

Abstract

This Project was aimed at developing and studying of two novel modifications of a conical fluidized-bed combustor ensuring high-efficiency and environmentally friendly combustion of rice husk, one of the most viable biomass fuels in Thailand.

In the first part of the Project, an advanced 400-kW_{th} conical fluidized-bed combustor (FBC) was tested for firing Thai rice husk at variable operating conditions. Compared to its predecessor (a pilot 350-kW_{th} conical FBC showing 96% combustion efficiency for firing rice husk), the advanced combustor included some geometrical and design modifications aimed at improving the combustion efficiency and emission performance of the reactor. Differences between the air distributors and $\Delta p-u$ diagrams (accounting for the total pressure drop across the air distributor and gas–solid fluidized bed) for the two reactors (pilot and advanced) are discussed. Axial temperature and gas concentration (O₂, CO and NO_x) profiles in the combustors were compared for similar operating conditions (excess air and heat release rate per unit cross-sectional area). At excess air of 40–60%, the bed temperature in the advanced conical FBC was substantially, by about 180 °C, higher than that in the pilot combustor, mainly, due to better fuel–air mixing and higher residence time of reactants. Formation and decomposition of CO and NO in the bed region as well as in the freeboard of the two conical FBCs showed different trends under similar operating conditions. At excess air of 40–60%, CO emission from the advanced conical FBC was found to be much (7–8 times) lower than that from the pilot combustor, while NO_x emissions were represented by almost the same values. High (over 99%) combustion efficiency is achievable when firing rice husk in the advanced 400 kW_{th} conical FBC for the range of excess air.

In the second part of the Project, a novel conical swirling fluidized-bed combustor (SFBC) using an annular spiral air distributor was designed, assembled and tested with the aim to determine hydrodynamic, combustion and emission characteristics. The special “cold-state” experiments showed an existence of four operating regimes of a gas–solid swirling fluidized bed. Based on the results from the “cold” hydrodynamic study, optimal bed characteristics (sand particle size and the bed height), as well as the range of the primary air flowrate, were determined prior to the combustion tests. During the combustor operation, primary air was introduced through an annular spiral distributor at the combustor base, while secondary air was tangentially injected into the splash zone of the reactor. Radial and axial temperature and gas (O₂, CO, NO) concentration profiles in the conical SFBC were investigated at a fixed fuel feed rate for variable (i) excess air (from 20% to 80%), (ii) secondary-to-primary air ratio (from 0.26 to 0.75) and (iii) fuel-moisture content (from of 8.4% to 35%) for characterization of the pollutants in different regions of the reactor. In the tests for variable fuel properties, “as-received” rice husk was moisturized to control NO formation. As revealed by the experimental study on the SFBC, through moisturizing “as-received” rice husk, NO emission from the combustor can be substantially reduced, while CO emission is effectively controlled by secondary air injected into the combustor over the swirling fluidized bed. Such a system allowed achieving quite effective least-cost control of both NO and CO in this combustor, securing, however, very high (over 99%) combustion efficiency when firing “as-received” and moisturized rice husk. Compared to the pilot conical FBC operated under similar conditions, the combustion efficiency of the conical SFBC fired with rice husk is sensibly higher (by about 3%), while CO emission is reduced to rather lower levels.

Keywords: Fluidized-bed combustor; Hydrodynamics; Combustion efficiency; Emissions

บทนำ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาและศึกษาเตาเผาฟลูอิดไธด์เบดทรงกรวยแบบใหม่สองชนิด เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยใช้เกลบซึ่งเป็นหนึ่งในชีวมวลที่มีศักยภาพมากในประเทศไทยเป็นเชื้อเพลิงในการทดสอบ

ในส่วนแรกของโครงการ เตาเผาฟลูอิดไธด์เบดทรงกรวยขั้นสูง ขนาด 400-kW_{th} ได้ถูกนำมาใช้ในการทดลองในสภาวะต่างๆ ซึ่งเตาเผาชนิดดังกล่าวนี้ได้ถูกพัฒนาและปรับปรุงมาจากเตาเผาฟลูอิดไธด์เบดทรงกรวยต้นแบบโดยเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น (ขนาด 350-kW_{th} ประสิทธิภาพการเผาไหม้ 96% ทดสอบโดยใช้เกลบเป็นเชื้อเพลิง) การวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างหวักระจ่ายลมและ $\Delta p-u$ ไคอะแกรม (หมายรวมถึงแรงดันตกคร่อมหวักระจ่ายลมและเบดที่เป็นของแข็ง) ของทั้งสองเตาเผา (เตาต้นแบบ และเตาขั้นสูง) ได้ถูกวิเคราะห์ในงานส่วนนี้ โปรไฟล์อุณหภูมิตลอดความสูงของเตาและโปรไฟล์ความเข้มข้นของก๊าซ (ออกซิเจน, คาร์บอนมอนนอกไซด์ และ ไนโตรเจนออกไซด์) ที่เกิดขึ้นภายในเตาทั้งสองชนิดจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับได้เงื่อนไขการทดสอบเดียวกัน (ได้แก่ ปริมาณอากาศส่วนเกิน และอัตราการปลดปล่อยความร้อนต่อพื้นที่ตัดขวางของเตา) ในการทดสอบที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 40–60%, อุณหภูมิของเบดในเตาเผาขั้นสูงจะสูงกว่าในเตาเผาต้นแบบอยู่ ประมาณ 180 °C โดยสามารถอธิบายได้จากการที่เตาเผาขั้นสูงมีการผสมกันของเชื้อเพลิงและอากาศดีกว่า อีกทั้งเวลาในการเผาไหม้นานกว่าเตาเผาต้นแบบ การฟอร์มตัวและการสลายตัวของ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ และ ก๊าซไนตริกออกไซด์ ในบริเวณต่างๆ ของทั้งสองเตา แสดงผลลัพธ์ที่แตกต่างกันทั้ง ๆ ที่ทดสอบในเงื่อนไขเดียวกัน การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่วัดตรงทางออกไซโคลนของเตาเผาขั้นสูงมีค่าน้อยกว่าที่วัดได้จากเตาเผาต้นแบบถึง 7-8 เท่า ขณะที่ การปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่วัดตรงทางออกไซโคลน ของเตาทั้งสองมีค่าค่อนข้างที่จะใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามค่าประสิทธิภาพในการเผาไหม้สูงกว่า 99% ซึ่งถือว่าเป็นค่าประสิทธิภาพในการเผาไหม้ที่ค่อนข้างสูงสามารถประสบความสำเร็จในการเผาไหม้เกลบในเตาเผาขั้นสูงในสภาวะต่างๆ ของการทดลองนี้

ในส่วนที่สองของโครงการ เตาเผาแบบใหม่ชนิดหมุนวนได้ถูกออกแบบ เพื่อทำให้เกิดการหมุนวนของเบดภายในเตา พร้อมทั้งสร้างและทดสอบ โดยใช้ตัวกระจายลมแบบใบพัด ซึ่งการทดสอบจะประกอบด้วย การทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมของอากาศ-เบด (ไม่มีการเผาไหม้) และ การทดสอบการเผาไหม้พร้อมทั้งเก็บข้อมูลมลพิษที่เกิดขึ้น จากการทดสอบที่ไม่มีการเผาไหม้ พบว่าพฤติกรรมของอากาศ-เบด ที่หมุนวน ถูกแบ่งออกเป็น 4 ช่วง และจากทั้งหมดนี้ ทำให้สามารถกำหนด ขนาดของเบด ความสูงของเบด และ ช่วงอัตราการไหลของอากาศปฐมภูมิ เพื่อนำมาใช้ในการทดสอบการเผาไหม้ ซึ่งในการทดสอบอากาศปฐมภูมิจะถูกจ่ายผ่านหวักระจ่ายลมแบบใบพัดซึ่งติดตั้งอยู่ด้านล่างของเตา ขณะที่อากาศทุติยภูมิ จะถูกจ่ายเข้าในแนวเส้นสัมผัสเตาเข้าสู่พื้นที่เผาไหม้ซึ่งอยู่สูงกว่าบริเวณด้านล่างเตาเล็กน้อย การเก็บข้อมูลของโปรไฟล์อุณหภูมิและความเข้มข้นของก๊าซ (ออกซิเจน, คาร์บอนมอนนอกไซด์ และ ไนโตรเจนออกไซด์) ในเตาเผาแบบหมุนวน จะทำทั้งตลอดความสูงและตลอดพื้นที่ตัดขวางเตา เมื่อทำการทดสอบที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงคงที่ แต่ เปลี่ยนแปลงค่าปริมาณอากาศส่วนเกิน (จาก 20% ถึง 80%) เปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนอากาศทุติยภูมิ (จาก 0.26 ถึง 0.75) และ เปลี่ยนแปลงค่าความชื้นของเชื้อเพลิง (จาก 8.4% ถึง 35%) ซึ่งจากการทดสอบพบว่า เมื่อเพิ่มความชื้นในเกลบจะทำให้สามารถลดการปลดปล่อยไนตริกออกไซด์ ได้อย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่ การปลดปล่อยคาร์บอนมอนนอกไซด์ สามารถควบคุมโดยการจ่ายอากาศทุติยภูมิเข้าไปในส่วนบริเวณเหนือเบดเล็กน้อย ทำให้ทราบว่าการเผาไหม้แบบหมุนวนนี้สามารถลดการปลดปล่อยมลพิษได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงกว่า 99% เมื่อเผาไหม้เกลบที่มีความชื้นทั่วไปและเมื่อเพิ่มความชื้นเกลบ เมื่อทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการเผาไหม้แบบหมุนวนกับผลจากการเผาไหม้ในเตาเผาต้นแบบ ภายใต้เงื่อนไขการเผาไหม้เดียวกัน พบว่า เตาเผาหมุนวนมีประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงขึ้นกว่า 3% ขณะที่ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ลดลงในระดับค่อนข้างต่ำ

Keywords: เตาเผาชนิดฟลูอิดไธด์เบด; ไฮโดรไดนามิก; ประสิทธิภาพในการเผาไหม้; มลภาวะ