

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

โครงการวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบเตาแก๊สในครัวเรือน 3 รูปแบบ ดังแสดงในภาพที่ 4.1 ได้แก่ แบบแรกเตาแก๊สหัวต้มในครัวเรือนแบบหัวฟู่ (radial slotted ports) เป็นแบบที่นิยมใช้กันมากที่สุดในครัวเรือน แบบที่สอง คือ เตาแก๊สหัวต้มในครัวเรือนแบบเซรามิกส์รังผึ้ง (porous ceramic) ซึ่งเหมาะกับการใช้ในกรณี ปิ้งย่าง ทำงานโดยอาศัยการแผ่รังสีความร้อน และแบบสุดท้าย คือ เตาแก๊สหัวต้มในครัวเรือนแบบวัสดุพอร์ซเลนชนิดโลหะเซลล์รูเปิด (domestic gas stove using open-cellular porous material) ซึ่งเป็นเตาแก๊สที่ทำการศึกษาในการวิจัยนี้ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ในการศึกษาทดลองเตาแก๊สหัวต้มแบบวัสดุพอร์ซเลนชนิดโลหะเซลล์รูเปิดจะมีโครงสร้างของหัวเตาที่แตกต่างกัน 3 กรณี โดยทำการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอคออด (throat diameter, D) ที่ด้านปลายก่อนเข้าสู่แผ่นวัสดุพอร์ซเลน ได้แก่ 2.7, 3.5 และ 4.3 cm ตามลำดับ ในที่นี้จะขอนิยามชื่อและคำย่อของเตาแก๊สที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ เพื่อสะดวกในการอธิบายผล คือ

- เตาแก๊สแบบหัวฟู่ เรียกชื่อย่อว่า RB
- เตาแบบเซรามิกส์ เรียกชื่อย่อว่า PB
- เตาแก๊สแบบโลหะเซลล์รูเปิด $D = 2.7$ เรียกชื่อย่อว่า MOB#1
- เตาแก๊สแบบโลหะเซลล์รูเปิด $D = 3.5$ เรียกชื่อย่อว่า MOB#2
- เตาแก๊สแบบโลหะเซลล์รูเปิด $D = 4.3$ เรียกชื่อย่อว่า MOB#3



(ก) แบบหัวฟู่ (RB)



(ข) แบบเซรามิกส์ (PB)



(ค) แบบวัสดุพอร์ซเลน
เซลล์รูเปิด(MOB)

ภาพที่ 4.1 ภาพถ่ายรูปแบบลักษณะของเตาแก๊สหัวต้มที่ใช้ทดลอง

4.1 ลักษณะเปลวไฟของเตาแก๊สแบบต่าง ๆ

จากการสังเกตรูปเปลวไฟในภาพที่ 4.2 พบว่าเปลวไฟทั้ง 5 หัวเตาแก๊ส มีลักษณะเป็นสีฟ้า (blue flame) ซึ่งแสดงถึงการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของทั้ง 5 แบบ โดยเฉพาะกับเตาแก๊สแบบ RB จะมีเปลวไฟเป็นสีฟ้าอย่างเด่นชัดและมีเปลวพุ่งขึ้นเล็กน้อย ส่วนเปลวไฟของเตาแก๊สแบบ PB แทบมองไม่เห็นเปลวไฟเป็นลักษณะไร้เปลวไฟ (flameless) แบ่งและไม่มีเปลวไฟพุ่งเป็นลำขึ้นไป

สำหรับเปลวไฟของเตาแก๊สแบบ MOB ทั้ง 3 หัว จะมีรูปร่างเปลวไฟเป็น 2 ส่วนกล่าวคือ ส่วนแรกที่เป็นผิวของวัสดุพอร์ซเลนจะเป็นลักษณะไม่มีเปลวไฟ (flameless) เช่นเดียวกับเตาแก๊สแบบ PB มีลักษณะเป็นสีแดงกระจายทั่วทั้งแผ่นวัสดุพอร์ซเลน ขณะเดียวกันก็มีเปลวไฟอีกส่วนอยู่ด้านบนซึ่งมีลักษณะลำพุ่งสูงขึ้นเป็นเปลวไฟสีฟ้า ด้วยเหตุนี้ลักษณะเปลวไฟที่สังเกตได้จาก MOB นั้นคล้าย ๆ จะรวมเอาเปลวไฟแบบ PB และ RB เข้าด้วยกัน ซึ่งการทดลองได้ทำการพิจารณาเลือกใช้ภาระ (load) เป็นน้ำ 2.7 ลิตร สำหรับค่าปริมาณการจ่ายแก๊ส (LPG) ใช้ที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงเท่ากับ 100 L/hr และอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำเริ่มต้นคืออุณหภูมิ 30°C ต้มจนเดือดที่อุณหภูมิ 99°C ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 2312-2549



(ก) แบบหัวฟู่ (RB)



(ข) แบบเซรามิกส์ (PB)



(ค) แบบ MOB#1



(ง) แบบ MOB#2



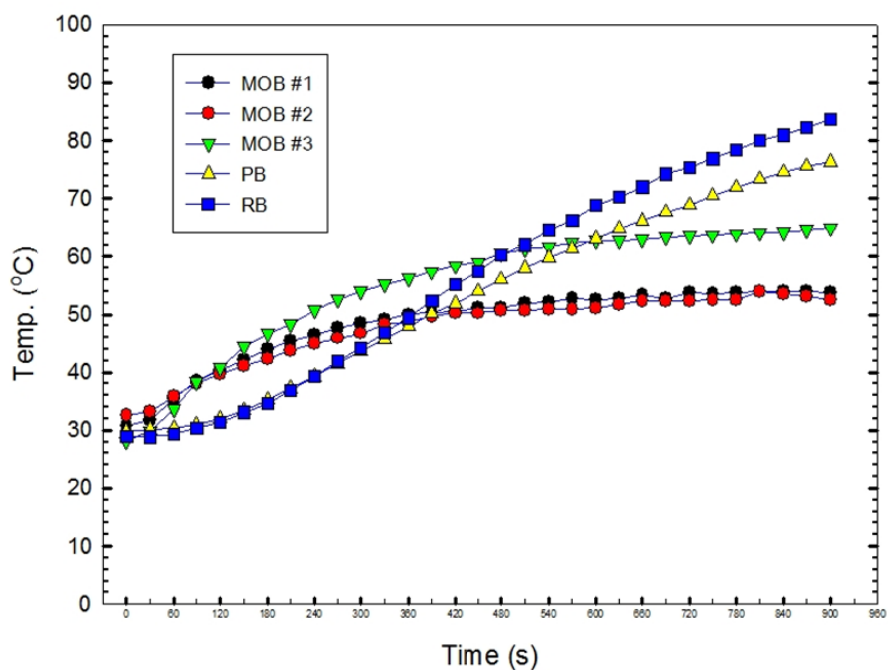
(จ) แบบ MOB#3

ภาพที่ 4.2 ภาพถ่ายตัวอย่างลักษณะเปลวไฟของเตาแก๊สแบบต่าง ๆ

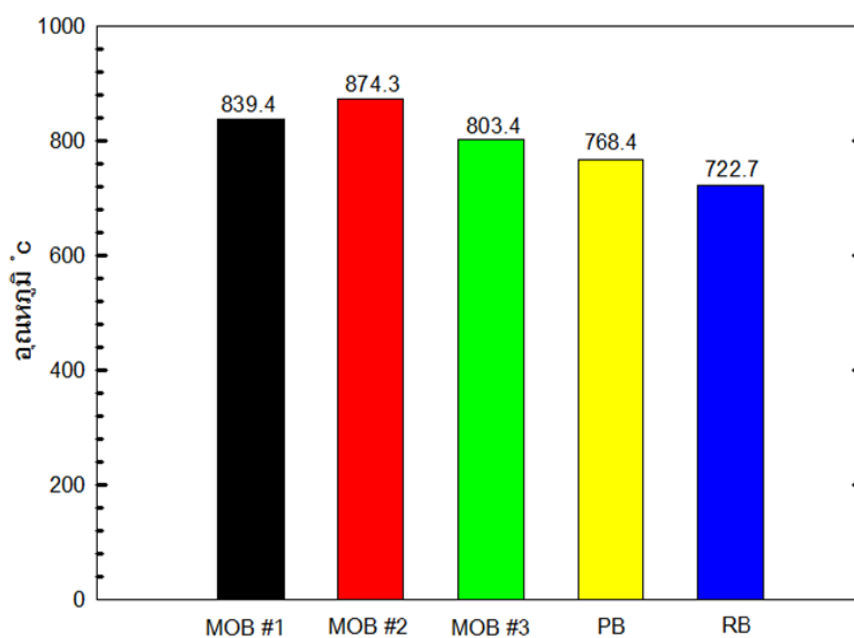
4.2 อุณหภูมิก่อนการเผาไหม้และอุณหภูมิสูงสุดของหัวเตาแก๊ส

ภาพที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบของอุณหภูมิอากาศก่อนการเผาไหม้หรือการอุ่นอากาศปฐมภูมิ (preheated primary air, T₂) ของเตาแก๊สหัวต้มทั้ง 5 แบบ ได้ทำการทดลองตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.2312-2549 จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิก่อนการเผาไหม้ของเตาแก๊สหัวต้มแบบ MOB ทั้ง 3 หัวในช่วงเวลาเริ่มต้นถึง 600 วินาที มีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศก่อนการเผาไหม้ดีกว่าเตาแก๊สหัวต้มแบบ PB และแบบ RB แต่หลังจากเวลาผ่าน 600 วินาที อุณหภูมิการอุ่นอากาศของเตาแก๊ส MOB เริ่มคงที่ในช่วงอุณหภูมิ 55 – 65 °C แต่เตาแก๊สหัวต้มแบบ PB และ RB จะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากพลังงานส่วนใหญ่ของหัวเตาแก๊สแบบ MOB ในขณะนี้ได้ถูกส่งต่อไปยังเปลวไฟด้านบนของแผ่นวัสดุพอร์ซเลน

ซึ่งจะเห็นได้จากอุณหภูมิสูงสุดของเตาแก๊ส MOB ทั้ง 3 แบบ สูงกว่าเตาแก๊สแบบ PB และ RB ดังแสดงในภาพที่ 4.4 กล่าวคือ มีค่ามากกว่า 800°C ทุกหัวเตา



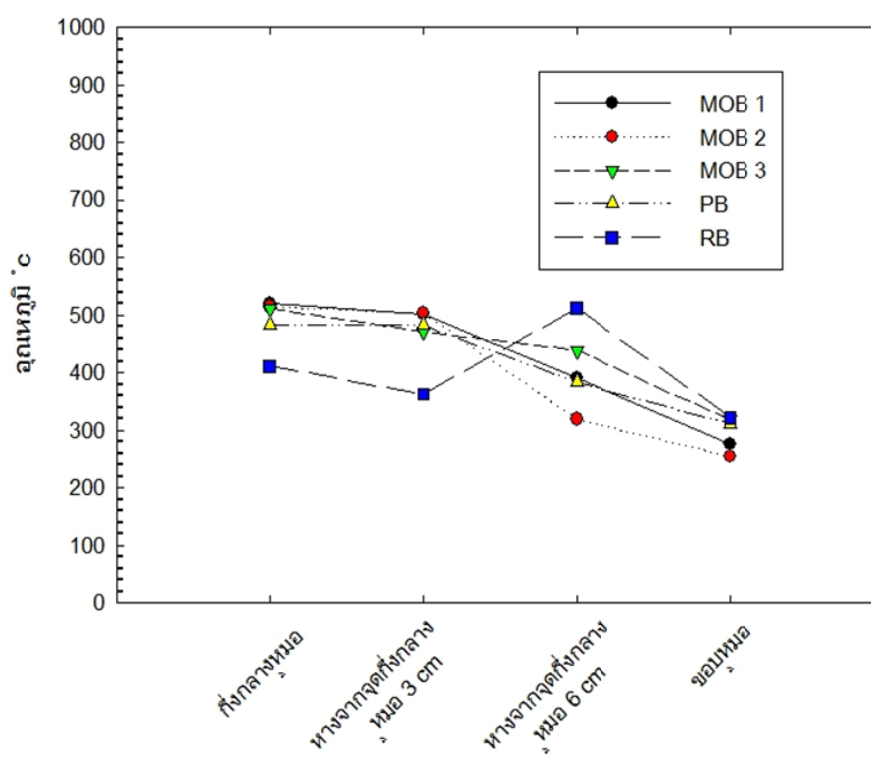
ภาพที่ 4.3 อุณหภูมิ Preheated primary air (T2)



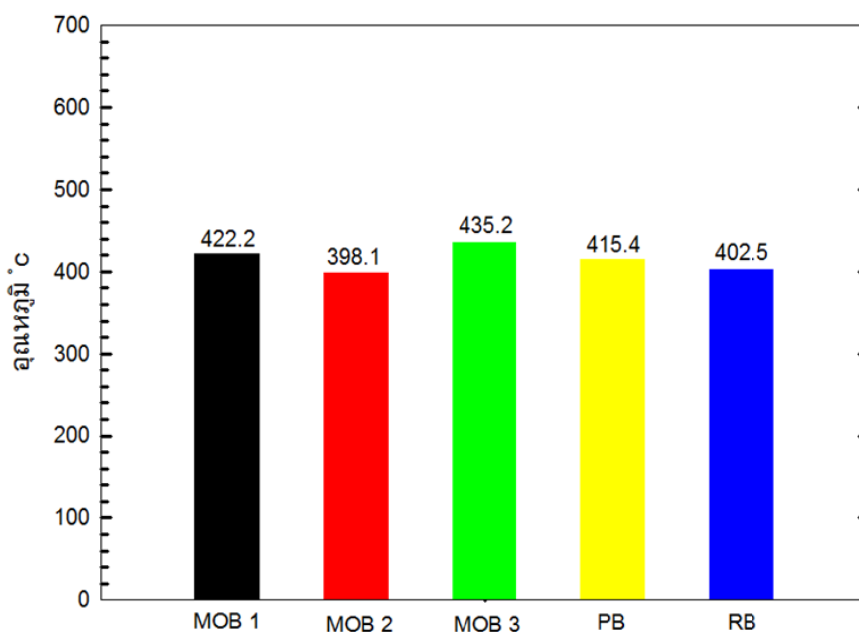
ภาพที่ 4.4 อุณหภูมิสูงสุดของหัวเตาแก๊ส

4.3 อุณหภูมิกันหม้อ

ภาพที่ 4.5 แสดงให้เห็นถึงการวัดอุณหภูมิ ณ เวลา 600 วินาทีที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของกันหม้อต้มน้ำประกอบไปด้วย ตรงกึ่งกลางหม้อต้ม (T6) ตำแหน่งห่างจากจุดกึ่งกลางหม้อมาเป็นระยะ 3 cm และ 6 cm ซึ่งกำหนดด้วย T7 และ T8 ตามลำดับ ส่วนตำแหน่ง T9 คือ ด้านข้างของหม้อ ซึ่งสูงขึ้นมา 2 cm จากการทดลองพบว่าเตาแก๊สหุงต้มแบบ MOB ทั้ง 3 หัว และเตาแก๊สหุงต้มแบบ PB มีลักษณะการกระจายอุณหภูมิที่กันหม้อค่อนข้างสม่ำเสมอว่าเตาแก๊สหุงต้มแบบ RB นอกจากนี้ยังพบว่าเตาแก๊สหุงต้มแบบ MOB#3 มีการกระจายอุณหภูมิที่กันหม้อดีที่สุด รองลงมาเป็นเตาแก๊สหุงต้มแบบ PB เตาแก๊สหุงต้มแบบ MOB#1 เตาแก๊สหุงต้มแบบ MOB#2 และเตาแก๊สหุงต้มแบบ RB ตามลำดับ ด้วยลักษณะการกระจายอุณหภูมิที่กันหม้อสม่ำเสมอจะส่งผลทำให้เวลาในการต้มเดือดน้อยลง ดังนั้นเพื่อให้เห็นถึงแนวโน้มทั้งหมดของอุณหภูมิที่วัดได้ที่กันหม้อ ภาพที่ 4.6 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยทั้ง 4 จุด ณ เวลา 600 วินาที พบว่าเตาแก๊สแบบ MOB#3 มีค่าสูงที่สุดอย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกันเป็นอย่างดีกับ ภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 อุณหภูมิกันหม้อที่จุดต่าง ๆ



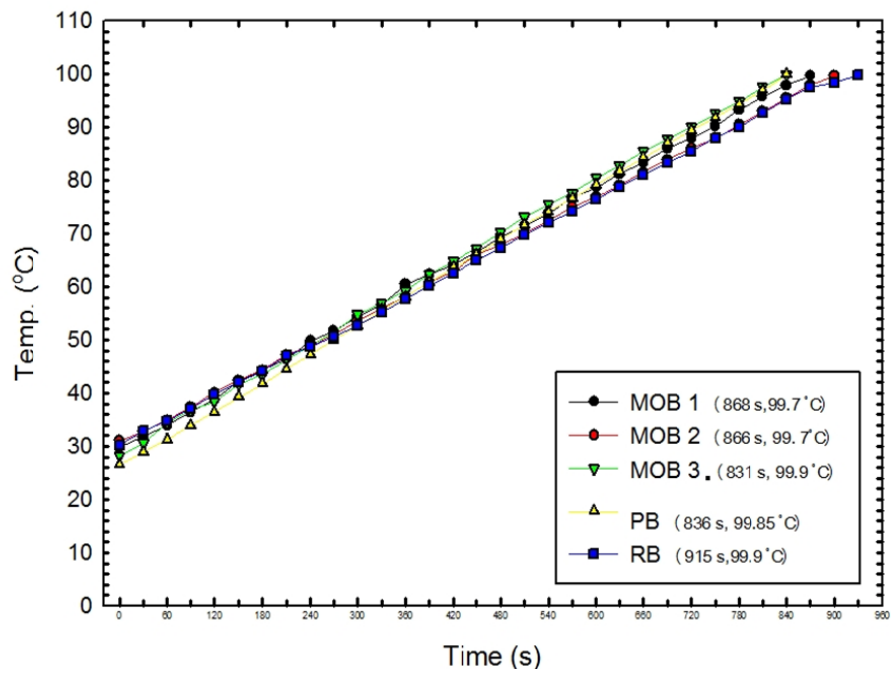
ภาพที่ 4.6 อุณหภูมิเฉลี่ยที่กันหม้อ

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา

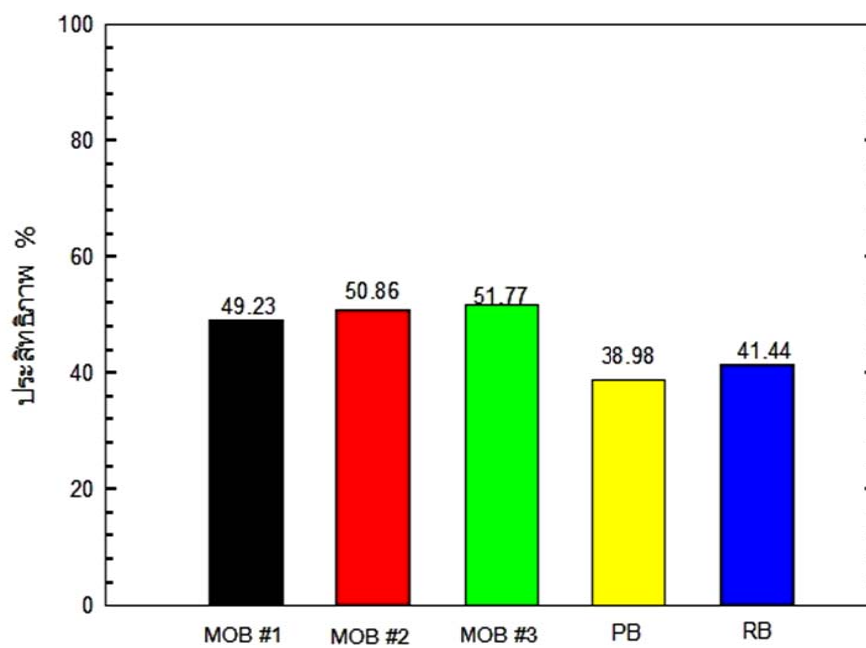
ภาพที่ 4.7 เป็นการแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ใช้ในการทดลองของหัวเตาแก๊สทั้ง 5 แบบ โดยในการทดลองบรรจุน้ำในปริมาตร 2.7 ลิตร อุณหภูมิของน้ำเริ่มต้นจนถึงอุณหภูมิที่จุดเดือดของน้ำเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.2312-2549 จากการทดลองพบว่าเวลาที่ใช้ในการต้มเดือดของเตาแก๊สหุงต้มแบบ MOB#3 ใช้เวลา 831 วินาที (99.9 °C) ซึ่งใช้เวลาสั้นที่สุด ในขณะที่เตาแก๊สหุงต้มแบบ PB, MOB#1, MOB#2 และ RB ใช้เวลา 836 วินาที (99.85 °C), 866 วินาที (99.7 °C), 870 วินาที (99.7 °C) และ 915 วินาที (99.9 °C) ตามลำดับ ซึ่งอธิบายได้ตามผลที่เกิดขึ้นจริงจากอุณหภูมิกันหม้อเฉลี่ยในภาพที่ 4.6 ของหัวข้อที่ 4.3 ที่ผ่านมา

4.5 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนและฟลักซ์ความร้อน

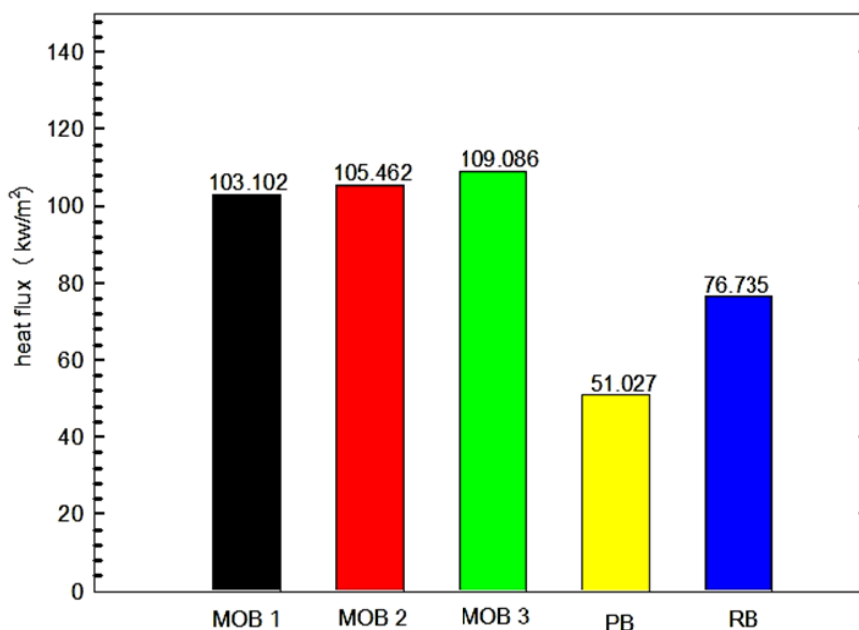
ภาพที่ 4.8 แสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อน (thermal efficiency, η_{th}) ของเตาแก๊สหุงต้มทั้ง 5 แบบ จากผลการทดลองพบว่าเตาแก๊สแบบ MOB มีค่าสูงประมาณ 50% ทั้ง 3 หัว โดยเฉพาะเตาแก๊ส MOB#3 มีค่าสูงสุดคือ 51.77% แต่เตาแก๊สแบบ PB กลับมีประสิทธิภาพเพียง 38.95% ทั้ง ๆ ที่มีอุณหภูมิการแผ่รังสีที่บริเวณกันหม้อมีค่าใกล้เคียงกับ MOB ซึ่งเหตุผลนี้สามารถอธิบายได้ด้วยฟลักซ์การแผ่รังสีของเตาแก๊ส ดังแสดงในภาพที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าฟลักซ์การแผ่รังสีของเตาแก๊สแบบ PB ต่ำที่สุด 51.027 kW/m² แต่ MOB ทั้ง 3 หัวมีค่าฟลักซ์การแผ่รังสีสูงกว่า 100 kW/m² ทุกหัว



ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำกับเวลา



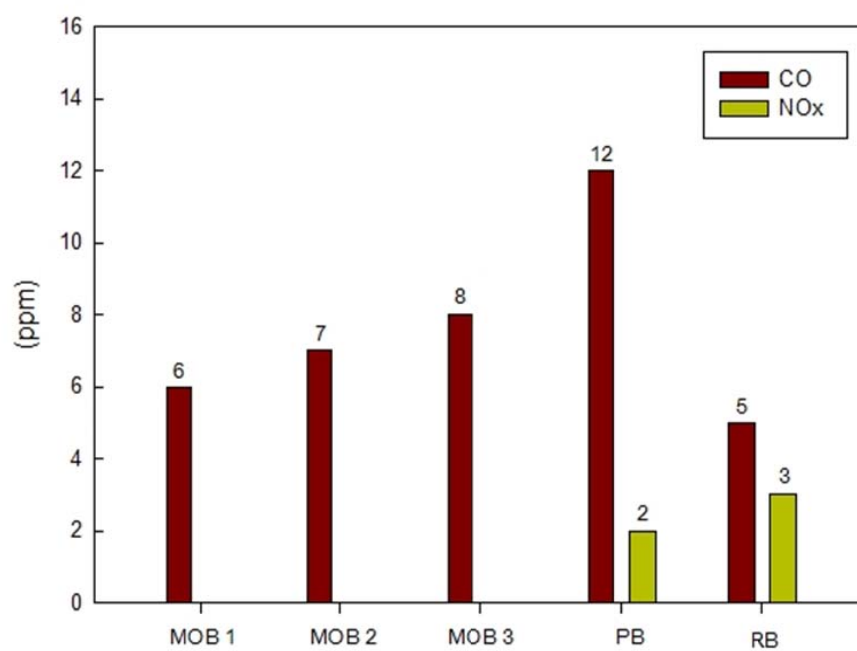
ภาพที่ 4.8 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (thermal efficiency, η_{th})



ภาพที่ 4.9 พลักซ์ความร้อน (heat flux)

4.5 ปริมาณแก๊สไอเสียของเตาแก๊สที่ทำการทดลอง

ภาพที่ 4.10 แสดงปริมาณ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ของเตาแก๊สทั้ง 5 แบบ พบว่าปริมาณ CO ของเตาแก๊สแบบ MOB ทั้ง 3 หัว มีค่าสูงกว่าเตาแก๊สแบบ RB เล็กน้อยประมาณ 2 - 3 ppm เท่านั้น ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการเผาไหม้ของหัวเตาเหล่านี้ล้วนมีความสมบูรณ์ที่ไม่แตกต่างกัน แต่หากพิจารณาปริมาณ NO_x กลับพบสิ่งที่น่าสนใจ กล่าวคือไม่มี NO_x เกิดขึ้นจากหัวเตาแก๊สแบบ MOB ทั้ง 3 หัว ซึ่งปริมาณ NO_x เป็นดัชนีบ่งบอกถึงการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง (มากกว่า 1300 K) หรือมีตำแหน่งของอุณหภูมิสูงสุด (peak temperature) เกิดขึ้น แต่เตาแก๊สแบบ MOB มีอุณหภูมิการเผาไหม้ที่สม่ำเสมอไม่มีอุณหภูมิสูงตลอดทั้งแผ่น หรืออาจกล่าวได้ว่ามีพฤติกรรมเป็นเตาแก๊สแบบแผ่รังสีที่ดี (radiant burner) ซึ่งจะเห็นได้จากเตาแก๊สแบบ PB ที่มีค่า NO_x ต่ำกว่า RB เพราะมีการกระจายอุณหภูมิที่สม่ำเสมอตลอดแผ่นวัสดุพูนเช่นเดียวกับเตาแก๊สแบบ MOB



ภาพที่ 4.10 ปริมาณแก๊สไอเสียของเตาแก๊สที่ทำการทดลอง