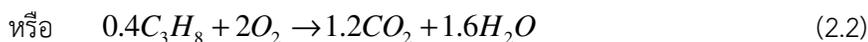
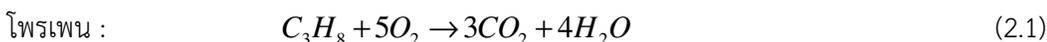


บทที่ 2

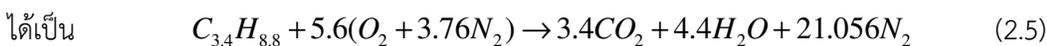
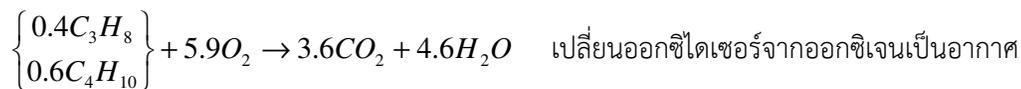
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พื้นฐานการเผาไหม้เชื้อเพลิงแอลพีจี

เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว หรือ แอลพีจี [9] (Liquefied Petroleum Gas, LPG) เป็นส่วนผสมของ โพรเพน (Propane) ซึ่งมีสูตรเคมีคือ C_3H_8 และบิวเทน (Butane) ซึ่งมีสูตรเคมีคือ C_4H_{10} หรือเป็นอย่างหนึ่งอย่างใดก็ได้ เป็นที่ทราบดีว่า การเผาไหม้นั้นจำเป็นต้องมีตัวออกซิไดเซอร์หรืออากาศที่จำเป็นเพื่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ (Stoichiometric air) ในการหาปริมาณอากาศดังกล่าวทำได้โดยการทำสมดุลมวลในปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่เรียกว่า สโตยคิโอเมตรี (Combustion stoichiometry) โดยการคำนวณหรือเขียนสมการการเผาไหม้ของแอลพีจีซึ่งสามารถทำได้ดังนี้ หากแอลพีจีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเป็นการผสมกันของโพรเพนร้อยละ 60 และบิวเทนร้อยละ 40 โดยปริมาตร ดังนั้นต้องเขียนสมการเคมีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดที่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนแยกกันก่อน แล้วรวมสมการพร้อมทั้งเปลี่ยนออกซิไดเซอร์จากออกซิเจนเป็นอากาศ ดังนี้



รวมทั้งสองปฏิกิริยาด้านบน ได้เป็น



สูตรโมเลกุลเฉลี่ยแอลพีจีคือ $C_{3.6}H_{9.2}$ ดังนั้นเขียนสโตยคิโอเมตรีใหม่ ได้เป็น



จากสมการด้านบน พบว่า

$$\text{เชื้อเพลิง 1 โมล} = 0.052 \text{ kg}$$

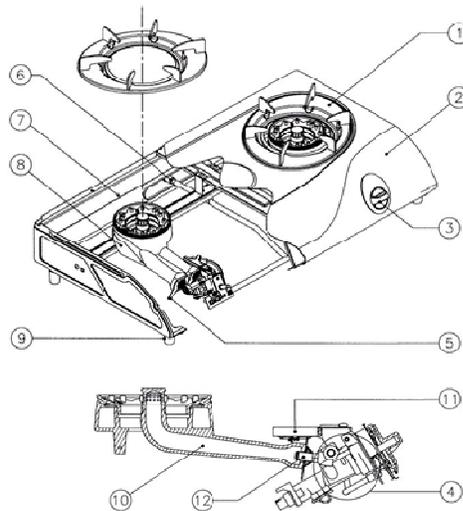
$$\text{อากาศ 28.084 โมล} = 0.810 \text{ kg}$$

$$\text{สารผลิตภัณฑ์} = 0.862 \text{ kg}$$

ดังนั้น หากต้องการเผาไหม้เชื้อเพลิง 0.052 kg ต้องใช้อากาศ 0.810 kg จึงจะเกิดการเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งอัตราส่วนระหว่าง อากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี $(A/F)_{\text{สทรว}}$ = 15.58 โดยน้ำหนัก นั่นคือ หากต้องการเผาไหม้แอลพีจี 1 kg ต้องใช้อากาศในการเผาไหม้ 15.58 kg

2.2 นิยามของเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน

เตาหุงต้มในครัวเรือนที่ใช้กับแก๊สปิโตรเลียมเหลว หรือเรียกโดยทั่วไปว่า เตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.2312-2549 [8] หมายถึง เตาหุงต้มซึ่งใช้ในครัวเรือนโดยใช้แก๊สปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิง โดยมีปริมาณการใช้แก๊สสูงสุดของแต่ละหัวเตาจะต้องไม่เกิน 5.78 kW หรือ 0.42 kg/hr และรวมทุกหัวเตาต้องไม่เกิน 13.76 kW หรือ 1 kg/hr ซึ่งปริมาณการใช้แก๊สสูงสุดของแต่ละหัวเตาจะแตกต่างจากค่าที่ระบุได้ไม่เกินบวกลบร้อยละ 10 และมีความดันแก๊สไม่เกิน 280 mmH₂O มีส่วนประกอบทั่วไป ดังแสดงในรูปที่ 2.1 คือ



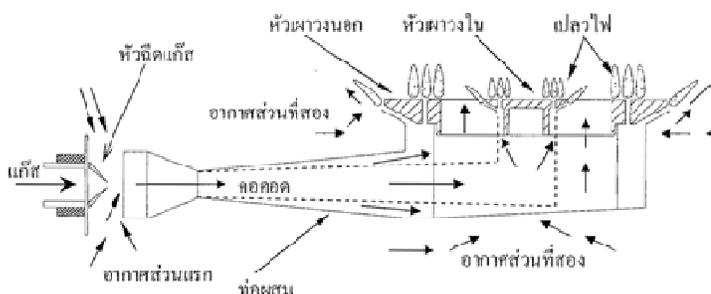
รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบทั่วไปของเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน [8]

1. ขาดังภาชนะ มีลักษณะเป็นเหล็กสำหรับวางภาชนะให้อยู่บนเปลวไฟ
2. หน้าเตา อยู่ด้านหน้าของโครงเตาแก๊ส
3. ลูกบิด ไว้สำหรับลดหรือเร่งเปลวไฟ
4. ลินควบคุมแก๊ส ควบคุมอัตราการไหลของแก๊ส
5. ลินปรับอากาศ ควบคุมปริมาณอากาศที่จะเข้าผสมกับแก๊สที่ห้องผสม
6. ข้อต่อรับแก๊ส คือ ส่วนปลายของท่อนำแก๊สของเตาที่ใช้ต่อกับท่อส่งแก๊สจากภายนอกเข้าสู่เตา
7. โครงเตาแก๊ส เป็นโครงสร้างรับน้ำหนักของเตาแก๊ส
8. หัวเตา คือ ส่วนที่เป็นทางออกและเผาไหม้ของแก๊ส
9. ขาเตา คือ ส่วนที่รองรับน้ำหนักทั้งหมดของเตา

10. ห้องผสมเชื้อเพลิง เป็นที่สำหรับให้อากาศและแก๊สเข้าผสมกันก่อนการเผาไหม้
11. ระบบจุดไฟ คือ ส่วนที่จุดไฟให้แก๊สติดไฟได้
12. หัวฉีดแก๊ส คือ อุปกรณ์ฉีดแก๊สเข้าสู่ห้องผสมเชื้อเพลิง

2.3 หลักการทำงานของเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน

ส่วนประกอบหลักของหัวเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนมาตรฐานประกอบด้วยส่วนประกอบหลักๆ 3 ส่วน [4] คือ ท่อผสม (Mixing tube) หัวเผา (Burner cap) และรูพ่นแก๊ส (Injector orifice) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ท่อผสมส่วนใหญ่ที่ทำจากเหล็กหล่อ ได้รับการออกแบบให้มีลักษณะเป็นคอขวด (Throat) ใกล้บริเวณทางเข้าของแก๊สและอากาศส่วนแรก (Primary air) เพื่อผลทางด้านอากาศพลศาสตร์ของการไหลในท่อ โดยอาจมีมากกว่าหนึ่งท่อก็ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับ การออกแบบเพื่อผลของการปรับเปลี่ยนอัตราไหลของแก๊สหรือค่า Turn-down ratio ของเตา หัวเผาส่วนใหญ่มักจะทำจากทองเหลือง มีรูปร่างได้หลายแบบขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น อาจเป็นแผ่นวงกลมตัน (Cap) หรือเป็นแผ่นวงแหวน (Ring) และอาจมีจำนวนมากกว่าหนึ่งวงแหวนก็ได้ ที่ขอบวงแหวนด้านล่างตรงที่สัมผัสกับขอบท่อผสมทำเป็นบานูน และถูกเจาะเป็นร่องๆ จำนวนหลายร่องในแนวรัศมี เพื่อทำหน้าที่เป็นรูกระจายแก๊ส (Burner port) และเปลวไฟที่ติดอยู่เหนือรูกระจายแก๊สให้กระพืออย่างสม่ำเสมอกับลักษณะหุงต้มที่จะวางอยู่เหนือหัวเผา



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของหัวเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน [4]

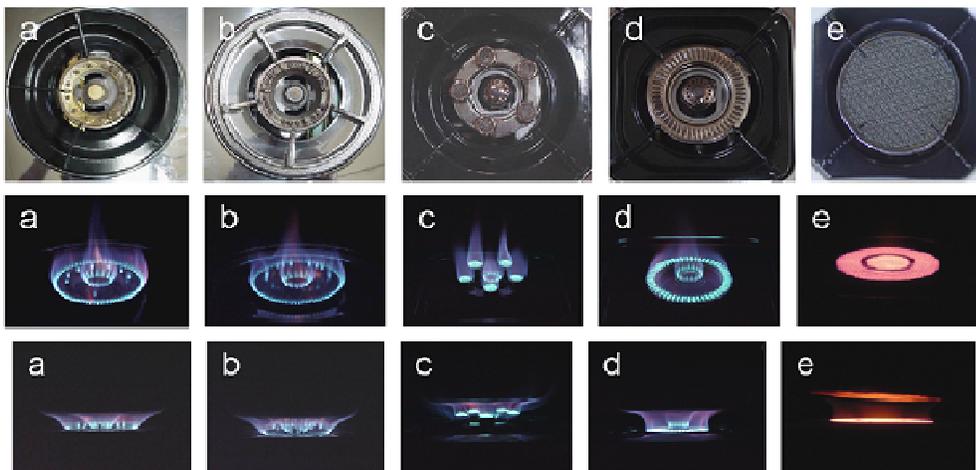
การทำงานของเตาแก๊สหุงต้มเริ่มจากแก๊สความดันต่ำที่ใช้งานตามปกติ ประมาณ 6.25 ถึง 70 mmH₂O ถูกพ่นออกจากรูพ่นแก๊สเข้าไปในห้องผสมขณะเดียวกันอากาศส่วนแรก (Primary air) ที่อยู่บริเวณใกล้ๆ จะถูกชักนำผ่านช่องอากาศส่วนแรก เข้าไปในท่อผสมพร้อมๆ กับแก๊ส โดยอาศัยการถ่ายเทโมเมนตัมระหว่างแก๊สและอากาศโดยรอบ ด้วยวิธีการดังกล่าวอากาศส่วนแรกจะมีค่าประมาณ 50–70 % ของปริมาณอากาศที่จำเป็นเพื่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ (Stoichiometric air) และมีความเป็นไปได้ที่จะทำให้อากาศส่วนแรกนี้มีค่าถึง 100 % ขึ้นอยู่กับความดันของแก๊สที่ใช้ จากนั้นส่วนผสมของอากาศส่วนแรกและแก๊สจะไหลผ่านรูพ่นแก๊สและถูกจุดประกายไฟ ซึ่งการจุดติดไฟที่เหมาะสม เช่น ใช้เปลวไฟ (Pilot flame) หรือการ Spark ในขณะเดียวกันอากาศส่วนที่สอง (Secondary air) จะถูกชักนำเข้ามาจากด้านข้างเปลวไฟและจากด้านล่างหัวเผา ซึ่งทำเป็นช่องว่างไว้ระหว่างหัวเผาวงในกับวงนอก ทั้งนี้ โดยอาศัยการถ่ายเทโมเมนตัมและแรงลอยตัวของแก๊สร้อนที่จะขยายตัวและลอย

สูงขึ้น ช่วยทำให้อากาศโดยรอบที่เย็นกว่าถูกดูดเข้ามาผสมกับเปลวไฟได้มากขึ้นและส่งผลให้การเผาไหม้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

2.4 ชนิดของเตาแก๊สหุงต้ม

เตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนที่ใช้ในประเทศไทยตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 2312-2549 [8] เป็นเตาแรงดันต่ำมีปริมาณการใช้แก๊สสูงสุดของแต่ละหัวเตาไม่เกิน 0.42 kg/hr หรือ 5.78 kW และรวมทุกหัวเตาต้องไม่เกิน 1 kg/hr หรือ 13.76 kW ประเภทหนึ่งหัวเตาหรือมากกว่า โดยไม่มีส่วนประกอบของ เตาปิ้ง ย่าง เตาอบหรือเตาไฟฟ้า ซึ่งเตาแก๊สดังกล่าวนิยมใช้งานในภาคครัวเรือนทั่วไป ดังนั้นสามารถจำแนกเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนที่มีจำหน่ายในท้องตลาดตามลักษณะของหัวเตาออกได้เป็น 4 ชนิดคือ

1. เตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนแบบมาตรฐาน Radial slotted ports เป็นแบบที่นิยมใช้กันมากที่สุด ในครัวเรือน ดังแสดงในรูปที่ 2.3a และ b
2. เตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนแบบ Vertical ports เริ่มมีวางขายในท้องตลาดแต่ยังใช้ไม่แพร่หลายนัก ดังแสดงในรูปที่ 2.3c
3. เตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนแบบ Swirl pots เริ่มมีวางขายในท้องตลาดแต่ยังใช้ไม่แพร่หลายนัก ดังแสดงในรูปที่ 2.3d
4. เตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนแบบอินฟราเรด หรือ Porous ceramic มีการใช้งานค่อนข้างน้อย ทำงานโดยอาศัยการแผ่รังสีความร้อน เหมาะกับงานเฉพาะอย่าง เช่น ปิ้ง ย่าง เป็นต้น แต่ราคาค่อนข้างแพง ดังแสดงในรูปที่ 2.3e

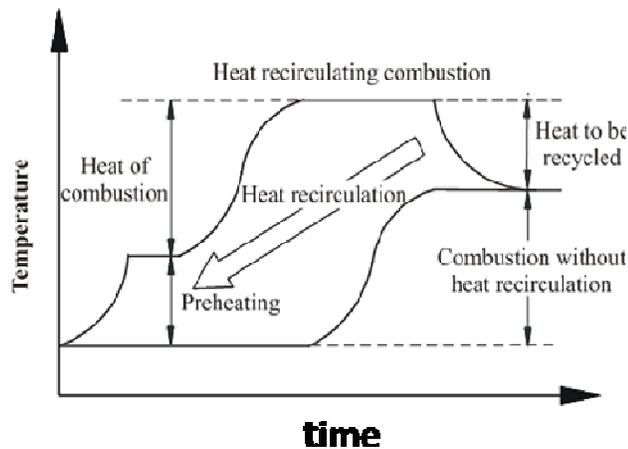


รูปที่ 2.3 หัวเตาแก๊สหุงต้มและลักษณะเปลวไฟของหัวเตาแก๊สชนิดต่างๆ [7]

2.5 การเผาไหม้ที่มีการหมุนเวียนความร้อน (Heat-Recirculating Combustion) [10]

รูปที่ 2.4 แสดงการเปรียบเทียบระดับอุณหภูมิการเผาไหม้ระหว่างระบบที่มีและไม่มี การหมุนเวียนความร้อนซึ่งสามารถกระทำได้หลายวิธีในที่นี้จะนำวัสดุพอร์มาใช้ โดยจะได้กล่าวในหัวข้อ

ต่อไป เมื่อพิจารณาในระบบที่ไม่มีการหมุนเวียนความร้อน อากาศไหลเข้าทางด้านซ้ายมือของระบบ ผสมคลุกเคล้ากับเชื้อเพลิงและเกิดการเผาไหม้ โดยได้อุณหภูมิการเผาไหม้ปกติซึ่งแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้จะไหลออกจากระบบทางด้านขวามือ โดยไม่มีการนำความร้อนจากแก๊สไอเสียมาหมุนเวียนใช้ใน ระบบ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับ ระบบการเผาไหม้ที่มีการหมุนเวียนความร้อนจากแก๊สไอเสียมาอุ่น (Preheat) อากาศให้มียุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้องก่อนเข้าสู่การเผาไหม้ ทำให้ได้อุณหภูมิการเผาไหม้สูงกว่าปกติที่สภาวะเดียวกัน [10] ซึ่งส่งผลให้การเผาไหม้ที่ได้มีความสมบูรณ์มากกว่าระบบการเผาไหม้ปกติ (Conventional burner) นอกจากนี้ยังทำให้ได้ค่าความเร็วในการเผาไหม้ (Burning velocity) และให้ความเข้มการเผาไหม้สูง (High combustion intensity) ทำให้สามารถออกแบบให้เตาเผาไหม้มีขนาดกะทัดรัด นอกจากนี้ระบบการไหม้ที่มีการหมุนเวียนความร้อนยังช่วยขยายขอบเขตการเผาไหม้ได้ (Flammability limits) กว้างขึ้น ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนต่ำมากๆ ซึ่งไม่สามารถเผาไหม้ในอุปกรณ์เผาไหม้แบบปกติได้



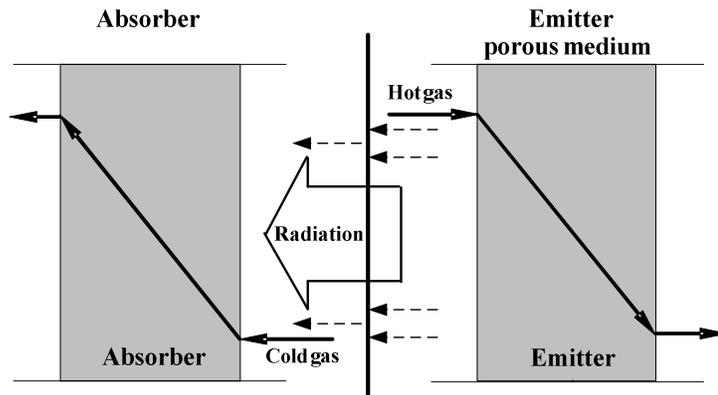
รูปที่ 2.4 เปรียบเทียบอุณหภูมิการเผาไหม้ชนิดที่มีและไม่มี การหมุนเวียนความร้อน [10]

2.6 หลักการส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนของวัสดุพรุน [4]

วัสดุพรุน (Porous media) เป็นวัสดุที่มีความพรุนลักษณะคล้าย ฟองน้ำล้างจาน อาจทำมาจากเซรามิกหรือวัสดุผสม ซึ่งวัสดุพรุนเป็นวัสดุที่มีพื้นผิวต่อปริมาตรที่สูง สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูง สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีความร้อนสูงและสามารถทนต่อสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงๆได้ คุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุพรุน คือ สามารถที่จะเปลี่ยนพลังงานกลับไปกลับมา ระหว่างเอนทัลปีของแก๊สและการแผ่รังสีความร้อนได้ เนื่องจากวัสดุพรุนมีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงมาก (Surface area to volume ratio) ดังนั้นในการถ่ายเทความร้อนจึงเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ จึงถือได้ว่าวัสดุพรุนเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) ที่มีประสิทธิภาพสูง โดยหากพิจารณาเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแล้ววัสดุพรุนจะมีหลักการการทำงาน คือ เมื่ออากาศร้อนไหลผ่านวัสดุพรุนดังแสดงในรูปที่ 6 วัสดุพรุนจะทำหน้าที่เป็นตัวดูดกลืนเอนทัลปีของอากาศร้อนเอาไว้ส่วนหนึ่งแล้วเปลี่ยนพลังงานส่วนที่ดูดกลืนมานี้ไปเป็นการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งเรียกลักษณะเช่นนี้ว่าเป็นตัวแผ่รังสี (Emitter) แผ่รังสีมายังวัสดุพรุนอีกด้านหนึ่งซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรับรังสี (Absorber) ดังนั้นอากาศ

ร้อนที่ไหลผ่านตัวแผ่รังสีจะมีอุณหภูมิลดลงและเมื่อมีอากาศเย็นไหลผ่านตัวรับรังสีอากาศเย็นก็จะดูดเอาความร้อนที่ถูกดูดกลืนไว้ทำให้อากาศมีค่าเอนทาลปีและอุณหภูมิสูงขึ้น

จากหลักการดังกล่าวถ้านำตัวแผ่รังสีและตัวรับรังสีมาอยู่ใกล้ๆ กันโดยมีแผ่นกั้นระหว่างกลางเพื่อป้องกันการผสมของแก๊สร้อน และแก๊สเย็นแล้ว ให้อैसेยซึ่งมีอุณหภูมิสูงที่เกิดจากการเผาไหม้ไหลผ่านวัสดุพอรุนตัวแผ่รังสี (Emitter) แล้วเอาอากาศเย็นที่ใช้ในการเผาไหม้ไหลผ่านวัสดุพอรุนตัวรับรังสี (Absorber) ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการหมุนเวียนความร้อนจากอैसेยมาสู่อากาศเผาไหม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยอาศัยวัสดุพอรุนเป็นตัวกลาง ดังรูปที่ 2.5 คาดว่าระบบดังกล่าวจะมีประสิทธิภาพในการเผาไหม้เพิ่มสูงขึ้นเนื่องมาจากผลของการอุ่นอากาศ (Preheat) ที่มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้การเผาไหม้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ทั้งนี้ยังทำให้ค่าความเร็วในการเผาไหม้ (Burning velocity) และความเข้มการเผาไหม้สูง (High combustion intensity) ทำให้สามารถออกแบบให้เตาเผาไหม้มีขนาดกะทัดรัด นอกจากนี้ยังช่วยขยายขอบเขตการเผาไหม้ได้ (Flammability limits) กว้างขึ้น



รูปที่ 2.5 หลักการทำงานของวัสดุพอรุนในลักษณะอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน [4]

2.7 การถ่ายเทความร้อนของเตาหุงต้มกับภาชนะ

การถ่ายเทความร้อนของเตาหุงต้มกับภาชนะจะเกิดขึ้นใน 2 ส่วนของภาชนะ คือ

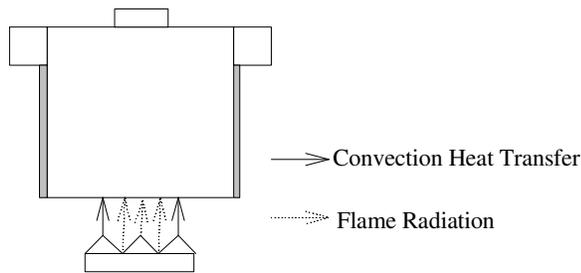
2.7.1 การถ่ายเทความร้อนด้านก้นภาชนะ

ความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊สจะถ่ายเทให้แก่ก้นภาชนะด้วยวิธีการพาความร้อนของอैसेยและการแผ่รังสีความร้อนของเปลวไฟ ดังรูปที่ 7 โดยปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทความร้อนทางก้นภาชนะนี้ จะเปลี่ยนแปลงตามขนาดของภาชนะหรือพื้นที่ผิวด้านก้น ถ้าพื้นที่ผิวด้านก้นภาชนะมีมาก การถ่ายความร้อนจะเกิดได้ดี และการถ่ายความร้อนยังขึ้นกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านก้นภาชนะ และความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของเปลวไฟและผิวด้านก้นภาชนะอีกด้วย ซึ่งเป็นไปตาม Newton law of cooling ดังสมการ

$$Q = h_{\text{overall}} A (T_f - T_w) \quad (2.7)$$

เมื่อ

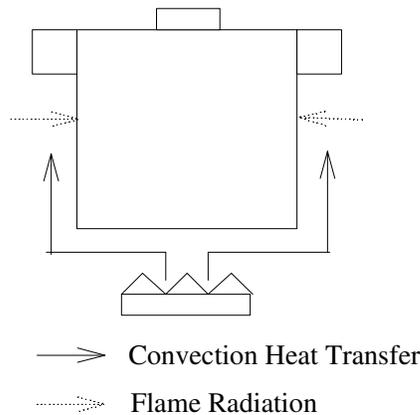
- Q : ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทสู่ภาชนะ, kW
- h_{overall} : ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของเตาแก๊สหุงต้ม, $\text{W/m}^2\text{K}$
- A : พื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ก้นภาชนะ, m^2
- T_f : อุณหภูมิของเปลวไฟ, K
- T_w : อุณหภูมิที่ผิวของก้นภาชนะ, K



รูปที่ 2.6 การถ่ายเทความร้อนของเตาหุงต้มให้แก่ก้นภาชนะ

2.7.2 การถ่ายเทความร้อนด้านข้างภาชนะ

ความร้อนที่ถ่ายเทแก่ภาชนะด้านข้าง เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยกระบวนการพาความร้อนของไอเสียและการแผ่รังสีความร้อนของไอเสีย ดังรูปที่ 2.7 ความร้อนที่ถ่ายเทแก่ด้านข้างภาชนะจะเปลี่ยนแปลงไปกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านข้างภาชนะ ความแตกต่างของอุณหภูมิไอเสียเมื่อไหลผ่านชนภาชนะและเมื่อไหลผ่านเลยไป และพื้นที่ผิวของภาชนะเช่นเดียวกับการถ่ายเทความร้อนด้านก้นภาชนะ



รูปที่ 2.7 การถ่ายเทความร้อนของเตาหุงต้มให้ด้านข้างภาชนะ

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เตาหุงต้มแอลพีจี มีการใช้กันอย่างกว้างขวางทั้งในครัวเรือน หรือแม้กระทั่งในงานด้านอุตสาหกรรม แต่ว่าเตาแก๊สหุงต้มที่ใช้กันอยู่นั้นจะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนค่อนข้างต่ำ เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนในเตาแก๊สหุงต้มจะเป็นลักษณะของเปลวไฟพุ่งชน (Impinging flame jet) [2] ซึ่งจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูงและต้องใช้ปริมาณแก๊สแอลพีจีค่อนข้างมาก แต่เตาแก๊สหุงต้มที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนั้นมีการเผาไหม้ในลักษณะเปิด จึงไม่สามารถนำความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้มาใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ รวมทั้งการถ่ายเทความร้อนจากเปลวไฟไปยังภาชนะถูกจำกัดโดยการพาความร้อน (Convection) เป็นส่วนใหญ่ ทั้งยังมีการสูญเสียความร้อนเป็นจำนวนมากไปกับแก๊สไอเสียโดยการพาความร้อน (Convection) และมีการสูญเสียความร้อนของเปลวไฟจากการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) อีกด้วย ซึ่งทำให้เตาแก๊สหุงต้มที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ค่อนข้างต่ำ ซึ่งที่ผ่านมาได้มีการวิจัยเพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มอย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

Yoshizawa และ Echico [11] ได้ทำการศึกษาถึงผลของการแผ่รังสีในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้วัสดุพรุน (Porous medium) เป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อนและพลังงานที่ถูกปล่อยออกมาจากการเผาไหม้จะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานการแผ่รังสีความร้อน จุดประสงค์ในงานวิจัยนี้ก็เพื่อที่จะพัฒนาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อน (Radiant heater) ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น โดยการพยายามทำให้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อนนั้นสามารถที่จะเปลี่ยนพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ทั้งหมดไปเป็นพลังงานการแผ่รังสีความร้อน โดยอาศัยหลักการของวัสดุพรุน ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้จะประกอบไปด้วยส่วนหลัก ๆ 2 ส่วน คือ หัวเผา (Burner) และ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) ซึ่งจากการทดลองทำให้ทราบว่า อุณหภูมิภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อน (Radiant heater) นั้นโดยส่วนใหญ่จะถูกควบคุมโดยการแผ่รังสีความร้อนจากตัวของวัสดุพรุน ดังนั้นจากการทดลองนี้ก็สามารถสรุปได้ว่าค่าประสิทธิภาพของการเปลี่ยนพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ไปเป็นพลังงานการแผ่รังสีความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อน (Radiant heater) นี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงสุดถึง 88%

Jugjai และ Sanijai [5] ได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพทางความร้อนใน Porous Radiant Recirculated Burner (PRRB) โดยที่ในงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อที่จะปรับปรุงให้เตาแก๊สหุงต้มที่ใช้ในครัวเรือนทั่ว ๆ ไปมีประสิทธิภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้นโดยการทำให้อุณหภูมิของการเผาไหม้ภายในเตามีค่าสูงขึ้นโดยอาศัยการควบคุมให้มีการหมุนเวียนของพลังงานความร้อนจากไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้มาอุ่น (Preheat) อากาศก่อนที่จะเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้โดยอาศัยหลักการของการแผ่รังสีความร้อนของวัสดุพรุน ในการทดลองนี้ทำให้ทราบว่า อุณหภูมิของอากาศที่จะเข้ามาผสมกับเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ที่มีการอุ่น (Preheat) อากาศก่อนจะมีค่าสูงถึง 210°C และผลของการอุ่นอากาศ (Preheat) ที่จะเข้ามาผสมกับเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้นั้นยังพบว่าที่การอุ่นอากาศ (Preheat) ที่อากาศปฐมภูมิ (Primary air) นั้นจะทำให้เตา PRRB มีประสิทธิภาพสูงกว่าการอุ่น (Preheat) อากาศที่อากาศทุติยภูมิ (Secondary air) ซึ่งมีผลทำให้ อุณหภูมิของอากาศปฐมภูมิ (Primary air) สูงกว่าอากาศทุติยภูมิ (Secondary air) ดังนั้นในการอุ่น

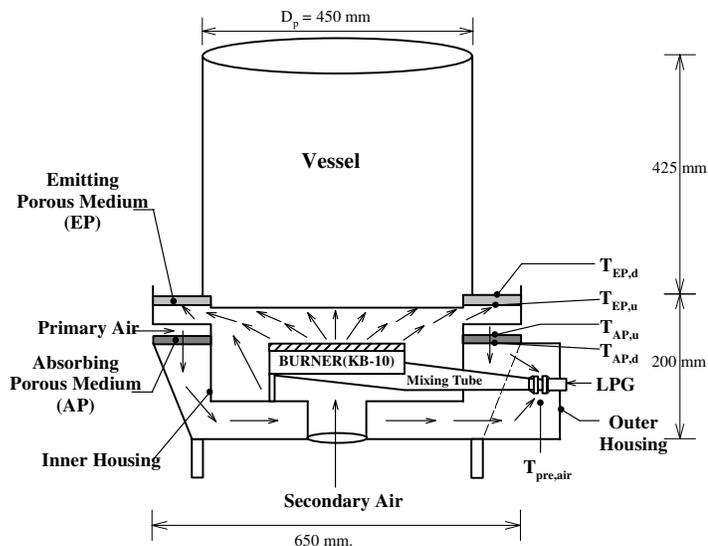
อากาศที่จะเข้าผสมกับเชื้อเพลิงที่อากาศปฐมภูมิ (Primary air) จะมีความสำคัญมากกว่าการอุ่นอากาศ (Preheat) ที่อากาศทุติยภูมิ (Secondary air) และจากการทดลองจึงได้ข้อสรุปว่าเตาแก๊สแบบ PRRB จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเตาแก๊สที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ในปัจจุบันเนื่องจากในเตาชนิดนี้จะมีการอุ่นอากาศให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อนการเผาไหม้ซึ่งจากหลักการนี้เองทำให้เราสามารถที่จะพัฒนาเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบเตาแก๊สหุงต้มที่ใช้กันภายในครัวเรือนได้ต่อไป

Tamir และคณะ [12] ศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาหุงต้มที่ใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง โดยการปรับปรุงจากเตาแบบเดิม (Conventional burner, CB) เปลี่ยนมาเป็น Swirl burner (SB) ซึ่งพบว่า Swirl burner ที่ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดจะมีลักษณะเฉพาะคือ มุมเงย (β) เท่ากับ 26 องศา มุมเอียง (α) เท่ากับ 15 องศา ขนาดของรูที่แก๊สออกเท่ากับ 3 มิลลิเมตร จำนวนรู 4 รู โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของเตาแบบเดิมมีค่าประมาณ 52% แต่เมื่อเปลี่ยนมาใช้ Swirl burner ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของเตามีค่าประมาณ 58% ซึ่งเป็นผลจากการหมุนวนของเปลวไฟโดยแรงเฉือนนี้จะส่งเสริมปัจจัยบวกต่างๆ คือ ระยะเวลาในการผสมของเชื้อเพลิงและอากาศ เวลาในการสัมผัสของเปลวไฟกับภาชนะและการดึงดูดอากาศส่วนที่สองเพิ่มขึ้น

วิเชียร ตรีเวชอักษร [13] ศึกษาทฤษฎีการเผาไหม้ รวมถึงการเผาไหม้ของเตาหุงต้ม LPG เพื่อพัฒนาและปรับปรุงเตาหุงต้มแอลพีจีแบบมาตรฐาน (Conventional burner, CB) แสดงในรูปที่ 10 Swirl burner [13] ให้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้นกว่าเดิม โดยอาศัยผลของการ Swirl burner เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพาและเหนี่ยวนำอากาศส่วนที่สอง (Secondary air) รวมถึงการเก็บกลับความร้อนด้วยระบบอุ่นอากาศ และการปรับปรุงฐานตั้งภาชนะให้เหมาะสมและมีการสูญเสียความร้อนน้อยที่สุด ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้เตาหุงต้มแอลพีจีแบบมาตรฐานเป็นต้นแบบในการศึกษา โดยในการทดลองเพื่อหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนอ้างอิงตามมาตรฐานอังกฤษ (BS 2491) จากการทดลองพบว่า เตาหุงต้ม LPG ที่ใช้โดยทั่วไปเป็นเตาแบบ Radial flow slotted-burner มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยค่อนข้างต่ำ ประมาณ 35% ตลอดช่วงการใช้งาน แต่เมื่อปรับเปลี่ยนมาใช้หัวเตาแบบใหม่ Swirl burner พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก โดยมีค่าสูงสุดประมาณ 51% ซึ่งเป็นผลมาจากการหมุนวน ก่อให้เกิดผลดีในการเผาไหม้และถ่ายเทความร้อนดังนี้ คือ เพิ่มปริมาณอากาศส่วนที่สองให้มากขึ้น เพิ่มเวลาในการเผาไหม้และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าของเตาแบบเดิม จึงเป็นผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดและเมื่อปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้สูงขึ้น โดยการใช้ฐานตั้งภาชนะที่มีน้ำหนักเบา การเพิ่มระบบอุ่นอากาศส่วนที่สอง และระบบหมุนเวียนความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อนกลับสู่ภาชนะพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะเพิ่มสูงขึ้นอีก 3-4% อย่างไรก็ตามเนื่องจากการทดลองไม่ได้มีการตรวจวัดปริมาณมลพิษที่ปล่อยจากการเผาไหม้ ทำให้ไม่ทราบประสิทธิภาพการเผาไหม้และความปลอดภัยในการใช้งานของเตาชนิดนี้

ณัฐวุฒิ รังสิมันตุชาติ [4] ได้นำเอาเทคโนโลยีวัสดุพอร์มาประยุกต์ใช้ในการส่งเสริมประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้ม แสดงในรูปที่ 2.8 เตาต้นแบบเตาแก๊สประสิทธิภาพสูง [3] เนื่องจากวัสดุพอร์มีลักษณะเด่นคือ สามารถเป็นได้ทั้งตัวรับความร้อนและตัวแผ่รังสีความร้อนจึงสามารถใช้เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยในการทดลองใช้หัวเตา (KB - 10) ที่มีขายอยู่ตามท้องตลาดมาประกอบเข้ากับ โครงสร้างของเตาที่ทำขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ

เชิงความร้อน จากการทดลองพบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้สูงขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 12 และคิดเป็นอัตราการประหยัดโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 30 เมื่อเปรียบเทียบกับเตา KB – 10 ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป และในการทดลองนี้ยังได้มีการพัฒนาให้เตาแก๊สชุดนี้มีค่าประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้นไปอีกโดยการปรับปรุงหัวเผาให้เปลวไฟที่พุ่งออกมีลักษณะของการหมุนวนเข้าสู่ศูนย์กลาง และจากการทดลองพบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้สูงขึ้นได้โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 20 เมื่อเปรียบเทียบกับเตาแบบ Swirl Burner ที่ยังไม่ได้มีการประกอบเข้ากับโครงสร้างที่ออกแบบไว้ และเมื่อเปรียบเทียบกับเตา KB – 10 ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้สูงขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 30 และคิดเป็นอัตราการประหยัดโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 51 โดยจากการทดลองของณัฐภูมิ จะศึกษาเฉพาะหัวเตาวงนอกเท่านั้น (ลักษณะทั่วไปของเตาแก๊สขนาด KB – 10 จะมีหัวเตา 2 วง คือวงในและวงนอก) ซึ่งหัวเตาวงในยังคงเป็นหัวเตาแบบ CB อยู่ และยังไม่ได้มีการศึกษาถึงระยะห่างรูแก๊สออก รวมไปถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูแก๊สออกซึ่งจะมีผลต่อลักษณะของเปลวไฟและการคิดประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะเป็นตามกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่งจะไม่ได่มองถึงคุณภาพของพลังงานที่นำมาใช้หมุนเวียนความร้อน



รูปที่ 2.8 เตาแก๊สประสิทธิภาพสูงของ ณัฐภูมิ รัชสิมันตชาติ [4]

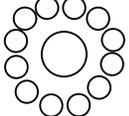
Dong และคณะ [3] ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของระยะห่างระหว่างหัวเผากับก้นภาชนะ (H) ที่เหมาะสมกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเผา (d) ซึ่งหัวเผาที่นำมาใช้ทดสอบเป็นแบบ Slot จำนวน 1 หัวเผา โดยเงื่อนไขการทดลองจะทำการปรับค่า Reynolds number (Re) จาก 800 ถึง 1,700 และปรับระยะ H จาก $2d_e$ ถึง $12d_e$ โดยใช้เชื้อเพลิงบิวเทน พบว่าที่ตำแหน่ง $H/d = 6$ จะให้อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุด และที่บริเวณแกนกลางของเปลวไฟจะให้อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ เนื่องจากตรงแกนกลางไม่เกิดการเผาไหม้ (Cool central core) ซึ่งจะเกิดเหตุการณ์ลักษณะนี้ สองกรณี คือ $Re < 1,500$ หรือที่ระยะ $H/d_e < 4$

Dong และคณะ [14] ทำการศึกษาเหมือนกับ [3] แต่ว่าเปลี่ยนจำนวนหัวเผาจาก 1 หัว มาเป็น 2 หัว โดยจะพบว่านอกจากระยะ H ที่มีผลกระทบต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนแล้วยังมีระยะห่างระหว่างทางออกของแก๊ส (Jet-to-Jet Spacing, S) ซึ่งมีผลกระทบต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนด้วยเช่นกัน โดยในการทดลองจะทำการปรับเปลี่ยนค่า S/d_e จาก 0.9 ถึง 4.1 และค่า H/d_e จาก 1 ถึง 6 และค่า $Re=800$ คงที่ตลอดการทดลอง ซึ่งจากการทดลองพบว่าที่ $S/d_e = 2$ และ $H/d_e = 1$ จะให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงสุด และอัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยจะลดลงเมื่อ H/d_e เพิ่มขึ้น

Dong และคณะ [15] ก็ยังทำการศึกษาเกี่ยวกับค่า H/d และ S/d เหมือนกับ [14] แต่จะทำการเปลี่ยนลักษณะของหัวเผาจาก Slot มาเป็นท่อกลม และเพิ่มจำนวนหัวเผาจากเดิม 2 หัวเผา มาเป็น 3 หัวเผาพบว่าที่ $H/d = S/d = 5$ จะให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงสุด และที่ $H/d=2$ และ $S/d=2.6$ จะให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยต่ำสุด นอกจากนี้ยังพบว่าที่ตำแหน่งเปลวไฟตรงกลางที่ชนกับกันภาชนะจะให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าเปลวไฟที่มีหัวเผาเดี่ยว ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าถ้าเป็นหัวเผาหลายๆ หัวจะมีการส่งเสริมการเผาไหม้ระหว่างหัวเผา ซึ่งจะช่วยให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นมากกว่าหัวเผาเดี่ยว

Dong และคณะ [16] ดำเนินงานวิจัยที่เหมือนกับ [15] แต่ต่างกันที่จำนวนหัวเผา โดยจะมีจำนวนลดลงจาก 3 หัวเผาเป็น 2 หัวเผา พบว่าที่ S/d น้อยๆ ($S/d = 2.6$) เปลวไฟที่ให้จบรวมตัวกันเป็นเปลวเดี่ยว แทนที่จะเป็น 2 เปลวตามจำนวนหัวเผา ซึ่งทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยลดลง อันเนื่องมาจากการขาดหายไปของการส่งเสริมการเผาไหม้ แต่ถ้าที่ S/d เพิ่มมากขึ้น ($S/d = 6$ ถึง 10) เปลวไฟจะแยกออกจากกัน และจะมีการส่งเสริมการเผาไหม้ระหว่างเปลวไฟด้วยกัน ซึ่งจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยเพิ่มมากขึ้น และเมื่อ H/d มีค่าน้อยๆ ($H/d = 2$) จะให้การส่งเสริมการเผาไหม้โดนทำลาย แต่จะดีขึ้นเมื่อเพิ่ม H/d โดยที่ $H/d = 6$ จะให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงสุด แต่เมื่อเพิ่ม H/d มากกว่า 6 ขึ้นไป ($H/d = 7$) จะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยลดลง

ตารางที่ 2.1 ลักษณะหัวเผาและสภาวะการทำงานตาม [3, 14-17]

Ref.	Burner			ϕ	Re	S/d	H/d	Flame Type
	Type	Number	Dimension (mm.)					
[3]		1	13.7 x 4.66	1	$\leq 1,200$	-	6	Premixed
[14]		2	9 x 3	1	800	2	1	Premixed
[15]		3	d = 5	1	900	5	5	Premixed
[16]		2	d = 5	1	1,200	6	6	Premixed
[17]		Fuel = 2 Air = 1	d = 2.4 D = 6	1.8	1,500	2.5	7	Inverse Diffusion Flame

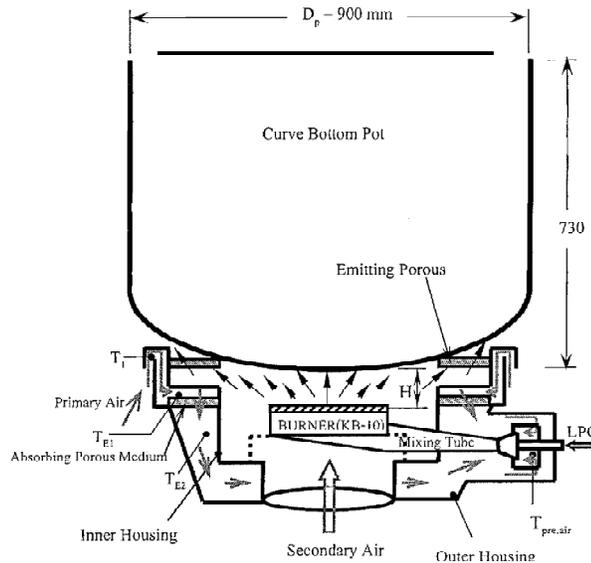
Sze และคณะ [17] ศึกษาลักษณะของเปลวไฟแบบ Inverse Diffusion Flame (IDF) ที่มีรูปร่างอากาศอยู่ตรงกลาง และถูกล้อมรอบด้วยรูปร่างเชื้อเพลิง 12 รู โดยสามารถแบ่งเปลวไฟออกเป็น 2 ช่วง คือ Entrainment zone และ Mixing and combustion zone ซึ่งการกระจายตัวของอุณหภูมิในเปลวไฟแสดงให้เห็นว่ามีแกนกลางเย็น (Cool central core) ที่ตำแหน่งความสูงเปลวไฟต่ำๆ และหายไปตำแหน่งเปลวไฟสูงขึ้น โดยที่ตำแหน่งค่า Φ สูงๆ จะให้เปลวเหลืองและมี Mixing and Combustion zone ที่ยาว และเมื่อเพิ่ม Re ก็จะทำให้เปลวไฟและ Mixing and combustion zone ที่ยาว นอกจากนี้ยังพบว่าที่ H น้อยๆ ค่า Heat flux สูงสุดจะไม่ได้อยู่ที่ตำแหน่งเปลวไฟชนกับก้นภาชนะ แต่จะเลื่อนออกมาทางด้านข้างของตำแหน่งที่เปลวไฟชน แต่เมื่อเพิ่ม H ให้สูงขึ้นจะทำให้ตำแหน่ง Heat flux เลื่อนเข้ามาใกล้กับตำแหน่งที่เปลวไฟชนกับก้นภาชนะ ผลงานทั้งหมดของ Dong และคณะสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 5

X.Q. Huang และคณะ [18] ศึกษา Heat flux บนแผ่น Plate ของเปลวไฟทรงกระบอกชนิดผสมกันมาก่อนพุ่งชนแผ่น Plate โดยทำการปรับปรุงเปลวไฟให้เป็นแบบหมุนวน ใช้ Butane เป็นเชื้อเพลิง ค่า Re อยู่ในช่วง 800-1,700 ซึ่งเป็นการไหลแบบ Laminar, Φ เป็น 1 ระยะระหว่าง Nozzle ถึง Plate (z) ตั้งแต่ 1.5-4 จากการศึกษาพบว่าค่า Heat flux ที่กระจายตัวอยู่บนแผ่น Plate จะ Uniform มากกว่า ที่ทุกค่าของ z และค่า Re ต่างๆ และยังพบว่าที่ตำแหน่ง Stagnation point จะให้ค่า Heat flux ที่สูงเมื่อเทียบกับเปลวไฟที่ไม่หมุนวน

วสันต์ โยคเสนะกุล [6] นำแนวทางจาก ญัฐวุฒิ รังสิมันตุชาติ [4] โดยการศึกษาในครั้งนี้จะใช้เตาแก๊สขนาด KB - 10 ที่มีขายในท้องตลาดมาทำการดัดแปลงหัวเผาจาก CB เป็น SB แล้วนำมาประกอบเข้ากับโครงสร้างที่มีการหมุนเวียนความร้อน (Porous Radiant Recirculated Burner, PPRB) ซึ่งจากการทดลองพบว่าหัวเผาแบบ CB มีระยะห่างระหว่างหัวเผากับก้นภาชนะ (H) ที่เหมาะสมอยู่ที่ 6.3 mm. (2.5 in.) ในทุกๆ รูปร่างภาชนะ โดย η_{th} สูงสุด ของภาชนะก้นโค้ง ภาชนะก้นแบน และกระทะ อยู่ที่ร้อยละ 33.24 35.83 และ 31.01 ตามลำดับ และเมื่อเปลี่ยนเป็น PPRB (SB) ซึ่งมีระยะ H ของแต่ละภาชนะไม่เท่ากัน โดยภาชนะก้นโค้งมี H = 127 mm. (5 in.) η_{th} สูงสุด ร้อยละ 45.02 ภาชนะก้นแบนมี H = 165 mm. (6.5 in.) η_{th} สูงสุดร้อยละ 44.27 และกระทะมี H = 114.3 mm. (4.5 in.) η_{th} สูงสุดร้อยละ 43.38 ซึ่งพบว่า η_{th} ของ PPRB (SB) เพิ่มขึ้นในทุกๆ ภาชนะเนื่องจากอิทธิพลของการหมุนเวียนความร้อนและปริมาณ CO ต่ำสุดของ PPRB (SB) ของทุกๆ ภาชนะ โดยภาชนะก้นโค้งมี CO = 72.72 ppm. ภาชนะก้นแบนมี CO = 140.3 ppm. และ PPRB (SB) มีการประหยัดพลังงานสูงสุดที่ร้อยละ 30.65 ของภาชนะก้นโค้ง ภาชนะก้นแบนประหยัดพลังงานสูงสุดร้อยละ 25.13 และกระทะประหยัดพลังงานได้สูงสุดร้อยละ 26.476 นอกจากนี้ยังมี การวิเคราะห์ Exergy ของระบบที่ไม่มี และการหมุนเวียนความร้อน โดยทำการคำนวณที่อัตราส่วนสมมูล (Φ) เท่ากับ 1 พบว่าระบบที่ไม่มี การหมุนเวียนความร้อนจะมี $X_{destroyed}$ (Exergy) ที่เกิดจากกระบวนการย้อนกลับไม่ได้ขอระบบ) มากกว่าระบบที่มีการหมุนเวียนความร้อน โดย $X_{destroyed}$ จะมีค่าลดลง เมื่ออุณหภูมิของอากาศส่วนแรกมีค่าสูงขึ้น และประสิทธิภาพตามกฎข้อสองทางเทอร์โมไดนามิกส์ (η_{II}) ของระบบที่ไม่มี การหมุนเวียนความร้อน ของภาชนะก้นโค้ง ภาชนะก้นแบน และ

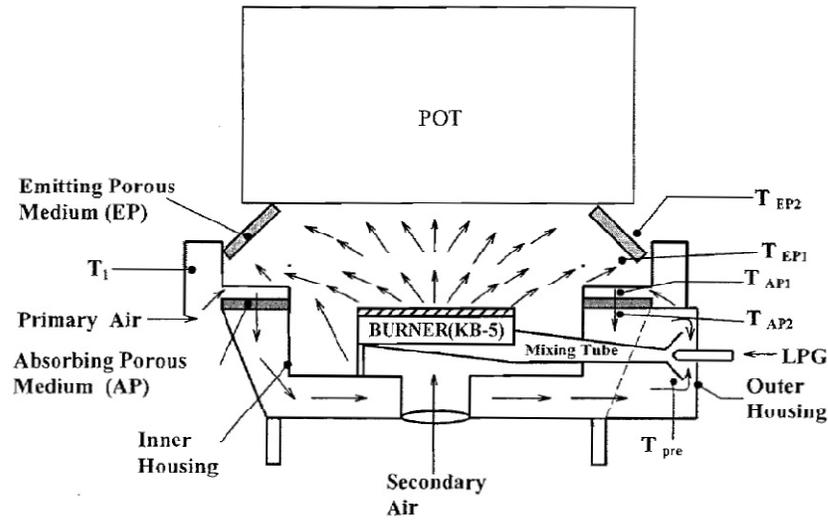
กระทะ อยู่ที่ร้อยละ 65.78, 65.82 และ 65.91 ตามลำดับ และของระบบที่มีการหมุนเวียนความร้อนของภาชนะกันไค้ง ภาชนะกันแบน และกระทะ อยู่ที่ร้อยละ 72.78, 73.17 และ 72.27 ตามลำดับ

จารุณี จากกลาง [7] นำแนวทาง วสันต์ โยคเสนะกุล [6] โดยการศึกษาในครั้งนี้จะใช้เตาแก๊สขนาด KB – 5 ทั่วไป (Conventional burner, CB) มีใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในครัวเรือนและตามแหล่งร้านอาหารทั้งขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ แต่ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th}) ประมาณร้อยละ 35 ซึ่งค่อนข้างต่ำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จะได้ทำการพัฒนาเตาแก๊ส KB – 5 ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นโดยแบ่งการพัฒนาออกเป็นสองส่วนโดยส่วนแรกจะทำการพัฒนาหัวเผาจากแบบทั่วไป (CB) ซึ่งมีเปลวไฟไหลตามรัศมี มาเป็นแบบหมุนวน (Swirl burner, SB) ซึ่งจะให้ลักษณะของเปลวไฟหมุนวนเข้าสู่ศูนย์กลาง ส่วนที่สองทำการพัฒนาอีกขั้นหนึ่งคือ นำเตาแก๊ส KB-5 มาใช้ควบคู่กับ (Porous Radiant Recirculated Burner, PPRB) โดยอาศัยหลักการหมุนเวียนความร้อนจะกระทำกับภาชนะสอบแบบ คือ หม้อ (ภาชนะกันแบน) กระทะ (ภาชนะกันไค้ง)



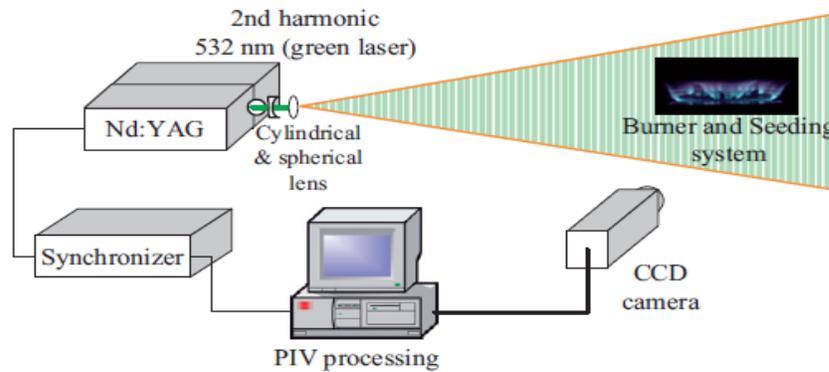
รูปที่ 2.9 เตาก๊าซประสิทธิภาพสูงของวสันต์ โยคเสนะกุล [6]

จากการศึกษาเมื่อใช้หม้อเป็นภาชนะพบว่า η_{th} , CO และ NO_x สูงสุดของ PPRB(SB) คือร้อยละ 60, 159 ppm. และ 202 ppm. ตามลำดับ ส่งผลให้ประหยัดพลังงานสูงสุดถึงร้อยละ 38 เมื่อเทียบกับ CB แต่เมื่อใช้กระทะเป็นภาชนะพบว่า η_{th} , CO และ NO_x สูงสุดของ PPRB(SB) คือ ร้อยละ 40 162 ppm. และ 159 ppm. ส่งผลให้ประหยัดพลังงานสูงสุดร้อยละ 35 ใกล้เคียงกับของ PPRB(SB) นอกจากนั้นวิเคราะห์หาอัตราส่วนปริมาณความร้อนหมุนวน (r) พบว่าทั้งหม้อและกระทะให้แนวโน้มที่เหมือนกัน คือ r มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.1 ซึ่งค่อนข้างต่ำเนื่องจากทำการ Preheat – air เท่านั้นไม่ได้ Preheat ทั้งระบบ



รูปที่ 2.10 เตาแก๊สประสิทธิภาพสูงของนางสาวจารุณี จากกลาง [7]

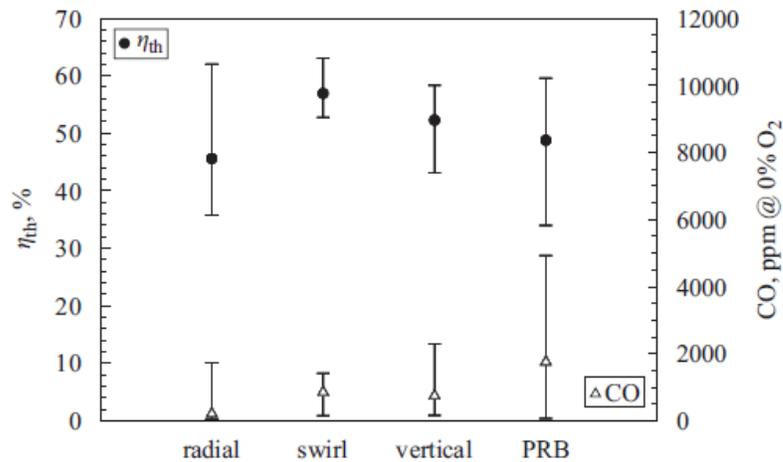
Makmool U. และ Jugjai S. [2] ศึกษาเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือนชนิดแรงดันต่ำที่มีจำหน่ายในประเทศไทย 4 แบบ คือ เตาแก๊สแบบ Radial slotted ports, Vertical port, Swirl ports , Porous ceramic ดังรูปที่ 2.3 ด้วยวิธี Particle image velocimetry, PIV เพื่อประเมิน η_{th} และวัดการปล่อยแก๊ส CO ทดสอบตามมาตรฐาน EN 203-1:1992, EN 203-2:1995 และมีอุปกรณ์การทดลองดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 อุปกรณ์การทดลอง Particle image velocimetry (PIV)

จากการทดลองพบว่า หัวเตาแก๊สแบบ Swirl pots มี η_{th} เฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมาคือ Vertical port, Porous ceramic และ Radial slotted ports โดยมี η_{th} อยู่ที่ประมาณ 56.2% , 54.2%, 47% , และ 41.6% ตามลำดับ สำหรับการปล่อยแก๊ส CO หัวเตาแก๊สแบบ Porous ceramic มีมลพิษมากที่สุด รองลงมาคือ Swirl pots , Vertical port, Radial slotted ports โดย

CO ประมาณ 1,800 ppm., 800 ppm. , 500 ppm. และ 80-120 ppm. ตามลำดับ ดังรูปที่ 14 จากการศึกษาพบว่าหัวเตาแก๊สแบบ Radial slotted ports หรือหัวเตาแก๊สแบบมาตรฐานที่ใช้งานอย่างแพร่หลายทั่วไปนั้นมี 2 เบอร์ ซึ่งหากสังเกตลักษณะโดยทั่วไปแล้วจะพบว่า รูปแบบการจัดวางอุปกรณ์ การไหลของเปลวไฟเหมือนกันและปล่อยแก๊ส CO ในอัตราใกล้เคียงกัน (80–120 ppm.) แต่จะต่างกันว่า η_{th} คือ หัวเตาแก๊สเบอร์ 2 มี η_{th} ประมาณ 51.7% (ผ่านมาตรฐานที่ใช้อ้างอิง) ขณะที่เบอร์ 1 เท่ากับ 41.6% (ไม่ผ่านมาตรฐาน) ดังนั้น จึงใช้วิธีได้ทดสอบด้วยวิธี Particle image velocimetry (PIV) พบว่า หัวเตาแก๊สเบอร์ 1 ให้มุมของเปลวไฟที่ 44 องศา หัวเตาแก๊สเบอร์ 2 ให้มุมของเปลวไฟที่ 56 องศา ซึ่งมุมของเปลวไฟที่มากกว่าของหัวเตาเบอร์ 2 ส่งผลให้หัวเตาแก๊สหมายเลข 2 มี η_{th} สูงกว่า สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Dong และคณะ [2,13-16] และ Huang และคณะ [17] ซึ่งศึกษาลักษณะการส่งผ่านความร้อน และ η_{th} ของเปลวไฟซึ่งไหลสัมผัสกับพื้นผิวเรียบ ยิ่งมุมสัมผัสไฟน้อยเท่าใด แนวความร้อนพื้นผิวนั้นจะยิ่งมากเท่านั้น แต่ในขณะเดียวกัน ค่าเฉลี่ย การส่งผ่านความร้อนก็จะลดลงด้วยดังที่ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า ยิ่งมีมุมมากเท่าไร พื้นที่การส่งผ่านความร้อนบนผิวกระทะจะมีมากขึ้น และ ส่งผลให้เกิด η_{th} เพิ่มสูงขึ้นด้วย



รูปที่ 2.12 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพเชิงความร้อนและการปล่อยแก๊ส CO

เนื่องจากหัวเตาแก๊สแบบ Vertical ports และ หัวเตาแก๊สแบบ Swirl pots ถือว่าเป็นหัวเตาแก๊สประสิทธิภาพสูง เพราะให้ค่า η_{th} สูงมากกว่า 50% เทียบกับหัวเตาแก๊สแบบ Radial slotted ports ดังนั้นจึงได้ทดสอบกับหัวเตาแก๊สแบบ Vertical ports และ หัวเตาแก๊สแบบ Swirl pots ด้วยวิธีเดียวกันพบว่าเตาแก๊สแบบ Vertical ports ให้มุมสัมผัสหัวเตาที่เกือบ ๆ 90 องศา ส่งผลให้มีพื้นที่การส่งผ่านความร้อนมากกว่า η_{th} จึงมากกว่าอย่างเห็นได้ชัด หัวเตาชนิดแบบ Swirl pots มีมุมไฟสัมผัสหัวเตาที่เกือบ 90 องศา มากที่สุดในบรรดาหัวเตาแก๊สทั้งสามชนิด สรุปลงด้วยวิธี Particle image velocimetry (PIV) เพื่อทดสอบ η_{th} และการปล่อยแก๊ส CO ของหัวเตาแก๊สแรงดันต่ำ 4 แบบ ที่มี จำหน่ายในประเทศไทย ทดสอบตามมาตรฐาน EN 203-1:1992 และ EN 203-2:1995 พบว่าเป็น

เครื่องมือในการศึกษาและวิเคราะห์ความแตกต่างด้าน η_{th} ของหัวเตาแก๊สได้อย่างมีประสิทธิภาพ และด้วยวิธีการศึกษาดังกล่าวมานั้น สามารถขยายผลไปสู่การปรับปรุงหัวเตาแก๊สให้มีประสิทธิภาพในอนาคตต่อไป

ต่อมา จรินทร์ เจนจิตต์ [19] จึงได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน ที่มีปริมาณการใช้แก๊สแอลพีจี (Liquefied Petroleum Gas, LPG) สูงสุดไม่เกิน 5.78 kW ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 2312-2549 โดยทำการออกแบบและสร้างฝาครอบเตาแก๊สชนิดวัสดุพอร์น (Porous Radiant Recalculated Cover, PRRC) ซึ่งอาศัยหลักการหมุนเวียนความร้อน (Heat-Recirculating Combustion) จากไอเสียของเตาแก๊สหุงต้มกลับมาใช้การอุ่นอากาศก่อนการเผาไหม้เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของเปลวไฟจึงส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้น ฝาครอบเตาแก๊สชนิดวัสดุพอร์นดังกล่าวมีลักษณะเด่น คือ สามารถใช้งานกับภาชนะในการหุงต้มได้หลายขนาดและหลายรูปร่าง รวมทั้งใช้งานได้สะดวกและง่ายโดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนหรือตัดแปลงเตาแก๊สหุงต้มเดิมจึงไม่ส่งผลกระทบต่อมาตรฐานของเตาแก๊สหุงต้ม ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ คือ Firing rate (Fr), Emitting porous medium (EP) และ Absorbing porous medium (AP) และค่าความพรุน (Porosity, ϵ) ของตาข่ายสแตนเลส ที่มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency) ทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 2312-2549 ด้วยวิธีต้มน้ำ (Boiling test) และวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ วัดปริมาณมลพิษทางไอเสียที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ ตามเงื่อนไขต่างๆ จากการทดสอบพบว่าเตาแก๊สหุงต้มในครัวเรือน (HB) ทั่วไปมี η_{th} สูงสุดร้อยละ 41 ขณะที่เตาแก๊สที่ติดตั้งฝาบังลมของกระทรวงพลังงานมีค่า η_{th} สูงสุดร้อยละ 39 และเตาแก๊สที่ติดตั้ง PRRC (EP4+ AP4) มีค่า η_{th} สูงสุดร้อยละ 48 ซึ่งคิดเป็นการประหยัดร้อยละ 14.58 นอกจากนี้ยังพบว่าหากเพิ่มหรือลดความหนาของวัสดุพอร์นที่ติดตั้งในฝาครอบ PRRC เป็น PRRC (EP2+ AP2) และ PRRC (EP6+ AP6) พบว่าค่า η_{th} สูงสุดมีค่าลดลงเป็นร้อยละ 38 และ 32 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการติดตั้ง PRRC (EP4+AP4) ที่เหมาะสม ไม่เพียงแต่ทำให้มีค่า η_{th} สูงขึ้นเท่านั้น ยังส่งผลให้มีการปลดปล่อยมลพิษต่ำลง โดยมีปริมาณ CO และ NO_x มีค่าสูงสุดไม่เกิน 124 ppm. และ 120 ppm. และเมื่อทดสอบอิทธิพลของ Emitting porous medium (EP) และ Absorbing porous medium (AP) พบว่า ฝาครอบ PRRC(EP4+AP0) ทำให้ η_{th} สูงสุดมีค่าเป็นร้อยละ 54 คิดเป็นการประหยัดเท่ากับ 30.19 % โดยมีอัตราการปลดปล่อยมลพิษไม่เกิน 320 ppm. และ 80 ppm. สำหรับ CO และ NO_x ตามลำดับ และหากติดตั้ง Absorbing porous medium (AP) เพียงอย่างเดียวพบว่า ฝาครอบ PRRC(EP0+AP4) ทำให้ η_{th} สูงสุดมีค่าเป็นร้อยละ 48 คิดเป็นการประหยัดร้อยละ 14.58 และมีการปลดปล่อยมลพิษไม่เกิน 160 ppm. และ 85 ppm. สำหรับ CO และ NO_x ตามลำดับ ส่วนอิทธิพลของภาชนะที่มีผลต่อ η_{th} เมื่อใช้งานร่วมกับฝาครอบ PRRC ที่ Firing rate ต่างๆ พบว่าภาชนะหุงต้มที่เหมาะสมสำหรับฝาครอบ PRRC ที่สุด คือ หม้อเบอร์ 22 cm. เมื่อเทียบกับทุกภาชนะที่ทำการทดสอบ

(หม้อเบอร์ 16 cm. ,18 cm. และกระทะ 33 cm.) โดย η_{th} สูงสุดคิดเป็นร้อยละประมาณ 54 และมีปริมาณ CO และ NO_x สูงสุดไม่เกิน 160 ppm. และ 160 ppm. ตามลำดับ การประหยัดพลังงานของเตาที่ติดตั้ง PRRC เทียบกับเตา HB พบว่าฝาครอบ PRRC (EP4+AP0) มีการประหยัดสูงสุดร้อยละ 30.19 รองลงมาคือ PRRC (EP4+AP4) และ PRRC (EP0+AP4) มีการประหยัดสูงสุดร้อยละ 14.58 % ตามลำดับ