

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 เพื่อการออกแบบเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็กด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานเริ่มต้นจากการออกแบบการทดลองเป็นแบบ General Factorial ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ปัจจัยหลัก คือ ปัจจัยปริมาณจำนวนรูลมเข้าในเตา 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 ปริมาณก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้น้อยที่สุด ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษสิ่งแวดล้อมที่กำหนดไว้ไม่เกิน 1,000 ppm จากผลการทดลอง ได้ผลสรุป ของ 2 ปัจจัยของหลักเตาเผาขยะที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด คือ จำนวนรูลม 144 รู และ ปริมาณขยะที่เผา 10 กิโลกรัม ได้ค่าตัวชี้วัดประสิทธิภาพ ค่าอุณหภูมิที่เผาไหม้ขยะสูงที่สุด 591.40 องศาเซลเซียส ปริมาณก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้น้อยที่สุด 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

¹นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

²อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

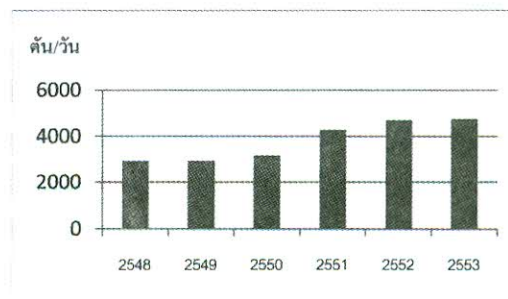
40: 60 of the total weight, respectively. This experiment investigated the significance level of main effects and the interaction effects affecting to the performance of incineration at 95 percent confidence interval. The best performance of this prototype was measured with the standards of Department 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 จึงทำให้เกิดปริมาณขยะมูลฝอยตกค้างตามสถานที่ต่างๆ หรือมีการนำไปกำจัดโดยวิธีกองบนพื้นซึ่งไม่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาลก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม คือ อากาศเสีย เกิดจากการเผาขยะมูลฝอยทำให้เกิดควันและเขม่า และการเน่าสลายของขยะก่อให้เกิดก๊าซพิษและกลิ่นเหม็น เป็นแหล่งเพาะและแพร่เชื้อโรค โดยเฉพาะขยะติดเชื้อจากสถานพยาบาล และขยะเปื้อนที่แบคทีเรียทำหน้าที่ย่อยสลายเชื้อโรคตามขยะจะแพร่ไปกับน้ำ แมลงที่มาตอม และหนูหรือสุนัขที่มากุ้ยเขี่ย เชื้อที่ทำให้เกิดโรคอหิวาต์ และโรคบิดทำให้มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนและความไม่น่าดูจากการเก็บขยะมูลฝอยไม่หมดทำให้เกิดกลิ่นเหม็นรบกวนชาวความเป็นระเบียบเรียบร้อยเป็นที่น่ารังเกียจแก่ผู้อยู่อาศัยในบริเวณใกล้เคียงรวมทั้งผู้พบเห็น[1]

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



รูปที่ 1 แผนภูมิแสดงปริมาณขยะที่เกิดขึ้นในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ [2]

ผู้วิจัยมีความตระหนักถึงปัญหาด้านมลพิษของขยะ จึงได้เกิดแนวทางที่จะทำการออกแบบและสร้างเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็กขึ้นมาเพื่อใช้ในชุมชน ซึ่งควรเป็นเตาเผาขนาดเล็ก สามารถใช้งานได้ง่าย มีความเหมาะสมสำหรับผู้ใช้งานทั่วไป และจากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเตาเผาขยะนั้นได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเตาเผาขยะในชุมชนที่ใช้ในปัจจุบันส่วนใหญ่การเผาไหม้ยังไม่สมบูรณ์อุณหภูมิในการเผาไหม้ต่ำ ระยะเวลาในการเผาไหม้นาน เคลื่อนย้ายไม่สะดวก และขาดต่อการบำรุงรักษา ผู้วิจัยได้นำข้อมูลดังกล่าวมาเป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็กใหม่ให้มีความสามารถในการเผาทำลายที่ดีและสามารถใช้งานได้สะดวกง่ายต่อการบำรุงรักษาและ

เคลื่อนย้าย ที่สำคัญเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็กต้องมีราคาถูก ใช้วัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นชุมชน เพื่อให้ประชาชนที่สนใจสร้างเตาเผาขยะใช้ในชุมชนสามารถนำความรู้ที่ได้จากงานวิจัยไปสร้างเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็กขึ้นมาด้วยตนเอง

ด้วยเหตุผลข้างต้นดังกล่าวจึงจำเป็นต้องปรับปรุงออกแบบและพัฒนาเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็กผู้วิจัยจึงได้ประยุกต์หลักการออกแบบการทดลอง (DOE) และวิเคราะห์เพื่อศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็กให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ขยะชุมชน

กรมควบคุมมลพิษได้มีกฎหมายบัญญัติไว้นิยามความหมายของขยะดังนี้

2.1.1 ขยะชุมชน (Municipal solid waste) หมายถึงขยะที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ในชุมชนตลาดสดบ้านพักอาศัยร้านอาหาร เศษวัสดุก่อสร้าง มูลฝอยติดเชื้อ เป็นต้น

2.1.2 ขยะทั่วไป (General waste) หมายถึง ขยะประเภทอื่นนอกเหนือจากขยะย่อยสลายขยะรีไซเคิลและขยะอันตราย มีลักษณะที่ย่อยสลายยากและไม่คุ้มสำหรับการนำกลับมาใช้ใหม่ เช่น ก่อถ่วงนม ห่อพลาสติกใส่ขนม ถุงพลาสติก ก่อถ่วงโฟมใส่อาหาร [3]

2.2 ชนิดของเตาเผาขยะ

เตาเผาขยะที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบันนี้ได้มีเตาเผาขยะหลายชนิดด้วยกันการเลือกเตาเผาเพื่อการใช้งานต้องเหมาะสมกับสภาพขยะในแต่ละพื้นที่ และวัตถุประสงค์การใช้งานในแต่ละชุมชนนั้นเตาเผาขยะสามารถแบ่งตามประเภทดังต่อไปนี้

2.2.1 เตาเผาขยะแบบหมุน (Rotary Kiln Incinerator)

เป็นระบบเตาเผาที่มีความยืดหยุ่นและความสะดวกในการทำงานมากหนึ่งระบบเนื่องจากสามารถเผาไหม้ขยะได้เกือบทุกประเภทและทุกสถานะ (แก๊ส ของแข็ง ของ

เหลว) ซึ่งโดยปกติแล้วจะใช้เตาเผาแบบนี้ในการกำจัดขยะอุตสาหกรรม

2.2.2 เตาเผาขยะแบบฟลูอิดไดเบด (Fluidized-bed)

มีลักษณะทรงกระบอกภายในก่ออิฐทนไฟที่ด้านล่างของเตามีลักษณะเป็นตะกั่วบรรจุทรายไว้ด้านล่างอากาศจะถูกอุ่นให้ร้อนและฉีดผ่านตะกั่วเข้าไปในเตาที่อุณหภูมิของอากาศประมาณ 300 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดการไหลขึ้นในเตา ทำให้น้ำแยกตัวออกจากขยะ

2.2.3 เตาเผาขยะแบบตะกั่ว (Stoker Incinerator)

เป็นเตาเผาที่มีโครงสร้างตามแนวนอนที่อาจก่อด้วยอิฐ เตาเผาประกอบด้วยแผงตะกั่ว (Stoker) จะทำด้วยวัสดุทนความร้อนและแผ่นรองอิสระ (Free Board) แผงตะกั่วแบ่งเป็น 3 ส่วน ส่วนที่หนึ่งทำให้ขยะแห้ง (Dry Section) ส่วนที่สองขยะกำลังเผาไหม้ (Combustion Section) และส่วนสุดท้ายขยะหลังจากการเผาไหม้ (Post Combustion) แผงตะกั่ว ขยะจะพลิกกลับแล้วผสมไปพร้อมกับการเคลื่อนไหวของแผงตะกั่วความร้อนที่ใช้สำหรับเผาไหม้ถูกป้อนเข้าทางด้านล่างของแผงตะกั่วและอากาศส่วนที่สอง (Secondary Air)

2.2.4 เตาเผาขยะแบบไพโรไลซิส (Pyrolysis Incinerator)

เป็นเตาที่ใช้ในการกำจัดขยะมูลฝอยโดยการเผาไหม้ (Combustion) ภายใต้สภาวะไร้อากาศ ซึ่งใช้ปริมาณอากาศต่ำกว่าปริมาณที่ต้องการทางทฤษฎีทำให้จำเป็นต้องมีแหล่งให้ความร้อนแก่กระบวนการ (กระบวนการดูดความร้อน หรือ Endothermic) จากหลักการที่ใช้อากาศในการเผาไหม้ในปริมาณน้อยกว่าเตาขยะแบบอื่นและยังมีความสะดวกในการที่จะนำมาใช้ในชุมชนเพราะง่ายต่อการควบคุมลักษณะทั่วไป [4]

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้มีการพัฒนาเตาขยะในรูปแบบต่างๆ โดยสามารถเปรียบเทียบจุดเด่น จุดด้อยได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบจุดเด่น จุดด้อย งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชื่องานวิจัย	หลักการ	จุดเด่น	จุดด้อย
การศึกษาตัวแปร มีอิทธิพลต่อการ เกิดไนโตรเจน ออกไซด์ใน เตาเผาขยะชุมชน [โทบุอิ, 2539]	ทดสอบหา ปริมาณ NOx การเผาขยะ 5,10, 15 kg การเพิ่ม ปริมาณอากาศ ขณะเพิ่ม การเกิด NOx เพิ่มขึ้น เหมือนกัน	ใช้ไนโตรเจน เป็นเชื้อเพลิงทดสอบ ควบคุมอุณหภูมิและ อากาศได้	เกิด NOx
การพัฒนาเตาเผา ขยะมูลฝอย ชุมชนขนาดเล็ก [อัศวิน, 2544.]	ใช้น้ำบำบัดเชื้อ เพลิงใน spray tower ช่วยบำบัด กลิ่น	ตัวเตาทำด้วยอิฐ ทนไฟ ทน อุณหภูมิสูง	เคลื่อนย้ายไม่ได้ ยังมีควันดำ เหลืออยู่มาก
การควบคุมภาวะ อากาศและน้ำ จากเตาเผาขยะ มูลฝอยชุมชน ขนาดเล็ก [เอศศักดิ์, 2544.]	ใช้น้ำบำบัดเชื้อ เพลิงใน ระบบ น้ำ spray tower	ตัวเตาทำด้วยอิฐ ทนไฟ ทน อุณหภูมิสูง ควบคุมอากาศ และน้ำได้ดี	น้ำเสียเกิดจากเตา เกิด กรดสูง CO= 800-1,700 CO ₂ =12,000- 18,000 ppm=
การหาปริมาณ เขม่าตะกั่วจาก การเผาขยะ [สัมพันธ์, 2544.]	ใช้น้ำมันในการ ช่วยเผาไหม้ใน ห้องตัวเตาเผา ขณะการทดสอบ ด้วยหลักการทาง เคมี	การเผาด้วยวิธี เผาออกก่อนช่วย ให้ปริมาณเขม่า ลดลง	ยังมีโลหะหนัก ยังมีมากในขี้เถ้า
การประยุกต์การ เผาไหม้อากาศ อุณหภูมิสูงใน เตาเผาขยะ [พิทักษ์, 2551.]	ใช้แก๊สสูงคืนใน การเผาไหม้ใน ห้องตัวเตาเผา ขยะ	ได้อุณหภูมิสูง 900 องศา เซลเซียส	เกิด NOx มาก
การประเมิน สมรรถนะเตาเผา ขยะเพื่อการ จัดการขยะระดับ ชุมชน [จินา, 2551.]	แยกขยะก่อนการ เผาเปรียบเทียบ สัดส่วนการเผา ไหม้จะแตกต่างกัน ขยะแห้ง ประสิทธิภาพเผา ขยะเปียกได้ สูงสุด 40 %	การเผาไหม้ อุณหภูมิสูง 710 องศาเซลเซียส	สัดส่วนขยะเปียก เพิ่มขึ้นปริมาณ ก๊าซ CO เพิ่มขึ้น
การพัฒนาเตา แบบเสริม ออกซิเจน [ศรีวิชัย, 2551.]	ใช้แก๊ส LPG ร่วมกับ O ₂	อุณหภูมิสูง 400- 490 องศา เซลเซียส O ₂ ช่วย การเผาไหม้ให้ สมบูรณ์	ค่าความร้อน O ₂ ช่วยการเผาไหม้ เพิ่มขึ้นไม่มาก เท่าไร
Burning Incinerator of Solid waste [Canada, 2002.]	การเผาไหม้ใช้ อากาศจาก ธรรมชาติ	ได้อุณหภูมิสูง 200 องศา เซลเซียส	อายุการใช้งาน สั้น 2 ปี

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเผาไหม้ขยะ

เชื้อเพลิงที่อยู่ในสถานะก๊าซจะสามารถลุกไหม้ไฟได้ แต่เชื้อเพลิงที่อยู่ในสถานะของแข็งและของเหลวจะไม่สามารถลุกไหม้ไฟได้ถ้าโมเลกุลที่ผิวของเชื้อเพลิงไม่อยู่ในสภาพที่เป็นก๊าซ การที่โมเลกุลของของแข็งหรือของเหลวนั้นจะสามารถแปรสภาพกลายเป็นก๊าซได้นั้นจะต้องอาศัยความร้อนที่แตกต่างกันตามชนิดของเชื้อเพลิง แต่ละชนิดความแตกต่างของลักษณะการติดไฟของเชื้อเพลิงดังกล่าวขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ 4 ประการ คือ 1) เชื้อเพลิง (Fuel) 2) ออกซิเจน (Oxygen) 3) ความร้อน (Heat) และ 4) ปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain Reaction)

2.4 การหาประสิทธิภาพการเผาทำลายขยะ

การคำนวณหาประสิทธิภาพการเผาทำลายขยะเพื่อวิเคราะห์หาความสารถในการกำจัดขยะของเตาเผาขยะสามารถหาประสิทธิภาพการเผาทำลายได้สมการ [5]

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

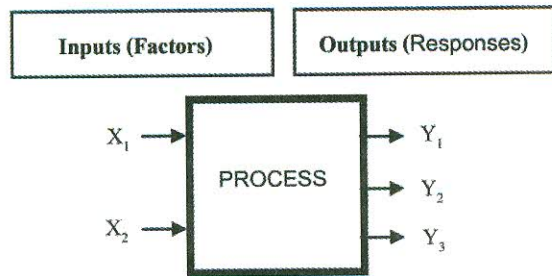
โดยที่

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

2.5 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE)

DOE เป็นเครื่องมือทางสถิติที่ถูกนำไปใช้ในการออกแบบสินค้าและกระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) เมื่อค่าปัจจัย (Factors) เปลี่ยนแปลงไปนั้นมีผลทำให้ตัวแปรตอบสนองเปลี่ยนแปลงหรือไม่และอย่างไรเมื่อทราบความสัมพันธ์ดังกล่าวแล้วสามารถออกแบบค่าของปัจจัยให้ตรงกับค่าที่จะทำให้ได้ค่าตัวแปรตอบสนองเป็นไปตามต้องการเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลคือการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis Of Variances: 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

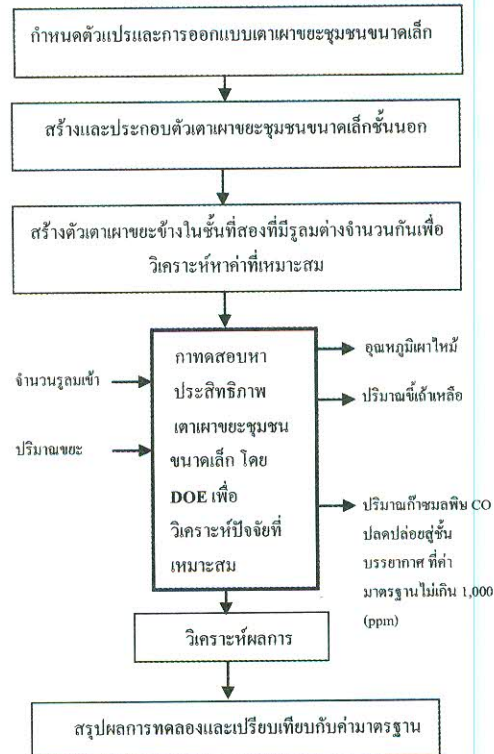
1. ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึงปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในกระบวนการซึ่งเป็นผลดีต่อการทดลองเพราะโดยส่วนใหญ่ผู้ทำการทดลองต้องการกำหนดค่าต่างๆที่คิดว่ามีผลต่อค่าตอบสนอง

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 การกำหนดตัวแปรและการออกแบบเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็ก

3.1.1 ปัจจัยในการออกแบบเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็กมีปัจจัย 2 ปัจจัยหลักดังต่อไปนี้

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

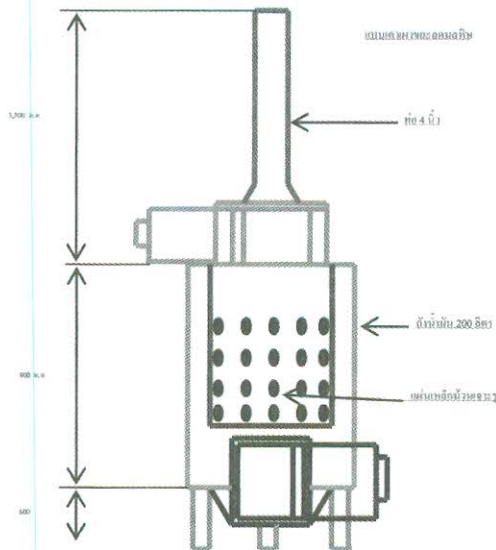
3.1.2 คำนวณวัดประสิทธิภาพเตาเผาขยะที่ดีจะพิจารณาจากค่าดังต่อไปนี้

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

มาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษสิ่งแวดล้อมที่กำหนดไว้ไม่เกิน 1,000 ppm

3.2 แบบเตาเผาและอุปกรณ์ในการสร้างเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็กเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็ก มีดังนี้

ถังเหล็กขนาดความจุ 200 ลิตร จำนวน 1 ถึง 100 ลิตร จำนวน 1 ถึง 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 วิธีวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ งานวิจัยนี้ได้กำหนดตัวแปรอิสระเป็น 2 ปัจจัยหลัก คือ ปัจจัยจำนวนรูลงเข้าโดยการ

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)
จำนวนรูลง	36 รู
	72 รู
	144 รู
ปริมาณขยะเปียกต่อขยะแห้ง	5 กิโลกรัม
	10 กิโลกรัม

ทั้งนี้โดยที่ตัวแปรตามในงานวิจัยนี้มี 3 ค่าคือค่าอุณหภูมิเตาเผาขยะ ค่าน้ำหนักเชื้อเพลิงเผาไหม้และค่าปริมาณก๊าซ CO

4. ผลการทดลอง

การทดลองโดยใช้การออกแบบ General Factorial ประกอบด้วย 2 ปัจจัยหลักคือปัจจัยปริมาณจำนวนรูลงลงในตัวเตา มี 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)

รูลง	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
รูลง	72 รู					
5 ก.ก.	553	553	554	554	554	554.4
10 ก.ก.	568	567	568	567	567	567.4
รูลง	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.)

รูลง	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%)
รูลง	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%)
รูลง	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%)

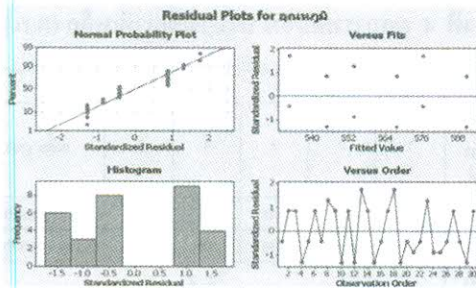
หมายเหตุ ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงประสิทธิภาพการเผาไหม้

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบ วัดค่าก๊าซ CO (ppm)

รูลง	36 รู					
การทดลองครั้งที่	1	2	3	4	5	เฉลี่ย
5 ก.ก.	598	598	598	597	597	597.60
10 ก.ก.	793	792	792	793	792	792.40
รูลง	72 รู					
5 ก.ก.	565	565	564	564	564	564.40
10 ก.ก.	759	760	759	760	760	759.60
รูลง	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 ขวบนการตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) ของค่าส่วนตกค้างพิจารณาจากแผนภูมิการกระจายแบบสุ่มทั้งบวกและลบสม่ำเสมอๆ กันข้อมูลมีความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน กราฟที่ 4 ขวาล่างลำดับต่อต้านส่วนตกค้าง (Residual Plot Versus the Order) มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอข้อมูลมีความเป็นอิสระ

4.1.2 การวิเคราะห์ ANOVA

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ ความแปรปรวนของอุณหภูมิ

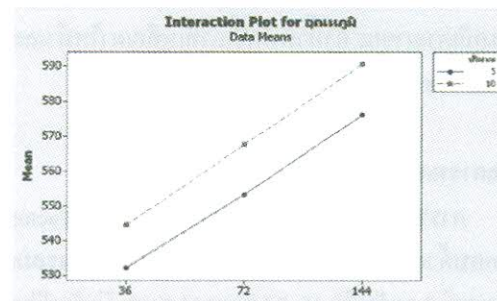
Source	DF	SeqSS	AdjSS	Adj MS	F	P
ปริมาณ	1	1400.8	1400.8	1400.8	5253.13	0.000
รู	2	10126.1	10126.1	5063.0	18986.38	0.000
ปริมาณ*รู	2	6.1	6.1	3.0	11.38	0.000

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 และจำนวนรูลมเข้า ส่วนที่เหลืออีก 0.07%

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

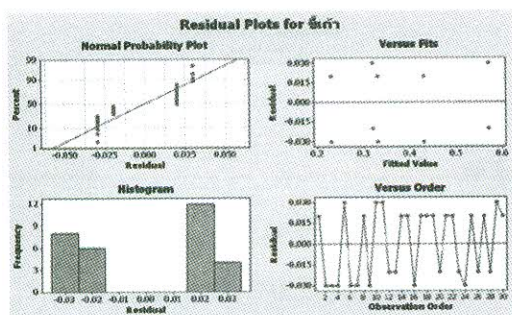
ผลการวิเคราะห์สรุปจากการวิเคราะห์ความเหมาะสมของปัจจัยร่วมผลตอบสนองของอุณหภูมิมีค่ามากที่สุดควรใช้ปริมาณน้ำหนัขยะที่ 10 กิโลกรัม และรูลมเข้าที่ 144 รู ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 การทดสอบความเหมาะสมของปัจจัยร่วม

4.2 ผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติการทดลอง ค่าปริมาณขั้นต่ำที่เหลือจากการเผาไหม้

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



รูปที่ 11 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง
จาก Minitab 15

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

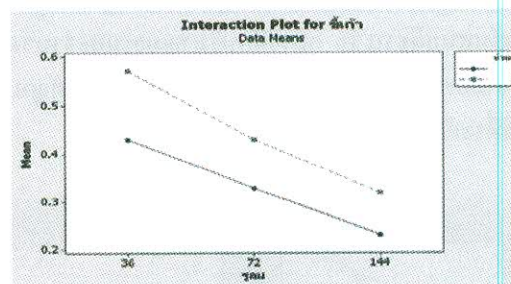
4.2.2 การวิเคราะห์ ANOVA

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ ความแปรปรวนของพืชเถาที่เหลือ

Source	DF	SeqSS	AdjSS	Adj MS	F	P
ปริมาณ	1	0.234083	0.234083	0.234083	267.52	0.000
รู้	2	0.038167	0.038167	0.019083	21.81	0.000
ปริมาณ*รู้	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) นั้น ก็คือ ปริมาณขยะ และจำนวนรถมอไซค์ ส่วนที่เหลืออีก 8.65 %

เป็นผลจากตัวแปรอื่นที่ไม่ทราบได้ คำสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมากกว่าร้อยละ 90 แสดงว่าตัวแปรอิสระและตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันเป็นอย่างดี คำสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ปริมาณขยะและจำนวนรถมเข้า $P\text{-value} = 0.909 > \alpha = 0.05$ ดังนั้น จึงไม่มีเหตุผลเพียงพอที่จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 กล่าวคือ ไม่อาจปฏิเสธได้ว่าปริมาณขยะและจำนวนรถมเข้าไม่มีอิทธิพลต่อค่าใช้จ่ายที่เฉลี่ย



รูปที่ 12 การทดสอบความเหมาะสมของปัจจัยร่วม

สรุปจากการวิเคราะห์ ผลตอบสนองปัจจัยร่วมที่มีผลต่อปริมาณที่เหลือของขี้เถ้า ที่มีค่าน้อยที่สุด ควรใช้ปริมาณน้ำหมักขยะที่ 10 ก.ก. และรุมเข่าที่ 144 ร

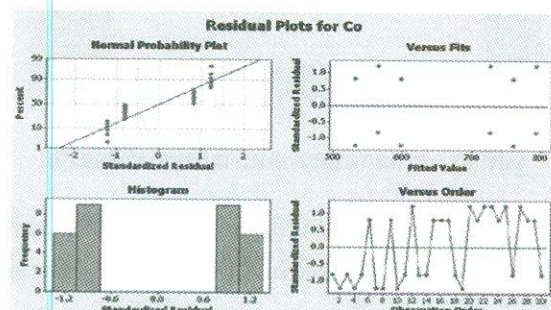
4.3 ผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติการทดลองวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO)

การตรวจสอบความเหมาะสมและความถูกต้องของ
ข้อมูลที่ได้ทำการทดลองเลือกการวิเคราะห์ผลการทดสอบ
ความพอเพียงจากกราฟ (4 in 1 Graphs from Minitab)
แปลงส่วนที่เหลือสำหรับผล (Residual Plots for Result)
ทั้ง 4 ชนิดเพื่อการทดสอบแบบพาราเมตริก

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ ความแปรปรวนของก๊าซ CO

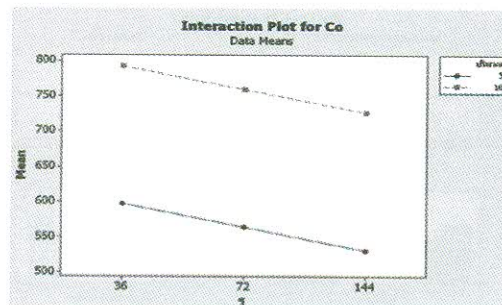
[illegible]

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



รูปที่ 13 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองจาก Minitab 15

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



รูปที่ 14 การทดสอบความเหมาะสมของปัจจัยร่วม

สรุปจากการวิเคราะห์ผลตอบสนองปัจจัยร่วมที่มีผลต่อปริมาณของก๊าซ CO มีค่าน้อยที่สุด ควรใช้ปริมาณน้ำหนักขยะที่ 5 กิโลกรัม และรูลมเข้าที่ 144 รู

5. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง สามารถสรุปปัจจัยและระดับของปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบเผาขยะของเตาเผาขยะชุมชนขนาดเล็กได้ดังนี้

1. พิจารณาค่าอุณหภูมิที่เผาไหม้ขยะผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิเผาไหม้ในเตาเผาขยะจะมีค่ามากที่สุด 591.40 Co จากการทดลองใช้ปริมาณน้ำหนักขยะที่ 10 กิโลกรัม และรูลมเข้าที่ 144 รู
2. พิจารณาปริมาณขี้เถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ น้อยที่สุด ผลจากการสุด ผลการทดลองพบว่าปริมาณขี้เถ้าที่เหลือมีค่าน้อยที่สุดจากการทดลองเมื่อใช้ปริมาณน้ำหนักขยะที่ 10 กิโลกรัม และรูลมเข้าที่ 144 รู
3. พิจารณาปริมาณก๊าซ CO มีค่าน้อยที่สุด ผลการทดลองพบว่าปริมาณก๊าซ CO มีค่าน้อยที่สุด ที่ปริมาณน้ำหนักขยะที่ 5 กิโลกรัม และรูลมเข้าที่ 144 รู แต่ทุกปัจจัยก็อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษสิ่งแวดล้อมที่กำหนดไว้ไม่เกิน 1,000 ppm

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าผลที่ได้จากการทดลองเผาขยะที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดคือ ควรออกแบบให้เตาเผาขยะมีจำนวนรูลม 144 รู และ มีความสามารถที่จะเผาขยะได้

ใน ปริมาณขยะที่ 10 กิโลกรัม ทั้งนี้พิจารณาจากค่าตัวชี้วัดประสิทธิภาพค่าอุณหภูมิที่เผาไหม้ขยะสูงที่สุด 591.40 องศาเซลเซียส ปริมาณก๊าซที่ปล่อยจากการเผาไหม้น้อยที่สุด 0.32 กิโลกรัม ดังนั้นขยะที่เผาไหม้ 9.68 กิโลกรัม คิดเป็น 96.80% ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ 726.40 ppm อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษสิ่งแวดล้อม

ข้อเสนอแนะข้อจำกัด

1. การเผาขยะเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงช่วงด้านล่างที่ใช้สำหรับให้อากาศเข้าไปช่วยในการเผาไหม้ควรยกตระแกรงรองรับขยะขึ้นอีกในเตาเผาขยะให้สูงขึ้นเพื่อให้อากาศภายนอกไหลเข้าไปได้สะดวกมากยิ่งขึ้น
2. การเจาะรูลมเข้าในการทดลองเจาะที่ 10 มม. ควรเจาะเพิ่มขนาดให้ได้อีก
3. จำนวนรูลมเข้าโดยพื้นที่ที่เหลือควรเพิ่มจำนวนรูลมเข้าในตัวเตาอีกเพื่อให้อากาศภายนอกไหลเข้าไปได้สะดวกมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ดร.ระพี กาญจนะ รศ.ดร. ณฐา คุปต์เจียร ผศ. ไพบุลย์ แยมเพื่อน ผศ.สุรัตน์ ตรีวนพงษ์ และ ผศ.ศรีโร จารุกัญญา คณาจารย์จากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เพื่อน้อง M53IE ทุกๆ คน ที่ให้ความอนุเคราะห์คำแนะนำข้อคิดเห็นต่างๆ ขอบคุณรัฐบาลที่ให้ทุนมาศึกษาทุน SP2 ตลอดจนพระคุณพ่อสมาน แม่พิสมัย ที่ให้กำลังใจในทุกๆ เรื่องเสมอมาอีกทั้งทุกๆ กำลังใจที่ไม่ได้กล่าวมา ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] พระราชบัญญัติการสาธารณสุข, พ.ศ. 2535.
- [2] กรมควบคุมมลพิษ, พ.ศ. 2553.
- [3] พชร หอวิจิตร, 2536. การจัดการขยะมูลฝอย. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [4] เลอศักดิ์ โคสูงเนิน, 2544. การควบคุมภาวะอากาศและนาจากเตาเผาขยะมูลฝอยชุมชนขนาดเล็ก. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [5] นพภาพร พานิช, 2550. ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ. แก้ไขปรับปรุงพิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.
- [6] ศรีโร จารุกัญญา, 2553. เอกสารประกอบการบรรยายวิชาการออกแบบการทดลอง (DOE). ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [7] วิชาญวรรณ, 2545. ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเหล็กปลายสันสำหรับกระบวนการหล่อเหล็กแท่งแบบต่อเนื่องโดยวิธีการออกแบบการทดลอง. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [8] ปารเมศ ชูติมา, 2545. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.