บทที่ 4

การศึกษาด้านวิศวกรรม

ในการศึกษาด้านวิศวกรรมนี้จะทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพเชิงความร้อน มลภาวะ และค่าบำรุงรักษาของอุปกรณ์หม้อไอน้ำที่ใช้ก๊าซมีเทนจากก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง เปรียบเทียบกับอุปกรณ์ที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง

การศึกษาด้านประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ประสิทธิภาพเชิงความร้อน คือ ค่าดัชนีที่แสดงถึงอุปกรณ์ความร้อน หรือเครื่องจักรกลว่ามีความสามารถที่จะนำความร้อนที่ได้รับจากเชื้อเพลิงมาใช้ประโยชน์ได้มากน้อยเพียงใด โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการข้างล่าง

$$\text{ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำ} = \frac{\text{ปริมาณไอน้ำ (ค่าความร้อนไอน้ำ-ค่าความร้อนน้ำที่ป้อน)}}{\text{ปริมาณเชื้อเพลิง x ค่าความร้อนเชื้อเพลิง}} \quad (15)$$

ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำจะเกี่ยวข้องกับรายละเอียดต่อไปนี้[15]

1. ชนิดและการออกแบบของหม้อไอน้ำ เช่น การจัดพื้นผิวรับความร้อน ขนาด และรูปร่างของห้องเผาไหม้ และการไหลหมุนเวียนของน้ำและไอน้ำ เป็นต้น

2. การสูญเสียความร้อนของหม้อไอน้ำ เช่น การสูญเสียความร้อนไปกับผนังเตา และก๊าซเสียที่ปล่องไฟ

3. อุปกรณ์ที่ใช้เพื่อนำความร้อนกลับมาใช้ประโยชน์ เช่น เครื่องอุ่นอากาศอีโคโนไมเซอร์ (Economizer) และ เครื่องอุ่นน้ำที่ป้อน (Feedwater Heaters) เป็นต้น

4. คุณสมบัติของเชื้อเพลิง

5. อัตราการเผาไหม้ซึ่งขึ้นกับขนาดของห้องเผาไหม้และพื้นที่ผิวสัมผัสความร้อน

6. สภาวะการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ เช่น

6.1 สถานะของเชื้อเพลิงเมื่อเกิดการเผาไหม้

6.2 ปล่องไฟและแรงดันของลมที่เกิดขึ้น

6.3 การปรับแต่งหัวเผา

6.4 จำนวนของอากาศส่วนเกิน

6.5 ความสะอาดของพื้นที่ผิวรับความร้อน

6.6 อุณหภูมิและความชื้นของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้

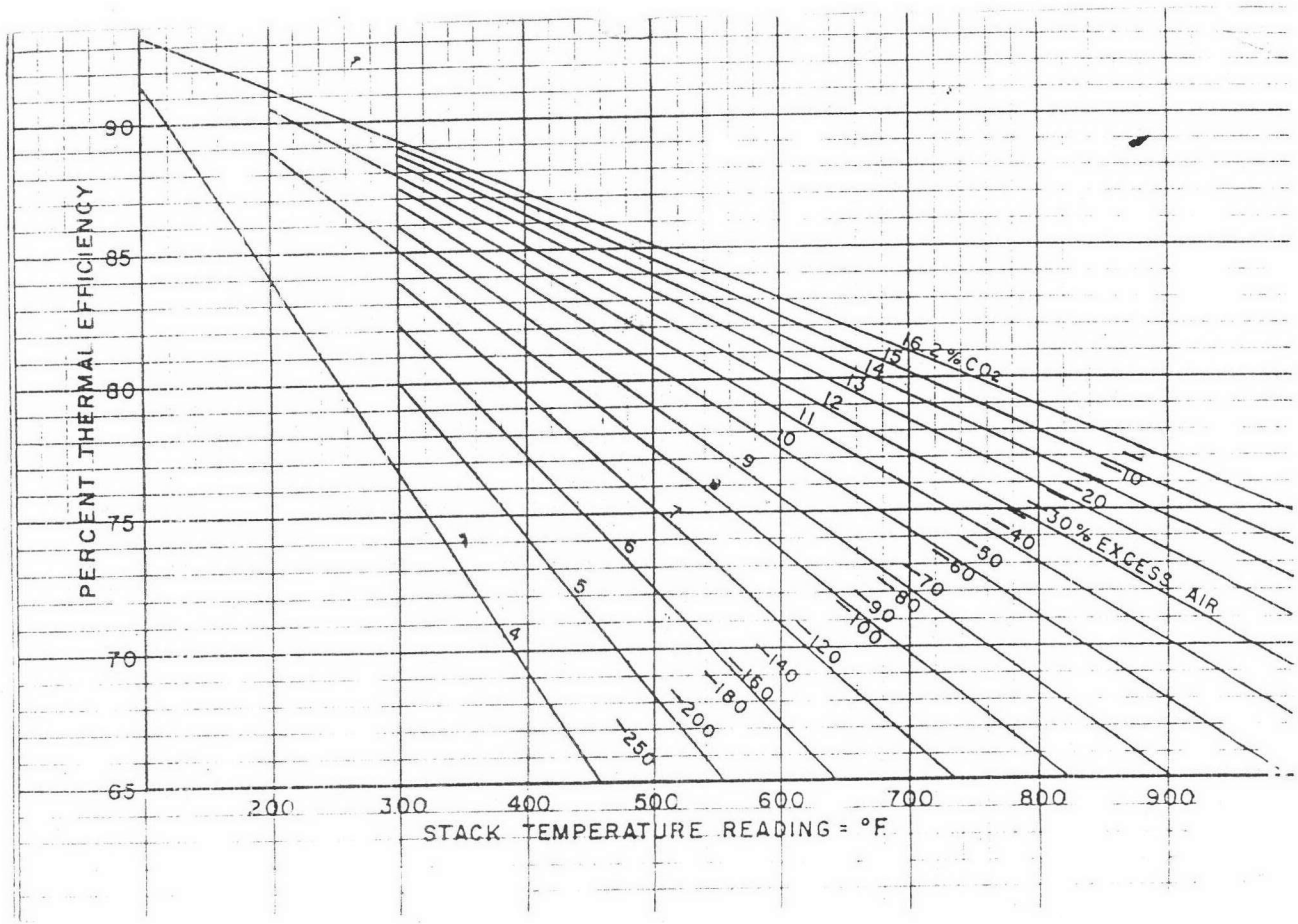
6.7 ความสมบูรณ์ของการเผาไหม้และส่วนของคาร์บอนที่เผาไหม้ไม่หมด

6.8 ลักษณะของการทำงาน เช่น ทำงานต่อเนื่อง หรือ ทำงานเป็นช่วง ๆ

จากที่ได้กล่าวมาแล้วจะเห็นว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำจะขึ้นกับสภาวะหลายกรณี ได้มีผู้ผลิตหัวเผาแห่งหนึ่งทำการศึกษาและสร้างแผนภูมิแสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำที่ใช้น้ำมันเตาและก๊าซธรรมชาติ เป็นเชื้อเพลิงสัมพันธ์กับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดอ๊อกไซด์ที่เหลือจากการเผาไหม้และอุณหภูมิของก๊าซเสียที่ปล่องไฟ ดังแผนภูมิที่ 4.1 และ 4.2

แผนภูมิที่ 4.1

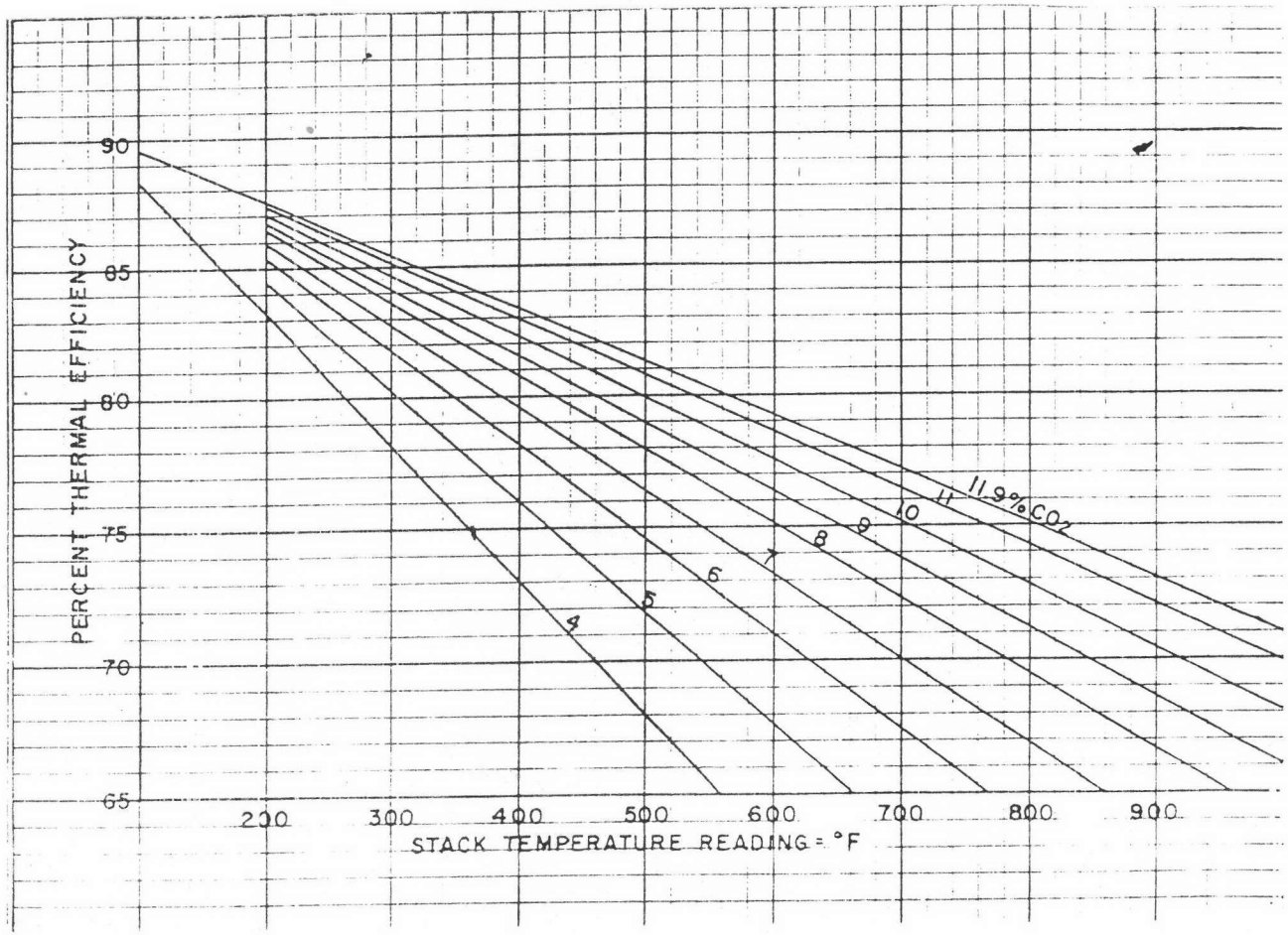
แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำน้ำมันเตา



ที่มา: Ray Burner Co.,Ltd. California,U.S.A. Ray Burners Oil, Gas, Combination Engineering Guide. (n.p.,n.d.)

แผนภูมิที่ 4.2

แผนภูมิแสดงประสิทธภาพเชิงความร้อนหม้อไอน้ำก๊าซธรรมชาติ



ที่มา: Ray Burner Co.,Ltd. California, U.S.A. Ray Burners Oil, Gas, Combination Engineering Guide. (n.p.,n.d.)

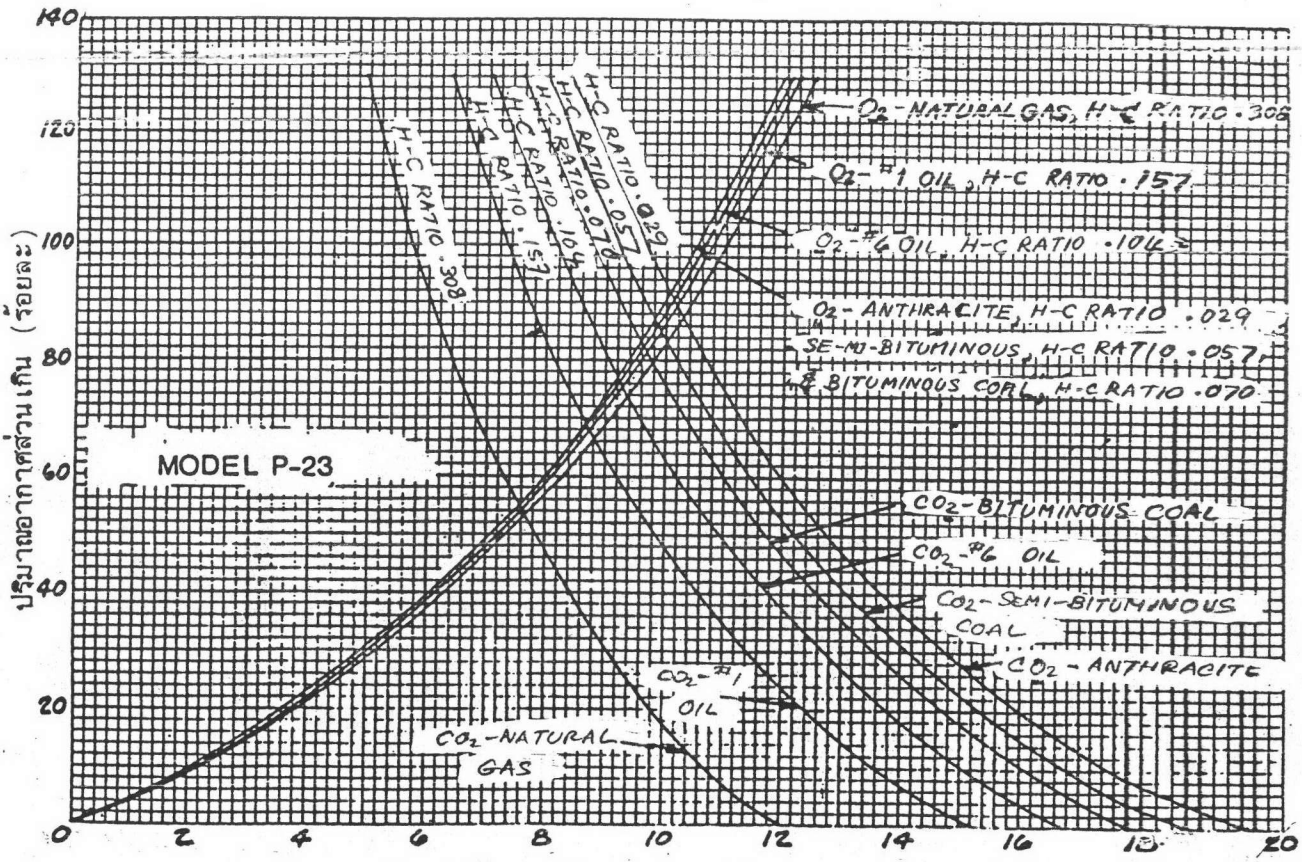
ปริมาณก๊าซที่เหลือจากการเผาไหม้ เช่น ก๊าซอ๊อกซิเจน ก๊าซคาร์บอนมอน๊อกไซด์ และก๊าซคาร์บอนไดอ๊อกไซด์ เป็นต้น จะเป็นตัวบอกถึงสภาพความสมบูรณ์ของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ปริมาณก๊าซอ๊อกซิเจนในไอเสียควรจะไม่มี อ๊อกซิเจนควรทำปฏิกิริยากับสารไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด[16] แต่ในทางปฏิบัติถ้าให้อากาศสำหรับการเผาไหม้ตามทฤษฎีอาจจะทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เกิดเขม่าและควันดำได้ จึงต้องป้อนอากาศส่วนเกิน (Excess Air) ให้เพื่อให้แน่ใจว่าเชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ถ้าการเผาไหม้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ คาร์บอนทั้งหมดในเชื้อเพลิงจะเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดอ๊อกไซด์โดยไม่มีก๊าซคาร์บอนมอน๊อกไซด์ขึ้น

ปริมาณอากาศส่วนเกินของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะไม่เท่ากัน เช่น น้ำมันเตาต้องการอากาศส่วนเกินร้อยละ 40[17] และก๊าซมีเทนต้องการอากาศส่วนเกินร้อยละ 1[4] การที่น้ำมันเตาต้องการอากาศส่วนเกินมาก เนื่องจากน้ำมันเตามีความหนืดสูง เมื่อจะทำการสันดาปจำเป็นจะต้องทำการแตกตัวให้เป็นฝอยละอองที่ละเอียดที่สุด แต่บางส่วนอาจจะแตกตัวได้ละเอียดไม่พอจึงจำเป็นต้องให้อากาศส่วนเกินมาก เพื่อให้แน่ใจว่าการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจะสมบูรณ์ ส่วนก๊าซมีเทนจะไม่มีปัญหานี้

ปริมาตรก๊าซอ๊อกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดอ๊อกไซด์จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงต่าง ๆ จะพิจารณาได้จากแผนภูมิที่ 4.3

แผนภูมิที่ 4.3

ปริมาตรก๊าซคาร์บอนไดอ๊อกไซด์และก๊าซอ๊อกซิเจนในไอเสีย เมื่อให้อากาศส่วนเกินในปริมาตรต่าง ๆ



ที่มา: พินิจ กฤติยรังสรรค์, ชาตรี ศรีไพพรรณ และ สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร. Instrument for Energy Conservation. 2525 (ม.ป.ท.)

จากแผนภูมิที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า เมื่อก๊าซธรรมชาติใช้อากาศส่วนเกินร้อยละ 1 และน้ำมันเตาใช้อากาศส่วนเกินร้อยละ 40 จะได้ปริมาตรก๊าซคาร์บอนไดอ๊อกไซด์ และก๊าซอ๊อกซิเจนสำหรับก๊าซธรรมชาติร้อยละ 11.8 และ 0.3 ตามลำดับ และปริมาตรก๊าซคาร์บอนไดอ๊อกไซด์และออกซิเจนสำหรับน้ำมันเตาชนิดความหนืด 600 ร้อยละ 10.6 และ 6.2 ตามลำดับ

อุณหภูมิของก๊าซเสียจะขึ้นอยู่กับชนิดของหม้อไอน้ำ เชื้อเพลิง อุปกรณ์การเก็บความร้อนกลับคืน (Heat Recovery)[18] และลักษณะการทำงาน เช่น ทำงานในภาวะที่ต้องการไอน้ำสูงสุด หรือ ทำงานในภาวะที่ต้องการไอน้ำปกติ เป็นต้น

<u>การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนหม้อไอน้ำของสถาบันต่าง ๆ</u>[15]

สมาคมวิศวกรเครื่องกลของสหรัฐอเมริกา (American Society of Machanical Engineers หรือ ASME) เป็นผู้ที่มีบทบาทมากในการวางมาตรการกำหนดมาตราฐานต่าง ๆ สำหรับหม้อไอน้ำเพื่อความปลอดภัยในสหรัฐอเมริกา ซึ่งปัจจุบันได้เป็นที่ยอมรับทั่วโลก สมาคมต่าง ๆ ของประเทศสหรัฐอเมริกาได้ทำการทดสอบหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำตามมาตราฐาน ASME และได้ผลลัพธ์ดังนี้

1. การทดสอบของ Institute for Boiler and Radiator Manufacturers (IBR) ปรากฏว่าหม้อไอน้ำที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนไม่ต่ำกว่าร้อยละ 68 ส่วนหม้อไอน้ำที่ใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิงตามข้อกำหนดของ American Gas Association (AGA) จะได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนประมาณร้อยละ 75

2. การทดสอบของ American Gas Association ปรากฏว่าหม้อไอน้ำที่ใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิงจะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนอย่างน้อยที่สุดร้อยละ 75 ซึ่งถ้าใช้อุปกรณ์นำความร้อนที่ปล่องไฟกลับมาใช้ประโยชน์อีกจะได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนประมาณร้อยละ 80

3. การทดสอบของ Mechanical Contractors Association of America (MCA) ปรากฏว่าหม้อไอน้ำที่ใช้น้ำมันเตาชนิดที่ให้ค่าความร้อน 9319.8 แคลลอรี่ต่อลิตร เป็นเชื้อเพลิงจะให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนร้อยละ 65 ที่ภาระความต้องการไอน้ำสูงสุด ส่วนหม้อไอน้ำที่ใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิงจะให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนร้อยละ 70 ที่ภาระความต้องการไอน้ำสูงสุดเช่นกัน

จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าที่ภาระความต้องการไอน้ำสูงสุดหม้อไอน้ำที่ใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิงจะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าหม้อไอน้ำที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงประมาณร้อยละ 5 และจาก

การสอบถามวิศวกรประจำโรงงานอุตสาหกรรมบริเวณปู่เจ้าสมิงพรายและบางพลี รวมทั้งวิศวกรฝ่ายขายแผนกสินค้าอุตสาหกรรมของบริษัทแห่งหนึ่ง[19] ได้ข้อมูลว่าที่ภาวะความต้องการไอน้ำปกติ หม้อไอน้ำที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงจะวัดอุณหภูมิที่ปล่องไฟได้ประมาณ 220-230 องศาเซลเซียส หรือประมาณ 428-446 องศาฟาเรนไฮท์ และมีคาร์บอนไดอ๊อกไซด์ประมาณร้อยละ 10-11 ส่วนหม้อไอน้ำที่ใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิงจะมีอุณหภูมิที่ปล่องไฟประมาณ 190-200 องศาเซลเซียส หรือประมาณ 374-392 องศาฟาเรนไฮท์ และมีคาร์บอนไดอ๊อกไซด์ประมาณร้อยละ 12 ซึ่งจากแผนภูมิที่ 4.1 และ 4.2 จะสามารถหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงได้ประมาณร้อยละ 83.2 และหม้อน้ำที่ใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิงจะได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนประมาณร้อยละ 83.3 ซึ่งมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนใกล้เคียงกันมาก

การศึกษาด้านมลภาวะ

ในการศึกษาด้านมลภาวะนี้จะทำการศึกษาถึงก๊าซต่าง ๆ ที่เหลือหลังจากการเผาไหม้ของก๊าซธรรมชาติและน้ำมันเตา โดยจะประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนมอน๊อกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดอ๊อกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซพิษเป็นปัญหาต่อมลภาวะ ถ้ามีจำนวนมากจะเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิต ก๊าซซัลเฟอร์ไตรอ๊อกไซด์เป็นก๊าซที่จะกัดกร่อนต่อส่วนที่มีอุณหภูมิต่ำของหม้อไอน้ำ[19] และก๊าซไนโตรเจนอ๊อกไซด์ โดยพิจารณาได้จากตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1

ปริมาณก๊าซต่าง ๆ ที่เหลือจากการเผาไหม้ของก๊าซธรรมชาติและน้ำมันเตา

ชนิดของก๊าซ	น้ำมันเตาชนิด 1500 (กิโลกรัมต่อน้ำมัน 1 พันลิตร)	ก๊าซธรรมชาติ (กิโลกรัมต่อก๊าซ 1 พันลิตร)
ซัลเฟอร์ไดอ๊อกไซด์	54.15	9.6×10^{-6}
ซัลเฟอร์ไตรอ๊อกไซด์	0.71	-
คาร์บอนมอน๊อกไซด์	0.63	2.72×10^{-4}
ไนโตรเจนอ๊อกไซด์	2.18	1.92×10^{-3}

ที่มา: U.S. Environmental Protection Agency. Compilation of Air Pollutant Emission Factors. 3d ed. 1977 (n.p.)

จากบทที่ 3 ทราบว่าน้ำมันเตาชนิด 1500 ให้ค่าความร้อนประมาณ 9999.73 กิโลแคลลอรี่ต่อลิตรที่อุณหภูมิ 15.6 องศาเซลเซียส และก๊าซมีเทนที่ได้จากก๊าซธรรมชาติให้ค่าความร้อนประมาณ 8450,94 กิโลแคลลอรี่ต่อ 1 พันลิตร ดังนั้นจากการเปรียบเทียบก๊าซที่เหลือหลังจากเผาไหม้ของเชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิดในตารางที่ 4.1 เมื่อทำการเผาไหม้เชื้อเพลิงให้ได้ปริมาณความร้อนเท่ากัน จะเห็นว่าน้ำมันเตาให้ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดอ๊อกไซด์ คาร์บอนมอน๊อกไซด์ และ ไนโตรเจนอ๊อกไซด์ มากกว่าก๊าซธรรมชาติ ซึ่งก๊าซเหล่านี้ มีผลต่อสภาวะแวดล้อมมากซึ่งต้องทำการควบคุมปริมาณไม่ให้สูงจนเป็นอันตรายต่อชีวิตมนุษย์และสัตว์

ส่วนก๊าซซัลเฟอร์ไตรอ๊อกไซด์นั้น เมื่อใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงก๊าซนี้จะไม่เกิดขึ้น ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์ที่ใช้ไม่เกิดความเสียหายจากการกัดกร่อนของก๊าซนี้ ซึ่งต่างกับอุปกรณ์ที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง

<u>การศึกษาเปรียบเทียบค่าบำรุงรักษา</u>

จากการที่ขบวนการเผาไหม้ของน้ำมันเตาและก๊าซมีเทนแตกต่างกัน คือ ก๊าซมีเทนเพียงแต่ผสมกับอากาศในอัตราส่วนที่พอเหมาะ ใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินไม่มากนักก็จะเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ได้ ในขณะที่น้ำมันเตาจำเป็นจะต้องอุ่นตัวเพื่อให้ความหนืดลดลงให้พอเหมาะกับอุปกรณ์หัวเผา หลังจากนั้นก็จะถูกทำให้เกิดการแตกตัวเป็นฝอยละอองที่ละเอียดที่สุดและผสมกับอากาศเพื่อทำการเผาไหม้ต่อไป ซึ่งในการแตกตัวของน้ำมันเตาจะมีบางส่วนที่แตกตัวไม่ละเอียดพอเกิดเป็นเขม่าขึ้น นอกจากนี้น้ำมันเตายังมีส่วนผสมของกำมะถัน ทำให้เกิดซัลเฟอร์ไตรอ๊อกไซด์ ซึ่งมีผลต่อการกัดกร่อนอุปกรณ์หัวเผาดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

จากการสอบถามวิศวกรประจำโรงงานบริเวณปู่เจ้าสมิงพรายและบางพลี และวิศวกรฝ่ายขายของบริษัทแห่งหนึ่ง[19] ถึงค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาอุปกรณ์หัวเผาที่ใช้กับหม้อไอน้ำและเตาเผาที่มีขนาดและลักษณะการทำงานคล้ายคลึงกัน ปรากฏว่า อุปกรณ์หัวเผาที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง จะต้องมีการซ่อมแซมบ่อยกว่า เช่น ปลายหัวเผา (Burner Tip) จะเกิดการอุดตันเป็นประจำ ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องซื้อสำรองไว้หลายอัน เมื่อใช้งานระยะเวลาหนึ่งจะทำการเปลี่ยนหัวเผาเพื่อนำมาทำความสะอาดและนำปลายหัวเผาใหม่ใส่แทนเพื่อไม่ให้การทำงานหยุดชะงัก

นอกจากนี้ปั๊มน้ำมันเตาและตัวกรองสิ่งสกปรกจะต้องล้างทำความสะอาดเป็นประจำ เพื่อป้องกันการอุดตันในขณะที่หัวเผาซึ่งใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิงไม่จำเป็นต้องมีการบำรุงรักษาบ่อย ๆ ซึ่งอาจจะทำการตรวจสอบอุปกรณ์หัวเผาก๊าซเพียงปีละครั้งเท่านั้น

ส่วนค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา หัวเผาที่ใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิงจะเสียค่าใช้จ่ายเพียงประมาณร้อยละ 40–50 ของค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาหัวเผาที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงโดยคิดเพียงค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนอุปกรณ์ เนื่องจากอุปกรณ์หัวเผาก๊าซมีราคาสูงกว่าอุปกรณ์หัวเผาน้ำมันเตา แต่อุปกรณ์ที่ใช้กับหัวเผาก๊าซมีความทนทานและอายุการใช้งานนานกว่าอุปกรณ์ของหัวเผาน้ำมันเตา จึงทำให้ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำกว่า

<u>สรุป</u>

จากที่ได้กล่าวมาแล้วจะเห็นว่า เมื่อหม้อไอน้ำมีภาระความต้องการไอน้ำสูงสุด ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำที่ใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิงจะสูงกว่าหม้อไอน้ำที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงประมาณร้อยละ 5 และเมื่อภาระความต้องการไอน้ำปกติ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำทั้งสองจะไม่แตกต่างกันมากนัก

มลภาวะที่เกิดจากก๊าซเสียหลังจากการเผาไหม้ของน้ำมันเตาจะมีมากกว่าก๊าซเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ของก๊าซมีเทนที่ให้ปริมาณความร้อนเท่ากัน ในประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และประเทศในยุโรป รัฐบาลของประเทศเหล่านี้มีความเข้มงวดต่อปริมาณก๊าซเสียที่ถูกปล่อยออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรมมาก มีการกำหนดปริมาณก๊าซเสียเพื่อไม่ให้เกินขีดกำหนดที่จะเกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสภาพแวดล้อม โรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ จึงจำเป็นต้องมีเครื่องวัดและเครื่องควบคุมปริมาณก๊าซเสียเหล่านี้ เมื่อเกิดมีปริมาณก๊าซเสียเกินกว่าที่กำหนดไว้ โรงงานอุตสาหกรรมนั้นจะต้องหยุดดำเนินการ และทำการแก้ไขปรับปรุงให้ถูกต้องเสียก่อนจึงจะดำเนินการต่อไปได้ ซึ่งโรงงานเหล่านี้จะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการนี้เป็นจำนวนมาก

ประเทศไทยยังไม่มีการกำหนดและเข้มงวดต่อปริมาณการปล่อยก๊าซเสียของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งถ้ามีการกำหนดและเข้มงวดต่อปัญหานี้ โรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง

จะประสพกับปัญหานี้และอาจจะต้อง เสียค่าใช้จ่ายในการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อควบคุมปริมาณก๊าซ เสีย เป็นจำนวนมาก ในขณะที่โรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ก๊าซมี เทนจะประสพกับปัญหานี้น้อยมาก

การบำรุงรักษาอุปกรณ์หัว เผาที่ใช้ก๊าซมี เทน เป็น เชื้อ เพลิงน้อยครั้งกว่าหัว เผาที่ใช้น้ำมัน เตา เป็น เชื้อ เพลิง และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาจะน้อยกว่า โดยหัว เผาก๊าซจะ เสียค่าบำรุงรักษาประมาณ ร้อยละ 40-50 ของหัว เผาน้ำมัน เตา