



ประหยัดเชื้อเพลิงด้วยออกซิเจนเสริมเปลวไฟ
Flame Improved by Oxygen-Enhanced

ศรีวิชัย สุสุข

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ปทุมธานี 12120

E-mail: sriwichai@tistr.or.th

Abstract

This experiment studies combustion gas burner flame by injecting pure oxygen into the oxidizer air stream. The oxygen enrichment can be achieved from 21% up to 21.86% (1 liter/min), 22.71% (2 liter/min), 23.57%, (3 liter/min), 24.42% (4 liter/min) and 25.28% (5 liter/min) respectively. This experiment studies the heat energy, flame shape, emission (CO and CO₂) combustion efficiency noise level and flue gas temperature at a certain fuel (LPG) flow rate 0.2 kg/min (200 g/min). The results indicate that the combustion rate, flame shape and temperature increased when the percentage of oxygen were added up. On the other hand, noise emission low level based on air combustion.

1 บทนำ

พลังงานในปัจจุบันถูกนำมาใช้ในปริมาณมาก โดยเฉพาะเชื้อเพลิงธรรมชาติ ที่ได้มาด้วยวิธีการแสวงหา ซึ่งธรรมชาติผลิตเก็บสะสมหลายล้านปี แต่เพียงไม่กี่สิบปีที่ผ่านมามีความต้องการใช้เชื้อเพลิงในปริมาณสูงขึ้นเป็นอย่างมาก ขณะที่ราคาเชื้อเพลิงมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติบางชนิดมีแนวโน้มหมดไปในไม่ช้า การแก้ปัญหาในปัจจุบันคือ หาพลังงานทดแทนจากพลังงานต่างๆ ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ ตลอดจนพยายามค้นคว้าวิจัยผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ แต่ในปัจจุบันสัดส่วนของพลังงานดังกล่าวยังมีปริมาณน้อยไม่ถึง 30 % ของปริมาณพลังงานทั้งหมดในปัจจุบัน พลังงานอีกที่เหลือ 70 % ใช้การเผาไหม้เชื้อเพลิงเป็นหลัก

การบรรเทาปัญหาดังกล่าว คือใช้เชื้อเพลิงเผาไหม้อย่างคุ้มค่า เพราะนอกจากจะช่วยประหยัดพลังงานได้แล้วยังสามารถช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมไปพร้อมกันอย่างยั่งยืน โดยปกติพลังงานความร้อนในกระบวนการเผาไหม้ เชื้อเพลิงสามารถใช้ประโยชน์ได้ประมาณ 60-65% ส่วนที่เหลือเป็นพลังงานสูญเสียไปกับก๊าซไอเสีย การนำพลังงานความร้อนจากก๊าซไอเสียกลับมาใช้ประโยชน์ เช่น การอุ่นเชื้อเพลิงก่อนเผาไหม้ อุ่นอากาศด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ยังไม่ใช่การแก้ปัญหาที่ดีที่สุด เพราะเป็นการแก้ปัญหาที่ปลายเหตุ และก๊าซไอเสีย (Flue Gas) ที่นำกลับมาใช้ประโยชน์ แม้ว่าจะมีพลังงานความร้อนอยู่จำนวนหนึ่ง แต่ก๊าซไอเสียหลังการเผาไหม้เป็นมลพิษทางอากาศ เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต คน พืช สัตว์ และเป็นสาเหตุทำให้โลกร้อน เช่นก๊าซที่เกิดขึ้นหลังการเผาไหม้เสมอคือก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เป็นก๊าซที่ไม่มีกลิ่นไม่มีรส เกิดขึ้นได้จากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์มีความเป็นพิษสูง เป็นอันตรายต่อสารในเม็ดเลือดแดง (Hemoglobin) การแก้ไขทำได้โดยเพิ่มปริมาณอากาศ หรือออกซิเจนเข้าไปในระบบเผาไหม้ให้เพียงพอกับเชื้อเพลิงที่ใช้ตามรูปที่ 2.1 และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เป็นก๊าซเฉื่อย (Inert Gas) ไม่มีสี ไม่มีกลิ่นเกิดจากกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่มีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนพบโดยธรรมชาติมีประมาณ 0.03% หรือ 300 ppm ประมาณ 3% ถึง 6% รับเข้าสู่ร่างกายทำให้ปวดศีรษะหายใจลำบากทำให้เกิดโรคทางปอดหอบหืด แต่ถ้ารับเข้าสู่ร่างกายมากกว่า 10% อาจทำให้เสียชีวิต นอกจากนี้ CO₂ ยังสร้างภาวะเรือนกระจก (Green house Gas) จากทั้งสองก๊าซหลักๆ ดังกล่าวที่เกิดขึ้นเสมอหลังเผาไหม้ จึงไม่คุ้มค่ากับพลังงานในส่วนนี้มากนักหากจะนำมาใช้งานเพื่อความยั่งยืนของพลังงาน

ดังนั้นการแก้ปัญหาที่ต้นเหตุ คือทำให้การเผาไหม้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ใช้เชื้อเพลิงน้อยที่สุดจึงน่าจะดีที่สุด ดังนั้นการศึกษากระบวนการเผาไหม้ต้องเข้าใจธรรมชาติของเปลวไฟ (Flame Structure) ก่อน กล่าวคือการเผาไหม้ประกอบด้วย เชื้อเพลิง ออกซิเจน และความร้อน แต่ในอากาศมีปริมาณออกซิเจนอยู่ประมาณ 21% ไนโตรเจนประมาณ 78% และอื่นๆอีกประมาณ 1% เมื่อใช้อากาศเผาไหม้การเผาไหม้จะประกอบด้วยเชื้อเพลิง ออกซิเจน ไนโตรเจน และความร้อน ไนโตรเจนเป็นก๊าซเฉื่อย (Inert Gas) ไม่ช่วยในการติดไฟ แต่ดูดกลืนพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้ทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ต่ำลง ดังนั้นถ้าเพิ่มปริมาณความเข้มข้นออกซิเจนมากกว่า 21% เผาไหม้ จะทำให้มีสัดส่วนของไนโตรเจนลดลงทันทีเมื่อนำมาใช้ในกระบวนการเผาไหม้ ค่าความร้อนสูงกว่าการเผาไหม้ด้วยอากาศ และปริมาณของก๊าซไอเสีย ฝุ่นควันดำ ความดังของเปลวไฟ มีค่าทางด้านมลพิษน้อยลงเช่นกัน

2 พื้นฐานทฤษฎีการเผาไหม้

เมื่อก๊าซเชื้อเพลิงที่ประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (C_mH_n) ถูกเผาไหม้ การคำนวณใช้สมการดังนี้

$$C_mH_n + \alpha \cdot \left(m + \frac{n}{4}\right) \cdot \left(O_2 + \frac{0.79}{0.21} N_2\right) = mCO_2 + \frac{n}{2}H_2O + \alpha \cdot \frac{0.79}{0.21} \cdot \left(m + \frac{n}{4}\right) N_2 + (\alpha - 1) \cdot \left(m + \frac{n}{4}\right) O_2 \quad (1)$$

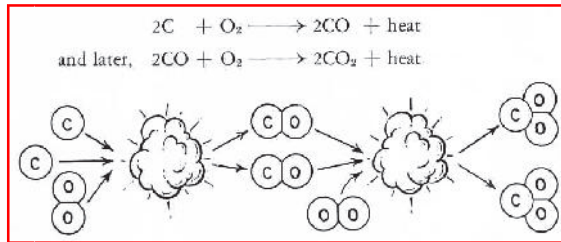
$\alpha = \frac{A_{ac}}{A_o}$ โดยที่

A_{ac} = ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ตามความจริง

A_o = ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ตามทฤษฎี

สมการการเผาไหม้ของคาร์บอน (C) $C + O_2 = CO_2$ (2)

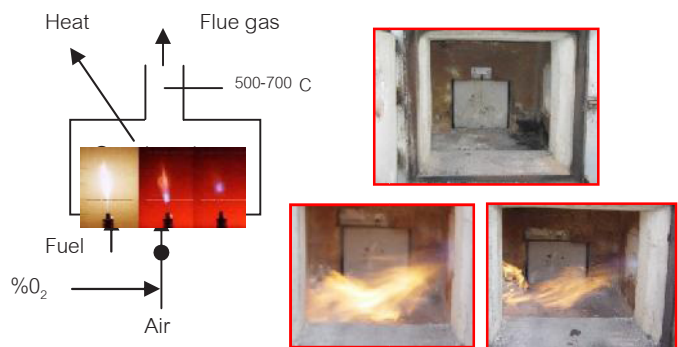
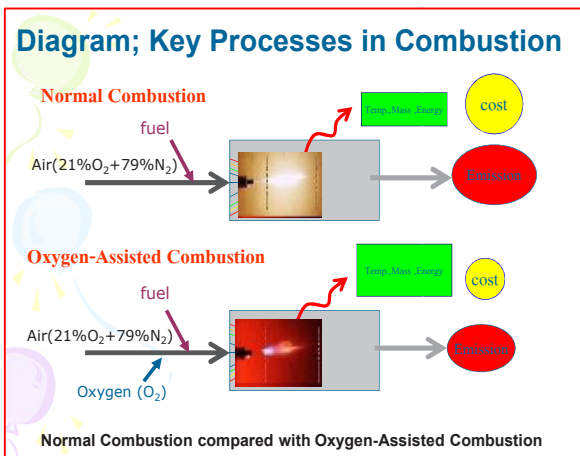
$C + \left(O_2 + \frac{79}{21} N_2\right) = CO_2 + \frac{79}{21} N_2$ (3)



รูปที่ 2.1 แสดงกระบวนการเผาไหม้และการเพิ่มออกซิเจน

3 รูปแบบการทดลองและอุปกรณ์

รูปแบบการทดลองตามรูปที่ 3.1 ชุดทดลองเป็นห้องเผาไหม้ใช้อิฐทนไฟ (Chamber) หัวเผาเชื้อเพลิง (Burner) ปล่องไอเสีย อุปกรณ์วัดอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ อุปกรณ์ควบคุมหัวเผา (Burner) ประกอบ ระบบทำงานด้วย มอเตอร์ไฟฟ้า (0.37kW) ระบบหม้อแปลงแรงดันไฟสูงทำให้เกิดประกายไฟที่เชื่อมหัวเทียน โซลินอยด์วาล์ว (SV1 ,SV2) จ่ายก๊าซแรงดันต่ำเข้ากับหัวฉีดและตรวจสอบเปลวไฟ โซลินอยด์วาล์ว ที่จ่ายก๊าซแรงดันสูง (SV3) จะเปิดหรือปิดตามสัญญาณควบคุมอุณหภูมิ เมื่อหัวเผาทำงานเกิดการเผาไหม้ที่สภาวะการทำงานปกติเผาไหม้โดยใช้อากาศเป็นตัวทำปฏิกิริยา ปรับอากาศส่วนเกิน (Excess air) ให้เหมาะสมกับเชื้อเพลิง ในการทดลองนี้ปรับอากาศเกินที่ 10% เพราะให้ค่าความร้อนสูงสุด (สำหรับหัวเผาชนิดอื่นๆ ใช้อากาศเกินมากหรือน้อยกว่านี้ได้ตามความเหมาะสมของแต่ละชนิดเชื้อเพลิง) เปิดถังออกซิเจนเพื่อให้ออกซิเจนผสมกับอากาศก่อนการเผาไหม้ ใช้อัตราการป้อน 1-5 ลิตรต่อนาที วัดก๊าซไอเสีย ด้วยเครื่องวัดก๊าซไอเสียแบบดิจิตอล ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยประมวลผลและเก็บข้อมูลตามรูปที่ 3.2 ชุดเครื่องมือตรวจวัดก๊าซออกซิเจน รูปที่ 3.3 ใช้วัดออกซิเจนก่อนการเผาไหม้



รูปที่ 3.1 รูปแบบการทดลองเปลวไฟเสริมออกซิเจน



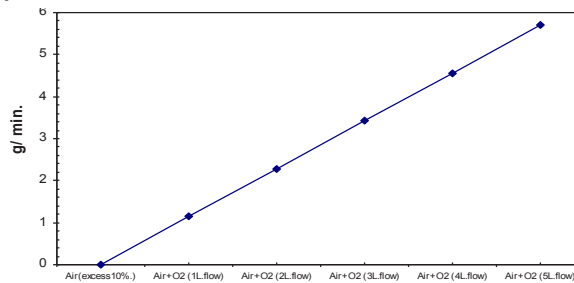
รูปที่ 3.2 ชุดเครื่องมือตรวจวัดก๊าซไอเสีย

รูปที่ 3.3 ชุดเครื่องมือตรวจวัดก๊าซออกซิเจน

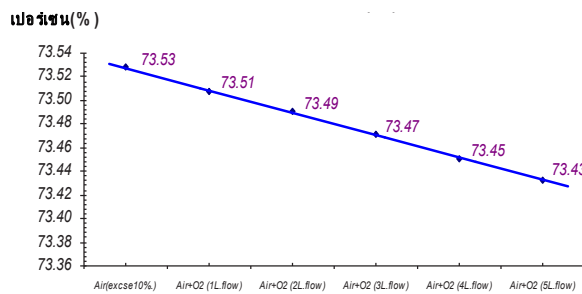
4 ผลการทดลอง

4.1 อัตราการป้อนออกซิเจนผสมกับอากาศเกิน10% (Excess air)

รูปที่ 4.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนในอากาศผสมกับออกซิเจนบริสุทธิ์ก่อนการเผาไหม้เริ่มจาก 1 ลิตรต่อนาที ถึง 5 ลิตรต่อนาที ใช้เครื่องมือวัดเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนในอากาศตามรูปที่ 3.3 ได้เปอร์เซ็นต์ออกซิเจน 21%, 21.86%, 22.71%, 23.57%, 24.42% และ 25.28% ตามลำดับ ในขณะที่สัดส่วนที่ก๊าซไนโตรเจนลดลงตามรูปที่ 4.2



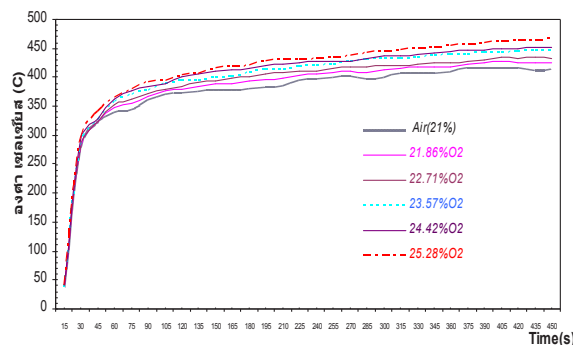
รูปที่ 4.1 อัตราการป้อนปริมาณออกซิเจน



รูปที่ 4.2 สัดส่วนของก๊าซไนโตรเจนลดลง

4.2 อุณหภูมิของก๊าซเสียที่ช่องตรวจวัดก๊าซ

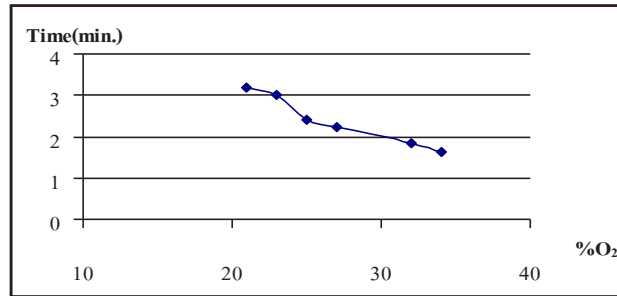
รูปที่ 4.3 เมื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนผสมกับอากาศเผาไหม้ อุณหภูมิที่สูงทำให้เกิดพลังงานความร้อนสูงขึ้นส่งผลให้อัตราการเผาไหม้เพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่อัตราการใช้เชื้อเพลิงคงที่อุณหภูมิก๊าซไอเสียที่สูง เมื่อนำก๊าซไอเสียกลับมาอุ่นอากาศ สามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้มากกว่าการเผาไหม้ด้วยอากาศที่สภาวะปกติ



รูปที่ 4.3 อุณหภูมิของก๊าซเสียที่เปอร์เซ็นต์ออกซิเจนแตกต่างกัน

4.3 เวลาการทดลองเผาไหม้

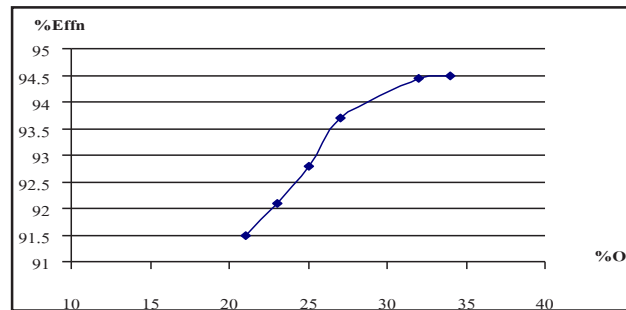
รูปที่ 4.4 เวลาการเผาไหม้ของชุดทดลอง เริ่มต้นทดลองเผาไหม้ที่อุณหภูมิที่ 34 ถึง 700 องศาเซลเซียส พบว่าใช้เวลาเผาไหม้ลดลงตามปริมาณออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นจาก 21%-34% O₂ โดยที่อัตราการใช้เชื้อเพลิงคงที่



รูปที่ 4.4 เวลาเผาไหม้ที่เปอร์เซ็นต์ออกซิเจนแตกต่างกัน

4.4 ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Effn.)

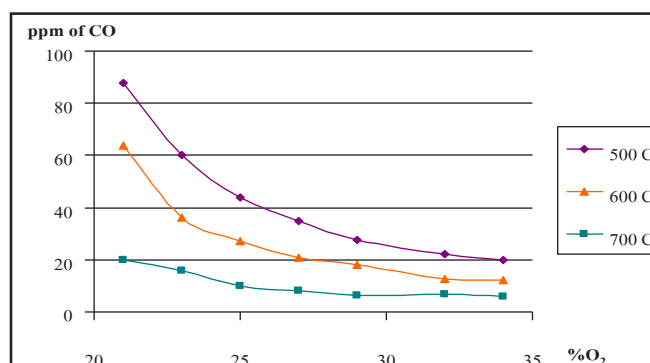
รูปที่ 4.5 เมื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนผสมกับอากาศเผาไหม้ทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงขึ้นตามลำดับ ในขณะที่อัตราการใช้เชื้อเพลิงคงที่



รูปที่ 4.5 แสดงประสิทธิภาพการเผาไหม้

4.5 ผลการวัดค่าคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

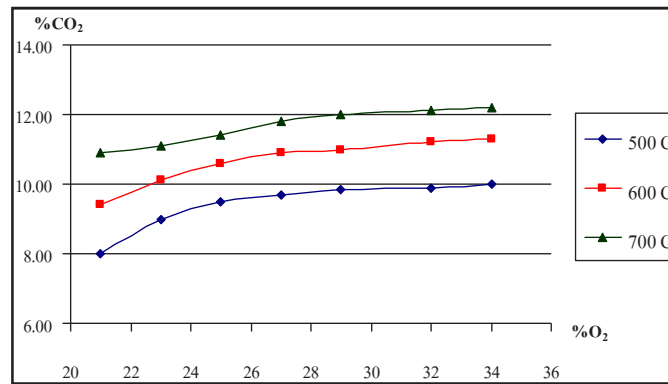
รูปที่ 4.6 ค่าของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่เกิดจากการเผาไหม้ลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนเข้าไปในระบบการเผาไหม้มากขึ้น ซึ่งก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์นี้เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เมื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนมากขึ้นทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ จากกราฟคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนมากขึ้นจาก 21%-34% O₂ ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 แสดงค่าคาร์บอนมอนอกไซด์

4.6 ผลการวัดค่าคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)

จากการวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ใช้ออกซิเจนแตกต่างกันจาก 21% - 34% O₂ รูปที่ 4.7 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์คาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้นตามปริมาณออกซิเจนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับอุณหภูมิที่สูง



รูปที่ 4.7 แสดงค่าคาร์บอนมอนอกไซด์

4.7 ตารางผลการทดลอง

จากตารางผลการทดลองเสริมออกซิเจนเผาไหม้ 34 ถึง 700 องศาเซลเซียส ในห้องเผาไหม้ แสดงเวลาการเผาไหม้เป็นนาที ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) กรัมต่อนาที และปริมาณน้ำหนักรวมตลอดการทดลอง เปอร์เซ็นต์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จากเครื่องมือวัดก๊าซไอเสีย รวมถึงปริมาณน้ำหนักรวมตลอดการทดลอง (กิโลกรัมต่อนาที) ที่เกิดขึ้นจากสมการพื้นฐานทฤษฎีการเผาไหม้ และความดังของเสียงเปลวไฟในห้องเผาไหม้ ที่เปอร์เซ็นต์ออกซิเจนแตกต่างกัน

%O ₂	Time(m)	LPG (g/m)	LPG (g)	%CO ₂	CO ₂ (kg)	Noise(dB)
21	3.2	200	640	10.4	2.30	95
21.86	3	200	600	10.6	2.16	93
22.71	2.4	200	480	11.2	1.73	90
23.57	2.1	200	420	11.8	1.51	87
24.42	1.9	200	380	12.1	1.37	84
25.28	1.8	200	360	12.3	1.30	82

หมายเหตุ %CO₂ ได้มาจากเครื่องมือวัดก๊าซไอเสีย (Flue gas) รูปที่ 3.2 CO₂(kg) ได้มาจากสมการพื้นฐานทฤษฎีการเผาไหม้ (1)

5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ผลการทดลองประหยัดเชื้อเพลิงด้วยออกซิเจนเสริมเปลวไฟ สามารถสรุปผลได้สามอย่างหลักคือ ประหยัดพลังงานเชื้อเพลิง LPG ประหยัดค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิง ลดมลพิษทางอากาศ มลพิษด้านเสียง กล่าวคือปกติใช้เชื้อเพลิง LPG เท่ากับ 640 กรัม สามารถลดการใช้เชื้อเพลิง LPG เท่ากับ 360 กรัม ลดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ตามรูปที่ 4.6 ลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จาก 2.3 กิโลกรัม เป็น 1.3 กิโลกรัม เพราะใช้เวลาเผาไหม้น้อยกว่า นอกจากนี้ยังสามารถลดเสียงของเปลวไฟจาก 95 dB เป็น 82 dB และท้ายที่สุดลดเวลาการทำงาน (เผาไหม้)

5.1 ลดปริมาณกระแสไฟฟ้า

การทำงานของหัวเผาใช้มอเตอร์หมุนขับเคลื่อนใบพัด (Blower) เพื่อดูดอากาศเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิง ดังนั้นออกซิเจนเสริมเปลวไฟสามารถลดปริมาณการใช้อากาศลง ตามความเข้มข้นของออกซิเจนที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้กำลังขับเคลื่อนใบพัดลดลง จากเหตุผลดังกล่าวสามารถลดขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้าหรือติดตั้งชุดปรับความเร็วรอบ (Inverter) เพื่อปรับความเร็วรอบให้เหมาะสมกับอัตราการเผาไหม้

5.2 รักษาสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

นอกเหนือจากการประหยัดเชื้อเพลิงแล้ว ค่ามลพิษหลังการเผาไหม้ของก๊าซไอเสียประกอบไปด้วยค่า CO, CO₂ ระดับความดังของเสียงลดลงตามลำดับ ดังนั้นการนำกระบวนการเผาไหม้ด้วยวิธีนี้มาใช้กับการเผาไหม้ จะช่วยรักษาและยืดอายุสิ่งแวดล้อมได้อย่างยั่งยืน

5.3 ข้อเสนอแนะ

วิธีการกำจัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) คือเพิ่มปริมาณออกซิเจนเข้าไปในระบบเผาไหม้ตามรูปที่ 2.1 ส่วนวิธีการกำจัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ CO₂ ตามเอกสารอ้างอิง [1] คือปล่อยลงในทะเลหรือบ่อน้ำลึก

เอกสารอ้างอิง

- [1] Charles E. Baukal, Jr., Ph.D. "Oxygen-Enhanced Combustion." CRC Press Boca Raton Boston London New York Washington D.C. 1998.
- [2] Calvin R. Brunner, P.E., D.E.E. Handbook of Incineration systems. McGraw-Hill, 1991.



- [3] P.T. Lacava, A.P. Pimenta, C.A. Gurgel Veras, J.A. Carvalho Jr. "Theoretical Analysis of Aqueous Residues Incineration with Oxygen Enriched Flames." Int. Comm. Heat Mass Transfer, Vol. 26, No.7, pp.1029-1040. 1999.
- [4] Charles E. Baukal, Jr. The John Zink Combustion Handbook. CRC Press Boca
- [5] Wallter R. Niessen. "Combustion and Incineration Processes Applications in Environmental Engineering". Marcel Dekker, 1994.
- [6] Stephan R. Turns. "An Introduction to Combustion". McGraw-Hill, Inc 2000.
- [7] Stewart Jepson. "Oxygen-Enriched Combustion Provides Advantages in Al-Melting Furnaces". Industrial Heating, June. 2005.
- [8] G.F. Melo. "A Case Study of Air Enrichment in Rotary Klin Incineration", J. Comm. Heat Mass Transfer, Vol. 25, No. 5, pp. 681-692.
- [9] Sriwichai Susuk. 2007. "Combustion and an Emission in Incinerator", Thailand Institute of Scientific and Technological Research, September 20th, 2007.
- [10] กระทรวงพลังงาน. 2549. "คู่มือฝึกอบรมการอนุรักษ์พลังงาน"