

บทที่ 3

การอนุรักษ์พลังงานในระบบความร้อน (Energy conservation in thermal system)

ความสำคัญของเนื้อหาวิชา (Overview)

การอนุรักษ์พลังงานในระบบความร้อนนั้น เป็นการประยุกต์ใช้ทฤษฎีพื้นฐานทางความร้อนเพื่อมาใช้ในการอนุรักษ์พลังงานของระบบต่างๆ เช่น ระบบหม้อไอน้ำ และไอน้ำ ระบบเตาเผาอุตสาหกรรม และระบบผลิตไฟฟ้า และความร้อนร่วม เป็นต้น ซึ่งระบบทั้งหมดนี้ จะมีมาตรการในการอนุรักษ์พลังงานแตกต่างกันบ้าง แต่โดยรวมแล้ว มาตรการที่ใช้ในการอนุรักษ์พลังงานทางความร้อนก็จะคล้ายกันในหลักการเบื้องต้น

วัตถุประสงค์ (Objective)

เพื่อให้เข้าใจหลักการอนุรักษ์พลังงานในระบบหม้อไอน้ำ และไอน้ำ ระบบเตาเผาอุตสาหกรรม และระบบผลิตไฟฟ้า และความร้อนร่วม

บทนำ (Introduction)

ระบบความร้อนนั้นภาพรวมแล้วจะมีหลักการหรือมาตรการการอนุรักษ์พลังงานคล้ายคลึงกัน ซึ่งในบทนี้จะอธิบายหลักการอนุรักษ์พลังงานในระบบความร้อนต่างๆ เช่น ระบบหม้อไอน้ำ และไอน้ำ ระบบเตาเผาอุตสาหกรรม และระบบผลิตไฟฟ้า และความร้อนร่วม เป็นต้น ในการกำหนดมาตรการการอนุรักษ์พลังงานในระบบความร้อน

3.1 การอนุรักษ์พลังงานในระบบหม้อไอน้ำและไอน้ำ

มาตรการอนุรักษ์พลังงานของหม้อไอน้ำ ได้แก่ การเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ การนำความร้อนทิ้งจากหม้อไอน้ำมาใช้ประโยชน์ และการอนุรักษ์พลังงานของอุปกรณ์ช่วยในการเดินเครื่องหม้อไอน้ำ เช่น ปั๊ม พัดลม ฯลฯ การเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ ควรทำการตรวจวัดสมดุลความร้อนต่างๆ นำมาวิเคราะห์ความร้อนสูญเสียต่างๆ พิจารณาว่าจะลดความสูญเสียได้อย่างไร และตัดสินใจจากภาพรวมแล้วจึงนำไปปฏิบัติ ในการอนุรักษ์พลังงานของอุปกรณ์ช่วย สิ่งที่สำคัญคือ การตรวจสอบสภาพการเดินเครื่องของหม้อไอน้ำ แล้วดำเนินมาตรการให้เหมาะสมกับสภาพการเดินเครื่องนั้น กรณีที่จะอนุรักษ์พลังงานด้วยการดัดแปลงเครื่องจักร จะต้องพิจารณาล่วงหน้าอย่างถี่ถ้วนว่านอกจากในการทำงานตามปกติแล้ว ในการเริ่มเดินเครื่องและในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลง จะเป็นอุปสรรคต่อการเดินเครื่องหรือไม่

3.1.1 การลดอุณหภูมิของก๊าซไอเสีย

ความร้อนสูญเสียที่สำคัญที่สุดในหม้อไอน้ำเกือบทั้งหมด ได้แก่ ความร้อนสัมผัสในก๊าซไอเสีย มาตรการลดอุณหภูมิของก๊าซไอเสียเพื่อลดความร้อนสูญเสียนี้ เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพที่สุดในการเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ สำหรับวิธีการที่เป็นรูปธรรม ได้แก่การติดตั้ง economizer และ air preheater วิธีเหล่านี้เป็นการนำปริมาณความร้อนที่ก๊าซไอเสียนำออกไปจากหม้อไอน้ำ มาถ่ายเทให้แก่ น้ำเลี้ยงหรืออากาศ

สำหรับเผาไหม้ จึงสามารถลดปริมาณเชื้อเพลิงที่เคยต้องใช้เพื่อการนั้นได้ กล่าวคือเป็นอุปกรณ์นำความร้อนที่กลับมาใช้ ระยะหลังนี้หม้อไอน้ำขนาดกลางและขนาดใหญ่เกือบทั้งหมดจะติดตั้งอุปกรณ์เหล่านี้

นอกจากนี้ หากความร้อนระหว่างก๊าซเผาไหม้กับน้ำในหม้อไอน้ำถ่ายเทได้ไม่ดี การแลกเปลี่ยนความร้อนจะมีประสิทธิภาพต่ำ อาจทำให้ก๊าซทิ้งมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งถ้าที่เกาะติดที่พื้นผิวถ่ายเทความร้อนของหม้อไอน้ำด้านก๊าซไอเสีย และตะกั่วที่เกาะติดที่ด้านน้ำ จะสามารถกำจัดได้ด้วยการทำ soot blow หรือสามารถลดได้ด้วยการควบคุมคุณภาพน้ำอย่างเข้มงวด อย่างไรก็ตาม เมื่อใช้งานหม้อไอน้ำเป็นระยะเวลานาน สิ่งสกปรกเหล่านี้จะสะสมเพิ่มมากขึ้น สิ่งสกปรกที่ไม่สามารถกำจัดได้ด้วยการบำรุงรักษาประจำวัน จะกำจัดได้เมื่อหยุดเครื่อง โดยเขม่า และขี้เถ้าที่เกาะอยู่ที่พื้นผิวด้านก๊าซ จะกำจัดโดยติดตั้งนั่งร้านในเตาแล้วใช้แปรงทองเหลือง และน้ำความดันสูงในการล้างออก กล่าวคือใช้วิธีทางกายภาพ ส่วนตะกั่วที่เกาะอยู่ที่พื้นผิวด้านน้ำ จะใช้กรดเกลือหรือกรดซัลฟิวริกล้างออก กล่าวคือใช้วิธีทางเคมี

3.1.2 การลดปริมาณก๊าซไอเสีย

การลดปริมาณก๊าซไอเสีย ทำได้ด้วยการลดอัตราอากาศส่วนเกินเพื่อลดปริมาณอากาศที่ป้อนให้แก่หม้อไอน้ำ วิธีนี้ไม่เพียงแต่จะลดความสูญเสียในไอเสียและเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำเท่านั้น แต่ยังสามารถคาดหวังได้ว่าจะช่วยลดความสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าของ blower ได้อีกด้วย อย่างไรก็ตาม หากลดอัตราอากาศส่วนเกินจนต่ำเกินไป จะทำให้เผาไหม้ได้ไม่ดี จึงจำเป็นต้องควบคุมอย่างเหมาะสมไม่ให้ปล่อยก๊าซที่ไม่เผาไหม้หรือเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ปัจจุบันยังมีหม้อไอน้ำขนาดกลาง และขนาดใหญ่จะติดตั้งเครื่องวัด CO ซึ่งสามารถวิเคราะห์ก๊าซ CO ในก๊าซไอเสียได้โดยตรงไว้ที่ท่อไอเสียเพื่อทำการควบคุมสภาพการเผาไหม้อีกด้วย

3.1.3 การลดปริมาณความร้อนที่แผ่รังสีออกไป

ความร้อนที่แผ่รังสีออกจากตัวหม้อไอน้ำ ท่อต่างๆ และท่อไอเสีย ถือว่าเป็นความร้อนสูญเสีย ดังนั้น การลดความร้อนนี้จึงมีผลทำให้หม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพสูงขึ้น มาตรการที่ใช้ได้แก่การติดตั้งฉนวนความร้อน อย่างไรก็ตาม ยิ่งฉนวนความร้อนมีความหนาแน่น ความร้อนที่แผ่รังสีออกไปจะลดลง แต่เนื่องจากต้นทุนการติดตั้งจะสูงขึ้น จึงมีความหนาของฉนวนความร้อนค่าหนึ่งที่เหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ นอกจากนี้ ยังมีหม้อไอน้ำที่นำความร้อนที่แผ่รังสีออกจากผนังรอบหม้อไอน้ำและห้องเผาไหม้ มาถ่ายเทให้ท่อขาเข้าของอากาศสำหรับเผาไหม้อีกด้วย

3.1.4 การนำน้ำจาก drum blow down กลับมาใช้ประโยชน์

น้ำ blow down ที่ปล่อยจาก drum ของหม้อไอน้ำเป็นน้ำร้อน ซึ่งมีความร้อนอยู่พอสมควร ดังนั้น การนำความร้อนนี้กลับมาใช้ประโยชน์จึงเป็นการอนุรักษ์พลังงาน วิธีการ blow down แบ่งออกเป็น periodic blow down กับ continuous blow down โดย periodic blow down จะ blow down น้ำในหม้อไอน้ำจำนวนมากในครั้งเดียว การนำความร้อนกลับมาใช้จึงต้องมี blow tank และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดใหญ่ และนำความร้อนกลับมาใช้ได้เป็นครั้งๆ เท่านั้นจึงนำไปใช้งานได้ไม่สะดวกและมีประโยชน์ใช้งานจำกัด แต่ continuous blow down จะค่อยๆ ปล่อยน้ำทีละน้อย จึงมีข้อได้เปรียบในการนำความร้อนกลับมาใช้ ในหม้อไอน้ำขนาดกลางและขนาดใหญ่ โดยมากจะใช้วิธีผลิตไอน้ำด้วย flash tank และนำไอน้ำนั้นไปเป็นแหล่งความร้อนสำหรับ deaerator

3.1.5 การนำ drain กลับมาใช้ประโยชน์

ระบบหม้อไอน้ำประกอบด้วยอุปกรณ์ ท่อ และถังเก็บจำนวนมากสำหรับให้ความร้อนด้วยไอน้ำ และสำหรับรักษาอุณหภูมิ ซึ่ง drain ที่ออกมาจากอุปกรณ์เหล่านี้จะมีปริมาณมากพอสมควร เราควรพิจารณาว่าสามารถนำ drain กลับมาใช้ประโยชน์สำหรับหม้อไอน้ำ และอุปกรณ์อื่นๆ ได้อีกหรือไม่ เนื่องจาก drain ที่นำกลับมาได้ที่จริงเป็นน้ำที่ควบแน่นจากไอน้ำ ดังนั้นจึงมีลักษณะใกล้เคียงกับน้ำบริสุทธิ์ แต่บางครั้งจะมีโคลนหรือเลน (sludge) และน้ำมันปนอยู่ ดังนั้น จึงต้องทำการวิเคราะห์น้ำ เพื่อกำหนดว่าจะนำไปใช้ที่ใด หากใน drain มีสิ่งเจือปนน้อย และมีคุณภาพน้ำดี ก็สามารถใช้เป็นน้ำให้หม้อไอน้ำได้โดยตรง หากใน drain มีสิ่งเจือปนมาก ก็สามารถใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อให้ความร้อนแก่น้ำเลี้ยงได้

3.1.6 การลดอากาศรั่วใน regenerative air preheater

โครงสร้างของ regenerative air preheater จะมีช่องว่างที่แผ่นกั้นระหว่างด้านอากาศกับด้านก๊าซไอเสีย และเนื่องจากด้านอากาศจะมีความดันสูงกว่าด้านก๊าซไอเสีย ดังนั้น อากาศจึงรั่วผ่านช่องว่างดังกล่าวเข้าไปทางด้านก๊าซไอเสีย การรั่วนี้ทำให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนของ air preheater ลดลง นอกจากนี้ยังทำให้ blower กินไฟฟ้ามากขึ้น ดังนั้น หากปรับแต่งช่องว่างระหว่าง rotor กับ stator ให้เหมาะสม จะสามารถช่วยให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานได้ ปัจจุบันมีวิธีใช้สปริงดันแผ่นซีลให้ติดกับด้าน rotor เพื่อลดช่องว่าง และวิธีใช้ติดตั้งอุปกรณ์ที่มีเซ็นเซอร์ตรวจจับช่องว่าง และปรับช่องว่างให้เหมาะสมด้วย

3.1.7 การอนุรักษ์พลังงานของอุปกรณ์ช่วยของหม้อไอน้ำ

ระบบหม้อไอน้ำจะประกอบด้วยอุปกรณ์ช่วยต่างๆ เช่น ปั๊ม พัดลม ฯลฯ เพื่อกำเนิดไอน้ำ อุปกรณ์ช่วยเหล่านี้โดยทั่วไปจะออกแบบมาให้ทำงานได้อย่างเหมาะสมที่สุดเมื่อเดินเครื่องที่พิกัดเช่นเดียวกับตัวหม้อไอน้ำ ดังนั้น กรณีที่เดินเครื่องที่ภาระไม่เต็มกำลัง โดยมากการเดินเครื่องจะมีประสิทธิภาพต่ำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในขณะที่เดินเครื่องที่ภาระไม่เต็มกำลัง อาจใช้วิธีการควบคุมความเร็วรอบด้วยระบบไฟฟ้า (การควบคุมความเร็วรอบแบบอิเล็กทรอนิกส์ การแปลงจำนวนขั้ว เป็นต้น) หรือด้วยระบบทางกล (hydraulic coupling เป็นต้น) สำหรับพัดลมอาจเปลี่ยนจากพัดลม centrifugal เป็นพัดลม axial flow variable wing ที่มีประสิทธิภาพสูงแม้มีภาระไม่เต็มกำลังก็ได้

3.1.8 การเดินเครื่องหม้อไอน้ำด้วยจำนวนเครื่องที่เหมาะสม

กรณีที่ใช้น้ำในโรงงาน เมื่อปริมาณการใช้ไอน้ำเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของภาระในกระบวนการผลิต หรือเมื่อมีกระบวนการผลิตใหม่เพิ่มขึ้นมา สมบัติอื่นๆ เช่น ความดัน อุณหภูมิ ของไอน้ำที่ต้องการอาจจะเปลี่ยนไปจากเดิมได้ เนื่องจากหม้อไอน้ำจะถูกออกแบบมาให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเดินเครื่องที่จุดใกล้ๆ กับพิกัด การเดินเครื่องที่ภาระต่ำมากและที่ภาระเกินกำลังจึงไม่ใช่การเดินเครื่องที่มีประสิทธิภาพสูง เราควรพิจารณาการเปลี่ยนแปลงทางด้านผู้ใช้ไอน้ำ และเปลี่ยนจำนวนเครื่องหม้อไอน้ำที่จะเดินเครื่อง หรือหากจำเป็นก็ทำการดัดแปลงหม้อไอน้ำให้สามารถเดินเครื่องหม้อไอน้ำที่จุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียพลังงานของทั้งระบบ

3.2 การอนุรักษ์พลังงานในระบบเตาเผาอุตสาหกรรม

ในการพิจารณาการอนุรักษ์พลังงานของเตา จะต้องเข้าใจความร้อนสูญเสียที่เกิดขึ้นในการเดินเครื่องเตาเพื่อนำไปวิเคราะห์ โดยทั่วไปการคำนวณหาพลังงานที่ป้อนให้เตาและที่ไปของพลังงานเหล่านั้นว่าใช้ไป

อย่างไร เรียกว่า การคำนวณสมดุลความร้อน ผลการคำนวณจะรู้ว่าเดินเครื่องเตาได้เหมาะสมหรือไม่ ใช้เชื้อเพลิงโดยสูญเปล่าหรือไม่ และยังสามารถเตรียมมาตรการลดความร้อนสูญเสียให้เหลือน้อยที่สุดได้อีกด้วย ระยะเวลาตรวจวัดเตาเพื่อคำนวณสมดุลความร้อนจะขึ้นอยู่กับประเภทของเตา แต่ในการเดินเครื่องต่อเนื่อง จะใช้ค่าเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 3 ชั่วโมง ในการเดินเครื่องไม่ต่อเนื่อง จะใช้ค่าเฉลี่ยต่อการเดินเครื่อง 1 ครั้ง หรือแบ่งเป็นหลายๆ ชิ้นแล้วตัดเอาเฉพาะกระบวนการที่สำคัญที่สุด ปริมาณที่ใช้แสดงสมรรถนะของเตา ได้แก่ ประสิทธิภาพความร้อน และความสิ้นเปลืองพลังงาน (หรือปริมาณความร้อน) ต่อหน่วย

ประสิทธิภาพความร้อนโดยทั่วไปจะแสดงด้วย η [%] = $100 \times (\text{ความร้อน effective}) / (\text{ความร้อน ที่ป้อนให้})$ ประสิทธิภาพยิ่งมีค่าสูง แสดงว่าเตายังมีสมรรถนะสูง

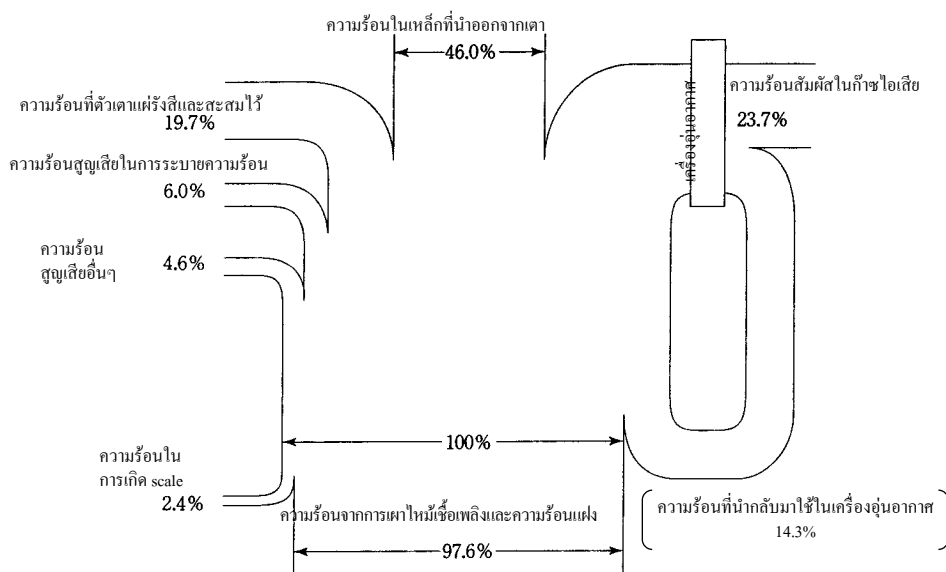
ความร้อนที่ป้อนให้จะมีทั้งกรณีที่เกิดความร้อนเข้าทั้งหมดกับกรณีที่เกิดเฉพาะความร้อนจากเชื้อเพลิง

วิธีคิดความร้อน effective จะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่ให้ความร้อน แต่ในการตัดสินใจความร้อนจะต้องพิจารณาอย่างถี่ถ้วน ตัวอย่างเช่น กรณีที่ให้ความร้อนวัตถุด้วยอุณหภูมิสูงเกินจำเป็นในเตาให้ความร้อน ความร้อน effective ที่ปรากฏจะมีค่ามาก แต่ในกรณีนี้จะมีความร้อนสูญเสียรวมอยู่ในความร้อน effective ด้วย ความร้อน effective ในการหลอมจะเท่ากับความร้อนแฝงบวกความร้อนสัมผัสของวัตถุ ในการให้ความร้อนจะเท่ากับความร้อนสัมผัสที่อุณหภูมิสูงสุดของวัตถุ ในเตาเผาซีเมนต์จะเท่ากับ (ความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอของน้ำ) + (ความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาตุกกลืน)

ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่อหน่วยหมายถึงปริมาณเชื้อเพลิงที่ป้อนให้ต่อวัตถุที่จะให้ความร้อนหนึ่งหน่วยมวล หากแสดงด้วยปริมาณความร้อนจะเรียกว่า ความสิ้นเปลืองความร้อนต่อหน่วย ส่วนอัตราส่วนเชื้อเพลิง (เชื้อเพลิง kg / เหล็ก t) ที่ใช้แสดงสมรรถนะของเตา blast furnace จะเทียบเท่ากับความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่อหน่วย

3.2.1 สมดุลความร้อนของเตาอุตสาหกรรม

เตาอุตสาหกรรมที่สำคัญ ได้แก่ เตาให้ความร้อน ซึ่งแสดงสมดุลความร้อนได้ดังรูป 3.1 และตาราง 3.1



รูปที่ 3.1 สมดุลความร้อนของเตาให้ความร้อนเหล็ก billet

ตารางที่ 3.1 ตารางสมดุลความร้อนของเตาให้ความร้อนเหล็ก billet

ความร้อนเข้า			ความร้อนออก		
หัวข้อ	10 ³ kJ [10 ³ kcal]	[%]	หัวข้อ	10 ³ kJ [10 ³ kcal]	[%]
(1) ความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง	1765	97.2	(6) ความร้อนในเหล็กที่นำออกจากเตา	835	6.0
(2) ความร้อนสัมผัสของเชื้อเพลิง	7.5	0.4	(7) ความร้อนสัมผัสของก๊าซไอเสีย	431	23.7
(3) ความร้อนในเหล็กที่นำใส่เตา	–	–	(8) ความร้อนที่ตัวเตาแผ่รังสีและระเหย	358	19.7
(4) ความร้อนในการเกิด scale	43.5	2.4	(9) ความร้อนสูญเสียในการระบายความร้อน	109	6.0
			(10) ความร้อนสูญเสียอื่นๆ	83	4.6
รวม	1816 (434)	100	รวม	1816 (434)	100
(5) ความร้อนที่นำกลับมาใช้อุ่นอากาศสำหรับเผาไหม้	259.7	14.3			

หมายเหตุ) ประสิทธิภาพความร้อน = $\frac{835 \times 10^3 \text{ kJ}}{1816 \times 10^3 \text{ kJ}} \times 100 = 46.0\%$

ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่อหน่วย = $1765 \times 10^3 \text{ [kJ/t]}$ ($421.6 \times 10^3 \text{ [kcal/t]}$)

ความร้อนออกที่สำคัญ ได้แก่ (a) ความร้อนสัมผัสของเชื้อเพลิง (b) ความร้อนสูญเสียในก๊าซไอเสีย (c) ความร้อนที่แผ่รังสีจากตัวเตา และ (d) ความร้อนสูญเสียในการระบายความร้อน พื้นฐานของการอนุรักษ์พลังงานในเตาให้ความร้อน คือ จะลดความร้อนทั้ง 4 ข้อนี้ได้อย่างไร และนอกจากทั้ง 4 ข้อนี้แล้ว จะนำความร้อนกลับมาใช้ให้มากที่สุดอย่างไร

3.2.2 การอนุรักษ์พลังงานของเตาให้ความร้อนเหล็ก billet

ต่อไปนี้จะอธิบายกลวิธีอนุรักษ์พลังงานของเตาให้ความร้อนเหล็ก billet โดยใช้ตัวอย่างรูปธรรมซ้ำ

(a) การลดความร้อนสัมผัสในเหล็ก

จะต้องปฏิบัติตามกระบวนการรีดร้อนเหล็ก billet กล่าวคือ การลำเลียงจากเตา forging furnace แบบต่อเนื่องไปยังเตาให้ความร้อนโดยตรง เรียกว่า direct rolling หรือป้อน slab ที่ต้องป้อนด้วยมือเข้าเตา ก่อนที่จะเย็น เรียกว่า hot charge หรือการลดอุณหภูมิของเหล็กที่นำออกมาด้วยการเพิ่มความเร็วยของไลน์รีดเหล็ก อย่างไรก็ตาม วิธีการเหล่านี้ไม่ใช่มาตรการอนุรักษ์พลังงานเกี่ยวกับตัวเตา อุณหภูมิของเหล็ก billet ที่นำออกมาจากเตาจะถูกกำหนดด้วยเงื่อนไขในการรีด เช่น อุณหภูมิที่ทุกๆ จุดของเหล็ก billet ที่ออกจากเครื่องรีดเหล็ก จะต้องไม่ต่ำกว่าอุณหภูมิที่เหล็กจะเปลี่ยนสภาพจากโครงสร้าง austenite เป็น ferrite + perlite ในกระบวนการทำให้เย็น ดังนั้น หากทำให้ช่วงการแผ่กระจายอุณหภูมิของเหล็ก billet ที่เกิดจากผลต่างอุณหภูมิที่เกิดขึ้นตามทิศทางการรีดเหล็กในขณะที่ป้อนเหล็ก billet ซึ่งเรียกว่า skid mark และเกิดจากความไม่สม่ำเสมอในเตา มีช่วงแคบลงได้แล้ว จะสามารถลดอุณหภูมิที่นำเหล็กออกมาจากเตาได้ กล่าวคือ การอนุรักษ์พลังงานในเตาให้ความร้อนในข้อนี้ สามารถทำได้โดยการทำให้อุณหภูมิภายในเตามีการแผ่กระจายอย่างสม่ำเสมอ ด้วยการลด skid mark ซึ่งเกิดจาก skid beam shift หรือ high skid button หรือ skid beam หนักตัวจริง ฯลฯ และด้วยการใช้ burner ความเร็วสูง

(b) การลดความร้อนสูญเสียในก๊าซไอเสีย

กรณีของเตาเผา ความสูญเสียที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้คือความสูญเสียในก๊าซไอเสีย กล่าวคือ ในจำนวนความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ส่วนหนึ่งจะกลายเป็นความร้อนสัมผัสของก๊าซไอเสียซึ่งเมื่อระบายก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้ออกไปจากเตา ความร้อนสูญเสียจะมีสัดส่วนสูงมากต่อความร้อนที่จำเป็นต้องใช้ในการให้ความร้อนหลัก การลดความร้อนสูญเสียนี้ ต้องใช้กลวิธีที่เป็นพื้นฐานของการอนุรักษ์พลังงาน ได้แก่ การควบคุมอัตราส่วนอากาศให้เหมาะสม ในการเผาไหม้เชื้อเพลิง ตามทฤษฎีแล้วเราสามารถเผาไหม้ได้ด้วยอัตราส่วนอากาศ 1.0 ก็เพียงพอแล้ว อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติเนื่องจากเชื้อเพลิงไม่ได้ผสมกับอากาศอย่างสมบูรณ์ จึงต้องเดินเครื่องด้วยปริมาณอากาศเกินจำเป็นไปบ้างเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดเขม่าขึ้น อย่างไรก็ตาม ยิ่งอัตราส่วนอากาศมีค่าสูงเท่าใด ปริมาณไอเสียที่จะต้องให้ความร้อนก็จะยิ่งเพิ่มขึ้นเท่านั้น แต่ก๊าซไอเสียที่เพิ่มขึ้นจากอากาศส่วนเกิน เป็นสิ่งที่ไม่มีความจำเป็นอย่างใดเลย ดังนั้นจึงต้องพยายามเผาไหม้ด้วยอัตราส่วนอากาศใกล้เคียงกับ 1.0 ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ดังนั้น จึงมีการทำ cross limit ของการควบคุม cascade ของอุณหภูมิและอัตราไหล ทำการควบคุมความดันภายในเตาเพื่อลดอากาศที่ไหลเข้ามา รวมทั้งทำการควบคุม O_2 โดยอัตโนมัติเพื่อควบคุมอัตราส่วนอากาศอย่างเที่ยงตรง ทั้งในการเผาไหม้เต็มทีและเผาไหม้แบบ turn down

นอกจากนี้ในกรณีพิเศษ ยังมีการลดความร้อนสูญเสียในก๊าซไอเสียด้วยการเผาไหม้ด้วยออกซิเจนหรือเผาไหม้ด้วยออกซิเจนจำนวนมากอีกด้วย อย่างไรก็ตาม จะมีปัญหาเรื่องราคาออกซิเจน ปัจจุบันในเตาหลอมแก้วต่างๆ จะมีน้ำการเผาไหม้ด้วยออกซิเจนมาใช้กันมากขึ้นเนื่องจากต้องการลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดใหญ่

นอกจากการลดปริมาณก๊าซไอเสียแล้ว ยังมีวิธีลดอุณหภูมิของก๊าซไอเสียเพื่อลดความสูญเสียในก๊าซไอเสียอีกด้วย

ในกรณีของเตาให้ความร้อนแบบดั้งเดิม ก๊าซไอเสียจะไหลเข้าจากทางออกวัตถุดิบไปออกที่ทางเข้าวัตถุดิบ กล่าวคือ ในเตาให้ความร้อนแบบดั้งเดิม อุณหภูมิที่ก๊าซไหลออกจากด้านทางเข้าวัตถุดิบจะเท่ากับอุณหภูมิก๊าซไอเสียของเตา อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิก๊าซไอเสียที่บริเวณทางออกวัตถุดิบจะต้องสูงกว่าอุณหภูมิของเหล็ก billet ที่จะนำออกจากเตาอยู่บ้าง และในกรณีที่จะให้ความร้อน หากทำให้เตามีอุณหภูมิสูงขึ้น จะสามารถให้ความร้อนได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เตาสั่นลงได้ ดังนั้น ในบริเวณให้ความร้อนจึงกำหนดอุณหภูมิไว้เท่ากับอุณหภูมิทนความร้อนสูงสุดของฉนวนความร้อนที่ใช้ ซึ่งมีค่าประมาณ $1250-1300^{\circ}\text{C}$ ส่วนบริเวณทางเข้าวัตถุดิบจะพยายามกำหนดให้ต่ำที่สุดเพื่อลดความสูญเสียในก๊าซไอเสีย ตัวอย่างเช่น กำหนด heat pattern ของเหล็ก billet ให้มีอุณหภูมิที่ทางเข้าต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ และจัดให้มีบริเวณ preheat ด้วยก๊าซไอเสียโดยไม่ติดตั้ง burner เพื่อให้แลกเปลี่ยนความร้อนกับเหล็ก billet และลดอุณหภูมิก๊าซไอเสีย อย่างไรก็ตาม สำหรับเตาที่มีความยาวเท่ากันหากค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิอย่างช้าๆ ที่สุดเท่าที่จะทำได้แล้ว แม้ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของหน้าตัดเหล็ก billet โดยเฉลี่ยจะสอดคล้องกับความสามารถในการเพิ่มอุณหภูมิก็ตาม ปัญหาเรื่องความเร็วในการถ่ายเทความร้อนภายในตัวเหล็ก billet จะทำให้เกิดการเปื้อนบนอุณหภูมิของตัวยิ่งมากขึ้น กล่าวคือ เกิด skid mark มากขึ้นนั่นเอง

การแก้ไขปัญหานี้จะต้องทำให้เตามีความยาวเพิ่มขึ้น กล่าวคือ ในเตาแบบดั้งเดิมหากต้องการลดอุณหภูมิของก๊าซไอเสีย จะต้องทำให้เตามีความยาวเพิ่มขึ้นโดยไม่มีทางเลือก

ความยาวของเตาจะถูกจำกัดด้วยเหตุผลด้านความคุ้มทุน ได้แก่ ต้นทุนค่าเครื่องจักร ดังนั้น หากให้อุณหภูมิของเหล็ก billet ที่นำออกจากเตามีอุณหภูมิ 1200°C แล้ว อุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ทางเข้าวัตถุดิบโดยทั่วไปจะเท่ากับ $1150-1000^{\circ}\text{C}$

จากเหตุผลข้างต้น ระยะหลังนี้ regenerative burner จึงได้รับความสนใจมากขึ้น รายละเอียดจะอธิบายในหัวข้อการนำก๊าซไอเสียกลับมาใช้

(c) การลดความสูญเสียจากการแผ่รังสีจากตัวเตา และความสูญเสียในน้ำระบายความร้อน

ความสูญเสียนี้สามารถลดได้อย่างมากด้วยการเสริมฉนวนความร้อนที่ผนังเตา และตัวยึดในเตาที่ระบายความร้อนด้วยน้ำที่เรียกว่า skid beam หรือ post โดยทั่วไปในกรณีของเตาให้ความร้อนเหล็ก billet จะเดินเครื่องต่อเนื่อง แต่ในปัจจุบันมักจะต้องหยุดเครื่องบ่อยขึ้นเพื่อปรับกำลังผลิต ในกรณีนี้อุณหภูมิเตาจะถูกรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ แต่เมื่อเริ่มเดินเครื่องอีกครั้งจะต้องเพิ่มอุณหภูมิอีกครั้ง กล่าวคือ ต้องใช้พลังงานในส่วนของการทำความร้อนสะสมในตัวฉนวนความร้อนด้วย แต่จุดนี้สามารถอนุรักษ์พลังงานได้ด้วยการใช้ฉนวนความร้อนที่มีการสะสมความร้อนต่ำ

ไม่ว่ากรณีใดฉนวนที่ใช้มักจะเป็นเซรามิกไฟเบอร์กันมาก แต่ระยะหลังจะมีการใช้เตาให้ความร้อนที่ใช้เซรามิกไฟเบอร์ทั้งตัวยกเว้นพื้นเตา ตาราง 3.2 จะเปรียบเทียบปริมาณความร้อนจากการแผ่รังสีและความร้อนสะสมของฉนวนความร้อนแบบต่างๆ ในเตาเผา และยังแสดงค่าความร้อนของการแผ่รังสีของฉนวนความร้อนแบบต่างๆ ของ skid beam และ post อีกด้วย ไม่ว่าในกรณีใด หากใช้เซรามิกไฟเบอร์เป็นฉนวนความร้อนจะสามารถอนุรักษ์พลังงานได้มาก

เตาควรจะกั้นความร้อนที่แลกเปลี่ยนกับภายนอกให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ อย่างไรก็ตามในการป้อนวัตถุดิบ นำวัตถุดิบออก และการลำเลียงวัตถุดิบ เตาจะต้องมีช่องเปิดเสมอ เพื่อลดความร้อนสูญเสียจากช่องเปิดและความสูญเสียจากเปลวไฟออกนอกเตา จะติดตั้งอุปกรณ์ปิดกั้นความร้อนที่สามารถปรับให้เปิดได้ อุปกรณ์ที่สำคัญได้แก่ ประตูสองชั้นทางด้านช่องนำวัตถุดิบออก และ movable beam post cover เป็นต้น รูป 3.2 แสดงตัวอย่างของประตูสองชั้น

(d) การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้

ได้อธิบายไว้ในหัวข้อการลดความสูญเสียในก๊าซไอเสียแล้ว ว่าการจัดให้มีบริเวณ preheat ด้วยก๊าซไอเสียเป็นการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ด้วยตัวเอง ในที่นี้จะอธิบายการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ด้วยอุปกรณ์นำกลับมาใช้ต่างๆ

ในการอุ่นอากาศสำหรับเผาไหม้ด้วย recuperator ความร้อนที่นำกลับมาใช้จะถูกหมุนเวียนกลับเข้าไปในเตาทันที จึงมีประสิทธิภาพการใช้งานสูง รูป 3.3 แสดงอัตราการประหยัดเชื้อเพลิงด้วยการอุ่นอากาศ เครื่อง recuperator บางชนิดจะทำด้วยเซรามิกซึ่งสามารถใช้ก๊าซไอเสียอุณหภูมิสูงได้โดยตรง แต่จะมีประสิทธิภาพต่ำ อากาศที่อุ่นแล้วจะมีอุณหภูมิประมาณ 400°C แต่ในกรณีของ recuperator โลหะซึ่งมีประสิทธิภาพสูง ก๊าซไอเสียที่ป้อนให้ต้องมีอุณหภูมิไม่เกิน 900°C เนื่องจากข้อจำกัดเรื่องการทนความร้อนของโลหะ ดังนั้น โดยทั่วไปจะนำก๊าซไอเสียจากเตาไปเจือจางด้วยอากาศอุณหภูมิปกติก่อนป้อนให้ recuperator ในกรณีนี้จะสามารถอุ่นอากาศให้มีอุณหภูมิสูงถึง 600°C

ในกรณีของเตาขนาดใหญ่ เช่น เตาให้ความร้อนเหล็ก billet ฯลฯ หลังจากนำความร้อนกลับมาใช้ด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแล้ว ยังนำความร้อนที่เหลือกลับมาใช้ด้วยการติดตั้ง waste-heat boiler เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานของเครื่องจักรอื่นอีกด้วย

ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบความร้อนที่แผ่รังสีและความร้อนสะสม

(1) เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลักกับปริมาณความร้อนที่แผ่รังสี

ผนังข้าง 410 (m ²)	ผนังพลาสติกเดิม			ผนังเดิม + veneering			ผนังเซรามิก F ตลอดความหนา		
ผิวเตาด้านใน Tf (°C)	ผิวหลัก To (°C)	ความร้อนแผ่รังสี		ผิวหลัก To (°C)	ความร้อนแผ่รังสี		ผิวหลัก To (°C)	ความร้อนแผ่รังสี	
		(kJ/(m ² ·s))	(W)		(kJ/(m ² ·s))	(W)		(kJ/(m ² ·s))	(W)
1 200	115	1.455	59.7	103	1.208	49.5	71	0.652	26.7
800	83	0.850	34.8	71	0.654	26.7	49	0.321	13.1

เพดาน 550 (m ²)	ผนังพลาสติกเดิม			ผนังเดิม + veneering			ผนังเซรามิก F ตลอดความหนา		
ผิวเตาด้านใน Tf (°C)	ผิวหลัก To (°C)	ความร้อนแผ่รังสี		ผิวหลัก To (°C)	ความร้อนแผ่รังสี		ผิวหลัก To (°C)	ความร้อนแผ่รังสี	
		(kJ/(m ² ·s))	(W)		(kJ/(m ² ·s))	(W)		(kJ/(m ² ·s))	(W)
1 200	136	2.176	119.7	116	1.688	92.8	72	0.759	41.7
800	101	1.338	73.6	81	0.928	50.9	49	0.375	20.6

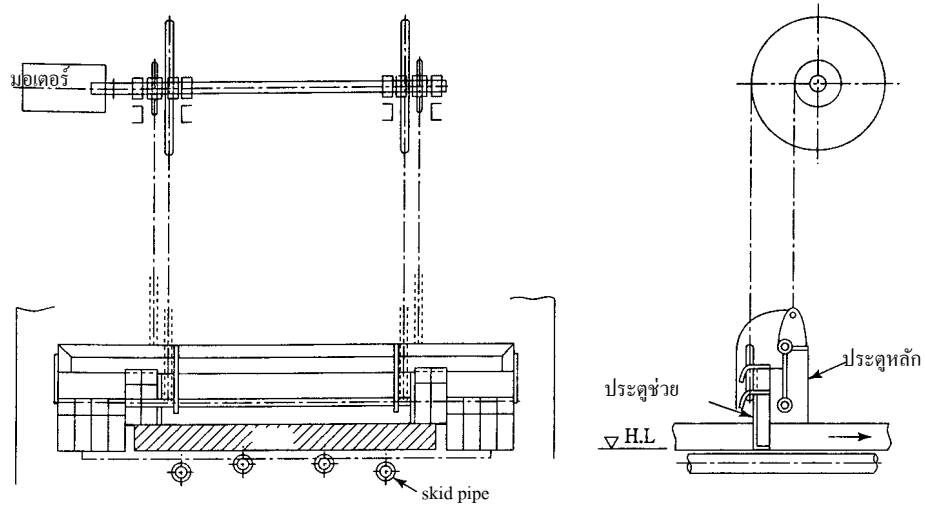
(2) เปรียบเทียบความร้อนที่สะสม

	Tf	ผนังพลาสติกเดิม		ผนังเดิม + veneering		ผนังเซรามิก F ตลอดความหนา	
		เพดาน	ผนังข้าง	เพดาน	ผนังข้าง	เพดาน	ผนังข้าง
@ x ผนัง (MJ/(m ² ·s))	1 200°C	0.013 1	0.0164	0.010 8	0.014 7	4.89 × 10 ⁻⁴	5.703 × 10 ⁻⁴
	800°C	0.008 9	0.0113	0.006 8	0.009 5	3.49 × 10 ⁻⁴	4.07 × 10 ⁻⁴
Σ (W)	1 200°C	7 174	6 727	5 965	6 012	267	232
	800°C	4 913	4 640	3 750	3 340	192	169

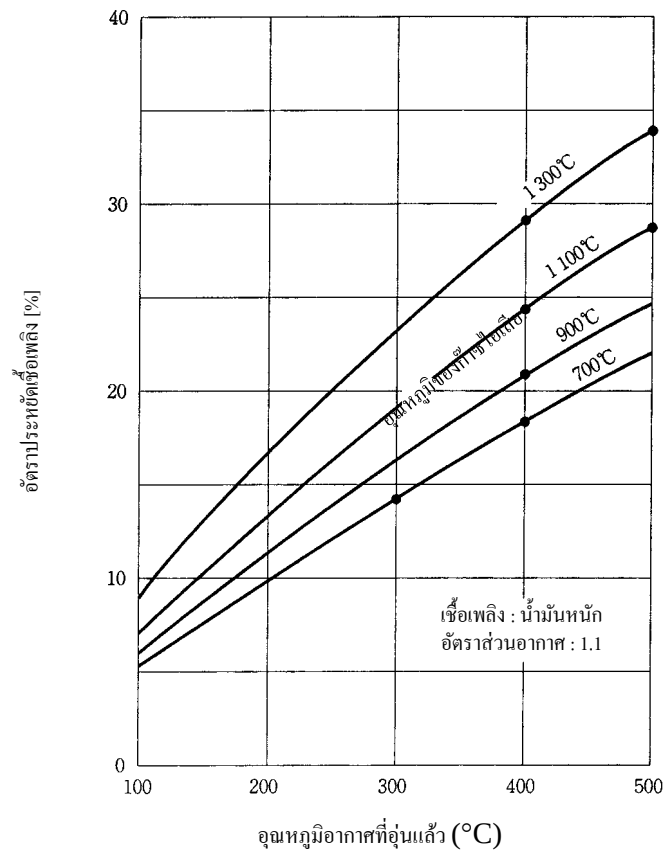
(3) ความร้อนสูญเสียที่ beam ระบายความร้อนด้วยน้ำ

post	ผนังเดิม 60t caster 1 ชั้น		ผนังเดิม + veneering		ผนังเซรามิกทั้งหมด 80 mmt	
ผิวเตาด้านใน Tf [°C]	ความร้อนสูญเสียในน้ำระบายความร้อน [kJ/(m·s)]		ความร้อนสูญเสียในน้ำระบายความร้อน [kJ/(m·s)]		ความร้อนสูญเสียในน้ำระบายความร้อน [kJ/(m·s)]	
1 200	8.50		6.63		2.79	
800	5.12		3.49		1.51	

post	ผนังเดิม 60t caster 1 ชั้น		ผนังเดิม + veneering		ผนังเซรามิกทั้งหมด	
ผิวเตาด้านใน Tf [°C]	ความร้อนสูญเสียในน้ำระบายความร้อน [kJ/(m·s)]		ความร้อนสูญเสียในน้ำระบายความร้อน [kJ/(m·s)]		ความร้อนสูญเสียในน้ำระบายความร้อน [kJ/(m·s)]	
1 200	15.25		13.27		9.54	
800	7.22		5.59		3.61	



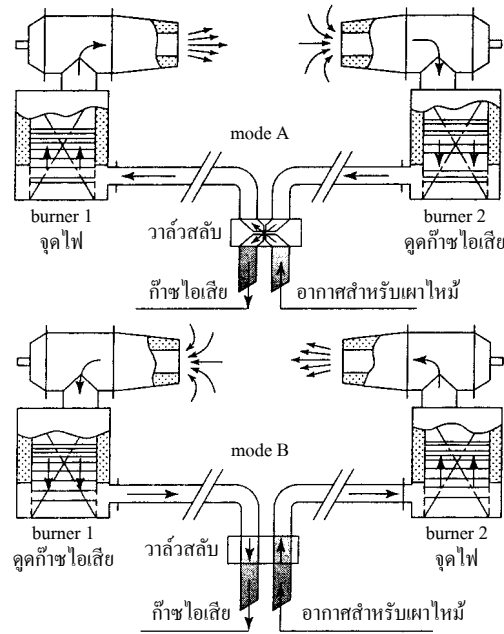
รูปที่ 3.2 ประตูป้อนวัตถุดิบ 2 ชั้น



รูปที่ 3.3 อัตราการประหยัดเชื้อเพลิงจากการอุ่นอากาศ

ระยะหลังนี้ มีการอนุรักษ์พลังงานด้วยการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศอุ่นให้สูงขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพสูงโดยใช้ regenerative burner ซึ่งจะเดินเครื่องเป็นคู่ดังรูป 3.4

เมื่อจุดไฟ burner A ก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้จะถูกดูดเข้าไปใน burner B ซึ่งไม่ได้จุดไฟ ในขณะนั้นก๊าซจะแลกเปลี่ยนความร้อนโดยตรงกับ regenerator ที่ทำจากเซรามิก หลังจากนั้น 30-60 วินาที จะใช้วาล์วสลับให้จุดไฟ burner B และดูดก๊าซไอเสียนั้นเข้าไปใน burner A โดยอากาศสำหรับเผาไหม้ของ burner B จะแลกเปลี่ยนความร้อนโดยตรงกับ regenerator ซึ่งได้รับความร้อนจากไอเสีย



รูปที่ 3.4 regenerative burner

กรณีที่ก๊าซไอเสียจากเตาให้ความร้อนมีอุณหภูมิ 1200°C จะสามารถอุ่นอากาศให้มีอุณหภูมิสูงเกือบ 1100°C โดยเฉลี่ยตัว regenerator นั้นมีใช้ในเตาหลอมแก้วและ hot blast furnace มาก่อนแล้ว แต่จะมีขนาดใหญ่มาก และระยะเวลาสลับนานมาก ส่วน regenerative burner จะมี regenerator ติดตั้งอยู่กับ burner แต่ละตัว แต่แรก burner แบบนี้ถูกคาดหวังว่าจะสามารถอนุรักษ์พลังงานได้มาก แต่ปัญหาคือเมื่ออากาศที่อุ่นมีอุณหภูมิสูงขึ้น เปลวไฟของ burner ก็มีอุณหภูมิสูงขึ้นด้วย ทำให้ค่า NO_x ที่ปล่อยออกมาเพิ่มขึ้นเป็นฟังก์ชันยกกำลัง อย่างไรก็ตาม ระยะหลังนี้มีการค้นคว้าวิจัยเพิ่มมากขึ้น ทำให้ได้เทคโนโลยีที่สามารถเผาไหม้ด้วยอากาศอุ่นอุณหภูมิสูงเช่นนี้ด้วยค่า NO_x เท่าเดิมหรืออาจต่ำกว่าเดิมเสียอีก ยิ่งไปกว่านั้น กรณีของ regenerative burner ก๊าซไอเสียจะมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของก๊าซไอเสียหลังจากแลกเปลี่ยนความร้อนกับ regenerator ของ burner แต่ละตัวเสร็จแล้ว สุดท้ายจึงมีอุณหภูมิต่ำเพียงประมาณ 300°C แม้ว่าอุณหภูมิเตาที่ตำแหน่งของ burner จะสูงมากก็ตาม ดังนั้น จึงไม่จำเป็นต้องทำให้เตามีความยาวมากเพื่อลดอุณหภูมิของก๊าซไอเสียเหมือนกับเตาแบบเดิม สามารถให้ความร้อนเหล็ก billet ได้โดยมีขนาดกะทัดรัด ในอนาคตคงจะมีการใช้ระบบ burner แบบนี้มากขึ้นเรื่อยๆ เรื่องการนำความร้อนจากก๊าซไอเสียกลับมาใช้คงมีเพียงเท่านี้ อย่างไรก็ตาม ในกรณีพิเศษยังมีระบบ hot cooling ซึ่งใช้ skid beam ซึ่งเป็นแท่งรองรับในเตาที่ระบายความร้อนด้วยน้ำเพื่อผลิตไอน้ำอีกด้วย

(e) การลดกำลังไฟฟ้า

การลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียโดยทั่วไปสามารถทำได้โดยเดินสายให้เหมาะสมที่สุด ลดความสูญเสียจากความต้านทานไฟฟ้าให้เหลือน้อยที่สุด และติดตั้งคาปาซิเตอร์เพื่อเพิ่มเพาเวอร์แฟกเตอร์ รวมทั้งทำให้เกิดสมดุลในวงจรไฟฟ้า 3 เฟส เป็นต้น อย่างไรก็ตาม วิธีที่ใช้กันมากในเตาให้ความร้อนเหล็ก billet ได้แก่ เดินเครื่อง blower สำหรับการเผาไหม้ และพัดลมดูดก๊าซไอเสียชนิดที่ใช้ สำหรับการเผาไหม้ และพัดลมดูดก๊าซไอเสียแบบ VVVF

นอกจากนี้ในการขับ walking beam มักจะใช้ซิลินเดอร์ไฮดรอลิกแบบก้านเดียวซึ่งกรณีที่จะเลื่อนด้านก้านสูบจะต้องใช้น้ำมันไฮดรอลิกปริมาณมาก ปริมาณน้ำมันที่ต้องใช้นี้จะเป็นตัวกำหนดขนาดของปั๊มไฮดรอลิกรวมทั้งมอเตอร์ด้วย เพื่อแก้ไขจุดนี้ จะมีการติดตั้งบายพาสทั้งด้านก้านสูบและด้านตรงข้ามก้านสูบเพื่อลดปริมาณน้ำมันไฮดรอลิกที่ต้องใช้ให้น้อยลงและทำให้ปั๊มมีขนาดเล็กลงด้วย

(f) การควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

ระยะหลังนอกจากระบบ distributed computer system (DCS) หรือ programmable logic controller (PLC) แล้ว ยังใช้คอมพิวเตอร์สำหรับควบคุม เรียกว่า level II ซึ่งจะคำนวณอุณหภูมิของเหล็ก billet แบบ real time เพื่อควบคุมสภาพการเผาไหม้ให้สามารถให้ความร้อนอย่างเหมาะสมที่สุดอยู่เสมอให้รองรับรูปแบบการเดินเครื่องแบบต่างๆ เช่น การเปลี่ยนชนิดเหล็ก เป็นต้น เตาที่ใช้วิธีอนุรักษ์พลังงานเพื่อให้ใช้เชื้อเพลิงน้อยที่สุดแบบนี้กำลังมีจำนวนเพิ่มขึ้น และในอนาคตวิธีอนุรักษ์พลังงานที่ใช้คอมพิวเตอร์เช่นนี้จะมีมากขึ้นในอนาคต

3.2.3 กลวิธีอนุรักษ์พลังงานพิเศษอื่นๆ**(a) เตา annealing furnace แบบ batch ที่มีบรรยากาศเป็นไฮโดรเจน**

เตานี้ใช้สำหรับทำ annealing คอยล์ที่แปรรูปเย็นเสร็จแล้ว เรียกว่า bell annealing furnace โดยจะนำคอยล์ที่พันแผ่นเหล็ก ฯลฯ มาซ้อนเป็นชั้นๆ แล้วให้ความร้อนทางอ้อมผ่าน inner cover ซึ่งมีลักษณะคล้าย muffle แต่เดิมโดยมากจะใช้ไนโตรเจนเป็นบรรยากาศภายใน inner cover นี้ อย่างไรก็ตาม จากตาราง 3.3 ไฮโดรเจนจะมีคุณลักษณะด้านการถ่ายเทความร้อน ได้แก่ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนและความร้อนจำเพาะดีกว่าไนโตรเจนมาก จึงนำคุณลักษณะนี้มาใช้ประโยชน์ในการอนุรักษ์พลังงานโดยใช้บรรยากาศเป็นไฮโดรเจน 100% ซึ่งจะลดเวลาให้ความร้อนให้สั้นลงได้

ตารางที่ 3.3 เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของ H₂ กับ N₂

สมบัติทางกายภาพ	N ₂	H ₂	H ₂ / N ₂
สัมประสิทธิ์ความหนืด [kgs/m ²] ที่ 300°C	2.89×10^{-6}	1.39×10^{-6}	0.48
สัมประสิทธิ์ความหนืดจลน์ [m ² /s] ที่ 300°C	0.491×10^{-4}	3.21×10^{-4}	6.54
สัมประสิทธิ์การนำความร้อน [W/(m·K)] ที่ 300°C	0.0442	0.295	6.67
thermal diffusivity [m ² /s] ที่ 300°C	7.13×10^{-5}	4.94×10^{-4}	6.93
ความหนาแน่น [kg/m ³] ที่ 300°C	0.596	0.0424	0.072
ความร้อนจำเพาะ c _p [kJ/(kg·K)] ที่ 300°C	1.070	14.55	13.6
Pr number ที่ 300°C	0.69	0.65	0.94
mean free path [m] ที่ 300°C	49×10^{-6}	90×10^{-6}	1.84
self diffusion coefficient [m ² /s] ที่ 300°C	2.03×10^{-5}	1.43×10^{-5}	7.0
interdiffusion coefficient [m ² /s] H ₂ O ที่ 55°C	3.13×10^{-5}	1.121×10^{-5}	3.6
interdiffusion coefficient [m ² /s] อากาศ ที่ 0°C	1.83×10^{-5}	6.11×10^{-5}	3.3

นอกจากนี้ในกระบวนการระบายความร้อน หากเพิ่มความดันจะทำให้ลดระยะเวลาลงได้ ความสามารถในการระบายความร้อนจะแปรผันตรงกับกำลัง 1 ของความหนาแน่นของก๊าซและกำลัง 0.78 ของความเร็วกระแส ส่วนความดันสูญเสียของระบบจะแปรผันตรงกับกำลัง 1 ของความหนาแน่น และกำลัง 2 ของความเร็วกระแส เนื่องจากอัตราไหลจะแปรผันตามความเร็วกระแส ดังนั้นกำลังพัดลมระบายความร้อนจึงแปรผันตามกำลัง 1 ของความดันและกำลัง 3 ของความเร็วกระแส กล่าวคือ กรณีที่ให้ความสามารถในการระบายความร้อนคงที่แล้ว การลดอัตราไหลแล้วเพิ่มความดันจะสิ้นเปลืองกำลังน้อยกว่า กล่าวคือเป็นการอนุรักษ์พลังงานนั่นเอง

(b) บริเวณ direct firing ของเตา annealing furnace แบบต่อเนื่องสำหรับเหล็กแผ่น

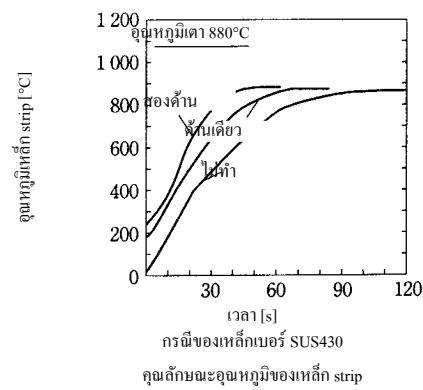
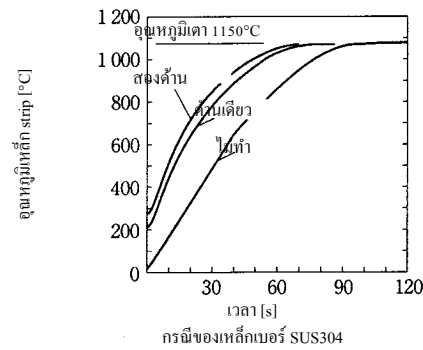
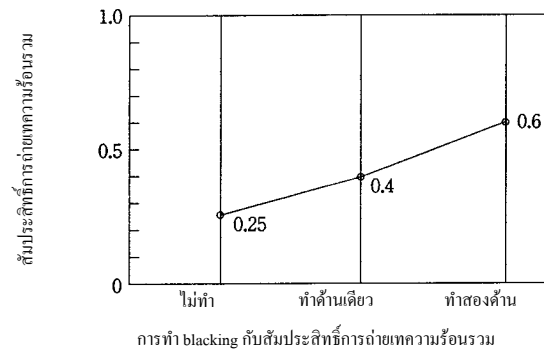
เตานี้ใช้ทำ annealing ขั้นสุดท้ายหลังจากรีดเย็นแล้ว ใช้กับเหล็ก strip ที่อยู่ในสภาพ non-oxidation มาอย่างต่อเนื่อง ในการทำ annealing แต่เดิมจะใช้บรรยากาศที่มีไฮโดรเจนผสมอยู่บ้าง แล้วให้ความร้อนทางอ้อมด้วย radiant tube อย่างไรก็ตาม เมื่ออุณหภูมิของเหล็กกับอุณหภูมิของเตาต่างกันมากพบว่าหากไม่ให้ความร้อนด้วยเปลวไฟโดยตรงที่เผาไหม้ด้วยอัตราส่วนอากาศต่ำกว่า 1.0 เล็กน้อยแล้ว จะไม่เกิดการออกซิเดชัน การทำเช่นนี้เรียกว่า บริเวณ direct firing ในบริเวณนี้จะมีการพาความร้อนจากเปลวไฟของ burner ด้วย ทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนดีขึ้นมาก นอกจากจะอนุรักษ์พลังงานได้แล้วเตายังมีความยาวลดลงอีกด้วย

(c) การทำ blacking

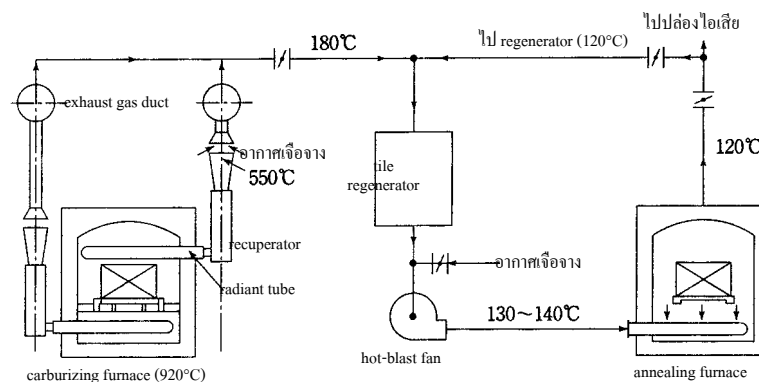
เป็นการเพิ่มความสามารถในการทำ annealing วัสดุแปรรูปเย็นขึ้นถึง 20% โดยเพียงแค่เพิ่มกระบวนการนี้ที่ด้านทางเข้าวัตถุดิบของเตา annealing furnace ในไลน์ annealing pickling ของสแตนเลสเท่านั้น โดยใช้ burner ชนิดพิเศษทำให้เกิดเขม่า ทั่วไปเกาะที่ด้านหนึ่งของแผ่นเหล็กหรือทั้งสองด้าน เพื่อเพิ่ม emissivity ทำให้ลดเวลาในการให้ความร้อนได้ ในช่วงอุณหภูมิต่ำซึ่งวัตถุดิบจะมี emissivity ต่ำ เขม่าจะเหลืออยู่ผิวหน้าช่วยในการถ่ายเทความร้อน และเมื่อวัตถุดิบร้อนแดงที่ 700-800°C เขม่าจะเผาไหม้หมดจึงไม่มีผลกระทบใดๆ ต่อผลิตภัณฑ์ รูป 3.5 แสดงคุณลักษณะของการทำ blacking ซึ่งสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเดิมจะมีค่า 0.25 แต่เมื่อทำ blacking ทั้งสองด้านจะเพิ่มขึ้นเป็น 0.6 ผลลัพธ์คือ กรณีของเหล็กเบอร์ SUS304 เวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนจะมีอุณหภูมิเท่ากับที่กำหนดจะลดลงจากประมาณ 100 นาทีเหลือประมาณ 80 นาที นอกจากนี้ สำหรับเหล็กเบอร์ SUS430 เวลาจะลดลงจาก 100 นาทีเหลือประมาณ 60 นาที

(d) การนำก๊าซไอเสียมาใช้ประโยชน์ระหว่างเตาหลายตัว

รูป 3.6 แสดงตัวอย่างการใช้ก๊าซไอเสียของเตา carburizing furnace เป็นแหล่งความร้อนของเตา annealing furnace ในกรณีนี้ เตา annealing furnace จะไม่ต้องใช้แหล่งความร้อนอื่นอีกเลย การทำเช่นนี้จะต้องวางแผน layout เครื่องจักรให้ดี แต่สำหรับเตาอุณหภูมิต่ำจะเป็นการอนุรักษ์พลังงานที่ดีเลิศ นอกจากนี้ในกรณีของเตา carburizing furnace บรรยากาศในเตาจะเป็นก๊าซที่สามารถเผาไหม้ได้ ดังนั้น จึงสามารถนำก๊าซความดันบรรยากาศที่เป็นไอเสียมาเป็นเชื้อเพลิงของเตาอื่นเพื่ออนุรักษ์พลังงานได้



รูปที่ 3.5 คุณลักษณะของเครื่อง blacking



รูปที่ 3.6 การนำก๊าซไอเสียของเตา carburizing furnace มาใช้ในเตา annealing furnace

3.3 ระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม (Cogeneration)

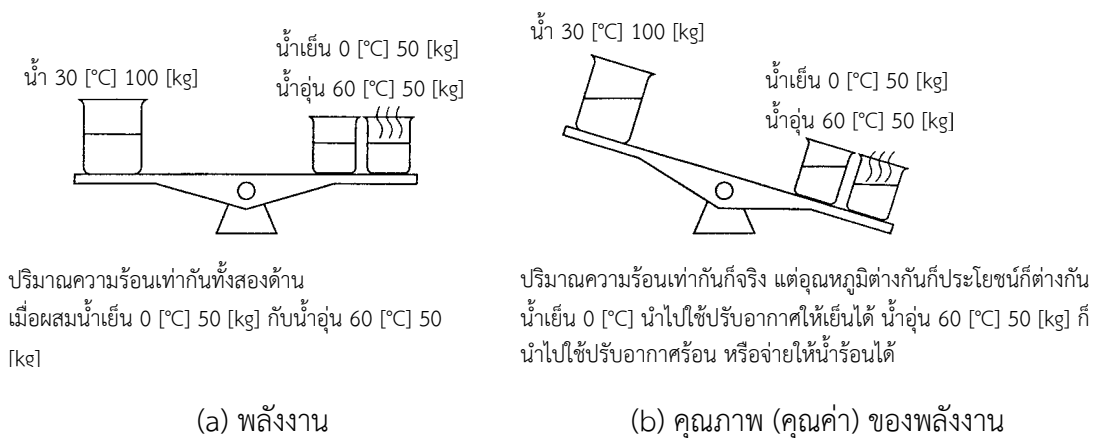
3.3.1 การประเมินคุณภาพของพลังงาน

a. เอ็กเซอร์จี (Exergy)

สมมติว่ามีกำลังงาน 100 [W] หากเป็นกำลังงานไฟฟ้าก็สามารถแปลงเป็นแรงขับเคลื่อน (พลังงานกล) หรือพลังงานแสงได้ หรือจะนำมากำเนิดความร้อนสูงก็ได้ ซึ่งสามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวาง แต่พลังงาน 100 [W] เท่ากัน หากเป็นพลังงานความร้อน (ผลต่างของอุณหภูมิ) ที่ได้จากการนำน้ำอุ่น 20 [°C] จำนวน 8.6 [kg] มาทำให้มีอุณหภูมิเหลือ 10 [°C] แล้ว พลังงานนั้นไม่สามารถนำไปใช้ในการทำความอบอุ่นได้ทันที คงสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งความร้อนของปั๊มความร้อนที่อธิบายไปแล้วข้างต้นเท่านั้น รูปที่ 3.7 จะอธิบายคุณภาพ (คุณค่า) ของพลังงานในทำนองเดียวกันนี้ในอีกรูปแบบหนึ่ง

จะเห็นว่าการประเมินคุณค่าอย่างยุติธรรมระหว่างพลังงานที่มีปริมาณเท่ากันแต่คุณภาพต่างกัน จะมีประโยชน์อย่างยิ่งในการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และในการสร้างระบบอนุรักษ์พลังงาน ปัจจุบัน การประเมินคุณภาพของพลังงานนี้ จะใช้ “ความสามารถในการทำงานเกิดงาน” ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่เราย่อมคาดหวังจากพลังงานเป็นเกณฑ์ และเป็นหลักการของ “available energy (พลังงานที่นำมาใช้งานได้)” ที่นิยามไว้ในวิชาอุณหพลศาสตร์

อย่างไรก็ตาม พลังงานที่เสื่อมคุณภาพที่แสดงไว้ในรูป 3.7 ก็ยังสามารถนำกลับมาใช้ได้หากวัตถุประสงค์สอดคล้องกับคุณภาพของพลังงานนั้นๆ ดังนั้น เนื่องจากคำว่า “available energy” ทำให้เกิดความเข้าใจผิดได้ง่าย ในเทคโนโลยีสาขาการอนุรักษ์พลังงาน เรามักจะใช้คำว่า เอ็กเซอร์จี (exergy) แทนคำว่า Available Energy

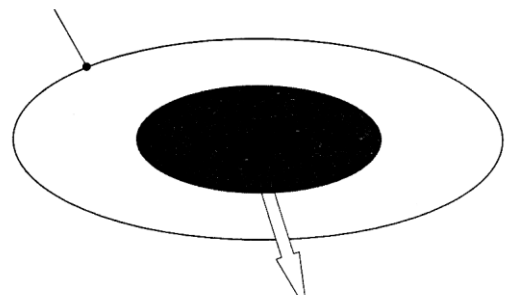


รูปที่ 3.7 การเปรียบเทียบคุณภาพ (คุณค่า) ของพลังงาน

เอ็กเซอร์จี หมายถึง ปริมาณพลังงานความร้อนที่สามารถนำออกมาแปลงเป็นแรงขับเคลื่อน (งาน) ได้ รูปที่ 3.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับเอ็กเซอร์จี กรณีของพลังงานความร้อน ยังมีอุณหภูมิสูงเท่าใด เอ็กเซอร์จีก็น่าจะยิ่งสูงขึ้นเท่านั้น

ประสิทธิภาพมีทั้งประสิทธิภาพของพลังงานและประสิทธิภาพของเอ็กเซอร์จี ประสิทธิภาพของพลังงานมักจะเรียกสั้นๆ ว่าประสิทธิภาพหรือประสิทธิภาพความร้อน การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ไม่เพียงแต่ต้องสร้างระบบที่มีประสิทธิภาพพลังงานสูงเท่านั้น แต่ยังเป็นระบบที่ไม่มีความสูญเสียเปล่าในแง่ของเอ็กเซอร์จีกอีกด้วย

en (ภายใน) + erg (งาน) = energy (พลังงาน)



ex (ออกมภายนอก) + erg (งาน) = exergy (เอ็กเซอร์จี)

รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับเอ็กเซอร์จี

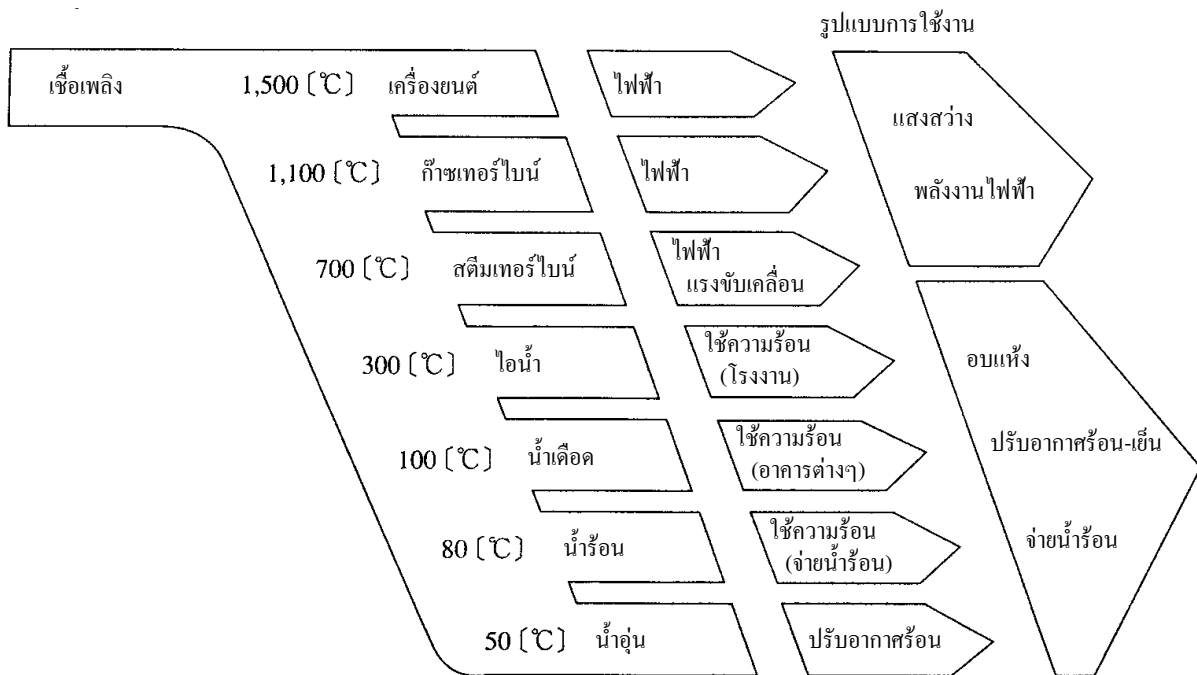
อนึ่ง พลังงานไฟฟ้า และเพลอาทอน สามารถแปลงเป็นงานได้เกือบทุกชนิด เอ็กเซอร์จิจึงมีค่าเท่ากับพลังงาน ส่วนเอ็กเซอร์จีของเชื้อเพลิง เนื่องจากส่วนหนึ่งจะหายไปในช่วงแวดล้อม จึงให้เอ็กเซอร์จีเท่ากับ 0.95 (เชื้อเพลิงก๊าซ) และ 0.975 (เชื้อเพลิงเหลว) เท่าของพลังงานตามลำดับ

b. การนำความร้อนมาใช้งานแบบคาสเคด (cascade) กับเอ็กเซอร์จี

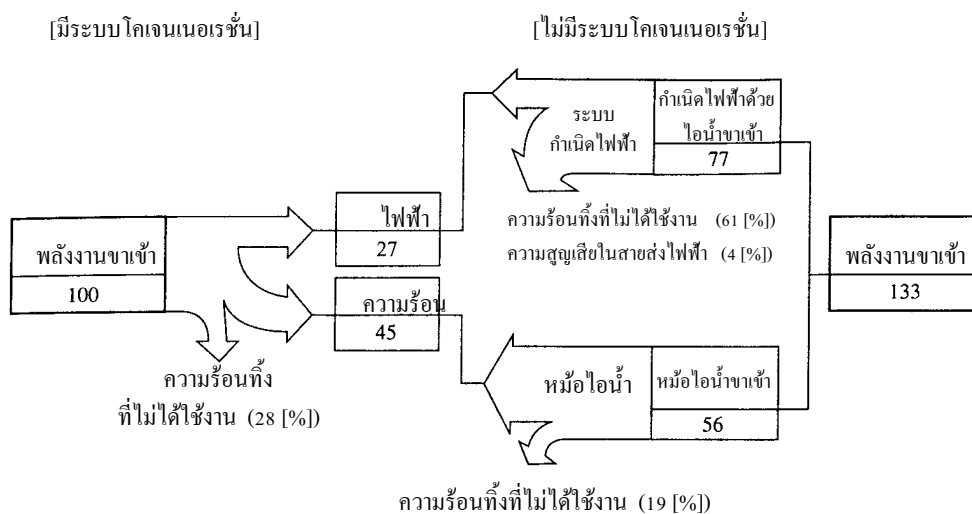
ในระยะหลัง โรงงาน และอาคารต่างๆ มีการนำระบบโคเจนเนอเรชันมาใช้ติดตั้งกันแพร่หลายมากขึ้น ระบบโคเจนเนอเรชันเป็นระบบที่นำความร้อนมาใช้งานแบบคาสเคด คำว่า คาสเคด หมายถึง น้ำตกที่มีลักษณะเป็นขั้นๆ ดังรูปที่ 3.9 เราจะนำพลังงานความร้อนที่มีเอ็กเซอร์จีสูงซึ่งได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงมาแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้า และแรงขับเคลื่อนก่อน ซึ่งจะรักษาเอ็กเซอร์จีไว้ แล้วนำความร้อนทิ้งซึ่งมีคุณภาพต่ำลง มาใช้ในวัตถุประสงค์ที่ต้องการอุณหภูมิต่ำกว่า เช่น ใช้น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต การปรับอากาศร้อน-เย็นหรือการจ่ายน้ำร้อนในอาคาร เป็นต้น การนำความร้อนมาใช้งานจากระดับอุณหภูมิสูงไล่ลงไปตามลำดับเช่นนี้ เรียกว่า “การนำความร้อนมาใช้งานแบบคาสเคด” วิธีการนี้สามารถนำพลังงานเคมีที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงฟอสซิล มาใช้งานตามลำดับโดยมีเอ็กเซอร์จิสูญเสียไปน้อยที่สุด กล่าวได้ว่าเป็นระบบในอุดมคติสำหรับการแปลงพลังงาน

ในทางปฏิบัติแล้ว โรงงาน และอาคารต่างๆ จะใช้ก๊าซธรรมชาติหรือน้ำมันหนักเป็นเชื้อเพลิงของเครื่องจักรผลิตกำลัง เช่น เครื่องยนต์ใช้ก๊าซ ก๊าซเทอร์โบ เครื่องยนต์ดีเซล เพื่อขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือคอมเพรสเซอร์ แล้วนำพลังงานไฟฟ้า และพลังงานกลที่ได้ไปใช้ในโรงงานหรืออาคาร พร้อมกับนำความร้อนทิ้งที่นำกลับมาได้จากไอน้ำหรือน้ำร้อนจากเครื่องจักรพลังความร้อน ไปใช้ในงานที่ต้องการความร้อน

รูป 3.10 เป็นผลลัพธ์จากประเมินอย่างง่ายเปรียบเทียบสมดุลพลังงานจากเชื้อเพลิงที่ใช้เครื่องยนต์ใช้ก๊าซ ระหว่างมี และไม่มีระบบโคเจนเนอเรชัน พลังงานไฟฟ้าเมื่อไม่มีระบบโคเจนเนอเรชันนั้น สมมติว่าได้รับพลังงานไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าทั่วไปที่มีประสิทธิภาพการกำเนิดไฟฟ้าที่ด้านผู้ใช้เท่ากับ 35.1 [%] และได้รับพลังงานความร้อนจากหม้อไอน้ำที่มีประสิทธิภาพ 80 [%]



รูปที่ 3.9 การนำความร้อนมาใช้งานแบบคาสเคด



หมายเหตุ กรณีที่มีความต้องการกำลังไฟฟ้าและความร้อนในสัดส่วนที่เหมาะสมกับโคเจนเนอเรชั่นและใช้งานทั้งคู่อย่างเต็มที่

รูปที่ 3.10 การเปรียบเทียบสมดุลพลังงานระหว่างมี และไม่มีระบบโคเจนเนอเรชั่น

ถ้าให้พลังงานขาเข้าในกรณีของระบบโคเจนเนอเรชั่นซึ่งมีการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้เป็น 100 หน่วยแล้ว พลังงานขาเข้าในกรณีที่ไม่มีระบบโคเจนเนอเรชั่น จะต้องใช้ถึง 133 หน่วย จะเห็นว่าระบบโคเจนเนอเรชั่นจะมีข้อได้เปรียบมากกว่า

(C) การอนุรักษ์พลังงานและความคุ้มค่าของระบบโคเจนเนอเรชัน

เทียบกับระบบที่ได้รับกำลังไฟฟ้าจากเครือข่ายของการไฟฟ้า และกำเนิดแหล่งความร้อน เช่น ไอน้ำ ฯลฯ แยกต่างหากด้วยหม้อไอน้ำ ฯลฯ เพื่อนำไปใช้แล้ว ระบบที่ผลิตและใช้ประโยชน์จากกำลังขับเคลื่อนและความร้อนจากเชื้อเพลิงโดยอาศัยเครื่องจักรชนิดเดียวกัน เรียกว่า ระบบโคเจนเนอเรชัน (CGS หรือ CHP)

ในโรงไฟฟ้าที่ผลิตไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว แม้จะใช้ระบบกำเนิดไฟฟ้าแบบคอมไบน์ไซเคิลโดยใช้ ก๊าซเทอร์ไบน์และกังหันไอน้ำร่วมกันก็ตาม ความร้อนที่ถูกทิ้งไปในเครื่องควบแน่นก็ยังมีปริมาณมาก ประสิทธิภาพความร้อนจะมีค่าประมาณ 50 [%] และยังต้องลบด้วยความสูญเสียในการจ่ายไฟฟ้าอีกเกือบ 6 [%] แต่ในระบบโคเจนเนอเรชันซึ่งจะติดตั้งที่ด้านอุปสงค์ แล้วใช้ความร้อนอุณหภูมิสูงที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในการผลิตกำลังขับเคลื่อน และใช้ความร้อนอุณหภูมิต่ำในการให้ความร้อนแล้ว ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 25-45% แต่หากสามารถนำความร้อนไปใช้ประโยชน์ได้จะมีประสิทธิภาพความร้อนรวมสูงได้ถึง 70-80% ดังจะแสดงให้เห็นในตัวอย่างต่อไป

นอกจากนี้ การติดตั้งระบบโคเจนเนอเรชัน จะช่วยให้สามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ จึงสามารถลดสัญญาการใช้ไฟฟ้าฐานได้

นอกจากนี้ระบบโคเจนเนอเรชันยังสามารถใช้ประโยชน์เป็นแหล่งจ่ายไฟฉุกเฉินได้ จึงมีข้อได้เปรียบที่สามารถทำสัญญาปรับแรงดันไฟฟ้าฉุกเฉินได้อีกด้วย

3.3.2 รูปแบบของระบบโคเจนเนอเรชัน

ระบบโคเจนเนอเรชันมีรูปแบบต่างๆ ตามตาราง 3.4 ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ผลิตกำลังขับเคลื่อนและวิธีใช้ประโยชน์จากความร้อน และกำลังขับเคลื่อน ซึ่งจะมีการเลือกใช้ระบบที่เหมาะสมที่สุดให้สอดคล้องกับสภาพของโรงงานและสถานประกอบการ

ในอุตสาหกรรมที่ใช้ไอน้ำเป็นจำนวนมาก เช่น การกลั่น น้ำมันดิบ การผลิตกระดาษตั้งแต่อดีตมาจะมีระบบผลิตไฟฟ้าเองด้วยหม้อไอน้ำความดันสูง และกังหันไอน้ำอยู่แล้ว แล้วนำ ไอน้ำที่ระบายออกจากกังหันไปใช้เป็นไอน้ำสำหรับกระบวนการผลิตลักษณะนี้ก็เป็นโคเจนเนอเรชันชนิดหนึ่ง แต่ต่อไปนี้จะอธิบายระบบโคเจนเนอเรชันแบบใช้เครื่องยนต์สันดาปภายในที่กำลังเริ่มแพร่หลายมากขึ้นซึ่งสามารถรองรับอุปสงค์พลังงานขนาดเล็กกว่าได้

อุปกรณ์กำเนิดกำลังขับเคลื่อน	1.เครื่องยนต์สันดาปภายใน : เครื่องยนต์แก๊ส เครื่องยนต์ดีเซล 2.ก๊าซเทอร์ไบน์ 3.กังหันไอน้ำ : กังหัน extraction/back pressure 4.เซลล์เชื้อเพลิง
แหล่งกำเนิดความร้อน	1.เครื่องยนต์สันดาปภายใน : ก๊าซไอเสีย น้ำระบายความร้อนเครื่องยนต์ 2.กังหันไอน้ำ : bleed steam และไอเสีย 3.เซลล์เชื้อเพลิง
การนำความร้อนไปใช้	ไอน้ำสำหรับกระบวนการผลิต น้ำร้อน แหล่งความร้อนสำหรับเครื่องทำน้ำร้อนน้ำเย็นแบบดูดซึม ลมร้อนสำหรับอบแห้ง
การนำกำลังขับเคลื่อนไปใช้	ขับเคลื่อนกำเนิดไฟฟ้า ขับเครื่องอัดอากาศ พัดลม บีม

ตารางที่ 3.4 ระบบโคเจนเนอเรชัน

3.3.3 คุณสมบัติของเครื่องยนต์

คุณสมบัติของเครื่องยนต์ชนิดต่างๆ แสดงไว้ในตาราง 3.5

เครื่องยนต์ดีเซลมีข้อดีที่มีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูง ค่าติดตั้งต่ำ และสามารถใช้เชื้อเพลิงราคาถูกได้ แต่เนื่องจากมีฝุ่นละอองในไอเสียมากและมีอัตราส่วนอากาศสูง จึงไม่สามารถใช้ 3-way catalytic converter ในการกำจัด NO_x ได้ รวมทั้งยังมีปัญหาเรื่องประสิทธิภาพการนำความร้อนจาก ไอเสียกลับมาใช้จะมีค่าต่ำอีกด้วย

เครื่องยนต์แก๊สจะมีไอเสียที่มีอุณหภูมิสูง และใช้เชื้อเพลิงที่สะอาด ไอเสียจึงสะอาดไปด้วย สามารถใช้เป็นแหล่งความร้อนของเครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืนได้โดยตรง นอกจากนี้ ยังสามารถกำจัด NO_x และไฮโดรคาร์บอนในไอเสียได้ค่อนข้างง่าย

ก๊าซเทอร์โบไม่จำเป็นต้องใช้น้ำระบายความร้อนจำนวนมาก มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน และสามารถทำให้มีขนาดใหญ่ได้ ระยะหลังนี้ยังมีการพัฒนา และผลิตก๊าซเทอร์โบขนาดเล็กขึ้นอีกด้วย ยิ่งเพิ่มอุณหภูมิเข้าเทอร์โบมากเท่าใด ประสิทธิภาพความร้อนก็จะมีค่าสูงขึ้นเท่านั้น จึงมีการวิจัย และพัฒนากังหันเพื่อเพิ่มการทนความร้อนให้สูงขึ้น เช่น เทอร์โบเซรามิก เป็นต้น นอกจากนี้ ไอเสียของก๊าซเทอร์โบยังมีอุณหภูมิสูง สามารถใช้ waste-heat boiler ผลิตไอน้ำความดันสูงซึ่งสะดวกในการขนส่งความร้อนได้ ดังนั้นจึงเหมาะกับโรงงานที่มีความต้องการความร้อนอุณหภูมิสูง และสถานที่ที่ใช้งานมีลักษณะกระจายกัน กรณีที่มีอุปสงค์ความร้อนต่ำ เช่น ในน้ำร้อน และต้องการเพิ่มปริมาณการผลิตไฟฟ้า ก็สามารถปรับอัตราส่วนระหว่างการผลิตความร้อน-ไฟฟ้าได้ด้วยการนำไอน้ำที่เกิดขึ้นกลับไปป้อนให้ทางเข้าก๊าซเทอร์โบ (cheng cycle) ในทางกลับกัน กรณีที่กำเนิดไอน้ำไม่พอใช้ จะใช้เชื้อเพลิงเผาไหม้ช่วยในหม้อไอน้ำ waste-heat boiler เพื่อปรับปริมาณไอน้ำ เชลเชื้อเพลิงมีการทดสอบสาธิตกันอยู่บ้าง แต่ยังมีปัญหาเรื่องการลดต้นทุน

ตารางที่ 3.5 คุณสมบัติของเครื่องยนต์ที่ใช้ในระบบโคเจเนอเรชัน

		เครื่องยนต์ดีเซล	เครื่องยนต์แก๊ส	ก๊าซเทอร์โบ
ขอบเขตการใช้งาน	[kW]	10-10,000	20-5,000	50-230,000
ประสิทธิภาพการกำเนิดไฟฟ้า	[%]	30-45	28-38	20-35
ประสิทธิภาพรวม	[%]	40-70	60-80	60-85
เชื้อเพลิง		น้ำมันเบา น้ำมันหนัก	ก๊าซธรรมชาติ ก๊าซ LPG	น้ำมันก๊าด น้ำมันเบา ก๊าซ
อุณหภูมิไอเสีย	[°C]	350-450	400-600	500-600
อุณหภูมิระบายความร้อน	[°C]	70-75	80-90	
อัตราส่วนอากาศ		2.5-3.0	1.0-2.0	3.0-3.5

3.3.4 ข้อควรระวังในการเลือกใช้ระบบโคเจเนอเรชัน

ความคุ้มค่าของระบบโคเจเนอเรชันขึ้นอยู่กับว่าสามารถเพิ่ม utilization factor ของระบบได้อย่างไร และจะสามารถใช้ความร้อนทั้งหมดได้อย่างไร ดังนั้น ก่อนการนำมาใช้จึงต้องวางแผนระบบโดยตรวจสอบรูปแบบของอุปสงค์ความร้อน และไฟฟ้าของแต่ละฤดูกาล และช่วงเวลาให้ถี่ถ้วน ในตัวอย่างที่ 1 ทั้งๆ ที่ประสิทธิภาพพลังงานสูงสุดมีค่าถึง 75 [%] แต่ประสิทธิภาพเฉลี่ยทั้งปีมีค่าเพียง 52-54 [%] และในตัวอย่าง ที่ 2 เทียบกับฤดูร้อน และฤดูหนาวแล้ว ในช่วงระหว่างฤดูทั้งสองประสิทธิภาพรวมจะลดลง 10 [%]

การปรับการเดินเครื่องเพื่อให้รับการเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์ไฟฟ้าเป็นเรื่องที่ยุ่งยาก ดังนั้นโดยทั่วไปจะเชื่อมต่อกับระบบการไฟฟ้าเพื่อรับการเปลี่ยนแปลงนี้ เนื่องจากถ้าไฟดับแล้วมีกำลังไฟฟ้าส่งย้อนกลับเข้าไปในระบบไฟฟ้าสาธารณะจะเกิดอันตรายขึ้นได้ ในการเชื่อมต่อจะต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันตามแนวทางข้อกำหนดทางวิศวกรรมเกี่ยวกับการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าที่ประกาศโดยกระทรวงเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (สำหรับประเทศไทยก็มีข้อกำหนดดังกล่าวเช่นกัน) ถ้าอุปสงค์มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย และสามารถยอมให้หยุดเครื่องได้ชั่วคราวเป็นระยะเวลาสั้นๆ เช่น ระบบปรับอากาศ ฯลฯ บางครั้งอาจจะจัดทำระบบที่เป็นอิสระจากไฟฟ้าสาธารณะเฉพาะอุปสงค์นั้นก็ได้

เพื่อรองรับการเสียที่ไม่คาดคิดหรือการซ่อมบำรุงตามวาระ จะต้องพิจารณาการแบ่งแยกระบบไฟฟ้าและระบบไฟฟ้าสำรองด้วย

เครื่องยนต์สันดาปภายในจะต้องสัมผัสกับอุณหภูมิสูงและสิ่งแปลกปลอมในเชื้อเพลิง เมื่อเดินเครื่องเป็นระยะเวลานานจะเกิดการสึกหรอ และการปนเปื้อนขึ้น ดังนั้น จึงต้องมีการตรวจซ่อมบำรุงอย่างเป็นระบบเพื่อให้สามารถเดินเครื่องได้อย่างมีประสิทธิภาพ และรักษาประสิทธิภาพเอาไว้ได้

3.3.5 สถิติการนำระบบโคเจนเนอเรชันมาใช้

ระบบโคเจนเนอเรชันมีการนำมาใช้อย่างรวดเร็วตั้งแต่คริสต์ทศวรรษ 1980 สถิติการนำระบบโคเจนเนอเรชันแบบใช้เครื่องยนต์สันดาปภายในมาใช้จนถึงสิ้นเดือนมีนาคม 2545 แสดงไว้ในตาราง 3.6

ตารางที่ 3.6 สถิติการนำระบบโคเจนเนอเรชันมาใช้

(มีนาคม 2545)

		ภาคบริการ	ภาคอุตสาหกรรม	รวม
จำนวนรวม	จำนวนโครงการ	2,381	1,470	3,851
	จำนวนเครื่อง			6,409
	กำลังไฟฟ้า [MW]	1,260	4,789	6,409
ก๊าซเทอร์ไบน์ (GT)	จำนวนโครงการ	135	402	537
	กำลังไฟฟ้า [MW]	282	2,748	3,030
เครื่องยนต์แก๊ส (GE)	จำนวนโครงการ	1,214	315	1,529
	กำลังไฟฟ้า [MW]	406	231	367
ดีเซล (DE)	จำนวนโครงการ	1,035	732	1,767
	กำลังไฟฟ้า [MW]	572	1,810	2,382

ในภาคบริการจะใช้เครื่องยนต์ดีเซล และเครื่องยนต์แก๊สกันมากในขณะที่ภาคอุตสาหกรรมจะใช้ก๊าซเทอร์ไบน์ในสัดส่วนสูง จำนวนโครงการในภาคบริการแยกตามวัตถุประสงค์การใช้งานได้ดังนี้ โรงแรม 17 [%] สำนักงาน 10 [%] สถานกีฬา 9 [%] โรงพยาบาล 15 [%] เป็นต้น ถ้าไม่นับสำนักงานแล้ว ที่เหลือจะมีสิ่งที่เหมือนกับคือ ส่วนมากจะเป็นอุปสงค์ความร้อนในการจ่ายน้ำร้อน และปรับอากาศร้อน-เย็น และมีชั่วโมงการทำงานนาน

3.4 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึง การอนุรักษ์พลังงานในระบบหม้อไอน้ำ และไอน้ำ การอนุรักษ์พลังงานในระบบเตาเผาอุตสาหกรรม ระบบผลิตไฟฟ้า และความร้อนร่วม(Cogeneration)

มาตรการอนุรักษ์พลังงานของหม้อไอน้ำ ได้แก่ การเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ การนำความร้อนทิ้งจากหม้อไอน้ำมาใช้ประโยชน์ และการอนุรักษ์พลังงานของอุปกรณ์ช่วยในการเดินเครื่องหม้อไอน้ำ เช่น ปั๊ม พัดลม ฯลฯ การเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ ควรทำการตรวจวัดสมดุลความร้อนต่างๆ นำมาวิเคราะห์ ความร้อนสูญเสียต่างๆ พิจารณาว่าจะลดความสูญเสียได้อย่างไร และตัดสินใจจากภาพรวมแล้วจึงนำไปปฏิบัติ ในการอนุรักษ์พลังงานของอุปกรณ์ช่วย สิ่งที่สำคัญคือ การตรวจสอบสภาพการเดินเครื่องของหม้อไอน้ำแล้ว ดำเนินมาตรการให้เหมาะสมกับสภาพการเดินเครื่องนั้น กรณีที่จะอนุรักษ์พลังงานด้วยการดัดแปลงเครื่องจักร จะต้องพิจารณาล่วงหน้าอย่างถี่ถ้วนว่านอกจากในการทำงานตามปกติแล้ว ในการเริ่มเดินเครื่อง และในขณะที่ ภาระมีการเปลี่ยนแปลง จะเป็นอุปสรรคต่อการเดินเครื่องหรือไม่

ในการพิจารณาการอนุรักษ์พลังงานของเตา จะต้องทำความเข้าใจกับความร้อนสูญเสียที่เกิดขึ้นในการเดินเครื่องเตาเพื่อนำไปวิเคราะห์ โดยทั่วไปจะการคำนวณหาพลังงานที่ป้อนให้เตาและที่ไปของพลังงาน เหล่านั้นว่าใช้ไปอย่างไร ซึ่งเรียกว่า การคำนวณสมดุลความร้อน ผลการคำนวณจะรู้ว่าเดินเครื่องเตาได้เหมาะสมหรือไม่ ใช้เชื้อเพลิงโดยสูญเปล่าหรือไม่ และยังสามารถเตรียมมาตรการลดความร้อนสูญเสียให้เหลือน้อยที่สุดได้อีกด้วย ระยะเวลาการตรวจวัดเตาเพื่อคำนวณสมดุลความร้อนจะขึ้นอยู่กับประเภทของเตา แต่ในการเดินเครื่องต่อเนื่อง จะใช้ค่าเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 3 ชั่วโมง ในการเดินเครื่องไม่ต่อเนื่อง จะใช้ค่าเฉลี่ยต่อการเดินเครื่อง 1 ครั้ง หรือแบ่งเป็นหลายๆ ชิ้นแล้วตัดเอาเฉพาะกระบวนการที่สำคัญที่สุด ปริมาณที่ใช้แสดงสมรรถนะของเตา ได้แก่ ประสิทธิภาพความร้อน และความร้อนสิ้นเปลืองพลังงาน (หรือปริมาณความร้อน) ต่อหน่วย

ในระบบโคเจนเนอเรชันนั้น สามารถแยกได้เป็น 2 ระบบย่อย คือ ระบบให้ความร้อนและระบบผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งจะได้จากเครื่องยนต์เป็นหลักเช่น เครื่องยนต์ gas turbine หรือ เครื่องยนต์สันดาปภายใน เป็นต้น ต้นกำลังจากเครื่องยนต์ดังกล่าวจะนำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าส่วนความร้อนที่ปล่อยทิ้งจากก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์เหล่านี้จะนำไปผลิตไอน้ำซึ่งสามารถนำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าหรือนำไอน้ำไปใช้โดยตรง

ในส่วนของการพิจารณาเลือกใช้ระบบ cogeneration นั้น จะพิจารณาจากความสามารถในการเพิ่ม utilization factor ของระบบ และความสามารถในการนำความร้อนของระบบไปใช้งานได้มากน้อยอย่างไร

3.5 กิจกรรม (Activity)

3.5.1 กรณีศึกษา

ต่อไปนี้จะยกตัวอย่างระบบโคเจเนอเรชั่น โดยตัวอย่างที่ 1 จะใช้ไมโครก๊าซเทอร์ไบน์ ตัวอย่าง ที่ 2 จะใช้เครื่องยนต์ดีเซล ตัวอย่างที่ 3 จะใช้เครื่องยนต์แก๊ส นอกจากนี้ยังมี ตัวอย่างที่ 4 ซึ่งแสดงการลดกำลังไฟฟ้าในการทำความเย็นด้วยการใช้ประโยชน์ความร้อนทิ้งระดับต่ำจากเครื่องยนต์ดีเซล

ตัวอย่างที่ 1 การปรับปรุงประสิทธิภาพรวมด้วยการนำระบบโคเจเนอเรชั่นแบบไมโครก๊าซเทอร์ไบน์ (MGT) มาใช้

ผลิตภัณฑ์ : หลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอด HID ฯลฯ

จำนวนพนักงาน : 355 คน

ปริมาณพลังงานที่ใช้ต่อปี : ก๊าซ LPG (เทียบเท่าน้ำมันดิบ) 2,376 [kL/ปี]
ไฟฟ้า 21,474 [MWh/ปี]

1. เค้าโครง

การดำเนินการตามแผนลดความสิ้นเปลืองพลังงานต่อหน่วยซึ่งเป็นดัชนีชี้วัดการจัดการ “การลดการใช้พลังงาน” ตามมาตรฐาน ISO14001 โดยติดตั้งโรงไฟฟ้าทดลองระบบโคเจเนอเรชั่นใช้ไมโครก๊าซเทอร์ไบน์ พร้อมทั้งตรวจสอบสมรรถนะและประเมินความคุ้มค่า เพื่อพิจารณาการนำระบบโคเจเนอเรชั่นมาใช้ในการดำเนิน “กิจกรรมอนุรักษ์พลังงาน” ในอนาคต

2. เนื้อหา

2.1 การวิเคราะห์สภาพปัจจุบันและกำหนดเป้าหมาย

พลังงานไฟฟ้ามีสัดส่วนถึง 80% ของความสิ้นเปลืองพลังงานตลอดปี รายละเอียดการใช้งานแบ่งเป็น สาธารณูปโภค 56.5% กำลังขับเคลื่อนในการผลิต 34.5% อื่นๆ 9% รายละเอียดการใช้ก๊าซ LPG แบ่งเป็น สาธารณูปโภค 5% กำลังขับเคลื่อนในการผลิต 94% อื่นๆ 0.5% เป้าหมายคือการลดค่าไฟฟ้าซึ่งมีสัดส่วนประมาณ 80% ของต้นทุนพลังงานทั้งหมดน่าจะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพที่สุด ในจำนวนไลน์ผลิตในโรงงาน เป้าหมายคือต้องการลดความสิ้นเปลืองพลังงานแสงสว่างของไลน์การผลิตหลัก ได้แก่ ไลน์ผลิตหลอดฟลูออเรสเซนต์ จึงได้พิจารณา “ระบบผลิตไฟฟ้าเอง” แบบใหม่ โดยต้องการนำระบบโคเจเนอเรชั่นมาใช้

ตารางที่ 3.7 ข้อกำหนดจำเพาะของระบบโคเจเนอเรชั่น

หัวข้อ	ไมโครก๊าซเทอร์ไบน์	
กำลังไฟฟารวม [kW]	28	
กำลังกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง [kW]	28	
จำนวนเครื่อง [เครื่อง]	1	
แหล่งกำลังขับเคลื่อน	ก๊าซเทอร์ไบน์	
เชื้อเพลิง	ก๊าซ LPG	
การเชื่อมต่อบนไฟฟ้า	ไม่เชื่อมต่อ	
ภาระ	ไฟฟ้า	แสงสว่างโรงงาน
	ความร้อนทิ้ง	ปรับอากาศร้อน น้ำร้อนสำหรับทำครัว

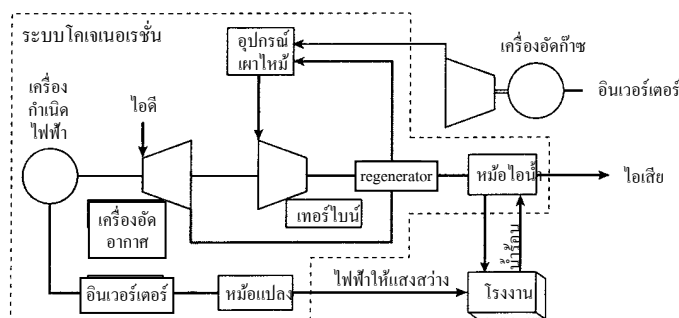
2.2 การพิจารณานำมาใช้

ระบบโคเจเนอเรชันในปัจจุบัน (เครื่องยนต์แก๊ส) มีกำลังขาออกสูงสุด 900 [kW] ซึ่งได้พิจารณากำลังขาออกที่มีความคุ้มค่าที่สุดแล้ว แต่เนื่องจากโรงงานมีความต้องการใช้ความร้อนไม่มาก หากนำระบบโคเจเนอเรชันชนิดนี้มาใช้จะต้องใช้ระยะเวลาคู่มือทุนนาน และมีประสิทธิภาพของการลงทุนต่ำ จึงได้ข้อสรุปว่าเป็นการยากที่จะนำมาใช้

ต่อมาจึงพิจารณาว่าสามารถใช้ระบบโคเจเนอเรชันขนาดเล็กมากให้สอดคล้องกับความต้องการใช้ความร้อนได้หรือไม่ เนื่องจากระบบโคเจเนอเรชัน MGT ยังอยู่ในขั้นตอนทดสอบการเดินเครื่องเท่านั้น จึงร่วมมือกับผู้ผลิตก๊าซ LPG เพื่อให้ใช้โรงงานแห่งนี้เป็นสนามทดสอบ ค่าโครงของ MGT ที่นำมาใช้ในครั้งนี้แสดงไว้ในตาราง 3.7

2.3 ผังการไหลของระบบ

ผังการไหลของระบบที่นำมาใช้ในครั้งนี้แสดงไว้ในรูป 3.11 โดยใช้ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิง แล้วนำกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไปใช้เป็นแสงสว่างของไลน์ผลิตหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบหลอดตรงส่วนความร้อนที่จะนำกลับมาในรูปน้ำร้อน



รูปที่ 3.11 ผังของระบบ

3. ประสิทธิภาพ

ความสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าต่อหน่วย ก่อนปรับปรุง 68.1 [เยน / MJ]

หลังปรับปรุง 30.9 [เยน / MJ] ($\Delta 55\%$)

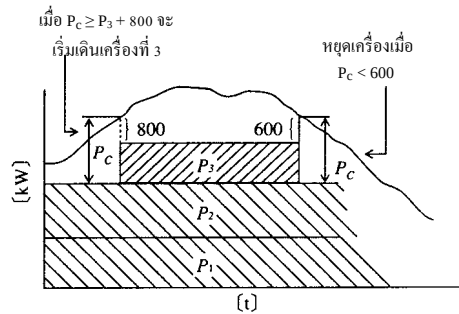
ประสิทธิภาพต่อการลงทุน การลงทุน (การติดตั้งเดินท่อ การติดตั้งระบบไฟฟ้า ฯลฯ) 6,300 [พันเยน/ปี]

ทั้งนี้ ตัว MGT และค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับอุปกรณ์เสริมรับผิดชอบโดยผู้ผลิตก๊าซ LPG

ประสิทธิภาพ	ค่าไฟฟ้าพื้นฐาน	Δ 319
	ค่าปริมาณไฟฟ้า	$\Delta 2,113$
	เชื้อเพลิงหม้อไอน้ำ	$\Delta 1,415$
	ค่าก๊าซ LPG ต่อหน่วย	$\Delta 3,510$
	เชื้อเพลิงโคเจเนอเรชัน	3,289
	ค่าบำรุงรักษา	500
รวม	3,568 [พันเยน / ปี] (ระยะเวลาคืนทุน 1.77 ปี)	

ตัวอย่างที่ 2 การอนุรักษ์พลังงานด้วยนาระบบโคเจเนอเรชันแบบที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลมาใช้
 ผลิภัณฑ์ : เครื่องยนต์ดีเซล อุปกรณ์ไฮดรอลิก พูนยนต์อุตสาหกรรม
 จำนวนพนักงาน : 1,200 คน
 ปริมาณพลังงานที่ใช้ต่อปี : น้ำมันก๊าด 6,846 [kL/y]
 ไฟฟ้า 89,952 [GWh/y]

1.เค้าโครง



รูปที่ 3.12 วิธีควบคุมจำนวนเครื่อง

นาระบบโคเจเนอเรชันขนาด 3,580 [kW] มาใช้ โดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลที่บริษัทผลิตเองจำนวน 4 เครื่อง เพื่อสร้างระบบที่มีประสิทธิภาพสูงถึง 80 [%] ด้วยการกำเนิดไฟฟ้า การนำความร้อนทิ้งในไอเสียกลับมาใช้ในรูปแบบไอน้ำ และการนำความร้อนในน้ำระบายความร้อนกลับมาใช้ในรูปแบบน้ำร้อน เริ่มเดินเครื่องในปี พ.ศ. 2535

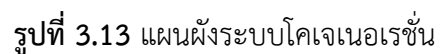
2. เนื้อหา

2.1 การเลือกระบบเชื่อมต่อ

เลือกระบบที่มีภาระโดยรวมมาก มีภาระแต่ละตัวน้อย มีปัญหาน้อยในการเริ่มเดินเครื่องและหยุดเครื่องเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และเป็นระบบที่มีความต้องการการปรับอากาศร้อน ระบบนี้ในฤดูร้อนและฤดูหนาวจะสามารถเดินเครื่องเต็มทั้ง 4 ตัว ส่วนฤดูระหว่างนั้นจะมีเครื่องยนต์เหลือ 1 ตัวซึ่งสามารถใช้เป็นช่วงตรวจซ่อมได้

2.2 การควบคุมกำลังขาออก

โครงการควบคุมจำนวนเครื่องยนต์ที่จะเดินเครื่อง โดยตรวจสอบปริมาณไฟฟ้าที่ต้องซื้อ หากเดินเครื่องยนต์ 1 เครื่องแล้วปริมาณไฟฟ้าที่ซื้อไม่เกิน 800 [kW] จะเริ่มเดินเครื่อง หากปริมาณไฟฟ้าที่ซื้อจะเหลือต่ำกว่า 600 [kW] แล้วจะหยุดเครื่องยนต์ 1 เครื่อง



2.4 ข้อกำหนดจำเพาะของอุปกรณ์โคเจนอเรชั่น

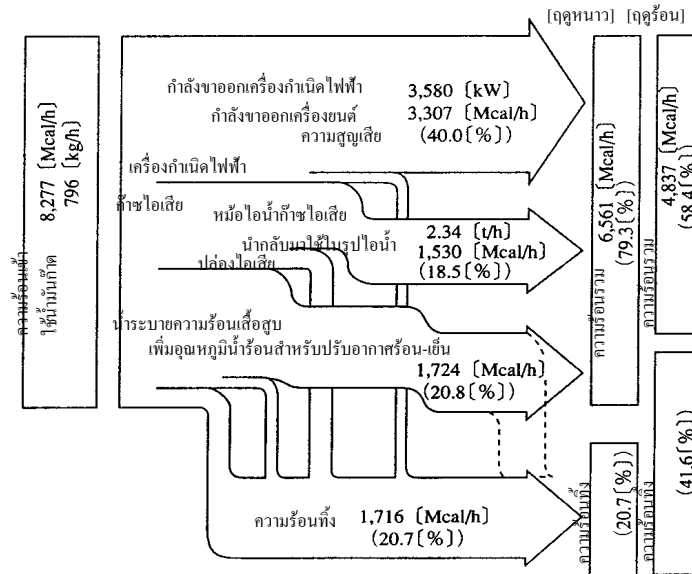
ตารางที่ 3.8 ข้อกำหนดจำเพาะของอุปกรณ์โคเจนอเรชั่น

2.5 อื่นๆ

3-24

3. ประสิทธิภาพ

ประสิทธิภาพรวม ฤดูหนาว 79.3 [%] นอกจากฤดูหนาว 58.4 [%]



รูปที่ 3.14 แผนผังประสิทธิภาพรวม

ผลต่างค่ากำเนิดไฟฟ้าต่อหน่วย (ปริมาณการกำเนิดไฟฟ้า)	10,600 [MWh/y]	$\Delta 12.84$ [ล้านเยน/ปี]
ลดกำลังไฟฟ้าตามสัญญา	2,800 [kW]	$\Delta 44.30$ [ล้านเยน/ปี]
สัญญาปรับการใช้ไฟฟ้าฉุกเฉิน	3,500 [kW]	$\Delta 7.80$ [ล้านเยน/ปี]
นำความร้อนกลับมาใช้		
ไอน้ำ	760 [kL/y]	
น้ำร้อน	320 [kL/y]	
รวม ไอน้ำและน้ำร้อน		$\Delta 32.24$ [ล้านเยน/ปี]
รวม		$\Delta 94.40$ [ล้านเยน/ปี]

ตัวอย่างที่ 3 การออกแบบและนำระบบโคเจเนอเรชั่นขนาดเล็กแบบติดตั้งกระจายมาใช้

ผลิตภัณฑ์ : ชิ้นส่วนรถยนต์

พนักงาน : 3,260 คน

ปริมาณพลังงานที่ใช้ต่อปี : น้ำมันหนัก 6,604 [kL/y]
 ก๊าซ LPG 722 [t/y]
 ก๊าซ LNG 16,550 [km³/y]
 ไฟฟ้า 141,339 [MWh/y]

1. เค้าโครง

ในการก่อสร้างอาคารศูนย์วิจัยแห่งใหม่ เนื่องจากสถานที่อยู่ห่างจากบริเวณสาธารณูปโภคเดิม และรูปแบบการใช้งานอาคารมีลักษณะพิเศษ ดังนั้นจึงได้นำระบบโคเจเนอเรชั่นใช้เครื่องยนต์แก๊สมาใช้ในปี 1994 เพื่อให้สามารถพึ่งตัวเองได้ด้านพลังงาน

2. เนื้อหา

2.1 ข้อกำหนดจำเพาะของอุปกรณ์โคเจนเนอเรชั่น

เลือกใช้เครื่องยนต์แก๊สเนื่องจากมีประสิทธิภาพการกำเนิดไฟฟ้าสูง และใช้แก๊ส LNG ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงสะอาด

ตารางที่ 3.9 ข้อกำหนดจำเพาะของอุปกรณ์โคเจนเนอเรชั่น

เครื่องยนต์แก๊ส	รูปแบบ	เครื่องยนต์ V16
	กำลังขาออก	900 [PS*0.9863=HP]
	เชื้อเพลิง	แก๊ส LNG
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	รูปแบบ	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสกระแสสลับ
	กำลังขาออก	600 [kW], 750 [kVA], 6,600 [V]
หม้อไอน้ำ	รูปแบบ	หม้อไอน้ำแบบหมุนเวียนน้ำตามธรรมชาติ
	ความดันขาออก	0.8 [MPa] (ความดันเกจ) (8 [kg/cm ²])
	ปริมาณไอน้ำ	517 [kg/h]
อุปกรณ์บำบัด NO _x	รูปแบบ	3-way catalyst แบบ square cell monolith
	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา	54 [L]
	ความเข้มข้นขาออก	< 100 [ppm]
เครื่องทำความเย็น	รูปแบบ	เครื่องทำความเย็นแบบดูดซึมน้ำร้อน
	ความสามารถ	95 [USRT]
อุปกรณ์นำความร้อนจากน้ำ	รูปแบบ	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเพลต
ระบายความร้อนกลับมาใช้	ปริมาณความร้อนที่แลกเปลี่ยน	1,928 [MJ/h]

ตัวอย่างที่ 4 การลดพลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นด้วยการใช้ประโยชน์ความร้อนทิ้งระดับต่ำจากเครื่องยนต์ดีเซล และการลดเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำ

ผลิตภัณฑ์ : โซดาไฟ

จำนวนพนักงาน : 299 คน

ปริมาณการใช้พลังงานต่อปี : น้ำมันหนัก 74,683 [kL/y] ไฟฟ้า 459,912 [MWh/y]

1. เค้าโครง

นำความร้อนทิ้งในน้ำระบายความร้อนเครื่องยนต์ของระบบโคเจนเนอเรชั่นเครื่องยนต์ดีเซลกลับมาใช้ประโยชน์ในการให้ความร้อนน้ำป้อนหม้อไอน้ำ นอกจากนั้นยังใช้ประโยชน์จากไอน้ำที่มีเหลือจากกระบวนการทำข้างต้นในการขับเคลื่อนเครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืน จึงสามารถลดพลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำความเย็นเทอร์โบได้

2. มาตรการ

2.1 ตรวจสอบสมดุลความร้อน

เปลี่ยนระบบโคเจนเนอเรชั่นเครื่องยนต์ดีเซลไปเป็น base load ซึ่งมีประสิทธิภาพความร้อนรวม 56.9 [%] อย่างไรก็ตาม แม้น้ำระบายความร้อนเครื่องยนต์จะมีอุณหภูมิเข้า 71 [°C] ใช้ออก 80 [°C] อัตราไหล 168 [t/h] ซึ่งจัดว่ามีปริมาณความร้อนมาก แต่ความร้อนก็ถูกทิ้งไปกับน้ำระบายความร้อนทุติยภูมิรูป 3.16 แสดงกระบวนการและเครื่องจักร

2.2 พิจารณาวินิจฉัยความร้อนกลับมาใช้

พิจารณาเปรียบเทียบวิธีใช้ความร้อนที่นำกลับมา ได้แก่ ใช้อุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ ก๊าซทิ้ง ใช้ความร้อนซึ่งนำไปใช้กับเครื่องทำความเย็นดูดกลืนแบบใช้ให้ความร้อนน้ำชุดเขยเข้าหม้อไอน้ำ ใช้ให้ความร้อนน้ำควบแน่นของกังหันไอน้ำ ฯลฯ โดยเปรียบเทียบมูลค่าการลงทุน ประสิทธิภาพการนำความร้อนทิ้งกลับมา ความคุ้มค่า ปัญหา ฯลฯ

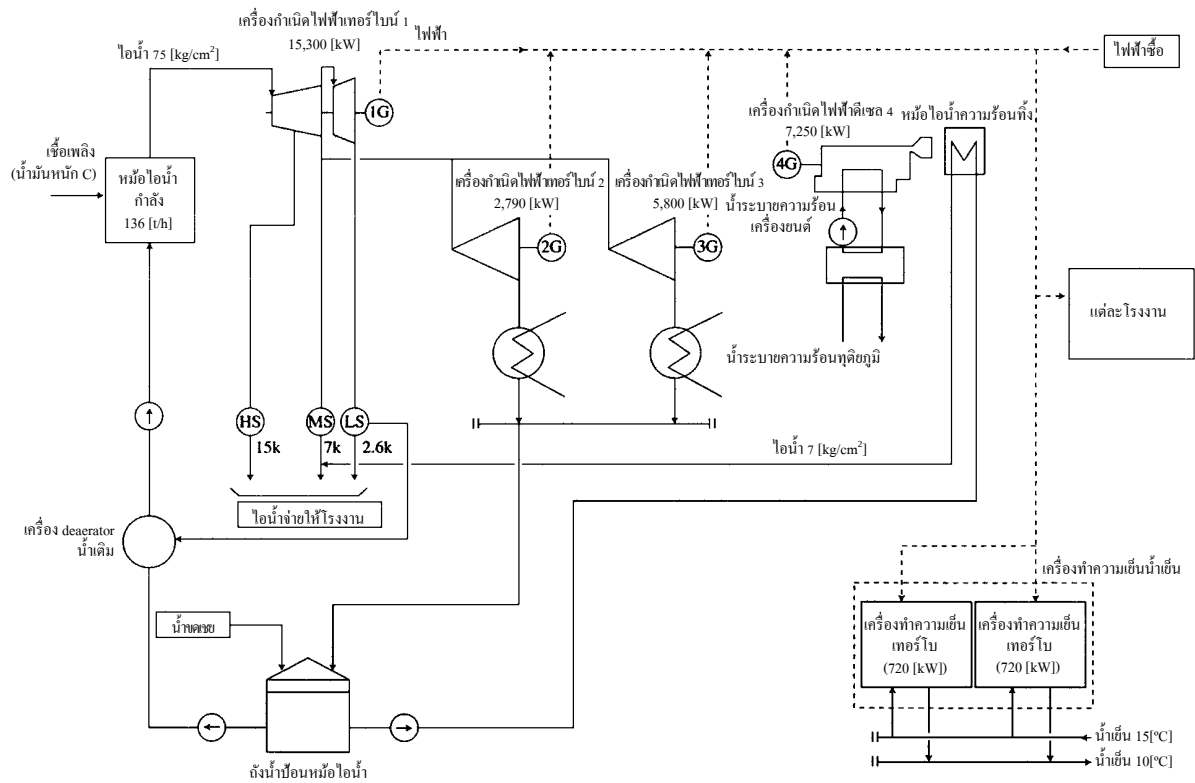
เนื่องจากปริมาณการใช้ไอน้ำลดลง แต่ปริมาณการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ดังนั้น จึงต้องการหลีกเลี่ยงการที่นำความร้อนทิ้งกลับมาแล้วทำให้มีไอน้ำเกินความต้องการมากขึ้น หรือทำให้ลดปริมาณการกำเนิดไฟฟ้าใช้เองลง

เมื่อพิจารณาข้างต้นโดยภาพรวมแล้ว ความร้อนที่นำกลับมาจึงนำไปใช้ในการให้ความร้อนน้ำควบแน่นของกังหันไอน้ำ ไอน้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้นจะนำไปใช้กับเครื่องทำความเย็นดูดกลืน ซึ่งสามารถรักษาปริมาณการผลิตไฟฟ้าของระบบกำเนิดไฟฟ้าด้วยหม้อไอน้ำ / กังหัน และสามารถหยุดเครื่องทำความเย็นเทอร์โบได้ นั่นคือ สามารถลดความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าได้ ผังการไหลของการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้แสดงไว้ในรูป 3.17

3. ประสิทธิภาพ

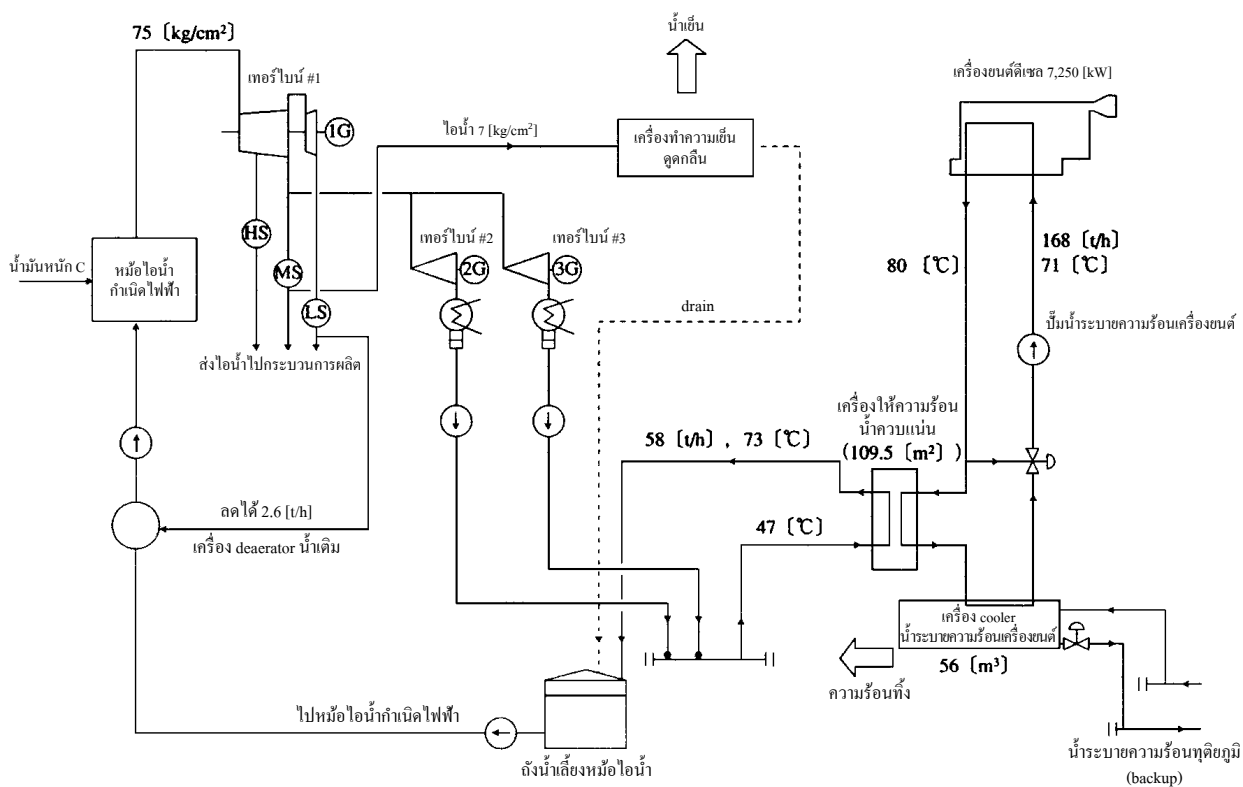
น้ำระบายความร้อนทุติยภูมิ	$\Delta 629,160$ [t/y]	$\Delta 881$ [พันเยน/ปี]
ไฟฟ้าเครื่องทำความเย็นเทอร์โบ	$\Delta 3,755$ [MWh/y]	$\Delta 38,025$ [พันเยน/ปี]
ไฟฟ้าเครื่องทำความเย็นดูดกลืน	64.8 [MWh/y]	656 [พันเยน/ปี]
ลดเชื้อเพลิงหม้อไอน้ำ	$\Delta 236,651$ [L/y]	$\Delta 4,260$ [พันเยน/ปี]
กำเนิดไฟฟ้าด้วยเทอร์โบ	$\Delta 361,472$ [kWh/y]	$\Delta 3,660$ [พันเยน/ปี]

รวมผลการประหยัด	$\Delta 38,850$ [พันเยน/ปี]
ค่าซ่อมบำรุงเครื่องทำความเย็น	$\Delta 2,860$ [พันเยน/ปี]
รวม	$\Delta 41,710$ [พันเยน/ปี]
มูลค่าเงินลงทุน	65,000 [พันเยน/ปี]
ระยะเวลาคืนทุน	1.6 [ปี]



รูปที่ 3.16 กระบวนการและเครื่องจักร

ตอนที่ 4 บทที่ 3 การอนุรักษ์พลังงานในระบบความร้อน



รูปที่ 3.17 ผังการไหลของการนำความร้อนที่กลับมาใช้