



ผลของขนาดคอคอดต่อคุณลักษณะการเผาไหม้สำหรับเตาแก๊สหุงต้มที่มีการอุ่นอากาศเผาไหม้

The Effect of Throat Diameter on Combustion Characteristics for a Cooking Burner with Preheated Air Combustion

อภิรักษ์ นามเขต* และ อำไพศักดิ์ ทิบุญมา

ศูนย์เทคโนโลยีด้านวัสดุพูนและพลังงานที่เหมาะสม (APEC) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 85 ถนนสกลมารค์ ตำบลเมืองศรีโค อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

*ติดต่อ: E-mail: n.apinunt@hotmail.com, เบอร์โทรศัพท์: 045-353-309, เบอร์โทรสาร: 045-353-308

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของขนาดคอคอดของท่อผสม (D_t) ต่อคุณลักษณะการเผาไหม้สำหรับเตาแก๊สหุงต้ม เพื่อแสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนและการปลดปล่อยมลพิษ (CO และ NO_x) โดยทดสอบภายใต้การปรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอดในช่วงจาก 17 ถึง 24 มิลลิเมตร ในขณะที่เดียวกันยังได้ทดสอบอิทธิพลของอุณหภูมิการอุ่นอากาศต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนและการปลดปล่อยมลพิษ ซึ่งทดสอบเตาโดยการปรับอุณหภูมิการอุ่นอากาศในช่วง 50 ถึง 300°C ผลจากการศึกษาพบว่า ปริมาณการเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรกจะลดลงเมื่อเพิ่มหรือลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอดจากเตาดั้งเดิม ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และปลดปล่อยมลพิษ CO สูง ซึ่งขนาดคอคอดที่เหมาะสมคือ 22 มิลลิเมตร เนื่องจากให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับ 63.37% และยังมีปริมาณการปลดปล่อยมลพิษ CO น้อยที่สุด ดังนั้นอิทธิพลของการอุ่นสำหรับเตาที่มีระบบการอุ่นอากาศควรนำมาพิจารณาสำหรับการออกแบบเตา

คำหลัก: เตาแก๊สหุงต้ม; ท่อผสม; ประสิทธิภาพเชิงความร้อน; อิทธิพลของการอุ่น

Abstract

This research aimed to study the effect of throat diameter (D_t) of mixing tube on combustion characteristics for a cooking burner. The thermal efficiency and pollutant emissions (CO and NO_x) are reported. The throat diameters were varied from 17 to 24 mm. Moreover, the effects of preheated air temperatures (T_{pre}) on thermal efficiency and pollutants emission were examined. The burner was tested at various preheated air temperatures ranging from 50 to 300°C. It was found that the primary air entrainment was decreased at lower and higher throat diameter from the conventional burner. Therefore, incomplete combustion is taken place with a high level of CO emission. The maximum thermal efficiency ($\eta_{th} = 63.37\%$) was observed at an optimum throat diameter of 22 mm for with preheat case. Moreover, this throat diameter also emits lowest concentration of carbon monoxide (CO). It is recommended that the preheating effect caused by preheated air system in a cooking burner not be neglected when designing the burner.

Keywords: Cooking burner; mixing tube; thermal efficiency; preheating effect.

1. บทนำ

พลังงานจากเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลวหรือก๊าซแอลพีจีเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในภาคครัวเรือน ร้านอาหารและอุตสาหกรรม [1] เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาดเผาไหม้ได้สมบูรณ์และสะดวกต่อการใช้งาน แต่ด้วยสถานการณ์ของโลกในปัจจุบันที่พลังงานมีอยู่อย่างจำกัด จึงจำเป็นต้องใช้พลังงานให้ประหยัดและมีประสิทธิภาพสูงสุด พบว่าเชื้อเพลิงดังกล่าวส่วนใหญ่ถูกนำไปใช้สำหรับเตาแก๊สหุงต้มซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในภาคครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรม ดังนั้นงานวิจัยที่ผ่านมาจึงมีความพยายามที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สให้สูงขึ้น โดยในอดีตที่ผ่านมาการออกแบบและสร้างชุดหัวเตาแก๊สหุงต้มยังทำได้ไม่เต็มประสิทธิภาพของหัวฉีด มิติของท่อผสม และมิติของหัวเผาไม่สัมพันธ์กัน ส่งผลให้ปริมาณอากาศส่วนแรกที่ถูกเหนี่ยวนำเข้ามาผสมกับแก๊สเชื้อเพลิงมีปริมาณต่ำ และเมื่อมีการเผาไหม้โดยการอุ่นอากาศก่อนยิ่งทำให้ปริมาณอากาศส่วนแรกที่ใช้ในการเผาไหม้ลดต่ำลงอีก [2] เนื่องจากอากาศถูกอุ่นให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นแล้วเกิดการขยายตัว จากปริมาณอากาศที่ไม่เพียงพอทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เกิดมลพิษสูงและให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำจึงส่งผลให้ไม่ประหยัดพลังงาน จากความสำคัญของปริมาณอากาศส่วนแรกที่ใช้ในการเผาไหม้นี้ จึงทำให้มีผู้ทำการศึกษาถึงคุณลักษณะการเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรกของเตา โดย H.R.N.Jones และ Pritchard [3, 4] ศึกษาทางทฤษฎีถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่ส่งผลต่อคุณลักษณะของการเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรกที่ใช้ในการเผาไหม้ โดยอาศัยหลักการอนุรักษ์พลังงาน และโมเมนตัมของเจ็ตที่ไหลผ่านภายในหัวฉีดแก๊สและท่อผสม พบว่าการเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรกขึ้นอยู่กับอัตราการป้อนเชื้อเพลิง ชนิดของแก๊สเชื้อเพลิง มิติของหัวฉีด มิติของท่อผสม และมิติของหัวเผา ต่อมา Singh, G. และคณะ [5] สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาปริมาณการเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรกแล้วเปรียบเทียบกับ

ผลทางด้านทฤษฎี [3, 4] โดยทำการปรับความหนาแน่นของแก๊สเชื้อเพลิง พบว่าผลจากการศึกษาให้ค่าใกล้เคียงกับทฤษฎี โดยปริมาณการเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรกจะสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความหนาแน่นของแก๊สเชื้อเพลิง จากนั้น Singh, G. และคณะ [6] ศึกษาปริมาณอากาศส่วนแรกจากการทดลองเพื่อเปรียบเทียบกับผลทางด้านทฤษฎี [3, 4] พบว่าผลจากการศึกษาให้ค่าใกล้เคียงกับทฤษฎี โดยปริมาณการเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรกจะสูงขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนของขนาดคอคอดต่อรูหัวฉีดแก๊ส จากการศึกษาที่ผ่านมาเน้นการหาปริมาณอากาศส่วนแรกที่ใช้ในการเผาไหม้จะพิจารณาเฉพาะกรณีไม่มีการเผาไหม้ ซึ่งไม่สะท้อนความเป็นจริงที่เกิดขึ้นในการทำงานของเตาแก๊สหุงต้ม และเมื่อเร็วๆนี้ Namkhat, A. และคณะ [7] ศึกษาการเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรกโดยพิจารณาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิจากการเผาไหม้ พบว่าปริมาณอากาศส่วนแรกจะลดลงและสมการทำนายปริมาณอากาศส่วนแรกที่ได้จากการศึกษาให้ผลใกล้เคียงกับผลการทดลองจริง การพัฒนาเตาแก๊สหุงต้มโดยการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้สูงขึ้นนั้นมีการวิจัยอย่างกว้างขวาง เช่น การนำความร้อนหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ [8-12] ซึ่งจะนำเอาวัสดุพอร์ซเลนมาช่วยในการหมุนเวียนความร้อน เนื่องจากวัสดุพอร์ซเลนมีลักษณะเด่นคือ สามารถเป็นได้ทั้งตัวรับความร้อนและตัวแผ่รังสีความร้อน โดยจะนำความร้อนจากไอเสียมาทำการอุ่นอากาศส่วนแรกก่อนที่จะผสมกับเชื้อเพลิง ซึ่งจะช่วยให้เตาแก๊สหุงต้มมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่ามีการศึกษาการพัฒนารูทางออกของเปลวไฟ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้ม โดยการปรับปรุงหัวเตาแก๊สแบบทั่วไป (Conventional Burner, CB) มาเป็นแบบหมุนวน (Swirl Burner, SB) การไหลแบบหมุนวนของเปลวไฟส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะมากขึ้น [13] เนื่องจากการหมุนวนของเปลวไฟก่อให้เกิดแรงเฉือน ซึ่งช่วยเพิ่มระยะเวลาในการสัมผัสของเปลวไฟกับภาชนะและการผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศ [14-16] นอกจากนี้

ยังพบว่า การไหลแบบหมุนวนช่วยดึงดูอากาศส่วนที่สองมากขึ้น [17] ส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ Tamir, A. และคณะ [18] ได้ศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สชุดต้มที่ใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ ซึ่งพบว่าหัวเผาแบบหมุนวนที่ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดจะมีลักษณะเฉพาะคือ มุมเงยเท่ากับ 26 องศา มุมเอียง เท่ากับ 15 องศา โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของเตาแบบเดิมมีค่าประมาณ 52% แต่เมื่อเปลี่ยนมาใช้แบบ SB ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของเตามีค่าประมาณ 58% ทั้งนี้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สชุดต้มอาศัยการถ่ายเทความร้อนของเปลวไฟเป็นหลัก ดังนั้นระยะห่างระหว่างหัวเตาถึงกันภาชนะจึงมีความสำคัญด้วยเช่นกัน จากการศึกษาที่ผ่านมา การนำเตาแก๊สชุดต้มไปใช้ร่วมกับระบบอุ่นอากาศส่งผลดีต่อการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนแต่ข้อเสียที่พบคือ มีการปลดปล่อยมลพิษ CO ปริมาณที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากอากาศส่วนแรกที่ถูกอุ่นเกิดการขยายตัว ส่งผลให้ปริมาณการเหนี่ยวนำอากาศมีปริมาณลดน้อยลง เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จะทำการปรับขนาดคอคอดใหม่ให้มีขนาดที่เหมาะสมเพื่อใช้ร่วมกับเตาที่มีระบบอุ่นอากาศ โดยปรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอดของท่อผสมในช่วงจาก 17 ถึง 24 มิลลิเมตร ภายใต้การปรับอุณหภูมิการอุ่นอากาศในช่วง 50 ถึง 300°C ซึ่งขนาดคอคอดที่เหมาะสมจะต้องให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงแต่ปลดปล่อยมลพิษต่ำ จากผลการทดลองนี้จะได้เตาแก๊สชุดต้มสมรรถนะสูงที่มีการอุ่นอากาศเผาไหม้

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน และการปลดปล่อยมลพิษของเตาแก๊สชุดต้มมีลักษณะดังรูปที่ 1 ซึ่งมีส่วนประกอบหลักๆสามส่วนคือ ส่วนแรกจะเป็นชุดหัวเตาแก๊สชุดต้ม ซึ่งเป็นเตาที่มีขายกัน

ทั่วไปตามท้องตลาด ชนิดความดันสูงขนาด KB-5 โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเผาเท่ากับ 5 นิ้ว และขนาดคอคอด 19 มิลลิเมตร จากนั้นทำการปรับเปลี่ยนขนาดของคอคอดใหม่จากช่วง 17 ถึง 24 มิลลิเมตร ดังแสดงในตารางที่ 1

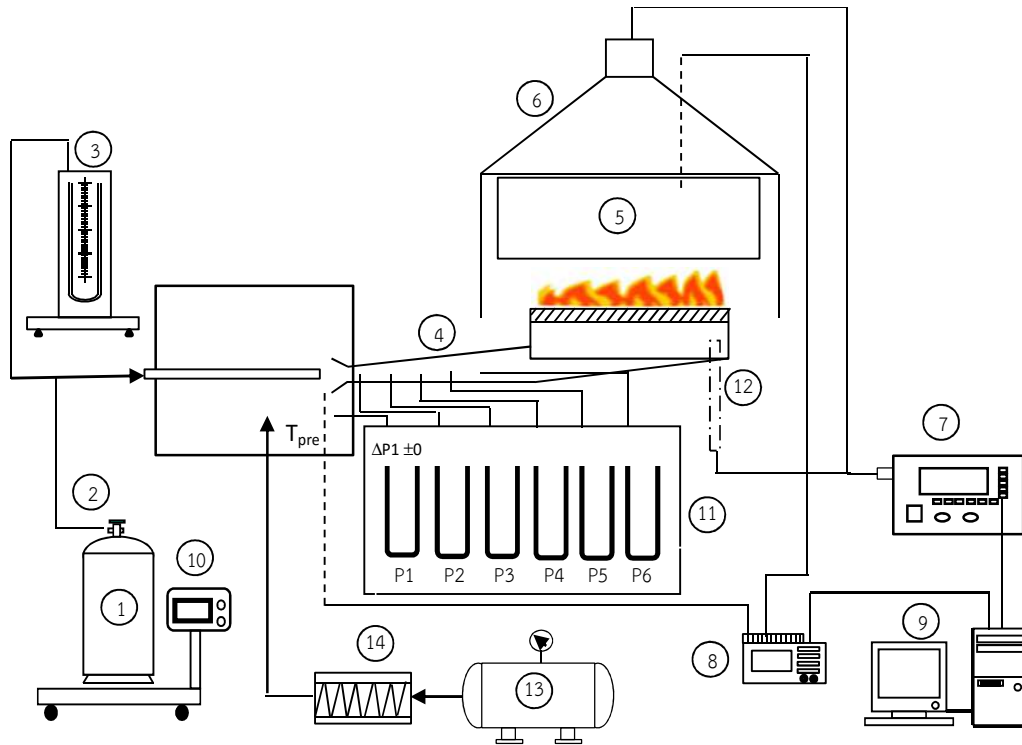
ตารางที่ 1 รายละเอียดของเตาที่ใช้ในการทดสอบ

มิติของเตา	ขนาดมิติที่ทดสอบ
Injector orifice diameter, A_i (mm)	0.8
Throat diameter, D_t (mm)	17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 และ 24
Total port area, A_p (mm ²)	245.44

โดยเชื้อเพลิงที่ใช้คือแก๊สแอลพีจี ส่วนที่สองจะเป็นชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดและเก็บข้อมูลในการทดลองโดยอาศัยเครื่องวัดปริมาณแก๊สไอเสีย (Exhaust gas analyzer) ของบริษัท Entech รุ่น testo 350 ซึ่งเป็น Electromechanical sensor วัดในลักษณะไอเสียแห้ง (Dry basis) ซึ่งค่าที่วัดได้จะมีความคลาดเคลื่อน 0.05 เปอร์เซ็นต์ และอุปกรณ์เก็บบันทึกค่าอุณหภูมิ ใช้ Data logger รุ่น Midi logger GL220 ในการเก็บบันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำ ณ เวลาใดๆ ซึ่งจะทำให้การพ่วงกับคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ทดลองหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สชุดต้ม และส่วนที่สามคือชุดอุ่นอากาศซึ่งสามารถอุ่นอากาศได้สูงถึง 300°C

ขั้นตอนการทดลองเริ่มจากการเปิดแก๊สเชื้อเพลิงจากถังบรรจุแก๊ส ซึ่งจะใช้วาล์วปรับความดันเป็นตัวควบคุมปริมาณการไหลของแก๊สเชื้อเพลิง และมีการวัดความดันของเชื้อเพลิงโดยமானอมิเตอร์ปรอท จากนั้นแก๊สจะถูกพ่นออกจากหัวฉีดเข้าไปในท่อผสม ขณะเดียวกันอากาศส่วนแรกจะถูกอัดด้วยเครื่องอัดอากาศผ่านเข้าไปในชุดอุ่นอากาศ (Air heater) ให้ได้อุณหภูมิตั้งแต่ 50, 100, 200 และสูงสุดไม่เกิน 300°C (ไม่เกินจุดติดไฟด้วยตัวเองของเชื้อเพลิงแอลพีจี) อุปกรณ์ดังกล่าวใช้ท่อทองแดงขดเป็นม้วนทั้งหมด 18 ขด เส้นผ่านศูนย์กลางของม้วนทองแดงเท่ากับ 24 เซนติเมตร ซึ่งอากาศจากเครื่องอัดอากาศจะ

ไหลผ่านภายในท่อทองแดงโดยมีความร้อนจากไอเสียของเตาแก๊สพุ่งต้มมาแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งกันและกัน ผลดังกล่าวจะทำให้อากาศที่ไหลภายในท่อทองแดงมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งสามารถปรับระดับของอุณหภูมิได้โดยการปรับอัตราการป้อนเชื้อเพลิงของเตาแก๊ส อากาศร้อนดังกล่าวจะถูกป้อนเข้าไปยังกล่องพักอากาศโดยการปรับวาล์วการเติมอากาศจนกระทั่งความดันภายในกล่องพักอากาศเท่ากับความดันบรรยากาศ จากนั้นอากาศร้อนดังกล่าวที่อยู่บริเวณใกล้ๆ หัวฉีดแก๊สจะถูกเหนี่ยวนำผ่านช่องอากาศส่วนแรกเข้าไปในท่อผสมพร้อมๆ กับแก๊สเชื้อเพลิงโดยอาศัยการถ่ายเทโมเมนตัมระหว่างแก๊สและอากาศโดยรอบ จากนั้นส่วนผสมของอากาศส่วนแรกและแก๊สเชื้อเพลิงจะไหลผ่านรูทางออกเปลวไฟ และถูกติดไฟให้เปลวไฟชนิดผสมมาก่อน (Premixed flame) ขณะเดียวกันส่วนผสมของอากาศส่วนแรกและแก๊สเชื้อเพลิงบางส่วนจะถูกดูดผ่านท่อที่เสียบอยู่ทางด้านล่างของหัวเผาผ่านเข้าไปในเครื่องวัดปริมาณออกซิเจน เพื่อวัดปริมาณของออกซิเจนที่อยู่ในส่วนผสมดังกล่าวสามารถนำมาคำนวณหาปริมาณอากาศส่วนแรกที่ใช้ในการเผาไหม้ ในขณะเดียวกันจะทำการวัดอุณหภูมิของน้ำด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิดเค (K) เพื่อใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน และวัดการปลดปล่อยมลพิษที่ชุดดักไอเสีย (Hood) โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน DIN EN 203-2:1997 โดยทำการเลือกขนาดของหม้อภาชนะ (Pot) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 45 เซนติเมตร ซึ่งชุดดักไอเสียที่ทำการวัดไอเสียสามารถรอบได้ และเติมน้ำปริมาณ 30.6 กิโลกรัมลงในหม้อภาชนะ โดยใช้ระยะความสูงกันหม้อ (H) ที่ระยะ 3 เซนติเมตร ทำการต้มน้ำจากอุณหภูมิห้องจนกระทั่งถึงประมาณ 90°C จากนั้นทำการบันทึกค่าอุณหภูมิน้ำและเวลาที่ใช้ในการทดสอบ พร้อมทั้งบันทึกค่าปริมาณของแก๊สไอเสีย (CO, NO_x)



- | | | |
|---------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 1. ถังแก๊สแอลพีจี | 6. ชุดดักไอเสีย | 11. มานอมิเตอร์น้ำ |
| 2. วาล์วปรับความดัน | 7. เครื่องวัดปริมาณแก๊สไอเสีย | 12. ท่อวัดปริมาณอากาศส่วนแรก |
| 3. มานอมิเตอร์ปรอท | 8. เครื่องบันทึกข้อมูล | 13. เครื่องอัดอากาศ |
| 4. เต้าแก๊สหุงต้ม | 9. คอมพิวเตอร์ | 14. เครื่องอุ่นอากาศ |
| 5. หม้อขนาด 45 ซม. | 10. เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล | |

รูปที่ 1 ชุดอุปกรณ์การทดลองเต้าแก๊สหุงต้มขนาด KB-5

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน

t คือ เวลาที่ใช้ในการทดสอบ (s)

ของเตาแสดงดังสมการ (1)

$$\eta_{th} = \frac{m_{water} C_{p,water} (90 - T_{water,i})}{\dot{m}_{LPG} \times LHV \times t} \quad (1)$$

เมื่อ η_{th} คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (-)

m_{water} คือ มวลของน้ำ (kg)

$C_{p,water}$ คือ ค่าความจุความร้อนของน้ำ (kJ/kg.K)

$T_{water,i}$ คือ อุณหภูมิของน้ำเริ่มต้น (°C)

\dot{m}_{LPG} คือ อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊ส (kg/s)

LHV คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองที่เงื่อนไขเดิมซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยในการรายงานผล ดังนั้นในการทดลองแต่ละเงื่อนไขเพื่อให้มีความละเอียดและแม่นยำมากขึ้นจึงได้นำมานอมิเตอร์ปรอท ใช้วัดความดันของแก๊สแอลพีจี ซึ่งในการทดลองจะทำการปรับค่าอัตราการเผาไหม้ในช่วง 5 ถึง 19 kW เนื่องจากเป็นช่วงการทำงานที่เหมาะสมของเต้าแก๊สขนาด KB-5 ซึ่งการควบคุมอัตราการเผาไหม้สามารถทำได้โดยการปรับค่าอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊ส (\dot{m}_{LPG}) โดยใช้วาล์วปรับความดันแก๊สเป็นตัว

ควบคุมและซั้งน้ำหนักแก๊สที่ลดลงด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล เพื่อคำนวณหาค่า \dot{m}_{LPG} ซึ่งอัตราการเผาไหม้ของเตา (q) สามารถคำนวณได้ดังสมการ (2)

$$q = \dot{m}_{LPG} \times LHV \quad (2)$$

ในส่วนของการวัดปริมาณอากาศส่วนแรกที่ใช้ในการเผาไหม้ ส่วนผสมของอากาศส่วนแรกและเชื้อเพลิงที่อยู่บริเวณหัวเผาจะถูกดูดผ่านไปยังเครื่องวัดปริมาณแก๊สออกซิเจน (%O₂) เพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาณอากาศส่วนแรก (PA) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (3)

$$PA = \frac{\%O_2}{(A/F)_{stoi} \times (21 - \%O_2)} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ PA คือ ปริมาณอากาศส่วนแรกที่ใช้ในการเผาไหม้ (%)

(A/F)_{stoi} คือ ปริมาณอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี (-)

%O₂ คือ ปริมาณออกซิเจนที่วัดได้ (%)

การทดลองจะทำซ้ำเหมือนเดิมโดยการปรับอุณหภูมิอุ่นอากาศและขนาดคอคอดต่างๆ เพื่อวัดค่าความดันตกคร่อมในท่อผสม ปริมาณอากาศส่วนแรกที่ใช้ในการเผาไหม้ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน และการปลดปล่อยมลพิษ (CO, NO_x)

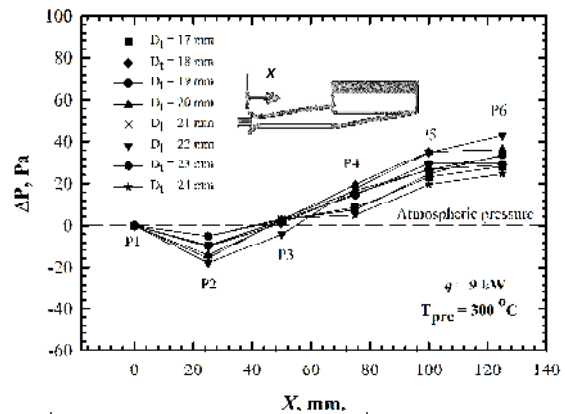
3. ผลการทดลอง

3.1 ความดันตกคร่อมในท่อผสม

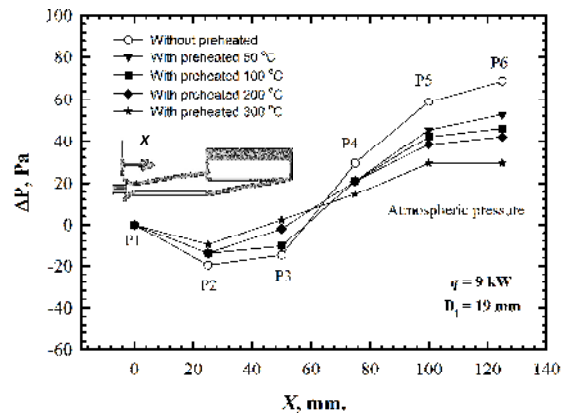
อิทธิพลของขนาดคอคอด (D_i) ต่อความดันตกคร่อมในท่อผสม แสดงดังรูปที่ 2 โดยยกตัวอย่างกรณีทดสอบที่อุณหภูมิการอุ่นอากาศ (T_{pre}) เท่ากับ 300°C และอัตราการป้อนเชื้อเพลิง (q) 9 kW พบว่าผลการทดลองทุกขนาดคอคอดให้ผลที่เหมือนกันคือ ความดันตกคร่อมที่บริเวณคอคอด P2 จะมีค่าต่ำที่สุด เนื่องจากที่บริเวณคอคอดมีพื้นที่หน้าตัดขนาดเล็ก ทำให้แก๊สผสมของเชื้อเพลิงและอากาศเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ส่งผลให้ความดันลดลงและเหนี่ยวนำอากาศเข้ามาได้ดี นอกจากนี้พบว่า ความดันบริเวณคอคอด P2 ของท่อ

ผสมที่ขนาดคอคอดเท่ากับ 22 มิลลิเมตร มีค่าต่ำที่สุด ซึ่งจะช่วยทำให้สามารถเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรกได้มากที่สุด

อิทธิพลของอุณหภูมิการอุ่นอากาศต่อความดันตกคร่อมในท่อผสม แสดงดังรูปที่ 3 โดยยกตัวอย่างกรณีทดสอบที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (q) 9 kW และขนาดคอคอดของท่อผสมขนาดดั้งเดิม 19 มิลลิเมตร พบว่าเมื่ออุ่นอากาศให้มีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้แก๊สขยายตัวส่งผลให้ความดันภายในท่อผสมเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นที่อุณหภูมิการอุ่นอากาศ 300°C จะให้ค่าความดันตกคร่อมที่บริเวณคอคอดสูงที่สุด



รูปที่ 2 ความดันตกคร่อมในท่อผสมที่ขนาดคอคอดต่างๆ

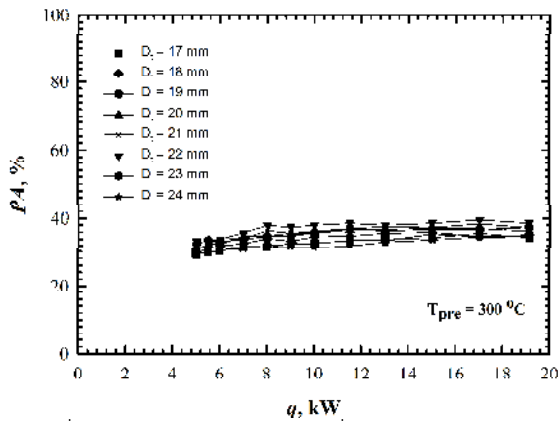


รูปที่ 3 ความดันตกคร่อมในท่อผสมที่อุณหภูมิการอุ่นอากาศต่างๆ

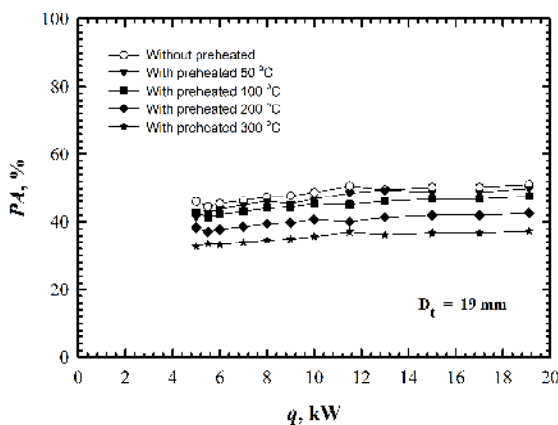
3.2 ปริมาณอากาศส่วนแรกที่ใช้ในการเผาไหม้

อิทธิพลขนาดคอคอด (D_i) ต่อปริมาณอากาศส่วนแรก (PA) แสดงดังรูปที่ 4 โดยยกตัวอย่างกรณีทดสอบที่

อุณหภูมิการอุ่นอากาศ (T_{pre}) เท่ากับ 300°C พบว่าผลการทดลองทุกขนาดคอคอดให้ผลที่เหมือนกันคือ ค่า PA จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามค่าปริมาณความร้อนที่ป้อนเข้าสู่ระบบ (q) เนื่องจากความเร็วของแก๊สสูงขึ้นจึงส่งผลให้โมเมนต์ที่ทางออกหัวฉีดสูงและสามารถเหนี่ยวนำอากาศได้มากขึ้น จนกระทั่งคงที่ที่ค่าความร้อนป้อนเข้าสู่ระบบสูงๆ ในขณะที่เดียวกันพบว่าขนาดคอคอดที่เหมาะสมมีขนาดเท่ากับ 22 มิลลิเมตร เนื่องจากมีปริมาณการเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรกมากที่สุด ซึ่งท่อที่มีขนาดคอคอดใหญ่เกินไปจะมีความเป็นสุญญากาศต่ำที่ตำแหน่งคอคอด ดังนั้นจะเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรกได้น้อย ขณะเดียวกันท่อที่มีขนาดคอคอดเล็กเกินไปจะปิดขวางทางเข้าของอากาศส่วนแรก



รูปที่ 4 ปริมาณอากาศส่วนแรกที่ขนาดคอคอดต่างๆ

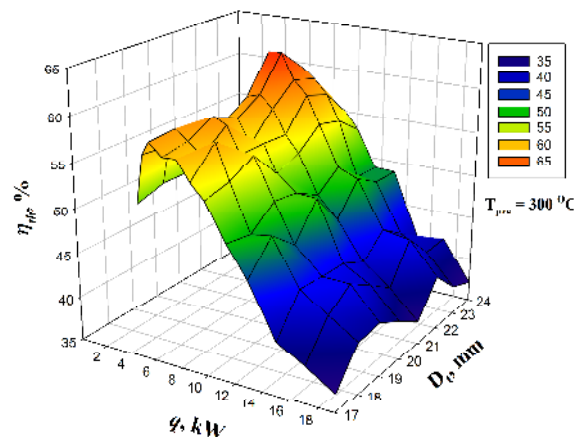


รูปที่ 5 ปริมาณอากาศส่วนแรกที่อุณหภูมิการอุ่นอากาศต่างๆ

อิทธิพลของอุณหภูมิการอุ่นอากาศต่อปริมาณอากาศส่วนแรกที่ใช้ในการเผาไหม้ (PA) แสดงดังรูปที่ 5 โดยยกตัวอย่างกรณีทดสอบที่ขนาดคอคอดของท่อผสมขนาดดั้งเดิม 19 มิลลิเมตร พบว่าเมื่ออุ่นอากาศให้มีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้แก๊สขยายตัวส่งผลให้ความดันภายในท่อผสมเพิ่มสูงขึ้น และความเป็นสุญญากาศต่ำที่ตำแหน่งคอคอด ดังนั้นจะทำให้เหนี่ยวนำอากาศส่วนแรกลดลง พบว่าที่อุณหภูมิการอุ่นอากาศ 300°C มีความสามารถในการเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรกได้ดีที่สุด

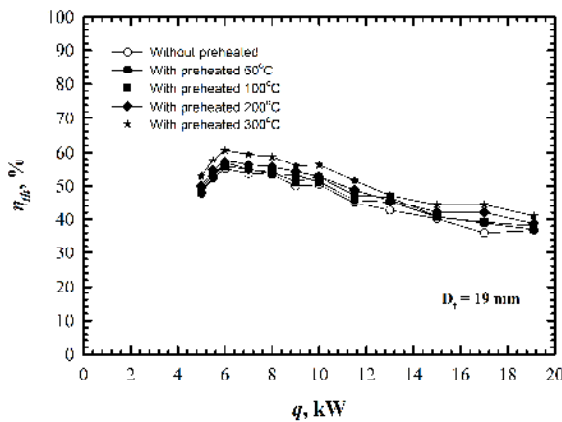
3.3 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

อิทธิพลของขนาดคอคอด (D_c) ต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน แสดงดังรูปที่ 6 โดยยกตัวอย่างกรณีทดสอบที่อุณหภูมิการอุ่นอากาศ (T_{pre}) เท่ากับ 300°C พบว่าผลการทดลองทุกขนาดคอคอดให้ผลที่เหมือนกันคือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะมีค่าสูงสุดที่ปริมาณความร้อนป้อนเชื้อเพลิง (q) ค่าหนึ่งประมาณ 7 kW ในขณะที่ช่วงค่าความร้อนป้อนเชื้อเพลิงที่ต่ำและสูงเกินไป จะให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำ เนื่องจากการสูญเสียความร้อน (Heat loss) ในขณะเดียวกันพบว่าขนาดคอคอดที่เหมาะสมสำหรับเตาแก๊สที่มีการอุ่นอากาศคือ 22 มิลลิเมตร เนื่องจากให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับ 63.38% ซึ่งมากกว่าขนาดคอคอดแบบมาตรฐานดั้งเดิม (D_c เท่ากับ 19 มิลลิเมตร) ที่ให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับ 59.43%



รูปที่ 6 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ขนาดคอคอดต่างๆ

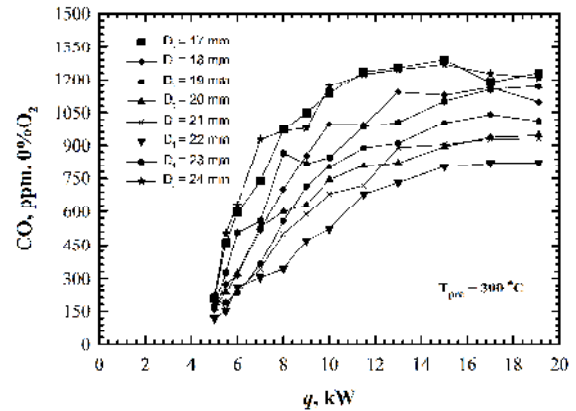
อิทธิพลของอุณหภูมิการอุ่นอากาศต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน แสดงดังรูปที่ 7 โดยยกตัวอย่างกรณีทดสอบที่ขนาดคอคอดของท่อผสมขนาดดั้งเดิม 19 มิลลิเมตร พบว่าเมื่ออุ่นอากาศให้อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเพิ่มขึ้น เนื่องจากอิทธิพลของการอุ่นทำให้อุณหภูมิของเปลวไฟเพิ่มสูงขึ้น



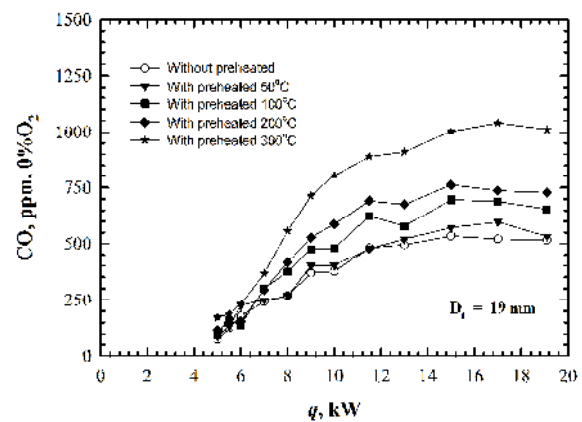
รูปที่ 7 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่อุณหภูมิการอุ่นอากาศต่างๆ

3.4 ปริมาณการปลดปล่อยมลพิษ CO

อิทธิพลของขนาดคอคอด (D_t) ต่อปริมาณการปลดปล่อยมลพิษ CO แสดงดังรูปที่ 8 โดยยกตัวอย่างกรณีทดสอบที่อุณหภูมิการอุ่นอากาศเท่ากับ 300°C พบว่าผลการทดลองทุกขนาดคอคอดให้ผลที่เหมือนกัน คือ ค่าการปลดปล่อยมลพิษ CO จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามค่าปริมาณความร้อนที่ป้อนเข้าสู่ระบบ (q) เนื่องจากเปลวไฟที่ยาวขึ้นจะสัมผัสกับกันหม้อเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากอิทธิพลของเปลวไฟดับ (Flame quenching) ในขณะเดียวกันพบว่าขนาดคอคอดที่เหมาะสมมีขนาดเท่ากับ 22 มิลลิเมตร เนื่องจากปลดปล่อยมลพิษ CO ต่ำที่สุด เพราะสามารถเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรกมาใช้ในการเผาไหม้ได้มากที่สุด



รูปที่ 8 ปริมาณการปลดปล่อยมลพิษ CO ที่ขนาดคอคอดต่างๆ



รูปที่ 9 ปริมาณการปลดปล่อยมลพิษ CO ที่อุณหภูมิการอุ่นอากาศต่างๆ

อิทธิพลของอุณหภูมิการอุ่นอากาศต่อปริมาณการปลดปล่อยมลพิษ CO แสดงดังรูปที่ 9 โดยยกตัวอย่างกรณีทดสอบที่ขนาดคอคอดของท่อผสมขนาดดั้งเดิม 19 มิลลิเมตร พบว่าเมื่ออุ่นอากาศให้อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น จะทำให้เกิดสลายตัวส่งผลให้ความดันภายในท่อผสมเพิ่มสูงขึ้นและความเป็นสุญญากาศต่ำที่ตำแหน่งคอคอด ดังนั้นจะทำให้เหนี่ยวนำอากาศส่วนแรกลดลงและเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นที่อุณหภูมิการอุ่นอากาศ 300°C จะปลดปล่อยมลพิษ CO มากที่สุด



4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลกระทบของขนาดคอคอดของท่อผสมและอุณหภูมิการอุ่นอากาศ ต่อคุณลักษณะการเผาไหม้สำหรับเตาแก๊สหุงต้ม สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ขนาดคอคอดที่เหมาะสมสำหรับเตาแก๊สหุงต้มที่มีการอุ่นอากาศก่อนการเผาไหม้คือ 22 มิลลิเมตร เนื่องจากให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับ 63.37% และยังมีปริมาณการปลดปล่อยมลพิษ CO น้อยที่สุด ดังนั้นท่อดังกล่าวจะให้สมรรถนะสูงกว่าท่อผสมขนาดดั้งเดิมคือ 19 มิลลิเมตร

2. อุณหภูมิการอุ่นอากาศที่สูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณการปลดปล่อยมลพิษ CO ยังคงมีค่ามาก ดังนั้นจึงควรเลือกขนาดคอคอดของท่อผสมที่เหมาะสมในการใช้งาน

3. การออกแบบเตาแก๊สหุงต้มสำหรับเตาที่มีระบบการอุ่นอากาศควรพิจารณาอิทธิพลของการอุ่น เพื่อให้ได้เตาที่มีสมรรถนะสูงที่สุด

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ ภายใต้สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Energy policy and planning office, 2017. *Energy database*. Thailand: Ministry of energy, <http://www.eppo.go.th/info/index.html>, access on 24/04/2017.

[2] James, R. Maughan, James, R. Cahoe and Reza, Ghassemzadeh (1992). Autoregulation of primary aeration for atmospheric burners, *United States Patent*, Patent No. 5104311.

[3] Jones, H.R.N. (1989). *The application of combustion principles to domestic gas burner design*, British gas, New York. pp. 30-75.

[4] Pritchard, R., Guy, J.J. and Corner, N.E. (1977). *Handbook of Industrial Gas Utilization Engineering Principles and Practice*. Van Nostrand Reinhold Company, New York. pp. 216-313.

[5] Singh, G., Sundararajan, T. and Shet, U.S.P. (1999). Entrainment and Mixing Studies for a Variable Density Confined Jet, *Numerical Heat Transfer, Part A*, vol. 35(2), pp. 205-224.

[6] Singh, G., Sundararajan, T. and Bhaskaran, K.A. (2003). Mixing and Entrainment Characteristics of Circular and Noncircular Confined Jets, *Journal of Fluids Engineering*, vol. 125(5), October 2003, pp. 835-842.

[7] Namkhat, A. and Jugjai, S. (2010). Primary air entrainment characteristics for a self-aspirating burner: Model and experiments, *Energy*, 2010, vol. 35(4), pp. 1701-1708.

[8] Weinberg, F.J. (1996). Heat-recirculating burners: principles and some recent developments, *Combustion Science and Technology*, vol. 121(1-6), 1996, pp. 3-22.

[9] Yoshizawa, Y., Echigo, R. and Tomimura, T. (1987). A study on a high performance radiant heater. *Proceedings of the 2nd ASME/JSME Thermal Engineering Joint Conference*, Honolulu, Hawaii. 1987, pp. 317-323.

[10] Jugjai, S. and Rungsimuntuchart, N. (2002). High efficiency heat recirculating domestic gas burners, *Experimental Thermal and Fluid Science* 26, 2002, pp. 581-592.



- [11] Pantangi, V.K. and et al. (2011). Studies on porous radiant burners for LPG (liquefied petroleum gas) cooking applications, *Energy*, 2011, pp. 1-7.
- [12] Muthukumar, P. and Shyamkumar, P.I. (2011). Development of novel porous radiant burners for LPG cooking applications, *Fuel*, 2011, vol. 112, pp. 562-566.
- [13] Shtern, V., Borisso, A. and Hussain, F. (1998). Temperature distribution in swirling jets, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 1998, vol. 41, pp. 2455-2467.
- [14] Tamir, A., Elperin, T. and Yotzer, S. (1989). Performance characteristics of a gas burner with a swirling central flame, *Energy*, 1989, vol. 14, pp. 373-382.
- [15] Tamir, A. (1993). A swirling-flame combustor for lean mixtures, *Combustion Science and Technology*, 1993, vol. 90, pp. 193-209.
- [16] Hou, S.S. and Ko, Y.C. (2005). Influence of oblique angle and heating height on flame structure, temperature field and efficiency of an impinging laminar jet flame, *Energy Conversion and Management*, 2005, vol. 46, pp. 941-958.
- [17] Gupta, A.K., Lilley, D.G. and Syred, N. (1984). Swirl flows. *Taylor & Francis*, 1984.
- [18] Tamir, A., Elperin, I. and Yotzer, S. (1992). Performance characteristics of a gas burner with a swirl central flame, *Energy*, 1992, vol. 14(5), pp. 347-362.