การออกแบบและพัฒนาเตาเผาขยะพลาสติกขนาดเล็กด้วยกระบวนการไพโรไลซิส

Design and Development of Small Plastic Waste Incinerator Using Pyrolysis Process

อรุณ แก้วชูเสน

Aroon Kaewchusan

สารนิพนธ์นี้สำหรับการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Minor Thesis Submitted in Fulfillment of the Requirements for the Degree of

Master of Engineering in Industrial Management

Prince of Songkla University

2567

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การออกแบบและพัฒนาเตาเผาขยะพลาสติกขนาดเล็กด้วยกระบวนการไพโรไลซิส

Design and Development of Small Plastic Waste Incinerator Using Pyrolysis Process

อรุณ แก้วชูเสน

Aroon Kaewchusan

สารนิพนธ์นี้สำหรับการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Minor Thesis Submitted in Fulfillment of the Requirements for the Degree of

Master of Engineering in Industrial Management

Prince of Songkla University

2567

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อสารนิพนธ์ การออกแบบและพัฒนาเตาเผาขยะพลาสติกขนาดเล็กด้วยกระบวนการไพโรไลซิส
ผู้เขียน นายอรุณ แก้วชูเสน
สาขาวิชา การจัดการอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์หลัก

.....
(ดร.ชุกรี แดสา)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลภัสร์ ทองแก้ว)

.....กรรมการ
(ดร.ดลยา บัวคำ)

.....กรรมการ
(ดร.ชุกรี แดสา)

.....
(ดร.สุริยา จิรสถิตสิน)
ประธานคณะกรรมการบริหารหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....
(ดร.ชุกรี แดสา)
อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์

ลงชื่อ.....
(นายอรุณ แก้วชูเสน)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นายอรุณ แก้วชูเสน

นักศึกษา

ชื่อสารนิพนธ์ การออกแบบและพัฒนาเตาเผาขยะพลาสติกขนาดเล็กด้วยกระบวนการไพโรไลซิส
ผู้เขียน นายอรุณ แก้วชูเสน
สาขาวิชา การจัดการอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา 2567

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเตาเผาขยะที่เหมาะสมกับการแปรรูปขยะพลาสติกให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง กลุ่มตัวอย่างสำหรับประเมินความพึงพอใจต่อเตาเผาขยะที่ออกแบบและพัฒนาขึ้น คือ ประชาชนในพื้นที่ชายฝั่งทะเล ตำบลชุมพล อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา จำนวน 360 คน เครื่องมือการวิจัย คือ แบบสอบถามความพึงพอใจ สถิติสำหรับวิเคราะห์ข้อมูล คือ ค่าความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัย พบว่า เตาเผาขยะพลาสติกที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นเป็นเตาเผาขยะแบบไพโรไลซิส ซึ่งเป็นการกำจัดขยะพลาสติกโดยการเผาไหม้ภายใต้สภาวะไร้อากาศ โดยคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากการเผาไหม้ขยะพลาสติกภายใต้เตาเผาขยะที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นมีค่าออกเทนเท่ากับ 97.6 ซึ่งสามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์แทนน้ำมันเบนซินได้ และประชาชนในพื้นที่มีความพึงพอใจต่อเตาเผาขยะพลาสติกที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นอยู่ในระดับมากที่สุดทุกด้าน ทั้งในด้านความสามารถในการนำไปใช้งานได้จริง ความสะดวกในการใช้งาน ประสิทธิภาพในการทำงาน คุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ และประโยชน์ที่ได้จากเตาเผาขยะ

คำสำคัญ : เตาเผาขยะ, ขยะพลาสติก, น้ำมันเชื้อเพลิง

Minor Thesis Title Design and Development of Small Plastic Waste Incinerator Using Pyrolysis Process
Author Mister Aroon Kaewchusan
Major Program Industrial Management
Academic Year 2024

ABSTRACT

This research aims to study the design and development of a plastic waste incinerator for processing into fuel. The sample group for evaluating satisfaction with the designed and developed waste incinerator was 360 people in the coastal area of Chumphon Subdistrict, Sathing Phra District, Songkhla Province. The instrument used for data collection was a satisfaction questionnaire. The data were analyzed by frequency, percentage, mean, and standard deviation.

The research revealed that the plastic waste incinerator designed and developed was a pyrolysis incinerator with the elimination of plastic waste by combustion under anaerobic conditions. The quality of the fuel obtained from burning plastic waste under the designed and developed incinerator had an octane value of 97.6, which can be used in the engine instead of benzene. The people were satisfied with the plastic waste incinerator at a highest level in every aspect, both in terms of ability to actually use, ease of use, work efficiency, quality of fuel produced, and benefits gained from waste incinerators.

Keyword : Incinerator, Plastic Waste, Fuel

กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากหลายฝ่าย ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งต่อ ดร.ชุกรี แดสา อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาสละเวลาให้คำแนะนำอย่างละเอียดตั้งแต่การเขียนโครงร่าง การวิเคราะห์ข้อมูล ไปจนถึงการจัดทำสารนิพนธ์อย่างสมบูรณ์ ตลอดจน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลภัสร์ ทองแก้ว ประธานกรรมการสอบสารนิพนธ์ และ ดร.ดลยา บัวคำ กรรมการสอบสารนิพนธ์ ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะและแนวทางอันเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาสารนิพนธ์ฉบับนี้

นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านจากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้ถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์อันทรงคุณค่าตลอดระยะเวลาการศึกษา รวมถึงบุคลากรทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนด้านต่าง ๆ ทั้งเพื่อน ๆ ที่ร่วมให้กำลังใจและความช่วยเหลือตลอดกระบวนการจัดทำสารนิพนธ์ตลอดจนขอขอบคุณผู้ตอบแบบสอบถามทุกท่านที่สละเวลาให้ข้อมูลอันเป็นประโยชน์อย่างเต็มใจ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้งานวิจัยฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ท้ายที่สุด ผู้วิจัยขอขอบพระคุณครอบครัวที่เป็นกำลังใจสำคัญเสมอมา ความสำเร็จของสารนิพนธ์ฉบับนี้ถือเป็นสิ่งที่ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทิตาแด่ทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการสนับสนุนและให้ความช่วยเหลือในทุกขั้นตอน

อรุณ แก้วชูเสน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ..... (5)
ABSTRACT ..... (6)
กิตติกรรมประกาศ ..... (7)
สารบัญ ..... (8)
รายการตาราง ..... (10)
รายการภาพ ..... (11)
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและที่มาของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 ประโยชน์ที่คิดว่าจะได้รับ 2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย 2
บทที่ 2 เอกสารงานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 ขยะพลาสติก 4
2.2 เชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก 6
2.3 เตาเผาขยะ 8
2.4 เตาเผาสำหรับการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก 17
2.5 การผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกด้วยกระบวนการไพโรไรซิส เตาเผาขยะ 20
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 22
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 27
3.1 การศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเตาเผาขยะพลาสติก น้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จาก การเผาขยะพลาสติก และมาตรฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง 27
3.2 การออกแบบเตาเผาขยะพลาสติกเพื่อแปรรูปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง 27
3.3 การสร้างเตาเผาขยะพลาสติกเพื่อแปรรูปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง และทดสอบการใช้งานหลังการปรับปรุง 27
3.4 การตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากเตาเผาขยะพลาสติก 28
3.5 การประเมินความพึงพอใจต่อเตาเผาขยะพลาสติกเพื่อแปรรูปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง 28
3.6 สรุปผลการวิจัยและจัดทำรายงาน 30

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิจัย 31
4.1 ผลการออกแบบ การสร้าง และการทดสอบการใช้งานเตาเผาขยะพลาสติก เพื่อแปรรูปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง 31
4.2 ผลการตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากเตาเผาขยะพลาสติก 37
4.3 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อเตาเผาขยะพลาสติกเพื่อแปรรูปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง .. 39
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 42
5.1 สรุปผลการวิจัย 42
5.2 ข้อเสนอแนะ 42
บรรณานุกรม 44
ภาคผนวก 46
ภาคผนวก ก แบบสอบถามเพื่อการวิจัย 47
ภาคผนวก ข การตรวจสอบเครื่องมือในการวิจัย 50
ภาคผนวก ค ผลการตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิง 56
ประวัติผู้เขียน 63

รายการตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการกำจัดขยะพลาสติกโดยการเผาในเตาเผา..... 6
ตารางที่ 2.2 ข้อดีและข้อเสียของเตาเผาขยะแต่ละประเภท..... 15
ตารางที่ 3.1 จำนวนประชากรและกลุ่มตัวอย่างสำหรับประเมินความพึงพอใจเตาเผาขยะพลาสติก 29
ตารางที่ 4.1 งบประมาณที่ใช้ในการพัฒนาเตาเผาขยะที่เหมาะสมกับการแปรรูปขยะพลาสติกให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง 37
ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบค่าออกเทน (Octane number) ของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากเตาเผาขยะพลาสติกกับมาตรฐานที่กำหนด 38
ตารางที่ 4.3 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม 39
ตารางที่ 4.4 ระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งานเตาเผาขยะพลาสติก 40
ตารางที่ ข-3 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบสอบถามเพื่อการวิจัย 54
ตารางที่ ข-4 ผลการตรวจสอบค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถามเพื่อการวิจัย 55

รายการภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 ขยะพลาสติกที่ใช้ในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง 8
ภาพที่ 2.2 กระบวนการกำจัดขยะมูลฝอยด้วยความร้อน 9
ภาพที่ 2.3 เตาเผาขยะแบบตะกรับ 10
ภาพที่ 2.4 เตาเผาขยะแบบหมุน 11
ภาพที่ 2.5 เตาเผาขยะแบบตัวกลางนำความร้อน 12
ภาพที่ 2.6 เตาเผาขยะแบบแก๊สซิฟิเคชัน 13
ภาพที่ 2.7 เตาเผาขยะแบบไพโรไลซีส 14
ภาพที่ 2.8 เตาเผาขยะพลาสติกแบบฟลูอิไดซ์เบด (fluidized bed reactor) 18
ภาพที่ 2.9 เตาเผาขยะพลาสติกแบบมูฟวิ่งเบด (moving bed reactor) 19
ภาพที่ 2.10 เตาเผาขยะพลาสติกแบบฟิกซ์เบด (fixed bed reactor) 19
ภาพที่ 2.11 เตาเผาแบบโรตารี่ คลิน (rotary kiln) 20
ภาพที่ 2.12 กระบวนการไพโรไลซิส 21
ภาพที่ 4.1 โครงสร้างเตาเผาขยะพลาสติกเพื่อแปรรูปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่ทำการออกแบบ 32
ภาพที่ 4.2 เตาเผาขยะพลาสติกให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงขนาดจริง 34
ภาพที่ 4.3 วิธีการทดสอบการใช้งานและวิธีการทำงานของเตาเผาขยะพลาสติก 35
ภาพที่ 4.4 คุณลักษณะภายนอกของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากเตาเผาขยะพลาสติก 38

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

พลาสติกเป็นวัสดุที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในชีวิตประจำวัน เนื่องจากมีคุณสมบัติพิเศษหลายประการ เช่น ความหนาแน่นต่ำ น้ำหนักเบา ความทนทาน และความยืดหยุ่นสูง เหมาะสมกับการใช้งานหลากหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นบรรจุภัณฑ์ อุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ชิ้นส่วนยานยนต์ เฟอร์นิเจอร์ ของเล่นเด็ก ไปจนถึงวัสดุก่อสร้าง พลาสติกยังถูกนำมาใช้ในการผลิตภาชนะและของใช้แบบใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง เนื่องจากต้นทุนต่ำ อย่างไรก็ตาม การใช้งานพลาสติกในปริมาณมากส่งผลให้เกิดปัญหาขยะพลาสติกในชุมชน โดยส่วนใหญ่ขยะพลาสติกจะถูกกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบซึ่งต้องใช้ระยะเวลานานมากในการย่อยสลาย ส่งผลให้เกิดปัญหาขยะพลาสติกสะสมเป็นจำนวนมาก ขณะที่การสร้างขยะพลาสติกยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แม้ว่ากระแสรักษ์โลกและการลดการใช้พลาสติกแบบใช้ครั้งเดียวจะได้รับความสนใจมากขึ้น ดังนั้นการจัดการและกำจัดขยะพลาสติกในชุมชนอย่างมีประสิทธิภาพ จึงยังคงเป็นความท้าทายที่ต้องการการพัฒนาแนวทางและวิธีการใหม่ ๆ เพื่อแก้ปัญหานี้อย่างยั่งยืน [1]

สำหรับชุมชนพื้นที่ชายฝั่งทะเล ตำบลชุมพล อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา เป็นพื้นที่ที่มีการเติบโตของประชากรอย่างต่อเนื่อง โดยมีพื้นที่รวม 10.5 ตารางกิโลเมตร ประชากรจำนวน 3,578 คน ส่งผลให้ปริมาณขยะพลาสติกจากครัวเรือนเพิ่มสูงขึ้นทุกปี ซึ่งสถานการณ์ปัญหาขยะพลาสติกในชุมชนยังไม่มีการจัดการ โดยส่วนมากประชาชนก็จะนำไปทิ้งลงถังขยะ ยังมีการเผาในหลุม ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังพบขยะพลาสติกจำนวนมากในที่สาธารณะ และถึงแม้ว่าขยะพลาสติกที่จัดเก็บโดยองค์การบริหารส่วนตำบลชุมพลจะครอบคลุมทุกหมู่บ้าน แต่ก็สามารถจัดเก็บได้เพียงร้อยละ 30 ของครัวเรือนทั้งหมด โดยเฉพาะครัวเรือนที่อยู่ติดถนน แต่ยังขาดการนำขยะพลาสติกหลังการคัดแยกไปใช้ประโยชน์ ทำให้เกิดปัญหาขยะพลาสติกมีปริมาณมากขึ้นทุกปี ประกอบกับบริเวณข้างทางสาธารณะมีการนำขยะพลาสติกมาวางทิ้งไว้หลายจุด เช่น ถนนสายย่อยภายในหมู่บ้านก็พบเห็นอยู่มาก ซึ่งกระทบต่อภาพลักษณ์ของชุมชน นอกจากนี้ ตลาดนัดในพื้นที่ยังเป็นแหล่งสำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหาขยะพลาสติก เนื่องจากแม่ค้ายังขาดความรู้เรื่องการจัดการขยะที่ถูกต้อง และคนในชุมชนยังไม่ตระหนักถึงการลดการใช้ถุงพลาสติกหรือหันมาใช้ถุงผ้าแทน [2] จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพัฒนาวิธีการจัดการขยะพลาสติกในชุมชนให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

วิธีการหนึ่งในการกำจัดขยะพลาสติกในชุมชนให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดประโยชน์และสามารถนำมาใช้ได้ นั่นคือ การกำจัดขยะพลาสติกให้มีมูลค่าเพิ่มหรือสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ใหม่อีกครั้ง โดยวิธีการหนึ่งคือการแปรรูปขยะพลาสติกให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงผ่านเตาเผาขยะที่ออกแบบ

เป็นพิเศษเพื่อให้เข้ากับคุณลักษณะของขยะพลาสติก ซึ่งน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้นี้สามารถนำไปใช้ทดแทนน้ำมันที่ใช้กับเครื่องจักรกลทางการเกษตร เพื่อลดต้นทุนให้กับเกษตรกรได้ นอกจากนั้นยังสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้อีกด้วย จะเห็นว่าการแปรรูปขยะพลาสติกในชุมชนให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เป็นหนึ่งในวิธีการจัดการขยะที่ยั่งยืน ตัวอย่างเช่น การแปรรูปขยะพลาสติกให้กลายเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งไม่เพียงช่วยลดปัญหาปริมาณขยะพลาสติกที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ยังช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชน โดยปัญหาขยะพลาสติกถือเป็นหนึ่งในปัญหาระดับประเทศที่ทวีความรุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ นอกจากนี้แล้วการแปรรูปขยะพลาสติกยังมีศักยภาพในการช่วยแก้ปัญหาการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้ในการผลิตพลังงาน การสนับสนุนให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีดังกล่าว ตลอดจนการเผยแพร่องค์ความรู้ไปสู่ชุมชนอย่างแพร่หลาย จะช่วยส่งเสริมความยั่งยืนในระยะยาว พร้อมทั้งสร้างประโยชน์ที่แท้จริงแก่ประชาชนในชุมชน [1]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการปรับปรุงวิธีการกำจัดขยะพลาสติกในชุมชนด้วยการแปรรูปขยะพลาสติกให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง โดยการออกแบบและพัฒนาเตาเผาขยะที่เหมาะสมกับกระบวนการดังกล่าว ซึ่งนับว่าเป็นแนวทางแก้ไขปัญหาที่มีความยั่งยืน ช่วยลดปัญหาการสะสมของขยะพลาสติกที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและคุณภาพชีวิตของชุมชน.

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อออกแบบและพัฒนาเตาเผาขยะที่เหมาะสมกับการแปรรูปขยะพลาสติกให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้เตาเผาขยะสำหรับการแปรรูปขยะพลาสติกในชุมชนให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพสูง สร้างความพึงพอใจให้กับประชาชนในชุมชน

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา

ออกแบบและพัฒนาเตาเผาขยะที่เหมาะสมกับการแปรรูปขยะพลาสติกในชุมชนให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง

1.4.2 ขอบเขตของพื้นที่ที่ศึกษา

ชุมชนพื้นที่ชายฝั่งทะเล ตำบลชุมพล อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา

1.4.3 ขอบเขตด้านกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างสำหรับการเก็บข้อมูลในงานวิจัยนี้ คือ ประชาชนในพื้นที่ชายฝั่งทะเลตำบลชุมพล อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา จำนวน 360 คน ซึ่งคำนวณด้วยสูตรของ Yamane [18] จากจำนวนประชากร 3,578 คน กำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ 0.05 และใช้กระบวนการสุ่มแบบหลายขั้นตอน คือ การสุ่มแบบแบ่งชั้น (classification random sampling) และการสุ่มแบบตามความสะดวก (convenience sampling)

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการออกแบบและพัฒนาเตาเผาขยะพลาสติกเพื่อแปรรูปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง และเพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการทำงานและคุณลักษณะของเตาเผาขยะพลาสติกที่จะทำการออกแบบและพัฒนาขึ้น จึงได้ทบทวนเนื้อหา โดยมีประเด็นการนำเสนอ ดังนี้

2.1 ขยะพลาสติก

พลาสติกเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่มีความสำคัญต่อชีวิตประจำวันและมีแนวโน้มการใช้งานที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง คุณสมบัติที่โดดเด่นของพลาสติก เช่น น้ำหนักเบา ความแข็งแรง ความทนทาน และราคาประหยัด ประกอบกับเทคโนโลยีการผลิตที่ทันสมัย ทำให้สามารถสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์พลาสติกในหลากหลายรูปแบบและสีสันได้อย่างง่ายดาย ผลิตภัณฑ์พลาสติกยอดนิยม ได้แก่ ของเล่นเด็ก เฟอร์นิเจอร์ ภาชนะบรรจุอาหาร ถุงพลาสติก และอื่น ๆ ซึ่งความนิยมในการใช้พลาสติกส่งผลให้เกิดปัญหาขยะพลาสติกในปริมาณมหาศาล โดยเฉพาะในพื้นที่เมืองและชุมชนขนาดใหญ่ ขยะพลาสติกส่วนใหญ่ เช่น ถุงพลาสติก ขวดน้ำ หลอดเครื่องดื่ม ฝาพลาสติก และภาชนะบรรจุอาหาร มีแนวโน้มเพิ่มจำนวนขึ้นทุกปี ปัญหานี้ยิ่งทวีความรุนแรงเนื่องจากพลาสติกเป็นวัสดุที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ แม้ว่าจะมีการรณรงค์ให้นำพลาสติกกลับมาใช้ซ้ำเพื่อลดปริมาณขยะ แต่การใช้งานซ้ำหลายครั้งอาจทำให้คุณภาพของพลาสติกลดลง อีกทั้งยังต้องคำนึงถึงมาตรฐานด้านความสะอาดและความปลอดภัย เมื่อเปรียบเทียบปริมาณขยะพลาสติกทั้งหมดในแต่ละวันกับการนำกลับมาใช้ใหม่ พบว่าส่วนที่นำกลับมาใช้ได้ยังคงเป็นเพียงสัดส่วนน้อยเท่านั้น [3]

ในหลายพื้นที่ ขยะพลาสติกกว่าครึ่งยังคงถูกกำจัดด้วยวิธีที่ไม่เหมาะสม ส่งผลให้เกิดปัญหาหลายด้าน ทั้งด้านสุขภาพ เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม โดยปัญหาเหล่านี้ส่งผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อมนุษย์และธรรมชาติ ผลกระทบต่อสุขภาพนั้น การเผาขยะพลาสติกโดยไม่มีระบบควบคุมทำให้สารพิษในพลาสติกถูกปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศ และปนเปื้อนในน้ำ ดิน และอาหาร ส่งผลให้ประชาชนได้รับสารพิษผ่านการหายใจ การบริโภคน้ำ และอาหารที่ปนเปื้อน โดยเฉพาะการเผาพลาสติกประเภทพีวีซี (PVC) ก่อให้เกิดสารไดออกซิน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งและมีผลกระทบต่อระบบฮอร์โมนในร่างกาย หากสะสมในหญิงตั้งครรภ์ อาจส่งผลต่อพัฒนาการของทารกในครรภ์ และเพิ่มความเสี่ยงต่อโรคหัวใจ โรคระบบทางเดินหายใจ หอบหืด และปัญหาสุขภาพอื่น ๆ เช่น อาการแพ้ ผื่นคัน คลื่นไส้ ปวดศีรษะ รวมถึงความเสียหายต่อระบบประสาท ตับ ไต และระบบสืบพันธุ์ สำหรับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การกองขยะพลาสติกกลางแจ้ง เมื่อเวลาผ่านไป แสงแดดจะทำให้พลาสติกแตกตัวเป็นชิ้นเล็ก ๆ หรือไมโครพลาสติก สารพิษในพลาสติกจะซึมลงไปในดินและแหล่งน้ำ หากขยะ

พลาสติกถูกทิ้งลงทะเล สัตว์ทะเลหลายชนิดอาจกินพลาสติกเข้าไปและเสียชีวิต ส่วนระยะเวลาในการย่อยสลายและผลกระทบทางเศรษฐกิจ ขยะพลาสติกที่ถูกฝังกลบต้องใช้เวลาย่อยสลายยาวนานถึง 450 ปี นอกจากนี้ รัฐบาลต้องใช้งบประมาณมหาศาลในแต่ละปีเพื่อจัดการขยะพลาสติกเหล่านี้ ซึ่งส่งผลต่อทรัพยากรทางการคลังของประเทศ [4]

ปัจจุบันประเทศไทยใช้เทคโนโลยีการกำจัดขยะพลาสติก 2 วิธีหลักที่เป็นไปตามหลักวิชาการ ได้แก่ การฝังกลบอย่างถูกสุขลักษณะ และการเผาขยะในเตาเผา โดยมีรายละเอียดของแต่ละวิธีการ ดังต่อไปนี้ [5]

1. การฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (sanitary landfill) เป็นการนำขยะพลาสติกไปฝังในหลุมหรือพื้นที่ที่เตรียมไว้อย่างเหมาะสม โดยใช้เครื่องจักรกลบดอัดเพื่อให้ขยะพลาสติกยุบตัวและมีความหนาแน่นมากขึ้น แล้วทำการปิดทับด้วยวัสดุถมกลบ เช่น ดินที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง หรือใช้แผ่นพลาสติกเพื่อปิดคลุมหลุมฝังกลบ มีการติดตั้งชั้นกันซึมที่ก้นหลุมเพื่อป้องกันน้ำชะขยะไหลลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน มีระบบรวบรวมน้ำชะขยะเพื่อนำไปบำบัดอย่างเหมาะสม ระบบระบายก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในขยะ และมีการตรวจวัดการรั่วซึมและติดตามผลกระทบที่เกิดขึ้น วิธีการฝังกลบนี้ถูกออกแบบมาเพื่อลดปัญหามลพิษที่อาจเกิดขึ้น เช่น กลิ่นเหม็น ฝุ่นละออง และควัน รวมถึงป้องกันไม่ให้หลุมฝังกลบกลายเป็นแหล่งรบกวนชุมชน

2. การเผาขยะในเตาเผา (incinerator) เป็นวิธีที่ใช้กระบวนการเผาไหม้เพื่อกำจัดขยะพลาสติก โดยเปลี่ยนขยะจากสถานะของแข็งให้กลายเป็นก๊าซ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไอน้ำ (H_2O) รวมถึงของแข็งที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้อีก เช่น เถ้าหนักและเถ้าลอย ซึ่งหากการเผามีสารประกอบคลอรีนและคาร์บอนอินทรีย์ในอุณหภูมิต่ำกว่า 800 องศาเซลเซียส อาจก่อให้เกิดก๊าซพิษ เช่น ไดออกซินและฟูแรน ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม เตาเผาจึงเป็นเทคโนโลยีที่มีความซับซ้อน ต้องการการดูแลและบำรุงรักษาที่ดี หากดำเนินการไม่เหมาะสม อาจเกิดผลกระทบร้ายแรงที่ยากต่อการแก้ไข ทั้งนี้เตาเผาสามารถลดปริมาณขยะพลาสติกได้ถึง 80-90% โดยการเผาขยะพลาสติกที่ติดไฟได้ในอุณหภูมิสูงระหว่าง 850-1,200 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันที่เหมาะสม ทั้งนี้ประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของเตาเผา วิธีการนี้ยังเหมาะสำหรับกำจัดขยะที่มีเชื้อโรคจากโรงพยาบาล ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น สารอินทรีย์ ตัวทำละลาย และน้ำมันใช้แล้ว ซึ่งต้องใช้อุณหภูมิสูงเพียงพอในการเผาไหม้หรือทำลายพิษของของเสียเหล่านี้ และนอกจากกำจัดขยะพลาสติก เตาเผายังสามารถนำพลังงานความร้อนที่ได้กลับมาใช้ประโยชน์ เช่น การผลิตน้ำร้อน ไอน้ำ หรือพลังงานไฟฟ้า ซึ่งช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับกระบวนการ การกำจัดขยะด้วยเตาเผามีทั้งข้อดีและข้อจำกัด ซึ่งสามารถศึกษาเพิ่มเติมจากตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการกำจัดขยะพลาสติกโดยการเผาในเตาเผา [6]

ข้อดี	ข้อเสีย
1. เป็นวิธีที่ลดปริมาณขยะพลาสติกที่เผาไหม้ลงได้เกือบทั้งหมด จึงลดความต้องการที่ดินได้มากในระยะยาว ดังนั้นจึงมีปัญหาการจัดหาที่ดินน้อยกว่าวิธีฝังกลบมาก	1. การลงทุนและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูงกว่าระบบอื่น หากไม่นับรวมค่าที่ดิน
2. การจัดการวัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ต้องดำเนินการอย่างเป็นระบบ โดยอาศัยเครื่องจักรกลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ	2. การควบคุมต้องทำโดยผู้มีความชำนาญ
3. ที่ตั้งเตาเผาไม่จำเป็นต้องอยู่ห่างเมืองมากนัก ทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งขยะพลาสติกได้มาก	3. ต้องควบคุมมลพิษอากาศ ทำให้ค่าดำเนินการสูงขึ้น
4. หากสามารถควบคุมมลพิษทางอากาศได้อย่างเหมาะสม จะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ปัญหากลิ่น แมลงวัน	4. อาจไม่เหมาะสมกับขยะที่มีความชื้นสูง
5. ถ้าข้อมูลขยะพลาสติกปริมาณมากเพียงพอ ก็อาจแปลงเตาเผาไปเป็นโรงผลิตพลังงาน เช่น โรงทำน้ำร้อน หรือโรงผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กเป็นต้น	5. ขยะพลาสติกบางส่วนที่ไม่สามารถเผาได้ รวมถึงกากขยะจากการเผา จะต้องถูกกำจัดในขั้นสุดท้ายด้วยการฝังกลบ ซึ่งยังคงต้องใช้ที่ดินสำหรับกระบวนการนี้

2.2 เชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก

ขยะพลาสติก ซึ่งจัดเป็นขยะปิโตรเลียม มีต้นกำเนิดทั้งจากภาคครัวเรือนและอุตสาหกรรม และถูกทิ้งสะสมในปริมาณมหาศาล เนื่องจากขยะเหล่านี้ไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ การจัดการจึงเป็นภาระที่ต้องอาศัยกระบวนการเฉพาะ โดยทั่วไปมักถูกคัดแยกเพื่อนำไปรีไซเคิลเป็นเม็ดพลาสติกและนำกลับมาใช้งานใหม่ ซึ่งโครงสร้างของขยะพลาสติกประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอน เป็นองค์ประกอบหลักเช่นเดียวกับน้ำมันเชื้อเพลิง หากสามารถแปรรูปขยะพลาสติกจำนวนมหาศาลนี้ให้กลายเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงได้ จะช่วยเพิ่มแหล่งวัตถุดิบพลังงานที่สำคัญและสร้างพลังงานเชื้อเพลิงทดแทนเพื่อตอบโจทย์ความต้องการด้านพลังงานในอนาคต [1]

การนำขยะพลาสติกมาแปรรูปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงถือเป็นแนวทางที่ควรได้รับการส่งเสริม เนื่องจากช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกที่สะสมอยู่ในปัจจุบัน การแปรรูปนี้ยังช่วยบรรเทาปัญหาสิ่งแวดล้อมและการจัดการขยะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการลดความต้องการพื้นที่ฝังกลบซึ่งหาได้ยากมากขึ้น ขยะพลาสติกเป็นขยะที่มีปริมาตรมากแต่ความหนาแน่นต่ำ ทำให้ใช้พื้นที่ในการฝังกลบมาก นอกจากนี้ การแปรรูปเป็นน้ำมันยังช่วยลดขยะที่ย่อยสลายได้ยาก ซึ่งอาจใช้เวลาหลายร้อยปี อีกทั้งยังสามารถเป็นวัตถุดิบสำหรับพลังงานทางเลือก เพื่อลดความเสี่ยงจากวิกฤติพลังงาน [1]

คุณสมบัติของขยะพลาสติกที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง [7]

การผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสามารถใช้ขยะพลาสติกได้หลากหลายชนิด ซึ่งในแต่ละประเภทจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ดังนี้

1. พอลิเอทิลีน (Polyethylene: PE) พลาสติกชนิดนี้ได้จากสารประกอบเอทิลีน แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) ความหนาแน่นปานกลาง (MDPE) และความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทั่วไป ได้แก่ ขวดน้ำ ขวดเคมี ลังบรรจุสินค้า ถุงพลาสติก ฟิล์มห่อของ เครื่องเล่นเด็ก และชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

2. พอลิโพรพิลีน (Polypropylene: PP) เป็นเทอร์โมพลาสติกในกลุ่มพอลิโอเลฟิน ผลิตจากโพรพิลีน แบ่งออกเป็น 3 โครงสร้าง ได้แก่ ไอโซแทกทิก ซินดิโอแทกทิก และแอแทกทิก ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ใช้พอลิโพรพิลีน ได้แก่ กล่องบรรจุอาหาร วัสดุบรรจุภัณฑ์ในอุตสาหกรรม เครื่องใช้ในครัวเรือน อุปกรณ์การแพทย์ และถุงปุ๋ย นอกจากนี้ยังมีพลาสติกชนิดอื่นที่สามารถนำมาใช้ เช่น เอบีเอส (Acrylonitrile-butadiene-styrene: ABS) และพอลิยูรีเทน (Polyurethane: PU)

3. พอลิสไตรีน (Polystyrene: PS) ผลิตภัณฑ์ทั่วไป ได้แก่ ช้อนส้อม ถ้วยจาน แก้วน้ำ กล่องบรรจุอาหารและผลไม้เทียม ไม้บรรทัด อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ของเล่น ขวด หรือกระปุกใส่ยา เฟอร์นิเจอร์บางประเภท ชิ้นส่วนในตู้เย็น โฟมกันกระแทกสำหรับบรรจุภัณฑ์ และฉนวนความร้อน โดยสามารถสรุปประเภทของขยะพลาสติก ดังภาพที่ 2.1

พอลิเอทิลีน
(Polyethylene: PE)
แบ่งเป็น HDPE และ LDPE

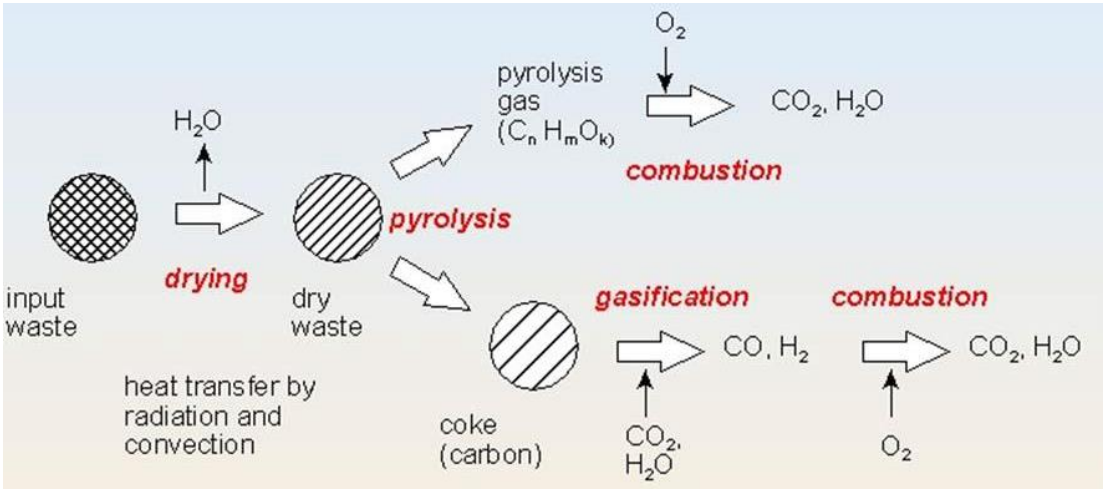
พอลิโพรพิลีน
(Polypropylene: PP)

พอลิสไตรีน
(Polystyrene: PS)

ภาพที่ 2.1 ขยะพลาสติกที่ใช้ในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง [7]

2.3 เตาเผาขยะ

การกำจัดขยะด้วยเทคโนโลยีเตาเผา (incineration) อาศัยอุณหภูมิสูงในการทำลายโครงสร้างของขยะมูลฝอยให้แตกตัวผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อน (thermal cracking) ซึ่งจำเป็นต้องได้รับพลังงานจากแหล่งให้ความร้อนภายนอกเพื่อช่วยกระตุ้นให้กระบวนการดำเนินต่อไปได้ (endothermic reaction) หลังจากนั้นอาจเกิดปฏิกิริยากับสารออกซิไดเซอร์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปของขยะเป็นผลิตภัณฑ์การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ กระบวนการนี้เป็นการปลดปล่อยพลังงานความร้อน (exothermic reaction) ที่สามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตพลังงานเพิ่มเติม หรืออาจนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกตัวด้วยความร้อนไปผ่านกระบวนการเพื่อสร้างเป็นเชื้อเพลิงต่อไป ก่อนนำมาใช้ในกระบวนการเผาไหม้ซ้ำเพื่อสร้างพลังงานความร้อนที่จำเป็นต่อการผลิตพลังงานใหม่ กระบวนการกำจัดขยะด้วยความร้อนนี้สามารถแสดงรายละเอียดได้ในภาพที่ 2.2 [8]



ภาพที่ 2.2 กระบวนการกำจัดขยะมูลฝอยด้วยความร้อน [8]

ส่วนประกอบเพิ่มเติมสำหรับเตาเผาขยะ

เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเตาเผาขยะ ระบบอาจมีการติดตั้งอุปกรณ์เสริมต่างๆ ซึ่งสามารถจำแนกได้ตามหน้าที่ดังนี้ [8]

1. การจัดการเถ้าจากการเผา (residue management) ขี้เถ้าจากกระบวนการเผามีสองประเภทหลัก ได้แก่ เถ้าหนัก ซึ่งยังคงอยู่ภายในเตา และเถ้าลอย (fly ash) ที่ปล่อยออกมาพร้อมกับก๊าซไอเสีย โดยเถ้าหนักมักได้รับการฉีดน้ำเพื่อป้องกันการกระจายตัว จากนั้นจะถูกเก็บไว้ในพื้นที่จัดเก็บพิเศษเพื่อเตรียมนำไปกำจัดต่อ ส่วนเถ้าลอยจะถูกดักจับผ่านอุปกรณ์ที่ออกแบบมาสำหรับควบคุมฝุ่น เช่น ระบบกรองด้วยถุงผ้า (baghouse filter) หรือเครื่องแยกฝุ่นด้วยประจุไฟฟ้า (electrostatic precipitator) เถ้าทั้งหมดจะถูกจัดเก็บในบ่อพักเพื่อรอการกำจัดในขั้นตอนถัดไป

2. การลดอุณหภูมิของก๊าซไอเสีย (cooling of exhaust gases) ก๊าซที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้จะต้องถูกทำให้เย็นลง โดยลดอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 250-300 องศาเซลเซียส ก่อนที่จะเข้าสู่ระบบบำบัด วิธีการลดอุณหภูมิอาจทำได้โดยการพ่นละอองน้ำลงในปล่องก๊าซ หรือโดยใช้หม้อต้มน้ำซึ่งช่วยระบายความร้อนจากไอเสีย

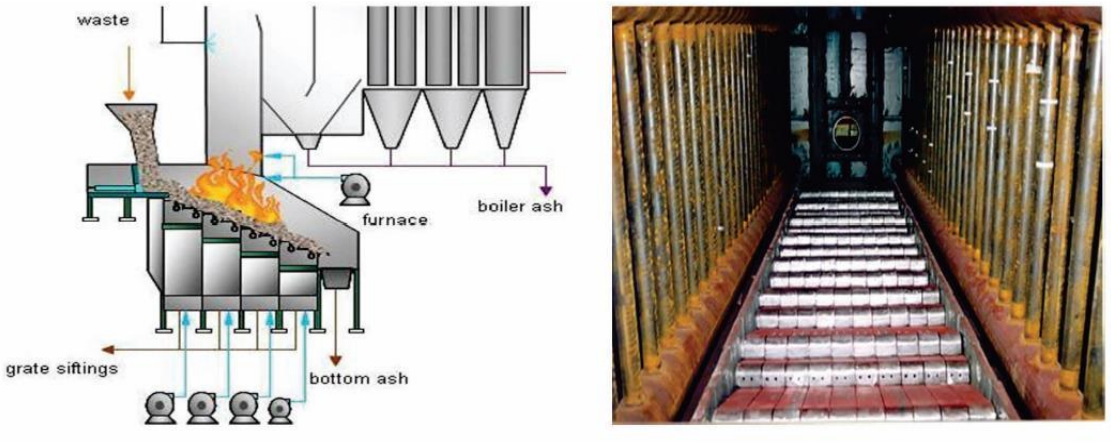
3. การบำบัดก๊าซไอเสีย (exhaust gas treatment) ก๊าซที่ปล่อยออกมาจากเตาเผาประกอบด้วยสารปนเปื้อนหลายชนิด เช่น ไฮโดรเจนคลอไรด์ (HCl) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ซึ่งจำเป็นต้องผ่านกระบวนการบำบัด เช่น การใช้ระบบดักจับก๊าซด้วยของเหลว (wet scrubber) เพื่อลดมลพิษในชั้นบรรยากาศ

ประเภทของเตาเผาขยะ

เตาเผาขยะแบ่งได้เป็น 5 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่ เตาเผาแบบตะกรับ แบบหมุน แบบตัวกลางนำความร้อน แบบแก๊สซิฟิเคชัน และเตาไพโรไลซิส โดยมีรายละเอียด ดังนี้ [6]

1. เตาเผาขยะแบบตะกรับ (stoker incinerator) [9]

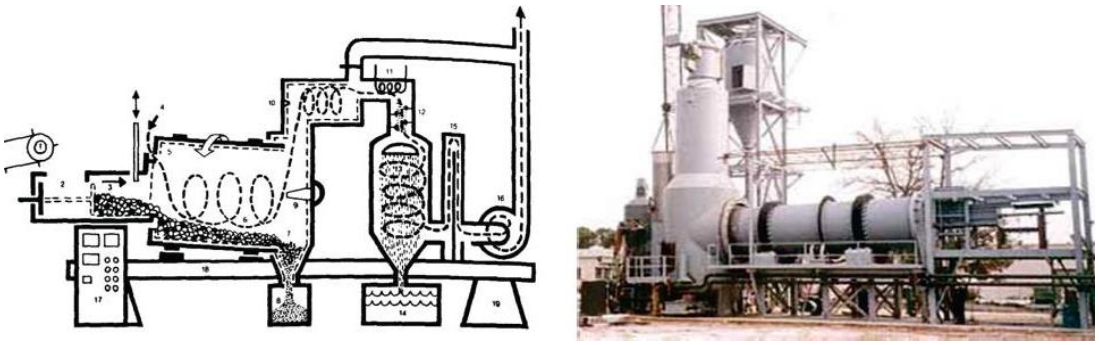
เตาเผาประเภทนี้ใช้หลักการเผาไหม้โดยให้อากาศเข้าสู่ระบบในปริมาณที่เกินความต้องการ เพื่อสร้างสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดขยะ โดยเตาจะรักษาอุณหภูมิภายในระหว่าง 850-1,200 องศาเซลเซียส เตาเผาแบบตะกรับได้รับความนิยมสูง เนื่องจากสามารถรองรับปริมาณขยะมูลฝอยได้มากถึง 150 ตันต่อวันหรือมากกว่า กระบวนการทำงานเริ่มต้นจากการขนขยะเข้าสู่บ่อพัก ก่อนที่เครนหรืออุปกรณ์จับยึดจะตักขยะเข้าสู่ช่องป้อนเตา โดยแรงโน้มถ่วงทำให้ขยะตกลงบนตะกรับ ซึ่งทำหน้าที่เคลื่อนย้ายและกระจายขยะอย่างทั่วถึง การออกแบบตะกรับที่ดีช่วยให้ขยะถูกผสมผสานและเผาไหม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งอากาศสามารถแทรกซึมทั่วพื้นผิวของขยะได้ดี โครงสร้างผนังห้องเผาไหม้ของเตาเผามักใช้วัสดุที่ทนต่อความร้อน เช่น อิฐทนไฟ (refractory wall) หรือผนังน้ำ (water wall) โดยเตาแบบผนังน้ำมักใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินที่ต่ำกว่า ซึ่งช่วยลดขนาดห้องเผาไหม้และอุปกรณ์บำบัดอากาศ ความร้อนที่ได้จากกระบวนการเผาไหม้สามารถนำกลับมาใช้ในระบบพลังงาน เช่น การผลิตไฟฟ้าหรือไอน้ำ ส่วนขี้เถ้าจากการเผาแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ เถ้าหนัก (bottom ash) เป็นเถ้าที่ตกค้างอยู่ในเตา ซึ่งจะถูกลำเลียงไปยังบ่อเก็บ และเถ้าลอย (fly ash) เป็นเถ้าที่ลอยออกมาพร้อมอากาศเสีย และต้องถูกกรองด้วยอุปกรณ์บำบัด เช่น ถุงกรอง (bag filter) หรือเครื่องกรองแบบไฟฟ้าสถิต (electrostatic precipitator) ก่อนปล่อยสู่อากาศภายนอก เตาเผาประเภทนี้เหมาะสำหรับการจัดการขยะปริมาณมากและสามารถนำพลังงานกลับมาใช้ประโยชน์ได้อย่างคุ้มค่า รายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับโครงสร้างเตาเผา แสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 เตาเผาขยะแบบตะกรับ [9]

2. เตาเผาขยะแบบหมุน (rotary incinerator) [6]

เตาแบบนี้เป็นระบบที่มีความยืดหยุ่นสูงและสะดวกต่อการใช้งาน เนื่องจากสามารถกำจัดขยะได้หลากหลายประเภท ทั้งสถานะแก๊ส ของแข็ง และของเหลว โดยเฉพาะขยะอุตสาหกรรม เตาเผาประเภทนี้แบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนเตาหมุน และห้องเผาไหม้ ส่วนเตาหมุน มีลักษณะเป็นทรงกระบอก ภายในบุด้วยปูนซีเมนต์ทนความร้อนพร้อมฉนวนกันความร้อน ส่วนภายนอกทำจากเหล็กกล้า ตัวเตาสามารถหมุนรอบแกนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าหรือมอเตอร์ไฮดรอลิก สำหรับระบบขนาดใหญ่ การหมุนของเตาสามารถปรับความเร็วได้ตามความเหมาะสม โดยเตาจะถูกออกแบบให้เอียงทำมุมเล็กน้อย (ประมาณ 3 องศา) เพื่อช่วยลำเลียงขยะไปยังส่วนท้ายของเตา ซึ่งมีถังรองรับขี้เถ้าที่เกิดจากการเผา สำหรับระบบป้อนขยะนั้น ขยะที่จะเผาจะถูกลำเลียงเข้าทางปากเตาโดยอาจใช้ระบบสกรูขับดันหรือระบบลูกสูบผลัก ขึ้นอยู่กับลักษณะของขยะ นอกจากนี้ยังสามารถออกแบบให้รองรับการป้อนขยะในสถานะเหลวหรือกากตะกอนเพิ่มเติมได้ กระบวนการเผาไหม้ในเตาส่วนใหญ่จะเป็นกระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) หรือการเผาไหม้ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน อย่างไรก็ตาม ในบางกรณีอาจเติมอากาศเพื่อช่วยเร่งกระบวนการเผาไหม้และลดการใช้เชื้อเพลิง กระบวนการนี้อาจทำให้ขยะเปลี่ยนเป็นแก๊ส (gasification) โดยการระเหิดจากขยะของแข็งที่เหลืออยู่ การเผาไหม้ภายในเตาเน้นที่สถานะของแข็ง (solid phase combustion) แต่ในทางปฏิบัติสามารถออกแบบให้เผาขยะได้ทั้งของแข็ง ของเหลว และแก๊สพร้อมกัน ห้องเผาไหม้ของเตาเผาแบบหมุนจะมีอุณหภูมิประมาณ 700 องศาเซลเซียส เหมาะสมสำหรับกระบวนการกำจัดขยะอย่างมีประสิทธิภาพ รายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับการออกแบบเตาเผาแบบหมุนแสดงในภาพที่ 2.4

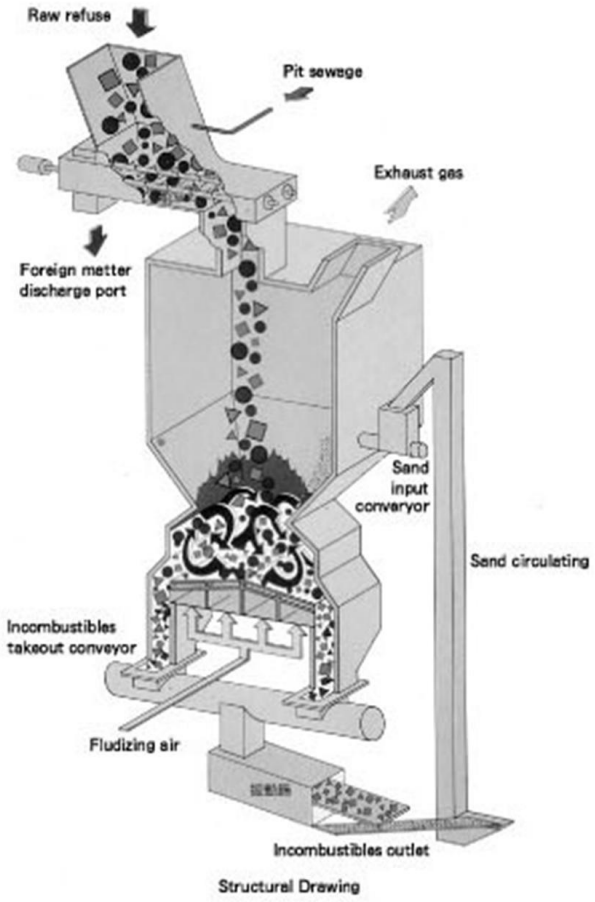


ภาพที่ 2.4 เตาเผาขยะแบบหมุน [9]

3. เตาเผาขยะแบบตัวกลางนำความร้อน (fluidized-bed) [6]

เตาเผาประเภทนี้มีลักษณะเป็นทรงกระบอก ภายในบุด้วยอิฐที่ทนต่อความร้อน ด้านล่างของเตามีชั้นทรายที่ทำหน้าที่รองรับการไหลของอากาศร้อนซึ่งถูกฉีดเข้ามาผ่านตะแกรง โดย

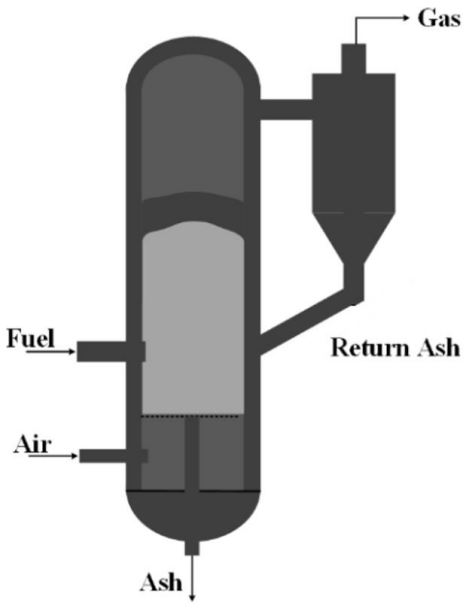
อุณหภูมิของอากาศจะอยู่ที่ประมาณ 300 องศาเซลเซียส การไหลของอากาศทำให้ขยะเริ่มระเหยน้ำและกระบวนการเผาไหม้เริ่มต้นขึ้น หลักการทำงานของเตาเผานี้อาศัยการไหลของอากาศร้อนซึ่งแบ่งออกเป็นสองส่วน ได้แก่ อากาศส่วนแรก (primary air) ถูกป้อนจากด้านล่างของเตาเพื่อแทรกซึมผ่านชั้นขยะ ทำให้ขยะลอยตัวขึ้นมาและเกิดการเผาไหม้ในชั้นล่างสุด กระบวนการนี้ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์จากการเผา เช่น ก๊าซและความร้อน และอากาศส่วนที่สอง (secondary air) ถูกเติมเข้าที่บริเวณด้านบนของห้องเผาไหม้ เพื่อช่วยเผาผลาญก๊าซที่ยังไม่สมบูรณ์ให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ก่อนที่ก๊าซจะถูกปล่อยออกจากระบบ เมื่อเพิ่มความเร็วของอากาศส่วนแรกจนถึงจุดที่ทำให้ขยะลอยตัวได้อย่างสมบูรณ์จะเกิดสภาวะที่เรียกว่า "fluidization" หรือสภาวะที่ขยะประพฤติตัวคล้ายของไหล ส่งผลให้พื้นผิวของขยะสัมผัสกับอากาศอย่างทั่วถึง ทำให้การเผาไหม้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เตาเผาประเภทนี้เหมาะสำหรับการเผาขยะที่ต้องการความร้อนกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ รายละเอียดเพิ่มเติมแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 เตาเผาขยะแบบตัวกลางนำความร้อน [9]

4. เตาเผาขยะแบบแก๊สซิฟิเคชัน (gasification incinerator) [10]

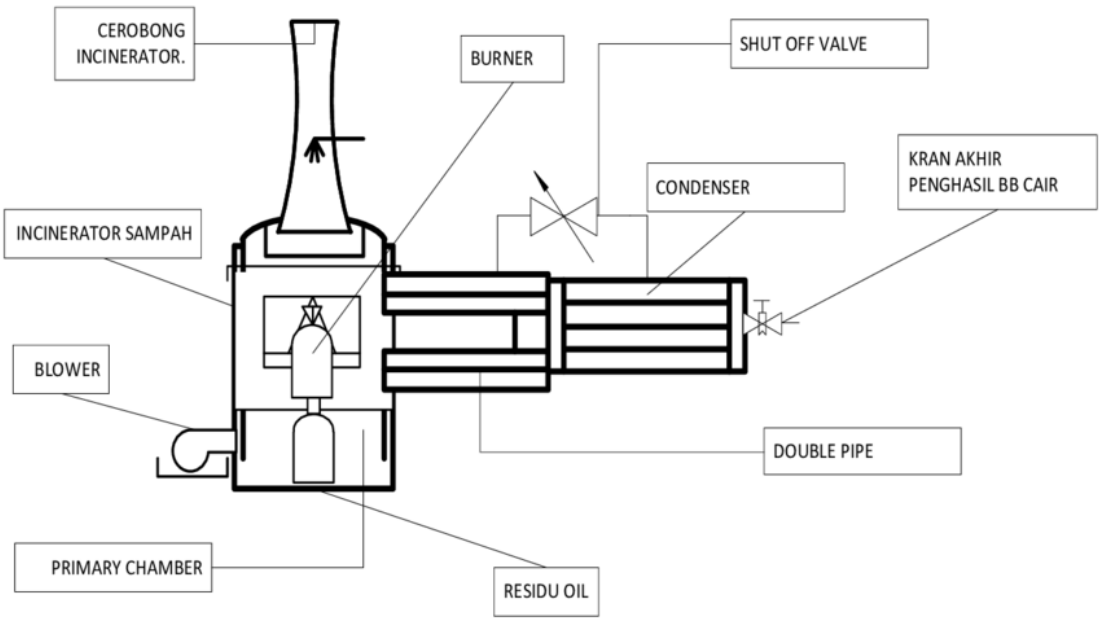
กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันเป็นวิธีเปลี่ยนเชื้อเพลิงในสถานะของแข็งให้กลายเป็นแก๊สเชื้อเพลิง ผ่านกระบวนการทางความร้อน กระบวนการนี้ประกอบด้วยหลายขั้นตอน ได้แก่ การอบแห้ง การไพโรไลซิส การเผาไหม้ และการรีดักชัน โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงเรียกว่า เตาแก๊สซิไฟเออร์ ซึ่งมีหลากหลายประเภท แต่ที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายคือ เตาแก๊สซิฟิเคชันแบบอากาศไหลลง (downdraft gasifier) หลักการทำงาน ประกอบด้วย ชั้นรีดักชัน อยู่ส่วนล่างสุดของเตา ทำหน้าที่รีดักซ์แก๊ส ชั้นเผาไหม้เป็นถัดขึ้นมา โดยอากาศจะถูกป้อนเข้าสู่ชั้นนี้เพื่อสร้างกระบวนการเผา และชั้นกลั่นสลายและลดความชื้น ตั้งอยู่ในตำแหน่งบนสุด ทำหน้าที่ลดความชื้นในเชื้อเพลิงและทำให้เกิดการระเหย โดยเชื้อเพลิงที่ป้อนทางด้านบนของเตาจะผ่านแต่ละชั้นตามลำดับ โดยในชั้นเผาไหม้กระบวนการจะเกิดที่อุณหภูมิสูงประมาณ 900-1,200 องศาเซลเซียส เพื่อเผาไหม้สารระเหยทั้งหมดและทำให้แก๊สเชื้อเพลิงที่ได้ปราศจากสิ่งปนเปื้อน และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ ชั้นเผาไหม้ของเตาแก๊สซิไฟเออร์จะถูกออกแบบให้มีส่วนที่คอคอด ซึ่งทำหน้าที่เร่งให้อากาศเข้าสู่ระบบเพียงพอสำหรับการสลายน้ำมันดินที่อาจปะปน อุณหภูมิของแก๊สเชื้อเพลิง (syngas) ที่ได้จากเตานี้มักอยู่ในช่วง 450-550 องศาเซลเซียส การออกแบบเตาประเภทนี้จำเป็นต้องพิจารณาหลายปัจจัย เช่น ชนิดและขนาดของเชื้อเพลิง ปริมาณวัตถุดิบที่ป้อน และปริมาณอากาศที่ใช้ในกระบวนการ โดยเตาแก๊สซิไฟเออร์สามารถรองรับเชื้อเพลิงแข็งได้หลายชนิด เช่น แกลบ กะลาปาล์ม หรือไม้สับ รายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับเตาแก๊สซิฟิเคชัน แสดงในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 เตาเผาขยะแบบแก๊สซิฟิเคชัน [10]

5. เตาเผาขยะแบบไพโรไลซีส (pyrolysis incinerator) [11]

เตาเผาขยะแบบไพโรไลซิสถูกออกแบบมาเพื่อกำจัดขยะมูลฝอยโดยอาศัยกระบวนการเผาไหม้ภายใต้สภาวะที่มีปริมาณอากาศน้อยกว่าค่าที่กำหนดตามทฤษฎี (anaerobic combustion) กระบวนการนี้จึงต้องการพลังงานความร้อนเพิ่มเติมจากแหล่งภายนอกเพื่อกระตุ้นปฏิกิริยาดูดความร้อน (endothermic reaction) เตาเผาแบบนี้ทำงานโดยการใช้ความร้อนเพื่อแยกสลายสารประกอบในขยะโดยไม่ใช้อากาศหรือใช้อากาศในปริมาณที่ต่ำมาก (low-oxygen environment) กระบวนการดังกล่าวแตกต่างจากการเผาไหม้แบบทั่วไป ซึ่งมักใช้ปริมาณอากาศมากกว่า ผลที่ได้คือประสิทธิภาพการเผาสูงและช่วยลดการปล่อยก๊าซพิษ นอกจากนี้กระบวนการนี้ยังสามารถดำเนินได้อย่างต่อเนื่องและประหยัดพลังงานเมื่อเทียบกับเตาเผาประเภทอื่น และแม้ว่าจะเป็นระบบไร้อากาศ แต่ในทางปฏิบัติอาจต้องเติมอากาศในปริมาณเล็กน้อยเพื่อช่วยให้กระบวนการดำเนินได้อย่างมีประสิทธิภาพ การใช้อากาศในปริมาณต่ำนี้ช่วยลดโอกาสการเกิดแก๊สพิษให้น้อยที่สุด รายละเอียดเพิ่มเติมของการออกแบบเตาเผาขยะแบบไพโรไลซิสสามารถดูได้จากภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 เตาเผาขยะแบบไพโรไลซีส [12]

จากประเภทของเตาเผาขยะมูลฝอย ทั้งเตาเผาแบบตะกรับ เตาเผาแบบหมุน เตาเผาแบบตัวกลางนำความร้อน เตาเผาแบบแก๊สซิฟิเคชัน และเตาเผาแบบไพโรไลซิส สามารถสรุปข้อดี ข้อเสีย ของเตาเผาขยะในแต่ละประเภท ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ข้อดีและข้อเสียของเตาเผาขยะแต่ละประเภท [6]

ประเภทเตาเผาขยะ	ข้อดี	ข้อเสีย
เตาเผาแบบตะกรับ	- ไม่ต้องการการคัดแยกหรือบดตัดขยะมูลฝอยก่อน - เป็นเทคโนโลยีที่มีใช้อย่างแพร่หลายและได้รับการทดสอบแล้ว สำหรับการเผาทำลายขยะมูลฝอยและมีสมรรถนะตรงตามวัตถุประสงค์ - สามารถจัดการกับขยะมูลฝอยที่มีองค์ประกอบและค่าความร้อนที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาได้เป็นอย่างดี - ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดถึงร้อยละ 85 - สามารถออกแบบเตาเผาให้รองรับการเผาขยะได้มากถึง 1,200 ตันต่อวัน หรือประมาณ 50 ตันต่อชั่วโมง	- ต้นทุนในการลงทุนและการบำรุงรักษาอยู่ในระดับสูง
เตาเผาแบบหมุน	- ไม่ต้องการการคัดแยกหรือบดตัดขยะมูลฝอยก่อน - สามารถให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้สูงถึงร้อยละ 80 - มีความสามารถในการจัดการขยะที่มีองค์ประกอบและค่าความร้อนที่แปรผันได้อย่างมีประสิทธิภาพ	- เป็นเทคโนโลยีที่มีใช้ค่อนข้างน้อย - เงินลงทุนและบำรุงรักษาค่อนข้างสูง
เตาเผาแบบตัวกลางนำความร้อน	- เงินลงทุนและค่าใช้จ่ายการบำรุงรักษาค่อนข้างต่ำ เนื่องจากการออกแบบที่ง่าย - สามารถให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้สูงถึงร้อยละ 90 - สามารถใช้ในการเผาทำลายเชื้อเพลิงที่หลากหลายประเภท และสามารถรองรับได้ทั้งกากของแข็งและเหลวโดยเผาทำลายร่วมกันหรือแยกจากกัน	- ค่อนข้างมีข้อจำกัดด้านขนาดและองค์ประกอบของขยะ โดยทั่วไปต้องมีกระบวนการในการจัดการขยะ ก่อนส่งเข้าเตาเผา

ตารางที่ 2.2 ข้อดีและข้อเสียของเตาเผาขยะแต่ละประเภท (ต่อ) [6]

ประเภทเตาเผาขยะ	ข้อดี	ข้อเสีย
เตาเผาแบบแก๊สซิฟิเคชัน	- เหมาะสำหรับระบบการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีกำลังการผลิตไม่เกิน 1 เมกะวัตต์ - ลดความเสี่ยงในการเกิดสารไดออกซินและฟูราน เมื่อเทียบกับการเผาไหม้โดยตรงในเตาเผาทั่วไป - ระบบผลิตไฟฟ้ามีขนาดเล็กและใช้อุปกรณ์น้อยกว่าโรงไฟฟ้าที่ใช้เตาเผาขยะ ส่งผลให้มีเงินลงทุนน้อยกว่าโรงไฟฟ้าที่ใช้เตาเผาขยะ	- มีน้ำมันดินผสมในแก๊สเชื้อเพลิง ทำให้ต้องหาทางกำจัดหรือทำให้น้อยลง - หากออกแบบระบบของการเผาไหม้ไม่ดี จะส่งผลให้แก๊สเชื้อเพลิงที่ได้มีคุณภาพไม่แน่นอน - ต้นทุนสูง ทั้งต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการคัดแยกขยะมูลฝอย รวมถึงกระบวนการย่อยให้มีขนาดเล็กลง - การควบคุมระบบยุ่งยาก
เตาเผาขยะแบบไพโรไลซีส	- การไพโรไลซิสจะได้น้ำมันประมาณร้อยละ 40-60 และได้แก๊สประมาณร้อยละ 10-30 ส่วนที่เหลือเป็นของแข็ง - โอกาสในการเกิดไดออกซิน ฟูรานน้อยกว่าการเผาไหม้โดยตรงในเตาเผาขยะทั่วไป	- มีน้ำมันดินผสมในแก๊สเชื้อเพลิง ทำให้ต้องหาทางกำจัดหรือทำให้น้อยลง - หากออกแบบระบบของการเผาไหม้ไม่ดี จะส่งผลให้แก๊สเชื้อเพลิงที่ได้มีคุณภาพไม่แน่นอน - ต้นทุนการดำเนินการอยู่ในระดับสูง เนื่องจากต้องใช้ค่าใช้จ่ายทั้งในกระบวนการคัดแยกขยะมูลฝอย และการย่อยสลายขยะ

การจัดการผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากเตาเผาขยะ

กระบวนการเผาขยะมูลฝอยอาจก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมจากผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นระหว่างการเผาไหม้ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นมลพิษทางอากาศ มลพิษจากกากของแข็ง และ

มลพิษทางน้ำ การควบคุมผลกระทบเหล่านี้จำเป็นต้องดำเนินการภายใต้ข้อกำหนดและมาตรฐานที่กำหนดในแต่ละพื้นที่ ดังนี้ [6]

1. มลพิษทางอากาศ ก๊าซที่ปล่อยออกจากเตาเผามักประกอบด้วยทั้งฝุ่นละอองและก๊าซ เช่น ไฮโดรเจนคลอไรด์ ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ รวมถึงสารพิษ เช่น ปรอท ไดออกซิน และออกไซด์ของไนโตรเจน การควบคุมมลพิษทางอากาศสามารถทำได้ด้วยเทคโนโลยีที่ทันสมัย เช่น ระบบกรองก๊าซด้วยสารเคมี อย่างไรก็ตาม วิธีการเหล่านี้มักมีต้นทุนสูง การเลือกใช้ระบบที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับมาตรฐานการปล่อยมลพิษของประเทศและความเข้มงวดในการควบคุม

2. มลพิษจากกากของแข็ง ของเสียที่เกิดจากการเผาขยะมูลฝอยแบ่งออกเป็นสองประเภท ได้แก่ เถ้าหนัก (bottom ash) เป็นเศษขยะที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้จะสะสมอยู่บริเวณก้นเตา และเถ้าเบา (fly ash) เป็นเศษที่ระเหยออกมากับก๊าซไอเสีย จะถูกดักจับด้วยอุปกรณ์ เช่น ไซโคลน หรือเครื่องกรองแบบไฟเบอร์

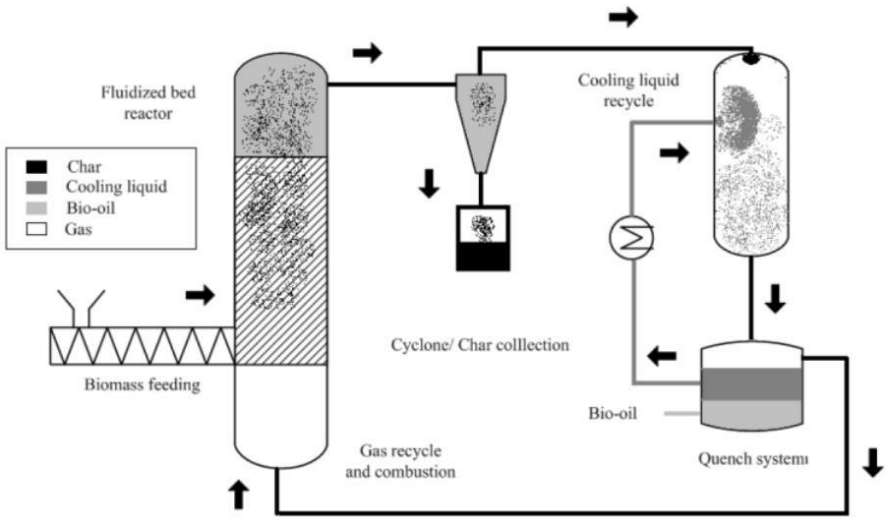
3. มลพิษทางน้ำ น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการควบคุมมลพิษทางอากาศและการทำให้เถ้าเย็น จะถูกนำกลับมาใช้ซ้ำในกระบวนการเผาขยะบางส่วน น้ำเสียส่วนที่เหลือจะถูกปล่อยออกและนำไปบำบัด โดยอาจรวมเข้ากับน้ำเสียจากหลุมเก็บขยะมูลฝอยก่อนกำจัด

2.4 เตาเผาสำหรับการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก

การใช้เตาเผาเพื่อกำจัดขยะพลาสติกเป็นวิธีที่อาศัยกระบวนการเผาไหม้โดยใช้อากาศในปริมาณมากกว่าค่าที่กำหนดตามทฤษฎี (stoichiometric condition) กระบวนการนี้เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (exothermic reaction) ซึ่งสามารถนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ในหม้อต้มไอน้ำเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า นอกจากนี้ วิธีการนี้ยังช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกได้ถึง 80-90% อย่างไรก็ตาม การออกแบบเตาเผาต้องคำนึงถึงปริมาณและองค์ประกอบของขยะพลาสติก นอกจากนี้ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมถือเป็นอีกประเด็นสำคัญ โดยเฉพาะมลพิษทางอากาศและการปนเปื้อนจากขยะอันตรายในครัวเรือน การเผาไหม้ขยะพลาสติกอาจก่อให้เกิดสารพิษที่ปลดปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศและยังมีสารพิษตกค้างในเถ้าขยะ ซึ่งจำเป็นต้องได้รับการกำจัดอย่างเหมาะสมในขั้นตอนสุดท้าย เช่น การฝังกลบอย่างถูกหลักวิชาการ [8]

การเลือกใช้เตาเผาที่เหมาะสมกับขยะพลาสติก มีความสำคัญต่อกระบวนการของไพโรไลซิส เนื่องจากต้องอาศัยปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิของกระบวนการ ความจุของเตา และระยะเวลาของกระบวนการ ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อกลไกการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ขยะพลาสติก ดังนั้นการออกแบบเตาเผาให้เหมาะสมกับกระบวนการไพโรไลซิส จึงมีการพัฒนาเตาเผาในรูปแบบต่าง ๆ รายละเอียดดังต่อไปนี้ [4]

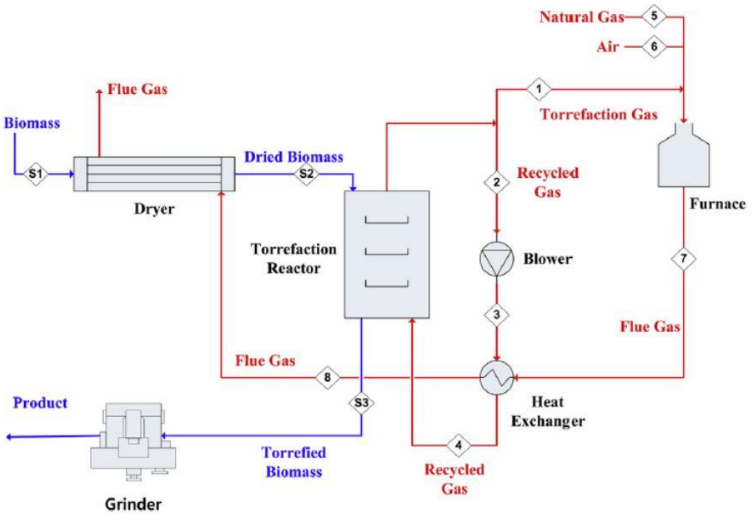
1. เตาเผาขยะพลาสติกแบบฟลูอิไดซ์เบด (fluidized bed reactor) เป็นเตาที่ทำงานโดยใช้แก๊สหรือทรายเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับขยะพลาสติก โดยการทำงานจะอาศัยแก๊ส เช่น แก๊สไนโตรเจน พัดทรายให้ลอยขึ้นจนเกิดพฤติกรรมคล้ายของไหล ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับพลาสติก พลาสติกที่เหมาะสำหรับกระบวนการนี้มักต้องมีขนาดอนุภาคเล็ก โดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 3 มิลลิเมตร ถึง 250 ไมโครเมตร ขึ้นอยู่กับการออกแบบของเตาในกระบวนการนี้ ทรายและพลาสติกที่มีขนาดเล็กสามารถลอยตัวได้ ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพ ความร้อนจะถูกกระจายอย่างสม่ำเสมอภายในเตา ซึ่งเป็นข้อดีสำคัญที่ช่วยให้ระบบมีความเสถียรและเหมาะสำหรับการจัดการขยะพลาสติกที่มีขนาดเล็ก เตาเผาประเภทนี้มีข้อเด่นในด้านการควบคุมอุณหภูมิที่สม่ำเสมอและการกระจายความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพ รายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับการออกแบบและการทำงาน แสดงในภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 เตาเผาขยะพลาสติกแบบฟลูอิไดซ์เบด (fluidized bed reactor) [4]

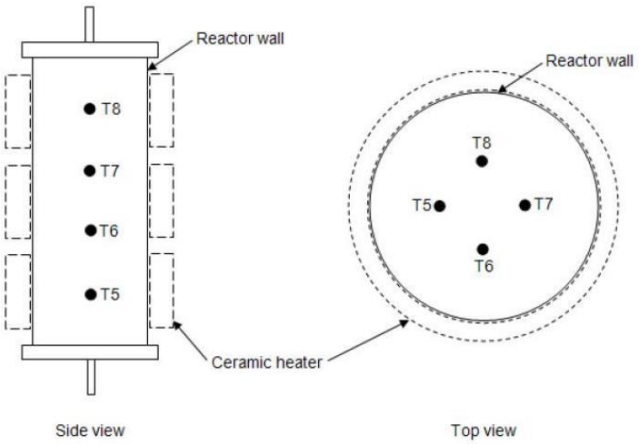
2. เตาเผาขยะพลาสติกแบบมูฟวิ่งเบด (moving bed reactor) เป็นเตาเผาที่ออกแบบให้พลาสติกสามารถเคลื่อนที่ภายในเตาระหว่างกระบวนการเผาไหม้ โดยการเคลื่อนที่ของพลาสติกเกิดขึ้นพร้อมกับการให้ความร้อน ซึ่งความเร็วในการเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับระยะเวลาของกระบวนการและปริมาณการผลิตที่ต้องการ เตาชนิดนี้สามารถออกแบบได้ ทั้งแนวตั้งและแนวนอนและการเอียง โดยการเคลื่อนที่ของพลาสติกอาจอาศัยแรงโน้มถ่วง หรือการสั่นของเครื่องจักรที่ติดตั้งภายนอกเตา การแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดขึ้นเมื่อพลาสติกมีการไหล ทำให้พลาสติกสัมผัสกับความร้อน ประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อนขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติกและแก๊สที่ใช้ใน

กระบวนการ คุณสมบัติเด่นของเตาเผา การป้อนพลาสติกเข้าสู่เตาสามารถทำได้อย่างต่อเนื่อง เหมาะสำหรับการใช้พลาสติกที่มีขนาดใหญ่กว่าที่ใช้ในระบบอื่น ดังภาพที่ 2.9



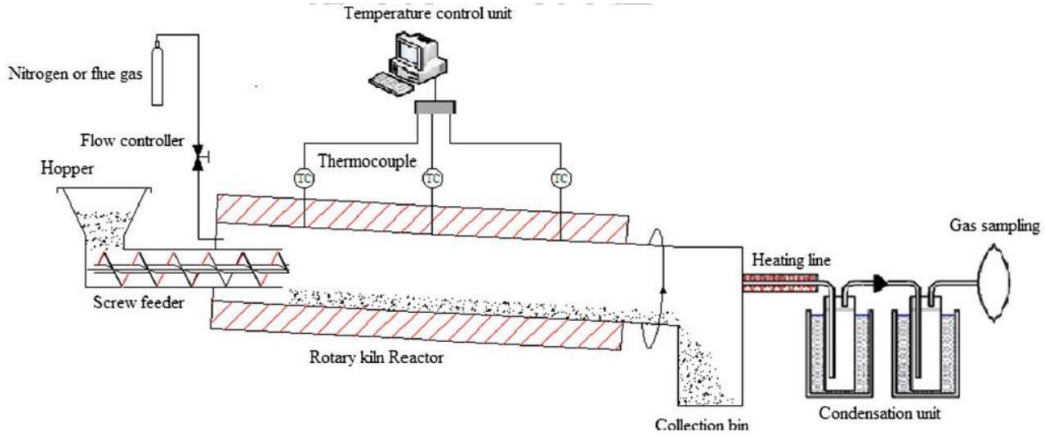
ภาพที่ 2.9 เตาเผาขยะพลาสติกแบบมูฟวิ่งเบด (moving bed reactor) [4]

3. เตาเผาขยะพลาสติกแบบฟิกซ์เบด (fixed bed reactor) มีการทำงานที่คล้ายกับเตาเผาแบบมูฟวิ่งเบด แต่แตกต่างตรงที่พลาสติกในเตาประเภทนี้จะไม่มีการเคลื่อนที่ กระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนอาจเกิดจากการให้ความร้อนโดยตรงจากภายนอก หรือการใช้ของไหลเป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อน เตาประเภทนี้สามารถรองรับพลาสติกที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ ระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการเผาขึ้นอยู่กับขนาดของพลาสติกและความจุของเตาเผา ดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 เตาเผาขยะพลาสติกแบบฟิกซ์เบด (fixed bed reactor) [4]

4. เตาเผาแบบขยะพลาสติกแบบโรตารี่ คลิน (rotary kiln) เป็นระบบที่ป้อนพลาสติกเข้าสู่เตาในลักษณะคล้ายกับเตาเผาแบบมูฟวิ่งเบด โดยอาศัยมุมเอียงของเตาและแรงโน้มถ่วงหรือการสั่นสะเทือน เพื่อช่วยให้พลาสติกเคลื่อนที่ภายในท่อจนกระทั่งไปถึงถังบรรจุปลายทาง โดยความร้อนถูกส่งผ่านอุปกรณ์ที่อยู่รอบท่อภายนอก เพื่อให้พลาสติกสัมผัสกับแหล่งความร้อนโดยตรง อาจใช้แก๊สไนโตรเจนร่วมในกระบวนการ เพื่อสร้างสภาวะเฉื่อย (inert condition) ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อน ระยะเวลาในกระบวนการขึ้นอยู่กับมุมเอียงของท่อและความเร็วรอบของการหมุน หากเพิ่มมุมเอียงหรือความเร็วรอบ ทำให้ระยะเวลาของกระบวนการสั้นลง ดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 เตาเผาแบบโรตารี่ คลิน (rotary kiln) [4]

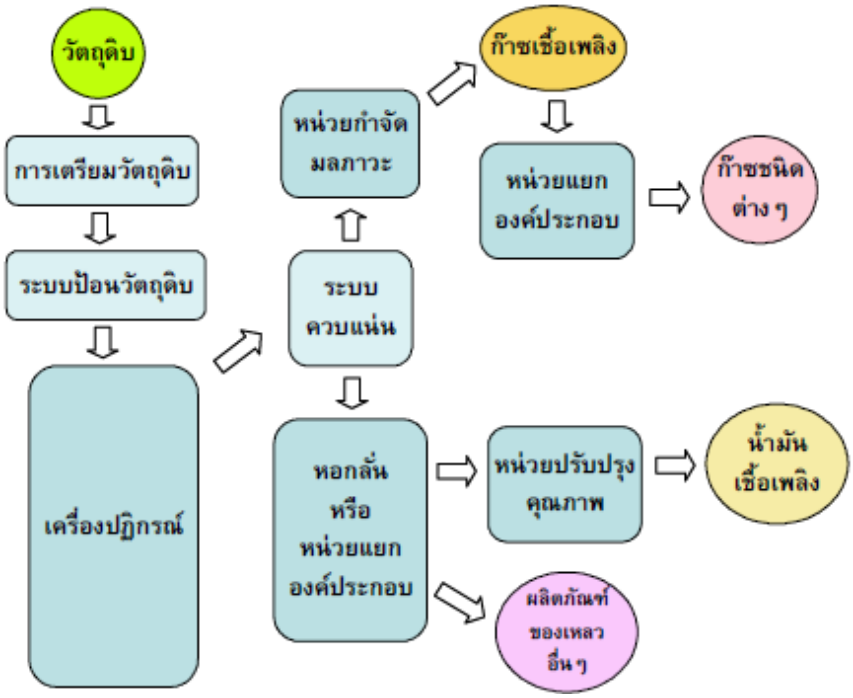
2.5 การผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกด้วยกระบวนการไพโรไลซิสผ่านเตาเผาขยะ

ไพโรไลซิสเป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนในระดับปานกลาง (ประมาณ 400-800 องศาเซลเซียส) เพื่อทำให้สารประกอบหรือวัสดุต่าง ๆ แตกตัวหรือสลายตัวในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนหรือมีออกซิเจนในปริมาณเล็กน้อย ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการนี้สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทตามสถานะ ได้แก่ 1) ก๊าซ เช่น ก๊าซไฮโดรคาร์บอน 2) ของเหลว ซึ่งมักมีลักษณะคล้ายน้ำมัน และ 3) ของแข็ง (char) โดยทั่วไปคือถ่าน ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ถือเป็นผลลัพธ์ขั้นปฐมภูมิ (primary product) ของกระบวนการ อัตราส่วนของผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิและความเร็วในการให้ความร้อน ผลิตภัณฑ์ที่นิยมและมักต้องการมากที่สุดจากกระบวนการนี้คือของเหลวหรือน้ำมัน เนื่องจากมีศักยภาพในการนำไปใช้เป็นพลังงานและวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่อเนื่องได้

ปฏิกิริยาในกระบวนการไพโรไลซิส ประกอบด้วย ปฏิกิริยาหลัก 2 ขั้นตอน คือ 1) การสลายตัวของสารระเหย (devolatilization) ซึ่งสารประกอบที่ระเหยง่ายจะถูกแยกออกจากวัตถุดิบในขั้นต้น กระบวนการนี้ทำให้เกิดการปลดปล่อยสารระเหยที่เป็นก๊าซและของเหลว และ 2)

การแตกตัวของวัตถุดิบ ในขั้นตอนนี้ วัตถุดิบจะถูกแยกโครงสร้างออกเป็นโมเลกุลที่เล็กลงเรื่อย ๆ ขึ้นอยู่กับสภาวะที่กำหนด เช่น ระดับอุณหภูมิและระยะเวลาที่ให้ความร้อน การแตกตัวจะดำเนินต่อไปจนกว่าวัตถุดิบจะถูกแยกออกอย่างสมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม หากให้ความร้อนหรือใช้เวลามากเกินไป อาจทำให้สารที่แตกตัวกลับมารวมกันเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ ซึ่งอาจเป็นทั้งผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่า หรือเกิดเป็นของแข็งข้นเหนียวที่เกาะติดกับอุปกรณ์ ดังนั้นสภาวะในกระบวนการไพโรไลซิส เช่น อุณหภูมิและเวลา ต้องปรับให้เหมาะสมกับชนิดของวัตถุดิบที่นำมาใช้ การเข้าใจคุณสมบัติของวัตถุดิบอย่างละเอียดจะช่วยให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพสูง ลดโอกาสเกิดผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการ และป้องกันปัญหาที่อาจทำให้กระบวนการหยุดชะงักเพื่อซ่อมแซมอุปกรณ์

ในบางกรณี อาจมีการเติมไฮโดรเจนหรือไอน้ำเข้าไปในกระบวนการไพโรไลซิส เพื่อปรับเปลี่ยนการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ และเพิ่มความเสถียรของผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมัน โดยไฮโดรเจนช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่อาจเกิดจากออกซิเจนในวัตถุดิบ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันมีความเสถียรมากขึ้น ส่วนการเติมไอน้ำในปริมาณที่เหมาะสมช่วยเพิ่มความดันในระบบ ทำให้วัตถุดิบเปลี่ยนสถานะเป็นของไหลได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ ยังช่วยเพิ่มค่าพื้นที่ผิวของถ่านที่ได้จากกระบวนการ ซึ่งเป็นประโยชน์สำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์หรือถ่านดูดซับ การปรับแต่งกระบวนการด้วยวิธีเหล่านี้ ช่วยเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์และเพิ่มศักยภาพในการใช้งานของผลผลิตจากกระบวนการไพโรไลซิส.



ภาพที่ 2.12 กระบวนการไพโรไลซิส [13]

ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการไพโรไลซิส [1]

1. องค์ประกอบของสารตั้งต้น ประเภทและคุณสมบัติของสารตั้งต้นส่งผลอย่างมากต่อการสลายตัวในกระบวนการไพโรไลซิส เนื่องจากสารแต่ละชนิดจะมีองค์ประกอบทางเคมีและความสามารถในการสลายตัวที่แตกต่างกัน สารตั้งต้นที่มีปริมาณสารระเหยสูงมักให้ผลผลิตในปริมาณมาก และมีคุณภาพที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์

2. อุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิส อุณหภูมิเป็นตัวกำหนดปริมาณและลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส ตัวอย่างเช่น ในการสลายตัวยางรถยนต์ที่หมดอายุสามารถแบ่งช่วงการสลายตัวออกเป็น 3 ระยะ ได้แก่ 150-310 องศาเซลเซียส เป็นการสลายตัวช้า ๆ ของสารเติมแต่ง เช่น พลาสติกไซเซอร์ (plasticizers) 310-430 องศาเซลเซียส เป็นการสลายตัวของยางธรรมชาติ และ 350-490 องศาเซลเซียส เป็นการสลายตัวของยางสังเคราะห์

3. อัตราการให้ความร้อน อัตราการเพิ่มอุณหภูมิระหว่างกระบวนการมีผลโดยตรงต่อปริมาณและชนิดของสารระเหยที่ปลดปล่อยออกมา โดยทั่วไป อัตราการให้ความร้อนต่ำจะหมายถึงการเพิ่มอุณหภูมิที่ไม่เกินค่าที่กำหนด ขณะที่อัตราการให้ความร้อนที่รวดเร็ว (rapid Heating) จะเพิ่มอุณหภูมิในอัตราสูงกว่า 103-105 องศาเซลเซียสต่อวินาที ส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยสารระเหยอย่างรวดเร็วและในปริมาณ

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 งานวิจัยในประเทศ

อัศวิน สืบนุการณ์ [6] ได้ออกแบบและพัฒนาเตาเผาขยะมูลฝอยขนาดเล็กสำหรับใช้งานในพื้นที่ระดับท้องถิ่น เช่น องค์การบริหารส่วนตำบล เตาเผามีลักษณะทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 เมตร และความสูง 2.6 เมตร พร้อมติดตั้งระบบระบายไอเสียที่เชื่อมต่อกับหอพ่นน้ำ (spray tower) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 เมตร และความสูง 6.4 เมตร ระบบนี้ใช้สำหรับบำบัดมลสารก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ หลังจากจัดกลุ่มองค์ประกอบของขยะมูลฝอย ขยะเปียก (ความชื้น > 40%) และขยะแห้ง (ความชื้น < 40%) ถูกนำมาผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ ได้แก่ 1: 0, 4: 1, 3: 1, 2: 1 และ 1: 1 เพื่อทดสอบอัตราการเผาไหม้ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเผาไหม้ด้วยตัวเอง (self-burning capacity) จากการศึกษา พบว่า ในกรณีที่ไม่มีการติดตั้งเหล็กก้างปลาในห้องเผาไหม้ อุณหภูมิที่วัดได้มีช่วงต่ำสุด 80 องศาเซลเซียส และสูงสุด 450 องศาเซลเซียส โดยอัตราของการเผาอยู่ที่ 40.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เมื่อเพิ่มเหล็กก้างปลา (bar rake) เพื่อเพิ่มความพรุนในกองขยะ อุณหภูมิสูงสุดในห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้นถึง 1,100 องศาเซลเซียส และอัตราการเผาเพิ่มเป็นค่าเฉลี่ย 114 กิโลกรัมต่อชั่วโมง หรือประมาณ 2.74 ตันต่อวัน ซึ่งการปรับปรุงเตาเผาด้วยการเพิ่มเหล็กก้างปลา

ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้อย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลให้เตาเผานี้เหมาะสมต่อการใช้งานในระดับชุมชนสำหรับการจัดการขยะมูลฝอยที่มีปริมาณไม่มากเกินไป

คมสัน ขันนาม [8] ได้ปรับปรุงออกแบบและพัฒนาเตาเผาแบบหมุนสำหรับขยะติดเชื้อ ซึ่งจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงออกแบบและพัฒนาเตาเผาขยะแบบหมุนให้มีประสิทธิภาพในการเผาไหม้สูง เพื่อกำจัดมูลฝอยติดเชื้อที่มีองค์ประกอบหลากหลายและทำการทดลองเพื่อประเมินสมรรถนะของการใช้งานของเครื่องเตาเผา โดยได้คำนวณประสิทธิภาพการเผาทำลายขยะที่ออกแบบ จากนั้นได้ทำการออกแบบห้องเผาไหม้ที่ 1 คือเตาเผาที่สร้างขึ้นเป็นรูปทรงกระบอกซึ่งเป็นท่อนอนยาว มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร ความยาวของเตา 450 เซนติเมตร และเตาเผามีความลาดเอียง 5 องศา เพื่อให้ขยะเกิดการเคลื่อนตัวขณะทำงานจะหมุนตลอดเวลา สามารถควบคุมระยะเวลาการเผาไหม้ จึงจะสามารถทำปฏิกิริยาการเผาทำลายมูลฝอยติดเชื้อได้อย่างสมบูรณ์ ในงานวิจัยนี้ใช้เชื้อเพลิงแก๊ส LPG อัตราการใช้ 40-50 ลิตร/ชั่วโมง ซึ่งเตาเผาที่ออกแบบมีประสิทธิภาพการเผาได้ 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง การเผาไหม้น้อยกว่า 50 ตัน/วัน ตามมาตรฐานเป็นเตาขนาดเล็ก จากงานวิจัยนี้พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเผาทำลายของเตาเผาขยะแบบหมุนคือ อุณหภูมิในห้องเผาไหม้ที่ 1,800 องศาเซลเซียส และอัตราความเร็วรอบ 0.8 รอบต่อนาที ส่งผลทำให้มีประสิทธิภาพการเผาทำลายขยะสูงสุดร้อยละ 92.02 โดยตัวแปรทั้งสองนี้ส่งผลต่อปริมาณมลพิษทางอากาศ เมื่อระดับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นในช่วง 700 เป็น 900 องศาเซลเซียส และอัตราความเร็วรอบเพิ่มขึ้นในช่วง 0.6 เป็น 1 รอบต่อนาที ส่งผลทำให้ปริมาณมลพิษทางอากาศของ CO, NO_2, SO_2 มีแนวโน้มการกระจายตัวเพิ่มขึ้น แต่ก็มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนด (US EPA.) ส่วนการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเผาทำลายก่อนและหลังการปรับปรุงออกแบบพัฒนาของเตาเผาแบบหมุน พบว่า หลังการปรับปรุงออกแบบพัฒนาส่งผลทำให้มีประสิทธิภาพของการเผาทำลายขยะที่สูงกว่าก่อนการปรับปรุงออกแบบพัฒนาประมาณร้อยละ 15

พงษ์ภิญโญ ปัญโญใหญ่ [11] ได้พัฒนาเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสต้นแบบเพื่อจัดการกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยมีวัตถุประสงค์ในการออกแบบ สร้าง และประเมินสมรรถนะ รวมถึงวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบ เครื่องนี้มีการออกแบบเป็นระบบเบดเคลื่อนที่ (moving bed) โดยมีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ ห้องไพโรไลซิสขนาด 0.28 ลูกบาศก์เมตร ชุดป้อนความร้อนจากแก๊สหุงต้ม และระบบควบแน่นที่ใช้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบขดลวดซึ่งใช้อากาศเป็นตัวกลาง ระบบนี้มีลักษณะห้องไพโรไลซิสทรงกระบอกที่ติดตั้งแกนแนวนอนและใบพัดกวนอยู่ภายใน ชุดป้อนความร้อนใช้หัวเตาแก๊สรุ่น KB-10 สำหรับสร้างความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 450-550 องศาเซลเซียส โดยมีการทดสอบด้วยชีวมวลประเภทซังข้าวโพด ครั้งละ 30 กิโลกรัม ผลการดำเนินงาน พบว่า เครื่องปฏิกรณ์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้ประกอบด้วยถ่านชีวภาพ ร้อยละ 28.16 ของเหลวชีวภาพ ร้อยละ 13.17 และก๊าซไพโรไลซิส ร้อยละ 58.68 และพบว่าเครื่องปฏิกรณ์มี

ประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานเฉลี่ยร้อยละ 55.06 และสามารถทำอุณหภูมิสูงสุดได้ถึง 590 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ถ่านชีวภาพที่ได้มีค่าความร้อนเฉลี่ย 28.55 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ส่วนของเหลวชีวภาพ (น้ำส้มควันไม้) มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 2.2 และความถ่วงจำเพาะ 1.0145 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ในแง่เศรษฐศาสตร์ ต้นทุนการผลิตเฉลี่ยของถ่านชีวภาพอยู่ที่ 33.52 บาทต่อกิโลกรัม และของเหลวชีวภาพ 87.14 บาทต่อกิโลกรัม การใช้แก๊สไนโตรเจนเป็นตัวพาหะส่งผลให้ต้นทุนเพิ่มขึ้น ซึ่งหากหลีกเลี่ยงการใช้ไนโตรเจนและเปลี่ยนเชื้อเพลิงจากแก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล จะช่วยลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มความคุ้มค่าได้มากขึ้น ทั้งนี้ การวิเคราะห์เพิ่มเติมพบว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อยู่ที่ 126,347.07 บาท มีอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ร้อยละ 25.34 และระยะเวลาคืนทุนเพียง 2.85 ปี

นุชนาถ สุขสมัย [13] ได้ศึกษาการนำกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP) มาใช้เป็นเครื่องมือในการจัดการขยะมูลฝอยชุมชนเพื่อผลิตพลังงาน การศึกษานี้มีที่มาจากปัญหาที่พบในหลายพื้นที่ ซึ่งการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานขยะมักจะไม่ได้รับการยอมรับจากชุมชน เนื่องจากมีความกังวลเกี่ยวกับแนวทางการจัดการขยะและเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตพลังงาน งานวิจัยนี้จึงนำกระบวนการ AHP มาใช้เพื่อหาทางออกที่สมดุลระหว่างความต้องการของชุมชนและความเหมาะสมด้านเทคนิค พื้นที่กรณีศึกษาตั้งอยู่ที่อำเภอศรีประจันต์ จังหวัดสุพรรณบุรี ซึ่งมีปริมาณขยะมูลฝอยประมาณ 16,500 ตันต่อปี การวิจัยได้เก็บข้อมูลจากกลุ่มผู้เชี่ยวชาญด้านพลังงานจำนวน 24 คน และตัวแทนชุมชนจำนวน 21 คน เพื่อวิเคราะห์ในสองประเด็นหลัก ได้แก่ แนวทางการจัดการขยะมูลฝอยเพื่อผลิตพลังงาน และเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานขยะ ในประเด็นแนวทางการจัดการขยะ การวิเคราะห์ใช้เกณฑ์ PESTEL ซึ่งครอบคลุมปัจจัยทางการเมือง เศรษฐกิจ สังคม เทคโนโลยี สิ่งแวดล้อม และกฎหมาย ส่วนในประเด็นเทคโนโลยีการผลิตพลังงาน ได้พิจารณาจากประเภทของขยะ เงินลงทุนที่ต้องใช้ พลังงานที่ผลิตได้จากกระบวนการ และการยอมรับเทคโนโลยีในชุมชน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ทั้งผู้เชี่ยวชาญและตัวแทนชุมชนเห็นพ้องกันว่าควรมีการคัดแยกขยะในพื้นที่ก่อนนำไปผลิตพลังงาน และกำลังผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าควรต่ำกว่า 10 เมกะวัตต์ อย่างไรก็ตาม มีความเห็นที่ไม่สอดคล้องกันในเรื่องเทคโนโลยี โดยผู้เชี่ยวชาญเลือกเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน (gasification) ขณะที่ตัวแทนชุมชนเลือกการเผาด้วยเตาเผา เนื่องจากมีประสบการณ์ตรงกับการใช้เตาเผาและมองว่าเป็นเทคโนโลยีที่ใช้งานง่าย จากการศึกษานี้ พบว่า ความแตกต่างในประสบการณ์และความคุ้นเคยของชุมชนกับเทคโนโลยีส่งผลต่อการยอมรับ ข้อเสนอแนะจากงานวิจัยคือ ควรส่งเสริมให้ชุมชนได้เรียนรู้และทดลองใช้เทคโนโลยีการผลิตพลังงานรูปแบบอื่น ๆ เพื่อเพิ่มโอกาสในการสร้างความเชื่อมั่นในเทคโนโลยีใหม่ และสนับสนุนการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานขยะที่ได้รับการยอมรับจากชุมชน

กฤษฎางค์ ศุกระมูล [14] ได้ทำการพัฒนาและศึกษาประสิทธิภาพของเตาเผาขยะในชุมชนภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานของเตาเผาขยะชุมชน ทั้งในด้านการลดมลพิษที่เกิดจากการเผาขยะ และการศึกษาความสามารถในการผลิตไอน้ำ รวมถึงการวัดค่าพลังงานของไอน้ำที่ได้จากการเผาขยะด้วยเตาเผาขยะต้นแบบที่พัฒนาขึ้น ทดลองผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็ก และประเมินประสิทธิภาพการกำจัดขยะมูลฝอยแบบชุมชนในมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ โดยการใช้เตาเผาขยะ ศึกษาปริมาณแก๊สไอเสียที่ปล่อยออกมาจากการเผาขยะ ได้แก่ CO, CO_2, NO_X, SO_X และอุณหภูมิของแก๊สไอเสีย เมื่อได้เตาเผาขยะแบบชุมชนที่สร้างเสร็จแล้ว ทำการทดลองโดยเริ่มต้นจากการเผาขยะในอัตราส่วนขยะแห้งต่อขยะเปียกต่าง ๆ กัน ได้แก่ 1: 0, 4: 1, 3: 1, 2: 1และ 1: 1 พบว่า เตาเผาขยะชุมชนสามารถเผากำจัดขยะโดยไม่มีการคัดแยกขยะอินทรีย์ได้เฉลี่ย 105.8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อุณหภูมิไอเสียเฉลี่ยอยู่ที่ 606.8 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพเตาเผาขยะร้อยละ 23.01 หม้อไอน้ำเตาเผาขยะชุมชน มีประสิทธิผลร้อยละ 77.95 ค่าความดันสูงสุดของหม้อ ไอน้ำนี้ทำได้ คือ 6 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำที่สร้างขึ้นจะมีสมรรถนะในการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามความเร็วของไอน้ำที่เพิ่มขึ้น โดยกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงสุดมีค่า 100.7 วัตต์ ความเร็วรอบเฉลี่ย 1189 รอบต่อนาที การตรวจวัดมลพิษจากปล่องไอเสียของเตาเผาขยะชุมชน มีปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนต่ำไม่เกิน 200 ส่วนในล้านส่วน ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไม่เกิน 30 ส่วนในล้านส่วน จากการตรวจวัดไม่เกินค่ามาตรฐาน คาร์บอนมอนอกไซด์ไม่มีค่ามาตรฐาน จากการทดลองพบว่า ในช่วง 40 นาทีแรก มีค่าสูงจากการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ เมื่อขยะได้รับอากาศมากขึ้น ทำให้ค่าคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง จากการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ พบว่า ค่าใช้จ่ายในการผลิตไอน้ำใน 1 ปีของขยะ (ชีวมวล) และน้ำมันดีเซลเป็น 4,704 บาท และ 146,764.8 บาท ตามลำดับ เมื่อลงทุนสร้างเตาเผาขยะเป็นเงิน 140,000 บาท จะคืนทุนในเวลา 1.055 ปี และเมื่อใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำจากขยะ (ชีวมวล) จะได้อัตราผลตอบแทนร้อยละ 67.241

2.6.2 งานวิจัยต่างประเทศ

Campuzano et al. [15] ได้พัฒนาเครื่องปฏิกรณ์แบบสกรูสำหรับกระบวนการไพโรไลซิสของของแข็งคาร์บอน เพื่อนำไปแปรรูปเป็นของเหลว ก๊าซ และของแข็งที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ เครื่องปฏิกรณ์แบบสกรูได้รับการยอมรับว่าเป็นเทคโนโลยีที่มีศักยภาพสูง เนื่องจากสามารถรองรับวัตถุดิบที่มีความหลากหลาย ทั้งยังมีการออกแบบที่ยืดหยุ่น สามารถนำไปใช้ได้ในกระบวนการไพโรไลซิสทั้งแบบเร็ว แบบช้า และแบบปานกลาง คุณลักษณะและจุดเด่นของเครื่องปฏิกรณ์แบบสกรู คือมีโครงสร้างเรียบง่าย แต่สามารถแก้ไขปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนในชีวมวลหรือพลังงานกลได้อย่างมีประสิทธิภาพ จุดเด่นสำคัญคือการเพิ่มประสิทธิภาพในการผสม

อนุภาคภายในระบบ และการถ่ายเทความร้อนระหว่างกระบวนการ ซึ่งถือเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการไพโรไลซิส

Lewandowski et al. [16] ได้ทำการศึกษาการใช้งานเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสในกระบวนการรีไซเคิลยางรถยนต์ที่หมดอายุการใช้งาน โดยทำการเปรียบเทียบการใช้งานระหว่างเครื่องปฏิกรณ์ขนาดใหญ่และขนาดเล็ก ซึ่งแบ่งตามเกณฑ์ของการเคลื่อนที่ของวัสดุในระบบ วิธีการใช้งาน และความเร็วของวัสดุในกระบวนการ วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองคือเศษยางรถยนต์ขนาด 2 มิลลิเมตร และ 4 มิลลิเมตร อุณหภูมิของห้องปฏิกรณ์ 550 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนของวัตถุดิบ 6.7 กิโลกรัม/ชั่วโมง ใช้แก๊สไนโตรเจนเป็นพาหะอัตราการไหล 5 ลิตร/นาที ใช้ปริมาณเศษยาง 560 กิโลกรัม ผลที่ได้น้ำมันร้อยละ 43.2 ของแข็งร้อยละ 38 และแก๊สร้อยละ 18.8

Manya and Azuara [17] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า โดยมุ่งเน้นไปที่ผลกระทบของ 3 ตัวแปรหลัก ได้แก่ อุณหภูมิสูงสุด ความดัน และสภาวะที่ใช้ก๊าซพาหะ ซึ่งเลือกใช้คาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจน เป็นก๊าซพาหะในกระบวนการทดลอง วัตถุดิบที่ใช้เป็นชีวมวล เช่น ลำต้นข้าวโพด ยอดเถาวัลย์ และกากมะกอก การศึกษาแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิสูงสุด มีบทบาทสำคัญที่สุดต่อความเสถียรและคุณภาพของถ่านชีวภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแง่ของศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอน (carbon sequestration) พบว่า เมื่ออุณหภูมิในกระบวนการเพิ่มขึ้น ผลผลิตถ่านชีวภาพจะลดลง แต่ในทางกลับกัน ค่าคาร์บอนคงตัวของถ่านชีวภาพกลับเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนที่มากขึ้น นอกจากนี้ การเพิ่มความดันในกระบวนการส่งผลให้ผลผลิตถ่านชีวภาพลดลง แต่ก๊าซที่ได้จากกระบวนการกลับเพิ่มขึ้น ในด้านของก๊าซพาหะ พบว่า การใช้ก๊าซ CO_2 แทน N_2 มีผลในการเพิ่มการผลิตก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์โดยรวมของกระบวนการไพโรไลซิสไม่มีความแตกต่างที่ชัดเจนระหว่างก๊าซพาหะทั้งสองชนิด จากการศึกษา พบว่าตัวแปรทั้งอุณหภูมิ ความดัน และก๊าซพาหะ ล้วนมีผลต่อผลผลิตและคุณสมบัติของถ่านชีวภาพ การควบคุมตัวแปรเหล่านี้อย่างเหมาะสมจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า รวมถึงปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้ เช่น ถ่านชีวภาพและก๊าซพลังงาน เพื่อตอบสนองต่อความต้องการในด้านการใช้ประโยชน์พลังงานอย่างยั่งยืน

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการออกแบบและพัฒนาเตาเผาขยะพลาสติกเพื่อแปรรูปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง โดยได้กำหนดวิธีดำเนินการวิจัยตามลำดับขั้นตอน ดังนี้

3.1 การศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเตาเผาขยะพลาสติก น้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากการเผาขยะพลาสติก และมาตรฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเตาเผาขยะพลาสติก น้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากการเผาขยะพลาสติก และมาตรฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง จากแหล่งข้อมูลทุติยภูมิ ทั้งประเภทหนังสือ ตำรา รายงานการวิจัยโดยนิสิต นักศึกษา และนักวิชาการภายในมหาวิทยาลัยและหน่วยงานต่าง ๆ จากแหล่งข้อมูลห้องสมุดมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และเว็บไซต์ออนไลน์ เพื่อนำข้อมูลมาใช้ออกแบบเตาเผาขยะที่เหมาะสมกับการแปรรูปขยะพลาสติกในชุมชนให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง

3.2 การออกแบบเตาเผาขยะพลาสติกเพื่อแปรรูปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง

ทำการออกแบบเตาเผาขยะที่เหมาะสมกับการแปรรูปขยะพลาสติกในชุมชนให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ตามหลักการและแนวคิดที่ได้ศึกษาไว้ ภายใต้คำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ โดยการนำหลักการของการเผาขยะพลาสติกให้มันน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการไพโรไลซิสมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบ ทั้งนี้การออกแบบเตาเผาขยะพลาสติกจะคำนึงถึงปัจจัยเบื้องต้น คือ สามารถใช้เผาขยะพลาสติกในชุมชนให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงได้ สามารถใช้งานได้ง่าย และไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

3.3 การสร้างเตาเผาขยะพลาสติกเพื่อแปรรูปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง และทดสอบการใช้งานหลังการปรับปรุง

ทำการสร้างเตาเผาขยะที่เหมาะสมกับการแปรรูปขยะพลาสติกในชุมชนให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ตามที่ได้ออกแบบไว้ ภายใต้คำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ แล้วทำการทดสอบการใช้งานของเตาเผาขยะพลาสติกในเบื้องต้น เพื่อให้มั่นใจว่าฟังก์ชันการทำงานของระบบถูกต้องและครบถ้วนตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ รวมถึงการตรวจสอบข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการใช้งานจริง โดยการใช้ขยะพลาสติกที่เกิดขึ้นจริงในชุมชนทดลองเผาจนแล้วเสร็จตามการทำงานปกติ แล้วทำการประเมินการใช้งานของเตาเผาโดยการสังเกต นำข้อมูลที่ได้มาพัฒนาปรับปรุงให้เตาเผามีประสิทธิภาพสามารถที่จะใช้งานได้จริง

3.4 การตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากเตาเผาขยะพลาสติก

วิเคราะห์หาคุณภาพด้านเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากเตาเผาขยะพลาสติกที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้น โดยการวิเคราะห์ค่าออกเทน (Octane number) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถของน้ำมันเชื้อเพลิงในการใช้งานกับเครื่องยนต์กำลังสูงโดยไม่เกิดการจุดระเบิดตัวเอง (self-ignition) ก่อนกำหนด ค่าออกเทนเป็นผลมาจากการเรียงตัวของธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนในโมเลกุลน้ำมัน โดยงานวิจัยนี้ได้วัดค่าออกเทนของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ผลิตจากการเผาขยะพลาสติกตามมาตรฐาน Research Octane Number (RON) ด้วยวิธีการ ASTMD 2699 ซึ่งเป็นวิธีที่กำหนดโดยกรมธุรกิจพลังงาน [19]

3.5 การประเมินความพึงพอใจต่อเตาเผาขยะพลาสติกเพื่อแปรรูปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง

ทำการสร้างแบบสอบถามขึ้นมา เพื่อให้ผู้ที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์จากเตาเผาขยะพลาสติกทำการประเมินความพึงพอใจ โดยแบบสอบถามที่สร้างขึ้นเป็นการสอบถามความพึงพอใจต่อเตาเผาขยะพลาสติกที่ผู้วิจัยได้ออกแบบและพัฒนาขึ้น จำนวน 15 ข้อ วัดความพึงพอในประเด็นต่าง ๆ ดังนี้ 1) ความสามารถในการนำไปใช้งานได้จริง 2) ความสะดวกในการใช้งาน 3) ประสิทธิภาพในการทำงาน 4) คุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ และ 5) ประโยชน์ที่ได้จากเตาเผาขยะ ลักษณะของข้อคำถามเป็นแบบมาตรส่วนประเมินค่า 5 ระดับ โดยใช้เกณฑ์ความพึงพอใจของผู้ประเมินเป็นตัววัด ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ระดับ ดังนี้ พึงพอใจมากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด โดยกำหนดค่าน้ำหนักคะแนนตามลำดับ ดังนี้ 5, 4, 3, 2 และ 1

สำหรับประชากรและกลุ่มตัวอย่างในการประเมินแบบสอบถาม มีรายละเอียด ดังนี้

ประชากรในการวิจัย คือ ประชาชนในพื้นที่ชายฝั่งทะเล ตำบลชุมพล อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา จำนวน 3,578 คน [20]

กลุ่มตัวอย่างในการวิจัย คำนวณโดยใช้สูตร Yamane [18] ซึ่งอ้างอิงจากจำนวนประชากร 3,578 คน พร้อมกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ 0.05

$$\text{สูตร} \quad n = \frac{N}{1 + N(e)^2} \qquad \text{สมการที่ 1}$$

เมื่อ n หมายถึง ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

N หมายถึง จำนวนประชากร

e หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนที่กำหนดไว้

นำมาแทนค่าในสูตร จะได้

$$n = \frac{3,578}{1 + 3,578(0.05)^2}$$

$$= \frac{3,578}{9.945}$$

$$= 359.778$$

ดังนั้น กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้มีจำนวนทั้งหมด 360 คน

การสุ่มตัวอย่าง จำนวน 360 คน เริ่มจากการสุ่มแบบแบ่งชั้น (classification random sampling) โดยใช้หมู่บ้านเป็นเกณฑ์ในการแบ่งชั้น ซึ่งประกอบด้วย 7 หมู่บ้าน ได้แก่ ชุมพลระวาง คลองฉนวน พะโคะ ชุมพล วัดกระชายทะเล นางเหล้า และวัดกระ จากนั้นทำการคำนวณสัดส่วนจำนวนกลุ่มตัวอย่างตามจำนวนประชากรในแต่ละหมู่บ้าน เมื่อได้จำนวนที่ต้องการในแต่ละชั้นแล้ว จึงดำเนินการสุ่มตัวอย่างในแต่ละหมู่บ้านด้วยวิธีการสุ่มแบบตามความสะดวก (convenience sampling) ซึ่งเป็นการเลือกประชากรที่สามารถให้ข้อมูลได้ตามจำนวนที่กำหนดในแต่ละหมู่บ้าน เพื่อให้ได้กลุ่มตัวอย่างที่เหมาะสมต่อการศึกษาในครั้งนี้ [21]

ตารางที่ 3.1 จำนวนประชากรและกลุ่มตัวอย่างสำหรับประเมินความพึงพอใจเตาเผาขยะพลาสติก

ชื่อหมู่บ้าน	**จำนวนประชากร (คน)** [20]	**จำนวนกลุ่มตัวอย่าง (คน)**
ชุมพลระวาง	919	93
คลองฉนวน	272	27
พะโคะ	243	24
ชุมพล	493	50
วัดกระชายทะเล	759	76
นางเหล้า	425	43
วัดกระ	467	47
รวม	**3,578**	**360**

การตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบสอบถาม

ก่อนนำแบบสอบถามความพึงพอใจไปใช้เก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง จะมีการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือในสองขั้นตอน ขั้นแรก ร่างแบบสอบถามจะถูกส่งให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่านเพื่อประเมินความสอดคล้องของเนื้อหา (content validity) และนำผลที่ได้มาคำนวณค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) โดยกำหนดค่ามาตรฐานให้อยู่ระหว่าง 0.67 ถึง 1.00 [21] ขั้นที่สองร่างแบบสอบถามดังกล่าวจะถูกนำไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างทดลองที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับ

กลุ่มเป้าหมายหลัก จำนวน 30 คน เพื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าความเชื่อมั่น (reliability) โดยใช้สัมประสิทธิ์แอลฟา (coefficient alpha) ตามวิธีของครอนบาร์ค โดยกำหนดเกณฑ์ค่าความเชื่อมั่นที่ยอมรับได้ตั้งแต่ 0.70 ขึ้นไป [21]

หลังการรวบรวมข้อมูลจากแบบสอบถาม จะดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลโดยคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อวัดระดับความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งใช้เกณฑ์การแปลผลจากค่าเฉลี่ยดังนี้ [20]

ค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.00 ถึง 1.80 แสดงถึงความพึงพอใจในระดับน้อยที่สุด

ค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.81 ถึง 2.60 แสดงถึงความพึงพอใจในระดับน้อย

ค่าเฉลี่ยระหว่าง 2.61 ถึง 3.40 แสดงถึงความพึงพอใจในระดับปานกลาง

ค่าเฉลี่ยระหว่าง 3.41 ถึง 4.20 แสดงถึงความพึงพอใจในระดับมาก

ค่าเฉลี่ยระหว่าง 4.21 ถึง 5.00 แสดงถึงถึงความพึงพอใจในระดับมากที่สุด

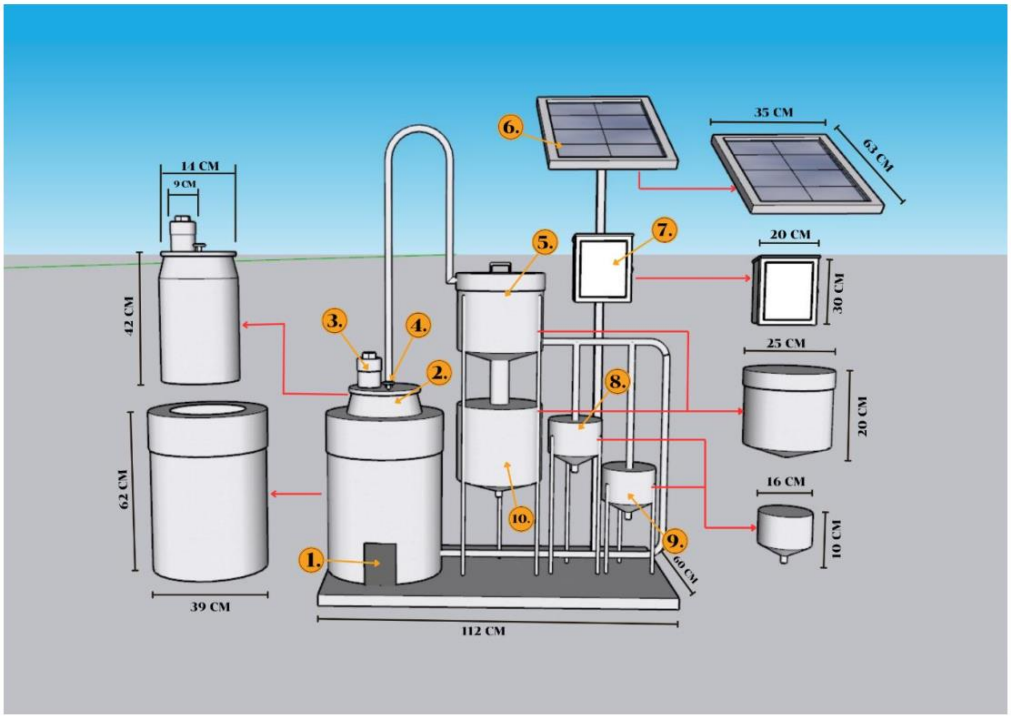
3.6 สรุปผลการวิจัยและจัดทำรายงาน

ข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมและประมวลผลทั้งหมดจะถูกนำมาสรุปผลการศึกษาเพื่อตอบโจทย์ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์จะถูกจัดทำขึ้นอย่างครบถ้วน โดยครอบคลุมเนื้อหาและรายละเอียดที่จำเป็นทั้งหมด เพื่อให้สามารถนำไปใช้อ้างอิงหรือเผยแพร่ได้อย่างเหมาะสม

บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 ผลการออกแบบ การสร้าง และการทดสอบการใช้งานเตาเผาขยะพลาสติกเพื่อแปรรูปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง

ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและพัฒนาเตาเผาขยะที่เหมาะสมกับการแปรรูปขยะพลาสติกในชุมชนให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง โดยนำหลักการของการเผาขยะพลาสติกให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการไพโรไลซิสมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบ และคำนึงถึงปัจจัยเบื้องต้น คือ สามารถใช้เผาขยะพลาสติกในชุมชนให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงได้ สามารถใช้งานได้ง่าย และไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้เตาเผาขยะที่ได้ออกแบบขึ้น มีส่วนประกอบที่สำคัญ 10 ส่วน ได้แก่ 1) ช่องใส่เชื้อเพลิง 2) เตาเผา 3) ช่องใส่ขยะพลาสติก 4) เกจวัดอุณหภูมิ 5) คอนเดนเซอร์ 6) แผงโซลาร์เซลล์ 7) ตู้ควบคุมอุณหภูมิและแรงดัน 8) ถังใส่น้ำมันตัวที่ 1 9) ถังใส่น้ำมันตัวที่ 2 และ 10) ถังพักน้ำ โดยมีรายละเอียด ดังภาพที่ 4.1



หมายเลข 1. ช่องใส่เชื้อเพลิง	มีหน้าที่ สำหรับใส่วัสดุที่เป็นเชื้อเพลิงเพื่อทำหน้าที่เผาไหม้
หมายเลข 2. เตาเผา	มีหน้าที่ เก็บขยะพลาสติกเพื่อใช้ในกระบวนการกลั่น
หมายเลข 3. ช่องใส่ขยะ	มีหน้าที่ เป็นช่องไว้สำหรับใส่ขยะพลาสติก
หมายเลข 4. เกจวัดอุณหภูมิ	มีหน้าที่ วัดอุณหภูมิที่อยู่ในเตาเผา
หมายเลข 5. คอนเดนเซอร์	มีหน้าที่ เปลี่ยนสถานะของแก๊สให้กลายเป็นของเหลว
หมายเลข 6. แผงโซล่าเซลล์	มีหน้าที่ นำพลังงานแสงอาทิตย์มาผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า
หมายเลข 7. ตู้ควบคุม	มีหน้าที่ ควบคุมระบบทั้งหมดในเครื่องกลั่น
หมายเลข 8. ถังใส่น้ำมันตัวที่ 1	มีหน้าที่ เก็บน้ำมันตระกูลดีเซล
หมายเลข 9. ถังใส่น้ำมันตัวที่ 2	มีหน้าที่ เก็บน้ำมันตระกูลเบนซิน
หมายเลข 10. ถังพักน้ำ	มีหน้าที่ กักเก็บน้ำเพื่อใช้ในคอนเดนเซอร์

ภาพที่ 4.1 โครงสร้างเตาเผาขยะพลาสติกเพื่อแปรรูปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่ทำการออกแบบ

หลังจากออกแบบเตาเผาขยะที่เหมาะสมกับการแปรรูปขยะพลาสติกในชุมชนให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงแล้ว ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างเตาเผาขยะพลาสติกตามที่ออกแบบไว้ ดังนี้

1. นำสแตนเลสแผ่นหนาขนาด 3 มิลลิเมตร ประกอบเป็นรูปทรงกระบอกเพื่อทำเป็นตัวของเตาเผาขยะพลาสติก

2. ทำการตัดช่องเตาเผาทรงกระบอก เพื่อเป็นช่องสำหรับใส่เชื้อเพลิงขยะพลาสติก

3. นำเตาเผารูปทรงกระบอกเชื่อมติดกับฐานวาง

4. นำแผ่นสแตนเลสหนา 5 มิลลิเมตร มาขึ้นรูป เพื่อทำเป็นถังกลั่นน้ำมันรูปทรงกระบอก แล้วทำฝาปิดโดยการเชื่อมน็อตเพื่อปิดล็อกฝาให้สนิท

5. นำฝาปิดไปเจาะรูเพื่อติดตั้งเกจวัดแรงดันภายในถังกลั่นน้ำมัน

6. นำฝาไปเจาะรูเพิ่มหนึ่งรู เพื่อติดตั้งท่อสแตนเลสขนาด 20 มิลลิเมตร เพื่อให้ก๊าซที่เกิดจากการกลั่นน้ำมันไหลไปตามท่อ

7. นำท่อสแตนเลสขนาด 20 มิลลิเมตร มาประกอบเป็นคอนเดนเซอร์ เพื่อระบายความร้อนจากการกลั่นน้ำมัน หลังจากนั้นนำท่อสแตนเลสขนาด 20 มิลลิเมตร เชื่อมต่อกับถังเก็บน้ำมันถังที่ 1

8. นำสแตนเลสแผ่นหนาขนาด 3 มิลลิเมตร มาขึ้นรูปทรงกระบอกทำเป็นถังเก็บน้ำมันถังที่ 1 และทำการใส่วาล์วขนาด 20 มิลลิเมตร เพื่อนำน้ำออกจากถังเก็บน้ำมันถังที่ 1

9. นำสแตนเลสแผ่นหนาขนาด 3 มิลลิเมตร มาขึ้นรูปทรงกระบอกทำเป็นถังเก็บน้ำมันถังที่ 2 และทำการใส่วาล์วขนาด 20 มิลลิเมตร เพื่อนำน้ำออกจากถังเก็บน้ำมันถังที่ 2

10. ใส่เซฟตี้วาล์วที่ถังเก็บน้ำมันถังที่ 2 หลังจากนั้นต่อวาล์วขนาด 20 มิลลิเมตร กลับไปยัง เตาเผา โดยใส่วาล์วกันกลับแก๊ส

11. ติดตั้งระบบควบคุม โดยใช้โซล่าเซลล์ ขนาด 30 วัตต์ เก็บตัวผลิตไฟฟ้าผ่านชาร์จเจอร์ เพื่อนำไฟฟ้าไปเก็บในแบตเตอรี่ เพื่อนำไปใช้ในระบบควบคุม

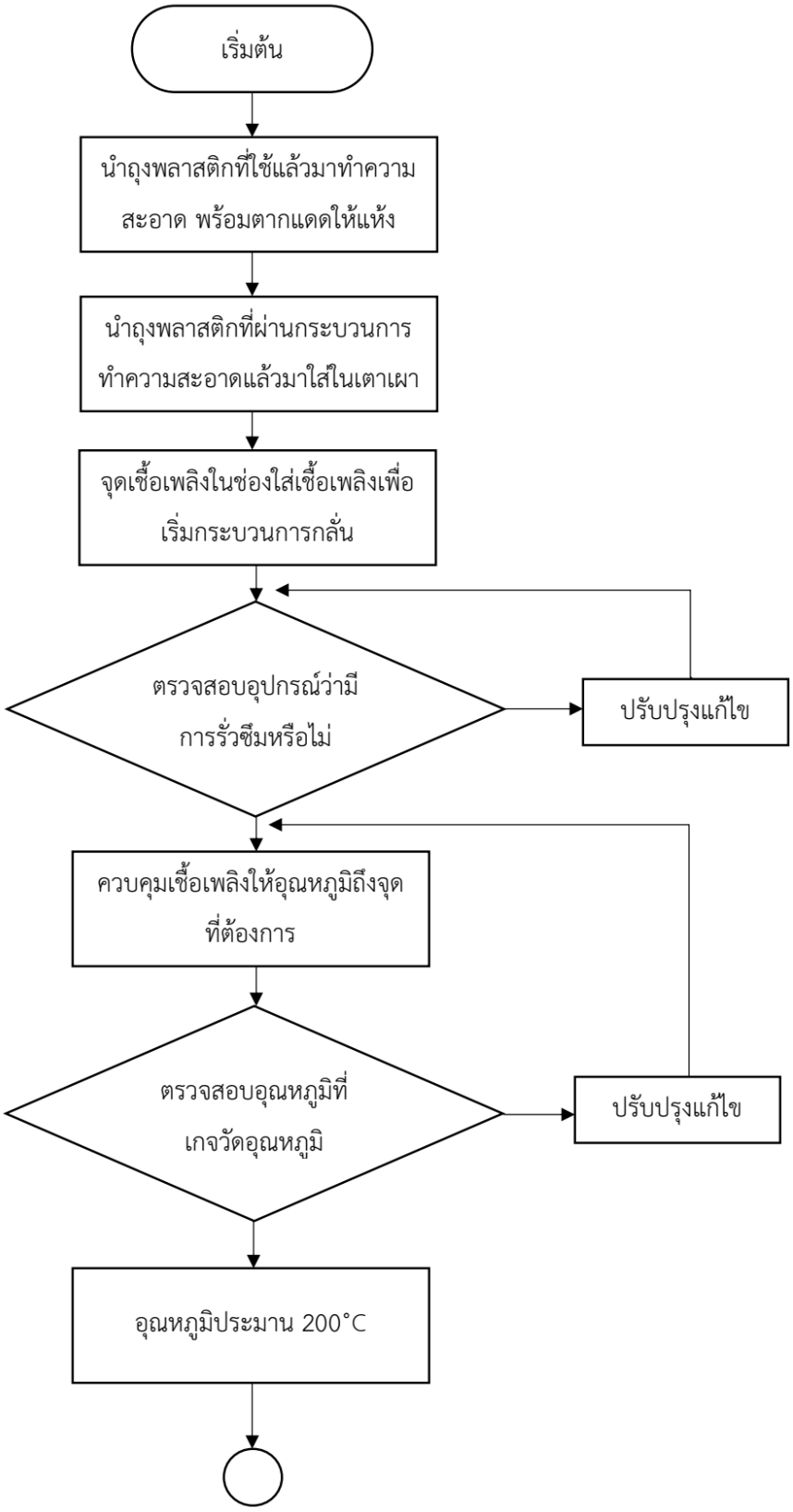
12. นำเซ็นเซอร์อุณหภูมิทำการติดตั้งที่ถังคอนเดนเซอร์ เพื่อควบคุมอุณหภูมิ

13. นำมอเตอร์ปั๊มน้ำขนาด 6.8 บาร์ ทำการติดตั้งที่ถังเก็บน้ำ เพื่อดูดน้ำจากถังเก็บน้ำไปเติม ยังถังคอนเดนเซอร์ และติดตั้งท่อสแตนเลสขนาด 20 มิลลิเมตร ระหว่างถังคอนเดนเซอร์กับถังเก็บน้ำ เพื่อให้น้ำจากถังคอนเดนเซอร์ไหลลงไปยังถังเก็บน้ำ

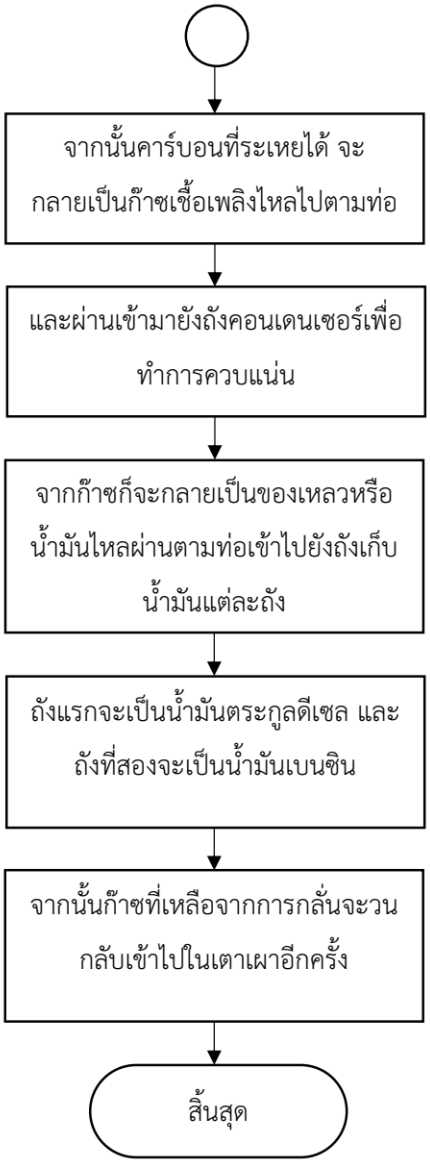
หลังจากการดำเนินการสร้างเตาเผาขยะพลาสติกตามที่ออกแบบไว้ จะได้เตาเผาขยะที่เหมาะสมกับการแปรรูปขยะพลาสติกในชุมชนให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงขนาดจริง ดังภาพที่ 4.2

ภาพที่ 4.2 เตาเผาขยะพลาสติกให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงขนาดจริง

หลังจากการพัฒนาเตาเผาขยะพลาสติกที่ออกแบบให้เหมาะสมสำหรับการแปรรูปขยะพลาสติกในชุมชนเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบการใช้งานเบื้องต้นของเตาเผาเพื่อประเมินความสมบูรณ์ของฟังก์ชันการทำงานตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ และตรวจสอบปัญหาหรือข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นในการใช้งานจริง ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า เตาเผาสามารถทำงานได้ตามที่วางแผนไว้และใช้งานได้จริงสำหรับการเผาขยะพลาสติก รายละเอียดเกี่ยวกับขั้นตอนการทดสอบและวิธีการทำงานของเตาเผาที่สร้างขึ้น แสดงดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 วิธีการทดสอบการใช้งานและวิธีการทำงานของเตาเผาขยะพลาสติก



ภาพที่ 4.3 วิธีการทดสอบการใช้งานและวิธีการทำงานของเตาเผาขยะพลาสติก (ต่อ)

สำหรับงบประมาณทั้งหมดที่ใช้ในการพัฒนาเตาเผาขยะเพื่อแปรรูปขยะพลาสติกให้กลายเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ใช้งบประมาณรวม 34,900 บาท โดยแบ่งเป็นค่าวัสดุ 26,400 บาท และค่าใช้สอย 8,500 บาท รายละเอียดการจัดสรรงบประมาณในแต่ละส่วนสำหรับการพัฒนาเตาเผาขยะพลาสติกดังกล่าว ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 งบประมาณที่ใช้ในการพัฒนาเตาเผาขยะที่เหมาะสมกับการแปรรูปขยะพลาสติกให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง

รายการ	จำนวนต่อหน่วย	ราคาต่อหน่วย	รวมเงิน
1. ค่าวัสดุ ได้แก่			
1.1 ยูเนี่ยนสแตนเลส เกรด 304	7 อัน	756	5,292
1.2 เช็ควาล์ว	1 ตัว	470	470
1.3 Safety Valve	2 ตัว	2,580	5,160
1.4 เกจวัดแรงดัน และอุณหภูมิ	1 ตัว	2,436	2,436
1.5 ลูกล้อโพลียุรีเทน	4 อัน	358	1,432
1.6 บอลวาล์วสแตนเลส	5 หัว	150	750
1.7 หน้าแปลนสแตนเลส	2 อัน	1,875	3,750
1.8 แผ่นสแตนเลส	3 แผ่น	2,370	7,110
		รวมค่าวัสดุ	**26,400**
2. ค่าใช้สอย ได้แก่			
2.1 ค่าจ้างงานโครงสร้าง			7,500
2.2 ค่าใช้สอยอื่น ๆ			1,000
		รวมค่าใช้สอย	**8,500**
รวมงบประมาณทั้งหมด			**34,900**

สรุป เตาเผาขยะพลาสติกแบบไพโรไลซิสที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้งานได้จริง โดยเตาเผานี้เป็นรุ่นขนาดเล็ก รองรับการเผาขยะพลาสติกได้ประมาณ 20 กิโลกรัมต่อวัน พลาสติกที่เหมาะสำหรับการเผาในระบบนี้คือพลาสติกประเภทพอลิเอทิลีน (Polyethylene: PE) เช่น ขวดน้ำ ภาชนะบรรจุ ถุงพลาสติกแบบบาง และแผ่นฟิล์มสำหรับห่อของ เป็นต้น

4.2 ผลการตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากเตาเผาขยะพลาสติก

น้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากเตาเผาขยะพลาสติกที่ได้พัฒนาขึ้น มีคุณลักษณะภายนอกที่มีสีเหลืองใส แสดงดังภาพที่ 4.4

ภาพที่ 4.4 คุณลักษณะภายนอกของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากเตาเผาขยะพลาสติก

เมื่อวิเคราะห์หาคุณภาพด้านเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากเตาเผาขยะพลาสติกที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้น โดยการวิเคราะห์ค่าออกเทน (Octane number) โดยวิธีวิจัย (Research Octane Number: RON) ตามวิธีการมาตรฐาน ASTMD 2699 ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานที่กำหนดไว้โดยกรมธุรกิจพลังงาน [19] พบว่า น้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากเตาเผาขยะพลาสติกที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นมีค่าออกเทน เท่ากับ 97.6 โดยเมื่อเทียบเกณฑ์มาตรฐานสมบัติทางกายภาพค่าออกเทนปรากฏว่ามีค่าสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ซึ่งค่ามาตรฐานสมบัติทางกายภาพของค่าออกเทนที่นำไปใช้ในเครื่องยนต์เบนซินได้ต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 91 [19] ดังนั้นจึงสามารถนำน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากเตาเผาขยะพลาสติกที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นไปใช้แทนน้ำมันเบนซินได้ โดยไม่ทำให้เกิดการน็อกของเครื่องยนต์ หรืออาจนำน้ำมันที่ได้ไปปรับปรุงค่าออกเทนโดยการเติมปริมาณเอทานอลที่เหมาะสมเพื่อใช้แทนน้ำมันแก๊สโซฮอล์ได้ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบค่าออกเทน (Octane number) ของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากเตาเผาขยะพลาสติกกับมาตรฐานที่กำหนด

ข้อกำหนด	**มาตรฐานที่กำหนด**	**วิธีการทดสอบ**	**น้ำมันที่ได้จากเตาเผา**
ค่าออกเทน (Octane number)	ไม่ต่ำกว่า 91	ASTMD 2699 [19]	97.6

4.3 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อเตาเผาขยะพลาสติกเพื่อแปรรูปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง

การประเมินความพึงพอใจต่อเตาเผาขยะพลาสติกเพื่อแปรรูปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง โดยใช้แบบสอบถามความพึงพอใจเก็บรวบรวมข้อมูลจากประชาชนในพื้นที่ชายฝั่งทะเล ตำบลชุมพล อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา จำนวน 360 คน ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ปรากฏผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

n = 360

ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม	จำนวน (คน)	ร้อยละ
1. เพศ		
1.1 ชาย	216	60.00
1.2 หญิง	144	40.00
2. อายุ		
2.1 ไม่เกิน 20 ปี	18	5.00
2.2 21-30 ปี	54	15.00
2.3 31-40 ปี	216	60.00
2.4 มากกว่า 40 ปี	72	20.00
3. อาชีพ		
3.1 ประมง	108	30.00
3.2 ค้าขาย/ธุรกิจส่วนตัว	216	60.00
3.3 ข้าราชการ/พนักงานของรัฐ	36	10.00
4. ชุมชนที่อาศัย		
4.1 ชุมพลระวาง	93	25.83
4.2 คลองฉนวน	27	7.50
4.3 พะโคะ	24	6.67
4.4 ชุมพล	50	13.89
4.5 วัดกระชายทะเล	76	21.11
4.6 นางเหล้า	43	11.94
4.7 วัดกระ	47	13.06

จากตารางที่ 4.3 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีข้อมูลส่วนบุคคล ดังนี้

เพศ ส่วนใหญ่เป็นเพศชาย ร้อยละ 60.00 และเพศหญิง ร้อยละ 40.00

อายุ ส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 31-40 ปี ร้อยละ 60.00 รองลงมา อายุมากกว่า 40 ปี ร้อยละ 20.00 อายุอยู่ระหว่าง 21-30 ปี ร้อยละ 15.00 และอายุไม่เกิน 20 ปี ร้อยละ 5.00 ตามลำดับ

อาชีพ ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพค้าขาย/ธุรกิจส่วนตัว ร้อยละ 60.00 รองลงมา คือ ประมง ร้อยละ 30.00 และข้าราชการ/พนักงานของรัฐ ร้อยละ 10.00 ตามลำดับ

ชุมชนที่อาศัย ส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในชุมชนชุมพลระวาง ร้อยละ 25.83 รองลงมา คือ วัดกระชายทะเล ร้อยละ 21.11 ชุมพล ร้อยละ 13.89 วัดกระ ร้อยละ 13.06 นางเหล้า ร้อยละ 11.94 คลองฉนวน ร้อยละ 7.50 และพะโคะ ร้อยละ 6.67 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาถึงความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อเตาเผาขยะพลาสติกเพื่อแปรรูปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้น ทั้งในด้านความสามารถในการนำไปใช้งานได้จริง ความสะดวกในการใช้งาน ประสิทธิภาพในการทำงาน คุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ และประโยชน์ที่ได้จากเตาเผาขยะ ปรากฏผลดังตารางที่ 4.4

สำหรับผลการพิจารณาความพึงพอใจเตาเผาขยะพลาสติกเพื่อแปรรูปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ทั้งในด้านการใช้งาน ความสะดวก ประสิทธิภาพ คุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง และประโยชน์ที่ได้รับ ปรากฏผลตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งานเตาเผาขยะพลาสติก

ความพึงพอใจของผู้ใช้งาน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับ
1. ความสามารถในการนำไปใช้งานได้จริง	**4.64**	**0.45**	**มากที่สุด**
1.1 เตาเผาขยะพลาสติกสามารถนำไปใช้งานได้จริง	4.70	0.54	มากที่สุด
1.2 มีความเหมาะสมกับวิถีชีวิตของคนในชุมชน	4.61	0.53	มากที่สุด
1.3 ผู้คนในชุมชนสามารถเรียนรู้และใช้งานได้อย่างถูกต้อง	4.62	0.51	มากที่สุด
2. ความสะดวกในการใช้งาน	**4.54**	**0.56**	**มากที่สุด**
2.1 การเตรียมเชื้อเพลิงขยะพลาสติกสามารถทำได้ง่าย	4.62	0.59	มากที่สุด
2.2 การใช้งานเตาเผามีความสะดวก ไม่ยุ่งยาก	4.47	0.66	มากที่สุด
2.3 การเก็บดูแลรักษาหลังการใช้งานทำได้ง่าย	4.52	0.63	มากที่สุด
3. ประสิทธิภาพในการทำงาน	**4.52**	**0.56**	**มากที่สุด**
3.1 การเผาขยะพลาสติกแต่ละครั้งสามารถทำได้รวดเร็ว	4.48	0.67	มากที่สุด
3.2 สามารถเผาขยะพลาสติกได้โดยไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม	4.55	0.64	มากที่สุด
3.3 สามารถเผาขยะพลาสติกได้ปริมาณน้ำมันค่อนข้างมาก	4.55	0.59	มากที่สุด

ตารางที่ 4.4 ระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งานเตาเผาขยะพลาสติก (ต่อ)

ความพึงพอใจของผู้ใช้งาน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับ
4. คุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ผลิตได้	**4.49**	**0.57**	**มากที่สุด**
4.1 น้ำมันที่ได้มีความใส ไม่มีตะกอนหรือสิ่งเจือปน	4.55	0.60	มากที่สุด
4.2 น้ำมันที่ได้ไม่แตกต่างจากน้ำมันเชื้อเพลิงทั่วไป	4.48	0.62	มากที่สุด
4.3 น้ำมันที่ได้ไม่เป็นอันตรายต่อการนำไปใช้งาน	4.44	0.65	มากที่สุด
5. ประโยชน์ที่ได้จากเตาเผาขยะ	**4.55**	**0.54**	**มากที่สุด**
5.1 ช่วยลดการเผาขยะพลาสติกในที่โล่งได้	4.56	0.60	มากที่สุด
5.2 ช่วยให้คนในชุมชนตระหนักถึงปัญหาการเผาขยะในที่โล่ง	4.54	0.64	มากที่สุด
5.3 มีความคุ้มค่าเมื่อพิจารณาจากต้นทุนและผลลัพธ์	4.56	0.60	มากที่สุด
รวม	**4.55**	**0.47**	**มากที่สุด**

จากตารางที่ 4.4 พบว่า กลุ่มผู้ใช้งานเตาเผาขยะพลาสติกมีความพึงพอใจในการใช้งานโดยภาพรวมและรายด้านอยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{X}$ = 4.55, S.D. = 0.77) โดยด้านที่มีระดับความพึงพอใจสูงสุด คือ ความสามารถในการนำไปใช้งานได้จริง ($\overline{X}$ = 4.64, S.D. = 0.45) รองลงมา คือ ประโยชน์ที่ได้จากเตาเผาขยะ ($\overline{X}$ = 4.55, S.D. = 0.54) ความสะดวกในการใช้งาน ($\overline{X}$ = 4.54, S.D. = 0.56) ประสิทธิภาพในการทำงาน ($\overline{X}$ = 4.52, S.D. = 0.56) และคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ ($\overline{X}$ = 4.49, S.D. = 0.57) ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า ความพึงพอใจของผู้ใช้งานอยู่ในระดับมากที่สุดทุกข้อ โดยข้อที่มีระดับความพึงพอใจสูงสุด คือ เตาเผาขยะพลาสติกสามารถนำไปใช้งานได้จริง ($\overline{X}$ = 4.70, S.D. = 0.54) รองลงมา คือ ผู้คนในชุมชนสามารถเรียนรู้และใช้งานได้อย่างถูกต้อง ($\overline{X}$ = 4.62, S.D. = 0.51) และต่ำสุด คือ น้ำมันที่ได้ไม่เป็นอันตรายต่อการนำไปใช้งาน ($\overline{X}$ = 4.44, S.D. = 0.65) ตามลำดับ

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ขยะพลาสติกเป็นปัญหาสำคัญของหลายชุมชน โดยเฉพาะชุมชนพื้นที่ชายฝั่งทะเล ตำบลชุมพล อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา ซึ่งเป็นชุมชนที่มีอัตราขยายตัวเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้มีปริมาณขยะพลาสติกจากครัวเรือนเพิ่มขึ้นในแต่ละปี ซึ่งยังไม่มีการจัดการ โดยส่วนมากประชาชนก็จะนำไปทิ้งลงถังขยะ ยังมีการเผาในหลุม ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งจำเป็นต้องมีการปรับปรุงวิธีการกำจัดขยะพลาสติกในชุมชน ด้วยวิธีการจัดการและกำจัดขยะพลาสติกที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ ซึ่งวิธีการหนึ่งในการกำจัดขยะพลาสติกในชุมชนให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดประโยชน์และสามารถนำมาใช้ได้ คือการแปรรูปขยะพลาสติกให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงผ่านเตาเผาขยะที่ออกแบบเป็นพิเศษเพื่อให้เข้ากับคุณลักษณะของขยะพลาสติก ซึ่งน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ งานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบและพัฒนาเตาเผาขยะพลาสติกเพื่อแปรรูปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง เพื่อเป็นอีกหนึ่งแนวทางการแก้ปัญหาการเพิ่มขึ้นของปริมาณขยะที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชน

เตาเผาขยะที่ออกแบบและพัฒนาขึ้น ได้นำหลักการของการเผาขยะพลาสติกให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการไพโรไลซิสมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบ และคำนึงถึงปัจจัยเบื้องต้น คือ สามารถใช้เผาขยะพลาสติกในชุมชนให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงได้ สามารถใช้งานได้ง่าย และไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญ 10 ส่วน ได้แก่ ช่องใส่เชื้อเพลิง เตาเผา ช่องใส่ขยะพลาสติก เกจวัดอุณหภูมิ คอนเดนเซอร์ แผงโซลาร์เซลล์ ตู้ควบคุมอุณหภูมิและแรงดัน ถังใส่น้ำมันจำนวน 2 ถัง และถังพักน้ำ โดยน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากเตาเผาขยะพลาสติก มีคุณลักษณะภายนอกที่มีสีเหลืองใส และมีค่าออกเทน เท่ากับ 97.6 โดยสามารถนำไปใช้แทนน้ำมันเบนซินได้ โดยไม่ทำให้เกิดการน็อกของเครื่องยนต์ และประชาชนในพื้นที่มีความพึงพอใจต่อเตาเผาขยะพลาสติกที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นอยู่ในระดับมากที่สุดทุกด้าน ทั้งด้านความสามารถในการนำไปใช้งานได้จริง ความสะดวกในการใช้งาน ประสิทธิภาพในการทำงาน คุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ และประโยชน์ที่ได้รับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1) ก่อนการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกผ่านเตาเผาขยะที่ออกแบบและพัฒนาขึ้น ควรมีการแยกประเภทของพลาสติก พร้อมทั้งล้างทำความสะอาดพลาสติกให้เรียบร้อย

2) เนื่องจากเครื่องยนต์ที่ใช้งานในรถยนต์ ออกแบบมาสำหรับใช้กับน้ำมันดีเซลหรือเบนซินเท่านั้น หากต้องการนำน้ำมันจากขยะพลาสติกที่ได้จากเตาเผาขยะที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นไปใช้กับเครื่องยนต์ ควรมีการปรับปรุงเครื่องยนต์ให้เหมาะสมกับสมบัติของเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก

3) จากกงานวิจัยหากต้องการนำน้ำมันจากขยะพลาสติกไปใช้งานกับเครื่องยนต์โดยไม่มีการปรับปรุง เครื่องยนต์ที่เหมาะสมกับน้ำมันจากขยะพลาสติกควรเป็นเครื่องยนต์เบนซิน

4) การพัฒนาเตาเผาขยะพลาสติกขนาดเล็กควรดำเนินการโดยใช้กระบวนการไพโรไลซิส ซึ่งเป็นกระบวนการกำจัดขยะมูลฝอยด้วยการเผาไหม้ภายใต้สภาวะไร้อากาศ กระบวนการนี้มีข้อดีสำคัญคือการใช้อากาศในปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับเตาเผาขยะประเภทอื่น อีกทั้งยังเป็นปฏิกิริยาที่ให้ความร้อนกับสารตั้งต้นโดยไม่เปลี่ยนแปลงสภาพอื่น จึงช่วยลดต้นทุนด้านพลังงาน ทำให้กระบวนการนี้มีความคุ้มค่ามากกว่า นอกจากนี้ กระบวนการไพโรไลซิสยังดำเนินการในระบบปิด ส่งผลให้ไม่มีการปล่อยก๊าซพิษที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์หรือสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังมีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานในชุมชนเนื่องจากควบคุมได้ง่าย อย่างไรก็ตาม การพัฒนาเตาเผาขยะแบบไพโรไลซิสจำเป็นต้องมีการออกแบบระบบเผาไหม้อย่างถูกต้องและเหมาะสม เพราะหากการออกแบบไม่ดี อาจส่งผลต่อคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากกระบวนการ ทำให้น้ำมันที่ผลิตมีคุณภาพต่ำ ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานในระยะยาว

5.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

ควรวิเคราะห์มูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของเตาเผาขยะพลาสติกที่ออกแบบและพัฒนาขึ้น ได้แก่ ระยะเวลาคืนทุน ค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ค่าอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) และค่าอัตราส่วนผลได้ต่อต้นทุน (BC) เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนสำหรับการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกอย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกที่ตกค้าง ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

บรรณานุกรม

[1] ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ, “การผลิตเชื้อเพลิงเหลวทดแทนดีเซล จากกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติกและชีวมวล,” Unisearch Journal, ปีที่ 6, ฉบับที่ 3, หน้า 10-16, กันยายน-ธันวาคม, 2562.

[2] องค์การบริหารส่วนตำบลชุมพล อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา, “ข้อมูล อบต.,” สืบค้นจาก: https://www.chumpon.go.th/content/information/1. [สืบค้นเมื่อ: 1 กุมภาพันธ์ 2567].

[3] เมย์ฑิณี ทองคำ, “ขยะพลาสติก: โครงการออกแบบศูนย์การเรียนรู้นวัตกรรมการแปรสภาพขยะพลาสติก,” วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยศรีปทุม, กรุงเทพฯ, 2563.

[4] สรรพสิทธิ์ ชลพันธ์, “การสร้างและทดสอบเตาปฏิกรณ์โทรี่แฟคชั่นเทอร์โมไซฟ่อนชนิดป้อนชีวมวลต่อเนื่อง,” วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม, 2564.

[5] สุภาพร ศรีหริ่ง, “การพัฒนารูปแบบที่เหมาะสมในการจัดตั้งเตาเผาขยะ เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า จังหวัดอุดรธานี,” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2557.

[6] อัศวิน สืบนุการณ์, “การพัฒนาเตาเผาขยะมูลฝอยชุมชนขนาดเล็ก,” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 2544.

[7] ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, “การศึกษาเทคโนโลยีและพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานขยะ,” กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2561.

[8] คมสัน ขันนาม, “การปรับปรุงออกแบบและพัฒนาเตาเผาแบบหมุนสำหรับขยะติดเชื้อ,” วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม, 2563.

[9] กองประเมินผลกระทบต่อสุขภาพ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, “ผลกระทบต่อสุขภาพจากเตาเผามูลฝอยชุมชน” กรุงเทพฯ: กรมอนามัย, 2558.

[10] วสุ สุขสุวรรณ, “การศึกษาเตาฟลูอิไดซ์เบดแก๊สซิไฟเออร์แบบหมุนควงสำหรับเชื้อเพลิงชีวมวลแบบผง,” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา, 2561.

[11] พงษ์ภิญโญ ปัญโญใหญ่, “การพัฒนาเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสต้นแบบสำหรับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร,” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่, 2566.

[12] A. W. Pratama, A. Rofii, N. Afianah and S. L. P. Putri, “Analysis engineering design of fuel reactor pirolysis incinerator (IPFR) processing plastic waste into alternative fuel with residual oil heating,” Jurnal Teknik Terapan, vol. 2, no. 1, pp. 42-49, 2023.

[13] นุชนาถ สุขสมัย, “การประยุกต์ใช้กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (AHP) สำหรับการจัดการขยะมูลฝอยชุมชนเพื่อเป็นพลังงาน,” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2561.

[14] กฤษฎางค์ ศุกระมูล, “การพัฒนาและศึกษาประสิทธิภาพของเตาเผาขยะชุมชนในมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์,” การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 8-10 พฤษภาคม 2556, หน้า 1142-1148.

[15] F. Campuzano, R. C. Brown and J. D. Martinez J. D., “Auger reactors for pyrolysis of biomass and wastes,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 102, no. C, pp. 372-409, 2019.

[16] W. M. Lewandowski, K. Januszewicz and W. Kosakowski W., “Efficiency and proportions of waste tire pyrolysis products depending on the reactor type-A review,” Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, vol. 140, no. 1, pp. 25-53, March, 2019.

[17] J. J. Manya and M. Azuara, “Biochar production through slow pyrolysis of different biomass materials: Seeking the best operating conditions,” Journal Biomass and Bioenergy, vol. 117, no. 1, pp. 115-123, August, 2018.

[18] T, Yamane, “Statistic: An introductory analysis,” 3rd ed., New York: Harper and Row, 1973.

[19] กรมธุรกิจพลังงาน, “ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2547” กรุงเทพฯ: กรมธุรกิจพลังงาน, 2548.

[20] กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข, “รายงานข้อมูลตำบลชุมพล,” ระบบ 3 หมอ รู้จักคุณ [ออนไลน์]. https://3doctor.hss.moph.go.th. (เข้าถึงเมื่อ: 7 เมษายน 2567)

[21] กัลยา วานิชย์บัญชา, “สถิติสำหรับงานวิจัย,” กรุงเทพฯ: หจก. สามลดา, 2561.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
แบบสอบถามเพื่อการวิจัย

แบบสอบถามเพื่อการวิจัย

เรื่อง การออกแบบและพัฒนาเตาเผาขยะพลาสติกขนาดเล็กด้วยกระบวนการไพโรไลซิส

คำชี้แจง: แบบสอบถามนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการออกแบบและพัฒนาเตาเผาขยะพลาสติกขนาดเล็กด้วยกระบวนการไพโรไลซิส จึงใคร่ขอความกรุณาจากท่านโปรดประเมินความพึงพอใจต่อเตาเผาขยะพลาสติกที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นตามความเป็นจริง และขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม แบบสอบถามแบ่งออกเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ตอนที่ 2 ความพึงพอใจต่อเตาเผาขยะพลาสติก

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

คำชี้แจง: กรุณาเลือกคำตอบที่ตรงกับความเป็นจริงเกี่ยวกับตัวท่าน

1. เพศ

❍ 1) ชาย ❍ 2) หญิง

2. อายุ

❍ 1) ไม่เกิน 20 ปี ❍ 2) 21-30 ปี

❍ 3) 31-40 ปี ❍ 4) มากกว่า 40 ปี

3. อาชีพ

❍ 1) ประมง ❍ 2) ค้าขาย/ธุรกิจส่วนตัว

❍ 3) ข้าราชการ/พนักงานของรัฐ ❍ 4) อื่น ๆ .....

4. ชุมชนที่อาศัย

❍ 1) ชุมพลระวาง ❍ 2) คลองฉนวน

❍ 3) พะโคะ ❍ 4) ชุมพล

❍ 5) วัดกระชายทะเล ❍ 6) นางเหล้า

❍ 7) วัดกระ

ตอนที่ 2 ความพึงพอใจต่อเตาเผาขยะพลาสติก

คำชี้แจง: โปรดพิจารณาข้อความต่อไปนี้ แล้วเลือกคำตอบที่ตรงกับระดับความพึงพอใจของท่าน

ความพึงพอใจต่อเตาเผาขยะพลาสติก	ระดับความพึงพอใจ				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
	5	4	3	2	1
1. ความสามารถในการนำไปใช้งานได้จริง					
1.1 เตาเผาขยะพลาสติกสามารถนำไปใช้งานได้จริง					
1.2 มีความเหมาะสมกับวิถีชีวิตของคนในชุมชน					
1.3 ผู้คนในชุมชนสามารถเรียนรู้และใช้งานได้อย่างถูกต้อง					
2. ความสะดวกในการใช้งาน					
2.1 การเตรียมเชื้อเพลิงขยะพลาสติกสามารถทำได้ง่าย					
2.2 การใช้งานเตาเผามีความสะดวก ไม่ยุ่งยาก					
2.3 การเก็บดูแลรักษาหลังการใช้งานทำได้ง่าย					
3. ประสิทธิภาพในการทำงาน					
3.1 การเผาขยะพลาสติกแต่ละครั้งสามารถทำได้รวดเร็ว					
3.2 สามารถเผาขยะพลาสติกได้โดยไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม					
3.3 สามารถเผาขยะพลาสติกได้ปริมาณน้ำมันค่อนข้างมาก					
4. คุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ผลิตได้					
4.1 น้ำมันที่ได้มีความใส ไม่มีตะกอนหรือสิ่งเจือปน					
4.2 น้ำมันที่ได้ไม่แตกต่างจากน้ำมันเชื้อเพลิงทั่วไป					
4.3 น้ำมันที่ได้ไม่เป็นอันตรายต่อการนำไปใช้งาน					
5. ประโยชน์ที่ได้จากเตาเผาขยะ					
5.1 ช่วยลดการเผาขยะพลาสติกในที่โล่งได้					
5.2 ช่วยให้คนในชุมชนตระหนักถึงปัญหาการเผาขยะในที่โล่ง					
5.3 มีความคุ้มค่าเมื่อพิจารณาจากต้นทุนและผลลัพธ์					

ภาคผนวก ข
การตรวจสอบเครื่องมือในการวิจัย

ข-1 รายนามผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องมือในการวิจัย

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องมือในการวิจัย

1. นายคณาวุฒิ แตงวิเชียร	ครูประจำ สาขาวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยการอาชีพสิงหนคร (รัตน์ ประธานราษฎร์นิกร) อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา
2. นายปฏิพัฒน์ เพ็ชร์สังข์	ครูประจำ สาขาวิชาช่างไฟกำลัง วิทยาลัยการอาชีพสมเด็จเจ้าพะโคะ อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา
3. นายวิฆเนศ เพชรสุวรรณ์	อาจารย์ หลักสูตรวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ข-2 แบบประเมินผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องมือการวิจัย

แบบประเมินผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องมือการวิจัย

เรื่อง การออกแบบและพัฒนาเตาเผาขยะพลาสติกขนาดเล็กด้วยกระบวนการไพโรไลซิส

คำชี้แจง : แบบประเมินความเที่ยงตรงของเครื่องมือการวิจัย เรื่อง “การออกแบบและพัฒนาเตาเผาขยะพลาสติกขนาดเล็กด้วยกระบวนการไพโรไลซิส” เพื่อประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อข้อคำถาม มีความเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัย ซึ่งจะทำการประเมินความเที่ยงตรง โดยมีเกณฑ์การให้คะแนน ดังนี้

คะแนน +1 หมายถึง แน่ใจว่าข้อคำถามวัดได้ตรงตามวัตถุประสงค์

คะแนน 0 หมายถึง ไม่แน่ใจว่าข้อคำถามวัดได้ตรงตามวัตถุประสงค์

คะแนน -1 หมายถึง แน่ใจว่าข้อคำถามวัดได้ไม่ตรงตามวัตถุประสงค์

ตอนที่ 2 ความพึงพอใจต่อเตาเผาขยะพลาสติก

คำชี้แจง: โปรดเขียนเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องระดับความคิดเห็นของท่าน

ความพึงพอใจต่อเตาเผาขยะพลาสติก	ความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญ			ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม
	+1	0	-1	
1. ความสามารถในการนำไปใช้งานได้จริง				
1.1 เตาเผาขยะพลาสติกสามารถนำไปใช้งานได้จริง				
1.2 มีความเหมาะสมกับวิถีชีวิตของคนในชุมชน				
1.3 ผู้คนในชุมชนสามารถเรียนรู้และใช้งานได้อย่างถูกต้อง				

ความพึงพอใจต่อเตาเผาขยะพลาสติก	ความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญ			ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม
	+1	0	-1	
2. ความสะดวกในการใช้งาน				
2.1 การเตรียมเชื้อเพลิงขยะพลาสติกสามารถทำได้ง่าย				
2.2 การใช้งานเตาเผามีความสะดวก ไม่ยุ่งยาก				
2.3 การเก็บดูแลรักษาหลังการใช้งานทำได้ง่าย				
3. ประสิทธิภาพในการทำงาน				
3.1 การเผาขยะพลาสติกแต่ละครั้งสามารถทำได้รวดเร็ว				
3.2 สามารถเผาขยะพลาสติกได้โดยไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม				
3.3 สามารถเผาขยะพลาสติกได้ปริมาณน้ำมันค่อนข้างมาก				
4. คุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ผลิตได้				
4.1 น้ำมันที่ได้มีความใส ไม่มีตะกอนหรือสิ่งเจือปน				
4.2 น้ำมันที่ได้ไม่แตกต่างจากน้ำมันเชื้อเพลิงทั่วไป				
4.3 น้ำมันที่ได้ไม่เป็นอันตรายต่อการนำไปใช้งาน				
5. ประโยชน์ที่ได้จากเตาเผาขยะ				
5.1 ช่วยลดการเผาขยะพลาสติกในที่โล่งได้				
5.2 ช่วยให้คนในชุมชนตระหนักถึงปัญหาการเผาขยะในที่โล่ง				
5.3 มีความคุ้มค่าเมื่อพิจารณาจากต้นทุนและผลลัพธ์				

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่น ๆ

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ ..... ผู้ประเมิน

(.....)

ตำแหน่ง.....

ข-3 ผลการตรวจสอบความเที่ยงตรงของเครื่องมือในการวิจัย

ตารางที่ ข-3 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบสอบถามเพื่อการวิจัย

ความพึงพอใจต่อเตาเผาขยะพลาสติก	คะแนนจากผู้เชี่ยวชาญ			รวม	IOC	สรุป
	1	2	3			
1. ความสามารถในการนำไปใช้งานได้จริง						
1.1 เตาเผาขยะพลาสติกสามารถนำไปใช้งานได้จริง	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
1.2 มีความเหมาะสมกับวิถีชีวิตของคนในชุมชน	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
1.3 ผู้คนในชุมชนสามารถเรียนรู้และใช้งานได้อย่างถูกต้อง	1	1	0	2	0.67	ใช้ได้
2. ความสะดวกในการใช้งาน						
2.1 การเตรียมเชื้อเพลิงขยะพลาสติกสามารถทำได้ง่าย	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
2.2 การใช้งานเตาเผามีความสะดวก ไม่ยุ่งยาก	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
2.3 การเก็บดูแลรักษาหลังการใช้งานทำได้ง่าย	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
3. ประสิทธิภาพในการทำงาน						
3.1 การเผาขยะพลาสติกแต่ละครั้งสามารถทำได้รวดเร็ว	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
3.2 สามารถเผาขยะพลาสติกได้โดยไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
3.3 สามารถเผาขยะพลาสติกได้ปริมาณน้ำมันค่อนข้างมาก	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
4. คุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ผลิตได้						
4.1 น้ำมันที่ได้มีความใส ไม่มีตะกอนหรือสิ่งเจือปน	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
4.2 น้ำมันที่ได้ไม่แตกต่างจากน้ำมันเชื้อเพลิงทั่วไป	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
4.3 น้ำมันที่ได้ไม่เป็นอันตรายต่อการนำไปใช้งาน	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
5. ประโยชน์ที่ได้จากเตาเผาขยะ						
5.1 ช่วยลดการเผาขยะพลาสติกในที่โล่งได้	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
5.2 ช่วยให้คนในชุมชนตระหนักถึงปัญหาการเผาขยะในที่โล่ง	1	1	0	2	0.67	ใช้ได้
5.3 มีความคุ้มค่าเมื่อพิจารณาจากต้นทุนและผลลัพธ์	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้

ข-4 ผลการตรวจสอบความเชื่อมั่นของแบบสอบถามเพื่อการวิจัย

ตารางที่ ข-4 ผลการตรวจสอบค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถามเพื่อการวิจัย

item	scale mean if item deleted	scale variance if item deleted	corrected item-total correlation	Cronbach's alpha if item deleted
1.1	63.23	71.220	0.687	0.972
1.2	63.23	70.116	0.825	0.971
1.3	63.17	72.282	0.502	0.975
2.1	63.27	70.685	0.586	0.974
2.2	63.43	64.323	0.940	0.968
2.3	63.30	66.631	0.846	0.970
3.1	63.37	65.068	0.925	0.968
3.2	63.37	65.068	0.925	0.968
3.3	63.30	67.734	0.881	0.969
4.1	63.27	68.202	0.837	0.970
4.2	63.33	65.816	0.919	0.968
4.3	63.43	65.220	0.919	0.968
5.1	63.23	66.944	0.825	0.970
5.2	63.37	65.689	0.871	0.969
5.3	63.37	66.378	0.869	0.969

Cronbach’s alpha coefficient = 0.972, n of case = 30, n of items = 15

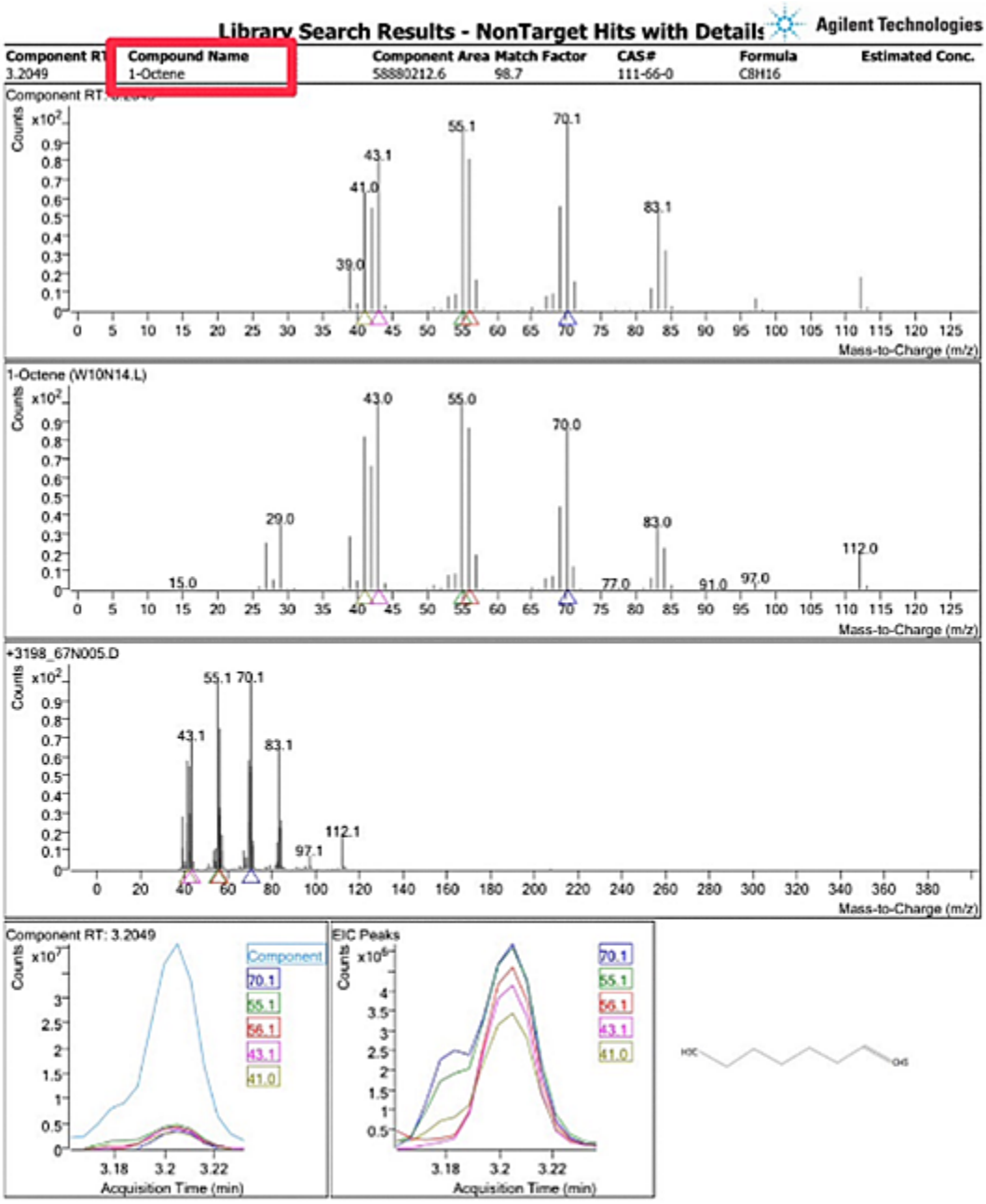
ภาคผนวก ค
ผลการตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิง

Library Search Results - NonTarget Hits with Details

Agilent Technologies

Batch Path	D:\MassHunter\GCMS\1\data\2567\3198_67		
Analysis File Name	3198_67TIC.uaf		
Analyst Name	admin	**Analysis Time**	5/20/2024 8:46:21 AM
File Name	3198_67N005.D	**Path Name**	D:\MassHunter\GCMS\1\data\2567\3198_67
Sample Name	Oil3198_67	**Type**	Sample
Acq. Method File	3198_67Split100_1	**Acq. Method Path**	D:\MassHunter\GCMS\1\methods\Method_2567\
Acq. Date-Time	5/16/2024 4:35:29 PM	**Acq. Operator**	Pimpimol
Instrument Name	GCMSD	**Dil.**	1

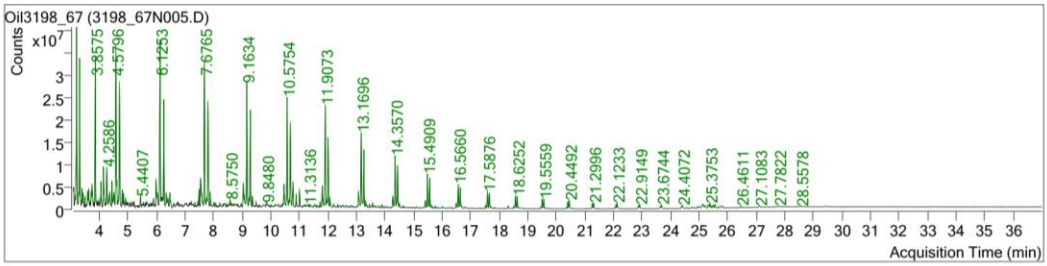
Component RT	Compound Name	CAS#	Formula	Component Area	Match Factor	Estimated Conc.
3.1514	1-Heptene, 2-methyl-	15870-10-7	C8H16	1798613.4	95.6	
3.1119	Octane	111-65-9	C8H18	45958743.6	97.6	
3.4296	Cyclopentane, 1,1,3,4-tetramethyl-, cis-	53907-60-1	C9H18	2954588.4	84.7	
3.4991	3-Octene, (Z)-	14850-22-7	C8H16	924312.8	84.3	
3.5900	cis-4-Decenal	21662-09-9	C10H18O	3072179.5	85.5	
3.6275	Cyclohexene, 3,5-dimethyl-	823-17-6	C8H14	4140087.1	95.2	
3.6810	Cyclohexane, 1,2-dimethyl-, cis-	2207-01-4	C8H16	438718.7	88.0	
3.7184	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-	1839-63-0	C9H18	3129340.0	95.3	
3.7452	Cyclohexane, ethyl-	1678-91-7	C8H16	7714338.7	87.5	
3.8093	4,4-Dimethyl-2-hexyne	2000017-98-3	C8H14	120033.6	79.4	
3.8575	2,4-Dimethyl-1-heptene	19549-87-2	C9H18	4424721.4	98.1	
3.9377	1-Propylcyclopentene	3074-61-1	C8H14	474165.6	87.0	
3.9805	Methyl ethyl cyclopentene	19780-56-4	C8H14	607892.9	90.9	
4.0554	Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-	1839-63-0	C9H18	6506857.7	97.7	
4.1410	Benzene, ethyl-	100-41-4	C8H10	13185077.1	96.2	
4.2586	Benzene, 1,2-dimethyl-	95-47-6	C8H10	12759376.5	85.9	
4.3656	Cyclohexane, 2-propenyl-	2114-42-3	C9H16	5423365.4	92.1	
4.4405	1,8-Nonadiene	4900-30-5	C9H16	5776019.2	98.6	
4.5154	1-Octen-3-one	4312-99-6	C8H14O	5240615.7	78.8	
4.5796	1-Nonene	124-11-8	C9H18	57351279.7	96.8	
4.6491	4-Nonene	2198-23-4	C9H18	689020.1	90.9	
4.7079	Nonane	111-84-2	C9H20	38215089.1	98.3	
4.8042	trans-1,2-Diethyl cyclopentane	932-40-1	C9H18	4031386.6	91.5	
4.8470	Cyclohexane, 2-propenyl-	2114-42-3	C9H16	2761294.6	92.1	
4.9219	Cyclohexanone, 2,2-dimethyl-	1193-47-1	C8H14O	1139203.2	87.3	
4.9754	BICYCLO[2.2.1]HEPTANE, 2-ETHYL-	2146-41-0	C9H16	258961.0	88.6	
5.0181	1,5-Cyclooctadiene, 3,8-dimethyl-	2000049-22-0	C10H16	144222.1	75.7	
5.0877	3-Hexen-1-ol, benzoate, (Z)-	25152-85-6	C13H16O2	242190.2	74.0	
5.1572	Cyclohexane, propyl-	1678-92-8	C9H18	468045.6	85.2	
5.2160	Cyclopentane, butyl-	2040-95-1	C9H18	334311.7	92.9	
5.4407	Cyclopentene,1-(2-methylpropyl)-	53098-47-8	C9H16	1824292.8	82.4	
5.5584	3,7-dimethyloctanal	2000088-40-7	C10H20O	234850.4	82.8	
5.6226	Dichloroacetic acid, 6-ethyl-3-octyl ester	2000425-53-8	C12H22Cl2O2	137586.0	82.5	
5.6600	Benzene, 1,3,5-trimethyl-	108-67-8	C9H12	582793.8	83.7	
5.7991	Nonane, 3-methyl-	5911-04-6	C10H22	79499.0	89.6	
5.8686	Cyclopentane, 1-hydroxymethyl-1,3-dimethyl-	2000037-54-4	C8H16O	88997.6	82.1	
5.8953	Cyclohexaneethanol	4442-79-9	C8H16O	854889.4	88.6	
5.9863	1,9-Decadiene	1647-16-1	C10H18	9000837.4	97.2	
6.0344	Octane, 3-methyl-6-methylene-	74630-07-2	C10H20	2999143.2	85.3	
6.1253	1-Decene	872-05-9	C10H20	61113356.0	98.5	
6.2056	Cyclohexene, 1-butyl-	3282-53-9	C10H18	2404051.8	77.0	
6.2590	Decane	124-18-5	C10H22	31898625.1	97.6	
6.3446	2-Octene, 2,6-dimethyl-	4057-42-5	C10H20	2788618.6	90.3	
6.3981	3-Ethyl-3-methylheptane	17302-01-1	C10H22	1902998.3	84.9	
6.4676	1-Heptanol, 2-propyl-	10042-59-8	C10H22O	4005901.0	85.8	
6.7137	Cyclohexanol, 2-methyl-5-(1-methylethenyl)-, (1.alpha.,2.beta.,5.alpha.)-	38049-26-2	C10H18O	39782.3	75.3	
6.7511	Cyclohexane, butyl-	1678-93-9	C10H20	269342.6	88.3	
7.0186	Tridecane, 6-methyl-	13287-21-3	C14H30	163427.8	86.6	
7.1523	1-Decanol, 2-ethyl-	21078-65-9	C12H26O	131250.6	76.1	
7.2165	(3E)-2,2-DIMETHYL-3-DECENE	55499-02-0	C12H24	478471.8	83.2	
7.2860	Nonane, 5-butyl-	17312-63-9	C13H28	556646.8	66.5	
7.3448	5-SEC-BUTYLNONANE	62185-54-0	C13H28	956977.4	81.9	
7.4518	Cyclooctene, 3-methyl-	13152-05-1	C9H16	328278.5	89.0	
7.4892	2,4-DIMETHYL-1-DECENE	55170-80-4	C12H24	3845459.3	88.3	
7.5481	10-Undecen-1-ol	112-43-6	C11H22O	13401814.4	94.1	
7.6765	1-Undecene	821-95-4	C11H22	50437018.5	98.7	
7.7567	10-Undecen-1-ol	112-43-6	C11H22O	1935078.0	87.7	
7.8048	Undecane	1120-21-4	C11H24	33181643.0	98.3	
7.8851	4-Undecene, (E)-	693-62-9	C11H22	3087287.2	92.9	
8.0134	Cyclopropane, 1,2-dibutyl-	41977-32-6	C11H22	767466.3	92.8	
8.0669	1-Octadecyne	629-89-0	C18H34	697620.3	84.6	
8.1150	Cyclohexane, 1-ethyl-1-methyl-	4926-90-3	C9H18	371005.9	82.3	


Library Search Results - NonTarget Hits with Details
Agilent Technologies
Component RT
Compound Name
Component Area
Match Factor
CAS#
Formula
Estimated Conc.
3.2049
1-Octene
58880212.6
98.7
111-66-0
C8H16
Component RT: 3.2049
Counts
x10^2
55.1
70.1
43.1
41.0
83.1
39.0
Mass-to-Charge (m/z)
1-Octene (W10N14.L)
43.0
55.0
70.0
29.0
83.0
112.0
15.0
77.0
91.0
97.0
+3198_67N005.D
55.1 70.1
43.1
83.1
112.1
97.1
Component RT: 3.2049
x10^7
Component
70.1
55.1
56.1
43.1
41.0
Acquisition Time (min)
EIC Peaks
x10^6
Acquisition Time (min)

Area Percent Report

Agilent Technologies

Path Name	D:\MassHunter\GCMS\1\methods\Method_2567\
Acq. Method File	3198_67Split100_1
Acq. Date-Time	5/16/2024 4:35:29 PM
Sample Name	Oil3198_67
Acq. Method File	3198_67Split100_1



Pk#	RT Min	Start Min	End Min	Peak Height	Peak Area	Peak % Max	% of Total
1	3.1514	3.1358	3.1621	1945363.5	1798613.4	2.9	0.17
2	3.2049	3.1621	3.2359	39591386.5	58880212.6	96.3	5.53
3	3.3119	3.2691	3.3565	32609542.5	45958743.6	75.2	4.31
4	3.3921	3.3759	3.4135	3462879.5	3538811.2	5.8	0.33
5	3.4296	3.4135	3.4521	2473697.5	2954588.4	4.8	0.28
6	3.4991	3.4875	3.5092	1345209.5	924312.8	1.5	0.09
7	3.5900	3.5769	3.6114	2614509.5	3072179.5	5.0	0.29
8	3.6275	3.6114	3.6511	3321457.5	4140087.1	6.8	0.39
9	3.6810	3.6677	3.6916	621893.5	438718.7	0.7	0.04
10	3.7184	3.7021	3.7291	2863350.5	3129340.0	5.1	0.29
11	3.7452	3.7291	3.7815	4478106.5	7714338.7	12.6	0.72
12	3.8093	3.8019	3.8158	276645.5	120033.6	0.2	0.01
13	3.8575	3.8350	3.9122	33185246.5	44424721.4	72.7	4.17
14	3.9377	3.9287	3.9539	602615.5	474165.6	0.8	0.04
15	3.9805	3.9698	3.9950	878999.5	607892.9	1.0	0.06
16	4.0554	4.0196	4.0842	4999950.5	6506857.7	10.6	0.61
17	4.1410	4.1262	4.1955	8271865.5	13185077.1	21.6	1.24
18	4.2586	4.2372	4.3001	8292912.5	12759376.5	20.9	1.20
19	4.3656	4.3114	4.3867	2775574.5	5423365.4	8.9	0.51
20	4.4405	4.4283	4.4726	5108057.5	5776019.2	9.5	0.54
21	4.5154	4.4726	4.5403	2687597.5	5240615.7	8.6	0.49
22	4.5796	4.5512	4.6367	35568922.5	57351279.7	93.8	5.38
23	4.6491	4.6388	4.6651	724543.5	689020.1	1.1	0.06
24	4.7079	4.6651	4.7372	27354722.5	38215089.1	62.5	3.59
25	4.8042	4.7850	4.8255	3084173.5	4031386.6	6.6	0.38
26	4.8470	4.8319	4.8826	2363002.5	2761294.6	4.5	0.26
27	4.9219	4.9078	4.9376	1276432.5	1139203.2	1.9	0.11
28	4.9754	4.9671	4.9880	367690.5	258961.0	0.4	0.02
29	5.0181	5.0068	5.0260	209849.5	144222.1	0.2	0.01
30	5.0877	5.0783	5.0989	366458.5	242190.2	0.4	0.02
31	5.1572	5.1370	5.1695	430976.5	468045.6	0.8	0.04
32	5.2160	5.2075	5.2286	483050.5	334311.7	0.5	0.03
33	5.4407	5.4253	5.4594	1651025.5	1824292.8	3.0	0.17
34	5.5584	5.5466	5.5667	349583.5	234850.4	0.4	0.02
35	5.6226	5.6114	5.6291	208766.5	137586.0	0.2	0.01
36	5.6600	5.6493	5.6840	550818.5	582793.8	1.0	0.05
37	5.7991	5.7933	5.8057	201714.5	79499.0	0.1	0.01
38	5.8686	5.8604	5.8787	183171.5	88997.6	0.1	0.01
39	5.8953	5.8794	5.9082	984086.5	854889.4	1.4	0.08
40	5.9863	5.9714	6.0237	5575215.5	9000837.4	14.7	0.84
41	6.0344	6.0237	6.0566	2337282.5	2999143.2	4.9	0.28
42	6.1253	6.0808	6.1574	36792278.5	61113356.0	100.0	5.74
43	6.1735	6.1574	6.1895	1457460.5	2207119.5	3.6	0.21
44	6.2056	6.1895	6.2270	1338201.5	2404051.8	3.9	0.23
45	6.2590	6.2270	6.2847	23312376.5	31898625.1	52.2	2.99
46	6.3446	6.3255	6.3660	2202723.5	2788618.6	4.6	0.26
47	6.3981	6.3660	6.4151	1294021.5	1902998.3	3.1	0.18
48	6.4676	6.4489	6.5100	2540876.5	4005901.0	6.6	0.38
49	6.6121	6.6073	6.6188	106830.5	26947.6	0.0	0.00

Area Percent Report

Agilent Technologies

Pk#	RT Min	Start Min	End Min	Peak Height	Peak Area	Peak % Max	% of Total
50	6.7137	6.7083	6.7242	177385.5	39782.3	0.1	0.00
51	6.7511	6.7398	6.7612	411482.5	269342.6	0.4	0.03
52	7.0186	7.0033	7.0332	182411.0	163427.8	0.3	0.02
53	7.0614	7.0535	7.0646	69834.9	22123.5	0.0	0.00
54	7.1523	7.1417	7.1592	256044.7	131250.6	0.2	0.01
55	7.2165	7.2022	7.2307	530257.7	478471.8	0.8	0.04
56	7.2860	7.2593	7.3020	371842.7	556646.8	0.9	0.05
57	7.3448	7.3288	7.3662	758741.6	956977.4	1.6	0.09
58	7.4518	7.4432	7.4642	493253.8	328278.5	0.5	0.03
59	7.4892	7.4706	7.5089	3401454.8	3845459.3	6.3	0.36
60	7.5481	7.5257	7.6279	5920836.6	13401814.4	21.9	1.26
61	7.6765	7.6456	7.7229	32364482.7	50437018.5	82.5	4.73
62	7.7567	7.7308	7.7727	1323497.2	1935078.0	3.2	0.18
63	7.8048	7.7727	7.8366	23195556.8	33181643.0	54.3	3.11
64	7.8851	7.8673	7.9053	2636758.7	3087287.2	5.1	0.29
65	8.0134	8.0027	8.0348	702977.8	767466.3	1.3	0.07
66	8.0669	8.0509	8.0830	645408.0	697620.3	1.1	0.07
67	8.1150	8.0990	8.1311	356536.9	371005.9	0.6	0.03
68	8.2220	8.2060	8.2434	568175.7	660298.1	1.1	0.06
69	8.3611	8.3535	8.3771	177341.1	153173.2	0.3	0.01
70	8.3932	8.3771	8.4145	323359.4	440867.7	0.7	0.04
71	8.4627	8.4467	8.4788	543508.0	603310.5	1.0	0.06
72	8.5429	8.5314	8.5491	147284.0	98308.7	0.2	0.01
73	8.5750	8.5595	8.5951	1227688.7	1341581.8	2.2	0.13
74	8.6232	8.6070	8.6410	355532.9	455947.3	0.7	0.04
75	8.6927	8.6816	8.7032	181243.6	109046.2	0.2	0.01
76	8.7301	8.7200	8.7462	221453.5	161193.7	0.3	0.02
77	8.7622	8.7462	8.7936	152350.2	275124.2	0.5	0.03
78	8.8104	8.7969	8.8210	218038.4	141604.9	0.2	0.01
79	8.8532	8.8456	8.8595	171440.4	73584.1	0.1	0.01
80	8.9655	8.9387	8.9869	688602.9	1056646.6	1.7	0.10
81	9.0404	9.0208	9.1153	4967186.9	10239385.1	16.8	0.96
82	9.1634	9.1206	9.2051	27328812.4	43112343.6	70.5	4.05
83	9.2383	9.2183	9.2597	1698534.7	2678060.5	4.4	0.25
84	9.2864	9.2597	9.3188	21359774.8	30269919.6	49.5	2.84
85	9.3613	9.3425	9.3864	2012152.1	2676563.8	4.4	0.25
86	9.4897	9.4736	9.5111	978923.7	1117257.6	1.8	0.10
87	9.5699	9.5592	9.5859	214011.0	211740.3	0.3	0.02
88	9.6180	9.6077	9.6238	138547.3	68028.1	0.1	0.01
89	9.7464	9.7304	9.7678	145087.5	171190.3	0.3	0.02
90	9.7838	9.7678	9.8046	117977.7	169755.5	0.3	0.02
91	9.8480	9.8334	9.8694	690991.5	860150.2	1.4	0.08
92	9.8855	9.8694	9.9195	417667.1	666888.7	1.1	0.06
93	9.9603	9.9428	9.9709	201610.2	179540.0	0.3	0.02
94	10.0138	9.9924	10.0352	471489.6	692976.1	1.1	0.07
95	10.1636	10.1448	10.2492	446036.7	1327972.9	2.2	0.12
96	10.2759	10.2492	10.2914	421764.9	523862.0	0.9	0.05
97	10.3829	10.3676	10.3991	423122.3	450715.3	0.7	0.04
98	10.4310	10.4123	10.4417	574828.4	695369.2	1.1	0.07
99	10.4631	10.4417	10.5166	4933707.4	9573388.8	15.7	0.90
100	10.5754	10.5273	10.6182	24396960.5	38595137.9	63.2	3.62
101	10.6450	10.6182	10.6610	1437527.2	2414786.0	4.0	0.23
102	10.6878	10.6610	10.7359	18747081.6	27485216.1	45.0	2.58
103	10.7787	10.7359	10.8044	5441443.0	9440512.6	15.4	0.89
104	10.8910	10.8688	10.9228	2419483.1	3452500.4	5.6	0.32
105	11.0087	10.9831	11.0298	3629074.0	4690920.6	7.7	0.44
106	11.0515	11.0400	11.0735	87329.3	103376.1	0.2	0.01
107	11.1157	11.1050	11.1317	153575.8	134821.7	0.2	0.01
108	11.1638	11.1516	11.1815	272407.8	280506.6	0.5	0.03
109	11.2119	11.1918	11.2294	304747.5	386824.0	0.6	0.04
110	11.2761	11.2433	11.2868	173823.0	293041.3	0.5	0.03
111	11.3136	11.2868	11.3338	433693.2	678269.3	1.1	0.06
112	11.3724	11.3578	11.3922	405215.6	421452.6	0.7	0.04
113	11.5222	11.5115	11.5382	221629.0	216806.3	0.4	0.02
114	11.5596	11.5382	11.5795	393069.1	536031.1	0.9	0.05
115	11.6238	11.6077	11.6452	380617.0	459276.2	0.8	0.04
116	11.6719	11.6612	11.6880	187610.7	179223.6	0.3	0.02
117	11.7254	11.7100	11.7469	966861.7	1126193.9	1.8	0.11

Generated at 8:55 AM on 5/20/2024

Area Percent Report

Agilent Technologies

Pk#	RT Min	Start Min	End Min	Peak Height	Peak Area	Peak % Max	% of Total
118	11.8057	11.7807	11.8645	4602441.0	8431219.5	13.8	0.79
119	11.9073	11.8698	11.9447	22670305.0	34731644.9	56.8	3.26
120	11.9661	11.9447	11.9822	1319094.0	2120400.9	3.5	0.20
121	12.0089	11.9822	12.0458	15426289.6	22278330.8	36.5	2.09
122	12.0731	12.0517	12.1232	1702193.7	2512453.3	4.1	0.24
123	12.2068	12.1910	12.2335	581932.8	718552.3	1.2	0.07
124	12.2442	12.2335	12.2575	139069.2	125062.2	0.2	0.01
125	12.2977	12.2870	12.3084	54530.5	39467.4	0.1	0.00
126	12.3459	12.3298	12.3673	551119.2	676370.4	1.1	0.06
127	12.4261	12.3878	12.4515	231502.3	546332.3	0.9	0.05
128	12.4956	12.4853	12.5063	113996.6	65977.6	0.1	0.01
129	12.5331	12.5117	12.5496	173799.5	251886.9	0.4	0.02
130	12.6294	12.5851	12.6553	323492.8	663455.0	1.1	0.06
131	12.7256	12.7122	12.7469	116143.3	148774.7	0.2	0.01
132	12.8005	12.7934	12.8195	170444.1	147987.4	0.2	0.01
133	12.8326	12.8229	12.8407	72026.1	36752.7	0.1	0.00
134	12.8968	12.8807	12.9342	268603.9	484296.7	0.8	0.05
135	13.0305	12.9896	13.0461	146450.2	254096.7	0.4	0.02
136	13.0733	13.0539	13.1321	3069158.0	5500686.9	9.0	0.52
137	13.1696	13.1321	13.2177	16501029.0	26090973.8	42.7	2.45
138	13.2605	13.2177	13.2917	12640652.9	18839237.6	30.8	1.77
139	13.3193	13.3018	13.3461	1073741.0	1393132.9	2.3	0.13
140	13.3621	13.3461	13.3773	260388.6	246673.3	0.4	0.02
141	13.4531	13.4328	13.4768	609126.3	798142.0	1.3	0.07
142	13.5226	13.5048	13.5440	238149.6	323572.5	0.5	0.03
143	13.5654	13.5440	13.5864	826713.7	1050534.4	1.7	0.10
144	13.6189	13.5995	13.6495	270261.1	480790.0	0.8	0.05
145	13.6830	13.6651	13.7062	253111.9	311835.1	0.5	0.03
146	13.7579	13.7253	13.7699	162659.9	184868.2	0.3	0.02
147	13.8061	13.7909	13.8299	221933.6	262858.6	0.4	0.02
148	13.8916	13.8708	13.9135	598973.2	817680.8	1.3	0.08
149	13.9558	13.9398	13.9826	187860.3	272623.2	0.4	0.03
150	14.0147	14.0053	14.0307	135863.9	126931.5	0.2	0.01
151	14.0468	14.0307	14.0593	115484.8	122343.7	0.2	0.01
152	14.2019	14.1805	14.2179	145847.9	187021.0	0.3	0.02
153	14.2768	14.2470	14.3088	2449049.7	4167587.5	6.8	0.39
154	14.3570	14.3195	14.3944	11326708.0	16386093.7	26.8	1.54
155	14.4426	14.3944	14.4800	9258328.8	14806701.2	24.2	1.39
156	14.5014	14.4800	14.5388	919488.0	1430465.1	2.3	0.13
157	14.5549	14.5388	14.5692	103525.8	97400.3	0.2	0.01
158	14.6351	14.6215	14.6565	315464.8	366650.3	0.6	0.03
159	14.6619	14.6565	14.6775	121546.1	102534.7	0.2	0.01
160	14.7421	14.7088	14.7556	81071.9	143404.5	0.2	0.01
161	14.9560	14.9453	14.9721	79631.2	74570.9	0.1	0.01
162	15.0042	14.9881	15.0523	114406.4	279373.5	0.5	0.03
163	15.1005	15.0737	15.1218	242185.2	408996.0	0.7	0.04
164	15.1860	15.1753	15.2021	59810.1	62637.8	0.1	0.01
165	15.2449	15.2342	15.2663	79245.3	80248.7	0.1	0.01
166	15.4107	15.3840	15.4588	1619083.4	2697138.3	4.4	0.25
167	15.4909	15.4588	15.5283	7573433.3	11543061.9	18.9	1.08
168	15.5658	15.5283	15.6032	6609040.6	9894107.7	16.2	0.93
169	15.6193	15.6032	15.6465	565589.6	804634.3	1.3	0.08
170	15.6781	15.6621	15.6995	186599.7	244031.1	0.4	0.02
171	15.7583	15.7369	15.7797	436914.5	616950.6	1.0	0.06
172	15.8172	15.8066	15.8358	88265.6	77576.7	0.1	0.01
173	15.8867	15.8653	15.9081	114940.8	174426.2	0.3	0.02
174	15.9669	15.9349	15.9830	93730.2	169175.2	0.3	0.02
175	16.0151	15.9986	16.0365	258360.7	288320.6	0.5	0.03
176	16.2130	16.1595	16.2451	93953.7	246358.6	0.4	0.02
177	16.2772	16.2451	16.2932	88058.0	174768.0	0.3	0.02
178	16.3200	16.2932	16.3474	171158.6	323313.6	0.5	0.03
179	16.4965	16.4269	16.5339	1159030.2	2343572.0	3.8	0.22
180	16.5660	16.5339	16.6034	5437628.9	8415823.0	13.8	0.79
181	16.6355	16.6034	16.6676	4643133.5	7448327.6	12.2	0.70
182	16.6837	16.6676	16.7372	487284.1	962779.1	1.6	0.09
183	16.7906	16.7372	16.8067	212002.0	446976.5	0.7	0.04
184	16.8227	16.8067	16.8972	235708.4	611975.5	1.0	0.06
185	16.9992	16.9725	17.0153	57983.1	81780.0	0.1	0.01

Area Percent Report

Agilent Technologies

Pk#	RT Min	Start Min	End Min	Peak Height	Peak Area	Peak % Max	% of Total
186	17.0688	17.0426	17.0955	98688.6	170938.2	0.3	0.02
187	17.3148	17.2726	17.3365	76942.0	164119.0	0.3	0.02
188	17.4806	17.4558	17.4967	59423.9	91266.5	0.1	0.01
189	17.5288	17.4967	17.5609	769693.0	1284720.2	2.1	0.12
190	17.5876	17.5609	17.6250	3703168.4	5673503.1	9.3	0.53
191	17.6518	17.6250	17.6839	3446147.7	5306619.8	8.7	0.50
192	17.7053	17.6839	17.7534	481832.1	954715.7	1.6	0.09
193	17.7802	17.7534	17.8069	101969.2	166779.5	0.3	0.02
194	17.8390	17.8122	17.9406	214659.1	487437.4	0.8	0.05
195	18.0850	18.0636	18.1225	77874.3	157356.9	0.3	0.01
196	18.3097	18.2771	18.4049	580121.5	1209510.5	2.0	0.11
197	18.4648	18.4248	18.4808	60878.6	110296.5	0.2	0.01
198	18.5129	18.4808	18.5397	544185.0	935346.6	1.5	0.09
199	18.5664	18.5397	18.5985	2606674.6	4086576.2	6.7	0.38
200	18.6252	18.5985	18.6573	2830385.4	4545273.4	7.4	0.43
201	18.6734	18.6573	18.7697	263111.3	730043.7	1.2	0.07
202	18.8071	18.7697	18.8502	126000.5	312307.2	0.5	0.03
203	19.4489	19.4222	19.4757	393120.0	662118.3	1.1	0.06
204	19.5024	19.4757	19.5292	1987895.0	3050981.3	5.0	0.29
205	19.5559	19.5292	19.5880	2071095.9	3102903.5	5.1	0.29
206	19.5987	19.5882	19.6142	105701.0	85176.9	0.1	0.01
207	19.7431	19.7271	19.7645	83725.4	100043.5	0.2	0.01
208	20.2031	20.1828	20.2245	66953.7	88080.1	0.1	0.01
209	20.3529	20.3101	20.3689	287618.5	462487.0	0.8	0.04
210	20.4010	20.3689	20.4224	1506817.8	2379030.2	3.9	0.22
211	20.4492	20.4224	20.5187	1903593.6	3409375.4	5.6	0.32
212	20.5722	20.5401	20.6043	110132.2	271862.8	0.4	0.03
213	20.6257	20.6043	20.6513	102664.4	162134.3	0.3	0.02
214	21.0215	20.9947	21.1156	66832.7	155320.3	0.3	0.01
215	21.2140	21.1819	21.2301	218424.3	321013.5	0.5	0.03
216	21.2568	21.2301	21.2782	1130970.6	1776386.9	2.9	0.17
217	21.2996	21.2782	21.3745	1384288.8	2610915.0	4.3	0.25
218	21.3959	21.3745	21.4226	71084.1	142087.1	0.2	0.01
219	21.4387	21.4226	21.4654	80558.4	127835.5	0.2	0.01
220	21.4815	21.4654	21.5076	76413.6	108515.7	0.2	0.01
221	22.0431	21.9949	22.0591	172128.8	305625.1	0.5	0.03
222	22.0805	22.0591	22.1019	892190.9	1398199.0	2.3	0.13
223	22.1233	22.1019	22.2142	1298603.5	2264712.5	3.7	0.21
224	22.8775	22.8139	22.8935	683424.6	1236135.0	2.0	0.12
225	22.9149	22.8935	22.9898	988377.1	1908608.1	3.1	0.18
226	23.0861	23.0165	23.1128	59159.9	139442.5	0.2	0.01
227	23.3161	23.2840	23.3453	61475.2	108687.4	0.2	0.01
228	23.6423	23.5837	23.6530	543116.9	882784.9	1.4	0.08
229	23.6744	23.6530	23.7761	862205.9	1761858.2	2.9	0.17
230	24.4072	24.3111	24.5088	709574.4	2133723.4	3.5	0.20
231	24.5623	24.5088	24.6367	90751.7	359109.0	0.6	0.03
232	24.7816	24.7042	24.8244	244403.6	1028807.8	1.7	0.10
233	24.8511	24.8244	24.8779	71985.2	158958.1	0.3	0.01
234	24.9314	24.8832	24.9581	306362.2	646286.3	1.1	0.06
235	24.9956	24.9581	25.0490	398402.0	1247815.3	2.0	0.12
236	25.1186	25.0490	25.1828	899868.6	3762224.9	6.2	0.35
237	25.2095	25.1828	25.2790	562170.3	1543333.4	2.5	0.14
238	25.3165	25.2790	25.3486	774225.6	1686684.7	2.8	0.16
239	25.3753	25.3486	25.4128	1092025.6	2099259.7	3.4	0.20
240	25.4395	25.4128	25.4716	489807.3	947145.5	1.5	0.09
241	25.4930	25.4716	25.5304	733932.1	1372490.9	2.2	0.13
242	25.5572	25.5304	25.6232	749951.8	1412915.2	2.3	0.13
243	25.6802	25.6479	25.7230	311468.7	663573.0	1.1	0.06
244	25.7979	25.7230	25.8460	498968.8	1742784.5	2.9	0.16
245	25.8620	25.8460	25.8995	125102.0	235637.1	0.4	0.02
246	26.4611	26.4023	26.5413	411896.7	1160393.2	1.9	0.11
247	27.1083	27.0548	27.1832	311887.9	879130.0	1.4	0.08
248	27.7822	27.7234	27.8880	224447.9	736029.3	1.2	0.07
249	28.5578	28.4936	28.6434	138952.1	527101.3	0.9	0.05
250	29.4403	29.3815	29.5313	83491.5	368428.7	0.6	0.03
251	30.4887	30.4352	30.5743	57489.2	247978.1	0.4	0.02

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายอรุณ แก้วชูเสน

รหัสประจำตัวนักศึกษา 6510121011

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีอุตสาหกรรม)	สถาบันราชภัฏภูเก็ต	2542

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

ครูประจำ สาขาวิชาช่างเชื่อมโลหะ
วิทยาลัยการอาชีพสมเด็จเจ้าพะโคะ
อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา