนติเมตร เพื่อให้ได้ชังข้าวโพดขนาด 1-5 เซนติเมตร มาใช้ในการทดสอบระบบ จากนั้นจึงทำการตากแห้งเชื้อเพลิงเพื่อลดความชื้นให้มีค่าไม่เกินร้อยละ 25 ก่อนนำเข้าสู่ระบบเตาแก๊สซีไฟเออร์

ระบบเตาแก๊สซีไฟเออร์แบบไหลลง

เครื่องแก๊สซีไฟเออร์ที่ใช้ในการศึกษาเป็นเตาแก๊สซีไฟเออร์แบบไหลลง กำลังการผลิตไฟฟ้า 20 กิโลวัตต์ ขนาดความกว้าง 1.2 เมตร ความยาว 1.2 เมตร และความสูง 1.8 เมตร ระบบประกอบด้วย เตาปฏิกรณ์ หน่วยทำความสะอาดก๊าซผลิตภัณฑ์ และเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้า โดยตำแหน่งเซ็นเซอร์คู่วัดอุณหภูมิอยู่บริเวณรีดักชัน โชน ดังแสดงในรูปที่ 1

เชื้อเพลิงจะถูกเก็บไว้ในถังเก็บเชื้อเพลิงที่อยู่ด้านบนเตาปฏิกรณ์ เมื่อเริ่มระบบเชื้อเพลิงจะถูกลำเลียงเข้าสู่เตาปฏิกรณ์โดยสกรูลำเลียงเพื่อให้เชื้อเพลิงตกลงไปภายในเตาปฏิกรณ์ ซึ่งภายในเตาปฏิกรณ์สามารถแบ่งกระบวนการแก๊สซีไฟเคชั่นได้เป็น 4 โชนด้วยกัน ได้แก่ Drying, pyrolysis, combustion และ Reduction แก๊สผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จะไหลเข้าสู่หน่วยทำความสะอาด



รูปที่ 1 แก๊สซิฟิเคชันขนาดเล็ก ที่มีชื่อว่า GEKs จากบริษัท All Powerlabs ที่ใช้งานวิจัยนี้

ก๊าซ ซึ่งในระบบนี้ใช้ไซโคลนในการแยกฝุ่นละอองออกจากก๊าซและใช้ถังกรองเพื่อกรองน้ำมันดินที่ติดมากับก๊าซเชื้อเพลิงก่อนเข้าสู่ระบบผลิตไฟฟ้า

จุดวัดอุณหภูมิ

อุณหภูมิจะถูกทำการวัดเมื่อระบบดำเนินงานแบบเต็มรูปแบบ โดยจุดวัดอุณหภูมิของเตาแก๊สซิฟิเคชันจะอยู่ในโซนอบแห้งและโซนการเกิดกระบวนการรีดักชัน ดังแสดงในรูปที่ 2 อุณหภูมิภายในเตาจะถูกวัดโดยตัววัดอุณหภูมิที่ติดตั้งภายในเตา ข้อมูลจะถูกส่งไปบันทึกโดยโปรแกรม LogWorks3 พร้อมแสดงผลผ่านทางหน้าจอควบคุมที่ติดมากับเครื่อง

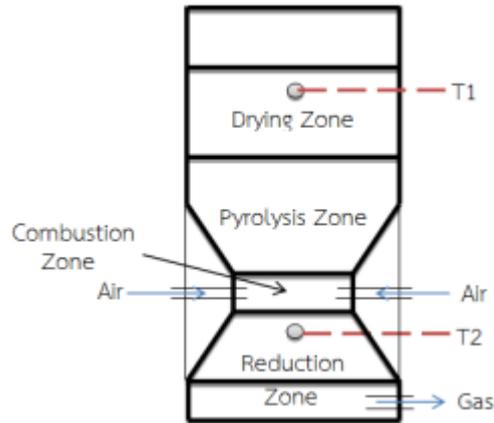
อุณหภูมิภายนอกเตาจะถูกวัดโดยเครื่องวัดอุณหภูมิ ช่วงการวัดอุณหภูมิ 30°C ถึง 500°C ความแม่นยำ ± ร้อยละ 1.0 ทำการวัดทุกๆ 5 นาที จนถึงสิ้นสุดการดำเนินงาน

เครื่องวัดความเร็วลม

อากาศที่เข้าไปทำปฏิกิริยาในระบบแก๊สซิฟิเคชันจะถูกวัดโดยเครื่องวัดความเร็วลมแบบดิจิทัลรุ่น WM03 วัดความเร็วลมในช่วง 0.3-30 เมตรต่อวินาที ความแม่นยำ ± ร้อยละ 5.0 และถูกแปลงเป็นหน่วยกิโลกรัม

เครื่องวัดก๊าซ

ก๊าซผลิตภัณฑ์จะถูกวัดเมื่อเครื่องแก๊สซิฟิเคชันเดินระบบในการผลิตไฟฟ้าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งเครื่องวัดก๊าซใช้เซนเซอร์ตรวจจับ ออกซิเจน (O₂) ช่วงการวัดร้อยละ 0-25 ความแม่นยำ ± ร้อยละ 0.2 คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) มีเทน (CH₄) ช่วงการวัดร้อยละ 0-100 ความแม่นยำ ± ร้อยละ 3 และไฮโดรเจน (H₂) ในช่วงการวัดร้อยละ 0-100 ความแม่นยำ ± ร้อยละ 5 ยี่ห้อ MRU vario plus



รูปที่ 2 จุดวัดอุณหภูมิด้านในและด้านนอกเตาปฏิกรณ์

ขั้นตอนการทดลอง

การศึกษาในครั้งนี้มีความสนใจด้านประสิทธิภาพการทำงานของระบบเตาแก๊สซีไฟเออร์แบบไหลลงที่ชื่อว่า GEK เมื่อใช้ซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิงในระบบ ในการตรวจสอบสมรรถนะของระบบใดๆ สิ่งที่สำคัญในการวิเคราะห์ระบบจำเป็นต้องทำการตรวจสอบสมดุลมวลและพลังงาน [7] โดยนำอุณหภูมิศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในระบบ

1. การวิเคราะห์สมดุลมวล

การวิเคราะห์สมดุลมวลของระบบสามารถทำการวิเคราะห์ได้โดย มวลที่เข้าระบบเท่ากับมวลที่ออกจากระบบ อาจเขียนตามสมการได้ดังนี้

$$M_{in} = M_{out} \quad (1)$$

เมื่อ M_{in} และ M_{out} คือ มวลที่เข้าและออกจากระบบ และ

$$M_{in} = M_f + M_a \quad (2)$$

$$M_{out} = M_g + M_c + M_{ash} + M_t \quad (3)$$

f, a, g, c, ash, t คือ มวลของเชื้อเพลิง อากาศ ก๊าซ ผลิตภัณฑ์ ถ่าน เถ้าและน้ำมันดิน

ปริมาณก๊าซผลิตภัณฑ์ถูกวัดโดยเครื่องวัดอัตราการไหลยี่ห้อ Endress + Hauser รุ่น Proline Prowirl D200 ช่วงการวัด 2-8342 m³/h ค่าความถูกต้อง ± ร้อยละ 1 และปริมาณน้ำมันดินวัดโดยวิธี Tar impinge ซึ่งน้ำมันดินที่ติดมากับก๊าซผลิตภัณฑ์จะถูกควั่นและละลายในสารละลายไอโซโพรพานอลที่บรรจุในขวดรูปชมพู่ โดยขวดแรกจะบรรจุสารละลายไอโซโพรพานอลในปริมาณมากกว่าและทำการเก็บความชื้นของก๊าซผลิตภัณฑ์ [8]

2. การวิเคราะห์สมดุลพลังงาน

จากกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ ที่กล่าวว่า พลังงานไม่มีสูญหายหรือเกิดเพิ่มขึ้นแต่สามารถเปลี่ยนรูปจากรูปแบบหนึ่งไปเป็นอีกรูปแบบหนึ่งได้ ส่งผลให้เวลาที่ทำการวิเคราะห์ระบบใดๆ นอกจากต้องเขียนสมการสมดุลแล้ว ยังต้องเขียนสมการดุลพลังงาน (Energy balance equations) ด้วย เนื่องจากเป็นวิธีการหนึ่งที่สำคัญในการตรวจสอบสมรรถนะของระบบ [9] อาจเขียนตามสมการได้ดังนี้

$$E_{in} = E_{out} \quad (4)$$

เมื่อ E_{in} และ E_{out} คือ พลังงานที่เข้าและออกจากระบบ และ

$$E_{in} = M_f \times CV_f \quad (5)$$

$$E_{out} = G_q \times CV_g \quad (6)$$

CV_f และ CV_g คือค่าความร้อนของเชื้อเพลิงและก๊าซผลิตภัณฑ์ G_q คือ ปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตออกมาจากระบบ

ปริมาณก๊าซผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจะถูกนำเข้าสู่เครื่องยนต์แก๊ส รุ่น GM Vortec 3.0 L I-4 และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารุ่น MeccAlte NPE32 E/4 12-wire 4-Pole Generator ความเร็วรอบ 1800 rpm ผลิตไฟฟ้ากระแสสลับ กำลังการผลิต 20 กิโลวัตต์

พลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบถูกวิเคราะห์โดยการวัดอุณหภูมิในหน่วยเตปปฏิกรณ์ และเครื่องยนต์แก๊สผลิตไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งการประเมินพลังงานสูญเสียอาจเขียนตามสมการดังนี้

$$Q_{loss} = mc\Delta T \quad (7)$$

3. การประเมินประสิทธิภาพการทำงาน

ประสิทธิภาพก๊าซเย็น ประสิทธิภาพการแปลงก๊าซเป็นพลังงานและประสิทธิภาพรวมของระบบ เป็น

พารามิเตอร์ที่สามารถตรวจสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องแก๊สซิฟิเคอร์ได้ โดยวิธีการประเมินอาจใช้สมการดังนี้

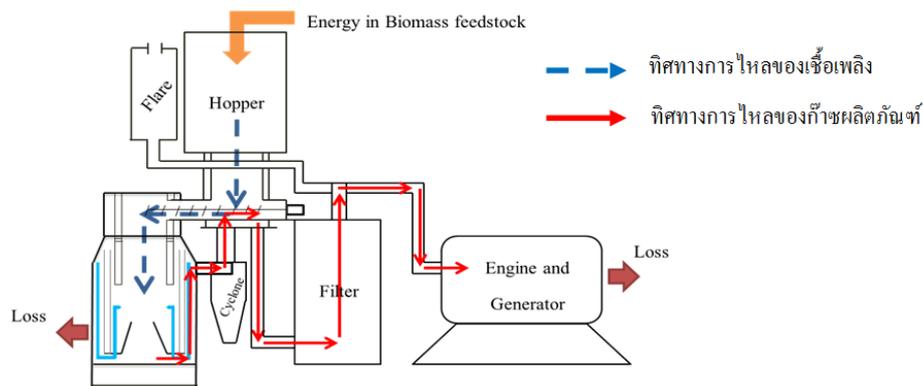
การประเมินประสิทธิภาพก๊าซเย็นของระบบซึ่งหมายถึง ประสิทธิภาพการแปลงเชื้อเพลิงให้เป็นก๊าซผลิตภัณฑ์ สามารถหาได้จากพลังงานที่ออกจากระบบต่อพลังงานที่เข้าระบบ ดังสมการ [10]

$$CGE = \frac{m_{gas} \times HHV_{gas}}{m_{feed} \times HHV_{feed}} \times 100 \quad (8)$$

เมื่อ m_{gas} , m_{feed} คือมวลของก๊าซผลิตภัณฑ์และมวลของเชื้อเพลิง HHV_{gas} , HHV_{feed} คือค่าความร้อนสูงสุดของก๊าซเชื้อเพลิงและเชื้อเพลิงตามลำดับ

ประสิทธิภาพการแปลงก๊าซเป็นพลังงาน หมายถึงพลังงานที่ได้จากการแปลงเป็นไฟฟ้าต่อพลังงานที่ออกจากระบบแก๊สซิฟิเคชัน สามารถหาได้ตามสมการด้านล่าง [11]

$$CGE = \frac{E_{energy}}{E_{out}} \times 100 \quad (9)$$



รูปที่ 3 ทิศทางการไหลของเชื้อเพลิงและก๊าซผลิตภัณฑ์รวมถึงจุดวัดพลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบ

ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากชีวมวลหรือพลังงานโดยรวมทั้งระบบ สามารถหาได้ตามสมการด้านล่าง [11]

$$CGE = \frac{E_{\text{energy}}}{E_{\text{in}}} \times 100 \quad (10)$$

เมื่อ E_{energy} คือ พลังงานที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า E_{out} และ E_{in} คือ พลังงานที่ออกและเข้าระบบแก๊สซิฟิเคชัน ตามลำดับ

ผลการทดลองและวิจารณ์

การวิเคราะห์เชื้อเพลิง

ทำการวิเคราะห์ทางด้านกายภาพและวิเคราะห์ค่าโดยประมาณ ได้แก่ คาร์บอนคงตัว ปริมาณสารระเหย และปริมาณเถ้าก่อนเข้าทดสอบในระบบแสดงดังตารางที่ 1

การวิเคราะห์ก๊าซ

ปริมาณก๊าซผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมาจากระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของระบบแก๊สซิฟิเคอร์แบบไหลลง ถูกวัดหลังจากระบบเริ่มทำการผลิตไฟฟ้าโดยเครื่องวัดก๊าซ สามารถวัดก๊าซได้ 6 ชนิด ซึ่งค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซที่ทำกรวัดได้หลังดำเนินระบบ 1 ชั่วโมง มีปริมาณออกซิเจน เท่ากับร้อยละ 2 คาร์บอนไดออกไซด์

เท่ากับร้อยละ 10 คาร์บอนมอนอกไซด์ เท่ากับร้อยละ 20 ไฮโดรเจน เท่ากับร้อยละ 18 มีเทน เท่ากับร้อยละ 2 และไนโตรเจน เท่ากับร้อยละ 48 แสดงในรูปแบบที่ 4 ค่าความร้อนของก๊าซผลิตภัณฑ์ประมวลผลมาจากผลรวมของค่าความร้อนของก๊าซแต่ละชนิดซึ่งมีค่าเท่ากับ 6 MJ/m^3 การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากชีวมวลค่าความร้อนอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง (ประมาณ $3\text{-}10 \text{ MJ/m}^3$) [4] ก๊าซผลิตภัณฑ์ที่วัดได้ในระบบเท่ากับ 20.607 m^3 โดยความหนาแน่นของก๊าซผลิตภัณฑ์เท่ากับ 1.1058 kg/m^3 ดังนั้น เมื่อแปลงปริมาณก๊าซผลิตภัณฑ์ให้เป็นหน่วยน้ำหนักจะมีค่าเท่ากับ $20.607 \text{ m}^3 \times 1.1058 \text{ kg/m}^3 = 22.79 \text{ kg}$

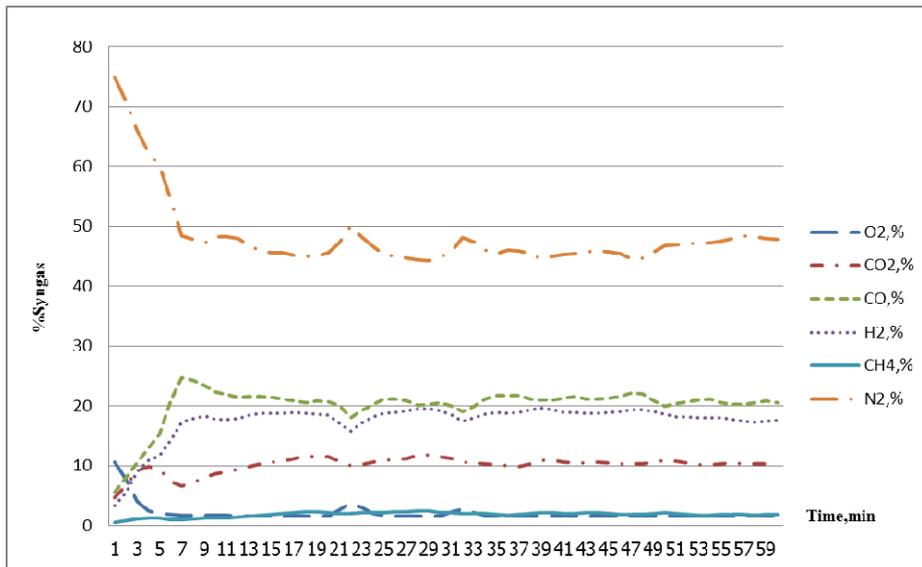
สมดุลมวลของระบบ

การวิเคราะห์สมดุลมวลในระบบแสดงในรูปแบบที่ 5 เชื้อเพลิงที่เข้าระบบสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน ได้แก่ เชื้อเพลิงหลักที่ใช้คือ ชังข้าวโพด 9.35 kg และเชื้อเพลิงที่ใช้ก่อนเริ่มกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันคือ ถ่าน 2.5 kg ดังนั้นเชื้อเพลิงที่เข้าระบบมีมวลรวม 11.85 kg หรือร้อยละ 45 โดยอากาศที่เข้าไปทำปฏิกิริยาในกระบวนการมีน้ำหนัก 14.41 kg หรือร้อยละ 55 มวลที่ออกจากระบบแบ่งออกเป็นปริมาณก๊าซผลิตภัณฑ์ ถ่านรวมเถ้า น้ำระเหยและน้ำมันดิน ซึ่งมีมวลที่ออกจากระบบ 22.79, 1.4, 1.88 และ 0.19 kg โดยคิดเป็นร้อยละ 87.3, 5, 7 และ 0.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 คุณลักษณะของชังข้าวโพด

เชื้อเพลิง	การวิเคราะห์ทางกายภาพ		การวิเคราะห์โดยประมาณ				
	ขนาด (cm)	ความหนาแน่น (g/cm^3)	ความชื้น (%)	ของแข็งทั้งหมด* (%)	คาร์บอนคงที่* (%)	สารระเหย* (%)	เถ้า* (%)
ชังข้าวโพด	1-5	700	18.7	81.3	5.89	91.11	3.00

*Dry basis



รูปที่ 4 ร้อยละองค์ประกอบก๊าซผลิตภัณฑ์ที่วัดจากเตาปฏิกรณ์

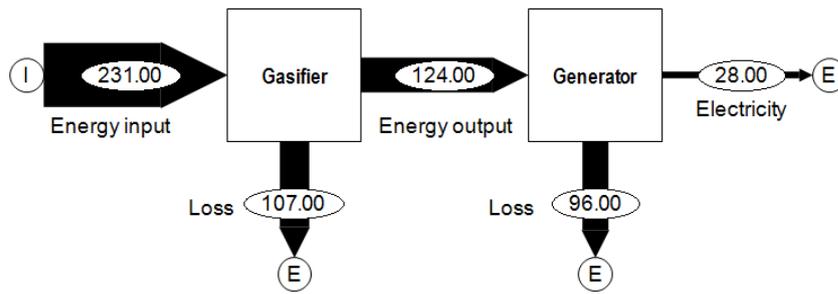


รูปที่ 5 สมดุลมวลของระบบเตาแก๊สซิฟิเคชันเออร์แบบไหลลง

สมดุลพลังงานของระบบ

สมดุลพลังงานแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งข้าวโพดเข้าระบบ 9.35 kg มีค่าความร้อน 16.67 MJ/kg (9.35 kg × 16.67 MJ/kg = 155.86 MJ) และถ่าน 2.5 kg ค่าความร้อน 29.9 MJ/kg (2.5 kg × 29.9 MJ/kg = 74.75 MJ) ดังนั้นพลังงานรวมที่เข้าระบบคือ 155.86 MJ + 74.75 MJ = 231 MJ ส่วนพลังงานที่ออกจากระบบ มีปริมาณก๊าซผลิตภัณฑ์ 20.607 m³ ค่าความร้อนก๊าซที่วัดได้ 6 MJ/m³ ทำให้พลังงานที่ออกจากระบบมีค่าเท่ากับ 20.607 m³ × 6 MJ/m³ = 124 MJ เมื่อพลังงานความร้อนที่ได้จากระบบการแก๊สซิฟิเคชันเข้าสู่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า พลังงานที่ได้ออกมาในกระบวนการผลิตไฟฟ้า 28 MJ

พลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบถูกทำการวิเคราะห์ โดยพบว่า พลังงานสูญเสียจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน เท่ากับ 107 MJ หรือร้อยละ 46 และพลังงานสูญเสียที่เกิดระหว่างกระบวนการผลิตไฟฟ้า เท่ากับ 96 MJ หรือร้อยละ 42 ซึ่งตามทฤษฎีพลังงานสูญเสียสามารถวิเคราะห์ได้จากสูตรการคำนวณพลังงานสูญเสีย $Q_{loss} = mc\Delta T$ เนื่องจากอุณหภูมิภายนอกเตาปฏิกรณ์เฉลี่ย 59.8°C และภายในเตาเฉลี่ย 859.4°C ดังนั้นพลังงานสูญเสียจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันตามทฤษฎี มีค่าเท่ากับ 106.98 MJ



รูปที่ 6 สมดุลพลังงานของระบบเตาแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลง

ประสิทธิภาพของระบบ

การประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบ พบว่า ประสิทธิภาพก๊าซเย็น เท่ากับร้อยละ 54 ซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำ โดยกระบวนการแก๊สซิไฟเคชันจากซังข้าวโพดมีประสิทธิภาพก๊าซเย็นในช่วงร้อยละ 66-68 [5] ประสิทธิภาพของก๊าซแปลงเป็นไฟฟ้าเท่ากับร้อยละ 23 และประสิทธิภาพการแปลงเชื้อเพลิงเป็นไฟฟ้าหรือประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ เท่ากับร้อยละ 12

สรุป

การประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบแก๊สซิไฟเคชันแบบก๊าซไหลลง โดยใช้ซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิงในการเดินระบบ พบว่า การเดินระบบแบบเต็มกำลังใน 1 ชั่วโมง มีอัตราการใช้เชื้อเพลิง 11.85 kg ปริมาณก๊าซผลิตภัณฑ์ 20.607 m³ ประกอบด้วย ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 20 ก๊าซมีเทนร้อยละ 2 ก๊าซไฮโดรเจนร้อยละ 18 ก๊าซออกซิเจนร้อยละ 2 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 10 และก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 48 ค่าความร้อนของก๊าซที่วัดได้ 6 MJ/m³ สามารถผลิตไฟฟ้าออกมาได้ 7.7 kWh การแปลงประสิทธิภาพก๊าซเย็นของระบบ เท่ากับร้อยละ 54 ทำให้พลังงานสูญเสียจากกระบวนการแก๊สซิไฟเคชัน เท่ากับ 107 MJ หรือร้อยละ 46 ประสิทธิภาพของการแปลงก๊าซ

เป็นพลังงานไฟฟ้า เท่ากับร้อยละ 23 และประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ เท่ากับร้อยละ 12

เนื่องจากผลการวิเคราะห์พบว่าการสูญเสียพลังงานจากกระบวนการแก๊สซิไฟเคชัน ดังนั้นจึงควรเพิ่มประสิทธิภาพการปรับปรุงระบบโดยการใช้ไอน้ำ (steam) เข้าไปในเตาแทนการใช้อากาศเพื่อให้กระบวนการแก๊สซิไฟเคชันเพิ่มการเกิดไฮโดรเจน (H₂) พลังงานจากแก๊สเพิ่มขึ้นทำให้ลดพลังงานสูญเสียจากระบบได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน รหัสโครงการ R57082 และ โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ระดับปริญญาโท สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) รหัสโครงการ MSD57I0129

เอกสารอ้างอิง

- [1] Electricity generating authority of Thailand. 2002. Annual report 2001; 24.
- [2] Energy policy and planning office ministry of energy. 2015. Energy statistics of Thailand 2015; 21.

- [3] Energy policy and planning office ministry of energy. 2011. Guidelines on the development and production of renewable energy investments set 6, Waste Energy; 12-16.
- [4] Ngamchompoo, W. 2013. A study of high temperature air – steam biomass gasification in a fixed-bed downdraft gasifier, Khonkaen University.
- [5] Biagini, E., Barontini, F. and Tognotti, L. 2014. Gasification of agricultural residues in a demonstrative plant: Corn cobs. *Bioresource Technol.* 173: 110-116.
- [6] All power lab personal scale power. 2013. Introduction to the Power Pallet; 3-15.
- [7] Raa, M.S., Singh, S.P., Sodha, M.S., Dubey, A.K. and Shyam, M. 2004. Stoichiometric, mass, energy and exergy balance analysis of countercurrent fixed-bed gasification of post-consumer residues, India, *Biomass Bioenerg.* 155-171.
- [8] Neeft, J.P.A., Knoef, H.A.M., et al. 2008. Guideline for Sampling and Analysis of Tar and Particles in Biomass Producer Gases, Energy project; 15.
- [9] Piumsomboon, P. 2013. Energy to evolutionary analysis of energy production and sustainability; 106-111.
- [10] Lysenko, S., Sadaka, S and Brown, R.C. 2012. Comparison of mass and energy balances for air blown and thermally ballasted fluidized bed gasifiers, USA, *Bioresource Technol.* 95-108.
- [11] Nwokolo, N., Mamphweli, S., Meyer, E. and Tangwe, S. 2014. Electrical performance evaluation of Johansson biomass gasifier system coupled to a 150 KVA generator, *Renew. Energ.* 695-700.