APPROPRIATE CHARACTERISTICES FOR THE PERFORMANCE OF A PROTOTYPE STEAM BOILER WITH AUTOMATIC FLUID-FLOW AND TEMPERATURE CONTROL IN THE STEAM HYDROGASIFICATION PROCESS

Watcharin GIABSUNGNEON[1], Athibodee GIABSUNGNEON [1]
1 Thailand Institute of Scientific and Technological Research
; Watcharin@tistr.or.th (Corresponding Author)

ABSTRACT

This research aims to design and construct a steam boiler equipped with an automatic flow and temperature control system for the Steam Hydrogasification process. The study also investigates the operating principles of a water-tube boiler (Water-Tube Boiler), in which water flows inside the tubes while hot gases generated by combustion flow around the outside of the tubes. Heat is transferred from the hot gases to the water, causing the water to boil and be converted into steam. The steam generator is designed as a compact water-tube system with vertically arranged and stacked tubes, providing a high steam-production capacity relative to the system weight. A preliminary experimental study was conducted to evaluate the performance of the steam boiler equipped with an automatic flow and temperature control system for the Steam Hydrogasification process. The system consists of a heat-exchanger assembly comprising vertically stacked tubes arranged in two layers: 22 tubes in the inner layer and 28 tubes in the outer layer, for a total of 50 tubes. Each tube is made of seamless stainless steel, with an internal diameter of 12.6 mm, a tube wall thickness of 2.3 mm, and a vertical tube height of 580 mm. The combustion chamber is equipped with one gas burner, and Liquefied Petroleum Gas (LPG) is used as the fuel for the experiments. The experiments investigated the thermal efficiency and heat transfer characteristics occurring within the steam boiler furnace to determine the optimum operating conditions of the steam boiler equipped with an automatic flow and temperature control system for the Steam Hydrogasification process. The system features vertically stacked tubes heated by a gas burner. The study also examined the air supply rate and recorded the air preheating temperature before the air entered the steam boiler. These data were used to determine the optimum operating conditions of the vertically stacked water-tube steam generator. In addition, the thermal efficiency resulting from the incorporation of porous materials was analyzed to improve the thermal performance of the steam-generation system, thereby achieving the highest possible efficiency and suitable operating conditions for the process. The experimental results showed that the optimum excess air levels for the vertically stacked water-tube steam generator were investigated at 0%, 5%, 10%, 15%, and 20%. The test conducted at an excess air level of 15% achieved the highest thermal efficiency of 65.75%.The study also investigated the effect of incorporating porous materials on the thermal efficiency of the vertically stacked water-tube steam generator, with the aim of increasing its thermal efficiency. The porous materials used were steel hex nuts in sizes M8, M10, and M12, with 8 kg of each size tested. The results showed that the M8 porous material at 8 kg was the most suitable for practical use and increased the thermal efficiency to 80.98%. It was also capable of retaining heat for a longer period compared with the system without porous material. In contrast, the M10 and M12 porous materials had larger gaps between the individual pieces, resulting in a smaller effective surface area for heat absorption. This consequently affected the thermal efficiency and steam production rate of the system.

Keywords: Steam Boiler, Water-Tube Boiler, Boiler Efficiency Enhancement

CITATIONINFORMATION: GLABSUNGNEON,W.,&GLABSUNGNEON,A. (2006). Appropriate Characteristices For The Performance Of a Prototype Steam Boiler With Automatic Fluid-Flow And Temperature Control In The Steam Hydrogasification Process. *Procedia of Multidisciplinary Research, 4(9), 88.*

ลักษณะที่เหมาะสมสำหรับประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบหม้อต้มไอน้ำด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติของไหลและอุณหภูมิในกระบวนการ Steam Hydrogasification

วัชรินทร์ กลับสูงเนิน[1], อธิบดี กลับสูงเนิน[1]

1 สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

; Watcharin@tistr.or.th (ผู้ประพันธ์บรรณกิจ)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบหม้อต้มไอน้ำด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติของไหลและอุณหภูมิในกระบวนการ Steam Hydrogasification รวมถึงศึกษากระบวนการของหม้อต้มไอน้ำแบบท่อน้ำ คือ หม้อต้มไอน้ำแบบท่อน้ำ (Water Tube Boiler) หม้อต้มไอน้ำชนิดนี้จะมีน้ำไหลอยู่ภายในท่อ และมีก๊าซร้อนจากเปลวไฟวิ่งอยู่ภายนอกท่อ เพื่อถ่ายเทความร้อนให้น้ำเดือดกลายเป็นไอน้ำ แล้วเปลี่ยนเป็นไอน้ำทันทีโดยมีถังเป็นอุปกรณ์ผลิตไอน้ำแบบท่อน้ำ ซึ่งมีท่อวางซ้อนตั้งตรงในแนวตั้ง ที่มีขนาดกะทัดรัด หรือมีค่ากำลังการผลิตไอน้ำต่อน้ำหนักสูง การศึกษาเชิงทดลองเบื้องต้นเกี่ยวกับสมรรถนะของเครื่องต้นแบบหม้อต้มไอน้ำด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติของไหลและอุณหภูมิในกระบวนการ Steam Hydrogasification ซึ่งประกอบด้วยชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อเรียงซ้อนกันในแนวตั้ง วางซ้อนกัน 2 ชั้น ชั้นใน 22 ท่อน ชั้นนอก 28 ท่อน รวมจำนวน 50 ท่อน โดยแต่ละชุดทำด้วยท่อสแตนเลสไร้ตะเข็บขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 12.6 มิลลิเมตร ความหนาท่อที่ 2.3 มิลลิเมตร ความสูงในแนวตั้งของท่อ 580 มิลลิเมตร โดยที่ห้องเผาไหม้จะมีการวางหัวเผาเชื้อเพลิงแก๊ส (Gas Burner) จำนวน 1 หัว การทดสอบใช้แก๊สหุงต้ม (LPG) เป็นเชื้อเพลิง

โดยการทดสอบจะศึกษาค่าประสิทธิภาพทางความร้อนและการแผ่ความร้อน ที่เกิดขึ้นภายในเตาหม้อต้มไอน้ำที่เหมาะสมของเครื่องต้นแบบหม้อต้มไอน้ำด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติของไหลและอุณหภูมิในกระบวนการ Steam Hydrogasification ลักษณะท่อเรียงซ้อนกันในแนวตั้ง มีการให้ความร้อนที่หัวเผาไหม้ และศึกษาอัตราการป้อนอากาศ เก็บข้อมูลของอุณหภูมิการอุ่นอากาศก่อนเข้าหม้อต้มไอน้ำ เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องต้นแบบหม้อต้มไอน้ำแบบท่อน้ำเรียงซ้อนกันในแนวตั้ง และทำการวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพทางความร้อน อันเนื่องมาจากการใส่วัสดุพรุน เพื่อให้ระบบผลิตไอน้ำมีประสิทธิภาพสูงที่สุด และเหมาะสมในกระบวนการทำงาน

จากผลการทดสอบพบว่าการศึกษาค่าอากาศส่วนเกิน (Excess Air) ที่เหมาะสมของเครื่องต้นแบบหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำเรียงซ้อนกันในแนวตั้ง ที่ 0, 5, 10, 15, 20 % โดยการทดสอบที่ค่าอากาศส่วนเกิน (Excess Air) เท่ากับ 15% ให้ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนได้ดีที่สุดเท่ากับ 65.75% และการศึกษาหาประสิทธิภาพทางความร้อน อันเนื่องมาจากการใส่วัสดุพรุน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนให้สูงขึ้นของเครื่องต้นแบบหม้อต้มไอน้ำแบบท่อน้ำเรียงซ้อนกันในแนวตั้ง และศึกษาการเพิ่มค่าประสิทธิภาพทางความร้อนจากวัสดุพรุน ชนิดของวัสดุพรุนเป็นหัวน็อตเหล็กตัวเมีย ขนาด M8 M10 และM12 จำนวนขนาดละ 8 kg โดยการทดสอบชนิดของวัสดุพรุน ที่ M8 ที่ 8 kg มีความเหมาะสมในการใช้งานจริง และให้ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนเพิ่มสูงขึ้นเท่ากับ 80.98% สามารถกักเก็บความร้อนไว้ได้นานกว่าแบบไม่ใส่วัสดุพรุน แต่ในวัสดุพรุนที่ขนาด M10 และM12 มีช่องว่าง ทำให้มีพื้นผิวในการรับความร้อนที่น้อยกว่า จึงส่งผลต่อประสิทธิภาพทางความร้อน และอัตราการผลิตไอน้ำ

คำสำคัญ: หม้อต้มไอน้ำ, หม้อต้มไอน้ำแบบท่อ, การเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

ข้อมูลการอ้างอิง: วัชรินทร์ และ อธิบดี. (2569). ลักษณะที่เหมาะสมสำหรับประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบหม้อต้มไอน้ำด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติของไหลและอุณหภูมิในกระบวนการ Steam Hydrogasification. *Procedia of Multidisciplinary Research, 4(9), 88.*

บทนำ

กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันเป็นกระบวนการการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน ที่ใช้เปลี่ยนรูปเชื้อเพลิงแข็งให้อยู่ในรูปแก๊สที่ใช้เผาไหม้ได้ โดยใช้ผลิตแก๊ส ซึ่งมีการป้อนออกซิเจน อากาศ หรือไอน้ำ ซึ่งใช้เป็นตัวออกซิไดซ์ ในปริมาณที่จำกัดเข้าสู่กระบวนการผลิตแก๊ส แก๊สที่ได้จากกระบวนการผลิตนั้นเรียกว่า แก๊สผลิตภัณฑ์ ซึ่งประกอบไปด้วย แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สไฮโดรเจน แก๊สมีเทน แก๊สไนโตรเจน นอกจากนี้ยังได้ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ การผลิตแก๊สโดยใช้อากาศเป็นตัวออกซิไดซ์นั้น จะทำให้เชื้อเพลิงที่ได้มีปริมาณของ N_2 ในปริมาณสูง ทำให้ค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้มีค่าต่ำประมาณ 4.7 - 5.2 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการวิจัยร่วมโครงการชุดเพื่อสร้างเครื่องต้นแบบหม้อต้มไอน้ำด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติของไหลและอุณหภูมิในกระบวนการ Steam Hydrogasification เพื่อใช้กับเครื่องต้นแบบระบบผลิตแก๊สสังเคราะห์คุณภาพสูงด้วยกระบวนการ Steam Hydrogasification โดยใช้ไอน้ำหรือออกซิเจนเป็นตัวออกซิไดซ์ จะทำให้ได้แก๊สเชื้อเพลิงที่มีปริมาณของ H_2 และ CH_4 สูง ซึ่งทำให้ค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้มีค่าความร้อนสูงกว่าการใช้อากาศเป็นสารออกซิแดนท์ โดยมีค่าความร้อนประมาณ 10-15 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร เนื่องด้วย Steam Hydrogasification แบบเดิมที่ใช้งานทั่วไป มีขนาดที่ใหญ่ หาส่วนผสมปริมาณที่พอดี และสัดส่วนที่พอดีเหมาะสมได้ยาก ทั้งอัตราการป้อนเชื้อเพลิง และอัตราการไหลของอากาศ แก๊ส น้ำ ไอน้ำ รวมถึงอุณหภูมิที่เหมาะสม และการวัดอุณหภูมิที่จุดต่างๆ เพื่อเช็คและแสดงผล ล้วนต้องใช้แรงงานในการเฝ้าติดตามและบันทึกผล อีกทั้งด้วยขนาดของปฏิกรณ์ทั่วไปมีขนาดใหญ่จึงต้องใช้แรงงานในการปีนขึ้นลงเพื่อ เปิด-ปิด และปรับระดับวาล์ว ต้องระวังเรื่องความปลอดภัยในขณะทำงาน และต้องอาศัยความชำนาญงาน เพื่อปรับและควบคุมการทำงาน ในการเติมส่วนผสมในจุดต่างๆ ดังนั้นเพื่อเป็นการพัฒนาไปอีกขั้น จึงมีแนวคิดในการนำเทคโนโลยีระบบควบคุมอัตโนมัติ ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นระบบควบคุมอัตโนมัติในการควบคุมอัตราการป้อนเชื้อเพลิงและอัตราการไหลของอากาศ แก๊ส น้ำ ไอน้ำ ซึ่งทำการวัดและควบคุมอุณหภูมิเก็บข้อมูล ประมวลผล และแสดงผลแบบต่อเนื่อง ด้วยระบบอัตโนมัติ นับเป็นการนำเทคโนโลยีของระบบควบคุมอัตโนมัติมาประยุกต์ใช้งานกับระบบ Down Draft Gasification ในการเพิ่มประสิทธิภาพ สามารถใช้งานง่าย ไม่จำเป็นต้องอาศัยแรงงานที่มีความรู้และประสบการณ์ด้านนี้โดยตรง ในระบบมีความสม่ำเสมอ แม่นยำ ใช้แรงงานในการปฏิบัติงานน้อย ซึ่งมีระบบอัตโนมัติในการควบคุมการใช้งานในส่วนต่างๆ ของเครื่องปฏิกรณ์ และควบคุมการเติมจ่ายของเหลว และอากาศในสัดส่วนที่เหมาะสมในแต่ละช่วงของอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ เป็นการลดต้นทุนค่าแรงงาน มีความปลอดภัยในการใช้งาน เหมาะสำหรับกลุ่มผู้ผลิตเตาเผาไหม้ชีวมวล กลุ่มโรงงานเซรามิก และกลุ่มไฟฟ้าชีวมวล เพื่อแก้ปัญหาและนำเทคโนโลยีไปใช้เป็นเครื่องมือในการลดต้นทุนในการผลิตในภาคอุตสาหกรรม ที่มีความทันสมัยสามารถควบคุมประสิทธิภาพการผลิต ใช้งานได้ง่าย ลดปัญหาการขาดแคลนแรงงาน การใช้พลังงานทดแทนในชุมชน นอกจากนี้ยังเป็นการส่งเสริมงานวิจัยและพัฒนาภายในประเทศ ลดการนำเข้าเครื่องจักรที่มีราคาสูงจากต่างประเทศ ส่งเสริมการวิจัยและเทคโนโลยีภายในประเทศไทย

การทบทวนวรรณกรรม

รองศาสตราจารย์ ดร.กองพล อารีรักษ์ และคณะ (2560).งานวิจัยนี้นำเสนอระบบการควบคุมอัตโนมัติของปั๊มน้ำหรับไร่มันสำปะหลัง โดยระบบควบคุมดังกล่าวจะทำการการควบคุมอัตราการไหลของน้ำภายในท่อ โดยอาศัยการควบคุมความเร็ว รอบมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสของปั๊มน้ำ ด้วยตัวควบคุมแบบพัซซี ซึ่งโดยทั่วไปการควบคุมอัตราการไหลของน้ำจะอาศัยการปรับวาลว์ ซึ่งการควบคุมอัตราการไหลด้วยวิธีดังกล่าว มีการใช้พลังงาน ไฟฟ้าที่มากเกินความจำเป็นอีกทั้งในกรณีที่วาล์วน้ำเกิดความเสียหายอาจส่งผลให้อัตราการไหลมี ค่ามากเกินความเป็นจริง ซึ่งจะส่งผลให้แรงดัน น้ำเพิ่มสูงขึ้น และทำให้ท่อเกิดความเสียหายได้ นอกจากนี้ในงานวิจัยได้นำเทคโนโลยีทางด้านระบบเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้เป็นแหล่งพลังงาน สำหรับระบบควบคุมอัตโนมัติของปั๊มน้ำ สำหรับไร่มันสำปะหลัง ดังนั้นจึงทำให้ระบบควบคุมอัตโนมัติดังกล่าวสามารถใช้ได้ในทุกพื้นที่ทางการเกษตรของประเทศไทย โดยงานวิจัยนี้ได้มีการนำเสนอการออกแบบพิกัดปั๊มน้ำระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และชุดวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสของปั๊มน้ำรวมถึงวิธีการออกแบบตัวควบคุม สำหรับการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ จากผลการทดสอบจริง พบว่าระบบควบคุมที่

นำเสนอในงานวิจัยสามารถควบคุมอัตราการไหลให้มี ค่าคงที่ตามที่ต้องการได้อย่างมีประสิทธิผล และเมื่อทำการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าเปรียบเทียบ ระหว่างกรณีการควบคุมด้วยวาล์วกับระบบการควบคุมอัตโนมัติที่อัตราการไหลค่าเดียวกันพบว่าการควบคุมอัตราการไหลด้วยระบบการควบคุมอัตโนมัติมีการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า
สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์ และคณะ (2550). จากการศึกษาวิจัยพบว่า งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการไอน้ำ-แก๊สซิฟิเคชันอุณหภูมิสูง จากเชื้อเพลิงแกลบ ในแก๊สซิไฟเออร์ชนิดเบดหยุดนิ่งเปลวไฟไหลลง โดยได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ ในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่ากระบวนการไอน้ำ-แก๊สซิฟิเคชันที่อุณหภูมิสูงใน ช่วง 600-1,200 องศาเซลเซียส ของเชื้อเพลิงแกลบ ณ สภาวะอัตราการป้อนเชื้อเพลิง 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตราการป้อนไอน้ำ 11.7 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และเชื้อเพลิงมีค่าความชื้น 11% จะให้องค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ CO 10-16%โมล. CO_2 10-16%โมล. CH_4 3-5%โมล. H_2 5-25%โมล. และค่าความร้อน แรงดันต่ำของก๊าซผลิตภัณฑ์ มีค่าอยู่ในช่วง 3,900-6,600 กิโลจูลต่อนิวตันเมตร ซึ่งสูงพอ สำหรับการเดินเครื่องยนต์แก๊ส สำหรับการผลิตไฟฟ้า ท้ายที่สุดผลจากแบบจำลอง แสดงว่าประสิทธิภาพของกระบวนการ ไอน้ำ – แก๊สซิฟิเคชัน ที่อุณหภูมิสูงจากเชื้อเพลิงแกลบในเตาแก๊สซิไฟเออร์ชนิดเบดหยุดนิ่งเปลวไฟไหลลงมีค่าอยู่ในช่วง 60-83% โดยมีค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่ อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาค่าอากาศส่วนเกิน (Excess Air) ที่เหมาะสมของเครื่องต้นแบบหม้อต้มไอน้ำแบบท่อน้ำเรียงซ้อนกันในแนวตั้ง ที่ 0, 5, 10, 15, 20 เปอร์เซ็นต์ หาค่าประสิทธิภาพทางความร้อนได้ดีที่สุดจากการทดลอง
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องต้นแบบหม้อต้มไอน้ำ ในขณะที่ใส่วัสดุพรุนที่ขนาดต่างๆ ชนิดของวัสดุพรุน เป็นหัวน็อตเหล็กตัวเมีย ขนาด M8 M10 และM12 จำนวนขนาดละ 8 kg
3. เพื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบลักษณะการกระจายตัวทางความร้อนของอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการศึกษา

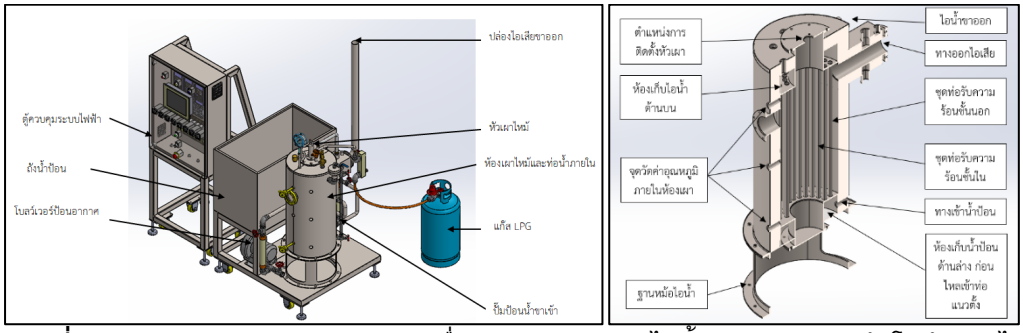
1. เขียนแบบเครื่องต้นแบบหม้อต้มไอน้ำพร้อมระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ
2. วิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทิศทางการเคลื่อนที่ของความร้อน และความแข็งแรง การรับแรงในส่วนต่างๆ ของตัวโครงสร้าง และส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องจักรเพื่อดำเนินการสร้าง
3. สร้างและประกอบเครื่องต้นแบบหม้อต้มไอน้ำพร้อมระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ
4. ทดลองใช้งานจริง
5. ทำการเก็บข้อมูลจากการทดสอบ และทำการปรับแก้ในส่วนต่างๆ ของเครื่องจักร เพื่อหาประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักรให้เหมาะสมที่สุด
6. ทดสอบการใช้งานจริงหลังการปรับปรุงเครื่องจักร
7. สรุปผลการวิจัยและทำรายงานการวิจัย

ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาและทดสอบหาค่าที่เหมาะสมของอากาศส่วนเกิน (Excess Air) ที่เหมาะสมของเครื่องต้นแบบหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำเรียงซ้อนกันในแนวตั้ง ที่ 0, 5, 10, 15, 20 เปอร์เซ็นต์ หาค่าประสิทธิภาพทางความร้อนที่ดีที่สุดจากการทดลอง กำหนดอัตราแก๊สป้อนขาเข้าคงที่ ที่ 0.75 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (คำนวณจากขนาดของหม้อไอน้ำ กำหนอการป้อนน้ำขาเข้าแบบลูกลอยเพื่อรักษาระดับน้ำภายในถังให้คงที่
2. ศึกษาและเปรียบเทียบผลประสิทธิภาพทางความร้อนของหม้อต้มไอน้ำ ในขณะที่ใส่วัสดุพรุนที่ขนาดต่างๆ เป็นหัวน็อตเหล็กตัวเมีย ขนาด M8 M10 และM12 จำนวนขนาดละ 8 kg เท่ากันทุกขนาด ซึ่งชนิดของวัสดุพรุนเป็นเหล็กชุบซิงค์

3. ศึกษาและเปรียบเทียบผลการทดสอบลักษณะการกระจายตัวทางความร้อนของอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ โดยกำหนดการวัดอุณหภูมิห้องเผาไหม้ 3 จุด, ค่าของอุณหภูมิไอเสีย 1 จุด, ค่าของอุณหภูมิไอน้ำ 1 จุด, ค่าของอุณหภูมิอากาศป้อน 2 จุด, ซึ่งวัดโดย Thermocouple Type R และ Type K โดยบันทึกผลด้วย Data Logger

การออกแบบเครื่องต้นแบบหม้อต้มไอน้ำ และระบบควบคุมอัตโนมัติของไหลและอุณหภูมิในกระบวนการ Steam hydrogasification



ภาพที่ 1 แบบสามมิติส่วนประกอบของเครื่องต้นแบบหม้อต้มไอน้ำ ระบบควบคุมอัตโนมัติของไหลและอุณหภูมิในกระบวนการ Steam Hydrogasification และส่วนประกอบของท่อภายในห้องเผาไหม้



ภาพที่ 2 ต้นแบบเครื่องต้นแบบหม้อต้มไอน้ำ และระบบควบคุมอัตโนมัติของไหลและอุณหภูมิในกระบวนการ Steam hydrogasification

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องต้นแบบหม้อต้มไอน้ำ
2. ระบบควบคุมไอน้ำ และของไหล แบบอัตโนมัติ
3. ตราชั่ง
4. แอมมิเตอร์
5. แก๊ส LPG
6. ดาต้าล็อกเกอร์

ผลการวิจัย

การทดสอบโดยจะทำการแบ่งงานวิจัยและทดสอบออกเป็น 3 ส่วน โดยกำหนดให้สามารถผลิตแก๊สสังเคราะห์ ดังนี้

ส่วนที่ 1. เพื่อทดสอบหาอัตราการป้อนอากาศส่วนเกินขาเข้าที่เหมาะสมสำหรับเครื่องต้นแบบหม้อต้มไอน้ำแบบท่อน้ำเรียงซ้อนกันในแนวตั้ง ที่ 0, 5, 10, 15, 20 เปอร์เซ็นต์ หาค่าประสิทธิภาพทางความร้อนได้ดีที่สุดจากการทดลอง ที่ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ โดยไม่ส่งผลให้ความร้อนภายในเตาลดลง กำหนดอัตราแก๊สป้อนขาเข้าคงที่ ที่

0.75 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (คำนวณจากขนาดของหม้อต้มไอน้ำ กำหนอการป้อนน้ำขาเข้าแบบลูกลอยเพื่อรักษาระดับน้ำภายในถังให้คงที่

ส่วนที่ 2. เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพทางความร้อนของหม้อต้มไอน้ำในขณะที่ใส่วัสดุพรุนที่ขนาดต่างๆ เป็นหัวน็อตเหล็กชุบตัวเมีย ขนาด M8 M10 และM12 จำนวนขนาดละ 8 kg เท่ากันทุกขนาด ซึ่งชนิดของวัสดุพรุนเป็นเหล็กชุบซิงค์

ส่วนที่ 3. เพื่อวัดค่าเปรียบเทียบการกระจายตัวทางความร้อนที่เกิดขึ้นภายในหม้อต้มไอน้ำ และสังเกตลักษณะการกระจายตัวทางความร้อนของอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ โดยกำหนดการวัดอุณหภูมิห้องเผาไหม้ 3 จุด ตำแหน่งบนสุดของห้องเผาไหม้ ตำแหน่งกลางของห้องเผาไหม้ และตำแหน่งล่างสุดของห้องเผาไหม้, ค่าของอุณหภูมิไอเสีย 1 จุด, ค่าของอุณหภูมิไอน้ำ 1 จุด, ค่าของอุณหภูมิอากาศป้อน 1 จุด, ซึ่งวัดโดย Thermocouple Type R และ Type K โดยบันทึกผลด้วย Data Logger

ตารางที่ 1 การทดสอบหาอัตราการป้อนอากาศส่วนเกินขาเข้าที่เหมาะสมสำหรับเครื่องต้นแบบหม้อต้มไอน้ำแบบท่อน้ำเรียงซ้อนกันในแนวตั้ง ที่ 0, 5, 10, 15, 20 เปอร์เซ็นต์ หาค่าประสิทธิภาพทางความร้อนได้ดีที่สุดจากการทดลอง ที่ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ โดยไม่ส่งผลให้ความร้อนภายในหม้อต้มไอน้ำลดลง กำหนดอัตราแก๊สป้อนขาเข้าคงที่ ที่ 0.75 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (คำนวณจากขนาดของหม้อไอน้ำ) กำหนดการป้อนน้ำขาเข้าแบบลูกลอยเพื่อรักษาระดับน้ำภายในถังให้คงที่ ซึ่งจะทำการทดสอบให้ไอน้ำระเหยออก ที่แรงดันบรรยากาศที่ 1.01325 กิโลปาสคาล และวัดปริมาณน้ำป้อนที่ลดลงเทียบกับเวลาในการทดสอบ ใช้เวลาในการทดสอบ 20 นาทีต่อรอบการทดสอบ โดยเริ่มนับเวลาตั้งแต่สภาวะความร้อนคงตัว(Steady state) สังเกตจากอุณหภูมิที่ดาต้าล็อกเกอร์

ครั้งที่	ค่าอากาศส่วนเกิน	อัตราป้อนเชื้อเพลิง LPG	อัตราป้อนอากาศ	อุณหภูมิอากาศป้อน	อุณหภูมิน้ำป้อน	อัตราการผลิตไอน้ำ	ประสิทธิภาพทางความร้อน
	(%)	(Kg/h)	(Kg/h)	(°C)	(°C)	(Kg/h)	(%)
1	0	0.75	11.63	43.1	25	7.83	57.59
2	5	0.74	12.21	44.0	25	8.24	61.42
3	10	0.75	12.79	44.0	25	8.52	62.66
4	15	0.76	13.37	44.0	25	9.06	65.75
5	20	0.75	13.95	44.7	25	8.68	63.84

จากตารางที่ 1 ผลการทดสอบพบว่าเครื่องต้นแบบหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำเรียงซ้อนกันในแนวตั้ง ในการหาอัตราการป้อนอากาศส่วนเกินขาเข้า ที่เหมาะสมสำหรับเครื่องต้นแบบหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำเรียงซ้อนกันในแนวตั้ง ที่ 0, 5, 10, 15, 20 เปอร์เซ็นต์ หาค่าประสิทธิภาพทางความร้อนได้ดีที่สุดจากการทดลอง ที่ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ โดยไม่ส่งผลให้ความร้อนภายในเตาลดลง กำหนดอัตราแก๊สป้อนขาเข้าคงที่ ที่ 0.75 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (คำนวณจากขนาดของหม้อไอน้ำ กำหนดการป้อนน้ำขาเข้าแบบลูกลอย เพื่อรักษาระดับน้ำภายในถังให้คงที่ จากข้อมูลการทดลองพบว่าที่การหาอัตราการป้อนอากาศส่วนเกินขาเข้าเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์ อากาศป้อนที่ 13.37 กิโลกรัมต่อชั่วโมง สามารถผลิตไอน้ำได้ดีที่สุดที่ 9.06 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อันเนื่องมาจากการที่ทำการป้อนอากาศส่วนเกินที่มากหรือน้อยเกินไปจะส่งผลต่อค่าทางความร้อน ในกรณีที่อากาศส่วนเกินน้อยจะส่งผลให้ค่าความร้อนที่ได้ต่ำ ถ้าอากาศส่วนเกินที่มากเกินไปจะทำให้อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากสูญเสียค่าทางความร้อนไปยังขาออกของไอเสียเร็วเกินไป ทำให้ท่อน้ำในห้องเผาไหม้ ไม่สามารถรับความร้อนไปที่ผนังท่อได้อย่างเต็มที่

ตารางที่ 2 การทดสอบหาประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องต้นแบบหม้อต้มไอน้ำ ในขณะที่ใส่วัสดุพรุนที่ 3 ขนาด เป็นหัวน็อตเหล็กชุบตัวเมีย ขนาด M8 M10 และM12 จำนวนขนาดละ 8 kg เท่ากันทุกขนาด ซึ่งชนิดของวัสดุพรุนเป็นเหล็กชุบซิงค์ โดยเลือกอัตราการป้อนอากาศส่วนเกินที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 1 ที่อากาศส่วนเกิน 15 เปอร์เซ็นต์ และอากาศป้อนที่ 13.37 กิโลกรัมต่อชั่วโมง กำหนดอัตราแก๊สป้อนขาเข้าคงที่ ที่ 0.75 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (คำนวณจากขนาดของหม้อไอน้ำ) กำหนดการป้อนน้ำขาเข้าแบบลูกลอยเพื่อรักษาระดับน้ำภายในถังให้คงที่ ซึ่งจะทำการทดสอบให้ไอน้ำระเหยออกที่แรงดันบรรยากาศที่ 1.01325 กิโลปาสคาล และวัดปริมาณน้ำป้อนที่ลดลงเทียบกับเวลาในการทดสอบ ใช้เวลาในการทดสอบ 20 นาทีต่อรอบการทดสอบ โดยเริ่มนับเวลาตั้งแต่สภาวะความร้อนคงตัว(Steady state) สังเกตจากอุณหภูมิที่ดาต้าล็อกเกอร์

ครั้งที่	วัสดุพรุน	อัตราป้อนเชื้อเพลิง LPG	อัตราป้อนอากาศ	อุณหภูมิอากาศป้อน	อุณหภูมิน้ำป้อน	อัตราการผลิตไอน้ำ	ประสิทธิภาพทางความร้อน
	(Kg)	(Kg/h)	(Kg/h)	(°C)	(°C)	(Kg/h)	(%)
1	M8	0.76	13.37	44.2	25	10.95	80.98
2	M10	0.74	13.37	43.7	25	10.24	75.71
3	M12	0.76	13.37	43.6	25	9.82	70.34

จากตารางที่ 2 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องต้นแบบหม้อต้มไอน้ำ ในขณะที่ใส่วัสดุพรุนที่ 3 ขนาด เป็นหัวน็อตเหล็กชุบตัวเมีย ขนาด M8 M10 และM12 จำนวนขนาดละ 8 kg เท่ากันทุกขนาด ซึ่งชนิดของวัสดุพรุนเป็นเหล็กชุบซิงค์ พบว่าการเพิ่มค่าประสิทธิภาพทางความร้อนจากวัสดุพรุน ชนิดของวัสดุพรุนเป็นหัวน็อตเหล็กตัวเมีย ขนาด M8 M10 และM12 จำนวนขนาดละ 8 kg ที่เท่ากัน โดยการทดสอบชนิดของวัสดุพรุน ที่ M8 ที่ 8 kg มีความเหมาะสมในการใช้งานจริง และให้ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนเพิ่มสูงขึ้นเท่ากับ 80.98% สามารถกักเก็บความร้อนไว้ได้นานกว่าแบบไม่ใส่วัสดุพรุน แต่ในวัสดุพรุนที่ขนาด M10 และM12 มีช่องว่างในการเรียงตัวที่มากกว่า ส่งผลทำให้มีพื้นผิวในการรับความร้อนที่น้อยกว่า จึงทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อน และอัตราการผลิตไอน้ำน้อยกว่า



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 7 วัสดุพรุนหัวน็อตเหล็กชุบตัวเมียเหล็กชุบซิงค์ (ก) M8, (ข) M10 (ค) M12

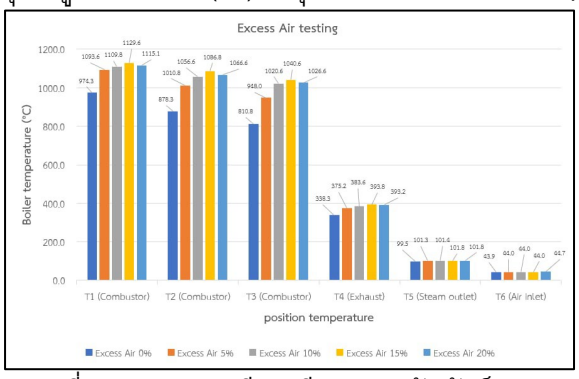
ส่วนที่ 3 กราฟแสดงการทดสอบวัดค่าเปรียบเทียบการกระจายตัวทางความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเครื่องต้นแบบหม้อต้มไอน้ำ และสังเกตลักษณะการกระจายตัวทางความร้อนของอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ โดยกำหนดการวัดอุณหภูมิเผาไหม้ 2 จุด, ค่าของอุณหภูมิไอเสีย 1 จุด, ค่าของอุณหภูมิไอน้ำ 1 จุด, ค่าของอุณหภูมิอากาศป้อน 1 จุด, ค่าของอุณหภูมิน้ำป้อน 1 จุด, ซึ่งวัดโดย Thermocouple Type R และ Type K โดยบันทึกผลด้วย Data Logger

กราฟที่ 1 และ 2 แสดงการวัดค่าเปรียบเทียบการกระจายตัวทางความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเครื่องต้นแบบหม้อต้มไอน้ำ และสังเกตลักษณะการกระจายตัวทางความร้อนของอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ทั้ง 2 กรณี จากการทดลองก่อนหน้า ดังนี้

กรณีที่ 1. การวัดค่าการกระจายตัวทางความร้อนภายในห้องเผาไหม้จากการทดลองที่ 1 ทำการวัดอุณหภูมิการกระจายตัวทางความร้อนที่การทอสอบหาอัตราการป้อนอากาศส่วนเกินขาเข้าที่เหมาะสมสำหรับเครื่องต้นแบบหม้อต้มไอน้ำแบบท่อน้ำเรียงซ้อนกันในแนวตั้ง ที่ 0, 5, 10, 15, 20 เปอร์เซ็นต์

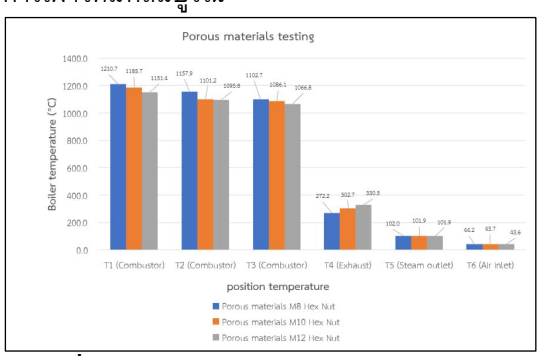
กรณีที่ 2 การวัดค่าการกระจายตัวทางความร้อนภายในห้องเผาไหม้จากการทดลองที่ 2 ทำการวัดอุณหภูมิการกระจายตัวทางความร้อนของการทดสอบหาประสิทธิภาพทางความร้อนของหม้อต้มไอน้ำในขณะที่ใส่วัสดุพรุนที่ขนาดต่าง ๆ ในขณะที่ใส่วัสดุพรุนที่ขนาดต่าง ๆ เป็นหัวน็อตเหล็กชุบตัวเมีย ขนาด M8 M10 และM12 จำนวนขนาดละ 8 kg เท่ากันทุกขนาด ซึ่งชนิดของวัสดุพรุนเป็นเหล็กชุบซิงค์

โดยกำหนดการวัดอุณหภูมิเผาไหม้ 3 จุด 1.ตำแหน่งหัวเผาไหม้(T1) 2.บนสุดของห้องเผาไหม้(T2) และ3.ตำแหน่งหัวเผาไหม้ล่างสุดของห้องเผาไหม้(T3), ค่าของอุณหภูมิไอเสีย(T4) 1 จุด, ค่าของอุณหภูมิไอน้ำ(T5) 1 จุด, ค่าของอุณหภูมิอากาศป้อน(T6) 1 จุด, ซึ่งวัดโดย Thermocouple Type R และ Type K โดยบันทึกผลด้วย Data Logger



กราฟที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในห้องเผาไหม้เทียบกับการวัดค่าทางความร้อนของอากาศส่วนเกิน ที่ 0, 5, 10, 15, 20 เปอร์เซ็นต์ เพื่อหาค่าที่เหมาะสมสำหรับเครื่องต้นแบบหม้อต้มไอน้ำ

จากกราฟที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และอากาศส่วนเกินที่แตกต่างกันดังนี้ ที่ 0, 5, 10, 15, 20 เปอร์เซ็นต์ ภายในห้องเผาไหม้ ทำการเก็บข้อมูลการวัดค่าทางความร้อนที่เกิดขึ้นภายใน เพื่อศึกษาค่าประสิทธิภาพทางความร้อนที่เพิ่มขึ้น จากกราฟพบว่า ที่อากาศส่วนเกิน 15 เปอร์เซ็นต์ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนได้ดีกว่า เนื่องจากความร้อนในห้องเผาไหม้มีอัตราส่วนของอากาศที่พอดี ซึ่งทำให้ค่าทางความร้อนเพิ่มขึ้น หรือเรียกว่าการเผาไหม้ที่สมบูรณ์



กราฟที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในห้องเผาไหม้เทียบกับการวัดค่าทางความร้อนเมื่อใส่วัสดุพรุนที่เป็นหัวน็อตที่ขนาด M8 M10 และM12

จากกราฟที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการใส่วัสดุพรุนขนาดที่แตกต่างกันดังนี้ M8 M10 และM12 ภายในห้องเผาไหม้ ทำการเก็บข้อมูลการวัดค่าทางความร้อนที่เกิดขึ้นภายใน เพื่อศึกษาค่าประสิทธิภาพทางความร้อนที่เพิ่มขึ้น จากกราฟพบว่า ที่การใส่วัสดุพรุนขนาดวัสดุพรุนที่ M8 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนได้ดีกว่า

เนื่องจากมีพื้นที่ผิวในการรับความร้อน และแผ่รังสีความร้อนได้ดี ซึ่งมีช่องว่างระหว่างการเรียงตัวของวัสดุพรุนที่น้อยว่าวัสดุพรุนขนาดอื่นๆ ที่ M 10 และ M12 ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีการใช้วัสดุพรุน (Porous Materials) ในการกักเก็บความร้อนและเพิ่มพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific Surface Area) เกี่ยวข้องกับทฤษฎีทางอุณหพลศาสตร์ การถ่ายเทความร้อน และจลนศาสตร์ของไหล โดยมีหลักการสำคัญ คือ พื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific Surface Area) คืออัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวทั้งหมดของวัสดุต่อมวลหรือปริมาตร ส่งผลให้อัตราการแลกเปลี่ยนและการกักเก็บความร้อนเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

การคำนวณประสิทธิภาพทางความร้อนของหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ ด้วยวิธีทางตรง (Direct Method) ที่อัตราการผลิตไอน้ำ 11.25 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

$$\eta_{boiler} = \frac{\dot{m}_s\,(h_s - h_w)}{\dot{m}_f\,.\,LHV} \times 100$$

ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ	= η_{boiler}
มวลของไอน้ำ	= 11.25 kg/h
เอนทัลปีของน้ำป้อน (25 °C)	= 125.74 kJ/kg
เอนทัลปีของไอน้ำ (100 °C)	= 2675.60 kJ/kg
ปริมาณเชื้อเพลิง (LPG)	= 0.76 kg/h
ค่าความร้อนต่ำของแก๊สหุงต้ม (LPG)	= 46,607 kJ/kg

$$\eta_{boiler} = \frac{11.25(2675.60 - 125.74)}{0.76 \times 46607} \times 100$$

$= 80.98\ \%$

หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำสามารถดึงพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้แก๊สแก๊ส (LPG) มาเปลี่ยนเป็นพลังงานสะสมในไอน้ำได้ 80.98% ส่วนพลังงานที่เหลืออีก 19.02% เกิดจากการสูญเสียความร้อนในระบบ เช่น สูญเสียไปกับแก๊สไอเสีย (Flue Gas Loss) สูญเสียความร้อนผ่านผนังหม้อไอน้ำ (Radiation and Convection Loss)

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ผลสรุปและอภิปรายผลการวิจัยพบว่า เครื่องต้นแบบหม้อต้มไอน้ำด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติของไหลและอุณหภูมิในกระบวนการ Steam Hydrogasification ได้ค่าประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีที่สุดจากการทดสอบและการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในระหว่างการทดลองในขั้นตอนต่างๆ ที่การเก็บข้อมูลจากดาต้าล็อกเกอร์ คือ ค่าอากาศส่วนเกิน (Excess Air) ที่เหมาะสมเท่ากับ 15% ให้ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนได้ดีที่สุดเท่ากับ 65.75% สามารถเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนได้ดีกว่า เนื่องจากความร้อนในห้องเผาไหม้มีอัตราส่วนของอากาศที่พอดี ซึ่งทำให้ค่าทางความร้อนเพิ่มขึ้น หรือเรียกว่าการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ และการศึกษาหาประสิทธิภาพทางความร้อน อันเนื่องมาจากการใส่วัสดุพรุน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนให้สูงขึ้นของเครื่องต้นแบบหม้อต้มไอน้ำ และศึกษาการเพิ่มค่าประสิทธิภาพทางความร้อนจากวัสดุพรุน ชนิดของวัสดุพรุนเป็นหัวน็อตเหล็กตัวเมีย ขนาด M8 M10 และM12 จำนวนขนาดละ 8 kg โดยการทดสอบชนิดของวัสดุพรุน ที่ M8 ที่ 8 kg มีความเหมาะสมในการใช้งานจริง การใส่วัสดุพรุนที่ขนาด M8 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนได้ดีกว่า เนื่องจากมีพื้นที่ผิวในการรับความร้อน และแผ่รังสีความร้อนได้ดี ซึ่งมีช่องว่างระหว่างการเรียงตัวของวัสดุพรุนที่น้อยกว่าวัสดุพรุนขนาดอื่นๆ ที่ M10 และ M12 และให้ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนเพิ่มสูงขึ้นเท่ากับ 80.98% สามารถกักเก็บความร้อนไว้ได้นานกว่าแบบไม่ใส่วัสดุพรุน แต่ในวัสดุพรุนที่ขนาด M10 และM12 มีช่องว่าง ทำให้มีพื้นผิวในการรับความร้อนที่น้อยกว่า จึงส่งผลต่อประสิทธิภาพทางความร้อน และอัตราการผลิตไอน้ำ แต่โดยรวมจาการทดสอบพบว่าการใส่วัสดุพรุนในทุกๆ ขนาด มีอัตราส่วนในการเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนภายในห้องเผาไหม้ได้มากขึ้น

ข้อเสนอแนะที่ได้รับจากการวิจัย

ต้นแบบระบบควบคุมอัตโนมัติของไหลและอุณหภูมิในกระบวนการ Steam hydrogasification ที่มีความน่าสนใจในการพัฒนาต่อ ให้สามารถใช้งานได้กับงานหลากหลายประเภทมากขึ้น ด้วยต้นทุนในด้านพลังงานที่ไม่สิ้นสุด เหมาะสำหรับต่อยอดทั้งทางภาคอุตสาหกรรม และเกษตร เนื่องจากเป็นพลังงานสะอาดที่สามารถเป็นพลังงานทดแทนได้ อีกทั้งยังให้พลังงานความร้อนที่สูง ได้แก๊สสังเคราะห์ที่มีคุณภาพสูง ลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และน้ำมัน

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

สามารถทำการวิจัยและพัฒนาต่อยอดในด้านการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบควบคุมอัตโนมัติของไหลและอุณหภูมิในกระบวนการ Steam hydrogasification ให้มีประสิทธิภาพทางความร้อนที่สูงขึ้น สามารถผลิตไอน้ำได้อย่างรวดเร็ว และสามารถนำไปผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าที่สามารถใช้ทดแทนพลังงานไฟฟ้าสำหรับใช้ในครัวเรือนได้ต่อไป หรือใช้งานสำหรับภาคอุตสาหกรรมที่ต้องการความร้อนจากไอน้ำ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (ววน.) ปีงบประมาณ พ.ศ. 2568–2569

เอกสารอ้างอิง

ณัฐนี วรยศ, ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, และ กิติพงศ์ นาคภักดี. (2563). การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อต้มไอน้ำสำหรับการเผาขยะชุมชน. *วารสารวิจัยพลังงาน*, *8*(1), 12-25.

ณัฐพล พันธุ์สมบูรณ์. (2564). การเพิ่มประสิทธิภาพการเตรียมเชื้อเพลิงขยะสำหรับหม้อต้มไอน้ำฟลูอิดไดซ์เบด. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, และ สมชาย อินทร์ตา. (2561). การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์สำหรับหม้อต้มไอน้ำขนาดเล็ก. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, *26*(4), 589-601.

พีรพล สมบูรณ์. (2567). การเพิ่มประสิทธิภาพการเตรียมเชื้อเพลิงขยะสำหรับหม้อต้มไอน้ำฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนเวียน. *วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย*, *38*(1), 45-56.

ธีรวัฒน์ เพชรช่วย, และคณะ. (2567). การลดการสูญเสียความร้อนจากผนังเตาหม้อไอน้ำด้วยการหุ้มฉนวนในอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน. *วารสารสมาคมสิ่งแวดล้อมไทย*, 28(2), 11-20.

สมชาย เจริญสุข. (2565). การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อต้มไอน้ำอุตสาหกรรมขนาดเล็ก. วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม, *15*(2), 45-58. examplejournal.com

Martinez, R., et al. (2022). Deep reinforcement learning optimal control strategy for temperature setpoint real-time reset in multi-zone building HVAC and boiler plants. *International Journal of Thermal* Sciences, 176, 107-119.

Mithun, K., & Smith, J. (2024). Effect of high-temperature applications on the superheater and economizer sections of an industrial boiler. *Journal of Metals, Materials and Minerals*, *34*(2), 102-115. doi.org

Smith, J., & Wang, L. (2025). The Impact of Automation on Cycle Time Reduction: Insights from PLC Programming in Manufacturing. *Journal of Industrial Automation*, 18(1), 45-59.

Wang, H., & Zhang, Y. (2025). Predicting and optimizing industrial boiler efficiency via explainable AI. *Energy Optimization and Management*, *18*(3), 204-218. doi.org

Data Availability Statement: The raw data supporting the conclusions of this article will be made available by the authors, without undue reservation.

Conflicts of Interest: The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Publisher's Note: All claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors and the reviewers. Any product that may be evaluated in this article, or claim that may be made by its manufacturer, is not guaranteed or endorsed by the publisher.



Copyright: © 2026 by the authors. This is a fully open-access article distributed under the terms of the Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).