



การศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนและปริมาณไอเสียของเตาแก๊สหุงต้มสำหรับเชื้อเพลิงผสม Investigation on Thermal Efficiency and Emissions of Cooking Burners for Mixed Fuels

อริวัฒน์ สารโพคา, อภินันต์ นามเขต*, อำไพศักดิ์ ทีบุญญา และ อิศระ คงทวี

ศูนย์เทคโนโลยีด้านวัสดุพูนและพลังงานที่เหมาะสม (APEC) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 85 ถนนสมเด็จร์โค ตำบลเมืองศรีโค อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190
*ติดต่อ: E-mail: n.apinunt@hotmail.com, เบอร์โทรศัพท์: 045-353-309, เบอร์โทรสาร: 045-353-308

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นแก๊สไบโอมีเทนอัด (CBG) และระยะความสูงก้นหม้อต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th}) และการปลดปล่อยมลพิษของเตาแก๊สหุงต้มเชื้อเพลิงผสม LPG-CBG โดยค่าสัดส่วนโมลของแก๊สไบโอมีเทนอัดในเชื้อเพลิงผสมถูกปรับจาก 0 ถึง 100% ซึ่งปรับเพิ่มขึ้นช่วงละ 20% ทดสอบหัวเผาภายใต้การปรับระยะความสูงก้นหม้อ (H) ในช่วงจาก 2 ถึง 4 เซนติเมตร นอกจากนี้ได้ศึกษาผลกระทบของอัตราการเผาไหม้ต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ของหัวเผา ผลจากการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเกิดขึ้นที่ 60%CBG เนื่องจากการเติม CBG เพิ่มขึ้นนำไปสู่การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ที่สัดส่วน CBG สูงๆ เช่น 80%CBG และ 100%CBG เกิดสภาวะการเผาไหม้แบบส่วนผสมบางส่งผลให้เปลวไฟสั้น ดังนั้นประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะลดลงเนื่องจากการสูญเสียความร้อนที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับ 74.56% เกิดขึ้นที่ระยะความสูงก้นหม้อที่เหมาะสมคือ 3 เซนติเมตร และยังปลดปล่อย CO ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด (1,500 ppm ที่ 0% excess O₂)
คำหลัก: เตาแก๊สหุงต้ม; แก๊สไบโอมีเทนอัด; ระยะความสูงก้นหม้อ; ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

Abstract

This paper is aimed to study the effect of compressed bio-methane gas (CBG) concentration and heating height on the thermal efficiency (η_{th}) and pollutants emission of LPG-CBG cooking burner. The mole fraction of CBG in the fuel mixture was varied from 0 to 100%, with a step increment of 20%CBG. The burner was tested at various heating heights (H) ranging from 2 to 4 cm. In addition, the effects of firing rate of burner on the combustion characteristics were examined. It was found that the maximum thermal efficiency was observed at 60% CBG due to CBG addition provides a complete combustion. At higher CBG fraction, i.e. 80%CBG and 100%CBG, there are the shortened flame heights because of lean-burn conditions. Thereby, the thermal efficiency would decrease as a result of increased flame radiative heat loss. Moreover, it was found that the maximum thermal efficiency (η_{th} = 74.56%) was observed at an optimum heating height of 3 cm and also emits lower concentration of



carbon monoxide (CO) than the value specified by the considered emissions standard (1,500 ppm at 0% excess O₂).

Keywords: Cooking burner; compressed bio-methane gas; heating height; thermal efficiency.

1. บทนำ

ปัจจุบันการใช้พลังงานมีการขยายตัวเพิ่มสูงมาก ซึ่งพลังงานที่ใช้ในส่วนใหญ่นั้นได้มาจากแหล่งพลังงานฟอสซิลทั้งสิ้น เป็นที่ทราบกันทั่วไปแล้วว่าพลังงานฟอสซิลนั้นเมื่อใช้แล้วก็จะหมดไปเกิดปัญหาการขาดแคลนพลังงาน ทำให้ประเทศต่างๆ ทั่วโลกจำเป็นต้องหาพลังงานที่ได้มาจากแหล่งอื่น ซึ่งต้องเป็นพลังงานสะอาดที่ไม่ก่อให้เกิดมลพิษในภายหลัง และเป็นพลังงานที่ยั่งยืน เพื่อลดการพึ่งพาประเทศ ที่มีแหล่งพลังงานฟอสซิลเป็นของตนเอง อีกทั้งยังช่วยลดการนำเข้าพลังงานได้ด้วย ทำให้แต่ละประเทศตื่นตัวในการสรรหาพลังงานในด้านอื่นมาใช้ทดแทนพลังงานฟอสซิลที่กำลังจะหมดไปในอนาคตอันใกล้ ซึ่งพบว่าพลังงานฟอสซิลโดยเฉพาะเชื้อเพลิงแอลพีจีมีการใช้อย่างกว้างขวาง ด้วยเหตุผลที่ว่าแก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาด เผาไหม้ได้สมบูรณ์และสะดวกต่อการใช้งาน ดังนั้นจึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในภาคครัวเรือน การขนส่ง และอุตสาหกรรม โดยในปี พ.ศ. 2560 ประเทศไทยใช้แก๊สแอลพีจีในภาคครัวเรือนคิดเป็นปริมาณมากถึงประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ของการใช้แก๊สแอลพีจีทั้งหมด [1] เนื่องจากความต้องการใช้แก๊สดังกล่าวมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ และมีแนวโน้มว่าจะหมดลงภายในอีกไม่กี่ปีข้างหน้า ปัญหาดังกล่าวทำให้ประเทศไทยให้ความสำคัญกับปัญหาการขาดแคลนพลังงานและต้องการลดค่าใช้จ่ายจากการนำเข้าก๊าซธรรมชาติจากต่างประเทศ จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาพลังงานทดแทนจากธรรมชาติที่มีอยู่เพื่อแก้ไขปัญหา โดยมีการผลักดันให้ใช้พลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) โดยเฉพาะเชื้อเพลิงที่เราใช้ในภาคครัวเรือน เช่น

แก๊สหุงต้ม จึงเกิดแนวคิดที่จะหาพลังงานทางเลือกที่มุ่งเน้นให้คนในชุมชนและสังคมพึ่งพาตนเองได้โดยสามารถมีระบบการจัดการทรัพยากรที่มีอยู่ในท้องถิ่นมาพัฒนาเป็นพลังงานทางเลือกเพื่อการใช้ประโยชน์ในชุมชนโดยไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม หรือการจัดการทรัพยากรการผลิตจากภายนอกพื้นที่มาใช้ประโยชน์โดยการนำพลังงานทางเลือกจากมูลสัตว์มาใช้แทนแก๊สหุงต้ม โดยการผลิตแก๊สชีวภาพ (Biogas) ซึ่งมีข้อดีอยู่สองประการ คือ ให้พลังงานความร้อนในรูปของแก๊สชีวภาพ และลดปัญหาหมอกควันและสภาพแวดล้อมจากมูลสัตว์ทั่วไป ดังนั้นสภาวะการณ์เช่นนี้แก๊สชีวภาพจึงน่าจะเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่น่าสนใจทางหนึ่ง เพราะสามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้ในการหุงต้มแทนแก๊สหุงต้มได้ด้วยข้อกำหนดและคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของแก๊สชีวภาพ ซึ่งมีความแตกต่างจากแก๊สหุงต้ม เมื่อนำแก๊สชีวภาพดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับเตาแก๊สหุงต้มพบว่าให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ต่ำ เปลวไฟไม่มีเสถียรภาพและมีช่วงการทำงานที่แคบ จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาเตาเพื่อใช้กับแก๊สชีวภาพต่อไป

การพัฒนาเตาแก๊สหุงต้มได้มีการศึกษามาอย่างต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนและลดปริมาณการปลดปล่อยมลพิษ เมื่อเร็วๆ นี้มีงานวิจัยได้นำเอาหลักการหมุนเวียนความร้อนกลับมาใช้ใหม่ [2-7] ซึ่งจะนำเอาวัสดุพูนเข้ามาช่วยในการหมุนเวียนความร้อน เนื่องจากวัสดุพูนมีลักษณะเด่นคือ สามารถเป็นได้ทั้งตัวรับความร้อนและตัวแผ่รังสีความร้อน โดยจะนำความร้อนจากไอเสียมาทำการอุ่นอากาศส่วนแรก (Primary air) ก่อนที่จะผสมกับเชื้อเพลิง ซึ่งจะช่วยให้เตาแก๊สหุงต้มมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้น

นอกจากนี้ยังพบว่ามีการศึกษาการพัฒนาทางออกของเปลวไฟ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้ม โดยการปรับปรุงหัวเตาแก๊สแบบทั่วไป (Conventional Burner, CB) มาเป็นแบบหมุนวน (Swirl Burner, SB) การไหลแบบหมุนวนของเปลวไฟส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนสู่ภาชนะได้มากขึ้น [8] เนื่องจากการหมุนวนของเปลวไฟก่อให้เกิดแรงเฉือนซึ่งช่วยเพิ่มระยะเวลาในการสัมผัสของเปลวไฟกับภาชนะและการผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศ [9-11] นอกจากนี้ยังพบว่าการไหลแบบหมุนวนช่วยดึงดูดอากาศส่วนที่ส่งมากขึ้น [12] ส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ Tamir และคณะ [13] ได้ศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มที่ใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ ซึ่งพบว่าหัวเผาแบบหมุนวนที่ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดจะมีลักษณะเฉพาะคือมุมเยย เท่ากับ 26 องศา มุมเอียง เท่ากับ 15 องศา โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของเตาแบบเดิมมีค่าประมาณ 52% แต่เมื่อเปลี่ยนมาใช้แบบ SB ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของเตามีค่าประมาณ 58% ทั้งนี้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มอาศัยการถ่ายเทความร้อนของเปลวไฟเป็นหลัก ดังนั้นระยะห่างระหว่างหัวเตาถึงก้นภาชนะจึงมีความสำคัญ [14, 15] ทั้งนี้ผลจากการวิจัยที่ผ่านมามีช่วยพัฒนาและส่งเสริมให้เตาแก๊สหุงต้มมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูงขึ้น แต่ปริมาณการใช้แก๊สแอลพีจียังมีปริมาณที่สูง เพราะปริมาณความต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มมากขึ้นอันเนื่องมาจากจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ และการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจ จากปัญหาดังกล่าวทำให้ประเทศไทยให้ความสำคัญกับปัญหาการขาดแคลนพลังงานและต้องการลดค่าใช้จ่ายจากการนำเข้าก๊าซธรรมชาติจากต่างประเทศ จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาพลังงานทดแทนจากธรรมชาติที่มีอยู่เพื่อแก้ไขปัญหา โดยมีการผลักดันให้ใช้พลังงานหมุนเวียนเช่นไบโอมิเทนอัด ปัจจุบันมีการนำเชื้อเพลิงแก๊สชีวภาพมาใช้กับเตาแก๊สหุง

ต้มเพื่อทดแทนเชื้อเพลิงแก๊สแอลพีจีเพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีผู้ศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มเชื้อเพลิงแก๊สชีวภาพโดยทำการปรับปรุงเตาตั้งเดิม Kurchania และคณะ [16] ได้ออกแบบหัวเตาแก๊สหุงต้มที่ใช้ร่วมกับแก๊สชีวภาพโดยท่อผสมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 มิลลิเมตร รูทางออกของเปลวไฟขนาด 2 มิลลิเมตร จำนวน 49 รู ระยะห่างความสูงของเตาถึงก้นหม้อ 35 มิลลิเมตร โดยใช้การทดสอบตามมาตรฐานของอินเดีย พบว่าเตามีประสิทธิภาพเชิงความร้อน 60% และปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) อยู่ในช่วง 150-180 ppm ซึ่งให้ค่าสอดคล้องใกล้เคียงกับ Mahin [17] และ Chan [18] โดยมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนอยู่ในช่วง 59-62% ในขณะเดียวกัน Dutt และคณะ [19] ทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาพบว่าค่าอยู่ในช่วง 40-65% ต่อมา Burbano และคณะ [20] ได้ศึกษาการเติมก๊าซไฮโดรเจนผสมกับแก๊สชีวภาพสำหรับเตาแก๊สหุงต้ม พบว่าเมื่อเติมก๊าซไฮโดรเจนเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้เปลวไฟสั้นลง และปลดปล่อยมลพิษต่ำเนื่องจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ในขณะเดียวกัน Jadhav และคณะ [21] ได้ศึกษาการทำนายอุณหภูมิเปลวไฟของเตาแก๊สหุงต้ม โดยการออกแบบเตาด้วยวิธีการจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ พบว่าที่เส้นผ่านศูนย์กลางของรูทางออกเปลวไฟขนาด 4 มิลลิเมตร จำนวน 24 รู จะให้อุณหภูมิเปลวไฟสูงสุด 1,297 °C จากงานวิจัยที่ผ่านมามีการใช้เชื้อเพลิงแก๊สชีวภาพกับเตาแก๊สหุงต้มถือว่ามีข้อจำกัดเนื่องจากเตาที่ใช้เป็นเตาประเภทความดันสูงซึ่งใช้ปริมาณแก๊สมากในการทำงาน อีกทั้งแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ในชุมชนไม่เพียงพอต่อการใช้งานดังนั้นในทางปฏิบัติจะใช้เชื้อเพลิงแอลพีจีร่วมกับแก๊สชีวภาพในการทำงานซึ่งยังไม่มีการวิจัยก่อนหน้าได้ศึกษาถึงสัดส่วนของเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดที่เหมาะสมต่อสมรรถนะของเตาแก๊สหุงต้ม

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาปริมาณสัดส่วนเชื้อเพลิงแอลพีจีต่อแก๊สชีวภาพ และระยะความสูงก้นหม้อที่เหมาะสมต่อสมรรถนะของเตาโดยพิจารณาจากค่า

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนและการปลดปล่อยมลพิษ เพื่อนำไปสู่การออกแบบเตาประสิทธิภาพสูงสำหรับเชื้อเพลิงผสมในอนาคต

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนและการปลดปล่อยมลพิษของหัวเตาแสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งมีส่วนประกอบหลักๆของส่วนคือ ส่วนแรกจะเป็นชุดหัวเตาแก๊สหุงต้มที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งเป็นเตาแก๊สที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาดชนิดความดันสูงขนาด KB-5 (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวเผา 5 นิ้ว) ส่วนที่สองจะเป็นชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดและเก็บข้อมูลในการทดลองโดยอาศัยเครื่องวัดปริมาณแก๊สไอเสีย (Exhaust Gas Analyzer) ของบริษัท Entech รุ่น Testo350 ซึ่งเป็น Electromechanical Sensor วัดในลักษณะไอเสียแห้ง (Dry Basis) ซึ่งค่าที่วัดได้จะมีความคลาดเคลื่อน 0.05

เปอร์เซ็นต์ ในขณะเดียวกันใช้อุปกรณ์เก็บบันทึกค่าอุณหภูมิ (Data Logger) รุ่น Midi Logger GL220 ร่วมกับ Thermocouple Type K ในการเก็บบันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำ เพื่อใช้ทดสอบหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้ม

ขั้นตอนในการทดลองเริ่มจากการเปิดแก๊สเชื้อเพลิงจากถังบรรจุแก๊สแอลพีจีขนาด 48 kg ซึ่งมีขายกันตามท้องตลาดจำนวน 1 ถัง ในขณะเดียวกันแก๊สชีวภาพที่บรรจุภายในถังขนาด 70 ลิตร ถูกปล่อยและควบคุมโดยใช้ Gas flow meter เพื่อผสมกับเชื้อเพลิงแก๊สแอลพีจีภายในห้องผสม โดยปรับส่วนผสมแก๊สเชื้อเพลิงแอลพีจีต่อแก๊สชีวภาพในสัดส่วน 0:100, 20:80, 40:60, 60:40, 80:20 และ 100:0 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1 ในขณะเดียวกันคุณสมบัติของเชื้อเพลิงแอลพีจีและแก๊สชีวภาพ แสดงรายละเอียดในตารางที่ 2

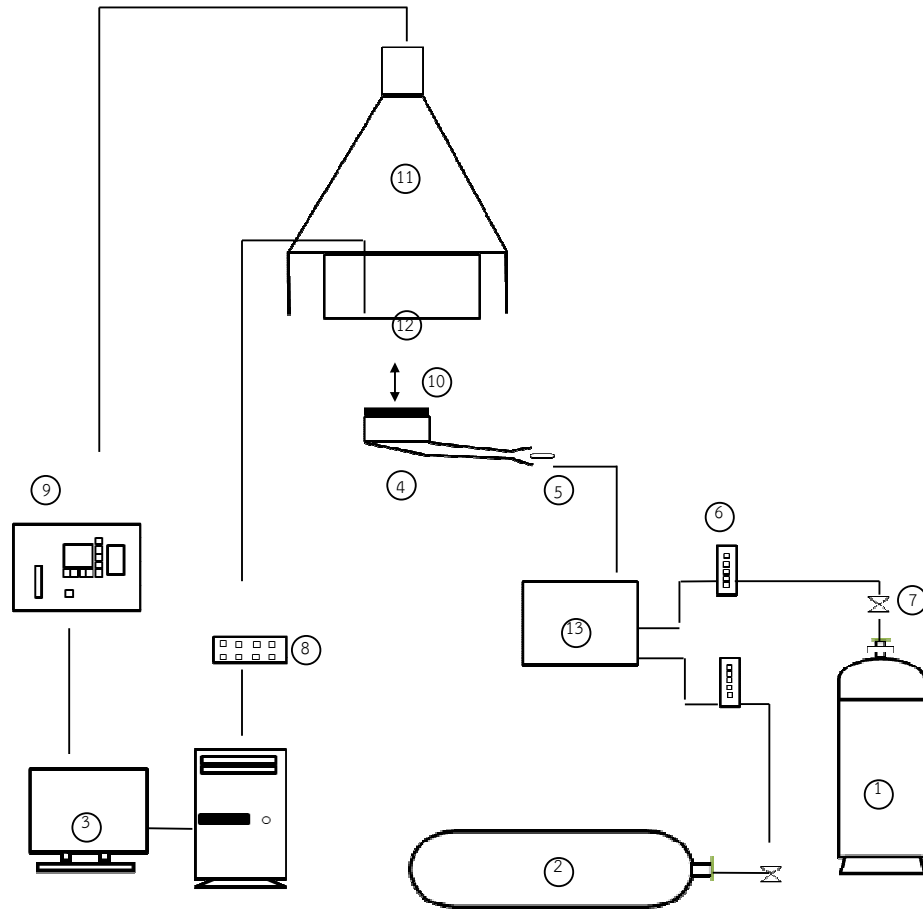
ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดการปรับเปลี่ยนส่วนผสมแก๊สเชื้อเพลิงแอลพีจีต่อแก๊สชีวภาพ

α	Heat input (5 kW)		Heat input (5.5 kW)		Heat input (6 kW)		Heat input (7 kW)		Heat input (8 kW)		Heat input (9 kW)		Heat input (10 kW)	
	Flow rate _{LPG} (L/hr)	Flow rate _{CBG} (L/hr)	Flow rate _{LPG} (L/hr)	Flow rate _{CBG} (L/hr)	Flow rate _{LPG} (L/hr)	Flow rate _{CBG} (L/hr)	Flow rate _{LPG} (L/hr)	Flow rate _{CBG} (L/hr)	Flow rate _{LPG} (L/hr)	Flow rate _{CBG} (L/hr)	Flow rate _{LPG} (L/hr)	Flow rate _{CBG} (L/hr)	Flow rate _{LPG} (L/hr)	Flow rate _{CBG} (L/hr)
100:0	180.00	0.00	198.00	0.00	216.00	0.00	252.00	0.00	288.00	0.00	324.00	0.00	360.00	0.00
80:20	170.28	42.57	187.20	46.80	204.12	51.03	238.32	59.58	272.20	68.05	306.36	76.59	340.56	85.14
60:40	156.20	104.14	171.72	114.48	187.20	124.80	218.52	145.68	249.84	166.56	280.80	187.20	312.12	208.08
40:60	133.92	200.88	147.24	220.86	160.56	240.84	187.56	281.34	214.20	321.30	240.84	361.26	267.84	401.76
20:80	93.71	374.83	103.14	412.56	112.46	449.86	131.36	525.46	150.08	600.34	168.84	675.36	187.56	750.24
0:100	0.00	782.28	0.00	860.40	0.00	939.60	0.00	1096.20	0.00	1252.80	0.00	1409.04	0.00	1564.56

หมายเหตุ α คืออัตราส่วนเชื้อเพลิง LPG:CBG (โดยปริมาตร)

ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงแอลพีจีและแก๊สชีวภาพ

ชนิดเชื้อเพลิง	อุณหภูมิที่ติดไฟ	องค์ประกอบของเชื้อเพลิง	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง
Liquefied Petroleum Gas, (LPG)	480 °C	โพรเพน 40% ,บิวเทน 60% (โดยปริมาตร)	49.58 MJ/kg
Compressed Bio-methane Gas, (CBG)	650 °C	มีเทน 89.6% ,ไนโตรเจน 3.4%,ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 5.9% ,ออกซิเจน 1.1% (โดยปริมาตร)	37.16 MJ/kg



- | | | |
|-------------------------|-------------------------|---------------------|
| 1. แก๊สแอลพีจี | 6. Gas flow meter | 11. Hood |
| 2. แก๊สซีวีภาพ | 7. Pressure Regulator | 12. หม้อขนาด 45 ซม. |
| 3. คอมพิวเตอร์ | 8. Data Logger | 13. ห้องผสมแก๊ส |
| 4. เตาแก๊สหุงต้ม | 9. Exhaust Gas Analyzer | |
| 5. หัวฉีดแก๊สเชื้อเพลิง | 10. ระยะเวลาสูงกันหม้อ | |

รูปที่ 1 ชุดอุปกรณ์การทดลองเตาแก๊สหุงต้มเชื้อเพลิงผสม

จากนั้นเชื้อเพลิงผสมถูกจ่ายไปยังหัวฉีดแก๊สเชื้อเพลิงและ
 ฟันเข้าไปในท่อผสมขณะเดียวกันอากาศส่วนแรกที่อยู่
 บริเวณใกล้ๆ หัวฉีดแก๊สจะถูกเหนี่ยวนำผ่านช่องอากาศ
 ส่วนแรกเข้าไปในท่อผสมพร้อมๆ กับแก๊สโดยอาศัยการ
 ถ่ายเทโมเมนตัมระหว่างแก๊สผสมและอากาศโดยรอบ
 จากนั้นส่วนผสมของอากาศส่วนแรกและแก๊สจะไหลผ่าน
 ทางออกเปลวไฟและถูกติดไฟให้เปลวไฟชนิดผสมมาก่อน
 (Premixed flame) การวัดประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะ

อ้างอิงตามมาตรฐาน DIN EN 203-2:1997 โดยทำการ
 เลือกขนาดของหม้อภาชนะ (Pot) ที่มีขนาดเส้นผ่าน
 ศูนย์กลาง 45 เซนติเมตร [22] ซึ่ง Hood ที่ทำการวัดไอ
 เสียสามารถครอบได้ และเติมน้ำปริมาณ 30.6 กิโลกรัม
 ลงในหม้อภาชนะ ใช้ระยะเวลาสูงกันหม้อที่ระยะ 2, 3
 และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยทำการต้มน้ำจาก
 อุณหภูมิห้องจนกระทั่งถึงประมาณ 90 °C จากนั้นทำการ
¹⁰บันทึกค่าอุณหภูมิ น้ำและเวลาที่ใช้ในการทดสอบ พร้อม

ทั้งบันทึกค่าปริมาณแก๊สไอเสีย (CO, NO_x) สมการที่ใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน แสดงดังสมการ (1)

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

เมื่อ η_{th} คือประสิทธิภาพเชิงความร้อน (-)
 m_{water} คือน้ำหนักของน้ำ (kg)
 $C_{p,water}$ คือค่าความจุความร้อนของน้ำ (kJ/kg.K)
 $T_{water,i}$ คืออุณหภูมิของน้ำเริ่มต้น (°C)
 \dot{m}_g คืออัตราการไหลเชิงมวลของแก๊ส (kg/s)
 LHV คือค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (kJ/kg)
 t คือเวลาที่ใช้ในการทดสอบ (s)

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองที่เงื่อนไขเดิมซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยในการรายงานผล ดังนั้นในการทดลองแต่ละเงื่อนไขการปรับค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เพื่อให้มีความละเอียดและแม่นยำมากขึ้นจึงได้นำ Gas flow meter ใช้ปรับอัตราการไหลของแก๊สเชื้อเพลิง ซึ่งในการทดลองจะทำการปรับค่าความร้อนป้อนเชื้อที่ 5, 8 และ 10 kW ตามลำดับ เนื่องจากเป็นช่วงการทำงานที่เหมาะสมของเตาแก๊สชนิด KB-5 ซึ่งการควบคุมอัตราการเผาไหม้สามารถทำได้โดยการปรับค่าอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊ส (\dot{m}_g) และค่าความร้อนป้อนเชื้อเพลิงของเตาสามารถคำนวณหาได้ดังสมการ (2)

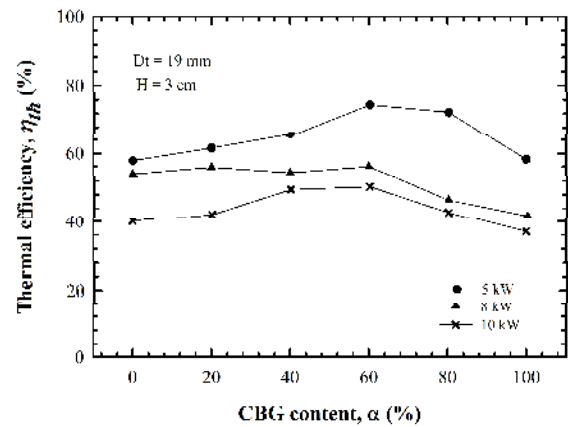
$$q = \dot{m}_g \times LHV \quad (2)$$

การทดลองทั้งหมดจะแบ่งออกเป็น 2 ตอน ตอนแรกจะเป็นการศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนเชื้อเพลิงแอลพีจีต่อแก๊สชีวภาพ โดยปรับสัดส่วนตามตารางที่ 1 โดยเลือกใช้ขนาดรูหัวฉีดแก๊สของเตาดั้งเดิม ซึ่งการพิจารณาปริมาณสัดส่วนเชื้อเพลิงที่เหมาะสมคือ จะต้องให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูงแต่ปลดปล่อยมลพิษในปริมาณที่ต่ำ จากนั้นตอนสุดท้ายจะศึกษาระยะความสูงกันหม้อที่เหมาะสมต่อการทำงานของเตาแก๊สหุงต้ม โดยพิจารณา

จากปริมาณค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ได้และการปลดปล่อยมลพิษ ซึ่งจะต้องให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูงแต่ปลดปล่อยมลพิษในปริมาณที่ต่ำ

3. ผลการทดลอง

3.1 อิทธิพลของสัดส่วนเชื้อเพลิง

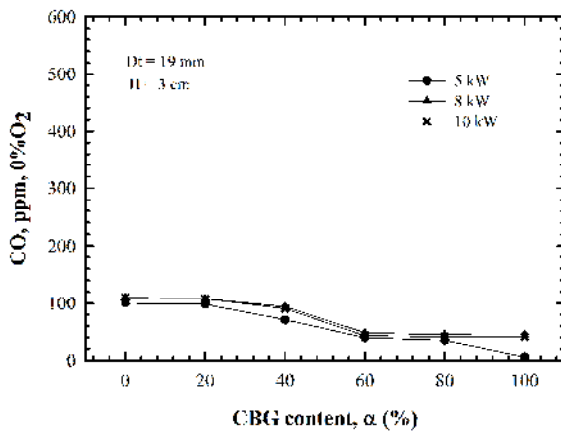


รูปที่ 2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ค่า α ต่างๆ

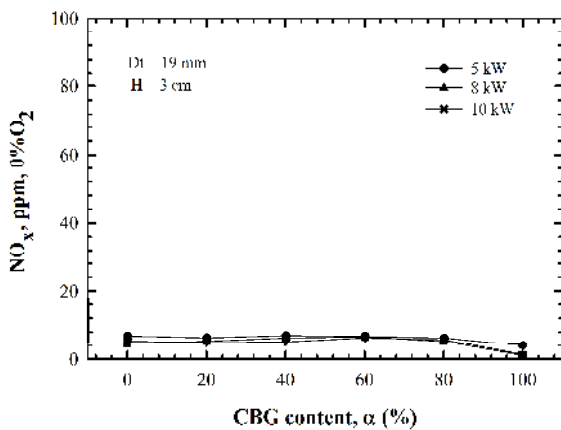
อิทธิพลของสัดส่วนเชื้อเพลิงแอลพีจีต่อแก๊สชีวภาพที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน แสดงดังรูปที่ 2 โดยทดสอบที่ขนาดคอคอดของเตาดั้งเดิม (19 มิลลิเมตร) พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนทุกค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงให้ผลที่เหมือนกันคือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดจะเกิดขึ้นที่ 60% CBG เนื่องจากการเติม CBG เพิ่มขึ้นนำไปสู่การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ในขณะที่สัดส่วน CBG สูงๆ เช่น 80%CBG และ 100%CBG เกิดสภาวะการเผาไหม้แบบส่วนผสมบางส่งผลให้เปลวไฟสั้น ดังนั้นประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะลดลงเนื่องจากการสูญเสียความร้อนที่เพิ่มขึ้น และพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะมีค่าสูงสุดที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่ 5 kW ในขณะที่ช่วงค่าความร้อนป้อนเชื้อเพลิงที่สูงเกินไป จะทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำ เนื่องจากเปลวไฟที่ยาวและล้นกันหม้อภาชนะ ส่งผลให้เกิดการสูญเสียความร้อน (Heat loss)



อิทธิพลของสัดส่วนเชื้อเพลิงแอลพีจีต่อแก๊สชีวภาพที่ส่งผลต่อปริมาณการปลดปล่อยมลพิษ CO แสดงดังรูปที่ 3 ทดสอบที่ขนาดคอคอดของเตาดั้งเดิม (19 มิลลิเมตร) พบว่าปริมาณการปลดปล่อย CO ทุกค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงให้ผลที่เหมือนกันคือ ปริมาณ CO จะลดลงเรื่อยๆ เมื่อเพิ่มปริมาณสัดส่วนเชื้อเพลิงแอลพีจีต่อแก๊สชีวภาพ (α) เนื่องจากคุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่เปลี่ยนไปคือ การเติม CBG เพิ่มขึ้นนำไปสู่การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ และพบว่าอิทธิพลของอัตราการป้อนเชื้อเพลิงในช่วง 5 ถึง 10 kW ไม่ส่งผลต่อปริมาณการปลดปล่อย CO



รูปที่ 3 ปริมาณการปลดปล่อย CO ที่ค่า α ต่างๆ

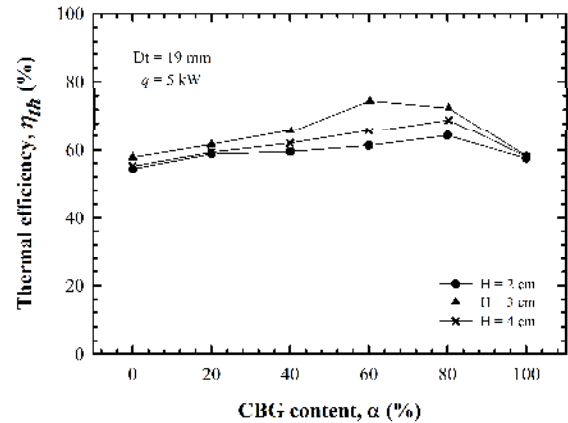


รูปที่ 4 ปริมาณการปลดปล่อย NO_x ที่ค่า α ต่างๆ

จากรูปที่ 4 พบว่าปริมาณการปลดปล่อย NO_x ของเตาแก๊สสำหรับเชื้อเพลิงผสมให้ผลที่เหมือนกันคือ ปริมาณการปลดปล่อย NO_x ต่ำ (น้อยกว่า 10 ppm) และมีปริมาณคงที่ตลอดช่วงการทำงานของเตา ดังนั้น

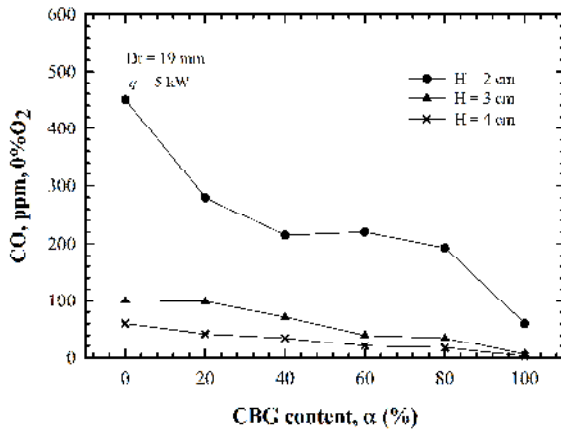
สัดส่วนเชื้อเพลิงแอลพีจีต่อแก๊สชีวภาพ (α) และอัตราการป้อนเชื้อเพลิงส่งผลต่อปริมาณการปลดปล่อย NO_x น้อยมาก

3.2 อิทธิพลของระยะความสูงกันหม้อ

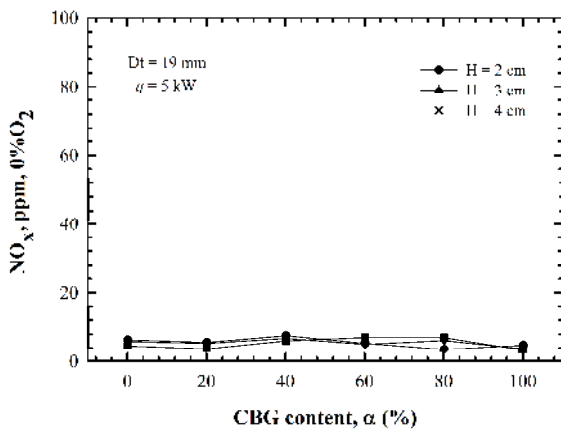


รูปที่ 5 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ระยะความสูงต่างๆ

อิทธิพลของระยะความสูงกันหม้อที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน แสดงดังรูปที่ 5 ซึ่งผลการทดลองที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงทั้ง 5, 8 และ 10 kW ให้ผลการทดลองที่เหมือนกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จะยกตัวอย่างนำเสนอเฉพาะกรณี 5 kW โดยทดสอบที่ขนาดคอคอดของเตาดั้งเดิม (19 มิลลิเมตร) พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนทุกระยะความสูงกันหม้อให้ผลที่เหมือนกันคือ เมื่อเพิ่มค่าสัดส่วน CBG (α) จะทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการเติม CBG เพิ่มขึ้นนำไปสู่การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ในขณะที่สัดส่วน CBG สูงๆ เช่น 100%CBG เกิดสภาวะการเผาไหม้แบบส่วนผสมบางส่งผลให้เปลวไฟสั้น ดังนั้นประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะลดลงเนื่องจากการสูญเสียความร้อนที่เพิ่มขึ้น และพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะมีค่าสูงสุดที่ระยะความสูงกันหม้อเท่ากับ 3 เซนติเมตร เนื่องจากระยะความสูงกันหม้อที่ต่ำและมากเกินไปจะทำให้เกิดการสูญเสียความร้อน (Heat loss)



รูปที่ 6 ปริมาณการปลดปล่อย CO ที่ระยะความสูงต่างๆ

รูปที่ 7 ปริมาณการปลดปล่อย NO_x ที่ระยะความสูง

อิทธิพลของระยะความสูงกันหม้อที่ส่งผลต่อปริมาณการปลดปล่อยมลพิษ CO แสดงดังรูปที่ 6 ทดสอบที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 5 kW และขนาดคอคอดของเตาดั้งเดิม (19 มิลลิเมตร) พบว่าปริมาณการปลดปล่อย CO ทุกระยะความสูงกันหม้อให้ผลที่เหมือนกันคือ ปริมาณ CO จะลดลงเรื่อยๆ เมื่อเพิ่มปริมาณสัดส่วนเชื้อเพลิงแอลพีจีต่อแก๊สชีวภาพ (α) เนื่องจากคุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่เปลี่ยนไปคือ การเติม CBG เพิ่มขึ้นนำไปสู่การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ และพบว่าที่ระยะความสูงกันหม้อสูงๆ ส่งผลให้เปลวไฟอยู่ห่างกันหม้อมากและไม่สัมผัสผิวภาชนะ จึงไม่เกิดปรากฏการณ์ Flame quenching ดังนั้นจะเกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ จากนั้นเมื่อลดระยะความสูงกันหม้อลง ทำให้เปลวไฟ

สัมผัสกันหม้อมากขึ้นและเกิด Flame quenching ขึ้น ดังนั้นจะเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และปลดปล่อย CO ปริมาณสูง พบว่า ที่ระยะความสูงกันหม้อเท่ากับ 2 cm มีค่าการปลดปล่อย CO สูงสุด ในขณะที่ระยะความสูงเท่ากับ 3 และ 4 เซนติเมตร ปลดปล่อยมลพิษ CO ลดต่ำลง ตามลำดับ

จากรูปที่ 7 พบว่าปริมาณการปลดปล่อย NO_x ของเตาแก๊สสำหรับเชื้อเพลิงผสมให้ผลที่เหมือนกันคือ ปริมาณการปลดปล่อย NO_x ต่ำ (น้อยกว่า 10 ppm) และมีปริมาณใกล้เคียงกันทุกระยะความสูงกันหม้อ

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นแก๊สไบโอมีเทนอัด (CBG) และระยะความสูงกันหม้อต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนและการปลดปล่อยมลพิษของเตาแก๊สสูงต้มเชื้อเพลิงผสม LPG-CBG สามารถสรุปได้ดังนี้

1. อัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่สูงเกินไป จะให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำ เนื่องจากเปลวไฟที่ยาวและล้นกันหม้อภาชนะ ส่งผลให้เกิดการสูญเสียความร้อน
2. ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดจะเกิดขึ้นที่ 60%CBG ในขณะที่เดียวกันปริมาณการปลดปล่อยมลพิษ CO จะมีค่าต่ำสุดที่ 100%CBG
3. ระยะความสูงกันหม้อที่เหมาะสมคือ 3 เซนติเมตร เนื่องจากให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงที่สุดเท่ากับ 74.56% และยังปลดปล่อย CO ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์เทคโนโลยีด้านวัสดุพูนและพลังงานที่เหมาะสม (APEC) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้ความสะดวกด้านอุปกรณ์ในการทำวิจัย



6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักนโยบายและแผนพลังงาน (2560). ข้อมูลพลังงาน, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.eppo.go.th/>, เข้าดูเมื่อวันที่ 30/04/2560.
- [2] Weinberg, F.J. (1986). Heat-recirculating burners, principles and some recent developments, *Combustion Science and Technology*, vol. 121, pp. 3-22.
- [3] 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 2001*, vol. 5, pp. 317-323.
- [4] ณัฐวุฒิ รังสิมันตุชาติ (2544). ปรินญาณิพนธ์ การประยุกต์ใช้วัสดุพอรุนเพื่อการประหยัดพลังงานในเตาแก๊สหุงต้ม, ปรินญาณิพนธ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี จังหวัดกรุงเทพมหานคร.
- [5] Jugjai, S. and Rungsimuntuchart, N. (2002). High efficiency heat recirculating domestic gas burners, *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 26, pp. 581-592.
- [6] Pantangi, V.K. and et, al. (2011). Studies on porous radiant burners for LPG (Liquefied Petroleum Gas) cooking applications, *Energy*, vol. 36, pp. 1-7.
- [7] Muthukumar, P. and Shyamkumar, P.I. (2011). Development of novel porous radiant burners for LPG cooking applications. *Fuel*, vol. 112, pp. 562-566.
- [8] Shtern, V., Borisssov, A. and Hussain, F. (1998). Temperature distribution in swirling jets, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 41, pp. 2455-2467.
- [9] Tamir, A., Elperin, T. and Yotzer, S. (1989). Performance characteristics of a gas burner with a swirling central flame, *Energy*, vol. 14, pp. 373-382.
- [10] Tamir, A. (1993). A swirling-flame combustor for lean mixtures. *Combustion Science and Technology*, vol. 90, pp. 193-209.
- [11] 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*, vol. 46, pp. 941-958.
- [12] Gupta, A.K., Lilley, D.G. and Syred, N. (1984). Swirl flows, Taylor & Francis, England.
- [13] Tamir, A., Elperin, I. and Yotzer, S. (1992). Performance characteristics of a gas burner with a swirl central flame, *Energy*, vol. 14, pp. 347-362.
- [14] Saha, C., Ganguly, R. and Datta, A. (2008). Heat transfer and emission characteristics of impinging rich methane and ethylene jet flames, *Experimental Heat Transfer*, vol. 21, pp. 169-187.
- [15] Chander, S. and Ray, A. (2005). Flame impingement heat transfer, *Energy Conversion and Management*, vol. 46, pp. 2803-2837.
- [16] Kurchania, A.K., Panwar, N.L. and Pagar, S.D. (2011). Development of domestic biogas stove, *Biomass Conversion and Biorefinery*, vol. 1, pp. 99-103.
- [17] Mahin, D.B. (1992). Biogas in developing countries, Bioenergy system, *Annul report to USAID*, Washington, D.C.



[18] Chan, U.S. (1982). State of the art review on the integrated use of anaerobic processes in China, *Annal report* prepared for IRCWD.

[19] Dutt, G.S. and Ravindranath, N.H. (1993). Distribution of tree species on different sized farms in a semi-arid village, *Farm forestry in South Asia*, Sage Publications, India.

[20] Burbano, H.J., Amell, A.A. and Garcia, J.M. (2008). Effects of hydrogen addition to methane on the flame structure and CO emissions in atmospheric burners. *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 33, pp. 3410-3415.

[21] Jadhav, P. and Sudhakar, D.S. (2015). Analysis of burner for biogas by computational fluid dynamics and optimization of design by genetic algorithm, *International Journal for Research in Emerging Science and Technology*, vol. 2, pp. 39-44.

[22] German Standards and Technical Rules (1997). DIN EN 203-2: Gas-heated Catering Equipment, pp. 17.