

การศึกษาสมรรถนะหัวเผาวัสดุพูนสำหรับเชื้อเพลิงน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว



ณัฐพล คำมา

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

มีนาคม 2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

การศึกษาศมรรถนะหัวเผาวัสดุพอรุนสำหรับเชื้อเพลิงน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว



วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

มีนาคม 2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

STUDY OF THE PERFORMANCE OF POROUS BURNERS FOR USED LUBRICATING OIL



NATTAPON KHAMMA

A Thesis Submitted to University of Phayao
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Master of Engineering Degree in Mechanical Engineering
March 2024

Copyright 2024 by University of Phayao

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาสมรรถนะหัวเผาวัสดุพูนสำหรับเชื้อเพลิงน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว

ของ ณัฐพล คำมา

ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ของมหาวิทยาลัยพะเยา

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชาย มณีวรรณ)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ดร. รัชนิวรรณ อังกรบุตร)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุทธิพันธ์ ศรีรัตยาวงศ์)

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพงศ์ ดำรงวิริยะนุภาพ)



เรื่อง:	การศึกษาสมรรถนะหัวเผาวัสดุพอรุนสำหรับเชื้อเพลิงน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว
ผู้วิจัย:	ณัฐพล คำมา, วิทยานิพนธ์: วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2566
อาจารย์ที่ปรึกษา:	ดร. รัชนีวรรณ อังกูรบุตร อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุทธิพันธ์ ศรีรัตยาวงศ์
คำสำคัญ:	น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว, หัวเผา, วัสดุพอรุน

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวัสดุพอรุนที่มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผา โดยใช้ น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิง ในการศึกษาจะทำการดัดแปลงหัวเผาจากงานวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งประกอบด้วยหัวเผาที่บรรจุวัสดุพอรุน ชุดจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง และพัดลมจ่ายอากาศ และทำการหาปัจจัยที่ทำให้หัวเผาได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ดีที่สุด โดยทำการทดลองปรับอัตราการจ่ายอากาศตั้งแต่ $4 \text{ m}^3/\text{hr}$, $4.5 \text{ m}^3/\text{hr}$, $5 \text{ m}^3/\text{hr}$ และ $5.5 \text{ m}^3/\text{hr}$ ทำการหาวัสดุพอรุนที่เหมาะสมสำหรับหัวเผา โดยการเปรียบเทียบชนิดของวัสดุพอรุนระหว่างลูกเหล็กกลมกับหินตุ้ปลา และเปรียบเทียบกรณีการปรับขนาดของวัสดุพอรุนลูกเหล็กกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4, 6, 8 และ 10 มิลลิเมตร ในอัตราการจ่ายอากาศที่เหมาะสม โดยควบคุมอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.09 g/s

จากผลการทดลองพบว่าอัตราการป้อนอากาศที่เหมาะสมที่ทำให้หัวเผาได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูง คือ $5 \text{ m}^3/\text{hr}$ หรือคิดเป็นอัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงเท่ากับ 18.5 ที่วัสดุพอรุนมีความพอรุนเท่ากับ 0.256 หรือลูกเหล็กกลม 8 มิลลิเมตร เป็นหัวเผาวัสดุพอรุนที่ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงที่สุด ได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ 23.78 %

Title: STUDY OF THE PERFORMANCE OF POROUS BURNERS FOR USED LUBRICATING OIL

Author: Nattapon Khamma, Thesis: M.Eng. (Mechanical Engineering), University of Phayao, 2023

Advisor: Dr. Rachaneewan Aungkurabrut Co–advisor Assistant Professor DrSutthinan Srirattayawong

Keywords: Burners, porous materials, used lubricants

ABSTRACT

The objective of this research is to study the effect of porous materials on the thermal efficiency of burners. Used lubricating oil is used as fuel. The research will investigate burners based on past research together with Porous material Burner, Fuel supply set and air supply fan. Find the factors that give the burner the best thermal efficiency. By experimenting with adjusting the air supply rate to $4 \text{ m}^3 / \text{hr}$, $4.5 \text{ m}^3 / \text{hr}$, $5 \text{ m}^3 / \text{hr}$ and $5.5 \text{ m}^3 / \text{hr}$. Find the right porous material for the burner. Compare the types of porous materials between steel balls and aquarium rocks and compare the case of adjusting the size of porous round steel balls with diameters of 4, 6, 8, and 10 millimeters at the appropriate air supply rate and control the fuel delivery rate equal to 0.09 g/s .

The experimental results found that the optimum air feed rate that allows the burner to have high thermal efficiency is $5 \text{ m}^3 / \text{hr}$, or calculated as a ratio between air and fuel equal to 18.5 where the porous material has a porosity equal to 0.256 or a round steel ball of 8 millimeters. It is a porous material burner that provides the highest thermal efficiency. which has a thermal efficiency equal to 23.78 %

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยพะเยา ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

ดร.รัชนีวรรณ อังกรบุตร และ ผศ.ดร.สุทธินันท์ ศรีรัตยาวงศ์ ที่กรุณาช่วยให้คำแนะนำ
ปรึกษาชี้แนะแนวทางในการทำงานวิจัยให้ประสบผลสำเร็จ นอกจากนี้ขอขอบคุณคณะอาจารย์
สาขาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดความรู้ในการเรียนรวมถึงประสบการณ์ต่าง ๆ
ขอขอบคุณครูช่างปฏิบัติการสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านที่คอยช่วยเหลือ จัดเตรียม
อุปกรณ์ รวมถึงสถานที่สำหรับการทดลองงานวิจัยให้เป็นไปด้วยความสะดวกเรียบร้อย

สุดท้ายขอขอบพระคุณบิดามารดาและทุกคนในครอบครัวที่คอยช่วยเหลือ เป็นกำลังใจ
และสนับสนุนให้เฝ้ารู้เฝ้าเรียนจนประสบผลสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

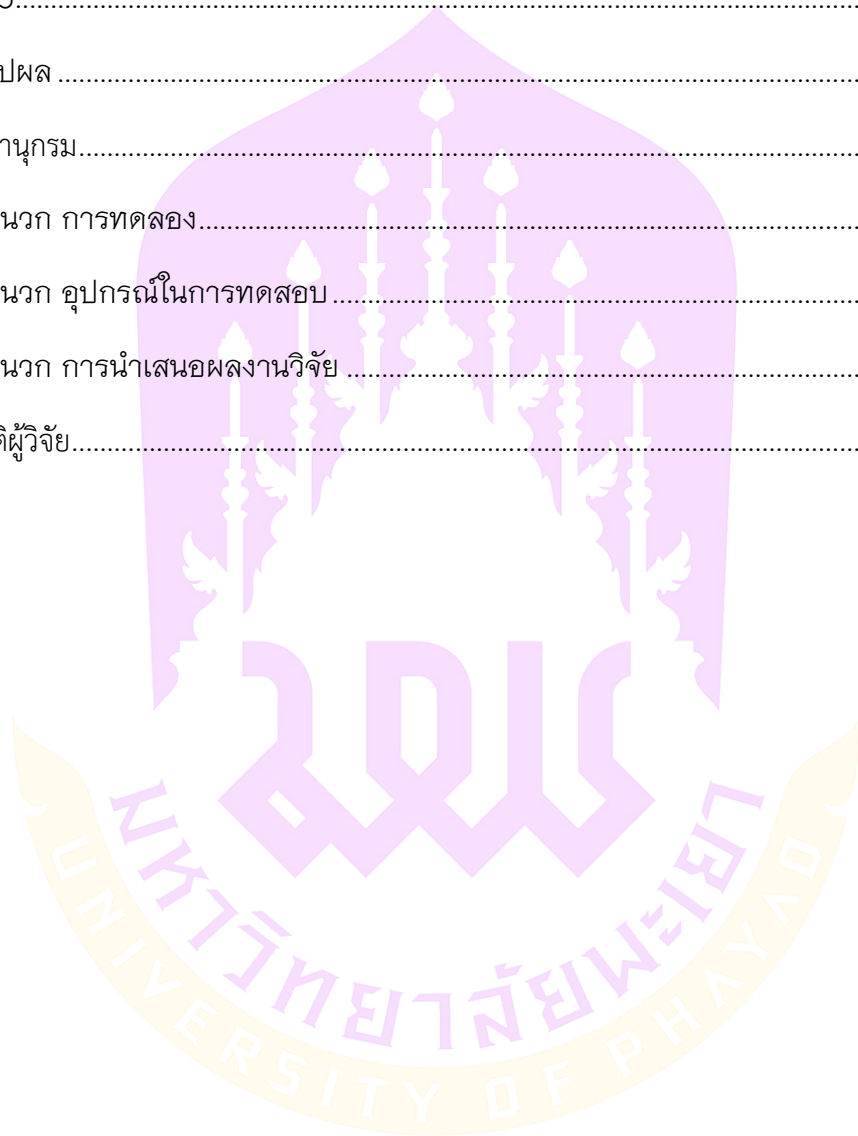
ณัฐพล คำมา



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1	1
บทนำ.....	1
ที่มาและความสำคัญ.....	1
วัตถุประสงค์	4
ขอบเขต	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2.....	5
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
หลักการและทฤษฎี	5
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3.....	28
วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	28
กรอบแนวคิด.....	28
อุปกรณ์การทดลอง.....	29
วิธีการทดลอง	36

แผนการดำเนินงานวิจัย.....	38
บทที่ 4.....	41
ผลการทดลอง	41
บทที่ 5.....	52
สรุปผล	52
บรรณานุกรม.....	54
ภาคผนวก การทดลอง.....	57
ภาคผนวก อุปกรณ์ในการทดสอบ	78
ภาคผนวก การนำเสนอผลงานวิจัย	81
ประวัติผู้วิจัย.....	89



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 คุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว	6
ตารางที่ 2 การจัดแบ่งประเภทของวัสดุพอรุนตามองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติต่าง ๆ	8
ตารางที่ 3 คุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุพอรุนที่ใช้ทดลอง	9
ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน กำลังความร้อน เมื่อมีการปรับอัตราการป้อนอากาศ.....	43
ตารางที่ 5 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน กำลังความร้อน เมื่อมีการเปลี่ยนชนิดวัสดุพอรุนภายในหัวเผา.....	46
ตารางที่ 6 ประสิทธิภาพ กำลังความร้อน ของหัวเผาวัสดุพอรุนวัสดุพอรุนขนาดต่าง	47
ตารางที่ 7 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน กำลังความร้อน เมื่อมีผสมเชื้อเพลิง.....	49
ตารางที่ 8 ราคาเชื้อเพลิง.....	49
ตารางที่ 9 ประสิทธิภาพ กำลังความร้อน น้ำหนักเชื้อเพลิงและขี้เถ้าหลังการเผาไหม้ เมื่อมีการผสมเขื่อน้ำมันดีเซลในปริมาตรต่าง ๆ ที่หัวเผาวัสดุพอรุน.....	51



สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 ลักษณะและปัญหาของน้ำมันเครื่องในปัจจุบัน	2
รูปที่ 2 ผลิตผลิตรถยนต์จากการแปรรูปน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้ว	3
รูปที่ 3 หัวเผาวัสดุพอรุน	4
รูปที่ 4 วัสดุพอรุนตามธรรมชาติ ก) ไม้ ข) เนื้อเยื่อปอดมนุษย์ ค) หินทราย ง) รั้งผึ้ง	7
รูปที่ 5 กราฟแสดงหลักการเพิ่มเอนทาลปีในระบบการเผาไหม้ของ Weinberg	10
รูปที่ 6 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิกการเผาไหม้ชนิดที่มีและไม่มีคาร์บอนมอนอกไซด์	11
รูปที่ 7 หลักการทำงานของวัสดุพอรุนที่มีหน้าที่เป็นตัวแปรรังสี	12
รูปที่ 8 หลักการทำงานของวัสดุพอรุนที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับรังสี	13
รูปที่ 9 การหมุนวนความร้อนจากไอเสียไปใช้ในการอุ่นไอดีโดยหัวเผาวัสดุพอรุน	14
รูปที่ 10 แบบและรายละเอียดหัวเผาพ่นไฟ ของ ลำเจิง จักรใจ และคณะ	17
รูปที่ 11 อิทธิพลของ มุม θ ต่อ T	18
รูปที่ 12 อิทธิพลของ มุม θ ต่อรูปแบบการไหลซึมของน้ำมันภายใน PB และรูปร่างเปลวไฟ	19
รูปที่ 13 แบบและรายละเอียดของหัวเผาพ่นไฟที่ใช้ในการทดลอง ของ พิพัฒน์ และคณะ	20
รูปที่ 14 ลักษณะของเปลวไฟของหัวพ่นไฟเซรามิกซ์ กรณี $\epsilon = 0.15$	21
รูปที่ 15 ลักษณะของเปลวไฟของหัวพ่นไฟเซรามิกซ์ กรณี $\epsilon = 0.22$	21
รูปที่ 16 โครงสร้างทางอุณหภูมิตามแนวแกนภายในหัวเผาพ่นไฟ	22
รูปที่ 17 แบบและรายละเอียดของหัวเผาพ่นไฟวัสดุพอรุน ของ บัณฑิต และคณะ	23
รูปที่ 18 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในหัวพ่นไฟเมื่อมีการปรับอัตราการจ่ายอากาศ	24
รูปที่ 19 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในหัวพ่นไฟเมื่อมีการปรับอัตราการจ่ายอากาศ	24
รูปที่ 20 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในหัวพ่นไฟเมื่อมีการปรับอัตราการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง	25
รูปที่ 21 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในหัวพ่นไฟเมื่อมีการปรับอัตราการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง	25

รูปที่ 22 อุปกรณ์การทดลอง.....	26
รูปที่ 23 อิทธิพลของ ϵ_{PE} ต่ออุณหภูมิภายในหัวพันไฟ.....	27
รูปที่ 24 กรอบแนวคิดงานวิจัย.....	29
รูปที่ 25 ลักษณะหัวเผาวัสดุพอรุนที่ใช้ในการทดลอง	30
รูปที่ 26 รายละเอียดของหัวเผาที่ทำการออกแบบ	31
รูปที่ 27 ลักษณะของลูกเหล็กกลม และหินตุ้ปลา	31
รูปที่ 28 ลักษณะวัสดุพอรุนชนิดลูกเหล็กกลมขนาดต่าง ๆ	32
รูปที่ 29 ระบบปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง	32
รูปที่ 30 Thermocouple Type K	33
รูปที่ 31 เครื่องอัดอากาศ.....	33
รูปที่ 32 เครื่องวัดความเร็วลม testo 405i	34
รูปที่ 33 ลักษณะการติดตั้งเครื่องวัดความเร็วลมกับหัวเผาและเครื่องอัดอากาศ.....	34
รูปที่ 34 ตำแหน่งการวัดความเร็วลม	35
รูปที่ 35 Graphtec midi logger GL840.....	35
รูปที่ 36 แผนผังการดำเนินการวิจัย.....	40
รูปที่ 37 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในหัวเผา เมื่อมีการปรับอัตราการป้อนอากาศภายในหัวเผา วัสดุพอรุนขนาด 4 mm	42
รูปที่ 38 ลักษณะของเปลวไฟภายในหัวเผา ในแต่ละอัตราการป้อนอากาศ	43
รูปที่ 39 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในหัวเผาวัสดุพอรุน ระหว่างลูกเหล็กกลม	44
รูปที่ 40 ลักษณะเปลวไฟของหัวเผาวัสดุพอรุน.....	45
รูปที่ 41 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในหัวเผา	46
รูปที่ 42 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในหัวเผาวัสดุพอรุน เมื่อมีการนำน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว	48
รูปที่ 43 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในหัวเผาวัสดุพอรุน เมื่อมีการปรับอัตราส่วนขอน้ำมัน ...	50

บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันมีอัตราการใช้รถยนต์เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้มีปริมาณของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วที่ถูกเปลี่ยนถ่ายออกมาจากรถยนต์เพิ่มมากขึ้นตาม โดยในประเทศไทย น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วถือว่าเป็นสิ่งที่มีค่า เพราะสามารถจำหน่ายได้ในราคาลิตรละ 5 – 9 บาท ขึ้นอยู่กับชนิดและคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว โดยมีผู้ประกอบการทั้งภาครัฐและเอกชนเป็นผู้รับซื้อ ดังนั้นแหล่งกำเนิดของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วขนาดใหญ่ จึงไม่ค่อยเกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมโดยตรง ซึ่งน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วที่รับซื้อนั้นจะถูกนำเข้าสู่วงจรการหมุนเวียนนำกลับมากลับใหม่ หรือใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยแหล่งกำเนิดที่กล่าวมานี้ ได้แก่ ศูนย์บริการถ่ายน้ำมันเครื่อง สถานีบริการน้ำมัน โรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ และหน่วยงานราชการและรัฐวิสาหกิจขนาดใหญ่ โดยปริมาณน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วที่รับซื้อนั้น คิดเป็นเพียงร้อยละ 20 – 40 จากข้อมูลการสำรวจและรวบรวมข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษ (เพ็ชรยิ้ม, 2557) แต่ในส่วนของแหล่งกำเนิดที่ก่อให้เกิดปริมาณน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วปริมาณน้อย เช่น อู่ซ่อมรถยนต์ โรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก เกษตรกร กลุ่มอาชีพประมง และกลุ่มที่เปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องด้วยตัวเอง ยังมีการจัดการ การรับซื้อและจัดเก็บน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วไม่ทั่วถึง อีกทั้งยังไม่คุ้มทุนในทางธุรกิจ ทำให้กลุ่มคนดังกล่าวนำน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วไปกำจัดอย่างไม่ถูกวิธี เช่น การขุดหลุมฝังกลบ การเผา การเททิ้งลงดินหรือแม้กระทั่งปล่อยให้ลงแหล่งน้ำ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพและก่อเกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งมลพิษทางน้ำ มลพิษทางดิน และมลพิษทางอากาศ อย่างยิ่ง (บุญรักษา, 2547) ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะและปัญหาของน้ำมันเครื่องในปัจจุบัน

ในกระบวนการที่เหมาะสมเพื่อการกำจัดหรือบำบัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ประเทศไทยปัจจุบันประกอบด้วย 2 วิธี คือ กระบวนการนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วกลับมากลั่นใหม่และนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เช่น จารบี ยางรถ เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมทำกันเป็นส่วนใหญ่ และอีก 1 วิธี คือกระบวนการนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วไปใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนโดยตรงหรือนำไปผสมกับเชื้อเพลิงอื่นก่อนนำไปเผาไหม้ โดยกระบวนการนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมากลั่นใหม่นั้นเป็นขั้นตอนที่ยุ่งยาก ซับซ้อนและมีต้นทุนสูง ซึ่งเหมาะสำหรับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ หน่วยงานรัฐ และรัฐวิสาหกิจขนาดใหญ่สำหรับกระบวนการนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วไปใช้เป็นเชื้อเพลิงนั้น เป็นกระบวนการนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วไปผสมกับเชื้อเพลิงก่อนนำไปใช้งาน ซึ่งเป็นกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน ต้นทุนต่ำ แต่ต้องใช้อุณหภูมิสูงในการเผาไหม้ ทำให้นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเตาเผาปูนหรืออุตสาหกรรมที่ใช้ความร้อนสูง



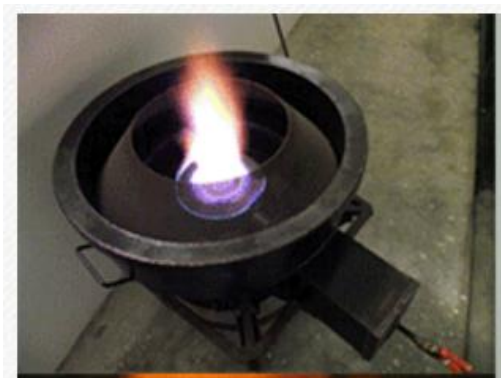
ก.จารบี



ข.ยางรถ

รูปที่ 2 ผลิตผลิตร่วมจากการแปรรูปน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้ว

จากกระบวนการที่กล่าวมาข้างต้น ทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำเทคโนโลยีการเผาไหม้ที่มีประสิทธิภาพสูง เข้าถึงได้ง่าย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม นำไปปรับใช้กับกระบวนการดังกล่าว โดยหัวเผาวัสดุพอรุน ถือเป็นอีกเทคโนโลยีของการเผาไหม้ที่ทันสมัยและสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ เนื่องจากวัสดุพอรุนมีลักษณะเด่น คือ มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรที่สูง ส่งผลให้เกิดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงมาก (กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2546) นอกจากนี้ วัสดุที่มีรูพรุนยังมีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานความร้อนได้เป็นอย่างดีในกระบวนการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) และการพาความร้อน (Convection) ดังนั้นหากเกิดการเผาไหม้ภายในวัสดุที่มีรูพรุน จะมีความร้อนในส่วนโอดี้เนื่องจากความร้อนจากก๊าซไอเสีย ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับกลไกการถ่ายเทความร้อนของวัสดุที่มีรูพรุนนั่นเอง ไม่จำเป็นต้องติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างการเผาไหม้ และปัจจุบันได้มีการวิจัยและพัฒนาอย่างกว้างขวาง เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างทั่วถึง ไม่ซับซ้อน กะทัดรัด ง่ายต่อการติดตั้ง และได้ประสิทธิภาพที่สูงขึ้น สังเกตได้จากมีงานวิจัยจำนวนมากที่ได้นำหลักการของหัวเผาวัสดุพอรุนไปประยุกต์ใช้ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 หัวเผาวัสดุพอรุส

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหัวเผาวัสดุพอรุสสำหรับน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิง และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผาวัสดุพอรุส โดยคาดว่า การนำหัวเผาวัสดุพอรุสมาปรับใช้กับเชื้อเพลิงน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว จะทำให้ได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนและพลังงานความร้อนที่สูง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหัวเผาวัสดุพอรุสสำหรับน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว
2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผาวัสดุพอรุส

ขอบเขต

1. ทำการทดลองโดยใช้น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว เป็นเชื้อเพลิง
2. ใช้หินตุ้ปลาและลูกเหล็ก ขนาด 4, 6, 8 และ 10 mm เป็นวัสดุพอรุสภายในหัวเผาวัสดุพอรุส (Porous Burner)
3. หัวเผาวัสดุพอรุส ให้ความร้อนขนาด 5 kW โดยใช้น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิง และหัวเผามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 mm

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ชุดทดลองหัวเผาวัสดุพอรุสขนาดเล็กสำหรับใช้น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิง
2. เป็นแนวทางเบื้องต้นในการนำความร้อนที่ได้ ไปใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรม

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้อธิบายทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ได้แก่ น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว หัวเผา วัสดุพอรุน การเผาไหม้ที่มีการหมุนเวียนความร้อน หลักการหมุนเวียนความร้อนด้วยวัสดุพอรุน พลังงานกับการเปลี่ยนแปลงสถานะ สมรรถนะของหัวเผาวัสดุพอรุน และ สตอยคิโอเมตรีของการเผาไหม้ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หลักการและทฤษฎี

1. น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว (Used lubricating oil)

น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว คือ น้ำมันหล่อลื่นที่เปลี่ยนถ่ายออกจากเครื่องยนต์หรือเครื่องจักรภายหลังจากการใช้งานหรือหมดสภาพ เนื่องจากมีสารปนเปื้อนเกิดขึ้นในระหว่างใช้งานหรือจากภายนอก ทำให้สูญเสียคุณสมบัติในการใช้งานไป โดยคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว อาจมีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบจำนวน 100 ถึง 1,000 ชนิด ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานว่าเป็นประเภทน้ำมันแร่ (mineral oil) ชนิดใด ซึ่งน้ำมันแร่นั้นได้มาจากน้ำมันที่อยู่บริเวณก้นหลอก้นน้ำมันดิบที่ผ่านกระบวนการกลั่นมาแล้ว โดยส่วนใหญ่ในน้ำมันพื้นฐานจะมีสารอินทรีย์เป็นส่วนประกอบสำคัญ คือ สารประกอบโพลีนิวเคลียสอะโรมาติก (polynucleuss aromatic : PNA) และมีการเติมสารเพิ่มคุณภาพ เช่น สารช่วยกระจายเขม่าและตะกอน สารต้านทานการกัดกร่อน เป็นต้น (กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2546) โดยจะมีองค์ประกอบเป็นไนโตรเจนและโลหะต่าง ๆ โดยมีคุณสมบัติทางกายภาพดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว

คุณสมบัติ	ค่าที่ได้
ความหนาแน่น	716 kg/m^3
ความถ่วงจำเพาะ	0.716
จุดวาบไฟ	160 – 320 $^{\circ}C$
จุดติดไฟ	140 $^{\circ}C$
จุดเดือด	350 – 500 $^{\circ}C$
ค่าความร้อน	9,500 kJ/kg
ความหนืด	67.7 cs

ที่มา: Madhusudan S, 2017

2. หัวเผา (burner) (กฤตาคม, 2553)

หัวเผา (burner) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการสันดาปเชื้อเพลิงกับอากาศ เพื่อทำให้เกิดเปลวไฟ (flame) พลังงานความร้อนที่ได้จากเปลวไฟจะถูกนำไปใช้งานในลักษณะต่าง ๆ ได้โดยตรง และหากพิจารณาประเภทของหัวเผาที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมตามชนิดของเชื้อเพลิงจะสามารถจำแนกได้ 3 ประเภท ได้แก่

2.1 หัวเผาเชื้อเพลิงก๊าซ (gas burners) โดยมี 2 ชนิด ได้แก่ ก๊าซธรรมชาติและก๊าซ LPG สำหรับการเลือกใช้หัวเผาเชื้อเพลิงก๊าซนั้น ต้องพิจารณาถึงชนิดของเชื้อเพลิงก๊าซที่ใช้ และลักษณะการเผาไหม้ที่ต้องการ เนื่องจากมีความสำคัญ ต่อการออกแบบและใช้งาน

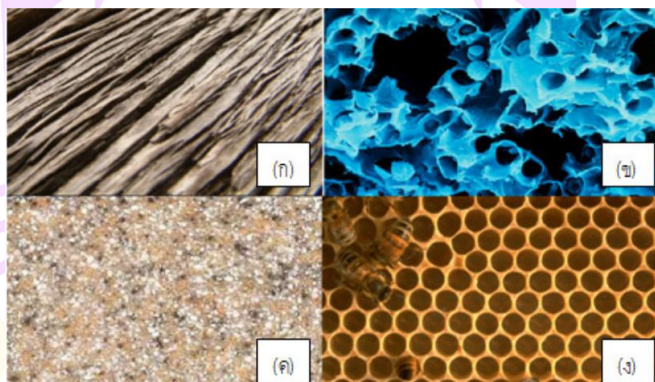
2.2 หัวเผาเชื้อเพลิงเหลว (oil burners) หากเปรียบเทียบเชื้อเพลิงที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมนั้น จะพบว่าเชื้อเพลิงเหลวมีการเผาไหม้ที่ยู่ยากกว่าเชื้อเพลิงก๊าซ เนื่องจากต้องมีการพ่นหรือฉีดให้เป็น ละอองละเอียดที่สุด เพื่อให้เชื้อเพลิงเหลวระเหยกลายเป็นไอจึงจะเกิดการเผาไหม้ หากเชื้อเพลิงยังอยู่ในสถานะของเหลวก็จะไม่สามารถติดไฟได้

2.3 หัวเผาเชื้อเพลิงแบบควบ (dual-fuel burners) หมายถึง หัวเผาที่สามารถเผาไหม้ได้ทั้งสองชนิด คือ เชื้อเพลิงก๊าซและเชื้อเพลิงเหลว ซึ่งมีทั้งแบบที่สามารถใช้เชื้อเพลิงเพียงชนิดเดียว หรือแบบที่ใช้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิดพร้อม ๆ กันได้ (ว่องวัชรพร, 2556)

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการเผาไหม้ในหัวเผาวัสดุพูนเชื้อเพลิงเหลวขนาดเล็ก ที่ใช้น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิง

3. วัสดุพรุน (Porous media) (รุ่งโรจน์ชัยพร, 2554)

วัสดุพรุน คือ ของแข็งที่ภายในเนื้อวัสดุมีช่องว่างหรือรูพรุนที่เชื่อมต่อกันเป็นโครงข่าย วัสดุพรุนตามธรรมชาติ เช่น ไม้เนื้อเยื่อปอดของมนุษย์ หินทราย และรังผึ้ง แสดงดังรูปที่ 4 คุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุพรุนคือ มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง (Area to volume ratio) ส่งผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงโดยการพาความร้อน นอกจากนี้วัสดุที่มีรูพรุนยังเป็นของแข็งที่มีค่าการนำความร้อนสูงและมีการแผ่รังสีความร้อนในตัว ทำให้วัสดุพรุนสามารถเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนคือ ความสมดุลที่ดีระหว่างความร้อนในรูปของการพาความร้อนและการแผ่รังสี ดังนั้นวัสดุที่มีรูพรุนจึงถือได้ว่าเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ที่มีประสิทธิภาพสูงและมีขนาดกะทัดรัด อย่างไรก็ตาม ถึงแม้จะมีวัสดุที่มีรูพรุนหลายประเภท แต่วัสดุที่มีรูพรุนที่สามารถนำไปใช้กับงานที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้จะต้องทำจากวัสดุที่สามารถทนต่ออุณหภูมิสูง (High temperature resistant) และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน สามารถต้านทานการแตกร้าวเนื่องจากการยึดหรือหดตัวได้ โครงสร้างวัสดุพรุนในช่วงเริ่มทำงาน (Startup) และ ช่วงดับเตา (Shutdown) (รุ่งโรจน์ชัยพร, 2554) โดยมีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 2



รูปที่ 4 วัสดุพรุนตามธรรมชาติ ก) ไม้ ข) เนื้อเยื่อปอดมนุษย์ ค) หินทราย ง) รังผึ้ง

ที่มา: รุ่งโรจน์ชัยพร, 2554

ตารางที่ 2 การจัดแบ่งประเภทของวัสดุพูนตามองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติต่าง ๆ

คุณสมบัติ	ชนิด					
	พอลิเมอร์	คาร์บอน	กระจก	อะลูมิเนียม-ซิลิเกต	ออกไซด์	โลหะ
พื้นที่ผิว ความพูน	ต่ำ > 0.6	สูง 0.3-0.6	ต่ำ 0.3-0.6	สูง 0.3-0.7	ปานกลาง 0.3-0.6	ต่ำ 0.1-0.7
ความสามารถ ในการแพร่ผ่าน	ต่ำ - ปาน กลาง	ต่ำ - ปาน กลาง	สูง	ต่ำ	ต่ำ-ปาน กลาง	สูง
ความแข็งแรง	ปานกลาง	ต่ำ	สูง	ต่ำ	ต่ำ-ปาน กลาง	สูง
ฉนวน	ต่ำ	สูง	ดี	ปานกลาง -สูง	ปานกลาง- สูง	สูง
ทนต่อสารเคมี	ต่ำ - ปาน กลาง	สูง	สูง	สูง	สูงมาก	สูง
ราคา	ต่ำ	สูง	สูง	ต่ำ - ปาน กลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
อายุการใช้งาน	สั้น	ยาว	ยาว	สั้น - ปาน กลาง	ปานกลาง	ปานกลาง

ที่มา: รุ่งโรจน์ชัยพร, 2554

การทดลองหาค่าความพูน (บันทึก กฤดาคม, 2012)

โดยวิธีการหาค่าความพูน (Porosity, \emptyset) จะใช้หลักการแทนที่ด้วยน้ำ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. บรรจุวัสดุพูนภายในกระบอกเหล็กขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 *cm* และลึก 5 *cm* โดยจะชั่งตวงตัวอย่างละ 3 ชุด
2. เติมน้ำในถ้วยที่มีลักษณะคล้ายหัวเผา ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 *cm* ลึก 10 *cm* โดยทำการชั่งน้ำหนักของน้ำที่เติมลงไปทุกครั้ง จนกว่าจะเต็ม
3. บรรจุตัวอย่างวัสดุพูนลงในถ้วยน้ำที่เตรียมไว้

4. ชั่งปริมาณน้ำที่ล้นออกมาจากในถ้วย
5. นำปริมาณน้ำที่เต็มลงไปถ้วยก่อนการทดลองกับปริมาณน้ำที่ล้นออกมาหลังจากบปรรจิวส์ดูพอรุน นำมาคำนวณหาค่าความพรุนจากสมการ

$$Porosity (\emptyset) = \frac{V_S}{V_T} \quad (1)$$

เมื่อ $Porosity (\emptyset) =$ ค่าความพรุน

$V_S =$ ปริมาตรช่องว่างที่น้ำเข้าไปแทนที่ได้ (cm^3)

$V_T =$ ปริมาตรทรงกระบอกภายในทั้งหมด (cm^3)

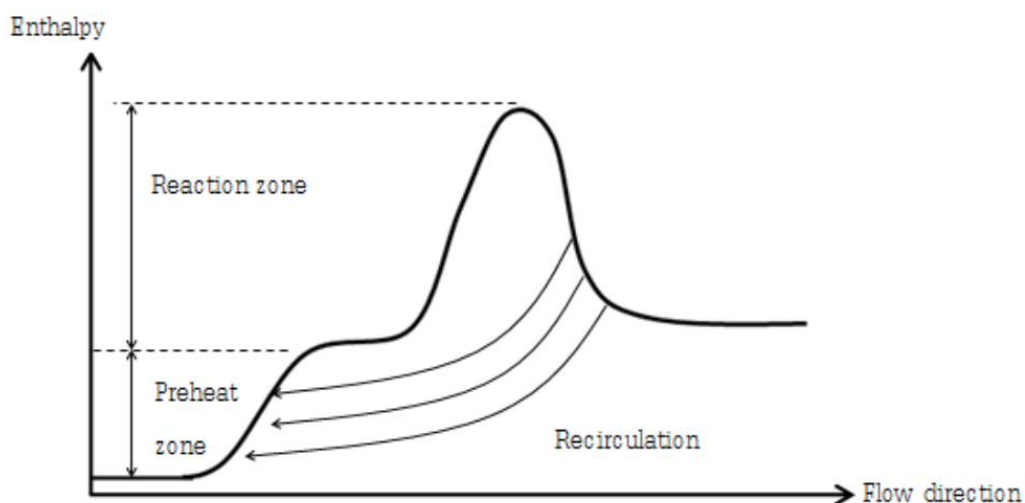
ตารางที่ 3 คุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุพอรุนที่ใช้ทดลอง

วัสดุพอรุน	ค่าความพรุน (Porosity, \emptyset)	ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity, k) ($W/m K$)	ค่าการแผ่รังสี ความร้อน (Emissivity, ϵ)
ลูกเหล็กกลม 4 mm	0.216	79.5	0.70
ลูกเหล็กกลม 6 mm	0.243	79.5	0.70
ลูกเหล็กกลม 8 mm	0.256	79.5	0.70
ลูกเหล็กกลม 10 mm	0.284	79.5	0.70
หินตุ้ปลา	0.286	0.5	0.28

ที่มา: (เผ่าผาง, 2020), (Deziel, 2018)

4. การเผาไหม้ที่มีการหมุนเวียนความร้อน (Heat-Recirculation Combustion)

Weinberg (1971) เสนอแนวคิดเกี่ยวกับการเผาไหม้ของวงจรรความร้อนภายใน (Internal heat recirculation combustion) โดยการยืมความร้อนจากบริเวณเปลวไฟ (Borrowed heat) เพื่อนำไปอุ่นไอดีที่ไหลเข้าสู่ระบบก่อนเกิดการเผาไหม้และเมื่อกระบวนการเผาไหม้เสร็จสิ้นต้องใช้ก๊าซไอเสียเพื่อนำความร้อนกลับคืนมาในระบบก่อนระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม หลักการเผาไหม้แบบอะเดียแบติกคือ การใช้ความร้อนหมุนเวียนเพื่ออุ่นไอน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 5 Hardesty & Weinberg (1974) โดยเรียกกระบวนการนี้ว่า “Excess enthalpy combustion”

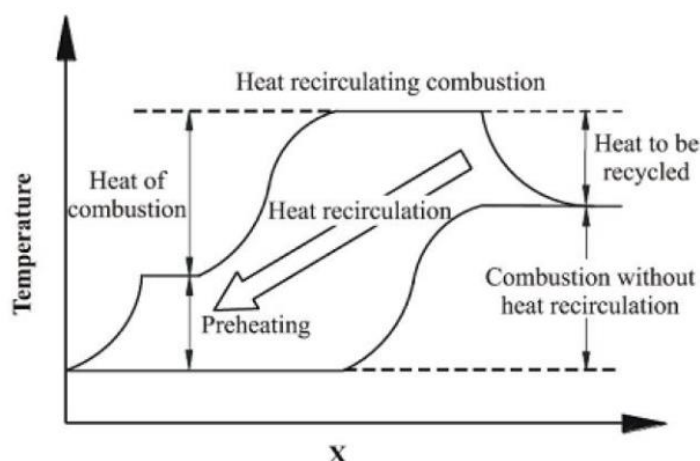


รูปที่ 5 กราฟแสดงหลักการเพิ่มเอนทาลปีในระบบการเผาไหม้ของ Weinberg

ที่มา: (Weinberg, 1971)

รูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิการทำงานของระบบที่มีและไม่มี การหมุนเวียนความร้อนโดยพิจารณาทั้ง 2 ระบบ ทำงานภายใต้สภาวะแอดิแบติก (Adiabatic system) ส่วนผสมของอากาศและเชื้อเพลิงมาจากด้านซ้ายและเกิดการเผาไหม้ หากคุณกำลังพิจารณา ระบบที่ไม่มี การหมุนเวียนความร้อน (Combustion without Heat Recirculation) กราฟเส้นล่าง จะมีอุณหภูมิการเผาไหม้เท่ากับอุณหภูมิทางทฤษฎี (Adiabatic flame temperature) หลังจากนั้นก๊าซร้อนไอเสียจะไหลออกทางด้านขวา เมื่อเปรียบเทียบกับระบบการเผาไหม้ที่มีการ หมุนเวียนความร้อน (Heat recirculating combustion) กราฟเส้นบนส่วนผสมระหว่างอากาศกับ เชื้อเพลิงจะได้รับการอุ่น (Preheating) ให้ร้อนก่อน ความร้อนนี้จะมาจากการทำความร้อนครั้งแรกของเตาอบเท่านั้น จากนั้น จะเกิดกระบวนการเผาไหม้ทำให้อุณหภูมิการเผาไหม้สูงกว่า ทฤษฎี (Adiabatic flame temperature) และก่อนที่ก๊าซไอเสียร้อนออกจากระบบ จะเกิดการคืน ความร้อนหมุนเวียน (Heat recirculation) โดยความร้อนนี้จะถูกนำไปอุ่นอากาศกับเชื้อเพลิงที่ จะเข้ามาใหม่อย่างต่อเนื่อง โดยความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ยังคงเท่าเดิม (เท่ากับ Heat of combustion) แต่เราจะได้อุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงขึ้น ช่วยส่งเสริมการเผาไหม้ สิ่งนี้นำไปสู่การ เพิ่มขึ้นทั้งประสิทธิภาพการเผาไหม้และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบตลอดจนความ เข้มของการเผาไหม้ ทำให้สามารถออกแบบระบบที่กะทัดรัดยิ่งขึ้นและขยายช่วงการเผาไหม้ ในแง่ของวัตถุดิบที่เจือจางมากขึ้น หรืออีกนัยหนึ่งคือเผาเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนต่ำ ๆ

เกินกว่าที่ระบบปกติจะสามารถเผาได้ จากหลักการดังกล่าวจึงมีนักวิจัยหลายคนได้พยายามศึกษาและนำเสนอรูปแบบการเผาไหม้และหัวเผาประเภทต่าง ๆ เพื่อให้ความร้อนแก่ส่วนผสม ก่อนเผาเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการเผาไหม้สูง หนึ่งในนั้นคือ เทคโนโลยีการเผาวัสดุที่มีรูพรุน



รูปที่ 6 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิการเผาไหม้ชนิดที่มีและไม่มี การหมุนเวียนความร้อน

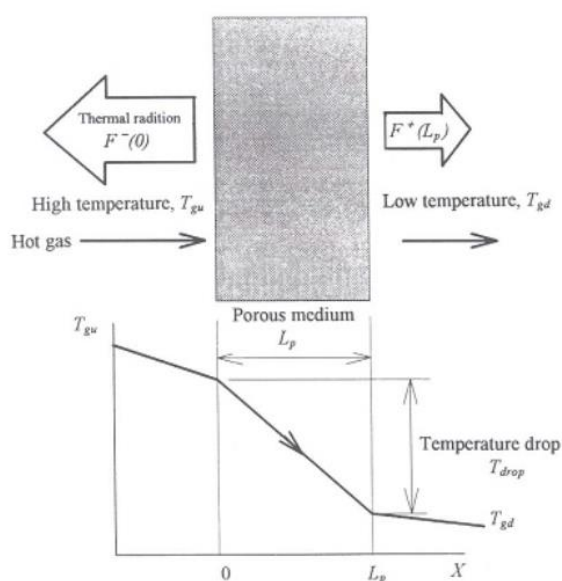
ที่มา: (Weinberg, 1971)

5. หลักการหมุนเวียนความร้อนด้วยวัสดุพรุน

วัสดุพรุนสามารถทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้ เนื่องจากมีความสามารถในการเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนได้ดีระหว่างเอนทาลปีของก๊าซร้อน (Enthalpy of the hot gas) กับพลังงานในรูปของการแผ่รังสี (Thermal radiation) โดยผ่านกลไกของการพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) เนื่องจากวัสดุพรุนเป็นของแข็งที่มีรูพรุนซึ่งของเหลวสามารถไหลผ่านได้ จึงมีข้อดี กล่าวอีกนัยหนึ่ง อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมีความสำคัญ มีการกระจายความร้อนที่ดีโดยการพาความร้อน นอกจากนี้คุณสมบัติที่เป็นของแข็งแล้ว ยังมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับและแผ่รังสีสูงกว่าก๊าซอีกด้วย

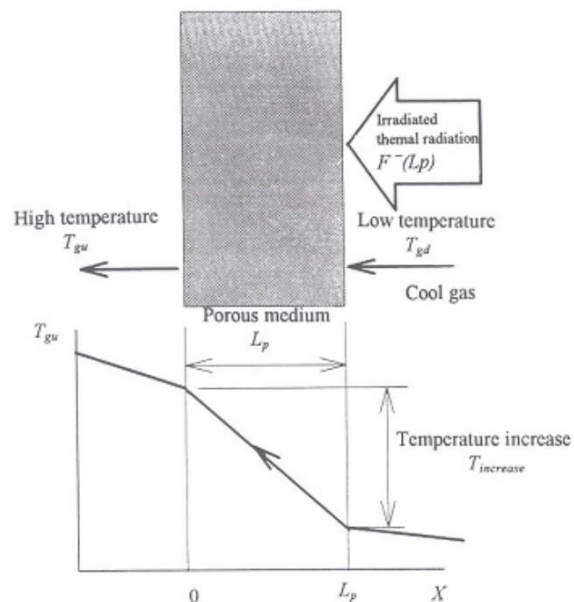
หลักการทำงานของวัสดุที่มีรูพรุนเป็นตัวปล่อยรังสี ดังแสดงรูปที่ 7 เมื่อก๊าซร้อนไหลผ่านวัสดุพรุนที่ตำแหน่ง $X = 0$ ความร้อนจะถูกถ่ายเทจากก๊าซร้อนไปให้กับวัสดุพรุนด้วยการพาความร้อน ทำให้อุณหภูมิของก๊าซลดลง เอนทาลปีจากก๊าซร้อนที่ถูกวัสดุพรุนดูดกลืนนี้ จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงาน ในรูปของการแผ่รังสีความร้อนออกทั้งทางด้าน Upstream และ

Downstream กรณีดังกล่าวนี้วัสดุพอรุนทำหน้าที่เป็นตัวแผ่รังสี (Emitter) และวัสดุพอรุนยังสามารถทำหน้าที่เป็นตัวรับรังสีได้เช่นกัน (Absorber) ได้อีกด้วย กล่าวคือ เมื่อวัสดุที่มีรูพรุนได้รับพลังงานรังสีจากแหล่งความร้อน วัสดุที่มีรูพรุนจะดูดซับความร้อนนี้ ทำให้วัสดุที่มีรูพรุนมีอุณหภูมิสูงขึ้น และเมื่ออากาศเย็นผ่านวัสดุที่มีรูพรุน ความร้อนจะถูกถ่ายเทโดยการพาความร้อนจากวัสดุที่มีรูพรุนไปยังก๊าซที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ส่งผลให้ก๊าซมีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อนจะไหลออกจากวัสดุที่มีรูพรุน ดังแสดงในรูปที่ 8 จากหลักการข้างต้นจึงกล่าวได้ว่าวัสดุพอรุนเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) ประสิทธิภาพสูง และมีขนาดกะทัดรัดอีกด้วย



รูปที่ 7 หลักการทำงานของวัสดุพอรุนที่มีหน้าที่เป็นตัวแผ่รังสี

ที่มา: (Weinberg, 1971)

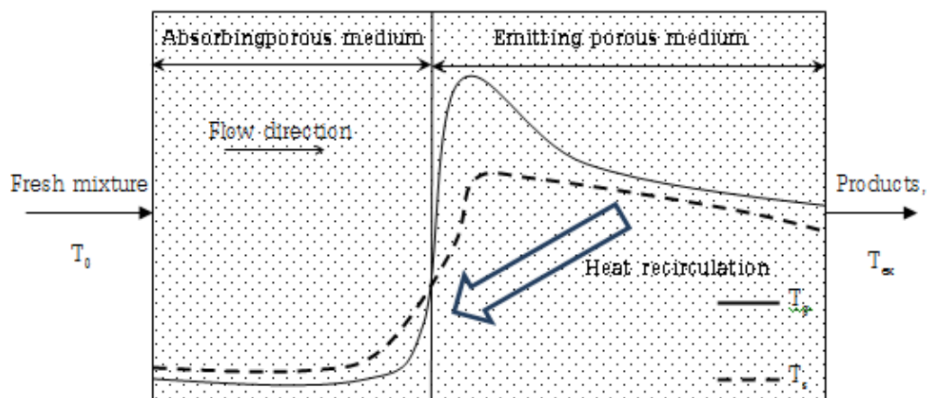


รูปที่ 8 หลักการทำงานของวัสดุพอรุสที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับรังสี

ที่มา: (Weinberg, 1971)

ดังนั้นถ้าเรานำวัสดุที่มีรูพรุนสองชั้นที่ทำหน้าที่เป็นตัวสะสมรังสีและตัวแผ่รังสีมารวมกันแล้วใช้เป็นหัวเผา ดังแสดงในรูปที่ 9 โดยมีอากาศเข้าที่ผ่านตัวหม้อน้ำ ปริมาณของก๊าซ ประจุก็จะอุ่นขึ้นด้วย ก่อนที่จะเผาไหม้ จากนั้นปล่อยให้ก๊าซไอเสียผ่านวัสดุที่มีรูพรุนซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวระบายความร้อน เพื่อลดชั้นเอนทาลปีของก๊าซไอเสียร้อนก่อนออกจากห้องเผาไหม้ และนำความร้อนส่วนนี้ไปหมุนเวียนใช้เพื่อให้ความร้อนแก่อากาศเข้าระหว่างการเผาไหม้ ตามหลักการนี้ จึงมีการสร้างหัวเผาที่สามารถหมุนเวียนความร้อนภายในได้อย่างมีประสิทธิภาพและกะทัดรัด

ไม่จำเป็นต้องติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มเติมเพื่ออุ่นอากาศเข้า และยังไปกว่านั้น เนื่องจากการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงในห้องเผาไหม้ทั้งหมด จึงนำไปสู่การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ต่ำ ในขณะที่โซลเปลวไฟ ก๊าซร้อนจากการเผาไหม้จะถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่มีรูพรุนทันที ทำให้เกิดการปลดปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) จะมีค่าต่ำ จากเหตุผลข้างต้นอาจกล่าวได้ว่าเตาเผาวัสดุโพรมเป็นเตาเผาที่มีประสิทธิภาพสูงและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 9 การหมุนวนความร้อนจากไอเสียไปใช้ในการอุ่นไอดีโดยหัวเผาวัสดูพอรุน

ที่มา: (Weinberg, 1971)

6. สมรรถนะของหัวเผาวัสดูพอรุน

การหาประสิทธิภาพของหัวเผา ใช้วิธีการวัดปริมาณความร้อนที่ใช้ในการหุงต้ม ปริมาณที่ทำให้ น้ำ ๓ กรัม อุณหภูมิปกติกลายเป็นไอ ต่อปริมาณที่ได้รับจากการเผาไหม้ของ เชื้อเพลิง ดังสมการ

$$\text{ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผา } \eta = \left(\frac{Q_u}{Q_{fuel}} \right) \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ η คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผา (%)

Q_{fuel} คือ ปริมาณความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง (kJ)

Q_u คือ ปริมาณความร้อนที่ใช้ประโยชน์ (kJ)

การหาปริมาณความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง

$$Q_{fuel} = m_{fuel} \times \text{LHV} \quad (3)$$

เมื่อ m_{fuel} คือ มวลของเชื้อเพลิงที่ใช้ (kg)

LHV คือ ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

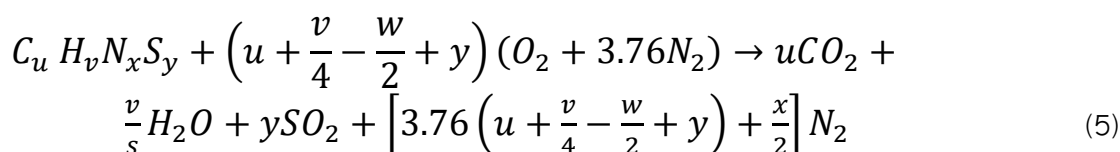
การหาปริมาณความร้อนที่ใช้ประโยชน์

$$Q_u = [m_{w,1}C_{p,w}(T_{w,b} - T_{w,i})] + [m_{w,2}h_{fg}] \quad (4)$$

เมื่อ	$m_{w,1}$	คือ	มวลน้ำเริ่มต้น (kg)
	$m_{w,2}$	คือ	มวลน้ำที่ระเหย (kg)
	$C_{p,w}$	คือ	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ ($kJ/kg^{\circ}C$)
	h_{fg}	คือ	ค่าความร้อนแฝงของการระเหยน้ำ (kJ/kg)
	$T_{w,b}$	คือ	ค่าอุณหภูมิน้ำก่อนต้ม ($^{\circ}C$)
	$T_{w,i}$	คือ	ค่าอุณหภูมิที่น้ำระเหย ($^{\circ}C$)

7. สตอยคิโอเมตรีของการเผาไหม้

การเผาไหม้โดยทั่วไปเป็นการทำปฏิกิริยากันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ ซึ่งสตอยคิโอเมตรีของการเผาไหม้ คือสภาวะการเผาไหม้ที่มีปริมาณอากาศต่อเชื้อเพลิงพอดีสำหรับการที่จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งสามารถหาได้จากการดุลสมการทางเคมีการเผาไหม้ โดยที่เมื่อทราบถึงองค์ประกอบของเชื้อเพลิงแล้ว จะสามารถคำนวณหาปริมาณของออกซิไดเซอร์ หรืออากาศที่จำเป็น ที่ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ได้ ก่อนที่จะสามารถทำสตอยคิโอเมตรีของการเผาไหม้ จำเป็นจะต้องทราบถึงลักษณะการวิเคราะห์ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดเสียก่อน ซึ่งการรายงานผลการวิเคราะห์ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดก็จะมี ความแตกต่างกันออกไป ขึ้นกับสถานะของเชื้อเพลิงในการวิเคราะห์ เชื้อเพลิงแก๊สจะใช้การวิเคราะห์โดยประมาณและรายงานผลการวิเคราะห์เป็นร้อยละโดยปริมาตร หรือโมลของแต่ละแก๊สที่เป็นองค์ประกอบของแต่ละเชื้อเพลิงผสมนั้น ในส่วนของเชื้อเพลิงแข็งและเชื้อเพลิงเหลวจะใช้การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ และรายงานผลเป็นร้อยละโดยมวลของธาตุต่าง ๆ เช่น การรายงานขององค์ประกอบของเชื้อเพลิงในรูปแบบของร้อยละของธาตุคาร์บอน (C), ไฮโดรเจน (H), ออกซิเจน (O), ไนโตรเจน (N), และซัลเฟอร์ (S) เป็นต้น ซึ่งหากทราบถึงองค์ประกอบของ เชื้อเพลิงที่ประกอบไปด้วย C , H , O , N และ S และทราบว่าอากาศจะมีส่วนประกอบของแก๊ส ไนโตรเจน (N) 79% โดยปริมาตร และออกซิเจน (O) 21% โดยปริมาตร (หอมระรื่น, 2556) สามารถทำสตอยคิโอเมตรีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศเป็นสูตรโดยทั่วไปได้ดังสมการที่มีต่อไปนี้



จากการดุลสมการเคมีข้างต้นจะทำให้สามารถคำนวณหาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงหรืออัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง หรือ $(A/F)_{stoi}$ ที่ทำให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ ซึ่งอัตราส่วนระหว่างอากาศ กับเชื้อเพลิง คือ อัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงโดยมวลทางทฤษฎี หรือตามสตอยคิโอเมทรี ของการเผาไหม้ เขียนเป็นสมการดังนี้

$$(A/F)_{stoi} = \frac{\dot{m}_A}{\dot{m}_F} \quad (6)$$

เมื่อ \dot{m}_A คือปริมาณของอากาศ (kg/s)

\dot{m}_F คือปริมาณของเชื้อเพลิง (kg/s)

เนื่องจากการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจริงนั้นโดยส่วนใหญ่ไม่ได้เป็นไปตามอัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี ฉะนั้นจึงมีการนิยามอัตราส่วนสมมูล (Equivalent ratio, ϕ) เป็นปริมาณไร้หน่วยที่นิยมใช้ในการเผาไหม้ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกว่าส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิไดเซอร์อยู่ห่างไกลจากทฤษฎีแค่ไหน ซึ่งนิยามได้ตามสมการที่ 7

$$\phi = \frac{(A/F)_{stoi}}{(A/F)_{act}} = \frac{(\dot{m}_A/\dot{m}_F)_{stoi}}{(\dot{m}_A/\dot{m}_A)_{act}} \quad (7)$$

เมื่อ $(A/F)_{stoi}$ คือ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง ทางทฤษฎี

$(A/F)_{act}$ คือ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง ที่เกิดขึ้นจริง

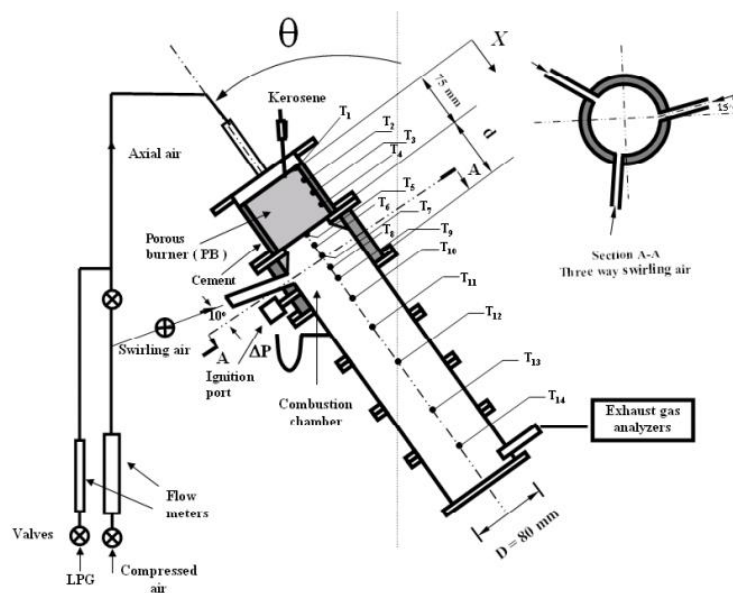
ความหมายของอัตราส่วนสมมูล

$\phi < 1$ หมายถึงไอดีบางหรือปริมาณอากาศที่ใช้มากกว่าทางทฤษฎี (Fuel-lean mixture)

$\phi > 1$ หมายถึงไอดีหนาหรือปริมาณอากาศที่ใช้น้อยกว่าทางทฤษฎี (Fuel-rich mixture)

$\phi > 1$ หมายถึงไอดีเป็นไปตามสตอยคิโอเมทรี (Stoichiometry)

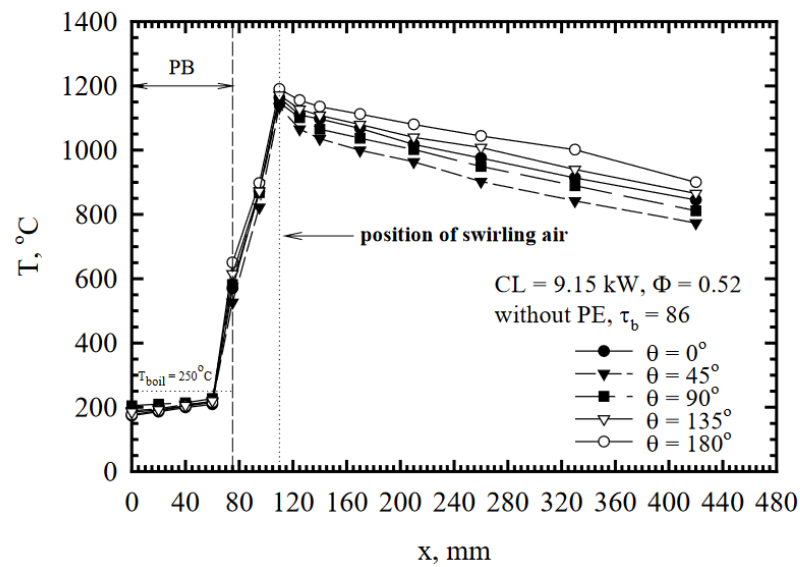
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ 10 แบบและรายละเอียดหัวเผาพ่นไฟ ของ สำเรึง จักรใจ และคณะ

ที่มา: สำเรึง จักรใจ, 2547

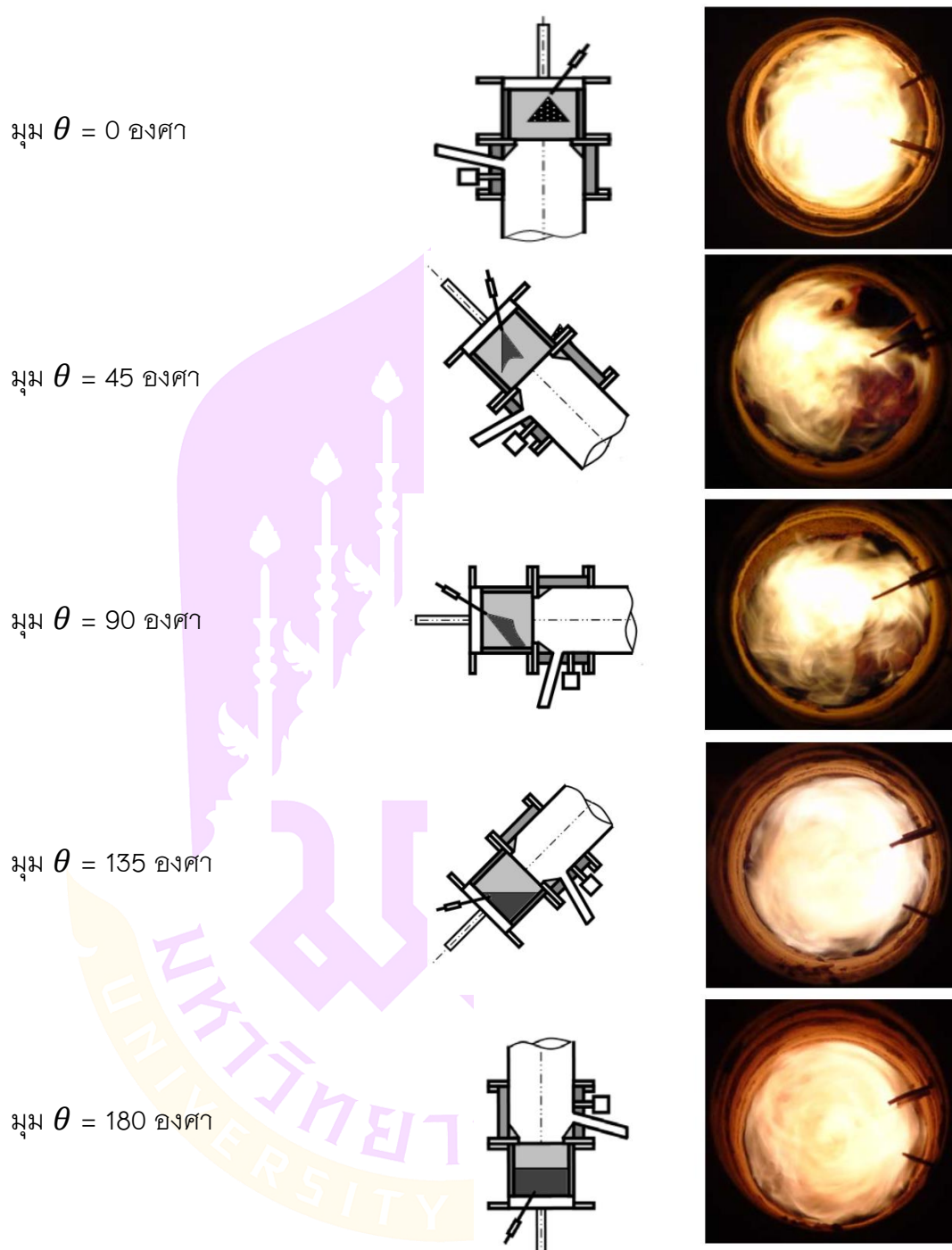
สำเรึง จักรใจ และคณะ (2547) ได้ทำการศึกษาและพัฒนาเกี่ยวกับการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวโดยหัวเผาวัสดุพอรุน ชนิดไม่มีการแตกตัวเป็นละอองสเปรย์ โดยในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาหัวเผาวัสดุพอรุนเพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง โดยจะอธิบายผลในรูปแบบของอุณหภูมิภายในหัวเผาและปริมาณมลพิษของ CO และ NO_x และบริเวณของการเผาไหม้ภายในหัวเผา โดยใช้แบบเตาดังรูปที่ 10 มีการเพิ่มแกนหมุนบริเวณหัวเผาให้สามารถหมุนทำมุมได้ตามที่ต้องการ มีการเลื่อนหน้าแปลนวัสดุพอรุนให้แนบกับเข็มฉีดเชื้อเพลิง โดยเฉียงทำมุม θ โดยจากการทดลองให้ผลดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 อิทธิพลของ มุม θ ต่อ T

ที่มา: สำเร็จ จักรใจ, 2547

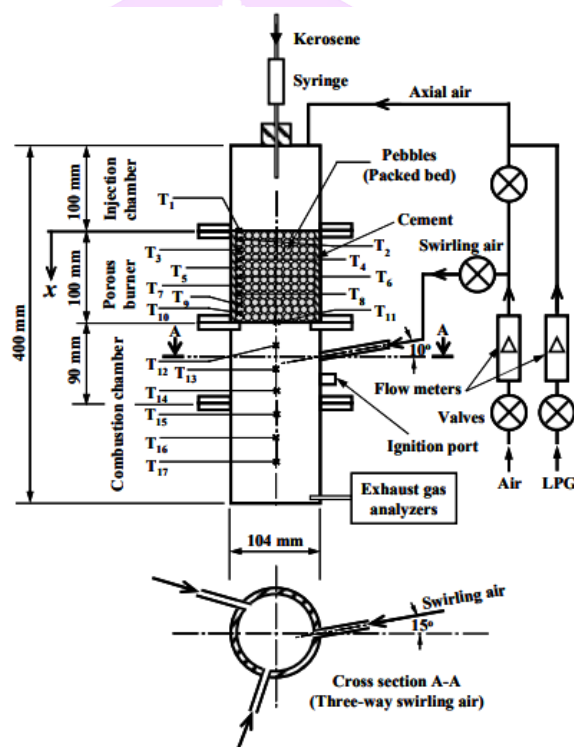
จากรูปที่ 11 แสดงอิทธิพลของ มุม θ ต่อ T พบว่าที่ มุม $\theta = 0$ องศา จะให้ค่า อุณหภูมิต่ำปานกลาง เมื่อ มุม $\theta = 45$ องศา ค่าอุณหภูมิต่ำที่สุด แต่เมื่อ มุม $\theta = 180$ องศา อุณหภูมิที่ได้จะมีค่าสูงสุดตลอดแนวแกนเตา ซึ่งสามารถอธิบายเพิ่มเติมได้ จากการสังเกตรูปถ่ายเปลวไฟ ในรูปที่ 12



รูปที่ 12 อิทธิพลของ มุม θ ต่อรูปแบบการไหลซึมของน้ำมันภายใน PB และรูปร่างเปลวไฟ

ที่มา: สำเร็จ จักรใจ, 2547

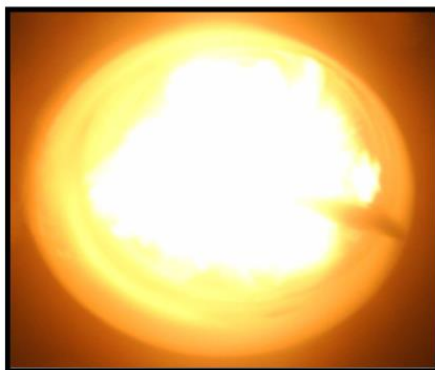
จากรูปที่ 12 อิทธิพลของ มุม θ ต่อรูปแบบการไหลซึมของน้ำมันภายใน PB และรูปร่างเปลวไฟ พบว่า ที่กรณี มุม $\theta = 45$ องศา เปลวไฟมีลักษณะเผาไหม้ไม่เต็มหน้าตัด ส่งผลให้ได้ อุณหภูมิต่ำสุด ที่กรณี มุม $\theta = 180$ องศา เปลวไฟมีลักษณะการเผาไหม้กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอตลอดหน้าตัดหัวเผา ส่งผลให้ได้ อุณหภูมิสูงสุด นับเป็นตำแหน่งที่ดีที่สุดในการเผาไหม้ของหัวเผาวัสดุพอร์ซัน



รูปที่ 13 แบบและรายละเอียดของหัวเผาพ่นไฟที่ใช้ในการทดลอง ของ พิพัฒน์ และคณะ

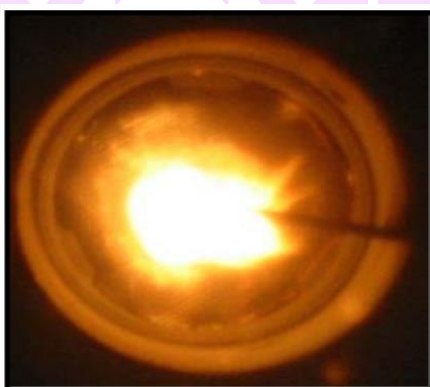
ที่มา: พิพัฒน์ อมตฉายา, 2554

พิพัฒน์ และคณะ (2554) ได้ทำการทดลองหัวเผาพ่นไฟเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล โดยลักษณะของหัวเผาจะมีลักษณะคล้ายคลึงกับ ศ.ดร สำเร็จ จักรใจและคณะ ดังรูปที่ 13 แต่จะมีการเลือกใช้วัสดุพอร์ซันเป็นเซรามิกชนิดซิลิคอนคาร์ไบด์ (SiC) แบบรังผึ้ง แทนตาข่ายสแตนเลส เพื่อป้องกันความเสียหายภายในหัวเผา และศึกษาค่าความพรุนของแผ่นเซรามิกซ์แบบรังผึ้งที่มีอิทธิพลต่อหัวเผา โดยทำการศึกษา ที่ค่าความพรุน คือ 0.15 และ 0.22 โดยได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 14 , 15 และ 16



รูปที่ 14 ลักษณะของเปลวไฟของหัวพ่นไฟเซรามิกซ์ กรณี $\varepsilon = 0.15$

ที่มา: พิพัฒน์ อมตฉายา, 2554

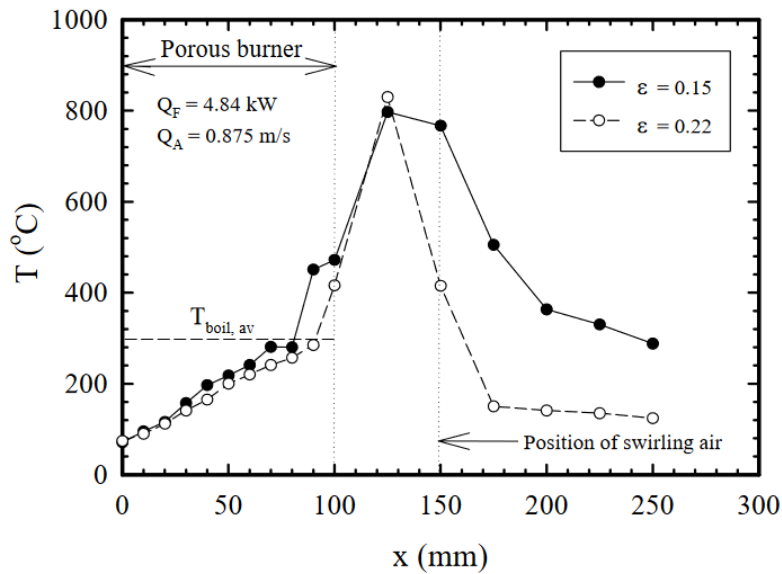


รูปที่ 15 ลักษณะของเปลวไฟของหัวพ่นไฟเซรามิกซ์ กรณี $\varepsilon = 0.22$

ที่มา: พิพัฒน์ อมตฉายา, 2554

จากรูปที่ 14 และ 15 กรณีที่ในหัวเผามีการเปลี่ยนแปลงความพรุน พบว่าเปลวไฟที่หัวเผาที่มีค่าความพรุน 0.15 เปลวไฟจะปั่นป่วนเกือบเต็มหน้าตัดพื้นที่ ซึ่งความร้อนจากเปลวไฟจะถ่ายเทให้กับผนังของห้องเผาไหม้และย้อนกลับไปยังวัสดุพรุนโดยการแผ่รังสี โดยวัสดุพรุนจะทำการดูดซับพลังงานความร้อนเอาไว้เพื่อใช้ในการระเหยเชื้อเพลิงต่อไป แต่ที่ค่าความพรุน 0.22 เปลวไฟมีลักษณะก่อตัวเป็นกระจุกที่บริเวณกึ่งกลางหน้าตัดเท่านั้น เนื่องจากเชื้อเพลิงที่จ่ายให้หัวเผาไม่สามารถระเหยได้หมด เพราะวัสดุพรุนที่มีค่าความพรุนสูงจะมีเนื้อวัสดุในการดูดซับพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้น้อย แม้จะมีพื้นที่ผิวระหว่าง

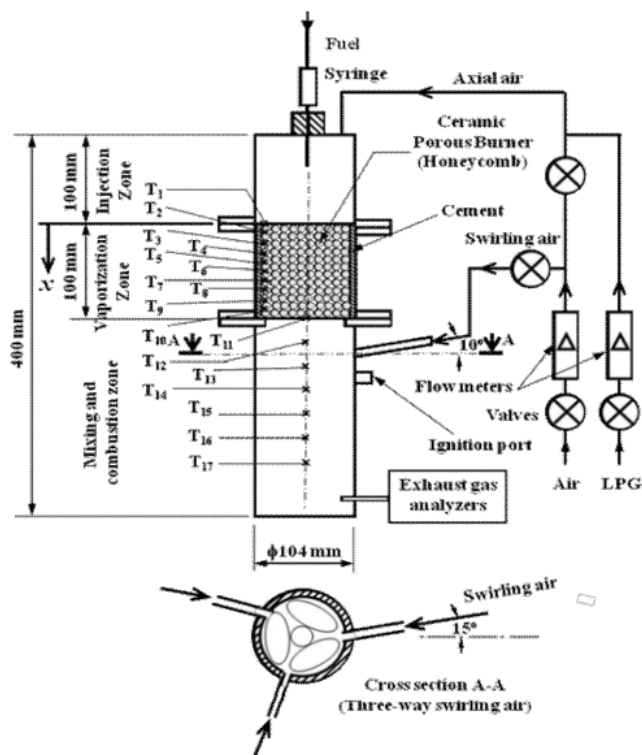
วัสดุพอรุนกับไอเชื้อเพลิงมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการนำความร้อนมีความสำคัญไม่น้อยกว่าการแผ่รังสีความร้อน



รูปที่ 16 โครงสร้างทางอุณหภูมิตามแนวแกนภายในหัวเผาพ่นไฟ

ที่มา: พิพัฒน์ อมตฉายา, 2554

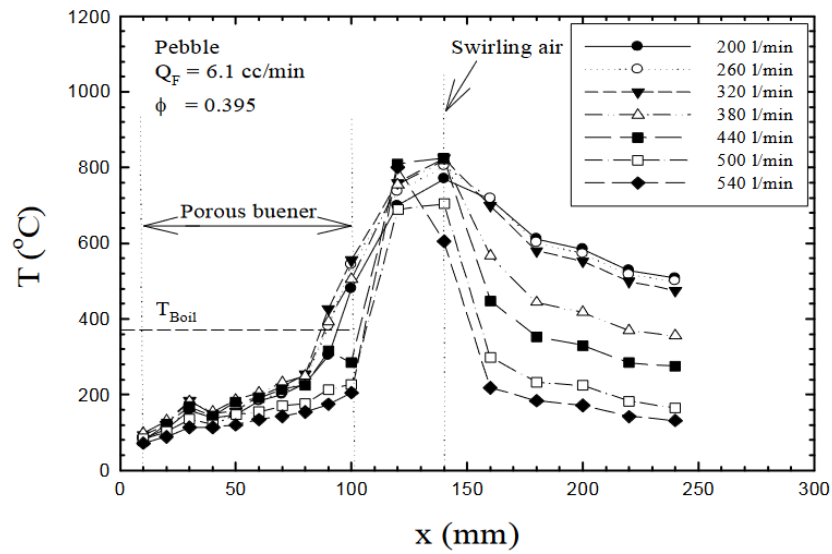
จากรูปที่ 16 กราฟแสดงอิทธิพลของค่าความพอรุนที่มีผลต่ออุณหภูมิภายในหัวเผา จะเห็นว่าที่ค่าความพอรุนมากอุณหภูมิภายในหัวเผามีแนวโน้มลดลง ตามหลักการของวัสดุพอรุนที่วัสดุพอรุนที่มีค่าความพอรุนมากจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสในการถ่ายเทความร้อนเพื่อทำการระเหยเชื้อเพลิงมากตาม แต่ในการทดลองนี้กลับได้ผลตรงกันข้าม อันเนื่องมาจากการถ่ายเทความร้อนในชั้นวัสดุพอรุน จะใช้การนำความร้อนมากกว่าการแผ่รังสีความร้อน จึงทำให้อุณหภูมิที่มีค่าความพอรุน 0.15 มีแนวโน้มสูงกว่าอุณหภูมิที่มีค่าความพอรุน 0.22



รูปที่ 17 แบบและรายละเอียดของหัวเผาพ่นไฟวัสดุพอรุน ของ บัณฑิต และคณะ

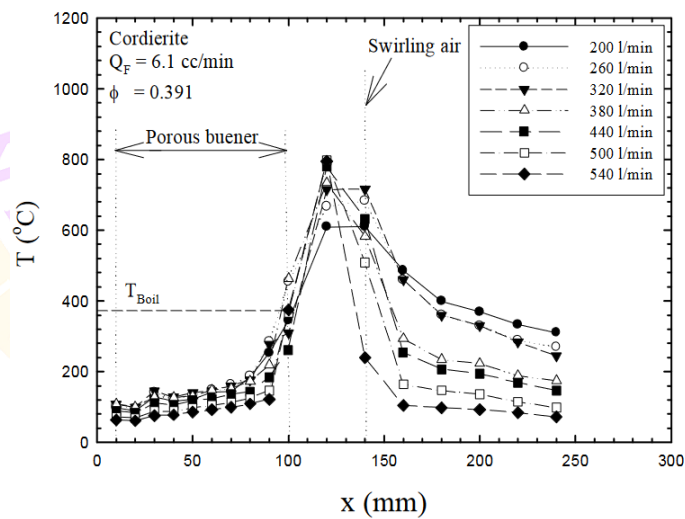
ที่มา: บัณฑิต กฤตาคม, 2012

บัณฑิต และคณะ (2012) ได้ทำการศึกษาคุณลักษณะของการเผาไหม้ของเปลวไฟ และกลไกการระเหยของเชื้อเพลิง โดยการทดลองจะมีลักษณะคล้ายกับงานวิจัยที่ผ่านมา ดังรูปที่ 17 แต่จะมีการนำ เซรามิกชนิดเม็ดคอร์ดีไรท์มาทำเป็นวัสดุพอรุน เพื่อให้สามารถประยุกต์นำไปใช้งานได้จริงในทางอุตสาหกรรม โดยในการทดลองใช้วัสดุพอรุน 2 รูปแบบต่างกันได้แก่ แบบเนื้อเดียวซึ่งเลือกใช้เซรามิกคอร์ดีไรท์ มีค่าความพอรุน 0.395 และแบบกึ่งเนื้อเดียวเลือกใช้หินตุ้ปลา มีค่าความพอรุน 0.391 โดยได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 18, 19 และ 20



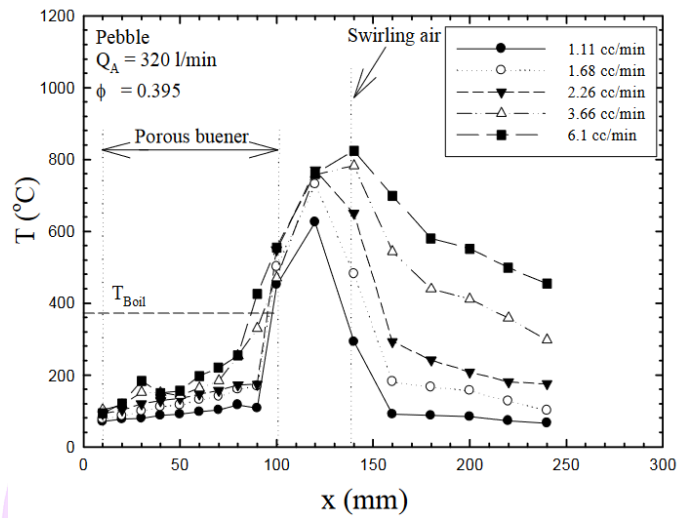
รูปที่ 18 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในหัวพ่นไฟเมื่อมีการปรับอัตราการจ่ายอากาศ
ที่วัสดุพ่นหินตุ้ปลา

ที่มา: บัณฑิต กฤตาคม, 2012



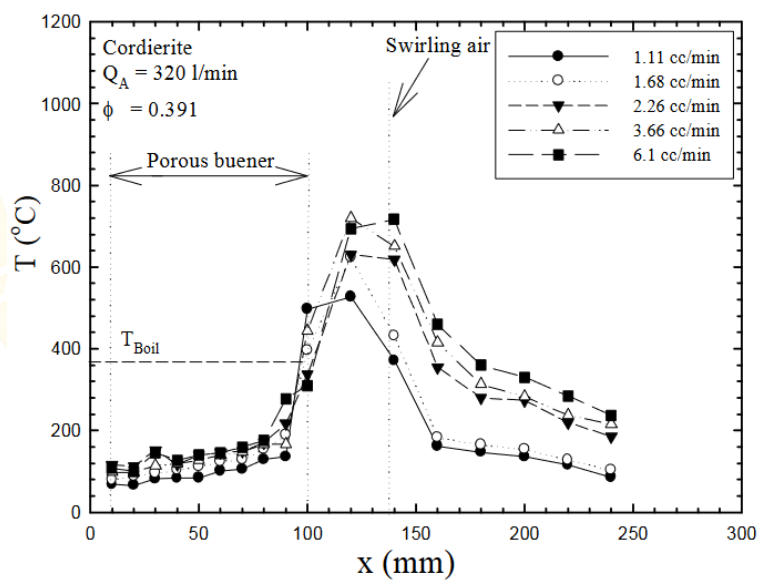
รูปที่ 19 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในหัวพ่นไฟเมื่อมีการปรับอัตราการจ่ายอากาศ
ที่วัสดุพ่นชนิดเซรามิกส์คอร์ดีไรท์

ที่มา: บัณฑิต กฤตาคม, 2012



รูปที่ 20 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในหัวพ่นไฟเมื่อมีการปรับอัตราการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง ที่วัสดุพ่นหินตุ้ปลา

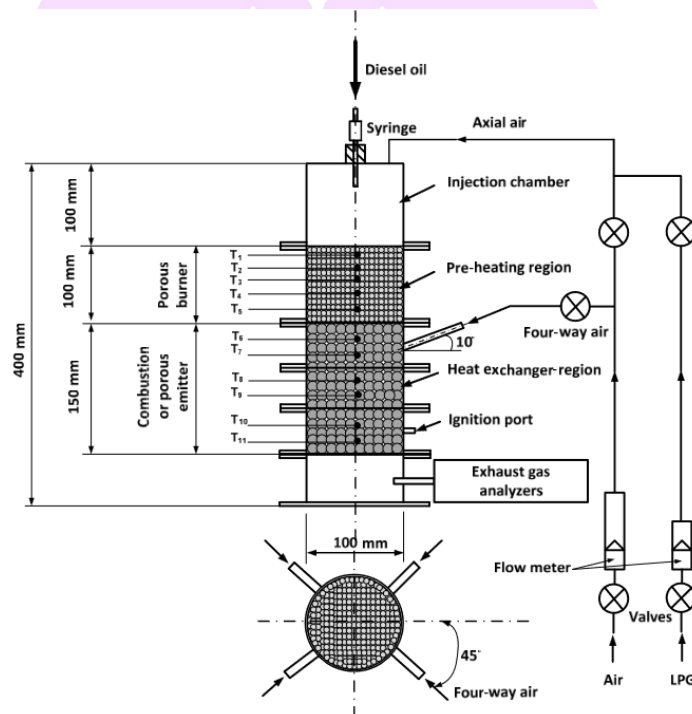
ที่มา: บัณฑิต กฤดาคม, 2012



รูปที่ 21 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในหัวพ่นไฟเมื่อมีการปรับอัตราการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง ที่วัสดุพ่นชนิดเซรามิกส์คอร์ดิไรท์

ที่มา: บัณฑิต กฤดาคม, 2012

จากรูปที่ 18, 19, 20 และ 21 พบว่า เมื่อมีการปรับอัตราการจ่ายอากาศหรือปรับอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงเล็กน้อยเท่าไร ลักษณะของอุณหภูมิภายในหัวพ่นไฟของวัสดุพอรินหินตุ้ปลาที่มีแนวโน้มสูงกว่าวัสดุพอรินเซรามิกส์คอร์ติโร้ทเสมอ เนื่องมาจากหินตุ้ปลาที่มีการจัดเรียงโครงสร้างเป็นแบบไม่สม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน จึงส่งผลให้เชื้อเพลิงและไอเชื้อเพลิงที่ระเหยเมื่อไหลในชั้นวัสดุพอรินในวัสดุพอรินหินตุ้ปลาจะไหลช้ากว่าวัสดุพอรินชนิดเซรามิกส์คอร์ติโร้ท ส่งผลให้เชื้อเพลิงในหินตุ้ปลาใช้เวลาในการถ่ายเทพลังงานความร้อนมากพอ ที่จะก่อให้เกิดการระเหยกลายเป็นไอน้ำมันได้มากกว่าเซรามิกส์คอร์ติโร้ท ซึ่งนำไปสู่การเผาไหม้ที่สมบูรณ์และดีกว่า

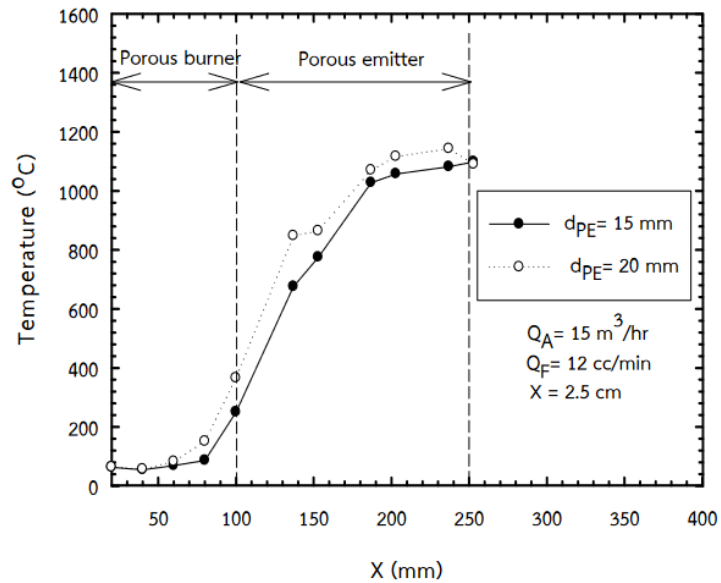


รูปที่ 22 อุปกรณ์การทดลอง

ที่มา: สุदारทร ปราณปัญญา, 2559

สุदारทร และคณะ (2559) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลค่าความพรุนของวัสดุพอรินตัวเปล่งรังสี (E_{PE}) ที่มีผลต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ของหัวเผาพ่นไฟเชื้อเพลิงเหลว ชนิดเม็ดกลมอัดแน่นแบบสองชั้น โดยอุปกรณ์การทดลองมีลักษณะดังรูปที่ 22 โดยในวัสดุพอรินชั้นแรกจะใช้หินตุ้ปลาที่มีค่าความพรุนเท่ากับ 0.412 สร้างเป็น PB แต่ในส่วน PE จะเลือกใช้วัสดุพอรินที่มี

ค่าความพรุนแตกต่างกัน 2 ค่า คือ 0.425 และ 0.475 และใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในการทดลอง โดยได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 23



รูปที่ 23 อิทธิพลของ ϵ_{pE} ต่ออุณหภูมิภายในหัวพ่นไฟ

ที่มา: สุदारทร ปราณปัญญา, 2559

จากรูปที่ 23 พบว่าที่ $\epsilon_{pE} = 0.475$ อุณหภูมิมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นกว่าที่ $\epsilon_{pE} = 0.425$ เป็นผลมาจากที่ $\epsilon_{pE} = 0.475$ มีค่าความพรุนมากกว่าซึ่งทำให้ช่องว่างในการเผาไหม้มีมากยิ่งขึ้น ทำให้ได้การเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

เนื้อหาบทนี้จะอธิบายถึงวิธีการดำเนินการ และวิธีการดำเนินงานในการจัดทำวิจัย และศึกษาข้อมูลเพื่อใช้สำหรับการศึกษาและออกแบบหัวเผาวัสดุพอรุนสำหรับนำน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วมาปรับใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยจะกล่าวถึงเนื้อหาเกี่ยวกับการศึกษาข้อมูล การออกแบบ การดำเนินงานวิจัย การทดลองและบันทึกผล โดยมีข้อมูลและเนื้อหาดังต่อไปนี้

กรอบแนวคิด

ในการศึกษา จะทำการทดสอบประสิทธิภาพของหัวเผา โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 5 การทดลอง คือ การทดลองปรับอัตราการป้อนอากาศ การทดลองเปรียบเทียบชนิดของวัสดุพอรุน การทดลองปรับเปลี่ยนขนาดของวัสดุพอรุนภายในหัวเผา การทดลองใช้เชื้อเพลิงผสมในหัวเผาวัสดุพอรุน และการทดลองปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของเชื้อเพลิงน้ำมันผสม โดยในการทดสอบจะใช้เชื้อเพลิงในปริมาณที่เท่ากันเสมอ ที่ 400 g และกำหนดอัตราการป้อนเชื้อเพลิงอยู่ที่ 0.09 g/s ใช้วิธีการจุดหัวเผา วิธีเดียวกันทั้งหมด เพื่อสามารถเปรียบเทียบข้อแตกต่างของการปรับอัตราการป้อนอากาศ การปรับเปลี่ยนวัสดุพอรุนภายในหัวเผา การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงผสม และการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของเชื้อเพลิงน้ำมันผสมที่ดีที่สุด และเพื่อที่จะหาค่าประสิทธิภาพและกำลังความร้อน จะใช้วิธีการโดยการต้มน้ำ (Water Boiling Test) โดยแต่ละการทดลอง จะมีการทดลองอยู่ 3 ครั้ง และนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนของผลการทดลองน้อยลง โดยมีการทดลองดังนี้

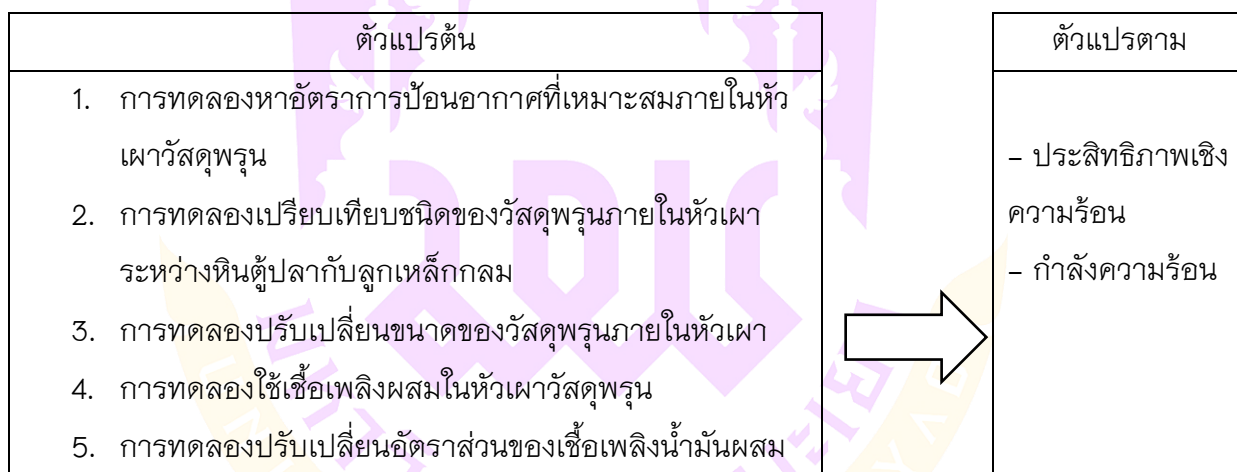
1. การทดลองหาอัตราการป้อนอากาศ โดยจะทำการทดลองทั้งหมด 4 ค่า เพื่อหาอัตราการป้อนอากาศ ที่เหมาะสมสำหรับหัวเผาวัสดุพอรุน
2. การทดลองเปรียบเทียบชนิดของวัสดุพอรุน โดยจะทำการทดลองระหว่าง หินตุ้ปูลากับลูกเหล็กกลม
3. การทดลองปรับเปลี่ยนขนาดของวัสดุพอรุนภายในหัวเผา โดยทำการปรับเปลี่ยนขนาดทั้งหมด 5 ตัวอย่าง เพื่อหาวัสดุพอรุนที่เหมาะสมสำหรับหัวเผาวัสดุพอรุน
4. การทดลองใช้เชื้อเพลิงผสมในหัวเผาวัสดุพอรุน เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบข้อแตกต่างของเชื้อเพลิงผสมในแต่ละชนิด

5. การทดลองปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของเชื้อเพลิงน้ำมันผสม เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบอัตราส่วนของการผสมน้ำมันเชื้อเพลิงที่ดีที่สุด

ซึ่งการกำหนดตัวแปรต้น ประกอบด้วย การปรับอัตราการป้อนอากาศ การปรับเปลี่ยนวัสดุพอรุนภายในหัวเผา การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงผสม และการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของเชื้อเพลิงน้ำมันผสมที่ดีที่สุด

กำหนดตัวแปร ดังแสดงในแผนผังรูปที่ 24

1. การทดลองหาอัตราการป้อนอากาศที่เหมาะสมภายในหัวเผาวัสดุพอรุน
2. การทดลองเปรียบเทียบชนิดของวัสดุพอรุนภายในหัวเผาระหว่างหินตุ้ปลา กับ ลูกเหล็กกลม
3. การทดลองปรับเปลี่ยนขนาดของวัสดุพอรุนภายในหัวเผา
4. การทดลองใช้เชื้อเพลิงผสมในหัวเผาวัสดุพอรุน
5. การทดลองปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของเชื้อเพลิงน้ำมันผสม



รูปที่ 24 กรอบแนวคิดงานวิจัย

อุปกรณ์การทดลอง

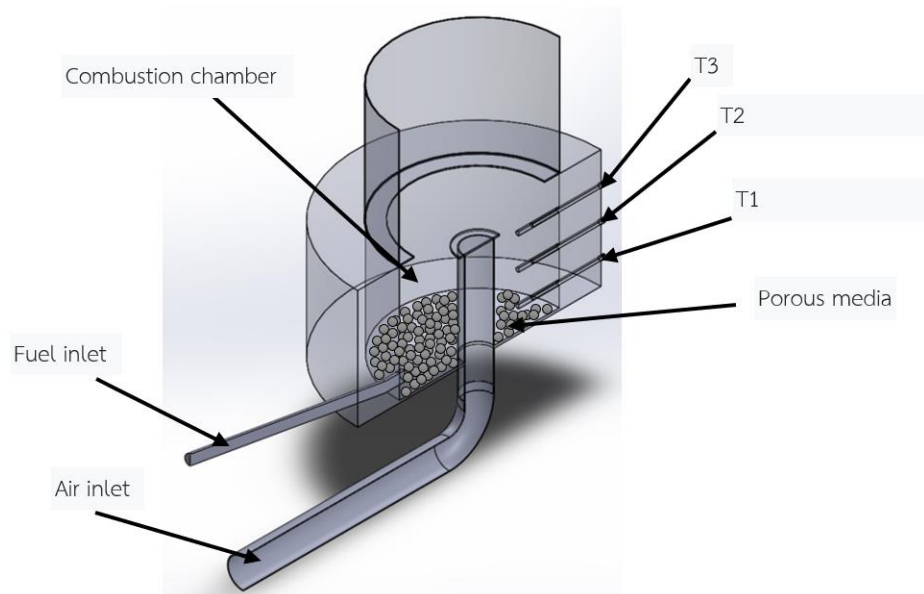
1. หัวเผาวัสดุพอรุน

เพื่อให้การวิจัยบรรลุวัตถุประสงค์ของการศึกษา หัวเผาวัสดุพอรุนสำหรับน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว โดยอุปกรณ์การทดลองที่สร้างขึ้นจะมีหลักการทำงานที่คล้ายกับงานวิจัยที่ผ่านมา และจะมีการดัดแปลงเพื่อให้สามารถใช้กับเชื้อเพลิงน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้ว ดังนี้

1. หัวเผามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 mm และเจาะรูตรงกลางเพื่อติดตั้งท่ออากาศ ให้อากาศสามารถไหลผ่านเข้าไปทำปฏิกิริยากับน้ำมันเชื้อเพลิงได้
 2. บริเวณรอบนอกหัวเผาจะหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนบริเวณผนังหัวเผา
 3. บริเวณที่ให้ความร้อนหลังการเผาไหม้ มีการติดตั้งแผ่นเหล็กเพื่อให้หม้อต้มน้ำสามารถรับความร้อนได้เต็มที่
- โดยหัวเผาวัสดุพูนที่ได้ มีลักษณะดังรูปที่ 25 และ 26



รูปที่ 25 ลักษณะหัวเผาวัสดุพูนที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 26 รายละเอียดของหัวเผาที่ทำการออกแบบ

2. การเลือกวัสดุพอรุนในหัวเผา

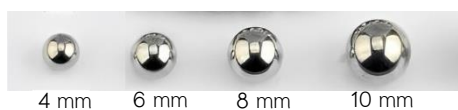
การศึกษานี้เป็นการศึกษาหัวเผาวัสดุพอรุนเพื่อให้สามารถปรับใช้น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงได้ เนื่องจากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วเป็นของเหลวที่มีการปนเปื้อนของสารเคมีอยู่มาก อย่างเช่น สารประกอบโพลีนิวเคลียสอะโรมาติก (polynucleuss aromatic : PNA) และมีการเติมสารเพิ่มคุณภาพ เช่น สารช่วยกระจายเขม่าและตะกอน สารต้านทานการกัดกร่อน เป็นต้น ทางผู้วิจัยจึงเลือกใช้ลูกเหล็กกลมและหินตุ้ปลาเป็นวัสดุพอรุนในหัวเผา ดังแสดงในรูปที่ 27 และ 28



ก) ลูกเหล็กกลม

ข) หินตุ้ปลา

รูปที่ 27 ลักษณะของลูกเหล็กกลม และหินตุ้ปลา



รูปที่ 28 ลักษณะวัสดุพูนชนิดลูกเหล็กกลมขนาดต่าง ๆ

เนื่องจากลูกเหล็กกลมเป็นวัสดุพูนที่มีความแข็งแรง ทนความร้อนสูงและยังมีความทนต่อสารเคมีสูง อีกทั้งยังมีค่าการนำความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนสูง และสำหรับวัสดุพูนหินตุ้ปลานั้น เนื่องจากงานวิจัยที่ผ่านมาหินตุ้ปลาถือเป็นวัสดุพูนที่มีค่าความพูนมาก และได้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ที่สูง ฉะนั้นทางผู้วิจัยจึงเลือกใช้วัสดุทั้ง 2 ชนิดนี้ เป็นวัสดุพูนในศึกษา

3. ระบบป้อนเชื้อเพลิง

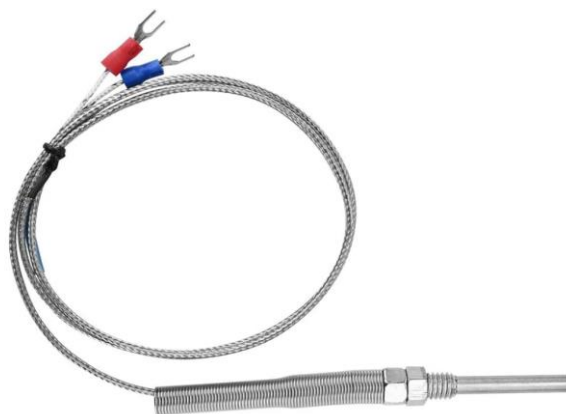
ระบบป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงจะใช้ลักษณะการไหลตกลงตามแรงโน้มถ่วง โดยสามารถปรับอัตราการไหลได้ตั้งแต่ 0.05 g/s ถึง 1.5 g/s ดังรูปที่ 29



รูปที่ 29 ระบบป้อนน้ำมันเชื้อเพลิง

4. อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Thermocouple)

อุปกรณ์วัดอุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิ้ล (Thermocouple) ซึ่งแสดงด้วยสัญลักษณ์ T_1 , ถึง T_5 , โดยใช้เทอร์โมคัปเปิ้ล Type K ซึ่งทำจากส่วนประกอบของวัสดุ Chromel – Alomel เป็นที่นิยมใช้งาน ให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันต่ออุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับงานวัดอุณหภูมิปานกลาง ๆ ถึงสูง โดยมีช่วงการวัดอุณหภูมิอยู่ที่ $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $+1350\text{ }^{\circ}\text{C}$ ดังรูปที่ 30



รูปที่ 30 Thermocouple Type K

5. ระบบป้อนอากาศ

ระบบป้อนอากาศจะใช้ลักษณะของเครื่องอัดอากาศผ่านวาล์วที่สามารถปรับอัตราการป้อนอากาศได้ โดยสามารถปรับอัตราการไหลได้ตั้งแต่ $3 \text{ m}^3/\text{hr}$ ถึง $42 \text{ m}^3/\text{hr}$ ดังรูปที่ 31



รูปที่ 31 เครื่องอัดอากาศ

6. อุปกรณ์วัดอัตราการป้อนอากาศ

อุปกรณ์วัดความเร็วที่ป้อนให้กับหัวเผา โดยจะวัดค่าที่ได้เป็น ความเร็วลม (m/s) ดังแสดงในรูปที่ 32



รูปที่ 32 เครื่องวัดความเร็วลม testo 405i

เมื่อได้ความเร็วแล้ว จึงนำมาคำนวณหาอัตราการป้อนอากาศ โดยคำนวณจาก

$$\dot{q}_{Air} = V \times A \quad (8)$$

เมื่อ \dot{q}_{Air} คือ อัตราการป้อนอากาศ (m^3/s)
 V คือ ความเร็วลม (m/s)
 A คือ พื้นที่ท่อลม (m^2)

วิธีการวัดจะเริ่มจากการติดตั้งเครื่องวัดความเร็วลมดังกล่าวกับท่อลมที่พอดีกับหัววัดและนำไปติดตั้งกับกับท่อที่จ่ายอากาศให้กับหัวเผา ดังแสดงในรูปที่ 33 และ 34 แล้วจึงทำการบันทึกค่า



รูปที่ 33 ลักษณะการติดตั้งเครื่องวัดความเร็วลมกับหัวเผาและเครื่องวัดอากาศ



รูปที่ 34 ตำแหน่งการวัดความเร็วลม

7. อุปกรณ์บันทึกค่าอุณหภูมิ (Temperature recorder)

อุปกรณ์บันทึกข้อมูลอุณหภูมิทั้งหมด ในการทดสอบ ใช้ Graphtec midi logger GL840 ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าว สามารถวัดอุณหภูมิได้สูงถึง 20 channel ดังรูปที่ 35



รูปที่ 35 Graphtec midi logger GL840

วิธีการทดลอง

ในการทดลองจะศึกษาอิทธิพลของ วัสดุพูน อัตราการป้อนอากาศและอัตราการป้อนเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ส่งผลต่อการเผาไหม้ โดยใช้น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว เป็นเชื้อเพลิงในการทดลอง โดยมีการทดลองทั้งหมด 5 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 การทดลองหาอัตราการป้อนอากาศที่เหมาะสมภายในหัวเผาวัสดุพูน

1. ทำการติดตั้งวัสดุพูนลูกเหล็กกลมขนาด 4 mm ลงในหัวเผา
2. จ่ายเชื้อเพลิงน้ำมันโซล่า ภายในหัวเผาแล้วทำการจุด
3. จ่ายอากาศเข้าไปในหัวเผาเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง
4. เมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงในหัวเผาหมดลง และอุณหภูมิภายในหัวเผาเริ่มลดลงอยู่ในช่วง $320 - 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ จึงทำการจ่ายเชื้อเพลิงน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วเข้าไปภายในหัวเผา ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 0.09 g/s ในปริมาตร 400 g
5. ทำการปรับอัตราการป้อนอากาศ ที่ $4\text{ m}^3/\text{hr}$
6. เริ่มทำการต้มน้ำเพื่อหาประสิทธิภาพ
7. บันทึกผล
8. ทำการทดลองตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 – 6 โดยทำการปรับอัตราการป้อนอากาศ จาก $4\text{ m}^3/\text{hr}$ เป็น $4.5\text{ m}^3/\text{hr}$, $5\text{ m}^3/\text{hr}$ และ $5.5\text{ m}^3/\text{hr}$ และทำการทดลองซ้ำทุกการทดลอง การทดลองละ 3 รอบ แล้วจึงทำการวิเคราะห์ผล

การทดลองที่ 2 การทดลองเปรียบเทียบชนิดของวัสดุพูนภายในหัวเผาระหว่างหินตุ้ปกับลูกเหล็กกลม

1. ทำการติดตั้งวัสดุพูนที่เลือกไว้แล้วจึงทำการจ่ายเชื้อเพลิงน้ำมันโซล่า ภายในหัวเผาและทำการจุด
2. จ่ายอากาศเข้าไปในหัวเผาให้เกิดการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เพื่อทำการอุ่นวัสดุพูนภายในหัวเผา
3. เมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงในหัวเผาหมดลง และอุณหภูมิภายในหัวเผาเริ่มลดลงอยู่ในช่วง $350 - 320\text{ }^{\circ}\text{C}$ จึงทำการจ่ายเชื้อเพลิงน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วเข้าไปภายในหัวเผา ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 0.09 g/s ในปริมาตร 400 g
4. ทำการปรับอัตราการป้อนอากาศที่เหมาะสมกับเชื้อเพลิงน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว
5. เริ่มบันทึกอุณหภูมิและต้มน้ำเพื่อหาประสิทธิภาพ

6. บันทึกผลการทดลอง

7. ทำการทดลองตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 – 6 โดยทำการเปลี่ยนวัสดุพูนที่มีขนาดใกล้เคียงกันคือ ลูกเหล็กกลม 10 *mm* และหินตุ้ปลา และทำการทดลองซ้ำทุกการทดลองละ 3 รอบ แล้วจึงทำการวิเคราะห์ผล

การทดลองที่ 3 การทดลองปรับเปลี่ยนขนาดของวัสดุพูนภายในหัวเผา

1. จ่ายเชื้อเพลิงน้ำมันโซล่า ภายในหัวเผาแล้วทำการจุด
2. จ่ายอากาศเข้าไปในหัวเผาเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง
3. เมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงในหัวเผาหมดลง และอุณหภูมิภายในหัวเผาเริ่มลดลงอยู่ในช่วง 320 – 350 °C จึงทำการจ่ายเชื้อเพลิงน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วเข้าไปภายในหัวเผา ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 0.09 *g/s* ในปริมาตร 400 *g*
4. ทำการปรับอัตราการป้อนอากาศ ที่เหมาะสมกับเชื้อเพลิงน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว
5. เริ่มบันทึกอุณหภูมิและตม่น้ำเพื่อหาประสิทธิภาพ
6. บันทึกผลการทดลอง
7. ก่อนทำการทดลองตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 – 6 ให้ทำการติดตั้งวัสดุพูนภายในหัวเผาก่อน โดยเริ่มทดลองตั้งแต่ขนาด 4 , 6 , 8 และ 10 *mm* และทำการทดลองซ้ำทุกการทดลองละ 3 รอบ แล้วจึงทำการวิเคราะห์ผล

การทดลองที่ 4 การทดลองใช้เชื้อเพลิงผสมในหัวเผาวัสดุพูน

1. ทำการติดตั้งวัสดุพูนที่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนดีที่สุด แล้วจึงทำการจ่ายเชื้อเพลิงน้ำมันโซล่า ภายในหัวเผาและทำการจุด
2. จ่ายอากาศเข้าไปในหัวเผาเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง และอุณหภูมิพูนภายในหัวเผา
3. เมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงในหัวเผาหมดลง และอุณหภูมิภายในหัวเผาเริ่มลดลงอยู่ในช่วง 320 – 350 °C จึงทำการจ่ายเชื้อเพลิงน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วเข้าไปภายในหัวเผาที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 0.09 *g/s* ในปริมาตร 400 *g*
4. ทำการปรับอัตราการป้อนอากาศ ที่เหมาะสมกับเชื้อเพลิงน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว
5. เริ่มทำการตม่น้ำเพื่อหาประสิทธิภาพ
6. บันทึกผล

7. ทำการทดลองตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 – 6 โดยทำการผสมเชื้อเพลิงน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วกับเชื้อเพลิงอื่น ๆ ที่สัดส่วน 5% โดยมวล ซึ่งเชื้อเพลิงตัวอย่างประกอบด้วย น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วกับน้ำมันพืชใช้แล้ว น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วกับน้ำมันก๊าด และน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วกับน้ำมันดีเซล และทำการทดลองซ้ำทุกการทดลองละ 3 รอบ แล้วจึงทำการวิเคราะห์ผล

การทดลองที่ 5 การทดลองปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของเชื้อเพลิงน้ำมันผสม

1. ทำการติดตั้งวัสดุพอรุนที่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนดีที่สุด แล้วจึงทำการจ่ายเชื้อเพลิงน้ำมันโซล่า ภายในหัวเผาและทำการจุด

2. จ่ายอากาศเข้าไปในหัวเผาเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง และอุณหภูมิพอรุนภายในหัวเผา

3. เมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงในหัวเผาหมดลง และอุณหภูมิภายในหัวเผาเริ่มลดลงอยู่ในช่วง $320 - 350 \text{ }^{\circ}\text{C}$ จึงทำการจ่ายเชื้อเพลิงน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วเข้าไปภายในหัวเผา ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 0.09 g/s ในปริมาตร 400 g

4. ทำการปรับอัตราการป้อนอากาศ ที่เหมาะสมกับเชื้อเพลิงน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว

5. เริ่มทำการต้มน้ำเพื่อหาประสิทธิภาพ

6. บันทึกผล

7. ทำการทดลองตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 – 6 โดยทำการผสมเชื้อเพลิงน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วกับเชื้อเพลิงที่ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนดีที่สุด และทำการลดเพิ่มสัดส่วนตัวอย่างเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลองที่ 3%, 4%, 5%, และ 10% โดยมวล และทำการทดลองซ้ำทุกการทดลองละ 3 รอบ แล้วจึงทำการวิเคราะห์ผล

แผนการดำเนินงานวิจัย

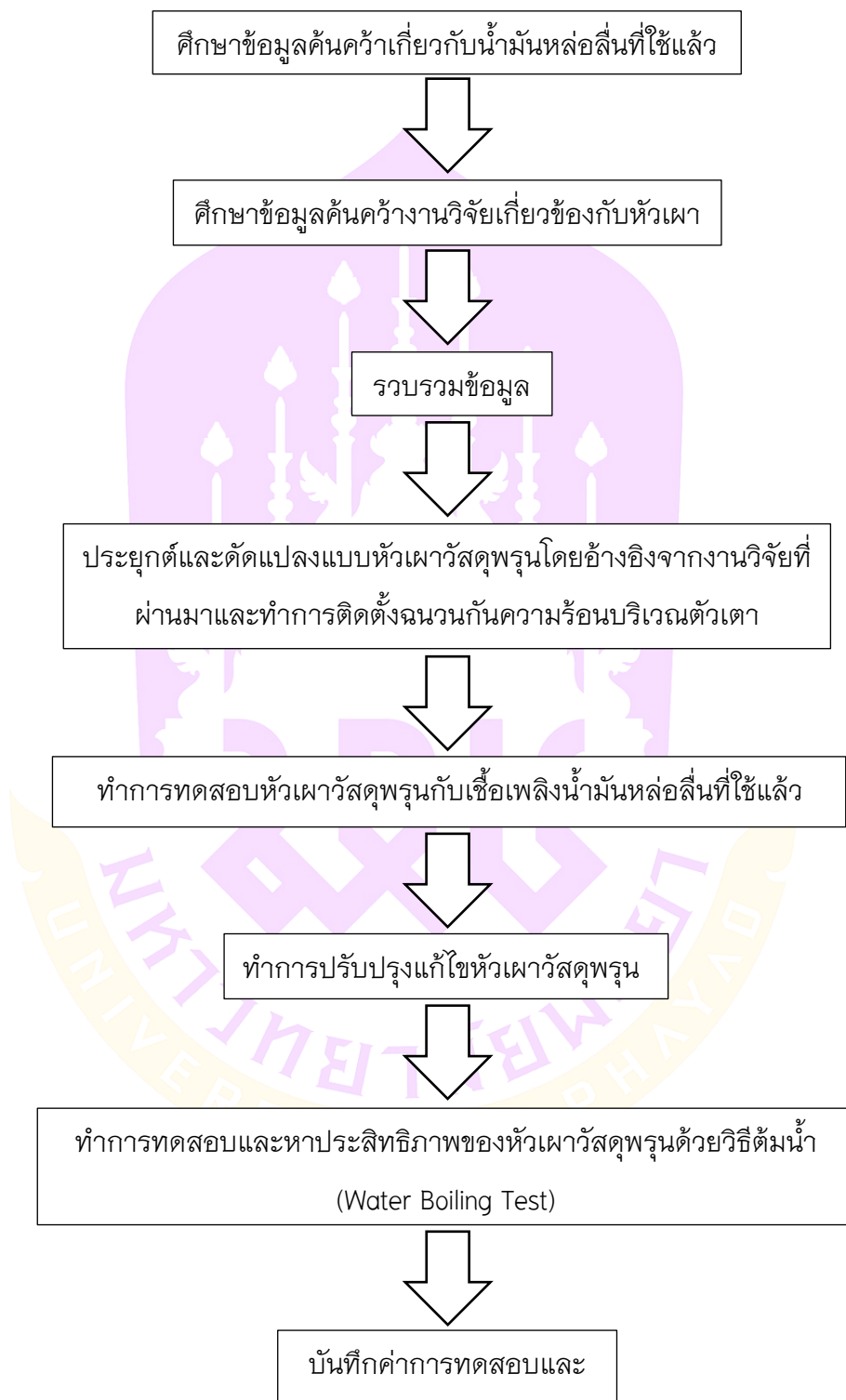
1. ศึกษาข้อมูลค้นคว้าเกี่ยวกับน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว
2. ศึกษาข้อมูลค้นคว้างานวิจัยเกี่ยวข้องกับหัวเผาวัสดุพอรุน
3. รวบรวมข้อมูล
4. ประยุกต์และดัดแปลงแบบหัวเผาวัสดุพอรุนโดยอ้างอิงจากงานวิจัยที่ผ่านมาและทำการติดตั้งจนจนกว่าความร้อนบริเวณตัวเตา
5. ทำการทดสอบหัวเผาวัสดุพอรุนกับเชื้อเพลิงน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว
6. ทำการปรับปรุงแก้ไขหัวเผาวัสดุพอรุน

7. ทำการทดสอบและหาประสิทธิภาพของหัวเผาวัสดุพูน ด้วยวิธีต้มน้ำ (Water Boiling Test)

8. บันทึกค่าการทดสอบและสรุปผล



ในการจัดทำโครงการเริ่มดำเนินการตั้งแต่เดือน พฤศจิกายน 2565 – เดือนเมษายน 2566 ซึ่งมีแผนการดำเนินงาน ดังรูปที่ 36



รูปที่ 36 แผนการดำเนินงาน

บทที่ 4

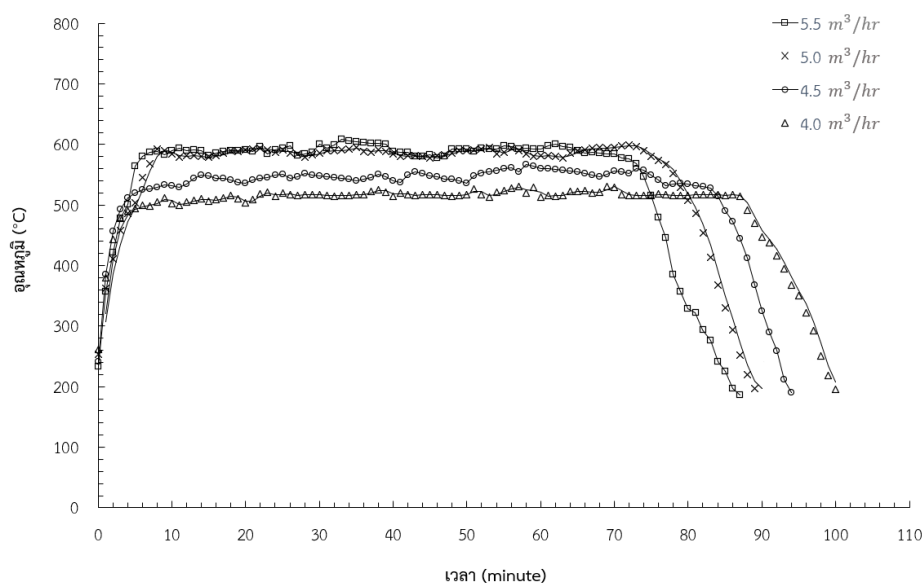
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะอธิบายถึงผลการทดลอง การปรับอัตราการป้อนอากาศที่มีผลต่อการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง การเปรียบเทียบผลของการเปลี่ยนชนิดของวัสดุพอรุนระหว่างลูกเหล็กกลมและหินตุ้ปลา การเปรียบเทียบอิทธิพลของการเปลี่ยนขนาดของวัสดุพอรุนในหัวเผา การเปรียบเทียบอิทธิพลของการผสมเชื้อเพลิงสำหรับหัวเผาวัสดุพอรุน และการเปรียบเทียบอิทธิพลของการเพิ่มอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงสำหรับหัวเผาวัสดุพอรุน

ผลการทดลอง

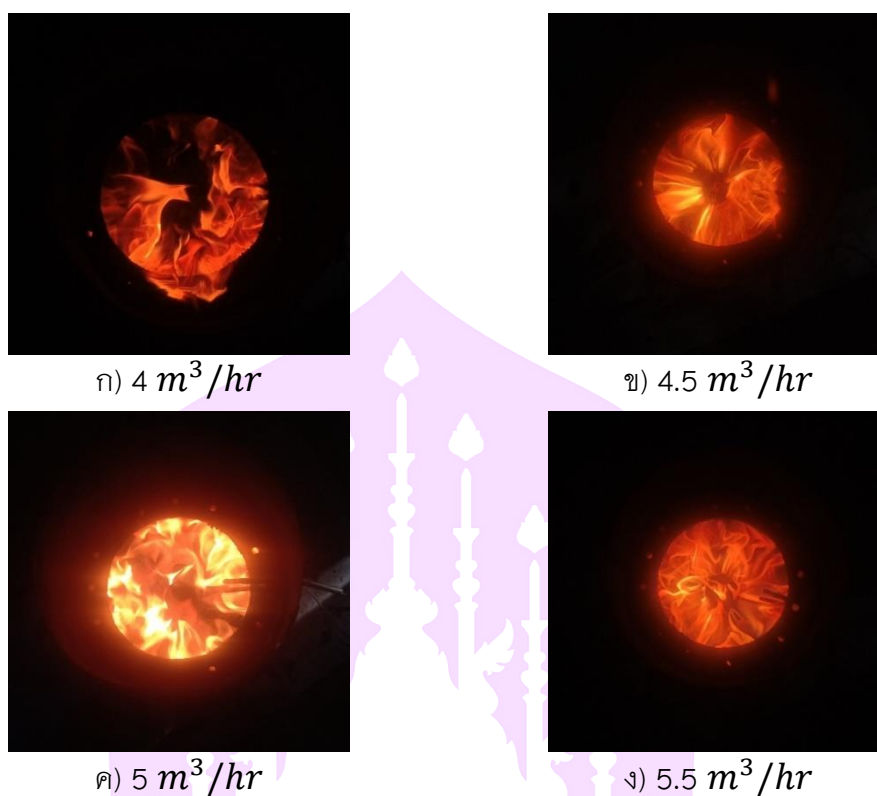
1. การทดลองหาอัตราการป้อนอากาศที่เหมาะสมภายในหัวเผาวัสดุพอรุน

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบเพื่อหาอัตราการป้อนอากาศที่เหมาะสมที่จะทำให้หัวเผาสามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วให้ได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด และเนื่องจากน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วมีคุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับน้ำมันเตา (Fuel Oils) ดังนั้นจึงกำหนดอัตราการป้อนอากาศเริ่มต้นที่ $4 \text{ m}^3/\text{hr}$ และจำกัดอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่ 0.09 g/s ซึ่งคิดเป็นอัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิง (A/F Ratio) เท่ากับ 15.0 แล้วจึงทำการเพิ่มอัตราการป้อนอากาศเป็น $4.5 \text{ m}^3/\text{hr}$, $5 \text{ m}^3/\text{hr}$ และ $5.5 \text{ m}^3/\text{hr}$ ตามลำดับ ซึ่งให้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 37, 38 และตารางที่ 4



รูปที่ 37 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในหัวเผา เมื่อมีการปรับอัตราการป้อนอากาศภายในหัวเผาวัสดุพรมขนาด 4 mm

จากรูปที่ 37 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในหัวเผา เมื่อมีการปรับอัตราการป้อนอากาศภายในหัวเผาวัสดุพรมขนาด 4 mm ที่สภาวะค่าความพรม (Φ) เท่ากับ 0.216 และอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.09 g/s พบว่าเมื่อมีการเพิ่มอัตราการป้อนอากาศ จาก $4 \text{ m}^3/\text{hr}$ เป็น $4.5 \text{ m}^3/\text{hr}$ และ $5 \text{ m}^3/\text{hr}$ อุณหภูมิภายในหัวเผามีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ แต่จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนอากาศเป็น $5.5 \text{ m}^3/\text{hr}$ เป็นผลมาจากอากาศส่วนเกิน (Excess air) เนื่องจากภายในระบบได้รับอากาศมากเกินไปจนความจำเป็น ซึ่งส่งผลโดยตรงกับการเผาไหม้และการหมุนเวียนความร้อน กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิในการเผาไหม้ลดลงในขั้นตอนการการคืนความร้อนก่อนที่จะทำให้อุณหภูมิจะออกจากระบบ ความร้อนที่จะนำไปอุ่นอากาศกับเชื้อเพลิงลดลง ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 38 และส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนและกำลังความร้อนลดลง ดังแสดงในตารางที่ 4



รูปที่ 38 ลักษณะของเปลวไฟภายในหัวเผา ในแต่ละอัตราการป้อนอากาศ

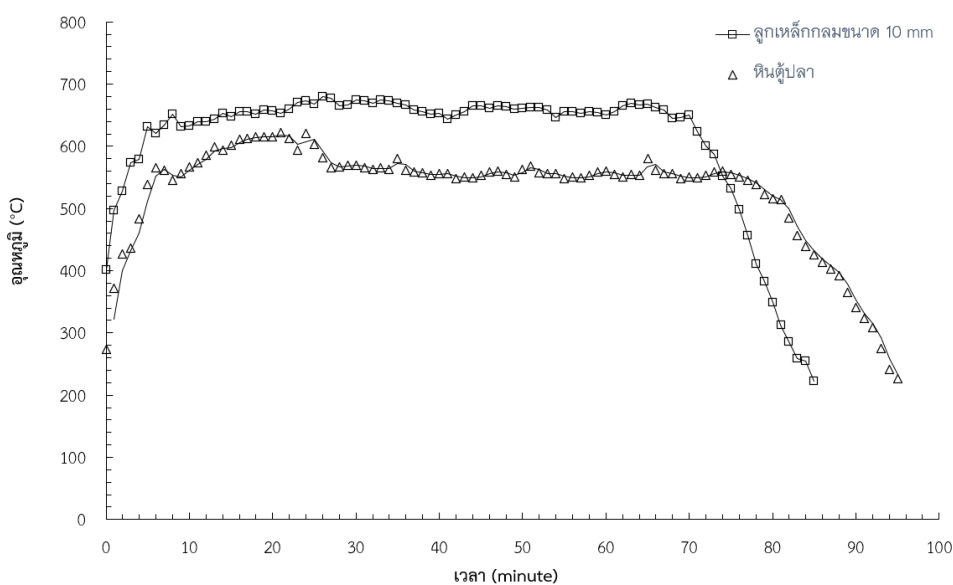
ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน กำลังความร้อน เมื่อมีการปรับอัตราการป้อนอากาศ

วัสดุพอรุน	ค่าความพอรุน (ϕ)	อัตราการป้อนอากาศ	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%)	กำลังความร้อน (kW)
ลูกเหล็กกลม 4 mm	0.216	$4 \text{ m}^3/\text{hr}$	17.67	0.647
		$4.5 \text{ m}^3/\text{hr}$	18.57	0.778
		$5 \text{ m}^3/\text{hr}$	20.19	0.936
		$5.5 \text{ m}^3/\text{hr}$	19.57	1.022

ดังนั้นอัตราการป้อนอากาศที่เหมาะสมที่ทำให้หัวเผาได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อน และกำลังความร้อนดีที่สุดในหัวเผา นี้ คือ ที่อัตราการป้อนอากาศเท่ากับ $5 \text{ m}^3/\text{hr}$ และที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.09 g/s หรือคิดเป็นอัตราส่วน ระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิง (A/F Ratio) เท่ากับ 18.5

2) การทดลองเปรียบเทียบชนิดของวัสดุพรมภายในหัวเผาระหว่างหินตุ้ปลากับ ลูกเหล็กกลม

ผู้วิจัยได้ทำการเลือกเปรียบเทียบวัสดุพรม 2 ชนิดคือ หินตุ้ปลาและลูกเหล็กกลม โดยเลือกใช้ลูกเหล็กกลมที่มีขนาดใกล้เคียงกับหินตุ้ปลา คือ 10 mm โดยกำหนดอัตราการการป้อนอากาศที่ $5\text{ m}^3/\text{hr}$ และอัตราการป้อนเชื้อเพลิง 0.09 g/s ซึ่งให้ผลการทดลองดังในรูปที่ 39, 40 และตารางที่ 5



รูปที่ 39 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในหัวเผาวัสดุพรม ระหว่างลูกเหล็กกลม ขนาด 10 mm กับหินตุ้ปลา

จากรูปที่ 39 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในหัวเผาวัสดุพรม ระหว่างลูกเหล็กกลมขนาด 10 mm กับหินตุ้ปลา ที่สภาวะอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.09 g/s และอัตราการป้อนอากาศเท่ากับ $5\text{ m}^3/\text{hr}$ พบว่าที่วัสดุพรมลูกเหล็กกลม 10 mm ($\phi = 0.284$) อุณหภูมิมีแนวโน้มสูงกว่าที่วัสดุพรมหินตุ้ปลา ($\phi = 0.286$) และจากรูปที่ 40 ลักษณะเปลวไฟของหัวเผาวัสดุพรม จะสังเกตเห็นว่าเปลวไฟที่วัสดุพรมลูกเหล็กกลม 10 mm ($\phi = 0.284$) มีการเผาไหม้เต็มหน้าตัด ซึ่งความร้อนจากเปลวไฟจะถูกถ่ายเทให้กับผนังของห้องเผาไหม้แล้วย้อนกลับไปยังวัสดุพรมโดยการแผ่รังสีความร้อน โดยวัสดุพรมจะทำหน้าที่ดูดซับพลังงานความร้อน เอาไว้เพื่อใช้ในการระเหยเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นไปตามหลักการหมุนเวียนพลังงานความร้อน ถึงอย่างไรก็ยังคงมีการสูญเสียความร้อนบางส่วนไปกับไอเสียเช่นกัน

แต่เมื่อพิจารณาเปลวไฟที่วัสดุพอรุนหินตุ้ปลา ($\phi = 0.286$) พบว่าเปลวไฟมีการเผาไหม้ไม่เต็มหน้าตัด มีลักษณะการเผาไหม้เป็นกระจุกบริเวณตรงกลางหัวเผาเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งลักษณะเปลวไฟดังกล่าวเกิดจากเชื้อเพลิงที่ไม่สามารถระเหยได้หมด เพราะวัสดุพอรุนหินตุ้ปลา มีค่าความพอรุนสูง แต่เนื้อหรือปริมาตรของวัสดุที่ใช้ในการดูดซับความร้อนมีน้อยกว่า แม้จะมีพื้นที่ผิวในการสัมผัสเชื้อเพลิงมาก



ก) วัสดุพอรุนลูกเหล็กกลม 10 mm ($\phi = 0.284$)



ข) วัสดุพอรุนหินตุ้ปลา ($\phi = 0.286$)

รูปที่ 40 ลักษณะเปลวไฟของหัวเผาวัสดุพอรุน

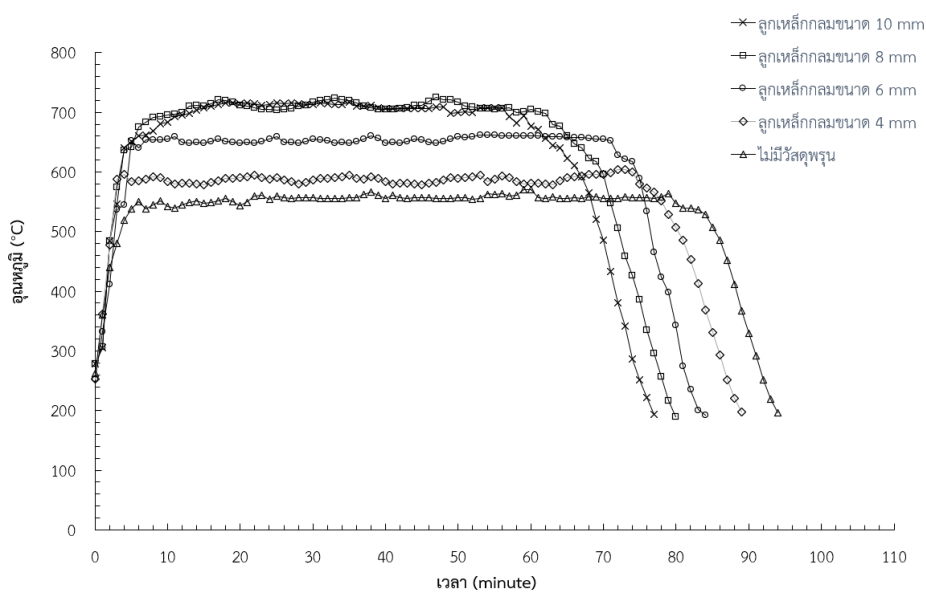
ตามหลักการคุณสมบัติของค่าความพอรุนแล้ว วัสดุพอรุนที่มีค่าความพอรุนมาก จะมีพื้นที่ผิวสัมผัสเชื้อเพลิงในการถ่ายเทความร้อนเพื่อเปลี่ยนสถานะของเชื้อเพลิงเหลว กลายเป็นไอสูงตามไปด้วย แต่ในการทดลองนี้กลับให้ผลตรงกันข้าม เนื่องมาจากประการแรก ในชั้นวัสดุพอรุนชั้นตอนการอุ้มน้ำเชื้อเพลิงมีการถ่ายเทความร้อนในลักษณะของการนำความร้อน มากกว่าการแผ่รังสีความร้อน เพราะที่วัสดุพอรุนที่มีค่าความพอรุนต่ำ ๆ จะมีเนื้อวัสดุหรือ ปริมาตรของวัสดุมากกว่าแทน ซึ่งทำให้สามารถกักเก็บความร้อนได้ดี ประการที่สองวัสดุพอรุน ลูกเหล็กกลม 10 mm มีค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity, k) และค่าการแผ่รังสี ความร้อน (Emissivity, ϵ) มากกว่าหินตุ้ปลาอย่างเห็นได้ชัด ส่งผลให้ได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนและกำลังความร้อน ดังแสดงในตาราง 5

ตารางที่ 5 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน กำลังความร้อน เมื่อมีการเปลี่ยนชนิดวัสดุพอรุนภายในหัวเผา

วัสดุพอรุน	ค่าความพอรุน (ϕ)	ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity, k) ($W/m K$)	ค่าการแผ่รังสีความร้อน (Emissivity, ϵ)	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%)	กำลังความร้อน (kW)
ลูกเหล็กกลม 10 mm	0.284	79.5	0.70	23.07	1.126
หินตุ้ปลา	0.286	0.5	0.28	18.34	0.909

3. การทดลองปรับเปลี่ยนขนาดของวัสดุพอรุนภายในหัวเผา

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเปลี่ยนขนาดวัสดุพอรุนภายในหัวเผา และทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในหัวเผาระหว่างหัวเผาแบบไม่มีวัสดุพอรุนกับวัสดุพอรุนลูกเหล็กกลม เพื่อหาขนาดวัสดุพอรุนที่เหมาะสมสำหรับหัวเผาวัสดุพอรุนเชื้อเพลิงน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว โดยวัสดุพอรุนลูกเหล็กกลมมีขนาดตั้งแต่ 4, 6, 8 และ 10 mm โดยกำหนดอัตราการป้อนอากาศเท่ากับ $5 m^3/hr$ และอัตราการป้อนเชื้อเพลิงอยู่ที่ $0.09 g/s$ ซึ่งให้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 41 และ ตารางที่ 6



รูปที่ 41 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในหัวเผา

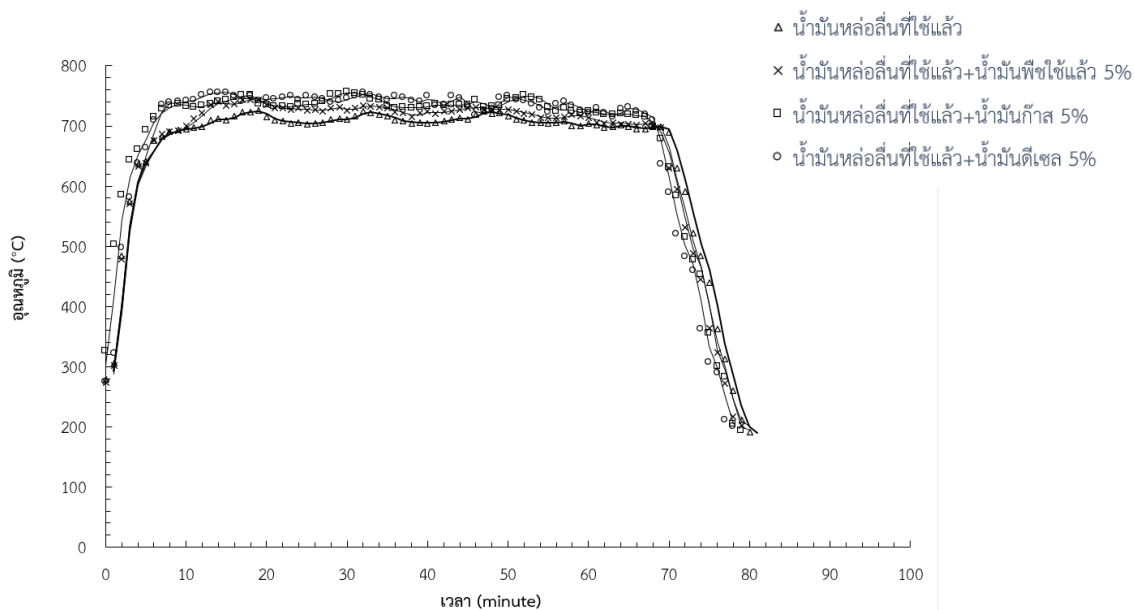
จากรูปที่ 41 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในหัวเผา เมื่อมีการเปลี่ยนขนาดวัสดุพูน ที่สภาวะอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.09 g/s และอัตราการป้อนอากาศเท่ากับ $5 \text{ m}^3/\text{hr}$ พบว่าเมื่อมีการเพิ่มวัสดุพูนและการเพิ่มขนาดของวัสดุพูน ตั้งแต่ ลูกเหล็กกลม 4, 6, และ 8 mm อุณหภูมิภายในหัวเผามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นไปตามหลักการของคุณสมบัติค่าความพูน เมื่อวัสดุพูนที่มีค่าความพูนมาก จะมีพื้นที่ผิวในการสัมผัสเชื้อเพลิงในการถ่ายเทความร้อนเพื่อเปลี่ยนสถานะของเชื้อเพลิงเหลวกลายเป็นไอสูง ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ดียิ่งขึ้น แต่เมื่อเพิ่มขนาดของวัสดุพูนเป็นลูกเหล็กกลม 10 mm กลับทำให้อุณหภูมิภายในหัวเผามีแนวโน้มลดลง เนื่องมาจากวัสดุพูนลูกเหล็กกลม 10 mm มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับเชื้อเพลิงน้อย และอิทธิพลของการนำความร้อนในวัสดุพูนชนิดลูกเหล็กกลมมีค่ามาก ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเพื่อเปลี่ยนสถานะของเชื้อเพลิงเหลวกลายเป็นไอลดลง ถึงแม้จะมีค่าความพูนมาก ส่งผลให้ได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนและกำลังความร้อนลดลง ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ประสิทธิภาพ กำลังความร้อน ของหัวเผาวัสดุพูนวัสดุพูนขนาดต่าง

วัสดุพูน	ค่าความพูน (\emptyset)	พื้นที่ผิวของวัสดุพูน (m^2)	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%)	กำลังความร้อน (kW)
ไม่มีวัสดุพูน	-	-	19.10	0.885
ลูกเหล็กกลม 4 mm	0.216	0.155	20.19	0.936
ลูกเหล็กกลม 6 mm	0.243	0.087	22.75	1.053
ลูกเหล็กกลม 8 mm	0.256	0.074	23.78	1.138
ลูกเหล็กกลม 10 mm	0.284	0.055	23.07	1.126

4. การทดลองใช้เชื้อเพลิงผสมในหัวเผาวัสดุพูน

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบหัวเผาวัสดุพูน โดยการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วผสมกับเชื้อเพลิงอื่น ๆ ได้แก่ น้ำมันพืชใช้แล้ว น้ำมันก๊าด และน้ำมันดีเซล ที่วัสดุพูนขนาดลูกเหล็ก 8 mm อัตราการป้อนอากาศ $5 \text{ m}^3/\text{hr}$ และอัตราการป้อนเชื้อเพลิง 0.09 g/s โดยทดลองกับ ซึ่งแสดงผลการทดลองดังในรูปที่ 42 และตารางที่ 7



รูปที่ 42 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในหัวเผาวัสดุพรุณ เมื่อมีการนำน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วผสมกับเชื้อเพลิงอื่น ๆ

จากรูปที่ 42 แสดงอุณหภูมิภายในหัวเผาวัสดุพรุณ เมื่อมีการนำน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วผสมกับเชื้อเพลิงอื่น ๆ ที่อัตราส่วน 5% ต่อมวล ที่อัตราการป้อนอากาศอยู่ที่ $5 \text{ m}^3/\text{hr}$ และมีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่ 0.09 g/s และใช้หัวเผาวัสดุพรุณ โดยใช้วัสดุพรุณลูกเหล็กกลมขนาด 8 mm พบว่าเชื้อเพลิงน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วผสมกับน้ำมันดีเซล อุณหภูมิมีแนวโน้มเพิ่มสูงที่สุดแม้เชื้อเพลิงผสมระหว่างน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้กับน้ำมันก๊าดมีค่าความร้อนรวมสูงกว่าเชื้อเพลิงผสมระหว่างน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วกับน้ำมันดีเซล เนื่องจากน้ำมันก๊าดมีจุดเดือดต่ำกว่าน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วและน้ำมันดีเซล เมื่อเกิดการเผาไหม้ น้ำมันก๊าดที่ผสมอยู่จะถูกเผาไหม้จนหมดก่อนน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วผสมอยู่ ส่งผลให้ได้ อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงตัวมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิเฉลี่ยของเชื้อเพลิงน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว ทำให้ได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนและกำลังความร้อนน้อยกว่าเชื้อเพลิงผสมระหว่างน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วกับน้ำมันดีเซล ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน กำลังความร้อน เมื่อมีผสมเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงในการผสม	ค่าความร้อน ร้อนที่ได้ (kJ)	ประสิทธิภาพ เชิงความร้อน (%)	กำลัง ความร้อน (kW)	ราคา เชื้อเพลิงผสม (บาท)	อัตราส่วนกำลัง ความร้อนต่อ ราคาเชื้อเพลิง (kW/บาท)
น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว	18,152	23.78	1.138	4.392	0.259
น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว+ น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว 5 % โดยมวล	20,152	24.93	1.202	4.842	0.248
น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว+ น้ำมันก๊าด 5 % โดยมวล	20,206	25.42	1.296	5.432	0.238
น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว+ น้ำมันดีเซลB7 5 % โดย มวล	20,330	25.82	1.335	5.109	0.260

ที่มา: ThaiGasifier.com, 2560

ตารางที่ 8 ราคาเชื้อเพลิง

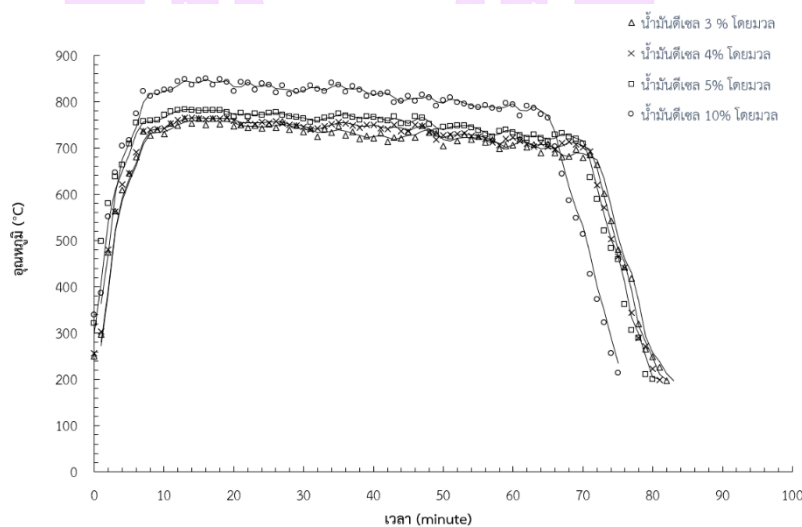
เชื้อเพลิง	ราคาเชื้อเพลิง (บาท/ลิตร)
น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว	9
น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว	25
น้ำมันก๊าด	62
น้ำมันดีเซล B7	30

ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน, 2556

เมื่อทำการคำนวณต้นทุนพลังงานกับกำลังความร้อนที่ผลิตได้และเปรียบเทียบความคุ้มค่าของเชื้อเพลิงที่สูญเสีย ดังแสดงในตารางที่ 7 และ 8 พบว่าเชื้อเพลิงผสมระหว่างน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วกับน้ำมันดีเซล B7 5% โดยมวล เป็นเชื้อเพลิงผสมที่ให้กำลังความร้อนต่อราคาเชื้อเพลิงมากที่สุด เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงผสมอื่น ๆ ดังแสดงในตาราง

5. การทดลองปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของเชื้อเพลิงน้ำมันผสม

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบหัวเผาวัสดุพอร์น โดยมีการปรับอัตราส่วนส่วนของน้ำมันดีเซล B7 ผสมกับน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว ที่อัตราส่วนน้ำมันดีเซล B7 3% , 4% , 5% และ 10% โดยมวล ที่อัตราการป้อนอากาศอยู่ที่ $5 \text{ m}^3/\text{hr}$ และมีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่ 0.09 g/s และใช้หัวเผาวัสดุพอร์น ที่วัสดุพอร์นลูกเหล็กกลมขนาด 8 mm ซึ่งให้ผลการทดลองดังในรูปที่ 43 และตารางที่ 9



รูปที่ 43 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในหัวเผาวัสดุพอร์น เมื่อมีการปรับอัตราส่วนส่วนผสมของน้ำมันดีเซลผสมกับน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว

จากรูป 43 จะเห็นว่า เมื่อมีการลดอัตราส่วนผสมของน้ำมันดีเซลลดลง จาก 5% เป็น 4% และ 3% ส่งผลทำให้ได้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในหัวเผาลดลง ที่ $765.38 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็น $737.64 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $726.70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ และเมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนผสมของน้ำมันดีเซลเป็น 10% ส่งผลทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในหัวเผาเพิ่มสูงขึ้นเป็น $815.66 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และจากการทดลองดังกล่าวสามารถคำนวณประสิทธิภาพ และกำลังความร้อนได้ ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ประสิทธิภาพ กำลังความร้อน น้ำหนักเชื้อเพลิงและค่าใช้จ่ายหลังการเผาไหม้
เมื่อมีการผสมเขื่อน้ำมันดีเซลในปริมาตรต่าง ๆ ที่หัวเผาวัสดุพรุน

เชื้อเพลิงในการผสม	ประสิทธิภาพ เชิงความร้อน (%)	กำลัง ความร้อน (kW)	ราคาเชื้อเพลิง ผสม (บาท)	อัตราส่วนกำลัง ความร้อนต่อ ราคาเชื้อเพลิง (kW/บาท)
น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว+ น้ำมันดีเซล 3% โดยมวล	24.14	1.199	4.914	0.244
น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว+ น้ำมันดีเซล 4% โดยมวล	24.81	1.251	5.007	0.249
น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว+ น้ำมันดีเซล 5% โดยมวล	25.82	1.335	5.109	0.260
น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว+ น้ำมันดีเซล 10% โดยมวล	28.72	1.329	5.595	0.237

จากตารางที่ 9 พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนผสมของน้ำมันดีเซลมากขึ้น ไม่ได้ส่งผลดี
อย่างเดี่ยวต่อการเผาไหม้ สังเกตได้จาก เมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนผสมน้ำมันดีเซลจาก 5% โดย
มวลเป็น 10% โดยมวล ส่งผลให้ได้อัตราส่วนกำลังความร้อนต่อราคาเชื้อเพลิง ลดน้อยลง
อย่างเห็นได้ชัด

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผล

จากการทดลองหัวเผาวัสดุพูนสำหรับเชื้อเพลิงน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว โดยมีการทั้งหมด 5 การทดลอง สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. การทดลองหาอัตราการป้อนอากาศที่เหมาะสมภายในหัวเผาวัสดุพูน พบว่าที่อัตราการป้อนอากาศที่ $5 \text{ m}^3/\text{hr}$ และที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 0.09 g/s หรือคิดเป็นอัตราส่วน ระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิง (A/F Ratio) เท่ากับ 18.5 เป็นอัตราส่วนที่ทำให้หัวเผาได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนดีที่สุด สำหรับหัวเผาที่ใช้ น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิง
2. การทดลองเปรียบเทียบชนิดของวัสดุพูนภายในหัวเผาระหว่างหินตุ้ปลากับลูกเหล็กกลม พบว่าหัวเผาที่ใช้วัสดุพูนลูกเหล็กกลมที่มีค่าความพูน (\emptyset) เท่ากับ 0.284 เป็นวัสดุพูนที่ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนและกำลังความร้อนดีกว่าวัสดุพูนหินตุ้ปลาที่มีค่าความพูน (\emptyset) เท่ากับ 0.286
3. การทดลองปรับเปลี่ยนขนาดของวัสดุพูนภายในหัวเผา พบว่าที่หัวเผาวัสดุพูนลูกเหล็กกลม ขนาด 8 mm ที่มีค่าความพูน (\emptyset) เท่ากับ 0.256 เป็นหัวเผาวัสดุพูนที่ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนและกำลังความร้อนมากที่สุดเท่ากับ 23.78% และ 1.138 kW
4. การทดลองใช้เชื้อเพลิงผสมในหัวเผาวัสดุพูน พบว่าเชื้อเพลิงผสมระหว่างน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วกับน้ำมันดีเซล B7 5% ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนและกำลังความร้อนสูงที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 25.82% และ 1.335 kW
5. การทดลองปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของเชื้อเพลิงน้ำมันผสม พบว่าเมื่อมีการเพิ่มสัดส่วนของน้ำมันดีเซล จาก 5% โดยมวลเป็น 10% โดยมวล ทำให้ได้กำลังความร้อนและประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้น แต่เมื่อนำมาเทียบอัตราส่วนการเพิ่มขึ้นของกำลังความร้อนและราคาเชื้อเพลิงที่ต้องจ่ายถือว่าไม่คุ้มค่า

ข้อเสนอแนะ

1. ในช่วงขั้นตอนการอุ่นวัสดุพูนจะใช้เวลานานมาก เนื่องจากต้องอาศัยอุณหภูมิที่สูงมากเพื่อให้ได้วัสดุพูนที่มีอุณหภูมิสูงทั่วทั้งหัวเผา ดังนั้นควรมีการปรับปรุงหรือติดตั้งระบบหัวเผาขนาดเล็กภายในหัวเผา เพื่อให้หัวเผาสามารถอุ่นวัสดุพูนได้รวดเร็วและทั่วถึงมากยิ่งขึ้น

2. หลังการจุดหัวเผา ปัญหาที่ตามมาคือซี้เถ้าจากเชื้อเพลิงหลังการเผาไหม้ซึ่งปัญหาดังกล่าวส่งผลให้ค่าความพูนภายในหัวเผาเปลี่ยนแปลง ดังนั้นก่อนจุดใช้งานทุกครั้งควรมีการทำความสะอาดหรือกำจัดก่อนซี้เถ้าก่อน เพื่อให้หัวเผาสามารถเผาไหม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น



บรรณานุกรม



บรรณานุกรม

- Deziel, C. (2018 , April). Why Does Steel Feel Colder Than Wood ? . <https://sciencing.com/steel-feel-colder-wood-5918.html>.
- Madhusudan S, V. K. G., and Gururaja S. . (2017). Design and Fabrication of Oil Burner, Based on Used Engine Oil as a Sustainable Source of Energy. . Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR), Vol. 3(Issue-1).
- ThaiGasifier.com. (2560). ค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ
- Weinberg, F. J. (1971). Combustion temperature: the future ? . Nature, 233(5317), 239-241.
- กฤตาคม, บ. (2553). หัวพ่นไฟอุตสาหกรรมและการประยุกต์ใช้วัสดุพ่นในหัวเผาพ่นไฟ. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม. , 12 (2). , 85 - 92.
- กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย. (2546). อันตรายจากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว. <http://www.pcd.go.th/SolidWaste/Lubricantoil.htm>.
- บัณฑิต กฤตาคม, พ. อ., คมเพชร อินลา, และ สาธิต ทูลไธสง. (2012). การเผาไหม้น้ำมันดีเซลในหัวเผาพ่นไฟวัสดุพ่นชนิดเม็ดกลมอัดแน่นที่มีโครงสร้างแบบเนื้อเดียวและกึ่งเนื้อเดียว. วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร 20(3).(3).
- บุญรักษา, พ. (2547). ปัญหาน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วกับแนวทางการจัดการในประเทศไทย. วิชาการ (มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ).
- เผ่าผาง, น. (2020, มิถุนายน). รู้จักค่า Emissivity สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน. <https://www.neonics.co.th/ir-thermometer/what-is-emissivity.html>.
- พิพัฒน์ อมตฉายา, บ. ก., และ สาธิต ทูลไธสง. . (2554). หัวพ่นไฟวัสดุพ่นชนิดเซรามิกซ์ โดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง. . วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา ปีที่ 22 (1).
- เพ็ชรยิ้ม, ณ. (2557). คีนซีพ่นน้ำมันเครื่องใช้แล้วกันเถอะ. สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- รุ่งโรจน์ชัยพร, ภ. (2554). วัสดุพ่นคืออะไร. วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง.
- ว่องวัชรพร, ก. (2556). หัวเผาวัสดุพ่นสมรรถนะสูง Princess of Naradhiwas University Journal. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน. (2556). น้ำมัน, ก๊าซธรรมชาติ. .
- สำเริง จักรใจ, ส. ส., และ ชูติเดช ผ่องใส (2547). การเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวโดยหัวเผาวัสดุพ่นชนิดไม่มีการแตกตัวเป็นละอองสเปรย์. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 18.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- สุदारทร ปราณปัญญา, พ. ๓., สุวัจน์ แยกโคกสูง, ธนาวุฒิ ครุฑตระหนอย, และ บัณฑิต กฤตาคม (2559). อิทธิพลค่าความพูนของวัสดุพูนตัวแปลงรังสีที่มีต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ของหัวพ่นไฟเชื้อเพลิงเหลวชนิดวัสดุพูนแบบสองชั้น. Paper presented at the การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 30.
- หอมระรื่น, อ. (2556). การพัฒนาสมรรถนะหัวเผาวัสดุพูนที่มีการเผาไหม้เป็นลำดับขั้นสำหรับเชื้อเพลิงผสมโดยไม่มีสารสเปรย์. (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.



ภาคผนวก

การทดลอง



ตาราง ก.1 แสดงอุณหภูมิภายในหัวเผาเมื่อมีการปรับอัตราการป้อนอากาศ ที่วัสดุพูน
ลูกเหล็กกลม 4 mm

เวลา (นาที)	อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (m^3/hr)			
	4.0	4.5	5	5.5
0	261.787	241.527	253.238	232.866
1	380.174	385.301	362.262	356.820
2	442.800	457.188	410.990	421.174
3	477.466	493.131	458.424	477.848
4	489.730	511.103	486.424	501.440
5	494.811	520.089	504.317	563.916
6	500.077	524.582	544.954	579.943
7	498.561	526.828	568.351	587.652
8	505.426	529.075	592.547	588.119
9	512.132	533.041	590.054	583.304
10	501.994	531.514	583.999	589.904
11	499.892	529.510	579.661	594.204
12	505.343	534.157	581.354	590.335
13	508.346	544.128	581.733	591.282
14	510.868	549.683	580.054	590.304
15	506.961	548.223	578.513	582.123
16	508.843	544.493	582.078	585.557
17	512.144	544.223	585.330	587.782
18	515.653	541.337	589.201	589.974
19	510.058	537.528	588.698	590.223
20	503.914	536.564	590.546	591.789
21	509.524	541.533	592.353	588.031
22	519.110	543.974	594.464	596.028
23	520.660	545.569	590.912	584.501

เวลา (นาที)	อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (m^3/hr)			
	4.0	4.5	5	5.5
24	514.885	549.486	587.309	590.854
25	520.238	550.276	590.506	593.875
26	516.991	543.625	586.012	597.793
27	515.604	547.259	583.986	582.187
28	517.494	552.590	579.648	583.997
29	517.365	548.790	582.723	587.202
30	516.659	548.429	585.974	600.314
31	515.936	547.312	589.846	593.514
32	515.087	545.066	589.343	598.983
33	516.009	544.685	590.546	609.024
34	515.651	542.532	592.353	606.050
35	517.541	539.571	594.542	603.928
36	517.412	543.208	588.990	602.807
37	522.886	545.074	587.386	601.917
38	525.807	550.513	591.583	601.914
39	520.889	546.606	589.090	600.827
40	515.114	539.732	584.063	588.474
41	520.467	537.698	579.725	586.472
42	516.991	549.510	581.050	586.965
43	515.604	554.160	581.429	579.884
44	517.494	552.375	579.750	579.822
45	517.365	547.929	578.208	583.267
46	516.659	546.470	581.774	577.101
47	515.936	542.739	582.800	580.172
48	515.087	542.470	586.052	591.842
49	516.009	539.583	590.014	592.323
50	517.541	535.775	589.510	592.602

เวลา (นาที)	อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (m^3/hr)			
	4.0	4.5	5	5.5
51	526.641	547.802	590.714	588.853
52	517.541	552.772	592.521	593.837
53	513.041	555.212	594.632	592.143
54	521.395	556.807	584.080	592.517
55	524.156	560.724	587.477	598.352
56	527.924	561.514	593.673	596.652
57	530.010	554.863	590.180	592.783
58	519.469	566.295	584.154	593.251
59	529.203	564.514	579.816	592.273
60	513.385	560.714	581.140	592.229
61	515.412	560.353	581.519	597.698
62	514.886	559.236	579.840	600.090
63	515.807	556.990	578.298	597.110
64	522.963	556.609	585.116	594.990
65	522.829	554.456	590.247	589.534
66	523.229	551.495	591.450	585.656
67	520.209	549.133	593.257	587.404
68	521.155	546.999	594.661	586.346
69	530.380	550.389	593.488	584.921
70	529.733	556.655	595.561	583.924
71	517.257	554.360	597.967	578.010
72	516.202	551.998	598.686	576.469
73	515.353	559.709	596.398	568.392
74	516.275	557.165	589.439	546.368
75	515.917	549.142	580.332	516.347
76	517.807	541.118	573.027	479.144
77	517.678	532.325	566.650	445.332

เวลา (นาที)	อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (m^3/hr)			
	4.0	4.5	5	5.5
78	515.152	534.765	551.587	385.427
79	516.074	535.360	528.907	356.786
80	515.716	534.508	507.556	328.500
81	517.606	532.298	486.136	321.690
82	517.477	530.647	453.294	293.493
83	517.435	527.880	413.018	275.877
84	516.512	515.028	367.938	241.538
85	515.662	490.481	330.772	224.850
86	517.635	472.132	293.159	196.763
87	514.079	444.914	252.206	185.849
88	491.898	412.235	220.108	
89	469.717	367.478	197.535	
90	447.323	325.216		
91	438.084	290.337		
92	416.734	259.492		
93	395.313	212.074		
94	367.208	189.640		
95	350.042			
96	322.288			
97	292.428			
98	250.945			
99	218.847			
100	196.274			

ตาราง ก.2 แสดงอุณหภูมิภายในหัวเผาเมื่อมีการปรับอัตราการป้อนอากาศ ที่วัสดุพูน
ลูกเหล็กกลม 6 mm

เวลา (นาที)	อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (m^3/hr)			
	4.0	4.5	5	5.5
0	253.238	253.240	278.300	278.166
1	362.262	332.831	306.073	305.939
2	410.990	411.260	483.900	483.766
3	458.424	536.882	575.012	546.566
4	486.424	545.139	636.891	640.212
5	504.317	652.503	641.878	651.014
6	544.954	639.926	674.890	660.089
7	568.351	653.651	682.944	661.449
8	592.547	654.372	690.999	668.289
9	590.054	654.003	693.443	681.232
10	583.999	655.286	695.888	682.814
11	579.661	659.148	697.444	693.446
12	581.354	649.335	699.000	695.260
13	581.733	648.503	709.884	698.439
14	580.054	649.824	711.787	703.160
15	578.513	648.813	709.678	707.588
16	582.078	650.836	714.310	710.519
17	585.330	655.286	720.427	712.736
18	589.201	651.148	719.989	715.381
19	588.698	649.335	716.637	715.822
20	590.546	648.503	711.630	714.988
21	592.353	649.824	709.898	714.998
22	594.464	648.813	707.695	716.050
23	590.912	650.836	704.738	713.953

เวลา (นาที)	อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (m^3/hr)			
	4.0	4.5	5	5.5
24	587.309	655.286	705.557	711.581
25	590.506	659.148	703.535	713.049
26	586.012	649.335	704.771	715.632
27	583.986	649.824	706.352	715.143
28	579.648	648.813	710.348	714.349
29	582.723	650.836	712.251	716.246
30	585.974	655.286	710.142	714.218
31	589.846	654.148	716.774	713.429
32	589.343	652.335	720.333	712.763
33	590.546	648.503	720.893	715.677
34	592.353	649.824	723.892	714.339
35	594.542	648.813	721.454	713.315
36	588.990	650.836	719.102	712.908
37	587.386	655.286	716.095	716.542
38	591.583	660.148	709.898	710.601
39	589.090	656.578	707.695	709.859
40	584.063	648.747	704.738	711.225
41	579.725	650.068	705.557	707.887
42	581.050	649.057	704.316	706.811
43	581.429	651.080	705.716	705.908
44	579.750	653.391	707.297	705.974
45	578.208	649.578	711.293	706.174
46	581.774	648.747	713.196	706.274
47	582.800	651.080	711.087	706.415
48	586.052	655.747	717.719	706.815
49	590.014	658.549	724.837	708.315
50	589.510	658.412	720.399	708.615

เวลา (นาที)	อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (m^3/hr)			
	4.0	4.5	5	5.5
51	590.714	659.514	721.047	698.541
52	592.521	661.532	717.040	699.321
53	594.632	660.932	710.843	700.773
54	584.080	661.267	708.640	698.873
55	587.477	662.350	705.683	707.048
56	593.673	661.002	706.502	707.448
57	590.180	660.224	704.480	707.738
58	584.154	660.667	705.716	708.138
59	579.816	660.877	707.297	692.391
60	581.140	660.253	699.819	682.036
61	581.519	660.386	700.460	694.234
62	579.840	659.363	704.599	676.737
63	578.298	659.053	701.174	671.682
64	585.116	658.533	697.557	657.119
65	590.247	658.283	678.698	644.801
66	591.450	658.283	677.148	639.742
67	593.257	657.324	660.739	622.681
68	594.661	657.046	646.608	610.200
69	593.488	655.732	640.459	591.901
70	595.561	654.605	623.047	565.379
71	597.967	652.622	617.566	520.259
72	598.686	628.625	596.114	485.125
73	596.398	621.952	547.235	433.801
74	589.439	616.938	505.142	381.260
75	580.332	588.865	459.270	341.789
76	573.027	534.221	426.838	286.687
77	566.650	465.048	386.163	252.137

เวลา (นาที)	อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (m^3/hr)			
	4.0	4.5	5	5.5
78	551.587	423.980	334.301	221.676
79	528.907	398.805	296.469	193.067
80	507.556	343.511	257.402	
81	486.136	273.943	217.067	
82	453.294	235.105	190.300	
83	413.018	201.098		
84	367.938	192.594		
85	330.772			
86	293.159			
87	252.206			
88	220.108			
89	197.535			



ตาราง ก.3 แสดงอุณหภูมิภายในหัวเผาเมื่อมีการปรับอัตราการป้อนอากาศ ที่วัสดุพูน
ลูกเหล็กกลม 8 mm

เวลา (นาที)	อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (m^3/hr)			
	4.0	4.5	5	5.5
0	225.490	241.527	278.300	232.866
1	293.587	317.442	306.073	356.820
2	418.529	408.539	483.900	541.174
3	475.187	476.894	575.012	607.848
4	520.596	524.484	636.891	647.440
5	557.472	575.184	641.878	675.916
6	574.022	599.985	674.890	682.943
7	581.630	611.985	682.944	696.652
8	584.375	618.985	690.999	700.119
9	594.348	625.885	693.443	709.955
10	590.573	624.785	695.888	720.878
11	589.238	623.985	697.444	725.178
12	587.120	625.985	699.000	721.309
13	582.800	627.985	709.884	715.914
14	581.340	629.685	711.787	721.278
15	580.240	630.985	709.678	714.478
16	577.330	632.185	714.310	719.947
17	574.730	635.385	720.427	703.347
18	576.640	637.585	719.989	700.367
19	578.340	640.185	716.637	698.245
20	580.400	642.985	711.630	703.559
21	582.300	646.085	709.898	704.795
22	585.700	648.890	707.695	703.304
23	601.800	635.887	704.738	711.579

เวลา (นาที)	อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (m^3/hr)			
	4.0	4.5	5	5.5
24	590.600	635.607	705.557	719.219
25	593.754	632.743	703.535	720.978
26	595.654	642.609	704.771	713.123
27	577.590	646.344	706.352	714.120
28	571.590	645.907	710.348	718.033
29	582.425	648.054	712.251	711.111
30	584.425	648.827	710.142	706.621
31	586.161	652.784	716.774	711.221
32	596.865	647.984	720.333	715.521
33	596.085	643.184	720.893	711.652
34	594.985	637.163	723.892	712.599
35	594.897	634.299	721.454	734.378
36	585.535	642.609	719.102	733.032
37	580.242	646.833	716.095	733.047
38	583.168	648.552	709.898	722.334
39	583.925	649.325	707.695	716.583
40	576.693	653.282	704.738	712.461
41	584.159	648.482	705.557	715.340
42	586.603	643.682	704.316	724.784
43	598.463	648.552	705.716	723.447
44	597.640	649.325	707.297	718.360
45	597.313	653.282	711.293	698.671
46	596.533	648.482	713.196	705.363
47	595.433	634.327	711.087	718.075
48	595.750	625.607	717.719	723.006
49	586.381	627.794	724.837	727.306
50	581.088	629.384	720.399	725.436

เวลา (นาที)	อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (m^3/hr)			
	4.0	4.5	5	5.5
51	584.014	638.241	721.047	726.384
52	584.330	635.378	717.040	725.406
53	577.098	643.699	710.843	721.839
54	584.593	646.996	708.640	718.963
55	584.603	649.143	705.683	718.250
56	584.700	649.916	706.502	724.270
57	587.036	653.873	704.480	727.240
58	580.717	649.075	705.716	722.540
59	566.523	644.275	707.297	718.662
60	560.638	639.475	699.819	700.320
61	567.763	629.835	700.460	692.073
62	568.756	638.511	704.599	690.371
63	571.567	643.958	701.174	673.572
64	571.561	647.257	697.557	667.456
65	565.720	638.297	678.698	650.603
66	573.940	648.897	677.148	624.099
67	573.615	644.097	660.739	601.403
68	572.158	639.297	646.608	591.193
69	567.909	629.657	640.459	544.286
70	571.567	638.737	623.047	494.103
71	571.573	635.874	617.566	445.693
72	565.733	624.184	596.114	391.690
73	573.952	613.320	547.235	323.493
74	575.455	609.328	505.142	275.877
75	558.991	582.678	459.270	241.538
76	536.177	556.028	426.838	224.850
77	506.764	530.481	386.163	196.763

เวลา (นาที)	อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (m^3/hr)			
	4.0	4.5	5	5.5
78	487.926	492.132	334.301	185.849
79	466.239	464.914	296.469	
80	447.154	412.235	257.402	
81	427.309	387.478	217.067	
82	370.159	325.216	190.300	
83	318.699	290.337		
84	279.531	259.492		
85	252.869	212.074		
86	223.769	189.640		
87	203.976			
88	192.003			



ตาราง ก.4 แสดงอุณหภูมิภายในหัวเผาเมื่อมีการปรับอัตราการป้อนอากาศ ที่วัสดุพูน
ลูกเหล็กกลม 10 mm

เวลา (นาที)	อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (m^3/hr)			
	4.0	4.5	5	5.5
0	245.625	280.522	278.166	235.301
1	312.204	323.172	305.939	356.255
2	400.464	457.634	483.766	540.610
3	455.815	516.134	546.566	607.283
4	514.565	594.694	640.212	646.875
5	540.422	612.857	651.014	675.351
6	561.267	631.333	660.089	682.378
7	589.026	655.815	661.449	695.087
8	592.434	654.629	668.289	687.119
9	605.086	658.827	681.232	685.574
10	599.185	656.938	682.814	689.034
11	604.501	658.593	693.446	695.323
12	605.936	653.336	695.260	692.988
13	603.917	659.061	698.439	699.598
14	601.514	653.312	703.160	704.712
15	598.053	654.134	707.588	703.148
16	599.054	653.993	710.519	706.246
17	601.449	657.502	712.736	715.188
18	605.868	648.441	715.381	712.700
19	608.295	656.741	715.822	698.634
20	610.905	661.720	714.988	706.895
21	615.973	664.412	714.998	695.461
22	613.747	668.205	716.050	707.427
23	612.975	666.700	713.953	705.590

เวลา (นาที)	อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (m^3/hr)			
	4.0	4.5	5	5.5
24	611.075	665.262	711.581	717.951
25	614.358	669.932	713.049	719.370
26	614.176	663.845	715.632	728.978
27	608.792	656.723	715.143	715.851
28	610.522	649.601	714.349	705.544
29	612.739	651.556	716.246	715.898
30	614.949	652.923	714.218	721.671
31	615.731	657.179	713.429	725.834
32	613.400	658.356	712.763	713.195
33	610.880	660.127	715.677	705.709
34	612.349	657.235	714.339	703.017
35	615.222	652.965	713.315	703.736
36	614.503	657.728	712.908	706.526
37	615.849	659.146	716.542	716.770
38	614.434	653.520	710.601	713.384
39	614.923	656.921	709.859	713.498
40	616.821	658.580	711.225	718.101
41	613.646	654.075	707.887	723.032
42	615.342	656.114	706.811	720.470
43	617.793	658.014	705.908	719.432
44	610.242	660.765	705.974	705.597
45	607.259	672.207	706.174	704.221
46	608.110	675.269	706.274	702.497
47	616.388	671.579	706.415	715.245
48	622.361	670.278	706.815	713.521
49	615.607	667.951	708.315	711.536
50	620.254	670.707	708.615	714.826

เวลา (นาที)	อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (m^3/hr)			
	4.0	4.5	5	5.5
51	624.490	673.235	698.541	715.778
52	621.025	676.047	699.321	700.513
53	609.571	678.639	700.773	703.803
54	612.283	677.114	698.873	704.755
55	607.092	665.695	707.048	706.359
56	605.595	663.733	707.448	701.816
57	608.810	661.507	707.738	697.809
58	611.112	656.734	708.138	692.693
59	610.932	660.834	692.391	668.081
60	609.231	662.117	682.036	662.509
61	611.861	651.936	694.234	656.482
62	608.615	653.551	676.737	632.391
63	615.032	648.282	671.682	620.401
64	606.092	650.499	657.119	589.830
65	613.327	654.709	644.801	579.931
66	616.107	656.490	639.742	554.976
67	613.966	655.160	622.681	530.032
68	610.183	666.109	610.200	481.839
69	607.424	662.982	591.901	435.278
70	605.642	657.294	565.379	387.858
71	619.578	634.396	520.259	345.004
72	610.229	620.465	485.125	300.641
73	600.808	590.534	433.801	259.573
74	589.119	537.806	381.260	235.283
75	550.431	497.105	341.789	209.749
76	511.742	461.310	286.687	
77	490.779	442.970	252.137	

เวลา (นาที)	อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (m^3/hr)			
	4.0	4.5	5	5.5
78	464.318	414.205	221.676	
79	447.587	378.491	193.067	
80	408.876	343.988		
81	351.645	297.584		
82	311.865	249.912		
83	271.305	224.680		
84	247.594	198.710		
85	213.278			
86	191.848			



ตาราง ก.5 แสดงอุณหภูมิภายในหัวเผาเมื่อมีการปรับอัตราการป้อนเชื้อเพลิง ที่วัสดุ
พรมลูกเหล็กกลม 8 mm

เวลา (นาที)	อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (g/s)				
	0.05	0.07	0.09	0.10	0.15
0	241.527	234.582	278.300	235.301	235.301
1	413.303	358.537	306.073	356.255	356.255
2	499.192	542.891	483.900	540.610	540.610
3	542.136	606.565	575.012	607.283	607.283
4	563.608	643.156	636.891	646.875	646.875
5	581.890	651.632	641.878	675.351	675.351
6	587.258	657.522	674.890	682.378	682.378
7	592.626	655.553	682.944	689.623	721.422
8	592.009	656.020	690.999	702.521	743.453
9	590.695	652.477	693.443	700.976	741.908
10	594.293	659.077	695.888	704.436	745.368
11	597.617	663.377	697.444	710.726	751.658
12	603.603	659.508	699.000	708.390	749.322
13	607.230	660.455	709.884	715.001	755.933
14	607.150	659.477	711.787	720.114	761.046
15	605.885	652.677	709.678	718.550	759.482
16	606.450	658.146	714.310	721.648	762.580
17	605.907	670.301	720.427	730.591	771.522
18	605.103	667.321	719.989	728.102	769.034
19	605.920	665.199	716.637	721.069	754.968
20	609.805	664.078	711.630	721.036	763.229
21	612.575	649.654	709.898	722.297	751.795
22	614.775	650.053	707.695	719.863	763.762
23	610.232	657.364	704.738	722.830	761.924

เวลา (นาที)	อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (g/s)				
	0.05	0.07	0.09	0.10	0.15
24	610.487	653.164	705.557	720.992	774.285
25	605.730	658.322	703.535	727.920	775.704
26	612.480	657.699	704.771	729.339	772.185
27	617.013	649.651	706.352	734.143	761.878
28	614.894	655.251	710.348	736.947	772.233
29	615.787	653.652	712.251	725.820	778.006
30	615.615	658.498	710.142	723.513	782.168
31	616.471	665.098	716.774	725.867	769.529
32	613.880	666.299	720.333	728.754	762.043
33	610.404	662.429	720.893	731.640	759.351
34	605.913	663.377	723.892	735.803	760.070
35	606.300	662.399	721.454	733.164	762.860
36	611.388	653.065	719.102	728.678	773.104
37	616.219	643.731	716.095	722.986	769.718
38	614.047	649.200	709.898	715.705	769.832
39	611.688	664.132	707.695	716.495	774.435
40	611.057	671.157	704.738	726.739	779.366
41	612.272	669.035	705.557	723.353	776.804
42	616.542	661.380	704.316	723.467	775.766
43	616.467	670.979	705.716	728.070	761.932
44	618.009	674.578	707.297	733.001	760.555
45	616.173	669.089	711.293	731.720	758.832
46	617.422	667.485	713.196	730.438	771.579
47	613.141	667.914	711.087	729.401	769.855
48	599.331	667.024	717.719	722.111	767.870
49	606.139	670.778	724.837	721.423	771.160
50	613.052	655.916	720.399	720.735	772.113

เวลา (นาทีก)	อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (g/s)				
	0.05	0.07	0.09	0.10	0.15
51	612.841	644.317	721.047	719.011	756.847
52	617.124	649.121	717.040	725.213	760.137
53	619.999	653.262	710.843	723.490	761.089
54	617.799	650.438	708.640	721.505	762.694
55	621.406	660.832	705.683	724.795	758.150
56	622.875	665.763	706.502	725.747	754.144
57	619.936	670.063	704.480	710.482	749.028
58	627.630	656.194	705.716	713.771	724.415
59	624.341	657.141	707.297	714.724	718.843
60	620.041	659.163	699.819	716.328	712.817
61	617.460	671.138	700.460	711.785	688.725
62	612.082	660.031	704.599	707.778	676.735
63	615.297	674.318	701.174	702.662	646.164
64	617.829	671.338	697.557	683.514	636.266
65	618.403	669.218	678.698	662.509	611.311
66	612.442	664.518	677.148	656.482	586.366
67	616.561	660.640	660.739	632.391	538.173
68	613.094	655.408	646.608	620.401	491.612
69	612.389	663.746	640.459	609.830	444.192
70	610.702	662.509	623.047	579.931	401.338
71	614.095	652.289	617.566	554.976	356.975
72	611.482	636.173	596.114	530.032	315.907
73	619.493	626.319	547.235	481.839	271.617
74	607.789	595.816	505.142	435.278	236.083
75	617.566	571.120	459.270	387.858	193.739
76	607.319	542.910	426.838	345.004	
77	589.722	506.003	386.163	300.641	

เวลา (นาที)	อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (g/s)				
	0.05	0.07	0.09	0.10	0.15
78	567.623	469.820	334.301	259.573	
79	545.263	407.410	296.469	235.283	
80	504.083	373.407	257.402	209.749	
81	475.903	325.210	217.067		
82	440.543	277.593	190.300		
83	414.362	243.254			
84	388.182	226.567			
85	352.987	198.480			
86	310.103				
87	268.645				
88	239.989				
89	193.739				





ภาคผนวก

อุปกรณ์ในการทดสอบ



รูปที่ ข.1 เครื่องวัดความหนืด

จากการทดสอบหาค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่า เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิ ค่าความหนืดที่ได้ของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก อีกทั้งลักษณะการจ่ายเชื้อเพลิงของหัวเผาที่ถูกบังคับให้ตกอย่างอิสระตามแรงโน้มถ่วง จากเหตุผลดังกล่าวจึงไม่สามารถส่งผลกระทบต่ออัตราการไหลของเชื้อเพลิงได้



รูปที่ ข.2 เครื่องวัดค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

หน่วยปฏิบัติการทดสอบทางสิ่งแวดล้อม ครอบคลุมงานและสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 2 ซ.แม่ฟ้าหลวง ๕, ถนน ๕๕๐๐๐
เลขประจำตัวผู้เสียภาษี: 0994000772254




ETLC | หน่วยปฏิบัติการทดสอบทางสิ่งแวดล้อม
Environmental Testing Laboratory Center

ใบรายงานผลการทดสอบ

ส่วนที่ 3 ผลการทดสอบตัวอย่าง

ลำดับ	ชื่อตัวอย่าง	รายการทดสอบ (หน่วย)	วิธีทดสอบ	ผลวิเคราะห์ *	เกณฑ์มาตรฐาน**
1	น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว	ค่าพลังงานความร้อน (J/g)	ASTM E 5865	45,385	-

หมายเหตุ
* รายงานนี้เป็นผลทดสอบของตัวอย่างตามที่ห้องปฏิบัติการได้รับมาเท่านั้น
(ห้ามทำสำเนารายงานนี้เฉพาะเพียงบางส่วนโดยไม่ได้รับความยินยอมจากห้องปฏิบัติการ ยกเว้นทำทั้งฉบับ)
(ห้องปฏิบัติการรับผิดชอบผลทดสอบที่อยู่ในรายงาน ยกเว้นข้อมูลที่จัดเตรียมให้โดยลูกค้า)
**

ผู้ออกรายงานผล  (นางสาวกนกศิลป์ ยะสิง)	ผู้ทบทวนผล  (นายวีระวัฒน์ เมืองคำ)	ผู้อนุมัติผล  (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิศา หอมกลิ่น)
ตำแหน่ง เจ้าหน้าที่รับตัวอย่าง วันที่ 14 ธันวาคม 2566	ตำแหน่ง ผู้จัดการฝ่ายวิชาการ วันที่ 14 ธันวาคม 2566	ตำแหน่ง หัวหน้าหน่วยปฏิบัติการทดสอบฯ วันที่ 14 ธันวาคม 2566

End of Report

รูปที่ ข.3 ใบรับรองการตรวจวัดค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว



ภาคผนวก

การนำเสนอผลงานวิจัย

Certificate Of Appreciation



การประชุมวิชาการเครือข่าย วิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 37

ขออวยพรที่รุดหน้าไปเพื่อแสดงว่า

ณัฐพล คำมา สุภรณ์ทิน ศรีรัตนวงค์ วสันต์ คำสนาม ประเมศร์ ปรีเทก และ รัชนิวรรณ อังกรบุตร์

เข้าร่วมนำเสนอบทความในหัวข้อ

การพัฒนาหัวเผาวัสดุพुरुสำหรับเชื้อเพลิงน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว

วันที่ 25 - 28 กรกฎาคม 2566

ณ โรงแรมเดอะเบด เวทีชั่น ราชบัณฑิตยสถาน อ.เมือง จ.สงขลา

(ศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพ็ชรทอง)
นายกสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลไทย

(รองศาสตราจารย์ ดร.จารุวัฒน์ เจริญวิทย์)
ประธานคณะกรรมการดำเนินงาน ME-NETT 2023

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 37
วันที่ 25 - 28 กรกฎาคม พ.ศ. 2566 จังหวัดสงขลา
MENET-2023-0027



การพัฒนาหัวเผาวัสดุพรุนสำหรับเชื้อเพลิงน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว The development of porous burner for used lubricating oil

ณัฐพล คำมา*, สุทธิพันธ์ ศรีรัตยาวงค์, วสันต์ คำสนาม, ปรมะศรี ปธิเก และรัชชนิวรรณ อังกรบุตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา 19 หมู่ 2 ต.แม่กา อ.เมือง จ.พะเยา 56000

*ติดต่อ: 62103664@up.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวัสดุพรุนที่มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผาโดยใช้น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิง ในการศึกษาจะออกแบบและสร้างหัวเผาที่ประกอบด้วย หัวเผาที่บรรจุวัสดุพรุนที่เกิดจากลูกเหล็ก ชุดจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง และพัดลมเป่าอากาศ จะเปรียบเทียบกรณีที่หัวเผาที่อยู่ในวัสดุพรุนเป็นลูกเหล็กทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร , 8 มิลลิเมตร และ ไม่มีวัสดุพรุน ควบคุมปริมาณเชื้อเพลิงในการทดสอบคือ 0.09 g/s นอกจากนี้ยังศึกษาถึงการปรับค่าอัตราการไหลในการป้อนอากาศที่ต่างกันคือ 4 m³/hr , 4.5 m³/hr , 5 m³/hr และ 5.5 m³/hr สำหรับกรณีที่หัวเผาที่มีวัสดุพรุนเป็นลูกเหล็ก 8 มิลลิเมตร จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าหัวเผาที่มีวัสดุพรุนภายในจะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าแบบที่ไม่มีวัสดุพรุน และผลของความพรุนที่มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผาอย่างชัดเจนคือกรณีที่ใช้ลูกเหล็กทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตรจะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด 0.398 หรือ 39.8 % และมีอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมที่สุดคือ 5 m³/hr. หรือคิดเป็นอัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ 20 : 1 จะได้กำลังความร้อนของหัวเผา 0.948 kW

คำหลัก: หัวเผา, วัสดุพรุน, น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว

Abstract

The purpose of this research was to study the effect of porous materials on the thermal efficiency of burners using used lubricant as fuel. In the study, a burner consisting of a burner containing a porous material formed from steel balls, a fuel supply unit and an air blower will be designed and constructed. The test compares the thermal efficiency of burners with porous steel balls of diameter 6 mm, 8 mm inside and without porous material. The fuel flow rate used in the test was controlled at 0.09 g/s. In addition, the air fuel intake ratio was 15:1, 20:1 and 25:1 for burners with 8 mm steel ball porosity. The results show that burners with internal porous materials have higher thermal efficiency than those without porosity, and the porosity effect clearly affects the thermal efficiency of burners. In the case of using a steel ball with a diameter of 8 mm, the highest thermal efficiency is 0.398 or 39.8 % and the optimum air flow rate is 5 m³/hr. The heat output of the burner is 0.948 kW.

Keywords: Burners, porous materials, used lubricants

1 บทนำ

ในปัจจุบัน มีอัตราการใช้รถยนต์เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้มีปริมาณของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ถูกเปลี่ยนถ่ายออกมาจากรถยนต์เพิ่มมากขึ้นตาม ในประเทศไทย น้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วถือว่าเป็นสิ่งที่มีค่า เพราะสามารถจำหน่ายได้ในราคา 1 – 5 บาทต่อลิตร ขึ้นอยู่กับชนิดและคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว โดยมีผู้ประกอบการหรือภาคเอกชนเป็นผู้รับซื้อ ดังนั้น

แหล่งกำเนิดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วในปริมาณมาก ๆ จึงไม่ค่อยเกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมโดยตรง ซึ่งน้ำมันเก่าที่รับซื้อนั้นจะถูกนำเข้าสู่วงจรการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่เป็นเชื้อเพลิงและการนำมากลั่นใหม่ โดยแหล่งกำเนิดที่กล่าวมานี้ ได้แก่ ศูนย์บริการถ่ายน้ำมันเครื่อง สถานีบริการน้ำมัน โรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ และหน่วยงานราชการและรัฐวิสาหกิจขนาดใหญ่ จากข้อมูลจากการสำรวจและรวบรวมข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษ ปริมาณน้ำมันเก่าที่รับซื้อนั้น คิด

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 37
วันที่ 25 - 28 กรกฎาคม พ.ศ. 2566 จังหวัดสงขลา
MENET-2023-0027



เป็นเพียงร้อยละ 20 – 40 [1] แต่ในส่วนของแหล่งกำเนิดที่ก่อให้เกิดปริมาณน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วน้อย เช่น อุโมงค์มรดกทั่วไป โรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก เกษตรกร กลุ่มอาชีพประมง และกลุ่มที่เปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องด้วยตัวเอง เป็นต้น ดังนั้นการรับซื้อและจัดเก็บน้ำมันเครื่องในกลุ่มดังกล่าวจึงไม่คุ้มทุนในทางธุรกิจ ทำให้กลุ่มคนดังกล่าวนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วไปกำจัดอย่างไม่ถูกวิธี เช่น การขุดหลุมฝังกลบ การเผา การเททิ้งลงดินหรือแม้กระทั่งปล่อยทิ้งลงแหล่งน้ำ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพและก่อเกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งมลพิษทางน้ำ มลพิษทางดิน และมลพิษทางอากาศ [2]

กระบวนการที่เหมาะสมเพื่อการกำจัดหรือบำบัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วในประเทศไทยปัจจุบันประกอบด้วย 2 วิธี คือ กระบวนการนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมากลั่นใหม่ และกระบวนการนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วไปใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อน โดยกระบวนการนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมากลั่นใหม่นั้นเป็นขั้นตอนที่ยุ่งยาก ซับซ้อนและมีต้นทุนสูง ซึ่งเหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ หน่วยงานรัฐ และรัฐวิสาหกิจขนาดใหญ่ สำหรับกระบวนการนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วไปใช้เป็นเชื้อเพลิงนั้นเป็นกระบวนการนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วไปผสมกับเชื้อเพลิงก่อนนำไปใช้งาน ซึ่งเป็นกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน ต้นทุนต่ำ แต่ต้องใช้อุณหภูมิสูงในการเผาไหม้ ทำให้นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเตาเผาปูนหรืออุตสาหกรรมที่ใช้ความร้อนสูง

จากกระบวนการดังกล่าวทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำเทคโนโลยีการเผาไหม้ที่มีประสิทธิภาพสูง เข้าถึงได้ง่าย และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม นำไปปรับใช้กับกระบวนการดังกล่าว โดยหัวเผาวัสดุพูน ถือเป็นอีกเทคโนโลยีของการเผาไหม้ที่ทันสมัยและสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ เนื่องจากวัสดุพูนมีลักษณะเด่น คือ มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรที่สูง ส่งผลให้เกิดค่าสัมประสิทธิ์ ในการถ่ายเทความร้อนสูง [3] นอกจากนี้ วัสดุพูนมีความสามารถในการเปลี่ยนรูปแบบพลังงานความร้อนระหว่าง การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) และการพาความร้อน (Convection) ได้เป็นอย่างดี ดังนั้นหากเกิดการเผาไหม้ขึ้นภายในวัสดุพูน ก็จะเกิดการอุ่นไอน้ำจากความร้อนของไอเสีย ซึ่งจะอาศัยกลไกของการถ่ายเทความร้อนของตัววัสดุพูนเอง โดยไม่จำเป็นต้องมีการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนภายในกระบวนการการเผาไหม้และในปัจจุบันได้มีการนำไปวิจัยและพัฒนาต่อยอดเพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างทั่วถึง ไม่ซับซ้อน กะทัดรัด ง่ายต่อการติดตั้ง และได้ประสิทธิภาพที่สูงขึ้น สังเกตได้จากมีงานวิจัยจำนวนมากที่ได้นำหลักการของหัวเผาวัสดุพูนไปประยุกต์ใช้ [4]

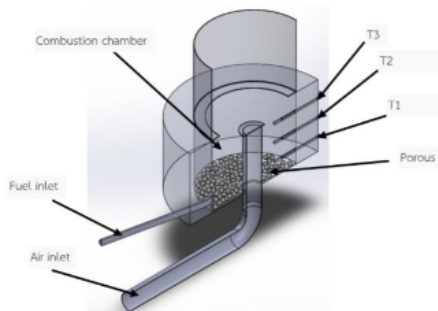
ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและออกแบบเกี่ยวกับการนำหัวเผาวัสดุพูน สำหรับเชื้อเพลิงน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วในการผลิตความร้อน และศึกษารูปแบบการเผาไหม้ของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว แบบมีวัสดุพูนและไม่มีวัสดุพูนเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการเผาไหม้ โดยนำเสนอในรูปแบบกราฟอุณหภูมิและกำลังความร้อน โดยคาดว่าจะการนำหัวเผาวัสดุพูนมาปรับใช้กับน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจะช่วยลดมลพิษทางอากาศและได้พลังงานความร้อนประสิทธิภาพสูง

2 ระเบียบวิธีวิจัย

แนวคิดการพัฒนาหัวเผาวัสดุพูนคือ การนำวัสดุพูนเข้ามาช่วยในการให้ความร้อนกับน้ำมันหล่อลื่นเก่าที่ถูกใช้เป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากวัสดุพูนจะมีพื้นที่ผิวมาก จึงส่งผลเกิดการถ่ายเทความร้อนให้กับเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ได้สูง ทำให้น้ำมันหล่อลื่นที่มีความหนืดและมีสถานะเป็นของเหลวกลายเป็นไอได้เร็วขึ้น ทำให้เกิดการเผาไหม้ได้เร็ว แนวคิดดังกล่าวได้พัฒนาเป็นหัวเผาดังแสดงในรูปที่ 1.1 ซึ่งหัวเผ่าจะออกแบบให้มีลักษณะเป็นทรงกระบอก บริเวณผนังเตามีการติดตั้งท่อเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนภายในเตาช่วยในอุ่นและแตกตัวของเชื้อเพลิง และหุ้มปิดด้วยวัสดุกันความร้อนใยแก้ว บริเวณรอบๆ เตาเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนภายในเตา

โดยชุดหัวเผ่าประกอบด้วย ท่อลม ท่อเชื้อเพลิง และมีการติดตั้งตัววัดอุณหภูมิ โดยจะใช้เทอร์โมคัปเปิล type K ติดตั้งทั้งหมด 3 จุด คือ บริเวณวัสดุพูน บริเวณกลางเตา และบริเวณปากปล่องเตา จากส่วนประกอบดังกล่าวของเตาเผาวัสดุพูนแบบนี้จะมีหลักการทำงาน คือ เริ่มเปิดวาล์วเชื้อเพลิงเพื่อน้ำมันไหลเข้าไปในเตา เมื่อน้ำมันไหลเข้าไปบริเวณห้องเผาไหม้จนเกือบเต็มหน้าตัด จึงทำการจุดเตาจากด้านบนเตาด้วยหัวจุดแก๊ส เมื่อเชื้อเพลิงภายในเตาเริ่มติดไฟจึงทำการป้อนอากาศเข้าไปภายในเตาโดยการเปิดวาล์วท่ออากาศ และทำการปรับอากาศที่ป้อนให้ภายในเตาตามที่ต้องการ เมื่อเตาเผาเข้าสู่สภาวะคงที่ จึงทำการบันทึกข้อมูลได้แก่ อุณหภูมิภายในเตา อัตราการป้อนอากาศ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง การทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของเตา โดยจะทดสอบจากการหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนด้วยการต้ม น้ำ (Water Boiling Test) และการนำข้อมูลการเผาไหม้ดังกล่าวมาคำนวณหา กำลังความร้อนเพื่ออธิบายพฤติกรรมของการเผาไหม้ภายในหัวเผา

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 37
วันที่ 25 - 28 กรกฎาคม พ.ศ. 2566 จังหวัดสงขลา
MENET-2023-0027



รูปที่ 1.1 หัวเผาวัสดุพรุนที่ศึกษา

ขั้นตอนทดลอง

สำหรับการทดสอบเพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จะทำคล้ายกับกรณีทดสอบหัวเผาในตอนแรกสำหรับเตาเผาวัสดุพรุนขนาด 8 mm และกำหนดอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงที่ 0.09 g/s แต่จะควบคุมปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงไว้ที่ 300 g และมีอัตราการจ่ายอากาศที่ 5 m³/hr และปรับค่าอัตราการไหลในการป้อนอากาศที่ต่างกันคือ 4 m³/hr, 4.5 m³/hr, 5 m³/hr และ 5.5 m³/hr บันทึกผลอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้และปริมาณน้ำที่หายไป

การประเมินค่าความพรุน

วิธีการหาค่าความพรุน (Porosity, ϵ) ของวัสดุพรุนที่ใช้ในงานวิจัย มีขั้นตอนดังต่อไปนี้ นำวัสดุพรุน บรรจุลงในภาชนะรูปทรงกระบอกที่มีความสูง 10 cm และเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 3.81 cm จนเต็มภาชนะ และเติมน้ำให้เต็มภาชนะ ตั้งไว้ประมาณ 5 นาทีเพื่อให้ น้ำซึมเข้าไปในเนื้อวัสดุพรุน แล้วหลังจากนั้นเติมน้ำให้เต็มภาชนะแทนที่น้ำที่หายไป จากนั้นตวงน้ำภายในภาชนะดังกล่าวเพื่อหาปริมาณน้ำที่เข้าไปแทนที่ช่องว่างของวัสดุพรุน จากนั้นตวงน้ำหาปริมาตรทรงกระบอก เพื่อนำไปหาค่าความพรุน จะสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{Porosity } (\epsilon) = \frac{V_s}{V_t} \quad (1)$$

เมื่อ Porosity (ϵ) = ค่าความพรุน

V_s = ปริมาตรน้ำที่เข้าไปแทนที่ช่องว่างในวัสดุพรุน (m³)

V_t = ปริมาตรน้ำในทรงกระบอก (m³)

ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้ลูกเหล็กกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 และ 8 mm ตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองหาค่าความพรุนพบว่าค่าความพรุน (ϵ) เฉลี่ยของลูกเหล็กกลม 6 mm และ 8 mm คือ 0.336 และ 0.340 ตามลำดับ

การประเมินหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ในการคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบ (Efficiency, η) ในงานวิจัยนี้จะใช้การคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบในการอธิบาย โดยจะใช้วิธีการวัดปริมาณความร้อนที่ใช้ในการต้มน้ำ ณ อุณหภูมิปกติกลายเป็นไอ ต่อปริมาณที่ได้รับจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ดังสมการ

$$\text{Efficiency, } \eta = \frac{Q_w}{Q_F} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ Efficiency, η คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบ (%)

Q_w คือ ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการต้มน้ำ (kJ/kg)

Q_F คือ ปริมาณความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง (kJ/kg)

ในขณะที่ปริมาณความร้อนที่ทำให้ไอน้ำระเหยตัวจะคำนวณได้จากสมการที่ 3 ดังต่อไปนี้

$$Q_w = [m_{w,1} C_{p,w} (T_{w,b} - T_{w,i})] + [m_{w,2} h_{fg}] \quad (3)$$

เมื่อ $m_{w,1}$ คือ มวลน้ำเริ่มต้น [kg]

$m_{w,2}$ คือ มวลน้ำที่ระเหย [kg]

$C_{p,w}$ คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ [kJ/kg °C]

$T_{w,b}$ คือ ค่าอุณหภูมิน้ำก่อนต้ม [°C]

$T_{w,i}$ คือ ค่าอุณหภูมิที่น้ำระเหย [°C]

h_{fg} คือ ค่าความร้อนแฝงของการระเหยน้ำ (kJ/kg)

โดยปริมาณความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิงสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 4

$$Q_F = m_{Fuel} \times LHV \quad (4)$$

เมื่อ m_{Fuel} คือ มวลของเชื้อเพลิงที่ใช้ (kg)

LHV คือ ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

ตารางที่ 1 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

ตัวแปร	ค่า	หน่วย
น้ำมันหล่อลื่น		
- ค่าความร้อน (LHV)	39,000	kJ/kg
- จุดวาบไฟ	320	°C
- จุดเดือด	500	°C
วัสดุพรุน		
- ความพรุนลูกเหล็ก 6 mm	0.336	-
- ความพรุนลูกเหล็ก 8 mm	0.340	-
- ค่าความหนาแน่น	7.8	g/cm ³
- ค่าการนำความร้อน (K)	80.4	W/m. K ⁻¹
หัวเผา		
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	9.25	inch

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 37
วันที่ 25 - 28 กรกฎาคม พ.ศ. 2566 จังหวัดสงขลา
MENET-2023-0027



กำลังความร้อนของระบบหัวเผา

เป็นการอธิบายถึงพฤติกรรมการเผาไหม้ภายในหัวเผา ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้ค่าปริมาณความร้อนในการระเหยน้ำหารด้วยเวลาที่ใช้ โดยจะอธิบายในรูปของกำลังความร้อน (Watt) กล่าวคือเมื่อกำลังความร้อนยิ่งมากการเผาไหม้ก็จะยิ่งสมบูรณ์

โดยกำลังความร้อนที่ได้ของระบบหัวเผานี้สามารถหาได้จากสมการที่ 5

$$\text{กำลังความร้อน (W)} = \frac{m_w \times C_p \times \Delta T}{\text{Time (S)}} \quad (5)$$

เมื่อ m_w คือ มวลของน้ำที่หายไป (kg)

C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kgK)

ΔT คือ ช่วงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (K)

Time คือ เวลาทั้งหมดในการต้มน้ำ (s)

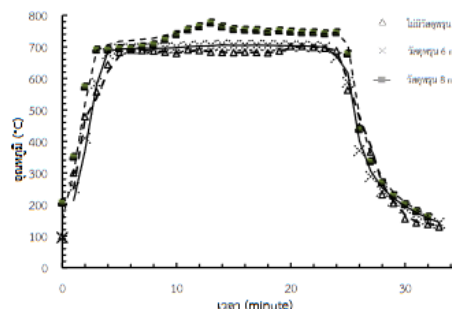
3 ผลการทดลอง

หัวเผาวัสดุพอร์ซันที่ใช้น้ำมันหล่อลื่นเก่าเป็นเชื้อเพลิงได้ถูกพัฒนาและได้ศึกษาและเปรียบเทียบพฤติกรรมการเผาไหม้ประสิทธิภาพเชิงความร้อน และกำลังความร้อนของหัวเผาวัสดุพอร์ซันที่ทำจากลูกเหล็กกลมขนาดต่างกัน 2 ขนาด (6 mm และ 8 mm) และหัวเผากรณีที่ไม่มีวัสดุพอร์ซัน และได้ศึกษาถึงปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ที่แตกต่างกัน

จากการทดลองพบว่าบริเวณจุดวัดอุณหภูมิ T_2 เป็นบริเวณที่สัมผัสกับเปลวไฟมากที่สุด จึงสามารถนำมาวิเคราะห์เพื่ออธิบายผลที่เกิดขึ้นภายในหัวเผาได้ โดยอธิบายในรูปแบบของอุณหภูมิเฉลี่ยทุก 30 วินาที ซึ่งได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

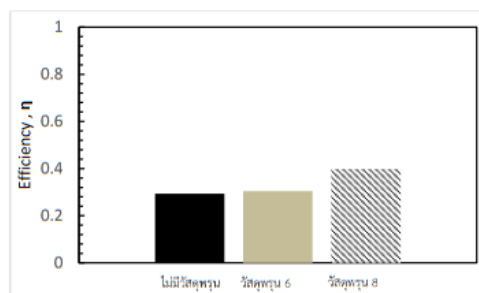
3.1 อิทธิพลของค่าความพรุน

รูปที่ 3.1 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ และใช้ A/F ratio = 20 ในการทดสอบ ซึ่งจากราฟจะสังเกตได้ว่า หัวเผาวัสดุพอร์ซันที่ลูกเหล็กขนาด 8 mm ($\epsilon = 0.340$) มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 596.89°C ซึ่งสูงกว่าหัวเผารธรรมดา (542.98°C) และหัวเผาวัสดุพอร์ซันลูกเหล็กขนาด 6 mm ($\epsilon = 0.336$) อุณหภูมิเฉลี่ย 548.32°C ทั้งนี้เกิดจากลูกเหล็กขนาด 8 mm มีค่าความพรุนสูง ซึ่งทำให้เกิดช่องว่างสำหรับน้ำมันเชื้อเพลิงมากกว่าทำให้อัตราการระเหยกลายเป็นไอสูงกว่าทั้งสองแบบ โดยการหาอุณหภูมิเฉลี่ยจะประเมินเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงแรกของการเผาไหม้จนอุณหภูมิคงที่ในช่วงเวลาประมาณ 0 - 4 นาที ช่วงอุณหภูมิคงที่ในช่วงเวลาประมาณ 4 - 24 นาที และช่วงอุณหภูมิลดลงในช่วงเวลาประมาณ 24 - 34 นาที



รูปที่ 3.1 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้

จากรูปที่ 3.2 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผา พบว่าหัวเผาวัสดุพอร์ซันที่มีขนาดลูกเหล็ก 8 mm ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับ 39.8 % เนื่องจากอุณหภูมิบริเวณวัสดุพอร์ซันลูกเหล็กขนาด 8 mm มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 596.89°C ซึ่งทำให้เกิดการกลายเป็นไอของเชื้อเพลิงได้รวดเร็วขึ้นกว่าหัวเผารธรรมดาและหัวเผาวัสดุพอร์ซันขนาดลูกเหล็ก 6 mm

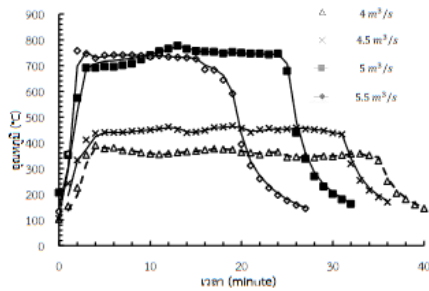


รูปที่ 3.2 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผา

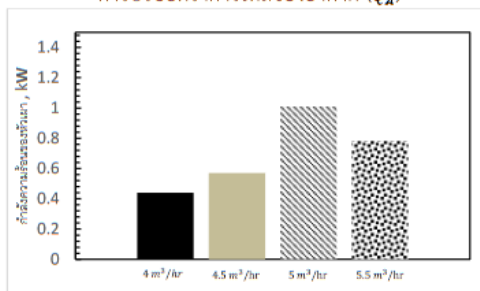
3.2 อิทธิพลของอัตราการจ่ายอากาศ (Q_a)

รูปที่ 3.3 เป็นการแสดงผลของอิทธิพลอัตราการจ่ายอากาศที่มีผลต่ออุณหภูมิภายในหัวเผาวัสดุพอร์ซัน โดยจะเลือกใช้วัสดุพอร์ซันขนาด 8 mm และกำหนดอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงที่ 0.09 g/s ซึ่งจากรูปจะเห็นว่าเมื่อมีการเพิ่มอัตราการจ่ายอากาศ อุณหภูมิภายในหัวเผามีค่าเฉลี่ยที่สูงขึ้น แต่เมื่อมีการเพิ่มอัตราการจ่ายอากาศมากเกินไป จะทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในหัวเผาลดลง โดยอัตราการจ่ายอากาศที่เหมาะสมสำหรับหัวเผาวัสดุพอร์ซันลูกเหล็กขนาด 8 mm ซึ่งมีค่าเท่ากับ $5 \text{ m}^3/\text{hr}$

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 37
วันที่ 25 - 28 กรกฎาคม พ.ศ. 2566 จังหวัดสงขลา
MENET-2023-0027



รูปที่ 3.3 การเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ เมื่อมีการปรับอัตราการไหลของอากาศ (Q_A)



รูปที่ 3.4 แสดงอิทธิพลของ Q_A ที่มีผลต่อกำลังความร้อนของหัวเผา

จากผลการทดสอบปริมาณอากาศที่ป้อนสำหรับใช้ในการเผาไหม้ในเตาเผาพบว่าอัตราการไหลอากาศ $4 \text{ m}^3/\text{hr}$, $4.5 \text{ m}^3/\text{hr}$, $5 \text{ m}^3/\text{hr}$, และ $5.5 \text{ m}^3/\text{hr}$ ส่งผลให้หัวเผามีกำลังความร้อน คือ 0.402 kW , 0.532 kW , 0.948 kW และ 0.837 kW ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.4 จะสังเกตเห็นว่ากำลังความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามการเพิ่มอัตราการจ่ายของอากาศ แต่เมื่อมีการเพิ่มอัตราการจ่ายของอากาศมากเกินไป เป็นผลทำให้กำลังความร้อนลดลง โดยอัตราการจ่ายอากาศที่ $5 \text{ m}^3/\text{hr}$ จะทำให้อัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ 20 : 1 เป็นสัดส่วนที่มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับเตาที่พัฒนาขึ้น ทำให้ได้กำลังความร้อนสูงสุด

จากการสังเกตเบื้องต้นพบว่าเปลวไฟที่ได้จากการเผาไหม้น้ำมันหล่อลื่นในหัวเผาวัสดุพรุนจะมีสีส้มแดง มีกลิ่นเหม็นและควันดำในช่วงแรกของการจุดหลังจากนั้นควันก็จะเริ่มเบาบางลงตลอดการเผาไหม้

4 สรุปผลการทดลอง

จากการพัฒนาหัวเผาวัสดุพรุนสำหรับเชื้อเพลิงน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว สามารถสรุปผลได้ดังนี้

- 1) หัวเผาวัสดุพรุนโดยใช้ลูกเหล็กขนาด 8 mm ($\epsilon = 0.340$) และ A/F ratio = 20 ได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนดีกว่า หัวเผาธรรมดา และหัวเผาวัสดุพรุนลูกเหล็กขนาด 6 mm ($\epsilon = 0.338$)
- 2) อุณหภูมิและกำลังความร้อนของหัวเผาวัสดุพรุนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการจ่ายของอากาศ (Q_A) แต่จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการเพิ่มอัตราการจ่ายของอากาศมากเกินไป (ไม่เกิน $5 \text{ m}^3/\text{hr}$)

5 กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตรมหาวิทาลัยพะเยา ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องมือ สถานที่ และทุนสนับสนุนในการทำวิจัย

6 เอกสารอ้างอิง

- [1] ณัฐชา เพ็ชรรัมย์. (2557) คีนซีพ่น้ำมันเครื่องใช้แล้วกัน. สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. ทริปเฟลล์ กรุ๊ปจำกัด
- [2] พงษ์สิทธิ์ บุญรักษา. (2547) ปัญหาน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วกับแนวทางการจัดการในประเทศไทย. วารสาร มจร. วิชาการ (มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ).
- [3] กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย. (2546) อันตรายจากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว. แหล่งที่มา : <http://www.pcd.go.th/SolidWaste/Lubricantoil.htm>. (1 พฤศจิกายน 2565).
- [4] การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. (2532) ความรู้เรื่องผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม. กรุงเทพฯ : การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย
- [5] บัณฑิต กฤตาคม. (2554) หัวพ่นไฟอุตสาหกรรมและการประยุกต์ใช้วัสดุพรุนในหัวเผาพ่นไฟ. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม. 12 (1). มกราคม 2554. หน้า 76 – 87.
- [6] Takami, H., Suzuki, T., Itaya, Y., and Hasatani, M. (1998) Performance of Flammability of Kerosene and NOX emission in the porous Burner. Fuel. Vol.77 (3). pp. 165-171.
- [7] Jugjai, S., Wongsanit, N., Laoketkan, T., and Nokkaew, S. (2002) The combustion of liquid fuel using a porous medium. Experimental Thermal and Fluid Science. Vol.26. pp.15-23.

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 37
วันที่ 25 - 28 กรกฎาคม พ.ศ. 2566 จังหวัดสงขลา
MENET-2023-0027



- [8] Jugjai, S. and Polmart, N. (2003) Enhancement of evaporation and combustion of liquid fuels through porous media. *Experimental Thermal and Fluid Science*. Vol.27. pp. 901-909.
- [9] Amatachaya, P. and Krittacom, B. (2009) The combustion of liquid fuels using a packed bed. *Proceeding of International Conference on Power Engineering 2009 (ICOPE- 09), Kobe, JAPAN*.
- [10] บัณฑิต กฤตาคม. (2553) หัวพันไฟอุตสาหกรรมและการประยุกต์ใช้วัสดุพูนในหัวเผาพ่นไฟ. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม*. 12 (2). กรกฎาคม 2553. หน้า 85 - 92.
- [11] สำเร็จ จักรใจ. (2547) การเผาไหม้. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [12] Annamalai, K. and Puri, I K. (2007) *Combustion Science and Engineering*, CRC Press, New York.
- [13] McCabe, M.M. (1989) *Waste Oil in in Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal*. Edited by Fracman, H.M. McGraw-Hill.
- [14] Mueller Associates, Inc. (1989) *Waste Oil : Reclaiming Technology, Utilizati*
- [15] บทความวิชาการ. ทฤษฎีการเกิดไฟ. แหล่งที่มา <https://www.pinhonggroup.com/tab/detail.php?id=38>. (2 พฤศจิกายน 2565).
- [16] หนังสือชีวมวล (Biomass) หน้า 3 . Energy Saving product สหกิจเจริญ อินเทอร์เน็ต : [21 กันยายน 2551.]
- [17] บทความ “กลไกการถ่ายเทความร้อน” โดยศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลก และดาราศาสตร์ เข้าถึงได้จาก: lesa.biz/heat-transfer [12 ต.ค. 2562].
- [18] “การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer)” หนังสือเทอร์โมไดนามิกส์ 1, *Thermodynamics : An Engineering Approach*, (2447)

ชื่อ-สกุล	ณัฐพล คำมา
วัน เดือน ปี เกิด	15 พฤษภาคม 2539
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลเชิงคำ
ที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 63 หมู่ 6 ตำบล เวียง อำเภอ เชียงคำ จังหวัด พะเยา 56110

