

อิทธิพลของความดันเชื้อเพลิงต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้และ การเกิดมลพิษไอเสียของเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์

Influence of Fuel Pressure on Combustion Efficiency and Exhaust Pollution of Asphalt Distributor

วรชัย ชัยสิงห์เหนือ¹ ฐณพล เวียงทอง¹ กวิน เลิศเลาห์กุล¹ ประเสริฐ วิโรจน์ชีวัน¹
ณทพร จินดาประเสริฐ¹ และปฎิภาณ ถิ่นพระบาท^{1*}

Worachai Chaisingnuea¹, Thanaphon Wiangthong¹, Kawin Lertlaokul¹, Prasert Wirotecheewan¹,
Nataporn Chindaprasert¹ and Padipan Tinprabath^{1*}

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

¹Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

*Corresponding author: padipan.t@rmutp.ac.th

Received: January 29, 2025

Revised: April 2, 2025

Accepted: April 8, 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของความดันในการฉีดเชื้อเพลิงต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้และการเกิดมลพิษไอเสียของเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ ที่ปฏิบัติงานในโครงการก่อสร้างทางวิ่งที่ 3 ท่าอากาศยานสนามบินสุวรรณภูมิ ซึ่งเครื่องพ่นแอสฟัลต์ที่เป็นชนิดขับเคลื่อนได้ด้วยตัวเองมีถังบรรจุแอสฟัลต์ติดตั้งบนรถบรรทุก โดยปัญหาที่พบจากเครื่องพ่นแอสฟัลต์ คือ ในขณะที่เครื่องพ่นแอสฟัลต์ทำงานหรือดับอย่างกะทันหันจะเกิดควันดำจากการเผาไหม้ในเตาเผาถูกปล่อยออกมาเป็นจำนวนมาก น้ำมันดีเซลในงานวิจัยนี้จะถูกฉีดด้วยความดัน 40–80 psi ตัวแปรที่สนใจศึกษาได้แก่ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง อัตราส่วนสมมูล อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ประสิทธิภาพการเผาไหม้ ประสิทธิภาพเตาเผา และมลพิษไอเสีย ได้แก่ CO₂ CO NO_x และควันดำ ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มความดันในการฉีดเชื้อเพลิงทำให้ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงมีแนวโน้มลดลง 4.1–4.6% อัตราส่วนสมมูลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 11.4–54.3% อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น 1.7–5.2% ประสิทธิภาพการเผาไหม้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 3.7–6.4% การเพิ่มความดันในการฉีดยังช่วยลดขนาดของหยดเชื้อเพลิงและเพิ่มอัตราการผสม สำหรับมลพิษไอเสียเมื่อเพิ่มความดันในการฉีดเชื้อเพลิง พบว่า CO₂ มีค่าเพิ่มขึ้น 0.6–2.7% และ NO_x มีค่าเพิ่มขึ้น 14–32% ส่วน CO มีค่าลดลง 20.3–95.4% และค่าควันดำ ที่ความดันมากกว่า 65 psi มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนดไม่เกิน 50%

คำสำคัญ: เตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ ความดันเชื้อเพลิง ประสิทธิภาพการเผาไหม้ ก๊าซไอเสีย

Abstract

This research investigates the influence of fuel injection pressure on the combustion efficiency and exhaust emissions of the burner used in asphalt sprayers operating in the construction project of the 3rd Runway at Suvarnabhumi Airport. The self-propelled asphalt sprayer, equipped with an asphalt tank mounted on a truck, faces a significant issue of emitting large amounts of black smoke during operation or while heating asphalt in the burner. In this study, diesel fuel was injected at pressures ranging from 40 to 80 psi. The variables studied included the air-to-fuel ratio, equivalence ratio, fuel consumption rate, combustion efficiency, burner efficiency, and exhaust emissions such as CO₂, CO, NO_x, and black smoke. The findings revealed that increasing the fuel injection pressure tends to reduce the air-to-fuel ratio by 4.1-4.6%, while the equivalence ratio increased by 11.4-54.3%. The fuel consumption rate increased by 1.7-5.2%, and combustion efficiency showed an improvement of 3.7- 6.4%. Higher injection pressure also contributed to a reduction in fuel droplet size and enhanced mixing rates. In terms of exhaust emissions, it was observed that increasing the fuel injection pressure resulted a rise in CO₂ emissions by 0.6-2.7% and NO_x emissions by 14-32%, whereas CO levels decreased by 20.3-95.4%. However, black smoke emissions exceeded the standard limit of 50% when the injection pressure was above 65 psi.

Keywords: asphalt distributor furnace, fuel pressure, combustion efficiency, emission



บทนำ

ปัจจุบันนี้มลพิษทางอากาศเป็นปัญหาที่สำคัญและวิกฤตอย่างรุนแรงไปทั่วโลก โดยแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศมีสาเหตุหลักสองประการได้แก่ ประการแรก คือ การเกิดมลพิษทางอากาศจากการกระทำของมนุษย์ เช่น เกิดจากความต้องการพลังงานเพื่อใช้ในครัวเรือน ภาคอุตสาหกรรม ภาคการเกษตรกรรม และการสันดาปเชื้อเพลิงของยานยนต์ ประการต่อมาคือ ปัญหามลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติ เช่น การระเบิดของภูเขาไฟที่ทำให้เกิดควัน มลพิษที่เกิดจากไฟป่า ซึ่งปัญหามลพิษทางอากาศได้ส่งผลกระทบอย่างมาก เกิดผลกระทบต่อมนุษย์ เป็นสาเหตุการเจ็บป่วยหรือเสียชีวิตแบบเฉียบพลัน ซึ่งเกิดจากการสูดดมเอามลพิษทางอากาศที่มีความเข้มข้นและรุนแรงเข้าสู่ร่างกาย นอกจากนี้ปัญหามลพิษทางอากาศ ยังส่งผลกระทบต่อพืช สัตว์ที่ต้องหายใจเช่นเดียวกับมนุษย์ (Department of Disease Control,

2021) จากข้อมูลเฝ้าระวังโรคที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศระหว่างวันที่ 1 มกราคม-19 มีนาคม 2566 พบว่ามีผู้ป่วยด้วยโรคที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศแล้ว 1,730,973 ราย โรคที่พบสูงสุดได้แก่ โรคทางเดินหายใจ (Department of Disease Control, 2021) ในโครงการก่อสร้างทางวิ่งที่ 3 ท่าอากาศยานสนามบินสุวรรณภูมิที่ได้ก่อสร้างระหว่างปี พ.ศ 2563-2567 เป็นงานก่อสร้างที่มีเครื่องจักรเป็นจำนวนมาก ประกอบไปด้วย รถเกรด รถบด รถขุดดิน รถดันดิน รถบรรทุกสิบล้อ รถบรรทุกสิบล้อ รถเครน และรถปูยางแอสฟัลต์ และรถดันดิน รถดังกล่าวทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ จากการสันดาปภายในของเครื่องยนต์ และมีรถพ่นแอสฟัลต์ ที่ปลดปล่อยมลพิษทางอากาศมากกว่าปกติ เพราะมีเตาเผาเพื่อใช้ต้มยางมะตอยโดยการเผาไหม้ในเตาเผามีควันออกมา มีทั้งควันดำและควันขาว ที่มีมลพิษเป็นจำนวนมาก จากผลดังกล่าว การท่าอากาศยาน แห่งประเทศไทย (AOT) ได้มีหนังสือถึง

บริษัทผู้รับเหมาให้มีการปรับปรุงและแก้ไขปัญหาดังกล่าว

จากปัญหาที่ได้กล่าวมาข้างต้นทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาประสิทธิภาพการเผาไหม้และการเกิดมลพิษไอเสียจากเตาเผาของเครื่องฟั่นแอสฟัลต์ในโครงการก่อสร้างทางวิ่งที่ 3 ท่าอากาศยานสนามบินสุวรรณภูมิ ซึ่งเครื่องฟั่นแอสฟัลต์ มีถังบรรจุแอสฟัลต์ติดตั้งบนรถบรรทุก โดยปัญหาที่พบจากเครื่องฟั่นแอสฟัลต์นี้ก็คือ ในขณะที่เครื่องฟั่นแอสฟัลต์ทำงานหรือต้มยางมะตอย จะเกิดควันดำและควันขาวจากการเผาไหม้ในเตาเผาถูกปล่อยออกมาเป็นจำนวนมาก จึงมีความสนใจที่จะศึกษาประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องฟั่นแอสฟัลต์ การปล่อยมลพิษจากเตาเผา รวมทั้งปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของการเผาไหม้ในเตาเผา จากงานวิจัยการศึกษาผลกระทบของความดันในการฉีดเชื้อเพลิงผสมไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม B20 ต่อประสิทธิภาพความร้อนและลักษณะการปล่อยมลพิษของเตาเผาน้ำมันเชื้อเพลิง โดย Nidal et al. (2020) พบว่า ผลการเพิ่มความดันในการฉีดช่วยลดขนาดหยดเชื้อเพลิงและเพิ่มอัตราการผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงทำให้ทั้งอุณหภูมิและการแผ่รังสีความร้อนของเปลวไฟเพิ่มขึ้น ลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และเขม่า พบว่า การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) จะเพิ่มขึ้นจากความดันของการฉีด แต่พบว่า ต่ำกว่าค่ามาตรฐานกำหนด จากงานวิจัยเรื่องเงื่อนไขในการทำงานที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเผาไหม้ที่มีประสิทธิภาพในเครื่องเผาไหม้เครื่องยนต์สเตอร์ลิง ที่มีบรรยากาศที่มีออกซิเจนต่างกันของ Li et al. (2010) พบว่า ประสิทธิภาพการเผาไหม้ภายนอกมีแนวโน้มเปลี่ยนไปตามปัจจัย ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแบบพาความร้อนและการเพิ่มความดันของการฉีดเชื้อเพลิง จากงานวิจัยเรื่องมุมของใบพัดหมุนวนอากาศส่งผลต่อลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเหลว โดย Pourhoseini and Rasoul (2017) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ามุมของใบพัดหมุนส่งผลกระทบบ่อยกมีนัยสำคัญต่ออุณหภูมิ ประสิทธิภาพการเผาไหม้ และการปล่อยก๊าซมลพิษคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ใบพัดหมุนมีมุมที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มอัตราการผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงที่เข้ามาในเตาเผา และจากงานวิจัยเรื่องการออกแบบหัวเผาเพื่อการปรับปรุงการเผาไหม้สำหรับเตาเผาเซรามิกของ Siripong and Mali (2018) โดยการปรับเปลี่ยนลักษณะ

การกระจายตัว จำนวนและขนาดของช่องเปิดอากาศ และช่องฉีดเชื้อเพลิงก๊าซ 3 แบบ ผลการศึกษาประสิทธิภาพและการวิเคราะห์ก๊าซจากการเผาไหม้พบว่า หัวเผาแบบ BN ให้ค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุด 85% และพบว่า ลักษณะของหัวเผาส่งผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดขึ้น จากรายงานผลการศึกษาผลกระทบของแรงดันฉีดดีเซลต่อสมรรถนะและการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลคอมมอนเรลที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซล/เมทานอลร่วมกัน (DMDF) ของ Chunde et al. (2015) พบว่า ที่แรงดันฉีดต่ำ ค่า IMEP ของโหมด DMDF ต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซล (D) ตลอดการทดสอบ ระยะเวลาการเผาไหม้ในโหมด DMDF จะสั้นลง แรงดันสูงสุดและอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุดเพิ่มขึ้น การปล่อย NOx และควันดำลดลงในโหมด DMDF ที่แรงดันฉีดมากกว่า 115 MPa ขณะที่การปล่อย NO และ CO₂ ต่ำ แต่ HC CO และ NO₂ สูงขึ้น เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล จากงานวิจัยการถ่ายภาพอุณหภูมิและโซนปฏิกิริยาในเปลวไฟเชื้อเพลิงคู่เพื่อช่วยลดการปล่อยมลพิษและพัฒนาการจำลองการเผาไหม้ของ Evans et al. (2018) โดยใช้ภาพอุณหภูมิและสัญญาณ OH เพื่อตรวจสอบโครงสร้างเปลวไฟผลจากการทดลองในเปลวไฟสเปรย์ n-เฮปเทน พบว่า เมื่อความเข้มข้นของเชื้อเพลิงก๊าซเพิ่มขึ้น อุณหภูมิสูงสุดจะเลื่อนไปทางกึ่งด้านนอกของเปลวไฟ และเมื่อเกินขีดจำกัดการติดไฟ โซนปฏิกิริยาจะเริ่มเกิดขึ้นในกระแสที่หมุนวน จากงานวิจัยผลกระทบของอุณหภูมิเชื้อเพลิงต่อสเปรย์เมทานอลและการไหลภายใน โดย Zhifang et al. (2017) ได้ตรวจสอบผลของอุณหภูมิต่อการไหลภายในและการฟั่นละอองของหัวฉีดเมทานอลผ่านการจำลอง 3 มิติและการทดลองด้วย PDPA พบว่า การเกิดโพรงอากาศเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและแรงดันฉีด โดยแรงดันสูงช่วยลดอุณหภูมิที่ทำให้เกิดโพรงอากาศ ค่าสัมประสิทธิ์การคายประจุลดลงเมื่ออุณหภูมิเกิน 60 °C และความเร็วของหยดเมทานอลสูงสุดที่ 60 °C จากงานวิจัยผลของอิมัลชันนาโนซิลเวอร์/น้ำในน้ำมันก๊าดต่อการลด NOx และการปรับปรุงคุณสมบัติทางความร้อนของหัวเผาเชื้อเพลิงเหลวของ Pourhoseini and Esmaeeli (2017) พบว่า อัตราการระเหยและการผสมกับอากาศออกซิโดซ์เพิ่มขึ้นจากการเคลื่อนที่แบบบราวน์ของอนุภาคนาโนเงินและการระเปิดขนาดเล็กของหยดน้ำ การฉีดนาโนอิมัลชันช่วยเพิ่มอัตราการผสมเชื้อเพลิงและอากาศ แม้ว่าการดูดซับความ

ร้อนจากน้ำจะทำให้อุณหภูมิเปลวไฟลดลง แต่การแผ่รังสีเปลวไฟเฉลี่ยกลับเพิ่มขึ้น 23% เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันก๊าดบริสุทธิ์ นอกจากนี้ การปล่อย NOx ลดลงถึง 23.7% ขณะใช้อิมัลชันนาโนซิลเวอร์/น้ำ แสดงให้เห็นถึงความได้เปรียบในด้านการลดมลพิษเมื่อใช้เชื้อเพลิงชนิดนี้ จากงานวิจัยการเพิ่มประสิทธิภาพของเตาเผาแก๊สและการลดการปล่อยไอเสีย: การศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการใช้อุณหภูมิคาร์บอนที่พื้นละออง โดย Amin et al. (2024) พบว่าผลของการฉีดอนุภาคนาโนคาร์บอนในเปลวไฟก๊าซธรรมชาติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเตาเผาและลดมลพิษ โดยใช้หม้อไอน้ำไพร์ทูปสามทาง 120 kW และฉีดนาโนฟลูอิดที่ 1,000 ppm ด้วยอัตรา 5.5 g/min พบว่า การฉีด NPs ลดอุณหภูมิก๊าซปล่อยไฟ เพิ่มการถ่ายเทความร้อนจากการแผ่รังสี 5% และลดการปล่อย NOx และ CO ได้ถึง 8 และ 9 mg/kWh ตามลำดับ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเตาเผาและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และจากการศึกษา ลักษณะการปล่อยความร้อนและ NOx ของการเผาไหม้แบบพัลส์การไหลของเชื้อเพลิงเป็นระยะที่หัวเผาแบบผสมหัวฉีดในเตาเผาแบบเผาตรงของ Hookyung and Dong (2025) ทำการทดลองเทคโนโลยีการเผาไหม้แบบพัลส์ซึ่งโดยควบคุมการไหลของเชื้อเพลิงเป็นระยะเพื่อลดการปล่อย NOx โดยใช้วาล์วกลไกที่ปรับความเร็วรอบและอัตราส่วนหน้าตัดของแผ่นวาล์ว ผลการทดลองพบว่า NOx ลดลงสูงสุด 49.2% สำหรับ LNG (15.4 ppm ที่ 5.0 Hz, 90%) และ 50.8% สำหรับ LPG (24.1 ppm ที่ 3.0 Hz, 90%) อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงความถี่และอัตราการป้อนเชื้อเพลิงมีผลต่อการปล่อย NOx โดยแนวโน้มแสดงให้เห็นว่าการไหลของเชื้อเพลิงที่ไม่เหมาะสมอาจเพิ่มการปล่อย NOx ในบางเงื่อนไข

ดังนั้นผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาอิทธิพลของความดันเชื้อเพลิงต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องฟั่นแอสฟัลต์และผลต่อการเกิดมลพิษจากเตาเผาเครื่องฟั่นแอสฟัลต์ รวมทั้งปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของการเผาไหม้ในเตาเผาเครื่องฟั่นแอสฟัลต์ เพราะความดันเชื้อเพลิงเป็นปัจจัย ที่มีผลต่อประสิทธิภาพเตาเผา (The Institute of Industrial Energy, 2015) ผลจากการศึกษารังนี้ จะนำไปสู่การปรับปรุงเครื่องฟั่นแอสฟัลต์ ทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์มากขึ้น ที่มีผลต่อการลดมลพิษทางอากาศ

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องฟั่นแอสฟัลต์
2. เพื่อศึกษาอัตราการปลดปล่อยมลพิษจากเตาเผาเครื่องฟั่นแอสฟัลต์

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. ระบบเตาเผาเครื่องฟั่นแอสฟัลต์

งานร่อนฟั่นแอสฟัลต์หรือเรียกกันโดยทั่วไปว่างานลาดยางไพรมโคท (prime coat) คือ การลาดยางแอสฟัลต์แบบเหลวลงบนชั้นพื้นทางที่ได้ปรับเกลี่ยแต่งบดและอัดจนได้ระดับความแน่นพร้อมทั้งมีค่าระดับและรูปร่างตามแบบแล้ว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยป้องกันไม่ให้น้ำไหลซึมลงสู่ในชั้นพื้นทางและเพื่อให้ชั้นผิวทางยึดเกาะกับวัสดุชั้นพื้นทางได้ดี ปริมาณยางแอสฟัลต์ที่ใช้ประมาณ 0.8-1.4 ลิตรต่อตารางเมตร ขึ้นอยู่กับลักษณะผิวของพื้นทาง สำหรับเตาเผาเครื่องฟั่นแอสฟัลต์ถูกติดตั้งไว้บนรถฟั่นแอสฟัลต์หรือรถปูยางแอสฟัลต์ เป็นชนิดขับเคลื่อนได้ด้วยตัวเองมีถังบรรจุแอสฟัลต์ติดตั้งบนรถบรรทุก เครื่องฟั่นแอสฟัลต์ต้องมีระบบหมุนเวียน มีปั๊มแอสฟัลต์ที่สามารถใช้งานได้ดี ทั้งแอสฟัลต์เหลวและแอสฟัลต์ซีเมนต์ โดยมีอุปกรณ์ที่จำเป็นในการใช้งาน (1) ไม่วัด หรือเครื่องวัดปริมาณแอสฟัลต์ในถัง (2) หัวเผาให้ความร้อนแอสฟัลต์ (3) เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิแอสฟัลต์ (4) ปั๊มแอสฟัลต์ (5) เครื่องต้นกำลังหรือเครื่องยนต์ (6) ท่อฟั่นแอสฟัลต์ พร้อมหัวฉีด (7) ท่อฟั่นแอสฟัลต์แบบมือถือ (8) อุปกรณ์วัดปริมาณการฟั่นแอสฟัลต์ (9) ถังบรรจุแอสฟัลต์บนรถ มีเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิ ระบบเตาเผาเครื่องฟั่นแอสฟัลต์จะมีอากาศและเชื้อเพลิงเข้ามาผสมกันภายในท่อและเคลื่อนที่มาที่หัวเผา หัวเผาที่ใช้มักเป็นแบบความเร็วสูงความดันสูงให้อากาศและเชื้อเพลิงมาผสมกันที่ปลายหัวเผา ซึ่งเมื่อใช้งานในระยะนานหัวฉีดอาจเกิดการอุดตันจากเขม่าที่เกิดจากการเผาไหม้จึงควรมีการทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้เกิดการผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง ทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ และช่วยลดมลพิษจากไอเสีย (Department of Rural Roads, Ministry of Transport, 2011)

2. หัวเผา

หัวเผา (burner) คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการก่อให้เกิดการเผาไหม้ โดยทำหน้าที่ผสมอากาศที่มีความเร็วเข้ากับเชื้อเพลิง เพื่อสร้างปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่มีประสิทธิภาพ หัวเผาเป็นส่วนสำคัญในกระบวนการต่าง ๆ เช่น การผลิตพลังงาน ความร้อนในอุตสาหกรรม การทำอาหารหรือการให้ความร้อนในระบบผลิตต่าง ๆ หัวเผามักถูกออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งานที่ต้องการ โดยสามารถควบคุมอัตราการเผาไหม้และค่าความร้อนที่ผลิตได้ หัวเผามีหลายประเภท โดยแต่ละประเภทถูกออกแบบมาเพื่อการใช้งานที่แตกต่างกัน ได้แก่ (ก) หัวเผาแบบควบคุมต่อเนื่อง (modulating burner) การใช้งานสามารถปรับเปลี่ยนอัตราการเผาไหม้ให้เหมาะสมกับภาระการใช้งาน อาทิ ในระบบทำความร้อนหรือระบบผลิตพลังงาน ช่วยให้ควบคุมปริมาณความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ข) หัวเผาพ่นไฟแบบความเร็วสูง (high velocity burner) การใช้งานจะให้เปลวไฟความเร็วสูงพุ่งตรงเข้าสู่ชิ้นงาน เพื่อให้ความร้อนถึงใจกลางชิ้นงานอย่างรวดเร็ว มักใช้ในอุตสาหกรรมที่ต้องการอุณหภูมิสูงในเวลาอันสั้น เช่น การหลอมโลหะ (ค) หัวเผาแบบรีคูเพอเรทีฟ (recuperative burner) การใช้งานจะช่วยดึงแก๊สร้อนจากการเผาไหม้ให้ไหลกลับมาสัมผัสผิวท่อของอากาศใหม่ ให้สามารถอุ่นอากาศก่อนการเผาไหม้ ช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน มักใช้ในเตาอบหรือระบบผลิตความร้อน (ง) หัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ (regenerative burner) การใช้งาน ช่วยดึงความร้อนจากไอเสียมาเก็บที่รีเจนเนอเรเตอร์เพื่ออุ่นอากาศก่อนการเผาไหม้ เหมาะสำหรับการใช้งานในที่ต้องการความร้อนสูงและมีประสิทธิภาพในการใช้งานเชื้อเพลิง เช่น ในอุตสาหกรรมหลอมโลหะหรือการผลิตอุณหภูมิสูง โดยทุกประเภทของหัวเผามีวิธีการทำงานและคุณสมบัติที่ต่างกัน ทำให้สามารถเลือกใช้งานให้เหมาะสมกับการผลิตหรือกระบวนการเฉพาะได้อย่างมีประสิทธิภาพ (The Institute of Industrial Energy, 2015)

3. ทฤษฎีการเผาไหม้

การเผาไหม้เป็นการทำปฏิกิริยาเคมี ซึ่งวัตถุดิบเผาไหม้หรือเชื้อเพลิง (C_xH_y) ได้จะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจน (O_2) พร้อมกับปลดปล่อยความร้อนออกมา ในขณะที่เดียวกันก็จะแปรสภาพไปเป็นสารประกอบออกไซด์หรือผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่สมบูรณ์ ได้แก่

คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O) และ ไนโตรเจน (N_2) การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ก่อให้เกิดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงไปโดยเปล่าประโยชน์และก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ ปฏิกิริยาการเผาไหม้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีปัจจัยครบทั้ง 3 อย่าง ได้แก่ สารตั้งต้นที่เข้าทำปฏิกิริยากัน คือ เชื้อเพลิง ตัวออกซิไดส์ และภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา การเผาไหม้ได้อย่างต่อเนื่องสมบูรณ์ เช่น มีแหล่งความร้อน ประกายไฟ หรืออุณหภูมิสูง เป็นต้น ปฏิกิริยาการเผาไหม้ทั่วไปของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนกับอากาศเขียนในรูปสมดุลสมการเคมีของการเกิดปฏิกิริยา ดังสมการที่ (1) (Heywood, 1988) เมื่อ x และ y คือ จำนวนอะตอมของธาตุ

$$C_xH_y + \left(x + \frac{y}{4}\right)(O_2 + 3.76N_2) \rightarrow xCO_2 + \left(\frac{y}{2}\right)H_2O + 3.76\left(x + \frac{y}{4}\right)N_2 \quad (1)$$

สำหรับการเผาไหม้จริงที่เกิดขึ้น จะใช้อัตราส่วนที่บอกว่าสัดส่วนระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศของไอเดียมีค่าเป็นกิโลกรัมของสัดส่วนเชื้อเพลิงกับอากาศที่ทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ ดังนี้

อัตราส่วนสมมูลเชื้อเพลิงอากาศ (Fuel-air equivalent ratio)

$$\phi = \frac{(FA)_{act}}{(FA)_{stoich}} = \frac{(AF)_{stoich}}{(AF)_{ac}} \quad (2)$$

โดยที่

$(FA)_{act}$ = อัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศที่เกิดขึ้นจริง

$(FA)_{stoich}$ = อัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศที่เกิดขึ้นทางทฤษฎี

$(AF)_{act}$ = อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นจริง

$(AF)_{stoich}$ = อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นทางทฤษฎี

เมื่อ $\phi < 1$ ไอเดียจาง (lean) มีออกซิเจนเหลือในไอเสีย $\phi > 1$ ไอเดียเข้ม (rich) มีคาร์บอนมอนอกไซด์ และเชื้อเพลิงในไอเสีย $\phi = 1$ สัดส่วนสมมูลได้พลังงานสูงสุดจากเชื้อเพลิง

4. การวิเคราะห์ก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้

องค์ประกอบหลักในก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้

ได้แก่ N_2 , O_2 , CO_2 และ H_2O อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงและสภาพการเผาไหม้บางอย่างจะทำให้เกิด CO , SO_2 , NO , NO_2 และ HCL และไฮโดรคาร์บอนที่ไม่เผาไหม้ปริมาณเล็กน้อยได้ นอกจากนี้ บางครั้งยังมีอนุภาคของแข็งอีกด้วย เช่น เเขม่า เป็นต้น การวิเคราะห์องค์ประกอบ ในก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้ มีความสำคัญในการหาปริมาณอัตราส่วนอากาศ การตรวจสอบปริมาณก๊าซเผาไหม้ การประมาณความสูญเสียในก๊าซไอเสียในสมดุลความร้อน การปรับปรุงสภาวะการเผาไหม้ เป็นต้น เครื่องวิเคราะห์ก๊าซเหล่านี้สามารถแบ่งออกได้เป็นเครื่องวิเคราะห์ทางเคมี และทางฟิสิกส์ ซึ่งแบ่งออกเป็นประเภทย่อยได้อีก วิธีวิเคราะห์ทางฟิสิกส์หมายถึง วิธีวิเคราะห์เพื่อหาความเข้มข้นของสารเคมีชนิดต่าง ๆ ที่อยู่ในก๊าซ ด้วยการวัดคุณสมบัติทางฟิสิกส์ เช่น การดูดกลืนและการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ความหนาแน่น ความเป็นแม่เหล็ก เป็นต้น วิธีการวิเคราะห์ก๊าซเกือบทั้งหมดจะจัดเป็นวิธีวิเคราะห์ทางฟิสิกส์ทั้งสิ้น วิธีวิเคราะห์ทางเคมี หมายถึง เครื่องวิเคราะห์ก๊าซเฮมเพิล (Hempel gas analyzer) และการวิเคราะห์ปริมาณการวัดด้วยวิธีการต่าง ๆ เท่านั้น อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้ มีทั้งแบบที่สามารถวัดความเข้มข้นได้อย่างต่อเนื่อง และแบบที่ต้องเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์เป็นครั้ง ๆ ไป (Department of Alternative Energy Development and Energy Conservation, 2024)

5. ประสิทธิภาพการเผาไหม้และประสิทธิภาพของเตาเผา

ประสิทธิภาพการเผาไหม้ หมายถึง ประสิทธิภาพของการเผาไหม้กระบวนการในการแปลงเชื้อเพลิงเป็นพลังงานความร้อน และถูกวัดโดยปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้อย่างมีประสิทธิภาพ และนำความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ไปใช้ประโยชน์ ในขณะเดียวกันก็ลดการปล่อยมลพิษที่เป็นอันตรายให้น้อยที่สุด ในการวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ด้วยเครื่องมือ (flue gas analyzer) เป็นเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบว่าก๊าซที่ปล่อยออกมาที่ปล่อง มีประสิทธิภาพการเผาไหม้มากหรือน้อยเพียงใด ซึ่งสามารถวัดได้ออกมาเป็นตัวเลข และนอกจากบอกค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ ยังบอกค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ เช่น ปริมาณเปอร์เซ็นต์ (O_2 , CO , CO_2 และ NO_x) ซึ่งก๊าซมลพิษต่าง ๆ ที่ได้จากเครื่องมือวัดยังสามารถนำไปคำนวณหาความร้อนที่สูญเสียจากเตาเผา หรือ การหาประสิทธิภาพเตาเผา โดยที่ประสิทธิภาพ

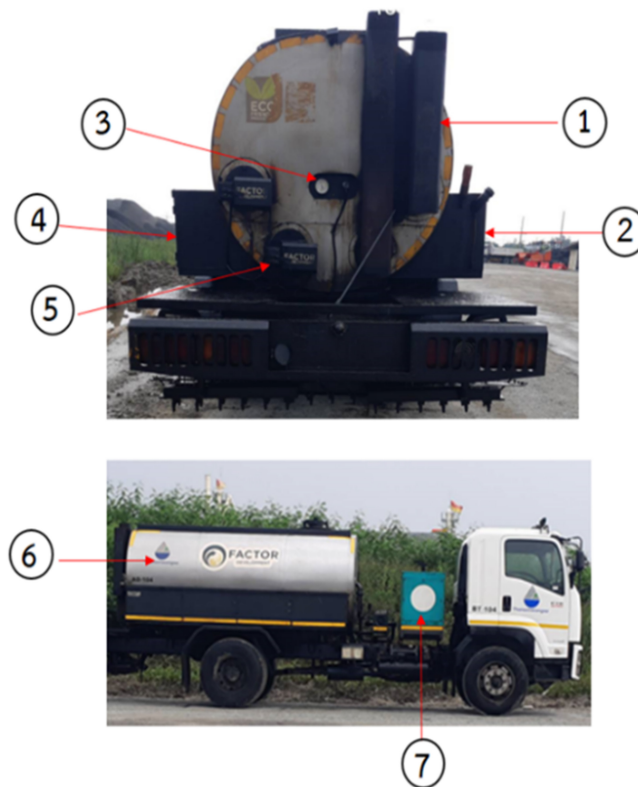
เตาเผา เป็นตัวเลขที่แสดงว่า พลังงานที่อยู่ในเชื้อเพลิง ที่เกิดจากการเผาไหม้ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการให้ความร้อนผลิตภัณฑ์ได้ที่เปอร์เซ็นต์ กล่าวคือ เป็นตัวเลขที่ใช้แสดงอัตราส่วนของปริมาณความร้อนที่ให้กับผลิตภัณฑ์ของเตาเผา และปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ป้อนให้กับเตาเผา ประสิทธิภาพของเตาเผาสามารถกำหนดได้ทั้งวิธีทางตรง (1) การทดสอบวิธีทางตรง ประสิทธิภาพของเตาเผาสามารถคำนวณได้จากการวัดปริมาณเชื้อเพลิงที่เข้าต่อหน่วยน้ำหนักของวัสดุที่ผลิตจากเตาเผา การหาประสิทธิภาพเตาเผา (2) การทดสอบวิธีทางอ้อม โดยการหาการสูญเสียความร้อน (Department of Alternative Energy Development and Energy Conservation, 2024)

วิธีดำเนินการวิจัย

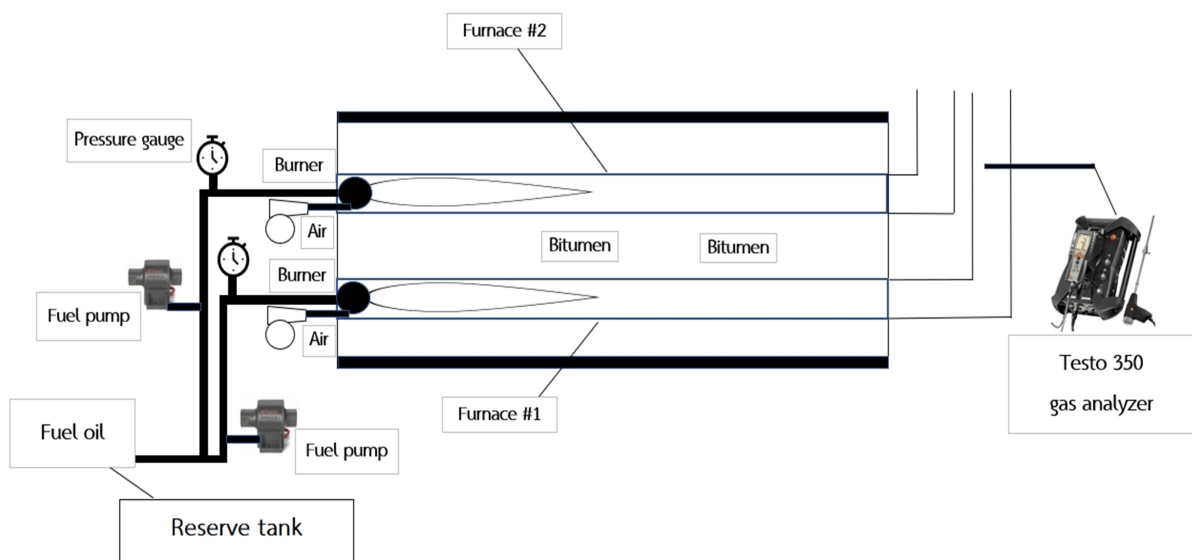
1. ศึกษาข้อมูลทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง การหาประสิทธิภาพการเผาไหม้และการวัดไอเสียจากเตาเผา รวมไปถึงการวัดประสิทธิภาพเตาเผา
2. กำหนดขอบเขตในการศึกษาและวางแผนดำเนินการวิจัย
3. ออกแบบและกำหนดเงื่อนไขวิธีการทดสอบ รวมถึงการปรับปรุงวิธีการให้พร้อมทำการทดสอบ
4. ดำเนินการทดสอบการวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้และการเกิดมลพิษไอเสียของเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ โดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง และเก็บบันทึกผลการทดสอบ
5. วิเคราะห์ผลการทดสอบการวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้และมลพิษไอเสียของเครื่องพ่นแอสฟัลต์ และทำการทดสอบซ้ำ
6. สรุปผลการทดสอบและเผยแพร่ผลการศึกษา
7. สรุปผลการศึกษา

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ ที่ใช้ในการวิจัย ยี่ห้อ Factor รุ่น Xfactor ขนาดอัตราความร้อน 370 กิโลวัตต์ และในการทดสอบครั้งนี้เป็นเตาเผาที่ใช้ความร้อนส่งผ่านไปยังผลิตภัณฑ์ ก็คือ น้ำยางมะตอย โดยเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์มีรายละเอียด (1) ท่อไอเสีย (2) ถังน้ำมัน (3) เกจวัดความดันน้ำมันเชื้อเพลิง แบบดิจิตอล TIS TG 1.0 มีความแม่นยำ $\pm 0.5\%$ (4) ชุดควบคุมเตาเผา (5) พัดลมอัดอากาศ (6) ถังบรรจุยางมะตอย (7) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแสดงดังภาพ 1



ภาพ 1 รถบรรทุกและเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์



ภาพ 2 โครงสร้างเตาเผาเป็นลักษณะท่อเหล็กกลม ติดตั้งอยู่ในถังบรรจุน้ำมันอย่างต่อเนื่อง

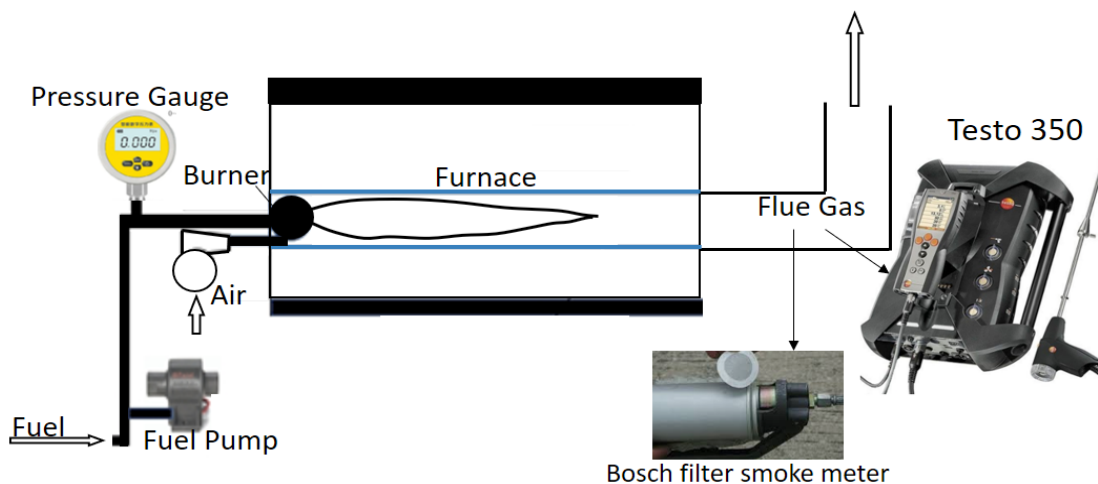
2. หัวเผา (burner) ที่ใช้ในการทดสอบให้ความร้อนกับผลิตภัณฑ์น้ำมันมะตอย ซึ่งเป็นหัวเผขนาดเล็กแบบเปลวไฟแพร่ (diffusion flame) หัวเผา ยี่ห้อ Monarch รุ่น Monarch oil nozzle 3.00 GPH x 45 degree PLP ชุดหัวเผาแบบ PLP โคนกึ่งแข็ง 2.25 ถึง 100 USGPH ซึ่งหัวเผาแบบ PLP เป็นหัวเผาน้ำมันในภาคอุตสาหกรรม โดยมีลักษณะหน้าตัดทรงกรวย หัวเผชนิดนี้จะประกอบไปด้วย ตัวกรอง (filter) ตัวล็อก (locknut) แผ่นไหลหมุนวน (swirl disk) และหัวฉีด (nozzle tip)

3. เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย (flue gas analyzer) ที่ใช้ในการศึกษานี้ เพื่อหาประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ ยี่ห้อ Testo รุ่น Flue gas analyzer testo 350 เป็นเครื่องที่ใช้ตรวจสอบปริมาณก๊าซที่ปลดปล่อยออกมาจากปล่องไอเสีย โดยสามารถวัดก๊าซ O_2 CO_2 CO NOx และ SO_2 ได้ และมีความเที่ยงตรง $O_2 \pm 0.2$ Vol% $CO_2 \pm 0.3$ Vol% $CO \pm 10$ ppm $NOx \pm 5$ ppm และ $SO_2 \pm 5$ ppm

4 เครื่องวัดควันดำระบบกระดาชกรอง ยี่ห้อ Bosch เป็นเครื่องมือวัดควันดำโดยการเก็บตัวอย่างควันดำจากปล่องไอเสียเตาเผา และนำกระดาชกรองจากการวัดควันดำมาอ่านค่าเปอร์เซ็นต์ควันดำ

แผนผังการทดสอบ

แผนผังการทดสอบ แสดงดังภาพ 3 เริ่มจากอากาศที่ผสมเชื้อเพลิงถูกผสมจ่ายไปยังเครื่องพ่นแอสฟัลต์ ด้านในถังบรรจุแอสฟัลต์ จะมีเตาเผาและชุดหัวเผา มีชุดอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อควบคุมการทำงานเตาเผา โดยมีปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง ทำหน้าที่ฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงส่งเข้าไปในเตาเผา ผ่านอุปกรณ์เกจวัดความดัน วาล์วควบคุม และเครื่องอัดอากาศ นำเอาอากาศด้านนอกเตาเผาส่งเข้าไปในเตาเผา มีกระบวนการจุดติดไฟในเตาเผาเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ และเกิดความร้อนส่งผ่านไปยังแอสฟัลต์ ไอเสียจากการเผาไหม้ถูกส่งออกโดยผ่านท่อไอเสีย โดยเครื่องวิเคราะห์ไอเสียจะติดตั้งที่ท่อไอเสีย และตรวจวัดปริมาณควันดำ



ภาพ 3 แผนผังการทดสอบ

วิธีการทดสอบ

1. ตรวจสอบความพร้อมก่อนการใช้งานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และอุปกรณ์เตาเผา
2. เตรียมอุปกรณ์ทดสอบ ติดตั้ง เกจวัดความดันดิจิตอล เครื่องวัดก๊าซไอเสีย เครื่องวัดควันดำ ตรวจสอบชุดเชื่อมต่อสำหรับจุดติดไฟเตาเผา ตรวจสอบชุดวาล์วควบคุมปรับระดับความดันเชื้อเพลิงเตาเผา
3. สตาร์ทเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กดปุ่มสวิทช์การทำงานของเตาเผา ปรับเปลี่ยนระดับความดันน้ำมันเชื้อเพลิง ที่ระดับ 40-80 psi บันทึกค่าผลการทดสอบในสถานะต่าง ๆ ได้แก่ ก๊าซไอเสีย อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ประสิทธิภาพเตาเผา(วัดจากเครื่องมือวัดก๊าซไอเสีย) และปริมาณควันดำ
4. การซ่อมบำรุงเตาเผา ถอดไส้เตาเผา ทำความสะอาด นำเขม่าที่สะสมอยู่ภายในเตาเผาออก ทำการทดสอบซ้ำ 2 ครั้ง

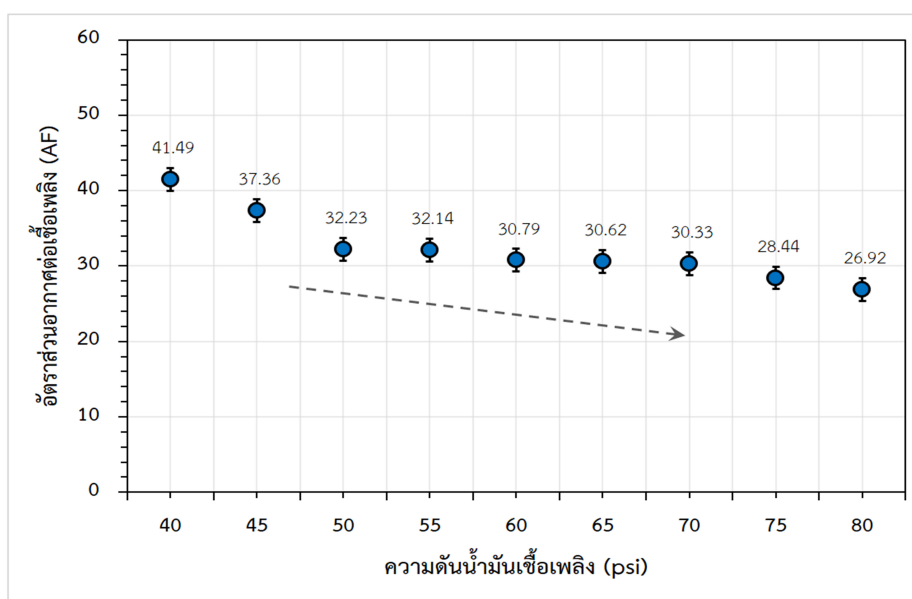
ผลการวิจัย

จากการวิจัยครั้งนี้ เพื่อศึกษาอิทธิพลของความดันเชื้อเพลิงต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้และการเกิดมลพิษไอเสียของเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องพ่นแอสฟัลต์ และอัตราการปลดปล่อยมลพิษจากเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ ผลจากการทดสอบจากกราฟในภาพ 4 จะเห็นได้ว่า เริ่มต้นที่ความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 40 psi อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง เท่ากับ 41.49 และเมื่อปรับเปลี่ยนความดันน้ำมันเชื้อเพลิง

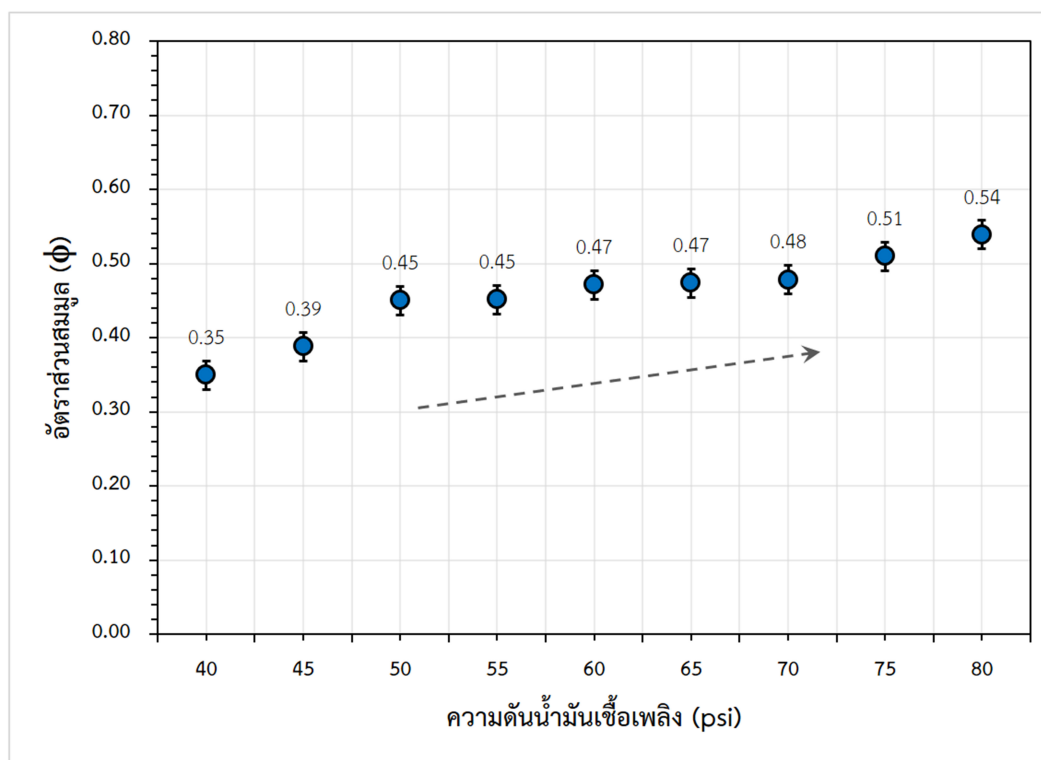
เพิ่มขึ้น อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงมีแนวโน้มลดลง และที่ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงมีค่าเท่ากับ 26.92 จากภาพ 5 อัตราส่วนสมมูล พบว่า เมื่อเริ่มต้นที่ความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเท่ากับ 40 psi อัตราส่วนสมมูลมีค่าเท่ากับ 0.35 และเมื่อปรับเปลี่ยนความดันน้ำมันเพิ่มขึ้น อัตราส่วนสมมูลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 11.42-54.28%

จากภาพ 6 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง พบว่า เริ่มต้นที่ความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 40 psi อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเท่ากับ 34.80 L/h และที่ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi อัตราการสิ้นเปลืองเท่ากับ 36.60 L/h โดยที่อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 1.7-5.2% ตามความดันน้ำมันที่เพิ่มขึ้นหรือปริมาณความดันที่เพิ่มขึ้น ภาพ 7 ประสิทธิภาพการเผาไหม้ พบว่า ที่เริ่มต้นความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 40 psi ประสิทธิภาพการเผาไหม้ มีค่าเท่ากับ 59.10% เมื่อความดันเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการเผาไหม้อยู่ในช่วงระหว่าง 50-60% และความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi ประสิทธิภาพการเผาไหม้เท่ากับ 60.10%

สำหรับประสิทธิภาพเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ แสดงดังภาพ 8 พบว่า ที่เริ่มต้นความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 40 psi ประสิทธิภาพเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ มีค่าเท่ากับ 28.36% เมื่อความดันเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ อยู่ในช่วงระหว่าง 21.09-26.92% และที่ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi ประสิทธิภาพเตาเผา ลดลงเล็กน้อย เท่ากับ 26.92%



ภาพ 4 อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง

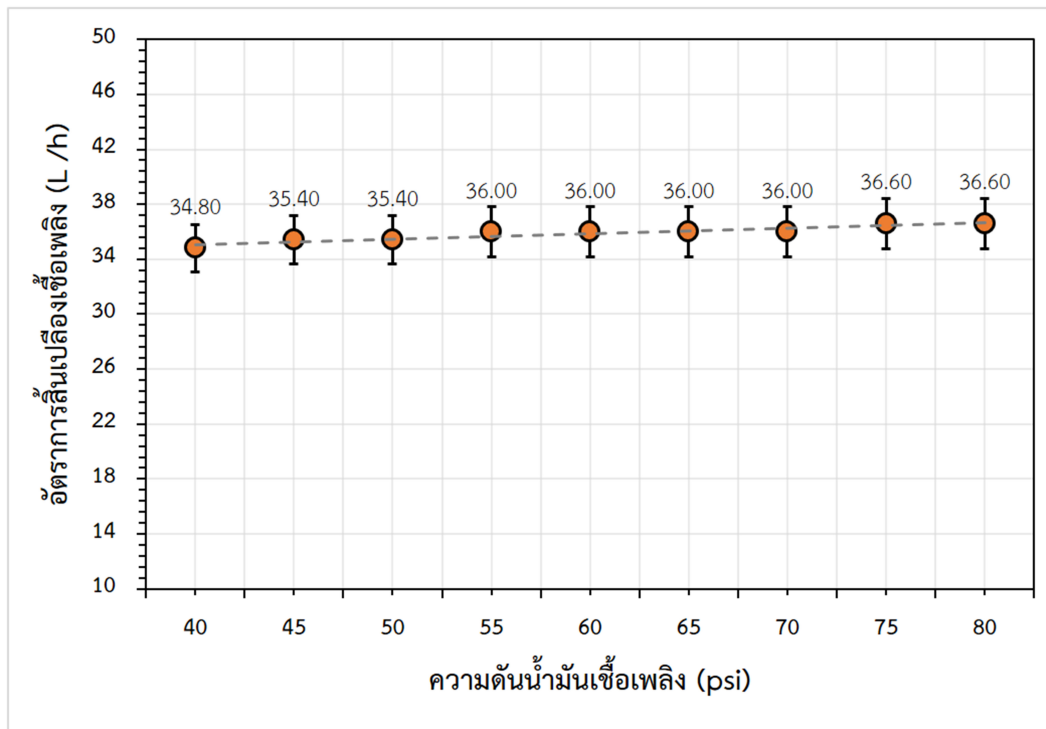


ภาพ 5 อัตราส่วนสมมูล

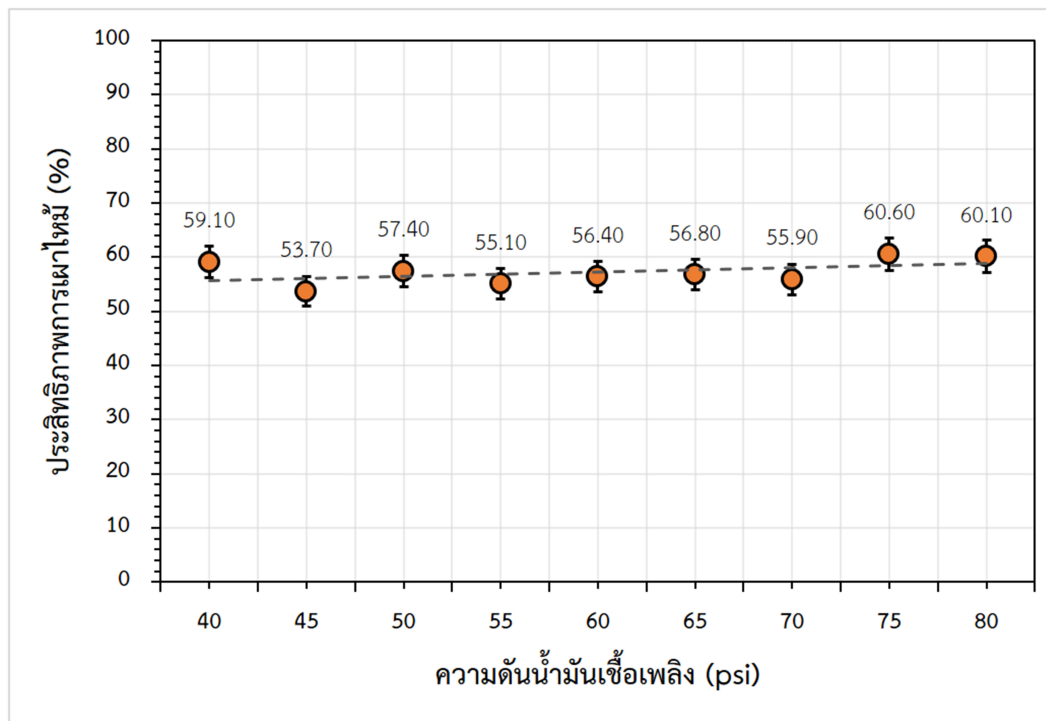
จากภาพ 6 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง พบว่า เริ่มต้นที่ความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 40 psi อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเท่ากับ 34.80 L/h และที่ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi อัตราการสิ้นเปลืองเท่ากับ 36.60 L/h โดยที่อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามความดันน้ำมันเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นหรือปริมาณความดันที่เพิ่มขึ้น ภาพ 7 ประสิทธิภาพการเผาไหม้ พบว่า ที่เริ่มต้นความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 40 psi ประสิทธิภาพการเผาไหม้ มีค่าเท่ากับ 59.10% เมื่อความดันเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการเผาไหม้อยู่ในช่วงระหว่าง 50-60% และความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi ประสิทธิภาพการเผาไหม้เท่ากับ 60.10% เมื่อพิจารณาจากภาพ 7 พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จาก 45 psi และ 75 psi แตกต่างกัน 6.3% ความแตกต่างที่ไม่สูงมากแต่ก็มีความแตกต่างชัดเจน ซึ่งอาจเกิดจากสภาวะความเหมาะสมของการเผาไหม้ โดยการเพิ่ม

ความดันเชื้อเพลิงช่วยให้การเป็นฝอยละอองของเชื้อเพลิงที่ดีขึ้น จึงทำให้มีแนวโน้มของประสิทธิภาพการเผาไหม้เพิ่มขึ้น

สำหรับประสิทธิภาพเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ แสดงดังภาพ 8 พบว่า ที่เริ่มต้นความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 40 psi ประสิทธิภาพเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ มีค่าเท่ากับ 28.36% เมื่อความดันเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์อยู่ในช่วงระหว่าง 21.09-26.92% และความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi มีประสิทธิภาพเตาเผาเท่ากับ 26.92 ลดลงเล็กน้อย 1.44%



ภาพ 6 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง



ภาพ 7 ประสิทธิภาพการเผาไหม้

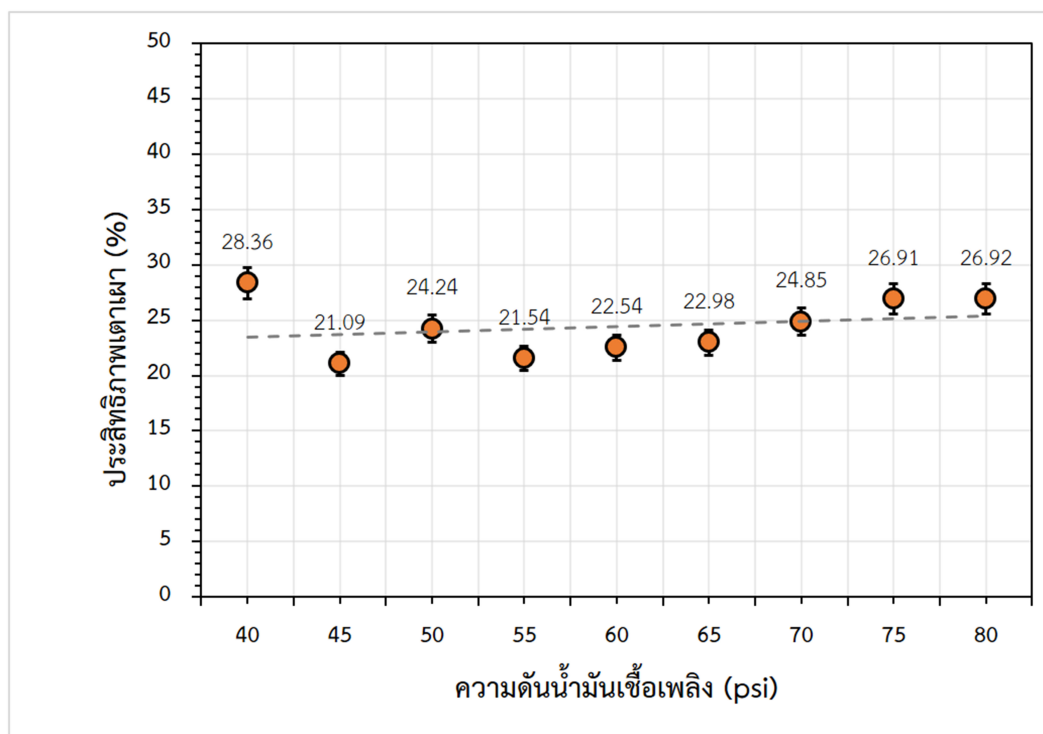
การเกิดมลพิษไอเสียของเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ จากภาพ 9 จะเห็นได้ว่า เริ่มต้นที่ความดันการฉีดน้ำมัน เชื้อเพลิง 40 psi ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเท่ากับ 5.06% และเมื่อปรับเปลี่ยนความดันการฉีดน้ำมันเพิ่มขึ้น ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้น 0.6–2.7% ตามลำดับ และความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi ปริมาณ คาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 8.03% สำหรับปริมาณออกซิเจน ที่เหลือจากการเผาไหม้แสดงในภาพ 10 จะเห็นได้ว่า เริ่มต้น ที่ความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 40 psi ปริมาณออกซิเจน ในไอเสียของเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์จะมีค่าเท่ากับ 14.06% เมื่อปรับเปลี่ยนความดันน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ปริมาณออกซิเจนในไอเสียจะลดลงตามลำดับ และความ ดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi ปริมาณก๊าซออกซิเจน เท่ากับ 10.19% ออกซิเจนที่เหลือจากการเผาไหม้ลดลง ตามลำดับความดันการฉีดเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น

จากภาพ 11 ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 40 psi ปริมาณ คาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าเท่ากับ 0.089% เมื่อปรับเปลี่ยน

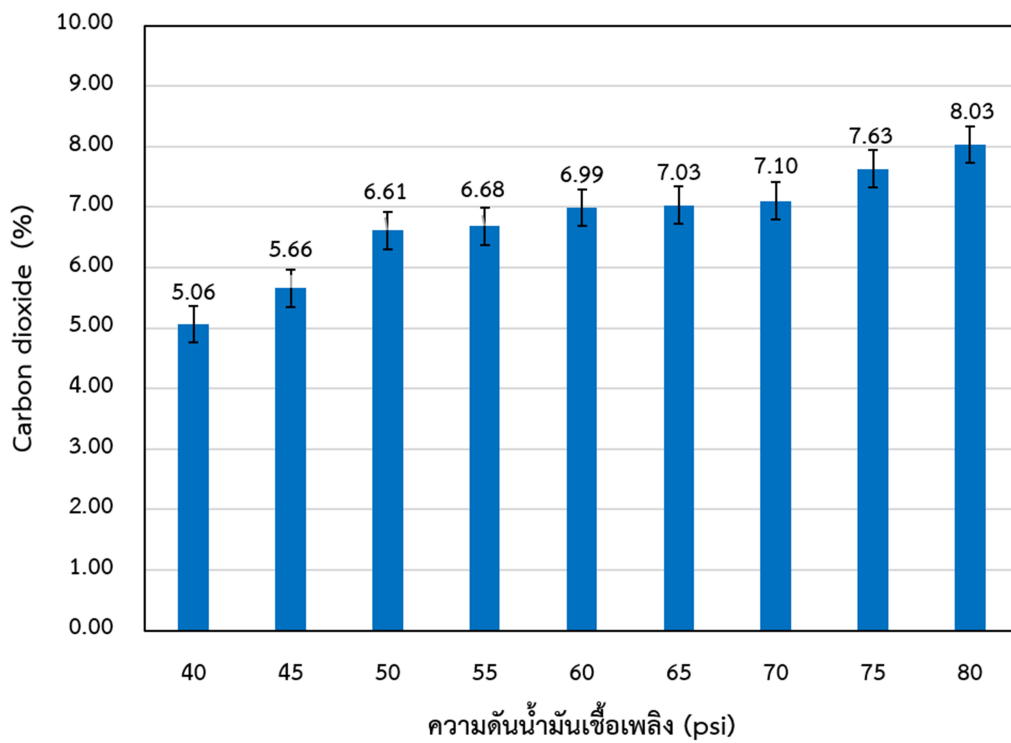
ความดันการฉีดน้ำมันเพิ่มขึ้น ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ ลดลงตามลำดับ และความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เท่ากับ 0.005% ถือว่า เกิดขึ้นน้อยที่สุด

สำหรับปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ จากภาพ 12 จะเห็นได้ว่า เริ่มต้นที่ความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเท่ากับ 40 psi ปริมาณไนโตรเจนออกไซด์มีค่าเท่ากับ 7 ppm และ เมื่อปรับเปลี่ยนความดันน้ำมันเพิ่มขึ้น ปริมาณไนโตรเจน ออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ และความดันการฉีดน้ำมัน เชื้อเพลิง 80 psi ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์เท่ากับ 31 ppm

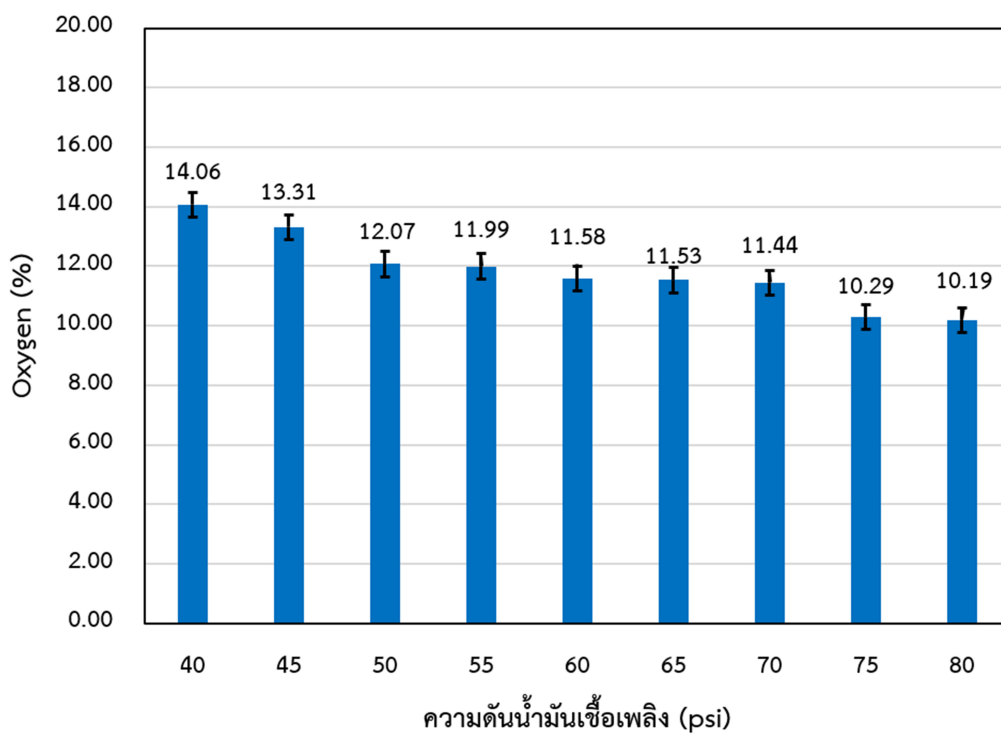
ค่าควันดำที่ได้จากการทดสอบ จากภาพ 13 จะ เห็นได้ว่า เริ่มต้นที่ความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง เท่ากับ 40 psi ค่าควันดำ เท่ากับ 3% เมื่อปรับเปลี่ยนความดัน น้ำมัน 45 psi ค่าควันดำเท่ากับ 16% และค่าควันดำจะ เพิ่มขึ้นตามปริมาณการฉีดของน้ำมันเชื้อเพลิง และความ ดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi ค่าวัดควันดำเท่ากับ 87.0%



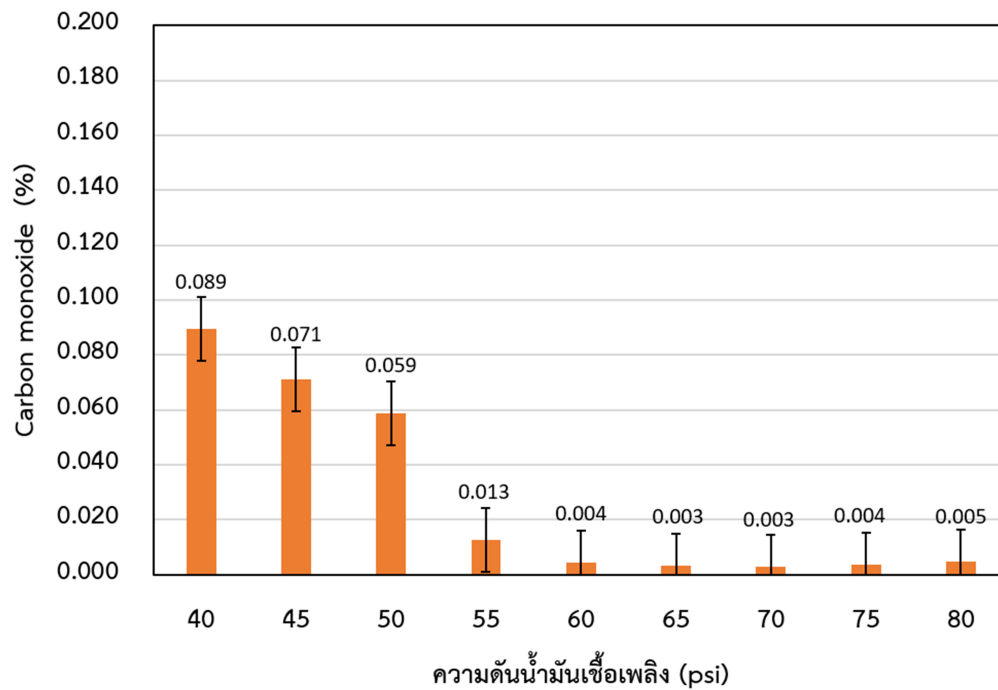
ภาพ 8 ประสิทธิภาพเตาเผา



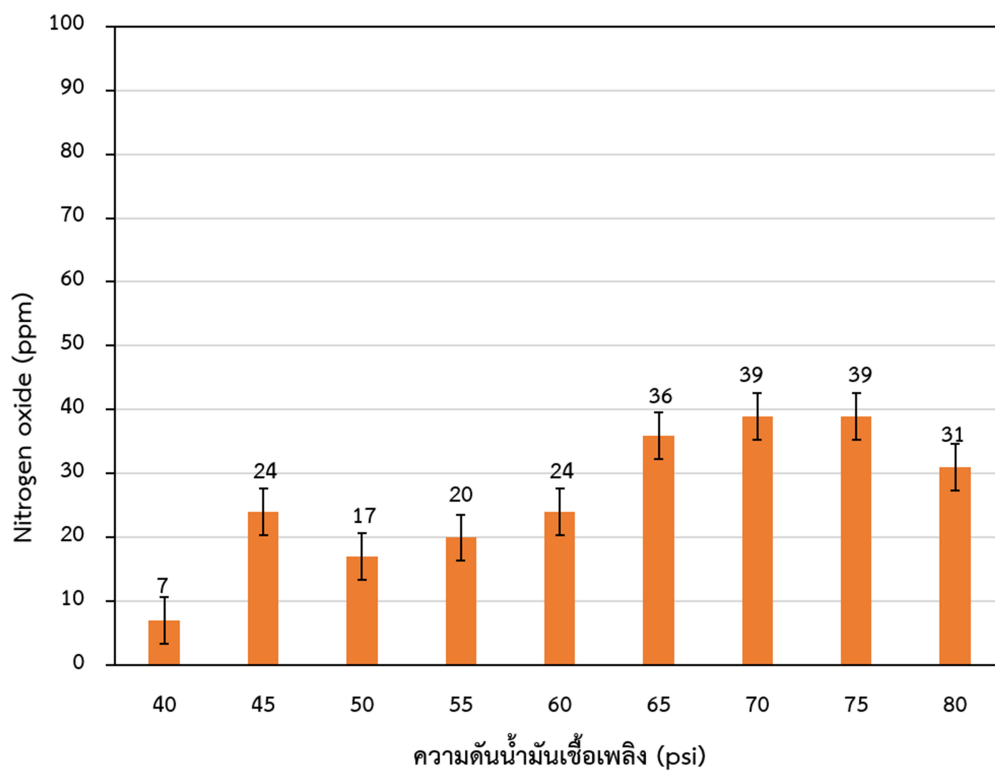
ภาพ 9 คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide)



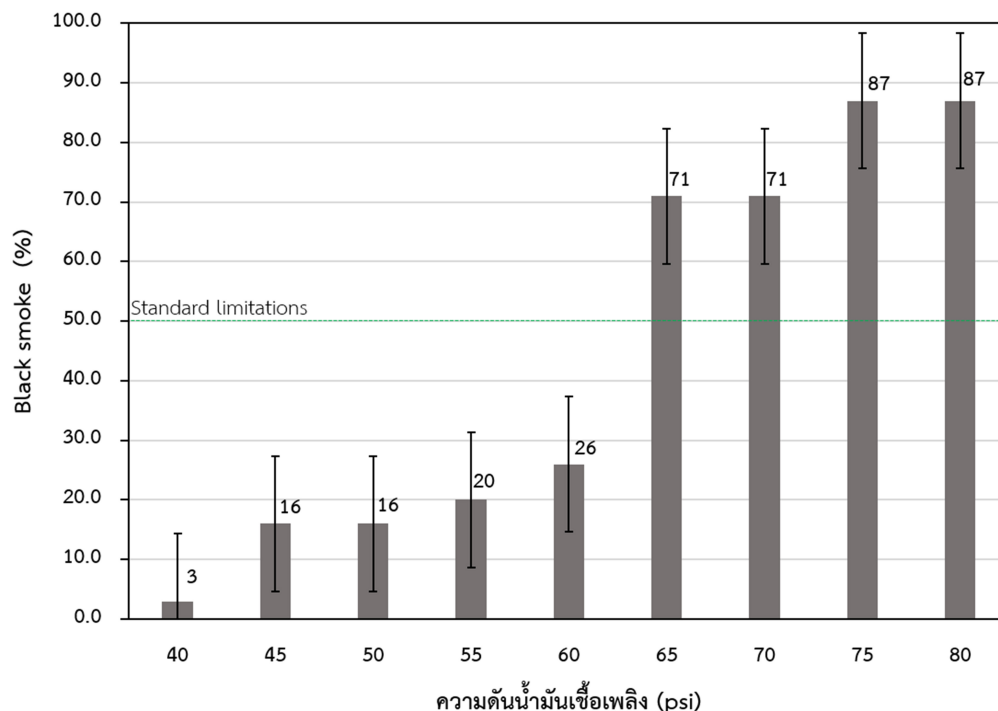
ภาพ 10 ออกซิเจน (Oxygen)



ภาพ 10 คาร์บอนออกไซด์ (Carbon monoxide)



ภาพ 12 ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen oxide)



ภาพ 13 ควันดำ (black smoke)

การอภิปรายผล

ผลจากการศึกษาอิทธิพลของความดันเชื้อเพลิงต่อการเกิดมลพิษไอเสียของเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ ที่ปรับระดับความดันการฉีดเชื้อเพลิง 40-80 psi และวัดค่าไอเสียเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์

เมื่อพิจารณา อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง ที่ความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 40 psi อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง เท่ากับ 41.49 ซึ่งเป็นส่วนผสมที่ค่อนข้างบาง และเมื่อปรับเปลี่ยนความดันน้ำมันเพิ่มขึ้น อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงมีแนวโน้มลดลง หรือส่วนผสมอากาศกับเชื้อเพลิงมีความเข้มข้นมากขึ้นเมื่อปรับความดันน้ำมันในการฉีดเชื้อเพลิงเพิ่ม และที่ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงมีค่าเท่ากับ 29.92 และหากพิจารณาอัตราส่วนสมมูล จะเห็นได้ว่ามีความสอดคล้องกันกับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง โดยเริ่มต้นที่ความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเท่ากับ 40 psi อัตราส่วนสมมูลมีค่าเท่ากับ 0.35 และเมื่อปรับเปลี่ยนความดันน้ำมันเพิ่มขึ้น อัตราส่วนสมมูลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 11.4-54.3% ตามความดันที่ฉีดเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจริง ดังภาพ 4 จะมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่อัตราส่วนอากาศ

ต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎีมีค่าคงที่ตลอดเวลา

สำหรับอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย 1.7-5.2% ตามความดันน้ำมันเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นหรือปริมาณความดันที่เพิ่มขึ้น สำหรับประสิทธิภาพการเผาไหม้ พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 50-60% ประสิทธิภาพการเผาไหม้ ตลอดการทดสอบ ประสิทธิภาพการเผาไหม้ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 3.7-6.4% ตามความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nidal et al. (2020) และ Li et al. (2010) การเพิ่มความดันในการฉีด Nidal et al. (2020) ได้ให้ความเห็นว่าช่วยลดขนาดหยดเชื้อเพลิงและเพิ่มอัตราการผสมช่วยให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้เพิ่มขึ้น ส่วนประสิทธิภาพเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ แสดงดังภาพ 8 พบว่า ที่เริ่มต้นความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 40 psi เท่ากับ 28.36% เมื่อเพิ่มความดันการฉีดเชื้อเพลิงประสิทธิภาพเตาเผาเครื่องพ่นแอสฟัลต์ มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 21.09-26.92% ซึ่งประสิทธิภาพเตาเผาปกติจะอยู่ในช่วง 20-30 % (The Institute of Industrial Energy, 2015) ส่วนความร้อนส่วนใหญ่ที่เกิดจากการเผาไหม้ในเตาเผาจะสูญเสียไปกับไอเสียความร้อนผ่านผิวเตา และการระบายความร้อน

หากพิจารณา การเกิดมลพิษไอเสียของเตาเผาเครื่องฟ่นแอสฟัลต์ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อปรับเปลี่ยนความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นตามลำดับ ค่าคาร์บอนไดออกไซด์จะเป็นตัวบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการเผาไหม้ชนิดหนึ่ง เนื่องจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ประกอบด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนประกอบหลัก กรณีเมื่อปรับความดันการฉีดเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการเผาไหม้มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ผลการศึกษาสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nidal et al. (2020)

ซึ่งผลของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจะสอดคล้องกับปริมาณออกซิเจน เมื่อปรับเปลี่ยนความดันน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ปริมาณออกซิเจนในไอเสียจะลดลงตามลำดับ ซึ่งเกิดจากเตาเผามีประสิทธิภาพในการเผาไหม้ที่ดีขึ้นทำให้ออกซิเจนที่เหลือจากการเผาไหม้ลดลงตามลำดับการฉีดเชื้อเพลิงเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกัน ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซพิษ จะพบว่า เมื่อการเผาไหม้ดีขึ้นหรือการเผาไหม้สมบูรณ์เพิ่มมากขึ้น เมื่อปรับเปลี่ยนความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลงตามลำดับ ที่ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เท่ากับ 0.005% ถือว่าเกิดขึ้นน้อยมากซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nidal et al. (2020)

สำหรับปริมาณไนโตรเจนออกไซด์เป็นก๊าซพิษอีกชนิดหนึ่ง ปกติเกิดขึ้นมากที่อุณหภูมิการเผาไหม้สูงหรือเกิดขึ้นที่จุดการเผาสมบูรณ์เมื่อปรับเปลี่ยนความดันน้ำมันเพิ่มขึ้น ปริมาณไนโตรเจนออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของไนโตรเจนออกไซด์เมื่อปรับความดันการฉีดเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นจะสอดคล้องการเกิดของก๊าซต่าง ๆ ก่อนหน้านี้ ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nidal et al. (2020)

ค่าควันดำที่ได้จากการทดสอบ ปกติเตาเผาไม่ได้วัดควันดำ แต่จะตรวจวัดปริมาณเขม่า (soot) แต่ในงานวิจัยนี้เตาเผาเครื่องฟ่นแอสฟัลต์ ถูกติดตั้งอยู่บนรถยนต์ และเป็นส่วนหนึ่งของรถที่ฟ่นแอสฟัลต์จึงต้องมีการตรวจสอบควันดำทั้งจากเครื่องยนต์และเครื่องฟ่นแอสฟัลต์ก่อนเข้าไปปฏิบัติงานก่อสร้างในท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ โดยที่เริ่มต้นที่ความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเท่ากับ 40 psi ค่า

ควันดำเท่ากับ 0% ค่าควันดำจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณการฉีดของน้ำมันเชื้อเพลิง และความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 80 psi ค่าวัดควันดำเท่ากับ 87.0% ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณไนโตรเจนออกไซด์และก๊าซต่าง ๆ ที่สัมพันธ์กัน ระดับความดันเชื้อเพลิง 40-60 psi ค่าควันดำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด อยู่ในระดับ 0-30% และที่ระดับความดันเชื้อเพลิงมากกว่า 65 psi ค่าควันดำอยู่ระดับ 71-87% ซึ่งค่าควันดำเกินเกณฑ์มาตรฐานกฎหมายที่กำหนดสำหรับเครื่องวัดควันดำระบบกระดาดกรอง ห้ามเกิน 50% (Department of Land Transport, 2024)

ข้อเสนอแนะ

1. ภายในเตาเผาที่ผ่านการใช้งานมาเป็นเวลานาน ควรจะต้องมีการกำหนดระยะเวลาในการซ่อมบำรุง ถอดรื้อ ทำความสะอาดไส้เตาเผาเพื่อไม่ให้เกิดการสะสมของเขม่าควันดำและตกค้างอยู่ภายใน
2. ปริมาณความร้อนที่เหลือ กระจายออกจากระบบไปยังส่วนต่าง ๆ โดยเฉพาะจากไอเสียที่มีปริมาณสูงมาก เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพของเตาเผาสูงสุด ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อนำความร้อนที่เหลือจากส่วนดังกล่าวกลับมาใช้งานในกระบวนการเผาไหม้ในเตาเผาอีกครั้ง
3. ผู้ปฏิบัติงานควบคุมเตาเผาเครื่องฟ่นแอสฟัลต์ ควรปรับความดันฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงไม่เกิน 65 psi เพื่อควบคุมปริมาณควันดำที่ออกมาจากเตาเผาเป็นไปตามกฎหมาย
4. ควรมีการวัดค่า PM 10 หรือ PM 2.5 เพื่อช่วยตรวจสอบค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ หน่วยงานที่สนับสนุน อนุเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์วิจัยเผาจากของเสีย คณะวิศวกรรมศาสตร์ และศูนย์วิจัยและฝึกอบรมทรัพยากรมนุษย์เพื่ออุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



References

- Amin, J., Mojtaba, N., & Omid, M. (2024). Enhancing gas burner efficiency and reducing exhaust emissions: an experimental study on the use of nebulized carbon nanoparticles, *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Mechanical Engineering*, 174, <https://doi.org/10.1007/s40997-024-00807-5>
- Chunde, Y., Cheung, C. S., Chuanhui, C., Yinshan, W., Chan, T. L., & Lee, S. C. (2015). Effects of diesel injection pressure on the performance and emissions of a HD common-rail diesel engine fueled with diesel/methanol dual fuel. *Fuel*, 140, 192-200. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2014.09.109>
- Department of Alternative Energy Development and Energy Conservation. (2024). *Combustion theory*. Retrieved from http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Heat/pre_heat_3.pdf. (in Thai)
- Department of Disease Control. (2021). *Situation for monitoring health impacts from air pollution, particulate matter no larger than 2.5 microns (PM2.5) in Bangkok and its vicinity*. Retrieved from <https://ddc.moph.go.th/doe> (in Thai)
- Department of Land Transport. (2024). *Determining standards and methods for measuring black smoke from exhaust pipes of vehicles according to the Motor Vehicle Act of 2024*. Retrieved from https://www.dlt-inspection.info/dlt/cl/pdfuploads/2022_06_17_13_57_36.pdf (in Thai)
- Department of Rural Roads, Ministry of Transport. (2011). *Road surface construction work*. Retrieved from https://www.dla.go.th/upload/ebook/column/2554/3/556_3050.pdf (in Thai)
- Evans, M. J., Sidey, J. A. M., Ye, J., Medwell, P. R., Dally, B. B., & Mastorakos, E. (2018). Temperature and reaction zone imaging in turbulent swirling dual-fuel flames. *Proceedings of the Combustion Institute*, 37(2), 2159-2166, <https://doi.org/10.1016/j.proci.2018.07.076>
- Heywood, J. B. (1988). *Internal combustion engine fundamentals*. New York: McGraw-Hill.
- Hookyung, L., & Dong, M. S. (2025). Thermal and NOx emission characteristics of periodic fuel-flow-pulsed combustion at a nozzle-mixed burner in a direct-fired furnace. *Applied Thermal Engineering*, 263, 125326, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2024.125326>
- Li, Y., Lan, J., Lyu, T., Zhou, J., Yang, X., Gangtao Lin, Genxiang Gu, G., & Han, D. (2024). Enhancing external combustion efficiency in stirling engine combustors: influence of oxygen atmosphere, ejection ratio, and pressure. *Journal of Marine Science and Application*, 2024(4), s11804. <https://doi.org/10.1007/s11804-024-00451-0>

- Nidal, H., A. H., Rashad, A. R., Bantan, A. A., & Pourhose, S. H. (2020). The effect of injection pressure on the thermal performance and emission characteristic of an oil burner operating on B20 palm oil biodiesel-diesel blend fuel. *Fuel*, 278, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118174>
- Pourhoseini, S. H., & Rasoul, A. (2017). An experimental study of optimum angle of air swirler vanes in liquid fuel burners. *Journal of Energy Resources Technology*, 139(3), 032202 <https://doi.org/10.1115/1.4035023>
- Pourhoseini S. H. & Esmaeeli R., (2017). Effect of nanosilver/water-in-kerosene emulsion on NOx reduction and enhancement of thermal characteristics of a liquid fuel burner. *Energy & Fuels*, 31(12), <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.energyfuels.7b02981>
- Siripong, K., & Mali, S. (2023). Design of burner head for improving combustion for ceramic kiln. *Science and Technology Journal*, 28(4), 734-742. Retrieved from <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/tstj/article/view/235683> (in Thai)
- The Institute of Industrial Energy. (2015). *Energy conservation in industrial furnace. Center for conservation guidelines in the industry. Bangkok*. Retrieved from <https://iie.fti.or.th/?p=3949> (in Thai)
- Zhifang, C., Anren, Y., Chunde, Y., Zenghui, Y., Han, X., Peilin, G., Zhancheng, D., Jiangtao, H., Taoyang W., & Ming, M. (2017). Effect of fuel temperature on the methanol spray and nozzle internal flow. *Applied Thermal Engineering*, 114, 673-684, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.12.025>

