

การทดสอบสมรรถนะเตาเผาขยะแบบไอเสียวกกลับ The Performance Test of an Incinerator with Loopback Exhaust

ธนาพล สุขชนะ

ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการถ่ายโอนความร้อน
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยปทุมธานี จ.ปทุมธานี 12000
*ติดต่อ: E-mail: Ton0019@hotmail.com., Tel.: +66-2975-6999; fax: +66-2979-6728.

บทคัดย่อ

การศึกษาทดสอบสมรรถนะของเตาเผาขยะขนาดเล็กแบบไอเสียวกกลับ เพื่อทดสอบความสามารถในการเผาไหม้และประสิทธิภาพในการเผาไหม้ของเตาเผา ที่ออกแบบสร้างให้มีการหมุนวากกลับของไอเสียภายในห้องเผาไหม้ผ่านเปลวไฟก่อนออกทางปล่องควัน โดยมีโครงสร้างเตาเผาขยะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมทำด้วยเหล็กเหนียว หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนชนิดเส้นใยเซรามิกส์ (Ceramic fiber) ทดสอบการเผาไหม้โดยเติมอากาศด้วยหลักการปรากฏการณ์ปล่องควัน (Chimney effect) และป้อนขยะเข้าเตาเผาด้วยระบบลำเลียงแบบสกรู เพื่อหาอัตราการป้อนและสมรรถนะการเผาไหม้ที่เหมาะสมกับการออกแบบ ผลการทดสอบพบว่าการวากกลับของไอเสีย และรังผึ้งสะสมความร้อนช่วยทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ขึ้น โดยเตาเผาขยะมีประสิทธิภาพในการเผาไหม้ดีเมื่อเผาขยะในอัตรา 50 kg/h โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยของไอเสียเท่ากับ 790 °C

คำหลัก: เตาเผาขยะ, รังผึ้ง, ก๊าซติดไฟ, ปล่องควัน, ระบบลำเลียงแบบสกรู

Abstract

This research aims to investigate the performance of an Incinerator with loopback exhaust gas. The loopback exhaust gas is an incinerator designed. The exhaust gas will be flow through the flame and leaving to the chimney. The incinerator fabricated from mild steel with the Rectangular shape covered by the ceramic fiber insulation. The chimney effect is an aeration system of the incinerator performance tests and the solid waste feeding with screw conveyor. The feeding rate and burning performance that it suit of the incinerator design were investigated. The results showed that the loopback exhaust gas and heat accumulator of honeycomb affect to the higher level of incinerator efficiency. While the high performance of an incinerator optimum with 50 kg/h of the solid waste feeding rate. Moreover, it was also found that the average temperature of exhaust gas is 790 °C.

Keywords: Incinerator, Honeycomb, Fuel gas, Chimney, Screw conveyor

ETM-134

1. บทนำ

การกำจัดขยะด้วยวิธีการเผาทำลาย เป็นวิธีหนึ่งที่เหมาะสมกับชุมชนขนาดเล็ก การเผาขยะด้วยเตาเผาขนาดใหญ่นั้นจะต้องลงทุนสูง รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการเผาสูง เตาเผาขยะขนาดเล็กจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ยั่งยืน ซึ่งมีผู้วิจัยได้ศึกษาด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเผาทำลายขยะ ดังเช่น

การศึกษาด้านสมรรถนะการเผาขยะ [1] ออกแบบและสร้างเตาเผาขยะ โดยมีประสิทธิภาพในการเผาทำลายขยะแห้งได้สูงสุด 94.5%, [2] พัฒนาเตาเผาขยะมูลฝอยสำหรับชุมชนขนาดเล็ก ที่มีอัตราการเผาทำลายเฉลี่ย 114 kg/h, [3] ได้ทดสอบและประเมินสมรรถนะเตาเผาขยะ รวมทั้งการจัดการกับขยะชุมชนสามารถเผาทำลายขยะได้ในอัตรา 184 kg/h โดยมีอุณหภูมิไอเสียเฉลี่ยประมาณ 691 °C,

การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม [4] ศึกษาการออกแบบเตาเผาขยะที่มีการปล่อยมลพิษ PCDDs (Polychlorinated dibenzo-dioxins) และ PCDFs (Polychlorinated dibenzo-furans) ต่ำ โดยห้องเผาไหม้ที่สองช่วยให้ PCDDs/PCDFs ลดลง, [5] ได้ศึกษาเปรียบเทียบเตาเผาขยะมูลฝอยเทศบาลแบบ fluidized bed และแบบ Stoker ผลการศึกษาพบว่าเตาเผาแบบ fluidized bed มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า, [6] ได้พบว่าการเผาไหม้ของเตาเผาขยะขนาดเล็กมีการก่อตัวของสารเคมีที่เป็นพิษ รวมทั้งสารไดออกซินสูง โดยเฉพาะกับการเผาขยะที่มีส่วนประกอบของพลาสติกที่มีคลอรีน หรือการเผาไหม้ของทองแดง

นอกจากนี้ ยังมีผู้วิจัยที่นำเสนอเทคโนโลยีในการกำจัดขยะ หลักการออกแบบเตาเผา การใช้ประโยชน์จากผลผลิตในการเผาไหม้ [7] นำเสนอแนวทางการจัดการขยะชุมชนแบบครบวงจร เริ่มจากคัดแยกขยะ ผังกลบ ทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง ทำโรงไฟฟ้าที่ใช้พลังงานจากการเผาขยะ, [8] เสนอการแปรรูปเป็นพลังงานในรูปแบบต่างๆ รวมทั้งสารปรับปรุงดิน ปุ๋ยอินทรีย์หมัก, [9] พบว่าเตาเผาขยะทางการแพทย์ หรือขยะติดเชื้อในแอฟริกาใต้ ต้นทุนค่าใช้จ่ายต่ำสามารถเผาทำลาย

ขยะติดเชื้อได้เป็นอย่างดี แต่ยังมีมลพิษสูงกว่าเตาเผาเชิงพาณิชย์ขนาดใหญ่, [10] นำเสนอการออกแบบเตาเผาแบบ fluidized bed ที่จะต้องคำนึงถึงหลักการไฮโดรพลศาสตร์ (ความเร็วและการผสม) ความร้อน (สมดุลความร้อน) การเคลื่อนไหวยากภายใน (อัตราการเกิดปฏิกิริยาและการเผาไหม้), [11] ได้ศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพของซีเมนต์จากเตาเผาขยะ เพื่อประโยชน์ทางการก่อสร้าง, [12] ได้ศึกษาการกู้คืนพลังงานความร้อนของเตาเผาขยะ โดยที่สามารถกู้คืนพลังงานความร้อนจากไอเสียได้ 15 – 20%

จากงานวิจัยต่างๆ จะเห็นได้ว่าการกำจัดขยะด้วยวิธีการเผาทำลายได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จนเป็นเทคโนโลยีการกำจัดขยะ การเผาทำลายขยะที่ดีนั้นควรจะต้องมีการคัดแยก และเผาทำลายเฉพาะขยะที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งจะช่วยให้มลพิษจากการเผาทำลายลดน้อยลงไปด้วย สำหรับแนวทางการวิจัยในครั้งนี้ มีเป้าหมายที่จะนำเอาพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาทำลายขยะ ไปใช้ประโยชน์ในการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยที่เตาเผาขยะจะต้องใช้พลังงานหรือเชื้อเพลิงให้น้อยที่สุด และมีความสามารถในการเผาขยะได้อย่างต่อเนื่อง จึงออกแบบสร้างเตาเผาให้มีกระบวนการในการเผาไหม้ไอเสียด้วยตัวเองได้เพื่อให้เกิดความสมบูรณ์ในการเผาไหม้ พร้อมทั้งทดสอบเพื่อหาอัตราการป้อนขยะ ที่เหมาะสมกับขนาดของเตาเผา และอัตราส่วนของขนาดต่างๆ ในการออกแบบ

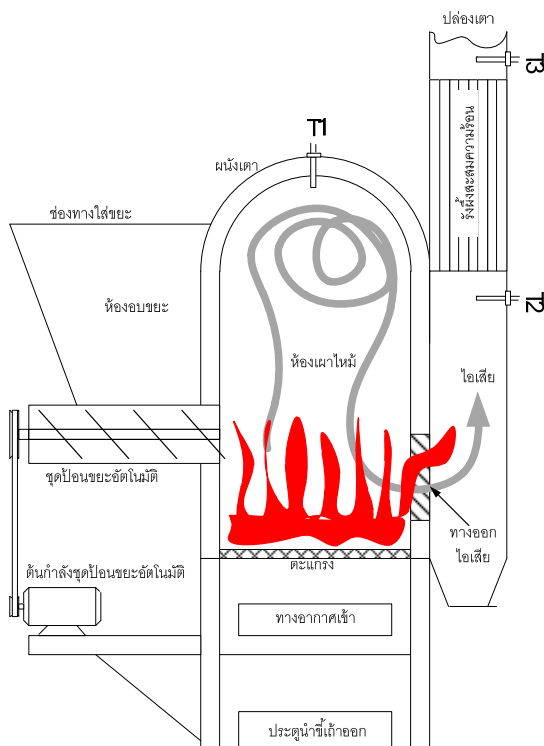
2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 เตาเผาแบบไอเสียวกกลับ

รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบของเตาเผาขยะขนาดเล็กแบบไอเสียวกกลับ ซึ่งประกอบด้วยโครงสร้างเตาทำด้วยเหล็กเหนียวหนา 4 mm มีขนาดห้องเผาไหม้ (กว้าง x ยาว x สูง) เท่ากับ 0.5 x 0.5 x 1.0 m ทุกด้านของผนังเตาหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน ที่ทำจากเส้นใยเซรามิกส์ หนา 75 mm ส่วนบนห้องเผาไหม้โค้งครึ่งวงกลมรัศมี 0.25 m ภายในปล่องไอเสียประกอบด้วย รังผึ้งทำมาจากท่อเหล็กเหนียวสี่เหลี่ยม

ETM-134

ขนาด 25.4 mm ยาว 1 m ปากปล่องคว้นสูงกว่าระดับพื้นดินเท่ากับ 6 m โดยมีทางออกไอเสียขนาด 0.25 เท่าของพื้นที่ภาคตัดห้องเผาไหม้ ห้องอบขยะสามารถบรรจุขยะได้ครั้งละ 60 liter โดยที่ผนังห้องเผาไหม้ด้านที่ติดกับห้องอบขยะไม่มีการหุ้มฉนวน เพื่อให้ทำความร้อนสามารถแผ่รังสีเข้าไปในห้องอบขยะได้ และป้อนขยะเข้าเตาเผาด้วยระบบลำเลียงแบบสกรู



รูปที่ 1 ลักษณะของเตาเผาขยะแบบไอเสียวกกลับ

2.2 การทดลองและเงื่อนไขการทดลอง

วัตถุประสงค์ในการออกแบบเตาเผาขยะให้มีรูปร่างดังรูปที่ 1 เพื่อทำให้เกิดการเผาไหม้ของไอเสียได้ด้วยตัวเอง โดยไม่ต้องมีหัวเผาสำหรับเผาไอเสียซ้ำเพื่อลดมลพิษก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ สำหรับการทดสอบสมรรถนะ และประสิทธิภาพในการเผาไหม้ของเตาเผา กำหนดให้อัตราการป้อนขยะคงที่เท่ากับ 30, 40, 50, 60 และ 70 kg/h วัดอุณหภูมิด้วย เทอร์โมคัปเปิลชนิด K (Thermocouple type K) และบันทึกอุณหภูมิด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิแบบตัวเลข (Data logger) โดย

มีการวัดอุณหภูมิของไอเสีย 3 ตำแหน่งคือ T1, T2 และ T3 ดังรูป เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การเผาไหม้ และวัดอุณหภูมิของผนังเตาเผาด้านนอกโดยรอบด้านละ 2 ตำแหน่ง ในตำแหน่งกึ่งกลางของด้านกว้างและสูงจากแนวตะแกรง 30 cm และ 75 cm เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์การสูญเสียความร้อน ที่ผ่านทางผนังเตาเผาโดยรอบ เริ่มทำการทดสอบด้วยการเผาขยะแห้งก่อนเป็นเวลาประมาณ 20 min เพื่อให้ผนังเตาและรังผึ้งภายในปล่องเก็บสะสมความร้อนพร้อมสำหรับการเผาไหม้อย่างต่อเนื่องได้ด้วยตัวเอง และหลังจากนั้นก็จะสามารถเผาขยะทั่วไป หรือขยะที่มีความชื้นสูงได้โดยผ่านการผึ่งในที่โล่งอย่างน้อย 1 วัน ผสมกับขยะแห้งในอัตราส่วน 1 : 1 โดยมวล ในการเตรียมขยะเผาแต่ละครั้งจะมีการผสมขยะ ในปริมาณที่เพียงพอสำหรับหนึ่งเงื่อนไขในการทดลอง ซึ่งขยะส่วนใหญ่เป็นขยะที่เกิดขึ้นภายในมหาวิทยาลัยปทุมธานี ที่มีส่วนประกอบใกล้เคียงกัน การตรวจสอบและการวิเคราะห์คุณภาพในการเผาไหม้ขยะนั้น ใช้วิธีการวิเคราะห์จากอุณหภูมิในการเผาไหม้ และจากการวัดปริมาณส่วนประกอบของไอเสียด้วยเครื่องวัดก๊าซมลพิษของไอเสีย เพื่อใช้วิเคราะห์การเผาไหม้ ด้วยปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO), ก๊าซไนตริกออกไซด์ (NO, NO_x) ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของไอเสีย ที่สามารถชี้บ่งถึงการเผาไหม้ที่สมบูรณ์หรือไม่สมบูรณ์ได้

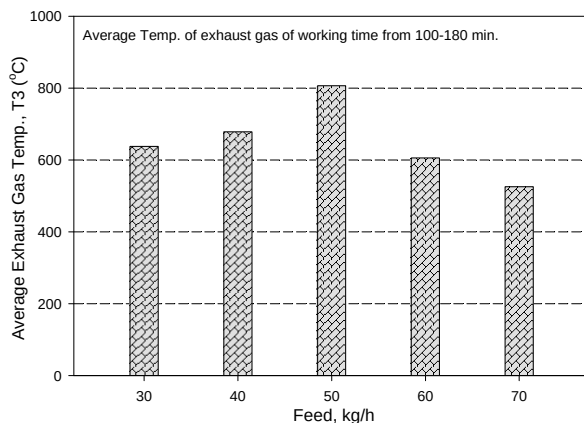
3. ผลการทดลอง

3.1 สมรรถนะการเผาไหม้

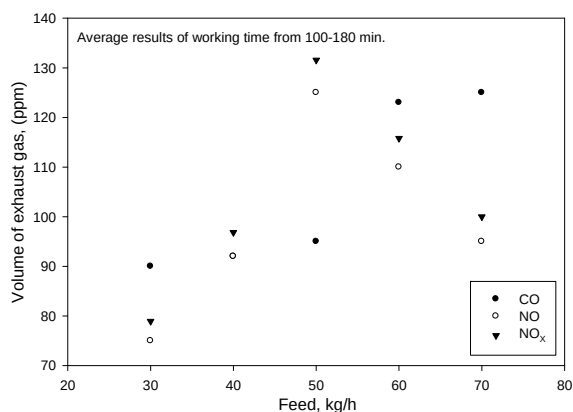
รูปที่ 2 แสดงอุณหภูมิของไอเสีย T3 โดยทำการทดสอบการเผาต่อเนื่อง 180 min ด้วยอัตราการป้อนขยะคงที่ 30, 40, 50, 60 และ 70 kg/h จากรูปจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิไอเสียสูงขึ้นเมื่ออัตราการป้อนขยะสูงขึ้น และเริ่มลดลงเมื่ออัตราการป้อนขยะสูงกว่า 50 kg/h ทั้งนี้เนื่องจากการเติมอากาศเข้าภายในเตาเผา เพื่อใช้ในการเผาไหม้นั้น ได้อาศัยหลักการปรากฏการณ์ของปล่องคว้น (Chimney effect) โดยมีขนาดทางเข้าคงที่ จึงเป็นผลทำให้มีปริมาณอากาศมากเกินไป เมื่ออัตราการป้อนขยะน้อย และอากาศมีไม่เพียงพอต่อการเผาไหม้

ETM-134

เมื่ออัตราการป้อนขยะสูงเกินความเหมาะสม จะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ขึ้น โดยสามารถวิเคราะห์ได้จากอุณหภูมิของไอเสีย สำหรับคุณภาพในการเผาไหม้สามารถพิจารณาได้จาก ปริมาณของก๊าซ CO_2 , CO , NO , NO_x โดยเมื่อเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะมีปริมาณของก๊าซ CO_2 สูง และ CO ต่ำ สำหรับก๊าซพิษ ดังรูปที่ 3 แสดงเฉพาะปริมาณก๊าซ CO , NO และ NO_x จากรูปจะเห็นได้ว่าปริมาณก๊าซ CO สูงขึ้นเมื่ออัตราการป้อนขยะมากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากอัตราส่วนระหว่างเชื้อเพลิง (ขยะ) ต่ออากาศเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณก๊าซ NO และ NO_x สูงขึ้นเมื่ออัตราการป้อนขยะมากขึ้น และเริ่มลดลงเมื่ออัตราการป้อนขยะมากกว่า 50 kg/h ทั้งนี้เป็นเพราะก๊าซ NO และ NO_x จะเกิดขึ้นได้เมื่ออุณหภูมิในการเผาไหม้สูง



รูปที่ 2 อุณหภูมิไอเสีย T3 เมื่ออัตราการป้อนขยะแตกต่างกัน



รูปที่ 3 ปริมาณก๊าซ CO , NO และ NO_x เมื่ออัตราการป้อนขยะแตกต่างกัน

3.2 ประสิทธิภาพการเผาไหม้

การทดสอบประสิทธิภาพ ในการเผาไหม้ของเตาเผาขยะ ทดสอบด้วยอัตราการป้อนขยะคงที่เท่ากับ 50 kg/h ซึ่งจากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าอัตราการป้อนขยะดังกล่าว ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่าอัตราการป้อนอื่นๆ โดยพิจารณาได้จากอุณหภูมิของไอเสียจากการเผาไหม้ จากการทดสอบการเผาไหม้พิจารณาหาประสิทธิภาพในการเผาไหม้ (Burning Efficiency, η_{burn}) จากอัตราส่วนของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ต่อคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยสมการที่ 1 [3] คำนวหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนรวม จากการเผาไหม้ของเตาเผาทั้งระบบ (Thermal Efficiency, η_{th}) ด้วยสมการที่ 2 และพิจารณาการสูญเสียความร้อนของห้องเผาไหม้ (Heat loss) โดยใช้สมการที่ 3 ซึ่งพบว่าอัตราการสูญเสียความร้อนที่ผ่านผนังเตาโดยรอบรวมเฉลี่ยเท่ากับ 4.2 kW ทั้งนี้ไม่รวมพลังงานความร้อนที่สูญเสียไปกับขี้เถ้าและในส่วนของปล่องไอเสีย

$$\eta_{burn} = 1 - \frac{\text{CO}}{\text{CO}_2} \quad (1)$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{q_{ex}}{q_{in}} \quad (2)$$

$$q_{loss} = \frac{2\pi L k \Delta T}{\ln(r_2 / r_1)} + \frac{k A \Delta T}{\Delta X} \quad (3)$$

โดยที่

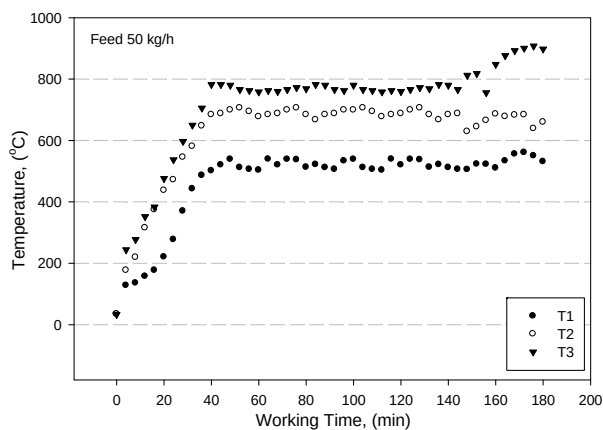
$$q_{in} = \dot{m} c_p \Delta T$$

$$q_{ex} = \rho A V c_p \Delta T$$

รูปที่ 4 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ (T1) อุณหภูมิไอเสียที่ออกจากห้องเผาไหม้ (T2)

ETM-134

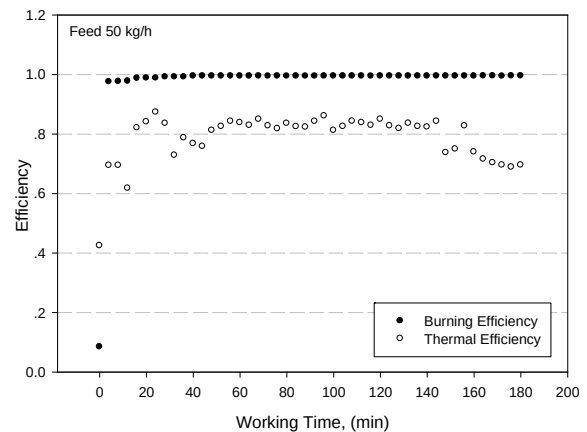
และอุณหภูมิไอเสียที่ผ่านรังผึ้งสะสมความร้อน (T3) จะเห็นว่าอุณหภูมิทั้ง 3 ตำแหน่งถึงจุดสูงสุดเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 50 min โดยมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 520, 680 และ 790 °C ตามลำดับ ซึ่งอุณหภูมิไอเสียของเผาแบบธรรมดา [2] เท่ากับ 691 °C ซึ่งผลของอุณหภูมิที่สูงขึ้นแสดงให้เห็นว่า เกิดการเผาไหม้ก๊าซติดไฟที่เป็นส่วนประกอบของไอเสีย ขึ้นในส่วนบริเวณทางออกของไอเสียจากห้องเผาไหม้ และมีการเผาไหม้อย่างต่อเนื่องในส่วนของรังผึ้งสะสมความร้อน โดยมีอุณหภูมิสูงเพียงพอ ในการเผาไหม้ก๊าซติดไฟได้ด้วยอุณหภูมิประมาณ 650°C [3] ซึ่งก๊าซติดไฟส่วนใหญ่ประกอบด้วย CO, H₂ และ CH₄



รูปที่ 4 อุณหภูมิ T1, T2 และ T3 ระหว่างการทดสอบการเผาไหม้ต่อเนื่องเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนรวมในการเผาไหม้ (η_{burn} และ η_{th}) ดังรูปที่ 5 พบว่าประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยเท่ากับ 99.3% และ 79.4% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า η_{th} และมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิของไอเสียสูงขึ้น เพราะเกิดการสูญเสียความร้อน ออกไปกับการแผ่รังสีความร้อนของไอเสีย ระหว่างการเคลื่อนที่ผ่านปล่องควันที่ไม่มี การหุ้มฉนวน รวมทั้งการสูญเสียความร้อนไปกับซีเถ้าจากการเผาไหม้ จากผลการทดลองของ [3] พบว่าเตาเผามีประสิทธิภาพในการเผาไหม้เท่ากับ 99.95%

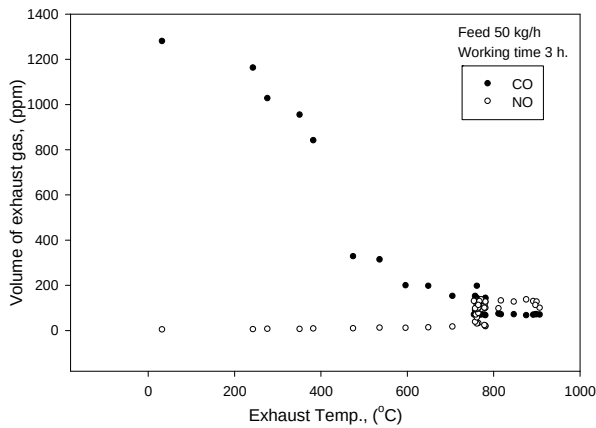
ซึ่งจะเห็นได้ว่า เตาเผามีประสิทธิภาพการเผาไหม้ไม่แตกต่างกันแต่อุณหภูมิของไอเสียที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพการเผาไหม้ η_{burn} และ η_{th}

พิจารณาปริมาณของก๊าซ CO และ NO เทียบกับอุณหภูมิของไอเสีย (T3) ดังรูปที่ 6 โดยการทดสอบด้วยอัตราการป้อนขยะคงที่ 50 kg/h เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าปริมาณก๊าซ CO มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิของไอเสียสูงขึ้น และ ปริมาณของก๊าซ NO มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิของไอเสียเพิ่มขึ้น มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 102 ppm และ 91 ppm ตามลำดับ ซึ่งปริมาณเฉลี่ยของก๊าซ CO และ NO อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน [13] ที่กำหนดเกณฑ์ในการควบคุมมลพิษไว้ไม่เกิน 110 ppm และ 250 ppm ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าผนังเตาเผายิ่งร้อน จะส่งผลให้การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น เพราะฉะนั้นการเผาไหม้ของเตาเผาที่ดีควรมีการเผาอย่างต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง

ETM-134



รูปที่ 6 แก๊ส CO และ NO เทียบกับอุณหภูมิไอเสีย

4. สรุปผลการทดลอง

การพัฒนาเตาเผาขยะขนาดเล็ก ให้มีประสิทธิภาพ เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยบรรเทาปัญหา ขยะล้น เมืองลงได้บ้าง รวมทั้งยังสามารถที่จะนำเอาพลังงาน จากการเผาไหม้กลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อีก จาก การศึกษาทดสอบการทำงานของเตาเผาขยะขนาดเล็ก แบบไอเสียวกกลับ โดยมีรังผึ้งสะสมความร้อนภายใน ปล่องควัน ผลจากการทดสอบพบว่า การวกกลับของ ไอเสียและรังผึ้งภายในปล่องควัน ช่วยทำให้เกิดการ เผาไหม้ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และสามารถที่จะรักษาระดับ อุณหภูมิของไอเสีย ซึ่งเป็นผลให้ส่วนประกอบของไอ เสียที่เป็นมลพิษลดลงได้มาก นอกจากนี้ยังพบว่าการ ออกแบบเตาเผาด้วยอัตราส่วนของขนาดต่างๆ มีผล ต่อสมรรถนะในการเผาทำลายขยะ โดยพบว่าเตาเผา ที่ทำการทดสอบ มีสมรรถนะในการเผาทำลายขยะได้ ดีในอัตรา 50 kg/h ซึ่งมีประสิทธิภาพในการเผาไหม้ เฉลี่ยประมาณ 99% และสามารถปล่อยพลังงานความ ร้อนออกทางปล่องควันเฉลี่ย 79%

ทั้งนี้ลักษณะในการออกแบบสร้าง ของเตาเผาขยะ ที่ใช้ในการวิจัย มีหลักการทำงานคล้ายคลึงกับ [1] ที่มี ประสิทธิภาพการเผาทำลายขยะได้ 94.5% โดยมีการ ทำงานในลักษณะไอเสียวกกลับเช่นกัน ซึ่งมีปล่อง ควันอยู่ตรงกึ่งกลางของเตาเผา จะทำให้การป้อนขยะ เข้าเตาเผาทำได้ยากและอันตรายมากกว่า เตาเผาที่มี ปล่องด้านข้าง และป้อนขยะเข้าเตาด้วยระบบลำเลียง ที่มีความต่อเนื่อง

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณอย่างจริงใจ ต่อห้องปฏิบัติการ เทคโนโลยีการถ่ายโอนความร้อน ภาควิชาวิศวกรรม เครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหา- วิทยาลัยปทุมธานี สำหรับการสนับสนุนทางการเงิน เทคโนโลยี และความช่วยเหลือทางด้านเทคนิคต่างๆ จนทำให้การศึกษาวิจัยในครั้งนี้เสร็จสิ้นสมบูรณ์

6. รายการสัญลักษณ์

6.1 สัญลักษณ์

A	พื้นที่ภาคตัด (m^2)
c_p	ค่าความจุความร้อนจำเพาะ ($kJ/kg.K$)
k	ค่าสภาพการนำความร้อน ($W/m.K$)
L	ความยาว (m)
$\dot{m}$	อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)
q	อัตราความร้อน, พลังงาน (W, kW)
r	รัศมี (m)
T	อุณหภูมิ ($^{\circ}C, K$)
V	ความเร็ว (m/s)
X	ความหนา (m)
Δ	ผลต่าง

6.2 สัญลักษณ์ตัวห้อย

in	เข้า
$loss$	สูญเสีย
ex	ไอเสีย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] เดช ดำรงค์ศักดิ์, ญัฐพัฒน์ คำเวียง, จีรศักดิ์ แก้วเงิน, จักรกฤษณ์ ปัญญาธรรม. (2552). การออกแบบ และสร้างเตาเผาขยะชุมชน. รายงานการประชุม วิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23, 4-7 พฤศจิกายน 2552, จังหวัดเชียงใหม่.
- [2] อัครวิน สืบการณ. (2544). รายงานการวิจัยการ พัฒนาเตาเผาขยะมูลฝอยชุมชนขนาดเล็ก, วิทยานิพนธ์ หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ETM-134

สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[3] ธนา นาถไทรภาพ, วสันต์ จอมภักดี, สัมพันธ์ ไชยเทพ. (2551). การประเมินสมรรถนะเตาเผาขยะและการจัดการขยะชุมชน, รายงานการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22, 15-17 ตุลาคม 2551, มหาวิทยาลัย ธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต จังหวัดปทุมธานี.

[4] Kato .T ,Osada .S ,Endo .K ,Sakai .S, Hiraoka .M. (1996). Design of a small-scale incinerator with low pcddkdf emissions, Chemosphere Vol. 32. No. 1, 1996, pp. 145-150.

[5] S. K. Ning, N. B. Chang, M. C. Hung. (2013). Comparative streamlined life cycle assessment for two types of municipal solid waste incinerator, Journal of Cleaner Production Vol. 53, 2013, pp. 56-66.

[6] T. Nakao, O. Aozasa, S. Ohta, H.Miyata. (2006). Formation of toxic chemicals including dioxin-related compounds by combustion from a small home waste incinerator, Chemosphere Vol. 62, 2006, pp. 459–468.

[7] จุริรัตน์ ไชยจิตร, ดาวัลย์ วิวรรณะเดช. (2555). โมเดลการจัดการขยะชุมชน อำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี. วารสารเทคโนโลยีภาคใต้. ปีที่ 5 ฉบับที่ 2, 25–38.

[8] บุญมา ป้านประดิษฐ์. (2552). เอกสารประกอบการอบรมเทคโนโลยีการจัดการขยะชุมชนอย่างยั่งยืน. ศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงาน และสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กำแพงแสน

[9] D.E.C. Rogers, A.C. Brent. (2006). Small-scale medical waste incinerators – experiences and trials in South Africa, Waste Management Vol. 26, 2006, pp. 1229–1236.

[10] J. Van Caneghem, A. Brems, P. Lievens, C. Block, P. Billen, I. Vermeulen, R. Dewil, J.

Baeyens,C. Vandecasteele. (2012). A Review: Fluidized bed waste incinerators: Design, operational and environmental issues, Progress in Energy and Combustion Science Vol. 38, 2012, pp. 551-582.

[11] A.T. Ahmed, H. A. Khalid. (2011). Effectiveness of novel and traditional treatments on the performance of incinerator bottom ash waste, Waste Management Vol. 31, 2011, pp. 2431–2439.

[12] W. H. Chen, J. C. Chen. (2001). Combustion characteristics and energy recovery of a small mass burn incinerator, Int. Comm. Heat Mass Transfers Vol. 28, No. 3, 2001, pp. 299-310.

[13]_____.ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. (2540). เรื่องกำหนดมาตรฐานการควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากเตาเผาขยะมูลฝอย, ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 114 ตอนที่ 63ง วันที่ 7 สิงหาคม 2540.