

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับหม้อไอน้ำ

หม้อไอน้ำ (Steam Boiler) หรือเครื่องกำเนิดไอน้ำ (Steam Generator) เป็นภาชนะเปิดทำด้วยเหล็กหรือเหล็กกล้า ซึ่งได้ออกแบบไว้อย่างแข็งแรง ภายในหม้อไอน้ำส่วนหนึ่งสำหรับเก็บน้ำ และอีกส่วนหนึ่งเก็บไอน้ำที่ผลิตได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง [4] คุณหมุมิและความดันจะสูงเมื่อเดือดกลายเป็นไอ หม้อไอน้ำเริ่มมีมาเมื่อ 130 ปีก่อนคริสต์ศักราช และได้มีการพัฒนาหม้อไอน้ำมาเรื่อยๆ จนถึงปัจจุบัน ในการพัฒนาหม้อไอน้ำ สิ่งที่เป็นอุปสรรคสำคัญคือ ต้องมีวัสดุที่ทนความร้อน วิธีการสร้างที่ต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพเชิงความร้อนและความแข็งแรง สภาพตัวกลางของสารตัวกลางที่ใช้ในหม้อไอน้ำ

1. ส่วนประกอบสำคัญของหม้อไอน้ำ

ตัวหม้อไอน้ำประกอบด้วยท่อโลหะ และถังโลหะทรงกระบอก ซึ่งใช้บรรจุน้ำและไอน้ำ โดยทั่วไปผนังด้านนอกจะหุ้มฉนวนกันความร้อนเพื่อลดการสูญเสียความร้อนทางผนังห้องสันดาป เป็นบริเวณที่เกิดการสันดาปของเชื้อเพลิงและอากาศ ระบบการสันดาประบบน้ำเลี้ยง ประกอบด้วยปั้มน้ำ อุปกรณ์ป้อนสารเคมี ระบบควบคุม ได้แก่ ระบบควบคุมการสันดาป ซึ่งควบคุมการสันดาปของเชื้อเพลิงเพื่อรักษาระดับความดันของไอน้ำ มาตรการวัดอัตราการไหลของน้ำ เกจวัดความดันไอน้ำ เกจวัดระดับน้ำ

2. ประเภทของหม้อไอน้ำ [5]

หม้อไอน้ำสร้างขึ้นมามีจุดประสงค์เดียวกันเท่านั้นคือ ผลิตไอน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพแต่ไอน้ำที่ผลิตได้นั้นมีลักษณะและวิธีการนำไปใช้ที่แตกต่างกัน ฉะนั้นการออกแบบหม้อไอน้ำจึงมีหลายชนิดตามความเหมาะสมในการใช้งาน หม้อไอน้ำแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ หม้อไอน้ำแบบหลอดน้ำและหม้อไอน้ำแบบหลอดไฟ แต่โดยทั่วไปสามารถแบ่งรายละเอียดออกได้ 5 ประเภท ดังนี้

2.1 แบ่งตามลักษณะการวางแนวแกนของเปลือกหม้อไอน้ำ

2.1.1 หม้อไอน้ำในแนวตั้ง คือการวางแนวแกนของเปลือกหม้อไอน้ำในแนวตั้งหรือในแนวตั้งฉากกับพื้น

2.1.2 หม้อไอน้ำในแนวนอน คือการวางแนวแกนของเปลือกหม้อไอน้ำในแนวนอนกับพื้น

2.2 แบ่งตามลักษณะการใช้งาน

2.2.1 หม้อไอน้ำรถไฟ เป็นหม้อไอน้ำที่ใช้กับรถไฟจึงเรียกว่า หม้อไอน้ำรถไฟ หม้อไอน้ำรถไฟต้องออกแบบให้มีประสิทธิภาพสูงเพราะว่าในหัวรถจักรไอน้ำมีเนื้อที่น้อย ต้องมีขนาดกะทัดรัด ความดันที่ใช้งานประมาณ 20 บาร์

2.2.2 หม้อไอน้ำเรือ เป็นหม้อไอน้ำที่ใช้กับเรือเดินสมุทร ดังนั้นจึงต้องออกแบบให้มีรูปร่างไปในทางสูง และต้องมีประสิทธิภาพเพราะมีเนื้อที่น้อยและต้องใช้เนื้อที่เป็นระวางบรรทุกสินค้ามากที่สุด หม้อไอน้ำที่ใช้ในเรือจึงต้องมีขนาดเล็กกะทัดรัด

2.3 แบ่งตามตำแหน่งการวางเตา มี 2 แบบ

2.3.1 แบบการวางเตาไฟภายในหม้อไอน้ำ

2.3.2 แบบการวางเตาไฟภายนอกหม้อไอน้ำ

2.4 แบ่งตามการไหลของน้ำและก๊าซร้อน แบ่งเป็น 2 แบบคือ

2.4.1 หม้อไอน้ำแบบหลอดน้ำ (water tube boiler) เป็นหม้อไอน้ำแบบหลอดน้ำ คือ มีน้ำไหลในหลอดและก๊าซร้อนอยู่ภายนอกรอบๆ หลอดน้ำ หม้อไอน้ำประเภทนี้ การสร้างมีบางอย่างที่แตกต่างกับหม้อไอน้ำแบบท่อไฟคือ จัดทำให้น้ำภายในหม้อไอน้ำแยกลงมาอยู่ในหม้อท่อน้ำ และภายนอกของท่อเหล่านี้ได้รับความร้อนจากเปลวไฟจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงตลอดทางที่ไฟผ่านหม้อท่อน้ำ หม้อไอน้ำประเภทท่อน้ำ เป็นหม้อไอน้ำขนาดใหญ่ความดันไอน้ำตั้งแต่ 150 ปอนด์ต่อตารางนิ้วขึ้นไปและสามารถผลิตไอน้ำได้มาก ไอน้ำที่ผลิตได้ส่วนมากจะเป็นไอน้ำร้อนจัด (Superheated Steam) ใช้กับเครื่องกังหันไอน้ำ (Power Plant), โรงงานน้ำตาล, โรงงานกระดาษ, โรงกลั่นน้ำมัน, โรงงานทำน้ำมันปาล์ม, เรือเดินทะเล ฯลฯ

2.4.2 หม้อไอน้ำแบบหลอดไฟ (fire tube boiler) เป็นหม้อไอน้ำแบบหลอดไฟ คือ เป็นหม้อไอน้ำที่มีก๊าซร้อนไหลอยู่ในท่อ ส่วนน้ำจะอยู่ภายนอกที่รอบท่อไฟหรือรอบก๊าซร้อนจำแนกการไหลเวียนของก๊าซร้อนได้ 4 แบบ คือ

- 1) แบบก๊าซร้อนไหลในท่อสองกลับ ผั่งแห้ง
- 2) แบบก๊าซร้อนไหลในท่อสามกลับ ผั่งแห้ง
- 3) แบบก๊าซร้อนไหลในท่อสามกลับ ผั่งเปียก
- 4) แบบก๊าซร้อนไหลในท่อสี่กลับ ผั่งแห้ง

2.5 หม้อไอน้ำที่สร้างขึ้นเป็นพิเศษ หม้อไอน้ำแบบนี้แบ่งออกเป็น 5 แบบดังนี้

2.5.1 หม้อไอน้ำแบบเพิ่มความร้อนโดยทางอ้อม เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า หม้อไอน้ำแบบเลิฟเลอร์ หม้อไอน้ำแบบนี้ใช้ได้ผลดีในกรณีที่ไม่สามารถนำเอาหน้าที่ผ่านการควบแน่นกลับมาใช้อีก

2.5.2 หม้อไอน้ำแบบใช้ไอเสียเป็นแหล่งความร้อน (waste-heat boiler) เป็นหม้อไอน้ำที่ใช้ไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซล ไอเสียจากเครื่องกังหันก๊าซ หรือไอเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอื่นๆ

2.5.3 หม้อไอน้ำแบบใช้วัสดุเหลือใช้เป็นเชื้อเพลิง

2.5.4 หม้อไอน้ำที่ใช้ของเหลวพิเศษเป็นสารตัวกลางในการรับความร้อน

2.5.5 หม้อไอน้ำแบบใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งความร้อน แบ่งเป็น 2 แบบคือ แบบมีขั้วไฟฟ้า ใช้น้ำเป็นตัวต้านทานโดยปล่อยกระแสไฟฟ้าให้ไหลระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองก็จะทำให้น้ำร้อนจนกลายเป็นไอ กับอีกแบบหนึ่งใช้ความร้อนความต้านทาน

ลักษณะของหม้อไอน้ำที่ดี

1. โครงสร้างเป็นแบบง่ายๆ แข็งแรงและปลอดภัยต่อการใช้งาน
2. วัสดุและช่างฝีมือในการผลิตหม้อไอน้ำต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด
3. ออกแบบได้ดีทั้งการไหลวนของน้ำและก๊าซร้อน ตลอดจนการถ่ายเทความร้อนดี
4. มีพื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อนมาก
5. สามารถทำการตรวจ ทดสอบ และซ่อมแซมทุกส่วนได้โดยปกติ
6. เตาที่มีพื้นที่เพียงพอที่ทำให้การเผาไหม้เชื้อเพลิงเป็นไปอย่างสมบูรณ์
7. มีส่วนที่เก็บไอน้ำได้มาก

ข้อดีและข้อเสียของหม้อไอน้ำแบบหลอดน้ำและหลอดไฟ ดังตาราง

ตาราง 1 แสดงข้อดีและข้อเสียของหม้อไอน้ำแบบหลอดน้ำ

ข้อดีของหม้อไอน้ำแบบหลอดน้ำ	ข้อเสียของหม้อไอน้ำแบบหลอดน้ำ
1. ทนความดันได้สูง	1. ต้องใช้น้ำเลี้ยงที่มีคุณภาพดี
2. ผลิตไอน้ำได้เร็วกว่า เพราะมีพื้นที่ถ่ายเทความร้อนมากกว่าและดีกว่า	2. ความดันไอน้ำไม่คงที่ ไม่สามารถใช้ไอน้ำได้สม่ำเสมอด้วยความดันคงที่
3. ปลอดภัยต่อการใช้งาน	3. ราคาแพง
4. ตรวจสอบสภาพของท่อต่างๆ ได้ง่ายตาย	4. ทำความสะอาดภายในหลอดน้ำยาก อันตรายเกิดจากน้ำในหม้อไอน้ำแห้งมีมาก

ตาราง 2 แสดงข้อดีและข้อเสียของหม้อไอน้ำแบบหลอดไฟ

ข้อดีของหม้อไอน้ำแบบหลอดไฟ	ข้อเสียของหม้อไอน้ำแบบหลอดไฟ
1. ไม่ต้องใช้น้ำเลี้ยงที่มีคุณภาพดีมาก	1. ทนความดันได้ไม่สูงมากนัก
2. ความดันไอน้ำคงที่ สามารถใช้ไอน้ำได้สม่ำเสมอด้วยความดันคงที่	2. ผลิตไอน้ำได้ช้ากว่าเพราะพื้นที่ผิวถ่ายเท ความร้อนน้อย และการถ่ายเทความร้อนไม่ค่อยดี
3. ราคาถูกกว่าหม้อไอน้ำแบบหลอดน้ำมาก	3. ปลอดภัยต่อการใช้งานน้อยกว่าแบบหลอดน้ำ
4. ทำความสะอาดภายในหม้อไอน้ำได้ง่ายกว่า	4. ตรวจสอบสภาพท่อต่างๆ ภายในหม้อไอน้ำได้ยากกว่า
5. อันตรายเกิดจากน้ำในหม้อไอน้ำแห้งมีน้อยกว่า	

ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำและการตรวจวัด

ประสิทธิภาพไอน้ำ

ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ (Boiler efficiency) หมายถึง ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดที่ป้อนเข้าไปในหม้อไอน้ำกับความร้อนที่มีอยู่ในไอน้ำที่หม้อไอน้ำผลิตได้

การคำนวณประสิทธิภาพหม้อไอน้ำทำได้หลายวิธี แต่ที่นิยมใช้กันมาก คือ การนำดุลความร้อน (Heat balance) โดยอาศัยทฤษฎีเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานที่กำหนดว่าความร้อนเข้าระบบเท่ากับความร้อนออกจากระบบ

การคำนวณหาปริมาณความร้อนเข้าระบบและปริมาณความร้อนออกจากระบบทำได้

ดังนี้

1. ความร้อนเข้า

- 1.1 ความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง
- 1.2 ความร้อนสัมผัสของเชื้อเพลิง
- 1.3 ความร้อนสัมผัสสำหรับการเผา
- 1.4 ความร้อนสัมผัสของน้ำที่ไอน้ำเข้า

2. ความร้อนออก

- 2.1 ความร้อนที่มีอยู่ในไอน้ำที่เกิดขึ้น
- 2.2 ความร้อนที่มีอยู่ในก๊าซเผาไหม้แห้งเพื่อปล่อยทิ้ง
- 2.3 ความร้อนที่มีอยู่ในหม้อไอน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้
- 2.4 ความร้อนที่สูญเสียจากการถ่ายเทความร้อน การนำ การพา และการแผ่รังสี

การตรวจวัดประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

การตรวจวัดประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ สามารถดำเนินการตรวจสอบได้ 3 วิธีการ ดังนี้

1. การวัดความร้อนที่สูญเสียออกทางปล่องไฟ (Stack loss) โดยการวัดคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ/ออกซิเจนและอุณหภูมิของก๊าซร้อน
2. การวัดประมาณความร้อนเข้าและความร้อนออก
3. การสมดุลความร้อน

หม้อไอน้ำเป็นเครื่องจักรที่ประกอบด้วยเครื่องจักร 2 ตัว คือเครื่องเผาไหม้เชื้อเพลิง (BURNER) และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (HEAT EXCHANGER) โดยที่เครื่องทั้ง 2 ตัว นี้จะต่ออนุกรมกัน ดังนั้น เมื่อป้อนเชื้อเพลิงเข้า BURNER จะได้แก๊สร้อนออกมา แก๊สร้อนถูกส่งเข้า HEAT EXCHANGER ได้ไอน้ำออกไปใช้งาน

1. การแบ่งชนิดของพลังงานตามที่มาเป็นการแบ่งที่ใช้ที่มาของแหล่งพลังงานเป็นเกณฑ์ ในการแบ่ง สามารถแบ่งได้ 3 แบบ คือ

1.1 เป็นการยึดเอาการนำเอาพลังงานมาใช้เป็นหลัก สามารถแบ่งออกได้ 2 แบบ คือ พลังงานต้นกำเนิด (Primary Energy) เป็นพลังงานที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้โดยตรง ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังน้ำ พลังงานลม พลังงานความร้อนใต้พิภพ และเชื้อเพลิงธรรมชาติ เช่น แร่นิวเคลียร์ ไม้ฟืน แกลบ เป็นต้น และพลังงานแปรรูป (Secondary Energy) เป็นพลังงานที่แปรรูปมาจากพลังงานต้นกำเนิด ได้แก่ พลังงานไฟฟ้า ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ถ่านโค้ก และแก๊สหุงต้ม เป็นต้น

1.2 แบ่งออกได้ 3 แบบ คือ แบบแรก พลังงานจากแร่เชื้อเพลิง ได้แก่ ปิโตรเลียม ถ่านหิน หินน้ำมัน และแร่กัมมันตรังสี แบบที่สอง คือ พลังงานจากแหล่งธรรมชาติ ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังน้ำ พลังงานลม และพลังงานความร้อนใต้พิภพ และแบบสุดท้าย คือ พลังงานจากเชื้อเพลิงรูปอื่นๆ ได้แก่ ฟืน ถ่านไม้ เศษไม้ ชี๊เลี้ยง แกลบ ชานอ้อย ขยะมูลฝอย เป็นต้น

1.3 เป็นการแบ่งแบบใช้แสงอาทิตย์เป็นเกณฑ์ สามารถแบ่งออกได้ 2 แบบ คือ พลังงานที่มาจากแสงอาทิตย์ ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังน้ำ และพลังงานจากชีวมวล ส่วนอีกแบบหนึ่งคือ พลังงานที่ไม่ได้มาจากแสงอาทิตย์ ได้แก่ พลังงานนิวเคลียร์ และพลังงานความร้อนใต้พิภพ

2. การแบ่งชนิดของพลังงานโดยแบ่งตามความมีอยู่ของพลังงาน จะพิจารณาถึงเมื่อใช้แล้วสถานภาพของแหล่งพลังงานเป็นอย่างไร สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ หนึ่ง พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป (Non-renewable energy) เป็นพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัด ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เมื่อใช้แล้วจะหมดไป หรือเราเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า พลังงานฟอสซิล (Fossil fuel) แหล่งพลังงานจำพวกนี้ได้มาจากซากพืชซากสัตว์ที่ตายทับถมกันเป็นเวลานับล้านๆ ปี ได้แก่ น้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ หินน้ำมัน เป็นต้น และพลังงานอีกชนิดหนึ่งคือ พลังงานที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Renewable energy) หรือเราเรียกว่าพลังงานหมุนเวียน ที่เรียกเช่นนี้เพราะเป็นพลังงานที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ในระยะเวลาสั้นๆ อาจจะสามารถเรียกได้ว่าพลังงานยั่งยืน (Sustainable energy) เพราะสามารถนำมาใช้ได้ไม่มีวันหมด สามารถทดแทนได้ แหล่งพลังงานจำพวกนี้ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังน้ำ พลังงานจากชีวมวล พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานคลื่น พลังงานน้ำขึ้น-น้ำลง เป็นต้น

3. การแบ่งชนิดของพลังงานตามความสามารถในการนำไปใช้ เป็นการแบ่งชนิดของพลังงานตามการใช้งานในปัจจุบัน แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ พลังงานตามรูปแบบ (Conventional energy) เป็นแหล่งพลังงานที่ใช้กันอยู่ทั่วไป และเทคโนโลยีที่จะนำพลังงานเหล่านั้นไปใช้งานได้ มีการพัฒนาจนเกือบจะอิ่มตัวแล้ว พลังงานเหล่านั้นได้มาจาก น้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ หินน้ำมัน และทรายน้ำมัน เป็นต้น อีกชนิดหนึ่งได้แก่ พลังงานนอกประเภท (Non-conventional energy) เป็นพลังงานที่ยังไม่ค่อยมีใช้ในปัจจุบัน และจะต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อการนำเอาพลังงานเหล่านั้นมาใช้อีกมากในอนาคต ซึ่งได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังน้ำ เป็นต้น [1]

เชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงอาจจำแนกได้ตามสถานะ คือ ของเหลว ของแข็ง ก๊าซ หรือจำแนกตามกระบวนการผลิตขึ้นหรือจำแนกตามคุณค่า

ไม้ฟืน เป็นเชื้อเพลิงที่มนุษยชาตินำมาใช้มายาวนานแล้วจัดเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้ไม่มีหมด เนื่องจากสามารถปลูกทดแทนได้ถึงกับมีการปลูกไม้พลังงานเพื่อตัดมาป้อนโรงไฟฟ้าซึ่งปัจจุบันมีโรงไฟฟ้าที่ใช้วัตถุดิบจากชีวมวลมาผลิตไฟฟ้าได้

ชีวมวล (Biomass)

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีผลผลิตทางการเกษตรเหลือใช้มากมายหลายชนิดเช่น มันสำปะหลัง ยางพารา น้ำมันปาล์ม ยูคาลิปตัส เป็นต้น ชีวมวลบางชนิดถูกนำมาทำเป็นปุ๋ย วัตถุดิบ และเชื้อเพลิง โดยชีวมวลที่ได้ในแต่ละปีนั้นเทียบเท่าถ่านหินได้ถึง 54 ล้านตัน [3] ชีวมวลที่มาจากพืชสามารถจำแนกตามแหล่งที่มาได้เป็น 3 ประเภทคือชีวมวลที่สามารถหาได้จากตามโรงงานแปรรูปสินค้าทางการเกษตร, ชีวมวลที่หาได้จากตามไร่ สวน และนาข้าว และชีวมวลที่ปลูกใหม่เพื่อเป็นพลังงานโดยเฉพาะ

ชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานทดแทนจากพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล ทั่วโลกใช้พลังงานจากชีวมวลร้อยละ 14 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมด [3] ซึ่งเกือบครึ่งหนึ่งของโลก หรือ 250 ล้านคนในกลุ่มประเทศที่กำลังพัฒนายังคงใช้พลังงานจากชีวมวลอยู่ โดยร้อยละ 50 - 90 ของการใช้พลังงานในประเทศที่กำลังพัฒนาใช้พลังงานจากชีวมวล ในปี 2530 แสดงดังตาราง 3 สำหรับประเทศไทยมีการใช้พลังงานจากชีวมวลร้อยละ 21 และการใช้ชีวมวลของประชากรคือ 1.61 เทียบเท่าตันของไม้ต่อคนต่อปี ในขณะที่ประเทศเนปาลมีการใช้ถึงร้อยละ 97 และมีการใช้ชีวมวลต่อคนต่อปีเพียง 0.71 เทียบเท่าตันของไม้ ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่า ประชากรในประเทศไทยมีการใช้พลังงานจากชีวมวลต่อคนต่อปีมากกว่าประชากรประเทศเนปาล ในขณะที่ประเทศที่พัฒนาแล้วจะมีการใช้พลังงานจากชีวมวลน้อยลง โดยเฉลี่ยประมาณ ร้อยละ 4 - 10 เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกามีการใช้ชีวมวลร้อยละ 4 - 5 ซึ่งเท่ากับการใช้พลังงานนิวเคลียร์ ส่วนในแคนาดาและสวีเดนมีการใช้เชื้อเพลิงประมาณร้อยละ 8 - 10 [4]

ประเภทของชีวมวล

การแบ่งประเภทชีวมวลสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท คือ

1. เชื้อเพลิงไม้ (Woodfuel) เป็นเชื้อเพลิงที่ได้มาจากไม้และผลิตภัณฑ์ของไม้ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น

1.1 ไม้ฟืน (Fuelwood/firewood) เป็นเชื้อเพลิงที่ได้มาจากพวกไม้โดยตรง โดยไม่มีการแปรรูป

1.2 ถ่านไม้ (Charcoal) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากกระบวนการคาร์บอนไนซ์ (Carbonized) หรือกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysed)

1.3 พลังงานจากเศษไม้และวัสดุเหลือใช้จากป่าไม้

2. วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (Agro-wastes) หมายถึงวัสดุเหลือใช้จากการทำฟาร์มและการเพาะปลูกพืช เช่น ฟางข้าว แกลบ และกากอ้อย เป็นต้น

3. ของเสียจากสัตว์ (Animal wastes) เป็นของเสียที่ได้จากสัตว์ขบถ่ายออกมา ซึ่งจะหมายถึงมูลสัตว์เป็นหลัก เช่น มูลวัว และมูลสัตว์ปีก เป็นต้น

4. พืชพลังงาน (Fuel crops) ซึ่งหมายถึงพืชที่ปลูกขึ้นมาเพื่อวัตถุประสงค์ของการนำมาใช้เป็นพลังงานเป็นหลัก เช่น อ้อยและมันสำปะหลังที่สำหรับการนำมาผลิตเป็นแอลกอฮอล์ หรือสบูดำ เป็นต้น

การนำชีวมวลมาใช้ (Biomass conversion)

ในสภาวะปัจจุบันน้ำมันเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียมมีราคาเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้มีความต้องการที่จะใช้พลังงานจากชีวมวลมาทดแทนเพิ่มมากขึ้น แต่ปริมาณของชีวมวลที่มีการผลิตได้นั้นยังไม่เพียงพอกับความต้องการ ดังนั้นการใช้ชีวมวลจึงควรจะต้องเลือกใช้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับชนิดของชีวมวลและความต้องการตามสภาพท้องถิ่นๆ ซึ่งการนำพลังงานเชื้อเพลิง ชีวมวลออกมาใช้โดยเฉพาะในด้านของความร้อน สามารถกระทำได้หลายวิธี คือ

1. การเผาไหม้โดยตรง (Direct combustion) เป็นกระบวนการใช้ความร้อนสลายโมเลกุลวิธีหนึ่ง

2. การใช้ความร้อนสลายโมเลกุล (Thermochemical conversion) ซึ่งสามารถแบ่งตามกระบวนการได้หลายวิธี คือ

2.1 กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis)

2.2 กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification)

2.3 กระบวนการลิกวิดิแฟคชัน (Liquidfaction)

3. การใช้ชีวเคมีสลายโมเลกุล (Biochemical conversion) ซึ่งสามารถแบ่งตามกระบวนการได้หลายวิธี คือ

3.1 กระบวนการย่อยสลายโดยไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic digestion)

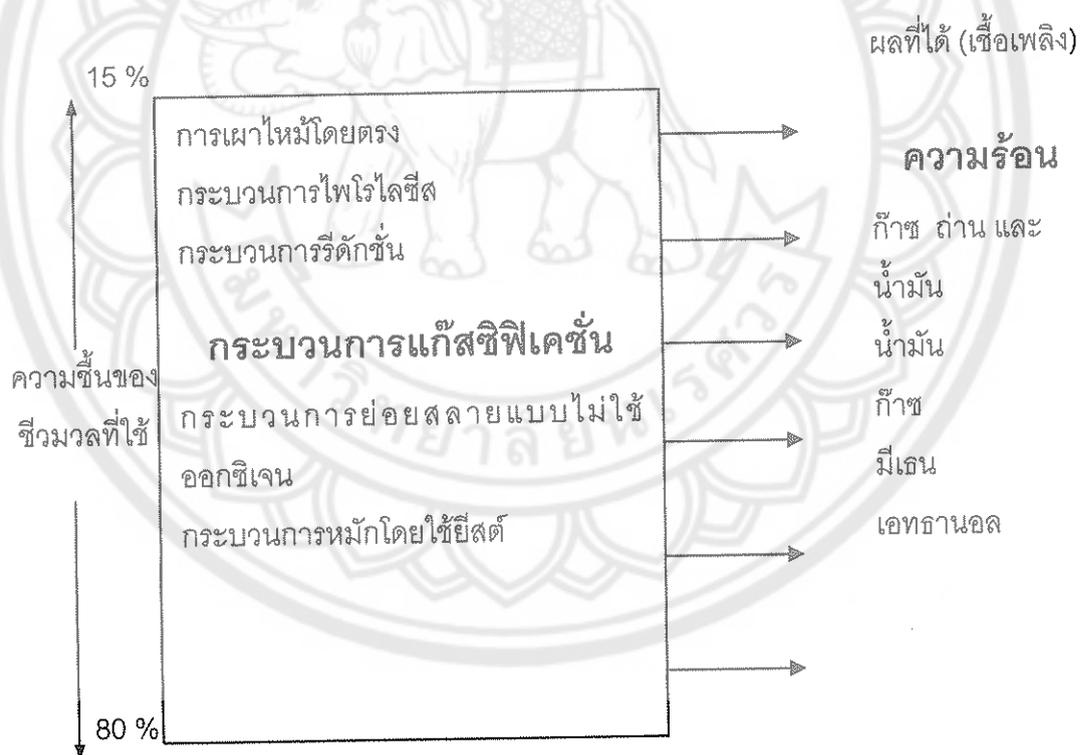
3.2 กระบวนการหมัก (Yeast fermentation)

สรุปกระบวนการเปลี่ยนแปลงชีวมวลเมื่อนำมาแปรรูปเป็นพลังงานที่ได้จากกระบวนการที่แตกต่างกัน ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ต่างกัน แสดงดังตาราง 1 และตัวแปรที่สำคัญตัวหนึ่งของความเหมาะสมในการนำเอาชีวมวลมาใช้เป็นพลังงาน คือ ความชื้น โดยความสัมพันธ์ของความชื้นที่เหมาะสมในการนำเอาชีวมวลมาใช้กับกระบวนการต่างๆ แสดงดังภาพ 1 และยังคงแสดงถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการต่างๆ อีกด้วย ซึ่งในกระบวนการที่ใช้ความร้อนในการแปรรูปชีวมวลจะเป็นกระบวนการที่จะใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำกว่ากระบวนการที่ใช้ชีวมวลในการแปรรูปชีวมวลด้วยการใช้ชีวเคมีสลายโมเลกุล เพราะในกระบวนการแปรรูปด้วยชีวเคมีนั้น จะต้องมีการใช้น้ำในการช่วยทำให้เกิดปฏิกิริยาการหมักและการย่อยสลาย เพื่อให้เกิดผลผลิตที่ต้องการ

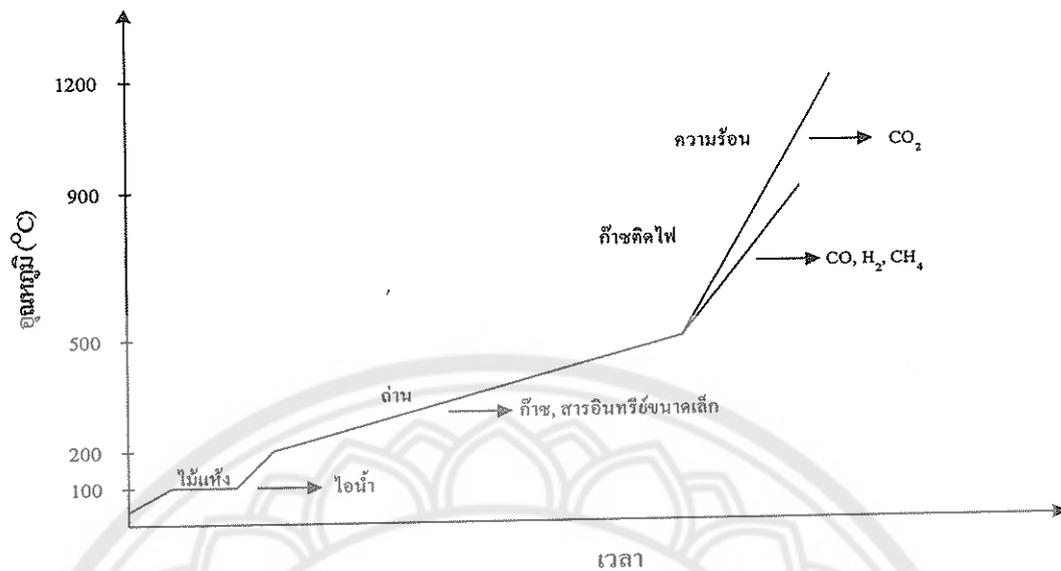
นอกจากความชื้นจะเป็นตัวแปรที่สำคัญสำหรับกระบวนการแปรรูปชีวมวลแล้ว ปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของการแปรรูปด้วยความร้อนคือ อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการก็มีผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ดังภาพ 2 ซึ่งจะเห็นว่า กระบวนการเผาไหม้โดยตรง จะใช้ความร้อนที่อุณหภูมิไม่สูงมากนักคือประมาณ 100 – 200 องศาเซลเซียส แต่ถ้าเป็นกระบวนการที่ต้องการผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ คือ กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ผลผลิตของกระบวนการจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่า 500 องศาเซลเซียส สำหรับกระบวนการผลิตถ่าน หรือกระบวนการไพโรไลซิส จะใช้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 200 – 500 องศาเซลเซียส [4]

ตาราง 3 แสดงกระบวนการเปลี่ยนแปลงชีวมวลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง [4]

กระบวนการ	ผลิตภัณฑ์
ก. กระบวนการที่ใช้ความร้อน	
- กระบวนการเผาไหม้ (Combustion)	CO ₂ , H ₂ O, เถ้า ความร้อน ไอน้ำ
- กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis)	ถ่าน น้ำมัน ก๊าซ
- กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification)	CO, H ₂ , CH ₄
- กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันกับเคตาไลติก (Gasification + Catalytic synthesis)	เมทานอล และไฮโดรคาร์บอน
ข. กระบวนการที่ใช้ชีวเคมี	
- กระบวนการหมักด้วยยีสต์ (Yeast fermentation)	เอทานอล และ CO ₂
- กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic digestion)	มีเทน และ CO ₂



ภาพ 1 กระบวนการที่เหมาะสมกับความชื้นของชีวมวลและผลิตภัณฑ์ที่ได้ [4]



ภาพ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในกระบวนการที่ใช้ความร้อน [4]

องค์ประกอบของชีวมวลที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้า [6]

ชีวมวลแต่ละชนิดมีคุณสมบัติเฉพาะอย่าง คุณสมบัติบางอย่างถือเป็นจุดเด่น คุณสมบัติบางอย่างถือเป็นจุดด้อย เช่น การกระจายตัวของแหล่งชีวมวล ขนาด ความชื้น สิ่งเจือปน ปริมาณที่เก็บได้ ดังนั้น ถ้านำชีวมวลใดมาผลิตไฟฟ้า ต้องออกแบบเครื่องจักรให้เหมาะสมกับชีวมวลนั้นๆ เพื่อประสิทธิภาพโดยรวมที่ดีที่สุด อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติอย่างหนึ่งของชีวมวลที่เหมือนกันคือ มีน้ำหนักเบา เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ โรงไฟฟ้าชีวมวลจึงควรอยู่ใกล้กับแหล่งผลิตชีวมวลเพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านการขนส่งให้มากที่สุด

1. การกระจายตัวของแหล่งชีวมวล

รูปแบบการกระจายตัวของแหล่งชีวมวล มี 2 ลักษณะคืออยู่รวมเป็นกลุ่ม และอยู่กระจัดกระจาย ชีวมวลที่อยู่รวมเป็นกลุ่มคือเศษชีวมวลจากกระบวนการแปรรูป ณ ที่ใดที่หนึ่ง เช่น โรงสีข้าว, โรงงานผลิตน้ำตาลทราย, โรงงานแป้งมันสำปะหลัง, โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม และโรงงานแปรรูปไม้ยางพารา เป็นต้น ที่อยู่กระจัดกระจายตามพื้นที่เพาะปลูกหรือไม่มี การรวบรวม เช่น การสีข้าวโพดโดยอาศัยอุปกรณ์สีข้าวโพดที่เคลื่อนที่ได้ และเศษไม้-ปลายไม้จากสวนปาล์มยางพารา เป็นต้น ส่วนการนำชีวมวลที่อยู่กระจัดกระจายมา เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้า จะมีข้อเสียเปรียบคือ เสียค่าใช้จ่ายในการรวบรวมเพิ่มขึ้น

2. ขนาด

ขนาดของชีวมวล เป็นอีกองค์ประกอบหนึ่งที่ต้องพิจารณา ถ้าชีวมวลมีขนาดใหญ่ เช่น เศษไม้หรือปลายไม้ จากสวนป่ายางพารา และปึกไม้ที่ได้จากโรงเลื่อยไม้ยางพารา เป็นต้น จะมีขนาดใหญ่เกินไปจึงไม่เหมาะที่จะนำมาเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง เพราะประสิทธิภาพการเผาไหม้จะต่ำ ดังนั้นควรจะนำมาย่อยให้เป็นชิ้นเล็กๆ จะทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น แต่ก็มีค่าใช้จ่ายในการย่อยเพิ่มขึ้นเช่นกัน

3. ความชื้น

ความชื้นของชีวมวลเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการนำมาเป็นเชื้อเพลิง ถ้าชีวมวลมีความชื้นสูงมาก เช่น กากมันสำปะหลังหรือสาเหล้ม ซึ่งมีความชื้นประมาณ 80-90% ไม่เหมาะที่จะนำมาเผาไหม้ แต่อาจจะนำมาผ่านกระบวนการบีบอัด (Dewatering) เพื่อลดความชื้นก่อนนำไปเผา หรือนำมาผ่านกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้าได้เช่นกัน ในกรณีของเศษไม้ มีความชื้นประมาณ 50-60% ถ้านำมาเก็บไว้ล่วงหน้าระยะหนึ่ง ความชื้นจะลดลงโดยธรรมชาติ แต่มีข้อเสียคือ เสียพื้นที่ในการจัดเก็บ และถ้าเก็บไว้นานไปไม่มีโอกาสใช้ได้

4. สิ่งเจือปน

สิ่งเจือปนในชีวมวลมีหลายอย่างเช่น เศษดิน หิน กรวดทราย และคราบน้ำมันปาล์ม เป็นต้น สิ่งเจือปนที่ต้องระมัดระวังให้มากคือ สารอัลคาไลไนท์ในทะเลลายปาล์ม เพราะเมื่อถูกความร้อนที่อุณหภูมิระดับหนึ่งจะกลายเป็นยางเหนียวเกาะติดท่อน้ำในห้องเผาไหม้ ทำให้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำลดลง ดังนั้นในการออกแบบห้องเผาไหม้ต้องพิจารณาจุดนี้เป็นพิเศษ

5. ปริมาณขี้เถ้า

ปริมาณขี้เถ้าของชีวมวล มีผลต่อการเผาไหม้เช่นกัน โดยเฉพาะแกลบจะมีปริมาณขี้เถ้า 16% โดยน้ำหนัก ดังนั้นการออกแบบห้องเผาไหม้จะต้องพิจารณาถึงการรวบรวมขี้เถ้าออกจากห้องเผา ไหม้อย่างมีประสิทธิภาพ

6. การวัดค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล

มีวิธีการวัด 3 แบบคือ

6.1 ค่าความร้อนต่ำ หรือ Lower Heating Value (LHV) หมายถึงการนำชีวมวลหนัก 1 กิโลกรัม มาหาค่าความร้อน ค่าที่วัดได้คือ ค่าความร้อนต่ำ (LHV) ต่อกิโลกรัม

6.2 ค่าความร้อนสูง หรือ Higher Heating Value (HHV) หมายถึงการนำชีวมวลหนัก 1 กิโลกรัม มาลดความชื้นหรือกำจัดน้ำออกให้หมด จากนั้นนำมาหาค่าความร้อน ค่าที่วัดได้คือ ค่าความร้อนสูง (HHV) ต่อ กิโลกรัม และมีความสัมพันธ์กับค่าความร้อนต่ำดังนี้

$$\text{HHV} = \text{LHV} + 5.72(9\text{H} + \text{M}) \text{ kcal/kg} \text{ หรือ } \text{HHV} = \text{LHV} + 23.95(9\text{H} + \text{M}) \text{ kJ/kg} \quad (1)$$

เมื่อ H เท่ากับปริมาณเปอร์เซ็นต์ของธาตุไฮโดรเจนในชีวมวล และเมื่อ M เท่ากับปริมาณเปอร์เซ็นต์ของความชื้นในชีวมวล

6.3 ค่าความร้อนแห้ง หรือ Dry Heating Value หมายถึงการนำชีวมวลจำนวนหนึ่ง มาลดความชื้นหรือกำจัดน้ำออกให้หมด จากนั้นแบ่งมา 1 กิโลกรัม เพื่อนำมาหาค่าความร้อน ค่าที่วัดได้คือ ค่าความร้อนแห้งต่อกิโลกรัม และมีความสัมพันธ์กับค่าความร้อนสูงดังนี้

$$\text{Dry Heating Value} = \text{HHV} / (1 - \text{M}/100) \quad (2)$$

เชื้อเพลิงแข็งที่นำมาใช้

ยูคาลิปตัส (อังกฤษ: Eucalyptus) เป็นพรรณไม้มีถิ่นกำเนิดในทวีปออสเตรเลีย เกาะแทสเมเนีย มีการกระจายพันธุ์ตั้งแต่หมู่เกาะมินดาเนา เซลีเบส ปาปัวนิวกินี ในพื้นที่ชุ่มที่มีน้ำขังในเขตร้อน [7]

ชื่อพื้นเมือง : ยูคาลิปตัส

ชื่อวิทยาศาสตร์ : Eucalyptus melliodora

ชื่อวงศ์ : Myrtaceae

ชื่อสามัญ : Eucalyptus

การกระจายพันธุ์ : หมู่เกาะมินดาเนา เซลีเบส ปาปัวนิวกินี ในพื้นที่ชุ่มที่มีน้ำขังในเขตร้อน

ไมยราพยักษ์ เป็นไม้พุ่ม ลำต้นตั้งตรงสูง 2-4 เมตร มีหนามปกคลุมทั่วต้น เนื้อไม้แข็ง ใบเป็นใบประกอบ แบบขนนก ใบย่อยมีขนาดเล็ก มีความรู้สึกไวต่อสิ่งเร้า เมื่อถูกสัมผัสหรือกระทบกระเทือนจะหุบใบ ก้านใบและแกนใบมีหนามแหลม ช่อดอกออกตามซอกใบ 1-3 ช่อ ช่อดอกเป็นกระจุกกลม สีชมพู ผลเป็นฝักแบนยาวมีขนเรียบปกคลุม เก้าะเป็นกลุ่มประมาณ 10 ฝัก ฝักแบ่งเป็นปล้อง 10-25 ปล้อง แต่ละปล้องมีเมล็ดแบบสีน้ำตาลรูปไข่ 1 เมล็ด เป็นพืชที่ร่ายแรงในเขตที่ลุ่ม และที่ชายน้ำในภาคเหนือ [8]

ชื่อไทย :ไมยราพยักษ์ ไมยราพน้ำ ไมยราพต้น

ชื่อสามัญ : Giant mimosa.

ชื่อวิทยาศาสตร์ : Mimosa pigra L.

ชื่อวงศ์ : MIMOSACEAE

ขังข้าวโพด ต้น เป็นพืชจำพวกหญ้า มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกาใต้ มีลำต้นตั้งตรง แข็งแรง เนื้อ ภายในฟามคล้ายฟองน้ำสูงประมาณ 1.4 เมตร ใบ จะเป็นเส้นตรงปลายแหลม ยาวประมาณ 30-100 ซม. เส้นกลางของใบจะเห็นได้ชัด ตรง ขอบใบมีขนอ่อนๆ ดอก ดอกตัวผู้ และดอกตัวเมีย อยู่ในต้นเดียวกัน ช่อ ดอกตัวผู้อยู่ส่วนยอดของลำต้น ช่อดอกตัวเมีย อยู่ต่ำลงมา อยู่ระหว่างกาบของใบ และลำต้น ฝัก เกิดจากดอกตัวเมียที่เจริญเติบโตแล้ว ฝักอ่อน จะมีสีเขียว พอแก่เป็นสีน้ำตาล [9]

ชื่อวิทยาศาสตร์ : Zea Mays L.

วงศ์ : Gramineae

ชื่อสามัญ : Maize, corn

ชื่ออื่น : ข้าวสาลี (เหนื่อ), คง (กระบี่), โปด (ใต้), บือเคสะ (กระเหรียง-แม่ฮ่องสอน)

ตาราง 4 แสดงคุณสมบัติทางความร้อนของชีวมวล

	ขังข้าวโพด [10]	เปลือกไม้ยูคาลิปตัส [11]	ไมยราพยักษ์ [12]
Proximate analysis			
Moisture, %	40.00		8.03
Ash, %	0.90	0.34	6.30
Volatile Matter, %	45.42	78.9	66.02
Fixed Carbon, %	13.68	20.7	19.65
Ultimate Analysis			
Carbon, %	28.19	57.5	
Hydrogen, %	3.36	5.3	
Oxygen, %	27.42	0.1	
Nitrogen, %	0.12	0.1	

ตาราง 4 (ต่อ)

	ซังข้าวโพด	เปลือกไม้ยูคาลิปตัส	ไมยราพยักษ์
	[10]	[11]	[12]
Sulfur, %	0.03	0.03	0.21
Chlorine, %	0.05		
Ash, %	0.90		
Moisture, %	40.00		
Higher heating value, kJ/kg	11,298	19,481	17,046
Lower heating value, kJ/kg	9,615	18,342	

หมายเหตุ: ผลวิเคราะห์ข้างต้นอ้างอิงจากตัวอย่างชีวมวลที่นำมาทดสอบเท่านั้น ซึ่งอาจแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์พืชและพื้นที่ปลูกเมื่อ 1 kcal/kg มีค่าเท่ากับ 4.1868 kJ/kg

พิกัดหม้อไอน้ำ

พิกัดหม้อไอน้ำ คือ อัตราไอน้ำที่หม้อไอน้ำสามารถผลิตได้ต่อหนึ่งหน่วยเวลา พิกัดหม้อไอน้ำมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อชั่วโมง แต่หม้อไอน้ำลูกหนึ่งๆ สามารถผลิตไอน้ำได้มากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับความดันทำงาน การระบุพิกัดหม้อไอน้ำจริง การระบุพิกัดหม้อไอน้ำทำได้ 2 วิธีคือ

1. อัตราการผลิตไอน้ำจริง (Actual Evaporation) คือการระบุอัตราการผลิตไอน้ำของหม้อไอน้ำภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ได้แก่ ความดันไอน้ำ ประเภทของไอน้ำ อัตราการผลิตไอน้ำ และ คุณภูมิของน้ำป้อน เป็นต้น เนื่องจากหม้อไอน้ำลูกหนึ่งๆ สามารถผลิตไอน้ำได้ที่ความดันต่างๆ กัน ซึ่งเมื่อความดันและคุณภูมิในหม้อไอน้ำต่างกันแล้ว ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการทำให้น้ำกลายเป็นไอน้ำจะต่างกันด้วย จึงจำเป็นต้องระบุให้ชัดเจน

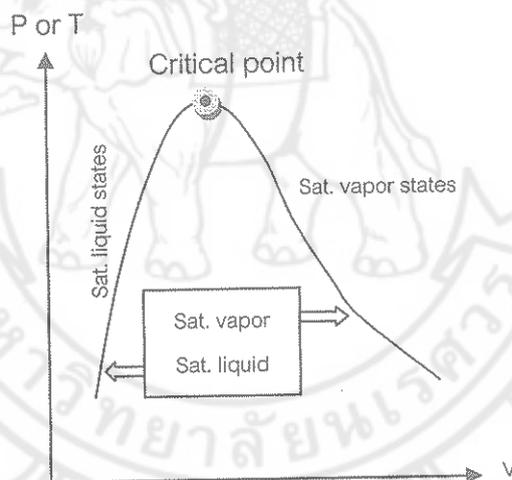
2. อัตราการผลิตไอน้ำสมมูลย์ (Equivalent Evaporation) คือการระบุอัตราการผลิตไอน้ำของหม้อไอน้ำจากน้ำอิ่มตัวที่คุณภูมิ 100 °C ภายใต้ความดันบรรยากาศมาตรฐาน ซึ่งการระบุพิกัดของหม้อไอน้ำด้วยวิธีนี้ จะสามารถเปรียบเทียบพิกัดของหม้อไอน้ำแต่ละลูกได้ทันที ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิตไอน้ำจริงและอัตราการผลิตไอน้ำสมมูลย์ เป็นไปดังนี้

$$\text{อัตราการผลิตไอน้ำสมมูลย์ (R)} = \frac{m_a (h_g - h_w)}{2256.7} \quad [\text{kg/h}] \quad (3)$$

- เมื่อ m_q ปริมาณไอน้ำที่หม้อไอน้ำผลิตได้ต่อหน่วยเวลา [kg/h]
 h_q เอนทัลปีของไอน้ำ ณ สภาวะที่กำลังพิจารณา [kJ/kg]
 h_w เอนทัลปีของน้ำที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำ [kJ/kg]
 ความร้อนแฝงของการระเหย = 2256.7 [kJ/kg]

สารที่มีสถานะเป็นของผสมของเหลว-ไออิ่มตัว (Saturated Liquid-Vapor Mixture or Saturated Mixture)

ในระหว่างกระบวนการระเหย ภายในระบบจะประกอบด้วยสารทำงานใน 2 สถานะ คือ ของเหลวอิ่มตัวและไออิ่มตัว ซึ่งสารทำงานในลักษณะดังกล่าวเรียกของผสมของเหลว-ไออิ่มตัว หรือของผสมอิ่มตัว จากแผนภาพบริเวณที่แสดงสถานะของของผสมอิ่มตัวได้แก่ บริเวณภายในโดม หรือบริเวณที่อยู่ระหว่างเส้นของเหลวอิ่มตัวและเส้นไออิ่มตัวดังแสดงในภาพ 3



ภาพ 3 สารที่มีสถานะเป็นของผสมอิ่มตัว

ในการวิเคราะห์สมบัติของของผสมอิ่มตัวจะต้องทราบสัดส่วนของไอในของผสม จึงได้มีการกำหนดสมบัติ ที่เรียกว่า คุณภาพไอหรือสัดส่วนความแห้งของไอ (quality หรือ dryness fraction, x) โดย

$$x = \frac{m_{\text{vapor}}}{m_{\text{total}}} = \frac{m_g}{m_t} \quad (4)$$

เมื่อ $m_{\text{รวม}} = m_{\text{ของเหลวอิมตัว}} + m_{\text{ของไออิมตัว}}$

$$m_t = m_l + m_g \quad (5)$$

ในทางเทอร์โมไดนามิกส์ คุณภาพไอน้ำไม่มีความหมายสำหรับสารที่มีสถานะเป็นของเหลวอัดและไอระเหยยิ่ง ดังนั้น คุณภาพไอน้ำจึงเป็นสมบัติที่ใช้สำหรับกำหนดสถานะของสารที่มีสถานะเป็นของเหลวอิมตัว ($x = 0$) ของผสมอิมตัว ($0 < x < 1$) และไออิมตัว ($x = 1$) เท่านั้น

เมื่อพิจารณาปริมาตรของสารที่มีสถานะของผสมอิมตัวจะมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$x = \frac{V_{\text{avg}} - V_f}{V_{fg}} \quad (6)$$

ความสัมพันธ์สำหรับสมบัติอื่นๆ ของระบบ คือ พลังงานภายในและเอนทัลปีของของผสมอิมตัวสามารถพิจารณาในลักษณะเดียวกันกับปริมาตร สามารถสรุปได้ดังนี้

$$y_{\text{avg}} = y_f + xy_{fg} \quad (7)$$

หน่วยที่ใช้บอกพิกัดของหม้อไอน้ำ มีความหมายดังนี้

หม้อไอน้ำขนาด 1 ตันต่อชั่วโมง คือ หม้อไอน้ำที่สามารถทำให้น้ำที่มีน้ำหนัก 1,000 กิโลกรัม กลายสภาพจากน้ำที่ 100 °C เป็นไอน้ำที่ 100°C ภายในเวลา 1 ชั่วโมง ดังนั้น

พลังงานที่ใช้ในการผลิตไอน้ำ 1 ตันต่อชั่วโมง = 1,000 × 2,256.7 = 2,256,700 kJ/h
พิกัดแรงม้าหม้อไอน้ำในระบบอังกฤษ กำหนดตาม ASME เรียกว่า แรงม้าหม้อไอน้ำ โดยที่ 1 แรงม้าหม้อไอน้ำ คือจำนวนความร้อนที่ทำให้น้ำที่มีมวล 34.5 lb มีอุณหภูมิ 212°F ระเหยกลายเป็นไอน้ำหมดที่อุณหภูมิ 212°F ภายในเวลา 1 ชั่วโมง ดังนั้น

$$1 \text{ แรงม้าหม้อน้ำ} = 34.5 \times 970.3 = 33,475.35 \text{ Btu/h}$$

เมื่อเปรียบเทียบพิกัดหม้อไอน้ำทั้งสองหน่วยจะได้

$$\text{หม้อไอน้ำ 1 ตันต่อชั่วโมง} = 63.89 \text{ แรงม้าหม้อน้ำ}$$

สมรรถนะของหม้อไอน้ำ (over-all boiler efficiency)

สมรรถนะของหม้อไอน้ำ คือ ประสิทธิภาพรวมของหม้อไอน้ำ (over-all boiler efficiency) และประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ดังเช่น ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ อัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ผิว การถ่ายเทความร้อนของหม้อไอน้ำ และอุณหภูมิของแก๊สร้อนที่ปล่อยไอดีเสีย [5]

$$\eta_{\text{boiler}} = \frac{\dot{m}_s (h - h_f)}{(\dot{m}_f)(\text{HHV})} 100\% \quad (8)$$

โดยที่

η_{boiler} = ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ มีหน่วยเป็น (%)

\dot{m}_s = ปริมาณไอน้ำที่หม้อไอน้ำผลิตได้ (kg/h)

h_g = เอนทาลปีจำเพาะของไอน้ำที่ผลิตออกมาที่ความดันของหม้อไอน้ำ (kJ/Kg)

h_f = เอนทาลปีของน้ำอิ่มตัวที่ความดันหม้อไอน้ำ (kJ/Kg)

\dot{m}_f = ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ (kg/h)

HHV = ค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิง (kJ/Kg)

การหาปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องใช้ต่อชั่วโมง

จากการที่ระบบหม้อไอน้ำชีวมวลนี้เป็นระบบการผลิตกำลังไฟฟ้าสำรองของระบบรางพาราโบลิคมีความเสถียรภาพสูงเมื่อ input มีค่าเท่ากับ 100 kW ในการจ่าย turbine โดยสามารถจ่ายไฟฟ้าได้ครอบคลุมความต้องการไฟฟ้า 10 kW จึงได้ทำการออกแบบ Biomass Boiler ให้มีขนาดประมาณ 100 kW_{thermal} และการหาปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องใช้งานในหม้อไอน้ำพลังงานชีวมวล สามารถหาได้จากสมการดังนี้

การคำนวณหาอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของ Biomass Boiler

กำหนดให้	กำลังงานขาออกของ Biomass Boiler	=	100 kW
	ประสิทธิภาพ Biomass Boiler	=	0.7
	ค่าความร้อนสูงของยูคาลิปตัส	=	19,481 kJ/kg
	ค่าความร้อนสูงของซังข้าวโพด	=	11,298 kJ/kg
	ค่าความร้อนสูงของไมยราพยักษ์	=	29,387 kJ/kg

จากสมการ

$$\text{ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำชีวมวล} = \frac{\text{ผลผลิตที่ได้}}{\text{พลังงานที่ป้อนเข้า}} \quad (9)$$

$$\text{พลังงานชีวมวลที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำ} = F \times \text{HHV} \quad (10)$$

เมื่อ

$$1 \text{ kcal/kg} = 4.1868 \text{ kJ}$$

$$F = \text{อัตราการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวล, kg/s}$$

$$\text{HHV} = \text{ค่าความร้อนสูง (High Heating Value) ของเชื้อเพลิงชีวมวล, kJ/kg}$$

แทนค่า

$$0.7 = \frac{100 \text{ kW}}{(F)(\text{HHV})}$$

$$F(\text{kg/s}) = \frac{100 \text{ kW}}{0.7 \times 19,481 \text{ kJ/kg}}$$

$$F(\text{kg/s}) = 0.0073 \text{ kg/s}$$

หรือ $F(\text{kg/hr}) = 26.28 \text{ kg/hr}$

ดังนั้น ค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของยุคาลิปดัส 26.28 kg/hr

เมื่อเปลี่ยนค่า HHV ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดลงในสมการดังกล่าว จะได้ค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงดังนี้ คือ

$$\text{ซังข้าวโพด} \quad 57.81 \text{ kg/hr}$$

$$\text{ไมยราพยักษ์} \quad 17.50 \text{ kg/hr}$$

การวิเคราะห์สมรรถนะเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำ

กลจักรความร้อน [13]

งานสามารถเปลี่ยนไปเป็นพลังงานรูปอื่นได้ง่าย แต่การเปลี่ยนพลังงานรูปอื่นไปเป็นงานนั้นไม่ง่าย งานสามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นความร้อนได้โดยตรงและสมบูรณ์ แต่ถ้าต้องการเปลี่ยนความร้อนไปเป็นงานนั้นจำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์พิเศษบางอย่าง อุปกรณ์ที่ว่านี้ก็คือ กลจักรความร้อน (heat engine) โดยกลจักรความร้อนชนิดต่างๆ อาจแตกต่างกันบ้างแต่โดยส่วนใหญ่แล้วจะมีลักษณะเหมือนกัน คือ

1. อุปกรณ์เหล่านี้จะรับพลังงานความร้อนจากแหล่งพลังงาน source ที่อุณหภูมิสูง
2. อุปกรณ์เหล่านี้จะเปลี่ยนความร้อนบางส่วนที่ได้รับไปเป็นงาน
3. อุปกรณ์เหล่านี้จะคายความร้อนที่เหลือไปยังแหล่งพลังงาน sink ที่มีอุณหภูมิต่ำ
4. การทำงานจะเป็นวัฏจักร

ซึ่งโดยปกติกลจักรความร้อนหรืออุปกรณ์วัฏจักรอื่นๆ จะมีของไหลเป็นตัวรับความร้อนและคายความร้อนออกในขณะที่ไหลอยู่ในวัฏจักร เราเรียกของไหลนี้ว่า ของไหลทำงาน (working fluid)



ภาพ 4 ส่วนหนึ่งของความร้อนที่กลจักรความร้อนรับมาจะถูกเปลี่ยนไปเป็นงาน ส่วนที่เหลือจะถูกปล่อยทิ้งไปยัง sink

ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

จากสมการ $W_{\text{netout}} = Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}}$ (kJ) ค่า Q_{out} คือ ปริมาณพลังงานที่สูญเสียไป เพื่อให้วัฏจักรทำงานได้อย่างสมบูรณ์ ค่า Q_{out} จะมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ ดังนั้น งานสุทธิที่ได้ออกมา จากกลจักรความร้อนจึงมีค่าน้อยกว่าปริมาณความร้อนที่ป้อนเข้าสู่ระบบเสมอหรืออาจกล่าวได้ อีกนัยหนึ่งว่ามีความร้อนที่ถ่ายโอนเข้าสู่กลจักรความร้อนเพียงบางส่วนเท่านั้นที่จะเปลี่ยนไป เป็นงานอัตราส่วนของความร้อนที่ป้อนเข้าไปและสามารถเปลี่ยนไปเป็นงานสุทธิต่อปริมาณ ความร้อนที่ป้อนเข้าไปจะถูกใช้เป็นตัววัดประสิทธิภาพการทำงานของกลจักรความร้อน และถูกเรียกว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (thermal efficiency : η_{th})

สำหรับกลจักรความร้อนแล้ว สิ่งที่เราปรารถนาจะได้ออกมาคือ งานสุทธิที่ได้ออกมา และสิ่งที่ต้องการป้อนเข้าไปคือ ปริมาณความร้อนที่ป้อนให้กับของไหลทำงาน ดังนั้นประสิทธิภาพ เชิงความร้อนของกลจักรความร้อนสามารถแสดงได้ดังสมการ

$$\text{ประสิทธิภาพเชิงความร้อน} = \frac{\text{งานสุทธิที่ได้ออกมา}}{\text{ความร้อนทั้งหมดที่ป้อนเข้าไป}} \quad (11)$$

หรือ
$$\eta_{\text{th}} = \frac{W_{\text{netout}}}{Q_{\text{in}}} \quad (12)$$

หรือ
$$\eta_{\text{th}} = 1 - \frac{Q_{\text{out}}}{Q_{\text{in}}} \quad (13)$$

อุปกรณ์ที่ทำงานเป็นลักษณะวัฏจักรที่ใช้กันอยู่ เช่น กลจักรความร้อน เครื่องทำความเย็น และปั๊มความร้อนมักจะทำงานอยู่ระหว่างแหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิสูง T_H และความร้อนที่ อุณหภูมิต่ำ T_L ดังนั้นเราจะกำหนดค่าปริมาณอีก 2 ค่า เพื่อใช้กับกลจักรความร้อน เครื่องทำ ความเย็นและปั๊มความร้อนดังต่อไปนี้

Q_H = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายโอนระหว่างอุปกรณ์วัฏจักรกับแหล่งความร้อนที่อุณหภูมิสูง T_H

Q_L = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายโอนระหว่างอุปกรณ์วัฏจักรกับแหล่งความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ T_L



1.5531585
74 ส.ศ. 2554

สำนักหอสมุด

ข้อสังเกตคือ ทั้งค่า Q_L และค่า Q_H เป็นปริมาณที่มีค่าเป็นบวกเสมอโดยไม่ต้องคำนึงถึงเครื่องหมายอีกแล้ว ดังนั้น ปริมาณงานสุทธิที่ได้ออกมา และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของกลจักร ความร้อนสามารถแสดงได้อีกรูปหนึ่งดังนี้ คือ

$$W_{netout} = Q_H - Q_L \quad (14)$$

และ
$$\eta_{in} = \frac{W_{netout}}{Q_H} \quad (15)$$

$$\eta_{in} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} \quad (16)$$

ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของกลจักรความร้อน มักมีค่าน้อยกว่าหนึ่งเสมอ เพราะทั้งค่า Q_H และ Q_L เป็นปริมาณที่มีค่าเป็นบวก โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะเป็นค่าที่บอกให้ทราบว่ากลจักรความร้อนสามารถเปลี่ยนความร้อนที่ได้รับไปเป็นงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด กลจักรความร้อนถูกสร้างขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ในการเปลี่ยนความร้อนเป็นงาน ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพของกลจักรความร้อนจะมีผลทำให้การใช้เชื้อเพลิงลดลงและเกิดมลภาวะน้อยและจากกฎข้อที่สองทางเทอร์โมไดนามิกส์ Kelvin-Planck ได้กล่าวไว้ว่า "เป็นไปได้ที่อุปกรณ์ใดๆ จะทำงานเป็นวัฏจักรได้โดยรับความร้อนจากแหล่งสะสมพลังงานเพียงแหล่งเดียวในการผลิตงานสุทธิ"

การสมดุลพลังงานความร้อนในระบบหม้อไอน้ำ (Heat Balance of Steam Boiler) [5]

การคำนวณสมดุลทางความร้อนของระบบหม้อไอน้ำจะต้องพิจารณาถึงค่าความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง แล้วหม้อไอน้ำสามารถใช้พลังงานดังกล่าวในการเปลี่ยนเป็นไอน้ำได้ในปริมาณเท่าใด มีการสูญเสียไปเท่าใด สูญเสียเนื่องจากปัจจัยใด

1. ปริมาณความร้อนที่หม้อไอน้ำดูดซับเอาไว้ได้

$$H_1 = \frac{m_s (h - h_f)}{m_f} \quad (17)$$

โดย H_1 = ปริมาณความร้อนที่หม้อไอน้ำดูดซับเอาไว้ในน้ำและในไอน้ำ (kJ/kg_{fuel})
 m_s = ปริมาณไอน้ำที่หม้อไอน้ำผลิตได้ (kg/hr)
 m_f = ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ (kg/hr)
 h = เอนทาลปีจำเพาะที่สภาวะที่พิจารณาถึงคุณสมบัติเชิงไอน้ำ (kJ/kg)
 h_f = เอนทาลปีจำเพาะของน้ำเลี้ยงที่ป้อนเข้าสู่หม้อไอน้ำ (kJ/kg)

2. การสูญเสียความร้อน (Heat Losses) การสูญเสียความร้อนมีหลายด้านดังนี้

2.1 การสูญเสียความร้อนให้กับความชื้นในเชื้อเพลิง

$$H_2 = m_m (h_1 - h_f) \quad (18)$$

โดย H_2 = ปริมาณความร้อนที่สูญเสียให้กับความชื้นที่ปะปนในเชื้อเพลิง (kJ/kg_{fuel})
 m_m = ปริมาณความชื้นที่ปะปนในเชื้อเพลิง (kg/kg_{fuel})
 h_1 = ค่าเอนทาลปีของไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความดัน 0.069 บาร์ ที่มีอุณหภูมิเท่ากับ อุณหภูมิของไอเสีย (kJ/kg)
 h_f = ค่าเอนทาลปีของความชื้นที่อยู่ในสถานะของเหลวในอุณหภูมิของเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าสู่เตา (kJ/kg)

2.2 ความร้อนที่สูญเสียเนื่องจากน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ไฮโดรคาร์บอน

$$H_3 = W_H (h - h_f) \quad (19)$$

โดย H_3 = ปริมาณความร้อนเนื่องจากไฮโดรเจนที่ปะปนในเชื้อเพลิง (kJ/kg_{fuel})
 W_H = ปริมาณมวลไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง (kg/kg_{fuel})
 h h_f ใช้ค่าเดียวกันกับข้อ 2.1

2.3 ความร้อนสูญเสียเนื่องจากถูกพาออกไปทางปล่องไอเสีย

การสูญเสียความร้อนเป็นการสูญเสียมากที่สุดของการสูญเสียในระบบหม้อไอน้ำ ดังนั้นจึงมีการคิดค้นหาวิธีที่จะนำความร้อนจำนวนนี้มาใช้ประโยชน์ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เช่น นำไปอุ่นอากาศก่อนป้อนเข้าเตาหม้อไอน้ำ หรือใช้ในอุปกรณ์ (economizer) ความร้อนจำนวนนี้หาได้จากสมการ

$$H_4 = M_{fg} C_p (t_g - t_{air}) \quad (20)$$

โดยที่ H_4 = ปริมาณความร้อนที่สูญเสียเนื่องจากการพาของแก๊สร้อนที่ปล่อย
ทิ้งทางปล่องไอเสีย มีหน่วยเป็นกิโลจูลต่อกิโลกรัม (kJ/kg_{fuel})

M_{fg} = ปริมาณแก๊สร้อนที่อยู่ส่วนนอกของหม้อไอน้ำ (ออกพ้นจากหม้อ
ไอน้ำ) มีหน่วย เป็นกิโลกรัมต่อกิโลกรัม_(เชื้อเพลิง) (kg/kg_{fuel}) ซึ่งมีสูตรสำเร็จดังนี้

$$M_{fg} = \frac{4CO_2 + O_2 + 700}{3(CO_2 + CO)} \times C_1 \quad (21)$$

$$C_1 = \frac{m_i C_i - m_r C_r}{m_i 100} \quad (22)$$

เมื่อ C_1 = น้ำหนักคาร์บอนในเชื้อเพลิง เป็นหน่วยกิโลกรัมต่อกิโลกรัม_(เชื้อเพลิง) (kg/kg_{fuel})

C_r = จำนวนคาร์บอนในเชื้อเพลิงโดยการวิเคราะห์ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

m_i = มวลของเชื้อเพลิงที่ตกลงเป็นขี้เถ้า มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg)

C_r = จำนวนคาร์บอนที่มีอยู่ในขี้เถ้า มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg)

C_p = ค่าความร้อนจำเพาะของแก๊สไอเสียที่ปล่อยทิ้งทางปล่องไอเสียเป็น
ค่าเฉลี่ยของ CO_2 , CO , O_2 , N_2 และอื่นๆ ปกติค่าใช้ประมาณ 1.094 kJ/kg K

t_g = อุณหภูมิแก๊สไอเสียที่ออกจากหม้อไอน้ำ มีหน่วยเป็นองศาเคลวิน (K)

t_a = อุณหภูมิของอากาศที่เข้าห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ มีหน่วยเป็น
องศาเคลวิน (K)

2.4 ความร้อนสูญเสียเนื่องจากความชื้นในบรรยากาศความร้อนจำนวนนี้มีค่าน้อย
เมื่อเทียบกับค่าความร้อนอื่นๆ ดังนั้นค่าความร้อนนี้ไม่ต้องคิดก็ได้ แต่ถ้าต้องการคิด สามารถหาได้
จากสมการ

$$H_5 = m_v C_p (t_g - t_a) \quad (23)$$

โดยที่ $H_5 =$ ปริมาณความร้อนเนื่องจากไฮโดรเจนที่ปะปนในเชื้อเพลิงมีหน่วยเป็นกิโลจูลต่อกิโลกรัม (เชื้อเพลิง) ($\text{kJ/kg}_{\text{fuel}}$)

$m_v =$ เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ \times ปริมาณไอน้ำอิ่มตัวที่อยู่ในบรรยากาศขณะนั้น \times จำนวนอากาศแห้งในการเผาไหม้ต่อ 1 kg ของเชื้อเพลิง (จำนวนไอน้ำจำนวนอากาศแห้ง หาได้จากแผนภูมิอากาศ (psychrometric chart) กิโลกรัม (เชื้อเพลิง) ($\text{kg/kg}_{\text{fuel}}$)

$t_g =$ อุณหภูมิแก๊สไอเสียที่ออกจากหม้อน้ำ มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส (K)

$t_a =$ อุณหภูมิของอากาศที่เข้าห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส (K)

$C_p =$ ความร้อนจำเพาะเฉลี่ยของไอน้ำจาก t_a ถึง t_g มีหน่วยเป็นกิโลจูล มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส (K)

2.5 ความร้อนสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

ค่าความร้อนที่สูญเสียกรณีนี้มีค่าน้อยเช่นเดียวกัน และมักจะแก้ไขได้ การแก้ไขนี้จะใช้อากาศส่วนเกิน (excess air) เพิ่มเข้าไปในห้องเผาไหม้ และอากาศส่วนเกินที่ใช้กันทั่วไปมีประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ ถ้ามากกว่านี้ อากาศส่วนเกินจะเป็นตัวดึงความร้อนจากการเผาไหม้แล้วทิ้งไปในรูปของแก๊สไอเสียด้วย ดังนั้นจึงต้องระวังไม่ให้อากาศส่วนเกินมีมากเกินไป

การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะเกิดเป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ซึ่งเป็นแก๊สพิษ และจะทำให้ความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงน้อยลงไปด้วย ค่าความร้อนที่สูญเสียนี้หาได้จากสมการ

$$H_6 = \frac{\text{CO}}{\text{CO}_2 + \text{CO}} \cdot 23,637 C_f \quad (24)$$

โดยที่ $H_6 =$ ความร้อนสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ มีหน่วยเป็นกิโลจูลต่อกิโลกรัม (เชื้อเพลิง) ($\text{kJ/kg}_{\text{fuel}}$)

C_f ใช้ค่าเดียวกับข้อ 2.3

ส่วนค่า CO, CO_2 หาได้จากการวิเคราะห์ไอเสีย มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรไอเสีย

2.6 ความร้อนสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม่หมด

การเผาไหม้กรณีนี้จะเกิดขึ้นกับเชื้อเพลิงแข็งเท่านั้น ซึ่งจะมีเชื้อเพลิงจำนวนหนึ่งขนาดเล็กที่ยังไม่เกิดการไหม้ จะตกลงดรูตตะแกรงลงปะปนไปกับขี้เถ้า ซึ่งจะมีการขนขี้เถ้าไปทิ้งเป็นระยะๆ จะทำให้มีการสูญเสียเชื้อเพลิงไปโดยเปล่าประโยชน์ เชื้อเพลิงแข็งเหล่านี้ได้แก่ ถ่านหิน ถ่านไม้ ถ่านโค้ก ขี้เลื่อย และผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรอื่นๆ

อีกกรณีหนึ่ง การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งเป็นการทำให้มวลของเชื้อเพลิงแข็งมีขนาดเล็กลง เมื่อขนาดของเชื้อเพลิงเล็กลงมาก จะสามารถเล็ดลอดดรูตตะแกรงตกปะปนไปเป็นขี้เถ้า เชื้อเพลิงแข็งที่มีขนาดเล็กนี้กำลังถูกไหม้อยู่ แต่เมื่อตกลงดรูตตะแกรงลงปะปนกับขี้เถ้า จะทำให้เชื้อเพลิงเหล่านี้ถ่ายเทความร้อนจากการเผาไหม้ไม่หมด เป็นการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงไปโดยเปล่าประโยชน์ ปริมาณความร้อนที่สูญเสียนี้หาได้จากสมการ

$$H_7 = \frac{33,826 m_f C_r}{m_f} \quad (25)$$

โดยที่ H_7 = ความร้อนสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม่หมด มีหน่วยเป็นกิโลจูลต่อกิโลกรัม_(เชื้อเพลิง) (kJ/kg_{fuel})

m_f = มวลของเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่หมด มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อกิโลกรัม_(เชื้อเพลิง) (kg/kg_{fuel})

C_r = ปริมาณคาร์บอนที่มีในเชื้อเพลิง มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อกิโลกรัม_(เชื้อเพลิง) (kg/kg_{fuel})

ส่วนค่าตัวเลข 33,826 เป็นค่าคงที่โดยประมาณ ซึ่งเมื่อวิเคราะห์เชื้อเพลิงนั้นแล้ว อาจจะมีกำมะถัน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน หรือสารอื่นที่จะปะปนที่สามารถไหม้ได้ และการสูญเสียเนื่องจากความร้อนจากการเผาไหม้ไม่หมด เมื่อคิดถึงจำนวนคาร์บอนที่สูญเสียไปแล้ว ซึ่งมีค่าโดยประมาณ * จึงเสนอเป็นค่ากลางๆ ซึ่งจะทำให้การคำนวณผิดพลาดน้อยมาก

2.7 การสูญเสียความร้อนเนื่องจากสาเหตุอื่นๆ

ความร้อนที่สูญเสียจากหัวข้อต่างๆ ที่กล่าวไปแล้วยังมีการสูญเสียความร้อนอีกหลายทาง เช่น การสูญเสียเนื่องจากการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนของเตาไฟและตัวหม้อไอน้ำ ซึ่งสามารถป้องกันได้โดยการหุ้มฉนวนความร้อน แต่ยังมี การสูญเสียจากทั้ง 3 ทางที่กล่าวไปแล้วบ้างและยังมีการสูญเสียความร้อนเผาไหม้ของไฮโดรเจนที่เมื่อรวมตัวกับออกซิเจนจะกลายเป็นไอน้ำซึ่งต้องใช้ความร้อนในเตาไฟส่วนหนึ่งมาทำให้น้ำนั้น

เปลี่ยนสถานะเป็นไประ้อนยิ่งยวด และการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม่หมดยังมีตัวอย่างอีกมาก ดังนั้นจึงมีค่าคงที่ 33,826 ด้วย แต่ยังมีความร้อนที่สูญเสียไปได้อีกซึ่งไม่สามารถหาได้จากสมการที่ผ่านมา ดังนั้นจึงได้ใช้สมการรวมการสูญเสียความร้อนเป็นค่ารวมดังนี้

$$H_8 = F - H_1 - H_2 - H_3 - H_4 - H_5 - H_6 - H_7 \text{ kJ/kg}_{\text{fuel}} \quad (26)$$

โดยที่ H_8 = ความร้อนสูญเสียเนื่องจากสาเหตุอื่นๆ มีหน่วยเป็นกิโลจูลต่อกิโลกรัม (เชื้อเพลิง) (kJ/kg_{fuel})

F = ค่าความร้อนเชื้อเพลิง HHV มีหน่วยเป็นจูลต่อกิโลกรัม (เชื้อเพลิง) (J/kg_{fuel})

สตอยคิโอเมตรีของการเผาไหม้ [14]

สตอยคิโอเมตรีของการเผาไหม้เป็นเรื่องเกี่ยวกับดุลของมวลในปฏิกิริยาการเผาไหม้ ช่วยให้สามารถคำนวณหาปริมาณของออกซิไดเซอร์หรืออากาศที่จำเป็นต่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ได้ การทำสตอยคิโอเมตรีจำเป็นต้องทราบลักษณะการวิเคราะห์เชื้อเพลิงก่อน ซึ่งการรายงานผลการวิเคราะห์จะแตกต่างกันขึ้นกับสถานะของเชื้อเพลิง เชื้อเพลิงแข็งหรือเหลว จะใช้การวิเคราะห์แบบแยกธาตุและรายงานผลการวิเคราะห์ร้อยละโดยมวลของธาตุต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของเชื้อเพลิงนั้น เช่น C,H,N,O และ S เป็นต้น การเขียนสมการการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดสามารถทำได้ดังตัวอย่างนี้

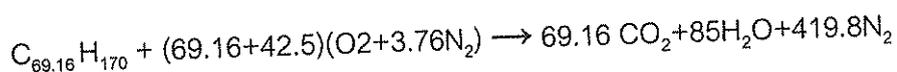
ตัวอย่างเชื้อเพลิงแข็ง ดังนี้ เชื้อเพลิงแข็งชนิดหนึ่งมีองค์ประกอบคือ C = 83 เปอร์เซ็นต์ และ H = 17 เปอร์เซ็นต์ (โดยมวล) จงทำสตอยคิโอเมตรีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็งนี้กับอากาศ

วิธีทำ พิจารณาเชื้อเพลิงแข็งนี้ 1 kg

$$\text{มี C อยู่} = 830/12 = 69.16 \text{ โมล}$$

$$\text{มี H อยู่} = 170/1 = 170 \text{ โมล(อะตอม)}$$

ดังนั้นสูตรอย่างง่าย (empirical formula) ของเชื้อเพลิงแข็งนี้ 1 kg คือ $C_{69.16}H_{170}$ สำหรับสูตรโมเลกุลที่แท้จริงนั้นไม่สามารถทราบได้เพราะไม่มีข้อมูลใดๆ ที่จะบ่งบอกให้ทราบเช่นนั้นได้ ดังนั้นสามารถทำสตอยคิโอเมตรีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็งนี้มวล 1 kg ได้ดังนี้



นิยามที่สำคัญเกี่ยวกับการเผาไหม้

1. ไอติสโตยคิโอเมตริก (stoichiometric mixture) คืออัตราส่วนระหว่างมวลของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ต่อมวลทั้งหมดที่เกี่ยวข้องในการเผาไหม้ทางทฤษฎีหรือตามสโตยคิโอเมตริกของการเผาไหม้

$$\text{ไอติสโตยคิโอเมตริก} = \frac{\text{มวลของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้}}{\text{มวลทั้งหมดที่ใช้ในการเผาไหม้ทางทฤษฎี}} \quad (27)$$

2. อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงหรืออัตราส่วนเอ/เอฟหรือ $(A/F)_{\text{สโตย}}$ คืออัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงโดยมวลทางทฤษฎี หรือตามสโตยคิโอเมตริกของการเผาไหม้

$$(A/F)_{\text{สโตย}} = \frac{\text{ปริมาณอากาศที่ใช้}}{\text{ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้}} \quad (28)$$

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กิตติ จันทรแสงสี [15] วิเคราะห์พฤติกรรมโดยรวมเพื่อหาสมรรถนะเชิงความร้อนรวมได้ประยุกต์ใช้วิธีวิเคราะห์เตาแบบ Phenomenological (Essenhig, et al., 1970) ซึ่งผลการวิเคราะห์ได้สมการคณิตศาสตร์หลายสมการที่สามารถใช้ประเมินพฤติกรรมเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำได้ รวมทั้งพบว่าประสิทธิภาพสูงสุดของหม้อไอน้ำขนาด 3600 kg/h และขนาด 4800 kg/h คือ 87.0% และ 87.5% ที่ภาระ 37.7% และ 48.0% ตามลำดับ ซึ่งเมื่อภาระสูงขึ้นจะเกิดปรากฏการณ์คอขวด (Bottle-neck Effect) ซึ่งมีสาเหตุคือ หม้อไอน้ำมีพื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อนน้อยเกินไป เมื่ออัตราความร้อนจากการสันดาปมากขึ้นจะทำให้ก๊าซถ่ายเทความร้อนไปสู่ น้ำได้ไม่หมด จึงสูญเสียออกทางปล่องมาก มีผลทำให้ประสิทธิภาพลดลง ผลการถ่ายเทความร้อนระหว่างก๊าซสันดาปและน้ำภายในหม้อไอน้ำ พบว่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของห้องสันดาปมีค่าประมาณ 65.1% ถึง 74.8% และของท่อไฟเล็กมีค่าประมาณ 63.5% ถึง 73.7% และอุณหภูมิของแก๊สที่ออกจากพื้นผิวถ่ายเทความร้อนสูงกว่าปกติ ในช่วงภาระที่เกิดปรากฏการณ์คอขวด และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อภาระสูงขึ้นไปอีก ซึ่งผลการวิเคราะห์ทั้งสองแบบสอดคล้องกัน ยืนยันว่าสมการคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นมีความเหมาะสม สามารถนำมาใช้ในการประเมินสมรรถนะเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำนี้ได้

สรารุช ฤชุพันธุ์ [16] งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบหม้อไอน้ำขนาดเล็กความดันต่ำ ชนิดท่อไฟ โดยตั้งสมมติฐานให้สามารถผลิตไอน้ำได้ที่ 2 bar gauge อัตราการผลิตไอน้ำ 40 kg/hr. การออกแบบได้คำนวณหาพื้นที่การถ่ายเทความร้อนระหว่างเชื้อเพลิง ที่เลือกใช้กับ ปริมาณน้ำ โดยคำนวณหาพื้นที่การถ่ายเทความร้อนได้ 0.415 m² เลือกใช้ท่อไฟทำด้วย แสตนเลสจำนวน 16 ท่อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.40 m. ยาว 1.80 m. หนา 2 mm. และได้ทำ การออกแบบหัวเผาใหม่ที่มีพื้นที่ขนาด 0.15 m. x 0.20 m. และส่วนที่เป็นช่องไฟกลับขนาด 0.15 m. x 0.40 m. ใช้เชื้อเพลิงแก๊ส LPG. สำหรับครัวเรือนขนาดถังบรรจุ 15 kg. การทดลองทำ การหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำที่ความดัน 0.5, 0.75 และ 1 bar ที่อัตราป้อนที่ 10, 15, 20 L/hr ผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำที่ความดัน 0.75 bar อัตราน้ำป้อน 15 L/hr. เท่ากับ 95.39% อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 0.8 L/hr. ค่าใช้จ่ายตลอดปีคิดการทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน เมื่อใช้ LPG จะเสียค่าใช้จ่าย 45,154.88 บาท/ปี กรณีใช้ฮีตเตอร์ในการทำความร้อน คิดค่ากระแสไฟฟ้าที่ราคา 3 บาทต่อหน่วย จะเสียค่าใช้จ่าย 83,168.90 จะสามารถประหยัด ค่าใช้จ่ายได้ 38,014.02 บาท (ราคาแก๊สหุงต้ม 15 kg 290 บาท) เมื่อนำไปวิเคราะห์หา ความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ โดยค่าสร้างหม้อไอน้ำแรงดันต่ำ ราคา 118,700.00 จะคิดเป็น ระยะเวลาคืนทุนได้ 3.44 ปี

อนันต์ พงศ์กรกุลพานิช และคณะ [17] การพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานทดแทน เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าจากหลายหน่วยงานของประเทศ ซึ่งมีบางเทคโนโลยีที่เหมาะสมจะนำมา ปรับเป็นพลังงานโครงสร้างพื้นฐานของชุมชน คือการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานความร้อนจาก แสงอาทิตย์และชีวมวล งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตไอน้ำ ความดันสูงด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์และชีวมวลเพื่อนำไปสู่การผลิตกระแสไฟฟ้า ให้กับชุมชน ระบบผลิตไอน้ำความดันสูงด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ และชีวมวล ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ระบบเครื่องกำเนิดไอน้ำความดันสูง ระบบ preheating ด้วย เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ และระบบแก๊สซิไฟเออร์ โดยในการทดสอบใช้สารทำงาน เป็นน้ำเพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์สำหรับผลิตไอน้ำ ความดันสูงเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของเตาผลิตแก๊สชีวมวลชนิดไหลลง และหาประสิทธิภาพ ของเตาแก๊สซิไฟเออร์ ทดสอบหาประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดไอน้ำที่ความดันต่างๆ โดยใช้ พลังงานเชื้อเพลิงจาก LPG. และทดสอบนำแก๊สชีวมวลที่ผลิตได้เป็นเชื้อเพลิงแทน LPG การทำ preheating จะช่วยประหยัดการใช้ LPG ได้ถึง 8% ที่เตาแก๊สซิไฟเออร์ ในชั้น Drying Zone 120°C, Pyrolysis Zone 270°C, Combustion Zone 785°C, Reduction Zone 630°C

ประสิทธิภาพของเตาแก๊สซีฟเฮอร์ มีค่าเท่ากับ 54% เครื่องกำเนิดไอน้ำที่ความดันต่างๆ โดยใช้เชื้อเพลิงจาก LPG พบว่ามีประสิทธิภาพเฉลี่ย 69.31%

สหัชยา ลาดपालะ และคณะ [18] บทความนี้เสนอการศึกษาประสิทธิภาพทางด้านเทคนิคของระบบไฟฟ้าแก๊สชีวมวล ที่ได้ถูกพัฒนาขึ้น ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักคือ เตาผลิตแก๊สชีวมวลชนิดไหลลง ชุดทำความสะอาดแก๊ส เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชื้อเพลิงชีวมวล โดยใช้เศษไม้ยูคาลิปตัสจากโรงงานแปรรูปเป็นเชื้อเพลิง โดยเชื้อเพลิงมีขนาดประมาณ 2x2x5 ถึง 4x4x7 เซนติเมตร ความชื้นของเชื้อเพลิงน้อยกว่าร้อยละ 10 ส่วนประกอบของเศษไม้ยูคาลิปตัสมีค่า C H O และ N เท่ากับร้อยละ 44.02, 5.19, 49.13 และ 0.94 (มาตรฐานแห้ง) ตามลำดับ ค่าความร้อนชีวมวลเท่ากับ 4,436 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ผลการศึกษาพบว่า ระบบผลิตไฟฟ้าชีวมวลสามารถผลิตไฟฟ้าที่อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงชีวมวลประมาณ 50 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยเชื้อเพลิงชีวมวล 2 กิโลกรัม สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 1 วัตต์ชั่วโมงจากผลการศึกษาประสิทธิภาพของเตาเผาแก๊สชีวมวลคิดเป็นร้อยละ 73 และประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าคิดเป็นร้อยละ 14 ส่งผลให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานโดยรวมของระบบคือร้อยละ 10

กิตติ ธนการพิสุทธ์ [19] หม้อไอน้ำหรือ Boiler เป็นอุปกรณ์หนึ่งที่มีความสำคัญในโรงงานอุตสาหกรรม และมีการคำนึงถึงการประหยัดพลังงานเพิ่มขึ้นด้วยในปัจจุบัน ดังนั้นจึงมีการนำเสนอหม้อไอน้ำแบบอัตโนมัติ หรือ Automatic Boiler โดยมีหลักการทำงาน คือ มีการนำ Automatic Boiler Control หรือ ABC เข้ามาช่วยในการควบคุม โดยใช้ Three-Element Control System ควบคุมการทำงานของส่วนต่างๆ ในหม้อไอน้ำแบบอัตโนมัติ ซึ่งได้แก่ การควบคุมระดับน้ำในถัง หรือ Drum Level Control และการควบคุมอุณหภูมิของไอน้ำ หรือ Steam Temperature Control นอกจากนี้ยังมีการควบคุมการปล่อยก๊าซออกซิเจนที่ปล่อง หรือ flue gas oxygen control โดยคำนวณจากอัตราส่วน การใช้อากาศกับเชื้อเพลิงเมื่อมีการเผาไหม้สมบูรณ์ ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าหม้อไอน้ำแบบนี้เมื่ออัตราส่วนการใช้พลังงานลดลง จาก 1.8 เหลือ 1.3 จะช่วยให้สามารถประหยัดต้นทุนได้มากกว่า 100,000 บาท ต่อปี ดังจะเห็นได้ชัดว่าหม้อไอน้ำแบบอัตโนมัติไม่เพียงแต่จะดีต่อสิ่งแวดล้อมและการประหยัดพลังงานเท่านั้น แต่ยังช่วยลดค่าใช้จ่ายที่จะต้องสูญเสียไป และทำให้เกิดการประหยัดเงินต่อปีมากกว่าการใช้หม้อไอน้ำแบบธรรมดา

พิริยะ ทองเขียว [20] งานวิจัยนี้ศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยทางด้านการเผาไหม้ที่มีผลต่อการทำงานของหม้อไอน้ำโรงไฟฟ้าแม่เมาะซึ่งใช้ถ่านหินลิกไนต์บดละเอียดเป็นเชื้อเพลิงเพื่อหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของหม้อไอน้ำที่คุณสมบัติถ่านหินต่างๆ เนื่องจากถ่านหินจากบ่อเหมืองแม่เมาะมีความแปรปรวนสูงแลมีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดปัญหาการทำงานของหม้อไอน้ำ ในอนาคต การดำเนินงานวิจัยทำโดยการเก็บข้อมูลการทำงานของหม้อไอน้ำจากระบบฐานข้อมูลโรงไฟฟ้าเพื่อคำนวณหาสมรรถนะของหม้อไอน้ำและศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของถ่านหิน จากการศึกษาพบว่า ปัจจัยหลักทางด้านการเผาไหม้ที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ คือ อัตราส่วนระหว่าง Primary/Secondary Air, อุณหภูมิอากาศช่วยเผาไหม้, อัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิง, อุณหภูมิเชื้อเพลิง และความดันต่างระหว่างห้องลมกับห้องเผาไหม้ ส่วนดัชนีบ่งบอกพฤติกรรมกรรมการสะสมเถ้าในทางทฤษฎีที่มีผลในอุณหภูมิเริ่มหลอมตัวของเถ้าลดลง ได้แก่ Silica Ratio, Dolomite Ratio, Silica/Alumina Ratio และ Iron/Calcium Ratio ท้ายสุดยังได้นำเอาดัชนีเหล่านี้ไปทดสอบหาความสัมพันธ์กับข้อมูลจากระบบวิเคราะห์การสะสมเถ้าในหม้อไอน้ำอีกด้วย ผลจากการวิจัยครั้งนี้ได้นำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลการผลิตทำให้สามารถควบคุมปัจจัยการเผาไหม้ให้สอดคล้องกับรูปแบบการเผาไหม้ที่แปรเปลี่ยนไปตามคุณสมบัติถ่านหิน โดยมีเป้าหมายให้หม้อไอน้ำมีเสถียรภาพและประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด ตลอดจนเป็นแนวทางในการวางแผนแก้ไขปัญหการสะสมเถ้าในอนาคต

ศิริพรรณ วงษ์สมศรี [21] การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาสมรรถนะเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำแบบท่อไฟสำเร็จรูป (Package Boiler) ความดัน 13 บาร์ 12 ตันต่อชั่วโมง ลักษณะสามก้น ผนังแห้ง เพื่อดูพฤติกรรมโดยรวมของหม้อไอน้ำ เพื่อจะหาแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงการออกแบบ อันจะส่งผลต่อการเผาไหม้และการถ่ายโอนความร้อน ตลอดจนภาวะที่มีความเหมาะสมต่อการทำงานของหม้อไอน้ำขณะเดียวกันจะทำให้เกิดการประหยัดพลังงานด้วยจากผลการจำลองส่วนการเผาไหม้ของน้ำมันเตา โดยบ่อนเปอร์เซ็นต์อากาศต่ำกว่าจุดพอดี 20% จนถึงเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 50% เข้าสู่ห้องเผาไหม้พบว่าเปอร์เซ็นต์อากาศต่ำกว่าจุดพอดี 5% อุณหภูมิเปลวสูงถึง 2310 K เกิดการสูญเสียรวม 4.9% ส่วนใหญ่เป็นสาเหตุเพราะ Dry Gas Loss เนื่องจาก CO สูงถึง 3.61% ผลกระทบเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินเพิ่มขึ้น จะส่งผลต่อแก๊ส O₂, NO เพิ่มขึ้นตาม แต่ขณะเดียวกันแก๊ส CO₂, CO, H₂O กลับลดลง ในสภาวะที่เพิ่มขึ้นเหมือนกันทั้งการบ่อนเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน เปอร์เซ็นต์ภาวะที่ใช้และการบ่อนปริมาณเชื้อเพลิง จะส่งผลให้การถ่ายโอนความร้อนกลับแรกจะลดลง ซึ่งจะแปรผกผันกับกลับที่สองและสาม อุณหภูมิที่ทางออกทั้งสามกลับจะเพิ่มขึ้น ส่วนการสูญเสียความร้อนที่ออกจากหม้อไอน้ำ พบว่า ฟลูแก๊สมีมากที่สุด

ระดับปานกลางเป็นการโบลว์ดาวน์และต่ำสุดเป็นการแผ่รังสี ผลกระทบของตะกอนจะมากกว่า เขม่า และเป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำลดลง ความเหมาะสมเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน เท่ากับ 20% ซึ่งอุณหภูมิของเปลว 2117.95 K ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำสูงสุด 90.2% ความเหมาะสมเปอร์เซ็นต์ภาระที่ใช้ 69.4% ขณะที่ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ 89.9% และมีปริมาณการผลิตไอที่ 8303.9 kg/hr ความเหมาะสมของการป้อนปริมาณเชื้อเพลิงที่ 800 kg/hr ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ 89.4% ขณะที่อุณหภูมิก่อนเข้าปล่องไฟ 201.4°C ความหนาเขม่าและตะกอนพบว่าไม่ควรเกิน 1.25 มิลลิเมตร และ 1.12 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ชัยวัฒน์ ภาระกานตรง และวุฒิศักดิ์ ทะนวนรัมย์ [22] ได้ศึกษาการวิเคราะห์พลังงานใน หม้อไอน้ำแบบใช้ถ่านหินบิทูมินัส โดยหม้อไอน้ำมีกำลังการผลิต 4.14 ton/hr ที่ความดัน 7 bar ใช้ถ่านหินบิทูมินัสเป็นเชื้อเพลิงมีค่าความร้อนสูง 25,113 kJ/kg มีภาระการทำงาน 7,488 ชั่วโมง ต่อปี ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพหม้อไอน้ำและการใช้พลังงานในระบบหม้อไอน้ำ จะได้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำกรณีไม่คิดค่าไฟฟ้า 75.21% กรณีสมมูลพลังงานคิดกำลังไฟฟ้า 75.4 % ทำให้สามารถหามาตรการในการแก้ปัญหาความร้อนสูญเสียของระบบ ทำให้สามารถลด การสูญเสียพลังงานความร้อนและเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบไอน้ำได้ประมาณ 145,509 บาทต่อปี

กิตติพงษ์ จรุงจิตต์ และคณะ [23] ได้ทำการศึกษาหม้อไอน้ำแบบฟลูอิดไดซ์เบดขนาดเล็ก โดยศึกษาสมรรถนะและปัญหามลภาวะที่เกิดขึ้นของหม้อไอน้ำฟลูอิดไดซ์เบด โดย ประสิทธิภาพ ทางความร้อนมีค่าสูงสุดประมาณ 87% ที่อัตราส่วนระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง เท่ากับ 6 และปริมาณการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ มีค่าน้อยกว่า 100 ppm รวมทั้งขนาดของอนุภาคฝุ่นที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศมีค่าอยู่ช่วง 1-5 ไมครอน

วัชรวิ แก้วบุญส่ง [24] ในงานวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาอัตราส่วนอากาศส่วนเกินที่เหมาะสมสำหรับการเผาไหม้ในเตาหม้อไอน้ำ เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการเผาไหม้ และผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมทั้ง 2 อย่างพร้อมกัน โดยอาศัยหลักการ Cost Estimation Approach ซึ่งเป็นการประเมินค่าใช้จ่ายโดยแบ่งพิจารณาเป็น 2 ส่วน คือ Internal cost ซึ่งพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียความร้อนที่เกิดจากหม้อไอน้ำ และ External cost ซึ่งพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายที่เป็นผลมาจากการปล่อยก๊าซมลพิษที่เกิดจากหม้อไอน้ำ โดยค่าอัตราส่วนของอากาศส่วนเกินที่ให้ผลรวมของ Internal และ External ที่ต่ำสุด จะเป็นอัตราส่วนอากาศส่วนเกินที่เหมาะสมสำหรับการเผาไหม้เมื่อพิจารณาด้านประสิทธิภาพ การเผาไหม้ และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น จากหม้อไอน้ำ ในงานวิจัยได้ทำการศึกษา

2 แนวทาง คือ การทำนาย ผลการเกิด NO_x และ SO_3 จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการเดินเครื่องทดสอบหม้อไอน้ำ น้ำมันเตา หน่วยที่ 3 ของโรงไฟฟ้าพระนครใต้ ขนาด 310 MW กำลังการผลิตไอน้ำ 1088.4 ton/hr ที่ 100%Load เดินเครื่องที่สภาวะปกติ (Normal operation) และทำการปรับอัตราส่วนอากาศส่วนเกิน ในช่วง 1.02 ถึง 1.13 พร้อมทั้งปรับสัดส่วนไอเสียป้อนกลับ โดยปรับแอมเปอร์ของ Gas Recirculation Fan ทำให้ได้สัดส่วนไอเสียป้อนสองค่า คือ 0.10 และ 0.15 จากการปรับตัวแปรทั้งสองพบว่า ความเข้มข้นของ NO_x มีแนวโน้มลดลง เมื่อเพิ่มอัตราส่วนอากาศส่วนเกินในช่วง 1.02 ถึง 1.13 และที่อัตราส่วนอากาศส่วนเกินต่ำกว่า 1.04 จะพบความเข้มข้นของ CO ซึ่งจะทำให้ความร้อนที่สูญเสีย เนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์, q_3 เพิ่มขึ้นด้วย สำหรับการศึกษาค้างนี้ สัดส่วนของไอเสียป้อนกลับที่เพิ่มขึ้น จาก 0.10 เป็น 0.15 พบว่าไม่มีผลชัดเจนต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ NO_x นอกจากนี้ การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนอากาศส่วนเกินยังทำให้ SO_3 และความร้อนที่สูญเสียไปกับไอเสียเพิ่มขึ้น, q_2 ซึ่งเมื่อประเมินเป็นค่าใช้จ่าย พบว่า ค่าอัตราส่วนของอากาศส่วนเกินที่ 1.04 เป็นค่า อัตราส่วนอากาศส่วนเกินที่เหมาะสม เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการเผาไหม้ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดจากหม้อไอน้ำ

J.R.Rodriguez Vasquez, et al. [25] แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้นบรรยายเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของความดันไอน้ำภายในหม้อไอน้ำแบบหลอดไฟโดยใช้ Identification techniques เนื่องจากความซับซ้อนของแบบจำลองกระบวนการระบบที่สมบูรณ์จะแสดงกระบวนการที่ทำให้สมบูรณ์จากการออกแบบการทดลองทางวิทยาศาสตร์จำลองการให้เหตุผลโดยใช้ตัววัดมาตรฐาน การทดลองตามระบบการทดลองหม้อไอน้ำ และอีกแบบหนึ่งคือการใช้มาตรฐานการวัดหม้อไอน้ำ ตามแบบการทดลองอุตสาหกรรม โดยทั้งสองกรณีสามารถแสดงลักษณะพิเศษเป็น 2 ขั้นตอน คือ โครงสร้าง ARMAX และความล่าช้าของเวลา พร้อมกับบรรยายความแม่นยำของกระบวนการ ความผันแปรความดันไอน้ำ แบบจำลองนี้ใช้ควบคุมแบบจำลองพื้นฐานและทำนายความสัมพันธ์ รายงานผลโดยแสดงระบบและแบบจำลองการควบคุมพื้นฐานซึ่งเป็นหน้าที่สำคัญสำหรับใช้ในการจัดการและการใช้แหล่งพลังงานอย่างชาญฉลาด

Srdjan Belosevic, et al. [26] จากการทำนายที่ซับซ้อน กระบวนการการไหลที่ตอบสนองอย่างแปรปรวน 2 ขั้นตอน ภายในหม้อไอน้ำขนาดใหญ่โดยเตาไฟเผาไหม้ด้วยถ่านหิน ครอบคลุมด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 3D และรหัสคอมพิวเตอร์ CFD ซึ่งได้พัฒนาภายในองค์กร ได้รวบรวมการแลกเปลี่ยนของแบบจำลองเข้าด้วยกันระหว่างความซับซ้อนภายในแบบจำลองและผลการคำนวณง่ายต่อการเชื่อมต่อเพื่อนำไปใช้งานเบื้องต้นในการเริ่มใส่ข้อมูล

และการเชื่อมต่อระหว่างตัวอาคารด้วยรหัส จุดประสงค์หลักของการวิจัยนี้ เพื่อเสนอกระบวนการในการศึกษาตัวเผาไหม้ภายใต้ความแตกต่างในการดำเนินการตามเงื่อนไขในเชิงตัวเลข ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองงานวิจัยนี้โดยจัดหาข้อมูลและการประเมินของรูปแบบจำลองด้วยการศึกษา grid refinement และเปรียบเทียบข้อมูลที่ครอบคลุม ผลของความแตกต่างในการดำเนินการภายใต้สภาวะเงื่อนไขกระบวนการในกรณีศึกษาเตานี้เป็นการทำนายอย่างถูกต้อง อธิบายด้วยสมรรถภาพของแบบจำลองที่ได้พัฒนาจากการศึกษาสมรรถนะของตัวแปร

J. Bujak [27] งานวิจัยนี้ได้ทำการค้นคว้าวิจัยผลทางความร้อนของห้องหม้อไอน้ำ โดยใช้แบบจำลองการแลกเปลี่ยนมวล พลังงาน ความร้อนกับบรรยากาศด้วยระบบ open thermodynamic บนพื้นฐานพลังงานและสมดุลพลังงาน เราสามารถแสดงความเป็นไปได้ เกี่ยวข้องกับการประยุกต์แบบจำลอง ทดสอบเปรียบเทียบผลทางความร้อนหม้อไอน้ำ ของโรงพยาบาลประจำจังหวัดที่ Wloclawek (Poland) ทำการทดสอบเป็นเวลา 18 เดือน ผลที่ได้ คือการพิสูจน์ของหม้อไอน้ำในรูปแบบการจำลองทางคณิตศาสตร์

Zhengqi Li, et al. [28] การทดลองทางวิทยาศาสตร์การเผาไหม้ด้วยไซโคลนขนาดเล็ก โดยเพิ่มคุณค่าการเผาไหม้ของถ่านหิน 300 MW_e ประโยชน์จากการควบคุมอากาศ/การทดสอบ คุณสมบัติพิเศษของเครื่องจักร ส่วนเล็กๆ ของการเชื่อมโยงประสิทธิภาพด้านความแตกต่างของ ตำแหน่งที่สามารถปรับได้ จากการทดลองในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นการปฏิบัติหน้าที่ของ หม้อไอน้ำแบบเต็มรูปแบบ อุณหภูมิแก๊สฟุ้งกระจายไปทั่วบริเวณและมีการไหลในส่วนผสมของ ถ่านหิน จะมีการกระจายอุณหภูมิแก๊สไปที่เตาไฟ และส่วนประกอบของแก๊ส ดังเช่น O₂, CO₂ และ NO_x ในบริเวณขอบเขตผนังใกล้เคียงๆ สำหรับในครั้งแรก กำหนดให้ปรับตำแหน่งการเผาไหม้ของ ถ่านหินในเตาปรับใบพัดที่หัวฉีด กระบวนการเผาไหม้อากาศชั้นต้นและถ่านหินบดผสม ซึ่งล่าช้าและอุณหภูมิแก๊สจะสูงสุดเหนือการเผาไหม้ที่สำคัญ ผลภาวะจาก NO_x สูง จากผลของ ใบพัดสามารถส่งต่ออุณหภูมิขณะที่มีการลุกไหม้แต่เป็นผลให้การไหลของเชื้อเพลิงมีปริมาณมาก ขึ้นก่อนเวลา ปริมาณคาร์บอนในซีเถ้าที่ลอยฟุ้งอยู่และมีปริมาณ NO_x เป็นตัวสำคัญ

Keeley L. Bignal [28] การยิงอนุภาควัด CO และ NO และ 16 polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) ซึ่งลักษณะเป็นแก๊สและการยิงอนุภาคด้วยเครื่องวัดในชั้นเตาเผาไหม้ไม่ ของหม้อไอน้ำขนาด 50 KW โดยใช้ความร้อนภายใน การมุ่งความสนใจของ \sum PAHs ในแก๊สทั้งสองชนิด และการผันแปรจากช่วงอุณหภูมิจาก 1.3 ถึง 1631.7 μ