

คุณลักษณะการเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรกของหัวเผาแบบ Self - aspirating Primary air entrainment characteristics of a self – aspirating burner

อภิณัฐ นามเขต และ สำเร็จ จักรใจ*

ห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องยนต์และการเผาไหม้ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

โทร 0-2470-9128 โทรสาร 0-2470-9111 *อีเมลล์ sumrueng.jugai@kmutt.ac.th

Apinunt Namkhat and Sumrerng Jugjai*

Combustion and Engine Research Laboratory (CERL), Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,

King Mongkut's University of Technology Thonburi (KMUTT), Bangmod, Tungkru, Bangkok 10140

Tel: 0-2470-9128, Fax: 0-2470-9111, E-mail: sumrueng.jugai@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาคุณลักษณะการเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรก (Primary air entrainment characteristics) ของหัวเผาแบบ Self-aspirating ซึ่งมีหลักการทำงานคืออาศัยเพียงเจ็ตความเร็วสูงของแก๊สที่พ่นโดยหัวฉีดแก๊ส (Injector orifice) เข้าสู่คอคอดของท่อผสม (Mixing tube) เพื่อเหนี่ยวนำอากาศเข้ามาผสมกับแก๊สเชื้อเพลิงจนสามารถให้เปลวไฟแบบผสมมาก่อน (Premixed flame) ได้โดยไม่ต้องอาศัยพัดลมช่วยตัวอย่างเช่น เตาแก๊สหุงต้ม โดยอากาศจะต้องมีปริมาณที่เพียงพอต่อการเผาไหม้เพื่อให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ สมการการคำนวณหาปริมาณอากาศส่วนแรกที่ใช้ในการเผาไหม้ (Primary aeration) ถูกสร้างขึ้นโดยอาศัยหลักการอนุรักษ์พลังงานและโมเมนตัม พบว่าการเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรกขึ้นอยู่กับอัตราการป้อนเชื้อเพลิงชนิดของแก๊สเชื้อเพลิง มิติของหัวฉีด มิติของท่อผสม และมิติของหัวเผา ผลจากการคำนวณสอดคล้องกับการทดลอง ทั้งกรณีหัวเผาแบบ KB-5 และ KB-10 การศึกษาครั้งนี้ช่วยนำไปสู่การออกแบบชุดหัวเผาที่มีประสิทธิภาพสูงในอนาคต

Abstract

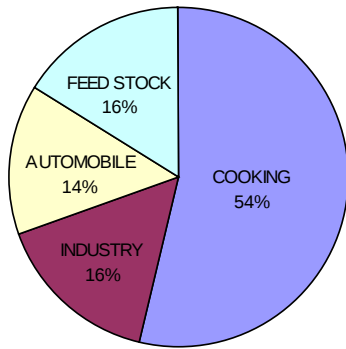
This work study primary air entrainment characteristics of a self-aspirating burner. This burner operates as gas emerges from an injector orifice. On leaving the injector, the gas entrains primary air by a momentum-sharing process between the emerging gas and ambient air. The gas/air mixture enters a mixing tube, and then be distributed uniformly to the burner ports

with premixed flame by without blowers or compressors, i.e. cooker-top burners. The good air entrainment was required to complete the combustion. Empirical formula has been developed to predict the level of primary aeration based on momentum and energy conservation principles. The result show that as functions of the fuel gas flow rate, type of fuel gas, injector geometry, mixing tube geometry, and burner head geometry. These results agree very well with experimental data of KB-5 and KB-10 burner. This study could be used for designing burner with high performance in the future.

1. บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่เป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะ แก๊สปิโตรเลียมเหลว หรือ แอลพีจี (Liquefied Petroleum Gas, LPG) ที่เป็นส่วนผสมของ โพรเพน (Propane) และบิวเทน (Butane) ด้วยเหตุผลที่ว่าแก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาด เผาไหม้ได้สมบูรณ์และสะดวกต่อการใช้งานจึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในครัวเรือน ร้านอาหาร และอุตสาหกรรม โดยในปี พ.ศ. 2549 ประเทศไทยใช้แก๊สแอลพีจีในภาคครัวเรือนคิดเป็นปริมาณมากถึง 54 เปอร์เซ็นต์ของการใช้แก๊สแอลพีจีทั้งหมดดังรูปที่ 1 และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในทุกๆ ปี พร้อมกันนี้ก็จะสังเกตเห็นได้ว่าราคาของแก๊สแอลพีจีในกรุงเทพฯ มีแนวโน้มสูงขึ้นในทุกๆ ปี [1] แต่ด้วยข้อจำกัดที่ว่าพลังงานมีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นเพื่อเป็นการช่วยชาติประหยัดพลังงาน ก็ควรที่จะมีการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า แต่ก็เป็นที่น่าเสียดายของประเทศเป็นอย่างมาก เพราะในอดีตที่ผ่านมาการออกแบบและสร้างชุดหัวเผาแบบ Self-aspirating ยังทำได้

ไม่ดีเช่น มิติของหัวฉีด มิติของท่อผสม และมิติของหัวเผาไม่สัมพันธ์กัน ส่งผลให้ปริมาณอากาศส่วนแรกที่ถูกเหนี่ยวนำเข้ามาผสมกับแก๊สเชื้อเพลิงมีปริมาณต่ำ และเมื่อมีการเผาไหม้โดยการอุ่นอากาศก่อนยิ่งทำให้ปริมาณอากาศส่วนแรกที่ใช้ในการเผาไหม้ลดต่ำลงอีก [2] เนื่องจากอากาศถูกอุ่นให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นแล้วเกิดการขยายตัว จากปริมาณอากาศที่ไม่เพียงพอทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เกิดมลพิษสูงและให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำจึงส่งผลให้ไม่ประหยัดพลังงาน



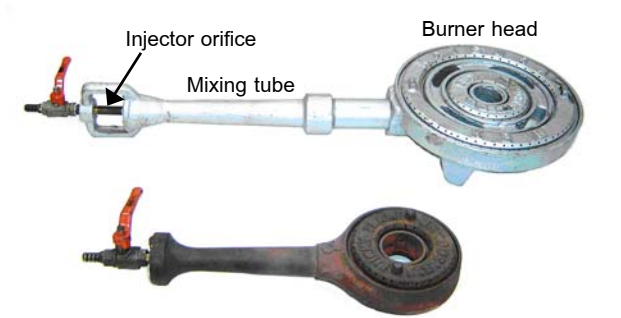
รูปที่ 1. สัดส่วนรวมของปริมาณการใช้แก๊สแอลพีจีในประเทศไทย [1]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาคุณลักษณะการเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรกของชุดหัวเผาแบบ Self-aspirating โดยพิจารณาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่ส่งผลต่อคุณลักษณะของการเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรกที่ใช้ในการเผาไหม้ โดยศึกษาทางด้านทฤษฎีแล้วเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริงเพื่อเป็นการพิสูจน์สมการที่คำนวณได้ว่าถูกต้องแม่นยำ ซึ่งการศึกษานี้ยังช่วยการออกแบบชุดหัวเผาที่มีการอุ่นอากาศล่วงหน้าเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงขึ้น

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 โครงสร้างและการทำงานของหัวเผาแบบ Self - aspirating

รูปที่ 2 แสดงตัวอย่าง Self-aspirating burner KB-10 และ KB-5 ที่ใช้ในการทดลอง หัวเผาดังกล่าวประกอบด้วยส่วนหลักๆ สามประการ คือ ท่อผสม (Mixing tube) หัวเผา (Burner head) และหัวฉีดแก๊ส (Injector orifice) ท่อผสมส่วนใหญ่ทำจากเหล็กหล่อได้รับการออกแบบให้มีลักษณะเป็นคอคอด (Throat) ใกล้กับบริเวณทางเข้าของแก๊สและอากาศส่วนแรก (Primary air) เพื่อผลทางด้านพลศาสตร์ของการไหลในท่อและจะมีมากกว่าหนึ่งท่อก็ได้แล้วแต่การออกแบบ หัวเผาส่วนใหญ่ทำจากเหล็กหล่อมีรูปร่างได้หลายแบบขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่นอาจเป็นแผ่นวงกลมตัน (Cap) หรือเป็นวงแหวน (Circular ring) และจะมีจำนวนมากกว่าหนึ่งวงแหวนก็ได้ ที่ขอบวงแหวนทั้งด้านในและด้านนอกถูกเจาะรูจำนวนหลายรูในแนวรัศมีเพื่อทำหน้าที่เป็นรูกระจายแก๊ส (Burner port) และเปลวไฟที่ติดอยู่เหนือรูให้กระพืออย่างสม่ำเสมอต่อภาชนะหุงต้มที่จะวางอยู่เหนือหัวเผา

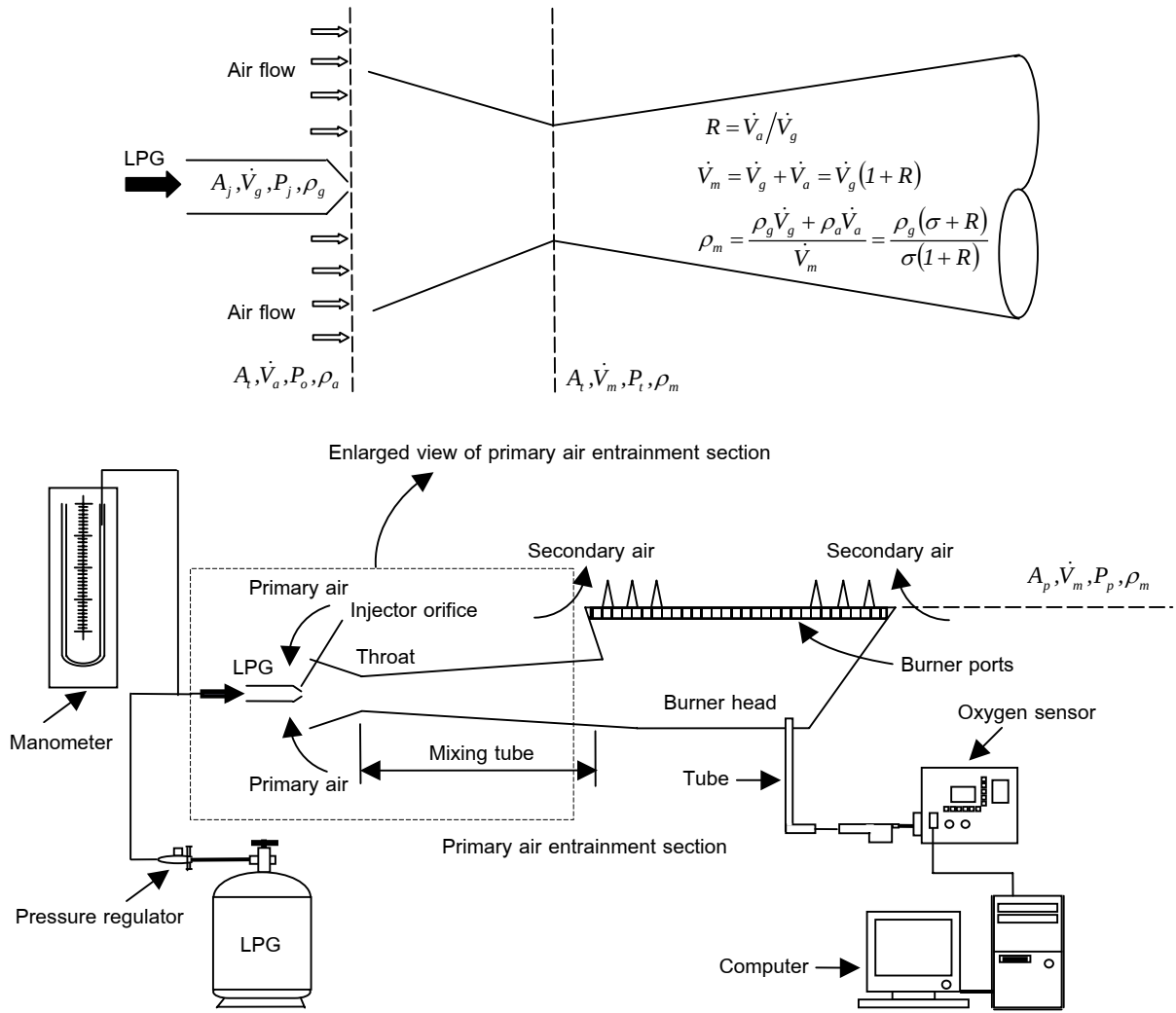


รูปที่ 2. Self-aspirating burner, KB-10 (บน) KB-5 (ล่าง)

รูปที่ 3 แสดงหลักการทำงานของหัวเผาเริ่มจากแก๊สพร้อมความดันที่ใช้งานตามปกติถูกพ่นออกจากหัวฉีดแก๊สเข้าไปในท่อผสม ขณะเดียวกันอากาศส่วนแรกที่อยู่บริเวณใกล้ๆ หัวฉีดแก๊สจะถูกเหนี่ยวนำ (Entrained) ผ่านช่องอากาศส่วนแรก (Primary air port) เข้าไปในท่อผสมพร้อมๆ กับแก๊สโดยอาศัยการถ่ายเทโมเมนตัมระหว่างแก๊สและอากาศโดยรอบ จากนั้นส่วนผสมของอากาศส่วนแรกและแก๊สจะไหลผ่านรูกระจายแก๊ส และถูกติดไฟให้เปลวไฟแบบผสมกันมาก่อน ลอยนิ่งอยู่เหนือหัวเผากายหลังจากที่ถูกจุดประกาย (Ignition) ด้วยวิธีการที่เหมาะสม ในขณะที่เดียวกันอากาศส่วนที่สอง (Secondary air) จะถูกชักนำเข้ามาจากด้านข้างเปลวไฟและจากด้านล่างหัวเผาซึ่งทำเป็นช่องว่างไว้ ทั้งนี้โดยอาศัยการถ่ายเทโมเมนตัมและแรงลอยตัวของแก๊สร้อนที่ขยายตัวและลอยสูงขึ้น ช่วยทำให้อากาศโดยรอบที่เย็นกว่าถูกดูดเข้ามาผสมกับเปลวไฟทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ตัวอย่างของหัวเผาแบบ Self-aspirating นี้ที่เห็นได้ชัดคือ เตาแก๊สหุงต้ม ซึ่งหัวเผาประเภทนี้การเหนี่ยวนำอากาศเข้ามาผสมกับแก๊สเชื้อเพลิงจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากเพราะหัวเผาจะต้องเหนี่ยวนำอากาศเอง โดยปริมาณอากาศดังกล่าวจะต้องมีเพียงพอต่อการเผาไหม้เพื่อให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ ดังนั้นชุดหัวเผาจะต้องได้รับการออกแบบที่ดีจึงควรทำความเข้าใจเกี่ยวกับอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่ส่งผลต่อคุณลักษณะของการเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรกที่ใช้ในการเผาไหม้

2.2 ทฤษฎีการคำนวณปริมาณอากาศส่วนแรกที่ใช้ในการเผาไหม้

การศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่ส่งผลต่อคุณลักษณะของการเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรกที่ใช้ในการเผาไหม้นั้น อาศัยหลักการอนุรักษ์พลังงาน และโมเมนตัมของเจ็ตที่ไหลผ่านภายในหัวฉีดแก๊สและท่อผสม [3, 4] ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาเน้นการคำนวณหาปริมาณอากาศส่วนแรกที่ใช้ในการเผาไหม้จะพิจารณาเฉพาะปริมาณที่มากที่สุดที่หัวเผาแบบ Self-aspirating นั้นๆทำงานได้ แต่การศึกษาในครั้งนี้จะพิจารณาตลอดช่วงการทำงานของหัวเผา เพื่อให้เห็นถึงแนวโน้มของปริมาณอากาศส่วนแรกที่ใช้ในการเผาไหม้ว่าขึ้นกับตัวแปรอะไรบ้าง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3. แผนภูมิอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองหาปริมาณอากาศส่วนแรกที่ใช้ในการเผาไหม้

พิจารณาที่หัวฉีดแก๊สตามรูปที่ 3 (ส่วนขยาย) แก๊สเชื้อเพลิงที่บรรจุภายในถังแก๊สถูกปรับความดันให้เหมาะสมโดย Pressure Regulator แล้วถูกฉีดเข้าไปในท่อผสม พลังงานศักย์ (Potential energy) ของแก๊สเชื้อเพลิงถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ (Kinetic energy) หลักการอนุรักษ์พลังงานสามารถได้ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เกี่ยวข้องดังนี้

$$A_j = \frac{q}{12.78WCd_j\sqrt{P_g}} \quad (1) \quad (2)$$

จากสมการ (1) จะเห็นได้ว่าขนาดของรูหัวฉีดแก๊ส (A_j) ขึ้นอยู่กับอัตราการป้อนเชื้อเพลิง (q) ชนิดของเชื้อเพลิงแก๊สโดยทราบค่าเลขวอบเบ (W) ความดันแก๊สที่แหล่งจ่าย (P_g) และสัมประสิทธิ์การปล่อยผ่านแก๊สที่หัวฉีด (Cd_j) ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่างของหัวฉีดแก๊ส (Orifice shape) และค่าเรย์โนลด์ (Reynolds number) ที่หัวฉีดแก๊ส ขนาดรูหัวฉีดแก๊สที่ได้เป็นตัวกำหนดความเร็วสูงสุดของแก๊สที่ถูกฉีดออกจากหัวฉีดภายใต้เงื่อนไขอัตราการป้อนเชื้อเพลิงและความดันแก๊สที่แหล่งจ่ายที่กำหนดมาให้

เมื่อพิจารณาที่ท่อผสมในช่วงจากปลายหัวฉีดถึงบริเวณคอคอดเป็นกรณีของเจ็ตกัก (Confined jet) ซึ่งมีความดันลดที่บริเวณคอคอด อากาศจึงถูกดึงเข้ามาผสม โดยใช้หลักการอนุรักษ์โมเมนตัม (สมมุติให้ $A_j \ll A_t$ และ $\dot{V}_a^2 \ll \dot{V}_g^2$) สามารถเขียนได้ดังนี้

$$(P_t - P_o)A_t = \frac{\rho_g \dot{V}_g^2}{A_j} - \frac{\rho_m \dot{V}_m^2}{A_t}$$

เมื่อพิจารณาที่ท่อผสมในช่วงจากคอคอดถึงทางออกเปลวไฟที่หัวเผา โดยใช้หลักการอนุรักษ์พลังงาน สามารถเขียนได้ดังนี้

$$P_p - P_t = \frac{\rho_m \dot{V}_m^2}{2A_t^2} (1 - C_L) \quad (3)$$

เมื่อพิจารณาการฉีดแก๊สเชื้อเพลิงที่ทางออกหัวฉีดแก๊สออกสู่บรรยากาศ สามารถเขียนสมการอนุรักษ์พลังงานสำหรับการปล่อยผ่าน (Energy balance for discharge) ที่ตำแหน่งดังกล่าวได้ดังนี้

$$P_j - P_o = \frac{\rho_g \dot{V}_g^2}{2A_j^2 Cd_j^2} \quad (4)$$

เมื่อพิจารณาการฉีดส่วนผสมของอากาศส่วนแรกและแก๊สเชื้อเพลิง (Mixture) ที่ทางออกหัวเผาสู่บรรยากาศ สามารถเขียนสมการอนุรักษ์พลังงานสำหรับการปล่อยผ่านได้ดังนี้

$$P_p - P_o = \frac{\rho_m \dot{V}_m^2}{2A_p^2 Cd_p^2} \quad (5)$$

เมื่อรวมสมการ (2) และ (3) เข้าด้วยกันจะได้

$$P_p - P_o = \frac{\rho_g \dot{V}_g^2}{A_j A_j} - \frac{\rho_m \dot{V}_m^2}{2A_j^2} (1 + C_L) \quad (6)$$

จากนั้นกำหนดให้ η คือ Dimensionless pressure efficiency ซึ่งหมายถึงสัดส่วนของ Static pressure ที่ทางออกเปลวไฟต่อ Dynamic pressure ของเจ็ตเชื้อเพลิงที่ออกจากหัวฉีดแก๊ส ดังนี้

$$\eta = \frac{P_p - P_o}{\left(\frac{\rho_g \dot{V}_g^2}{2A_j^2} \right)} \quad (7)$$

จากสมการ (4) สามารถเขียนสมการ (7) ได้ใหม่ ดังนี้

$$\eta = \frac{P_p - P_o}{Cd_j^2 (P_j - P_o)} \quad (8)$$

$$\text{กำหนดให้ } \theta = \frac{A_j}{A_i} \text{ และ } \lambda = \left(\frac{\rho_m \dot{V}_m^2}{\rho_g \dot{V}_g^2} \right) (1 + C_L)$$

ดังนั้นสมการ (6) เขียนใหม่ได้เป็น

$$\eta = 2\theta - \lambda\theta^2 \quad (9)$$

ในการออกแบบชุดหัวเผาที่ติดตั้ง η จะต้องมีความสูงสุด จะได้ว่า

$$\frac{d\eta}{d\theta} = 2 - 2\lambda\theta = 0 \quad (10)$$

$$\lambda\theta = 1 \quad (11)$$

$$\frac{A_j}{A_i} = \frac{\rho_g \dot{V}_g^2}{\rho_m \dot{V}_m^2 (1 + C_L)} \quad (12)$$

กำหนดให้ $R = \frac{\dot{V}_a}{\dot{V}_g}$ คืออัตราส่วนระหว่างอากาศส่วนแรกที่ถูกดึงเข้ามาผสมและแก๊สที่ผ่านหัวฉีด (The entrained air to gas volume ratio, Entrainment ratio) ดังนั้นจากสมการข้างต้นเมื่อใช้ความสัมพันธ์และการแก้ไขปัญหาด้านคณิตศาสตร์ สามารถเขียนสมการการคำนวณหาค่า R ได้ดังนี้

$$R = \frac{-(1 + \sigma)}{2} + \sqrt{\frac{12.78WCd_j \sqrt{P_g} \sigma A_p Cd_p}{q \sqrt{1 + C_L}}} \quad (13)$$

เมื่อ σ คือความถ่วงจำเพาะของแก๊ส W คือเลวอบเบ Cd_j คือสัมประสิทธิ์การปล่อยผ่านแก๊สที่หัวฉีด P_g คือความดันแก๊สที่แหล่งจ่าย A_p คือพื้นที่หน้าตัดทางออกเปลวไฟ Cd_p คือสัมประสิทธิ์การปล่อยผ่านแก๊สที่ทางออกเปลวไฟ q คืออัตราการป้อนเชื้อเพลิง และ C_L คือสัมประสิทธิ์ความสูญเสียภายในท่อผสม โดยค่า R ขึ้นอยู่กับค่า q เป็นสำคัญคือเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนเชื้อเพลิงมากขึ้นการเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรกจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆแล้วคงที่ และยังสามารถคำนวณหาปริมาณอากาศส่วนแรกที่ใช้ในการเผาไหม้ได้ ดังนี้

$$\text{Primary aeration, \%} = \frac{R}{(A/F)_{\text{stoi}}} \times 100 \quad (14)$$

จากสมการจะเห็นว่าปริมาณ Primary aeration (อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ใช้จริงในการเผาไหม้เทียบกับที่สภาวะสตอยคิโอเมตริก) ขึ้นอยู่กับค่า R เป็นสำคัญซึ่งมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองหาปริมาณอากาศส่วนแรกของหัวเผามีลักษณะดังรูปที่ 3 ซึ่งมีส่วนประกอบหลักๆสองส่วนคือ ส่วนแรกเป็นชุดหัวเผาแบบ Self-aspirating ที่ใช้ในการทดสอบซึ่งเป็นเตาแก๊สที่มีขายกันทั่วไปตามท้องตลาด ซึ่งการทดลองในครั้งนี้จะใช้หัวเผาสองขนาดคือ KB-5 และ KB-10 โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเผาเป็น 5 นิ้วและ 10 นิ้วตามลำดับ ซึ่งรายละเอียดของหัวเผาแต่ละชนิดแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดหัวเผานิตต่างๆ

ชนิดหัวเผา	พื้นที่หน้าตัดของหัวฉีดแก๊ส (A_j), mm ²	พื้นที่หน้าตัดของคอคอด (A_i), mm ²	พื้นที่หน้าตัดรวมของรูกระจายแก๊สที่หัวเผา (A_p), mm ²
KB-5	1.327	117	245.44
KB-10	2.545	268.8	508.94

ส่วนที่สองจะเป็นชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดและเก็บข้อมูลในการทดลอง โดยอาศัยเครื่องวัดปริมาณออกซิเจน (Oxygen Sensor) ของบริษัท MESSTECHNIK EHEIM รุ่น Visit-01L ซึ่งเป็น Electromechanical Sensor วัดในลักษณะไอเสียแห้ง (Dry basis) ซึ่งค่าที่วัดได้จะมีความคลาดเคลื่อน 0.05 % โดยจะทำการพ่วงกับคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูล

ขั้นตอนในการทดลองเริ่มจากการเปิดแก๊สเชื้อเพลิงจากถังบรรจุแก๊สขนาด 48 kg ซึ่งมีขายกันตามท้องตลาดจำนวน 1 ถัง ซึ่งจะใช้ Pressure Regulator เป็นตัวควบคุมปริมาณการไหลของแก๊สเชื้อเพลิงดังแสดงในรูปที่ 3 และมีการวัดความดันของเชื้อเพลิงโดย Manometer ที่เป็นปรอท โดยการเชื่อมต่อระหว่างจุดต่างๆ ของระบบจะใช้สายยางที่ใช้กับแก๊สและข้อต่อทองเหลืองเป็นตัวเชื่อมต่อ จากนั้นแก๊สจะถูกพ่นออกจากหัวฉีดแก๊สเข้าไปในท่อผสม ขณะเดียวกันอากาศส่วนแรกที่อยู่บริเวณใกล้ๆ หัวฉีดแก๊สจะถูกเหนี่ยวนำผ่านช่องอากาศส่วนแรกเข้าไปในท่อผสมพร้อมๆ กับแก๊สโดยอาศัยการถ่ายเทโมเมนตัมระหว่างแก๊สและอากาศโดยรอบ จากนั้นส่วนผสมของอากาศส่วนแรกและแก๊สจะ

ไหลผ่านทางออกเปลวไฟ และถูกติดไฟให้เปลวไฟชนิดผสมมาก่อน ลอยนิ่งอยู่เหนือหัวเผา ภายหลังจากที่ถูกจุดประกายด้วยวิธีการที่เหมาะสม ขณะเดียวกันส่วนผสมของอากาศส่วนแรกและแก๊สเชื้อเพลิงบางส่วนจะถูกดูดผ่านท่อที่เสียบอยู่ทางด้านล่างของหัวเผาผ่านเข้าไปในเครื่อง Oxygen Sensor เพื่อวัดปริมาณของออกซิเจนที่อยู่ในส่วนผสมดังกล่าว ซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาปริมาณอากาศส่วนแรกที่ใช้ในการเผาไหม้ได้ ดังนี้

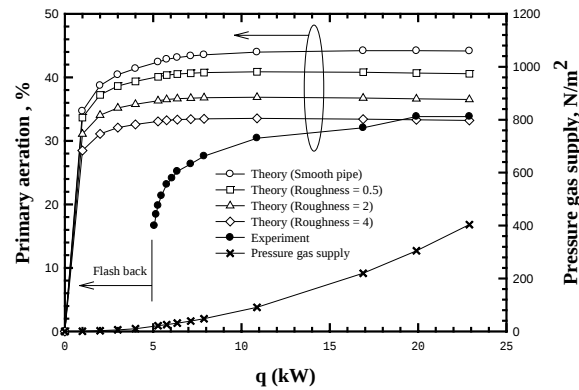
$$\text{Primary aeration, \%} = \frac{\%O_2}{(A/F)_{\text{stoi.}} \times (21 - \%O_2)} \times 100 \quad (15)$$

จากนั้นทำการทดลองซ้ำเหมือนเดิมโดยการปรับอัตราการไหลของแก๊สเชื้อเพลิงที่ค่าต่างๆ เพื่อศึกษาคุณลักษณะการเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรกว่ามีแนวโน้มในทิศทางใด

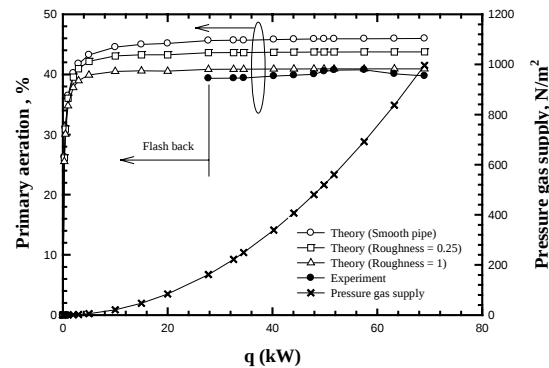
4. ผลการทดลอง

รูปที่ 4 แสดงผลการวัดปริมาณอากาศส่วนแรกที่ใช้ในการเผาไหม้ซึ่งจะแสดงในรูปของ Primary Aeration โดยเตาที่ใช้ในการทดลองคือเตาขนาด KB-5 พบว่าปริมาณ Primary Aeration จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเนื่องจากความดันป้อนที่สูงขึ้น จึงส่งผลให้โมเมนต์ที่ทางออกหัวฉีดสูงและสามารถเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรกที่อยู่บริเวณใกล้ๆ หัวฉีดแก๊สได้มากขึ้นจนกระทั่งถึงเมื่อค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงสูงๆ เนื่องจากถูกจำกัดโดยขนาดของท่อผสมและทางออกของเปลวไฟ โดยปริมาณ Primary Aeration จะมีค่ามากที่สุดประมาณ 32% ขณะเดียวกันผลจากการคำนวณโดยใช้สมการ (14) นั้นมีแนวโน้มเหมือนกับการทดลองจริง โดยขึ้นอยู่กับค่าความขรุขระของผิวภายในท่อผสมซึ่งทำการวัดจริงไม่ได้ ดังนั้นในการคำนวณจึงพิจารณาในกรณีทั้งผิวเรียบและผิวขรุขระระดับต่างๆ ซึ่งพบว่ายิ่งผิวท่อมีความขรุขระมากเท่าใดปริมาณ Primary Aeration จะมีค่าน้อยลง ทั้งนี้เกิดจากความสูญเสียจากแรงเสียดทานภายในท่อผสม ดังนั้นจะเห็นได้ว่าชุดหัวเผาที่ใช้ในการทดลองมีความขรุขระของผิวภายในท่อผสมเท่ากับ 4 เนื่องจากให้ผลการคำนวณใกล้เคียงกับการทดลองจริง

รูปที่ 5 แสดงผลการวัดปริมาณอากาศส่วนแรกที่ใช้ในการเผาไหม้ซึ่งจะแสดงในรูปของ Primary Aeration โดยเตาที่ใช้ในการทดลองคือเตาขนาด KB-10 พบว่าปริมาณ Primary Aeration จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิง อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าระดับของปริมาณ Primary Aeration ก่อนข้างคงที่เมื่อเปรียบเทียบกับเตาขนาด KB-5 เนื่องจากเป็นการทำงานของเตาที่ระดับอัตราการป้อนเชื้อเพลิงสูง (28 ถึง 69 kW) ซึ่งถูกจำกัดโดยขนาดของท่อผสมและทางออกของเปลวไฟ โดยปริมาณ Primary Aeration จะมีค่ามากที่สุดประมาณ 40% ขณะเดียวกันผลจากการคำนวณโดยใช้สมการ (14) นั้นมีแนวโน้มเหมือนกับการทดลองจริงในช่วงอัตราการป้อนเชื้อเพลิงสูง ส่วนในช่วงอัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่ำไม่มีผลการทดลองจริงเปรียบเทียบเนื่องจากข้อจำกัดการทำงานของหัวเผา(เกิดเปลวไฟดับ) จะเห็นได้ว่าชุดหัวเผาที่ใช้ในการทดลองมีความขรุขระของผิวภายในท่อผสมเท่ากับ 1 เพราะให้ผลการคำนวณใกล้เคียงกับการทดลองจริง



รูปที่ 4. ปริมาณอากาศส่วนแรกที่ใช้ในการเผาไหม้ของเตา KB-5



รูปที่ 5. ปริมาณอากาศส่วนแรกที่ใช้ในการเผาไหม้ของเตา KB-10

5. สรุป

เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์กับการทดลองพบว่าผลจากการคำนวณสอดคล้องกับการทดลองจริงดังแสดงในรูปที่ 4 และ 5 ซึ่งท่อผสมมีความหยาบสูงมาก ดังนั้นการทราบค่าความหยาบจึงเป็นสิ่งสำคัญ สมการที่ถูกสร้างขึ้นมานี้ให้ความแม่นยำเพียงพอที่จะใช้ในการทำนายปริมาณอากาศส่วนแรกที่ใช้ในการเผาไหม้ได้ โดยสมการดังกล่าวช่วยให้เข้าใจถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อการเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรกเพื่อใช้ในการเผาไหม้ ซึ่งจะเป็นพื้นฐานช่วยนำไปสู่การคำนวณในกรณีการเผาไหม้ที่มีการอุ่นอากาศต่อไป

รายการสัญลักษณ์

- A = cross section area, mm^2
- A/F = air-fuel ratio
- C_d = discharge coefficient
- C_L = loss coefficient
- $\%O_2$ = quantity of Oxygen, %
- P = pressure, N/m^2
- q = heat input, W
- R = entrainment ratio
- $\dot{V}$ = volume flow rate, m^3/s
- W = Wobbe number, MJ/m^3
- ρ = density, kg/m^3

σ = relative density of gas
 η = dimensionless pressure efficiency

Subscripts

a = entrained air
 g = gas fuel (LPG)
 j = injector outlet
 m = mixture
 o = ambient
 p = burner port
 $stoi.$ = stoichiometric
 t = throat

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2549. ข้อมูลพลังงาน (Energy Database) [Online]. <http://www.eppo.go.th/info/index.html> (accessed on 28 มิถุนายน พ.ศ. 2550).
- [2] James R. Maughan, James R. Cahoe, Reza Ghassemzadeh, Autoregulation of primary aeration for atmospheric burners, United States Patent, Patent No. 5104311, 1992.
- [3] H.R.N.Jones, 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 Cornner, N.E., 1977. Handbook of Industrial Gas Utilization Engineering Principles and Practice. Van Nostrand Reinhold Company, New York, pp. 216-313.