

การทดสอบประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผาขยะทรงกระบอกแบบตะแกรงหมุน The burning efficiency test of a cylindrical incinerator with a rolling grill

ธนาพล สุขชนะ*, สราวุธ สิริเกษมสุข

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

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการทดสอบประสิทธิภาพในการเผาไหม้ของเตาเผาขยะทรงกระบอกแนวตั้ง ที่มีตะแกรงรองรับการเผาไหม้ของขยะแบบหมุนได้ โดยโครงสร้างของเตาเผาขยะแยกออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วยส่วนฐานเตาที่มีตะแกรงรองรับการเผาไหม้ที่หมุนได้ด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ส่วนห้องเผาไหม้เป็นรูปทรงกระบอกตั้งโครงสร้างเป็นเหล็กเหนียวหุ้มด้วยคอนกรีตทนไฟและส่วนระบายไอเสียแบบมีอุปกรณ์ดักฝุ่นผง ทดสอบการเผาไหม้โดยเติมอากาศด้วยหลักการปรากฏการณ์ปล่องควัน (Chimney effect) และป้อนขยะเข้าเตาเผาด้วยระบบลำเลียงแบบสกรู เพื่อหาประสิทธิภาพการเผาไหม้ อัตราการเผาไหม้ขยะ และคุณภาพของไอเสียจากปล่องควัน ผลการทดสอบการเผาไหม้พบว่าเตาเผาขยะมีประสิทธิภาพในการเผาทำลายขยะได้เฉลี่ย 95% คุณภาพของไอเสียอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการควบคุมในการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากเตาเผาขยะมูลฝอยของกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม โดยมีอัตราการเผาไหม้เท่ากับ 70 - 80 kg/h และอุณหภูมิเฉลี่ยของไอเสียอยู่ในช่วง 750 - 800 °C

คำหลัก: เตาเผาขยะ, รังผึ้ง, สกรูลำเลียง, ทรงกระบอก, ตะแกรงหมุน

Abstract

This research aims to investigate the burning efficiency of a cylindrical incinerator with a rolling grill. The incinerator consists of a base with rolling grill, a cylindrical chamber it's made from steel and covered with refractory concrete and an exhaust gas vent with a cyclone for dust reduction. The chimney effect is an aeration system of the incinerator efficiency test while the solid waste feed into the chamber with screw conveyor. The optimum feeding rate, burning efficiency and quality of exhaust gas there are suitable for the incinerator design was investigated. The results showed that the solid waste incineration effectiveness is 95%, the exhaust gas quality is under of the standard control emission for solid waste incinerators of Ministry of Science of Thailand. While the high efficiency of an incinerator optimum with 70 – 80 kg/h of the solid waste feeding rate and average temperature of exhaust gas between 750 – 800 °C.

Keywords: Incinerator, Honeycomb, Screw conveyor, Cylindrical, Rolling grill

1. บทนำ

การเผาทำลายขยะ เป็นวิธีหนึ่งที่เหมาะสมกับชุมชนขนาดเล็ก ซึ่งการเผาขยะด้วยเตาเผาขนาดใหญ่จะต้องลงทุนสูง รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการเผาสูง เตาเผาขยะขนาดเล็กจึงมาเป็นทางเลือกหนึ่งที่ลงทุนต่ำ และมีผลกระทบต่อชุมชน หรือการต่อต้านจากชุมชนน้อยกว่าเตาเผาขนาดใหญ่

ถึงแม้ว่าจะมีการปลดปล่อยมลพิษสูงกว่าเตาเผาขยะขนาดใหญ่ก็ตาม ซึ่งการออกแบบสร้างเตาเผาขยะขนาดเล็กนั้นมีเป้าหมายเพื่อลดต้นทุน และสะดวกในการใช้งาน จึงทำให้การออกแบบระบบการเผาไหม้ของเตาเผา ไม่เต็มรูปแบบเหมือนเตาเผาขนาดใหญ่ โดยมีผู้วิจัยที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเผาทำลายขยะชุมชน ด้วยเตาเผาขนาดเล็ก

ETM-30

ดั่งเช่น ธนา และคณะ [3] ทดสอบและประเมินสมรรถนะเตาเผาขยะ รวมทั้งการจัดการกับขยะชุมชน สามารถเผาทำลายขยะได้ในอัตรา 184 kg/h โดยมีอุณหภูมิไอเสียเฉลี่ยประมาณ 691 °C, เดช และคณะ [4] ออกแบบสร้างทดสอบเตาเผาขยะ โดยมีประสิทธิภาพในการเผาทำลายขยะแห้งได้สูงสุด 94.5%, Kato et al. [6] เป็นการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ของเตาเผาขยะขนาดเล็กที่มีการปล่อยมลพิษ PCDDs (Polychlorinated dibenzo-dioxins) และ PCDFs (Polychlorinated dibenzo-furans) โดยใช้ห้องเผาไหม้ที่สองช่วยให้ PCDDs / PCDFs ลดลง, S. K. Ning et al. [7] ศึกษาเปรียบเทียบเตาเผาขยะมูลฝอยเทศบาล แบบ fluidized bed และแบบ Stoker ผลการศึกษาพบว่าเตาเผาแบบ fluidized bed มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า, T. Nakao et al. [8] ได้ศึกษา และพบว่า การเผาไหม้ของเตาเผาขยะขนาดเล็ก มีการก่อตัวของสารเคมีที่เป็นพิษ รวมทั้งสารไดออกซินสูง โดยเฉพาะกับการเผาขยะที่มีส่วนประกอบของพลาสติกที่มีคลอรีน หรือการเผาไหม้ของทองแดง, J. Van et al. [9] นำเสนอการออกแบบเตาเผาแบบ fluidized bed ที่จะต้องคำนึงถึงหลักการไฮโดรพลศาสตร์ (ความเร็วและการผสม) ความร้อน (สมดุลความร้อน) การเคลื่อนไหวยภายใน (อัตราการเกิดปฏิกิริยาและการเผาไหม้)

จากงานวิจัยต่างๆ จะเห็นได้ว่าวิธีการกำจัดขยะด้วยการเผาทำลายได้มีการพัฒนาน้อยอย่างต่อเนื่อง ทั้งในด้านสมรรถนะ ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ และการลดมลพิษ จนเป็นเทคโนโลยีการกำจัดขยะ ในการเผาทำลายขยะที่ดีนั้นควรจะต้องมีการคัดแยก และเผาทำลายเฉพาะขยะที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

สำหรับการวิจัยในครั้งนี้เป็นการพัฒนาต่อยอด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเตาเผาของ ธนาพล และสรวิชัย [1, 2] ซึ่งได้ออกแบบสร้างและทดสอบเตาเผาขยะขนาดเล็ก โดยพบว่าอัตราส่วนของพื้นที่ภาคตัด ที่เหมาะสมของทางเข้าอากาศแบบธรรมชาติ ต่อขนาดเตาเผา ต่อขนาดปล่องไอเสีย เท่ากับ 0.5 : 1.0 : 0.25 ซึ่งทำให้ได้อุณหภูมิจากการเผาไหม้สูงกว่า 700 °C เนื่องจากมีการออกแบบ ให้ไอเสียเกิดการเผาไหม้ซ้ำด้วยวิธีการวกกลับ และการสะสมความร้อนไว้ภายในปล่องไอเสีย เพื่อช่วยในการควบคุมคุณภาพของไอเสีย ก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ การวิจัยครั้งนี้เป็นการสร้างและทดสอบประสิทธิภาพในการเผาไหม้ โดยการ

ปรับปรุงเตาเผาขยะจากเดิม ที่มีปล่องทางออกของไอเสียด้านข้าง มาอยู่ตรงกลางด้านบน และบังคับให้ไอเสียถูกเผาซ้ำได้เช่นเดิม พร้อมกับปรับปรุงให้ตะแกรงรองรับการเผาขยะหมุนได้ เพื่อความรวดเร็วสมบูรณ์ในการเผาไหม้ และการระบายขี้เถ้าออกโดยไม่ต้องเปิดช่องบริการ

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 เตาเผาขยะขนาดเล็กแบบตะแกรงหมุน

เตาเผาขยะขนาดเล็ก แบบตะแกรงเผาไหม้ที่สร้างขึ้นสำหรับทดสอบการเผาไหม้รูปที่ 1 ประกอบด้วย โครงสร้างเตาทำด้วยเหล็กเหนียวความหนา 4 mm ห้องเผาไหม้ทรงกระบอกมีปริมาตร 0.5 m³ ทุกด้านหุ้มด้วยคอนกรีตทนไฟหนา 75 mm ภายในปล่องไอเสียประกอบด้วย ท่อเหล็กเหนียวทรงกระบอกขนาด 25.4 mm ยาว 1 m ประกอบเป็นรังผึ้ง ซึ่งมีปากปล่องควมสูงกว่าระดับพื้นดินเท่ากับ 6 m โดยมีทางออกไอเสียขนาด 0.25 เท่าของพื้นที่ภาคตัดห้องเผาไหม้ ห้องอบขยะสามารถบรรจุขยะได้ครั้งละ 0.5 m³ โดยผนังของห้องเผาไหม้ด้านที่ติดกับห้องอบขยะไม่มีฉนวน เพื่อให้ความร้อนสามารถแผ่รังสีเข้าภายในห้องอบขยะได้ บ่อนขยะเข้าเตาเผาด้วยระบบสกรูลำเลียง ขับด้วยมอเตอร์เกียร์ที่สามารถปรับอัตราเร็วรอบได้ ในขณะที่ตะแกรงรองรับการเผาไหม้ สามารถหมุนได้ด้วยมอเตอร์เกียร์รอบคงที่ 1 rpm.

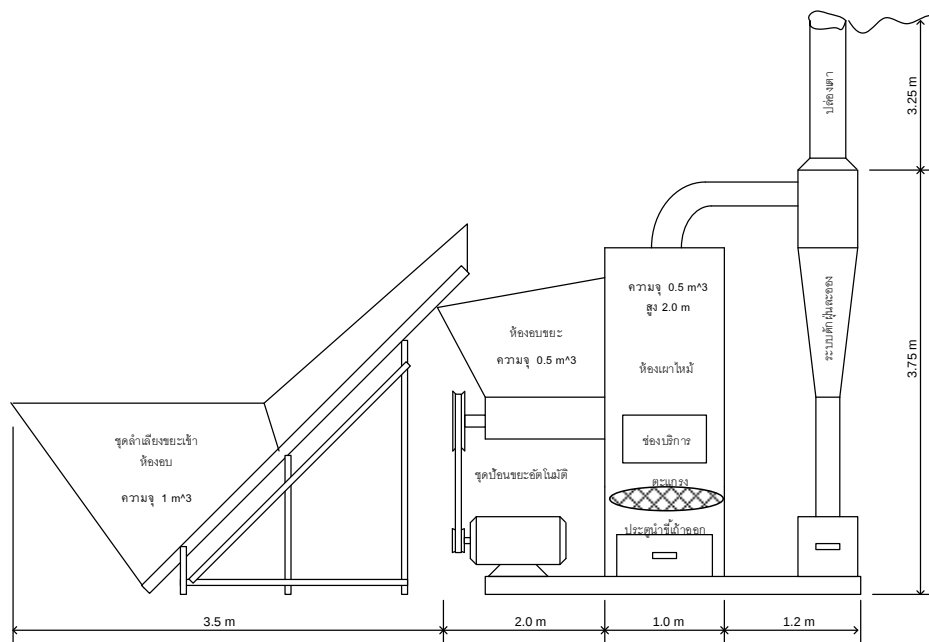
2.2 การทดลองและเงื่อนไขการทดลอง

การออกแบบห้องเผาขยะให้มีรูปร่างดังรูปที่ 2 เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ซ้ำของไอเสีย ได้ด้วยความร้อนที่สะสมอยู่ภายในรังผึ้ง เพื่อลดมลพิษของไอเสียก่อนปล่อยออกทิ้งสู่บรรยากาศ ในการทดสอบสมรรถนะและประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผา กำหนดให้อัตราการป้อนขยะเข้าคงที่เฉลี่ยเท่ากับ 60, 70, 80, 90 และ 100 kg/h ซึ่งทางเข้าของอากาศคิดเป็นพื้นที่รวมโดยรอบ เท่ากับพื้นที่ภาคตัดของห้องเผาไหม้ วัดอุณหภูมิในการทดสอบการเผาขยะด้วย Thermocouple type K และบันทึกอุณหภูมิด้วย Data logger โดยมีการวัดอุณหภูมิของไอเสีย 3 ตำแหน่ง คือ T1, T2 และ T3 เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การเผาไหม้ นอกจากนี้มีการวัดอุณหภูมิภายในเตาส่วนบน 3 ตำแหน่ง คือ T4, T5 และ T6 และวัดอุณหภูมิของผนังเตาด้านนอก 3 ด้าน ด้านละ 1 ตำแหน่งคือ T7, T8 และ T9 ในบริเวณกึ่งกลางความสูงของห้องเผาไหม้ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์

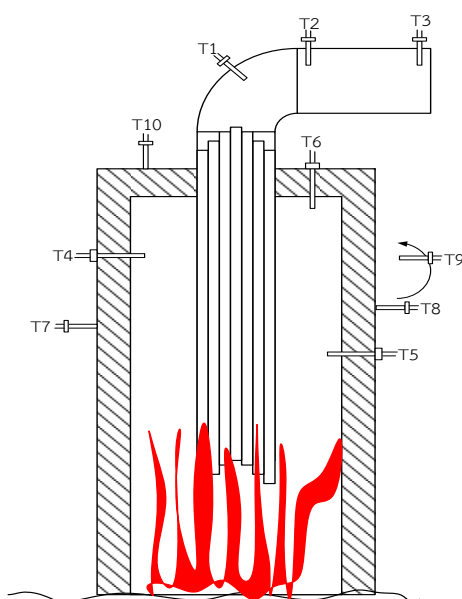
ETM-30

การสูญเสียความร้อน ที่ไหลผ่านผนังเตาเผาขยะโดยรอบ รวมทั้งผนังเตาเผาด้านบน T10 และเริ่มทำการทดสอบด้วยการเผาไหม้ขยะแห้งก่อนเป็นเวลาประมาณ 30 นาที เพื่อให้ผนังเตา และรังผึ้งภายในปล่องเก็บสะสมความร้อน ให้มีความพร้อมสำหรับ การเผาไหม้ขยะอย่างต่อเนื่องได้ หลังจากนั้นก็จะสามารถเผาขยะทั่วไปที่เตรียมไว้ โดยผ่านการฝังในที่โล่งอย่างน้อย 1 วัน นำมาผสมกับขยะแห้งในอัตราส่วน 1 : 1 โดยมวล ด้วยถังผสมปูนซีเมนต์ สำหรับ

การตรวจสอบ และการวิเคราะห์คุณภาพในการเผาไหม้ ขยะนั้น จะใช้วิธีการวิเคราะห์จากอุณหภูมิในการเผาไหม้ และจากการวัดด้วยเครื่องวัดก๊าซผสมพิษของไอเสีย เพื่อวิเคราะห์การเผาไหม้ โดยปริมาณของส่วนผสมไอเสียด้วย ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO), และก๊าซไนโตรเจน ออกไซด์ (NO) ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของไอเสียที่ ช่วยบ่งบอกถึงคุณภาพในการเผาไหม้ รวมถึงปริมาณก๊าซ ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) อีกด้วย



รูปที่ 1 ส่วนประกอบต่างๆ ของเตาเผาขยะที่ทำการสร้างและทดสอบ



รูปที่ 2 ลักษณะการออกแบบห้องเผาไหม้

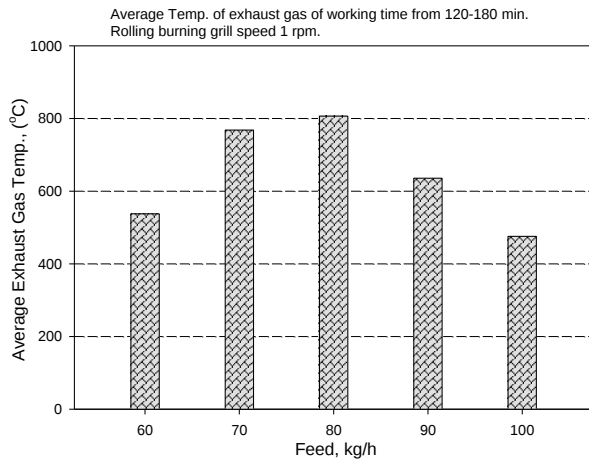
3. ผลการทดลอง

3.1 ความสามารถในการเผาทำลายขยะ

อุณหภูมิเฉลี่ยของไอเสีย บริเวณทางออกของห้องเผาไหม้ $[(T1+T2+T3)/3]$ ดังรูปที่ 3 โดยทำการทดสอบเผาขยะต่อเนื่อง 180 min ด้วยอัตราการป้อนขยะคงที่ 60, 70, 80, 90 และ 100 kg/h จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิไอเสียสูงขึ้นเมื่ออัตราการป้อนขยะสูงขึ้น และเริ่มลดลงเมื่ออัตราการป้อนขยะสูงกว่า 80 kg/h โดยที่อัตราการป้อน 70 – 80 kg/h ได้อุณหภูมิของไอเสียเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 750°C ซึ่งเป็นระดับของอุณหภูมิในการเผาไหม้ ที่ทำให้มลพิษในไอเสียอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานได้ แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของอัตราการป้อน อัตราเร็วรอบของตะแกรง ขนาดของเตาเผา การเติมอากาศด้วยหลักปรากฏการณ์ของปล่องควัน (Chimney effect) และการบังคับให้ก๊าซติดไฟในไอเสียถูกเผาเข้าไปภายในปล่องรังผึ้ง นอกจากนี้ยังพบอีกว่าที่

ETM-30

อัตราการป้อน 60 kg/h สามารถเผาไหม้แล้วเหลือเชื้อได้ในอัตราส่วนต่ออัตราป้อนน้อยสุด แต่อุณหภูมิเฉลี่ยของไอเสียต่ำ เนื่องจากปริมาณของอากาศมากเกินไปสำหรับการเผาไหม้ ซึ่งเป็นผลจากการไหลเข้าของอากาศเป็นแบบธรรมชาติด้วยขนาดทางเข้าคงที่

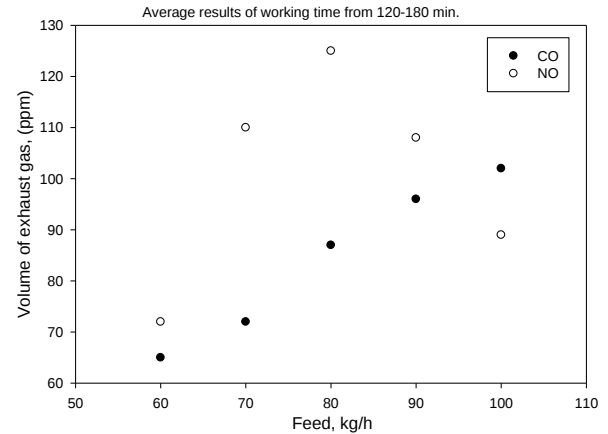


รูปที่ 3 อุณหภูมิเฉลี่ยไอเสียเมื่ออัตราการป้อนแตกต่างกัน

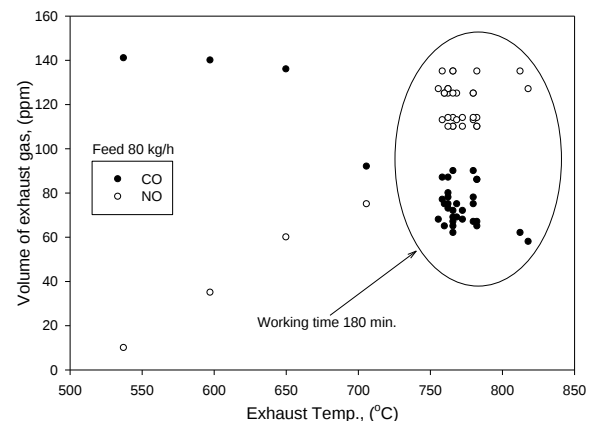
3.2 คุณภาพของไอเสีย

คุณภาพของไอเสียในการเผาไหม้ สามารถพิจารณาได้จาก ปริมาณของก๊าซ CO_2 , CO , NO , NO_x โดยเมื่อเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะมีปริมาณของก๊าซ CO_2 สูง และ CO ต่ำ สำหรับก๊าซพิษดังรูปที่ 4 แสดงเฉพาะปริมาณก๊าซ CO และ NO จะเห็นได้ว่าปริมาณก๊าซ CO สูงขึ้นเมื่ออัตราการป้อนมากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากอัตราส่วนระหว่างเชื้อเพลิงขะกับอากาศที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยก๊าซ CO อยู่ระหว่าง 60 – 90 ppm นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณก๊าซ NO มีสูงขึ้นเมื่ออัตราการป้อนขะเพิ่มมากขึ้น และเริ่มลดลงเมื่ออัตราการป้อนขะมากกว่า 80 kg/h ทั้งนี้เป็นเพราะก๊าซ NO จะเกิดขึ้นได้มากเมื่ออุณหภูมิในการเผาไหม้สูงขึ้น ทั้งนี้จากค่าเฉลี่ยของการตรวจวัดปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) มีค่าอยู่ระหว่าง 100 – 150 ppm ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากเตาเผาขยะมูลฝอย [5] ที่กำหนดเกณฑ์ในการควบคุมมลพิษไว้ไม่เกิน 110 ppm และ 250 ppm สำหรับ CO และ NO_x จากรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง จะส่งผลให้การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น เนื่องจากผนังเตาเผาสะสมความร้อนจนอึดตัวแล้ว เพราะฉะนั้นการเผาไหม้ของเตาเผาที่ดีควรมีการเผาอย่างต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง จึงจะสามารถควบคุมมลพิษจากไอเสียได้ดี

ร้อนจนอึดตัวแล้ว เพราะฉะนั้นการเผาไหม้ของเตาเผาที่ดีควรมีการเผาอย่างต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง จึงจะสามารถควบคุมมลพิษจากไอเสียได้ดี



รูปที่ 4 ปริมาณก๊าซ CO , NO เมื่ออัตราการป้อนขะแตกต่างกัน



รูปที่ 5 ก๊าซ CO และ NO เทียบกับอุณหภูมิไอเสีย

3.3 ประสิทธิภาพการเผาไหม้

ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ของเตา สามารถพิจารณาได้จากอัตราส่วนของ ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ต่อคาร์บอนไดออกไซด์ [2, 3] ได้เท่ากับ 99.57% และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการเผาทำลายขยะ จากอัตราส่วนของสิ่งที่เหลือจากการเผาไหม้ ต่อขยะก่อนเผาโดยมวลพบว่าเตาเผาขยะมีประสิทธิภาพ ในการเผาทำลายขยะได้เฉลี่ย 95% ซึ่งใกล้เคียงกันกับเตาเผาขยะของ เดช และคณะ [4] ที่มีประสิทธิภาพ 94.5% โดยมีลักษณะของเตาเผาที่คล้ายกัน และเมื่อพิจารณาการสูญเสียความร้อน

ETM-30

ของห้องเผาไหม้ (Heat loss) โดยใช้สมการนำความร้อน ซึ่งใช้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตา กับอุณหภูมิบริเวณผนังเตา ภายนอก พบว่าอัตราการสูญเสียความร้อนที่ผ่านผนังเตา โดยรอบรวมเฉลี่ยเท่ากับ 4.75 kW

4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบการเผาไหม้ ของเตาเผาขยะขนาดเล็ก แบบมีตะแกรงรองเผาไหม้ได้ด้วยอัตราเร็วคงที่ ป้อนขยะ เข้าเตาเผาแบบอัตโนมัติ และมีปล่องทางออกของไอเสีย จากห้องเผาไหม้เป็นรังผึ้งสะสมความร้อน พบว่าลักษณะ การสร้างของเตาเผาขยะ ช่วยให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้สูงขึ้น โดยมีอัตราการเผาทำลายที่เหมาะสมเท่ากับ 70 - 80 kg/h และอุณหภูมิเฉลี่ยของไอเสียอยู่ในช่วง 750 - 800 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงเพียงพอในการเผาไหม้ก๊าซ ติดไฟจำพวก CO, H₂ และ CH₄ ด้วยอุณหภูมิประมาณ 650°C และเมื่อเปรียบเทียบกับเตาเผาแบบเดิมก่อนการพัฒนา พบว่าตะแกรงรองเผาไหม้แบบหมุนได้สามารถช่วยให้ อัตราการเผาไหม้เพิ่มขึ้น 20 - 30 kg/h อุณหภูมิของไอเสียเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน แต่เตาเผาขยะแบบที่พัฒนาจะมี อุณหภูมิในการเผาไหม้คงที่มากกว่า ส่งผลให้ปริมาณของ ก๊าซพิษจากการเผาไหม้ลดลงจากความต่อเนื่องในการเผาไหม้ นอกจากนี้ยังเกิดความสะดวกในการระบายชี้ถ้าออกจากเตาโดยไม่ต้องเปิดช่องบริการด้านข้าง

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ต่อห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการ ถ่ายโอนความร้อน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะ วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยปทุมธานี สำหรับการสนับสนุนทางการเงิน เทคโนโลยี และความ ช่วยเหลือทางด้านเทคนิคต่างๆ จนทำให้การศึกษาวิจัย ในครั้งนี้เสร็จสิ้นสมบูรณ์

6. เอกสารอ้างอิง

[1] ธนาพล สุขชนะ, สราวุฒิ สิริเกษมสุข. (2557). การ ศึกษาผลกระทบจากการควบคุมอากาศต่อการเผาไหม้ ของเตาเผาขยะขนาดเล็กแบบสามชั้นตอน. รายงานการ ประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติครั้งที่ 15 และระดับนานาชาติครั้งที่ 7, 2-4 เมษายน 2557 โรงแรมกรุงศรีริเวอร์ จ. อโยธยา.

[2] ธนาพล สุขชนะ, สราวุฒิ สิริเกษมสุข. (2557). การ ทดสอบสมรรถนะเตาเผาขยะแบบไอเสียวกกลับ. รายงาน การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประ เทศไทย ครั้งที่ 28 15-17 ตุลาคม 2557 จ. ขอนแก่น.

[3] ธนา นาถไตรภพ, วสันต์ จอมภักดี, สัมพันธ์ ไชยเทพ. (2551). การประเมินสมรรถนะเตาเผาขยะและการจัดการ ขยะชุมชน. รายงานการประชุมวิชาการเครือข่าย วิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22, 15-17 ตุลาคม 2551, มหาวิทยาลัย ธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต จังหวัดปทุมธานี.

[4] เดช ดำรงค์ดี, ญัฐพัฒน์ คำเวียง, จีระศักดิ์ แก้วเงิน, จักรกฤษณ์ ปัญญาธรรม. (2552). การออกแบบและสร้าง เตาเผาขยะชุมชน. รายงานการประชุมวิชาการเครือข่าย วิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23, 4-7 พฤศจิกายน 2552, จังหวัดเชียงใหม่.

[5] _____.ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม. (2540). เรื่องกำหนดมาตรฐานการ ควบคุมการปล่อยทั้งอากาศเสียจากเตาเผาขยะมูล-ฝอย, ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 114 ตอนที่ 63ง วันที่ 7 สิงหาคม 2540.

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

[7] 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.

[8] 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.

[9] 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.