

การสร้างและหาประสิทธิภาพเตาเผาขยะ ลดมลพิษทางอากาศสำหรับชุมชน

Developing and Finding Efficiency of Local Waste Incinerator to Reduce Ambient Air Pollution

Received : 18 ก.ค. 2568 Revised : 6 ส.ค. 2568 Accepted : 28 พ.ย. 2568

ศิริพงษ์ แพรศิริพุฒิปอง¹ ญัฐวุฒิ ธูปกลาง² ธนา อ่อนศรี³
Siripong Phraesiriputthipong¹ Nuttawut Thupklang² Thana Onsri³

¹⁻³ สาขาวิชาเครื่องกล สถาบันการอาชีวศึกษากรุงเทพมหานคร กรุงเทพมหานคร 10150

¹⁻³ Mechanical Technology, Institute of Vocational Education, Bangkok 10150

¹ Corresponding Author: E-mail: p.siripong2018@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) สร้างเตาเผาขยะลดมลพิษทางอากาศสำหรับชุมชน (2) ประเมินประสิทธิภาพการเผาไหม้และระดับมลพิษที่ปล่อยออกจากเตาเผาเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเผาในที่โล่ง และ (3) ศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานเตาเผา กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญด้านสิ่งแวดล้อมและพลังงาน 5 คน และประชาชนผู้ใช้งานเตาเผา 30 คน โดยใช้แบบประเมินความเหมาะสม การทดสอบประสิทธิภาพการเผาไหม้ และแบบสอบถามความพึงพอใจเป็นเครื่องมือวิจัย

ผลการวิจัยพบว่า การประเมินจากผู้เชี่ยวชาญมีค่าเฉลี่ย = 4.45, S.D. = 0.21 อยู่ในระดับมาก โดยเฉพาะความเหมาะสมด้านการออกแบบและประสิทธิภาพในการลดมลพิษอยู่ในระดับมากที่สุด การทดสอบประสิทธิภาพพบว่าการปล่อยก๊าซและฝุ่นละออง (CO₂, PM_{2.5}, PM₁₀ และ TVOC) ที่น้ำหนักขยะ 150, 300 และ 450 กรัม ล้วนต่ำกว่ามาตรฐานของกรมอนามัยและกรมควบคุมมลพิษ สะท้อนถึงการเผาไหม้ที่สมบูรณ์และการลดมลพิษที่มีประสิทธิภาพ ความพึงพอใจของผู้ใช้งานโดยรวมอยู่ในระดับมาก (เฉลี่ย = 4.30, S.D. = 0.53) โดยผู้ใช้งานเห็นว่าเตาเผาสามารถลดกลิ่น คว้น และมลพิษได้ดี ใช้งานง่าย และเหมาะสมกับบริบทของชุมชน

คำสำคัญ : เตาเผาขยะชุมชน, มลพิษทางอากาศ, PM_{2.5}, PM₁₀, TVOC

Abstract

The objectives of this research are to: (1) construct a waste Incinerator to reduce ambient air pollution for community, (2) evaluate its combustion efficiency and pollutant emissions compared with open burning, and (3) investigate users' satisfaction towards the incinerator. The sample consisted of five experts in environmental and energy fields and thirty community users. Research instruments included an expert evaluation form, combustion performance tests, and a users' satisfaction questionnaire.

The findings revealed that the expert evaluation yielded a mean score of 4.45 (S.D. = 0.21) or at a high level, particularly regarding design suitability and efficiency in reducing pollution emission. The performance tests showed that the emissions of CO₂, PM_{2.5}, PM₁₀ and TVOC at waste loads of 150, 300, and 450 grams were all below the standards of the Department of Health and the Pollution Control Department, indicating complete combustion and effective pollution reduction. Users' satisfaction was also high (mean = 4.30, S.D. = 0.53). The users reported that the incinerator could effectively reduce odor, smoke, and pollutants. Moreover, it was easy to operate and well-suited to community contexts.

Keywords : Incinerator, air pollution, PM_{2.5}, PM₁₀, TVOC

1. บทนำ

ปัญหาขยะมูลฝอยในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากการขยายตัวของชุมชนเมือง การเติบโตทางเศรษฐกิจ และอัตราการบริโภคที่สูงขึ้น สถิติจากกรมควบคุมมลพิษระบุว่าปริมาณขยะมูลฝอยชุมชนเพิ่มขึ้นเฉลี่ยปีละหลายล้านตัน แต่ระบบการจัดการขยะในปัจจุบันยังไม่ครอบคลุมเพียงพอ โดยเฉพาะในพื้นที่ชนบทและชุมชนขนาดเล็กที่มักใช้วิธีฝังกลบหรือเผาในที่โล่ง ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของมลพิษทางอากาศ เตาเผาขยะที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีหลายประเภท เช่น เตาเผาแบบตะแกรง (Grate Furnace) เตาเผาแบบหมุน (Rotary Filn) และเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed) ซึ่งเตาเผาขนาดใหญ่ในโรงงานอุตสาหกรรมสามารถควบคุมอุณหภูมิและมลพิษได้ดี แต่มีต้นทุนสูงและไม่เหมาะกับชุมชนขนาดเล็ก เตาเผาขยะชุมชนที่มีใช้งานมักเป็นเตาแบบง่าย ไม่มีระบบควบคุมไอเสีย ทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ต่ำและปล่อยสารพิษ เช่น ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM_{2.5}, PM₁₀), ก๊าซไฮโดรคาร์บอน (HC), ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x), คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) รวมถึงไดออกซินและฟูแรน ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชน การจัดการขยะชุมชนในปัจจุบันเน้นการคัดแยกและการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) แต่ยังมีขยะที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้ จึงต้องกำจัดโดยการฝังกลบหรือเผา การเผาที่เป็นระบบเปิดมีฝุ่นและไอเสียก่อให้เกิดปัญหามลพิษ

งานวิจัยนี้จึงมุ่งออกแบบและพัฒนาเตาเผาขยะชุมชนที่มีระบบควบคุมอุณหภูมิ การไหลของอากาศ และระบบบำบัดไอเสีย (เช่น ตัวกรองฝุ่น ตัวกรองก๊าซพิษ และช่องใส่สารบำบัด) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ ลดการเกิดสารพิษ และให้ค่ามลพิษที่ปล่อยออกมาต่ำกว่ามาตรฐานความปลอดภัยด้านคุณภาพอากาศ

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 2.1 เพื่อสร้างเตาเผาขยะลดมลพิษทางอากาศสำหรับชุมชน
- 2.2 เพื่อประเมินประสิทธิภาพการเผาไหม้และระดับมลพิษที่ปล่อยออกจากเตาเผาเมื่อเปรียบเทียบกับ การเผาในที่โล่ง
- 2.3 เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้เตาเผาขยะลดมลพิษทางอากาศสำหรับชุมชน

3. สมมติฐานการวิจัย

3.1 เตาเผาขยะที่ได้รับการสร้างสามารถลดการปล่อยมลพิษทางอากาศ เช่น ก๊าซ CO₂, PM_{2.5}, PM₁₀ และ TVOC ให้อยู่ในระดับต่ำกว่าการเผาขยะในที่โล่ง และต่ำกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศกำหนดโดยมาตรฐานควบคุมมลพิษ

3.2 ผู้ใช้งานประเมินความพึงพอใจต่อเตาเผาขยะลดมลพิษทางอากาศสำหรับชุมชนในระดับดีขึ้นไป

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 การสร้างและพัฒนานวัตกรรม

1) การศึกษาแนวคิด และหลักการทำงานของเตาเผาขยะที่มีอยู่ในปัจจุบัน รวมถึงมาตรฐานสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง

2) การออกแบบเตาเผาขยะต้นแบบ โดยใช้โปรแกรมเขียนแบบด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยในการร่างแบบเตาเผาขยะลดมลพิษทางอากาศสำหรับชุมชน

3) การจัดหาวัสดุ ที่เหมาะสมและมีความทนทาน เช่น แผ่นเหล็ก ท่อสแตนเลส วัสดุกันความร้อน

4) การประกอบเตาเผา และติดตั้งอุปกรณ์ปรับปรุงคุณภาพไอเสีย

5) การทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้น และปรับปรุงเตาเผาขยะตามผลการทดลอง

4.2 กำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1) ด้านคุณภาพ

ประชากร คือ ผู้มีประสบการณ์ในการออกแบบทางด้านวิศวกรรม ครู อาจารย์ และวิศวกร

กลุ่มตัวอย่าง คือ กลุ่มผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 5 คน เช่น วิศวกร ครู อาจารย์สาขาวิชาเครื่องกล หรืออาจารย์ด้านเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม เพื่อประเมินคุณภาพนวัตกรรมการเลือกกลุ่มตัวอย่างใช้ โดยใช้วิธีการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling)

2) ด้านประสิทธิภาพ

ประชากร พื้นที่หรือสถานที่ทดลองที่ใช้ทดสอบการเผาขยะ ทั้งแบบใช้เตาเผาลดมลพิษและการเผาในที่โล่ง ซึ่งตั้งอยู่ในเขตชุมชนเป้าหมาย

กลุ่มตัวอย่าง คือ พื้นที่ทดลองจำนวน 3 แห่ง เลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) ในแต่ละพื้นที่ทำการทดลองการเผาขยะในปริมาณ 150g, 300g, 450g ทำอย่างน้อย 5 รอบต่อวิธีการเผา และวัดค่ามาตรฐานมลพิษ มุลค่ามลพิษ CO₂, PM_{2.5}, PM₁₀, Tvoc กับมาตรฐานกรมควบคุมมลพิษและกับเตาเผาแบบเดิมที่ใช้ในชุมชน

3) ด้านความพึงพอใจ

ประชากร คือ ครั้วเรือนในเขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร ที่ได้รับผลกระทบหรือมีส่วนร่วมในโครงการ

กลุ่มตัวอย่าง คือ ครั้วเรือนในชุมชนเขตหนองจอก จำนวน 30 ครั้วเรือน เลือกแบบสุ่มอย่างง่าย (Simple Random Sampling) เพื่อเก็บข้อมูลความพึงพอใจจากผู้ใช้งานจริง

4.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเป็นแบบสอบถาม (Questionnaire) เพื่อใช้ในการประเมินคุณภาพประสิทธิภาพ และความพึงพอใจโดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ใช้แบบสอบถามความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ 5 คน เพื่อประเมินความเหมาะสมของรูปแบบการออกแบบและการใช้งานของเตาเผา โดยใช้มาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ

ค่าเฉลี่ย 4.51 – 5.00 หมายถึง อยู่ในระดับมากที่สุด

ค่าเฉลี่ย 3.50 – 4.49 หมายถึง อยู่ในระดับมาก

ค่าเฉลี่ย 2.50 – 3.49 หมายถึง อยู่ในระดับพอใช้

ค่าเฉลี่ย 1.50 – 2.49 หมายถึง อยู่ในระดับน้อย

ค่าเฉลี่ย 1.00 – 1.49 หมายถึง อยู่ในระดับน้อยที่สุด

2) การหาประสิทธิภาพของเตาเผาขยะลดมลพิษทางอากาศสำหรับชุมชนโดยเปรียบเทียบระหว่างเผาขยะโดยไม่ใช้เตาเผาลดมลพิษ กับ เตาเผาขยะลดมลพิษ และ ตรวจสอบคุณภาพมลพิษด้วยเครื่องมือวัดคุณภาพอากาศ นำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ไม่เกินกว่ามาตรฐาน

3) การศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้เตาเผาขยะลดมลพิษทางอากาศสำหรับชุมชน มีลักษณะเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scales) แบ่งออกเป็น 5 ระดับ

ค่าเฉลี่ย 4.51 – 5.00 หมายถึง อยู่ในระดับมากที่สุด

ค่าเฉลี่ย 3.50 – 4.49 หมายถึง อยู่ในระดับมาก

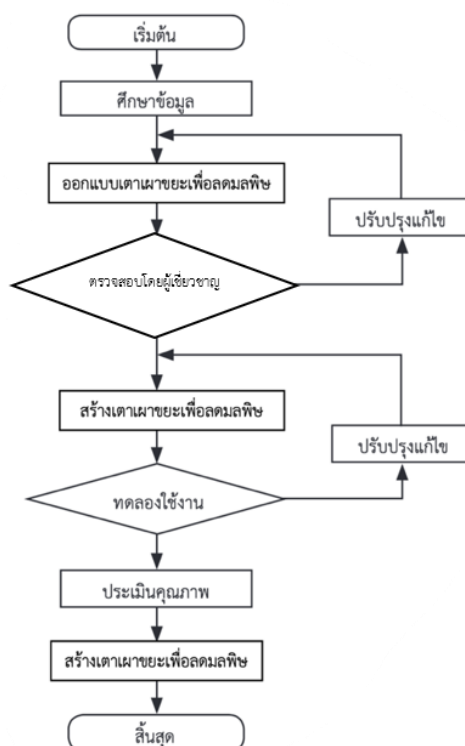
ค่าเฉลี่ย 2.50 – 3.49 หมายถึง อยู่ในระดับพอใช้

ค่าเฉลี่ย 1.50 – 2.49 หมายถึง อยู่ในระดับน้อย

ค่าเฉลี่ย 1.00 – 1.49 หมายถึง อยู่ในระดับน้อยที่สุด

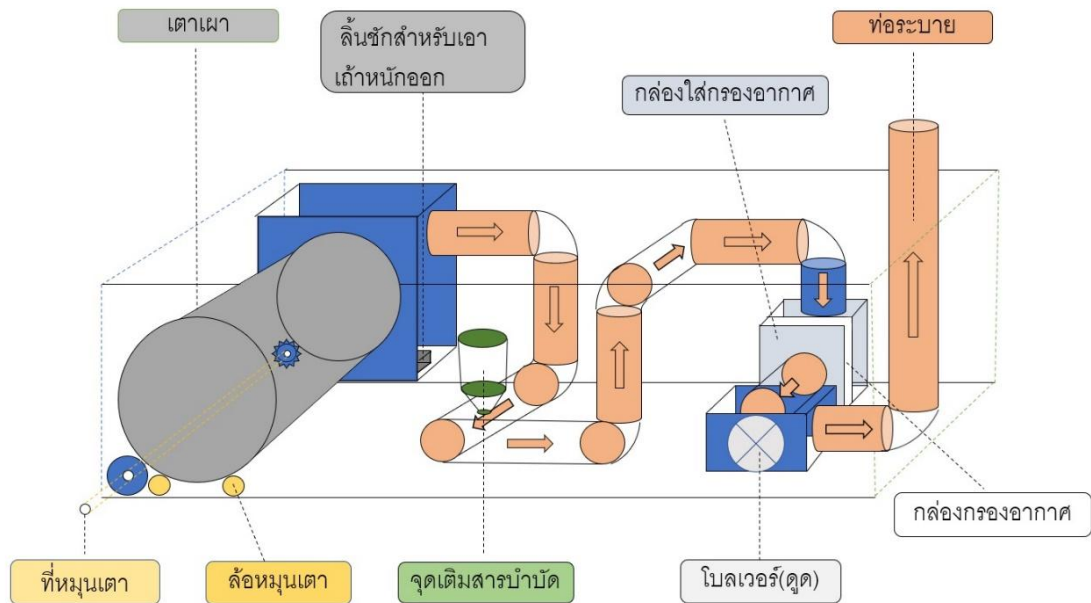
4.4 ระบุขั้นตอนการสร้างและหาคุณภาพของเครื่องมือวิจัยตามหลักวิชาการ

1) การสร้างและพัฒนาเตาเผาขยะเพื่อลดมลพิษทางอากาศสำหรับชุมชน

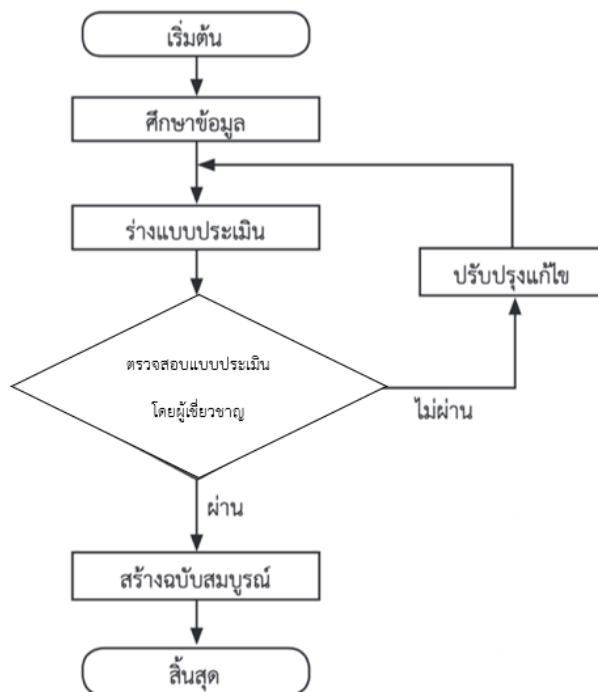


ภาพที่ 1 ขั้นตอนการสร้างเตาเผาขยะเพื่อลดมลพิษทางอากาศสำหรับชุมชน

2) การออกแบบและพัฒนาเตาเผาขยะเพื่อลดมลพิษทางอากาศสำหรับชุมชน



3) การสร้างแบบประเมินความพึงพอใจเตาเผาขยะเพื่อลดมลพิษทางอากาศสำหรับชุมชน



ภาพที่ 3 การสร้างแบบประเมินความพึงพอใจของเตาเผาขยะลดมลพิษทางอากาศสำหรับชุมชน

4.5 การเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัย เพื่อหาประสิทธิภาพของเตาเผาขยะเพื่อลดมลพิษทางอากาศสำหรับชุมชนและใช้แบบบันทึกข้อมูลจดบันทึกผลการทดลองดังนี้

1) การประเมินความเหมาะสมของเครื่องมือวิจัยโดยผู้เชี่ยวชาญ

1.1) นำแบบบันทึก แบบสอบถาม และเครื่องมือวิจัยอื่น ๆ เสนอให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ตรวจสอบความเหมาะสม ความชัดเจน และความครอบคลุมของเนื้อหา

1.2) ผู้เชี่ยวชาญประเมินตามแบบประเมินความเหมาะสม และนำข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญมาปรับปรุงเครื่องมือ ก่อนนำไปใช้ในการเก็บข้อมูลจริง

2) การเก็บรวบรวมข้อมูลด้านการสร้างเตาเผาขยะเพื่อลดมลพิษทางอากาศสำหรับชุมชน

2.1) ผู้วิจัยดำเนินการออกแบบและสร้างเตาเผาขยะลดมลพิษทางอากาศ

2.2) ดำเนินการทดลองและบันทึกผลการทดลอง

2.3) วิเคราะห์ข้อมูลโดยเปรียบเทียบระหว่างเผาขยะโดยไม่ใช้เตาเผาลดมลพิษ กับ เตาเผาขยะลดมลพิษ และ ตรวจสอบคุณภาพมลพิษด้วยเครื่องมือวัดคุณภาพอากาศ นำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ไม่เกินกว่ามาตรฐาน โดยการทดลองการเผาขยะ เศษใบไม้แห้ง กิ่งไม้แห้ง กระดาษ โฟม และพลาสติก ผสมกัน ในปริมาณ 150 กรัม 300 กรัม และ 450 กรัม อย่างละ 5 ครั้ง เปรียบเทียบ 4 สาร ที่เป็นองค์ประกอบจากควันไอเสียจากการเผาไหม้ได้แก่ ค่า CO_2 ที่มีค่ามาตรฐานขีดจำกัดการสัมผัสสารสูงสุดที่แนะนำ 8 ชั่วโมงต่อวัน คือ 5,000 ppm ตามข้อมูลของ [1] และ [2] ค่า $\text{Pm}_{2.5}$ มีค่ามาตรฐานไม่เกินค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของประเทศไทย : $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ค่า $\text{TVOC} \leq 1,000 \text{ ppb}$ ที่มีค่ามาตรฐานตามประกาศควบคุมโรค พ.ศ. 2565 ($1,000 \text{ ppb} \approx 2.30 \text{ mg}/\text{m}^3$) [3], ค่า Pm_{10} มีค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง : ไม่เกิน $0.12 \text{ mg}/\text{m}^3$ ของไอเสียที่ปล่อยออกมาตามมาตรฐาน [4]

3) การทดลองและหาประสิทธิภาพของเตาเผาขยะเพื่อลดมลพิษทางอากาศสำหรับชุมชน ดำเนินการทดลองโดยนำเตาเผาขยะเพื่อลดมลพิษทางอากาศสำหรับชุมชน ไปใช้จริงกับกลุ่มตัวอย่าง ตามแผนการทดลองแบบกลุ่มเดียว โดยดำเนินการตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

3.1) ผู้วิจัยชี้แจงการใช้งานเตาเผาขยะเพื่อลดมลพิษทางอากาศสำหรับชุมชน

3.2) ดำเนินการทดลองและบันทึกผลการทดลอง

3.3) เมื่อเสร็จสิ้นจากการทดลองนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ผล

4) แบบประเมินความพึงพอใจทดลองใช้เตาเผาขยะเพื่อลดมลพิษทางอากาศสำหรับชุมชน โดยดำเนินการให้ตอบแบบสอบถามความพึงพอใจเพื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูล



ภาพที่ 4 การทดลองเตาเผาขยะเพื่อลดมลพิษทางอากาศสำหรับชุมชน



ภาพที่ 5 การใช้เครื่องมือวัดค่ามลพิษควันจากการเผาไหม้ของขยะ



ภาพที่ 6 สาธิตการใช้เตาเผาขยะลดมลพิษในชุมชนเพื่อสำรวจความพึงพอใจ

การวิเคราะห์ข้อมูล

1) การหาคุณภาพเตาเผาขยะเพื่อลดมลพิษทางอากาศสำหรับชุมชน ดำเนินการให้ตอบแบบสอบถามความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ 5 คน เพื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนแล้วเทียบค่าเฉลี่ยกับระดับชั้นคุณภาพ

2) การทดสอบหาประสิทธิภาพของเตาเผาขยะเพื่อลดมลพิษทางอากาศสำหรับชุมชน โดยการทดลองการเผาขยะ เศษไม้แห้ง กิ่งไม้แห้ง กระดาษ โฟม และพลาสติก ผสมกัน ในปริมาณ 150 กรัม 300 กรัม และ 450 กรัม ตรวจวัดค่ามลพิษจาก 4 ชนิดได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($\text{Pm } 2.5$), สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Tvoc), ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน ($\text{Pm } 10$) โดยทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง และเปรียบเทียบระหว่างเตาเผาขยะเพื่อลดมลพิษทางอากาศสำหรับชุมชนและไม่ใช้เตาเผาขยะลดมลพิษ

3) การประเมินความพึงพอใจทดลองใช้เตาเผาขยะเพื่อลดมลพิษทางอากาศสำหรับชุมชนโดยดำเนินการให้ตอบแบบสอบถามความพึงพอใจเพื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

5. ผลการวิจัย

จากการดำเนินงานวิจัยการออกแบบและพัฒนาเตาเผาขยะเพื่อลดมลพิษทางอากาศสำหรับชุมชน สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1) ผลการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 5 คน แบ่งตามด้านต่าง ๆ ของการออกแบบและการใช้งานเตาเผาขยะ มีดังนี้

ตารางที่ 1 ผลการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 5 คน แบ่งตามด้านต่าง ๆ ของการออกแบบและการใช้งานเตาเผาขยะ

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
1. ความเหมาะสมของรูปแบบการออกแบบ	4.52	0.20	มากที่สุด
2. ประสิทธิภาพในการเผาขยะ	4.55	0.18	มากที่สุด
3. การลดมลพิษทางอากาศ	4.40	0.25	มาก
4. ความสะดวกในการใช้งาน	4.42	0.22	มาก
5. ความปลอดภัยในการใช้งาน	4.38	0.19	มาก
ค่าเฉลี่ย	4.45	0.21	มาก

จากตารางที่ 1 ผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญของเตาเผาขยะลดมลพิษ อยู่ในระดับมาก เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่า ความเหมาะสมของรูปแบบการออกแบบ ค่าเฉลี่ย 4.60 (อยู่ในระดับคุณภาพมากที่สุด) การลดมลพิษทางอากาศ ค่าเฉลี่ย 4.55 (อยู่ในระดับคุณภาพมากที่สุด)

ตารางที่ 2 แสดงการทดสอบประสิทธิภาพเตาเผาขยะลดมลพิษ ครั้งที่ 1 ที่ขยะ 150 กรัม

	Co ₂	Pm 2.5	Tvoc	Pm 10
ปริมาณขยะแห้ง 150 กรัม	ค่ามาตรฐานสากล 5000 ppm	ค่ามาตรฐาน กรมควบคุม มลพิษ (TH) 50 µg/m ³	ค่ามาตรฐานกรม อนามัย กระทรวง สาธารณสุข (TH) 2.30 mg/m ³	ค่ามาตรฐาน กรมควบคุม มลพิษ (TH) 120 µg/m ³
ครั้งที่ 1	2978 ppm	14 µg/m ³	0.889 mg/m ³	12 µg/m ³
ครั้งที่ 2	3192 ppm	15 µg/m ³	0.724 mg/m ³	14 µg/m ³
ครั้งที่ 3	3555 ppm	23 µg/m ³	0.653 mg/m ³	12 µg/m ³
ครั้งที่ 4	3228 ppm	18 µg/m ³	0.711 mg/m ³	15 µg/m ³
ครั้งที่ 5	3616 ppm	21 µg/m ³	0.841 mg/m ³	13 µg/m ³
ค่าเฉลี่ย	3313.8 ppm	18.2 µg/m ³	0.763 mg/m ³	13.2 µg/m ³

จากตารางที่ 2 ทดสอบประสิทธิภาพเตาเผาขยะลดมลพิษ ครั้งที่ 1 ที่ขยะ 150 กรัม เมื่อพิจารณามลพิษ ไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ พบว่าค่าเฉลี่ย $\text{Co}_2 = 3313.8 \text{ ppm}$ $\text{Pm } 2.5 = 18.2 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ $\text{Tvoc} = 0.763 \text{ mg/m}^3$ และ $\text{Pm } 10 = 13.2 \text{ }\mu\text{g/m}^3$

ตารางที่ 3 แสดงการทดสอบประสิทธิภาพเตาเผาขยะลดมลพิษ ครั้งที่ 2 ที่ขยะ 300 กรัม

	Co_2	$\text{Pm } 2.5$	Tvoc	$\text{Pm } 10$
ปริมาณขยะ แห้ง 300 กรัม	ค่า มาตรฐานสากล 5000 ppm	ค่ามาตรฐาน กรมควบคุมมลพิษ (TH) $50\mu\text{g/m}^3$	ค่ามาตรฐานกรม อนามัย กระทรวง สาธารณสุข (TH) 2.30 mg/m^3	ค่ามาตรฐาน กรมควบคุม มลพิษ (TH) $120\mu\text{g/m}^3$
ครั้งที่ 1	3624 ppm	$22 \text{ }\mu\text{g/m}^3$	0.834 mg/m^3	$14 \text{ }\mu\text{g/m}^3$
ครั้งที่ 2	3541 ppm	$19 \text{ }\mu\text{g/m}^3$	0.802 mg/m^3	$14 \text{ }\mu\text{g/m}^3$
ครั้งที่ 3	3479 ppm	$24 \text{ }\mu\text{g/m}^3$	0.862 mg/m^3	$13 \text{ }\mu\text{g/m}^3$
ครั้งที่ 4	3734 ppm	$21 \text{ }\mu\text{g/m}^3$	0.798 mg/m^3	$17 \text{ }\mu\text{g/m}^3$
ครั้งที่ 5	3684 ppm	$23 \text{ }\mu\text{g/m}^3$	0.814 mg/m^3	$15 \text{ }\mu\text{g/m}^3$
ค่าเฉลี่ย	3612.4 ppm	$21.8 \text{ }\mu\text{g/m}^3$	0.822 mg/m^3	$14.6 \text{ }\mu\text{g/m}^3$

จากตารางที่ 3 ทดสอบประสิทธิภาพเตาเผาขยะลดมลพิษ ครั้งที่ 2 ที่ขยะ 300 กรัม เมื่อพิจารณามลพิษ ไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ พบว่าค่าเฉลี่ย $\text{Co}_2 = 3612.4 \text{ ppm}$ $\text{Pm } 2.5 = 21.8 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ $\text{Tvoc} = 0.822 \text{ mg/m}^3$ และ $\text{Pm } 10 = 14.6 \text{ }\mu\text{g/m}^3$

ตารางที่ 4 แสดงการทดสอบประสิทธิภาพเตาเผาขยะลดมลพิษครั้งที่ 3 ที่ขยะ 450 กรัม

	Co_2	$\text{Pm } 2.5$	Tvoc	$\text{Pm } 10$
ปริมาณ ขยะ 450 กรัม	ค่ามาตรฐานสากล 5000 ppm	ค่ามาตรฐาน กรมควบคุมมลพิษ (TH) $50\mu\text{g/m}^3$	ค่ามาตรฐานกรม อนามัย กระทรวง สาธารณสุข (TH) 2.30 mg/m^3	ค่ามาตรฐาน กรมควบคุมมลพิษ (TH) $120\mu\text{g/m}^3$
ครั้งที่ 1	3773 ppm	$24\mu\text{g/m}^3$	0.902 mg/m^3	$15\mu\text{g/m}^3$
ครั้งที่ 2	3841 ppm	$22\mu\text{g/m}^3$	0.889 mg/m^3	$16\mu\text{g/m}^3$
ครั้งที่ 3	3738 ppm	$22\mu\text{g/m}^3$	0.857 mg/m^3	$14\mu\text{g/m}^3$
ครั้งที่ 4	3914 ppm	$23\mu\text{g/m}^3$	0.868 mg/m^3	$16\mu\text{g/m}^3$
ครั้งที่ 5	3981 ppm	$25\mu\text{g/m}^3$	0.994 mg/m^3	$17\mu\text{g/m}^3$
ค่าเฉลี่ย	3,649.4 ppm	$23.2 \text{ }\mu\text{g/m}^3$	0.902 mg/m^3	$15.6 \text{ }\mu\text{g/m}^3$

จากตารางที่ 4 ทดสอบประสิทธิภาพเตาเผาขยะลดมลพิษ ครั้งที่ 3 ที่ขยะ 450 กรัม เมื่อพิจารณามลพิษ ไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ พบว่าค่าเฉลี่ย $\text{Co}_2 = 3,649.4 \text{ ppm}$ $\text{Pm } 2.5 = 23.2 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ $\text{Tvoc} = 0.902 \text{ mg/m}^3$ และ $\text{Pm } 10 = 15.6 \text{ }\mu\text{g/m}^3$

ตารางที่ 5 แสดงการทดสอบประสิทธิภาพการเผาขยะโดยไม่ใช้เตาเผาขยะลดมลพิษ โดยมีน้ำหนัก 150, 300, 450 กรัม

ปริมาณขยะ	Co ₂	Pm 2.5	Tvoc	Pm 10
	ค่า	ค่ามาตรฐาน	ค่ามาตรฐานกรม	ค่ามาตรฐาน
	มาตรฐานสากล	กรมควบคุมมลพิษ (TH)	อนามัย กระทรวงสาธารณสุข (TH)	กรมควบคุมมลพิษ (TH)
	5000 ppm	50µg/m ³	2.30 mg/m ³	120µg/m ³
ปริมาณขยะ 150 กรัม	4661.0 ppm	89.4 µg/m ³	6.897 mg/m ³	103.0 µg/m ³
ปริมาณขยะ 300 กรัม	4841.0 ppm	121.8 µg/m ³	8.687 mg/m ³	140.0 µg/m ³
ปริมาณขยะ 450 กรัม	5000.0 ppm	138.2 µg/m ³	9.972 mg/m ³	160.0 µg/m ³

จากตารางที่ 5 การทดสอบประสิทธิภาพการเผาขยะโดยไม่ใช้เตาเผาขยะลดมลพิษ โดยมีน้ำหนัก 150, 300, 450 กรัม พบว่าค่ามลพิษที่ไม่ใช้เตาเผาขยะลดมลพิษ Co₂ = 3,649.4ppm Pm 2.5 = 23.2 µg/m³ Tvoc = 0.902 mg/m³ และ Pm 10 = 15.6 µg/m

ตารางที่ 6 แสดงค่าเฉลี่ยการทดสอบประสิทธิภาพเตาเผาขยะลดมลพิษ โดยมีน้ำหนัก 150, 300, 450 กรัม ทดสอบทั้งหมดอย่างละ 5 ครั้ง

ปริมาณขยะ	Co ₂	Pm 2.5	Tvoc	Pm 10
	ค่า	ค่ามาตรฐาน	ค่ามาตรฐานกรม	ค่ามาตรฐาน
	มาตรฐานสากล	กรมควบคุมมลพิษ (TH)	อนามัย กระทรวงสาธารณสุข (TH)	กรมควบคุมมลพิษ (TH)
	5000 ppm	50µg/m ³	2.30 mg/m ³	120µg/m ³
ปริมาณขยะ 150 กรัม	3313.8 ppm	18.2 µg/m ³	0.763 mg/m ³	13.2 µg/m ³
ปริมาณขยะ 300 กรัม	3612.4 ppm	21.8 µg/m ³	0.822 mg/m ³	14.6 µg/m ³
ปริมาณขยะ 450 กรัม	3649.4 ppm	23.2 µg/m ³	0.902 mg/m ³	15.6 µg/m ³

จากตารางที่ 6 แสดงค่าเฉลี่ยการทดสอบประสิทธิภาพเตาเผาขยะลดมลพิษ เเผาขยะ ผสมกันที่ น้ำหนัก 150 กรัม พบว่าค่าเฉลี่ย Co₂ = 3313.8 ppm Pm 2.5 = 18.2 µg/m³ Tvoc = 0.763 mg/m³ และ Pm 10 = 13.2 µg/m³ ที่น้ำหนัก 300 กรัม พบว่าค่าเฉลี่ย Co₂ = 3313.8 ppm Pm 2.5 = 18.2 µg/m³ Tvoc = 0.763 mg/m³ และ Pm 10 = 13.2 µg/m³ ที่ขยะ 450 กรัม พบว่าค่าเฉลี่ย Co₂ = 3,649.4 ppm Pm 2.5 = 23.2 µg/m³ Tvoc = 0.902 mg/m³ และ Pm 10 = 15.6 µg/m³

3) ผลการประเมินความพึงพอใจของเตาเผาขยะลดมลพิษ

ตารางที่ 7 ผลการประเมินความพึงพอใจของเตาเผาขยะลดมลพิษ

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
1. วัสดุอุปกรณ์ (คงทนถาวร)	4.40	0.49	มาก
2. ขนาดโครงสร้างเตาเผาขยะสำหรับชุมชนที่ใช้ร่วมกัน	4.00	0.52	มาก
3. ความสวยงาม	4.57	0.50	มากที่สุด
4. ความยากง่ายในการใช้ผลิตภัณฑ์อุปกรณ์ เปิด-ปิดการใช้งาน	4.10	0.65	มาก
5. ความพึงพอใจในการใช้งาน	4.43	0.56	มาก
6. การดูแลรักษา การทำความสะอาด	4.20	0.54	มาก
7. ความสะดวกในการเคลื่อนย้าย	4.10	0.54	มาก
8. ความคิดสร้างสรรค์ของผลิตภัณฑ์	4.63	0.48	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ย	4.30	0.53	มาก

จากตารางที่ 7 ผลการประเมินความพึงพอใจของเตาเผาขยะลดมลพิษ อยู่ในระดับมาก เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่า ความคิดสร้างสรรค์ของผลิตภัณฑ์ ค่าเฉลี่ย 4.63 (อยู่ในระดับคุณภาพมากที่สุด) ความสวยงามค่าเฉลี่ย 4.63 (อยู่ในระดับคุณภาพมากที่สุด)

6. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย ได้ดังนี้

1) ผลการประเมินผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับเตาเผาขยะลดมลพิษทางอากาศ สำหรับชุมชนพบว่า ระดับคุณภาพโดยรวมอยู่ในระดับ มาก (เฉลี่ย = 4.45, S.D. = 0.21) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเตาเผาขยะที่สร้างขึ้นมีความเหมาะสมต่อการใช้งานและประสิทธิภาพที่ดี

2) ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเตาเผาขยะลดมลพิษ ที่น้ำหนักขยะ 150 กรัม พบว่าค่าเฉลี่ย CO_2 = 3313.8 ppm, $\text{Pm}_{2.5}$ = 18.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Tvoc = 0.763 mg/m^3 และ Pm_{10} = 13.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่น้ำหนัก 300 กรัม พบว่าค่าเฉลี่ย CO_2 = 3313.8 ppm, $\text{Pm}_{2.5}$ = 18.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Tvoc = 0.763 mg/m^3 และ Pm_{10} = 13.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่ขยะ 450 กรัม พบว่าค่าเฉลี่ย CO_2 = 3,649.4 ppm, $\text{Pm}_{2.5}$ = 23.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Tvoc = 0.902 mg/m^3 และ Pm_{10} = 15.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ผลการทดสอบทุกค่าต่ำกว่ามาตรฐานสากลของกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข และกรมควบคุม แสดงว่าเตามีประสิทธิภาพสูงในการลดมลพิษ

3) ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อเตาเผาขยะลดมลพิษในภาพรวมอยู่ในระดับมาก (เฉลี่ย = 4.30, S.D. = 0.53) เนื่องจากลดกลิ่นและควันได้ดี ใช้งานง่าย และเหมาะสมต่อสภาพชุมชน

6.2 อภิปรายผล

การวิจัย เตาเผาขยะลดมลพิษเพื่อลดมลพิษทางอากาศสำหรับชุมชน สามารถอภิปรายได้ดังนี้

1) ด้านความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

ผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับมาก โดยเฉพาะความเหมาะสมของรูปแบบการออกแบบ และประสิทธิภาพในการลดมลพิษอยู่ในระดับมากที่สุด แสดงว่าเตามีการออกแบบที่สอดคล้องกับหลักวิศวกรรมและการทำงานจริงในชุมชน ซึ่งสอดคล้องกับงานของศิริพร โกมลสุทธิ [7] ที่ระบุว่าการออกแบบที่

คำนึงถึงสภาพพื้นที่และความสะดวกในการใช้งานสามารถเพิ่มประสิทธิภาพและความยั่งยืนของการใช้เทคโนโลยีได้

2) ด้านประสิทธิภาพของเตาเผาขยะลดมลพิษทางอากาศ

ผลการทดลองยืนยันว่าเตาเผาขยะที่พัฒนาขึ้นสามารถลดค่าการปล่อย CO_2 , $\text{Pm}_{2.5}$, Pm_{10} และ TVOC ให้อยู่ต่ำกว่ามาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ แสดงถึงการเผาไหม้ที่สมบูรณ์และลดความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชน ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Wang, Y., Li, J., & Zhao [6] ที่ระบุว่าเตาเผาที่ควบคุมอุณหภูมิและการระบายอากาศอย่างเหมาะสมช่วยลดการปล่อยสารพิษได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงงานของ [7] Tran, N. T., Vo, T. H., & Nguyen ที่ชี้ว่าการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลในเตาเผาชุมชนช่วยลด $\text{Pm}_{2.5}$ และ TVOC ได้อย่างมีนัยสำคัญ

3) ด้านความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

ผู้ใช้งานให้ความพึงพอใจในระดับมากต่อประสิทธิภาพ ความปลอดภัย และความสะดวกในการใช้งานของเตาเผา สอดคล้องกับงานของ Chung, C., & Zhang, W. [8] ที่พบว่าผู้ใช้เตาเผาในระดับชุมชนต้องการความปลอดภัยและความง่ายในการใช้งาน และงานของกรมวิทยาศาสตร์บริการ [9] ที่ระบุว่าการมีส่วนร่วมของชุมชนในการออกแบบช่วยเพิ่มการยอมรับและการใช้งานต่อเนื่อง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Occupational Safety and Health Administration. (2012). Carbon dioxide. In OSHA Annotated Table Z-1: Permissible Exposure Limits. Washington, DC: U.S. Department of Labor. Retrieved from <https://www.osha.gov/annotated-pels/table-z-1>
- [2] ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) Atlanta, GA: ASHRAE; 2010. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2010: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. [Google Scholar]
- [3] กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. (พ.ศ. 2565). ประกาศกรมอนามัย เรื่อง ค่าเฝ้าระวังคุณภาพอากาศภายในอาคารสาธารณะ พ.ศ. 2565 (รายการพารามิเตอร์ — $\text{TVOC} \leq 1,000$ ppb)
- [4] กรมควบคุมมลพิษ. (2565). แนวทางการเฝ้าระวังพื้นที่เสี่ยง จากมลพิษทางอากาศ กรณีฝุ่นละอองขนาดเล็ก (หน้า 6: ตารางที่ 1). กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ.
- [5] ศิริพร โกมลสุทธิ. (2563). การออกแบบเตาเผาขยะชุมชนที่เหมาะสมกับวิถีชีวิตท้องถิ่น. วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, 27(2), 45-59.
- [6] Wang, Y., Li, J., & Zhao, X. (2021). Design and evaluation of low-emission community waste incinerators. Journal of Environmental Engineering, 147(3), 04021001.
- [7] Tran, N. T., Vo, T. H., & Nguyen, P. V. (2020). Community-scale biomass incineration and its impact on rural air quality. Environmental Pollution, 263, 114476.
- [8] Chung, C., & Zhang, W. (2019). User satisfaction in low-income waste management technologies: A case study in Southeast Asia. Waste Management, 85, 192-199.

- [9] กรมวิทยาศาสตร์บริการ. (2564). แนวทางการพัฒนาเตาเผาขยะสำหรับชุมชน. กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม.