

เชื้อเพลิงและการเผาไหม้

1. บทนำ.....	1
2 ประเภทของเชื้อเพลิง	1
3. การประเมินสมรรถภาพของเชื้อเพลิง.....	12
4. โอกาสในใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ.....	20
5. รายการตรวจสอบทางเลือก	22
6. ตารางงาน	27
7. เอกสารอ้างอิง.....	28

1. บทนำ

หัวข้อนี้จะอธิบายรูปแบบหลักๆ ของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ พอสังเขป

พลังงานจากแสงอาทิตย์จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีได้โดยกระบวนการสังเคราะห์แสง แต่ทว่า เมื่อเราเผาไม้หรือซากพืชที่ตายแล้วเกิดเป็นพลังงานในรูปของความร้อนและแสงสว่างนั้น เราก็กำลังปล่อยพลังงานเดิมของแสงอาทิตย์ ซึ่งสะสมอยู่ในพืชหรือไม้โดยกระบวนการสังเคราะห์แสง และเรายังรู้ดีกว่าไม้ไม่ใช่เป็นแหล่งเชื้อเพลิงหลักในปัจจุบัน โดยทั่วๆ ไปแล้ว เราจะใช้ก๊าซธรรมชาติ หรือน้ำมันเพื่อเป็นแหล่งของพลังงานที่ใช้ในบ้านเรือนของเรา และเราก็ใช้น้ำมันหรือถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงหลักในการทำน้ำให้ร้อนเพื่อให้เกิดเป็นไอน้ำซึ่งจะนำไปใช้ในการหมุนกังหันในระบบการผลิตพลังงานขนาดใหญ่ เชื้อเพลิงที่เป็นถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาตินี้ มักจะถูกเรียกว่า เป็นเชื้อเพลิงฟอสซิลหรือเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์

การที่เชื้อเพลิงหลากหลายชนิด (เช่น เชื้อเพลิงที่เป็นของเหลว ของแข็ง หรือก๊าซ) จะถูกนำมาใช้ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ราคา การหามาได้ การเก็บรักษา การควบคุม มลภาวะ และหม้อไอน้ำหรือ เตาเผาที่ใช้ ตลอดจนถึงอุปกรณ์การเผาไหม้ชนิดอื่นๆ

การมีความรู้ในเรื่องของคุณสมบัติต่างๆ ของเชื้อเพลิงนั้น จะช่วยให้สามารถเลือกใช้เชื้อเพลิงได้ถูกต้องตามวัตถุประสงค์และมีประสิทธิภาพ และมักจะมีการใช้วิธีการทดสอบทางห้องทดลองเพื่อประเมินธรรมชาติและคุณภาพของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

2 ประเภทของเชื้อเพลิง

ในส่วนนี้จะได้อธิบายถึงเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ทั้งแบบของแข็ง ของเหลว และก๊าซ

2.1 เชื้อเพลิงเหลว

เชื้อเพลิงเหลว เช่น น้ำมันเตาและ LSHS (เชื้อเพลิงชนิดมีกำมะถันต่ำและมีอยู่ในปริมาณมาก) มักจะถูกนำมาใช้มากในภาคอุตสาหกรรม เชื้อเพลิงเหลวมีคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

2.1.1 ความหนาแน่น

ความหนาแน่นคือ อัตราส่วนระหว่างมวลต่อปริมาตรของเชื้อเพลิง ณ อุณหภูมิอ้างอิง 15 องศาเซลเซียส การวัดความหนาแน่นทำได้โดยใช้เครื่องมือวัดความหนาแน่นเรียกว่า ไฮโดรมิเตอร์ ความรู้เกี่ยวกับความหนาแน่นนี้มีประโยชน์สำหรับการคำนวณเชิงปริมาณและการประเมินคุณสมบัติในการจุดติดไฟ ความหนาแน่นจะมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (กก./ม.³)

2.1.2 ความถ่วงจำเพาะ

ความถ่วงจำเพาะ คือ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักในหนึ่งหน่วยปริมาตรของน้ำมันต่อน้ำหนักของน้ำในปริมาตรที่เท่ากัน ณ อุณหภูมิที่กำหนดให้ ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงที่สัมพันธ์กับน้ำนี้ เรียกว่า ความถ่วงจำเพาะ โดยที่ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันค่าเท่ากับ 1 เนื่องจากความถ่วงจำเพาะเป็นค่าอัตราส่วน มันจึงไม่มีหน่วยในการนับ โดยทั่วไปแล้ว การวัดค่าความถ่วงจำเพาะจะทำได้โดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ ค่าความถ่วงจำเพาะจะถูกใช้ในการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับน้ำหนักและปริมาตร ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ถูกแสดงไว้ในตารางต่อไปนี้

ตาราง 1. ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ (ดัดแปลงมาจาก Thermax India Ltd.)

น้ำมันเชื้อเพลิง	L.D.O (น้ำมันดีเซลเบา)	น้ำมันเตา	L.S.H.S (น้ำมันที่มีกำมะถันต่ำ และมีปริมาณมาก)
ความถ่วงจำเพาะ	0.85 - 0.87	0.89 - 0.95	0.88 - 0.98

2.1.3 ความหนืด

ความหนืดของของไหล คือ การวัดค่าความต้านทานต่อการไหล ค่าความหนืดจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ตัวเลขค่าความหนืดจะไม่มี ความหมายใดๆ ถ้าหากไม่ได้มีการระบุค่าอุณหภูมิมาด้วย ความหนืดจะถูกวัดในหน่วยของ Stokes/Centistokes ในบางครั้ง ความหนืดอาจถูกวัดในหน่วยของ Engler หรือ Saybolt หรือ Redwood น้ำมันแต่ละชนิดจะมีลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ - ความหนืดเป็นของตัวเอง การวัดค่าความหนืดทำได้โดยใช้เครื่องมือวัดความหนืดที่เรียกว่า วิสโคมิเตอร์ (Viscometer)

ความหนืดเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดในการเก็บรักษาและการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง โดยมันจะมีผลต่อระดับของการอุ่น (pre-heating) ที่ต้องการในการจัดการควบคุมการเก็บรักษา และการพ่นเป็นฝอยที่น่าพอใจ ถ้าน้ำมันมีความหนืดมากเกินไป ก็จะทำให้สูบได้ยาก จุดติดไฟยากขึ้น และยังจัดการควบคุมได้ยากขึ้นด้วย การพ่นเป็นฝอยหรือการกระจายตัวเป็นละอองได้ไม่ดี ก็จะทำให้เกิดกากคาร์บอนสะสมขึ้นที่ปากหรือผนังของเตาเผา ดังนั้น การให้ความร้อนล่วงหน้าจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการพ่นเป็นฝอยที่เหมาะสม

2.1.4 จุดวาบไฟ

จุดวาบไฟของเชื้อเพลิงคือ ค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่เชื้อเพลิงสามารถถูกทำให้ร้อนจนกระทั่งเกิดไอของเชื้อเพลิงเพียงพอที่จะเกิดการวาบไฟ เมื่อมีการให้ประกายไฟวิ่งผ่าน จุดวาบไฟของน้ำเตา คือ 66 องศาเซลเซียส

2.1.5 จุดไหลเท

จุดไหลเทของเชื้อเพลิงคือ ค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่เชื้อเพลิงมีการไหลได้ เมื่อถูกทำให้เย็นตัวลงตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ จุดไหลเทจะเป็นตัวบ่งชี้คร่าวๆ ถึงอุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกสูบได้

2.1.6 ค่าความร้อนจำเพาะ

ค่าความร้อนจำเพาะ คือปริมาณความร้อนในหน่วยกิโลแคลอรี ที่ต้องการใช้ในการทำให้น้ำมัน 1 กิโลกรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส ค่าความร้อนจำเพาะมีหน่วยเป็นกิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมองศาเซลเซียส และจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.22 ถึง 0.28 โดยจะขึ้นอยู่กับค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมัน ค่าความร้อนจำเพาะจะเป็นตัวบ่งบอกว่า จะต้องใช้ไอน้ำหรือพลังงานไฟฟ้าเท่าใดในการที่จะทำให้ให้น้ำมันร้อนขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ น้ำมันเบาจะมีค่าความร้อนจำเพาะต่ำ ในขณะที่น้ำมันที่หนักกว่าจะมีค่าความร้อนจำเพาะที่สูงกว่า

2.1.7 ค่าพลังงานความร้อน

ค่าพลังงานความร้อน เป็นการวัดปริมาณความร้อนหรือ พลังงานที่ถูกผลิตขึ้นมา และถูกวัดปริมาณได้ทั้งในรูปแบบของค่าความร้อนที่ได้ทั้งหมดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงซึ่งเป็นค่าความร้อนรวมในการควมแน่นของไอน้ำ (GCV) หรือค่าความร้อนในการสันดาปสมบูรณ์ซึ่งเป็นค่าความร้อนที่สามารถนำไปใช้ในทางปฏิบัติได้ (NCV) ค่าความแตกต่างจะถูกวัดได้จากค่าความร้อนแฝงของไอน้ำที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการเผาไหม้ ค่าความร้อน GCV จะมีข้อสันนิษฐานว่าไอน้ำทั้งหมดที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเผาไหม้จะถูกควมแน่นทั้งหมด ส่วนค่าความร้อน NCV นั้น จะสันนิษฐานว่า น้ำจะออกไปพร้อมกับสิ่งที่ได้จากการเผาไหม้โดยที่ไม่ถูกควมแน่นไปเสียทั้งหมด เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ นั้นควรจะถูกเปรียบเทียบโดยใช้ค่าความร้อน NCV

ค่าพลังงานความร้อนของถ่านหิน จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปได้มากโดยจะขึ้นอยู่กับขี้เถ้า ปริมาณความชื้นและชนิดของถ่านหิน ในขณะที่ค่าพลังงานความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง จะมีค่าสม่ำเสมอมากกว่า แบบฉบับของค่าความร้อน GCVs ของเชื้อเพลิงเหลว ที่มักจะใช้อยู่ทั่วไป มีดังต่อไปนี้

ตาราง 2. ค่าพลังงานความร้อน GCV ของน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ (ดัดแปลงมาจาก Thermax India Ltd.)

<u>น้ำมันเชื้อเพลิง</u>	<u>ค่าความร้อน GCV (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)</u>
น้ำมันก๊าด	- 11,100
น้ำมันดีเซล	- 10,800
น้ำมันดีเซลเบา	- 10,700
น้ำมันเตา	- 10,500
น้ำมัน LSHS	- 10,600

2.1.8 กำมะถัน

ปริมาณของกำมะถันในน้ำมันเชื้อเพลิงนั้น จะขึ้นอยู่กับแหล่งของน้ำมันดิบ และกระบวนการกลั่นน้ำมัน โดยปกติแล้ว ปริมาณกำมะถันในส่วน of น้ำมันเชื้อเพลิงส่วนที่ตกค้าง (น้ำมันเตา) จะอยู่ในระหว่าง 2 - 4 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณปกติของกำมะถันในน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ จะแสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3. เปอร์เซ็นต์ของปริมาณกำมะถันในน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ (ดัดแปลงมาจาก Thermax India Ltd.)

น้ำมันเชื้อเพลิง	เปอร์เซ็นต์ของปริมาณกำมะถัน
น้ำมันก๊าด	0.05 - 0.2
น้ำมันดีเซล	0.05 - 0.25
น้ำมันดีเซลเบา	0.5 - 1.8
น้ำมันเตา	2.0 - 4.0
น้ำมัน LSHS	< 0.5

ข้อเสียหลักๆ ของกำมะถัน คือการที่ทำให้มีความเสี่ยงที่จะเกิดการกัดกร่อนโดยกรดกำมะถัน ซึ่งจะเกิดขึ้นทั้งในระหว่างและหลังจากการเผาไหม้ การควบแน่นในส่วนที่เย็นของปล่องไฟ อุปกรณ์อุณหภูมิต่ำและแผงท่อรับความร้อน

2.1.9 ปริมาณขี้เถ้า

ปริมาณของขี้เถ้าจะสัมพันธ์กับวัสดุอินทรีย์หรือเกลือที่อยู่ในน้ำมันเชื้อเพลิง ส่วนระดับของขี้เถ้าในเชื้อเพลิงสกัดนั้น ถือเป็นเรื่องเล็กน้อย เชื้อเพลิงดกค้ำจะมีปริมาณขี้เถ้าสูงกว่า เกลือเหล่านี้อาจจะเป็นส่วนประกอบของโซเดียม วานาเดียม แคลเซียม แมกนีเซียม ซิลิกอน เหล็ก อะลูมิเนียม นิกเกิล และอื่นๆ

โดยปกติแล้วปริมาณของขี้เถ้าจะอยู่ในช่วง 0.03 - 0.07 เปอร์เซ็นต์ ถ้ามีปริมาณขี้เถ้าในเชื้อเพลิงเหลวามากเกินไป ก็จะทำให้มีกากปนเปื้อนอยู่ในอุปกรณ์การเผาไหม้ ขี้เถ้ามีผลกระทบต่อด้านการสึกกร่อน ต่อส่วนปลายของหัวเผา และทำให้เกิดความเสียหายแก่วัสดุทนความร้อนอื่นๆ เมื่อต้องอยู่ในสภาวะอุณหภูมิสูงๆ ตลอดจนทำให้เกิดการกัดกร่อนที่อุณหภูมิสูงและการชำรุดของอุปกรณ์ต่างๆ

2.1.10 ปริมาณกากถ่านคาร์บอน

ปริมาณกากถ่านคาร์บอนจะเป็นตัวบ่งชี้ แนวโน้มของน้ำมันที่จะทิ้งกากน้ำมันที่เป็นถ่านแข็งลงไปบนพื้นผิวที่ร้อน เช่น ที่หัวเผาหรือหัวฉีด เมื่อส่วนประกอบของน้ำมันได้เกิดการระเหยกลายเป็นไอ น้ำมันคงค้างจะมีปริมาณกากถ่านคาร์บอนเท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์หรือมากกว่า

2.1.11 ปริมาณน้ำ

ปริมาณน้ำในน้ำมันเตา จะมีอยู่น้อยมากในระหว่างที่นำมาใช้ เพราะว่าผลิตภัณฑ์ในโรงกลั่น จะถูกจัดการและควบคุมในสภาวะที่ร้อน โดยจะมีการกำหนดมาตรฐานไว้ให้มีปริมาณไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์

น้ำอาจจะอยู่ในรูปแบบอิสระหรือสารแขวนลอย สามารถทำให้เกิดการชำรุดเสียหายแก่พื้นที่ผิวด้านในของเตาเผาในระหว่างการเผาไหม้ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ้ามีเกลือหลอมเหลวปนอยู่ด้วย นอกจากนั้น มันอาจจะทำให้เปลวไฟที่ปลายหัวเผา เกิดการกระจายตัวและดับลงได้ ซึ่งก็จะทำให้อุณหภูมิของเปลวไฟลดลงหรือทำให้เปลวไฟมีความยาวมากขึ้น

แบบฉบับของข้อมูลจำเพาะของน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ได้สรุปไว้แล้วในตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ 4. แบบฉบับของข้อมูลจำเพาะของน้ำมันเชื้อเพลิง (ดัดแปลงมาจาก Thermax India Ltd.)

คุณสมบัติ	น้ำมันเชื้อเพลิง		
	น้ำมันเตา	น้ำมัน L.S.H.S	น้ำมันดีเซลเบา
ความหนาแน่น(ปริมาณกรัม/ซีซี ที่ 150 องศาเซลเซียส)	0.89 - 0.95	0.88 - 0.98	0.85 - 0.87
จุดวาบไฟ (0 องศาเซลเซียส)	66	93	66
จุดไหลเท (0 องศาเซลเซียส)	20	72	18
G.C.V. (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)	10500	10600	10700
การตกตะกอน, เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักมากที่สุด	0.25	0.25	0.1
ปริมาณกำมะถันรวม, เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักมากที่สุด	มากถึง 4.0	มากถึง 0.5	มากถึง 1.8
ปริมาณน้ำ, เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรมากที่สุด	1.0	1.0	0.25
ซีดี, เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักมากที่สุด	0.1	0.1	0.02

2.1.12 การเก็บรักษาน้ำมันเชื้อเพลิง

จะเป็นอันตรายอย่างมากถ้าจะเก็บรักษาน้ำมันเชื้อเพลิงไว้ในถังธรรมดา ดังนั้นวิธีการเก็บรักษาที่ดีกว่าก็คือ การบรรจุน้ำมันเชื้อเพลิงไว้ในถังเก็บขนาดใหญ่รูปทรงกระบอก ไม่ว่าจะอยู่บนดินหรือฝังอยู่ดิน น้ำมันเตาที่ถูกขนถ่ายมาอาจจะมีกรปนเปื้อนของฝุ่นละออง น้ำ หรือ สิ่งเจือปนอื่นๆ

ขนาดของถังเก็บน้ำมันก็มีความสำคัญมาก ขนาดที่แนะนำก็คือ ขนาดที่สามารถบรรจุและเก็บรักษาน้ำมันไว้เพื่อการบริโภคปกติได้ออย่างน้อย 10 วัน โดยทั่วๆ ไปแล้ว ถังเก็บน้ำมันที่ใช้ในอุตสาหกรรมจะทำได้ด้วยเหล็กกล้า และติดตั้งอยู่เหนือพื้นดิน เพื่อความรอบคอบในการรักษาความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม จึงต้องมีการสร้างผนังกันน้ำมันไว้รอบๆ ถังเก็บน้ำมันด้วย เพื่อป้องกันการเกิดอุบัติเหตุในการทำน้ำมันหก

เนื่องจากว่าจำเป็นต้องมีการตกตะกอนของ ของแข็งและกากตะกอนน้ำมันภายในถังน้ำมัน เมื่อผ่านไปในช่วงเวลาหนึ่ง ก็ควรจะดำเนินการทำความสะอาดถังเก็บน้ำมันอยู่เป็นระยะๆ คือ ควรจะทำความสะอาดถังเก็บน้ำมันเชื้อเพลิงหนักปีละหนึ่งครั้ง ส่วนถังเก็บน้ำมันเชื้อเพลิงเบา นั้น ก็ควรทำความสะอาดทุกๆ 2 ปี ควรต้องมีความระมัดระวังอย่างมาก เมื่อทำการถ่ายเทน้ำมันออกจากเรือบรรทุกน้ำมันสู่ถังเก็บน้ำมัน ก่อนที่จะทำการใดๆ น้ำมันเชื้อเพลิงไม่ควรจะมีการเจือปนของฝุ่น กากตะกอน น้ำมัน หรือ น้ำ ก่อนที่จะถูกป้อนเข้าสู่ระบบการเผาไหม้

2.2 เชื้อเพลิงแข็ง (ถ่านหิน)

2.2.1 การแบ่งประเภทของถ่านหิน

ถ่านหินจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ แอนทราไซต์ บิทูมินัส และลิกไนต์ อย่างไรก็ตาม ก็ไม่ได้มีการแบ่งแยกที่ชัดเจนระหว่างถ่านหินทั้ง 3 ประเภทนี้ ถ่านหินจึงถูกแบ่งแยกย่อยออกเป็นแบบกึ่งแอนทราไซต์ กึ่งบิทูมินัส และซับ-บิ

ทუნีส ในทางธรณีวิทยา แอนทราไซท์ จะเป็นถ่านหินที่มีอายุเก่าแก่ที่สุดโดยจะเป็นถ่านหินแข็ง ที่มีส่วนประกอบหลักเป็นคาร์บอน มีสารระเหยเพียงเล็กน้อย และไม่มีควมชื้นเจือปน ลิกไนต์จะเป็นถ่านหินที่มีอายุน้อยที่สุดในทางธรณีวิทยา โดยจะเป็นถ่านหินชนิดอ่อนที่มีส่วนประกอบหลักเป็นสารระเหย และความชื้น และมีค่าคาร์บอนคงที่ต่ำ ค่าคาร์บอนคงที่คือค่าที่แสดงถึง คาร์บอนในสถานะอิสระ โดยจะไม่รวมกับธาตุอื่นๆ ส่วนสารระเหยจะหมายถึง สารประกอบที่เผาไหม้ได้ของถ่านหิน ซึ่งก็จะระเหยกลายเป็นไอเมื่อถูกทำให้ร้อน

ถ่านหินที่มักจะใช้ในอุตสาหกรรมของอินเดียได้แก่ ถ่านหินบิทูมินัสและซับ-บิทูมินัส การแบ่งระดับชั้นของถ่านหินในอินเดียจะขึ้นอยู่กับ ค่าพลังงานความร้อน ดังต่อไปนี้

ระดับชั้น	ช่วงค่าพลังงานความร้อน (หน่วยเป็นกิโลแคลอรี/ กิโลกรัม)
A	มากกว่า 6200
B	5600 – 6200
C	4940 – 5600
D	4200 – 4940
E	3360 – 4200
F	2400 – 3360
G	1300 – 2400

โดยปกติแล้ว ถ่านหินที่มีชื่ออยู่ในอุตสาหกรรมของอินเดียคือ ชั้น D, E และ F

องค์ประกอบทางเคมีของถ่านหิน จะมีอิทธิพลมากต่อความสามารถในการเผาไหม้ของถ่านหิน โดยถ่านหินจะถูกแบ่งกว้างๆ โดยพิจารณาจากคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมี

2.2.2 คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของถ่านหิน

คุณสมบัติทางกายภาพของถ่านหิน จะรวมถึงค่าความร้อน ปริมาณความชื้น สารระเหย และจีเถ้า

คุณสมบัติทางเคมีของถ่านหิน จะหมายความรวมถึง ส่วนประกอบของธาตุทางเคมีต่างๆ เช่น คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และกำมะถัน

ค่าความร้อนของถ่านหินจะเปลี่ยนแปลงไปตามแหล่งกำเนิดของถ่านหิน แบบลบบของค่าความร้อน GCV ของถ่านหินประเภทต่างๆ มีแสดงไว้ในตารางข้างล่างนี้

ตาราง 5 ค่า GCV สำหรับถ่านหินประเภทต่างๆ

ปัจจัย	ลิกไนต์ (แห้ง)	ถ่านหินอินเดีย	ถ่านหินอินโดนีเซีย	ถ่านหินแอฟริกาใต้
GCV (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)	4,500*	4,000	5,500	6,000

*GCV ของลิกไนต์ “ตามที่ได้รับมา” คือ 2500 – 3000

2.2.3 การวิเคราะห์ถ่านหิน

การวิเคราะห์ถ่านหินทำได้ 2 วิธี ได้แก่ การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ และการวิเคราะห์แบบประมาณ การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ จะบอกถึงธาตุต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของถ่านหิน ไม่ว่าจะเป็นของแข็งหรือก๊าซ ส่วนการวิเคราะห์แบบประมาณ จะหาค่าคาร์บอนคงที่ สารระเหย ค่าความชื้น และร้อยละของจีเถ้า การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุจะทำอย่าง

เหมาะสมในห้องทดลองโดยนักเคมีที่เชี่ยวชาญ ในขณะที่การวิเคราะห์แบบประมาณจะสามารถทำได้โดยใช้อุปกรณ์ง่าย (อาจจะพึงระลึกไว้ด้วยว่าคำว่า “ประมาณ” ในที่นี้ไม่ได้เกี่ยวข้องกับคำว่า “approximate”)

การวัดปริมาณความร้อน

การหาค่าปริมาณความร้อน ทำได้โดยการวางชิ้นตัวอย่างของถ่านหินดิบที่บดแล้วมีขนาด 200 ไมครอน ลงไปในเป้าหลอมที่เปิดทิ้งไว้ ซึ่งก็จะถูกนำไปใส่ในเตาเผาและให้อยู่ภายใต้อุณหภูมิ 108 ± 2 องศาเซลเซียส โดยมีฝาปิดเมื่อชิ้นตัวอย่างถูกทำให้เย็นลงในอุณหภูมิห้องแล้ว ก็ทำการชั่งน้ำหนักอีกครั้ง น้ำหนักส่วนที่หายไปนี้จะแสดงถึงปริมาณความร้อน

การวัดปริมาณสารระเหย

ชิ้นตัวอย่างของถ่านหินที่ถูกบดอัดแล้ว จะถูกนำมาชั่งน้ำหนัก แล้ววางลงไปในเป้าหลอมที่ปิดฝาไว้ จากนั้นจึงถูกทำให้ร้อนในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 900 ± 15 องศาเซลเซียส เสร็จแล้วทำชิ้นตัวอย่างให้เย็นลง แล้วทำการชั่งน้ำหนัก น้ำหนักส่วนที่หายไปจะแสดงถึงปริมาณความร้อนและปริมาณสารระเหย ส่วนที่เหลือคือถ่านหินโค้ก (คาร์บอนคงที่และขี้เถ้า) สำหรับรายละเอียดของวิธีการนี้ (รวมถึงการหาปริมาณคาร์บอนและขี้เถ้า) จะอ้างอิงถึง IS 1350 part I: 1984, part III และ IV

การวัดปริมาณคาร์บอนและขี้เถ้า

ฝาปิดจากเป้าหลอมที่ใช้ในการทดลองก่อนหน้านี้จะถูกนำออก แล้วเป้าหลอมก็จะถูกทำให้ร้อนโดยใช้หัวเผา Busen จนกระทั่งคาร์บอนถูกเผาทั้งหมด ส่วนที่เหลือซึ่งจะเป็นขี้เถ้าที่ไม่เผาไหม้ จะถูกนำมาชั่งน้ำหนัก ค่าความแตกต่างระหว่างน้ำหนักที่ชั่งได้ในครั้งก่อน กับน้ำหนักในครั้งนี้ ก็คือ ค่าคาร์บอนคงที่ ในทางปฏิบัติจริงๆ แล้ว ค่าคาร์บอนคงที่ (FC) จะหาได้จากการลบค่าความร้อนออกจาก 100 ซึ่งก็จะเป็นค่าของสารระเหยและขี้เถ้า

การวิเคราะห์แบบประมาณ

การวิเคราะห์แบบประมาณ จะบ่งบอกถึงค่าร้อยละโดยน้ำหนักของคาร์บอนคงที่ สารระเหย ขี้เถ้า และ ปริมาณความร้อนในถ่านหิน ปริมาณของคาร์บอนคงที่และ สารระเหยที่เผาไหม้ได้ จะมีผลโดยตรงต่อค่าความร้อนของถ่านหิน ค่าคาร์บอนคงที่ จะเป็นตัวให้ความร้อนหลัก ในระหว่างการเผาไหม้ ปริมาณสารระเหยสูงๆ จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงการจุดไฟได้ง่ายของเชื้อเพลิง ปริมาณขี้เถ้าจะมีความสำคัญ ในการออกแบบตะแกรงหรือกรับของเตาเผา ปริมาณการเผาไหม้ อุปกรณ์การควบคุมมลภาวะ และระบบการจัดการควบคุมเตาเผา ค่าแบบฉบับ จากการวิเคราะห์แบบประมาณของถ่านหินประเภทต่างๆ ได้แสดงไว้ในตาราง 6

ตาราง 5. แบบฉบับของการวิเคราะห์แบบประมาณของถ่านหินชนิดต่างๆ (เปอร์เซ็นต์)

ปัจจัย	ถ่านหินอินเดีย	ถ่านหินอินโดนีเซีย	ถ่านหินแอฟริกาใต้
ความร้อน	5.98	9.43	8.5
ขี้เถ้า	38.63	13.99	17
สารระเหย	20.70	29.79	23.28
คาร์บอนคงที่	34.69	46.79	51.22

คำอธิบายสำหรับปัจจัยต่างๆ มีดังนี้

คาร์บอนคงที่

คาร์บอนคงที่เป็นเชื้อเพลิงแข็งที่เหลืออยู่ในเตาเผา หลังจากที่สารระเหยได้ถูกกลั่นไปแล้ว โดยส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยคาร์บอน แต่ก็มีไฮโดรเจน ออกซิเจน กำมะถัน และไนโตรเจน ที่ได้ถูกขับออกไปพร้อมกับก๊าซปนอยู่ด้วย ค่าคาร์บอนคงที่จะเป็นการประมาณค่าความร้อนของถ่านหินอย่างคร่าวๆ

สารระเหย

สารระเหยได้แก่ มีเทน ไฮโดรคาร์บอน ไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซที่ไม่เผาไหม้อื่นๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจน ซึ่งจะพบได้ในถ่านหิน สารระเหยเหล่านี้เป็นดัชนีของก๊าซเชื้อเพลิงที่ปรากฏอยู่ ปริมาณของสารระเหยจะอยู่ในช่วง 20- 35 เปอร์เซ็นต์

สารระเหย:

- เพิ่มความยาวของเปลวไฟอย่างเป็นสัดส่วน และช่วยให้ถ่านหินจุดติดไฟได้ง่ายขึ้น
- เป็นตัวกำหนดค่าต่ำสุดของ ความสูงและปริมาตรของเตาเผา
- มีอิทธิพลต่อความต้องการอากาศและการกระจายของอากาศสำรอง
- มีอิทธิพลต่อการเสริมน้ำมันสำรอง

ปริมาณขี้เถ้า

ขี้เถ้าเป็นสิ่งเจือปนที่จะไม่ถูกเผาไหม้ จะมีปริมาณอยู่ในช่วง 5-40 เปอร์เซ็นต์ โดยขี้เถ้าจะ

- ลดกำลังความสามารถในการจัดการควบคุมและการเผา
- เพิ่มค่าใช้จ่ายในการจัดการควบคุม
- มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการเผาไหม้ และประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ
- เป็นสาเหตุของการเกิดเม็ดกรวดและซีโลหะ

ปริมาณความชื้น

ความชื้นในถ่านหินจะต้องถูกขนถ่าย จัดการควบคุม และจัดเก็บ เนื่องจากมันเข้ามาแทนที่สารที่เผาไหม้ได้ มันจึงลด ปริมาณความร้อนต่อกิโลกรัมของถ่านหิน โดยปกติแล้วจะอยู่ในช่วง 0.5-10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งความชื้นจะ

- เพิ่มการสูญเสียความร้อน เนื่องจากการระเหยกลายเป็นไอ และการที่ไอน้ำมีความร้อนมากเกินไป
- ช่วยให้มีกรดซัลฟิวริกของอนุภาคละเอียด
- ช่วยในการแผ่รังสีของการถ่ายเทความร้อน

ปริมาณกำมะถัน

โดยปกติแล้วจะมีอยู่ในช่วง 0.5 - 0.8 เปอร์เซ็นต์ โดยกำมะถันจะ

- มีผลกระทบต่อแนวโน้ม การเกิดเม็ดกรวดและซีโลหะ
- กัดกร่อนปล่องไฟและอุปกรณ์อื่นๆ เช่น อุปกรณ์อุ่นอากาศ และแผงท่อรับความร้อน
- จำกัดอุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ปล่องควัน

การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ

การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ จะบ่งบอกถึงส่วนประกอบที่เป็นธาตุเคมีต่างๆ เช่น คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน กำมะถัน และอื่นๆ การวิเคราะห์แบบนี้มีประโยชน์ในการกำหนดปริมาณของอากาศที่ต้องการสำหรับการเผาไหม้ ตลอดจนปริมาตร และส่วนประกอบของก๊าซเผาไหม้ ข้อมูลนี้เป็นที่ต้องการสำหรับการคำนวณอุณหภูมิของเปลวไฟ และการออกแบบของ ท่อในปล่องควัน แบบฉบับการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุของถ่านหินชนิดต่างๆ แสดงไว้ในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 7. แบบฉบับของการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุของถ่านหินชนิดต่างๆ

ปัจจัย	ถ่านหินอินเดียน, %	ถ่านหินอินโดนีเซีย, %
ความชื้น	5.98	9.43
แร่ธาตุ (1.1 x ซี้ถ้ำ)	38.63	13.99
คาร์บอน	41.11	58.96
ไฮโดรเจน	2.76	4.16
ไนโตรเจน	1.22	1.02
กำมะถัน	0.41	0.56
ออกซิเจน	9.89	11.88

ตารางที่ 8. ความสัมพันธ์ระหว่างการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุและการวิเคราะห์แบบประมาณ

%C	=	$0.97C + 0.7(VM - 0.1A) - M(0.6 - 0.01M)$
%H	=	$0.036C + 0.086(VM - 0.1xA) - 0.0035M^2(1 - 0.02M)$
%N ₂	=	$2.10 - 0.020 VM$
โดยที่		
C	=	% ของคาร์บอนคงที่
A	=	% ของซี้ถ้ำ
VM	=	% ของสารระเหย
M	=	% ของความชื้น

หมายเหตุ: สมการข้างต้นนี้ใช้ได้กับถ่านหินที่มีปริมาณความชื้นมากกว่า 15 เปอร์เซ็นต์

2.2.4 การเก็บรักษา การจัดการควบคุม และการเตรียมถ่านหิน

ความไม่แน่นอนของการหามาได้ และการขนส่งของเชื้อเพลิง ทำให้จำเป็นต้องมีการเก็บรักษาและการจัดการควบคุมที่ตามมา การเก็บรักษาถ่านหินมีข้อดีอยู่ เช่น การสร้างรายการจำเป็นต่างๆ ข้อจำกัดด้านพื้นที่ การเสื่อมคุณภาพ และอันตรายจากไฟ ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ ความสูญเสียเล็กน้อยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเก็บรักษาถ่านหินได้แก่ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (ออกซิเจนจะรวมตัวกับสารอื่น) ความสูญเสียจากลมและพื้นรอง การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน 1% ก็ยังมีผลกระทบเท่ากับคาร์บอน 1% อยู่ในถ่านหิน ส่วนการสูญเสียจากลมนั้น มักจะมีค่าประมาณ 0.5-1.0 % ของการสูญเสียทั้งหมด

เป้าหมายของการเก็บรักษาถ่านหินที่ดีคือ การลดความสูญเสียจากพื้นรอง และการสูญเสียจากการเผาไหม้ขึ้นเอง การเกิด การจับตัวบริเวณพื้นรองรับถ่านหิน ซึ่งจะเป็นการรวมตัวกันของฝุ่นถ่านหินและดิน ทำให้เกิดการสูญเสียจากพื้นรอง ในอีกแง่หนึ่ง ถ้าอุณหภูมิในกองถ่านหินเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน ก็จะนำไปสู่การเกิดการเผาไหม้ขึ้นเองของถ่านหินที่เก็บกองไว้ เราสามารถลดการสูญเสียจากพื้นรองนี้ได้โดยการ

1. เตรียมพื้นผิวที่แข็งและแน่นดีพอสำหรับการเก็บรักษาถ่านหิน
2. เตรียมช่องสำหรับการเก็บรักษาที่เป็นคอนกรีต และอิฐ

ในภาคอุตสาหกรรม วิธีการจัดการควบคุมถ่านหินนั้นมิตั้งแต่การปฏิบัติด้วยมือจนถึงการใช้ระบบสายพานลำเลียง มีข้อเสนอแนะว่าควรลดขั้นตอนในการจัดการควบคุมถ่านหิน เพื่อที่จะให้ลดการเกิดฝุ่นผงและปรากฏการณ์แยกตัวให้น้อยลง

การเตรียมถ่านหินก่อนที่จะป้อนเข้าสู่หม้อไอน้ำเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ดี ถ่านหินที่มีขนาดใหญ่ผิดปกติ จะทำให้เกิดปัญหาดังต่อไปนี้

- สภาวะการเผาไหม้ที่ไม่ดี และมีอุณหภูมิเตาเผาที่ไม่เพียงพอ
- มีอากาศส่วนเกินมากเกินไป ทำให้มีการสูญเสียจากการกองสุม
- เพิ่มปริมาณวัสดุที่ไม่ถูกเผาไหม้ในเชื้อเพลิง
- มีค่าประสิทธิภาพความร้อนต่ำ

หมายเหตุ คำอธิบายอย่างละเอียดของการเตรียมถ่านหิน จะมียูอยู่ในหัวข้อ “โอกาสในการประหยัดพลังงาน”.

2.3 เชื้อเพลิงก๊าซ

เชื้อเพลิงก๊าซเป็นประเภทที่มีความสะดวกสบายมากที่สุด เนื่องจากต้องการการจัดการควบคุมน้อย ใช้งานที่ง่ายที่สุด และแทบจะไม่ต้องมีการบำรุงรักษาระบบของหัวเผาเลย ก๊าซจะถูกส่งมาตามท่อของโครงข่ายของการแจกจ่าย ซึ่งจะมีความเหมาะสมสำหรับพื้นที่ที่มีประชากรอาศัยอยู่หนาแน่นหรือมีภาคอุตสาหกรรมอยู่เป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ตาม ผู้บริโภคขนาดใหญ่ ก็มักจะมีสถานที่เก็บก๊าซ และบางรายก็จะทำการผลิตก๊าซเองด้วย

2.3.1 ประเภทของเชื้อเพลิงก๊าซ

รายการของเชื้อเพลิงก๊าซประเภทต่างๆ มีดังนี้

- เชื้อเพลิงที่พบได้ตามธรรมชาติ
 - ก๊าซธรรมชาติ
 - ก๊าซมีเทนจากเหมืองถ่านหิน
- ก๊าซเชื้อเพลิงที่ทำมาจากเชื้อเพลิงแข็ง
 - ก๊าซที่ได้มาจากถ่านหิน
 - ก๊าซที่ได้มาจากขยะ และชีวมวล
 - ก๊าซที่ได้มาจากกระบวนการอุตสาหกรรม (ก๊าซจากเตาหลอมเหล็ก)
- ก๊าซที่ทำมาจากปิโตรเลียม
 - ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) หรือก๊าซหุงต้ม
 - ก๊าซจากการกลั่น
 - ก๊าซจากการแยกก๊าซจากน้ำมัน
- ก๊าซจากกระบวนการหมักบางชนิด

เชื้อเพลิงก๊าซที่มีใช้ตามปกติทั่วไปคือ ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ก๊าซธรรมชาติ, ก๊าซโพรพิลีนเซอร์, ก๊าซจากเตาหลอมเหล็ก ก๊าซจากเตาเผาถ่านโค้ก เป็นต้น ค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงก๊าซ จะมีหน่วยเป็น กิโลแคลอรีต่อลูกบาศก์เมตร ปกติ (kCal/Nm^3) คือที่อุณหภูมิปกติ (20 องศาเซลเซียส) และความดันปกติ (760 มิลลิเมตรปรอท).

2.3.2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงก๊าซ

เนื่องจากอุปกรณ์การเผาไหม้ก๊าซส่วนใหญ่ ยังไม่สามารถนำปริมาณความร้อนจากไอน้ำมาใช้ประโยชน์ได้ ค่าพลังงานความร้อน GCV จึงได้รับความสนใจน้อยมาก เชื้อเพลิงควรจะถูกเปรียบเทียบโดยพื้นฐานของค่าพลังงานความร้อน NGV

ซึ่งจะเป็นสิ่งที่ถูกต้องสำหรับก๊าซธรรมชาติ เนื่องจากปริมาณไฮโดรเจนที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้เกิดการจับตัวของน้ำเพิ่มขึ้น ในระหว่างการเผาไหม้

แบบฉบับด้านคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงก๊าซชนิดต่างๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 แบบฉบับของคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงก๊าซชนิดต่างๆ

ก๊าซเชื้อเพลิง	ความหนาแน่นสัมพัทธ์	ค่าความร้อนสูง (กิโลแคลอรี/ลบ.ม.)	อัตราส่วน อากาศ/เชื้อเพลิง - ลบ.ม. ของอากาศ ต่อ ลบ.ม. ของเชื้อเพลิง	อุณหภูมิของเปลวไฟ องศาเซลเซียส	ความเร็วของเปลวไฟ เมตร/วินาที
ก๊าซธรรมชาติ	0.6	9350	10	1954	0.290
โพรเพน	1.52	22200	25	1967	0.460
บิวเทน	1.96	28500	32	1973	0.870

2.3.3 ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG)

ก๊าซปิโตรเลียมเหลวหรือ LPG เป็นส่วนผสมหลักของโพรเพนและบิวเทนโดยมีส่วนผสมอีกเล็กน้อยของสารไม่อิ่มตัว (โพรพิลีนและ บิวทิลีน) และ C_2 เบาอยู่บ้าง และยังมีรวมถึง C_5 หนักอยู่บ้างบางส่วนเช่นกัน ดังนั้นในส่วนผสมของ LPG จะรวมถึงโพรเพน (C_3H_8) โพรพิลีน (C_3H_6) บิวเทนธรรมดา และไอโซ-บิวเทน (C_4H_{10}) และบิวทิลีน (C_4H_8) อาจกล่าวได้ว่า LPG เป็นไฮโดรคาร์บอน ซึ่งจะเป็นก๊าซที่มีความดันบรรยากาศปกติ แต่อาจถูกควบแน่นให้กลายเป็นของเหลวได้ในสภาวะอุณหภูมิปกติ โดยการใช้ความดันพอสมควร แม้ว่าจะถูกใช้ในสถานะก๊าซ แต่ก็ถึงจุดเก็บและขนส่งในสถานะของเหลวภายใต้ความดัน เพื่อความสะดวกและง่ายต่อการจัดการควบคุม เมื่อ LPG เหลวระเหย จะกลายเป็นก๊าซที่มีปริมาตรมากกว่าเดิมถึง 250 เท่า

ไอของ LPG จะหนาแน่นกว่าอากาศ ในกรณีของบิวเทนจะหนักเป็น 2 เท่าของโพรเพนและ 1.5 เท่าของอากาศ ผลที่ตามมาก็คือ ไอของ LPG อาจจะไปตามพื้นและท่อระบายน้ำและลงไปสู่ส่วนที่อยู่ต่ำกว่า และสามารถติดไฟได้ที่ระยะไกลจากแหล่งที่รั่วไหลออกมาได้ เมื่ออยู่ในไออากาศนิ่ง ก็จะมีการไหลอย่างช้าๆ แม้ว่าก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่รั่วไหลจะมีเพียงเล็กน้อย แต่ก็สามารถทำให้เกิดปริมาตรของส่วนผสมของไอและอากาศขึ้นได้อย่างมหาศาล และก็จะทำให้เกิดอันตรายได้อย่างใหญ่หลวง เพื่อเป็นการช่วยตรวจสอบการรั่วไหลออกสู่บรรยากาศ จึงต้องทำให้ LPG ทุกชนิดมีกลิ่น จะต้องมีการระบายอากาศที่ระดับพื้นอย่างเพียงพอในที่ๆ มีการจัดเก็บ LPG ด้วยเหตุผลทั้งหลายเหล่านี้ ถังบรรจุ LPG จะต้องไม่ถูกเก็บไว้ในห้องใต้ดินซึ่งจะไม่มีช่องระบายอากาศที่ระดับพื้น

2.3.4 ก๊าซธรรมชาติ

มีเทนจะเป็นส่วนผสมหลักของก๊าซธรรมชาติ ซึ่งจะมีถึง 95 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรทั้งหมด ส่วนประกอบอื่นๆ ได้แก่ อีเทน โพรเพน บิวเทน เพนเทน ไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซชนิดอื่นๆ อีกบ้างเล็กน้อย และยังมีสารประกอบกำมะถันอยู่ด้วยเล็กน้อย เมื่อมีเทนเป็นส่วนประกอบที่มากที่สุดของก๊าซธรรมชาติ จึงมีการใช้คุณสมบัติของมีเทน ในการเปรียบเทียบคุณสมบัติของก๊าซธรรมชาติกับเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ

ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูงและไม่ต้องการให้มีการจัดเก็บรักษา มันสามารถผสมกับอากาศได้ทันที และไม่ให้เกิควันหรือเขม่า ไม่มีกำมะถันเจือปน มีน้ำหนักเบากว่าอากาศ และ ถ้าเกิดการรั่วไหลก็จะฟุ้งกระจายไปในอากาศได้โดยง่าย แบบฉบับการเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนในน้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซแสดงไว้ในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงหลายๆ ชนิด

	น้ำมันเชื้อเพลิง	ถ่านหิน	ก๊าซธรรมชาติ
คาร์บอน	84	41.11	74
ไฮโดรเจน	12	2.76	25
กำมะถัน	3	0.41	-
ออกซิเจน	1	9.89	เล็กน้อย
ไนโตรเจน	เล็กน้อย	1.22	0.75
ซัลเฟอร์	เล็กน้อย	38.63	-
น้ำ	เล็กน้อย	5.98	-

3. การประเมินสมรรถภาพของเชื้อเพลิง

ในส่วนนี้จะได้อธิบายถึงหลักของการเผาไหม้ การที่สมรรถภาพของเชื้อเพลิงจะถูกประเมินได้โดยใช้การคำนวณแบบสมมูล (สโตคิโอเมตริก) ของความต้องการอากาศ ข้อคิดเห็นเรื่องอากาศส่วนเกิน และระบบลมของก๊าซเสีย

3.1 หลักการของการเผาไหม้

3.1.1 กระบวนการเผาไหม้

กระบวนการเผาไหม้ หมายถึงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างรวดเร็วของเชื้อเพลิงอันจะประกอบไปด้วย การเกิดความร้อนหรือความร้อนและแสงสว่าง การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่สมบูรณ์จะเป็นไปได้ก็ต่อเมื่อมีปริมาณออกซิเจนเต็มให้เพียงพอ

ออกซิเจน (O₂) เป็นหนึ่งในธาตุพื้นฐานของโลกซึ่งมีปริมาณถึง 20.9 % ของอากาศทั้งหมดของเรา การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างรวดเร็วของเชื้อเพลิง จะทำให้เกิดความร้อนในปริมาณมาก เชื้อเพลิงแข็งหรือเชื้อเพลิงเหลว จะต้องถูกเปลี่ยนให้เป็นก๊าซเสียก่อนที่จะเกิดการเผาไหม้ โดยปกติแล้วจะต้องมีการใช้ความร้อนในการเปลี่ยนของเหลวหรือของแข็งให้เป็นก๊าซ และก๊าซเชื้อเพลิงก็จะถูกเผาไหม้ในสถานะปกติ ถ้ามีปริมาณอากาศเพียงพอ

อากาศส่วนใหญ่จำนวน 79 เปอร์เซ็นต์ (ซึ่งไม่ใช่ออกซิเจน) คือ ไนโตรเจนและธาตุอื่นๆ อีกเล็กน้อย ไนโตรเจนถือว่าเป็นตัวทำลายเพื่อลดอุณหภูมิ ซึ่งจะต้องมีเพื่อให้ได้ออกซิเจนที่ต้องการสำหรับการเผาไหม้

ไนโตรเจนจะลดประสิทธิภาพของการเผาไหม้ โดยดูดความร้อนออกจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง และทำให้ก๊าซที่ปล่องควันสลายตัว สิ่งนี้จะเป็นการลดความร้อนที่มีไว้สำหรับการถ่ายเทความร้อนโดยผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อนที่พื้นผิว

นอกจากนั้น มันยังทำให้ปริมาณของการเผาไหม้ เพิ่มมากขึ้นเป็นผลพลอยได้ ซึ่งจะต้องเคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยน ความร้อน แล้วขึ้นไปสู่กลุ่มปล่องไฟได้เร็วขึ้น เพื่อให้มีการผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงเพิ่มเติม

ไนโตรเจนยังสามารถรวมตัวกับออกซิเจน (โดยเฉพาะเวลาที่มีอุณหภูมิเปลวไฟสูง) และทำให้เกิดออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ซึ่งเป็นมลพิษ คาร์บอน ไฮโดรเจน และกำมะถันในเชื้อเพลิง รวมตัวกับออกซิเจนในอากาศ แล้วก่อตัวเป็น คาร์บอนไดออกไซด์ ioni และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยจะปล่อยพลังงาน 8,084 กิโลแคลอรี 28,922 กิโลแคลอรี และ 2,224 กิโลแคลอรี ตามลำดับ ภายใต้เงื่อนไขที่แน่นอน คาร์บอนอาจจะรวมตัวกับ ออกซิเจนแล้วเกิดเป็น คาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งก็จะทำให้เกิดการปล่อยพลังงานความร้อนที่น้อยกว่า (2,430 กิโลแคลอรี ต่อกิโลกรัมของคาร์บอน) คาร์บอนที่ถูกเผาให้กลายเป็น CO₂ จะทำให้เกิดความร้อนต่อหน่วยของเชื้อเพลิงมากกว่า เมื่อเกิด CO หรือควันขึ้นมา

C	+ O ₂	→	CO ₂	+ 8,084 กิโลแคลอรี/กิโลกรัมของคาร์บอน
2C	+ O ₂	→	2 CO	+ 2,430 กิโลแคลอรี/กิโลกรัมของคาร์บอน
2H ₂	+ O ₂	→	2H ₂ O	+ 28,922 กิโลแคลอรี/กิโลกรัมของไฮโดรเจน
S	+ O ₂	→	SO ₂	+ 2,224 กิโลแคลอรี/กิโลกรัมของกำมะถัน

แต่ละกิโลกรัมของ CO ที่เกิดขึ้นมาจะหมายถึง การสูญเสียความร้อนเท่ากับ 5654 กิโลแคลอรี (8084 – 2430)

3.1.2 สาม T ของกระบวนการเผาไหม้

วัตถุประสงค์ของการเผาไหม้ที่ดี คือการปลดปล่อยความร้อนทั้งหมดในเชื้อเพลิง ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการควบคุมปัจจัย 3 ประการของการเผาไหม้ (สาม T) ซึ่งได้แก่ (1) อุณหภูมิ (Temperature) ซึ่งจะต้องมีค่าสูงพอที่จะจุดไฟและทำให้เชื้อเพลิง ติดไปตลอดเวลาได้ (2) ความแปรปรวน (Turbulence) ซึ่งจะเป็นตัวเริ่มการผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงและออกซิเจน และ (3) เวลา (Time) ซึ่งจะต้องมีเพียงพอสำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

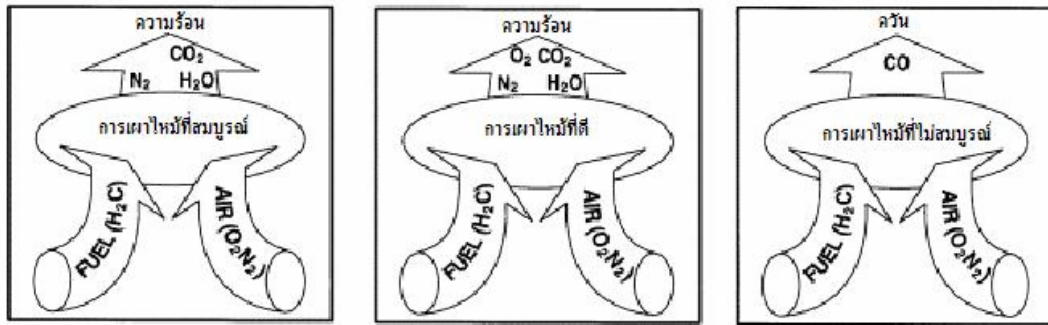
โดยทั่วไปแล้ว เชื้อเพลิงที่ไ้กันทั่วไป เช่น ก๊าซธรรมชาติและโพรเพน จะประกอบไปด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจน ส่วน ioni นั้นเป็นผลพลอยได้ของการเผาไฮโดรเจน ซึ่งจะกำจัดความร้อนออกจากก๊าซที่ปล่องควัน มิฉะนั้นแล้วจะจะมีการ ถ่ายเทความร้อนได้มากขึ้น

ก๊าซธรรมชาติจะมีไฮโดรเจนมากกว่า แต่มีคาร์บอนต่อกิโลกรัมน้อยกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ดังนั้นจึงทำให้เกิด ioni มากกว่า ผลที่ตามมาคือ จะมีการกำจัดความร้อนมากกว่าโดย อากาศเสียในระหว่างการเผาไหม้ก๊าซธรรมชาติ

ก๊าซธรรมชาติจะมีไฮโดรเจนมากกว่า แต่มีคาร์บอนต่อกิโลกรัมน้อยกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ดังนั้นจึงทำให้เกิด ioni มากกว่า ผลที่ตามมาคือ จะมีการกำจัดความร้อนมากกว่าโดย อากาศเสียในระหว่างการเผาไหม้ก๊าซธรรมชาติ

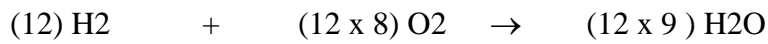
ถ้ามีเชื้อเพลิงหรืออากาศมากหรือน้อยเกินไปในระหว่างการเผาไหม้ ก็จะทำให้เกิดความไม่สมดุลของเชื้อเพลิง และเกิดก๊าซ คาร์บอนมอนอกไซด์ขึ้น จะต้องมีปริมาณออกซิเจน O₂ ที่แน่นอน เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ และต้องการอากาศ ส่วนเกินบางส่วน เพื่อให้แน่ใจว่าจะเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม ถ้ามีอากาศส่วนเกินมากเกินไป จะทำให้เกิดการ สูญเสียความร้อนและประสิทธิภาพ

ไม่ใช่เชื้อเพลิงทุกชนิดที่จะสามารถถูกเปลี่ยนให้กลายเป็นความร้อนแล้วถูกดูดซับโดยอุปกรณ์ผลิตไอน้ำ โดยปกติแล้วไฮโดรเจนในเชื้อเพลิงจะถูกเผา และเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำส่วนใหญ่ (ตามมาตรฐานของมลพิษทางอากาศ) จะมีกำมะถันเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย ดังนั้น ความท้าทายของประสิทธิภาพของการเผาไหม้จึงพุ่งไปที่คาร์บอนที่ไม่ถูกเผาไหม้ (ในชี๊ถั่วหรือ ก๊าซที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์) ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แทนที่จะเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ CO₂

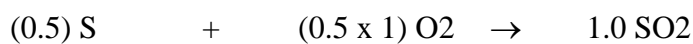


รูปที่ 1. การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ การเผาไหม้ที่ดีและการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์
(Bureau of Energy Efficiency, 2004)

ไฮโดรเจน 4 กิโลกรัม ต้องการออกซิเจน 32 กิโลกรัม เพื่อทำให้เกิดน้ำ 36 กิโลกรัม เพราะฉะนั้นไฮโดรเจน 1 กิโลกรัม จึงต้องการออกซิเจน 32/4 กิโลกรัม หรือเท่ากับ 8 กิโลกรัม



กำมะถัน 32 กิโลกรัม ต้องการออกซิเจน 32 กิโลกรัม เพื่อทำให้เกิดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 64 กิโลกรัม เพราะฉะนั้น กำมะถัน 1 กิโลกรัม จึงต้องการ 32/32 กิโลกรัม หรือเท่ากับ 1 kg กิโลกรัม



$$\begin{array}{rcl} \text{ต้องการออกซิเจนทั้งหมด} & = & 325.57 \text{ กิโลกรัม} \\ (229.07+96+0.5) & & \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} \text{ออกซิเจนที่อยู่แล้วในเชื้อเพลิง} & & \\ \text{เชื้อเพลิง 100 กิโลกรัม (ในน้ำ)} & = & 0.7 \text{ กิโลกรัม} \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} \text{ต้องการออกซิเจนเพิ่ม} & = & 325.57 - 0.7 \\ & = & 324.87 \text{ กิโลกรัม} \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} \text{เพราะฉะนั้นปริมาณของอากาศแห้งที่ต้องการ} & = & (324.87) / 0.23 \\ \text{(อากาศจะมีออกซิเจนอยู่ 23 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก)} & & \\ & = & 1412.45 \text{ kg of air} \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} \text{อากาศที่ต้องการตามทฤษฎี} & = & (1412.45) / 100 \\ & = & 14.12 \text{ kg of air / kg of fuel} \end{array}$$

เพราะฉะนั้น ในตัวอย่างนี้ ในแต่ละกิโลกรัมของน้ำมันเตาที่ถูกเผาไหม้ จะต้องการอากาศจำนวน 14.12 กิโลกรัม

3.2.2 การคำนวณของปริมาณ ตามทฤษฎีของ CO₂ ในก๊าซที่ปล่อยระบาย

การคำนวณปริมาณของ CO₂ ในก๊าซไอเสียที่ปล่อยระบายนี้เป็นสิ่งจำเป็น เพราะจะสามารถนำไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณอากาศส่วนเกินในก๊าซไอเสียที่ปล่อยระบาย ปริมาณของอากาศส่วนเกินจำนวนที่แน่นอนนี้จะถูกต้องการสำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของน้ำมันเตา อย่างไรก็ตามปริมาณของอากาศส่วนเกินที่มากเกินไปจะทำให้เกิดการสูญเสียความร้อน และปริมาณอากาศส่วนเกินที่น้อยเกินไปจะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ สามารถคำนวณปริมาณของ CO₂ ในก๊าซไอเสียที่ปล่อยระบายได้ดังนี้

$$\begin{array}{rcl} \text{ไนโตรเจนในก๊าซไอเสีย} & = & 1412.45 - 324.87 \\ & = & 1087.58 \text{ กิโลกรัม} \end{array}$$

สำหรับปริมาณทางทฤษฎีของ CO₂ เป็นเปอร์เซ็นต์ในก๊าซแห้งที่ปล่อยระบาย สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จำนวนโมลของ CO}_2 \text{ ในก๊าซไอเสีย} &= (314.97) / 44 = 7.16 \\ \text{จำนวนโมลของ N}_2 \text{ ในก๊าซไอเสีย} &= (1087.58) / 28 = 38.84 \\ \text{จำนวนโมลของ SO}_2 \text{ ในก๊าซไอเสีย} &= 1/64 = 0.016 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณทางทฤษฎีของ CO}_2 \text{ เป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาตร} &= (\text{จำนวนโมลของ CO}_2 \times 100) / \text{จำนวนโมลทั้งหมด (แห้ง)} \\ &= (7.16 \times 100) / (7.16 + 38.84 + 0.016) \\ &= 15.5\% \end{aligned}$$

3.2.3 การคำนวณส่วนประกอบของก๊าซไอเสียที่มีอากาศส่วนเกิน

ขณะนี้เราได้รู้ปริมาณอากาศที่ต้องการตามทฤษฎีและปริมาณตามทฤษฎีของ CO₂ ของก๊าซไอเสียแล้ว ขั้นตอนต่อไปก็คือการวัดจำนวนเปอร์เซ็นต์ของ CO₂ ในก๊าซไอเสีย ในการคำนวณต่อไปนี้จะสันนิษฐานว่า ปริมาณเปอร์เซ็นต์ของ CO₂ ที่วัดมาได้จากก๊าซไอเสีย มีค่าเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ของอากาศส่วนเกิน} &= [(\text{ปริมาณทางทฤษฎีของ CO}_2 \text{ เปอร์เซ็นต์} / \text{ปริมาณจริง CO}_2) - 1] \times 100 \\ &= [(15.5/10 - 1)] \times 100 \\ &= 55 \text{ เปอร์เซ็นต์} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณอากาศที่ต้องการตามทฤษฎีสำหรับเชื้อเพลิงที่ถูกเผา 100 กิโลกรัม} &= 1412.45 \text{ กิโลกรัม} \\ \text{ปริมาณอากาศที่ต้องการทั้งหมดพร้อมกับ อากาศส่วนเกิน 55 เปอร์เซ็นต์} &= 1412.45 \times 1.55 \\ &= 2189.30 \text{ กิโลกรัม} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณอากาศส่วนเกิน (ปริมาณจริง - ปริมาณอากาศส่วนเกินตามทฤษฎี)} &= 2189.30 - 1412.45 \\ &= 776.85 \\ \text{O}_2 \text{ (23 เปอร์เซ็นต์)} &= 776.85 \times 0.23 \\ &= 178.68 \text{ กิโลกรัม} \\ \text{N}_2 \text{ (77 เปอร์เซ็นต์)} &= 776.85 - 178.68 \\ &= 598.17 \text{ กิโลกรัม} \end{aligned}$$

ส่วนประกอบสุดท้ายของก๊าซที่ไอเสียปล่อยระบายซึ่งมีอากาศส่วนเกินอยู่ 55 เปอร์เซ็นต์ สำหรับทุกๆ 100 กิโลกรัมของเชื้อเพลิง มีดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 &= 314.97 \text{ กิโลกรัม} \\ \text{H}_2\text{O} &= 108.00 \text{ กิโลกรัม} \\ \text{SO}_2 &= 1 \text{ กิโลกรัม} \\ \text{O}_2 &= 178.68 \text{ กิโลกรัม} \\ \text{N}_2 &= 1685.75 \text{ กิโลกรัม (= 1087.58 ในอากาศ + 598.17 ในอากาศส่วนเกิน)} \end{aligned}$$

3.2.4 การคำนวณปริมาณเปอร์เซ็นต์ทางทฤษฎีของ CO₂ โดยปริมาตรในก๊าซไอเสียแห้ง

ในขณะนี้เราได้ทราบถึงส่วนประกอบโดยน้ำหนักแล้ว เราสามารถคำนวณส่วนประกอบโดยปริมาตรได้ดังนี้

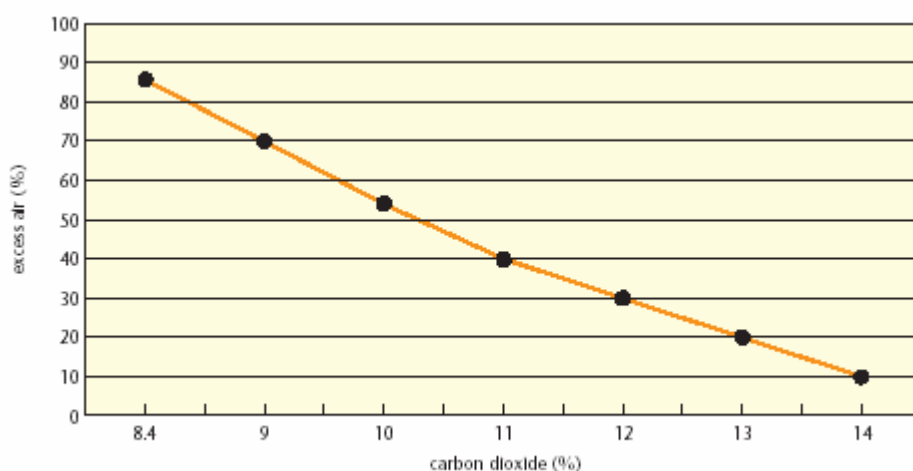
จำนวนโมลของ CO ₂ ในก๊าซไอเสีย	=	314.97 / 44	=	7.16
จำนวนโมลของ SO ₂ ในก๊าซไอเสีย	=	1/64	=	0.016
จำนวนโมลของ O ₂ ในก๊าซไอเสีย	=	178.68 / 32	=	5.58
จำนวนโมลของ N ₂ ในก๊าซไอเสีย	=	1685.75 / 28	=	60.20

ปริมาตรของ CO ₂ % ตามทฤษฎี	=	(จำนวน โมลของ CO ₂ x 100) / จำนวน โมลทั้งหมด (แห้ง)
	=	(7.16 x 100) / (7.16 + 0.016 + 5.58 + 60.20)
	=	10 เปอร์เซ็นต์
ปริมาตรของ O ₂ เปอร์เซ็นต์ตามทฤษฎี	=	(5.58 x 100) / 72.956
	=	7.5 เปอร์เซ็นต์

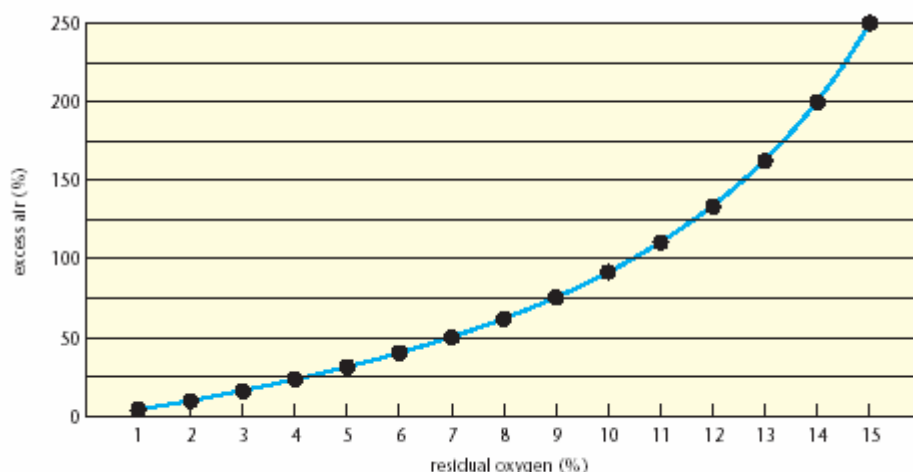
3.3 แนวคิดเกี่ยวกับอากาศส่วนเกิน

เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่ดีที่สุด ปริมาณจริงของอากาศสำหรับการเผาไหม้ จะต้องมีมากกว่าปริมาณที่ต้องการตามทฤษฎี ส่วนของก๊าซที่ปล่อยจะประกอบไปด้วย อากาศบริสุทธิ์ ซึ่งก็คือ อากาศที่ถูกทำให้ร้อนจนได้อุณหภูมิของก๊าซที่ปล่อย และออกจากหม้อไอน้ำ โดยผ่านปล่องระบาย การวิเคราะห์ทางเคมีของก๊าซ เป็นวิธีตามวัตถุประสงค์ ซึ่งจะช่วยให้มีการควบคุมอากาศได้ดีขึ้น โดยการวัดประมาณ CO₂ หรือ O₂ ในก๊าซไอเสียที่ปล่องระบาย (โดยการใช้เครื่องมือวัดและบันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่อง หรือที่เรียกว่า ชุดอุปกรณ์ Orsat หรืออาจจะใช้ชุดอุปกรณ์อื่นๆ ที่เคลื่อนย้ายได้ซึ่งมีราคาถูกกว่า) ก็จะสามารถประมาณปริมาณของระดับอากาศส่วนเกิน และการสูญเสียที่ปล่องระบายได้ อากาศส่วนเกินที่จะถูกป้อนให้นี้ จึงขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิง และระบบการจุดไฟ

วิธีที่เร็วที่สุดในการคำนวณปริมาณอากาศส่วนเกินคือการใช้รูปที่ 2 และ รูปที่ 3 โดยมีข้อแม้ว่าจะต้องมีการคำนวณปริมาณเปอร์เซ็นต์ของ CO₂ หรือ O₂ ในก๊าซไอเสียมาก่อนแล้ว



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่าง CO₂ กับอากาศส่วนเกิน
(Bureau of Energy Efficiency, 2004)



รูปที่3 ความสัมพันธ์ระหว่างออกซิเจนคงค้างกับอากาศส่วนเกิน
(Bureau of Energy Efficiency, 2004)

เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่ดีที่สุดของน้ำมันเชื้อเพลิง CO₂ หรือ O₂ ในก๊าซที่ปล่อยระบาย ควรจะถูกรักษาในระดับไว้ดังนี้

CO₂ = 14.5–15 เปอร์เซ็นต์

O₂ = 2–3 เปอร์เซ็นต์

3.4 ระบบกระแสลม

หน้าที่ของกระแสลมในระบบการเผาไหม้ก็คือ ทำการระบายผลผลิตของกระบวนการเผาไหม้ เช่น ก๊าซระบายให้ออกไปสู่บรรยากาศภายนอก กระแสลมอาจจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ กระแสลมธรรมชาติและกระแสลมเชิงกล

3.4.1 กระแสลมธรรมชาติ

กระแสลมธรรมชาติคือ กระแสลมที่เกิดจากปล่องไฟเพียงอย่างเดียว โดยจะมีสาเหตุมาจากความแตกต่างของน้ำหนักระหว่างล่ำของก๊าซร้อนภายในปล่องไฟ และ ล่ำของอากาศภายนอก ซึ่งมีความสูงและหน้าตัดที่เท่ากัน เนื่องจากก๊าซที่ปล่อยระบายมีน้ำหนักเบากว่าอากาศภายนอกอยู่มาก ก๊าซที่ปล่อยระบายจึงมีแนวโน้มที่จะเคลื่อนตัวสูงขึ้น และอากาศภายนอกที่หนักกว่าก็จะไหลเข้ามาแทนที่ในอ่างชี้เต้า กระแสลมนี้สามารถถูกควบคุมได้โดยการใช้อุปกรณ์ควบคุมที่บังคับด้วยมือ ซึ่งมีอยู่แล้วในปล่องไฟ และมีช่องควบคุม ที่เชื่อมต่อหม้อไอน้ำกับปล่องไฟ ทั้งนี้จะไม่มีการใช้พัดลมหรือ เครื่องพ่นลมใดๆ ผลผลิตของการเผาไหม้จะถูกปล่อยออกไปที่ระดับสูงพอที่จะไม่สร้างความเดือดร้อนรำคาญให้แก่ชุมชนที่อยู่โดยรอบ

3.4.2 กระแสลมเชิงกล

ป็นกระแสลมที่ทำให้เกิดขึ้นได้โดยการใช้พัดลม และจะมีอยู่ 3 ประเภทพื้นฐาน ได้แก่

- **กระแสลมสมดุล:** พัดลมหรือเครื่องพ่นลม (F-D) จะเป่าให้อากาศเข้าไปในเตาเผา และพัดลมเหนี่ยวนำ (I-D) จะดึงก๊าซให้เข้าไปในปล่องไฟ ซึ่งก็จะทำให้เกิดกระแสลมขึ้นเพื่อกำจัดก๊าซให้ออกไปจากหม้อไอน้ำ ในกรณีของหม้อไอน้ำนี้ ความดันจะถูกรักษาไว้ให้อยู่ในระดับ 0.05 ถึง 0.1 นิ้ว ของมาตรวัดน้ำภายใต้ความดันบรรยากาศ ส่วนในกรณี ของเตาเผาสำหรับการให้ความร้อนชั้นนั้น ความดันจะมีค่าเป็นบวกเล็กน้อย

- **กระแสลมเหนี่ยวนำ:** พัดลมเหนี่ยวนำจะดึงกระแสลมให้ไหลเข้าไปในเตาเผาเพียงพอที่จะทำให้ผลผลิต ที่เกิดจากการเผาไหม้ ถูกปลดปล่อยไปในบรรยากาศ ในกรณีนี้ เตาเผาจะถูกรักษาไว้ภายใต้ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศเล็กน้อยเพื่อให้อากาศสำหรับการเผาไหม้ได้ไหลเข้าสู่ระบบ
- **กระแสลมบังคับ:** ระบบกระแสลมบังคับจะใช้พัดลมเพื่อส่งอากาศเข้าไปในเตาเผา แล้วบังคับให้ผลผลิตจากการเผาไหม้ไหลผ่านหน่วยแล้วขึ้นไปยังปล่องระบาย

4. โอกาสในการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

ในส่วนนี้จะได้อธิบายถึงโอกาสในการประหยัดพลังงานในกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง

4.1 การอุ่นน้ำมันสำหรับการเผาไหม้

ความหนืดของน้ำมันเตา และ น้ำมัน LSHS จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง ซึ่งจะทำให้สูบน้ำมันได้ยากขึ้น เมื่อมีอุณหภูมิสภาพแวดล้อมต่ำ (ต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส) ก็จะไม่สามารถสูบน้ำมันเตาได้โดยง่าย เพื่อหลีกเลี่ยงสถานการณ์เช่นนี้ การทำให้น้ำมันร้อนก่อนหรือการอุ่นน้ำมันนี้จะทำได้ 2 วิธี คือ

- จะต้องทำให้ร้อนทั้งถังเก็บน้ำมัน ในการให้ความร้อนเป็นปริมาณมากเช่นนี้ ท่อเวียนไอน้ำร้อน จะถูกติดตั้งไว้ที่ก้นของถังเก็บน้ำมัน โดยจะมีการหุ้มฉนวนไว้อย่างดี
- น้ำมันจะถูกทำให้ร้อนขึ้นได้โดยการไหลออกไปตามท่อที่มีระบบให้ความร้อน เพื่อเป็นการลดความต้องการของการใช้น้ำ จึงแนะนำว่า ควรจะหุ้มฉนวนให้ถังเก็บน้ำมัน เมื่อต้องการใช้การให้ความร้อนแก่น้ำมันปริมาณมาก

การให้ความร้อนแบบปริมาณมากนี้ จะมีความสำคัญหากมีอัตราการไหลที่สูงพอที่จะทำให้การให้ความร้อนตามท่อไหลออก มีปริมาณมากจนยากแก่การปฏิบัติ หรือเมื่อเชื้อเพลิง LSHS ถูกนำมาใช้ในกรณีของการให้ความร้อนแก่ท่อไหลออก จะมีการให้ความร้อนตามท่อไหลออก จะเป็นการใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยไอน้ำหรือ กระแสไฟฟ้า เป็นตัวกลางในการให้ความร้อน

4.2 การควบคุมอุณหภูมิของน้ำมันสำหรับการเผาไหม้

การควบคุมอุณหภูมิของน้ำมันให้คงที่เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการป้องกันไม่ให้เกิดความร้อนมากเกินไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการลดหรือหยุดการไหลของน้ำมัน และจะมีความสำคัญมากสำหรับเครื่องทำความร้อนแบบใช้ไฟฟ้า เนื่องจากว่าน้ำมันอาจจะกลายเป็นคาร์บอน หากไม่มีการไหลและเครื่องทำความร้อนยังเปิดอยู่ ควรจะมีการติดตั้งเครื่องตัดกระแสไฟฟ้าตามบริเวณที่น้ำมันมีการไหลอย่างอิสระเข้าสู่ท่อคุณ อุณหภูมิที่จะสามารถสูบน้ำมันได้ในทันทีจะขึ้นอยู่กับระดับชั้นของน้ำมันที่กำลังถูกจัดการควบคุม และไม่ควรจะมีการเก็บรักษาน้ำมันไว้ที่อุณหภูมิสูงกว่าค่าที่ต้องการสำหรับการสูบ เพราะว่าการกระทำเช่นนี้จะทำให้เกิดการใช้พลังงานที่มากกว่า

4.3 การเตรียมเชื้อเพลิงแข็ง

4.3.1 ขนาดของถ่านหิน

การคัดถ่านหินที่มีขนาดเหมาะสม ก็เป็นกุญแจสำคัญในการที่จะทำให้มั่นใจได้ว่าจะเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ การคัดขนาดถ่านหินให้มีความเหมาะสมกับระบบการจุดไฟ จะช่วยให้มีการเผาไหม้ได้เร็ว และยังลดการสูญเสียจากจี้เถ้า รวมทั้งการเผาไหม้ก็จะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า

ถ่านหินจะถูกทำให้มีขนาดเล็กลงโดยการบดอัด และการบด ถ่านหินที่ผ่านการบดอัดมาแล้วจะมีความคุ้มค่าสำหรับหน่วยเล็ก ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับเตาเผาชนิดมีแผงตะแกรง ในระบบการจัดการควบคุมถ่านหินนี้ การบดอัดถ่านหินจะมีขีดจำกัดไว้ที่ขนาด 6 หรือ 4 มิลลิเมตร อุปกรณ์ที่นิยมใช้มากที่สุดในการบดอัดก็คือ เครื่องบดแบบหมุน เครื่องย่อย และเครื่องมือ

มีความจำเป็นที่จะต้องคัดแยกถ่านหินก่อนที่จะทำการย่อย เพื่อที่จะให้ถ่านหินที่มีขนาดใหญ่เกินไปเท่านั้นที่จะถูกส่งไปยังเครื่องย่อย ซึ่งก็จะเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยลดการใช้พลังงานของเครื่องย่อยด้วย โดยมีข้อเสนอแนะสำหรับการย่อย ดังนี้

- ให้มีการใช้เครื่องแยกเพื่อแยกอนุภาคละเอียดและอนุภาคเล็ก ๆ ออกจากกัน เพื่อหลีกเลี่ยงการย่อยซ้ำ
- ให้มีการใช้เครื่องแยกแบบแม่เหล็ก เพื่อทำการแยกชิ้นส่วนโลหะออกจากถ่านหิน ซึ่งอาจจะทำให้เครื่องย่อยชำรุดเสียหายได้

ตารางที่ 11 แสดงขนาดของถ่านหินที่เหมาะสมสำหรับระบบการเผาไหม้แบบต่างๆ

ตารางที่ 11 ขนาดถ่านหินที่เหมาะสมสำหรับระบบการเผาไหม้แบบต่างๆ

หมายเลข	ประเภทของระบบการเผาไหม้	ขนาด (มิลลิเมตร)
1.	การเผาไหม้โดยการควบคุมด้วยมือ	
	(a) กระแสลมธรรมชาติ	25-75
	(b) กระแสลมบังคับ	25-40
2.	การเผาแบบมีแผงตะแกรง	
	(a) แบบตะแกรงโซ่	
	i) กระแสลมธรรมชาติ	25-40
	ii) กระแสลมบังคับ	15-25
	(b) แบบใช้ตัวแยก	15-25
3.	การเผาไหม้ถ่านหินผง	75% ต่ำกว่า 75 ไมครอน*
4	หม้อไอน้ำแบบใช้ถ่านหินบดละเอียด	< 10 มิลลิเมตร

*1 ไมครอน = 1/1000 มิลลิเมตร

4.3.2 การปรับสภาพถ่านหิน

เมื่อละเอียดที่อยู่ในถ่านหินทำให้เกิดปัญหาระหว่างการเผาไหม้โดยจะทำให้มีผลกระทบของการแยกตัว เราสามารถลดการแยกตัวของเม็ดละเอียดจากถ่านหินชิ้นใหญ่ๆ นี้ได้โดยการใช้การปรับสภาพของถ่านหิน ซึ่งน้ำจะช่วยให้อนุภาคละเอียดต่างๆ เหล่านี้เกาะติดอยู่กับก้อนใหญ่ๆ โดยจะมีแรงดึงดูดที่พื้นผิวเนื่องจากความชื้น จึงเป็นการช่วยให้เม็ดละเอียดไม่ตกลงไปจากตะแกรงหรือถูกเป่าทิ้งไปโดยลมภายในเตาเผา ในระหว่างที่ทำให้ถ่านหินชุ่มชื้นขึ้นนี้ จะต้องมีความระมัดระวังเพื่อให้แน่ใจว่า มีการเพิ่มความชื้นอย่างสม่ำเสมอ และควรจะทำในระหว่างที่ถ่านหินมีการเคลื่อนที่

ถ้ามีปริมาณของเม็ดละเอียดอยู่ในถ่านหินมากๆ การทำให้ถ่านหินเปียกขึ้นก็จะเป็นการลดปริมาณของคาร์บอนที่ไม่ถูกเผาไหม้ และปริมาณอากาศเพิ่มสำหรับการเผาไหม้ขึ้นได้ ตารางข้างล่างนี้แสดงให้เห็นถึง ปริมาณของการให้ความเปียกชื้น โดยจะขึ้นอยู่กับปริมาณของเม็ดละเอียดที่มีอยู่ในถ่านหิน

ตารางที่ 12 ปริมาณของความเปียกชื้น : เม็ดละเอียดกับความชื้นที่พื้นผิวของถ่านหิน

เม็ดละเอียด (เปอร์เซ็นต์)	ความชื้นที่พื้นผิว(เปอร์เซ็นต์)
10 - 15	4 - 5
15 - 20	5 - 6
20 - 25	6 - 7
25 - 30	7 - 8

4.3.3 การคลุกเคล้าถ่านหิน

ในกรณีที่ถ่านหินยังมีปริมาณเม็ดละเอียดอยู่มากเกินไป ก็มีการแนะนำว่าควรจะมีการคลุกเคล้าถ่านหินก้อนใหญ่ๆ กับถ่านหินที่มีปริมาณเม็ดละเอียดปนอยู่มากๆ การคลุกเคล้าถ่านหินนี้อาจเป็นการช่วยจำกัดปริมาณของเม็ดละเอียดในถ่านหินที่กำลังถูกเผาไหม้ ไม่ให้มีมากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ การคลุกเคล้าถ่านหินที่มีคุณภาพต่างกันยังช่วยให้ได้ถ่านหินที่มีคุณภาพสม่ำเสมอให้แก่หม้อไอน้ำอีกด้วย

4.4 การควบคุมการเผาไหม้

การควบคุมการเผาไหม้จะช่วยให้หัวเผามีการควบคุมการป้อนเชื้อเพลิง และอากาศ (อัตราส่วนของเชื้อเพลิงต่ออากาศ) และช่วยกำจัดก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ เพื่อให้หม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพสูงสุด ปริมาณของเชื้อเพลิงที่ป้อนให้หัวเผาคงต้องได้สัดส่วนกับแรงดันไอน้ำและปริมาณของไอน้ำที่ต้องการ นอกจากนี้การควบคุมการเผาไหม้ยังเป็นสิ่งจำเป็นของมาตรการความปลอดภัย เพื่อให้มั่นใจว่าหม้อไอน้ำจะปฏิบัติงานได้อย่างปลอดภัย

การควบคุมการเผาไหม้ที่ซับซ้อน มีหลายชนิด ได้แก่

- **การควบคุมแบบเปิด/ปิด** เป็นระบบการควบคุมที่ง่ายที่สุด การควบคุมแบบเปิด/ปิด นี้หมายความว่า หัวเผาจะถูกใช้งานในอัตราจุดไฟเต็มที่ หรือไม่ก็ถูกปิดไปเลย การควบคุมประเภทนี้จะถูกใช้กับ หม้อไอน้ำขนาดเล็กเท่านั้น
- **การควบคุมแบบ สูง/ต่ำ/ปิด** เป็นระบบที่มีความซับซ้อนมากขึ้นเล็กน้อย โดยหัวเผาจะถูกใช้งานที่ 2 อัตรา คือ อัตราการจุดไฟที่ช้า จากนั้นก็จะเปลี่ยนไปเป็นอัตราจุดไฟเต็มที่ตามต้องการ หัวเผายังสามารถถูกทำให้เปลี่ยนกลับไปอยู่ที่ตำแหน่งการจุดไฟช้า โดยมีปริมาณการใช้งานที่น้อยลงอีกได้ การควบคุมประเภทนี้เหมาะสำหรับหม้อไอน้ำขนาดกลาง
- **การควบคุมแบบปรับเปลี่ยน** การควบคุมแบบนี้จะทำงานโดยใช้หลักการของการปรับตัวให้เหมาะสมกับแรงดันไอน้ำ โดยการเปลี่ยนอัตราการจุดไฟตลอดทั้งช่วงการปฏิบัติงานของหม้อไอน้ำ มอเตอร์ปรับเปลี่ยนจะใช้ระบบการเชื่อมต่อของกลไก หรือลื่นไฟฟ้าเพื่อที่จะควบคุมปริมาณอากาศป้อน ปริมาณอากาศทุกชนิด และการป้อนเชื้อเพลิงให้แก่หัวเผา การปรับเปลี่ยนแบบเต็มระบบ หมายความว่า หม้อไอน้ำจะมีการจุดไฟอยู่ตลอดเวลา แล้วก็จะมีการปรับเชื้อเพลิงและอากาศให้เหมาะสม ตลอดทั้งช่วงการจุดไฟเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพความร้อนสูงสุด

5. รายการตรวจสอบทางเลือก

หัวข้อนี้จะอธิบายถึงทางเลือกที่สำคัญที่สุดในการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานของการใช้เชื้อเพลิงและการเผาไหม้

รายการตรวจสอบเชื้อเพลิง

- รายการตรวจสอบรายวัน: อุณหภูมิของน้ำมันที่เตาเผา การรั่วของน้ำมัน/ไอน้ำ
- งานประจำสัปดาห์: ทำความสะอาดไส้กรองน้ำมันทั้งหมด / ระบายน้ำจากถังน้ำมัน
- งานประจำปี: ล้างถังน้ำมันทั้งหมด

การแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับเชื้อเพลิง

1. สูบน้ำมันขึ้นมาไม่ได้

- มีความหนืดมากเกินไป
- ท่อน้ำมันและไส้กรองตัน
- มีตะกอนในน้ำมัน
- มีการรั่วขณะดูดน้ำมัน
- ท่อส่งน้ำมันสั้น

2. เครื่องกรองอุดตัน

- มีตะกอนหรือขี้ผึ้งในน้ำมัน
- มีการตกตะกอนในน้ำมันอย่างมาก
- มีสนิมหรือคราบสนิมในถังน้ำมัน
- น้ำมันเปลี่ยนสภาพเนื่องจากความร้อนสูงเกินไป

3. มีน้ำในน้ำมันมากเกินไป

- น้ำถูกส่งไปพร้อมกับน้ำมัน
- ท่อบ่อพักรั่ว
- มีการไหลซึมจากถังน้ำมันใต้ดิน
- มีความชื้นจากท่อส่ง
- คอยล์ไอน้ำร้อนรั่ว

4. ท่อส่งน้ำมันตัน

- มีตะกอนในน้ำมัน
- น้ำมันหนืดเกินไป
- มีวัสดุแปลกปลอม เช่น เศษผ้า คราบสนิม และเศษไม้อยู่ในท่อ
- น้ำมันเปลี่ยนสภาพ

รายการตรวจสอบระบบการเผาไหม้

1. ช่วงเริ่มต้น

- ตรวจสอบว่าหัวเผาและหัวฉีดมีขนาดถูกต้องหรือไม่
- ติดตั้งเครื่องส่งอากาศก่อน (เปิดเครื่องเป่าลม) ต้องมั่นใจว่าไม่มีไอน้ำหรือก๊าซก่อนที่จะเริ่มจุดไฟ
- ต้องแน่ใจว่าเปลวไฟจากตัวจุดไฟอยู่หน้าหัวฉีด
- เปิดตัวจ่ายน้ำมัน (ที่ถูกทำให้ร้อนแล้ว) (ก่อนที่จะจุดไฟ ให้ระบายน้ำมันที่เย็นแล้วออกไปเสียก่อน)

2. ช่วงดำเนินงาน

- ตรวจสอบอุณหภูมิน้ำมันที่ถูกต้องบริเวณปลายหัวเผา (ให้เทียบความหนืดกับตารางอุณหภูมิ)
- ตรวจสอบความดันอากาศของเตาเผา LAP (มักใช้ความดันอากาศ 63.5 ซม. ถึง 76.2 ซม.)
- ตรวจสอบว่ามีน้ำมันหยดในบริเวณใกล้เคียง กับหัวเผาหรือไม่
- ตรวจสอบการลุดของเปลวไฟว่าน้อยหรือมาก
- ตรวจสอบตำแหน่งที่ตั้งของหัวเผา (ต้องไม่ให้เปลวไฟไปถึงผนังทนความร้อนหรือมีประกายไฟ)
- ปรับความสูงของเปลวไฟให้เหมาะกับสภาพ (ต้องให้แน่ใจว่าเปลวไฟไม่ลามไปนอกเตาเผา)

3. ช่วงเปลี่ยนแปลงปริมาณ

- ให้ปรับวาล์วอากาศและวาล์วน้ำมันไปพร้อมๆ กัน (ถ้าเป็นเตาเผาที่ปรับได้อัตโนมัติ ให้ปรับคันโยกปรับอัตโนมัติ อย่าปรับเฉพาะวาล์วในท่อ น้ำมัน)
- ให้ปรับหัวเผาและงานควบคุมอากาศ เพื่อให้ควันที่ออกจากปล่องเป็นสีน้ำตาลอ่อนและมีคาร์บอนไดออกไซด์ อย่างน้อยร้อยละ 12

4. ช่วงปิดเตาเผา

- ให้ปิดท่อส่งน้ำมันก่อน
- หลังจากนั้น 2-3 วินาที ให้ปิดเครื่องเป่าลม (ต้องแน่ใจก่อนว่าไม่มีก๊าซอยู่ในห้องเผาไหม้แล้ว)
- อย่าให้หัวฉีดที่หัวเผาโดนความร้อนจากเตาเผา (เมื่อปิดน้ำมันแล้วให้นำหัวฉีด/หัวเผา ออก หรือให้สอดแผ่น ฉนวนกันความร้อนมาใส่กันไว้ระหว่างหัวฉีดและเตาเผา)

การแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับการเผาไหม้

รายการในตารางต่อไปนี้จะช่วยให้หาสาเหตุและวิธีการแก้ไขปัญหาที่มักจะพบอยู่เสมอในระหว่างการเผาไหม้เชื้อเพลิง

แผนผังการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการเผาไหม้		
หมายเลข	ปัญหา	สาเหตุและการแก้ไข
1.	เริ่มการใช้งานได้ยาก	<ol style="list-style-type: none"> 1. ไม่มีน้ำมันอยู่ในถัง 2. มีกากตะกอนและน้ำอยู่ในถังเก็บมากเกินไป 3. น้ำมันไม่ไหลไปเนื่องจากมีความหนืดสูง/ มีอุณหภูมิต่ำ 4. มีการติดขัดหรืออุดตันของปลายหัวพ่นไฟ 5. ไม่มีอากาศ 6. มีการอุดตันของเครื่องกรอง
2.	เปลวไฟ กระจายหรือแตกตัว	<ol style="list-style-type: none"> 1. มีกากตะกอนหรือน้ำปนอยู่ในน้ำมัน 2. แรงดันน้ำมันและแรงดันอากาศไม่สม่ำเสมอ 3. มีแรงดันมากเกินไปที่อุปกรณ์ทำให้เป็นสะเก็ด ซึ่งมีความไวที่ต่ำจะทำให้เปลวไฟดับลงได้ 4. มีอากาศอยู่ในท่อน้ำมัน ให้ตรวจสอบหารอยรั่วในท่อคูดน้ำมันของเครื่องสูบลม 5. แทนหัวพ่นไฟมีความชำรุดเสียหายหรือ หัวพ่นไฟไม่มีแทนอยู่
3.	เปลวไฟวาบย้อนกลับ	<ol style="list-style-type: none"> 1. มีการเปิดท่อส่งน้ำมันค้างไว้หลังจากที่ได้ปิดท่อส่งอากาศไปแล้วในระหว่างการปิดเครื่องในขั้นตอนก่อนหน้านั้น 2. มีแรงดันบวกอยู่มากเกินไปในห้องเผาไหม้ 3. เตาเผาเย็นเกินไปในระหว่างเริ่มต้นใช้งานจนกระทั่งการเผาไหม้เสร็จสิ้น (เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น อนุภาคของน้ำมันที่ไม่ถูกเผาไหม้จะตกลงมา) 4. แรงดันน้ำมันต่ำเกินไป
4	ควันและเขม่า	<ol style="list-style-type: none"> 1. มีแรงลม หรือมีเครื่องพ่นลมไม่เพียงพอ 2. มีน้ำมันไหลมากเกินไป 3. น้ำมันหนักเกินไปหรือ ยังไม่ได้อุ่น 4. ท่อคูดอากาศในเครื่องพ่นลมอุดตัน 5. ปล่องไฟถูกอุดตันด้วยเขม่าลื่นดวง 6. เครื่องเป่าลมมีความเร็วขณะใช้งานน้อยเกินไป
5.	เศษกรวดที่ผนังทนความร้อน	<ol style="list-style-type: none"> 1. เปลวไฟสัมผัสกับผนังทนความร้อนเนื่องจากห้องเผาไหม้มีขนาดเล็กเกินไป 2. ถูกจัดวางในตำแหน่งที่ไม่ถูกต้อง 3. มีน้ำมันหยดออกจากหัวฉีด 4. ไม่ได้ปิดท่อส่งน้ำมันก่อนที่จะปิดท่อส่งอากาศ ในระหว่างการปิดเตาเผา
6.	เชื้อเพลิงเผาไหม้ที่หัวเผา	<ol style="list-style-type: none"> 1. หัวฉีดได้ถูกรังสีความร้อนจากเตาเผาหลังจากที่ปิดเครื่องแล้ว 2. มีการป้อนสะเก็ดอากาศแก่หัวพ่นไฟ ที่อุณหภูมิสูงกว่า 300 องศาเซลเซียส 3. แทนหัวพ่นไฟมีขนาดสั้นเกินไปหรือกว้างเกินไป 4. ไม่ได้ระบายน้ำมันออกจากหัวฉีดหลังจากที่ปิดเครื่องแล้ว

7.	มีการใช้เชื้อเพลิงมากเกินไป	<ol style="list-style-type: none"> 1. มีอัตราส่วนระหว่างน้ำมันและอากาศไม่เหมาะสม 2. หัวฉีดของหัวพ่นไฟมีขนาดใหญ่เกินไป 3. มีกระแสลมมากเกินไป 4. มีการผสมน้ำมัน/อากาศไม่เหมาะสมโดยหัวพ่นไฟ 5. แรงดันน้ำมันและแรงดันอากาศไม่ถูกต้อง 6. ไม่ได้อุ่นน้ำมันอย่างเหมาะสม 7. น้ำมันมีความหนืดต่ำเกินไป 8. มีการรั่วไหลของน้ำมันในท่อน้ำมัน/ อุปกรณ์การอุ่น 9. มีการบำรุงรักษาที่ไม่ดี (มีอุณหภูมิของก๊าซที่ปล่องไฟเพิ่มขึ้นหรือสูงเกินไป)
----	-----------------------------	---

6. ตารางงาน

ตารางงาน 1: การคำนวณปริมาณอากาศส่วนเกิน

หมายเลข	ปัจจัย	สูตร	หน่วย	ค่า
1	คาร์บอน (C)		% โดยน้ำหนัก	
2	ไฮโดรเจน (H)		% โดยน้ำหนัก	
3	ออกซิเจน (O_4)		% โดยน้ำหนัก	
4	ไนโตรเจน		% โดยน้ำหนัก	
5	กำมะถัน		% โดยน้ำหนัก	
6	น้ำ		% โดยน้ำหนัก	
7	ซัลเฟอร์		% โดยน้ำหนัก	
8	ค่าความร้อน GCV ของเชื้อเพลิง		กิโลแคลอรี/กิโลกรัม	
9	ออกซิเจนที่ต้องการสำหรับการเผา คาร์บอน (O_1)	$C \times (32/12)$	กิโลกรัม/100 กิโลกรัม ของ เชื้อเพลิง	
10	ออกซิเจนที่ต้องการสำหรับการเผา ไฮโดรเจน (O_2)	$H \times (32/4)$	กิโลกรัม/100 กิโลกรัม ของ เชื้อเพลิง	
11	ออกซิเจนที่ต้องการสำหรับการเผา กำมะถัน (O_3)	$S \times (32/32)$	กิโลกรัม/100 กิโลกรัม ของ เชื้อเพลิง	
12	ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการทั้งหมด (O)	$O_1 + O_2 + O_3 - O_4$	กิโลกรัม/100 กิโลกรัม ของ เชื้อเพลิง	
13	ปริมาณของอากาศที่ต้องการโดยการ คำนวณน้ำหนักจากสมการเคมี (S.A)	$O / 0.23$	กิโลกรัม/100 กิโลกรัม ของ เชื้อเพลิง	
14	ปริมาณอากาศส่วนเกิน (EA)		%	
15	ปริมาณอากาศที่ต้องการจริง	$S.A \times (1 + EA/100)$	กิโลกรัม/100 กิโลกรัม ของ เชื้อเพลิง	

7. เอกสารอ้างอิง

Bureau of Energy Efficiency. *Energy Efficiency in Thermal Utilities*. Chapter 1. 2004

Department of Coal, Government of India. *Coal and Cement Industry – Efficient utilization*. 1985

Department of Coal, Government of India. *Coal and Furnace Operation – Improved techniques*. 1985

Department of Coal, Government of India. *Coal and Industrial Furnaces – Efficient utilization*. 1985

Department of Coal, Government of India. *Coal and Pulp and Paper industry – Efficient utilization*. 1985

Department of Coal, Government of India. *Coal and Textile Industry – Efficient utilization*. 1985

Department of Coal, Government of India. *Coal Combustion – Improved techniques for efficiency*. 1985

Department of Coal, Government of India. *Fluidised Bed Coal Fired Boilers*. 1985

Petroleum Conservation Research Association. www.pcrs.org

Shaha, A.K. *Combustion Engineering and Fuel Technology*. Oxford & IBH Publishing Company

Thermax India Ltd. *Technical Memento*

ลิขสิทธิ์:

สงวนลิขสิทธิ์ © โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (ปี2006)

สิ่งพิมพ์นี้สามารถนำไปทำการคัดลอกทั้งหมดหรือเพียงบางส่วนในรูปแบบใดก็ตามได้ เพื่อนำไปใช้ในการศึกษาหรือกิจกรรมที่มีได้แสวงหาผลกำไร โดยไม่ต้องขออนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ ขอเพียงมีการอ้างถึงแหล่งที่มาไว้ในกิตติกรรมประกาศ โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติจะมีความยินดีเป็นอย่างยิ่งหาก ได้รับสำเนาของสิ่งพิมพ์ที่นำไปเผยแพร่โดยใช้สิ่งพิมพ์นี้เป็นแหล่งข้อมูล ทั้งนี้ ห้ามมิให้นำสิ่งพิมพ์นี้ไปจัดพิมพ์เพื่อจำหน่ายหรือเพื่อใช้ในการค้า โดยมีได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจาก โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ

คำสงวนลิขสิทธิ์

สิ่งพิมพ์หัวข้อเครื่องมือที่ใช้พลังงานความร้อนนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคอุตสาหกรรมในเอเชียและแปซิฟิก ดำเนินการโดยสภาพการผลิตแห่งชาติ ประเทศอินเดีย แม้จะมีความพยายามอย่างยิ่งที่จะสร้างความมั่นใจว่าเนื้อหาของสิ่งพิมพ์นี้มีความถูกต้องตามข้อเท็จจริง อย่างไรก็ตาม โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติจะไม่รับผิดชอบในเรื่องความถูกต้องหรือความสมบูรณ์ของเนื้อหาและไม่รับผิดชอบในความสูญเสียหรือความเสียหายใดๆ ซึ่งอาจเกิดขึ้นไม่ว่าโดยทางตรงหรือทางอ้อมจากการใช้หรือการยึดถือเนื้อหาของสิ่งพิมพ์นี้