



## การทดสอบการใช้งานจริงของเตาแก๊สประหยัดพลังงานในภาคครัวเรือน Practical Test of Gas-Saving Burner in Domestic

สารสิน โคตรธาดา<sup>1</sup> อนิรุต์ มัทธูจักษ์<sup>1\*</sup> ภัทธาวรรณ ชิมชม<sup>1</sup> มานะ วิชางาม<sup>2</sup> ทนงศักดิ์ ภาระวัน<sup>1</sup> พิชญา จิงจิตร์รักษ์<sup>1</sup> และ นันทวัฒน์ วงแก่น<sup>1</sup>  
Sarasin Khotthada<sup>1</sup>, Anirut Mattujak<sup>1\*</sup>, Phattharawan Chimchom<sup>1</sup>, Mana Wichangarm<sup>2</sup>, Tanongsak Pharawan<sup>1</sup>,  
Pitchaya Juengjitrak<sup>1</sup> and Nantawat Wongkan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ห้องปฏิบัติการการประยุกต์ใช้ลำเจ็ทและการเผาไหม้ (CJARL) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี  
<sup>2</sup>สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรมเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

<sup>1</sup>Combustion and Jet Application Research Laboratory, (CJARL) Department of Mechanical Engineering  
Faculty of engineering, Ubon Ratchathani University.

<sup>2</sup>Faculty of Technical Education Rajamangala University of Technology Isan Khonkaen campus.

\*E-mail : Anirut.m@ubu.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบการใช้งานจริงของเตาประหยัดพลังงานที่มีการไหลหมุนวน (New burner, NB-5) และเพื่อช่วยลดการใช้แก๊สแอลพีจี (LPG) ในภาคครัวเรือนในชุมชนโดยรอบมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีจากการใช้เตา NB ดังกล่าวในการดำเนินการจะทำการเก็บข้อมูลการใช้แก๊ส LPG ของร้านอาหารรอบมหาวิทยาลัยทั้งหมด 10 ร้านค้า ก่อนและหลังการติดตั้งเตา NB-5 ทดแทนเตา KB-5 นอกจากนี้ ยังทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนและมลพิษของเตา KB-5 ที่ร้านค้าใช้งานในปัจจุบันกับเตา NB-5 ในห้องปฏิบัติการโดยทดสอบภายใต้มาตรฐาน DIN EN 203-2 อีกด้วย จากการทดสอบ พบว่า เตา KB-5 ทั้งหมดมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 35.76% และเตา NB-5 มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 48.92% ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การประหยัด 26.90% จากการเก็บข้อมูลการใช้แก๊สของร้านค้าทั้งหมด 10 ร้าน พบว่า มีปริมาณการใช้แก๊สเฉลี่ยอยู่ที่ 1.09 kg/day และ 0.89 kg/day เมื่อใช้เตา KB-5 และใช้เตา NB-5 ตามลำดับ ซึ่งสามารถประหยัดแก๊สได้เฉลี่ย 0.20 kg/day หรือคิดเป็นการประหยัดแก๊ส 18.46% โดยมีระยะเวลาคืนทุนเฉลี่ย 3 ปี

**คำสำคัญ :** การใช้งานจริง เตาแก๊สประหยัดพลังงาน ประสิทธิภาพเชิงความร้อน เปอร์เซ็นต์การประหยัด มลพิษ

### Abstract

This research aims to test the new burner (NB-5) in practical application in order to reduce the LPG consumption in household sector at community around Ubon Ratchathani University (UBU). In this research, LPG consumption from 10 restaurants around UBU was recorded before and after using the NB-5 burner. Moreover, the thermal efficiency and emission of the restaurant's burner KB-5 and NB-5 burner were tested based on DIN EN 203-2 in laboratory. From laboratory testing, the average thermal efficiency of all KB-5 burners and NB burner were 35.76% and 48.92%, respectively. The percentage energy-saving was 26.90% comparing with KB-5 burner. From LPG consumption recording, the average LPG consumption of KB-5 and NB-5 burners



were 1.09 kg/day and 0.89 kg/day, respectively, which LPG saving was 0.20 kg/day or 18.46%. Payback period of NB-5 burner is 3 years.

**Keywords :** Practical Application, Energy-Saving Burner, Thermal Efficiency, %Energy saving, Emission

## บทนำ

เตาแก๊สหุงต้มเป็นอุปกรณ์ในครัวเรือนที่เป็นที่นิยมใช้งานกันอย่างกว้างขวางทั้งในประเทศไทยและในกลุ่มประเทศที่กำลังพัฒนา เนื่องจากใช้งานง่าย ปลอดภัย และราคาไม่แพง แต่ด้วยปัญหาด้านพลังงานและด้านมลพิษซึ่งเป็นที่ทราบกันดี จึงทำให้มีการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาเตาแก๊สให้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้นและลดการปล่อยมลพิษอย่างต่อเนื่อง

Tamir et al. (1992) ได้ศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาหุงต้มที่ใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง โดยการปรับปรุงจากเตาแบบเดิม (Conventional Burner, CB) เปลี่ยนมาเป็นเตาที่มีการไหลแบบหมุนวน (Swirl Burner, SB) จากการศึกษาพบว่า Swirl Burner ที่ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดจะมีลักษณะเฉพาะคือ มุมเงย ( $\beta$ ) เท่ากับ 26 องศา มุมเอียง ( $\alpha$ ) เท่ากับ 15 องศา ขนาดของรูที่แก๊สออกเท่ากับ 3 mm จำนวนรู 4 รู โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของเตาแบบเดิมมีค่าประมาณ 52% แต่เมื่อเปลี่ยนมาใช้ Swirl Burner ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของเตามีค่าประมาณ 58% ซึ่งผลจากการหมุนวนของเปลวไฟโดยแรงเฉือนนี้จะส่งเสริมปัจจัยบวกต่าง ๆ คือ ระยะเวลาในการผสมของเชื้อเพลิงและอากาศ เวลาในการสัมผัสของเปลวไฟกับภาชนะและการดึงดูดอากาศส่วนที่สองเพิ่มขึ้น

Jugjai and Rungsimuntuchat (2002) ได้นำเอาเทคโนโลยีวัสดุพอร์ซเลนมาประยุกต์ใช้ในการส่งเสริมประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สด้วยการทดลอง โดยการนำเอาหัวเตาแบบทั่วไปประกอบเข้ากับโครงสร้างวัสดุพอร์ซเลนได้ทำการออกแบบขึ้นจากการศึกษา พบว่า โครงสร้างวัสดุพอร์ซเลนทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้นเฉลี่ย 12% ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การประหยัด (%Energy saving) 30% นอกจากนี้ ยังได้ปรับปรุงหัวเตาให้เปลวไฟเป็นแบบหมุนวน ซึ่งพบว่า สามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้สูงขึ้นได้โดยเฉลี่ยประมาณ 20% เมื่อเปรียบเทียบกับเตาแบบ Swirl Burner ที่ยังไม่มีการประกอบเข้ากับโครงสร้างวัสดุพอร์ซเลน และเมื่อเปรียบเทียบกับเตาแก๊สที่ใช้กันอยู่ทั่วไป พบว่า สามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้สูงขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณ 30% และคิดเป็นอัตราการประหยัดโดยเฉลี่ยประมาณ 51%

Hou et al. (2007) ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ของเตาที่มีเปลวไฟแบบหมุนวน (Swirl Burner, SB) กับเตาแบบทั่วไป (Radial Burner, RB) ด้วยการทดลอง พบว่า เตา SB ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าเตา RB และปล่อย CO สูงขึ้นเล็กน้อย นอกจากนี้ ยังทำการศึกษาอิทธิพลของ Loading height, Primary aeration, Heat input ของเตา SB และ RB ซึ่งพบว่า เมื่อ Loading height ลดลง และ Heat input ลดลง ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้นและ CO ลดลง ในขณะที่ Primary aeration ไม่ส่งผลมากนักกับทั้งประสิทธิภาพเชิงความร้อนและ CO ในการศึกษาครั้งนี้ นอกจากการปรับปรุงหัวเตาด้วยการไหลแบบหมุนวนแล้วยังทำการติดตั้ง Semi-Confined combustion flame ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้น 12% เมื่อเทียบกับเตา RB

อนิรุตต์และคณะ (2559) พบว่า เตา EB มีลักษณะเปลวไฟที่รุนแรงกว่า เตาแก๊ส KB ทั่วไป โดยลักษณะเปลวไฟมีสีฟ้าไม่มีเขม่า ซึ่งแสดงถึงการเผาไหม้ที่สมบูรณ์นอกจากนี้ ยังสามารถใช้งานร่วมกับภาชนะได้หลายขนาดและรูปร่าง และมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยสูงถึง 45% ซึ่งสูงกว่าเตาแก๊ส KB ทั่วไป

มานะและคณะ (2559) ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาประหยัดพลังงาน โดยได้นำหลักการของการไหลแบบหมุนวน (Swirling flow) ของ Tamir et al. (1992) มาพัฒนาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา EB แต่ด้วยข้อจำกัด

ของลักษณะทางกายภาพของเตา EB ที่ไม่สามารถกำหนด มุมเงย ( $\beta$ ) และมุมเอียง ( $\alpha$ ) ของรูหัวเผาให้เท่ากับงานวิจัยของ Tamir et al. (1992) จึงได้กำหนด  $\beta$  และ  $\alpha$  ของรูหัวเผาเท่ากับ  $50^\circ$  และ  $15^\circ$  ตามลำดับ และทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนไปเปรียบเทียบ เตา EB พบว่า เตา SEB มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 54.66% ในขณะที่เตา EB มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับ 47.72% คิดเป็นการประหยัดพลังงานเท่ากับ 9.23%

นอกจากทำการศึกษาด้านการทดลองในการพัฒนาเตา EB แล้ว ยังทำการศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ของเตา SEB และ EB ด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) มาอย่างต่อเนื่อง (มานะและคณะ, 2559; Wichangarm et al., 2015; มานะและคณะ, 2561) จากการจำลอง พบว่า เตา SEB จะมีการกระจายอุณหภูมิ ความเร็ว และ Heat flux สูงกว่าเตา EB โดยมีอุณหภูมิ ความเร็ว และ Heat flux สูงสุดเท่ากับ 1,455 K, 1.83 m/s และ 28.39 kW/m<sup>2</sup> ตามลำดับ ซึ่งช่วยอธิบายสาเหตุของการเพิ่มของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา SEB และยืนยันผลที่ได้จากการทดลอง ดังนั้นจึงพอที่จะคาดการณ์จาก CFD ได้ว่า เตาที่มีอุณหภูมิ ความเร็ว และ Heat flux สูงจะมีแนวโน้มที่มี  $\eta_{th}$  สูงตามด้วย

จากงานวิจัยที่ผ่านมา ผู้วิจัยจากห้องปฏิบัติการ CJARL ได้นำความรู้และแนวคิดที่ได้ศึกษาก่อนหน้า มาใช้เพื่อออกแบบเตาแก๊สประหยัดพลังงาน NB-5 ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งออกแบบโดยใช้คุณสมบัติข้อดีจากการออกแบบเตาขนาด 5 นิ้ว ที่มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ เขมน้อยลง และได้เปลวไฟที่รุนแรงกว่าเตา KB-5 ด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) โดยลักษณะ



ภาพที่ 1 เตาแก๊สประหยัดพลังงาน (a) KB-5 และ (b) NB-5

ดังนั้น บทความนี้จึงมีแนวคิดในการนำเตาแก๊สประหยัดพลังงาน NB-5 ที่ออกแบบและสร้างขึ้นจากห้องปฏิบัติการ CJARL นำมาทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency,  $\eta_{th}$ ) และไปทดสอบใช้งานจริงกับร้านอาหารทั้งในและรอบมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ในการใช้เป็นแนวทางในการพัฒนารูปแบบเตาขนาด 5 นิ้ว ให้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้น เพื่อช่วยลดปริมาณการใช้ LPG ต่อไป



## วิธีการวิจัย

ในการศึกษานี้ จะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนและมลพิษในห้องปฏิบัติการ และการเก็บข้อมูลการใช้งานจริง (Field study) โดยจะทำการทดสอบทั้งส่วน กับเตา NB-5 และเตา KB-5 ของร้านค้าที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และนำข้อมูลมาเปรียบเทียบ เพื่อหาอัตราการประหยัดที่เกิดขึ้นทั้งในห้องปฏิบัติการและการใช้งานจริง

### 1. การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนในห้องปฏิบัติการ

ภาพที่ 2 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนตามมาตรฐาน DIN 203-2 ซึ่งใช้หลักการต้มน้ำ (Boiling test) ในห้องปฏิบัติการ โดยเริ่มจากการอุ่นหัวเตาให้ร้อนเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำน้ำที่ชั่งมวล 30.6 kg ในหม้อขนาด 45 cm พร้อมทั้งวัดอุณหภูมิน้ำก่อนต้ม ปรับอัตราการไหลของแก๊สตามต้องการ แล้วจึงนำหม้อดังกล่าวไปตั้งบนเตาพร้อมทั้งจับเวลา และวัดอุณหภูมิของน้ำ จากนั้นต้มน้ำจนกระทั่งน้ำมีอุณหภูมิถึง 90 °C แล้วคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency,  $\eta_{th}$ ) ด้วยสมการที่ 1 ทั้งนี้ ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ ในแต่ละกรณีเพื่อความถูกต้องของข้อมูล และทำการวัดปริมาณค่า CO กับ NOx โดยเครื่อง Exhaust gas analyzer ดังภาพที่ 2

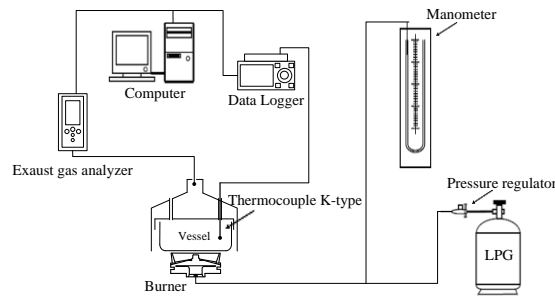
$$\eta_{th,(\%)} = \left\{ \frac{[m_{water} \times C \times (t_2 - t_1)]}{LHV \times v \times T} \right\} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ	$\eta_{th}$	คือ ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%)
	$m_{water}$	คือ มวลของน้ำที่ใช้ในการทดสอบ = 30.6 (kg)
	C	คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำที่ใช้ทดสอบ = $4.186 \times 10^3$ (MJ/kg·K)
	$t_1$	คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ (°C) $t_2$ คือ อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำ °C)
	$m_{vapor}$	คือ มวลของไอน้ำที่ระเหยไปในการทดสอบ (kg)
	LHV	คือ ค่าความร้อนต่ำของแก๊ส LPG ที่ความดัน 101.3 kPa และอุณหภูมิ 25 °C = 49,573 (kJ/kg)
	v	คือ อัตราการไหลของแก๊ส LPG (kg/s)
	T	คือ เวลาที่ใช้ในการทดสอบ (s)

เปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงาน (%Energy saving) ของเตาสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2 คือ ใช้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา NB-5 เป็นฐานเนื่องจากมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูงกว่าเตา KB-5

$$\% \text{ Energy saving} = \frac{\eta_{th,2} - \eta_{th,1}}{\eta_{th,2}} \times 100 \quad (2)$$

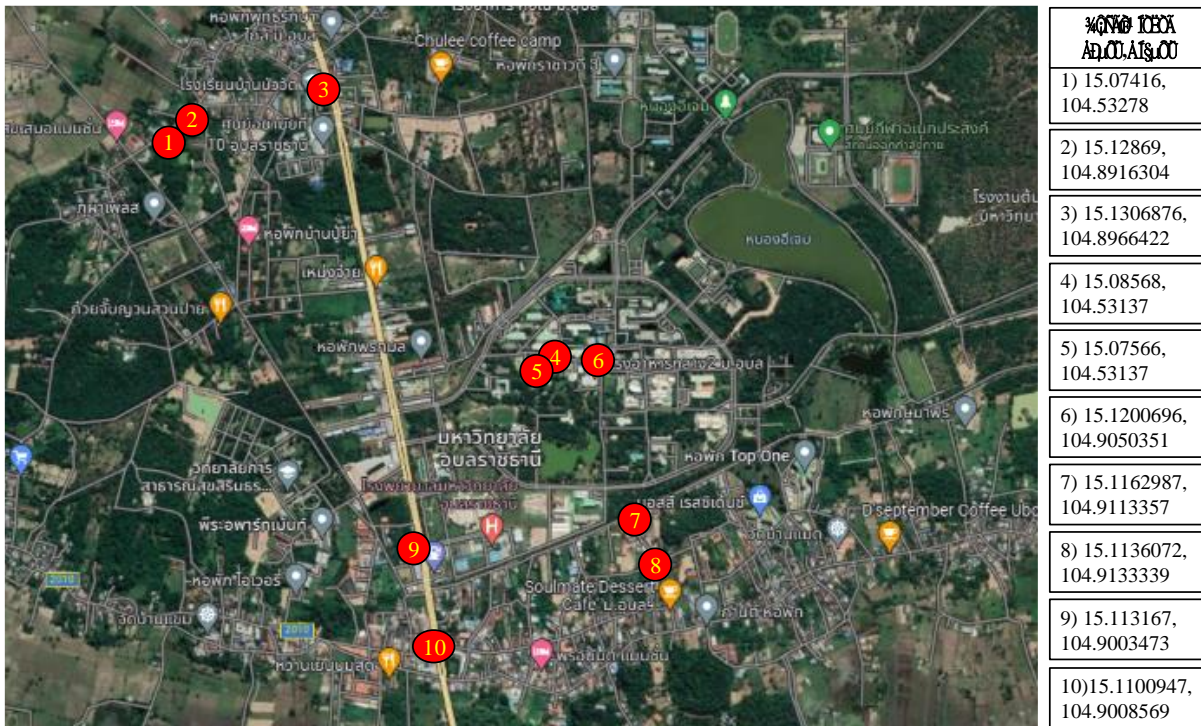
เมื่อ	$\eta_{th,1}$	คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา KB-5 (%)
	$\eta_{th,2}$	คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา NB-5 (%)



ภาพที่ 2 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

## 2. การเก็บข้อมูลการใช้แก๊ส LPG (Field study)

ในการทดสอบการใช้งานจริงของเตา NB-5 ทำได้โดยการนำเตา NB-5 ไปติดตั้งทดแทนเตา KB-5 เดิมที่ถูกใช้งานในปัจจุบัน โดยร้านค้าที่เข้าร่วมการทดสอบมีทั้งหมด 10 ร้านค้า รอบมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีดังกล่าว ในภาพที่ 3 สามารถแยกเป็นประเภทร้านได้ดังตารางที่ 1 ในการเก็บข้อมูลการใช้แก๊ส LPG ทำได้โดยช่างนำหนักแก๊สทุกร้านค้า เป็นระยะเวลา 2 เดือน ทั้งในส่วนของการใช้งานเตา KB-5 เดิมของทางร้าน เพื่อใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบ และหลังจากการติดตั้งเตา NB-5 ในระยะเวลา 2 เดือนเท่า ๆ กัน โดยการเก็บข้อมูลจะมีข้อจำกัดเรื่องการควบคุมปริมาณลูกค้าของแต่ละร้าน ซึ่งมีผลต่อการใช้แก๊ส แต่อย่างไรก็ตาม ก็ยังมีข้อมูลในท้องปฏิบัติที่สามารถนำมาวิเคราะห์ร่วมด้วยได้ โดยการไม่ควบคุมลักษณะการทำงานและปริมาณลูกค้า เป็นประเด็นสำคัญในการศึกษาการใช้งานจริง ของเตา NB-5 และจะสะท้อนพฤติกรรมการใช้งานของแต่ละร้านค้าอีกด้วย



ภาพที่ 3 ตำแหน่งร้านค้าที่ใช้ในการทดสอบ



ตารางที่ 1 ประเภทของร้านค้า

ลำดับ	ประเภท	จำนวน	ร้อยละ
1	อาหารตามสั่ง	6	60
2	ก๋วยเตี๋ยว	2	20
3	กวยจั๊บ	1	10
4	ลูกชิ้นหนึ่ง	1	10

เปอร์เซ็นต์การประหยัดแก๊ส LPG (%LPG saving) ของเตาสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3 คือ ใช้ปริมาณการใช้แก๊ส LPG ของเตา KB-5 เป็นฐานเนื่องจากมีการใช้ปริมาณ ที่สูงกว่าเตา NB-5

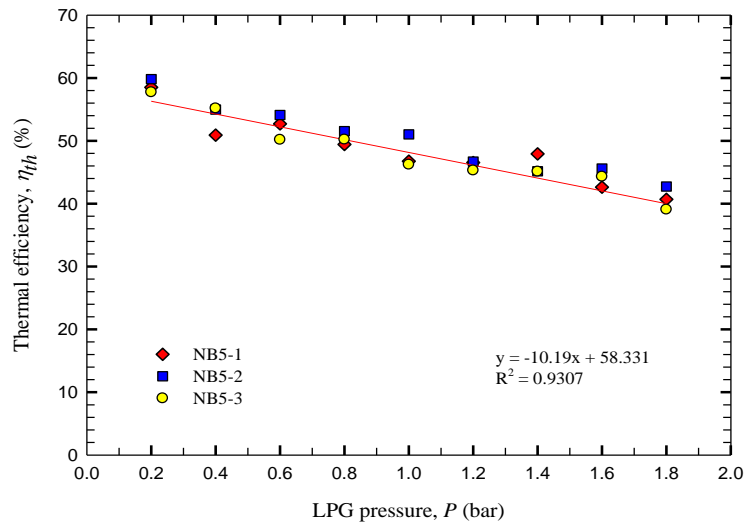
$$\% \text{ LPG saving} = \frac{\dot{m}_{KB-5} - \dot{m}_{NB-5}}{\dot{m}_{KB-5}} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ  $\dot{m}_{KB-5}$  คือ ปริมาณการใช้แก๊ส LPG ของเตา KB-5

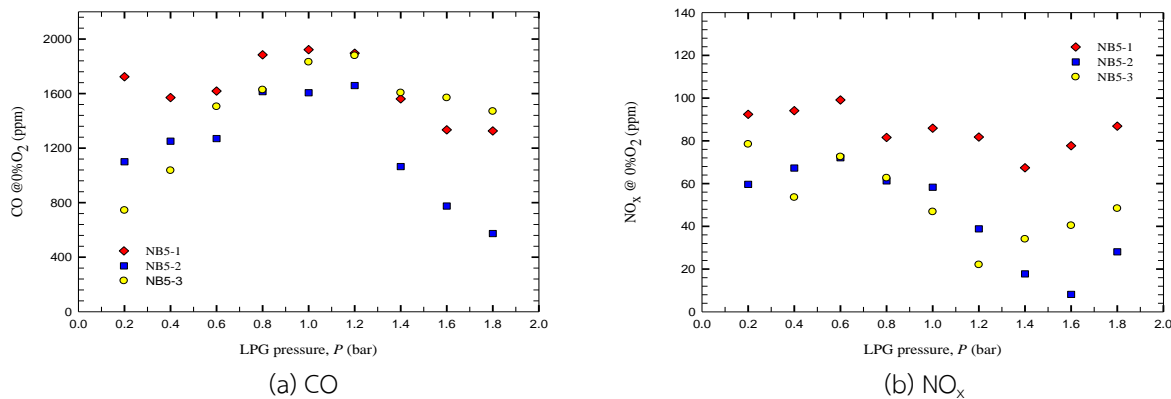
$\dot{m}_{NB-5}$  คือ ปริมาณการใช้แก๊ส LPG ของเตา NB-5

#### ผลการวิจัย

ภาพที่ 4 แสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อน (ปริมาณความร้อน (Fuel rate),  $\eta_{th}$ ) ของเตา NB-5 เมื่อทดสอบกับหม้อขนาด 45 cm โดยทำการทดสอบทั้งหมด 3 หัวเตาหรือคิดเป็น 30% จาก ทั้งหมด 10 หัวเตาที่จะนำไปใช้ทดแทนเตา KB-5 พบว่าเมื่อ Fuel rate เพิ่มสูงขึ้น  $\eta_{th}$  จะมีค่าลดลง เนื่องมาจากปริมาณความร้อน (Fuel rate) ที่มากขึ้น ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์แต่กลับเพิ่มปริมาณความร้อนสูญเสีย (Heat loss) ให้สูงขึ้น และการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง มี  $\eta_{th}$  ไปในแนวโน้มเดียวกันและมีค่าใกล้เคียงกันทั้งหมด โดยมีค่า R2 เท่ากับ 0.9307 ซึ่งข้อมูลการทดลองมีความผันผวนค่อนข้างน้อย โดยมี  $\eta_{th}$  เฉลี่ยเท่ากับ 48.92% เมื่อพิจารณาปริมาณ CO จากภาพที่ 5 (a) พบว่า ปริมาณ CO จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ Fuel rate เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงถึงการเผาไหม้ที่สมบูรณ์น้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับ  $\eta_{th}$  ในขณะที่ประมาณ  $\text{NO}_x$  ก็จะมีแนวโน้มตรงกันข้ามกับ CO ดังแสดงในภาพที่ 5 (b) โดยมีปริมาณ CO ไม่เกินค่ามาตรฐาน และ  $\text{NO}_x$  สูงสุดไม่เกิน 60.64 ppm

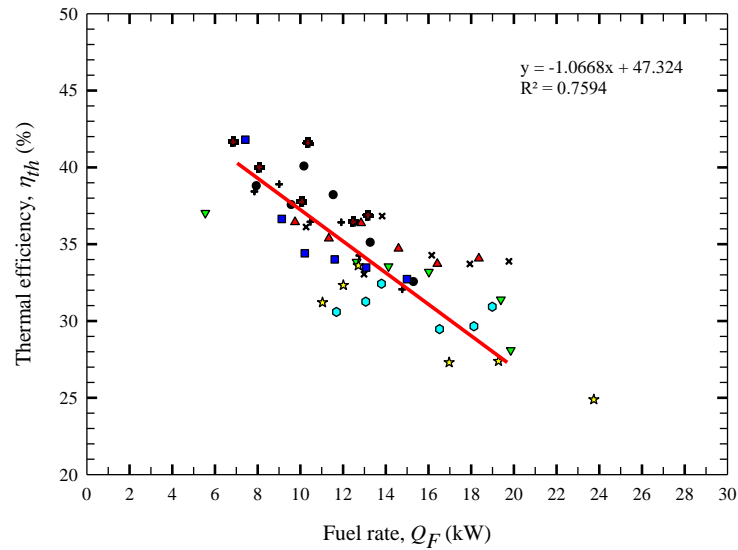


ภาพที่ 4 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา NB

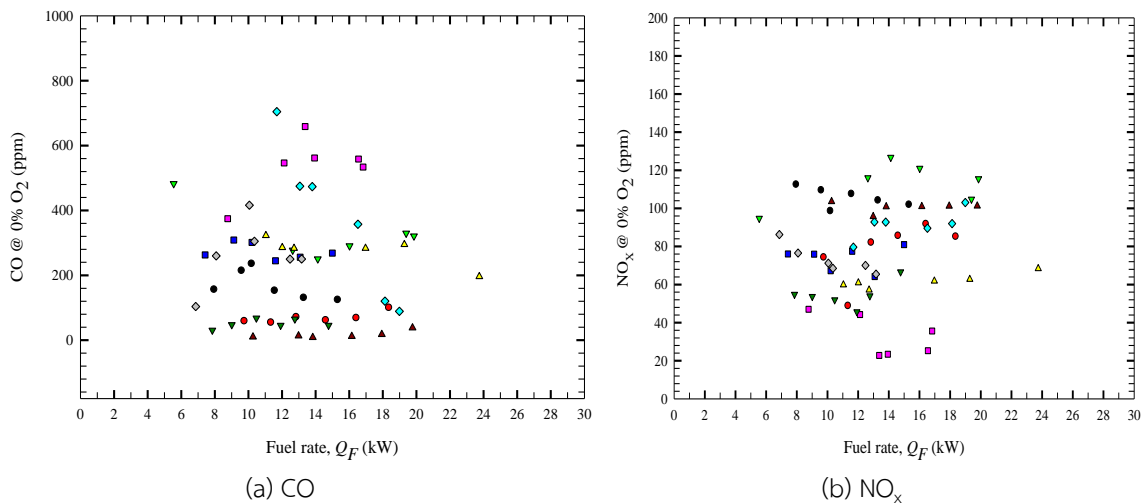


ภาพที่ 5 การปลดปล่อยมลพิษของเตา NB-5

ภาพที่ 6 แสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency,  $\eta_{th}$ ) ของเตา KB-5 โดยทำการทดสอบทั้งหมด 10 หัวเตาจากทุกร้านค้า พบว่า เมื่อปริมาณความร้อน (Fuel rate) เพิ่มสูงขึ้น  $\eta_{th}$  จะมีค่าลดลง ซึ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับเตา NB-5 เนื่องมาจากปริมาณความร้อนที่มากขึ้นไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์แต่กลับเพิ่มปริมาณความร้อนสูญเสีย (Heat loss) ให้สูงขึ้น และหัวเตาทั้ง 10 หัวเตา มี  $\eta_{th}$  ไปในแนวโน้มเดียวกันโดยมีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.7594 ซึ่งข้อมูลการทดลองมีความผันผวนพอสมควร เพราะเตาจะแตกต่างกันเนื่องด้วยอายุการใช้งาน ตั้งแต่ 1 ปี จนถึง 6 ปี และยี่ห้อที่แตกต่างกัน โดยทั้ง 10 หัวเตามี  $\eta_{th}$  เฉลี่ยเท่ากับ 35.76% เมื่อพิจารณาที่ปริมาณมลพิษจากภาพที่ 7 พบว่า มีประมาณ CO และ  $NO_x$  ของแต่ละหัวเตา จะมีค่าที่แตกต่างกันมาก แต่จะมีค่าสูงสุดไม่เกิน 430.55 ppm และ 118.77 ppm ตามลำดับ



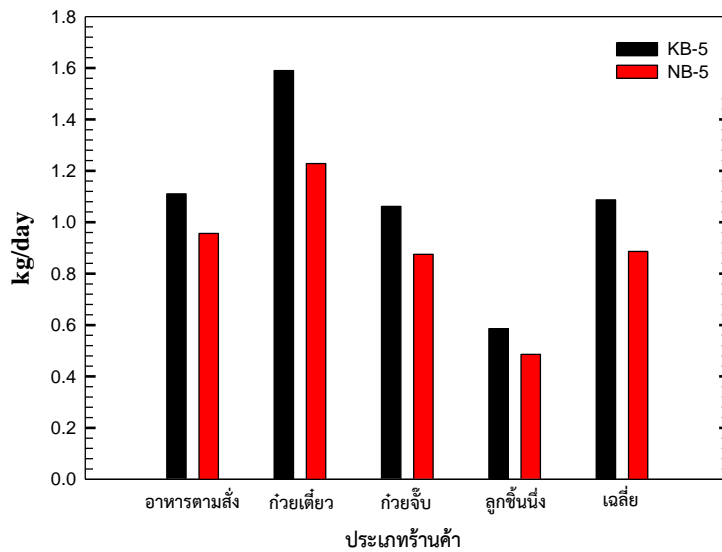
ภาพที่ 6 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา KB-5



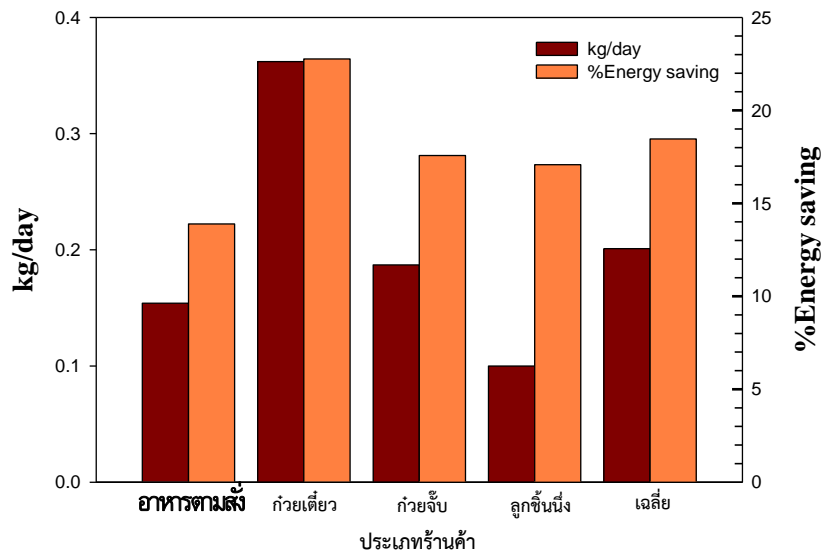
ภาพที่ 7 การปลดปล่อยมลพิษของเตา KB-5

จากการเก็บข้อมูลการใช้แก๊ส LPG ก่อนและหลังการติดตั้งเตา NB-5 ทดแทนเตา KB-5 พบว่า เมื่อใช้เตา KB-5 เดิม ร้านก๋วยเตี๋ยวจะเป็นร้านที่ใช้ปริมาณแก๊สสูงสุด เฉลี่ยเท่ากับ 1.59 kg/day รองลงมาคือ อาหารตามสั่ง กายจ๊ับ และลูกชิ้นนึ่ง ซึ่งมีการใช้แก๊สเฉลี่ย เท่ากับ 1.1, 1.06 และ 0.59 kg/day ตามลำดับ และเมื่อใช้เตา NB-5 พบว่า ปริมาณการใช้แก๊สลดลงจากเดิม ซึ่งปริมาณเฉลี่ยเป็น 1.23, 0.96, 0.88 และ 0.49 kg/day ตามลำดับ โดยมีปริมาณการใช้ก่อนและหลังการติดตั้งเตา NB-5 เฉลี่ยทั้งหมด เท่ากับ 1.09 kg/day และ 0.89 kg/day ตามลำดับ ดังภาพที่ 8





ภาพที่ 8 ข้อมูลการใช้ LPG เฉลี่ยแต่ละประเภท



ภาพที่ 9 การประหยัดแก๊ส LPG

เมื่อนำผลต่างของการลดปริมาณการใช้แก๊ส LPG มาคำนวณจะพบว่า อาหารตามสั่ง ก๋วยเตี๋ยว ก๋วยจั๊บ และลูกชิ้นนึ่ง มีปริมาณการประหยัดแก๊สเท่ากับ 0.154, 0.362, 0.187 และ 0.100 kg/day ตามลำดับ และคิดเป็น %LPG saving เท่ากับ 13.89, 22.77, 17.75 และ 17.08 ตามลำดับ โดยมีปริมาณการประหยัดเฉลี่ยเท่ากับ 0.201 kg/day คิดเป็น %LPG saving เฉลี่ย ทั้งหมด 18.46% ดังแสดงในภาพที่ 9 ซึ่งจะเห็นว่า %LPG saving มีค่าใกล้เคียงกับ %Energy saving ที่ได้จากห้องปฏิบัติการ ซึ่งสามารถช่วยยืนยันผลของการเก็บข้อมูลการใช้งานจริงได้



เมื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ จากเงื่อนไขการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า IRR มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6% และคิดเป็นระยะเวลาคืนทุนเฉลี่ยเท่ากับ 3 ปี ดังตารางที่ 3 ซึ่งจากการพิจารณาเทียบกับ MRR เท่ากับ 5.97% (ของธนาคารกสิกรไทย เมื่อวันที่ 1 มี.ค. 65) พบว่า เต้า NB-5 มีความคุ้มค่าการลงทุน

ตารางที่ 2 ข้อมูลเบื้องต้น

รายการ	จำนวน	หน่วย
ค่าหัวเต้า NB-5	3,500	บาท
อายุการใช้งาน	10	ปี
ค่าบำรุงรักษา	100	บาท/ปี
ค่าแก๊ส LPG ถึงขนาด 15 kg	360	บาท/ถัง
ระยะเวลาใช้งานเต้าแก๊ส	240	วัน/ปี

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์

ประเภท	อัตราการประหยัด		IRR (%)	ระยะคืนทุน (ปี)
	(kg/day)	(บาท/day)		
อาหารตามสั่ง	0.054	1.30	0%	3.9
ก๋วยเตี๋ยว	0.232	5.57	15%	1.7
กวยจั๊บ	0.187	4.49	4%	3.2
ลูกชิ้นหนึ่ง	0.100	2.40	-2%	6.1
<b>เฉลี่ย</b>	0.124	2.98	6%	3

### อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการนำเต้าแก๊ส NB-5 มาทดสอบทั้งในห้องปฏิบัติการและนำไปติดตั้งทดแทนเต้า KB-5 ของร้านค้าทั้งหมด 10 ร้าน สามารถสรุปได้ดังนี้

- เต้า KB-5 ทั้งหมดมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 35.76% มีปริมาณ CO และ NO<sub>x</sub> สูงสุดไม่เกิน 423.13 ppm และ 91.68 ppm ตามลำดับ
- เต้า NB-5 มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 48.92% โดยมีปริมาณ CO และ NO<sub>x</sub> สูงสุดไม่เกินค่ามาตรฐาน และ 60.64 ppm ตามลำดับ
- จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ พบว่า เต้า NB-5 มี %Energy saving เท่ากับ 26.90 เมื่อเทียบกับเต้า KB-5 ของร้านค้า รวมถึงค่า CO และ NO<sub>x</sub> อยู่ในมาตรฐานของปลดปล่อยมลภาวะทำให้การเผาไหม้ได้ดีขึ้นและไม่เป็นมลพิษทางสิ่งแวดล้อม



4. จากการใช้งานจริง พบว่า ปริมาณการใช้แก๊ส LPG เฉลี่ยของร้านค้าทั้ง 10 ร้านเมื่อใช้เตา KB-5 เท่ากับ 1.09 kg/day และเมื่อเปลี่ยนมาใช้เตา NB-5 มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 0.89 kg/day ซึ่งสามารถประหยัดแก๊สได้เฉลี่ย 0.2 kg/day หรือคิดเป็น 18.46%

5. เมื่อพิจารณาด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่า ผลตอบแทนเท่ากับมูลค่าการลงทุนพอดี (IRR) เฉลี่ยที่ใช้ประกอบการตัดสินใจในการลงทุนเท่ากับ 6% และมีระยะเวลาคืนทุนเฉลี่ยเท่ากับ 3 ปี ซึ่งคุ้มค่ากับการลงทุนในการเปลี่ยนมาใช้เตา NB-5

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก หน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของประเทศ (บพข.) กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (กสว.): โครงการ Flagship ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563

### เอกสารอ้างอิง

- มานะ วิชางาม, อนิรุตต์ มัทธูจักษ์, ธนรัฐ ศรีวีระกุล และเสฏฐวรรธ สุจริตภวัตสกุล. (2559). การจำลองพฤติกรรมการไหลในเตาแก๊สแรงดันสูงแบบประหยัดพลังงาน. *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 30 (ME-NETT 30)*.
- มานะ วิชางาม, อนิรุตต์ มัทธูจักษ์, ธนรัฐ ศรีวีระกุล และเสฏฐวรรธ สุจริตภวัตสกุล. (2561). อิทธิพลของการไหลแบบหมุนวนต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ของเตาแก๊สหุงต้มแรงดันสูงโดยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ. *ประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 32 (ME-NETT 32)*.
- อนิรุตต์ มัทธูจักษ์, นฤพนธ์ ติตมา และอดิสร แยมยวน. (2559). การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สประหยัดพลังงานโดยการไหลแบบหมุนวน. *การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12 (ENETT 12)*.
- Hou, S.S., Lee, C.Y and Lin, T.H. (2007). Efficiency and emissions of a new domestic gas burner with a swirling flame. *Energy conversion management*, 48, 1401-1410.
- Jugjai, S. and Rungsimuntuchart, N. (2002). High efficiency heat-recirculating domestic burners. *Experimental thermal and fluid Science*, 26, 581-592.
- Tamir, A., Elperin, I. and Yotzer, S. (1992). Performance characteristics of a gas burner with a swirl central flame. *Energy*, 14(5), 347-362.
- Wichangarm, M., Matthujak, A., Sriveerakul, T., Sucharitpwatskul, S. and Phongthanapanich S. (2018). Numerical study of combustion phenomena in the energy-saving cooking stove, 9<sup>th</sup> *TSME International Conference on Mechanical Engineering*. (pp. 46-51.)