

การวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อการออกแบบสร้างเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็ก
ด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลอง

Identifying the Optimal Factor for Design and Fabrication of
A Small Municipal Solid Waste Incinerator with the Design of Experiments Technique

ศุภชัย แสงบัวท้าว¹ ระพี กาญจนะ²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาปัจจัยและระดับที่เหมาะสมในการเผาขยะ เพื่อการออกแบบเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็กด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองโดยมีขั้นตอนการดำเนินงานเริ่มต้นจากการออกแบบการทดลองเป็นแบบ General Factorial ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ปัจจัยหลัก คือ ปัจจัยปริมาณจำนวนรูลมเข้าในตัวเตา มี 3 ระดับคือ 36, 72 และ 144 รู ปัจจัยปริมาณขยะที่ทำการเผา มี 2 ระดับคือ 5 และ 10 กิโลกรัม โดยที่มีอัตราส่วนผสมปริมาณขยะเปียกร้อยละ 40 ต่อปริมาณขยะแห้งร้อยละ 60 ต่อ น้ำหนัก ทำการศึกษาผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมของปัจจัยต่างๆ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยกำหนดตัวชี้วัดประสิทธิภาพเตาเผาขยะดังนี้ ค่าอุณหภูมิที่เผาไหม้ขยะสูงที่สุด ปริมาณเขม่าที่เหลือจากการเผาไหม้น้อยที่สุด ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษสิ่งแวดล้อมที่กำหนดไว้ไม่เกิน 1,000 ppm จากผลการทดลอง ได้ผลสรุป ของ 2 ปัจจัยของหลักเตาเผาขยะที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด คือ จำนวนรูลม 144 รู และ ปริมาณขยะที่เผา 10 กิโลกรัม ได้ค่าตัวชี้วัดประสิทธิภาพ ค่าอุณหภูมิที่เผาไหม้ขยะสูงที่สุด 591.40 องศาเซลเซียส ปริมาณเขม่าที่เหลือจากการเผาไหม้น้อยที่สุด 0.32 กิโลกรัม ดังนั้นขยะที่เผาไหม้ 9.68 กิโลกรัม คิดเป็น 96.80% ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ 726.40 ppm อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: การออกแบบการทดลอง, เตาเผาขยะชุมชน

Abstract

This research aims to study and determine the appropriate level in the process of incineration for design and fabrication of a small municipal solid waste incinerator by applying the design of experiment technique. The research methodologies begin with the general factorial experiment design by considering the two main factors; the number of inhale hole in the stove and the total weight of solid waste. The numbers of inhale hole were studied at 36, 72 and 144 holes while the total weight of mixed garbage was considered at 5 and 10 kg with the proportion of wet and dry waste at

¹นักศึกษาระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

²อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

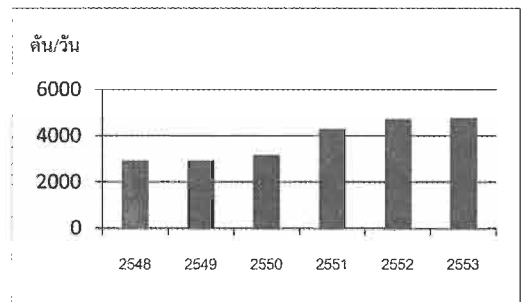
40: 60 of the total weight, respectively. This experiment investigated the significance level of main effects and the interaction effects affecting to the performance of incineration at 95 percent confidence interval. The best performance of this prototype was measured with the standards of Department of environment which the release volume of the carbon monoxide gas should not be greater than 1,000 ppm. From the experimental results, it showed that the appropriate level of the numbers of inhale hole in the stove were 144 holes and the total weight of solid waste was 10 kg. At this circumstance, the maximum combustion temperature was 569 °c, the minimum quantity of ash remaining in the stove was 0.32 kg. Therefore the incinerator efficiency was 96.80 percent with the release volume of the carbon monoxide gas equals to 726.40 ppm under the standards of Department of environment.

Keywords: Design of Experiment, Municipal solid waste incinerator

1. บทนำ

ทุกวันนี้คนไทยกว่า 60 ล้านคน สามารถสร้างขยะได้มากถึง 14 ล้านตันต่อปี แต่ความสามารถในการจัดเก็บขยะกลับมีไม่ถึง 70 % ของขยะที่เกิดขึ้น จึงทำให้เกิดปริมาณขยะมูลฝอยตกค้าง ตามสถานที่ต่างๆ หรือมีการนำไปกำจัดโดยวิธีกองบนพื้นซึ่งไม่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาลก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม คือ อากาศเสีย เกิดจากการเผาขยะมูลฝอยทำให้เกิดควันและซีเมนต์ และการเน่าสลายของขยะก่อให้เกิดก๊าซพิษและกลิ่นเหม็น เป็นแหล่งเพาะและแพร่เชื้อโรค โดยเฉพาะขยะติดเชื้อจากสถานพยาบาล และขยะเยือกที่แบคทีเรียทำหน้าที่ย่อยสลายเชื้อโรคตามขยะจะแพร่ไปกับน้ำ แมลงที่มาตอม และหนูหรือสุนัขที่มากุ้ยเขี่ย เชื้อที่ทำให้เกิดโรคอหิวาต์ และโรคบิดทำให้มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนและความไม่น่าดูจากการเก็บขยะมูลฝอยไม่หมดทำให้เกิดกลิ่นเหม็นรบกวนความ เป็นระเบียบเรียบร้อยเป็นที่น่ารังเกียจแก่ผู้อยู่อาศัยในบริเวณใกล้เคียงรวมทั้งผู้พบเห็น[1]

สถิติปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในภาคตะวันออกเฉียงเหนือระหว่างปี พ.ศ. 2548 ถึง พ.ศ. 2553 โดยกรมควบคุมมลพิษ



รูปที่ 1 แผนภูมิแสดงปริมาณขยะที่เกิดขึ้นในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ [2]

ผู้วิจัยมีความตระหนักถึงปัญหาด้านมลพิษของขยะ จึงได้เกิดแนวทางที่จะทำการออกแบบและสร้างเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็กขึ้นมาเพื่อใช้ในชุมชน ซึ่งควรเป็นเตาเผาขนาดเล็ก สามารถใช้งานได้ง่าย มีความเหมาะสมสำหรับผู้ใช้งานทั่วไป และจากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเตาเผาขยะนั้นได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเตาเผาขยะในชุมชนที่ใช้ในปัจจุบันส่วนใหญ่การเผาไหม้ยังไม่สมบูรณ์อุณหภูมิในการเผาไหม้ต่ำ ระยะเวลาในการเผาไหม้ยังยาวนาน เคลื่อนย้ายไม่สะดวก และยากต่อการบำรุงรักษา ผู้วิจัยได้นำข้อมูลดังกล่าวมาเป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็กใหม่ให้มีความสามารถในการเผาทำลายที่ดีและสามารถใช้งานได้สะดวกต่อการบำรุงรักษาและ

เคลื่อนย้าย ที่สำคัญเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็กต้องมีราคา ถูกใช้วัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นชุมชน เพื่อให้ประชาชนที่ สนใจสร้างเตาเผาขยะใช้ในชุมชนสามารถนำความรู้ที่ได้ จากงานวิจัยไปสร้างเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็กขึ้นมาด้วย ตนเอง

ด้วยเหตุผลข้างต้นดังกล่าวจึงจำเป็นต้องปรับปรุง ออกแบบและพัฒนาเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็กผู้วิจัยจึงได้ ประยุกต์หลักการออกแบบการทดลอง (DOE) และวิเคราะห์ เพื่อศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็ก ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ขยะชุมชน

กรมควบคุมมลพิษได้มีกฎหมายบัญญัติไว้ในยาม ความหมายของขยะดังนี้

2.1.1 ขยะชุมชน (Municipal solid waste) หมายถึงขยะที่ เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ในชุมชนตลาดสดบ้านพักอาศัยร้านอาหาร เศษวัสดุก่อสร้าง มูลฝอยติดเชื้อ เป็นต้น

2.1.2 ขยะทั่วไป (General waste) หมายถึง ขยะประเภทอื่น นอกเหนือจากขยะย่อยสลายขยะรีไซเคิลและขยะอันตราย มีลักษณะที่ย่อยสลายยากและไม่คุ้มสำหรับการนำกลับมา ใช้ใหม่ เช่น กลังอนม ห่อพลาสติกใส่ขนม ถุงพลาสติก กลังองโฟมใส่อาหาร [3]

2.2 ชนิดของเตาเผาขยะ

เตาเผาขยะที่ใช้ทำงานกันอยู่ในปัจจุบันนี้ได้มีเตาเผา ขยะหลายชนิดด้วยกันการเลือกเตาเผาเพื่อการใช้งานต้อง เหมาะสมกับสภาพขยะในแต่ละพื้นที่ และวัตถุประสงค์ การใช้งานในแต่ละชุมชนนั้นเตาเผาขยะสามารถแบ่งตาม ประเภทดังต่อไปนี้

2.2.1 เตาเผาขยะแบบหมุน (Rotary Kiln Incinerator)

เป็นระบบเตาเผาที่มีความยืดหยุ่นและความสะดวก ในการทำงานมากหนึ่งระบบเนื่องจากสามารถเผาไหม้ขยะ ได้เกือบทุกประเภทและทุกสถานะ (แก๊ส ของแข็ง ของ

เหลว) ซึ่งโดยปกติแล้วจะใช้เตาเผาแบบนี้ในการกำจัดขยะ อุตสาหกรรม

2.2.2 เตาเผาขยะแบบฟลูอิดไดเบด (Fluidized-bed)

มีลักษณะทรงกระบอกภายในก่ออิฐทนไฟที่ด้านล่างของเตามีลักษณะเป็นตะกั่วบรรจุทรายไว้ด้านล่าง อากาศจะถูกอุ่นให้ร้อนและฉีดผ่านตะกั่วเข้าไปในเตาที่ อุณหภูมิของอากาศประมาณ 300 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดการไหลขึ้นในเตา ทำให้น้ำแยกตัวออกจากขยะ

2.2.3 เตาเผาขยะแบบตะกั่ว (Stoker Incinerator)

เป็นเตาเผาที่มีโครงสร้างตามแนวนอนที่อาจก่อด้วย อิฐ เตาเผาประกอบด้วยแผงตะกั่ว (Stoker) จะทำด้วย วัสดุทนความร้อนและแผ่นรองอิสระ (Free Board) แผง ตะกั่วแบ่งเป็น 3 ส่วน ส่วนที่หนึ่งทำให้ขยะแห้ง (Dry Section) ส่วนที่สองขยะกำลังเผาไหม้ (Combustion Section) และส่วนสุดท้ายขยะหลังจากการเผาไหม้ (Post Combustion) แผงตะกั่ว ขยะจะพลิกกลับแล้วผสมไปพร้อมกับการเคลื่อนไหวของแผงตะกั่ว ความร้อนที่ใช้สำหรับเผา ไหม้ถูกป้อนเข้าทางด้านล่างของแผงตะกั่วและอากาศ ส่วนที่สอง (Secondary Air)

2.2.4 เตาเผาขยะแบบไพโรไลซิส (Pyrolysis Incinerator)

เป็นเตาที่ใช้ในการกำจัดขยะมูลฝอยโดยการเผา ไหม้ (Combustion) ภายใต้สภาวะไร้อากาศ ซึ่งใช้ปริมาณ อากาศต่ำกว่าปริมาณที่ต้องการทางทฤษฎีทำให้จำเป็นต้อง มีแหล่งให้ความร้อนแก่กระบวนการ (กระบวนการดูด ความร้อน หรือ Endothermic) จากหลักการที่ใช้อากาศใน การเผาไหม้ในปริมาณน้อยกว่าเตาขยะแบบอื่นและยังมีความสะดวกในการที่จะนำมาใช้ในชุมชนเพราะง่ายต่อการ ควบคุมลักษณะทั่วไป [4]

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้มีการพัฒนาเตา ขยะในรูปแบบต่างๆ โดยสามารถเปรียบเทียบจุดเด่น จุดด้อย ได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบจุดเด่น จุดด้อย งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชื่องานวิจัย	หลักการ	จุดเด่น	จุดด้อย
การศึกษาตัวแปรอิทธิพลต่อการเกิดไนโตรเจนออกไซด์ในเตาเผาขยะชุมชน (ไพบูลย์, 2539)	ทดสอบหาปริมาณ NOx การเผาขยะ 5,10, 15 kg การเพิ่มปริมาณอากาศขณะขึ้น การวัด NOx เพิ่มขึ้นทันที	ใช้ไนโตรเจนเป็นตัวชี้วัดปริมาณมลพิษทางอากาศ	เกิด NOx
การพัฒนาระบบขยะมูลฝอยชุมชนขนาดเล็ก (ธวัชวัน, 2544.)	ใช้ไนโตรเจนเป็นตัวชี้วัดปริมาณมลพิษทางอากาศ	ตัวเวลาที่สั้นด้วยหม้อไอน้ำ กว้าง	เคลื่อนย้ายไม่ได้ ยังมีกลิ่นเหม็น
การควบคุมภาวะอากาศและน้ำจากเตาเผาขยะมูลฝอยชุมชนขนาดเล็ก (โลศักดิ์, 2544.)	ใช้ไนโตรเจนเป็นตัวชี้วัดปริมาณมลพิษทางอากาศ	ตัวเวลาที่สั้นด้วยหม้อไอน้ำ กว้าง	มีเสียงดังจากเตา เกิด กลรดู CO= 800-1,700 CO ₂ =12,000-18,000 ppm= part per million
การหาปริมาณมลพิษที่กระจายจากเตาเผาขยะ (ตีพิมพ์, 2544.)	ใช้ไนโตรเจนในการคำนวณปริมาณมลพิษที่กระจาย	การเผาไหม้ที่เสถียรก่อนช่วย ให้ปริมาณมลพิษลดลง	ยังมีโลหะหนัก ยังมีมากในชิ้นผ้า
การประยุกต์การเผาไหม้อากาศอุณหภูมิสูงในเตาเผาขยะ (พิทักษ์, 2551.)	ใช้แก๊สสูงในการเผาไหม้ในห้อยส่วนเตาเผา	ได้คุณภาพสูง 900 องศา เซลเซียส	เกิด NOx มาก
การประเมินสมรรถนะเตาเผาขยะเพื่อการจัดการของระดับชุมชน (ธนา, 2551.)	แสดงก่อนการเผาเปรียบเทียบสัดส่วนการเผาไหม้ที่เสถียรกับประสิทธิภาพการเผา	การเผาไหม้ อุณหภูมิสูง 710 องศาเซลเซียส	สัดส่วนของเสียที่เพิ่มขึ้นปริมาณแก๊ส CO เพิ่มขึ้น
การพัฒนาระบบแบบสแตนด์ออลออกซิเจน (ศรีวิชัย, 2551.)	ใช้แก๊ส LPG ร่วมกับ O ₂	อุณหภูมิสูง 400-490 องศา เซลเซียส O ₂ ช่วยการเผาไหม้ให้สมบูรณ์	ค่าความร้อน O ₂ ช่วยการเผาไหม้เพิ่มขึ้นในมากถ้าไหม้
Burning Incinerator of Solid waste (Canada, 2002.)	การเผาไหม้ใช้จากเตาเผาขยะ	ได้คุณภาพสูง 200 องศา เซลเซียส	อายุการใช้งานสั้น 2 ปี

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเผาไหม้ขยะ

เชื้อเพลิงที่อยู่ในสถานะก๊าซจะสามารถถูกไหม้ไฟได้ แต่เชื้อเพลิงที่อยู่ในสถานะของแข็งและของเหลวจะไม่สามารถถูกไหม้ไฟได้ถ้าโมเลกุลที่ผิวของเชื้อเพลิงไม่อยู่ในสภาพที่เป็นก๊าซ การที่โมเลกุลของของแข็งหรือของเหลวนั้นจะสามารถแปรสภาพกลายเป็นก๊าซได้นั้นจะต้องอาศัยความร้อนที่แตกต่างกันตามชนิดของเชื้อเพลิง แต่ละชนิด ความแตกต่างของลักษณะการติดไฟของเชื้อเพลิงดังกล่าวขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ 4 ประการ คือ 1) เชื้อเพลิง (Fuel) 2) ออกซิเจน (Oxygen) 3) ความร้อน (Heat) และ 4) ปฏิกริยาลูกโซ่ (Chain Reaction)

2.4 การหาประสิทธิภาพการเผาทำลายขยะ

การคำนวณหาประสิทธิภาพการเผาทำลายขยะเพื่อวิเคราะห์หาความสารถในการกำจัดขยะของเตาเผาขยะสามารถหาประสิทธิภาพการเผาทำลายได้สมการ [5]

$$\eta = \frac{m_i - m_o}{m_i} \times 100\% \quad (1)$$

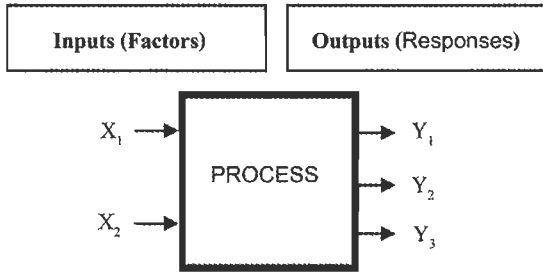
โดยที่

- η : ประสิทธิภาพการเผาทำลายขยะ (%)
- m_i : มวลของขยะก่อนการเผา (kg)
- m_o : มวลของขยะที่เหลือจากการเผา (kg)

2.5 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE)

DOE เป็นเครื่องมือทางสถิติที่ถูกนำไปใช้ในการออกแบบสินค้าและกระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) เมื่อค่าปัจจัย (Factors) เปลี่ยนแปลงไปนั้นมีผลทำให้ตัวแปรตอบสนองเปลี่ยนแปลงหรือไม่และอย่างไรเมื่อทราบความสัมพันธ์ดังกล่าวแล้วสามารถออกแบบค่าของปัจจัยให้ตรงกับค่าที่จะทำให้ได้ค่าตัวแปรตอบสนองเป็นไปตามต้องการเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลคือ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis Of Variance: ANOVA) ซึ่งเป็นเครื่องมือในการคำนวณเพื่อแยกค่า Main effects และ Noise effects ออกจากกัน เมื่อทราบ Effects

แยกของแต่ละปัจจัยแล้วก็จะสามารถออกแบบปัจจัยได้ตามปกติแล้วการทดลองนำมาใช้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการทำงานของกระบวนการและระบบแบบจำลอง ดังรูปที่ 2 [6]



รูปที่ 2 ปัจจัยกระบวนการและตัวแปรตอบสนอง

2.5.1 ปัจจัยในกระบวนการออกแบบการทดลอง สามารถแบ่งปัจจัยออกเป็น 2 ประเภท คือ

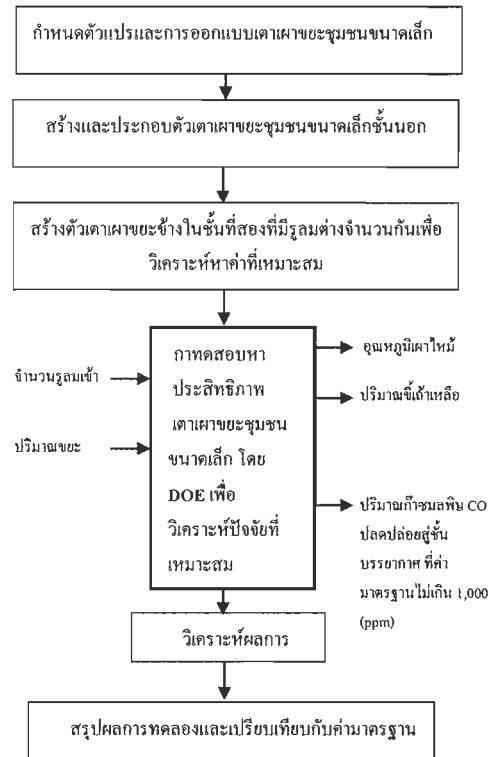
1. ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึงปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในกระบวนการซึ่งเป็นผลดีต่อการทดลองเพราะโดยส่วนใหญ่ผู้ทำการทดลองต้องการกำหนดค่าต่างๆที่คิดว่ามีผลต่อค่าตอบสนอง

2. ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) หมายถึงปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในกระบวนการ อันเนื่องมาจากเทคโนโลยีไม่ทันสมัย [7]

2.5.2 ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง [8] มีดังนี้

1. กำหนดและทำความเข้าใจปัญหา
2. เลือกปัจจัยและกำหนดค่าของปัจจัยที่ทำการทดลอง คือ การเลือกปัจจัยที่เกี่ยวข้อง
3. เลือกตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) เป็นตัวแปรที่ใช้ในการวัดผลของกระบวนการ
4. เลือกการออกแบบการทดลองในการเลือกการออกแบบการทดลองโดยจะพิจารณาขนาดของตัวอย่าง (จำนวนเรปลิเคต)
5. ทำการทดลองตามวิธีการที่ได้ออกแบบการทดลองไว้แล้ว
6. วิเคราะห์ผลโดยใช้หลักการทางสถิติ
7. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

3.วิธีการดำเนินงานวิจัย ได้นำหลักการ DOE วิเคราะห์หาปัจจัยที่เหมาะสมมีขั้นตอนการวิจัยดังต่อไปนี้



รูปที่ 3 ขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การกำหนดตัวแปรและการออกแบบตามเฉพาะชุมชนขนาดเล็ก

3.1.1 ปัจจัยในการออกแบบตามเฉพาะชุมชนขนาดเล็กมีปัจจัย 2 ปัจจัยหลักดังต่อไปนี้

1. ปัจจัยจำนวนรูลงเข้าเจาะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มม. มี 3 ระดับคือ 36, 72, 144 รู
2. ปัจจัยปริมาณขยะเปียกต่อขยะแห้งมี 2 ระดับคือ 5 ก.ก. และ 10 ก.ก.

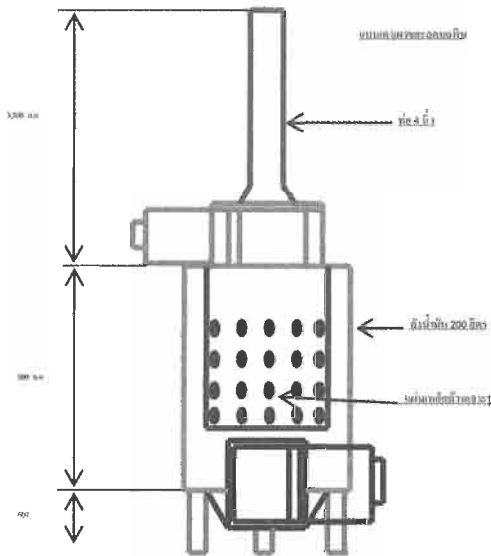
3.1.2 คำนีชีวัดประสิทธิภาพตามเฉพาะที่ตีจะพิจารณาจากค่าดังต่อไปนี้

1. ค่าอุณหภูมิที่เผาไหม้ขยะสูงที่สุด [2]
2. ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ปล่อยจากการเผาไหม้น้อยที่สุด
3. ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์อยู่ในเกณฑ์

มาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษสิ่งแวดล้อมที่กำหนดไว้ไม่เกิน 1,000 ppm

3.2 แบบเตาเผาและอุปกรณ์ในการสร้างเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็กเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็ก มีดังนี้

ถังเหล็กขนาดความจุ 200 ลิตร จำนวน 1 ถัง 100 ลิตร จำนวน 1 ถัง ท่อเหล็กขนาด 4 นิ้ว จำนวน 1 เส้น และแผ่นเหล็กหนา 3 มม. จำนวน 1 แผ่น



รูปที่ 4 แบบเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็ก

3.3 เครื่องมือ อุปกรณ์ในการทดสอบประสิทธิภาพ

ในการทดสอบประสิทธิภาพจะใช้เครื่องมือวัดดังนี้ คือ เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ รุ่น Testo 340 เครื่องวัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ Testo 625



รูปที่ 5 เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ รุ่น Testo 340



รูปที่ 6 เครื่องวัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ Testo625



รูปที่ 7 วิธีการวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ รุ่น Testo340



รูปที่ 8 วัดค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ โดยผู้เชี่ยวชาญ

3.4 การออกแบบการทดลองโดยเทคนิค DOE

การออกแบบทดลองเป็นแบบ General Factorial Design การทดลองแฟกทอเรียล 2 ปัจจัยออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์เพื่อศึกษาผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมของปัจจัยต่างๆ วิเคราะห์หาค่าข้อมูลเชิงสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ งานวิจัยนี้ได้กำหนดตัวแปรอิสระเป็น 2 ปัจจัยหลัก คือ ปัจจัยจำนวนรูตามหัวโดยการ

เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ม.ม. มี 3 ระดับคือ 36, 72, 144 รู ปัจจัยปริมาณขยะเปียกต่อขยะแห้งมี 2 ระดับ คือ 5 ก.ก. และ 10 ก.ก. ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงปัจจัยและระดับที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัยที่ศึกษา(Factor)	ระดับ (Level)
จำนวนรูลงเข้า	36 รู
	72 รู
	144 รู
ปริมาณขยะเปียกต่อขยะแห้ง	5 กิโลกรัม
	10 กิโลกรัม

ทั้งนี้โดยที่ตัวแปรตามในงานวิจัยนี้มี 3 ค่าคือค่าอุณหภูมิเตาเผาขยะ ค่าน้ำหนักเชื้อเพลิงเผาไหม้ และค่าปริมาณก๊าซ CO

4. ผลการทดลอง

การทดลองโดยใช้การออกแบบ General Factorial ประกอบด้วย 2 ปัจจัยหลักคือปัจจัยปริมาณจำนวนรูลงเข้าในตัวเตามี 3 ระดับคือ 36, 72 และ 144 รู และปัจจัยปริมาณขยะเปียกต่อขยะแห้ง มี 2 ระดับคือ 5 และ 10 กิโลกรัม ทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ทดลองทั้งหมด 30 ครั้ง แล้วบันทึกค่าแล้วนำไปวิเคราะห์ด้วย Minitab15 ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบ วัดอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

รวมเข้า	36 รู					
	การทดลองครั้งที่ 1	2	3	4	5	เฉลี่ย
5 ก.ก.	532	532	532	533	533	532.4
10 ก.ก.	543	544	544	543	544	544.4
รวมเข้า	72 รู					
5 ก.ก.	553	553	554	554	554	554.4
10 ก.ก.	568	567	568	567	567	567.4
รวมเข้า	144 รู					
5 ก.ก.	576	577	576	577	576	576.4
10 ก.ก.	591	590	591	590	591	591.4

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบ ปริมาณเชื้อเพลิงที่เหลือ (ก.ก.)

รวมเข้า	36 รู					
	การทดลองครั้งที่ 1	2	3	4	5	เฉลี่ย (%)
5 ก.ก.	0.45	0.45	0.45	0.4	0.4	0.43 (91.40%)
10 ก.ก.	0.6	0.55	0.55	0.6	0.55	0.57 (94.30%)
รวมเข้า	72 รู					
5 ก.ก.	0.35	0.35	0.3	0.3	0.3	0.32 (93.60%)
10 ก.ก.	0.45	0.4	0.45	0.4	0.4	0.42 (95.80%)
รวมเข้า	144 รู					
5 ก.ก.	0.25	0.2	0.25	0.2	0.25	0.23 (95.00%)
10 ก.ก.	0.3	0.35	0.3	0.35	0.3	0.32 (96.80%)

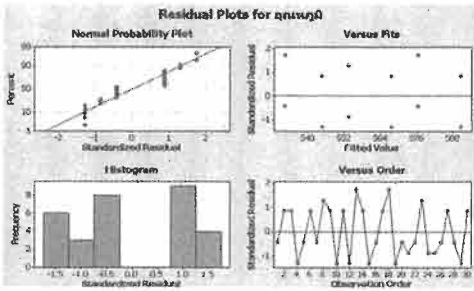
หมายเหตุ ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงประสิทธิภาพการเผาไหม้

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบวัดค่าก๊าซ CO (ppm)

รวมเข้า	36 รู					
	การทดลองครั้งที่ 1	2	3	4	5	เฉลี่ย
5 ก.ก.	598	598	598	597	597	587.60
10 ก.ก.	793	792	792	793	792	792.40
รวมเข้า	72 รู					
5 ก.ก.	565	565	564	564	564	564.40
10 ก.ก.	759	760	759	760	760	759.60
รวมเข้า	144 รู					
5 ก.ก.	532	531	532	531	532	531.60
10 ก.ก.	726	727	726	727	726	726.40

4.1 ผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติการทดลองวัดค่าอุณหภูมิจากการเผาไหม้

4.1.1 การตรวจสอบสมบัติของข้อมูลโดยใช้ Residual Plots ด้วยโปรแกรม Minitab การตรวจสอบความเหมาะสมและความถูกต้องของข้อมูลที่ได้ทำการทดลอง ผลการทดสอบความพอเพียงจากกราฟ (4 in 1 Graphs from Minitab) แปลงส่วนที่เหลือสำหรับผล (Residual Plots for Result) ทั้ง 4 ชนิดเพื่อการทดสอบแบบพารามตริก



รูปที่ 9 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง จาก Minitab 15

รูปที่ 9 กราฟที่ 1 ซ้ายบนเป็นการตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติของ Residuals มีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรงข้อมูลอยู่ในแนวเส้นทำให้ Residuals มีการแจกแจงแบบปกติ กราฟที่ 2 ซ้ายล่างฮิสโตแกรม (Histogram) จะมีลักษณะเป็นทรงระฆังคว่ำหรือค่าส่วนตกค้างกระจายตัวการแจกแจงแบบปกติ กราฟที่ 3 ขวาบนการตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) ของค่าส่วนตกค้างพิจารณาจากแผนภูมิการกระจายแบบสุ่มทั้งบวกและลบสม่ำเสมอๆ กันข้อมูลมีความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน กราฟที่ 4 ขวาล่างลำดับต่อด้านส่วนตกค้าง (Residual Plot Versus the Order) มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอข้อมูลมีความเป็นอิสระ

4.1.2 การวิเคราะห์ ANOVA

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ ความแปรปรวนของอุณหภูมิ

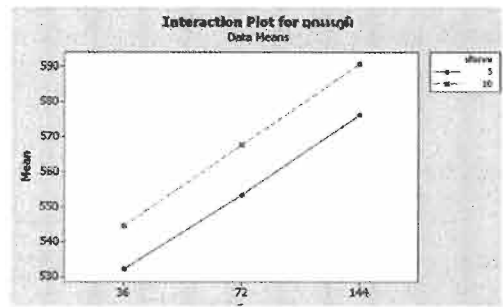
Source	DF	SeqSS	AdjSS	Adj MS	F	P
ปริมาณ	1	1400.8	1400.8	1400.8	5253.13	0.000
รู	2	10126.1	10126.1	5063.0	18986.38	0.000
ปริมาณ*รู	2	6.1	6.1	3.0	11.38	0.000

S = 0.516398 R-Sq = 99.94% R-Sq(adj) = 99.93%

โดยค่า R square เท่ากับ 99.93 % สามารถอธิบายได้ว่า ผลของ (y) ที่ได้เป็นผลหรืออิทธิพลจากตัวแปร (x) นั่นก็คือ ปริมาณขยะ และจำนวนรถมเข้า ส่วนที่เหลืออีก 0.07%

เป็นผลจากตัวแปรอื่นที่ไม่ทราบได้ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมากกว่าร้อยละ 90 แสดงว่าตัวแปรอิสระและตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันเป็นอย่างดี ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ปริมาณขยะและจำนวนรถมเข้า P-value = 0.000 < $\alpha = 0.05$ ดังนั้น จึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 หรือยอมรับสมมติฐาน H_1 กล่าวคือ ปริมาณขยะและจำนวนรถมเข้ามีอิทธิพลต่ออุณหภูมิ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

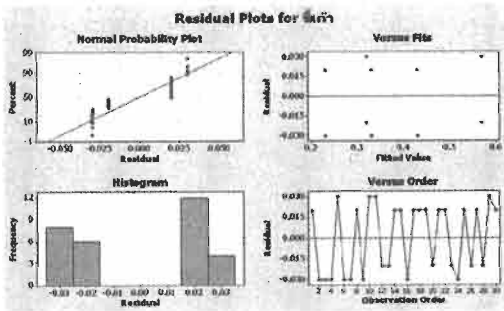
ผลการวิเคราะห์สรุปจากการวิเคราะห์ความเหมาะสมของปัจจัยร่วมผลตอบสนองของอุณหภูมิมีค่ามากที่สุดควรใช้ปริมาณน้ำหนัขยะที่ 10 กิโลกรัม และรถมเข้าที่ 144 รู ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 การทดสอบความเหมาะสมของปัจจัยร่วม

4.2 ผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติการทดลอง ค่าปริมาณ ขี้เถาที่เหลือจากการเผาไหม้

4.2.1 การตรวจสอบสมบัติของข้อมูล โดยใช้ Residual Plots ด้วยโปรแกรม Minitab การตรวจสอบความเหมาะสมและความถูกต้องของข้อมูลที่ได้ทำการทดลอง ผลการทดสอบความพอเพียงจากกราฟ (4 in 1 Graphs from Minitab) แปลงส่วนที่เหลือสำหรับผล (Residual Plots for Result) ทั้ง 4 ชนิดเพื่อการทดสอบแบบพารามตริก



รูปที่ 11 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง จาก Minitab 15

รูปที่ 11 กราฟที่ 1 ซ้ายบนเป็นการตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติของ Residuals มีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรงข้อมูลอยู่ในแนวเส้นทำให้ Residuals มีการแจกแจงแบบปกติ กราฟที่ 2 ซ้ายล่างฮิสโตแกรม (Histogram) จะมีลักษณะเป็นทรงระฆังคว่ำหรือค่าส่วนตกค้างกระจายตัวการแจกแจงแบบปกติ กราฟที่ 3 ขวาบนการตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) ของค่าส่วนตกค้างพิจารณาจากแผนภูมิการกระจายแบบกลุ่มทั้งบวกและลบสม่ำเสมอๆ กันข้อมูลมีความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน กราฟที่ 4 ขวาล่างลำดับต่อต้านส่วนตกค้าง (Residual Plot Versus the Order) มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอข้อมูลมีความเป็นอิสระ

4.2.2 การวิเคราะห์ ANOVA

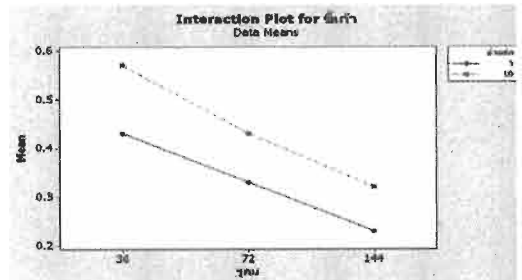
ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ ความแปรปรวนของซีเมนต์ที่เหลือ

Source	DF	SeqSS	AdjSS	Adj MS	F	P
ปริมาณ	1	0.234083	0.234083	0.234083	267.52	0.000
รู	2	0.038167	0.038167	0.019083	21.81	0.000
ปริมาณ*รู	2	0.000167	0.000167	0.000083	0.10	0.909

S = 0.0295804 R-Sq = 92.84% R-Sq(adj) = 91.35%

โดยค่า R square เท่ากับ 91.35 % สามารถอธิบายได้ว่า ผลของ (y) ที่ได้เป็นผลหรืออิทธิพลจากตัวแปร (x) นั่นก็คือ ปริมาณขยะ และจำนวนรถลมเข้า ส่วนที่เหลืออีก 8.65 %

เป็นผลจากตัวแปรอื่นที่ไม่ทราบได้ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมากกว่าร้อยละ 90 แสดงว่าตัวแปรอิสระและตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันเป็นอย่างดี ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ปริมาณขยะและจำนวนรถลมเข้า P-value = 0.909 > $\alpha = 0.05$ ดังนั้น จึงไม่มีเหตุผลเพียงพอที่จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 กล่าวคือ ไม่อาจปฏิเสธได้ว่าปริมาณขยะและจำนวนรถลมเข้าไม่มีอิทธิพลต่อซีเมนต์ที่เหลือ



รูปที่ 12 การทดสอบความเหมาะสมของปัจจัยร่วม

สรุปจากการวิเคราะห์ ผลตอบสนองปัจจัยร่วมที่มีผลต่อปริมาณที่เหลือของซีเมนต์ ที่มีค่าน้อยที่สุด ควรใช้ปริมาณน้ำหนักขยะที่ 10 ก.ก. และรถลมเข้าที่ 144 ร

4.3 ผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติการทดลองวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO)

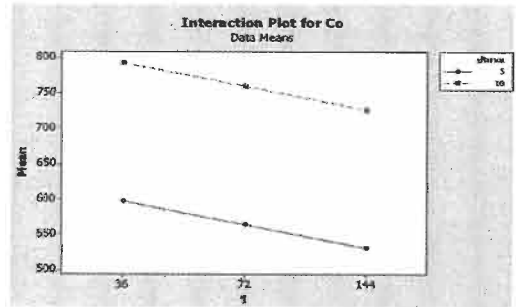
การตรวจสอบความเหมาะสมและความถูกต้องของข้อมูลที่ทำการทดลองเลือกการวิเคราะห์ผลการทดสอบความพอเพียงจากกราฟ (4 in 1 Graphs from Minitab) แปลงส่วนที่เหลือสำหรับผล (Residual Plots for Result) ทั้ง 4 ชนิดเพื่อการทดสอบแบบพารามตริก

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ ความแปรปรวนของก๊าซ CO

Source	DF	SeqSS	AdjSS	Adj MS	F	P
ปริมาณ	1	14170	14170	14170	1889.35	0.000
รู	2	73509	73509	36754	4900.59	0.000
ปริมาณ*รู	2	14837	14837	7418	989.12	0.000

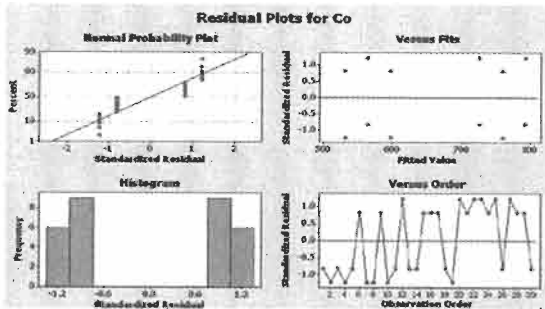
S = 2.73861 R-Sq = 99.82% R-Sq(adj) = 99.79%

โดยค่า R square เท่ากับ 99.79 % สามารถอธิบายได้ว่า ผลของ (y) ที่ได้เป็นผลหรืออิทธิพลจากตัวแปร (x) นั้นก็คือ ปริมาณขยะ และจำนวนรูลมเข้า ส่วนที่เหลืออีก 0.21 % เป็นผลจากตัวแปรอื่นที่ไม่ทราบได้ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมากกว่าร้อยละ 90 แสดงว่าตัวแปรอิสระและตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันเป็นอย่างดี ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ปริมาณขยะและจำนวนรูลมเข้า P-value = 0.000 < α = 0.05 ดังนั้น จึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 หรือยอมรับสมมติฐาน H_1 กล่าวคือปริมาณขยะและจำนวนรูลมเข้ามีอิทธิพลต่อ ปริมาณก๊าซ CO อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05



รูปที่ 14 การทดสอบความเหมาะสมของปัจจัยร่วม

สรุปจากการวิเคราะห์ผลตอบสนองปัจจัยร่วมที่มีผลต่อปริมาณของก๊าซ CO มีค่าน้อยที่สุด ควรใช้ปริมาณน้ำหนักขยะที่ 5 กิโลกรัม และรูลมเข้าที่ 144 รู



รูปที่ 13 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองจาก Minitab 15

รูปที่ 13 กราฟที่ 1 ซ้ายบนเป็นการตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติของ Residuals มีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรงข้อมูลอยู่ในแนวเส้นทำให้ Residuals มีการแจกแจงแบบปกติ กราฟที่ 2 ซ้ายล่างฮิสโตแกรม (Histogram) จะมีลักษณะเป็นทรงระฆังคว่ำหรือค่าส่วนตกค้างกระจายตัวการแจกแจงแบบปกติ กราฟที่ 3 ขวาบนการตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) ของค่าส่วนตกค้างพิจารณาจากแผนภูมิการกระจายแบบสุ่มทั้งบวกและลบสม่ำเสมอๆ กันข้อมูลมีความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน กราฟที่ 4 ขวาล่างลำดับต่อต้านส่วนตกค้าง (Residual Plot Versus the Order) มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอข้อมูลมีความเป็นอิสระ

5. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง สามารถสรุปปัจจัยและระดับของปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบเผาขยะของเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็กได้ดังนี้

1. พิจารณาค่าอุณหภูมิที่เผาไหม้ขยะผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิเผาไหม้ในเตาเผาขยะจะมีค่ามากที่สุด 591.40 C จากการทดลองใช้ปริมาณน้ำหนักขยะที่ 10 กิโลกรัมและรูลมเข้าที่ 144 รู

2. พิจารณาปริมาณขี้เถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้น้อยที่สุด ผลจากการสุด ผลการทดลองพบว่าปริมาณขี้เถ้าที่เหลือมีค่าน้อยที่สุดจากการทดลองเมื่อใช้ปริมาณน้ำหนักขยะที่ 10 กิโลกรัม และรูลมเข้าที่ 144 รู

3. พิจารณาปริมาณก๊าซ CO มีค่าน้อยที่สุด ผลการทดลองพบว่าปริมาณก๊าซ CO มีค่าน้อยที่สุด ที่ปริมาณน้ำหนักขยะที่ 5 กิโลกรัม และรูลมเข้าที่ 144 รู แต่ทุกปัจจัยก็อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษสิ่งแวดล้อมที่กำหนดไว้ไม่เกิน 1,000 ppm

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าผลที่ได้จากการการทดลองเผาขยะที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดคือ ควรออกแบบให้เตาเผาขยะมีจำนวนรูลม 144 รู และ มีความสามารถที่จะเผาขยะได้

ใน ปริมาณขยะที่ 10 กิโลกรัม ทั้งนี้พิจารณาจากค่าตัวชี้วัด ประสิทธิภาพค่าอุณหภูมิที่เผาไหม้ขยะสูงที่สุด 591.40 องศาเซลเซียส ปริมาณเชื้อเพลิงที่เหลือจากการเผาไหม้น้อยที่สุด 0.32 กิโลกรัม ดังนั้นขยะที่เผาไหม้ 9.68 กิโลกรัม คิดเป็น 96.80% ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ 726.40 ppm อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษสิ่งแวดล้อม

ข้อเสนอแนะข้อจำกัด

1. การเผาขยะเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงช่องด้านล่างที่ใช้สำหรับให้อากาศเข้าไปช่วยในการเผาไหม้ควรยกตระแกรงรองรับขยะชั้นอีกในเตาเผาขยะให้สูงขึ้นเพื่อให้อากาศภายนอกไหลเข้าไปได้สะดวกมากยิ่งขึ้น
2. การเจาะรูลมเข้าในการทดลองเจาะที่ 10 ม.ม. ควรเจาะเพิ่มขนาดให้ได้อีก
3. จำนวนรูลมเข้าโดยพื้นที่ที่เหลือควรเพิ่มจำนวนรูลมเข้าในตัวเตาอีกเพื่อให้อากาศภายนอกไหลเข้าไปได้สะดวกมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ดร.ระพี กาญจนะ รศ.ดร. ฐฐา คุปต์ชัยเชียร ผศ. ไพบูลย์ เข้มผื่อน ผศ.สุรัตน์ ตรียวนพงศ์ และ ผศ.ศรีโร จารุกัญญา คณาจารย์จากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เพื่อน้อง M53IE ทุกๆ คน ที่ให้ความอนุเคราะห์คำแนะนำข้อคิดเห็นต่างๆ ขอคุณรัฐบาลที่ให้ทุนมาศึกษาทุน SP2 ตลอดจนพระคุณพ่อสมาน แม่พิศมัย ที่ให้กำลังใจในทุกๆ เรื่องเสมอมาอีกทั้งทุกๆ คำกำลังใจที่ไม่ได้กล่าวมา ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] พระราชบัญญัติการสาธารณสุข, พ.ศ. 2535.
- [2] กรมควบคุมมลพิษ, พ.ศ. 2553.
- [3] พัชร หอวิจิตร, 2536. การจัดการขยะมูลฝอย. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [4] เลอศักดิ์ โคสูงเนิน, 2544. การควบคุมภาวะอากาศและนาจากเตาเผาขยะมูลฝอยชุมชนขนาดเล็ก. วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [5] นภาพร พานิช, 2550. ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ. แก้ไขปรับปรุงพิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.
- [6] ศรีโร จารุกัญญา, 2553. เอกสารประกอบรายวิชาการออกแบบการทดลอง (DOE). ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [7] วิชาญวรรณ, 2545. ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเหล็กกล้าปลายนันสำหรับกระบวนการหล่อเหล็กแท่งแบบต่อเนื่องโดยวิธีการออกแบบการทดลอง. วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [8] ปารเมศ ชูติมา, 2545. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.