บทที่ 3
โรงไฟฟ้าชีวมวล

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงโรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่มีกำลังการผลิตต่ำกว่า 10 เมกกะวัตต์ ที่ใช้เชื้อเพลิงชีวมวลเป็นหลัก ในโครงการผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กมาก โดยแบ่งเป็นโรงไฟฟ้าประเภทที่ใช้ไอน้ำและก๊าซในการผลิตไฟฟ้า รายละเอียดในส่วนต่างๆ มีดังต่อไปนี้

3.1 โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน

โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน หมายถึงโรงไฟฟ้าประเภทที่ใช้พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้า โดยทั่วไปเชื้อเพลิงที่ใช้ในโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนแบ่งออกได้หลายประเภท เช่น ถ่านหิน น้ำมันเตา น้ำมันดีเซล ก๊าซธรรมชาติ เชื้อเพลิงชีวภาพ รวมทั้งนิวเคลียร์ เป็นต้น

ในประเทศไทยโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนมีกำลังการผลิตติดตั้งมากกว่า 90% ของกำลังการผลิตรวมทั้งประเทศ และสำหรับเทคโนโลยีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายในโครงการผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กมาก ที่มีในประเทศไทยส่วนใหญ่จะใช้เทคโนโลยีโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนแบบกังหันไอน้ำและกังหันก๊าซ ยกเว้นโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้เซลแสงอาทิตย์ (Photovoltaic) โรงไฟฟ้ากังหันลมและโรงไฟฟ้าพลังน้ำเท่านั้นที่เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าไม่เกี่ยวข้องกับพลังงานความร้อน

โรงไฟฟ้าพลังความร้อนเป็นโรงไฟฟ้าที่มีกำลังการผลิตไฟฟ้าสูง โดยทั่วไปสามารถแบ่งได้หลายประเภทตามวัฏจักรอุณหพลศาสตร์ดังนี้

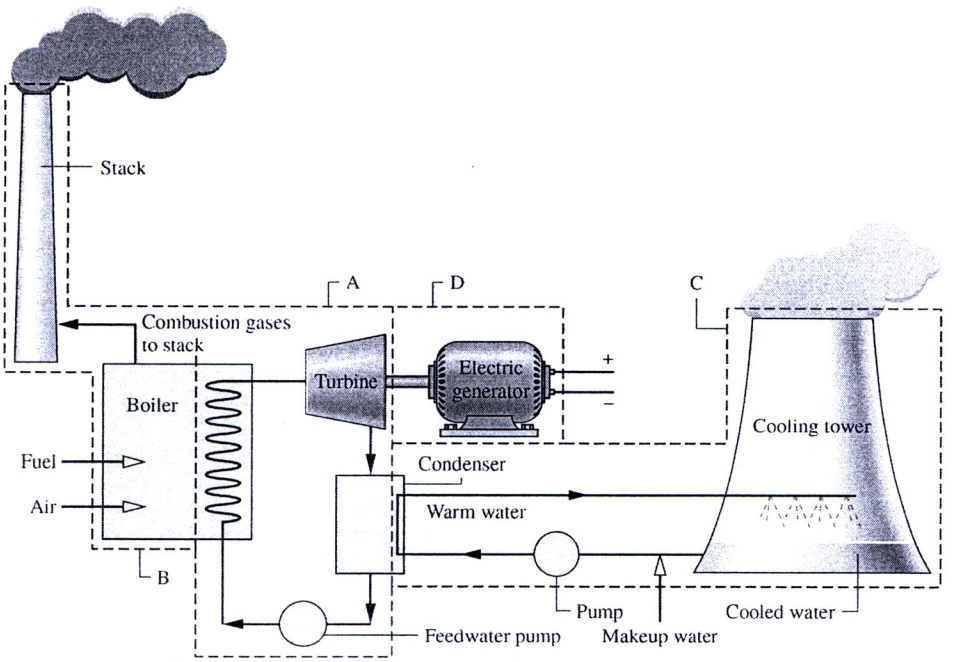
- โรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ (Steam Turbine Power Plant) เป็นโรงไฟฟ้าที่ใช้ความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อต้มน้ำให้เดือดกลายเป็นไอที่ความดันสูง แล้วนำไปขับกังหันไอน้ำซึ่งมีแกนเพลาต่อร่วมเป็นแกนเดียวกับโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า วัฏจักรพื้นฐานของน้ำกับไอน้ำในโรงไฟฟ้าแบบนี้จะเป็นวัฏจักรแรงคิน (Rankin Cycle)
- โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ (Gas Turbine Power Plant) เป็นโรงไฟฟ้าที่ผลิตไฟฟ้าจากระบบเครื่องกังหันก๊าซในวัฏจักรแบบเบรย์ตัน (Brayton Cycle) โดยกระบวนการเริ่มจากการอัดอากาศให้มีความดันสูงประมาณ 8 – 10 เท่า ของบรรยากาศ แล้วส่งเข้าห้องเผาไหม้เพื่อผสมกับก๊าซธรรมชาติที่เป็นเชื้อเพลิงในอัตราส่วนที่เหมาะสม แล้วจึงทำให้ก๊าซมีความดันและอุณหภูมิสูงโดยการจุดระเบิด ก่อนส่งไปทำให้เกิดการขยายตัวและสร้างแรงกลเพื่อขับเครื่องกังหันก๊าซที่มีเพลาต่อร่วมกับแกนโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (Combine Cycle Power Plant) คือโรงไฟฟ้าที่ประกอบด้วยโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ และโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำที่ทำงานร่วมกันทั้งสองระบบ โดยนำความร้อนที่

ด้านขาออกจากเครื่องกังหันก๊าซซึ่งยังคงมีอุณหภูมิสูงประมาณ 550 ^{o}C มาใช้ต้มน้ำโดยกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อใช้ไอน้ำในการผลิตไฟฟ้าในวัฏจักรกังหันไอน้ำแบบแรงดันเพิ่มเติมจากกังหันก๊าซ

- โรงไฟฟ้าดีเซล (Diesel Power Plant) คือโรงไฟฟ้าพลังความร้อนอีกประเภทหนึ่ง ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงสันดาปภายในโดยผสมกับอากาศอัด แล้วมีการจุดระเบิดอย่างต่อเนื่องเพื่อนำพลังงานกลที่ได้ไปทำการหมุนโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- โรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ (Nuclear Power Plant)โรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ เป็นโรงไฟฟ้าที่ผลิตพลังงานความร้อนจากปฏิกริยานิวเคลียร์แบบฟิสชันที่เตาปฏิกรณ์ และมีการส่งผ่านความร้อนนี้ไปยังสารระบายความร้อน (Coolant) เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการต้มน้ำให้กลายเป็นไอน้ำ สำหรับใช้ผลิตไฟฟ้าในกระบวนการแบบเดียวกับโรงไฟฟ้าพลังไอน้ำ

3.2 โรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ

องค์ประกอบของโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำแบบง่ายสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1

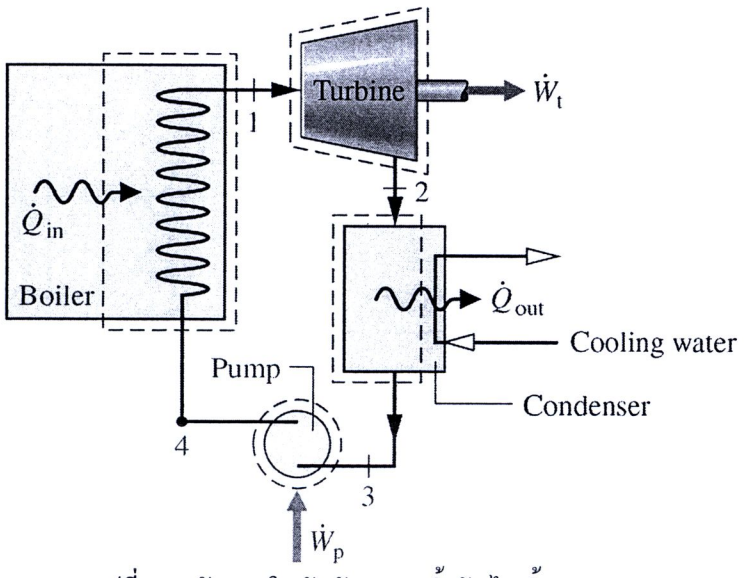


รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบพื้นฐานของโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ

จากรูปที่ 3.1 ที่หม้อต้ม (Boiler) จะเกิดการเผาไหม้โดยใช้เชื้อเพลิง (Fuel) ผสมกับอากาศในปริมาณที่พอเหมาะ ก๊าซร้อนที่เกิดขึ้นจะใช้ในการต้มน้ำให้เดือดกลายเป็นไอน้ำก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศทางปล่องไฟ (Stack) เมื่อไอน้ำผ่านเข้ากังหันไอน้ำ (Steam Turbine) จะเกิดการขยายตัวพลังงานความร้อนที่สะสมในไอน้ำจะเปลี่ยนเป็นพลังงานกลเพื่อใช้ขับกังหันซึ่งมีแกนเพลาต่อร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) โดยกำลังไฟฟ้าที่ผลิตขึ้น ณ เวลาหนึ่งจะมีการควบคุมให้ได้ค่าตามที่

กำหนด การเพิ่มหรือลดกำลังไฟฟ้าทำได้โดยการควบคุมอัตราการไหลของไอน้ำที่ด้านทางเข้ากังหันไอน้ำ และเมื่อไอน้ำมีการขยายตัวเพื่อขับกังหันแล้วความดันและอุณหภูมิของไอน้ำด้านทางออกของกังหันจะลดลง เมื่อไอน้ำนี้ไหลเข้าหอกลั่น (Condensor) ไอน้ำจะถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำเย็น (Cooled Water) ทำให้ไอน้ำเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำปริมาตรจะมีการลดลงอย่างรวดเร็วทำให้เกิดสภาพเกือบเป็นสุญญากาศขึ้นที่หอกลั่น เมื่อน้ำเย็นได้รับความร้อนจากไอน้ำจะกลายเป็นน้ำอุ่น (Warm Water) ที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นจึงต้องนำไปยังหอผึ่ง (Cooling Tower) เพื่อให้น้ำอุ่นนี้เย็นลงด้วยการระบายความร้อนออกสู่บรรยากาศก่อนนำกลับไปยังหอกลั่นอีกครั้ง สำหรับไอน้ำเมื่อมีการกลั่นตัวเป็นน้ำจะถูกนำกลับไปที่หม้อต้มอีกครั้งโดยใช้ปั๊ม (Feedwater Pump) วัฏจักรของน้ำและไอน้ำจะมีการดำเนินต่อเนื่องเช่นนี้ตลอดไป

กระบวนการแลกเปลี่ยนพลังงานที่เกิดขึ้นในวัฏจักรของน้ำและไอน้ำดังในรูปที่ 3.1 อาจเขียนแสดงได้ในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 กระบวนการแลกเปลี่ยนพลังงานในวัฏจักรของน้ำกับไอน้ำ

จากรูปที่ 3.2 พลังงานที่มีการแลกเปลี่ยนในวัฏจักรประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน ดังต่อไปนี้

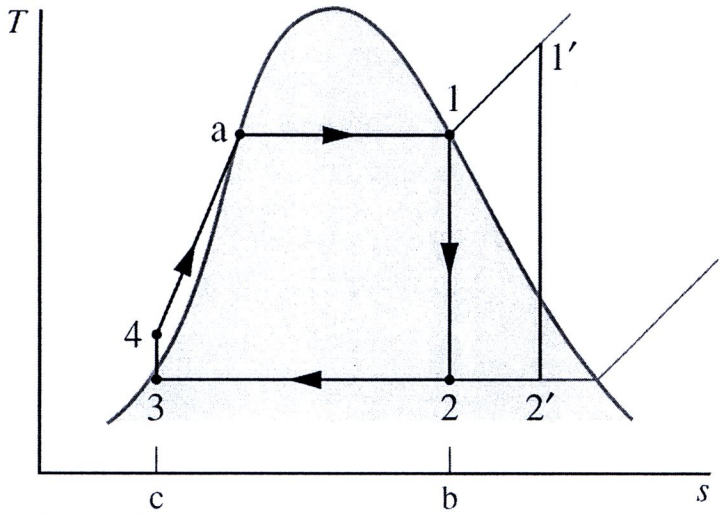
- พลังงานความร้อน $\dot{Q}_{in}$ ที่ใช้ในการต้มน้ำให้เดือด โดยพลังงานความร้อนในส่วนนี้เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่เตาเผาซึ่งอยู่ในหม้อต้ม
- พลังงานกล $\dot{W}_t$ ที่กังหันไอน้ำใช้ขับโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยพลังงานส่วนนี้ได้มาจากการขยายตัวของไอน้ำขณะเคลื่อนผ่านกังหัน
- พลังงานความร้อน $\dot{Q}_{out}$ ที่ไอน้ำถ่ายเทให้แก่น้ำเย็นเพื่อควบแน่นที่หอกลั่น
- พลังงานไฟฟ้า $\dot{W}_p$ ที่จ่ายให้แก่ปั๊มน้ำเพื่อใช้เพิ่มความดันแก่น้ำก่อนเข้าหม้อต้ม

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ในในวัฏจักรของน้ำกับไอน้ำดังกล่าวมีพลังงานไฟฟ้าที่เป็นผลลัพธ์รวมคือ $\dot{W}_t - \dot{W}_P$ โดยมีพลังงานที่ต้องจ่ายให้แก่ระบบและพลังงานสูญเสีย คือ $\dot{Q}_{in}$ และ $\dot{Q}_{out}$ ตามลำดับ ดังนั้นจะได้ประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นในวัฏจักรคำนวณได้จากสมการที่ (3.1)

$$\eta = \frac{\dot{W}_t - \dot{W}_P}{\dot{Q}_{in}} \text{ หรือ } \eta = \frac{\dot{Q}_{in} - \dot{Q}_{out}}{\dot{Q}_{in}} \qquad (3.1)$$

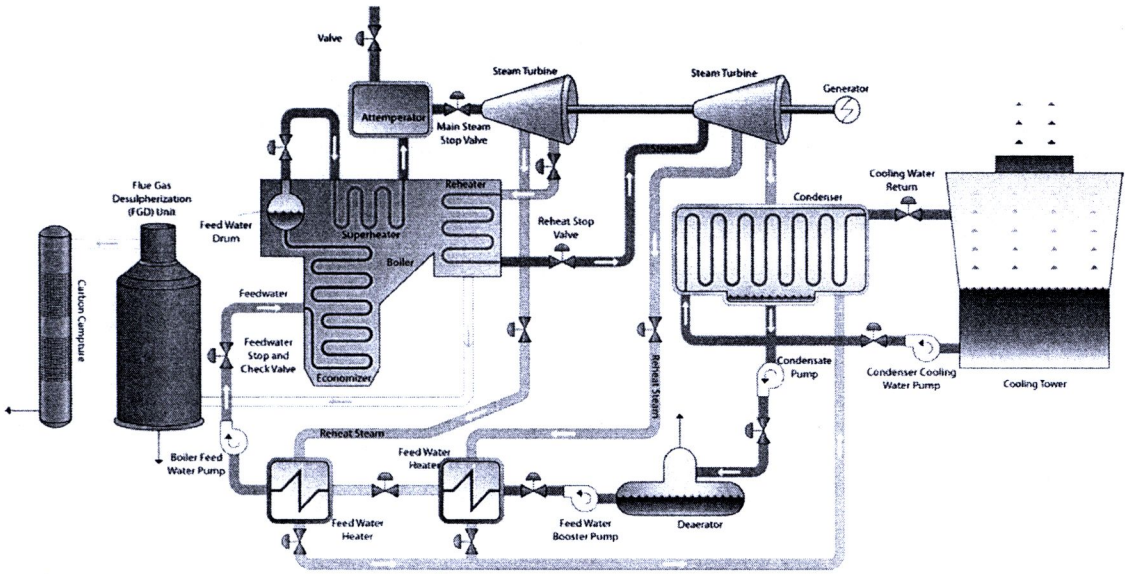
วัฏจักรแรงคินอุดมคติของรูปที่ 3.2 สามารถแสดงสถานะของระบบที่ส่วนต่างๆ ในแผนภาพเอนโทรปีและอุณหภูมิได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 สถานะของน้ำกับไอน้ำในแผนภาพ T – s ของวัฏจักรแรงคินอุดมคติ

จากรูปที่ 3.3 ไอน้ำร้อนยิ่งยวด (Superheat Steam) ณ สภาวะ 1' เมื่อเข้ากังหันจะมีการขยายตัวเพื่อแปลงพลังงานที่สะสมในไอน้ำเป็นพลังงานกลในการหมุนกังหัน ถ้ากระบวนการดังกล่าวไม่มีการสูญเสียความร้อนที่ตัวกังหัน (Adiabatic Expansion) ไอน้ำที่ด้านทางออกของกังหัน ณ สภาวะ 2' จะมีค่าเอนโทรปีของไอน้ำค่าคง เมื่อไอน้ำกลั่นตัวเป็นน้ำที่หอกลั่นพลังงานความร้อนสะสมจะลดลงเป็นน้ำเดือดที่สภาวะ 3 และเมื่อมีการเพิ่มความดันด้วยปั๊มก่อนจ่ายเข้าหม้อต้ม น้ำเดือดจะมีพลังงานและอุณหภูมิสูงขึ้นเล็กน้อย ณ สภาวะ 4 แต่จะกลายเป็นน้ำที่ยังไม่ถึงจุดเดือดเนื่องจากมีความดันสูงขึ้น กระบวนการดังกล่าวจะมีเอนโทรปีคงที่ เนื่องจากงานจากปั๊มจะนำไปใช้เพิ่มพลังงานสะสมในน้ำโดยที่ไม่มีพลังงานความร้อนสูญเสียเกิดขึ้นที่ตัวปั๊ม เมื่อน้ำ ณ สภาวะ 4 ได้รับความร้อนที่ตัวหม้อต้มจะเดือดกลายเป็นไอตามเส้นทางจาก สภาวะ $4 \rightarrow a \rightarrow 1 \rightarrow 1'$ เป็นอันครบรอบวัฏจักร

ในรายละเอียดระบบโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำจะประกอบด้วยระบบต่างๆ เพื่อช่วยให้การทำงานในวัฏจักรแรงคินเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ระบบของโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ

ระบบต่างๆ ในโรงไฟฟ้าจากรูปที่ 3.4 ประกอบด้วย

1) หม้อต้ม (Boiler)
2) ปั๊มสูบน้ำเข้าหม้อต้ม (Boiler Feed Water Pump)
3) ท่ออุ่นน้ำ (Economizer)
4) ดรัมหม้อต้ม (Boiler Drum)
5) ท่อไอน้ำร้อนยิ่งยวด (Superheater)
6) เครื่องควบคุมอุณหภูมิไอน้ำ (Attemperator)
7) เครื่องดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Capture Element)
8) ปล่องควัน (Chimney Stack)
9) กังหันไอน้ำความดันสูง (High Pressure Turbine)
10) ท่ออุ่นไอน้ำป้อนกลับ (Reheater)
11) กังหันไอน้ำความดันต่ำ (Low Pressure Turbine)
12) เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Electric Generator)
13) หอกลั่น (Condenser)
14) หอผึ่ง (Cooling Tower)
15) ปั๊มน้ำเย็น (Cooling Water Pump)
16) วาล์วควบคุม (Control Valve)
17) ปั๊มสูบน้ำควบแน่น (Condensate Pump)

18) ถังดูดอากาศ (Deaerator)

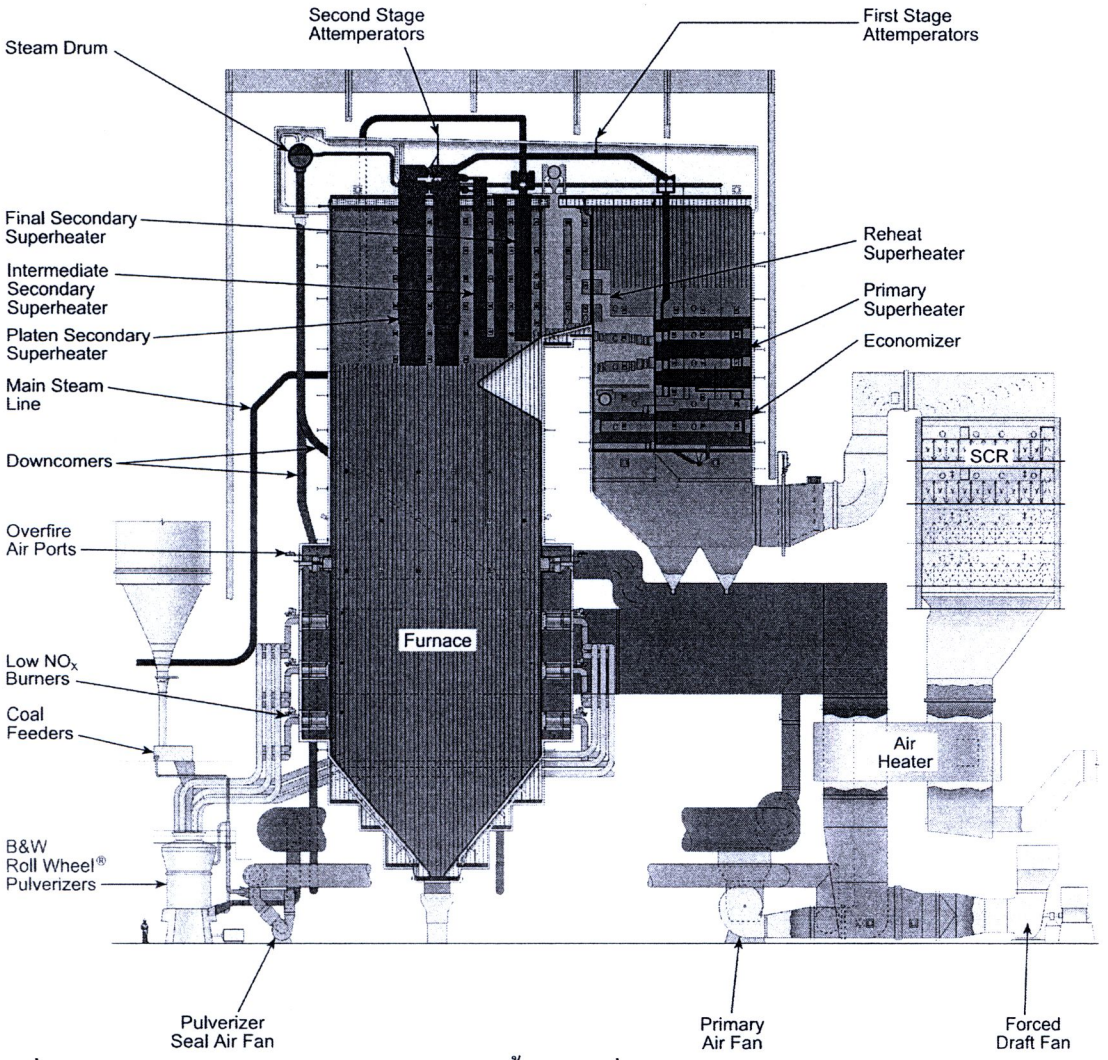
19) ปั๊มเพิ่มความดันน้ำ (Feed Water Booster Pump)

20) เครื่องอุ่นน้ำก่อนเข้าหม้อต้ม (Feed Water Heater)

3.3 ส่วนประกอบของโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ

โรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำขนาดเล็กที่ใช้เชื้อเพลิงชีวมวล เช่น แกลบ หรือ ชานอ้อย จะมีลักษณะการป้อนเชื้อเพลิงแบบโปรยลงไปในเตา ซึ่งจะแตกต่างกับโรงฟ้าขนาดใหญ่ที่ใช้เชื้อเพลิงถ่านหินซึ่งต้องมีการบดและฉีดเป็นฝุ่นถ่านหินเข้าไปในเตา ซึ่งอาจจะผสมกับน้ำมันเตาเพื่อช่วยให้เผาไหม้ได้สะดวกยิ่งขึ้น โดยทั่วไประบบโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำประกอบด้วยส่วนต่างๆ ที่สำคัญดังรายละเอียดต่อไปนี้

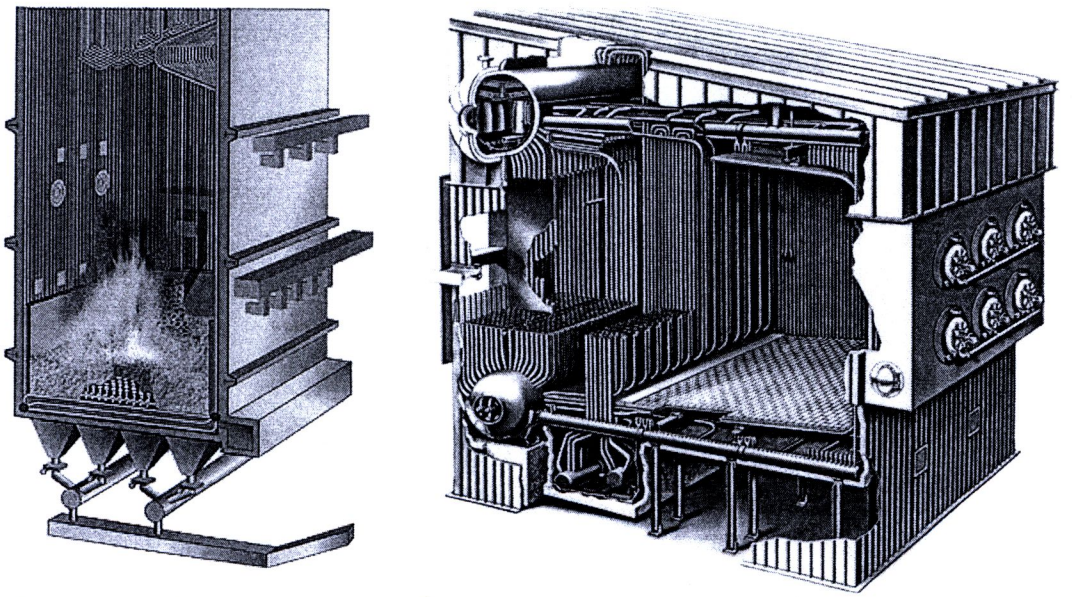
3.3.1 หม้อต้มและเส้นทางการไหลก๊าซร้อน (Boiler and Flue Gas Flow Path)



รูปที่ 3.5 ระบบหม้อต้มของโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำแบบหนึ่ง ของบริษัท B&W PGG

หมายถึงส่วนที่เกิดการเผาไหม้เพื่อเกิดความร้อนสำหรับใช้ในการผลิตไอน้ำ รวมถึงเส้นทางการไหลของก๊าซร้อนก่อนที่จะปล่อยออกสู่บรรยากาสทางปล่องควัน การออกแบบระบบหม้อต้ม รวมทั้งอุปกรณ์ ต่างๆ ในส่วนนี้ ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญหลายอย่าง เช่น ชนิดของเชื้อเพลิง ระบบเผาไหม้ ความดันของไอน้ำ และระบบกังหันไอน้ำ เป็นต้น เพื่อความสะดวกจะขอยกตัวอย่างการออกแบบหม้อต้มของบริษัท B&W PGG (Babcock % Wilcox Power Generation Group) ที่ทำงาน ณ แรงดัน 1800 – 2400 Psia ดังรูปที่ 3.5 เพื่อประกอบการอธิบาย ส่วนประกอบทั่วไปภายในหม้อต้ม ดังนี้

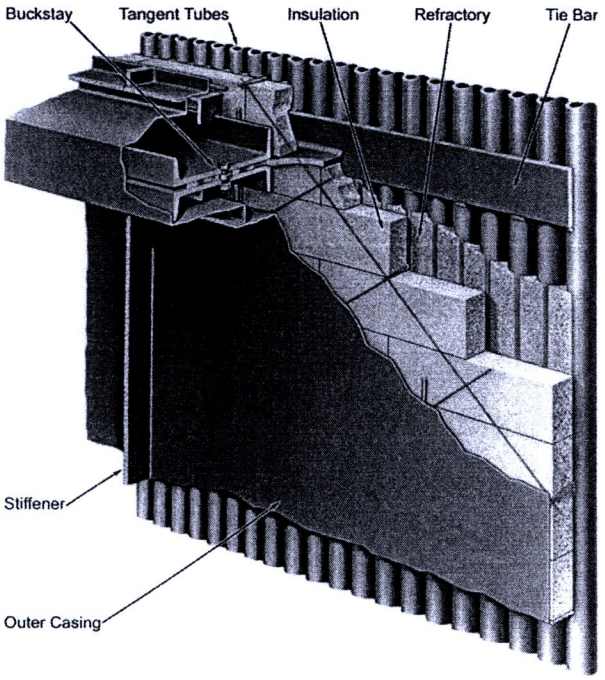
○ **เตาเผาเชื้อเพลิง (Furnace)** มีลักษณะเป็นห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงสี่เหลี่ยมที่มีด้านทั้งสี่เป็นผนังท่อน้ำ (Water Wall) สร้างขึ้นจากการนำท่อน้ำ (Water Tube) แต่ละท่อมาเชื่อมติดกันเป็นแพ (Membrane Construction) ดังรูปที่ 3.6



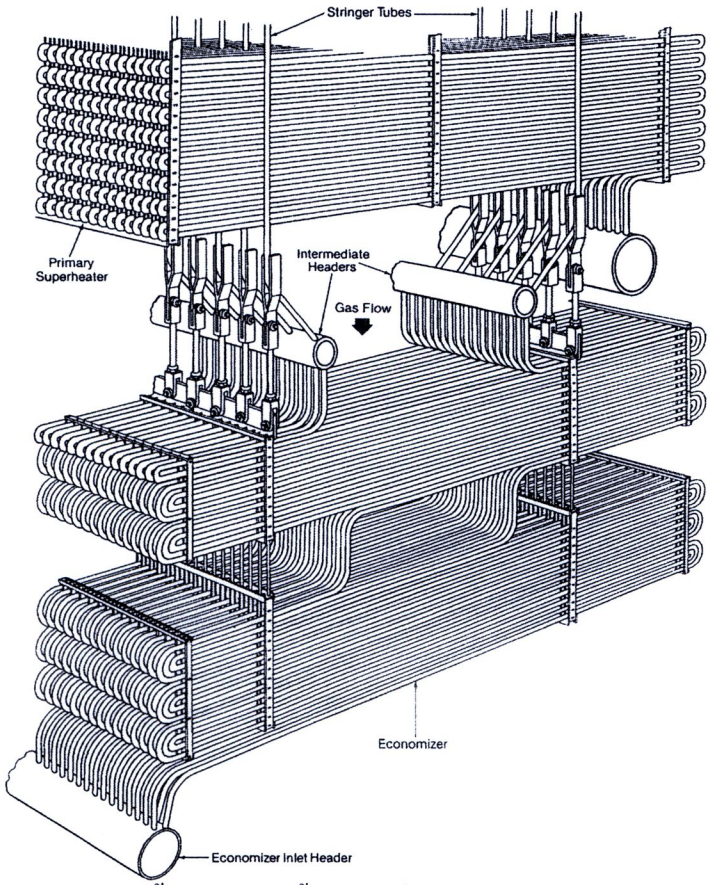
รูปที่ 3.6 ลักษณะทั่วไปของเตาเผาไหม้เชื้อเพลิงของหม้อต้ม

ความร้อนในเตาเผาไหม้ที่ถ่ายเทให้ผนังท่อน้ำที่ใช้เพื่อการต้มน้ำให้เดือดกลายเป็นไอน้ำ ส่วนใหญ่เกิดจากการแผ่รังสีความร้อน เพื่อลดพลังงานความร้อนที่สูญเสียจากการแผ่รังสีความร้อนภายในเตาออกสู่บรรยากาศภายนอก ผนังท่อน้ำด้านนอกจะหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน ดังรูปที่ 3.7

○ **ท่อน้ำและท่อไอน้ำชนิดต่างๆ** หมายถึง ท่อไอน้ำร้อนยิ่งยวด (Superheater) ท่อไอน้ำเวียนกลับ (Reheater) และท่ออุ่นน้ำก่อนต้ม (Economizer) โดยท่อเหล่านี้จะมีหน้าที่ในการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ไปสู่น้ำและไอน้ำ โดยใช้การแผ่รังสี (Radiation) การนำความร้อน (Conduction) และการพาความร้อน (Convection) ในการออกแบบโดยทั่วไปจะจัดเรียงท่อไอน้ำร้อนยิ่งยวดไว้ชั้นในสุด ถัดมาเป็นท่อไอน้ำเวียนกลับ และและท่ออุ่นน้ำก่อนต้มจะวางไว้หลังสุดก่อนที่ก๊าซร้อนจะปล่อยออกสู่บรรยากาศ แสดงได้ดังรูปที่ 3.8



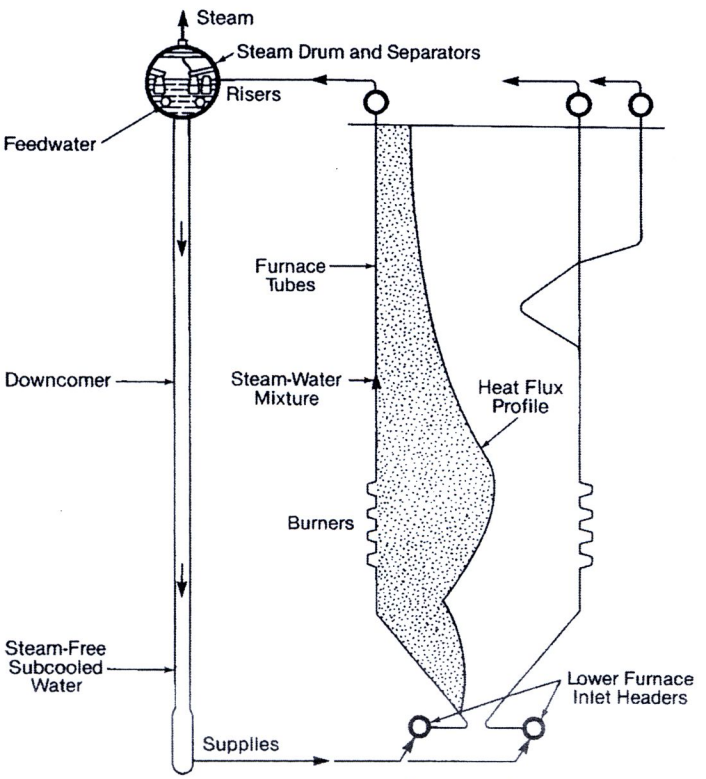
รูปที่ 3.7 ลักษณะทั่วไปของผนังเตา



รูปที่ 3.8 ลักษณะการจัดเรียงท่อน้ำและท่อไอน้ำแบบหนึ่ง

ท่อไอน้ำร้อนยิ่งยวดอาจมีหลายชุด เช่น ท่อไอน้ำร้อนยิ่งยวดแบบปฐมภูมิ (Primary Superheater) และท่อไอน้ำร้อนยิ่งยวดแบบทุติยภูมิ (Secondary Superheater) เป็นต้น โดยท่อไอนำร้อนยิ่งยวดชุดแรกจะได้รับความร้อนทั้งด้วยการนำ การพา และการแผ่รังสีความร้อน แต่ชุดที่อยู่ในแถวถัดไปจะรับความร้อนด้วยวิธีการนำและการพาความร้อน เป็นหลัก การนำความร้อนเกิดจากความร้อนเคลื่อนผ่านเนื้อโลหะของท่อที่แถวในกับแถวนอกมีอุณหภมิต่างกัน ในขณะที่การพาความร้อนจะอาศัยการเคลื่อนที่ของก๊าซร้อนจากเตาเผาออกสู่บรรยากาศภายนอกทางปล่องควันเป็นตัวกลาง

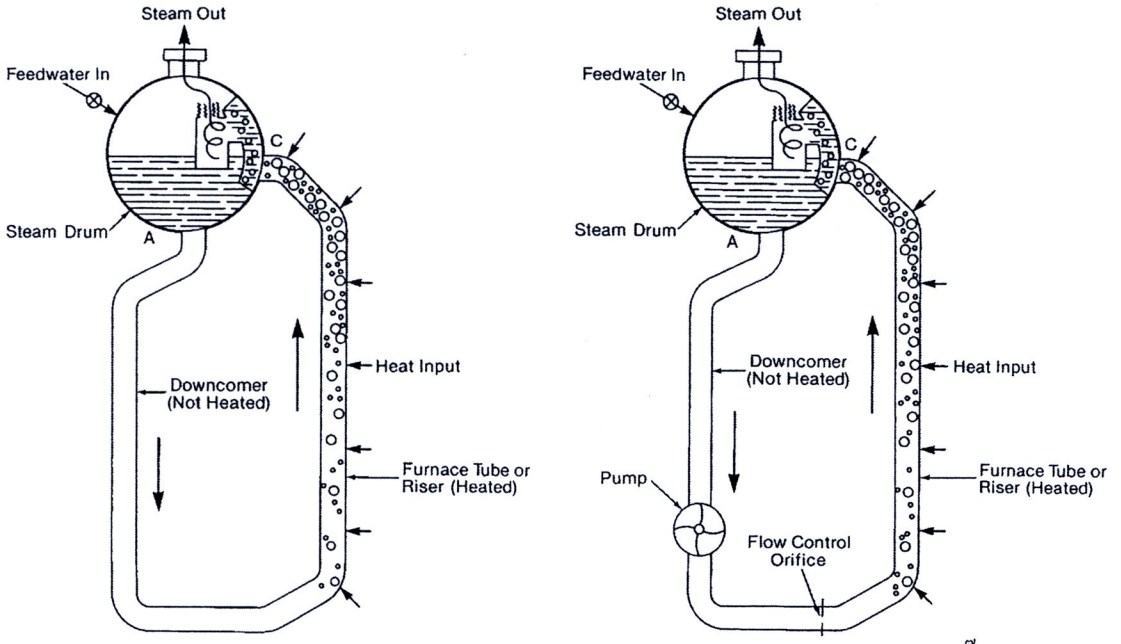
การไหลเวียนของส่วนผสมระหว่างไอน้ำกับน้ำ (Steam-Water Mixture Circulation) มีลักษณะเป็นวัฏจักรย่อย โดยน้ำร้อนที่ผ่านการอุ่นจากเครื่องอุ่นน้ำก่อนต้ม (Economizer) จะถูกปั๊มดูดเข้ามาที่ดรัมตอนบน (Top Drum) ส่วนที่เป็นน้ำจะไหลลงสู่ท่อน้ำด้านนอกของผนังเตา (Downcomer) แล้วเวียนกลับมารับความร้อนเพื่อให้เดือดกลายเป็นไอที่ท่อน้ำผนังเตาด้านใน ส่วนผสมของน้ำกับไอน้ำจะไหลขึ้นสู่ดรัมตอนบนและไอน้ำบางส่วนจะถูกแยกออกไป โดยการไหลเวียนดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การไหลเวียนในวัฏจักรที่เป็นส่วนผสมระหว่างน้ำกับไอน้ำ

จากรูปที่ 3.9 การไหลเวียนนี้โดยปกติสามารถเกิดขึ้นได้โดยธรรมชาติ (Natural Circulation) โดยอาศัยความหนาแน่นที่แตกต่างกันระหว่างส่วนผสมของน้ำเดือดและไอน้ำ เมื่อความดันมีค่าสูงขึ้นความหนาแน่นของน้ำและไอน้ำจะแตกต่างกันน้อยลง การไหลเวียนโดยธรรมชาติจะเกิดขึ้นได้ยากจึงต้องมี

การใช้ปั๊มเพื่อช่วยให้เกิดการไหลเวียน (Forced Circulation) โดยทั่วไปที่ความดันสูงกว่า 2,500 Psia จะมีการออกแบบให้มีการติดตั้งปั๊มที่ท่อน้ำด้านนอกของผนังเตาเพื่อช่วยให้เกิดการไหลเวียนได้ง่ายขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.10



(a) การไหลเวียนโดยธรรมชาติ (b) การไหลเวียนโดยใช้ปั๊ม

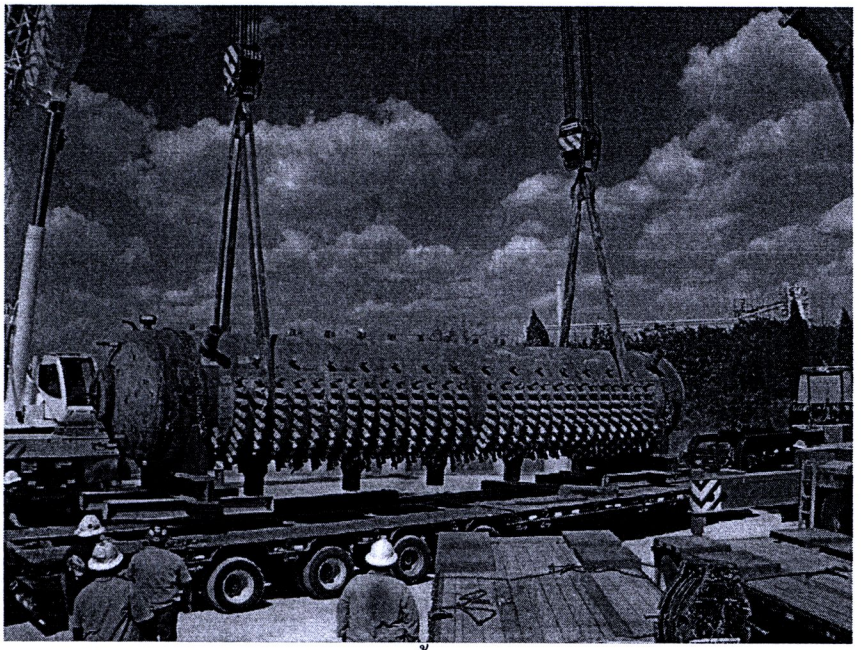
รูปที่ 3.10 (a) การไหลเวียนในวัฏจักรที่เป็นส่วนผสมระหว่างน้ำกับไอน้ำโดยธรรมชาติ

(b) การไหลเวียนในวัฏจักรที่เป็นส่วนผสมระหว่างน้ำกับไอน้ำโดยใช้ปั๊ม

ที่ค่าความดันวิกฤติ (Critical Pressure) 3,208.2 Psia ความหนาแน่นของน้ำกับไอน้ำมีค่าเท่ากัน การไหลเวียนโดยธรรมชาติจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้ หม้อต้มที่ทำงานที่ความดันสูงกว่าความดันวิกฤติน้ำจะสามารถเดือดกลายเป็นไอได้โดยไม่มีส่วนผสมระหว่างน้ำกับไอน้ำในวัฏจักร จึงไม่จำเป็นต้องมีดรัม เราเรียกหม้อต้มแบบนี้ว่า Oncethrough Boiler หรือ Supercritical Boiler

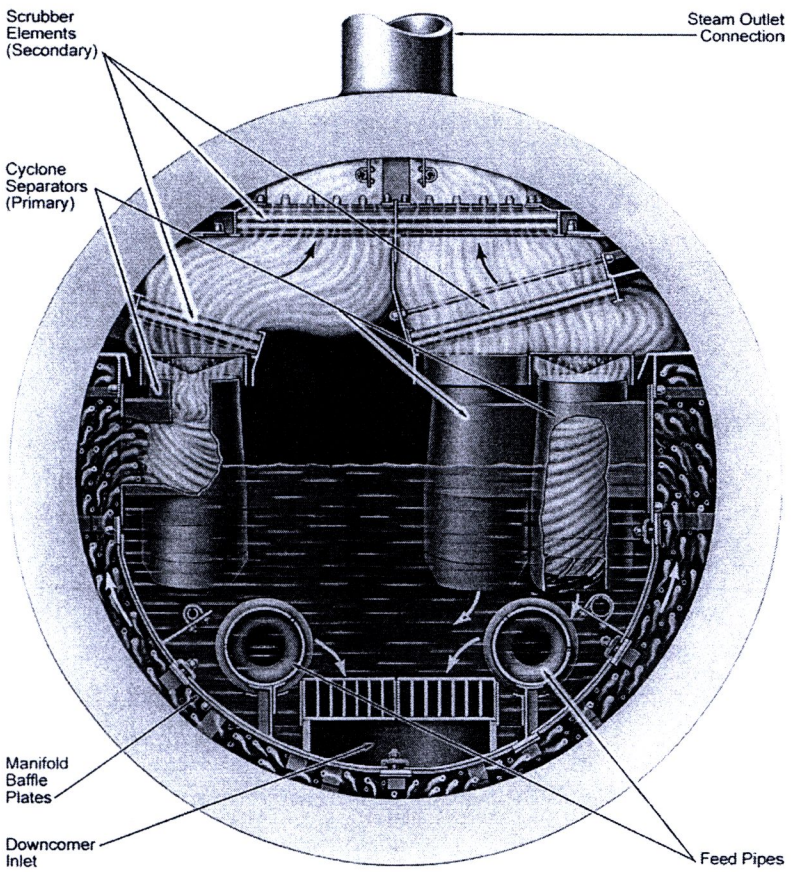
ระหว่างการเริ่มผลิตไอน้ำจะต้องมีการควบคุมให้เกิดการไหลเวียนตลอดเวลา เพื่อรักษาระดับอุณหภูมิของท่อน้ำให้อยู่ภายใต้ขีดจำกัดอุณหภูมิสูงสุดที่ทนได้

○ **ดรัม (Steam Drum)** ดรัมเป็นถังพักน้ำที่ผ่านการอุ่นจากท่ออุ่นน้ำก่อนที่จะทำการต้มให้เดือดกลายเป็นไอน้ำ มีลักษณะคล้ายกระสวยวางตัวอยู่ตอนบนของเตาเผา ดังรูปที่ 3.11 มีหน้าที่หลักในการแยกไอน้ำ (Steam Seperation) ออกจากส่วนผสมของไอน้ำกับน้ำเดือด เติมน้ำยาเคมีเพื่อปรับปรุงคุณภาพของน้ำ (Chemical Water Treatment) คัดแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากไอน้ำ (Steam Purification) และควบคุมปริมาณน้ำโดยการปล่อยน้ำออกจากระบบ (Blow Down)



รูปที่ 3.11 ลักษณะดรัมของหม้อต้มขณะทำการติดตั้ง

ภาพตัดขวางของดรัมสามารถแสดงได้ในรูปที่ 3.12

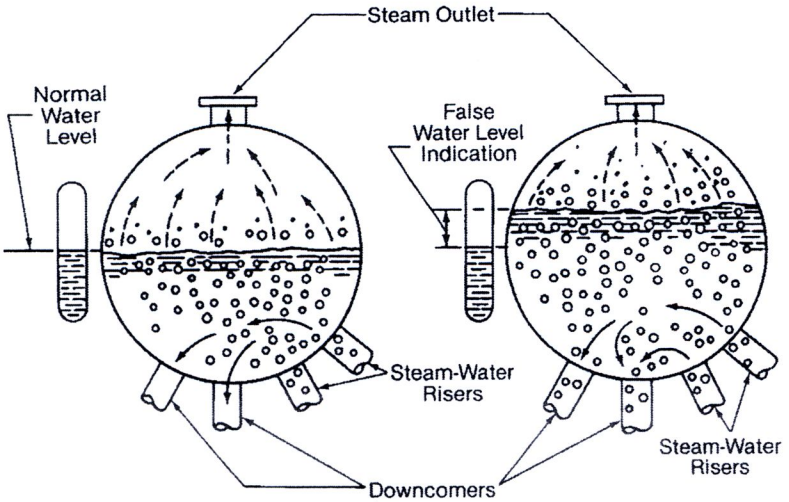


รูปที่ 3.12 ภาพตัดขวางของดรัม

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

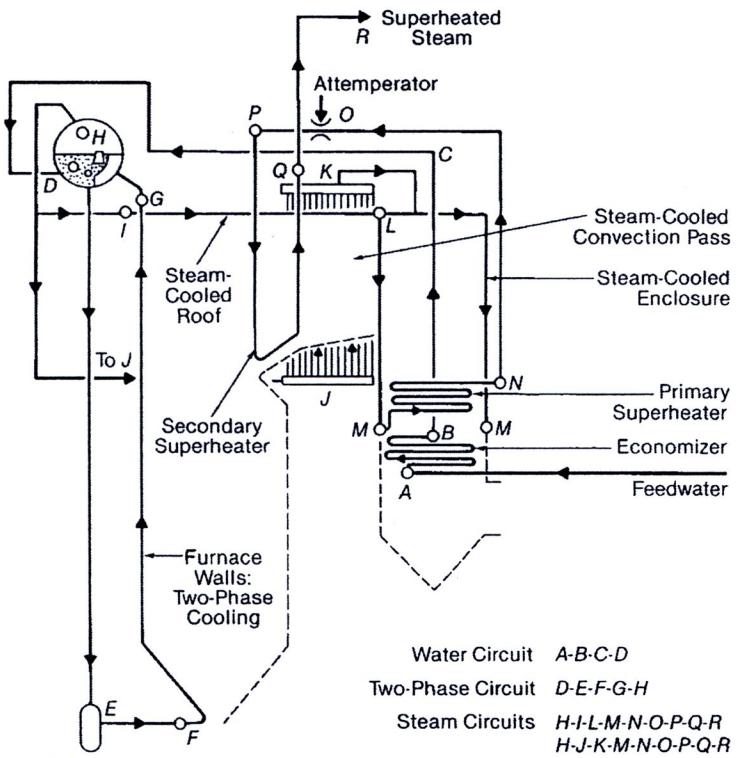
ภายในดรัมจะมีอุปกรณ์คัดแยกสองชุด โดยชุดแรกมีลักษณะเป็นใบพัดหมุนเหวี่ยง (Cyclone Seperator) สำหรับเหวี่ยงแยกน้ำที่ปนอยู่ในส่วนผสมระหว่างน้ำกับไอน้ำให้ออกไป (Centrifugal Action) ตามขอบผนังด้านในของดรัม ส่วนที่เป็นไอน้ำจะสามารถลอยตัวขึ้นไปยังอุปกรณ์คัดแยกชุดที่สอง ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นเหล็กลูกฟูกวางซ้อนกันเป็นชั้นๆ ในแนวดิ่ง (Scrubbers) เพื่อคัดแยกน้ำที่ยังหลงเหลือให้รวมตัวกันเป็นหยดน้ำและตกลงมาด้านล่าง และยังทำหน้าที่กรองสิ่งเจือปนอื่นๆ อีกด้วย ไอน้ำที่ผ่านออกมาจากอุปกรณ์คัดแยกในชุดนี้จะผ่านไปยังกระบังซึ่งอยู่ส่วนบนของดรัม ซึ่งจะทำหน้าที่กรองให้เฉพาะไอน้ำเท่านั้นที่สามารถผ่านส่วนนี้ไปได้เพื่อเข้าสู่กังหันไอน้ำ (Steam Turbine)

การควบคุมระดับน้ำภายในดรัมมีความสำคัญดังนี้ ถ้าระดับน้ำสูงเกินไป น้ำจะท่วมไซโคลนที่ทำหน้าที่แยกน้ำออกจากไอน้ำ ทำให้มีน้ำปนออกไปกับไอน้ำได้ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายในระบบท่อไอน้ำร้อนยิ่งยวดและใบพัดของกังหันไอน้ำ นอกจากนั้นอาจทำให้การควบคุมอุณหภูมิของไอน้ำทำได้ยาก แต่ถ้าระดับน้ำมีน้อยเกินไปอาจทำให้ดรัมรวมทั้งท่อน้ำผนังเตาร้อนจนเกินขีดจำกัดอันเป็นสาเหตุทำให้ท่อน้ำแตกได้ การวัดระดับน้ำภายในดรัมอาจมีข้อผิดพลาดหลักเกิดจากการกระเพื่อมของฟองอากาศที่เป็นส่วนผสมระหว่างไอน้ำกับน้ำ โดยปกติสัดส่วนฟองอากาศนี้จะคงที่ซึ่งระดับน้ำที่วัดได้และควบคุมจะอ้างอิงจากอัตราส่วนนี้ ผลจากการเปลี่ยนแปลงโหลดที่เพิ่มขึ้นอย่างกะทันหันก็อาจทำให้สัดส่วนฟองอากาศนี้ลดลง (Shrink) ในทางตรงกันข้ามถ้าโหลดมีการเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างกะทันหันจะทำให้สัดส่วนฟองอากาศนี้เพิ่มขึ้น (Swell) ผลดังกล่าวทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการวัดระดับน้ำด้วยเซ็นเซอร์ ดังนั้นจึงควรมีการติดตั้งกล้องวงจรปิดเพื่อให้สามารถสังเกตระดับน้ำจริงได้ด้วยสายตา



รูปที่ 3.13 ผลของฟองอากาศที่มีต่อการวัดระดับน้ำของดรัม

วัฏจักรการไหลของน้ำกับไอน้ำที่ผ่านเข้าและออกในส่วนของหม้อต้ม และเส้นทางการไหลของก๊าซร้อน ประกอบด้วยน้ำในสภาวะของเหลว (Subcooled Water) ไอน้ำ และที่เป็นส่วนผสมระหว่างน้ำกับไอน้ำ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 น้ำและไอน้ำที่ผ่านเข้าและออกส่วนหม้อต้มและเส้นทางการไหลของก๊าซร้อน

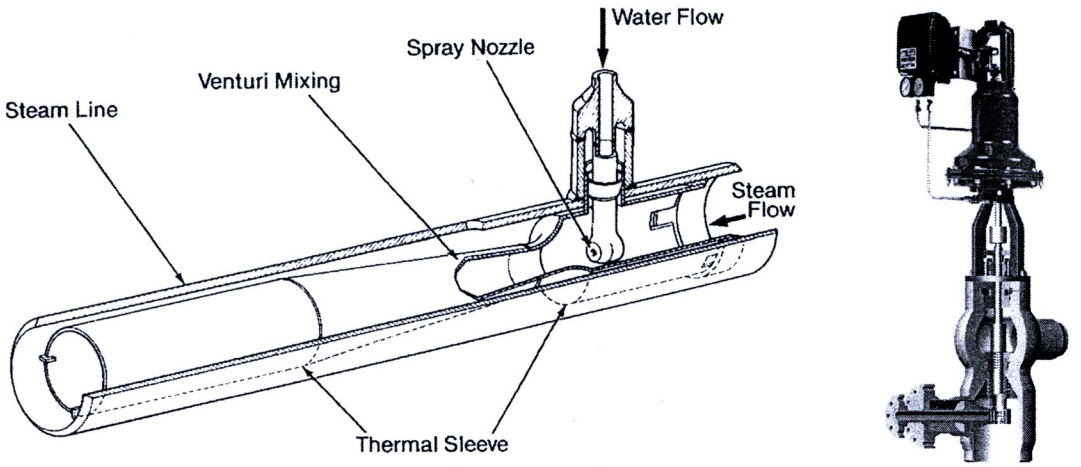
จากรูปที่ 3.14 แบ่งวงจรการไหลตามสถานะของของไหลได้ 3 ส่วน ดังนี้

○ **วงจรการไหลของน้ำ** เริ่มจากปั๊มน้ำสูบน้ำกลั่นตัว (Condensated Water) ผ่านปั๊มอัดที่ความดันสูง (High Pressure Feed Water Pump) แล้วเข้าสู่ท่ออุ่นไอน้ำก่อนต้ม (Economizer) ที่หัวรวมน้ำทางเข้า ***A*** และออกทางด้านหัวรวมน้ำ ***B*** ก่อนจะถูกปั๊มสูบน้ำที่ถูกอุ่นแล้วผ่านระบบท่อ **C** เพื่อเข้าไปยังดรัมที่อยู่ตอนบน ณ ตำแหน่ง **D**

○ **วงจรการไหลของส่วนผสมระหว่างน้ำกับไอน้ำ** ในดรัมจะประกอบด้วยส่วนผสมระหว่างน้ำกับไอน้ำ ส่วนที่เป็นน้ำจะไหลลงตามท่อน้ำที่อยู่ด้านนอกผนังเตา มายังถังพักน้ำที่อยู่ตอนล่าง (Water Tank) **E** แล้วเข้าสู่หัวรวมน้ำที่อยู่ตอนล่าง **F** ก่อนจะเวียนกลับมารับความร้อนโดยผ่านท่อน้ำผนังเตาด้านในแล้วไหลขึ้นสู่หัวรวมน้ำที่อยู่ตอนบน **G** สุดท้ายจะไหลไปยังดรัมตอนบนและส่วนที่เป็นไอน้ำจะถูกแยกออกไป ณ จุด **H** ซึ่งเป็นทางออกของไอน้ำที่อยู่ด้านบนของดรัม

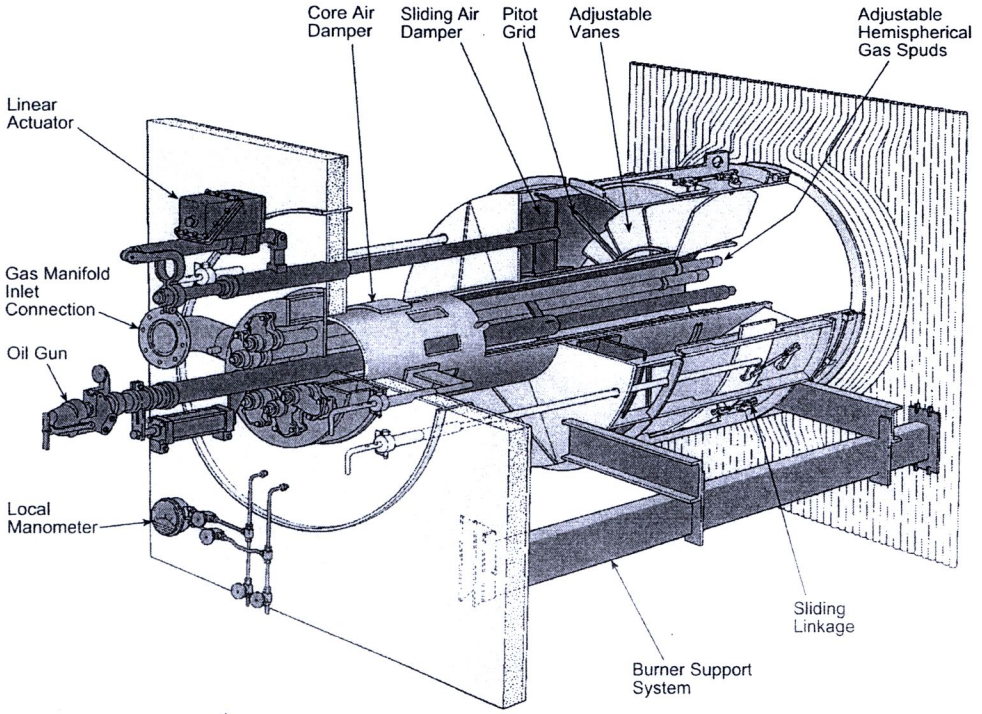
○ **วงจรการไหลของไอน้ำ** ไอน้ำที่ออกจากดรัมจะไหลไปตามท่อโดยแบ่งเป็นสองเส้น ได้แก่ เส้นทาง **H**→**I**→**L** และเส้นทาง **H**→**J**→**K** ก่อนจะกลับมารวมกันอีกครั้งที่หัวไอน้ำ **M** เพื่อเข้าสู่ท่อไอน้ำร้อนยิ่งยวดปฐมภูมิ (Primary Superheater) แล้วออกมาสู่หัวไอน้ำ **N** ผ่านท่อไอน้ำที่มีการติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิของไอน้ำ (Attemperator) ณ ตำแหน่ง **O** ก่อนเข้าไปยังหัวไอน้ำ **P** ที่ทางเข้าท่อไอน้ำร้อนยิ่งยวดทุติยภูมิ (Secondary Superheater) แล้วออกมารวมตัวที่หัวไอน้ำ **Q** ก่อนไหลตามท่อ **R**

เพื่อไปยังกังหันไอน้ำ โดยปกติระหว่างท่อไอน้ำร้อนยิ่งยวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ จะมีการติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิของไอน้ำโดยการฉีดน้ำเป็นฝอยเข้าไปผสมกับไอน้ำร้อนยิ่งยวด (Attemperator) เพื่อให้อุณหภูมิของไอน้ำลดลง ดังรูปที่ 3.15



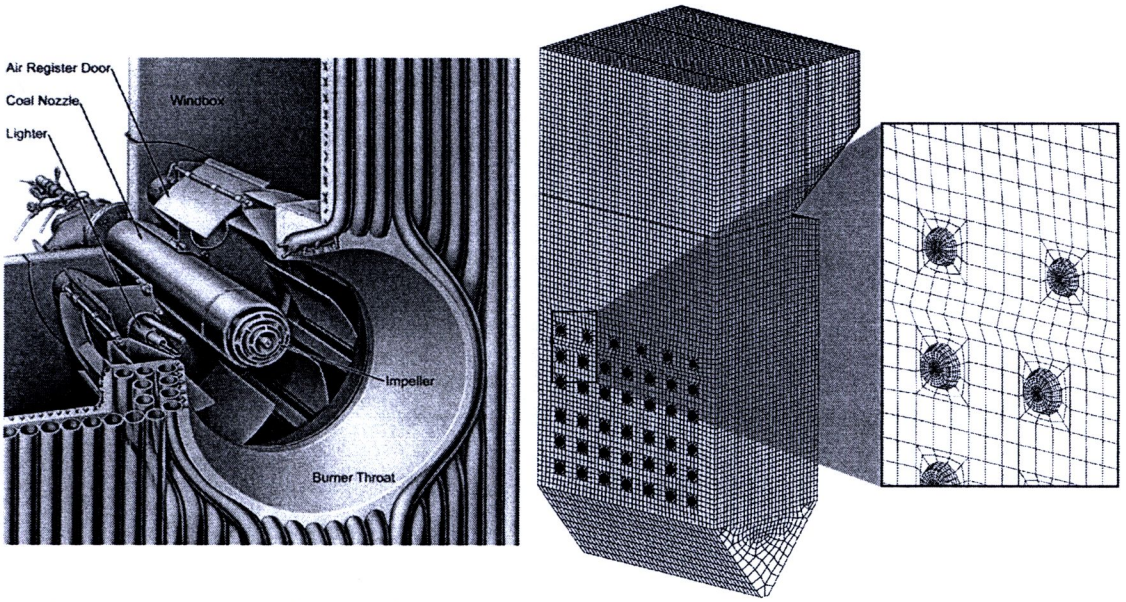
รูปที่ 3.15 ระบบควบคุมอุณหภูมิของไอน้ำโดยการฉีดน้ำเป็นฝอย

○ **หัวเผา (Burner)** หัวเผาเชื้อเพลิงเป็นส่วนที่ใช้สำหรับให้ความร้อนในการเผาไหม้เชื้อเพลิงในขณะเริ่มต้นจุดเตา มีลักษณะดังรูป 3.16



รูปที่ 3.16 ลักษณะหัวเผา น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติรุ่น XCL-S® ของบริษัท B&W PGG

ในขณะที่ต้องการความร้อนเพิ่มเติมในกรณีที่ความร้อนในห้องเผาไหม้ไม่เพียงพอ หัวเผาจะติดตั้งแทรกอยู่ระหว่างกลุ่มท่อน้ำที่ผนังเตา ดังรูป 3.17



รูปที่ 3.17 ลักษณะการติดตั้งหัวเผาที่ผนังเตา

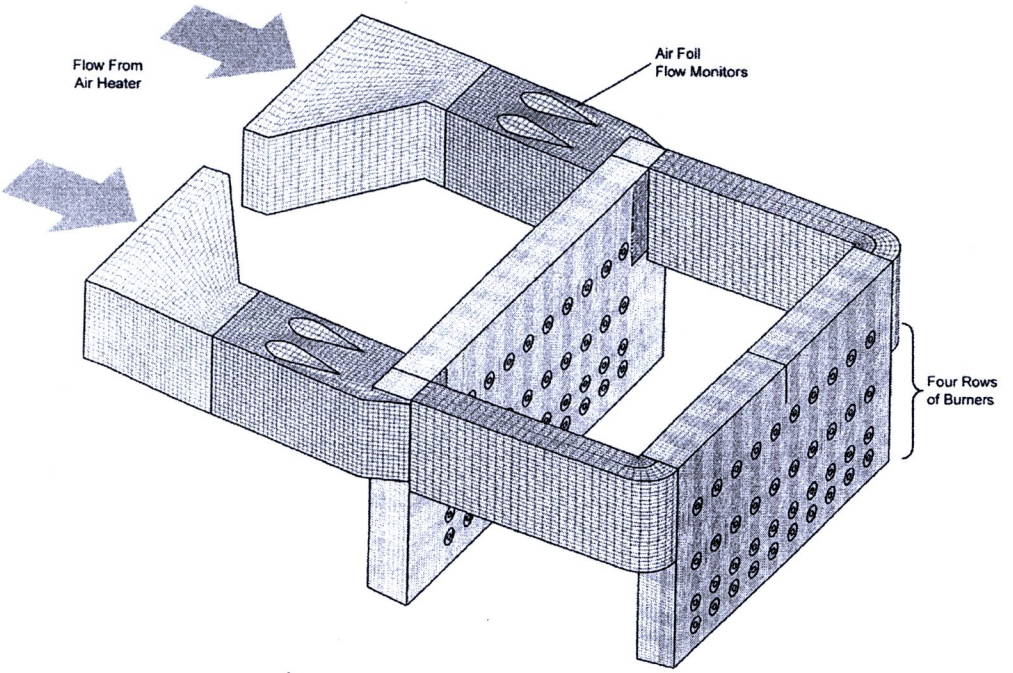
โดยปกติจะออกแบบหัวเผาจะให้มีจำนวนที่เหมาะสมกับชนิดของเชื้อเพลิง ลักษณะและความพอเพียงของความร้อนที่ต้องการใช้งาน เช่น เชื้อเพลิงที่เป็นประเภทถ่านหินจะมีจำนวนหัวเผามากกว่าเชื้อเพลิงประเภทประเภทน้ำมันหรือชีวมวล เป็นต้น

สำหรับก๊าซธรรมชาติจะสามารถเผาไหม้ได้สะดวก โดยไม่จำเป็นต้องฉีดให้เป็นเป็นฝอย นอกจากนั้นการเผาไหม้ก๊าซธรรมชาติจะไม่มีน้ำมันดิน (Tar) หรือ กำมะถัน (Sulfur) ซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหาการผุกร่อน นอกจากนั้นคราบสกปรกที่เกาะอยู่ที่ผนังท่อน้ำและท่อไอน้ำทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนไม่ดี ข้อควรระวังสำหรับการเผาไม้โดยใช้ก๊าซธรรมชาติคือการระเบิดที่อาจเกิดจากส่วนผสมของอากาศกับก๊าซธรรมชาติ (Explosive Mixture) ดังนั้นก่อนจะมีกระบวนการเริ่มเผาไหม้จึงมีกระบวนการไล่อากาศออก (Purge) ด้วยก๊าซไนโตรเจนทั้งระบบก่อน

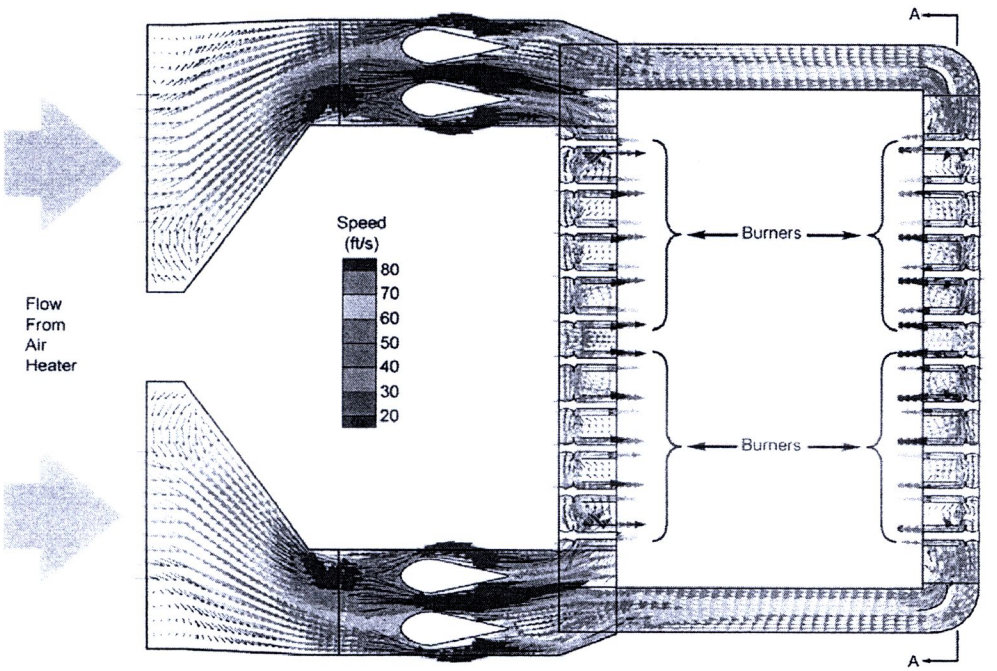
นอกจากนั้นในการออกแบบยังต้องคำนึงถึงอัตราส่วนของค่าอัตราการไหลของก๊าซร้อนสูงสุดต่อค่าต่ำสุดที่หัวเผาแต่ละตัวยังคงนำเข้าใช้งานได้ (Turn-Down Ratio; TDR) เช่น TDR 5:1 หมายความว่า สามารถลดอัตราการไหลของก๊าซร้อนลงให้เหลือ 20% ของค่าสูงสุด โดยที่ไม่ต้องมีการดับหัวเผาออกเลย ซึ่งในการออกแบบจะควบคุมได้ง่ายกว่าหัวเผาที่มีค่า TDR ต่ำกว่า เช่น TDR 2:1 ซึ่งถ้าโหลดลดลงเหลือ 50% ก็ต้องมีการดับหัวเผาบางตัวออกไป

หัวเผาแบบที่ใช้ผงถ่านหิน (Pulverized Coal Burner) และน้ำมัน (Oil Burner) เป็นเชื้อเพลิงจะมีการฉีดพ่นเข้าเตาเพื่อช่วยให้การเผาไหม้ในเตาเกิดขึ้นได้ง่าย โดยน้ำมันจะต้องผ่านการอุ่นที่อุณหภูมิระหว่าง 180 – 300 °F ขึ้นอยู่กับเกรดของน้ำมันเพื่อลดความหนืด (Viscosity) ก่อนที่จะทำการฉีดให้เป็นฝอย (Atomization) สำหรับหัวเผาที่ใช้ผงถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง ผงถ่านหินจากโม่บดจะถูกพ่นเข้าเตาเผา

ด้วยระบบฉีดพ่นอากาศปฐมภูมิ (Primary Air) ซึ่งคิดเป็นปริมาณอากาศประมาณ 30% ของอากาศที่ต้องใช้เพื่อให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ อากาศที่เหลือ 70% จะได้มาจากระบบอากาศทุติยภูมิ (Secondary Air) โดยผ่านทางกล่องลม (Wind Box) และมีการควบคุมทิศทางการกระจายของลมเพื่อใช้สำหรับปรับแต่งรูปร่างของ เปลวให้ได้ตามต้องการ ดังรูปที่ 3.18 และ 3.19

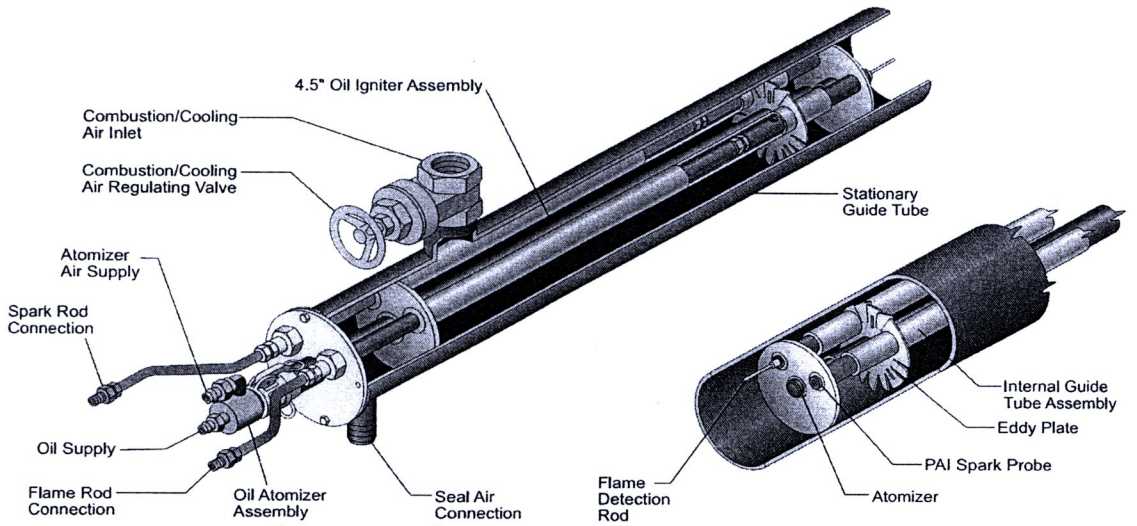


รูปที่ 3.18 ระบบอากาศทุติยภูมิที่ใช้สำหรับหัวเผา

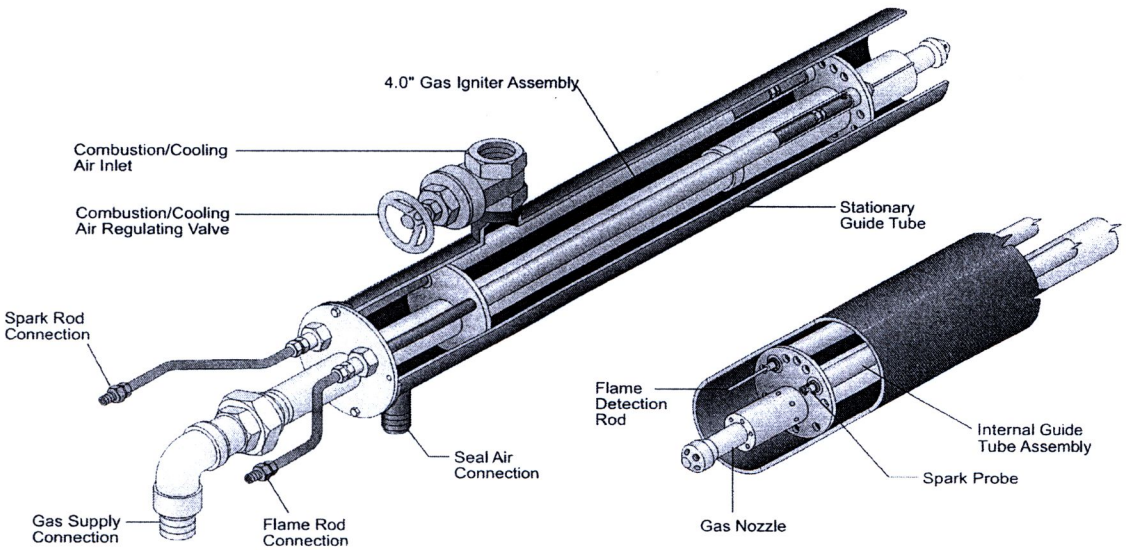


รูปที่ 3.19 อัตราการไหลของระบบอากาศทุติยภูมิภายในกล่องลม

หัวเผาแต่ละหัวจะต้องมีหัวจุดนำ (Ignition Burner) ซึ่งมีการออกแบบให้มีขั้นตอนการทำงานและหยุดทำงานเป็นแบบอัตโนมัติ โดยส่วนใหญ่จะใช้น้ำมันเบา (Light Oil) หรือก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง หัวจุดนำที่ใช้เชื้อเพลิงน้ำมันเบาและก๊าซธรรมชาติมีลักษณะดังรูปที่ 3.20 และ 3.21 ตามลำดับ



รูปที่ 3.20 หัวจุดนำที่ใช้น้ำมันเบาเป็นเชื้อเพลิง



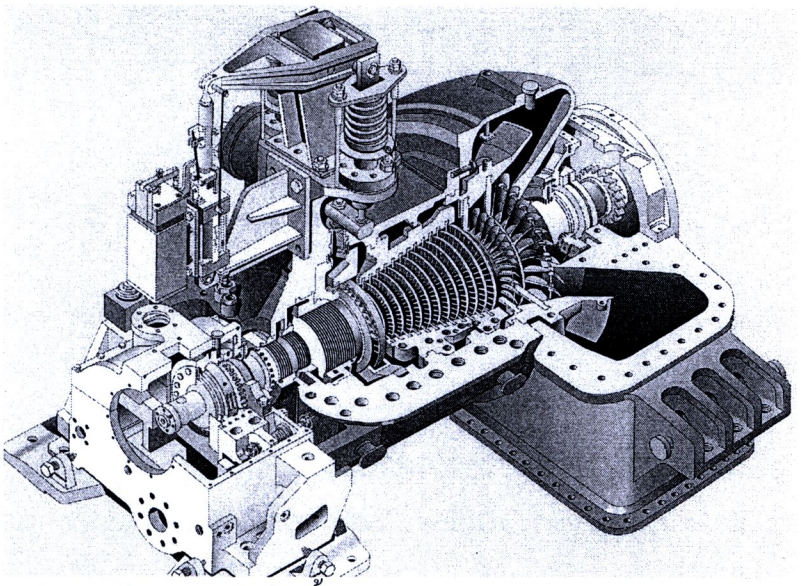
รูปที่ 3.21 หัวจุดนำที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง

การรักษาอุณหภูมิในห้องเผาไหม้เป็นหน้าที่ความรับผิดชอบของผู้ควบคุม (Operator) ในสภาวะที่การเผาไหม้เชื้อเพลิงภายในเตาเกิดขึ้นอย่างมีเสถียรภาพ อุณหภูมิในห้องเผาไหม้จะมีค่าสูงเพียงพอที่จะทำให้กระบวนการเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยไม่จำเป็นต้องมีการจุดใช้งานหัวเผาและควบคุมเปลวไฟ แต่ในบางสถานการณ์ เช่น ค่าความร้อนจำเพาะ (Heating Value) ของเชื้อเพลิงมีค่าไม่สม่ำเสมออย่างในกรณีเชื้อเพลิงชีวมวล เช่น กากอ้อยมีความชื้นมากเกินไป อัตราการไหลของก๊าซไม่

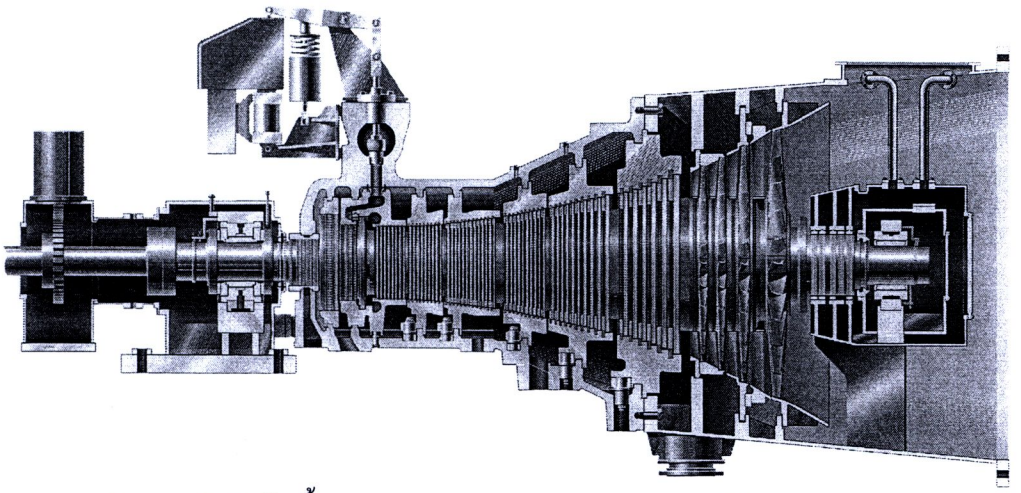
สม่ำเสมอ หรือ สภาวะที่มีการเพิ่มโหลดทันทีทันใด อุณหภูมิของไอน้ำจะลดลงอย่างฉับพลัน จึงต้องมีการควบคุมอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ให้กลับเข้าสู่สภาวะปกติโดยเร็ว โดยการจุดใช้งานหัวเผาและควบคุมเปลวไฟ

3.3.2 ระบบกังหันไอน้ำ (Steam Turbine System)

กังหันไอน้ำเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานความร้อนที่สะสมในไอน้ำ ที่ความดันและอุณหภูมิสูงไปเป็นพลังงานกลเพื่อหมุนเพลาของตัวกังหัน ซึ่งมีแกนต่อร่วมกับเพลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โครงสร้างของกังหันไอน้ำแบบต่างๆ ขึ้นอยู่กับขนาดของกำลังการผลิตไฟฟ้า อุณหภูมิ และความดันของไอน้ำ โดยทั่วไปจะออกแบบให้ประกอบด้วยชุดกังหันย่อยหลายชั้นติดตั้งอยู่ภายในโครงสร้างเหล็กหล่อที่ห่อหุ้มอย่างดี ดังรูปที่ 3.22 และ 3.23

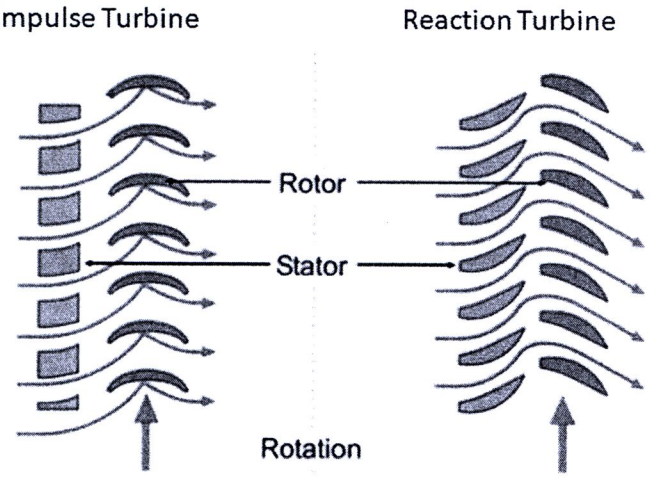


รูปที่ 3.22 ลักษณะโครงสร้างของกังหันไอน้ำ



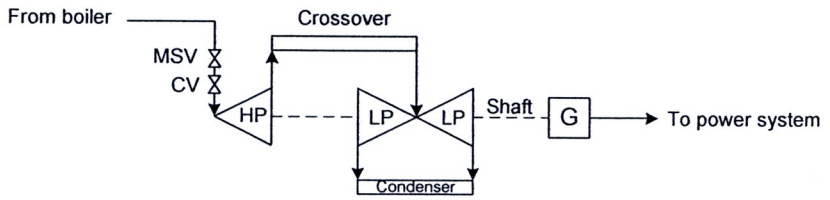
รูปที่ 3.22 ภาพตัดขวางกังหันไอน้ำ SC series ขนาด 2 – 100 MW ของบริษัท General Electric (GE)

ส่วนเพลาของกังหันจะติดตั้งอยู่บนตลับลูกปืน (Bearing) เมื่อไอน้ำไหลเข้ากังหัน ความดันจะลดลงและเกิดการขยายตัวทำให้ปริมาตรของไอน้ำเพิ่มขึ้นความเร็วการไหลของไอน้ำสูงขึ้น และเมื่อปะทะกับใบพัดชุดที่หมุนได้ (Moving Blade) จะเกิดแรงดลผลักส่งไปยังเพลาของกังหัน (Impulse Turbine) เมื่อไอน้ำผ่านออกจากใบพัดชุดแรก จะไหลผ่านใบพัดชุดที่อยู่กับที่ (Stationary Blade) เพื่อควบคุมทิศทางไอน้ำให้ไปปะทะกับใบพัดชุดหลัง (Reaction Turbine) เช่นนี้ไปเรื่อยๆ ตามจำนวนชุดของกังหันที่ออกแบบไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.24

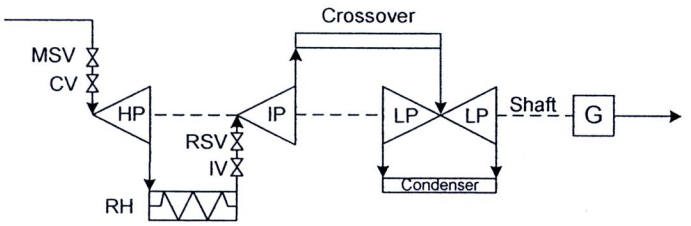


รูปที่ 3.24 การไหลของไอน้ำเมื่อผ่านกังหันชั้นต่างๆ

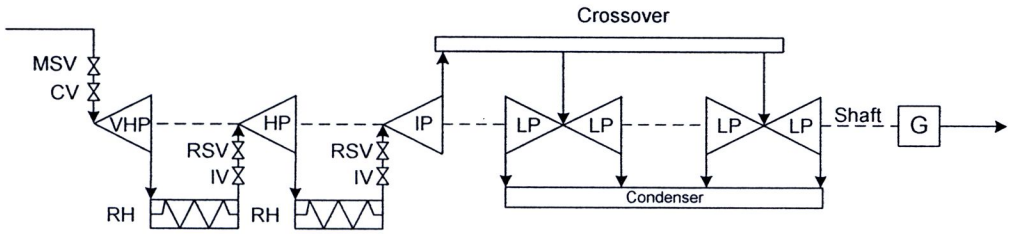
อัตราการไหลของไอน้ำที่เข้าสู่กังหันสามารถควบคุมได้โดยใช้วาล์วควบคุม เมื่อไอน้ำไหลผ่านใบพัดในแต่ละชุดความดันและอุณหภูมิของไอน้ำด้านขาออกจะลดลง จึงอาจมีการออกแบบให้ไอน้ำไหลเวียนกลับไปที่หม้อต้มเพื่อเพิ่มพลังงานความร้อนก่อนที่จะไหลเข้าสู่กังหันไอน้ำ ลำดับถัดไปที่มีความดันต่ำกว่ากังหันตัวแรก โดยทั่วไประบบกังหันที่ใช้ขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีกำลังการผลิตสูงๆ จะมีการออกแบบ ให้มีชุดกังหันสามชุดประกอบด้วย กังหันความดันสูง (High Pressure Turbine; HPT) กังหันความดันปานกลาง (Intermediate Pressure Turbine; IPT) และกังหันความดันต่ำ (Low Pressure Turbine; LPT) ไอน้ำที่ออกจากท่อไอน้ำร้อนยิ่งยวดทุติยภูมิจะไหลเข้าสู่กังหันความดันสูง ที่ด้านขาออกของกังหันความดันสูงไอน้ำจะไหลเวียนกลับไปในหม้อต้ม เพื่อรับพลังงานความร้อนเพิ่ม ก่อนจะไหลกลับมาเข้าไอน้ำความดันปานกลาง และไอน้ำขาออกของกังหันความดันปานกลางไอน้ำจะไหลเวียนกลับไปในหม้อต้มเพื่อรับความร้อนอีกครั้ง ก่อนจะมาเข้าชุดกังหันความดันต่ำซึ่งเป็นชุดสุดท้าย แต่ในระบบที่ไม่มีกังหันความดันปานกลางอาจจะออกแบบให้ไอน้ำที่ออกจากกังหันความดันสูงสามารถผ่านไปที่กังหันความดันต่ำได้โดยตรง ระบบกังหันไอน้ำที่หมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบ่งตามลักษณะการต่อของแกนเพลาออกได้สองระบบ คือระบบแกนเพลาต่อร่วมในแนวเดียวกัน (Tandem Compound) ดังรูปที่ 3.25



(a) Non-reheat



(b) Single-reheat

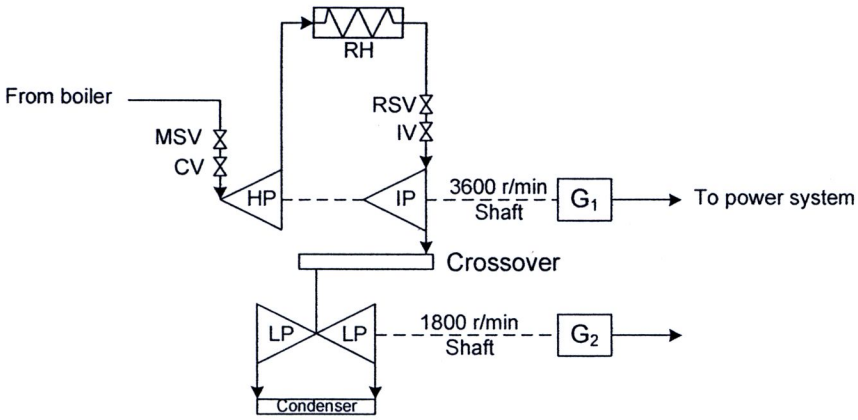


(c) double-reheat

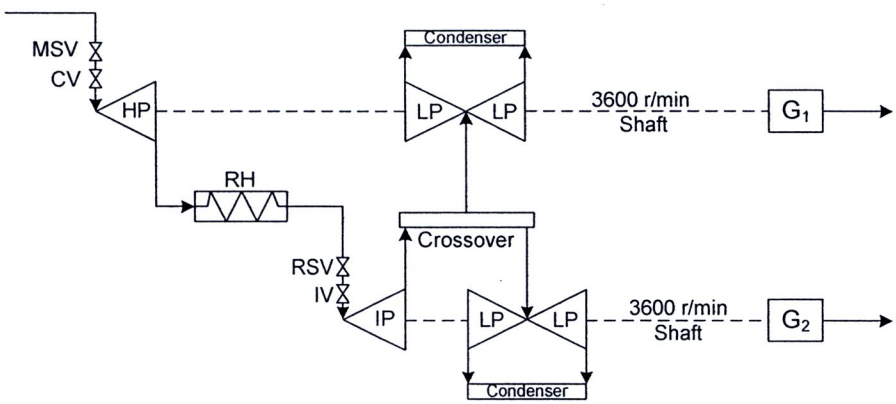
รูปที่ 3.25 โครงสร้างของระบบกังหันไอน้ำแบบที่มีแกนเพลาต่อร่วมกัน

ในระบบกังหันดังรูปที่ 3.25 กังหันทุกตัวจะต่อร่วมอยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้แกนเพลาเดียวกัน ในขณะที่ทำงานปกติเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอาจถูกขับด้วยกังหันชุดใดชุดหนึ่งหรือทั้งทุกชุดก็ได้ ในระบบแกนเพลาที่ไม่ต่อร่วมอยู่ในแนวเดียวกัน (Cross Compound) แสดงได้ดังรูปที่ 3.26

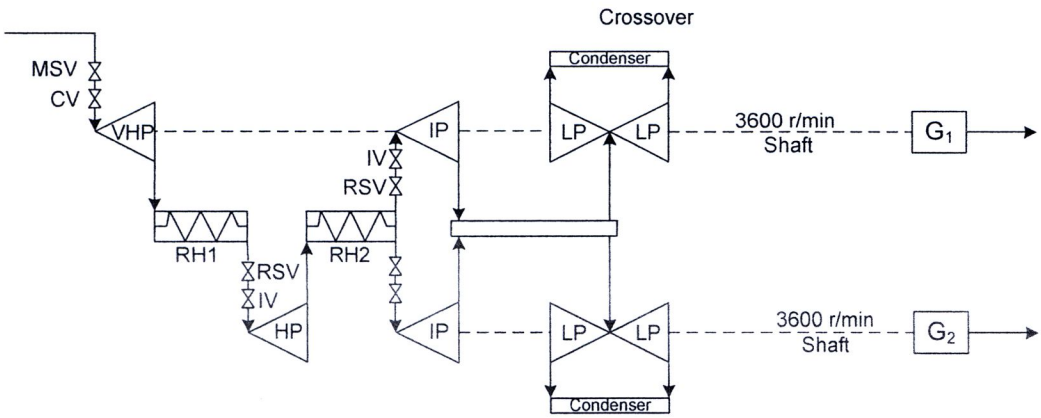
จากรูปที่ 3.25 และ 3.26 ระบบกังหันไอน้ำจะมีวาล์วอยู่ 4 กลุ่มได้แก่ วาล์วหลัก (Main Stop Valve; MSV) โดยปกติจะเปิดเพื่อให้การไหลของไอน้ำผ่านเข้าไปในกังหันระหว่างการทำงานปกติ วาล์วควบคุม (Control Valve; CV) จะเป็นวาล์วที่ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณของไอน้ำที่ไหลเข้าไปในกังหันเพื่อปรับเพิ่มหรือลดกำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า วาล์วควบคุมไอน้ำกลับไปรับความร้อน (Reheater Stop Valve; RSV) และ วาล์วปิดไอน้ำ (Intercept Valve; IV) ซึ่งจะเป็นวาล์วฉุกเฉินขั้นต้นเพื่อควบคุมทิศทางการไหลของไอน้ำเข้ากังหันชนิดต่างๆ ในระบบ ซึ่งโดยปกติจะไม่ใช้สำหรับควบคุมความเร็ว



(a) Single reheat, 3600/1800 r/min shaft speeds

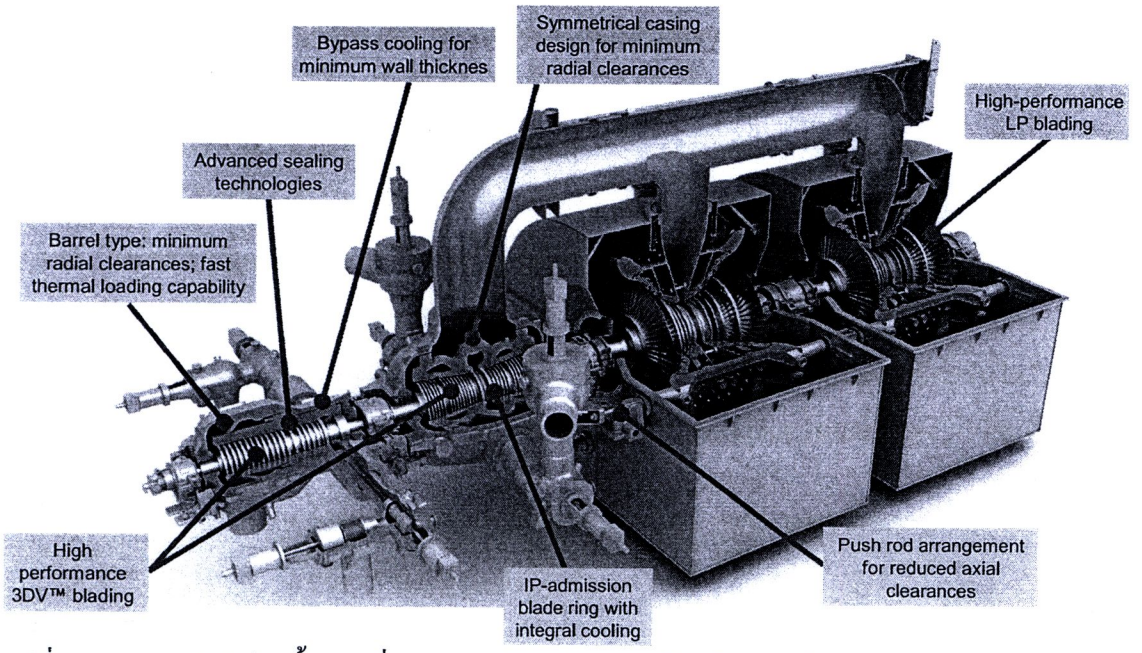


(b) Single reheat, 3600/3600 r/min shaft speeds



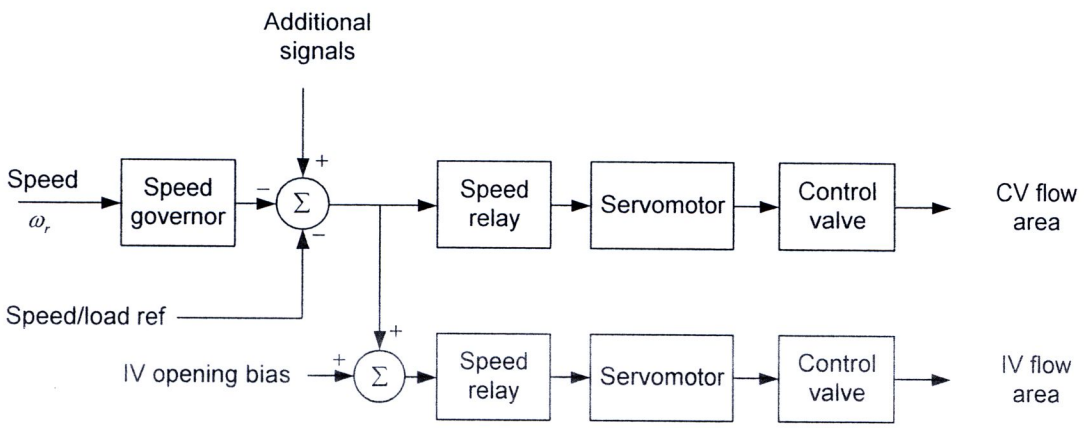
(c) double-reheat, 3600/3600 r/min shaft speeds

รูปที่ 3.26 โครงสร้างของระบบกังหันไอน้ำแบบที่แกนเพลาไม่ต่อร่วมอยู่ในแนวเดียวกัน



รูปที่ 3.27 ระบบกังหันไอน้ำแบบที่แกนเพลาร่วมอยู่ในแนวเดียวกันของบริษัท Siemens

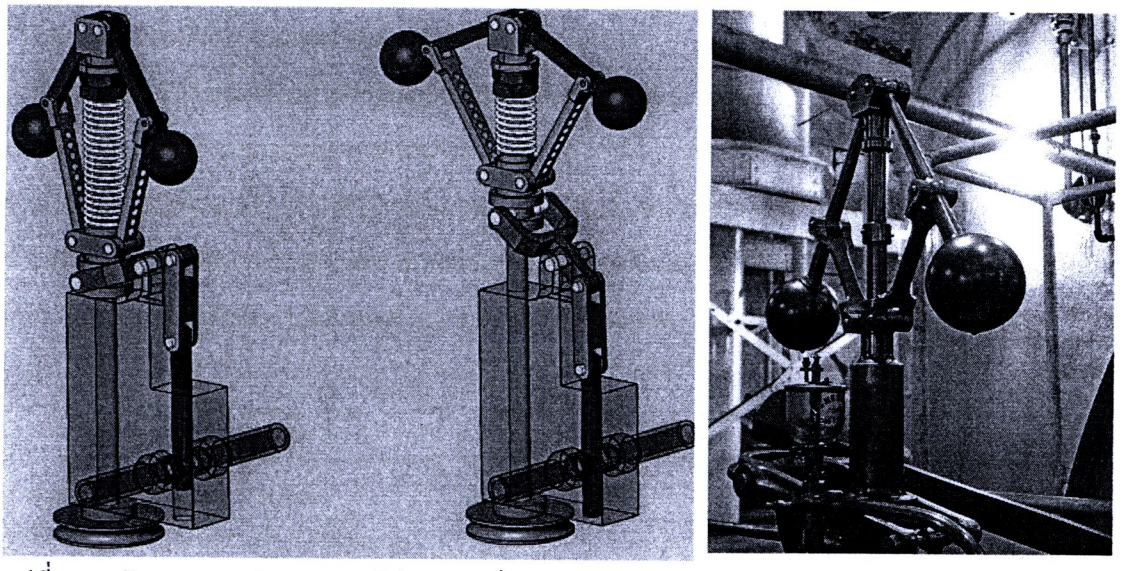
การควบคุมปริมาณการไหลของไอน้ำที่เข้าสู่กังหัน ทำได้โดยการปรับตำแหน่งของวาล์วควบคุม โดยทั่วไปจะแบ่งการควบคุม 3 เป็นระดับคือ ควบคุมอัตราการไหลในสภาวะปกติ การควบคุมอัตราการไหลที่ค่าเกือบพิกัด และทำการปิดเมื่ออัตราการไหลเกินพิกัด ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบควบคุมอัตราการไหลของไอน้ำ ประกอบด้วย ส่วนควบคุมการปิดเปิดวาล์วเบื้องต้น (Speed Governor) รีเลย์ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ (Speed Relay) และ ระบบควบคุมกำลังของมอเตอร์ (Servomotor) ดังแสดงในรูปที่ 3.28



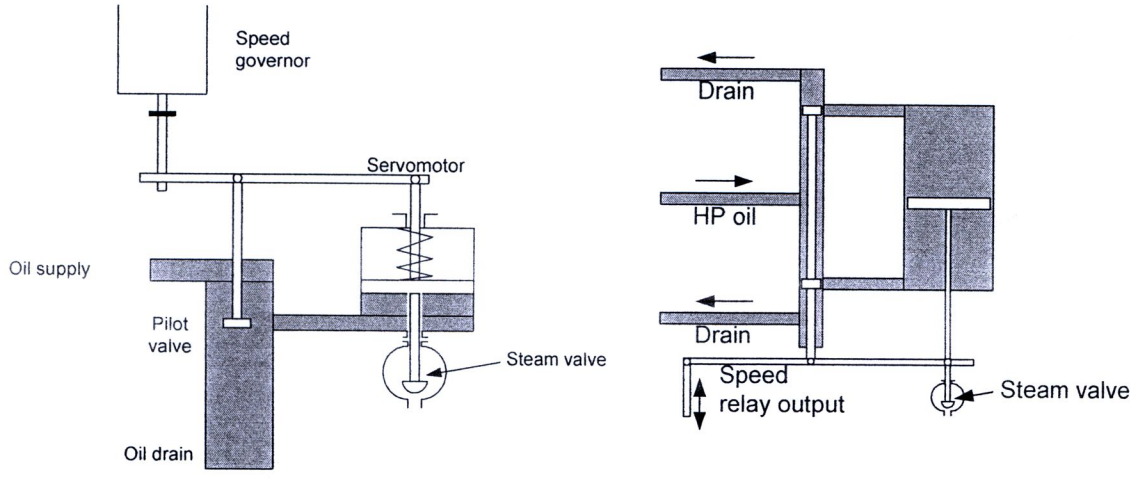
รูปที่ 3.28 ระบบควบคุมแรงการอัตราการไหลของไอน้ำเข้ากังหัน

จากรูปที่ 3.28 สัญญาณสำหรับควบคุมการปิดเปิดวาล์วควบคุมประกอบด้วยสัญญาณสามค่า ได้แก่ ส่วนที่มาจากการแปลงความเร็วรอบทางกล (Mechanical Transducer) จะใช้กัฟเวอร์เนอร์

(Governor) ซึ่งทำหน้าที่แปลงความเร็วรอบที่เพลาไปเป็นค่าของตำแหน่ง ตามความสัมพันธ์ที่มีลักษณะแบบเชิงเส้น ดังแสดงในรูปที่ 3.29 ส่วนสัญญาณความเร็วอ้างอิงของระบบซึ่งหมายถึงความถี่ทางไฟฟ้าของระบบ (Speed Load Reference) และส่วนสัญญาณอื่น (Additional Signal) สำหรับใช้เพื่อเพิ่มหรือลดกำลังการผลิตไฟฟ้า จะนำไปเปรียบเทียบกันเพื่อให้ได้สัญญาณที่จะใช้ควบคุมวาล์วควบคุม (Control Valve) โดยตรง สัญญาณนี้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณตำแหน่งของวาล์วปิดไอน้ำ (Intercept Valve) โดยทั่วไปจะใช้เพียงวาล์วควบคุมเท่านั้น เพื่อตอบสนองการควบคุมอัตราการไหลของไอน้ำที่สภาวะปกติ โดยจะเปิดวาล์วปิดไอน้ำไว้เต็มที่ ในระบบกังหันไอน้ำขนาดใหญ่จะใช้ระบบไฮโดรลิกในการปรับตำแหน่งของวาล์ว เพราะสามารถใช้งานได้ดีที่ความดันสูงและอุณหภูมิสูง โดยมีหลักการทำงาน เป็นดังรูปที่ 3.30



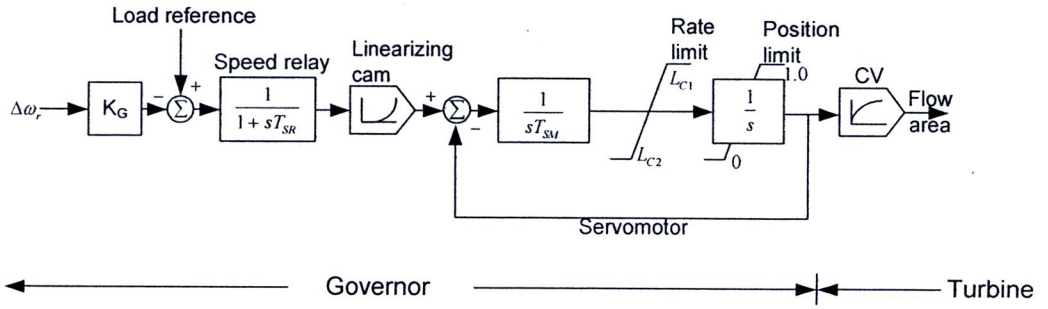
รูปที่ 3.29 ลักษณะการทำงานของกัฟเวอเนอร์



รูปที่ 3.30 ลักษณะการทำงานของระบบควบคุมอัตราการไหลของไอน้ำ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

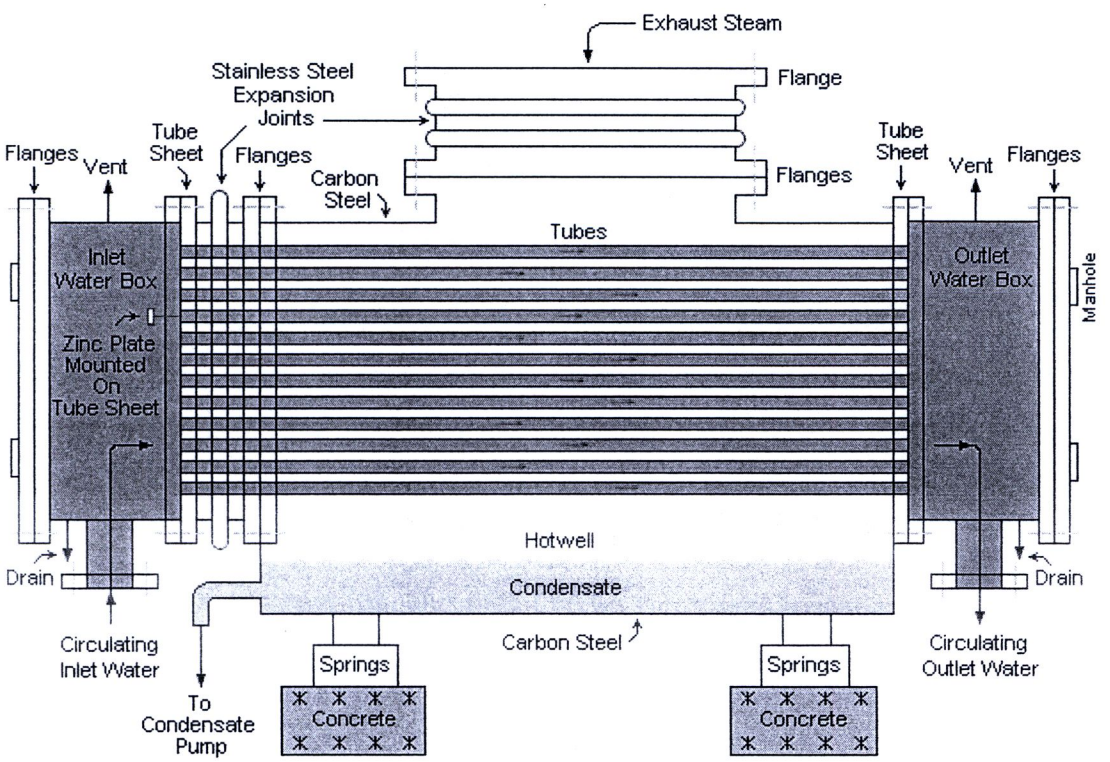
เมื่อรวมผลการปรับตำแหน่งวาล์ว จะได้ระบบไฮโดรลิกที่ใช้ควบคุมกัฟเวอเนอร์แสดงได้ดังรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 ระบบควบคุมกัฟเวอเนอร์

3.3.3 หอกลั่นไอน้ำ (Steam Condensor)

เมื่อไอน้ำไหลออกจากกังหันชุดสุดท้ายจะไหลเข้าสู่หอกลั่น ซึ่งมีลักษณะเป็นห้องเหล็กสี่เหลี่ยมแข็งแรงสามารถรับแรงการกระแทกของไอน้ำได้ ภายในบรรจุด้วยท่อโลหะจำนวนมากที่มีระบบน้ำระบายความร้อนไหลผ่านตลอดเวลา เพื่อรับความร้อนจากไอน้ำทำให้ไอน้ำควบแน่นเป็นน้ำ ปริมาตรของไอน้ำจะลดลงอย่างรวดเร็ว บางครั้งอาจเรียกสภาวะนี้ว่าสภาวะสุญญากาศ โดยแท้ที่จริงแล้ว ความดันในเครื่องควบแน่นจะต่ำกว่าบรรยากาศ (Back Pressure) แต่ไม่เป็นสุญญากาศ



รูปที่ 3.32 องค์ประกอบของหอกลั่น

หอกลั่นมีหน้าที่ควบแน่นไอน้ำที่ไหลออกจากกังหันแรงดันต่ำให้กลายเป็นหยดน้ำ โดยการใช้ระบบน้ำเย็น (Cooling Water System) ไหลผ่านไปยังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Inlet Water Box) เพื่อดึงความร้อนออกจากไอน้ำทำให้ไอน้ำกลั่นตัวตกลงไปยังถังพักน้ำ (Hotwell) น้ำเย็นที่รับความร้อนแล้วจะร้อนขึ้นก่อนไหลออกไปที่ด้านขาออก (Outlet Water Box) แล้วไปถ่ายเทความร้อนที่หอผึ่ง (Cooling Tower) ก่อนนำน้ำเวียนกลับมาใช้งานอีกครั้ง (Circulating Water) กระบวนการควบแน่นจะมีการควบคุมเพื่อให้เกิดขึ้นได้ง่ายเพื่อทำให้ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าจะมีค่าสูง โดยใช้อุปกรณ์รักษาสภาพสุญญากาศที่หอกลั่น (Condenser Vacuum Equipment)

3.3.4 อุปกรณ์รักษาสภาพสุญญากาศ (Vacuum Equipment)

โดยปกติไอน้ำที่ตัวหอกลั่นจะมีอากาศปนอยู่ด้วย โดยอากาศเหล่านี้จะผ่านเข้าไปทางระบบปล่อยน้ำออก (Draining System) จึงต้องมีการใช้เครื่องสูบอากาศออกเพื่อควบคุมไม่ให้หอกลั่นสูญเสียสภาพสุญญากาศ นอกจากนั้นยังเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดเป็นสนิมขึ้น เครื่องสูบอากาศออกจากหอกลั่นแบ่งได้สองประเภท คือ เครื่องดูดอากาศออกจากไอน้ำ (Steam Air Ejector) และปั๊มสูบอากาศออก (Air Pump) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

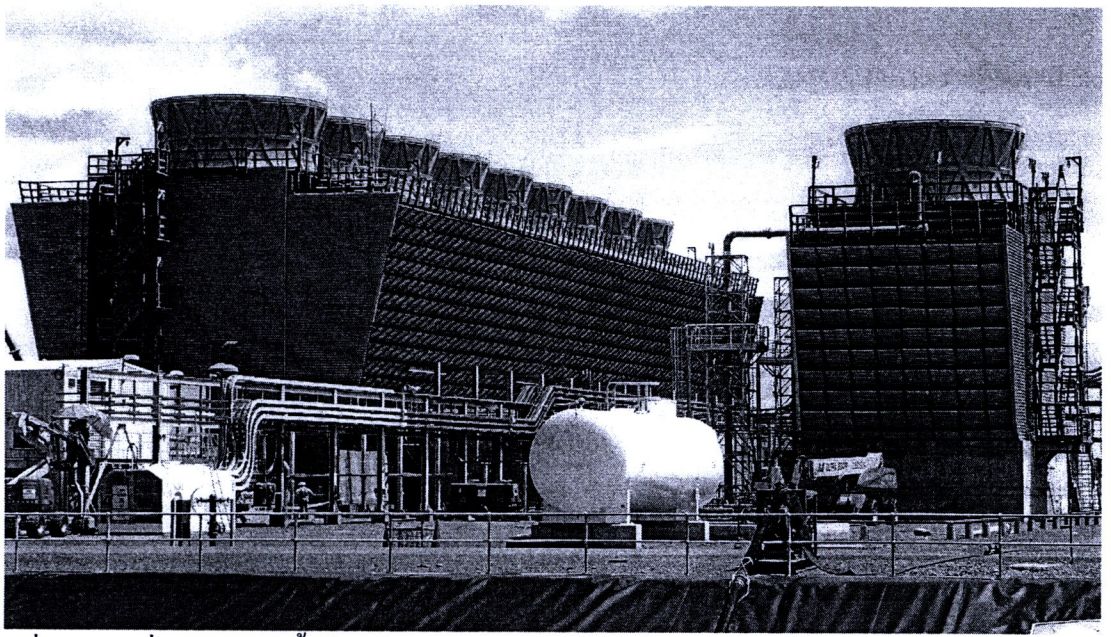
○ เครื่องดูดอากาศออกจากไอน้ำ มีหลักการทำงานโดยให้ไอน้ำความดันต่ำไหลเข้าไปทางด้านบนผ่านท่อขนาดเล็กด้วยความเร็วสูงทำให้ความดันลดลง จึงดูดอากาศที่ปนอยู่กับไอน้ำออกมาด้วย อากาศและไอน้ำที่ปนกันจะไหลผ่านตัวกรอง ซึ่งจะทำหน้าที่กลั่นไอน้ำให้เป็นน้ำโดยถ่ายเทความร้อนให้น้ำที่กลั่นตัวแล้วในระบบ ส่วนอากาศที่เหลือจะไหลต่อไปเครื่องดูดอากาศส่วนที่อยู่ถัดไปซึ่งทำงานคล้ายกับส่วนแรก และในขั้นสุดท้ายอากาศจะถูกดูดออกไปภายนอก ส่วนไอน้ำที่กลั่นตัวแล้วจะไหลกลับไปยังระบบอีกครั้ง เครื่องดูอากาศแบบนี้เหมาะสำหรับโรงไฟฟ้าขนาดเล็ก

○ ปั๊มสูบอากาศออก จะใช้ในระบบขนาดใหญ่ที่มีความดันและอุณหภูมิสูง ซึ่งมีข้อดีมากกว่าระบบเครื่องดูดอากาศออก โดยมีหลักการทำงานดังนี้ น้ำที่ปนกับอากาศเมื่อเข้าสู่ด้านทางเข้าจะไหลไปยังใบพัดซึ่งจะเหวี่ยงน้ำออกไปรอบๆ ตัวถัง อากาศจะถูกอัดให้ไหลผ่านถังปิดผนึก (Seal Tank) ออกไปสู่ภายนอก น้ำบางส่วนในถังปิดผนึกจะไหลหมุนเวียนกลับมายังระบบอีกครั้ง ปั๊มสูบอากาศออกมีการซ่อมบำรุงน้อย และสามารถใช้ได้กับมอเตอร์ไฟฟ้าหรือกับระบบไฮโดรลิก

3.3.5 หอผึ่งและระบบน้ำเย็นไหลเวียนบกลับ (Cooling Tower and Circulating Water System)

ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน ขึ้นกับประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างไอน้ำกับระบบน้ำเย็นไหลเวียน ซึ่งหมายถึงขึ้นอยู่กับอัตราการไหลเวียนและอุณหภูมิของน้ำเย็นที่มีการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาของวันและตามฤดูกาล โดยในช่วงที่อุณหภูมิสภาวะแวดล้อมต่ำ

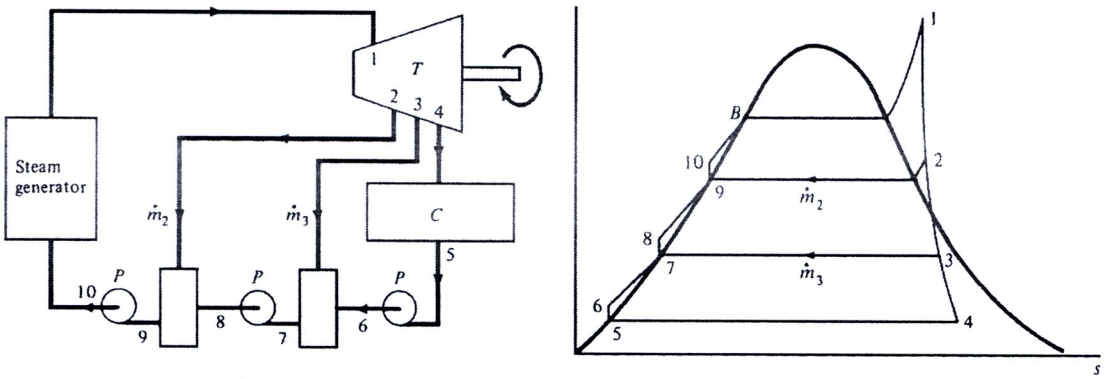
เช่นเวลากลางคืนหรือในฤดูหนาว น้ำไหลเวียนที่ด้านเข้าหอกลั่นจะมีอุณหภูมิต่ำทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนที่หอกลั่นเกิดขึ้นได้ดี ช่วงเวลากลางวันหรือในฤดูร้อนน้ำเย็นจะมีอุณหภูมิสูงประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนจะต่ำทำให้สภาพการเกิดสุญญากาศจึงเกิดขึ้นได้ยาก การบำรุงรักษาสภาพของระบบน้ำเย็นไหลเวียน การปนของอากาศ ความสกปรกของท่อน้ำ เป็นสิ่งที่จะต้องคอยดูแล เพื่อรักษาประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าให้ดีอยู่เสมอ



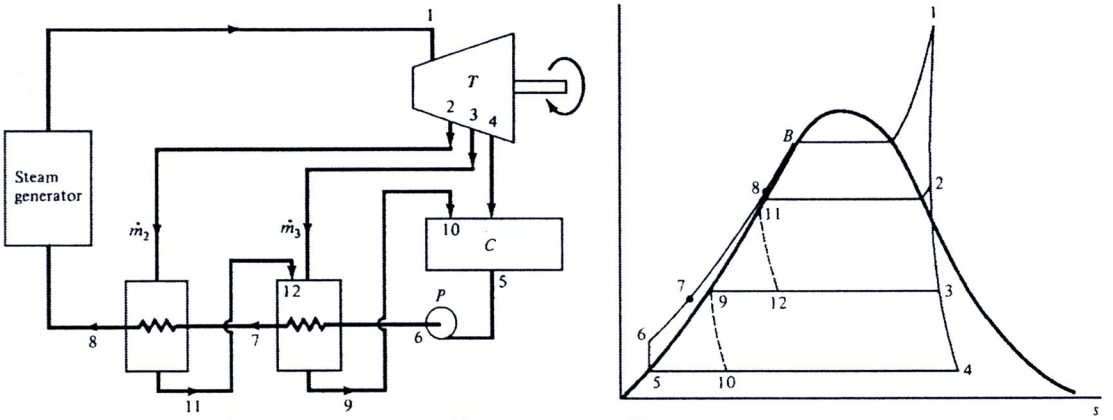
รูปที่ 3.33 หอผึ่งและระบบน้ำเย็นไหลเวียนกลับ

3.3.6 ระบบนำน้ำจากหอกลั่นไปสู่หม้อต้มน้ำ (Condensate Feed-water System)

น้ำจากหอกลั่นเข้าสู่หม้อต้มโดยปั๊ม (Condensate Pump) สูบน้ำจากถังพักน้ำ (Hotwell) ที่ควบแน่นแล้วมีอุณหภูมิประมาณ 120 °F เพื่อทำการอุ่นให้ร้อนขึ้นด้วยระบบอุ่นน้ำที่มีการออกแบบเฉพาะ ขึ้นอยู่กับขนาดโรงไฟฟ้า และความชำนาญของบริษัทผู้ออกแบบ เป็นต้น ดังรูปที่ 3.3 และ 3.4 แสดงระบบอุ่นน้ำแบบเปิดสองขั้นตอนและระบบอุ่นน้ำแบบปิดโดยใช้ไอน้ำย้อนกลับสองขั้นตอน



รูปที่ 3.34 ระบบอุ่นน้ำแบบเปิดสองขั้นตอน

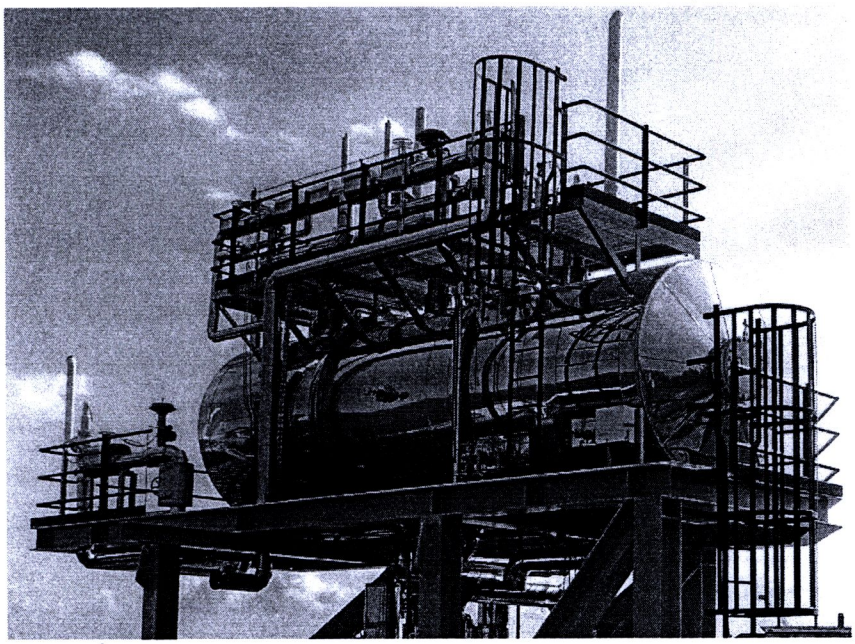


รูปที่ 3.35 ระบบอุ่นน้ำแบบปิดโดยใช้ไอน้ำย้อนกลับสองขั้นตอน

ระบบอุ่นน้ำอาจแยกเป็นระบบอุ่นน้ำปฐมภูมิ (Primary Heating System) โดยน้ำอุ่นที่ผ่านออกจะมีการเพิ่มความดันโดยใช้ปั๊มอัดแรงดัน (Booster Pumps) แล้วส่งเข้าเครื่องไล่อากาศออก (Deaerator) เพื่อไล่อากาศและก๊าซออกซิเจนที่ปนอยู่ในน้ำออกไป แล้วจึงทำการอุ่นเพื่อให้อุณหภูมิสูงขึ้นอีกโดยใช้ระบบอุ่นน้ำทุติยภูมิ (Secondary Heating System) ก่อนทำการเพิ่มความดันอีกครั้งเพื่อให้สูงกว่าความดันของหม้อต้มน้ำด้วยปั๊มเพิ่มความดัน (High Pressure Feed Water Pump)

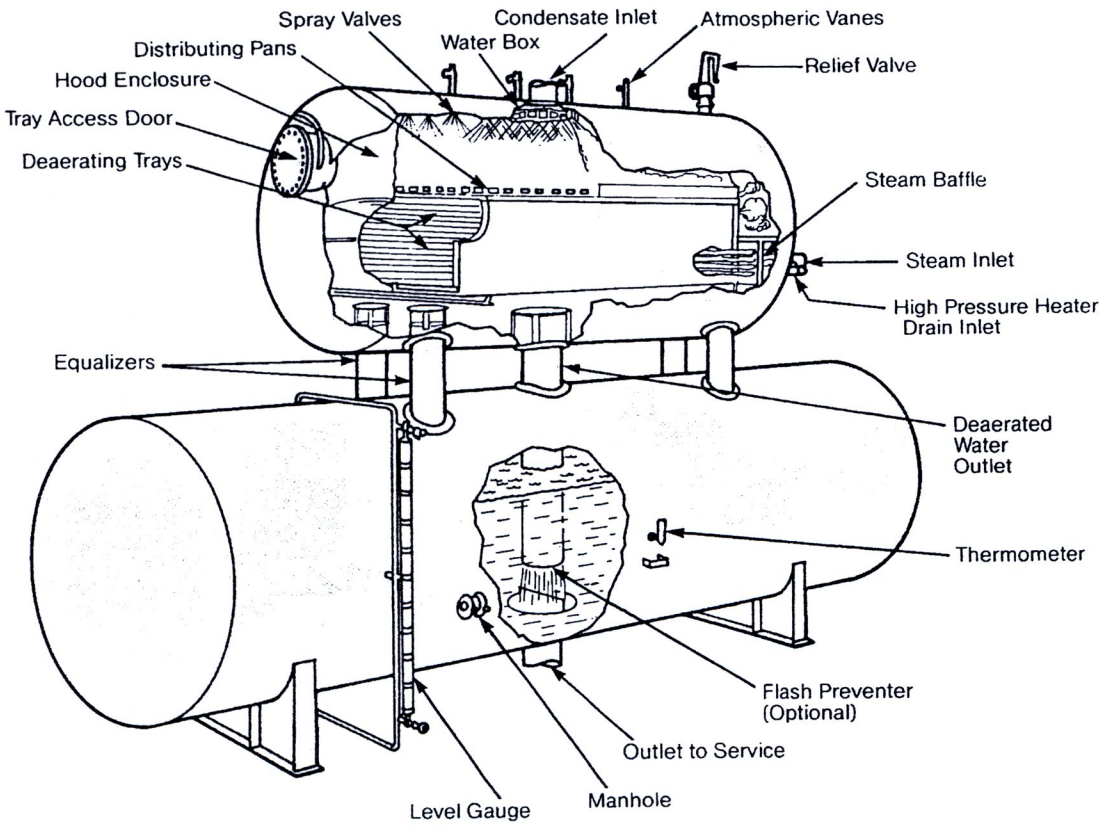
3.3.7 เครื่องไล่อากาศออก (Deaerator)

โดยปกติที่หอกลั่นจะมีการไล่อากาศออกบางส่วนโดยใช้อุปกรณ์ดูดอากาศหรือปั๊ม เพื่อรักษาสภาพสุญญากาศ แต่เนื่องจากการเติมสารเคมีเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำทำให้มีอากาศปนเข้าสู่ระบบอีก จึงต้องมีการไล่อากาศออกด้วยเครื่องไล่อากาศซึ่งมีลักษณะเป็นถังกลมมีโดมอยู่ข้างบน ดังรูปที่ 3.36



รูปที่ 3.36 ลักษณะเครื่องไล่อากาศออก

ลักษณะการทำงานของเครื่องไล่อากาศออกดังรูปที่ 3.37 จะเริ่มจากการดูดน้ำร้อนที่มีอากาศปนไปพักยังถังตอนล่างก่อนที่จะถูกดูดด้วยปั๊มและฉีดเป็นฝอยที่ตอนบนของโดม ละอองน้ำที่เป็นฝอยจะตกลงมายังถาดที่มีการบังคับทิศทางการไหลให้น้ำลงไปยังถังเก็บน้ำ ที่มีการไล่อากาศออกแล้ว (Deaerated Water) ทางตอนล่าง ในขณะที่อากาศที่ไม่สามารถกลั่นตัวได้ขณะถูกฉีดเป็นฝอย จะถูกดูดออกไปภายนอกระบบ

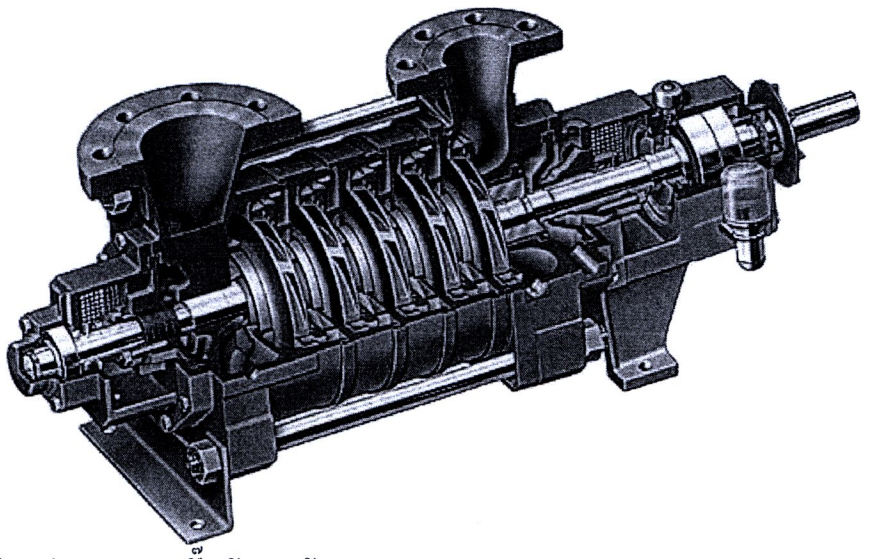


รูปที่ 3.37 ส่วนประกอบของเครื่องไล่อากาศออก

3.3.8 ปั๊มอัดแรงดัน (Feed Pump)

มีลักษณะเป็นปั๊มแรงเหวี่ยงทำงานหลายขั้นตอน (Multistage Centrifugal Pump) โดยน้ำที่ไหลเข้าปั๊มทางด้านขาเข้าจะถูกเหวี่ยงให้หมุนเพื่อเพิ่มความดันไปเรื่อยๆ ในแต่ละขั้นตอน ทำให้เกิดความดันตามแนวแกนขึ้นที่ตัวปั๊ม จึงใช้ตลับลูกปืน (Thrust Bearing) ร่วมกับกระบอกสูบ (Balance Piston) ที่ปลายด้านหนึ่งของปั๊มเพื่อทำให้ตำแหน่งของตัวปั๊มอยู่คงที่ตามแนวแกนตลอดเวลา

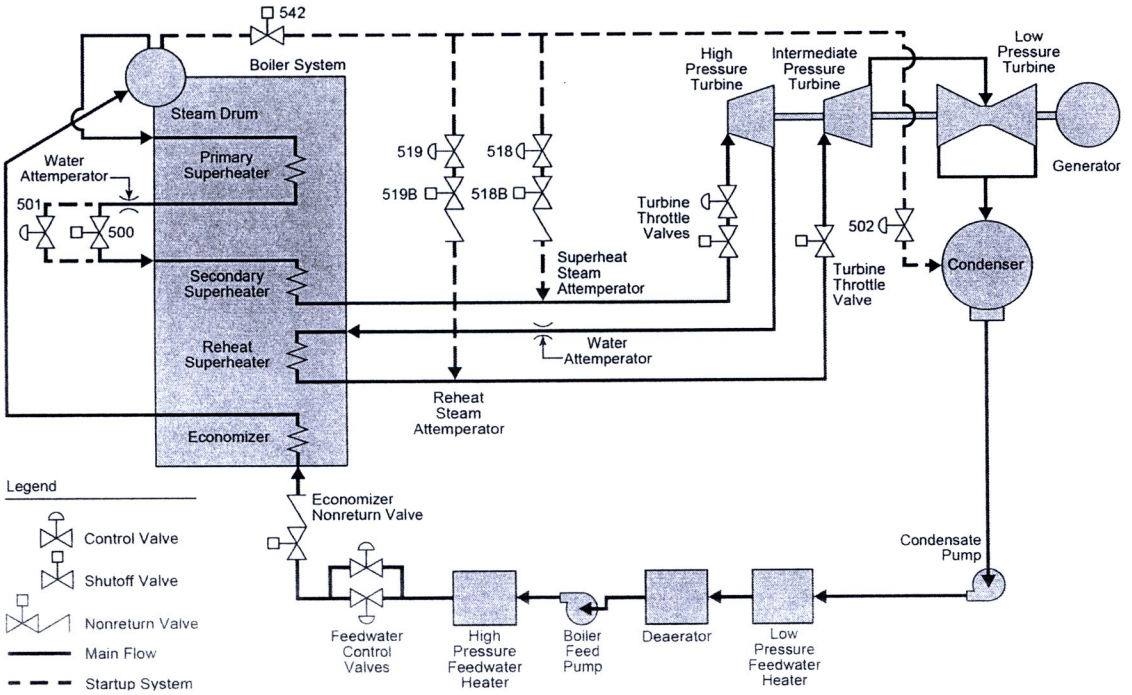
ในโรงงานไฟฟ้าบางแห่งจะมีการต่อแกนเพลาของปั๊มร่วมกับแกนของกังหัน ซึ่งในระหว่างการเริ่มทำงานไอน้ำยังไม่มีความดันพอที่จะหมุนปั๊ม จึงจำเป็นต้องใช้มอเตอร์ช่วยเริ่มทำงานแล้วจึงปลดออกภายหลังเมื่อความดันของไอน้ำสูงพอ



รูปที่ 3.38 ส่วนประกอบของปั๊มอัดแรงดัน

3.4 โรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงชีวมวล

โดยสรุปภาพรวมองค์ประกอบของโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงชีวมวล สามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 3.39

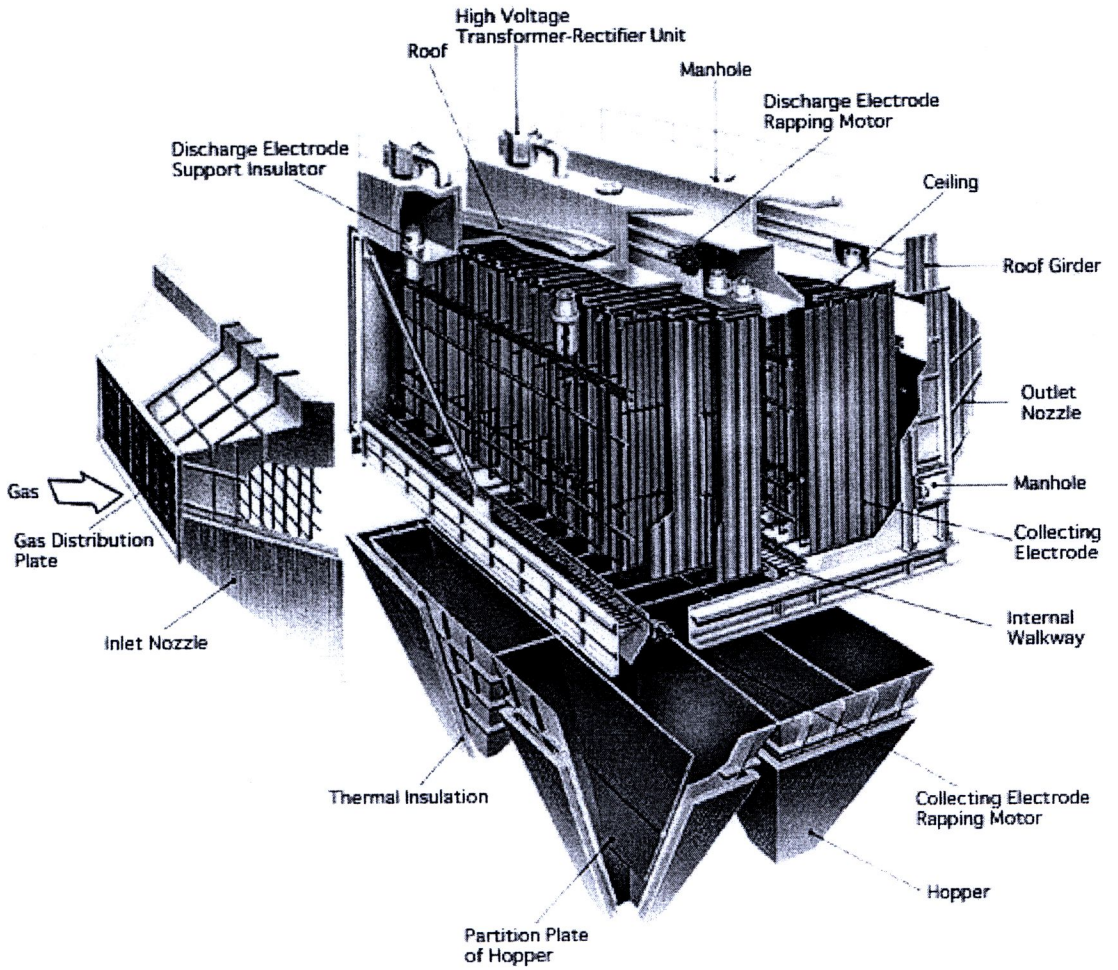


รูปที่ 3.39 แผนภาพโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิง

การออกแบบจริงอาจมีการปรับไปจากในรูปที่ 3.39 ขึ้นกับ ชนิดเชื้อเพลิง ขนาดพิกัดการจ่ายกำลังไฟฟ้า ซึ่งโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ส่วนประกอบต่างๆ ก็จะมีลักษณะซับซ้อนเพิ่มขึ้นเพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพ

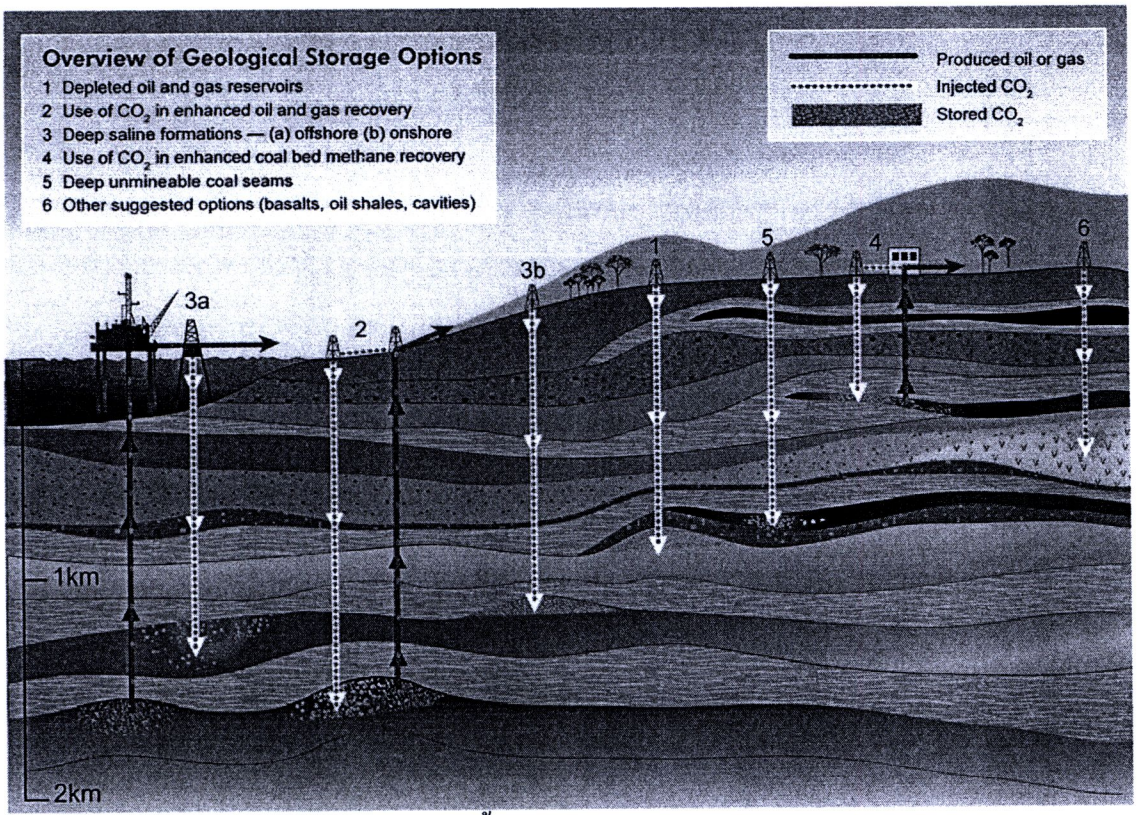
3.5 การควบคุมมลพิษ

อากาศร้อนก่อนปล่อยออกปล่องจะมีการควบคุมมลพิษ โดยการติดตั้งอุปกรณ์ฟอกอากาศแบบใช้ไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitator) ทำหน้าที่ดักจับอนุภาคที่มีส่วนผสมของออกไซด์ของก๊าซไนโตรเจนในรูป NO_x และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ดังแสดงในรูปที่ 3.40



รูปที่ 3.40 อุปกรณ์ดักจับอนุภาคของอากาศร้อนก่อนปล่อยออกปล่อง

นอกจากนั้นยังมีการวิจัยเพื่อลดภาวะโลกร้อนโดยลดการปล่อยก๊าซ CO_2 ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงออกสู่บรรยากาศ โดยการดักจับแล้วทำการจัดเก็บไว้ด้วยทางเลือกต่างๆ ที่ยังคงต้องการศึกษาและวิจัยเพิ่มเติม โดยแนวทางจัดเก็บที่มีความเป็นไปได้มากที่สุดคือการอัดฉีดเข้าไปในชั้นดินระดับลึกโดยมีการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้งานจริงแห่งแรกที่ Weyburn ในปี 2000 และในปี 2008 ได้มีโครงการนำร่องเริ่มทดลองใช้งานเพื่อศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้น ในโรงไฟฟ้า Schwarze Pumpe ในประเทศเยอรมัน ดังแสดงในรูปที่ 3.41



รูปที่ 3.41 แนวทางการจัดเก็บก๊าซ CO_2 ในชั้นดินระดับลึก