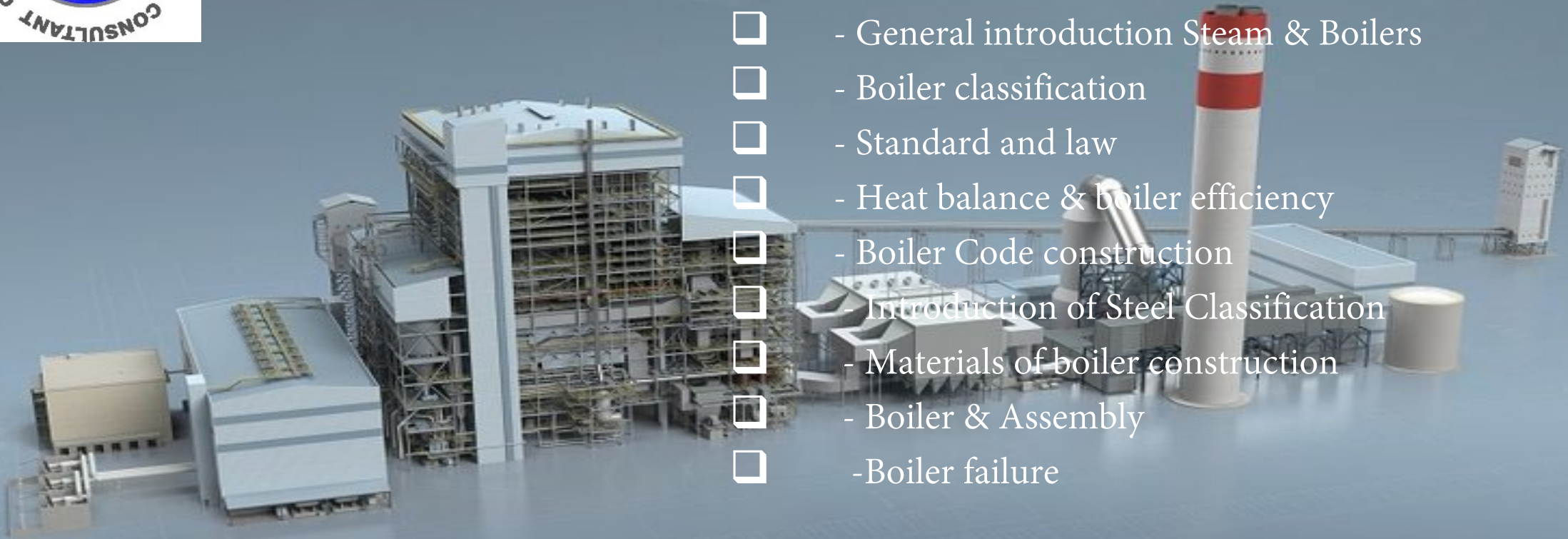




เอกสารประกอบการบรรยายเรื่อง Power boilers

- ☐ เอกสาร บรรยายส่วนที่ 1. Boiler & Assembly standard and law
- ☐ - General introduction Steam & Boilers
- ☐ - Boiler classification
- ☐ - Standard and law
- ☐ - Heat balance & boiler efficiency
- ☐ - Boiler Code construction
- ☐ - Introduction of Steel Classification
- ☐ - Materials of boiler construction
- ☐ - Boiler & Assembly
- ☐ - Boiler failure



Boiler , Steam Generator เครื่องกำเนิดไอน้ำ

บทนำ

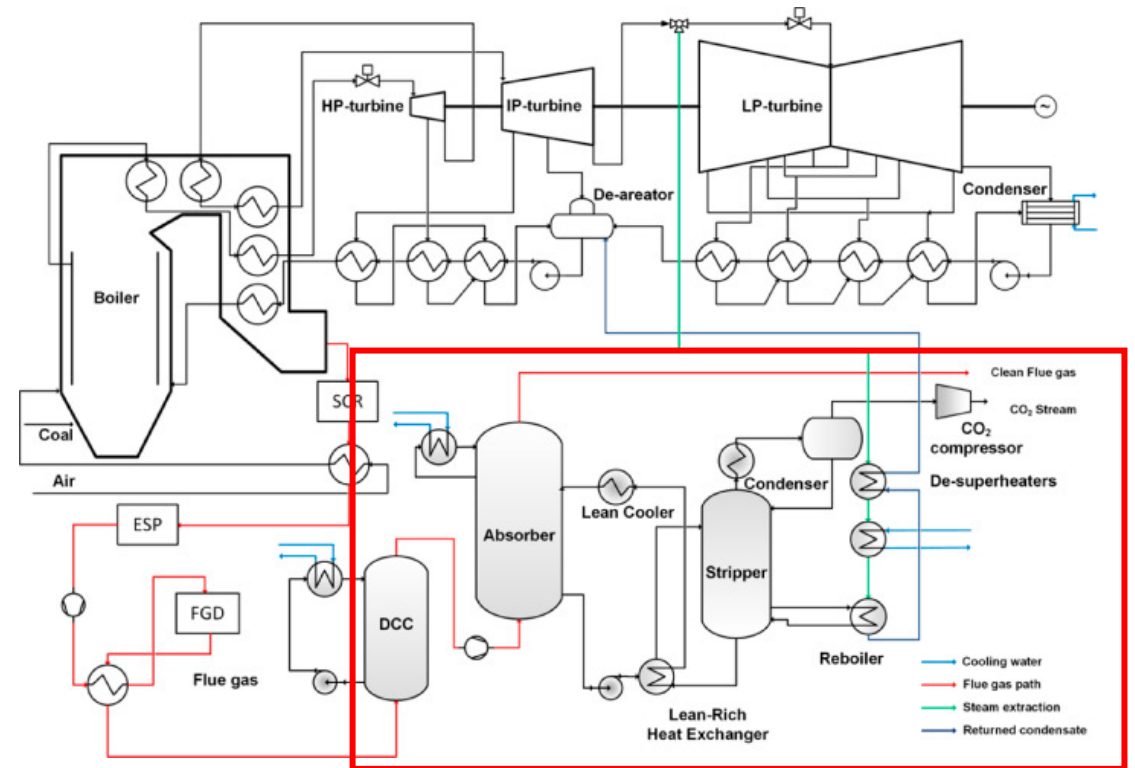
Boiler เป็นเป็นเครื่องจักร ทำหน้าที่ผลิตไอน้ำโดยเผาไหม้เชื้อเพลิงให้ความร้อนสู่น้ำจนกลายเป็นไอ ซึ่งน้ำเป็นตัวกลางที่หาได้ทั่วไป Boiler เป็นแหล่งให้ความร้อนหลัก ใน ระบบ วัฏจักร หรือกระบวนการ ทางเทอร์โมไดนามิกส์ เช่น วัฏจักรแรงคิน เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า กระบวนการ striping Process เพื่อแยกแก๊สออกจากกัน หรือ ออกจากของเหลว

ในประเทศไทยตามกฎหมายกำหนดให้ต้องมีผู้ดำเนินการใช้หม้อไอน้ำ ซึ่งต้องศึกษาจบชั้น ปวส.สาขาช่างกลโรงงาน ช่างยนต์ และผ่านการอบรมจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม และขนาดที่มากกว่า 20 T/h จะต้องมีวิศวกรเครื่องกล กำกับดูแลอีกด้วย

นอกจากนี้ยังกำหนดให้ตรวจสอบความปลอดภัยทุกปี สำหรับขนาด ที่มากกว่า 20T/h ต้องตรวจทุก 3 ปี โดยผู้ตรวจสอบรับรองต้องเป็นวิศวกรเครื่องกลที่ขึ้นทะเบียนเป็นผู้ตรวจสอบ และทำรายงานส่ง และมีความรับผิดชอบผูกพัน จักกว่าจะมีการตรวจสอบครั้งใหม่

และการออกแบบก็ต้องออกแบบโดยวิศวกรเครื่องกลเป็นผู้รับรอง และนอกจากนี้ยังต้องมี วิศวกรสิ่งแวดล้อมที่ต้องคำนวณรับรองเรื่องความปลอดภัยมลพิษจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงอีกด้วย

สำหรับ วิศวกรเคมี แม้กฎหมายจะไม่อนุญาตให้เป็นวิศวกรควบคุมหรือออกแบบ Boiler แต่แท้จริงในกระบวนการสร้าง หม้อไอน้ำขนาดใหญ่ ก็มีส่วนเกี่ยวข้องโดยตรงกับวิศวกรเคมี โดยใช้ความรู้ทางวิศวกรรมเคมีเช่น แต่ในส่วนของการบำบัดมลพิษทางอากาศของ Power Boiler ขนาดใหญ่ หรือ ระบบบำบัดเชื้อเพลิงพวก NG ,ระบบ The Carbon Capture Plant (CCP) [Amine-based CO₂],Distillation and Fractionation , Striping เป็นต้น ดังนั้นวิศวกรเคมีจึงควรจำเป็นต้องมีความรู้ในเรื่อง Steam Generator boiler ด้วย



กฎหมายที่เกี่ยวข้องหม้อไอน้ำได้แก่

ก. ประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการให้ความเห็นชอบในการตรวจสอบภายในหม้อไอน้ำ ทุกระยะเวลาเกินกว่า 1 ปี แต่ไม่เกิน 5 ปี ต่อการตรวจสอบหนึ่งครั้ง พ.ศ.2555

ข. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง คุณสมบัติน้ำสำหรับหม้อไอน้ำ พ.ศ.2549 ลงวันที่ 31 ต.ค. 2549

ค. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง มาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อไอน้ำ และหม้อต้มที่ใช้

ของเหลวเป็นสื่อทำความร้อน พ.ศ.2549 ลงวันที่ 31 ต.ค. 2549

ง. กฎกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดมาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อไอน้ำ หม้อต้มที่ใช้

ของเหลวเป็นสื่อทำความร้อน และภาชนะแรงดันในโรงงาน พ.ศ.2549 ลงวันที่ 30 พ.ค. 2549

จ. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง อุปกรณ์ความปลอดภัยสำหรับหม้อไอน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อทำความร้อน พ.ศ.2549 ลงวันที่ 31 ต.ค. 2549

ฉ. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องหลักเกณฑ์การตรวจทดสอบความปลอดภัยหม้อไอน้ำ หรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อทำความร้อนที่มีความดันต่ำกว่าบรรยากาศ พ.ศ.2548

ช. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องกำหนดค่าปริมาณเขม่าควันที่เจือปนในอากาศที่ระบายออกจากปล่องของหม้อไอน้ำของโรงงาน พ.ศ.2549

ซ. กฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการ ด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน เกี่ยวกับเครื่องจักร ปั่นจั่น และหม้อไอน้ำ พ.ศ.2552

ณ. กฎหมายอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น สิ่งแวดล้อม อาชีวอนามัยเป็นต้น

ญ. มาตรฐานวิชาชีพ ระบบหม้อไอน้ำ สภาวิศวกร

3.1 การตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหม้อน้ำทั่วไป

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงการตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหม้อน้ำทั่วไป ซึ่งจะบรรยายเฉพาะรายละเอียดในการทำการตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษา ทั้งหม้อน้ำแบบท่อไฟ หรือท่อน้ำ และไม่ว่าจะใช้เชื้อเพลิงชนิดใดก็ตาม ก็จะมีรายละเอียดที่เหมือนกัน ส่วนในรายละเอียดปลีกย่อยที่ขึ้นอยู่กับชนิดของหม้อน้ำ และฝั่งสัมผัสน้ำหรือไฟ สามารถศึกษาได้จากหัวข้อที่ 3.2 ถึง 3.5 โดยการตรวจสอบสภาพ และการบำรุงรักษาหม้อน้ำทั่วไป มีดังต่อไปนี้

(ก) การตรวจสอบความปลอดภัยหม้อน้ำประจำปี มีดังต่อไปนี้

- หม้อน้ำทุกเครื่องต้องมีการตรวจสอบความปลอดภัยในการใช้งานปีละครั้งตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องมาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อทำความร้อน พ.ศ. 2549 และกฎหมายของกระทรวงแรงงาน

- การตรวจสอบความปลอดภัยประจำปีหม้อน้ำ ต้องตรวจสอบโดยวิศวกรเครื่องกลระดับสามัญวิศวกรขึ้นไป ที่ขึ้นทะเบียนเป็นวิศวกรตรวจสอบหม้อน้ำกับกรมโรงงานอุตสาหกรรมเท่านั้น
- ต้องมีการตรวจสอบอย่างละเอียดจริงทุกครั้ง
- การออกไปรับรองความปลอดภัยในการใช้หม้อน้ำโดยไม่มีการตรวจสอบจริง จะเป็นอันตรายกับหม้อน้ำอย่างมาก
- รายละเอียดการตรวจสอบ ต้องปฏิบัติตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องมาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อน้ำและหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อทำความร้อน พ.ศ. 2549
- ทำความสะอาดอุปกรณ์ควบคุมระดับน้ำและควบคุมความดันทุกตัวด้วยทุกครั้ง
- ต้องตรวจสอบและปรับตั้งวาล์วนิรภัยทุกตัว
- ต้องมีการตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ความปลอดภัยของหม้อน้ำ (Functional test)
- ถ้ามีปลั๊กหลอมละลาย (Fusible plug) จะต้องเปลี่ยนปลั๊กหลอมละลายใหม่
- ต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องเที่ยงตรงของเกจวัดความดันไอน้ำของหม้อน้ำ
- ต้องมีการตรวจสอบประวัติการใช้งานและประวัติการซ่อมหม้อน้ำ
- ต้องมีการตรวจสอบว่าผู้ควบคุมหม้อน้ำมีความรู้ ความเข้าใจ ในการควบคุมหม้อน้ำ และต้องมีการปฏิบัติจริง

ชนิดของสารเจือปน (หน่วยวัด)	แหล่งที่มาของสารเจือปน	ค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่	
		ไม่มีการเผาไหม้ เชื้อเพลิง	มีการเผาไหม้ เชื้อเพลิง
1. ฝุ่นละออง (Total Suspended Particulate) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	ก. แหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้ - น้ำมันหรือน้ำมันเตา - ถ่านหิน - เชื้อเพลิงชีวมวล - เชื้อเพลิงอื่น ๆ ข. การกลึง หล่อหลอม รีดตีง และ/หรือผลิต อลูมิเนียม ค. การผลิตทั่วไป	- - - - 300 400	240 320 320 320 240 320
2. พลวง (Antimony) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	การผลิตทั่วไป	20	16
3. สารหนู (Arsenic) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	การผลิตทั่วไป	20	16
4. ทองแดง (Copper) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	การผลิตทั่วไป	30	24
5. ตะกั่ว (Lead)	การผลิตทั่วไป	30	24
6. ปรัอท (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	การผลิตทั่วไป	3	2.4
7. คลอรีน (Chlorine) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	การผลิตทั่วไป	30	24
8. ไฮโดรเจนคลอไรด์ (Hydrogen chloride) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	การผลิตทั่วไป	200	160
9. กรดกำมะถัน (Sulfuric acid) (ส่วนในล้านส่วน)	การผลิตทั่วไป	25	-
10. ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen sulfide) (ส่วนในล้านส่วน)	การผลิตทั่วไป	100	80
11. คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide) (ส่วนในล้านส่วน)	การผลิตทั่วไป	870	690

โครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านความปลอดภัยแก่สถานประกอบการ
: ความปลอดภัยในการใช้งานหม้อน้ำ

คู่มือการใช้งานและดูแลบำรุงรักษาหม้อน้ำ
ภาคผนวก ก กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับหม้อน้ำและหม้อต้มฯ

ชนิดของสารเจือปน (หน่วยวัด)	แหล่งที่มาของสารเจือปน	ค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่	
		ไม่มีการเผาไหม้ เชื้อเพลิง	มีการเผาไหม้ เชื้อเพลิง
12. ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur dioxide) (ส่วนในล้านส่วน)	ก. แหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้ - น้ำมันหรือน้ำมันเตา - ถ่านหิน - เชื้อเพลิงชีวมวล - เชื้อเพลิงอื่น ๆ ข. การผลิตทั่วไป	- - - - 500	950 700 60 60 -
13. ออกไซด์ของไนโตรเจน (Oxides of nitrogen) (ส่วนในล้านส่วน)	แหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้ - น้ำมันหรือน้ำมันเตา - ถ่านหิน - เชื้อเพลิงชีวมวล - เชื้อเพลิงอื่น ๆ	- - - -	200 400 200 200
14. ไซลีน (Xylene) (ส่วนในล้านส่วน)	การผลิตทั่วไป	200	-
15. ครีซอล (Cresol) (ส่วนในล้านส่วน)	การผลิตทั่วไป	5	-

ชนิดของอากาศเสีย	แหล่งที่มาของอากาศเสีย	ค่าปริมาณของอากาศเสียที่ปล่อยทิ้งจาก	
		กระบวนการผลิตที่ไม่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง	กระบวนการผลิตที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง
1. ฝุ่นละออง (Total Suspended Particulate) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	1.1 หม้อไอน้ำ หรือ แหล่งกำเนิด ความร้อนที่ใช้เชื้อเพลิง ดังนี้ (1) น้ำมันเตา (2) ถ่านหิน (3) ซิ่วมวล (4) เชื้อเพลิงอื่นๆ 1.2 การถลุง หล่อหลอม รีดตีง และ/หรือผลิต อะลูมิเนียม 1.3 กระบวนการผลิต	- - - - ไม่เกิน 300 ไม่เกิน 400	ไม่เกิน 240 ไม่เกิน 320 ไม่เกิน 320 ไม่เกิน 320 ไม่เกิน 240 ไม่เกิน 320
2. ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur dioxide) (ส่วนในล้านส่วน)	2.1 หม้อไอน้ำ หรือ แหล่งกำเนิด ความร้อนที่ใช้เชื้อเพลิง ดังนี้ (1) น้ำมันเตา (2) ถ่านหิน (3) ซิ่วมวล (4) เชื้อเพลิงอื่นๆ 2.2 กระบวนการผลิต	- - - - ไม่เกิน 500	ไม่เกิน 950 ไม่เกิน 700 ไม่เกิน 60 ไม่เกิน 60 -
3. ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ซึ่งคำนวณในรูปของก๊าซ ไนโตรเจนไดออกไซด์ (Oxides of nitrogen as Nitrogen dioxide) (ส่วนในล้านส่วน)	หม้อไอน้ำ หรือแหล่งกำเนิด ความร้อน ที่ใช้เชื้อเพลิง ดังนี้ (1) น้ำมันเตา (2) ถ่านหิน (3) ซิ่วมวล (4) เชื้อเพลิงอื่นๆ	- - - -	ไม่เกิน 200 ไม่เกิน 400 ไม่เกิน 200 ไม่เกิน 200
4. ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide) (ส่วนในล้านส่วน)	กระบวนการผลิต	ไม่เกิน 870	ไม่เกิน 690
5. ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen sulfide) (ส่วนในล้านส่วน)	กระบวนการผลิต	ไม่เกิน 100	ไม่เกิน 80

ชนิดของอากาศเสีย	แหล่งที่มาของอากาศเสีย	ค่าปริมาณของอากาศเสียที่ปล่อยทิ้งจาก	
		กระบวนการผลิตที่ไม่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง	กระบวนการผลิตที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง
6. ก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์ (Hydrogen Chloride) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	กระบวนการผลิต	ไม่เกิน 200	ไม่เกิน 160
7. กรดกำมะถัน (Sulfuric acid) (ส่วนในล้านส่วน)	กระบวนการผลิต	ไม่เกิน 25	-
8. ไซลีน (Xylene) (ส่วนในล้านส่วน)	กระบวนการผลิต	ไม่เกิน 200	-
9. ครีซอล (Cresol) (ส่วนในล้านส่วน)	กระบวนการผลิต	ไม่เกิน 5	-
10. พลวง (Antimony) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	กระบวนการผลิต	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 16
11. สารหนู (Arsenic) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	กระบวนการผลิต	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 16
12. ทองแดง (Copper) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	กระบวนการผลิต	ไม่เกิน 30	ไม่เกิน 24
13. ตะกั่ว (Lead) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	กระบวนการผลิต	ไม่เกิน 30	ไม่เกิน 24
14. คลอรีน (Chlorine) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	กระบวนการผลิต	ไม่เกิน 30	ไม่เกิน 24
15.ปรอท (Mercury) (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	กระบวนการผลิต	ไม่เกิน 3	ไม่เกิน 2.4

Boiler (Steam generator)

Definition :A closed vessel or arrangement of vessels and tubes, together with a furnace or other heat source, in which steam or other vapor is generated from water to drive turbines or engines, supply heat, process certain materials, etc

ความหมาย : กฎกระทรวงกรมโรงงานอุตสาหกรรมกระทรวงอุตสาหกรรมให้คำนิยามไว้ ดังนี้

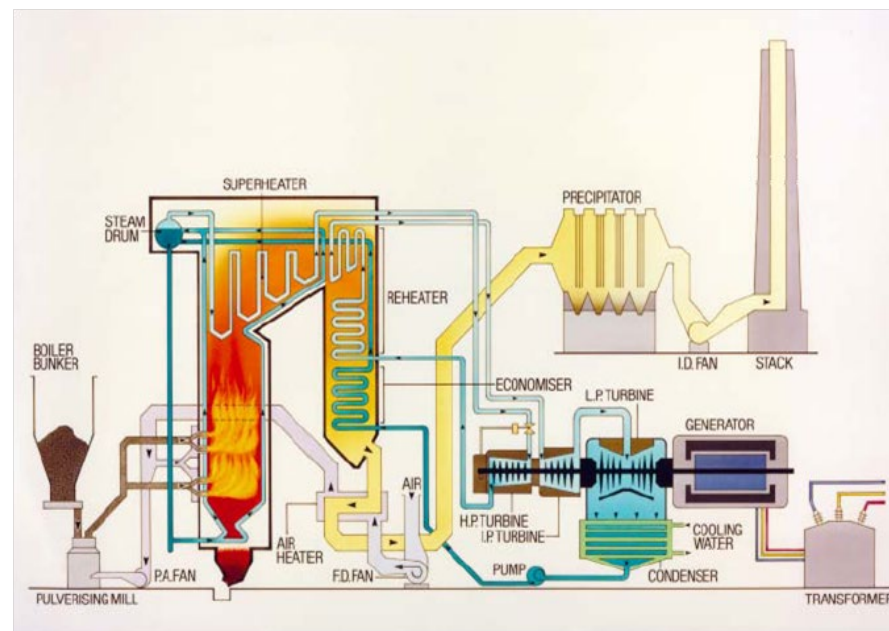
“หม้อไอน้ำ (boiler) หมายความว่า

(1) ภาชนะปิดสำหรับบรรจุน้ำที่มีปริมาตรความจุเกิน 2 ลิตรขึ้นไปเมื่อได้รับความร้อนจากการสันดาปของเชื้อเพลิงหรือแหล่งพลังงาน ความร้อนอันนี้จะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำภายใต้ความดันมากกว่า 1.5 เท่าของความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเล

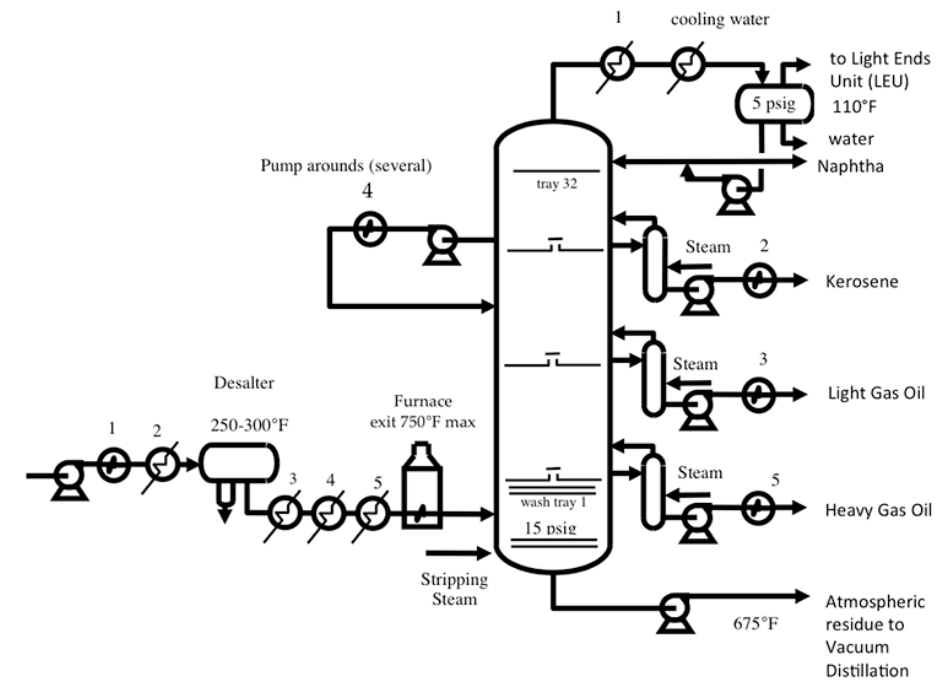
(2) ภาชนะปิดสำหรับบรรจุน้ำซึ่งใช้ในการผลิตน้ำร้อนที่มีพื้นที่ผิวรับความร้อนตั้งแต่ 8 ตารางเมตรขึ้นไป

Boiler in the industry:

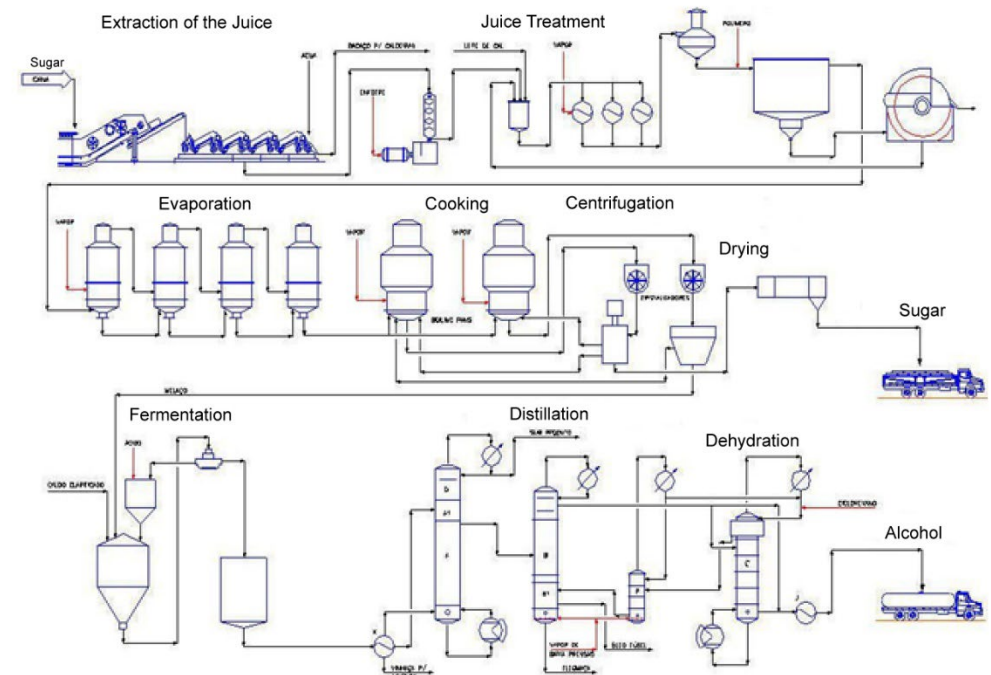
- Power Plant (steam turbine)



Refinery & chemical plant



Sugar cane factory



Boiler classification :

Boiler Tube

- Fire tube, flue tube
- Water tube
- Combine tube

End used

- Industrial boilers
- Utility boilers
- Marine boilers
- Nuclear boilers

Operating pressure

- Subcritical boiler
- Super critical boiler

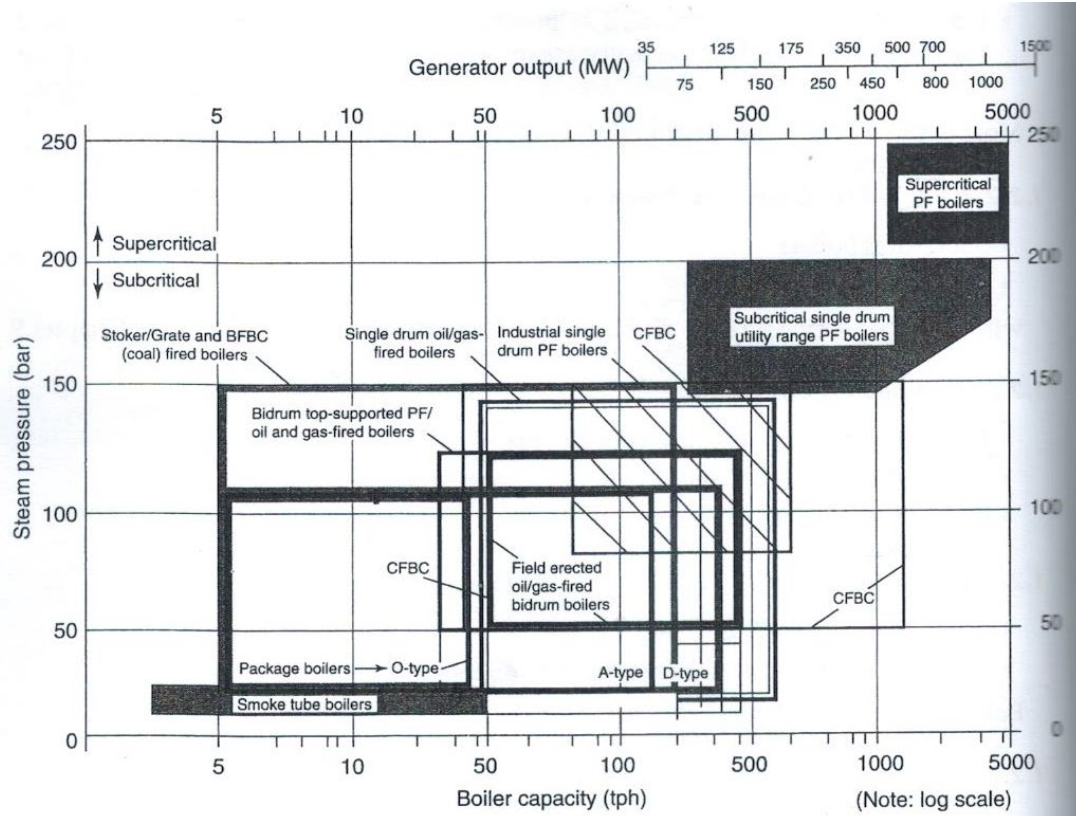
construction

- Package boiler
- Field erected boiler

Type of firing

- Stocker-fire boiler
- Bubbling fluidized bed combustion boiler
- Circulation fluidized bed combustion boiler
- Pulverized fuel (PF) boilers
- Waste heat boilers

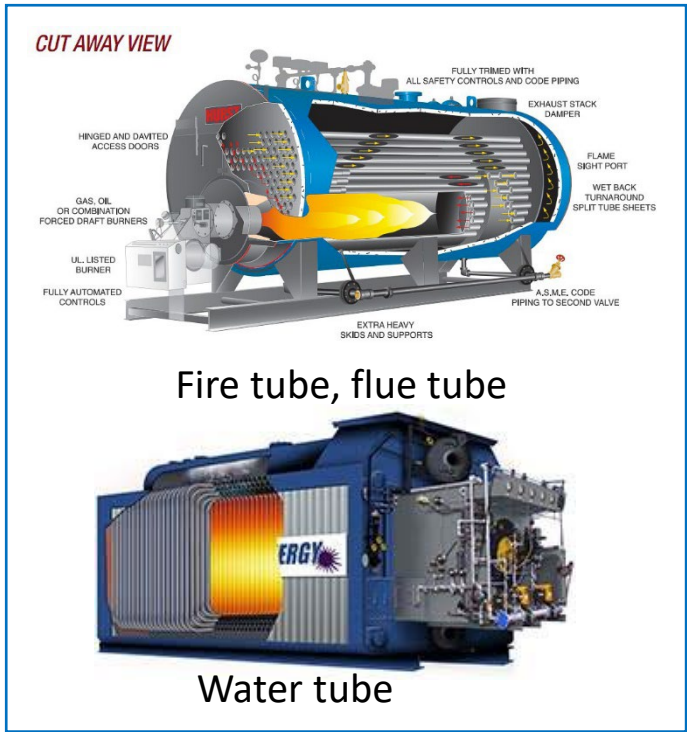
Rage and diversity of boiler:



Range of steam generator along with electric power equivalent

Boilers are various shapes and size to burn a variety of fuel to produce varying amount of steam

The kind of boiler on a various capacity is shown on the log graph help to accommodate to sight entire range

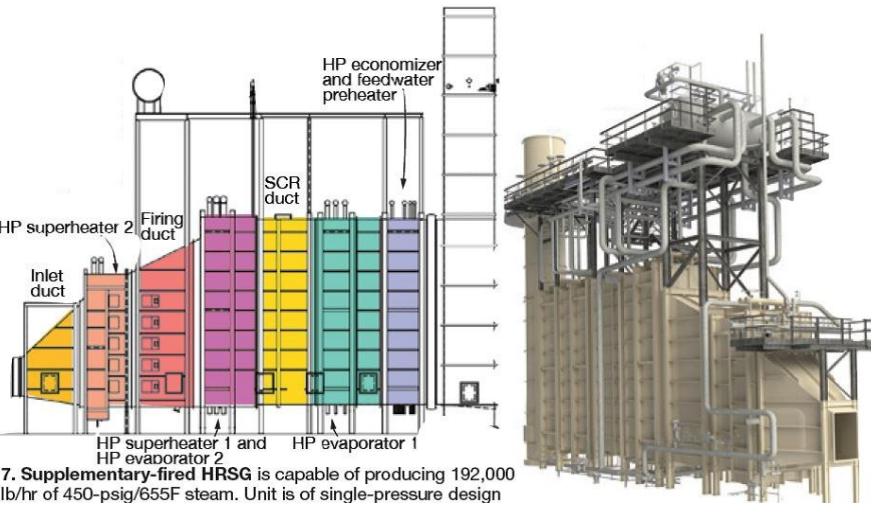


Fire tube, flue tube



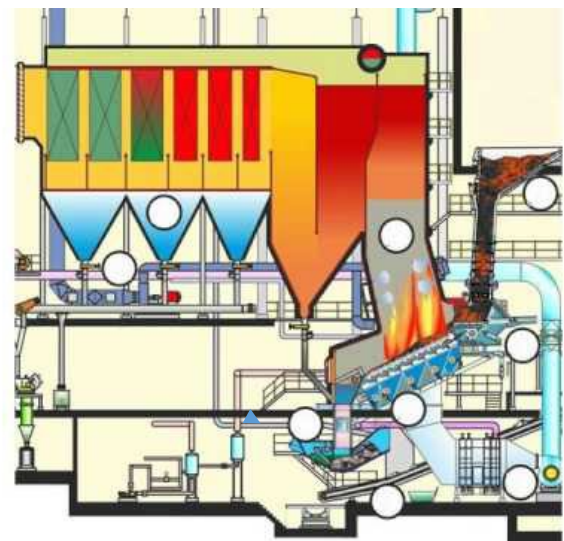
Water tube

Package boiler

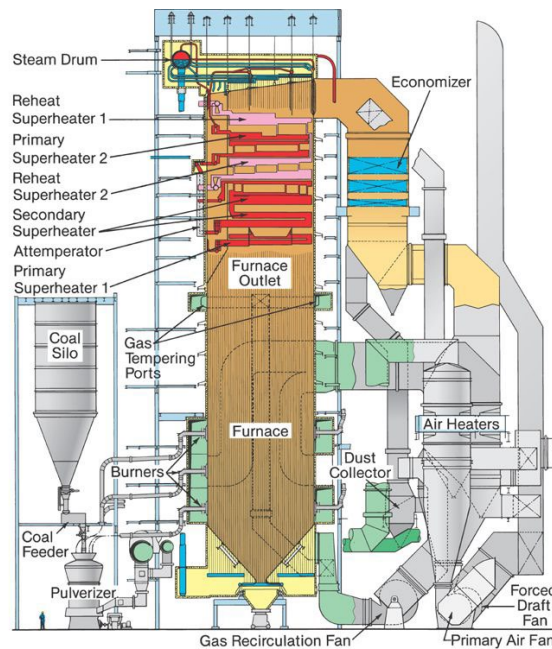


7. Supplementary-fired HRSG is capable of producing 192,000 lb/hr of 450-psig/655F steam. Unit is of single-pressure design

Waste heat boiler (HRSG)

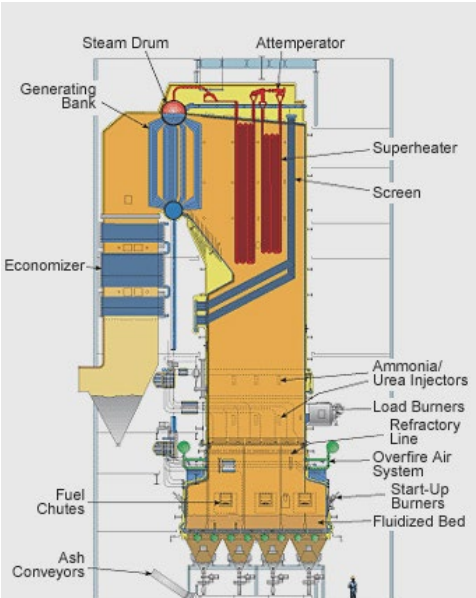


Stocker fire boiler



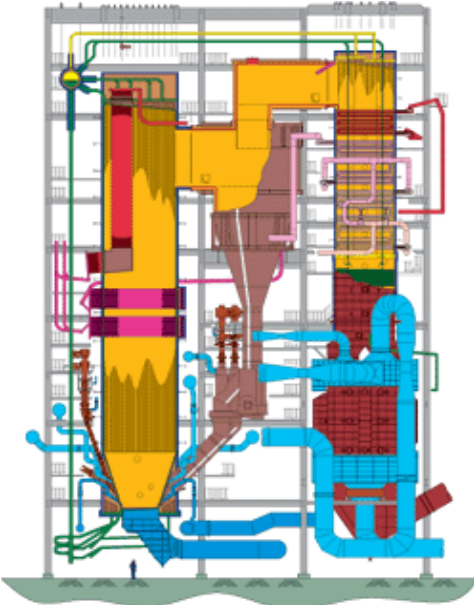
Pulverized fuel boilers

Filed erection

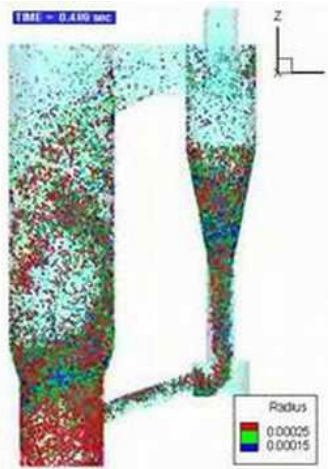


fluidized bed (Sand, dolomite, lime)

fluidized bed combustion boiler (FBC)

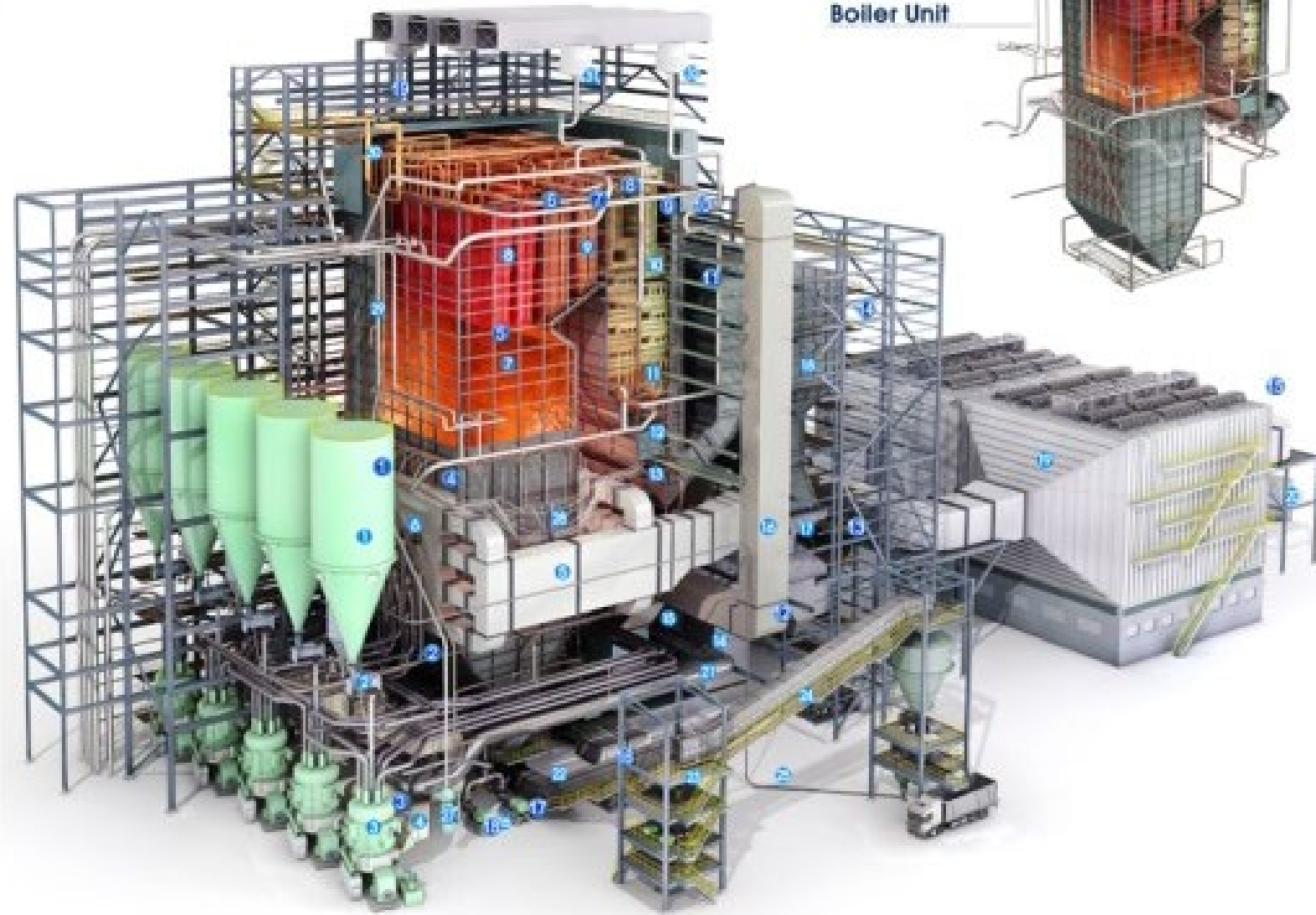


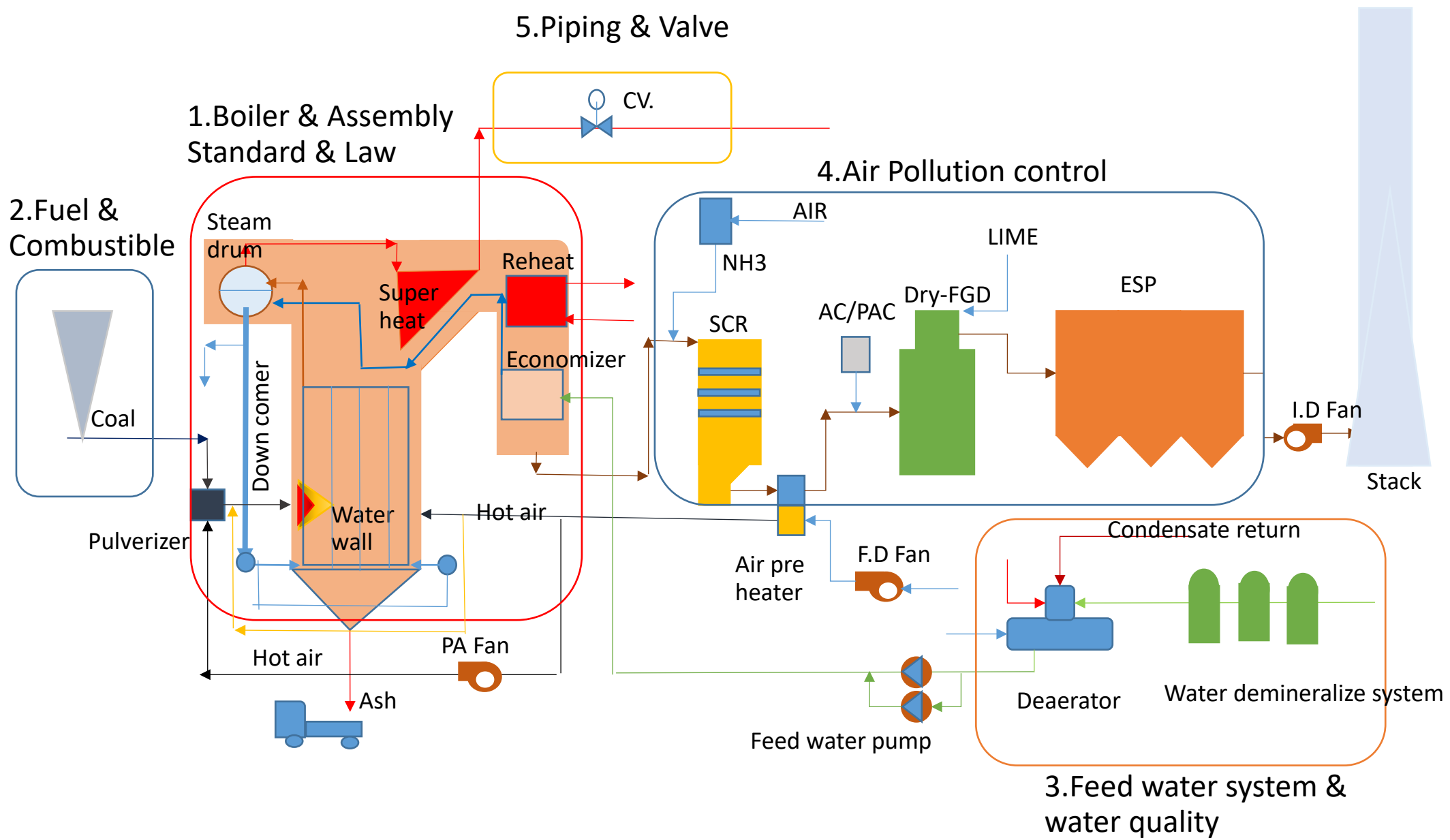
Circulation fluidized bed combustion boiler (CFBC)



DESCRIPTION OF COMPONENTS

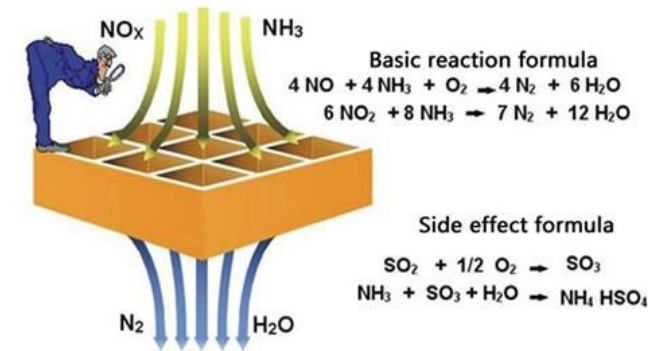
- ① Coal Silo
- ② Coal Feeder
- ③ Coal Pulverizer
- ④ Burner
- ⑤ Furnace
- ⑥ Platen S.H. Assemblies
- ⑦ Final S.H. Assemblies
- ⑧ Final R.H. Assemblies
- ⑨ Primary R.H. Assemblies
- ⑩ Primary S.H. Assemblies
- ⑪ Economizer Assemblies
- ⑫ Forced Draft Fan
- ⑬ Gas Air Preheater
- ⑭ SCR
- ⑮ Combined Induced Draft Fan
- ⑯ Dry Bottom Ash System
- ⑰ Sealing Air Fan
- ⑱ Boiler Recirculation Pump
- ⑲ Separator
- ⑳ Hot Reheat Silencer
- ㉑ Cold Reheat Silencer



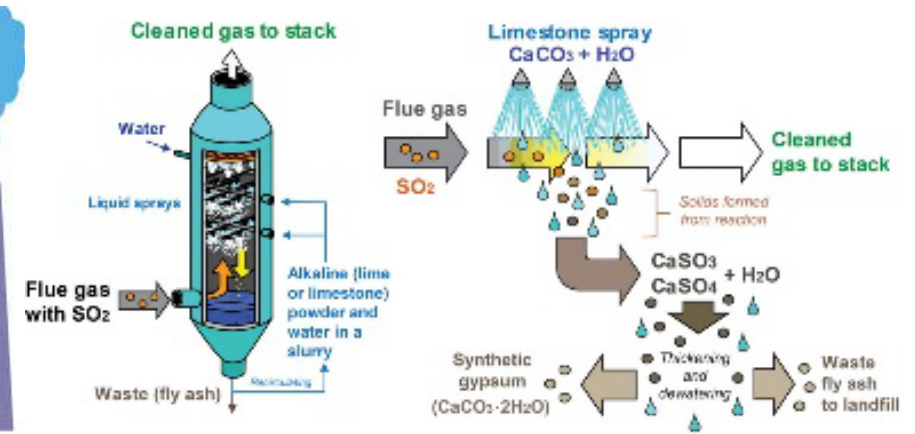
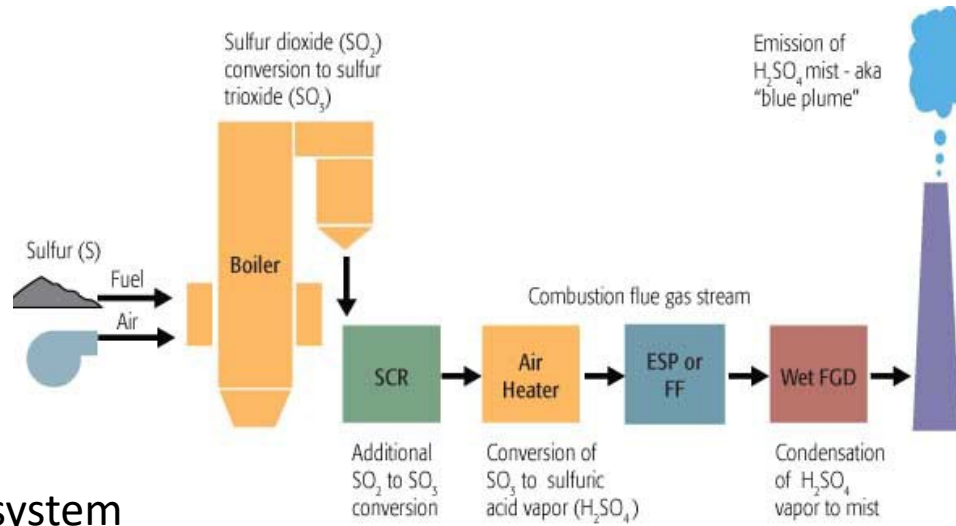


Subjective of studying

SCR system basic chemical reaction process

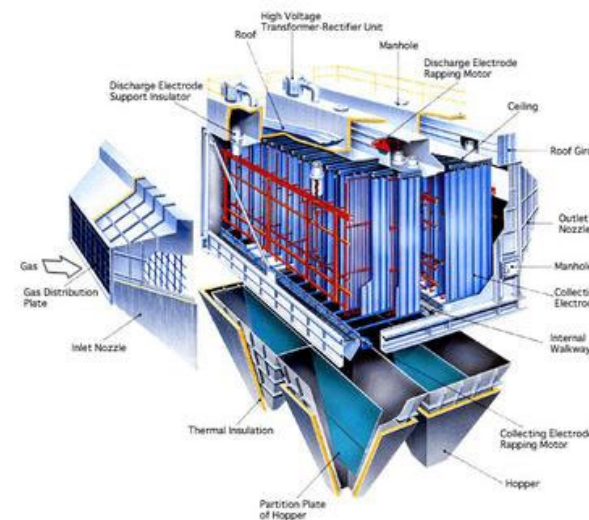


Selective catalytic reduction system

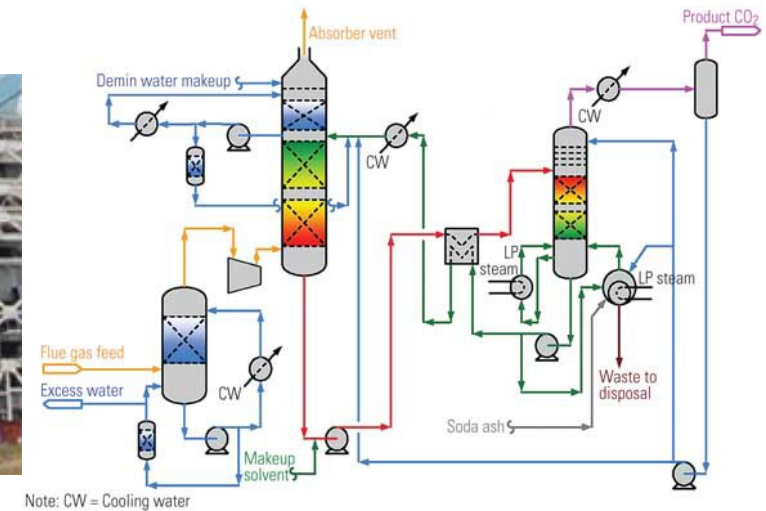


Flue gas desulfurization

Notes: ESP = electrostatic precipitator, FF = fabric filter, FGD = flue gas desulfurization system, SCR = selective catalytic reduction system.



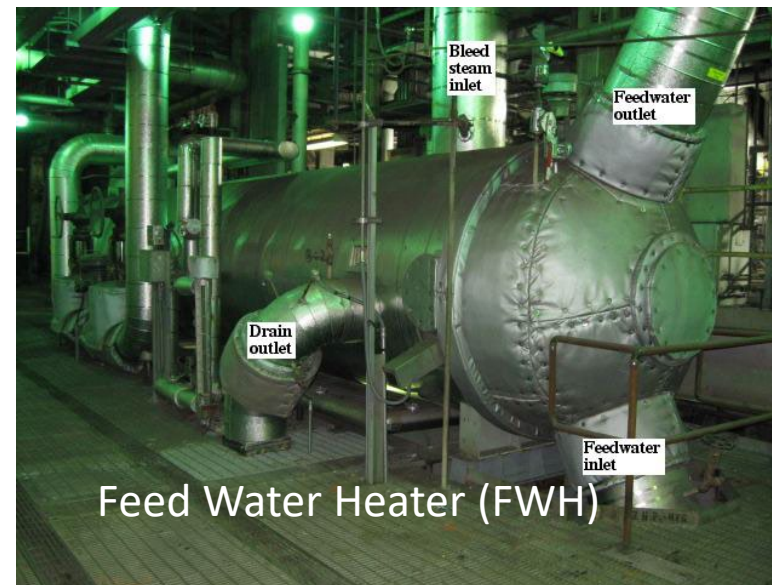
Electrostatic precipitator



Carbon capture plant



Water treatment plant



Feed Water Heater (FWH)



Deaerator tank



Feed Water Pump



Boiler plant



CCP plant



Pulverized system



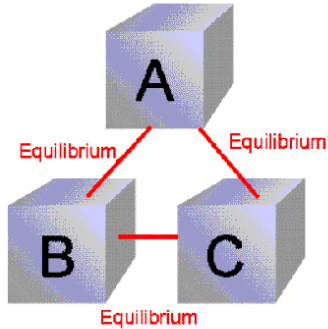
Control Valve



Ash management

Zeroth law of Thermodynamic [Thermal Equilibrium]

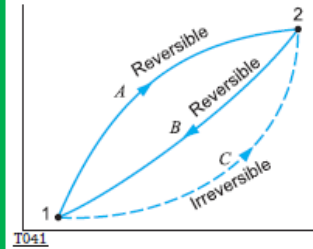
The Zeroth Law



(C) C. Mohr-Peters, Editor: Property: 7.00104, 2006/11/01

When two objects are separately in Thermodynamic equilibrium with a third object, they are in equilibrium with each other (Same temperature)

Second law of Thermodynamic (Entropy of system + environment to increase for irreversible)



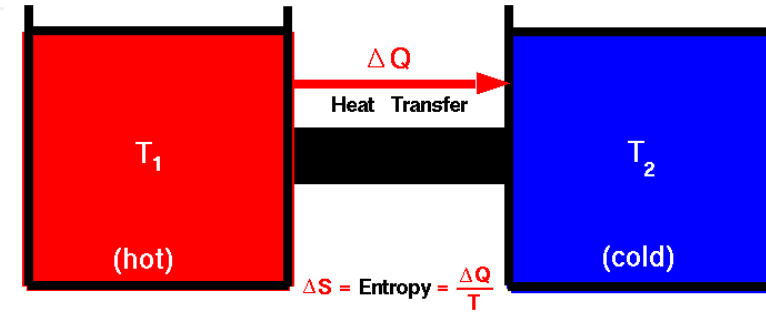
- For reversible process: $\oint \frac{\delta q}{T} = 0$
 $\Rightarrow \oint \frac{\delta q}{T} = \int_1^2 \left(\frac{\delta q}{T} \right)_A + \int_2^1 \left(\frac{\delta q}{T} \right)_B = 0$ ①
- For irreversible process: $\oint \frac{\delta q}{T} < 0$
 $\Rightarrow \oint \frac{\delta q}{T} = \int_1^2 \left(\frac{\delta q}{T} \right)_C + \int_2^1 \left(\frac{\delta q}{T} \right)_B < 0$ ②
- ① - ② $\Rightarrow \int_1^2 \left(\frac{\delta q}{T} \right)_A > \int_1^2 \left(\frac{\delta q}{T} \right)_C$

- Since path A is reversible, and since entropy is a property

$$\int_1^2 \left(\frac{\delta q}{T} \right)_A = \int_1^2 ds_A = \int_1^2 ds_C \Rightarrow \int_1^2 ds_C > \int_1^2 \left(\frac{\delta q}{T} \right)_C$$

- Since path C is arbitrary, for irreversible process

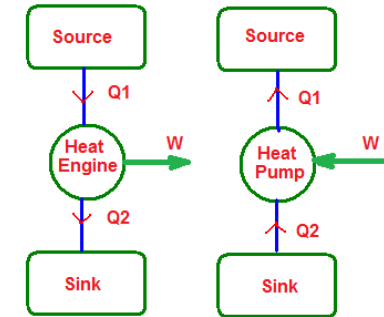
$$ds > \frac{\delta q}{T} \Rightarrow s_2 - s_1 > \int_1^2 \left(\frac{\delta q}{T} \right)_{\text{irrev}}$$



There exists a useful thermodynamic variable called entropy (S). A natural process that starts in one equilibrium state and ends in another will go in the direction that causes the entropy of the system plus the environment to increase for an irreversible process and to remain constant for a reversible process.

$$S_f = S_i \text{ (reversible)}$$

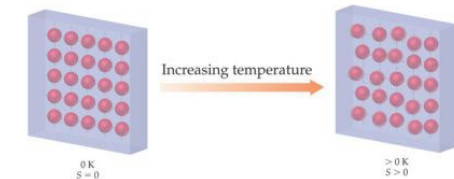
$$S_f > S_i \text{ (irreversible)}$$



Third law of Thermodynamic

At absolute zero (0 K) temperature, theoretically all modes of motion stops (no vibration, no rotation and no translation!)

Thus, the 3rd Law of Thermodynamics states that the entropy of a pure crystalline substance at absolute zero is 0.



First law of Thermodynamic (Conservation of energy)

The First Law of Thermodynamics

$$\Delta U = Q - W$$

$$= Q - P^* \Delta V$$

ΔU = internal energy change

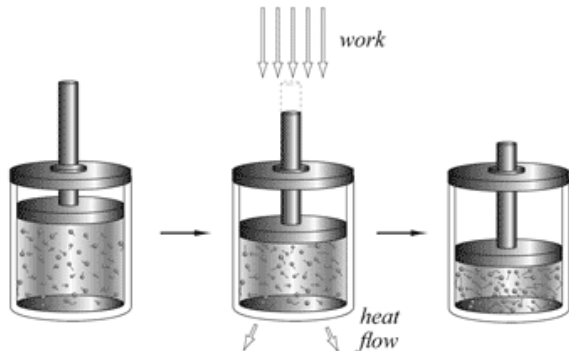
Q = heat flow

W = macroscopic work

P^* = constant pressure

ΔV = volume change

Internal energy change results from the combination of heat flow and work between the system and its surroundings. In this example, the internal energy of our ideal gas system became greater (the particles are moving faster in the final state) because more energy entered the system through work than departed the system as heat flow.



Process	Relationship between p, V, T	Work (W)	Internal-energy change ($U_2 - U_1$)	Heat (Q)
constant pressure	$p = \text{constant}$ $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$	$p(V_2 - V_1)$	$mc_v(T_2 - T_1)$	$mc_p(T_2 - T_1)$ $Q = (U_2 + pV_2) - (U_1 + pV_1)$ =h2-h1
constant volume	$V = \text{constant}$ $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$	0	$mc_v(T_2 - T_1)$	$Q = U_2 - U_1$ $Q = mc_v(T_2 - T_1)$
isothermal	$T = c$ $p_1V_1 = p_2V_2$	$p_1V_1 \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$	0	$Q = W$ $Q = p_1V_1 \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$
polytropic	$pV^n = \text{constant}$ $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{n-1}$ $\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{n}{n-1}}$	$\frac{p_1V_1 - p_2V_2}{n-1}$	$mc_v(T_2 - T_1)$	$Q = W + U_2 - U_1$
adiabatic	as for polytropic with $n = \gamma$	as for polytropic with $n = \gamma$	$mc_v(T_2 - T_1)$	0

Steam properties

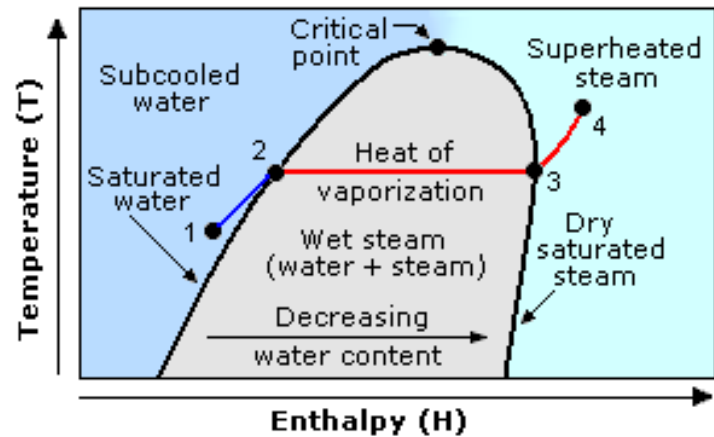
The properties of steam relation in each status

Properties	Units
Temperature(T)	K
Pressure(P)	Mpa
Specific volume(V)	Kg/m ³
Specific Enthalpy (h)	KJ/Kg
Entropy(S)	KJ/Kg-K

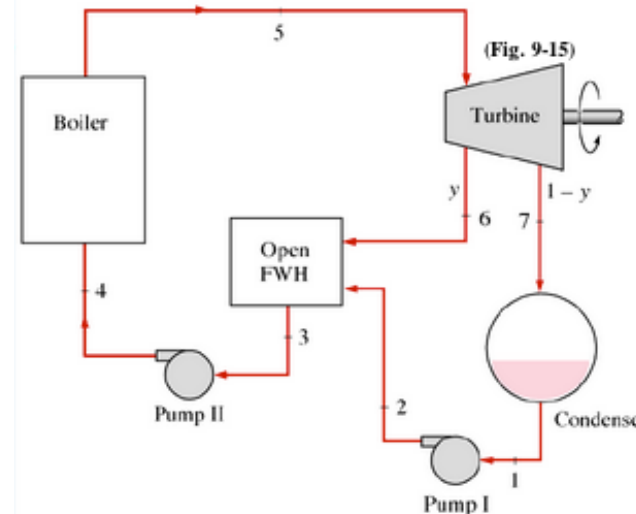
$$dh = Tds + Vdp$$

$$dh = U + Vdp$$

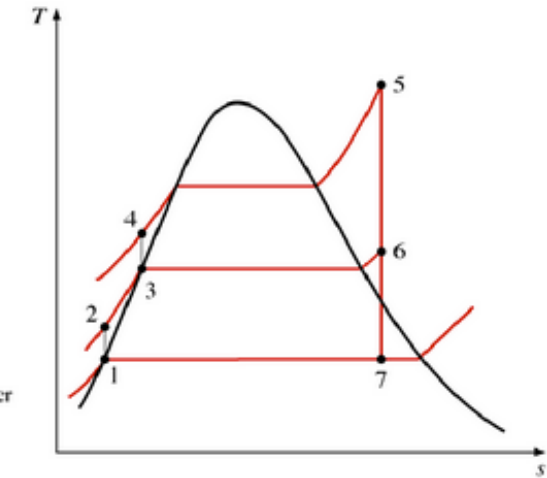
- 1 to 2 : Water is heated from T_1 to T_2
- 2 to 3 : Water vaporized into dry steam at constant temperature and pressure
- 3 to 4 : Dry steam is superheated to T_4
- : A line of constant pressure (isobar)



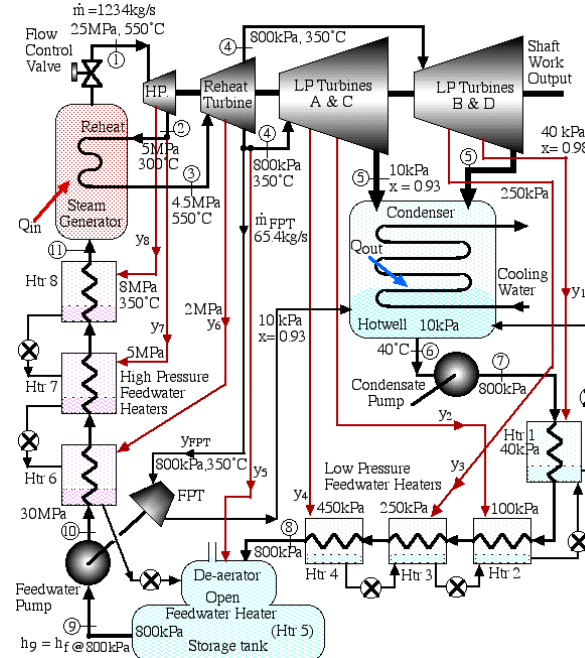
T-H DIAGRAM OF WATER TO STEAM
(Converting water into superheated steam)



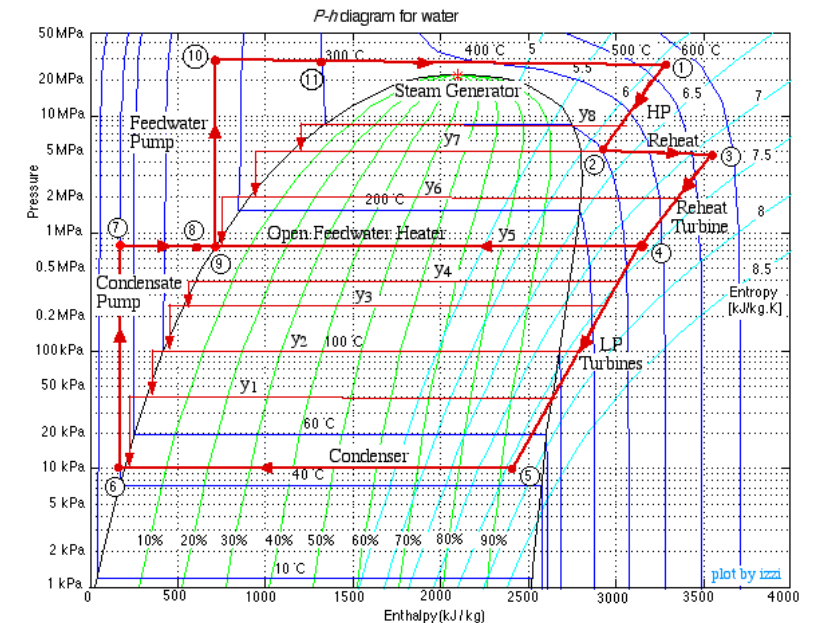
Schematic of steam power plant



T-S diagram



Schematic of steam power plant



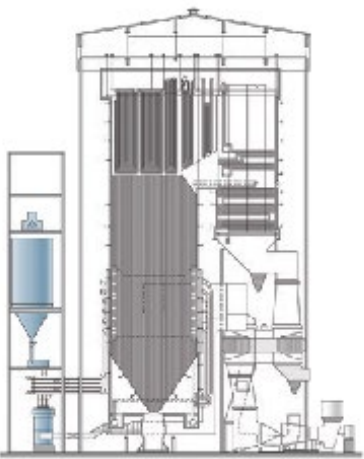
P-H diagram

Boiler Specification :

Boiler capacity units

- Steam flow
Kg/h , Kg/s, lb/h
- Heat duty then evaporative
Mkcal/h ,MWth,Mbtu/h

Two-pass boiler



Bituminous, sub-bituminous

Capacity

Up to 1,350 MWe

Up to 330 bar /
650°C / 670°C

DRH 330 bar / 650°C
/670°C/670°C

Typical fuels

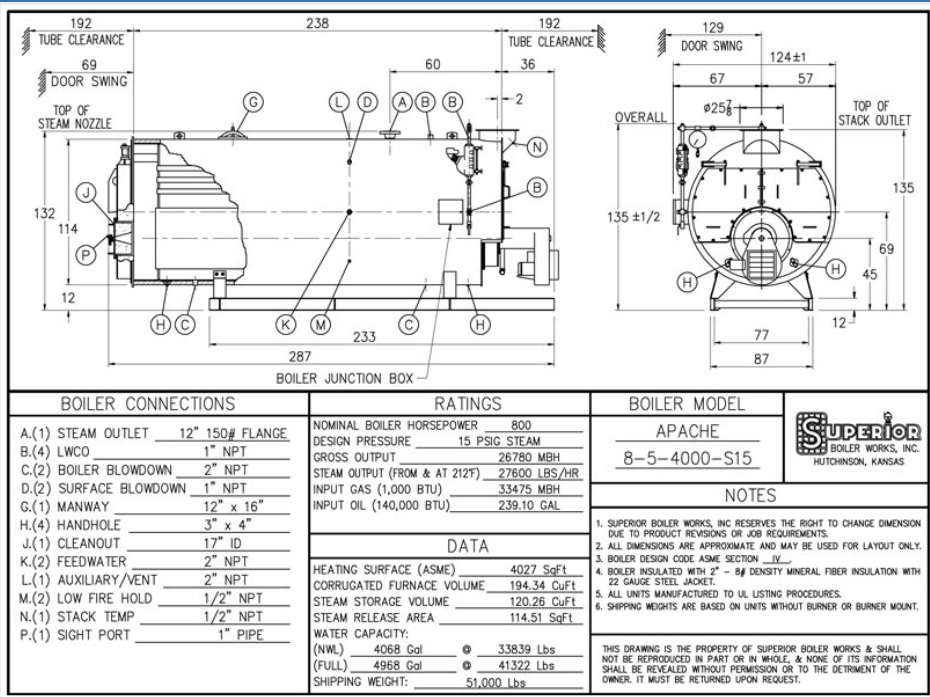
Bituminous, sub-bituminous

Lignite A

Oil and gas

Units conversion

Multiply	BY	to get
Boiler Horsepower (BHP)	34.5	Lb. of Steam (Water per hour (lb/hr)
Boiler Horsepower (BHP)	0.069	Gallons of Water per Minute (GPM)
Boiler Horsepower (BHP)	33,479	B.T.U.
Boiler Horsepower (BHP)	139	Square feet of Equivalent Direct Radiation (Sq. Ft. EDR)



- Package units boiler
kcal/h, Btu/h, BHP,
T/h,Kg/h

Maximum Continuous Rating (MCR)

MCR is the ability of the boiler to generate and supply the declared amount of steam continuously and effortlessly without any kind of short fall or side effects (such as overheating or slagging or overloading on the main boiler or auxiliaries

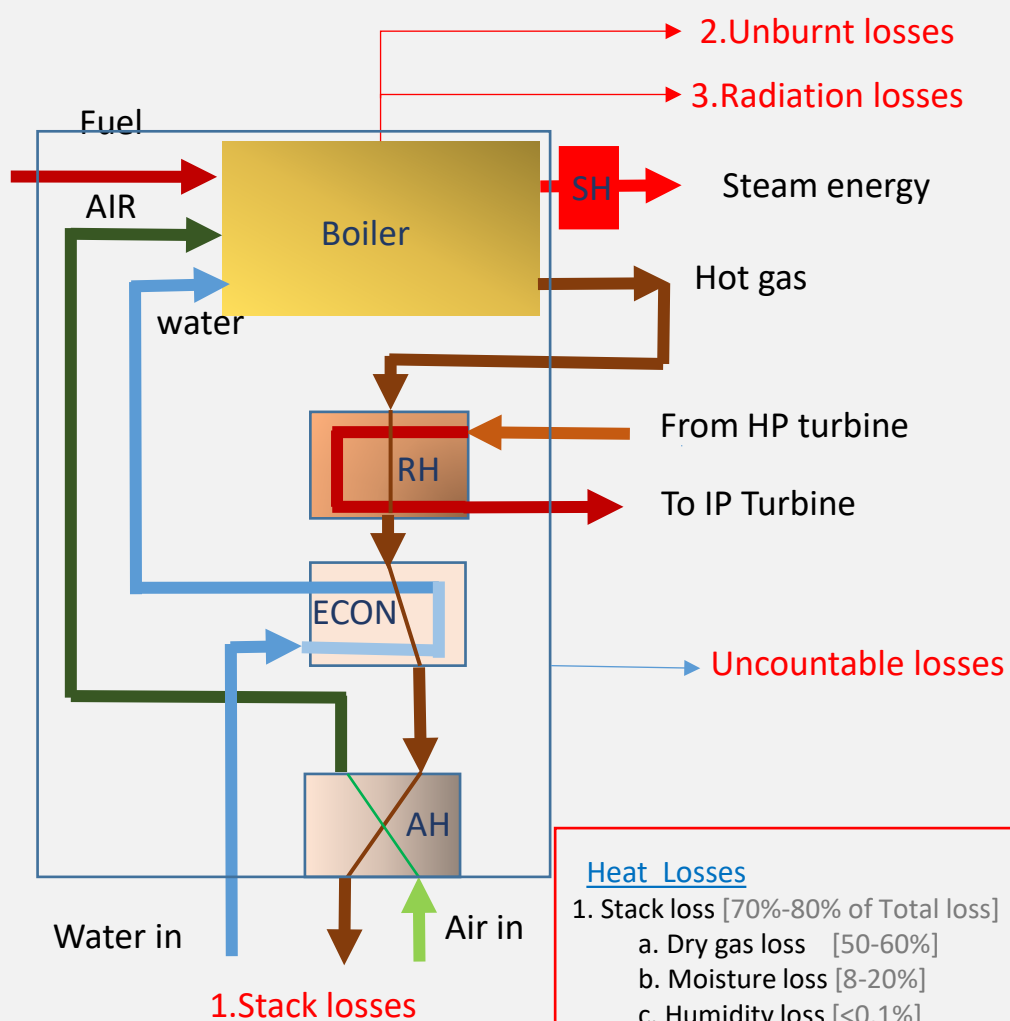
Peak Rating (PR) 110% MCR

PR is the evaporative that can be sustained by the boiler for a specified period of, for example, 2 or 4 hr in a day, to meet an increased need in either the process or the power

Normal Continuous Rating (NCR) 90% MCR

NCR is the condition at which the boiler would be operated most of time ; and naturally the efficiency at this condition shall be optimized

Heat Balance and Boiler Efficiency:



Heat Balance boiler plant

Heat Losses

1. Stack loss [70%-80% of Total loss]
 - a. Dry gas loss [50-60%]
 - b. Moisture loss [8-20%]
 - c. Humidity loss [<0.1%]
2. Unburn [1-2% for FP, 4-6% for FBC]
3. Radiation Loss [<1%]
4. Unaccountable Losses [0.25-0.5%]

Performance Testing of boiler

Heat balance and performance

เพื่อการทดสอบและการรับประกันประสิทธิภาพหลังจากการติดตั้งแล้วเสร็จ
 เพื่อต้องการ ประเมิน ประสิทธิภาพ ด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อความปลอดภัย และอายุ
 การใช้งาน

- ASME (PTC)4
- BS 2885
- Din 1942

Boiler efficiency calculation

Fuel Heat content

Gross calorific value (**GCV**) Vs Net calorific value (**NCV**)

Gross calorific value GCV is determined for laboratory the coals can be calculation Dulong 's formula 1-2% accuracy from bomb calorimeter

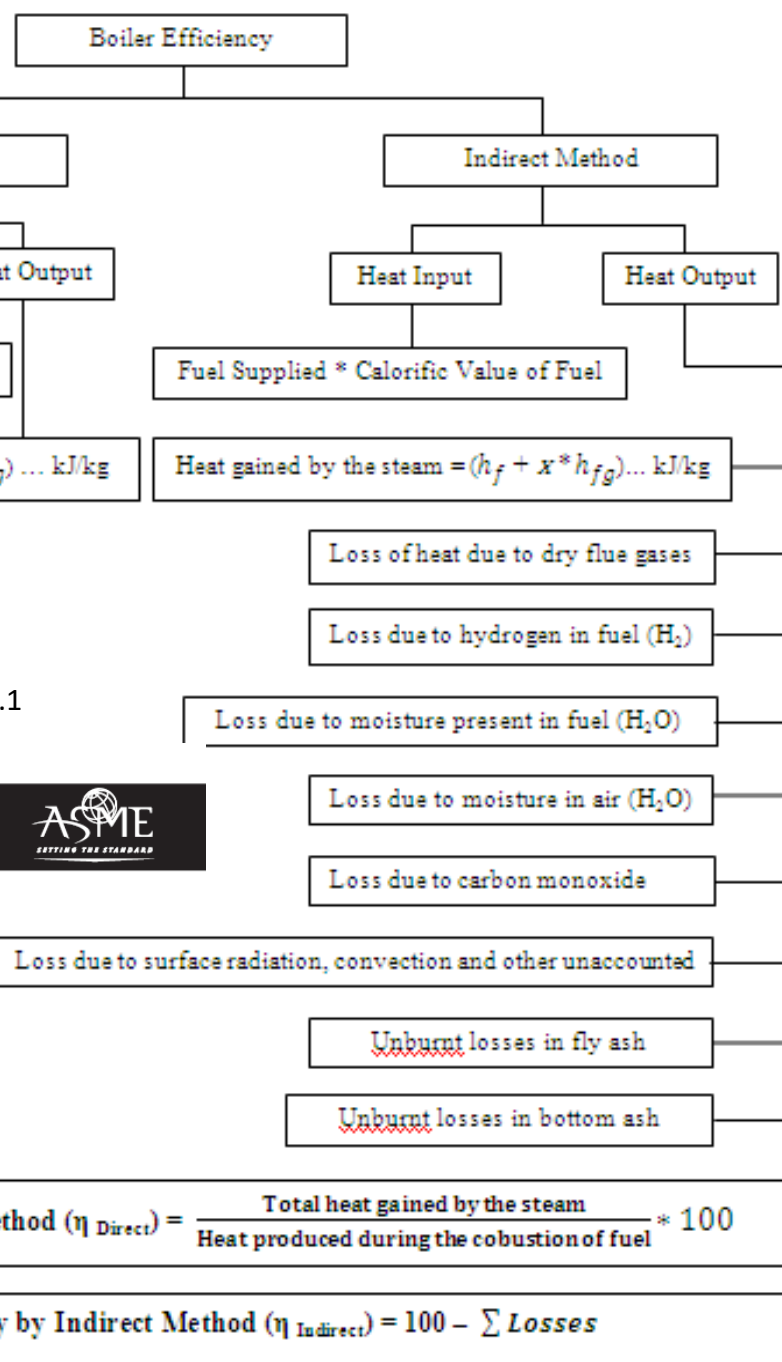
$$CGV = 80.8C + 344.6(H - O/8) + 22.5S \text{ Kcal/kg}$$

$$CGV = 145.44C + 260.28(H - O/8) + 40.5S \text{ Btu/lb}$$

Net calorific value NCV is practically available heat of fuel in total heat(GCV) arrived at after discounting the heat arrived away by water vapor

$$NCV = GCV - (m + 9H_2) \times \text{Latent heat}$$

$$NCV = GCV - 104(m + 9H_2) \text{ Btu/lb or } GCV - 578(m + 9H_2) \text{ Kcal/kg}$$



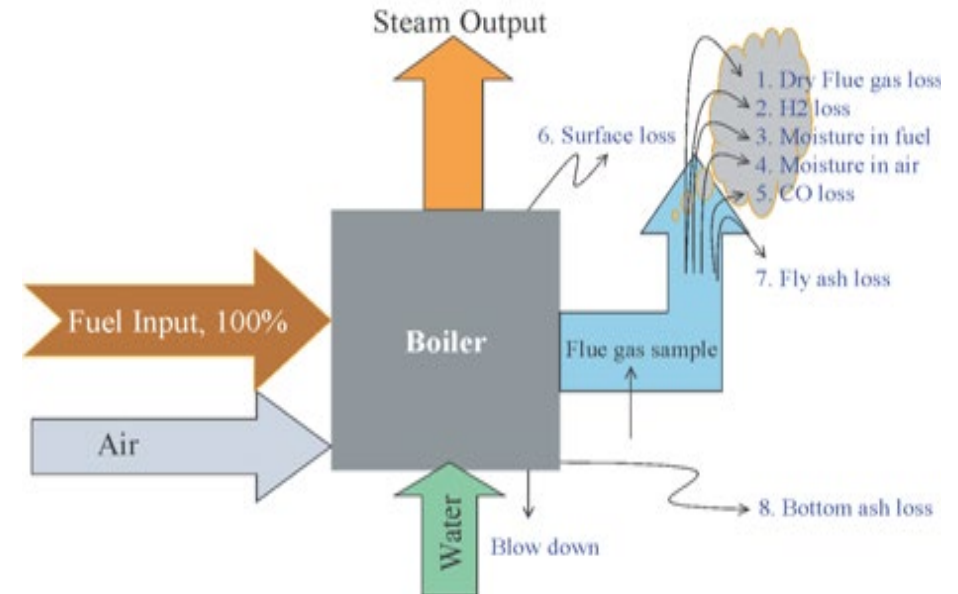
Boiler efficiency calculation

Direct method

$$\text{Gross efficiency} = \frac{\text{Net out put \%}}{\text{Total in put}}$$

Indirect method

$$\text{Gross efficiency} = 100 - \frac{\text{Heat loss \%}}{\text{Fuel in put}}$$



$$\text{Efficiency} = 100 - (1+2+3+4+5+6+7+8) \text{ (by Indirect Method)}$$

Indirect method , Heat loss method

$$\text{Gross boiler efficiency} = 100 - (\% \text{Loss} 1+2+3+4+5+6+7+8)$$

Where

- L1- Loss due to dry flue gas(sensible)
- L2- Loss due to hydrogen in fuel (H_2)
- L3-Loss due to moisture in fuel (H_2O)
- L4-Loss due to moisture in Air (H_2O)
- L5-Loss due to Carbon monoxide (CO)
- L6-Loss due to surface radiation and other unaccounted
- L7-Unburn loss in fly ash (Carbon)
- L8-Unburn loss in bottom ash Carbon

L2- Loss due to hydrogen in fuel (H_2)

$$L_2 = \frac{9 \times H_2 \times \{584 + C_p (T_f - T_a)\}}{\text{GCV of fuel}} \times 100$$

Where

- H_2 = kg of hydrogen present in fuel on 1 kg basis
- C_p = Specific heat of superheated steam in kCal/kg°C
- T_f = Flue gas temperature in °C
- T_a = Ambient temperature in °C
- 584 = Latent heat corresponding to partial pressure of water vapour

L1- Loss due to dry flue gas(sensible)

$$L_1 = \frac{m \times C_p \times (T_f - T_a)}{\text{GCV of fuel}} \times 100$$

Where,

- L_1 = % Heat loss due to dry flue gas
- m = Mass of dry flue gas in kg/kg of fuel
= Combustion products from fuel: $CO_2 + SO_2 + \text{Nitrogen in fuel}$
Nitrogen in the actual mass of air supplied + O_2 in flue gas.
(H_2O /Water vapour in the flue gas should not be considered)
- C_p = Specific heat of flue gas in kCal/kg
- T_f = Flue gas temperature in °C
- T_a = Ambient temperature in °C

L3-Loss due to moisture in fuel (H_2O)

$$L_3 = \frac{M \times \{584 + C_p (T_f - T_a)\}}{\text{GCV of fuel}} \times 100$$

where

- M = kg of moisture in fuel in 1 kg basis
- C_p = Specific heat of superheated steam in kCal/kg°C
- T_f = Flue gas temperature in °C
- T_a = Ambient temperature in °C
- 584 = Latent heat corresponding to partial pressure of water vapour

L4-Loss due to moisture in Air (H₂O)

$$L_4 = \frac{AAS \times \text{humidity factor} \times C_p \times (T_f - T_a)}{\text{GCV of fuel}} \times 100$$

where

AAS	=	Actual mass of air supplied per kg of fuel
Humidity factor	=	kg of water/kg of dry air
C _p	=	Specific heat of superheated steam in kCal/kg°C
T _f	=	Flue gas temperature in °C
T _a	=	Ambient temperature in °C (dry bulb)

Dry-Bulb Temp °C	Wet Bulb Temp °C	Relative Humidity (%)	Kilogram water per Kilogram dry air (Humidity Factor)
20	20	100	0.016
20	14	50	0.008
30	22	50	0.014
40	30	50	0.024

L5-Loss due to Carbon monoxide (CO)

$$L_5 = \frac{\%CO \times C}{\%CO + \%CO_2} \times \frac{5744}{\text{GCV of fuel}} \times 100$$

L₅ = % Heat loss due to partial conversion of C to CO
 CO = Volume of CO in flue gas leaving economizer (%)
 CO₂ = Actual Volume of CO₂ in flue gas (%)
 C = Carbon content kg / kg of fuel

or

When CO is obtained in ppm during the flue gas analysis

$$\text{CO formation (M}_{\text{co}}) = \text{CO (in ppm)} \times 10^{-6} \times M_f \times 28$$

$$M_f = \text{Fuel consumption in kg/hr}$$

$$L_5 = M_{\text{co}} \times 5744^*$$

* Heat loss due to partial combustion of carbon.

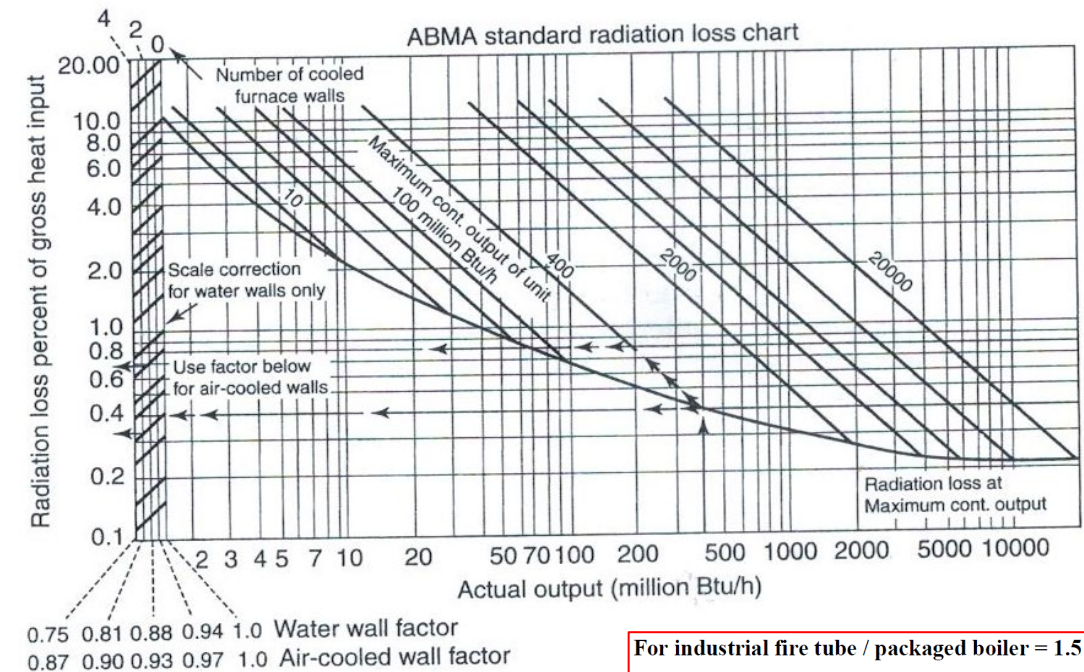
L6-Loss due to surface radiation and other unaccounted

L6.1-Loss due to surface

$$L_6 = 0.548 \times [(T_s / 55.55)^4 - (T_a / 55.55)^4] + 1.957 \times (T_s - T_a)^{1.25} \times \text{sq.rt of} [(196.85 V_m + 68.9) / 68.9]$$

where

L ₆	=	Radiation loss in W/m ²
V _m	=	Wind velocity in m/s
T _s	=	Surface temperature (K)
T _a	=	Ambient temperature (K)



For industrial fire tube / packaged boiler = 1.5 to 2.5%

For industrial watertube boiler = 2 to 3%

For power station boiler = 0.4 to 1%

L6 - Other Unaccountable Losses

Normally Accepted Figures for Unaccountable Losses, Manufacturers' Margins, and Tolerances

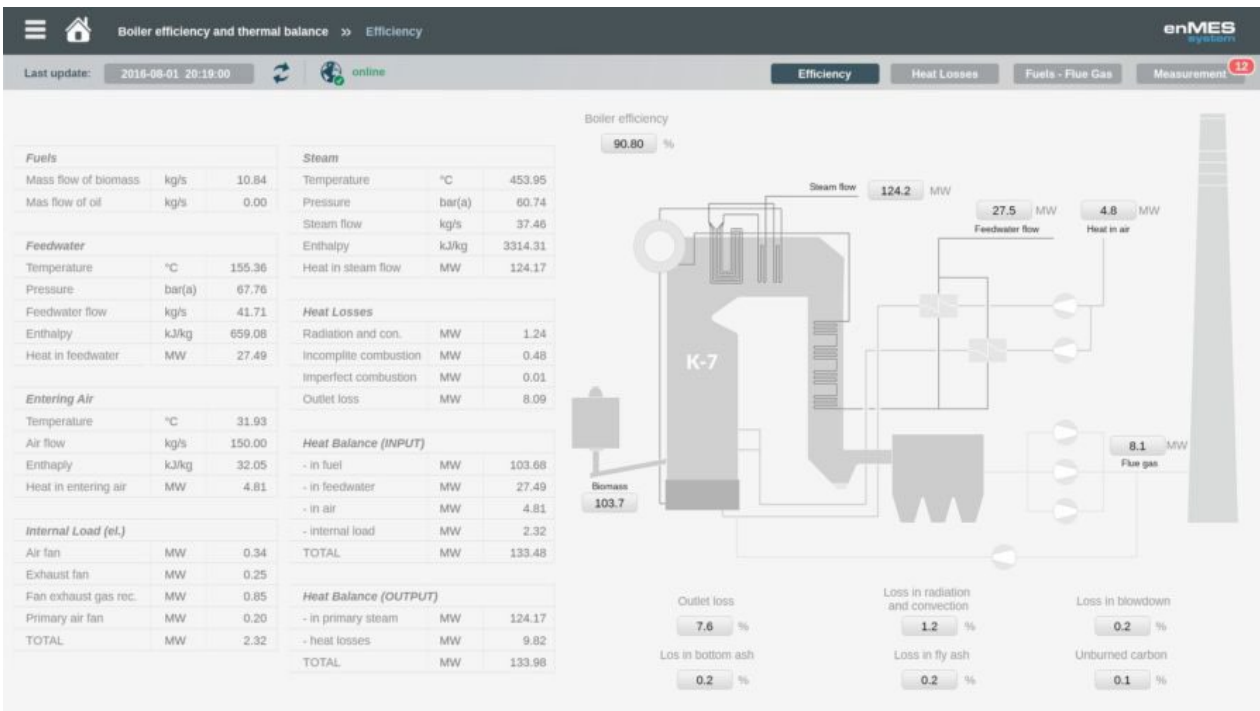
Fuel	Firing	Unaccountable Loss (%)	Tolerance	Manufacturers' Margin (%)
Gas	Burner	0.25		0.25
Oil	Burner	0.25	+0/-5.0%	0.25
Coal	PF	0.25	of losses	0.5
	Grate	0.5	+0/-6.5%	1.0
Biofuels	Grate	1.0	of losses	1.0

L7-Unburn loss in fly ash (Carbon)

$$L_7 = \frac{\text{Total ash collected / kg of fuel burnt} \times \text{G.C.V of fly ash}}{\text{GCV of fuel}} \times 100$$

L8-Unburn loss in bottom ash Carbon

$$L_8 = \frac{\text{Total ash collected / kg of fuel burnt} \times \text{G.C.V of bottom ash}}{\text{GCV of fuel}} \times 100$$



Unburnt Losses from Various Fuels in Different Firing Devices

Method of Firing	Carbon Burnup (%)	Unburnt Loss (% of Gross Calorific Value)
Gas	100	0
Oil	~100	~0
PF and CFBC (coal)	>98	<2
Bubbling fluid bed combustion (coal)	85-90	4-6
Stoker (coal)	80-90	4-10
Stoker (bagasse)	~98	~2

ASME TEST FORM
FOR ABBREVIATED EFFICIENCY TEST PTC 4.1-a (1964)

TEST NO.		BOILER NO.		DATE	
OWNER OF PLANT		LOCATION			
TEST CONDUCTED BY		OBJECTIVE OF TEST		DURATION	
BOILER, MAKE & TYPE		RATED CAPACITY			
STOKER, TYPE & SIZE		BURNER, TYPE & SIZE			
PULVERIZER, TYPE & SIZE		BURNER, TYPE & SIZE			
FUEL USED		MINE		COUNTY	
		STATE		SIZE AS FIRED	
PRESSURES & TEMPERATURES					
1	STEAM PRESSURE IN BOILER DRUM	psia			
2	STEAM PRESSURE AT S. H. OUTLET	psia			
3	STEAM PRESSURE AT R. H. INLET	psia			
4	STEAM PRESSURE AT R. H. OUTLET	psia			
5	STEAM TEMPERATURE AT S. H. OUTLET	F			
6	STEAM TEMPERATURE AT R. H. INLET	F			
7	STEAM TEMPERATURE AT R. H. OUTLET	F			
8	WATER TEMP. ENTERING (ECON.) (BOILER)	F			
9	STEAM QUALITY % MOISTURE OR P. P. M.				
10	AIR TEMP. AROUND BOILER (AMBIENT)	F			
11	TEMP AIR FOR COMBUSTION (This is Reference Temperature) †	F			
12	TEMPERATURE OF FUEL	F			
13	GAS TEMP. LEAVING (Boiler) (Econ.) (Air Htr.)	F			
14	GAS TEMP. ENTERING AH (If conditions to be corrected to guarantee)	F			
FUEL DATA					
COAL AS FIRED PROX. ANALYSIS		% wt		OIL	
37	MOISTURE		51	FLASH POINT F*	
38	VOL MATTER		52	Sp. Gravity Deg. API*	
39	FIXED CARBON		53	VISCOSITY AT SSU* BURNER SSF	
40	ASH		44	TOTAL HYDROGEN % wt	
41	TOTAL		41	Btu per lb	
42	ASH SOFT TEMP.* ASTM METHOD			GAS % VOL	
COAL OR OIL AS FIRED ULTIMATE ANALYSIS			54	CO	
43	CARBON		55	CH ₄ METHANE	
44	HYDROGEN		56	C ₂ H ₂ ACETYLENE	
45	OXYGEN		57	C ₂ H ₄ ETHYLENE	
46	NITROGEN		58	C ₂ H ₆ ETHANE	
47	SULPHUR		59	H ₂ S	
48	ASH		60	CO ₂	
49	MOISTURE		61	H ₂ HYDROGEN	
UNIT QUANTITIES					
15	ENTHALPY OF SAT. LIQUID (TOTAL HEAT)	Btu/lb			
16	ENTHALPY OF (SATURATED) (SUPERHEATED) STM.	Btu/lb			
17	ENTHALPY OF SAT. FEED TO (BOILER) (ECON.)	Btu/lb			
18	ENTHALPY OF REHEATED STEAM R. H. INLET	Btu/lb			
19	ENTHALPY OF REHEATED STEAM R. H. OUTLET	Btu/lb			
20	HEAT ABS/LB OF STEAM (ITEM 16 - ITEM 17)	Btu/lb			
21	HEAT ABS/LB R. H. STEAM (ITEM 19 - ITEM 18)	Btu/lb			
22	DRY REFUSE (ASH PIT + FLY ASH) PER LB AS FIRED FUEL	lb/lb			
23	Btu PER LB IN REFUSE (WEIGHTED AVERAGE)	Btu/lb			
24	CARBON BURNED PER LB AS FIRED FUEL	lb/lb			
25	DRY GAS PER LB AS FIRED FUEL BURNED	lb/lb			
HOURLY QUANTITIES					
26	ACTUAL WATER EVAPORATED	lb/hr			
27	REHEAT STEAM FLOW	lb/hr			
28	RATE OF FUEL FIRING (AS FIRED wt)	lb/hr			
29	TOTAL HEAT INPUT (Item 28 x Item 41) 1000	kB/hr			
30	HEAT OUTPUT IN BLOW-DOWN WATER	kB/hr			
31	TOTAL HEAT OUTPUT (Item 26 x Item 20) + (Item 27 x Item 21) + Item 30 1000	kB/hr			
FLUE GAS ANAL. (BOILER) (ECON) (AIR HTR) OUTLET					
32	CO ₂	% VOL			
33	O ₂	% VOL			
34	CO	% VOL			
35	N ₂ (BY DIFFERENCE)	% VOL			
36	EXCESS AIR	%			

* Not Required for Efficiency Testing

† For Point of Measurement See Par. 7.2.8.1-PTC 4.1-1964

CALCULATION SHEET FOR ABBREVIATED EFFICIENCY TEST PTC 4.1-b (1964)

OWNER OF PLANT		TEST NO.		BOILER NO.		DATE	
30	HEAT OUTPUT IN BOILER BLOW-DOWN WATER = LB OF WATER BLOW-DOWN PER HR x	ITEM 15		ITEM 17		kB/hr	
		1000		1000		=	
24	If impractical to weigh refuse, this item can be estimated as follows DRY REFUSE PER LB OF AS FIRED FUEL = $\frac{\% \text{ ASH IN AS FIRED COAL}}{100 - \% \text{ COMB. IN REFUSE SAMPLE}}$ CARBON BURNED PER LB AS FIRED FUEL = $\frac{\text{ITEM 43}}{100} - \left[\frac{\text{ITEM 22}}{14.500} \times \frac{\text{ITEM 23}}{14.500} \right] =$						NOTE: IF FLUE DUST & ASH PIT REFUSE DIFFER MATERIALLY IN COMBUSTIBLE CONTENT, THEY SHOULD BE ESTIMATED SEPARATELY. SEE SECTION 7, COMPUTATIONS.
25	DRY GAS PER LB AS FIRED FUEL BURNED = $\frac{11\text{CO}_2 + 8\text{O}_2 + 7(\text{N}_2 + \text{CO})}{3(\text{CO}_2 + \text{CO})} \times (\text{LB CARBON BURNED PER LB AS FIRED FUEL} + \frac{3}{8})$ = $11 \times \frac{\text{ITEM 32}}{3} + 8 \times \frac{\text{ITEM 33}}{3} + 7 \left(\frac{\text{ITEM 35}}{3} + \frac{\text{ITEM 34}}{3} \right) \times \left[\frac{\text{ITEM 24}}{2.67} + \frac{\text{ITEM 47}}{2.67} \right] =$						
36	EXCESS AIR † = $100 \times \frac{\text{O}_2 - \frac{\text{CO}}{2}}{.2682\text{N}_2 - (\text{O}_2 - \frac{\text{CO}}{2})} = 100 \times \frac{\text{ITEM 33} - \frac{\text{ITEM 34}}{2}}{.2682(\text{ITEM 35}) - (\text{ITEM 33} - \frac{\text{ITEM 34}}{2})} =$						
HEAT LOSS EFFICIENCY							
						Btu/lb AS FIRED FUEL	LOSS HHV 100 =
65	HEAT LOSS DUE TO DRY GAS = $\frac{\text{LB DRY GAS PER LB AS FIRED FUEL} \times C_p \times (t_{\text{vg}} - t_{\text{air}})}{\text{Unit}} = \frac{\text{ITEM 25} \times 0.24 (\text{ITEM 13}) - (\text{ITEM 11})}{\text{Unit}}$						$\frac{65}{41} \times 100 =$
66	HEAT LOSS DUE TO MOISTURE IN FUEL = $\frac{\text{LB H}_2\text{O PER LB AS FIRED FUEL} \times [(\text{ENTHALPY OF VAPOR AT 1 PSIA \& T GAS LVG}) - (\text{ENTHALPY OF LIQUID AT T AIR})]}{100} = \frac{\text{ITEM 37} \times [(\text{ENTHALPY OF VAPOR AT 1 PSIA \& T ITEM 13}) - (\text{ENTHALPY OF LIQUID AT T ITEM 11})]}{100}$						$\frac{66}{41} \times 100 =$
67	HEAT LOSS DUE TO H ₂ O FROM COMB. OF H ₂ = $9\text{H}_2 \times [(\text{ENTHALPY OF VAPOR AT 1 PSIA \& T GAS LVG}) - (\text{ENTHALPY OF LIQUID AT T AIR})] = 9 \times \frac{\text{ITEM 44}}{100} \times [(\text{ENTHALPY OF VAPOR AT 1 PSIA \& T ITEM 13}) - (\text{ENTHALPY OF LIQUID AT T ITEM 11})] =$						$\frac{67}{41} \times 100 =$
68	HEAT LOSS DUE TO COMBUSTIBLE IN REFUSE = $\frac{\text{ITEM 22} \times \text{ITEM 23}}{\text{Unit}} =$						$\frac{68}{41} \times 100 =$
69	HEAT LOSS DUE TO RADIATION* = $\frac{\text{TOTAL BTU RADIATION LOSS PER HR}}{\text{LB AS FIRED FUEL}} = \frac{\text{ITEM 28}}{\text{Unit}}$						$\frac{69}{41} \times 100 =$
70	UNMEASURED LOSSES **						$\frac{70}{41} \times 100 =$
71	TOTAL						
72	EFFICIENCY = (100 - ITEM 71)						

† For rigorous determination of excess air see Appendix 9.2 - PTC 4.1-1964

* If losses are not measured, use ABMA Standard Radiation Loss Chart, Fig. 8, PTC 4.1-1964

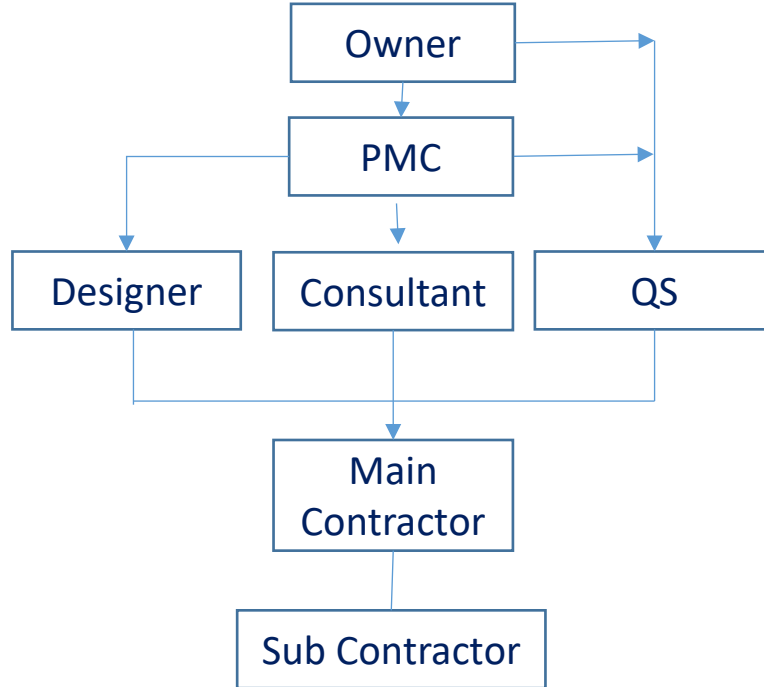
** Unmeasured losses listed in PTC 4.1 but not tabulated above may be provided for by assigning a mutually agreed upon value for Item 70.

Thermal Efficiency Levels

Boiler Type	Efficiency – Indian Industries
Manually Fired	40-60
Stoker Fired Coal	65-70
Bagasse	55-60
Oil and Gas up to 20 tones per h	70-80
above 20 tones per h	80-85
Fluidized bed combustion	75-80
Waste heat	55-75
Pulverized fuel fired	80-85

TOR (Term of reference)

- JOB Description ,location ,Requirement
- Design standard, Material Standard
- Budgets
- Personal
- Project schedule



MAE MOH 1 x 600 MW Power Plant Thailand

Fire Fighting System

Table of Content:

1	General	3
1.1	Objectives	3
1.2	System Design	3
1.3	Equipment	4
2	Fire Pumps and Fire Fighting Manual Means	5
2.1	General Description	5
2.2	Description of Equipment and Circuits	5
3	Fire Fighting Water Extinguishing System	9
3.1	Water Deluge System	9
3.2	Manual Deluge Spray System	10
3.3	Wet and Dry Sprinkler System	10
3.4	Precision Sprinkler System	11
4	Fire Fighting Foam Extinguishing System	12
4.1	General Description of the Water Foam System	12
4.2	Fuel Oil Storage Tank Water Foam System	12
4.3	Water Foam Sprinkler System	13
5	Inert Gas Systems	14
5.1	Coal Silos CO ₂ Inert Gas System	14
6	Fire Detection System	15
6.1	General Description	15
6.2	Description of Equipment and Circuits	15
7	Active Fire Protection Measures (Summary)	17
7.1	Table	17
7.2	Smoke Exhaust	23
7.3	Design Requirements for Drainage	23
8	Passive Fire Protection	24
8.1	Fire Rating Table	24
8.2	Fire Zone Component	25
8.3	Design Requirements for Turbine systems	25
8.4	Design Requirements for Hydraulically Actuated Valves	25
8.5	Design Requirements for Fire Damper	25
9	Hazardous Areas	26

1 GENERAL

This document details the fire protection and fire detection design concept for the MAE MOH 1 x 600 MW (net), Ultra-Super Critical Coal Fired Power Plant, Thailand.

During detailed design, Design Manual will give more details and replace this document.

This revision of the fire fighting concept, based on the document finalized in tender phase, is issued for the permitting.

1.1 OBJECTIVES

The document objectives is to explain the design philosophy and to describe the principles for a suitable fire detection and alarm system for the safety of plant personnel and a fire protection system for control and suppression of fires.

Note: The list of buildings and their associated internal arrangement mentioned in this document are preliminary. They may be modified later during project execution and fire fighting systems will be adjusted accordingly.

1.2 SYSTEM DESIGN

The fire fighting design takes into account the requirement of the following rules:

- NFPA 850 – National Fire Protection Association – Recommended Practice for Fire Protection for Electric Generating Plants and High Voltage Direct Current Converter Stations (2015).
- NFPA 10 – Standard for Portable Fire Extinguishers (2013).
- NFPA 11 – Standard for Low-, Medium- and High-Expansion Foam Systems (2010).
- NFPA 12 – Standard on CO₂ Extinguishing Systems (2015).
- NFPA 13 – Standard for the Installation of Sprinkler Systems (2013).
- NFPA 14 – Standard for the Installation of Standpipe and Hose System (2013).
- NFPA 15 – Standard for Water Spray Fixed System for Fire Protection (2012).
- NFPA 16 – Standard for the Installation of Foam-Water Sprinkler and Foam-Water Spray Systems (2015).
- NFPA 20 – Standard for the Installation of stationary Pumps for Fire Protection (2013).
- NFPA 24 – Standard for Installation of Private Fire Service Mains and their Appurtenances (2013).
- NFPA 25 – Standard for the Inspection, Testing, and Maintenance of Water-Based Fire Protection Systems (2014).
- NFPA 70 – National Electrical Code (2014).
- NFPA 72 – National Fire Alarm and Signalling Code (2013).
- NFPA 80 – Standard for Fire Doors and Other Opening Protective (2013).
- NFPA 90 A – Standard for the Installation of Air-Conditioning and Ventilating Systems (2015).
- NFPA 1963 – Standard for Fire Hose Connections (2014).
- DIN 14495 - cooling of above ground tank for combustible liquids in case of fire (1977).
- Local codes (to be detailed later)

Legal Owner	Identification number	Rev.	Date	Lang.	Sheet
ALSTOM POWER SYSTEMS	MMO/00/M/-----E01/DO/001	B	29/04/2015	En	2/26
© ALSTOM 2015. All rights reserved. Please consider the environment before printing this document.					

Legal Owner	Identification number	Rev.	Date	Lang.	Sheet
ALSTOM POWER SYSTEMS	MMO/00/M/-----E01/DO/001	B	29/04/2015	En	3/26
© ALSTOM 2015. All rights reserved. Please consider the environment before printing this document.					

Code & Standard Relevant boiler work :



The organization of the ASME

- Boiler and Pressure Vessel Code is as follows:

1. Section I: Power Boilers
2. Section II: Material Specification: Part (A-D)
 - i. Ferrous Material Specifications – Part A
 - ii. Non-ferrous Material Specifications – Part B
 - iii. Specifications for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals –Part C
 - iv. Properties – Part D
3. Section III: Rule for construction nuclear facility components Part 1-3.
4. Section IV: Rules for Construction of Heating Boilers
5. Section V: Nondestructive Examinations
6. Section VI: Recommended Rules for the Care and operation of Heating Boilers
7. Section VII: Recommended Guidelines for Care of Power Boilers
8. Section VIII: Rule for construction of pressure Vessels
 - i. Division 1: Pressure Vessels – Rules for Construction
 - ii. Division 2: Pressure Vessels – Alternative Rules
9. Section IX: Welding and Brazing Qualifications
10. Section X: Fiberglass-Reinforced Plastic Pressure Vessels
11. Section XI: Rules for In-Service Inspection of Nuclear Power Plant Components
12. Section XII: Rule for construction and continued service of transport tank

- PCT Performance test Code



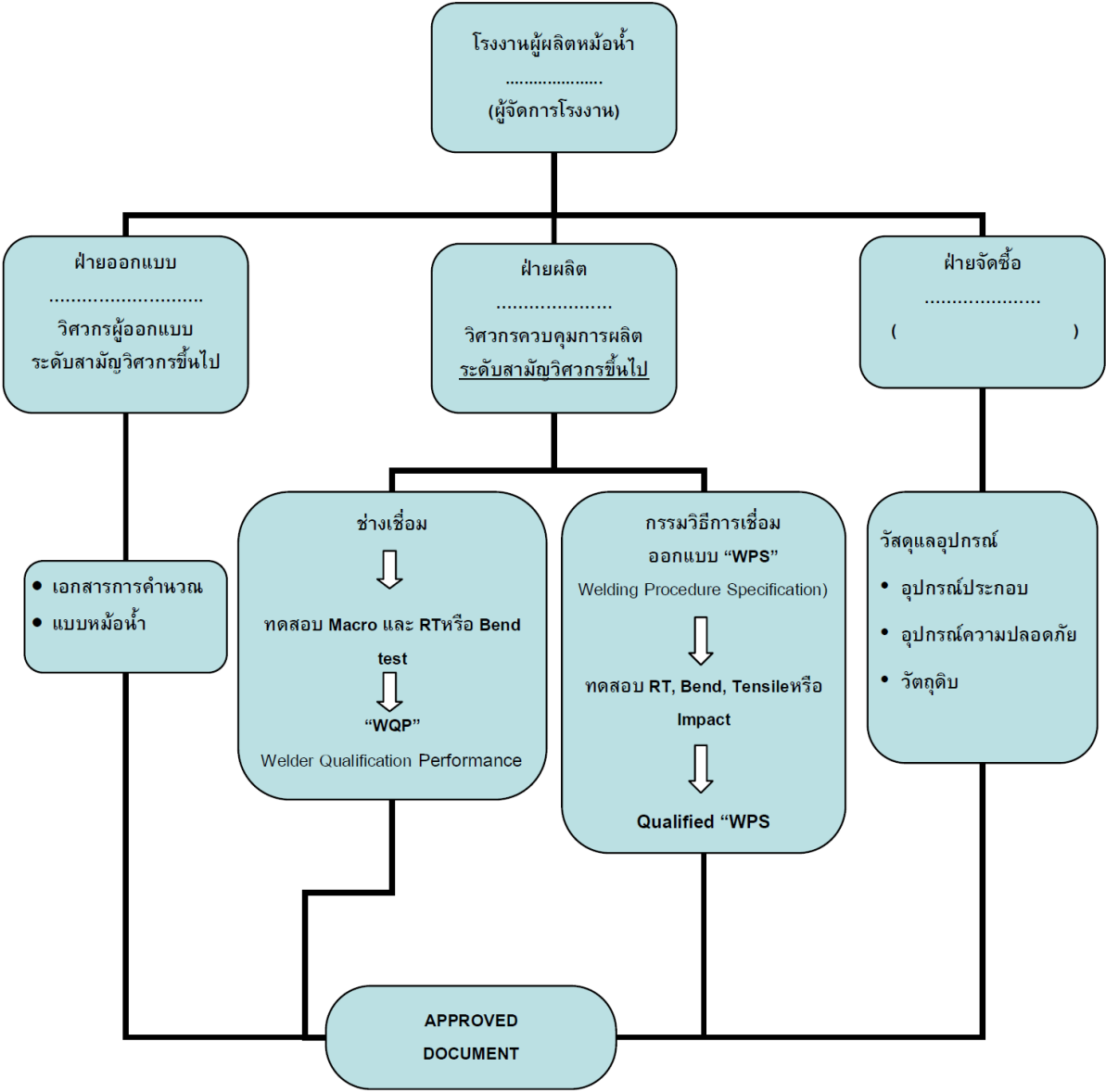
National Fire Prevention Association Codes Relevanted

- | | |
|----------|--|
| NFPA 85 | Boiler and combustion systems |
| NFPA 654 | Standard of prevention of fire and dust explosion |
| NFPA 30 | Flammable and combustible liquids code |
| NFPA 31 | Standard for installation of oil burning equipment |
| NFPA 54 | National Fuel gas code |
| NFPA 69 | Standard of explosion Prevention system |
| NFPA 70 | National Electrical code |



Code & Standard ข้อกำหนดของกรมโรงงาน

ลำดับ	รายการ	ข้อบังคับ (CODE)			
		ASME	TRD	BS	JIS
1	หม้อน้ำแบบท่อน้ำ (Water tube boiler)	ASME-I part PWT	TRD 300	BS-EN 12952-3	JIS B 8201
2	การติดตั้งหม้อน้ำแบบท่อน้ำ (Water tube boiler installation)	ASME-I part PG	TRD 401	BS-EN 12952-3	
3	หม้อน้ำแบบท่อน้ำและการติดตั้งอุปกรณ์ ข้อกำหนดสำหรับอุปกรณ์ประกอบ (Water tube boiler and Auxillary installation. Requirment for equipment for the boiler)	ASME-I part PG	TRD 403	BS-EN129527;2002	
4	ข้อเสนอแนะในการรักษาหม้อน้ำต้มน้ำกำลัง (Recommendation Guideline for Care of Power boiler)	ASME-VII	TRD 601		
5	หม้อน้ำแบบท่อไฟ (Fire tube boiler)	ASME-I part PFT	TRD 300	BS-EN 12953-1 Part.1	JIS B 8201
6	วัสดุสำหรับส่วนรับความดันของหม้อน้ำและอุปกรณ์ อื่นๆ (Material for pressure parts of boiler and accessories)	ASME-II	TRD 100	BS-EN 12953-2 Part.2	
7	คู่มือ/ข้อเสนอแนะในการรักษาและใช้งานหม้อต้ม (Operating instruction/Recommendation Rule for the care and operation of heating boiler)	ASME-VI	TRD 701	BS-EN 12953-13 Part.13	
8	การตรวจสอบและการทดสอบ (Inspection and Testing)	ASME-I และ V	TRD 500		
9	มาตรฐานสำหรับการเชื่อม Standard for welding	ASME-IX	TRD 201		



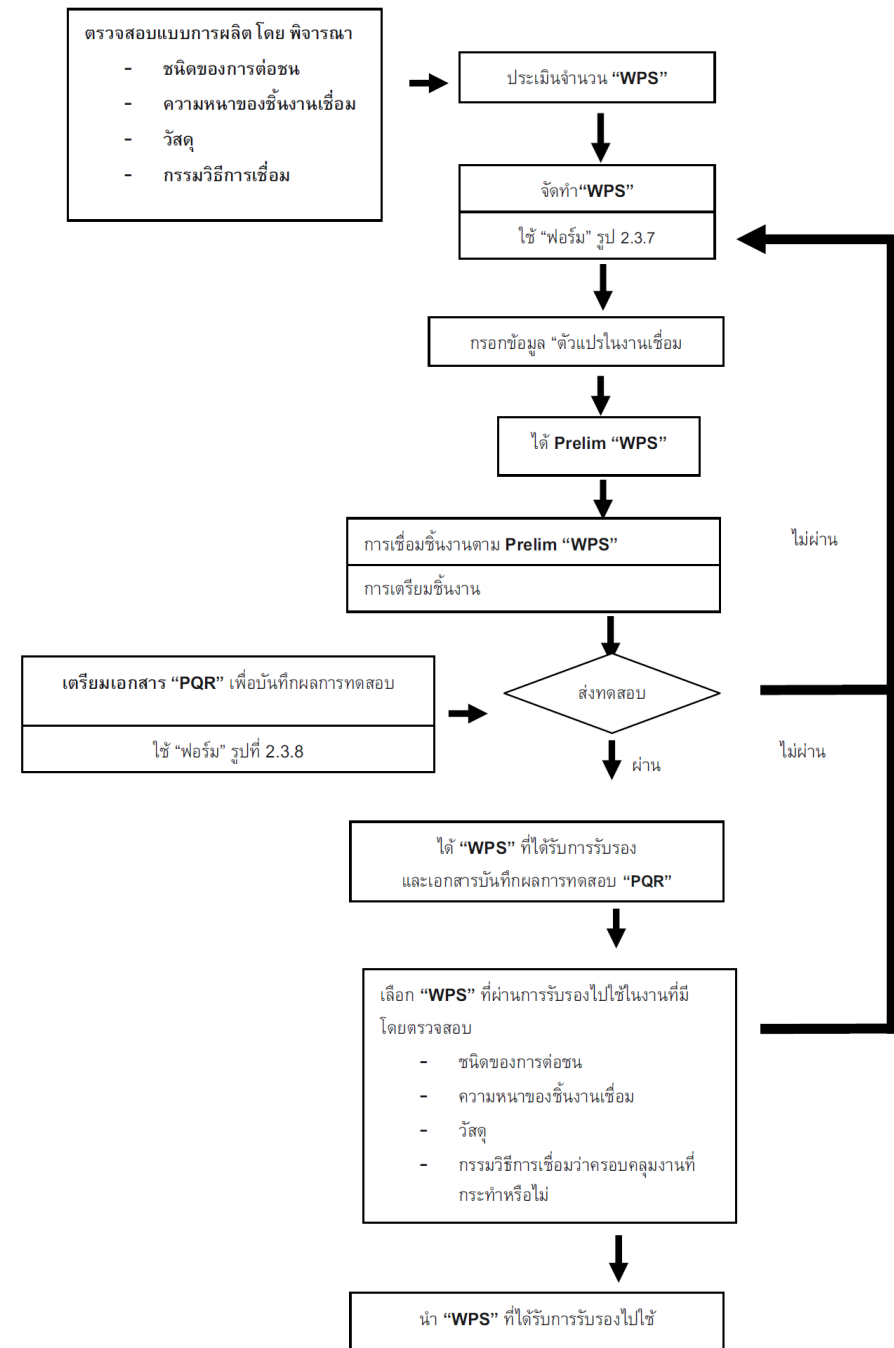
ที่มา คู่มือการถ่ายทอดเทคโนโลยี การผลิตหม้อน้ำ กรมโรงงาน

Welding

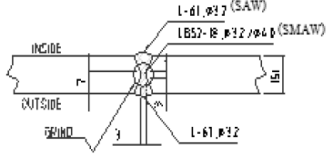
การเชื่อม ถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการผลิต หม้อไอน้ำ การเชื่อมที่ออกแบบหรือเชื่อมบกพร่องนำไปสู่การ พังทลายของ หม้อไอน้ำ จึงได้มีการออกแบบและกำหนดวิธีเชื่อมให้เป็นสากล ซึ่งมีทั้งสิ้น 13 แบบ นอกจากนั้น ยังมีการกำหนดมาตรฐานการควบคุมการตรวจสอบ โดยใช้ เอกสาร WSP.(Welding procedure specification) ซึ่งผู้ออกแบบจะเป็นผู้กำหนดให้กับผู้เชื่อม PQR (Process duce qualification test record) เป็นข้อมูลบันทึกผลการทดสอบการเชื่อม

กระบวนการเชื่อมแบบต่าง

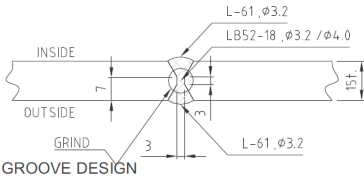
- กระบวนการเชื่อมด้วยแก๊สออกซิเจน Oxyfuel Gas Welding (OFW)
- กระบวนการเชื่อมอาร์คโดยใช้ลวดเชื่อมที่มีสารพอกหุ้ม Shielded Metal-Arc Welding(SMAW)
- กระบวนการเชื่อมอาร์คใต้ฟลักซ์ Submerged-Arc Welding(SAW)
- กระบวนการเชื่อมอาร์คโดยใช้ลวดโลหะและแก๊สปกคลุมและกระบวนการเชื่อมอาร์คโดยใช้ลวดโลหะอัดไส้ฟลักซ์และแก๊สปกคลุม Gas Metal-Arc Welding(GMAW and FCAW)
- กระบวนการเชื่อมอาร์คโดยใช้แท่งทั้งสแตนเลสและแก๊สปกคลุม Gas Tungsten-Arc Welding(GTAW)
- กระบวนการเชื่อมพลาสมา Plasma-Arc Welding (PAW)
- กระบวนการเชื่อมอิเล็กโตสแลค Electroslag Welding(ESW)
- กระบวนการเชื่อมอิเล็กตรอน빔 Electron Beam Welding(EBW)
- กระบวนการเชื่อมสตั๊ด StudWelding
- Inertiaand and Continuous Drive Friction Welding
- ResistanceWelding
- กระบวนการเชื่อมเลเซอร์ LaserBeamWelding(LBW)
- FlashWelding



รูปที่ 2.3.1 แสดงแผนผังการจัดทำ "WPS" และ "PQR"

		WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS.) OF BOILER SHELL AND FURNACE SHELL		FILE CNT No.: WPS-01 CODE: ASWE SEC.IX						
WPS.No.(เลขที่ WPS.):WPS.01		DATE(วันที่):01-01-2007		Rev.DATE(วันที่แก้ไข):						
PROCESS(กรรมวิธีการเชื่อม): SMAW +SAW		SUPPORTING PQR No.(เลขที่ PQR.ที่สนับสนุน):PQR 05-07-001-PQR.01								
WELDING TYPE (วิธีเชื่อม): ☒ MANUAL (เชื่อมไฟฟ้า) ☒ SEMI-AUTO (เชื่อม SAW.) ☐ MACHINE(เชื่อมอัตโนมัติ) ☐ IMPACT: N/A °C										
JOINT(รอยต่อแนวเชื่อม): QW-402 JOINT DESIGN(แบบรอยต่อแนวเชื่อม): BUTT / GROOVE BACKING: NO. (✓) YES. [WELD METAL] ()  JOINT DESIGN		PREHEAT(การอบอุ่นชิ้นงาน): QW-406 MIN. PREHEAT TEMP(อุณหภูมิมากสุดในการอบอุ่น): N/A °C MAX INTERPASS TEMP(อุณหภูมิมากสุดในการอบอุ่น): N/A °C OTHER: NONE POST WELD HEAT TRETMENT (QW-407) TEMPERATURE: ±15 °C HOLDING TIME: N/A Min. OTHER: NONE								
BASE METALS(ที่มาของวัสดุ): QW-403 P-No.: 1 Gr-No.: 2 to P-No.: 1 Gr-No.: 2 B METAL SPEC(ลักษณะเฉพาะของวัสดุ) SA516 Gr70 to SA516 Gr70 THICK RANGE (ความหนาของวัสดุ): 15t to 15t mm. GROOVE: N/A mm. FILLET: N/A mm. PIPE DIA. RANGE(ความเินทางท่อ) N/A MAX ONE PASS THICKNESS(ความหนาของครั้ง): N/A mm.		SHIELD GAS(แก๊สคลุมแนวเชื่อม) SHIELDING GAS&MIX(ปริมาณแก๊สคลุมมากสุด): N/A % FLOW RATE (อัตราการไหล): N/A l/min. GAS BACKING: NO (✓) YES () l/min. TRAILING GAS: N/A l/min.								
FILLER METALS(ที่มาของสวดเชื่อม): QW-404 SMAW +SAW : LB-52-18 + 780 Flux L-61 Electrode DEPOSITED WELD METAL THICK RANGE: Max. 25t mm.		WELDING TECHNIQUE(เทคนิคในการเชื่อม): QW-407 STRING OR WEAVE BEAD(เป็นทาง หรือเป็นคลื่น): WEAVE GAS CUP SIZE (ขนาดหัวแก๊ส): N/A mm. INITIAL OR INTERPASS CLEANING METHOD(ขั้นตอนหรือวิธีทำความสะอาด) GRIND OR WIRE BRUSHING(เลื่อยออก หรือใช้แปรงลวดขัด): GRIND CONTACT TIP TO WORK DISTANCE N/A mm. OSCILLATION: N/A METHOD OF BACK GOUGING: SINGLE OR MULTIPASS (PER SIDE): N/A PEENING(การกระแทกในเชิงคุณสมบัติ): NO (✓) YES ()								
POSITION(ท่าในการเชื่อม): QW-405 POSITION: ALL POSITION WELD PROGRESSION(ทิศทางของแนวเชื่อม): ☒ UP ☐ DOWN		*REMARK:								
Item.	FILLER METAL (คุณสมบัติของสวดเชื่อม)					Elec.	Dia.	Amp.	Volt.	T/Speed
	F.No.	A. No.	SFA No.	AWS. CLASS	Brand Name	Type	(mm.)	(A)	(V)	(cm. /min.)
Cylindrical	L-61	-	5.17	EM12K	LINCOLN		3.2	500		160
Shell	LB52-18	-	5.1	E7018	KOBE	DC-EP	4.0	120		60
	L-61	-	5.17	EM12K	LINCOLN		3.2	500		160
PREPARED BY W/D ENGR			REVIEWED BY W/D SECT. CHIEF			APPROVED BY W/D DEPT.CHIEF				

รูปที่ 2.3.8 ตัวอย่าง “PQR” ที่รองรับกรรมวิธีการเชื่อมตาม “WPS” ข้างบน

		PROCEDURE QUALIFICATION RECORD (PQR.) OF BOILER SHELL AND FURNACE SHELL		PQR No.: CBW05-07-001-PQR.01 DATE: 01-01-2007																																					
WELDING PROCEDURE SPECIFICATION No.(เลขที่ WPS.): -WPS.01																																									
PROCESS(กรรมวิธีการเชื่อม): SMAW +SAW IMPACT: ☒ NO , ☐ YES (N/A °C)																																									
WELDING TYPE (วิธีเชื่อม): ☒ MANUAL (เชื่อมไฟฟ้า) ☒ SEMI-AUTO (เชื่อม SAW.) ☐ MACHINE(เชื่อมอัตโนมัติ)																																									
JOINT(รอยต่อแนวเชื่อม): QW-402  GROOVE DESIGN OF TEST COUPON		<table><tr><td>PASS No.</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td></td><td></td></tr><tr><td>PROCESS</td><td>SAW</td><td>SMAW</td><td>SAW</td><td></td><td></td></tr><tr><td>DIA.(mm)</td><td>3.2</td><td>4.0</td><td>3.</td><td></td><td></td></tr><tr><td>Amp(A)</td><td>500</td><td>120</td><td>500</td><td></td><td></td></tr><tr><td>VOLT(V)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>SPEED(CPM)</td><td>160</td><td>60</td><td>160</td><td></td><td></td></tr></table>				PASS No.	1	2	3			PROCESS	SAW	SMAW	SAW			DIA.(mm)	3.2	4.0	3.			Amp(A)	500	120	500			VOLT(V)						SPEED(CPM)	160	60	160		
PASS No.	1	2	3																																						
PROCESS	SAW	SMAW	SAW																																						
DIA.(mm)	3.2	4.0	3.																																						
Amp(A)	500	120	500																																						
VOLT(V)																																									
SPEED(CPM)	160	60	160																																						
BASE METALS(ที่มาของวัสดุ): QW-403 Material Spec.(คุณสมบัติวัสดุ): SA516 Gr70 to SA516 Gr70 P No./Gr No.: 1 to 1 Thickness of Test Coupon (ความหนาชิ้นงานทดสอบ): 25t. mm. Diameter of Test Coupon (ความโตชิ้นงานทดสอบ): N/A mm. Other: NONE		PWHT (QW-407) Temperature: N/A °C Time: N/A Min. Other: N/A																																							
FILLER METALS(ที่มาของสวดเชื่อม): QW-404 SFA Spec.: 5.1 AWS Class, : E7018 F No. : LB52-18 A No.: Size: 2.6, 3.2, 4.0 mm. Treacle Name: KOBE Deposit Weld metal Thickness: 25.0 mm. Other : NONE		GAS (QW-408) <table><tr><td></td><td colspan="3">Percent Composition</td></tr><tr><td></td><td>Gas(es)</td><td>Mixture</td><td>Flow</td></tr><tr><td></td><td></td><td>(%)</td><td>Rate</td></tr><tr><td>Shielding:</td><td>N/A</td><td>N/A</td><td>N/A</td></tr><tr><td>Trailing:</td><td>N/A</td><td>N/A</td><td>N/A</td></tr><tr><td>Backing:</td><td>N/A</td><td>N/A</td><td>N/A</td></tr></table>					Percent Composition				Gas(es)	Mixture	Flow			(%)	Rate	Shielding:	N/A	N/A	N/A	Trailing:	N/A	N/A	N/A	Backing:	N/A	N/A	N/A												
	Percent Composition																																								
	Gas(es)	Mixture	Flow																																						
		(%)	Rate																																						
Shielding:	N/A	N/A	N/A																																						
Trailing:	N/A	N/A	N/A																																						
Backing:	N/A	N/A	N/A																																						
POSITION(ท่าในการเชื่อม): QW-405 Position of Groove: 1G (FLAT) WELD PROGRESSION(ทิศทางของแนวเชื่อม) Uphill , Downhill: UPHILL Other: NONE		ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409) Current & Polarity: DC-EP / AC Tungsten Electrode Size: N/A Mode of Metal Transfer: N/A For GMAW (FCAW): N/A Max. Heat Input: N/A KJ/cm																																							
TECHNIQUE(เทคนิคในการเชื่อม): QW-407 STRING OR WEAVE BEAD(เป็นทาง หรือเป็นคลื่น): WEAVE Oscillation: N/A Multi pass or Single Pass(per side) : MULTI Single or Multiple Electrodes: SINGLE Gas Cup Size(ขนาดหัวแก๊ส): : N/A mm. Initial or Interpass Cleaning Method: GRIND Method of Back Gouging: N/A Other: NONE																																									

ที่มา คู่มือการถ่ายทอดเทคโนโลยี การผลิตหม้อน้ำ กรมโรงงาน

Boiler Material:

Boiler is mainly build with several high-temperature material, so that the materials is used in construction boilers comprise a variety of steels as show on the table

Parts of a Boiler

S. No	Item	Description	Consisting Mainly
1	Pressure parts (PPs)	Pressure-holding parts, mainly FW, drum water, and steam	Drums, tubes, pipes, headers, tanks, forgings, and castings
2	Nonpressure parts (NPPs)	Fabricated items	Structure, flues and ducts, casing and hopper, tubular air heater (AH), cyclones, BRIL
3a	Bought-outs (BOs)	Equipments procured from others	Valves, mountings and fittings, soot blowers, attemperators, fans, electrostatic precipitator (ESP), rotary AH
3b	Firing equipment		Mills, burners, burner management system (BMS), stoker, feeders, air nozzles for fluidized bed combustion (FBC), hot gas generators
3c	Common BOs	Common for the total plant with one or more boilers	Feed pumps, deaerator, ash handling plant, coal handling plant, oil storage, P&H units, gas conditioning skid

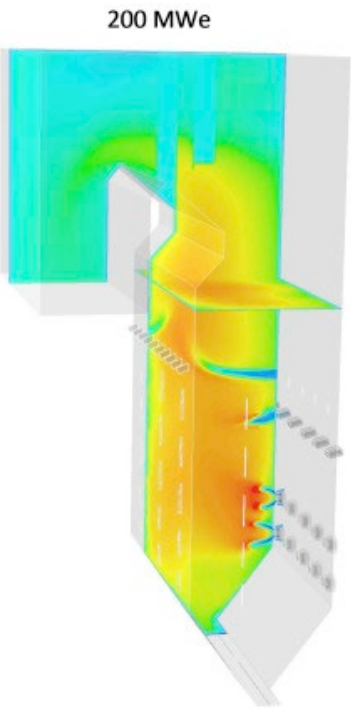
Note: BRIL stands for bricks, refractory, insulation, and lagging.

Steel Forms Required for Various Pressure Parts

Type of Pressure Part	Raw Steel Required
Drums and reheater header	Plates
Coils for superheater, reheater, economizer	Tubes
Boiler bank	Tubes
Membrane, division wall panels	Tubes and strip
All headers and large-bore downcomers	Large bore pipe
All integral piping	Small bore pipes/tubes
All nozzles including on headers and drums	Forgings

Kind of steel

Carbon steels	Low carbon High carbon
Alloy steels	C-Mn/C-Mo steels 1 1/4% Cr-1/2 Mo steels 2 1/4% Cr-1% Mo 9Cr-1Mo-V
Stainless steels	



CFD Temperature of boiler

Boiler bank tube water wall

450-480 °C at least for sub critical boiler
510 °C for super critical boiler

Superheat and Reheat bank tube

485,510,530 °C in small power ranges
540 °C is the most common
565 °C for the HRSGs
620 oC for super critical boiler

Economizer tube

250-400°C

Roof furnace

450 °C at least for sub critical boiler
510 °C for super critical boiler

SH and RH lugs and burner impellers

1,500 °C

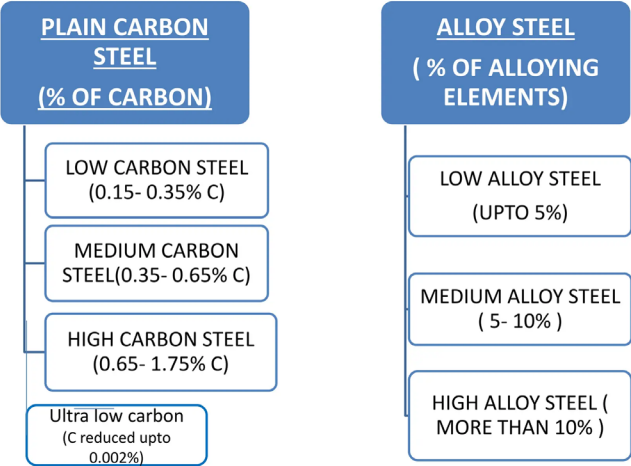
Tube Vs Pipe

Differences between Tubes and Pipes

Tube	Pipe
Both heat transfer and conveyance	Only conveyance and not heat transfer
Material amenable for closer bending, as C is lower	Material suitable only for limited bending
Welding is easier due to lower C	
Sizes up to 125 mm OD and hence smaller tubes	Sizes up to 1000 mm and beyond, and hence larger pipes
Designated by outside diameter	Designated by nominal bore (NB) upto 12 in. (304.8 mm)
Closer tolerance on thickness	Larger tolerances

Introduction of Steel Classification

Classification of steel



STEELS	TYPES	BENEFITS	APPLICATIONS
Carbon Steels	Low-carbon steel, medium-carbon steel, high-carbon steel, ultra-high-carbon steel, Hardox steel	Affordable, solid and durable, can be heat treated to improve their properties, such as hardness and strength	Oil & Gas industry, automotive industry construction industry
Stainless Steels	Ferritic, austenitic, martensitic, duplex stainless steel	Highly resistant to corrosion and staining; solid and durable, easy to clean and maintain as well, can be heat treated to improve their properties, such as hardness and strength	Food and beverage industry, medical industry, construction industry
Tool Steels	High-speed steel, water-hardening steel, air-hardening steel, and oil-hardening steel	Tough and resistant to wear	Automotive industry, aerospace industry
Alloy Steels	Low-alloy steels, medium-alloy steels, high-alloy steels	Stronger and more durable than carbon steels; ability to withstand higher temperatures than carbon steel and stainless steel; can bear adverse industrial conditions	Oil & Gas industry, automotive industry, kitchenware

Carbon steel C% <2- เหล็กกล้า คาร์บอน

Low/ Medium/ High

สามารถชุบเพิ่มความแข็งหรือเปลี่ยนคุณสมบัติทางกายภาพอื่นๆได้ ความแข็งจะขึ้นกับปริมาณคาร์บอน และหากคาร์บอนต่ำจะช่วยให้ขึ้นรูปได้ดี (Forming ability)

Alloy steel AE (Cr, Cb, Mo , Ni, Ti, Co ,V ,%<12%)

เหล็กกล้าผสม Low/ Medium

เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้พิเศษขึ้น ตามคุณสมบัติของ AE เช่นคงความแข็งที่อุณหภูมิสูง ทนการเสียดสี ทนการกัดกร่อน

High Alloy steel AE (Cr >10.5%, Cb, Mo , Ni, Ti, Co ,V ,% >12%)

เหล็กกล้าไร้สนิม Stainless Steel

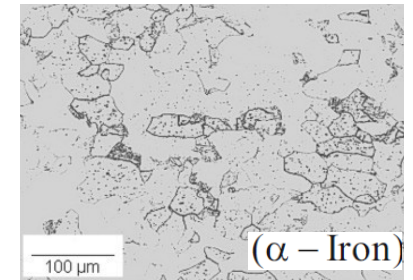
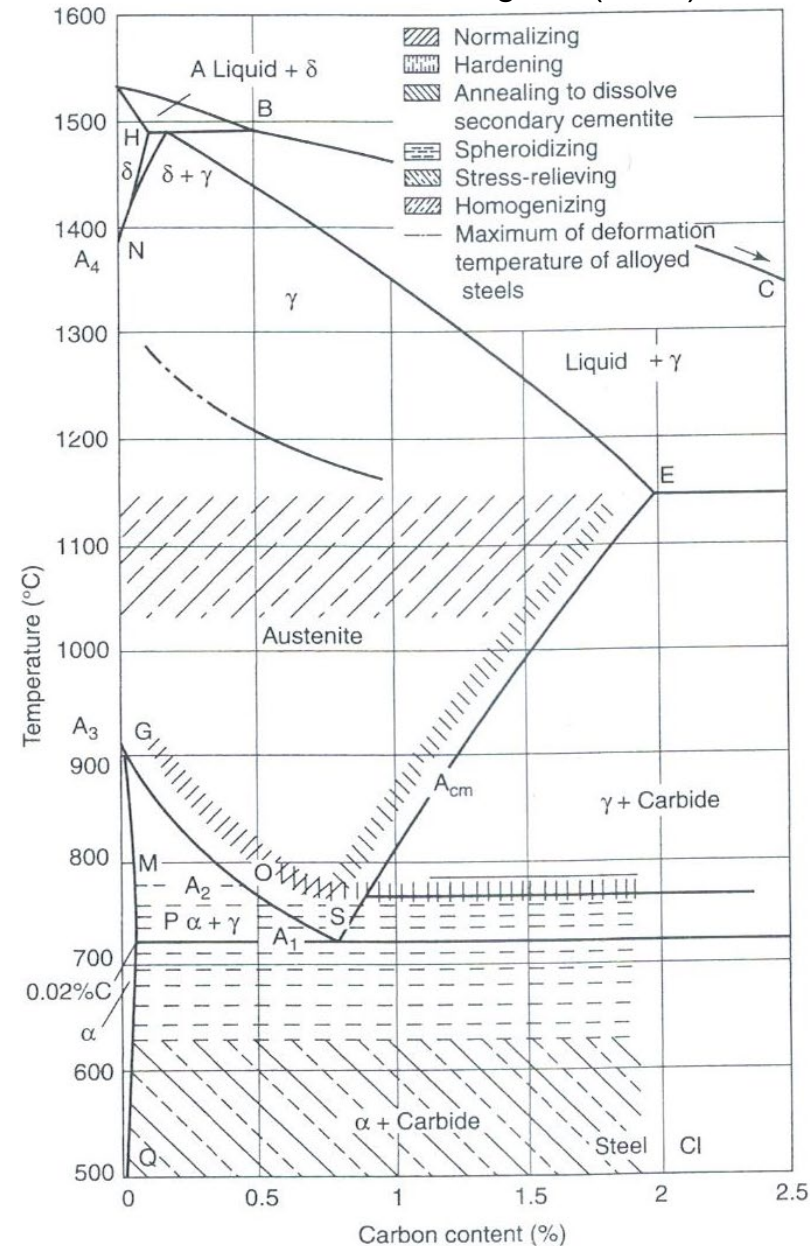
มีคุณสมบัติทนการกัดกร่อน โดยจะสร้างฟิล์มของโครเมียมออกไซด์บางและแน่นที่ผิวเหล็กกล้า มี 5 กลุ่ม

- 1.Ferritic Stainless Steel (Cr12%-17% ,Low Ni) โครงสร้างจุลภาคเป็นเฟอร์ไรต์ แม่เหล็กดูดติดได้
2. Austenitic Stainless Steel (Cr17%Ni9%) โดยนิเกิลจะเพิ่มความต้านทานในการกัดกร่อน มีโครงสร้างเป็น ออสเตนไนต์ ซึ่งกลุ่มนี้จะทนต่อการกัดกร่อนได้ดีกว่า Ferritic
- 3.Duplex Stainless Steel (Cr21-28% Ni 3-7.5%) เป็นโครงสร้างผสมระหว่าง Ferritic และ Austenitic
- 4.Martensitic Stainless steel (Cr 11.5-18%) มี คาร์บอนพอเหมาะสามารถชุบแข็งได้
5. Precipitation Hard enable Stainless steel(Cr 15-18% Ni3-8%) สามารถชุบแข็งได้

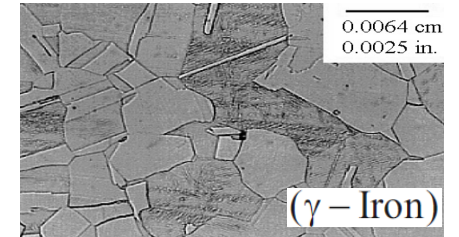
Effect of Alloy Elements

Alloy Elements	Essential Attribute	Net Effect	Enhances/Positive Effects	Reduces/Negative Effects	Remarks
C	Companion element of Fe		Tensility, yield, surface hardness	Impact, elongation, and machinability	Forms martensite structure in quenched steel
Al	Deoxidant in steel production	+ve	Resistance to aging, scaling, and heat resistance (calorizing)		
Cr		+ve	Resistance to corrosion and oxidation, elevated temperature strength, wear resistance to H brittleness	Impact, at >15% and 475°C Cr embrittlement	>13% Cr improves atmospheric corrosion
Mn	Deoxidant	+ve	Tensility, yield, hardenability, also prevents red-shortness		Neutralizes S
Mo	For creep strength	+ve	Tensility, yield, creep, impact, wear resistance, high-temperature strength	Resistance to scaling	Used along with other alloying elements
Ni	For impact at low temperature	+ve	Tensility, yield, toughness. High Ni reduces coefficient of thermal expansion (Invar)		Indispensable for heat resistance
Si	Deoxidant and degasifier	+ve	Tensility, yield, resistance to oxidation and scaling. At >2.5% increases brittleness	Hot and cold workability Electrical conductivity	Ideal for spring steels and electrical apparatus
W	For high-temperature strength	+ve	Tensility, yield, toughness resistance to high-temperature wear, similar to Mo. Forms strong carbide	Resistance to oxidation	Good for tool steels
V	Deoxidant and degasifier	+ve	Resistance to wear, strength at high-temperature resistance to H embrittlement		Grain refiner
Ti	Deoxidant	+ve	Strength at high temperature		Stabilizer in corrosion-resistant steels
S	Impurity in steel	-ve	Machinability in free-cutting steels	Toughness in transverse direction, resistance to weld cracking	
P	Impurity in steel	-ve	Hardness when dissolved in quantity <0.2%	Ductility and resistance to shock in CS	
Cu		-ve	Yield and yield/tensile ratio, up to 0.5% resistance to atmospheric corrosion		Precipitation hardness at >0.3%

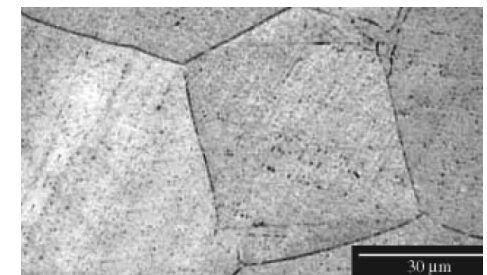
Iron & Carbon diagram (Fe-C)



Ferritic Stainless Steel
SUS 201,211,212



Austenitic Stainless Steel
SUS 304,316

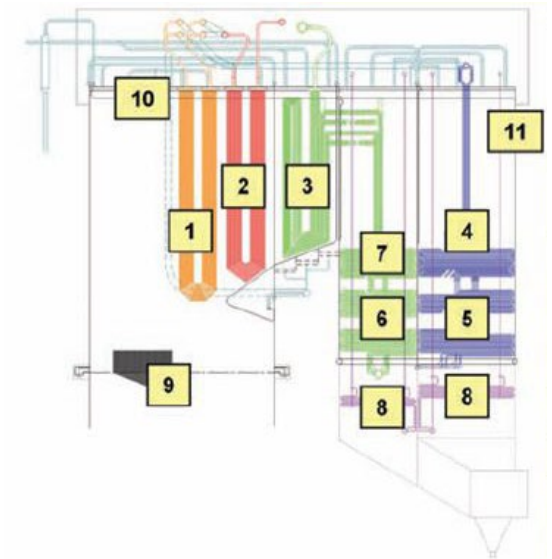


Martensitic Stainless Steel TP
410,414,416

Common steel tube and pipe with their areas of application boiler

Steel Grade	Content	Standards			Applications						
		American ASME SA	British BS	German DIN 17175	Economizer Tube	Evaporator Tube	SH Tube	RH Tube	MS Pipe	Hot RH Pipe	Feed Pipe
Carbon steel	0.15–0.25°C	192	3059-320,360	St 35.8, St 45.8	X	X					
		210 A1									
Mo steel	Tubes	53 Gr A, B	3601-320,360,410	St 35.8, St 45.8					X		X
	Pipes	106 Gr A, B	3602-320,360,410								
Cr–Mo–V steel	0.3–0.5Mo	T1, P1	3059-243	15Mo3,15Mo5	X	X	X	X	X		
Cr–Mo steel	$\frac{1}{2}$ Cr– $\frac{1}{2}$ Mo		3604-660	14MoV63					X	X	
	$\frac{1}{2}$ Cr– $\frac{1}{2}$ Mo	T2, P2				X	X	X	X	X	
	$1\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	T12, P12				X	X	X		X	
	$1\frac{1}{4}\text{Cr}-2\text{Mo}$	T11, P11	3059-620	13CrMo44		X	X	X		X	
	$2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$	T22, P22	3604-620/440,460						X	X	
			3059-622	10CrMo9 10			X	X	X	X	
	$9\text{Cr}-1\text{Mo}$	T91, P91	3604-622						X	X	
			3059-629	X12CrMo91			X	X	X	X	
Ferritic SS	$12\text{Cr}-1\text{Mo } 0.3 \text{ V}$		3604-629				X	X	X		
	$18\text{Cr}-8\text{Ni}$	TP304, 304H	3059-762	X20CrMoV121			X	X			
Austenitic SS			3059-304S18	X5CrNi189			X	X			
	$18\text{Cr}-8\text{Ni}-\text{Ti}$	TP321H	3065-304S59	X12CrNi188			X	X			
			3059-321S18	X10CrNiTi189							
	$18\text{Cr}-8\text{Ni}-\text{Nb}$	TP347H	3065-321S59				X	X			
			3059-347S18	X10CrNiNb189							
	$18\text{Cr}-8\text{Ni}-2\frac{1}{2}\text{Mo}$	TP316H	3065-347S59				X	X			
			3059-316S18	X5CrMo1810							
			3065-316S59	X5CrNiMo1812							

Example of Material is used in super critical boiler



* SA213 T92 used for outlet tube stub connections

Ref	Heating surface	Material	Design temp (°C)
1	Platen SH	SA 213 TP347H/ TP310HCbN/ T92*	640
2	Final SH	SA 213 TP347H/ TP310HCbN/ T92*	650
3	Final RH	T22/ T91/ TP347H/ TP310HCbN/ T92*	680
4	Prim SH	SA 213 T91	550
5	Prim SH inlet	SA 213 T23	530
6	RH inlet	SA 210C	470
7	RH	SA 213 T12	540
8	Econ	SA 210C	375
9	Water wall	SA 213 T12/ T23	515
10	Furnace roof	SA 213 T23	510
11	Rear cage	SA 213 T23	510

BQ plates American Specification and Equivalent

American Plate Specifications (SA)												
Plate Specifications		Nominal Composition	C%	Tensile (kpsi)	Yield (kpsi)	Tensile (MPa)	Yield (MPa)	Maximum (°C)	British Equivalent (BS 1501)		German Equivalent (DIN 17155)	
1. Carbon steels												
285 Gr C	C	0.22	55	29	380	200	482	161–430	C	H-11	C-Mn	
515 Gr 70	C	0.35	70	38	480	265	538	224–490	C-Mn	17 Mn4	C-Mn	
516 Gr 70	C	0.35	70	38	480	265	538	224–490	C-Mn	17 Mn4	C-Mn	
299	C	0.30	75	40	515	275	538	224–490	C-Mn	19 Mn6	C-Mn	
2. Low-alloy steels												
302 Gr B	1¼% Mn–1/2 Mo	0.25	80	50	550	350	538	—		15 Mo3	C–1/2 Mo	
3. Medium-alloy steels												
387 11 cl 11	1¼% Cr–1/2 Mo	0.17	75	45	515	315	566	Gr 620B	1¼% Cr–1/2 Mo	13CrO44	1¼% Cr–1/2 Mo	
387 22 cl 2	2¼% Cr–1% Mo	0.17	75	45	515	315	577	Gr 622B	2¼% Cr–1% Mo	10Cr–Mo9 10	2¼% Cr–1% Mo	
4. High-alloy steels												
NA	—	0.17	80	56	551	386	500	Gr 271	Ni–Cu–Mo–V			
								(DUCOL)				
NA		0.19	87	61	600	420	500			15NiCu–MoNb5 (WB36)		

Notes: Brief details of popular drum plates to American standards are provided here and are compared with the other popular equivalent British and German plates.

For accurate and current details, the readers must refer to the latest specifications.

Tensile strength reduces as the plate thickness increases. Tensility given here refers to higher thicknesses. Tensile and yield strength values given are the minimum values. Figures in MPa are rounded off.

The equivalent plate indicated is not an identical material. It is the closest by tensile strength but differs in almost all other major parameters.

Plates of high-alloy steels are popular in Europe. The values given in the table against this item are not for American plates but of Ducol and WB36, respectively.

NA, not available.



Boiler drum

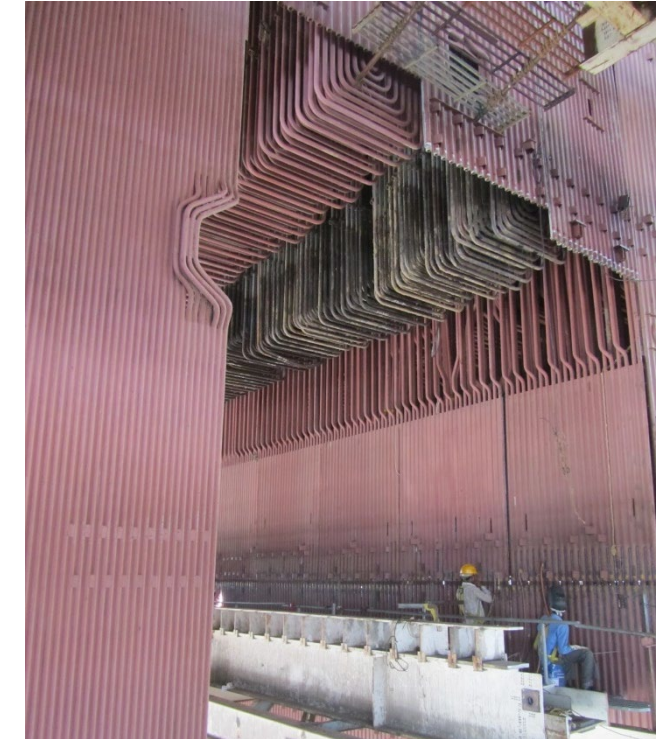
Boiler Quality Tubes to American Specifications and Their BS and DIN Equivalents

American Tube Specifications (SA)								British Equivalent (BS 3059)	German Equivalent (DIN 17175) for Seamless
	Nominal Specification	Temperature Limit (°C)	Tensile (kpsi)	Yield (kpsi)	Tensile (MPa)	Yield (MPa)	Use		
1. Carbon steel									
Low tensile									
178 A (ERW)	C(<0.18)	510	47	26	324	179	1, 2, 3	ERW 320	St 37.8 (DIN 17177)
192	C(<0.18)	510	47	26	324	179	1, 2, 3	S1 360	St 35.8
Medium tensile									
210 A-1	C(<0.27)	510	60	37	414	255	1, 2, 3	S1 440	St 45.8
High tensile									
210 C	C(<0.35)	510	70	40		276	2, 3	ERW 440	St 42.8 (DIN 17177)
178 C (ERW)	C(<0.35)	510	60	37	414	255	2, 3		
178 D (ERW)		510	70	40		276	1, 2, 3		
2. Low-alloy steel									
209 T1	C- $\frac{1}{2}$ Mo	524	55	30	379	207	1, 2, 3	S1 243	15 M03
209 T 1A	C- $\frac{1}{2}$ Mo	524	60	32	414		2, 3		
213 T2	$\frac{1}{2}$ Cr- $\frac{1}{2}$ Mo	552	60	30	414	207	1, 3		
213 T 11	$1\frac{1}{4}$ % Cr- $\frac{1}{2}$ Mo	566	60	30	414	207	3	620-460	13CrMo44
213 T 22	$2\frac{1}{4}$ % Cr-1% Mo	602	60	30	414	207	3	622-490	10CrMo9 10
3. High-alloy steel									
213 T 9 1	9Cr-1Mo-V	649	85	60	586	414	3	622 Gr 91	X 10 Cr MoV Nb 9-1
4. Stainless steel									
213 TP-304 H	18Cr-8Ni	760	75	30	517	207	3	CFS 304 S 51	X2 Cr Ni \$19-11
213 TP-321 H	18Cr-10Ni-Ti	760	75	30	517	207	3	CFS 321 S 51	X6 Cr Ni Ti \$18-10
213 TP-347 H	18Cr-10Ni-Cb	760	75	30	517	207	3	CFS 347 S 51	X5 Cr Ni Nb \$18-10
213 TP-316 H	16Cr-12Ni-2Mo	760	75	30	517	207	3	CFS 316 S 51	X5 Cr Ni Mo \$17-1-22
213 TP-310 H	25Cr-20Ni	816	75	30	517	207	3	CFS 310 S 51	

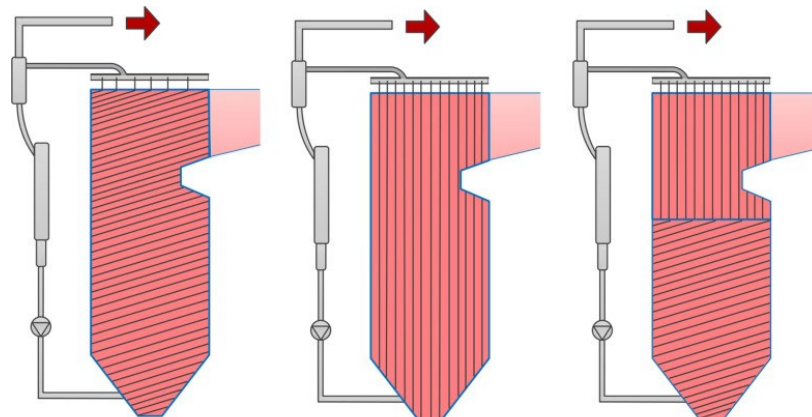
Notes: Safe maximum outside tube wall metal temperatures given here are on the basis of oxidation resistance. Design codes decide the permissible temperature limits. For CS usage beyond 454°C when permitted by the code, special inspection is required for 100% weld efficiency.

In the column pertaining to use, 1 refers to furnace walls exposed to high heat, 2 refers to ECON and other enclosures not exposed to high heat, and 3 refers to SH and RH.

\$ refers to DIN 17456, which is the specification for ss tubes. The equivalents are for basic steels without suffix H. Steels with suffix H are modified to suit high-temperature duties of SH and RH by increasing the carbon content by 0.02%.



Boiler tube installation



Benson boiler with the spiral water wall

Benson boiler with the vertical water wall

Benson boiler with a combination water wall of the former two types



Boiler Quality Pipes to American Specifications and Their Equivalent BS and DIN Standards

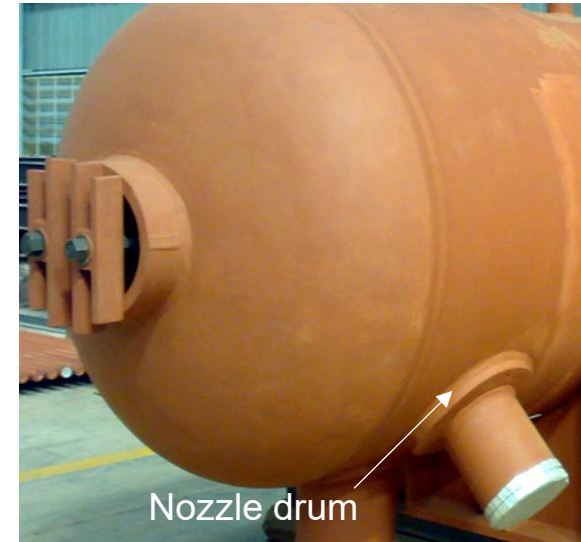
American Specifications (SA)							British Equivalent (BS)	German Equivalent (DIN 17175)
Nominal Specifications	Temperature Limit (°C)	Tensile (kpsi)	Yield (kpsi)	Tensile (MPa)	Yield (MPa)	Use		
1. Carbon steel								
Medium tensile								
106 Gr B C(<0.30) ^a	510	60	35	414	241	1, 2, 3	3602 CFS 460	St 45.8
High tensile								
106 Gr (°C) C(<0.35) ^a	510	70	40	482	276	1, 2, 3		
2. Low-alloy steel								
335 P1 C-½ Mo	468	55	30	379	207	2, 3	S1 243	15 M03
335 P12 C-½ Mo	566	60	30	414	207	1		
335 P11 1¼% Cr-½ Mo	566	60	30	414	207	1, 2, 3	3604 CFS 620	13CrMo44
335 P22 2¼% Cr-1% Mo	593	60	30	414	207	1, 2, 3	3604 CFS 622	10CrMo9 10
3. High-alloy steel								
335 P91 9Cr-1Mo-V	649	85	60	586	414	1, 2, 3	3604-2 Gr 91	X10CrMoV Nb9-1

Note: In the column pertaining to use, 1 refers to furnace walls exposed to high heat, 2 refers to ECON and other enclosures not exposed to high heat, and 3 refers to SH and RH.

^a Limited to a temperature of 427°C (800°F) and for pipes outside of boiler setting for fear of graphitization by steam.



Feed water pipe



Nozzle drum

Pressure Castings and Forgings to American Specifications and Their Equivalent BS and DIN Standards

American Specifications (SA)								British Equivalent (BS)	German Equivalent (DIN)
Nominal Specification	Temperature Limit (°C)	Form	Tensile (kpsi)	Yield (kpsi)	Tensile (MPa)	Yield (MPa)			
1. Carbon steel									
Med. tensile SA 216-WCA	C(<0.25)	510	Casting	60	30	414	207	1504-430	17245-GS C25
High tensile SA 216-WCB	C(<0.30)	510	Casting	70	36	482	248	1503 460-224	17243-17Mn4
SA 105	C(<0.35)	510	Forging	70	36	482	248		
2. Low-alloy steel									
SA 182 F12	C- $\frac{1}{2}$ Mo	468	Forging	70	40	482	276	1503-620	17243-13CrMo44
SA 336 F12	C- $\frac{1}{2}$ Mo	566	Forging	70	40	482	276		
SA 182 F11	$1\frac{1}{4}$ % Cr- $\frac{1}{2}$ Mo	566	Forging	70	40	482	276		
SA 217 WC6	$1\frac{1}{4}$ % Cr- $\frac{1}{2}$ Mo	593	Casting	70	40	482	276		
SA 182 F22	$2\frac{1}{4}$ % Cr-1% Mo	602	Forging	75	45	517	310	1503-622	17243-10CrMo910
SA 217 WC9	$2\frac{1}{4}$ % Cr-1% Mo	602	Casting	70	40	482	276	1504-622	
3. High-alloy steel									
SA 182 F 91	9Cr-1Mo-V	649	Forging	85	60	586	414	1503-2Gr 91	
4. Stainless steel									
182 F304 H	18Cr-8Ni	760	Forging	75	30	517	207	1503-304	
182 F 316 H	16Cr-12Ni-2Mo		Forging	75	30	517	207	1503-316	
351 CH 20	25Cr-12Ni	816	Casting	70	30	482	207		

Note: The tensile and yield strengths are the minimums.

Pressure Casting and forging

- Nozzle for drum header and pipe
- Enclose for header
- Pipe fitting
- Pipe and header attachment such as pads , thermowells
- Special forging such as tube joint



Structural Steels Required in Boilers

Items	Consisting	Material	Main Areas of Application
Rolled sections	Beams, channels, angles, flats	CS	Boiler-, bunker-, and deaerator-supporting structures, stiffeners for ducts, and buckstays
Plates		CS, AS	Column base and top plates, gussets, splices, top suspension girders, AH ends, and PP attachments
Steel sheets	Sheets >4 mm	CS, AS, ss	Flues, ducts, casing, hopper, bunkers, and bunker liners
Coils/thin sheets	Sheets <2 mm, colored	GI, ss	Cladding and expansion joints
Strips		CS, ss	Membrane bars, header and drum attachments, ladders, and platforms
Rounds	Black and bright bars	CS	Foundation bolts, suspension hangers, pipe supports, earthquake restraints, and drum slings
Fasteners		CS, AS	Nuts for foundation bolts, bolts, and nuts for ducts
Pipes		CS	Safety valve, silencer and IBD tank escape pipes, round ducts for air and gas, and hand rails for galleries
Tubes	<76.2 mm	CS, COR-TEN	Airheater main and stay tubes

Note: CS, carbon steel; AS, alloy steel; ss, stainless steel; GI, galvanized iron; COR-TEN™ weathering steel.

Structural Steels to American Specifications and Their Equivalent BS and DIN Standards

American Specifications							
Designation	Items	C (%)	Tensile (kpsi)	Yield (kpsi)	Tensile (MPa)	Yield (MPa)	BS Specification
A 36	Sections	0.26	58	36	400	250	4360-40- B, C
A 572 Gr 42	Sections	0.21	60	42	415	290	-43-A, B, C
A 572 Gr 50	Sections	0.23	65	50	450	345	-50-A, B, C
A 36/572 Gr 50	Sections	0.22	65	50	450	345	-50-A, B, C
A 53 Gr A	Pipes	0.25	48	30	330	207	3601-S 360
A 53 Gr B	Pipes	0.30	60	35	415	240	430
A 501	Hollows	0.30	58	36	400	248	4360-40 B 43 D
	Sections						17120 R St 37.2 St 44.3

Note: Indicated tensile and yield strengths are the minimum figures.

Typical Composition of Heat-Resistant Chrome and Cr-Ni Iron Castings

Temperature	Composition (%)							Typical Parts
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	
<600°C	3.2-3.4	1.5-2.5	0.75-0.85	<0.12	<0.25	0.30-0.70		Ash/furnace doors, ash spouts
600-700°C	3.2-3.4	1.5-2.5	0.75-0.85	<0.12	<0.25	0.70-1.10		Grate bars—heat-resistant
600-700°C	3.0-3.5	1.7-2.4	0.60-1.00	<0.12	<0.4	0.85-1.50		Grate parts—heat- and growth-resistant
600-700°C	<3.4	1.6-2.0	0.60-1.00	<0.1	<0.2	0.40-0.60	1.00-1.50	Grate parts—wear-resistant
600-700°C	3.0-3.5	1.7-2.4	0.60-1.00	<0.12	<0.4	0.60-1.00	0.80-1.50	

Heat resistant steel Casting

SH and RH lugs and burner impellers are highly heat resistant materials used in boiler. Approximate 1,500 °C shall be used heat resistant materials Ferritic , Ferritic – austenitic, Austenitic steels

25%Cr-12%Ni to A351 CH20

25%Cr-20%Ni to A351 CK20

Boiler Insulation

General Physical and Chemical Properties for Shaped Refractories in Boilers

Type of Brick	Composition	Fusion Temperature (°C)	Apparent Porosity (%)	Permeability	Hot Strength	Thermal Shock Resistance	Resistance to Acids	Resistance to Alkalies
Firebrick	40% Al ₂ O ₃	1720	18	Moderate	Fair	Fair	Good	Good at low temperature
Firebrick	42% Al ₂ O ₃	1745	15	High	Fair	Good	Good	Good at low temperature
High alumina	50–85% Al ₂ O ₃	1760–1870	20	Low	Good	Good	Good but for HF	Slight attack at high temperature
Extra high alumina	90–99% Al ₂ O ₃	1650–2010	23	Low	Excellent	Good	Good but for HF	Slight attack at high temperature
Silica	95% SiO ₂	1700	21	High	Excellent	Poor	Good	Good at low temperature
Silicon carbide	80–90% SiC	2300	15	Very low	Excellent	Excellent	Good but for HF	Attack at high temperature
Insulating bricks			65–85	High	Poor	Excellent	Poor	Poor

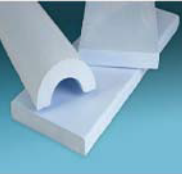
Silica brick



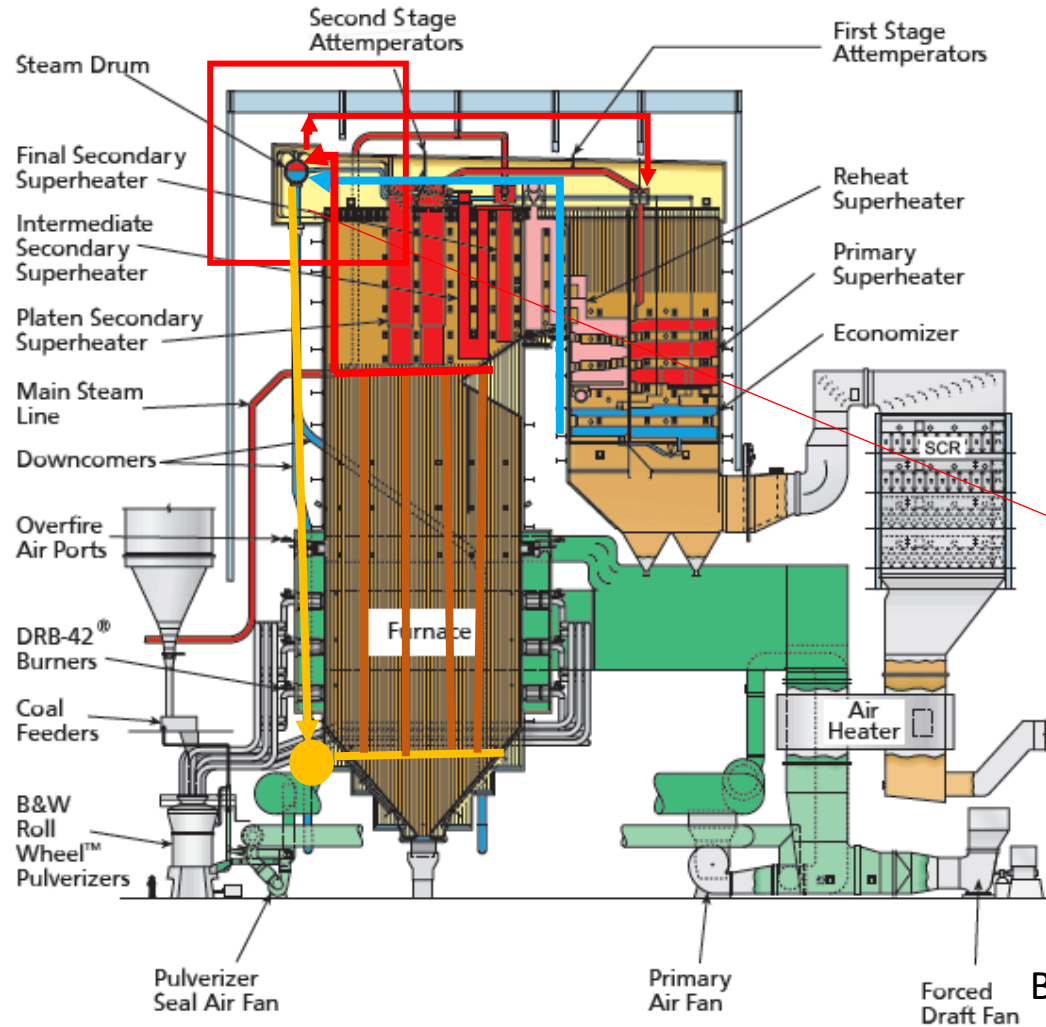
Properties of Common Insulating Materials Used in Boilers

Insulating Material	Density (kg/m ³)	Limiting Temperature (°C)	Thermal Conductivity					Specific Heat Capacity	
			W/m K	At (°C)	W/m K	At (°C)	W/m K	At (°C)	At (°C)
Asbestos, loose	575	800	0.205	100	0.216	300	0.230	500	0.820 20–100
Asbestos, fire	280	800	0.063	100	0.092	300	0.121	500	0.838 0–100
Asbestos cords	300	240	0.093	0	0.105	100	0.116	200	
Glass wool	100	~500	0.059	100	0.080	200	0.095	300	0.796 0–100
Magnesia powder	300	~300	0.066	100	0.077	200	0.088	300	
Magnesia without alumina	400	~300	0.073	100	0.081	200	0.089	300	1.005 0–100
Magnesia—asbestos shaped bricks	200	~600	0.065	100	0.090	300	0.105	500	
Mineral wool	200	850	0.053	100	0.065	200	0.089	300	0.837 0–100
Slag wool	200	500	0.052	100	0.086	300	0.126	500	0.753 0–100

Aerogel	Microporous Materials (Silica + Opacifiers)	Mineral Wool / Rock Wool
		

Ceramic Fiber	Calcium Silicate	Perlite
		

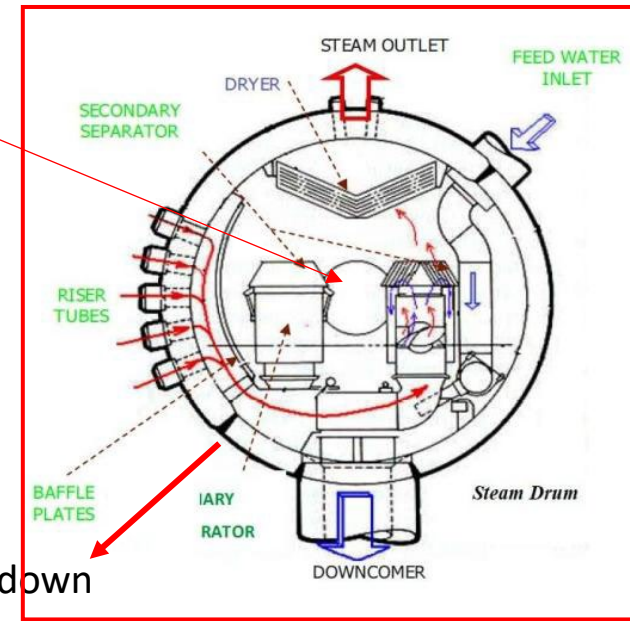
- Boiler and Assembly



1. Steam Drum

1. น้ำซึ่งจะถูกสูบโดย Boiler บั้มจาก Deaerator ผ่านไปยัง Economizer จากนั้นก็จะเอาสู่ Steam Drum ซึ่งเป็น ถังที่เก็บน้ำที่เข้า และ Saturated steam อย่างไรก็ตามสำหรับ one though boiler จะไม่มี Steam Drum น้ำจะถูกอัดปั้มโดยตรง

Steam Drum ทำหน้าที่ หลักๆคือการควบคุมระดับน้ำที่เข้าเพื่อให้สมดุล กับไอน้ำที่จะออกซึ่งถูกแยกโดย Steam separator น้ำที่เต็มจะไหลจาก Steam Drum ลงทางท่อ Down comer ไปยังแยกไปยังท่อแขนงของ water wall กลับมา Steam Drum อีกครั้ง ซึ่งจะมีหมุ่นเวียนอยู่หลายรอบ จนกลายเป็นไอน้ำ



Design Criteria

225.415 kgf/cm²(Critical pressure)
374.065 °C
100-150 mm. Thick
1000-2200mm Dia

Bow down

Typical Minimum Percent SWH versus Drum Pressure

Drum pressure (bar)	35	70	105	140	175	200
%SWH	51	56	60	63	65	66

Surface heating

สำหรับโรงกำเนิดไอน้ำจะกระบวนการที่สำคัญอยู่สองกระบวนการได้แก่

- **Combustion** ซึ่งเป็นกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อให้ได้พลังงานความร้อน ซึ่ง

อุปกรณ์และระบบ **Firing** ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อ **Firing Equipment**

- **Heat transfer** ซึ่งเป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนที่น้ำได้รับความร้อนจาก

กระบวนการเผาไหม้และกลายเป็นไอน้ำเกิดที่ **Evaporative heating surface**

และไอน้ำอิมตัวรับความร้อนจาก การแพร่รังสีหรือการพาความร้อน เพื่อเป็นไอน้ำยิ่งยวด

super heat steam เพื่อจะนำไปใช้งาน เกิดที่ **Super heating surface** และ

น้ำป้อน รับความร้อนจากไอเสีย เพื่อเพิ่มอุณหภูมิ เกิดขึ้นที่ **Economizer** และ อากาศที่

จะใช้ในกระบวนการสันดาป แลกเปลี่ยนความร้อน กับไอเสีย เกิดขึ้นที่ **Air Preheat** โดย

อุปกรณ์นี้จะถูกติดตั้งในแต่ละตำแหน่ง ตามลำดับในรูป ของ **Boiler plant**

พอสังเขปดังนี้

1. Evaporative heating surface
2. Super heating surface
3. Reheating surface
4. Economizer
5. Air Preheater

Furnace

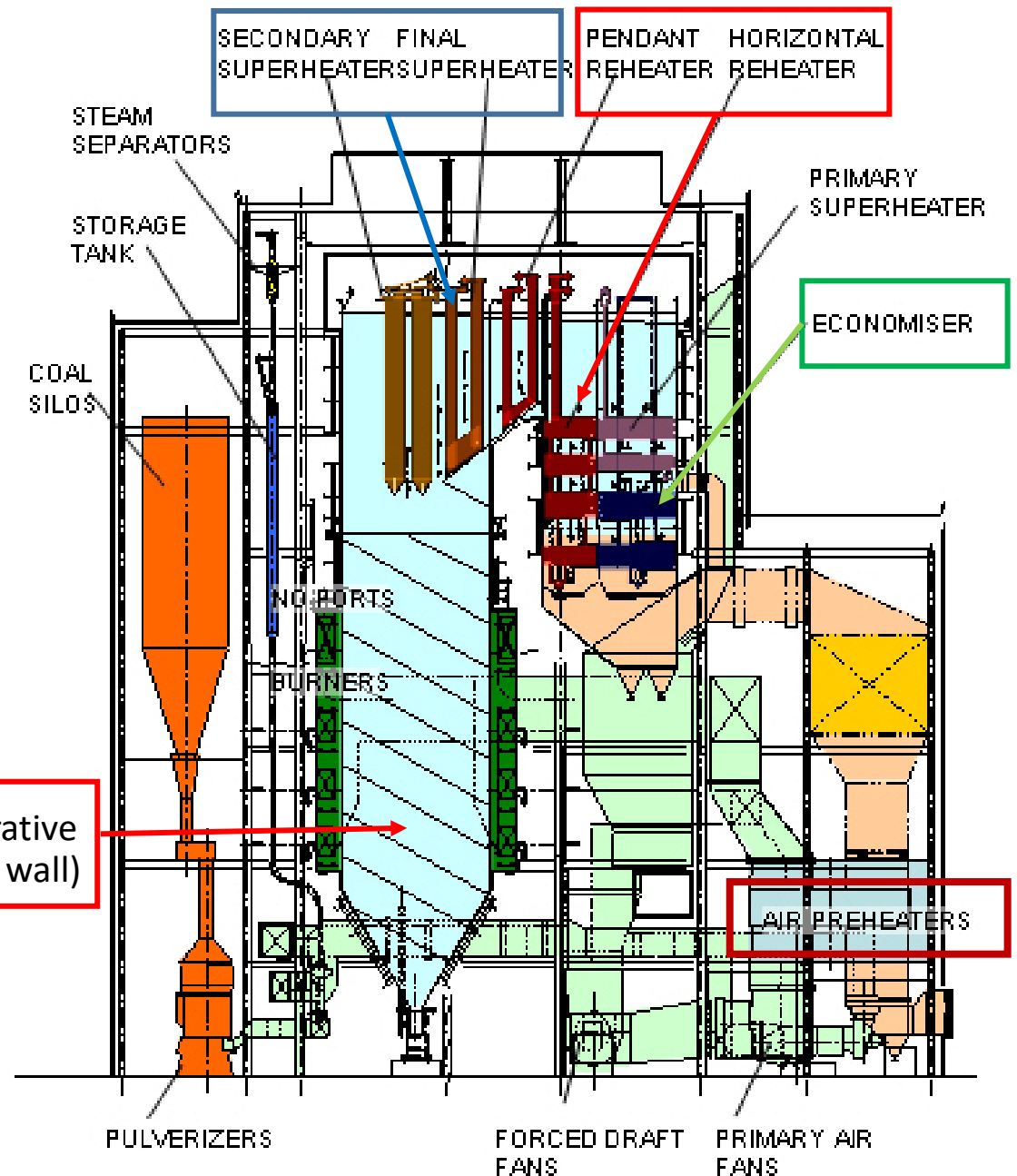
เป็นส่วนที่ครอบคลุม การเผาไหม้ทั้งหมด โดยการออกแบบจะคำนึงถึงเรื่องดังนี้

1. ขนาดจะต้องมีขนาดที่เพียงพอจะทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ซึ่งจะต้องสอดคล้องกับ

Residence time ของเตาเผาแต่ละแบบ และ เชื้อเพลิงแต่ละชนิด

2. จะต้องสามารถรักษาอุณหภูมิของไอเสียที่เหมาะสมที่จะส่วไปยัง **Superheat surface**

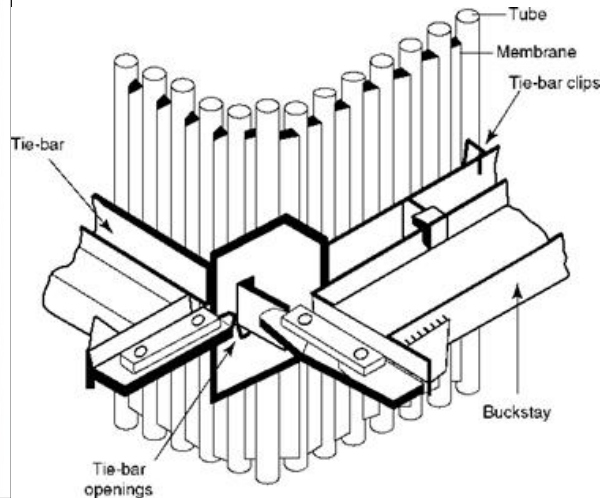
ไม่ให้มีชี้อะการละลายติด



Evaporative

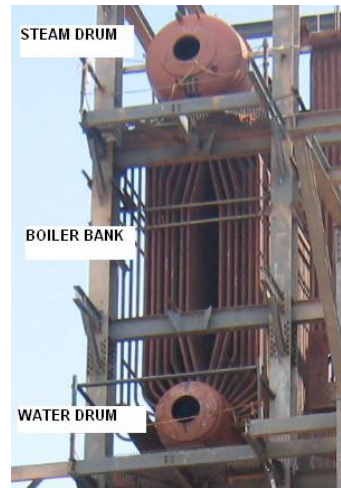
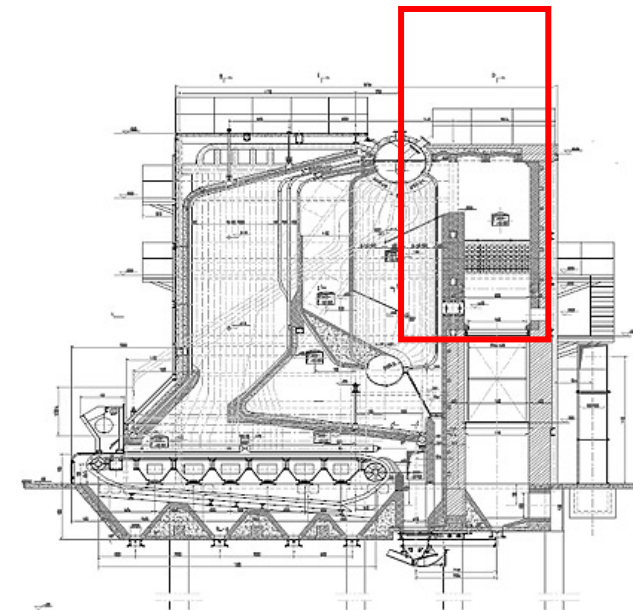
Heating surface ในส่วนนี้ เป็นส่วนที่อยู่ในส่วนของ Combustion chamber จะรับความร้อนจากการสันดาปโดยตรงจากกระบวนการสันดาปเชื้อเพลิง ขนาดของ Chamber โดยตรง Heating surface ในส่วนนี้จะทำหน้าที่ 2 ส่วนคือ

1. เพื่อเป็นระบบ Cold down ให้กับผนังของ Boiler ซึ่งมักเรียกว่า Water wall Tube diameters 38.1 มม. (1.5 in) จนถึง 76.2 มม. (3 in) โดยท่อโดยจะสร้างเป็นท่อเชื่อมติดกัน ด้วย แผ่นเหล็กระยะห่างระหว่าง (Strip width) 6-60 มม. เรียกว่า Membrane Strip
2. เป็นท่อที่รับความร้อนจากกระบวนการสันดาปเชื้อเพลิง เพื่อเปลี่ยนสถานะน้ำให้เป็น Saturated Steam โดยการรับความร้อนจะเป็นแบบ Radiation

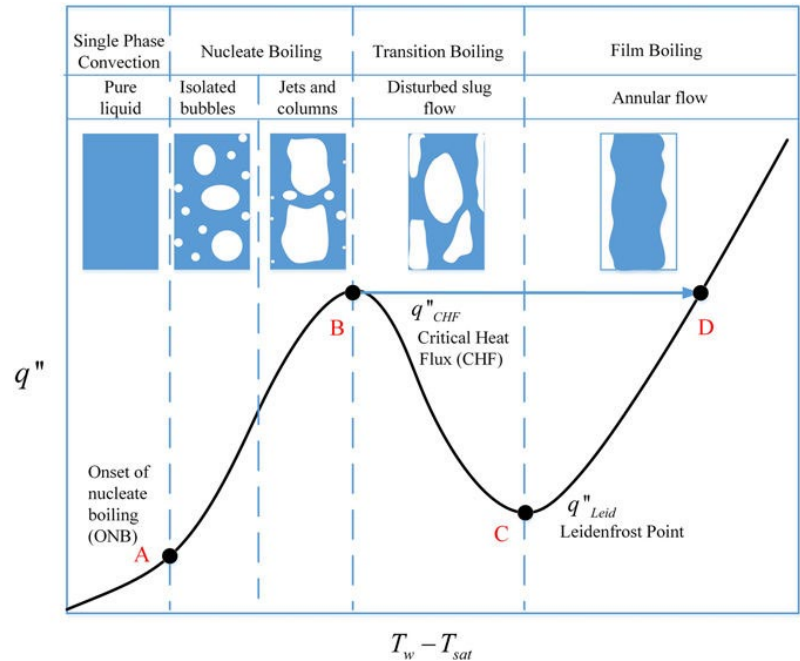


Boiler bank tube (BB)

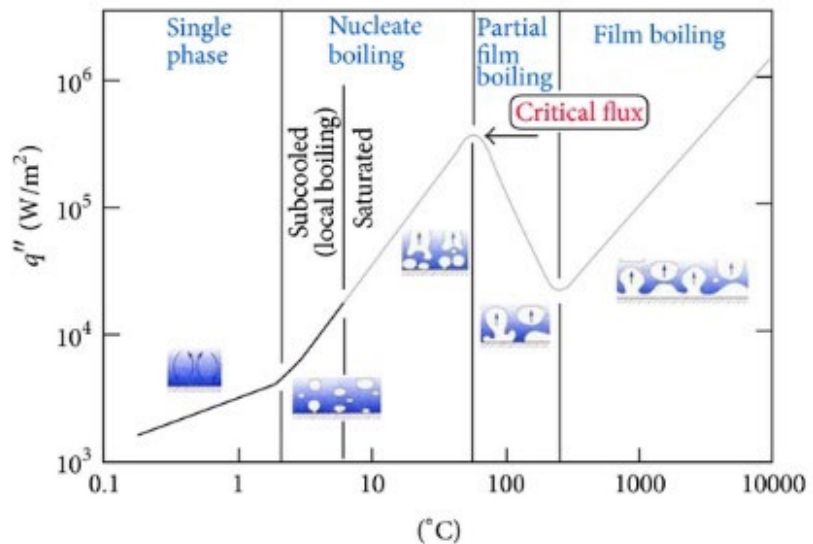
ใช้เรียกท่อที่เป็นกลุ่มท่อที่อยู่ระหว่าง Boiler drum ทำหน้าที่เพื่อรับความร้อน สำหรับเปลี่ยนสถานะน้ำให้เป็น Saturated steam เป็นหลัก โดยจะรับมีการถ่ายเทความร้อนแบบ Convection โดยจะรับจากลมร้อน (ไอเสีย) วัสดุที่ใช้ในส่วนใหญ่ จะเป็น Carbon Steel ซึ่งได้กล่าวไปในบทก่อนหน้านี้ การจัดเรียงท่อและการก่อสร้างจะต้องคำนึงถึง ความเร็ว และ ระยะ เพื่อป้องกันการการสะสมการตัน ของ ขี้เถ้า



-Flow in vertical tube



-Flow in horizontal tube



Flow in Vertical and horizontal tube

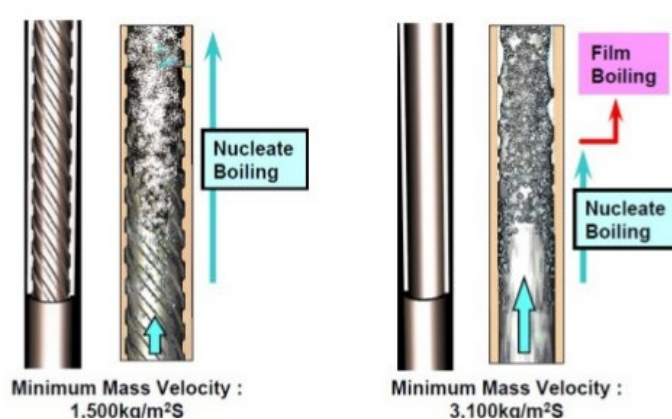
1. การไหลในท่อส่วน Evaporative จะเป็นส่วนที่เกิดการเปลี่ยนสถานะ ของน้ำซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามรูปที่แสดง ภายในท่อ จะเป็นการไหลของ Water –Steam mixture โดยตลอด การเปลี่ยนแปลงจะต้องให้เกิด Wet wall (Nucleate boiling) เพื่อป้องกันท่อที่จะร้อนเกินไปจนเกิดการเสียหาย

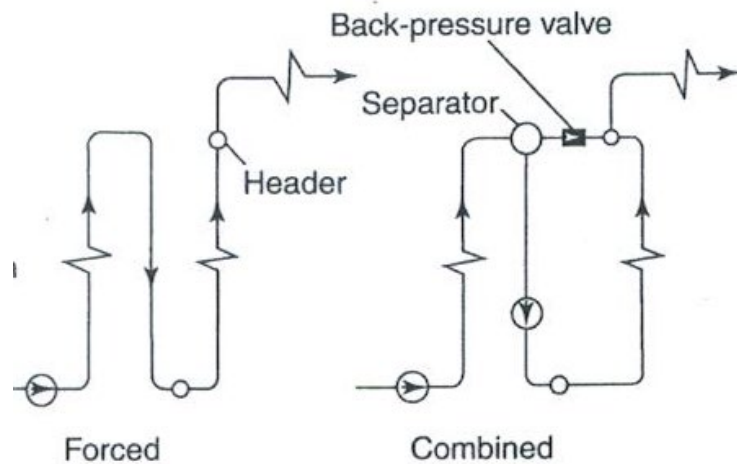
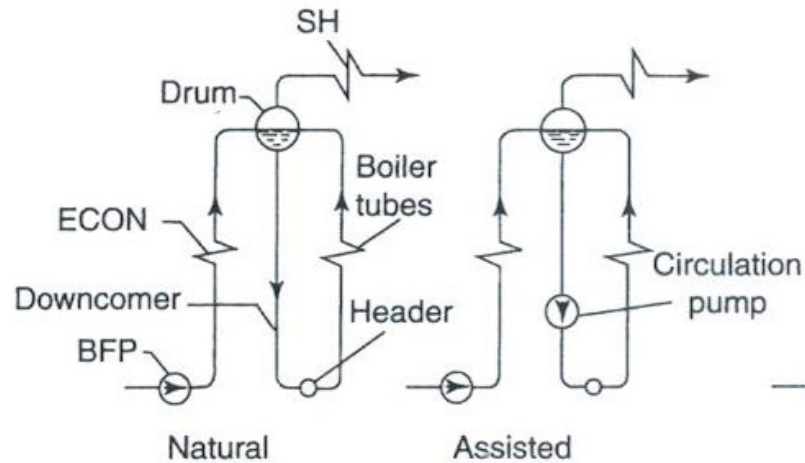
2. จากรูปจะเห็นการเปลี่ยนแปลง ในช่วง A-B ที่เกิดเป็นฟองน้ำเล็กๆจนกระทั่งรวมกันเป็นฟองใหญ่ ซึ่งเรียกว่า Nucleate boiling และเมื่อได้รับความร้อนต่อไปจนถึงจุด B เรียกว่า Critical heat Flux ซึ่งเป็นจุดที่จะเปลี่ยนไปเป็น จุด D Film boiling (dry Wall) ซึ่งจะเป็นการกระโดดไปรวดเร็วซึ่งจะทำให้เกิด over heating โดยทั่วไป จะป้องกันไม่ให้ความร้อน เกิน จุด Critical heat Flux

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับ ที่จะทำให้ สูญเสีย Nucleate boiling

- High heat flux
- Low water velocity
- High Pressure

Ribbed tube or Rifled tube





Type of boiler circulation

รูปแบบการหมุนเวียนน้ำผ่าน Boiler โดยทั่วไปแบ่งเป็น 4 แบบได้แก่

1. Natural Circulation
2. Assisted Circulation
3. Force Circulation
4. Combined Circulation

1. Natural Circulation

ไม่ใช้ปั๊ม เป็นการหมุนเวียนโดยอาศัย Thermosyphonic head คือผลต่างของแรง Gravity ของน้ำใน Downcomer และ Riser โดย Circulation head จะต้องมากกว่า Friction loss และ Shock loss ในท่อ ระบบการไหลเวียนแบบนี้จะไม่เกิด Overheating เนื่องจากถ้าได้รับความร้อนมากขึ้นก็จะทำให้ความเร็วในการไหลเวียนมากขึ้นเช่นกัน ซึ่งเรียกว่า Self- limiting system ซึ่งเป็นจุดเด่นของระบบการไหลเวียนแบบนี้

2. Assisted Circulation

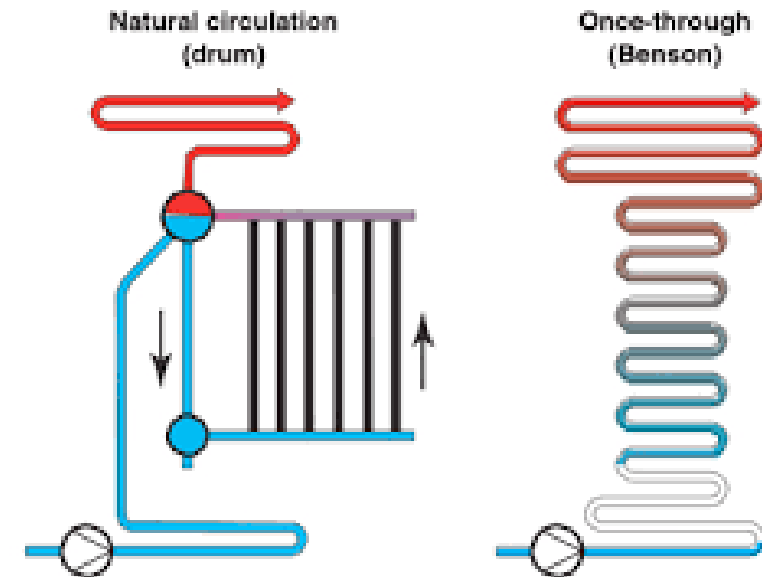
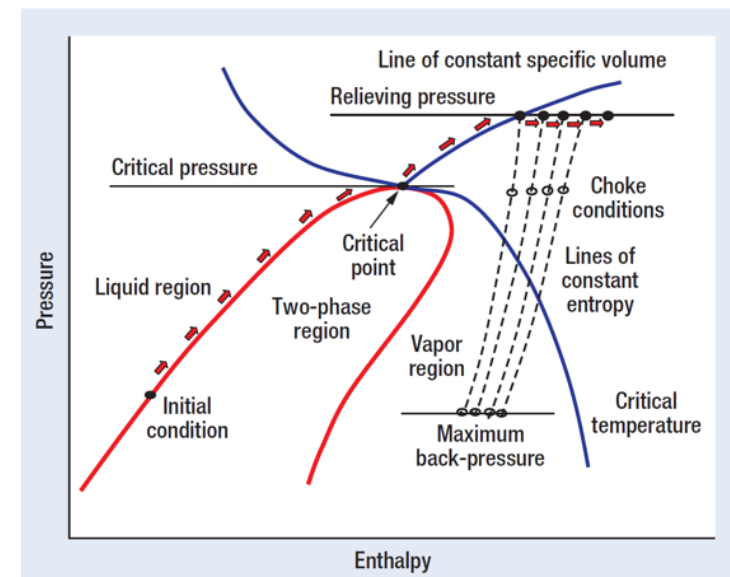
ระบบนี้ส่วนใหญ่ใช้กับระบบที่แรงดัน สูงกว่า 150 bar โดยหลักก็คือการเพิ่มปั๊มที่ Downcomer เพื่อเพิ่ม head ในระบบการหมุนเวียนในระบบ Natural circulation ซึ่งจะสามารถลดขนาดท่อ Down comer และความสูงของ Boiler ทำให้ประหยัดค่าก่อสร้างได้

3. Force Circulation and one though force circulation

จะพบใน Super critical boiler ซึ่งจะไม่มีการหมวนเวียนน้ำ ,the Circulation ratio 1 คือไม่มีการหมวนเวียนน้ำ ระบบนี้จะอาศัย Pressure จากปั๊มอัดเข้า Boiler โดยตรงและ ให้ความร้อนและแรงดันสูงกว่า Critical point ไม่มี /mixture ระหว่าง water และ steam จึงไม่จำเป็นต้องมี Stream Drum อย่ใ้ไรก็ดีใน Sub critical boiler แบบBenson ก็ออกแบบเป็นone Though force circulation เช่นกัน

4. Combine Circulation

จะเป็นการผสมผสานระหว่างระบบที่มีการหมวนเวียนน้ำ และระบบไม่หมวนเวียนน้ำ one though force circulation โดยในช่วงแรกแรกหรือช่วงที่ load ต่ำก็จะทำงานแบบ circulation แต่เมื่อ load สูงขึ้นแรงดันมากขึ้นก็จะไปทำงานแบบ one though force circulation โดยจะระบบควบคุมแรงดันเป็นตัวกำหนดการทำงานขอระบบ



Super heat and Reheated tube (SH&RH)

Superheat (SH)

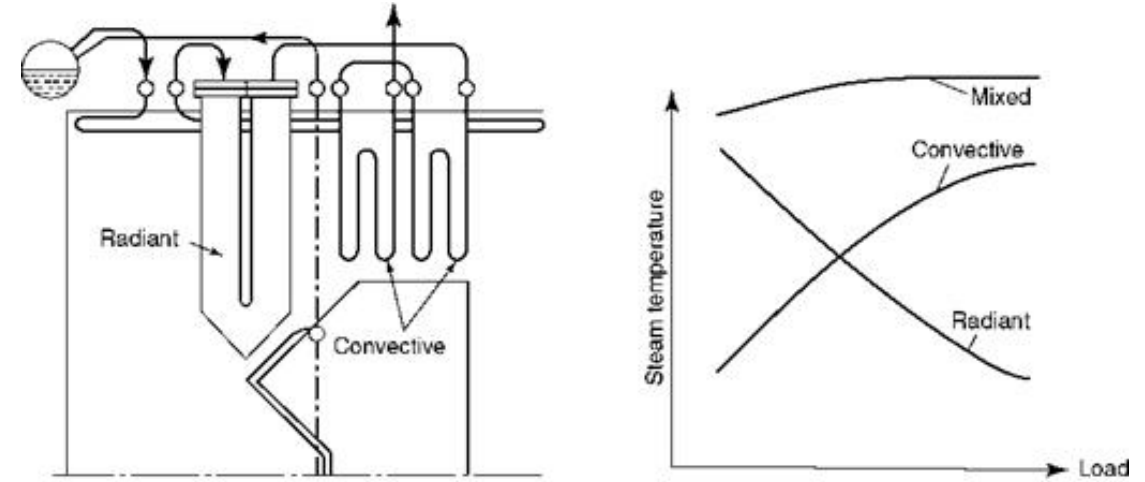
จะเป็นกลุ่ม heating surface ที่สำหรับเพิ่มอุณหภูมิ Saturated steam ให้เป็น Super heat steam โดยการรับความร้อนจะมีทั้งแบบ Radiation และ Convection สำหรับ subcritical boiler, SH จะเป็นท่อที่ต่อจาก Drum นำไอน้ำอิ่มตัวไปยัง SH in let header ซึ่งปกติ SH จะมี SH inlet /out let header และจะติดตั้ง Attemperator station เพื่อควบคุมอุณหภูมิของไอน้ำ และท่อระหว่าง Drum และ SH Header ไม่ควรมี Valve เนื่องจาก ประสิทธิภาพของวัฏจักร กังหันไอน้ำ การเพิ่มอุณหภูมิและแรงดันของไอน้ำก็จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของวัฏจักร โดยจะพยายามให้ Superheat Steam สูงที่สุดเท่าที่จะทำได้

- ใน Boiler ทั่วไป อุณหภูมิ Superheat ที่ประมาณ 484, 510, 530°C และ 540°C ที่ 120 bar จะเป็นช่วงที่นิยม
- สำหรับ โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม HRSGs 565°C
- Super critical boiler 620°C

เนื่องจาก SH & RH เป็นส่วนที่ร้อนที่สุดในระบบของ ไอน้ำ และ เป็น Dry steam ดังนั้น เหล็กที่ใช้ในการทำท่อในส่วนนี้จะเป็ เหล็กที่ ผสม Alloy หรือ เหล็กกล้ากันสนิมซึ่งได้กล่าวไปแล้วในเรื่องของ Material โดยทั่วไปขนาดท่อ SH&RH จะมีขนาด 38.1 มม. (1.5 in) จนถึง 50.8 มม. (2 in)

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงการออกแบบ Super heat surface

- Metal Temperature
- Fouling due to ash compounds
- Corrosion due to salt in ash



Permissible Gas Velocities and Clear Spacing between Tubes in Pendant Superheater (Perpendicular to Gas Flow)

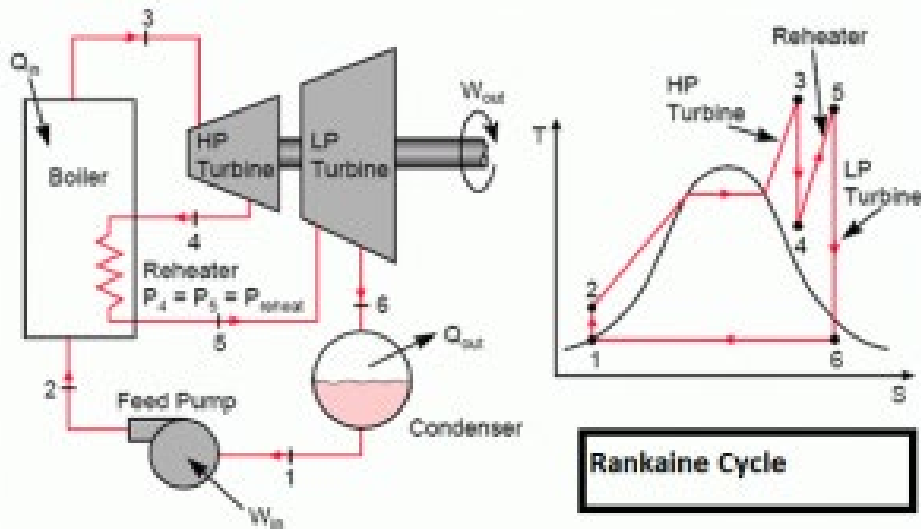
Fuel	Oil			Pulverized Fuel Low/Soft Ash	Pulverized Fuel Abrasive Ash	Spreader Stokers	
	Gas	Distillate	Residual			Coal	Bagasse/ Biomass
Maximum gas velocity (m/s)	30	30	18	15–18	12–14	18	15–18
Maximum gas velocity (ft/s)	100	100	60	50–60	40–45	60	50–60
Clear spacing front (mm)	50	50	100–150	200	250–400	100–150	175
Clear spacing rear (mm)	50	50	50	75–150	100–150	50	63.5

Note: A gas velocity of 18 m/s is for oil with vanadium <500 ppm; 12 m/s gas velocity is for very abrasive coals such as Indian and South African coals; maximum gas velocity is the velocity of the gas at the inlet of the bank not the average at the middle; also it refers to the 100% MCR or peak load exceeding 8 h/day.

Re heater (RH)

เป็นกลุ่มท่อที่ใช้ในโรงจักรผลิตไฟฟ้า โดยท่อทางเข้าของ Reheater จะรับไอน้ำที่ไอสuper heat ขยายตัวแบบ Isentropic ผ่าน Hi pressure Steam turbine โดยความดันจะลดลง และ Reheater จะเพิ่มอุณหภูมิให้กับไอน้ำ จนมีอุณหภูมิเท่ากับ อุณหภูมิของ Super heat โดยทั่วไป อุปกรณ์ที่ต้องติดตั้งในส่วนท่อน้ำเข้ามีดังนี้

- Safety valve
- Attemperator system
- Header inlet / outlet complete with nozzle



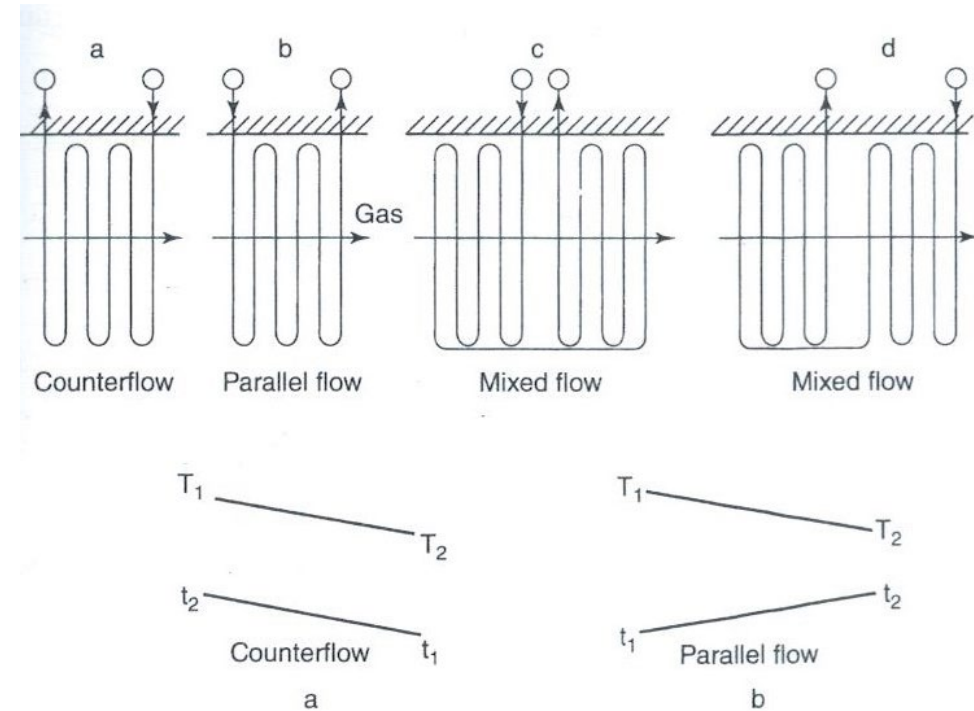
Classification of Superheaters and Reheaters

By Design

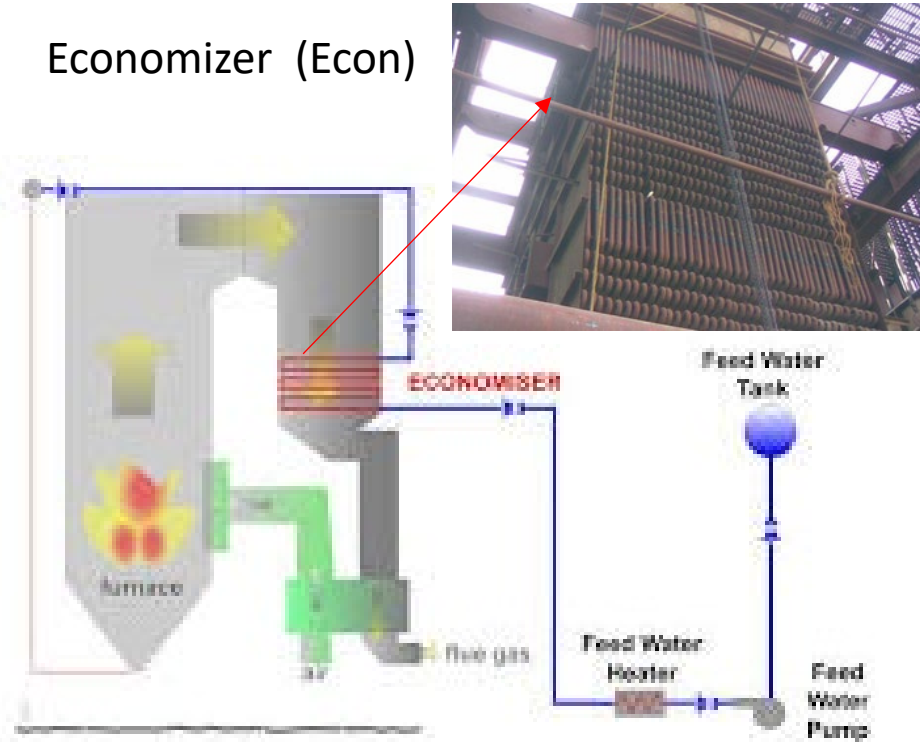
Parallel and counterflow
Radiant and convective
Single and multipass

By Arrangement

Vertical and horizontal
Pendant and platen
Drainable and nondrainable
In-line and staggered



Economizer (Econ)

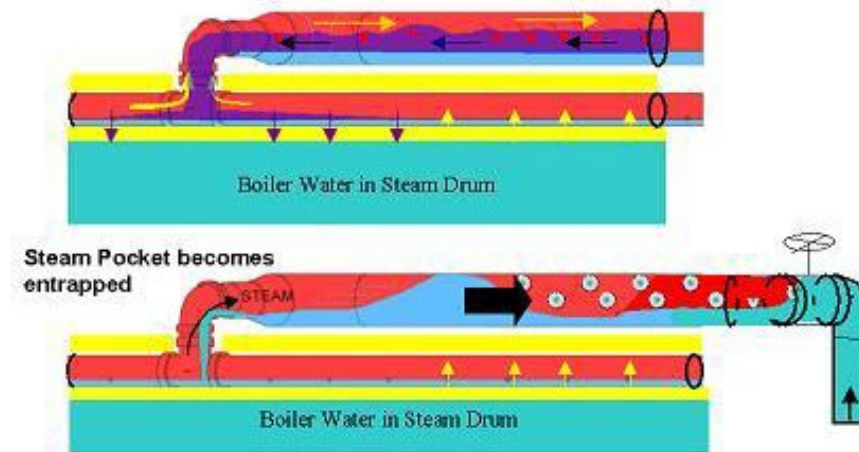


Economizer (Econ)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้แลกเปลี่ยนความร้อน ระหว่าง Feed water กับ Fuel gas น้ำที่ผ่านการไล่อากาศจาก Deaerator จะถูกปั๊มผ่าน ECON น้ำจะแลกเปลี่ยนความร้อนจาก fuel gas ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นก่อนเข้า Steam drum โดยทั่วไปจะไม่ให้อุณหภูมิแตกต่างระหว่าง (approach temperature) ที่ออกจาก ECON และ Saturated steam $> 30^{\circ}\text{C}$ เพื่อป้องกันการเกิด steaming and hammering โดยทั่วไปขนาด ECON จะมีขนาด 38.1 มม.(1.5in)จนถึง 50.8 มม. (2in) การจัดเรียงท่อ น้ำ มีทั้งแบบ Counter ,Parallel & Cross flow วัสดุที่ใช้มีทั้ง Steel Tube และ Cast Iron เนื่องจากการ กัดกร่อน ของ Sulfur ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเชื้อเพลิง ที่บริเวณท่อ ซึ่งมีผิวที่เย็นกว่า Acid dew point โดยจะเกิดเป็น sulfurous & sulfuric acid ซึ่งจะทำให้เกิดการกัดกร่อนอย่างมาก จึงมีการกำหนดอุณหภูมิต่ำสุด ของผิวท่อ ECON เพื่อป้องกันการ Condensation ของ Sulfur ขึ้นอยู่กับลักษณะของ Fuel และ % Sulfur ในแต่ละ Fuel

Back-end Equipment

ทุกๆ 22°C ที่ลดลงของ Fuel gas ที่จะระบายออก จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ ประมาณ 1% ดังนั้นจึงมีอุปกรณ์ที่จะนำเอาความร้อนที่ออกมาพร้อมกับ ไอเสียไปใช้งาน สำหรับการแลกเปลี่ยนความร้อน Economizer และ Air Heater เป็นอุปกรณ์ แลกเปลี่ยน ความร้อน ส่วนที่ติดตั้งในตอนท้ายๆ ซึ่งจะเรียกว่าเป็น Back end equipment



Air heater (AH)

เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยน ความร้อนในตอนท้ายสุด เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศ ที่จะนำไปสันดาปกับเชื้อเพลิง ที่นิยมจะมี 3 แบบได้ แก่

1. Plate Air heater
2. Tubular Air heater
3. Rotary air heater

ในการ operation จะคำนึงในเรื่องต่อไปนี้

- Low temperature corrosion จากการ Condensation ของ sulfur
- Fouling การอุดตันของ ขี้เถ้า
- Erosion การกัดเซาะเนื่องจากอนุภาคฝุ่น และ ความเร็วของลม
- Fire เนื่องจาก Air heater อาจเป็นที่สะสมของฝุ่น และเกิดการ จุดติดไฟเองได้ ซึ่ง NFPA จะกำหนด วิธีการป้องกันไว้

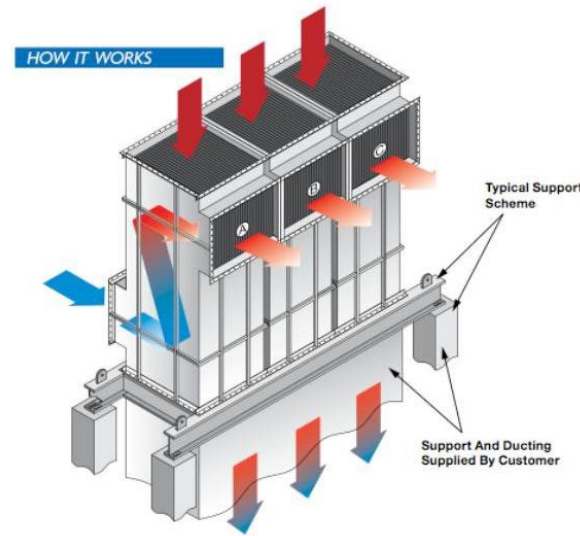
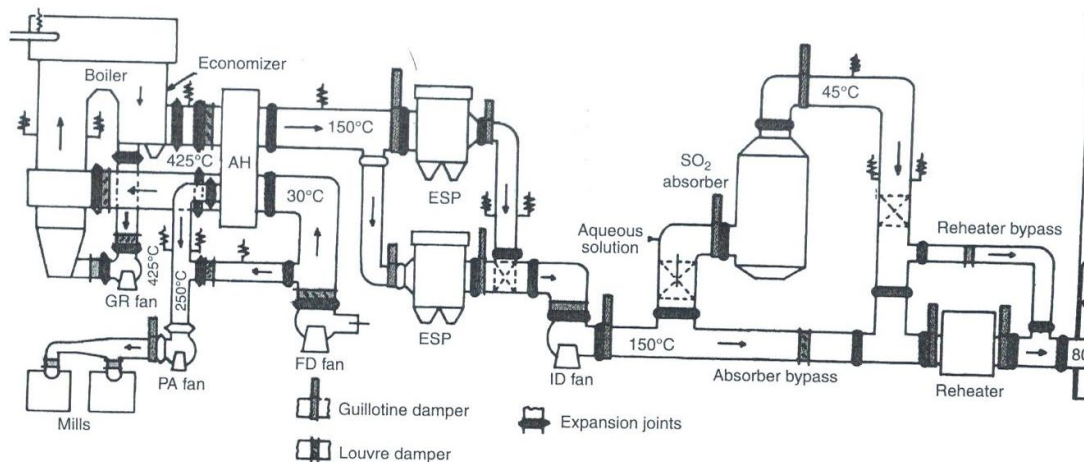
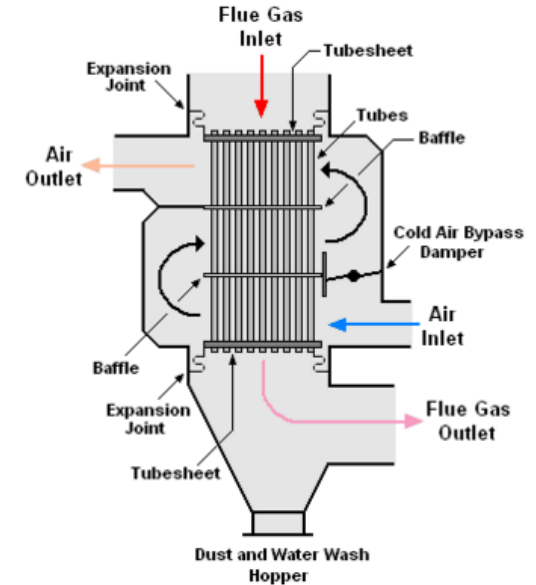
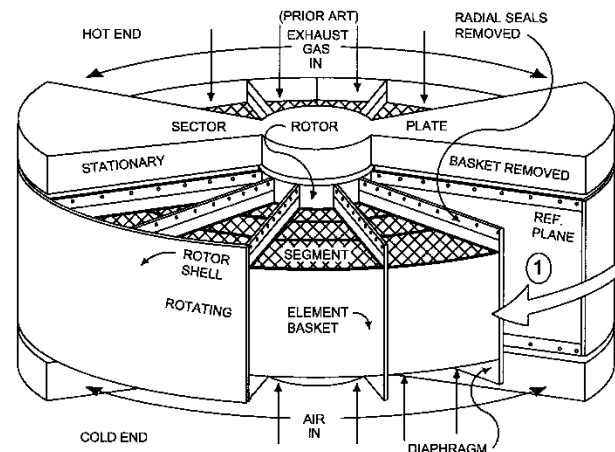


Plate Air heater



Tubular air heater



Rotary Air heater



Fuel Firing

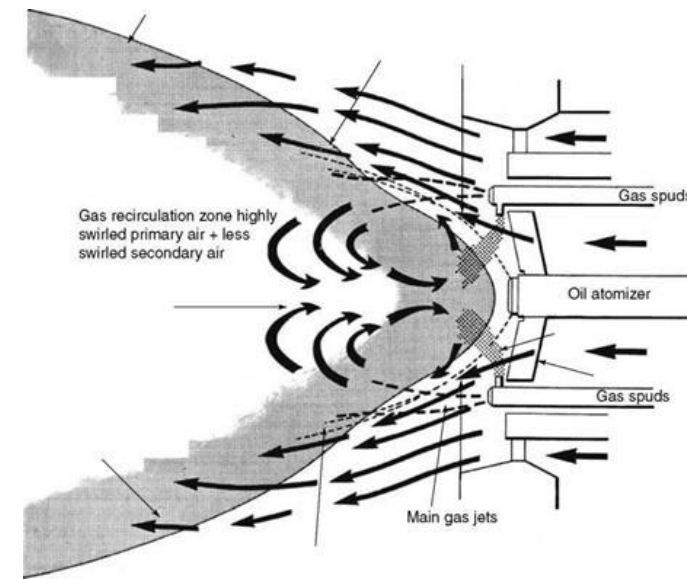
ระบบการเผาไหม้ของ Boiler จะขึ้นอยู่กับ ชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ โดยปกติก็แบ่งทั่วไปตามนี้

1. ระบบ Oil firing ได้แก่ น้ำมันเตา grade ต่างหรือ น้ำมัน Diesel
 2. ระบบ Gas Firing ได้แก่ Natural gas , LPG gas
 - 3 ระบบ Solid fuel Firing ได้แก่ พวกถ่านหิน ชนิดต่างๆ ระบบนี้ไม่สามารถที่จะเผาไหม้เองได้ จะต้องเริ่มต้น ด้วยระบบ Gas & Oil ให้เตาร้อนพอเพียงเสียก่อน
 - 4.ระบบ Other Firing ได้แก่ พวก ขยะ ,Biomass หรือ ก๊าซที่ได้จากการหมัก หรือ ขยะ
- โดยทั่วไป แล้ว น้ำมัน และ gas จะเกิดการเผาไหม้ได้ดีกว่า และให้ค่าพลังงานที่สูงกว่าแต่ก็มีราคาที่แพงเช่นกัน

burner

คืออุปกรณ์ที่ใช้สำหรับควบคุมการเผาไหม้ โดยนำเชื้อเพลิงและอากาศเข้ามาสันดาปกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยประกอบด้วย ส่วนประกอบดังนี้

1. Atomizer for oil and spuds / pipes for gas-for proper fuel admission
2. Air register for diving and supplying the air with a proper swirl to provide adequate turbulence
3. Igniter for lighting the fuel
4. Flame monitor for checking the health of the flame



Flame stabilizer and gas mixing patterns in combination firing

- Mechanical Atomizer (Centrifugal or Rotary – cap)

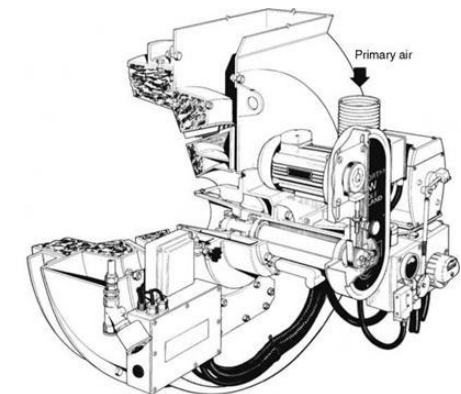
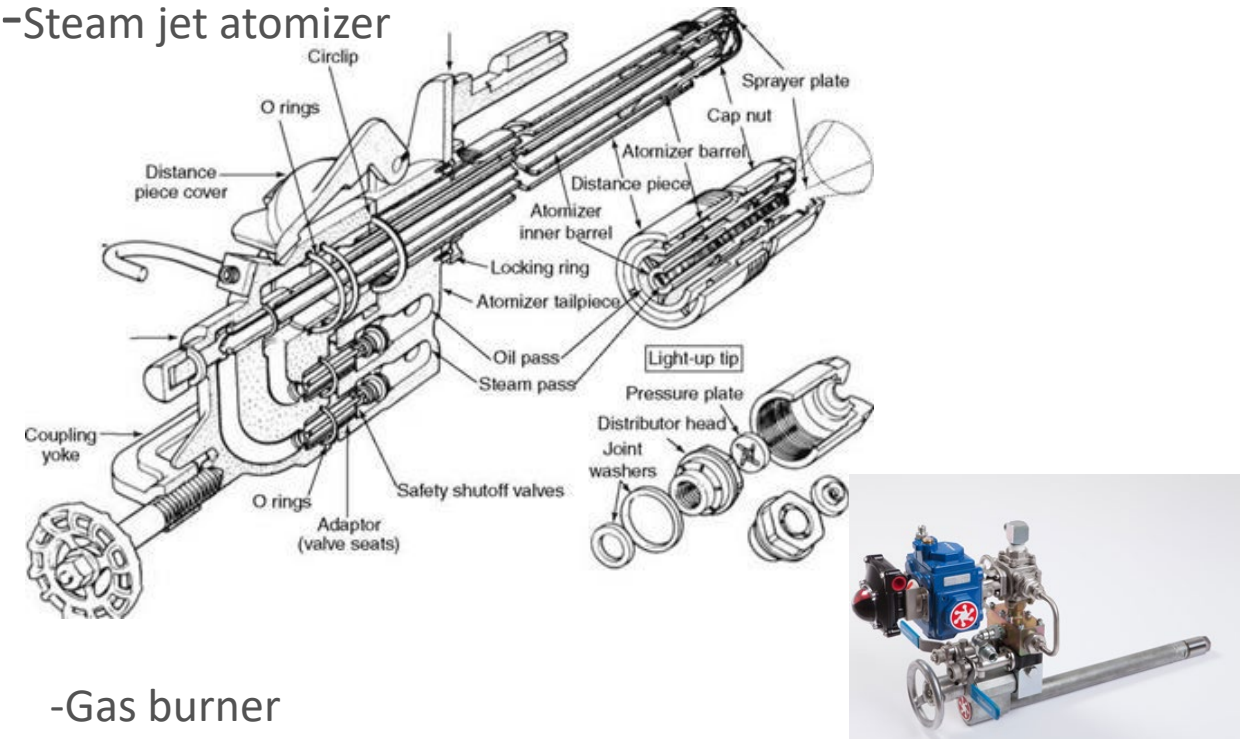


FIGURE 10.11

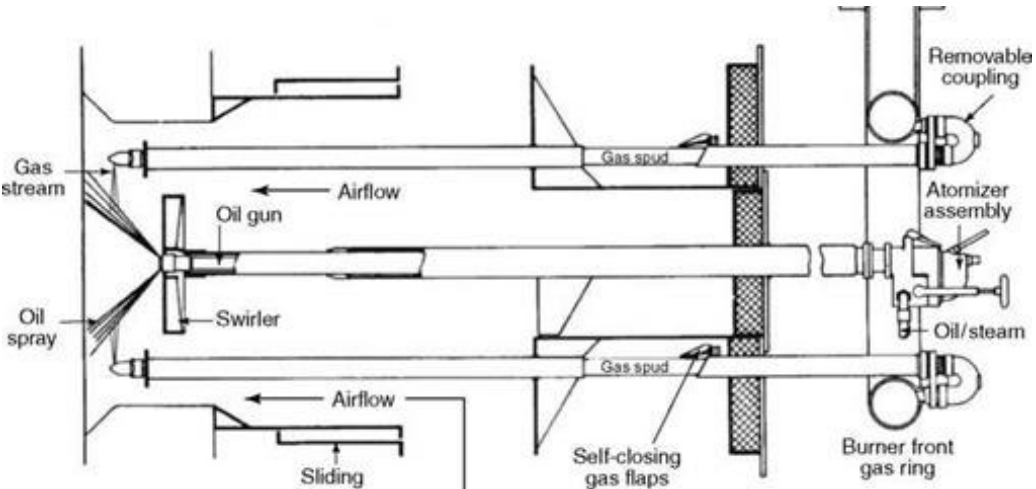
-Steam jet atomizer



-Gas burner

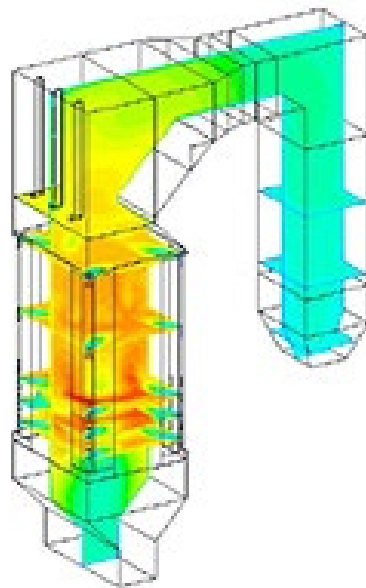


-Circular Multispud type Natural gas burner





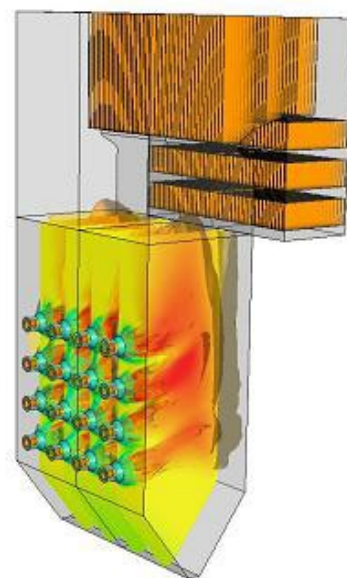
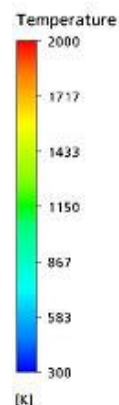
1. Tangential flow



Tangential –furnace corner



2. Parallel or axial flow



Circular – furnace wall

Air Register burner System

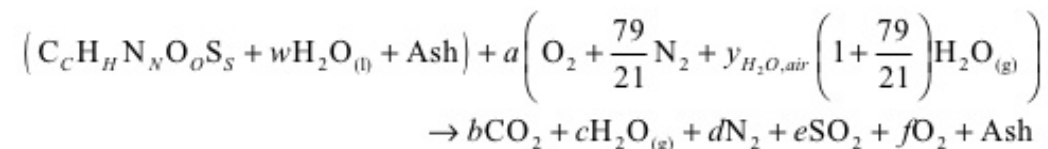
รูปแบบการติดตั้ง ตาม รูปแบบการไหลของเปลวไฟ หัวไปจะแบ่งได้ เป็น 2 แบบ

1. Tangential Flow โดยจะติดตั้งที่หัวมุมของ เตาไฟโดยกำหนด องศาของ burner ประมาณ 30 องศา หรือน้อยกว่า ให้เกิดการ หมุนวน ของเปลวไฟ ทำให้น้ำหนักของ Furnace เล็กลงแต่ข้อเสียคือ ต้องการ ปริมาณ Excess air มากขึ้น ทำให้ loss มากกว่า การเกิด No_x ก็จะมีมากขึ้นด้วย

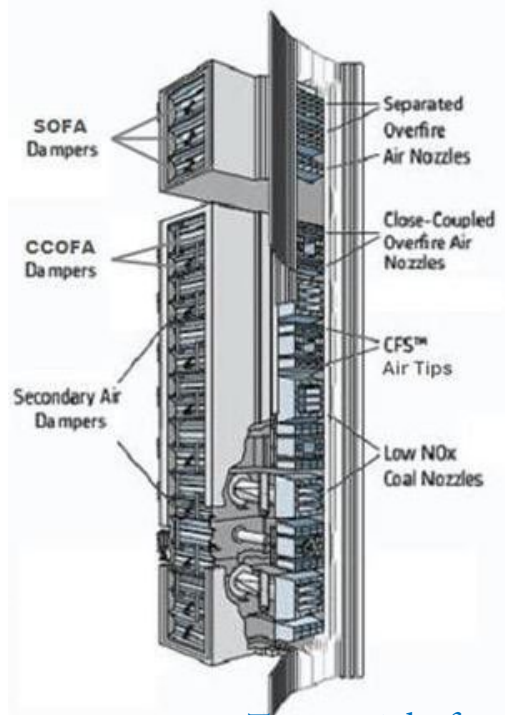
2. Parallel or axial flow โดย burner จะติดตั้งบริเวณผนัง furnace เปลวไฟจะพ่นขนานกันเป็นทางยาว

Combustion air

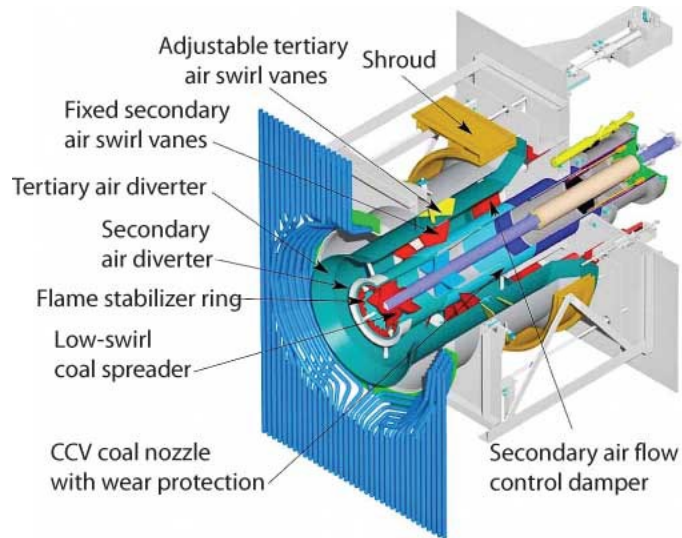
ปริมาณ อากาศตาม Stoichiometric or 0% Excess air



ในความเป็นจริงจะไม่สามารถเผาไหม้ให้สมบูรณ์ได้ จะต้องให้ปริมาณ อากาศที่ มากกว่าปกติเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ เพื่อให้เกิด ประสิทธิภาพสูง โดยการลด Stack loss ปริมาณ Excess จะต้องน้อย ที่สุด ซึ่งปริมาณ Excess air จะสัมพันธ์กับการเกิด No_x



Tangential –furnace corner (Excess air 10-15%)



Circular – furnace wall (Excess air 3-5%)



Combustion air

จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน

1. ส่วนแรกราว 25 %-30% จะใช้สำหรับลำเลียงถ่านหิน โดยจะเรียกอากาศส่วนนี้ว่า Primary Air โดยอากาศส่วนนี้ จะถูกควบคุมโดยพัดลม PA และ mill wise damper โดยจะถูกส่งไปพร้อมกับถ่านหินไปผ่านไปยัง Burner
2. ส่วนที่เหลือเป็นอากาศ ส่วน ชดเชย เรียกว่า Secondary Air โดยจะถูกควบคุมด้วยพัดลม FD และ secondary Air Damper โดยลมจะถูกส่งไปยัง air register ช่อง secondary Air

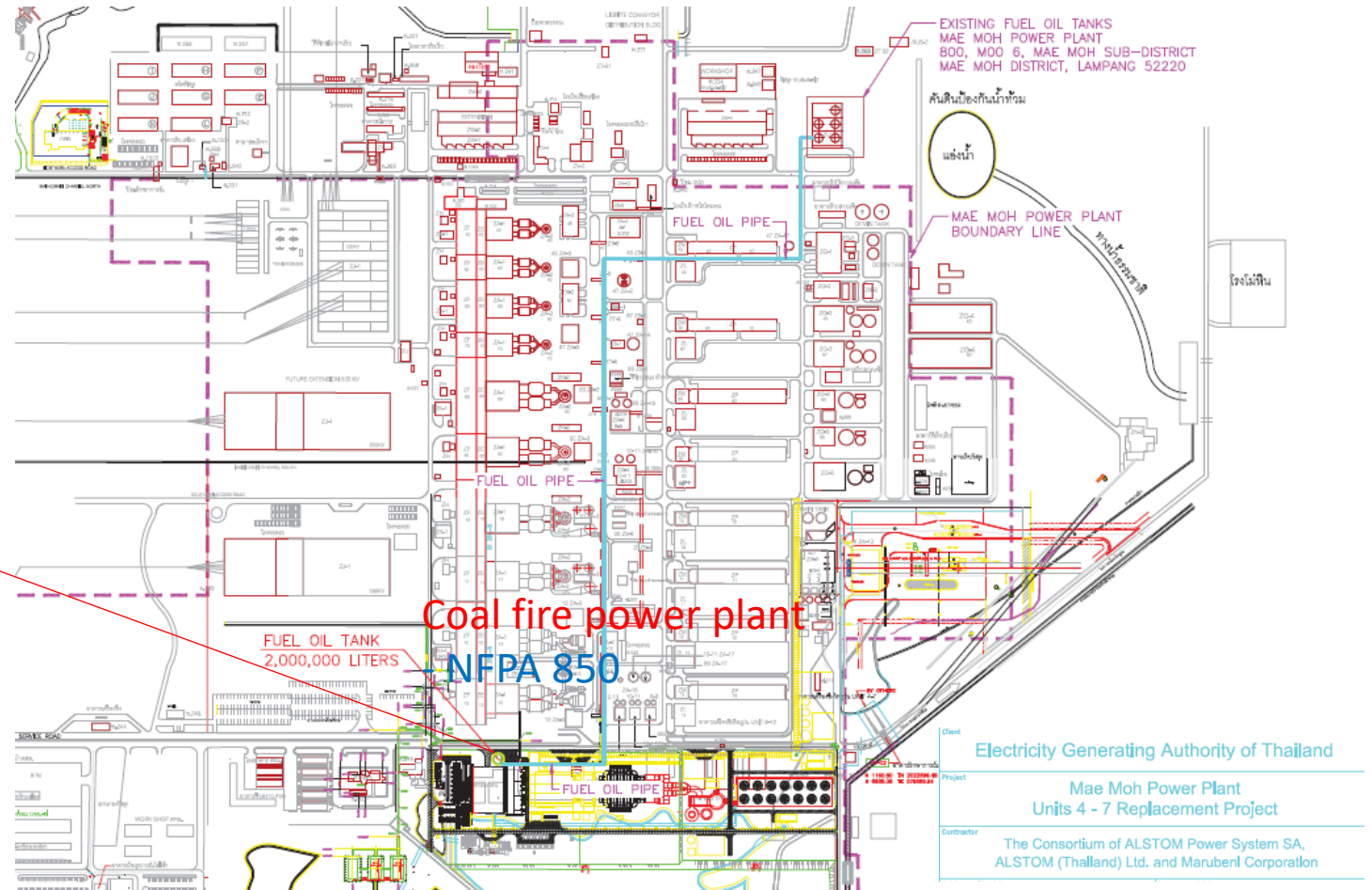
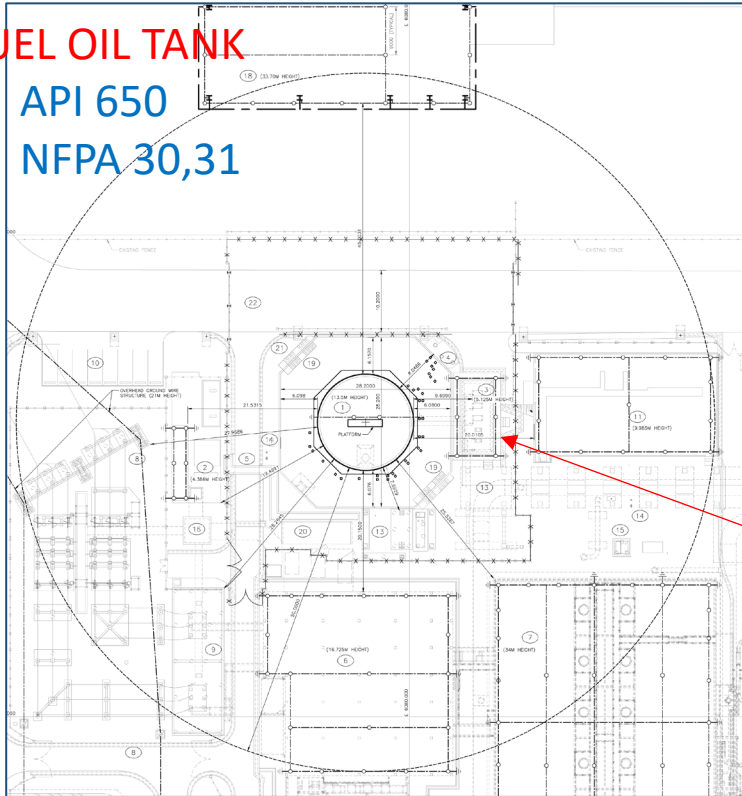
Start up procedure

เนื่องจาก ถ่านหินจะเริ่มติดไฟได้ถ่านหินจะต้องมีความร้อน ประมาณ 300 °C

1. ในช่วงแรก จะต้องใช้ ระบบ igniter ช่วยในการติดไฟ โดยส่วนใหญ่จะใช้ Electric spark และจุดด้วย Gas หรือ LDO (light diesel oil) เพื่อไม่ให้เตาเกิดการระเบิด โดยระบบดังกล่าวจะถูกกระตุกถึงข้อกำหนดด้านความปลอดภัยตาม NFPA85E
2. หลังจาก นั้นก็จะเปลี่ยนมาเป็นน้ำมัน HFO (Heavy Fuel oil) จนกระทั่งเตาร้อนพอจึงปล่อยถ่านหินเข้าไปเผาไหม้ เมื่อเห็นว่าถ่านหินเผาไหม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพลักษณะเปลวไฟสมบูรณ์ก็จะเริ่มตัดการส่ง น้ำมัน

FUEL OIL TANK

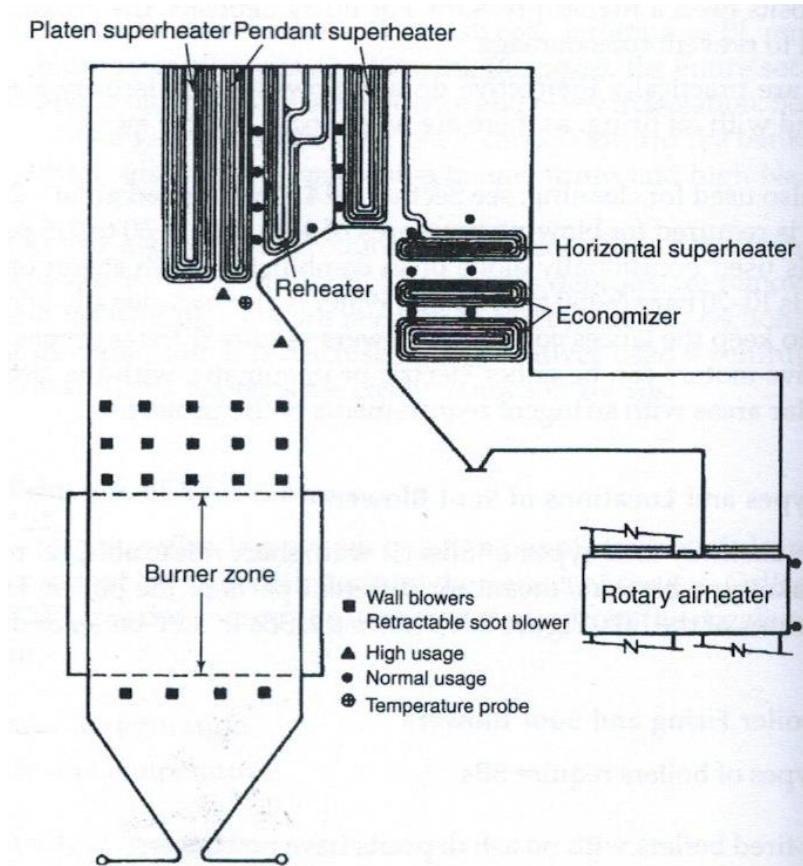
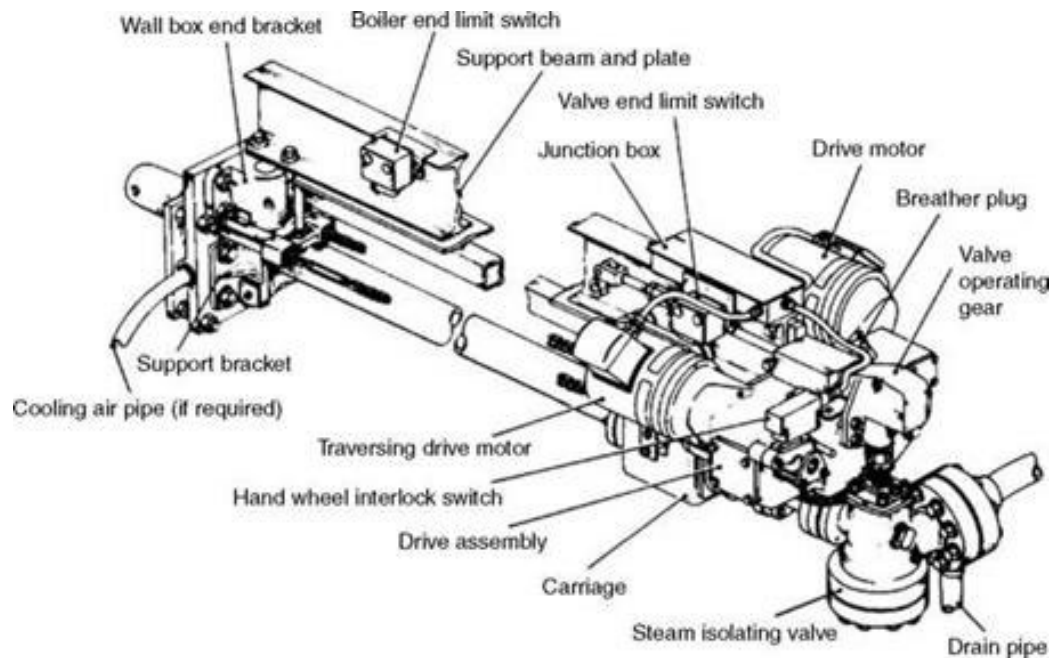
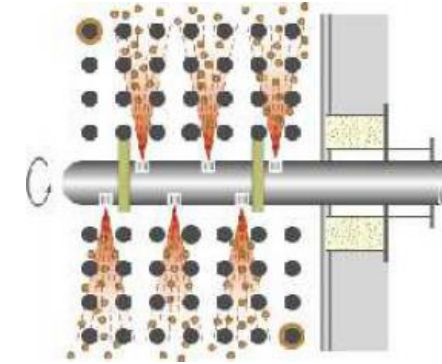
- API 650
- NFPA 30,31

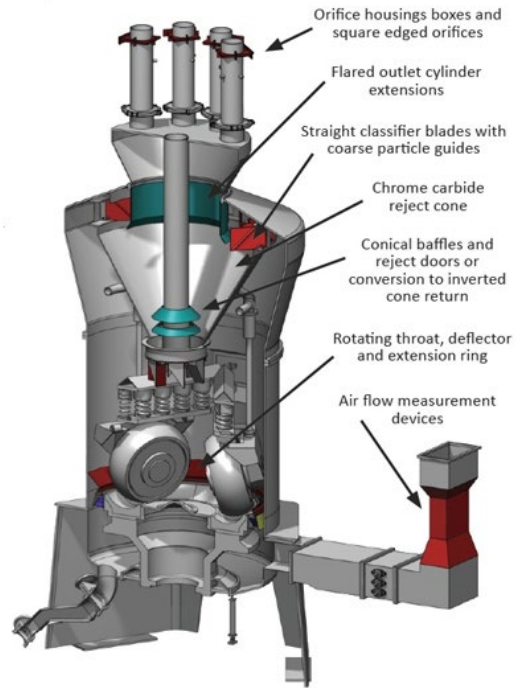


ยกตัวอย่างมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและก่อสร้าง ซึ่งในชีวิตจริงในการทำงานจะต้องศึกษาอีกมาก และ มาตรฐานทางวิชาชีพเหล่านี้ ไม่ได้ถูกพัฒนาในประเทศไทย เนื่องจากเราไม่ได้มีหน่วยงานเฉพาะของรัฐที่ทำหน้าที่เหล่านี้

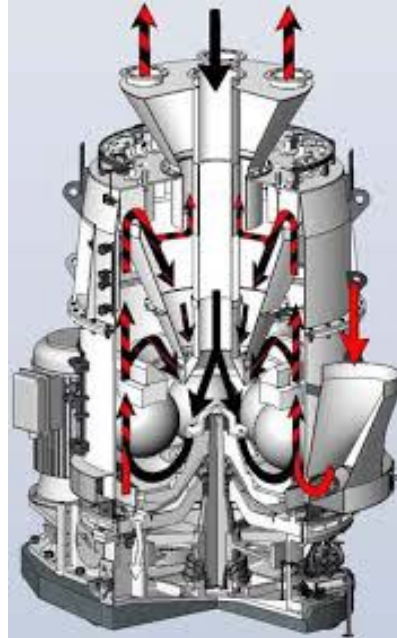
SOOT BLOWER

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับทำความสะอาด ขมที่เกาะอยู่บริเวณ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ในขณะที่ Boiler ทำงาน เพื่อรักษาประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อน และ Over heating โดย soot blower จะใช้แรงดันไอน้ำเป็นตัวขับและลมแรงดันสูง และฉีดทำความสะอาด

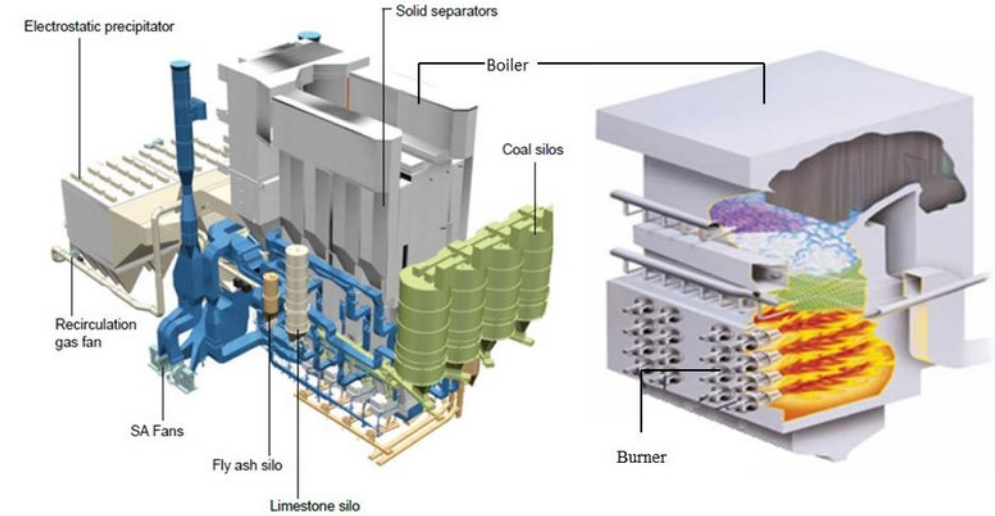




1. Vertical roller mill or bowl type

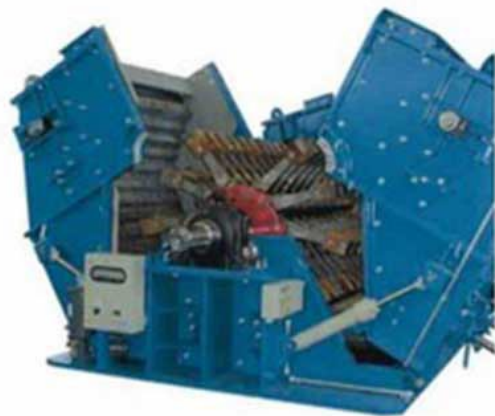


2. A ball type for mill coal

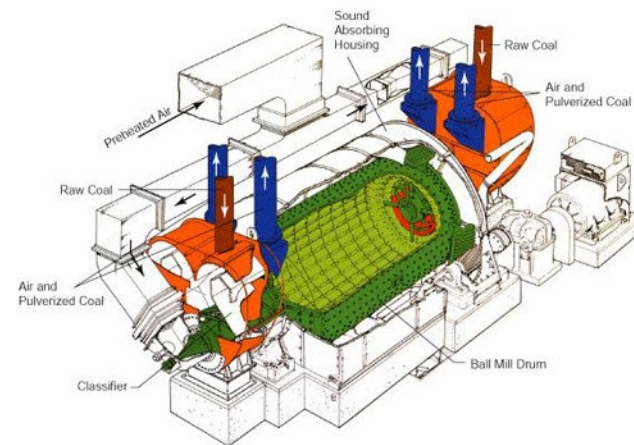


Mills /Pulverizers

สำหรับ Boiler ที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง Mill/Pulverizers เป็นส่วนประกอบที่สำคัญหนึ่ง เนื่องจาก Mill Pulverizers จะเป็นตัวบดถ่านหินจนละเอียดเป็นผงซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการเผาไหม้ เมื่อบดจนละเอียดถ่านหินจะถูกขนถ่ายด้วยลมไปยัง burner โดย Mill Pulverizer จะมีหลักๆ 4 ชนิด ตามภาพ การติดตั้ง Mill Pulverizers จะต้องคำนึงถึงแรงสั่นสะเทือน Vibration จากการบดถ่านหิน ซึ่งอาจเป็นสาเหตุแห่งความเสียหายของอุปกรณ์หลักอื่นๆได้



3. Impact or hammer-type mill



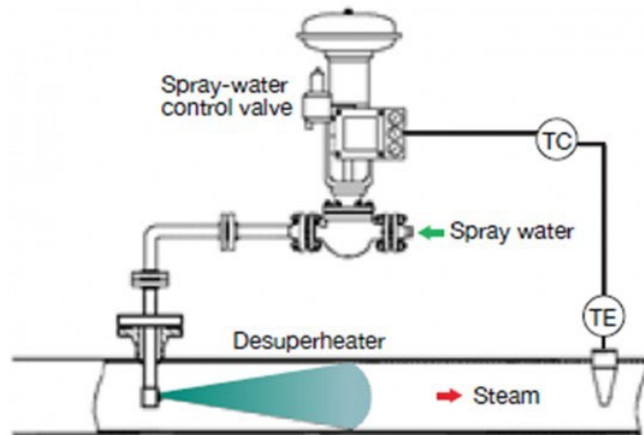
4. Ball tube type

Steam Temperature Control

จากที่ได้กล่าวมาจะพบว่าใน Boiler จะประกอบด้วย ส่วนรับความร้อนหลายส่วน

ได้แก่ BB , SH, RH ซึ่งมีอุณหภูมิของไอน้ำหรือความดันที่ต่างกัน และรับความร้อนจากแหล่งเดียว ดังนั้น การควบคุมจึงต้องควบคุมด้วยหลายวิธี เพื่อให้แต่ละส่วนทำงานได้ ตามที่ปกติ การควบคุมอุณหภูมิของ ไอน้ำ จะมีหลายวิธีการซึ่ง กล่าวโดยสังเขปดังนี้

- Attemperation
- Fuel gas by passing
- Fuel gas recirculation and tempering
- Flame control by burner tilt or burner management
- Excess air control



11. Mast-type attemperators having their control valves located outside the steam pipe generally work satisfactorily in combined-cycle plants

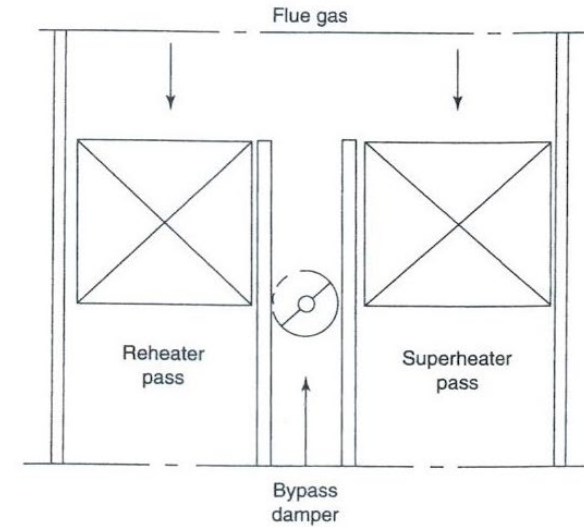


FIGURE 6.26
Control by gas bypassing in boiler second pass.

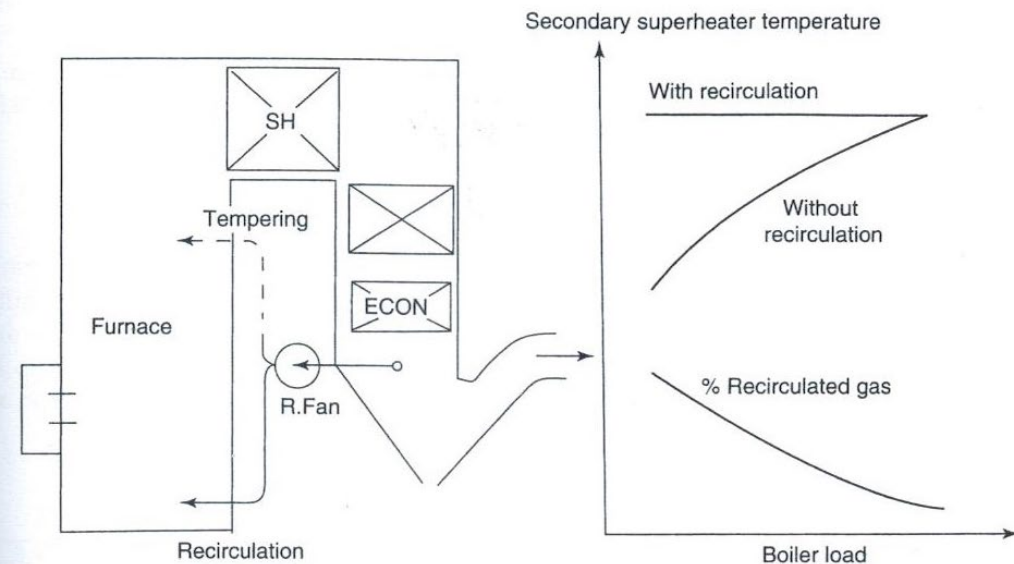
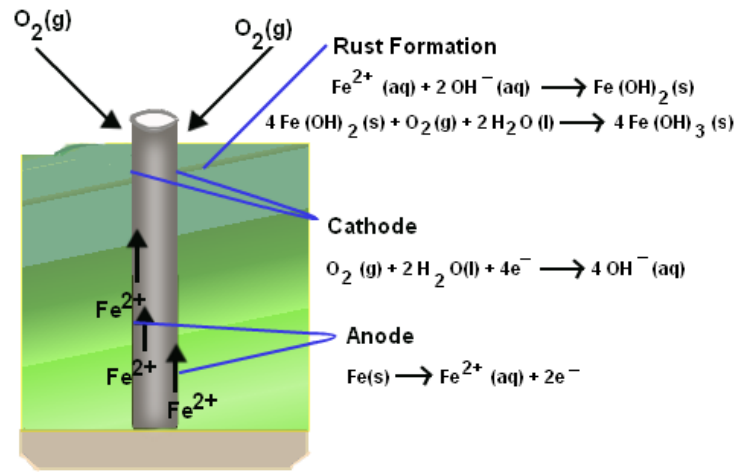
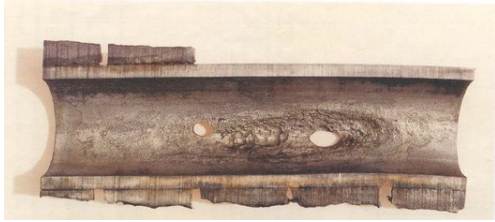


FIGURE 6.27
Effect of gas recirculation on secondary superheater outlet temperatures.

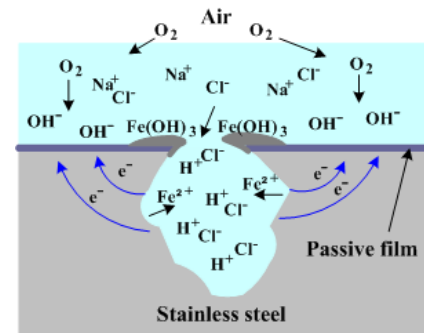
1. Boiler Failure

1. Tube inside or water side corrosion

- Caustic corrosion Concentration of (NaOH)
- Hydrogen Embitterment
- Pitting or localized corrosion
- Stress corrosion cracking



Pitting corrosion



2. Tube Out side or Fire side corrosion

- Super heater fireside ash corrosion- High temperature oxidation
- Water wall fireside corrosion
- Fireside corrosion fatigue



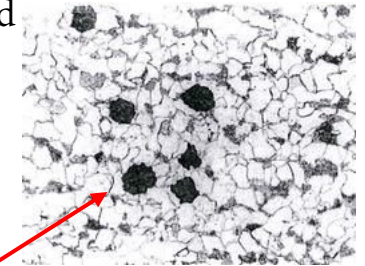
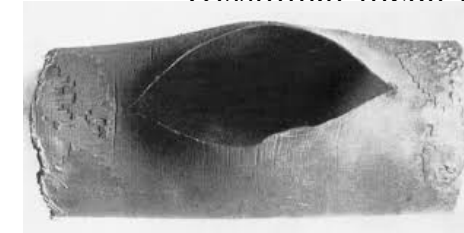
The surface crack along these tubes is a result of severe overfiring.

3. Tube out side erosion

- Fly ash
- Coal partial
- Falling Slag
- Soot-blowing steam

4. Stress rupture

- Short term over heating (fish mouth open)
- High Temperature Creep or long term over heat
- Dissimilar metal weld



5. High temperature graphitization

6. Fatigue

- Vibration Fatigue
- Temperature Fatigue

7. Problem of measuring system

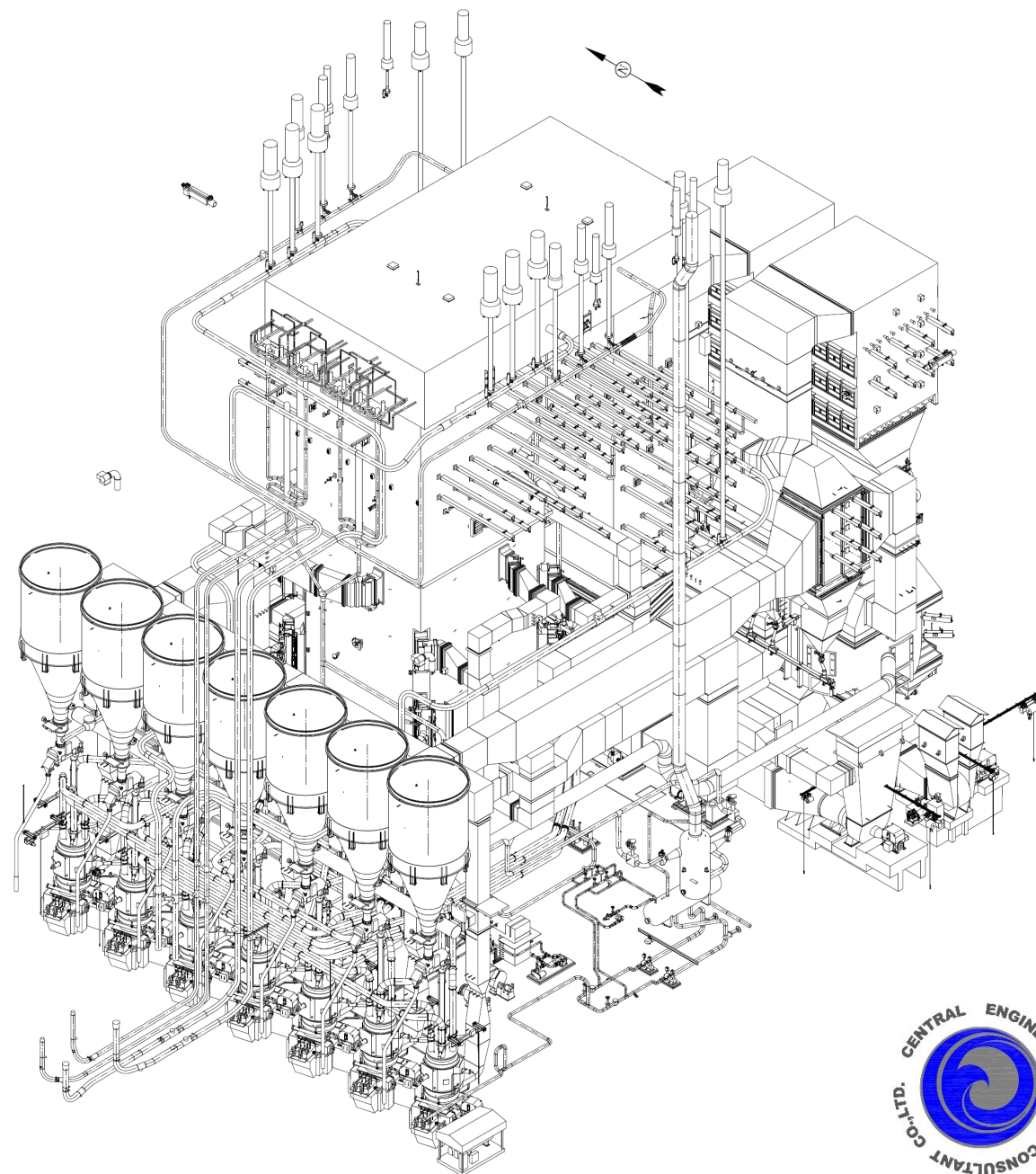
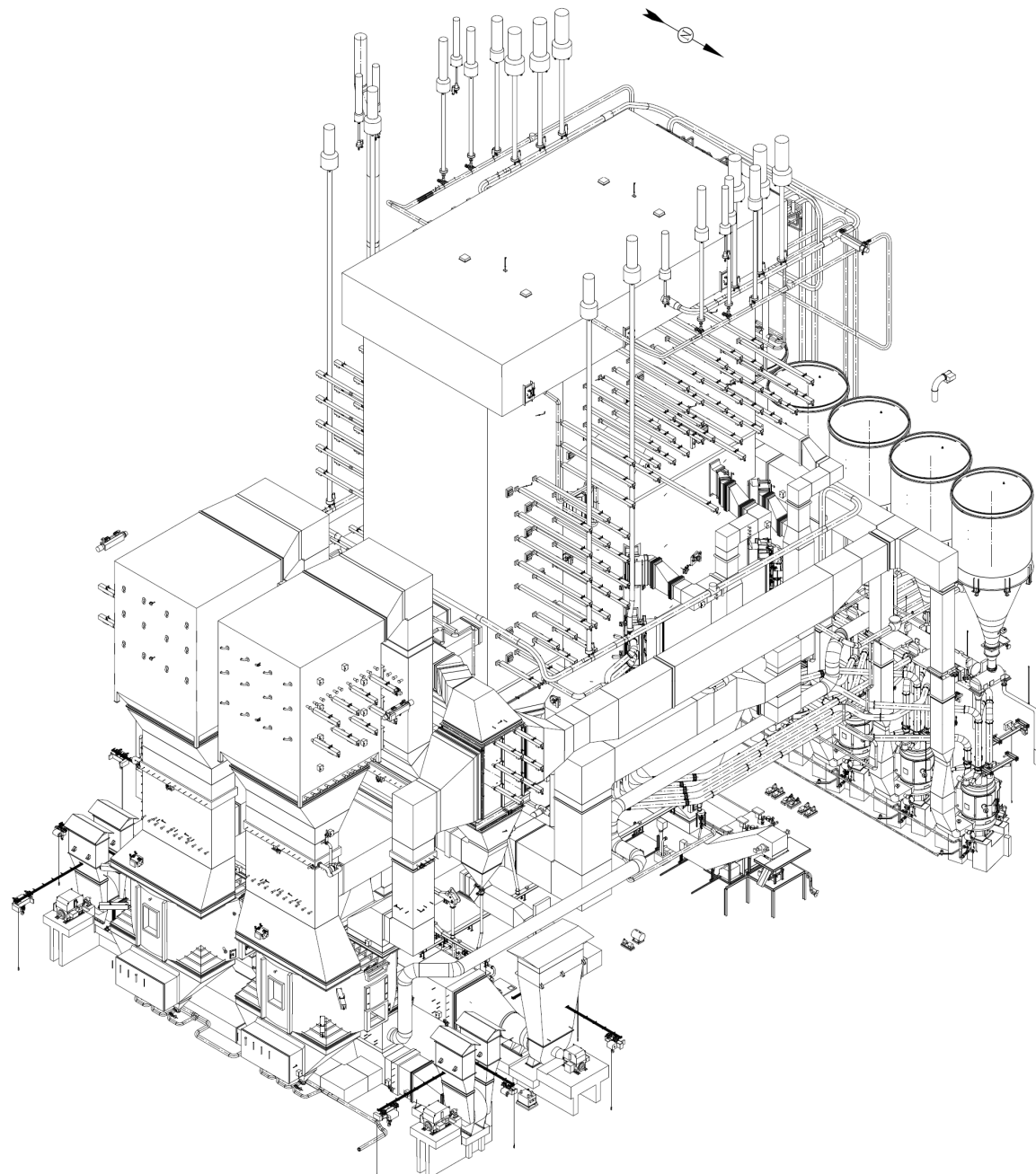
8. Lack of quality control

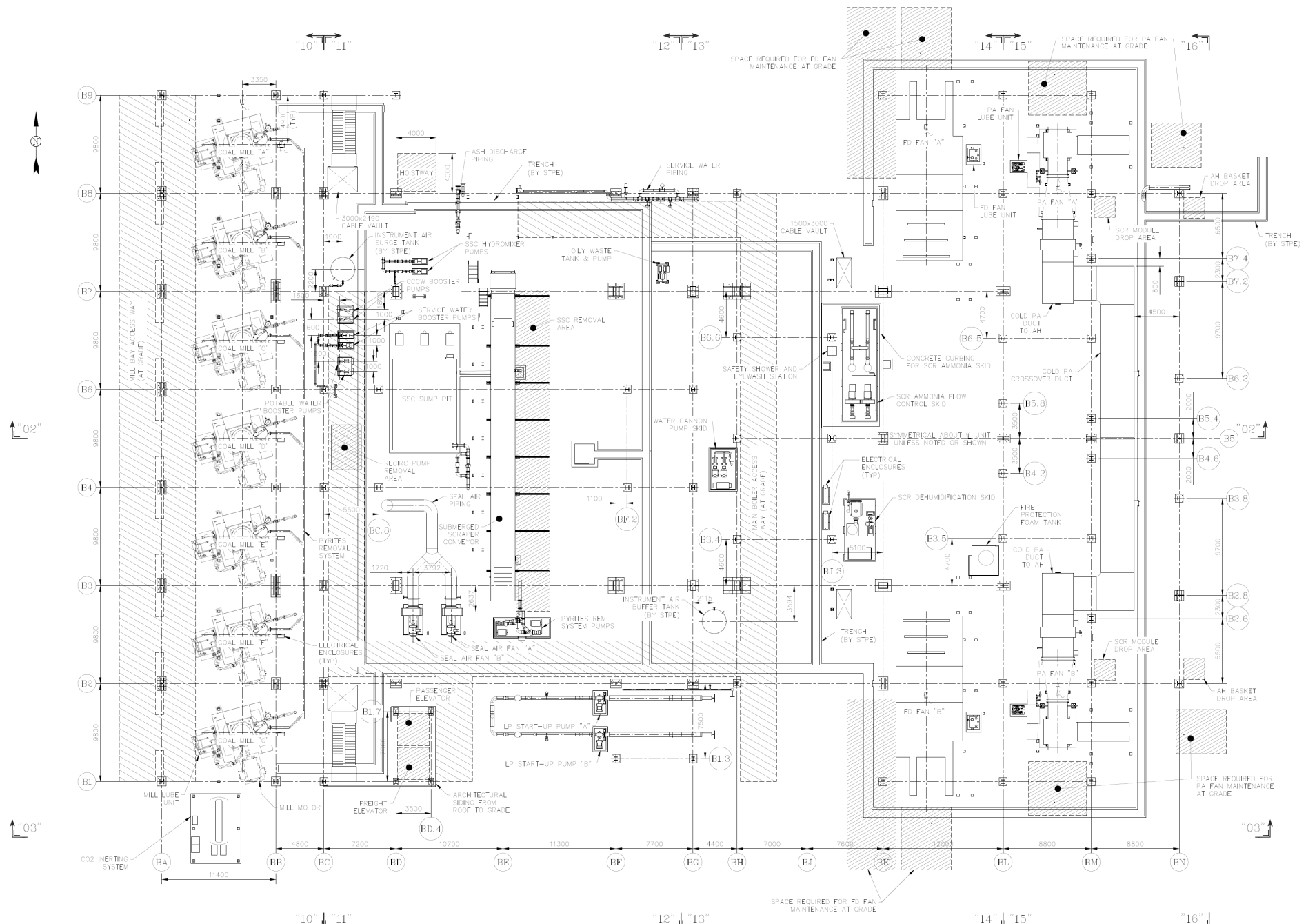


Boiler burst due to high pressure

The probe suggested [engineers](#) detected the snag well before the high-pressure build up inside the furnace due to the blocking of ash evacuation system. A section of the boiler burst open owing to the tremendous pressure, letting out the trapped "flue gases and simmering ash."







PLAN SECTION "04-04"

