ME444 ENGINEERING PIPING SYSTEM DESIGN

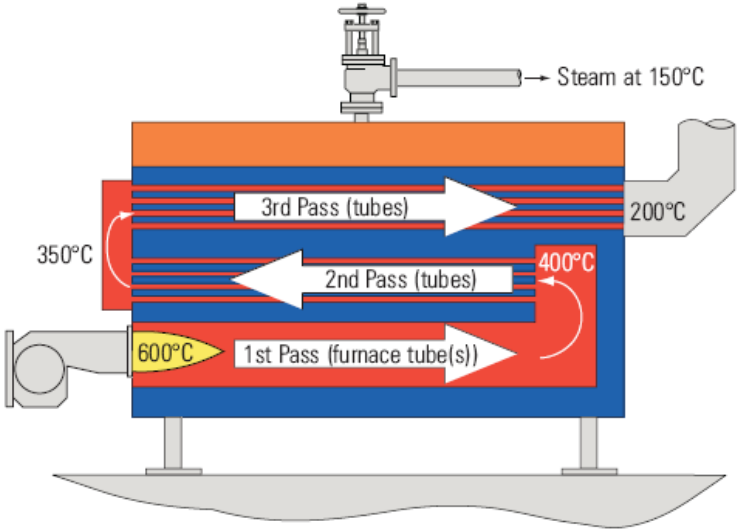
CHAPTER 11: STEAM PIPING SYSTEM (1)

CONTENTS

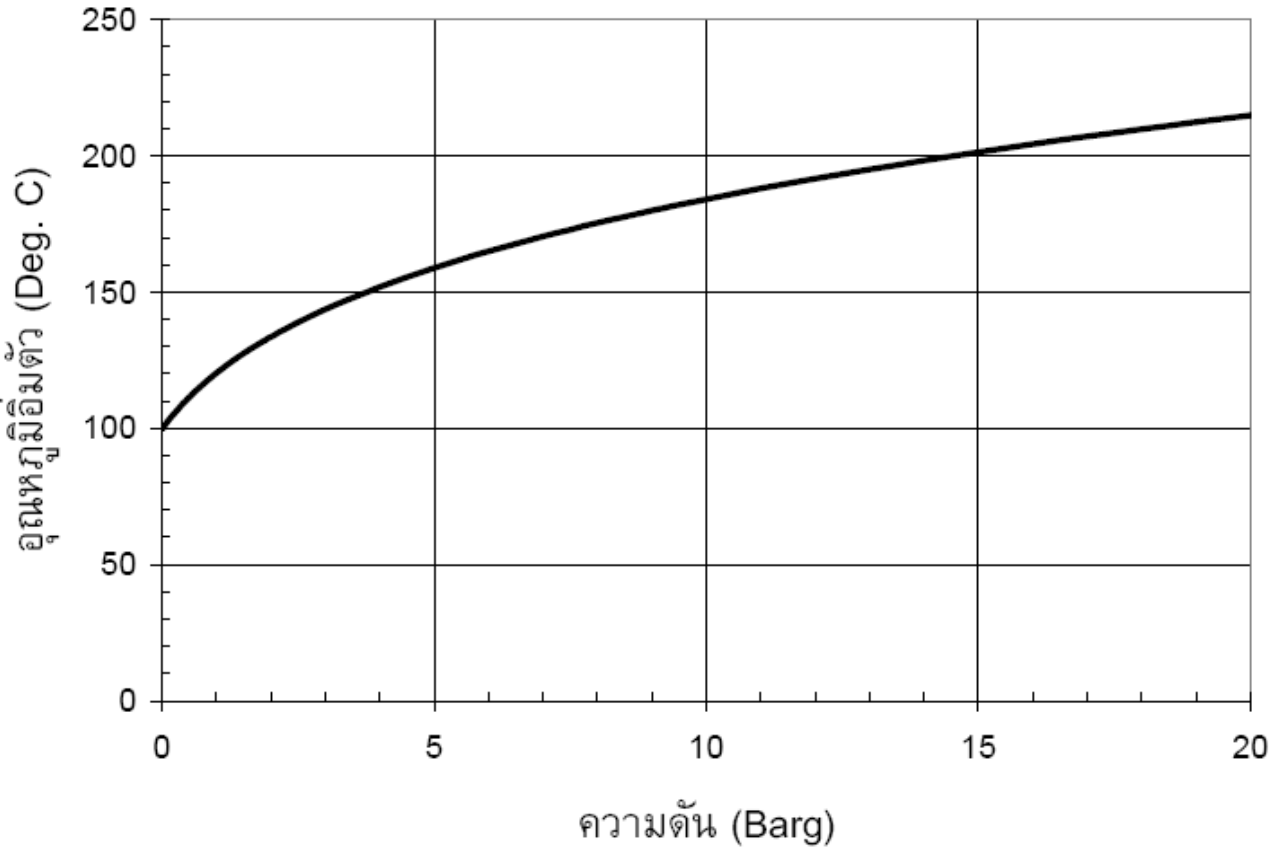
1. INTRODUCTION
2. STEAM PIPING SYSTEM
3. STEAM PIPE SIZING

1. INTRODUCTION TO STEAM

- Steam is widely used as heat transmission fluid (via its latent heat).
- Heat from steam is cheaper than heat from electricity. (about half price for heavy oil fuel)



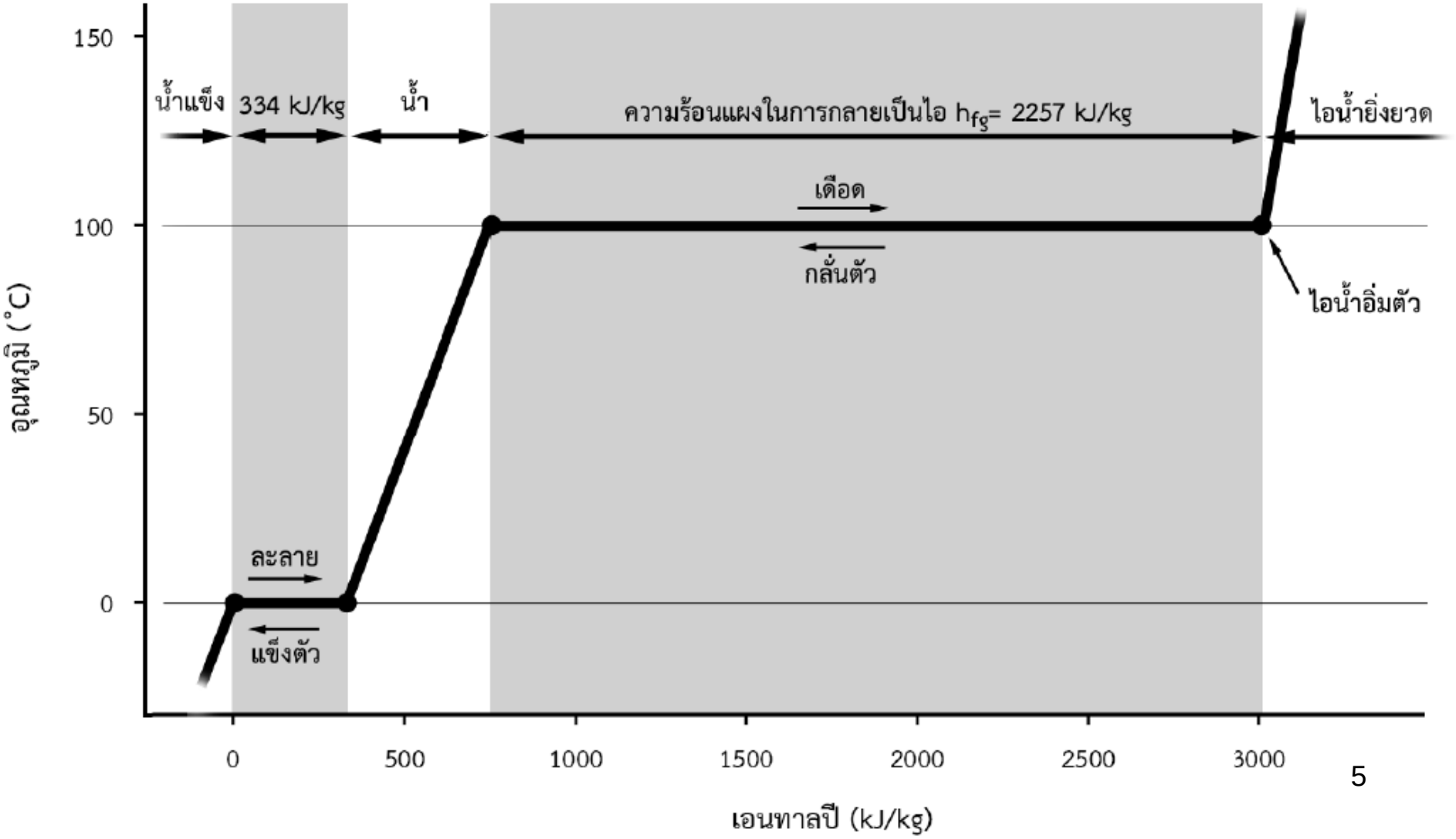
SATURATION TEMPERATURE



$$T = 100P^{\frac{1}{4}} \quad (\pm 3)$$

Where T in Degree Celcius
P in bars (a)

ENERGY IN STEAM AT 0 BARG



STEAM TABLE

Pressure bar g	Saturation temperature °C	Enthalpy kJ/kg			Volume of dry saturated steam m^3/kg
		Water h_f	Evaporation h_{fg}	Steam h_g	
0	100	419	2257	2676	1.673
1	120	506	2201	2707	0.881
2	134	562	2163	2725	0.603
3	144	605	2133	2738	0.461
4	152	641	2108	2749	0.374
5	159	671	2086	2757	0.315
6	165	697	2066	2763	0.272
7	170	721	2048	2769	0.240

AT 0 BAR STEAM EXPAND 1600 TIMES THE VOLUME OF LIQUID

HEAT TRANSMISSION FLUIDS

Steam	Hot water	High temperature oils
High heat content Latent heat approximately 2 100 kJ/kg	Moderate heat content Specific heat 4.19 kJ/kg°C	Poor heat content Specific heat often 1.69-2.93 kJ/kg°C
Inexpensive Some water treatment costs	Inexpensive Only occasional dosing	Expensive
Good heat transfer coefficients	Moderate coefficients	Relatively poor coefficients
High pressure required for high temperatures	High pressure needed for high temperatures	Low pressures only to get high temperatures
No circulating pumps required Small pipes	Circulating pumps required Large pipes	Circulating pumps required Even larger pipes
Easy to control with two way valves	More complex to control - three way valves or differential pressure valves may be required	More complex to control - three way valves or differential pressure valves may be required.
Temperature breakdown is easy through a reducing valve	Temperature breakdown more difficult	Temperature breakdown more difficult

HEAT TRANSMISSION FLUIDS

Steam	Hot water	High temperature oils
Steam traps required	No steam traps required	No steam traps required
Condensate to be handled	No condensate handling	No condensate handling
Flash steam available	No flash steam	No flash steam
Boiler blowdown necessary	No blowdown necessary	No blowdown necessary
Water treatment required to prevent corrosion	Less corrosion	Negligible corrosion
Reasonable pipework required	Searching medium, welded or flanged joints usual	Very searching medium, welded or flanged joints usual
No fire risk	No fire risk	Fire risk
System very flexible	System less flexible	System inflexible

STEAM USERS

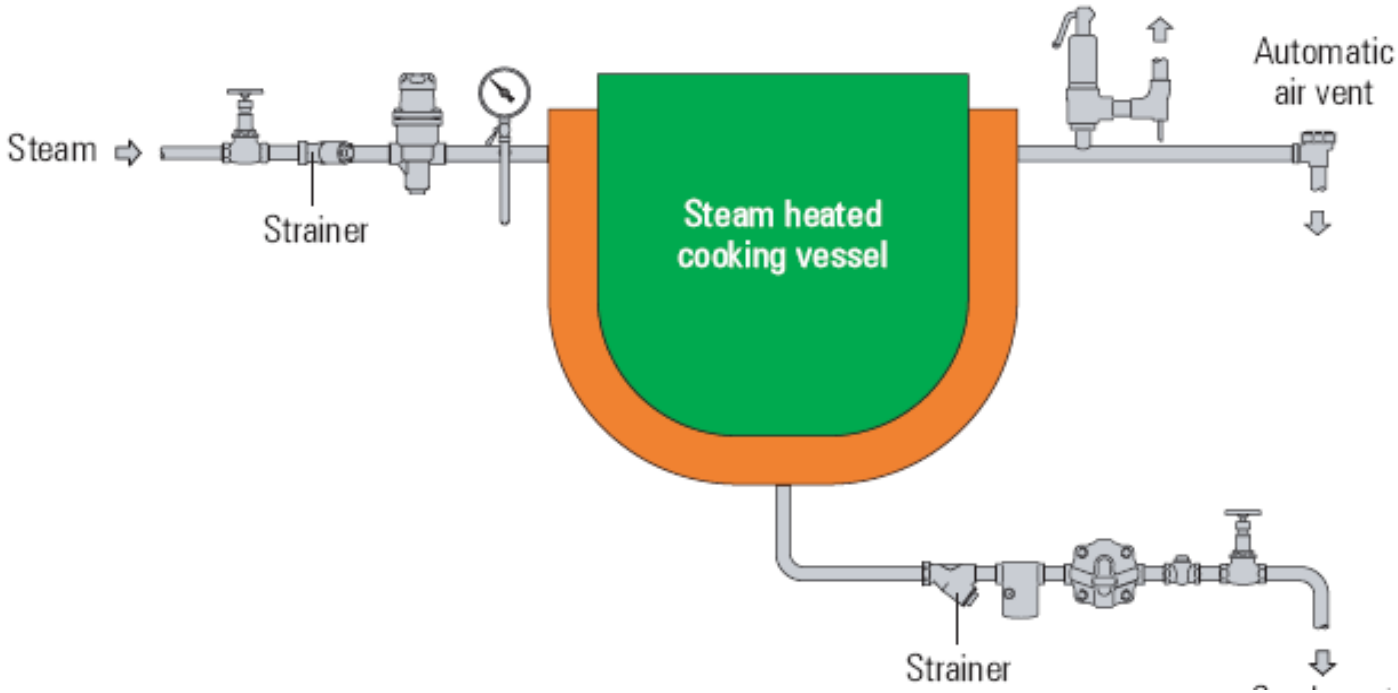
Heavy users	Medium users	Light users
Food and drinks	Heating and ventilating	Electronics
Pharmaceuticals	Cooking	Horticulture
Oil refining	Curing	Air conditioning
Chemicals	Chilling	Humidifying
Plastics	Fermenting	
Pulp and paper	Treating	
Sugar refining	Cleaning	
Textiles	Melting	
Metal processing	Baking	
Rubber and tyres	Drying	
Shipbuilding		
Power generation		

APPLICATIONS OF STEAM

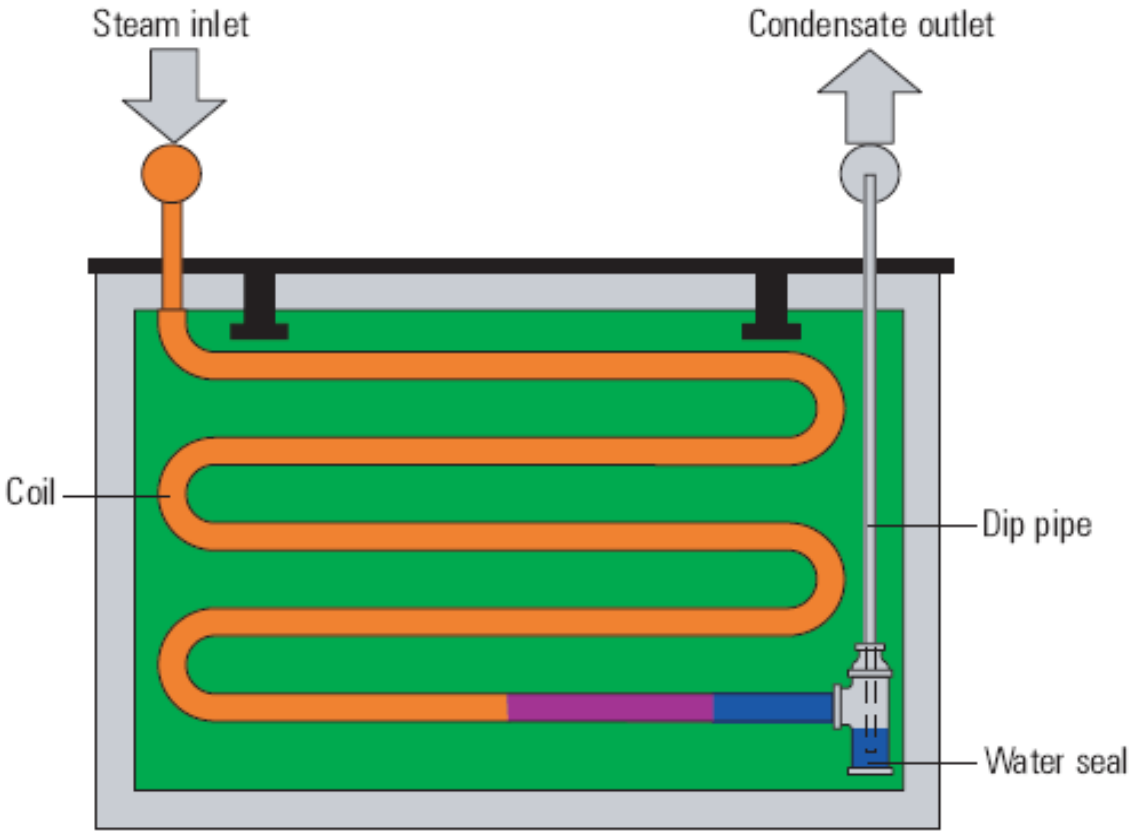
- **Jacketed pan** - Large steel or copper pans used in the food and other industries to boil substances - anything from prawns to jam. These large pans are surrounded by a jacket filled with steam, which acts to heat up the contents.
- **Autoclave** - A steam-filled chamber used for sterilisation purposes, for example medical equipment, or to carry out chemical reactions at high temperatures and pressures, for example the curing of rubber.
- **Heater battery** - For space heating, steam is supplied to the coils in a heater battery. The air to be heated passes over the coils.
- **Process tank heating** - A steam filled coil in a tank of liquid used to heat the contents to the desired temperature.
- **Vulcaniser** - A large receptacle filled with steam and used to cure rubber.
- **Corrugator** - A series of steam heated rollers used in the corrugation process in the production of cardboard.
- **Heat exchanger** - For heating liquids for domestic/industrial use.

… Vacuum packing…
… Thinning organic compound, morass for example
…

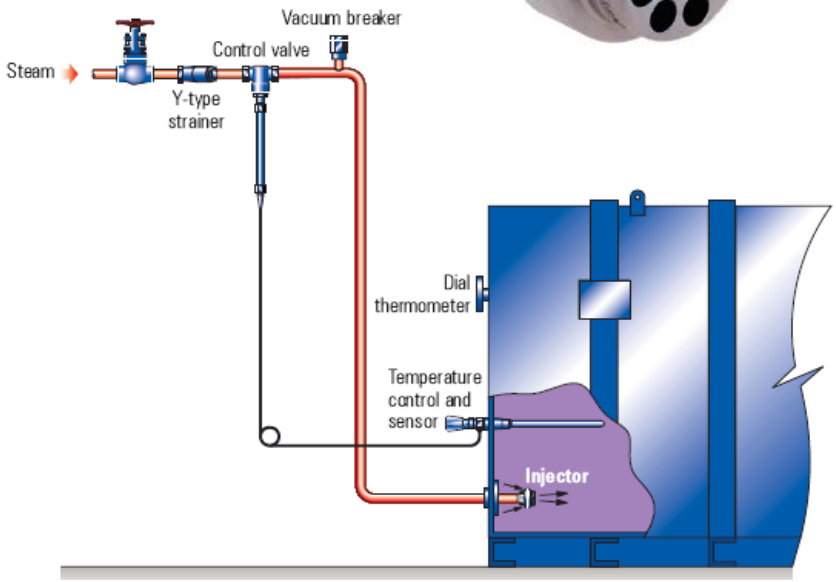
JACKET VESSEL

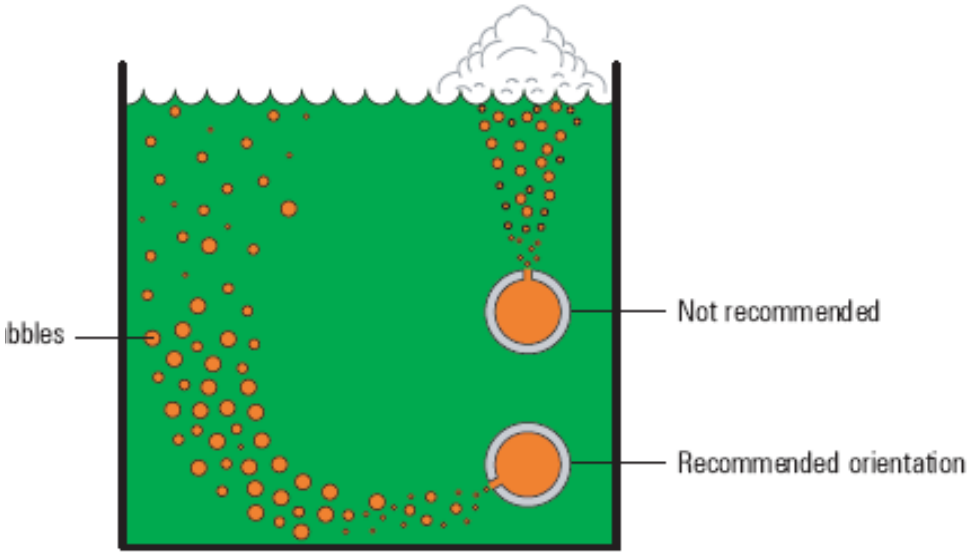


STEAM COIL

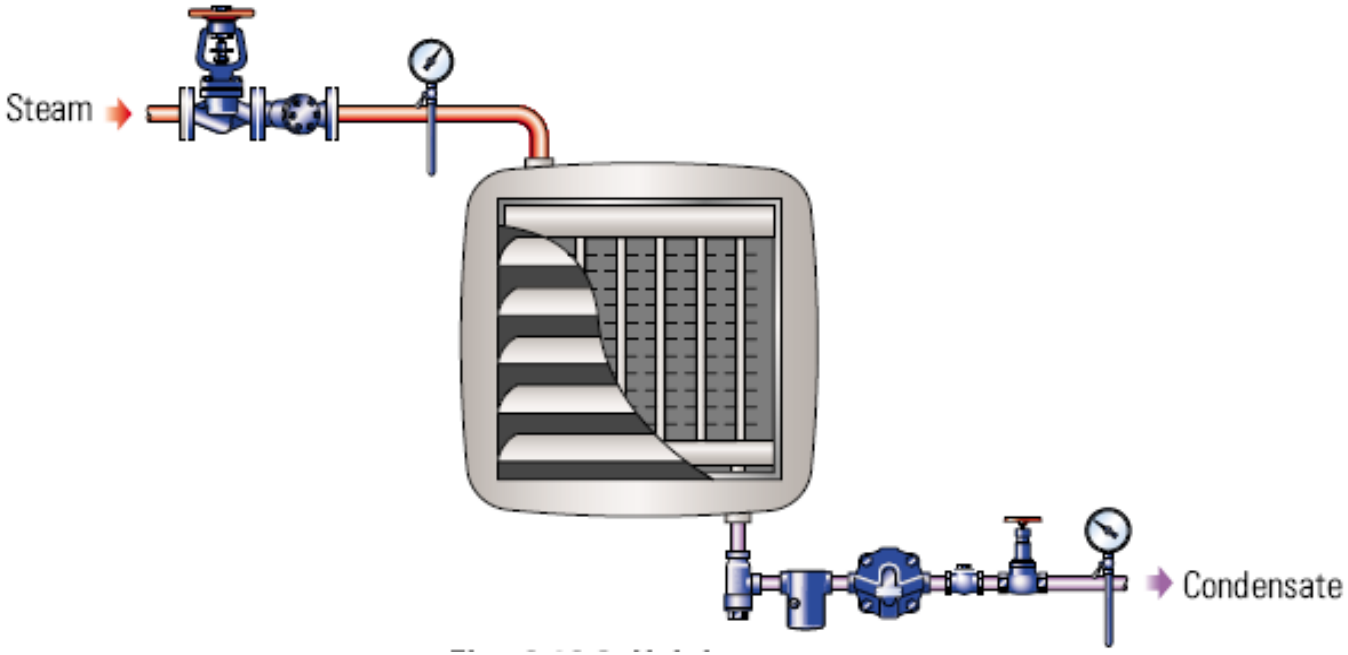


STEAM INJECTION

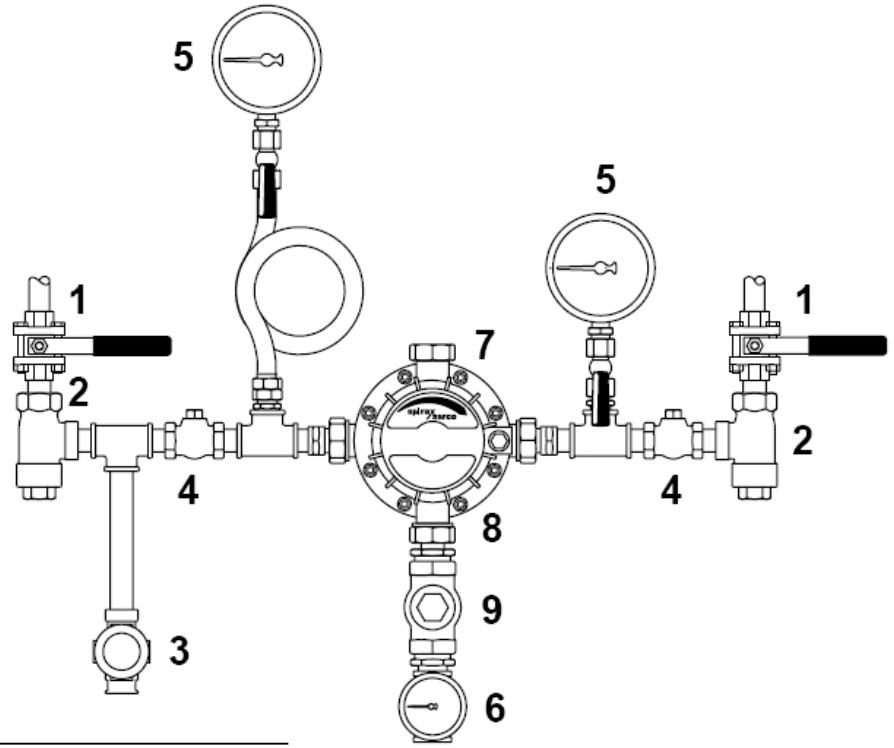




AIR HEATER

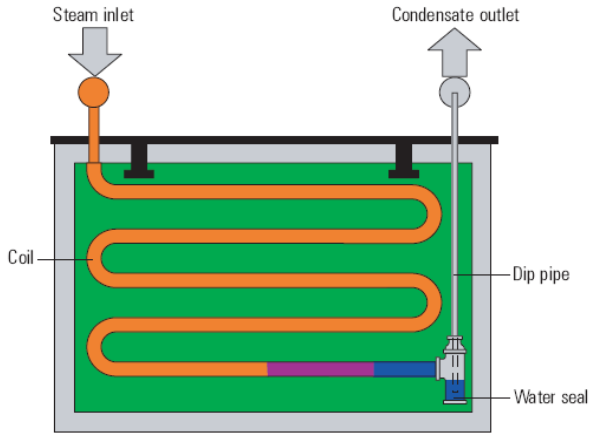


HOT WATER CLEANING



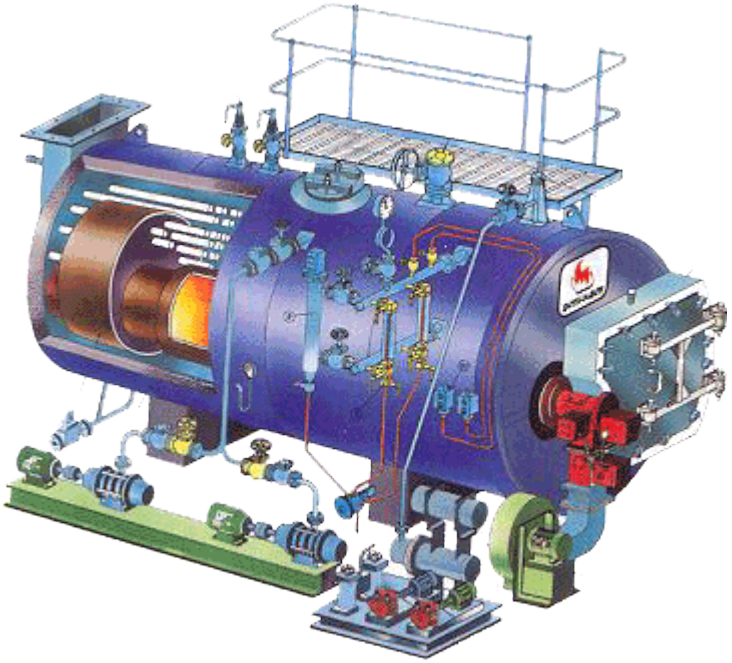
1	Ball valve
2	Strainer
3	Steam trap
4	Check valve
5	Pressure gauge, syphon and cock
6	Temperature gauge
7	Mixing valve
8	Mixed water outlet
9	TCO1 temperature cut-out valve

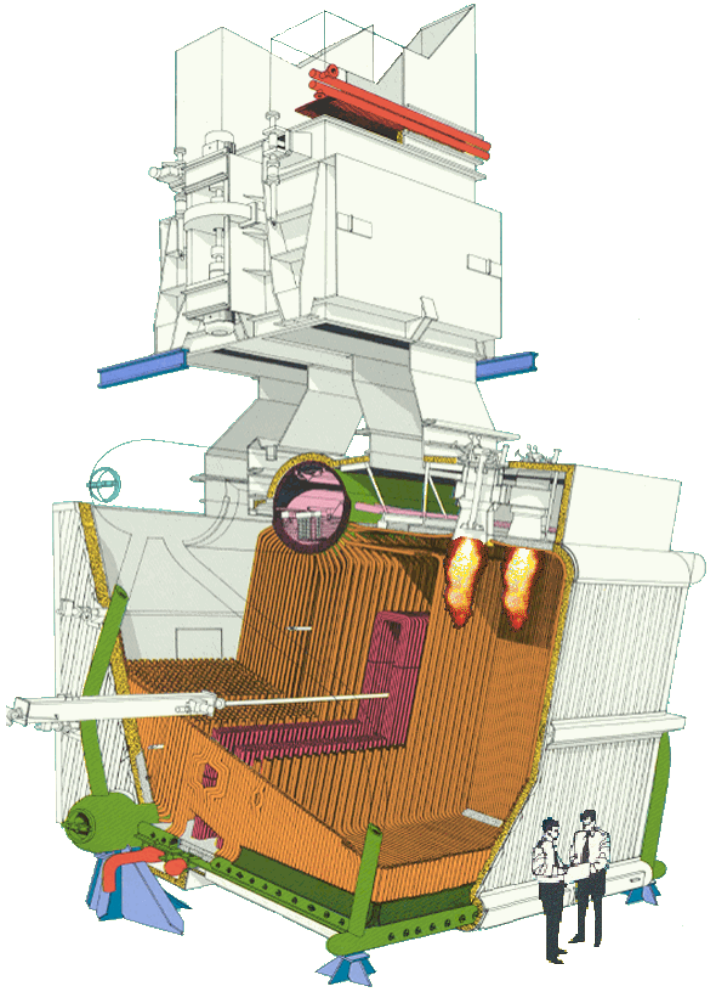
CONDENSATE



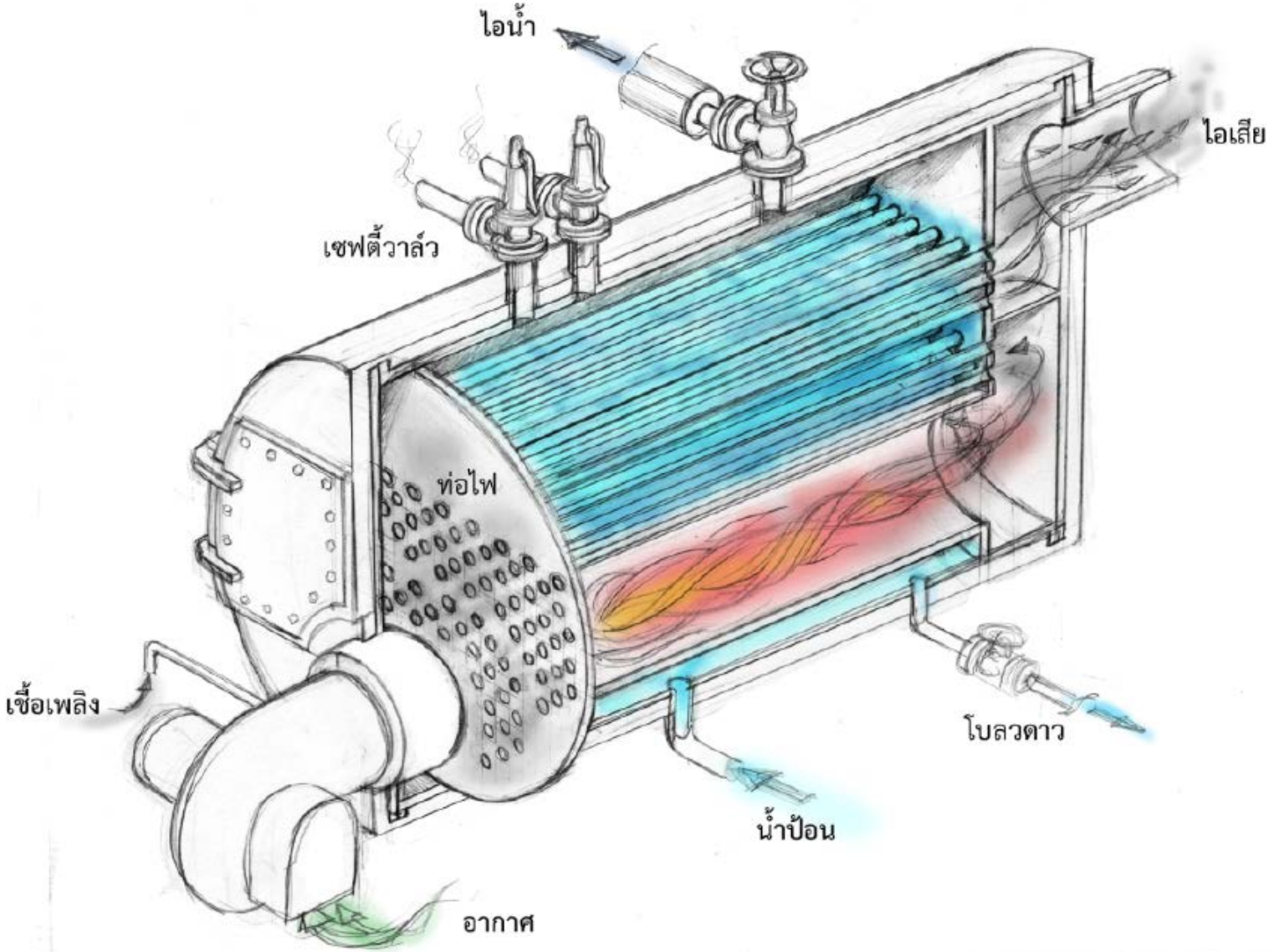
- Condensate does not transmit heat effectively. A film of condensate inside plant will reduce the efficiency with which heat is transferred.
- When air dissolves into condensate, it becomes corrosive.
- Accumulated condensate can cause noisy and damaging waterhammer.
- Inadequate drainage leads to leaking joints.

STEAM GENERATION





FIRE TUBE BOILER

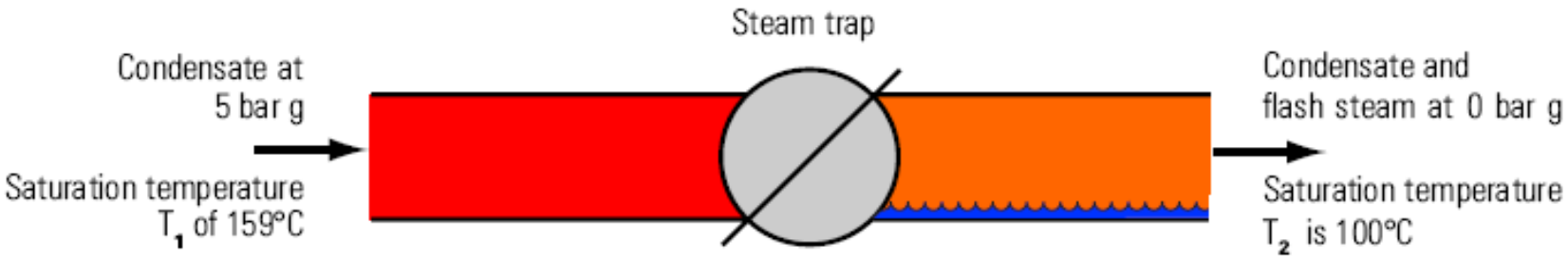


BOILER EXPLOSION

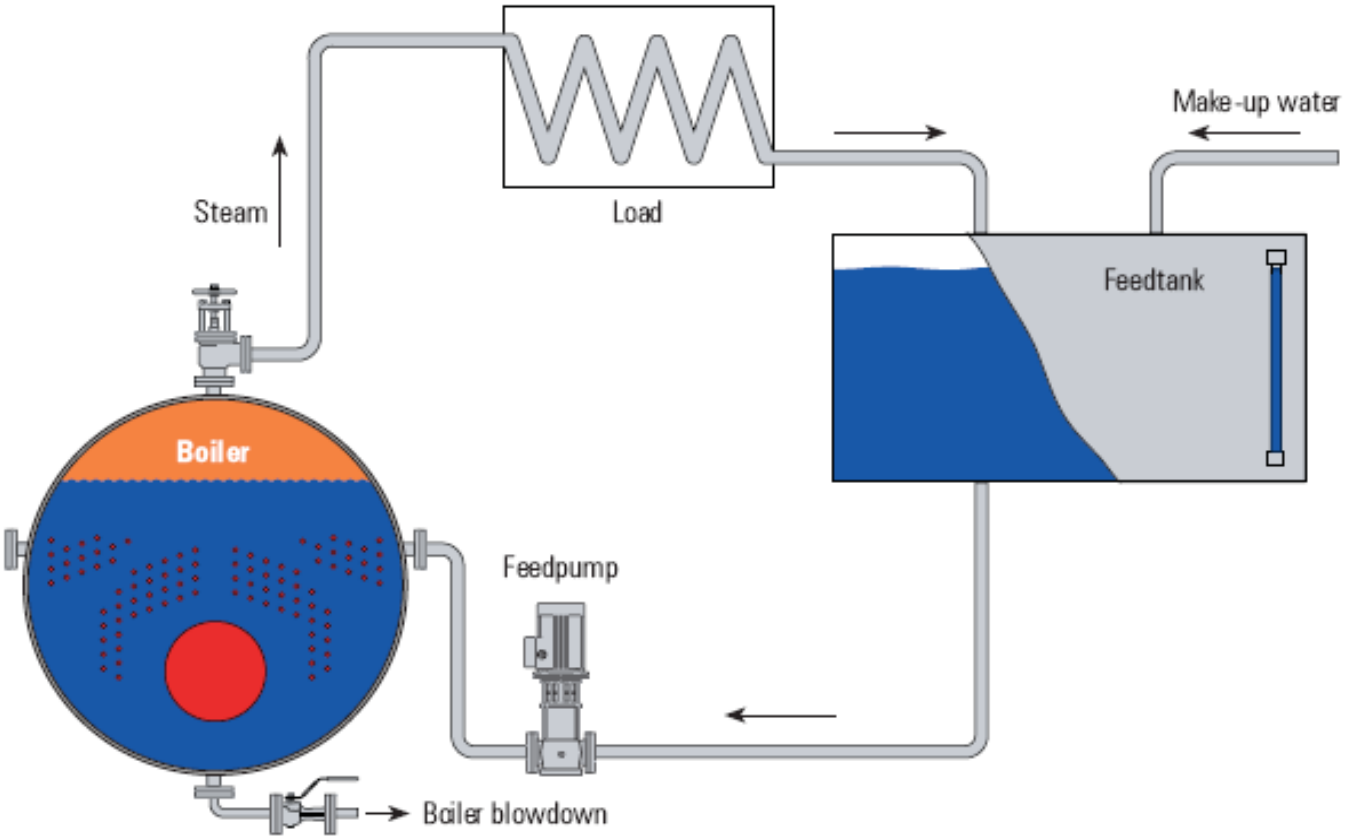
BOILER EXPLOSION

FLASH STEAM

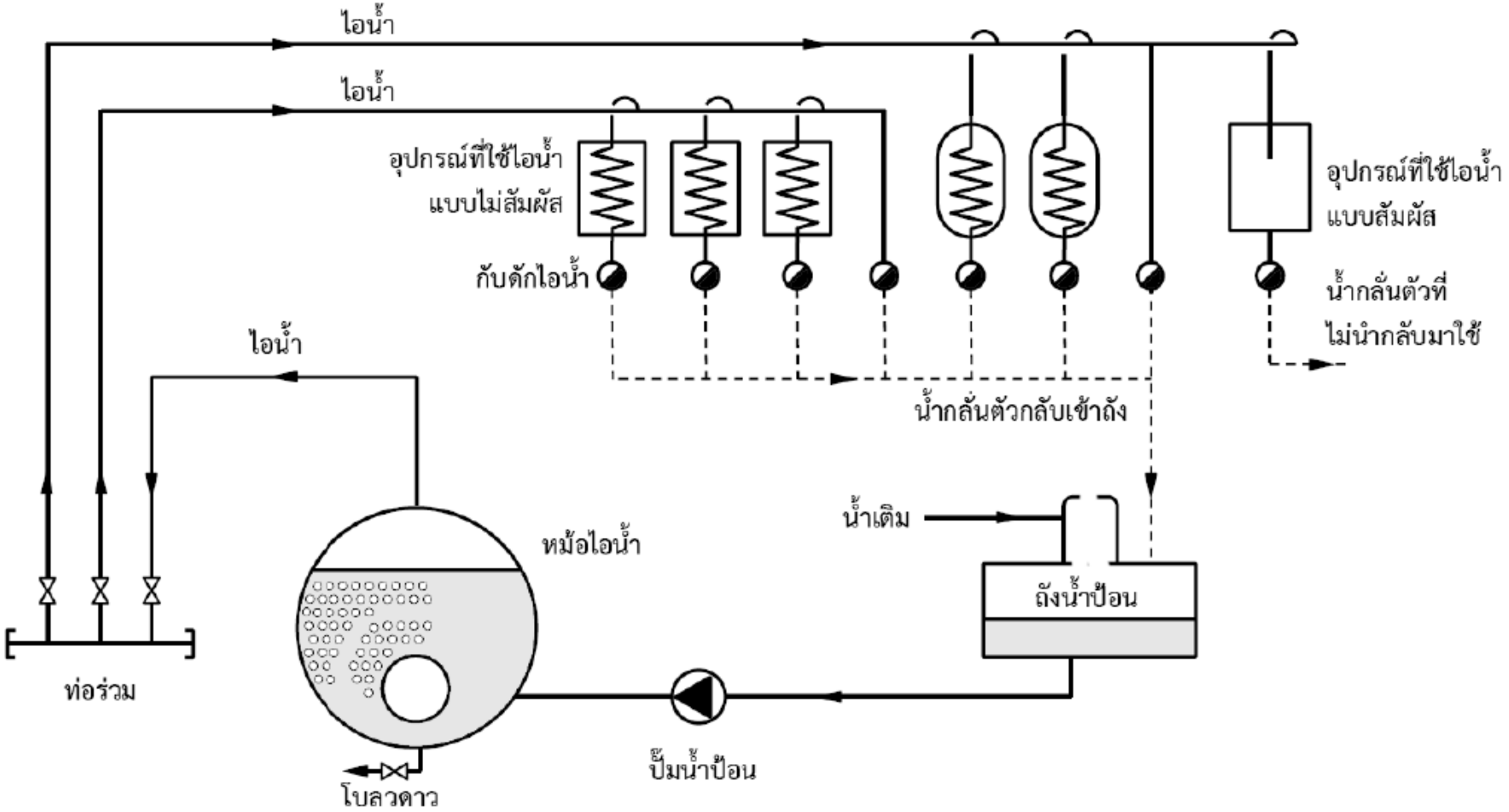
CAN STEAM BE FORMED FROM WATER WITHOUT ADDING HEAT?



2. STEAM PIPING SYSTEM



BASIC STEAM CIRCUIT



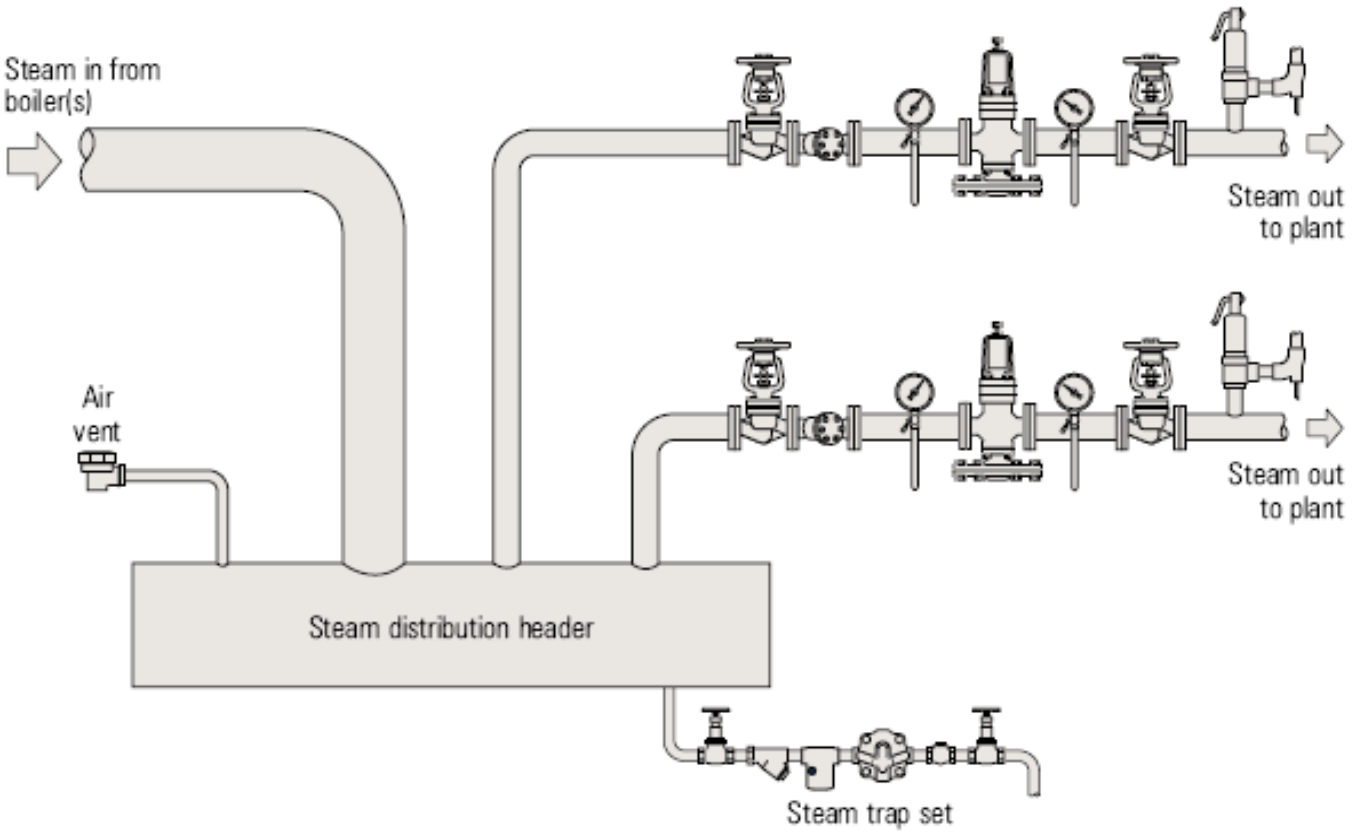
PIPES

ตาราง 11.4 ความหนาแนะนำของท่อไอน้ำ (Bell, 2000)

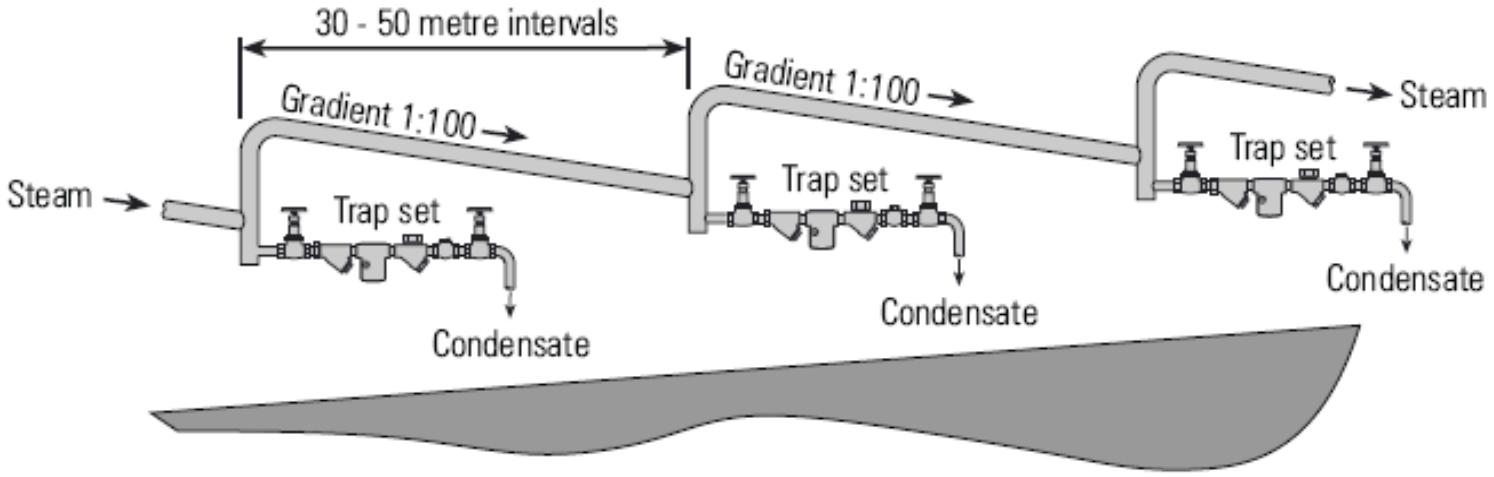
<table>
<tr><td>ระดับความดัน</td><td colspan="3">ขนาดท่อ</td></tr>
<tr><td rowspan="2">ความดันต่ำ
0 – 1 barG</td><td>DN50 ลงไป</td><td>DN65 – DN250</td><td>DN300 ขึ้นไป</td></tr>
<tr><td>ASTM A53 Sch. 40
Type E or S Grade B
ต่อด้วยเกลียว</td><td>ASTM A53 Sch. 40
Type E or S Grade B
ต่อด้วย Butt weld</td><td>ASTM A53 10 mm. thk.
Type E or S Grade B
ต่อด้วย Butt weld</td></tr>
<tr><td rowspan="3">ความดันปานกลาง
และ ความดันสูง
1 – 20 barG</td><td colspan="2">DN40 ลงไป</td><td>DN50 ขึ้นไป</td></tr>
<tr><td colspan="2">ASTM A53 Sch. 80
Type E or S Grade B
ต่อด้วย Socket Weld</td><td>ASTM A53 Sch. 80
Type E or S Grade B
ต่อด้วย Butt weld</td></tr>
<tr><td colspan="2">ASTM A106 Sch. 80
Grade B
ต่อด้วย Socket Weld</td><td>ASTM A106 Sch. 80
Grade B
ต่อด้วย Butt weld</td></tr>
</table>

ทั้งนี้ข้อกำหนดความดันสูงสุดที่ท่อเหล็กเหนียวตามมาตรฐาน ASTM A53 และ ASTM A106 เกรด B จะรับได้ตามที่ระบุใน ASME B31.3 แสดงอยู่ในภาคผนวก ข

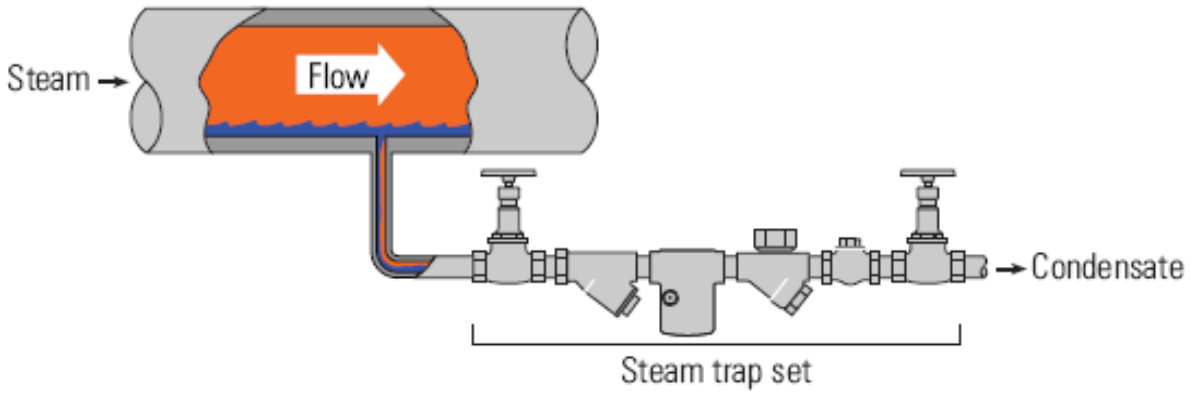
STEAM HEADER/ MANIFOLD

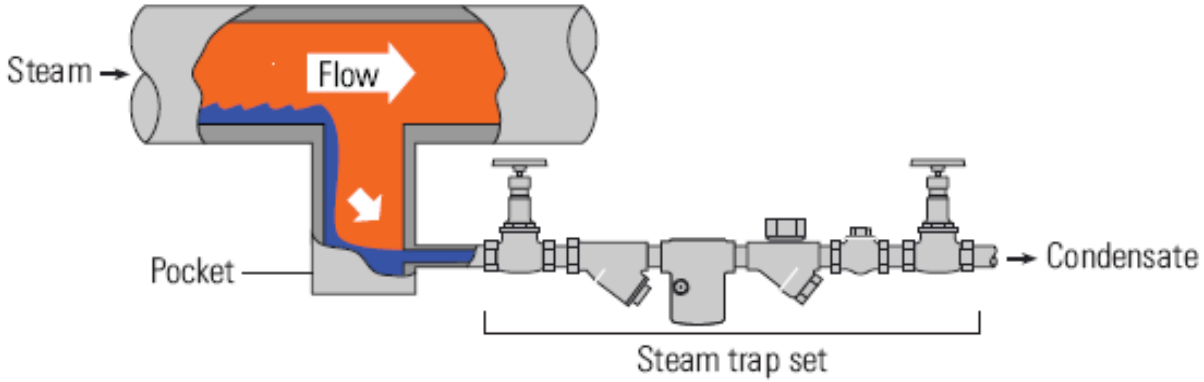


MAIN PIPE INSTALLATION

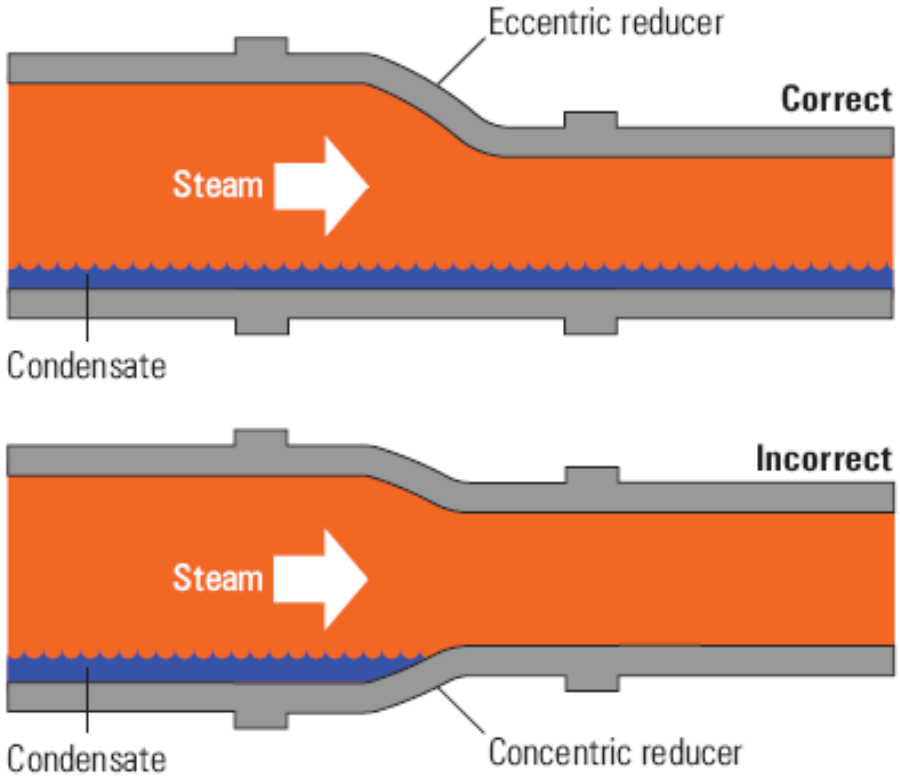


TRAPPING CONDENSATE

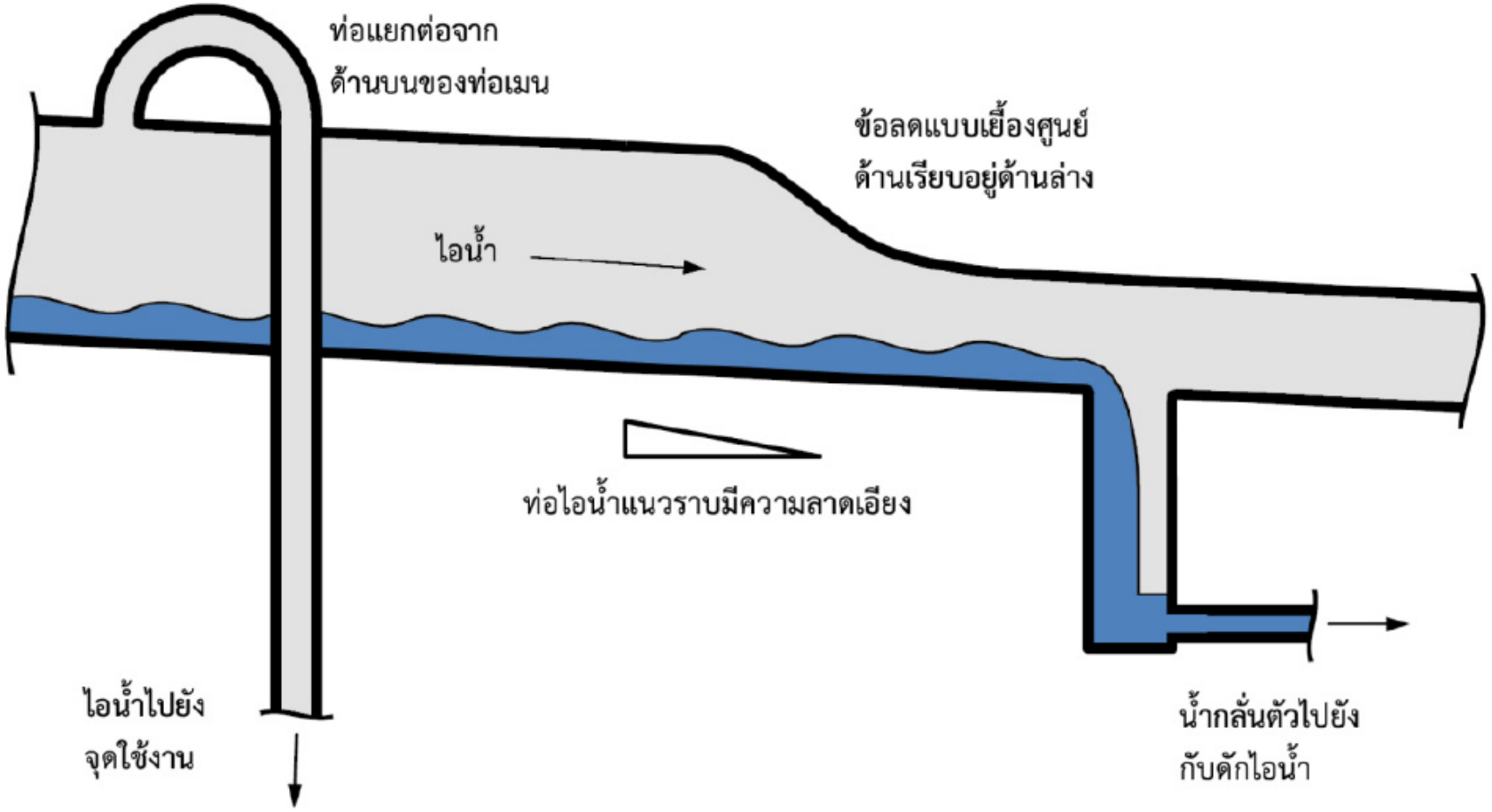




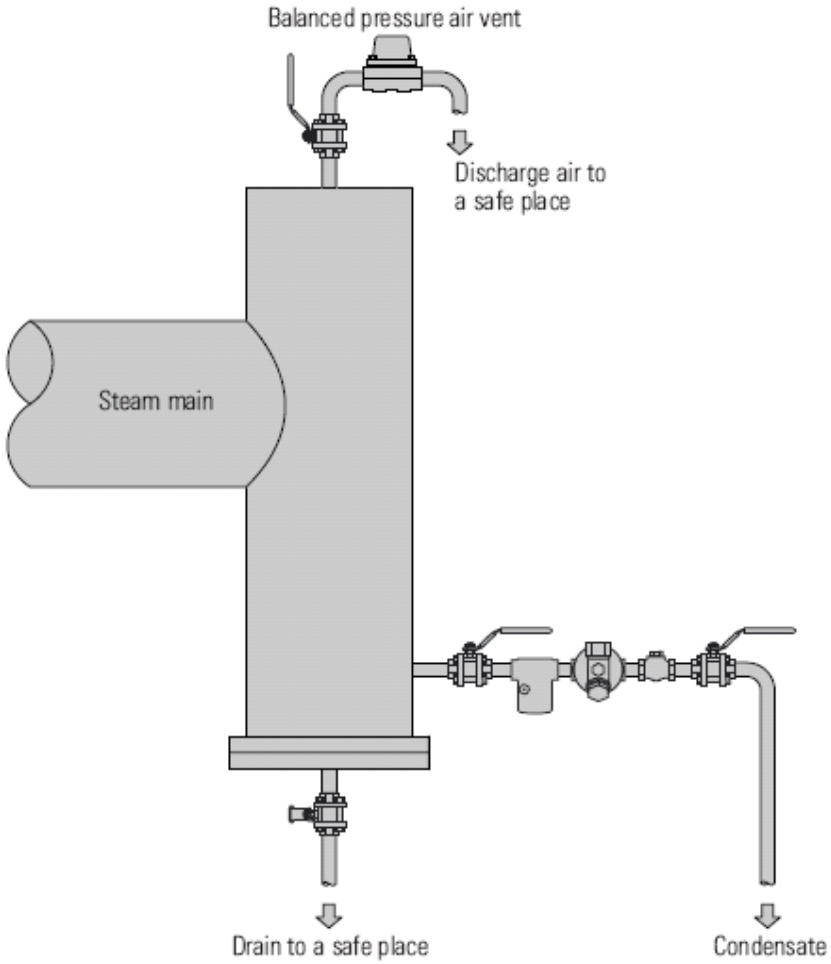
REDUCERS


Eccentric reducer
Correct
Steam
Condensate
Incorrect
Steam
Condensate
Concentric reducer

GENERAL INSTALLATION



AIRVENT


Balanced pressure air vent
Discharge air to
a safe place
Steam main
Drain to a safe place
Condensate

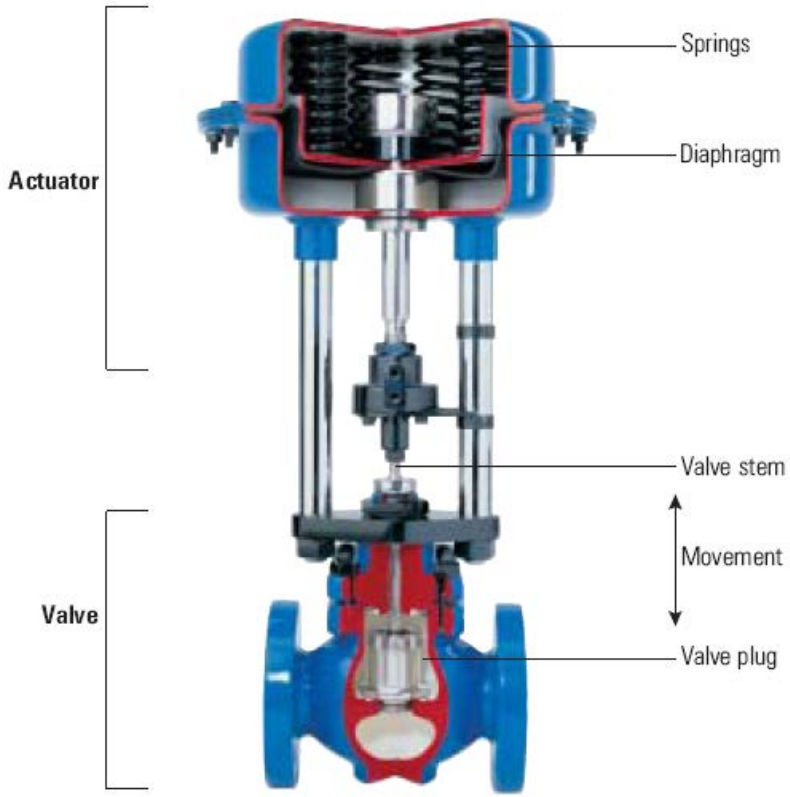
VALVES

ตารางที่ 11.3 ช่วงการทำงานโดยทั่วไปของวาล์วไอน้ำ (Spirax-Sarco 2005)

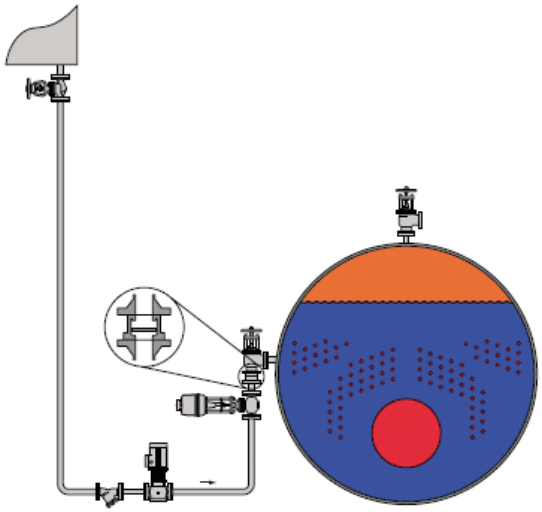
ประเภท	ช่วงการทำงาน			ความดันตก*
	ขนาด (mm)	ความดัน (bar)	อุณหภูมิ (°C)	(bar)
Gate Valve	3 – 2250	700	-196 – 675	0.007
Globe Valve	3 – 760	700	-196 – 650	0.590
Diaphragm	3 – 610	21	-50 – 175	0.021
Ball Valve	6 – 1220	525	-55 – 300	0.007
Butterfly Valve	50 – 1830	102	-30 – 538	0.120

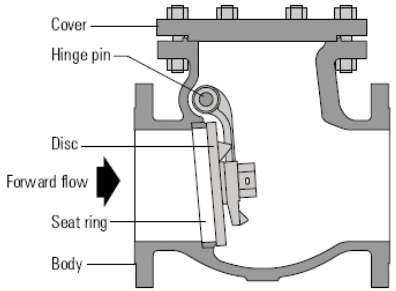
*สำหรับไอน้ำความดัน 24 บาร์ ความเร็ว 40 m/s ไหลผ่านวาล์วขนาด DN150

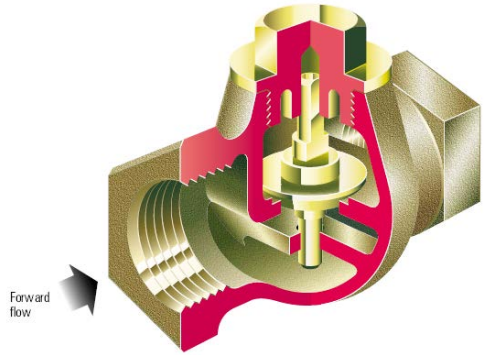
VALVES

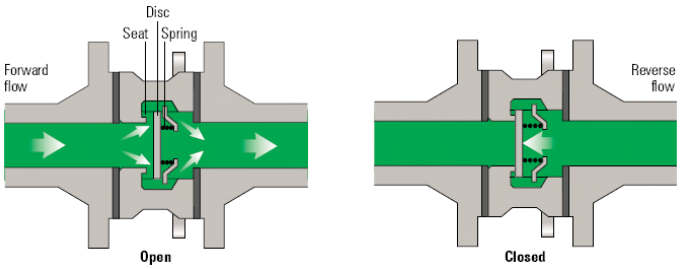

Springs
Diaphragm
Actuator
Valve stem
Movement
Valve
Valve plug

CHECK VALVES

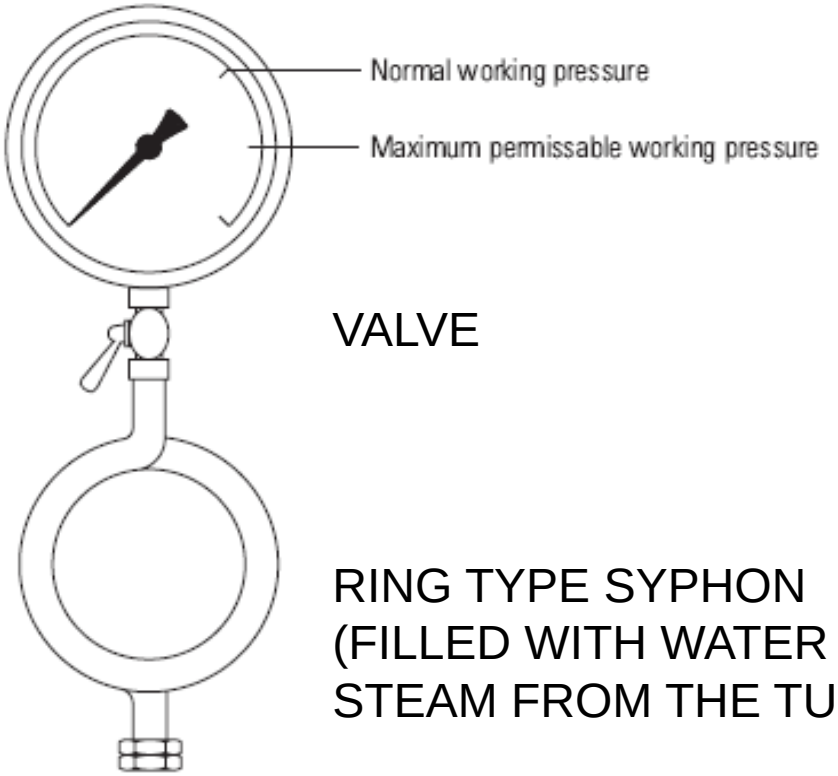




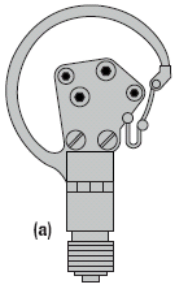


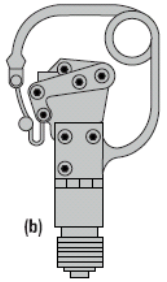


PRESSURE GUAGES



VALVE

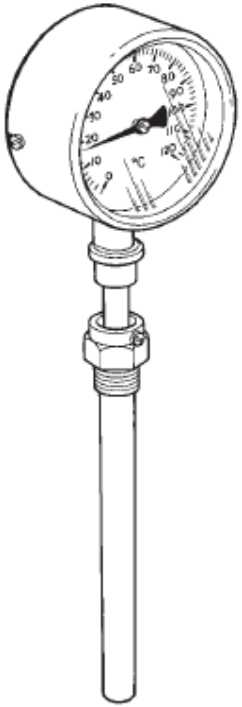




BOURDON TUBE

RING TYPE SYPHON
(FILLED WITH WATER TO SEPARATE STEAM FROM THE TUBE)

TEMPERATURE GUAGES



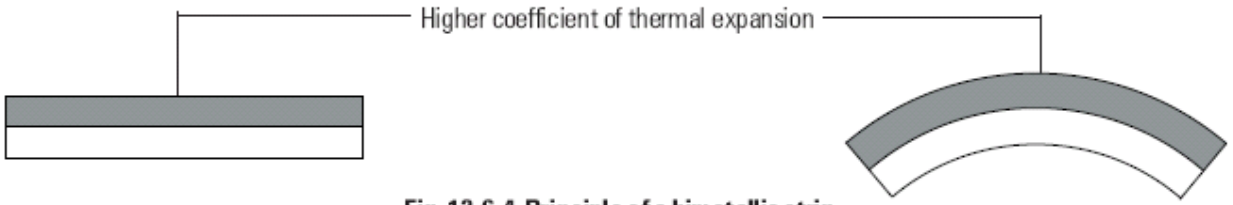
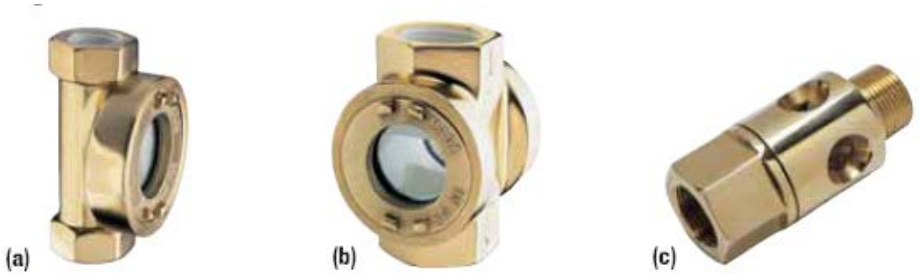
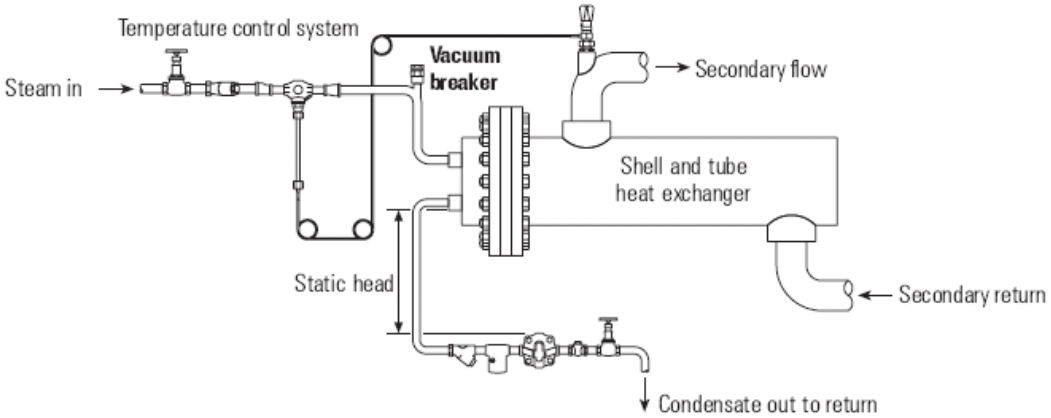


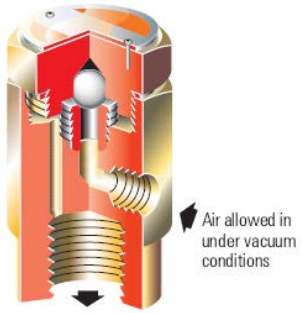
Fig. 12.6.4 Principle of a bimetallic strip

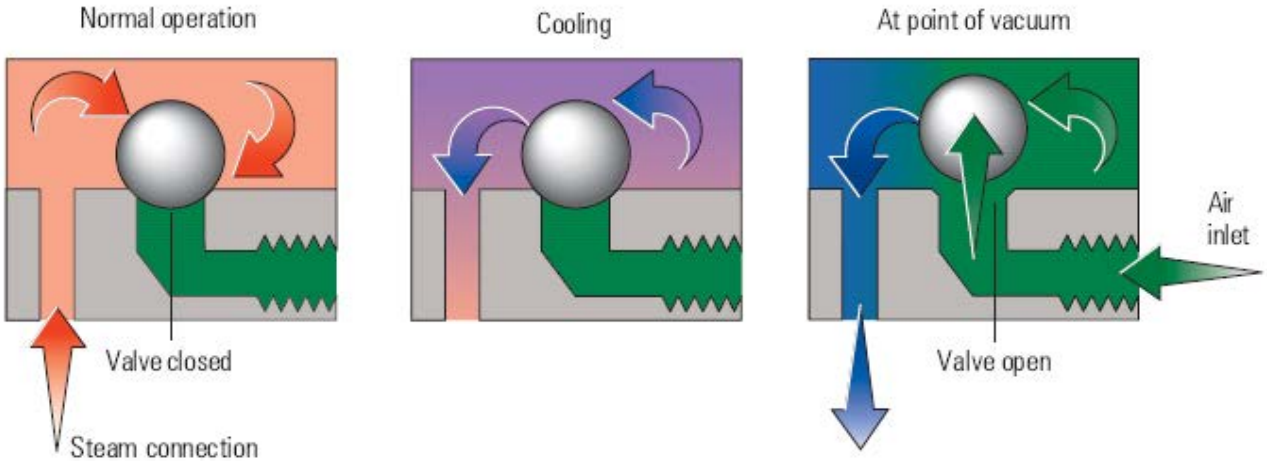


SIGHT GLASS

VACUUM BREAKERS

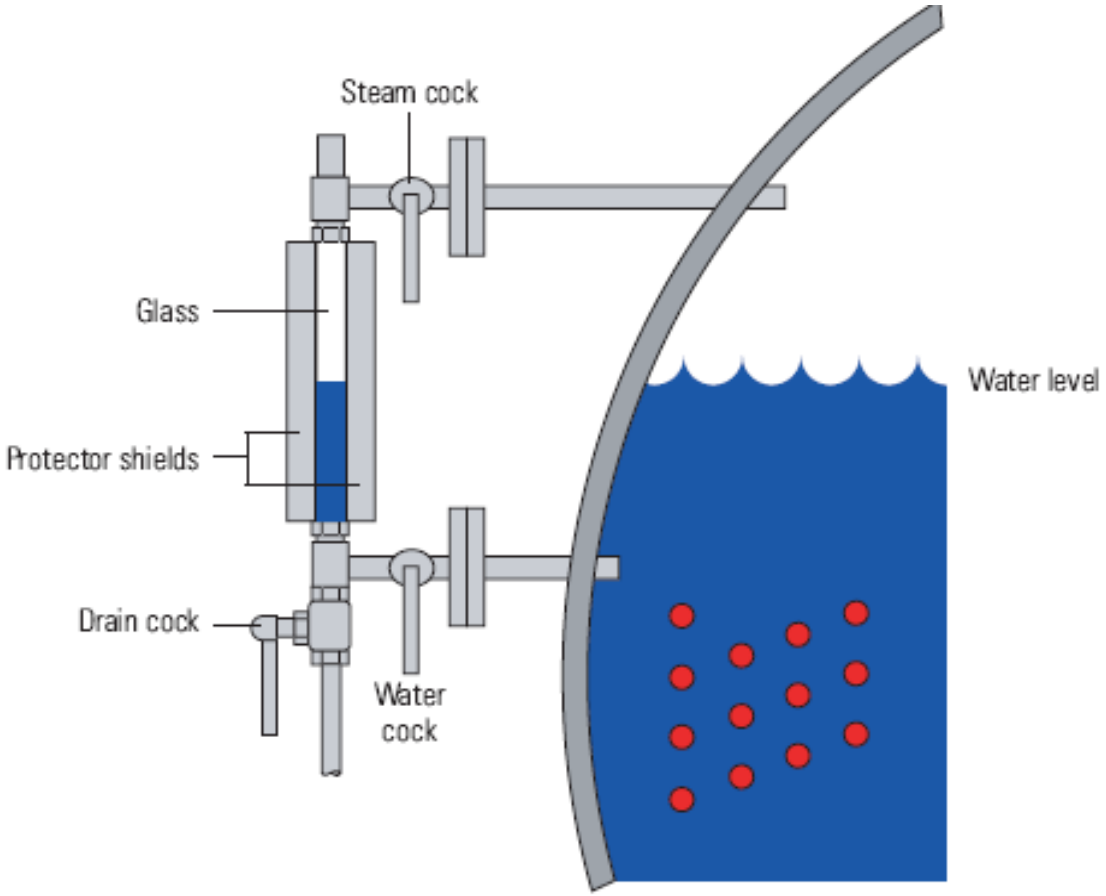




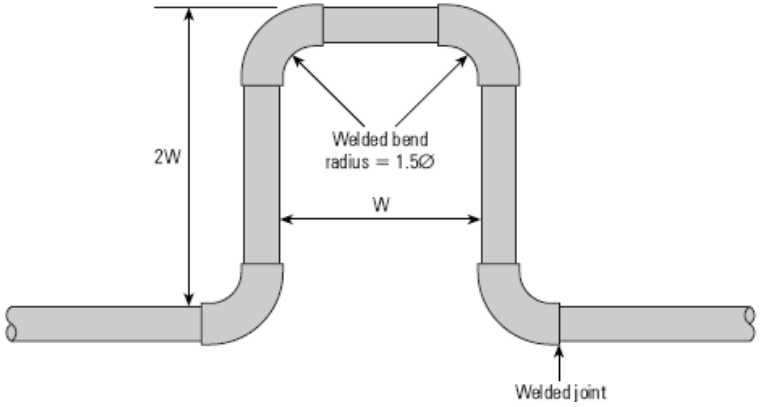


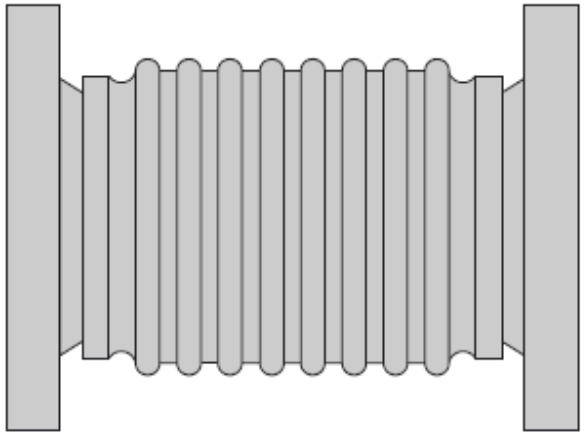
VACUUM HAZARD - IMPLODING

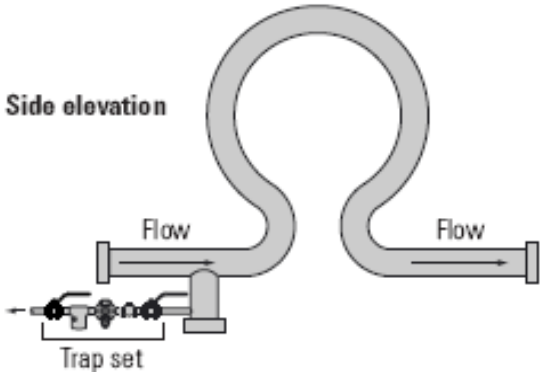
LEVEL GUAGE GLASSES

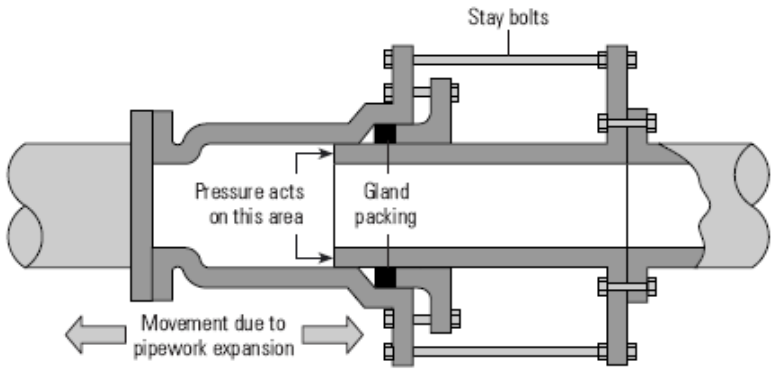


EXPANSION JOINTS

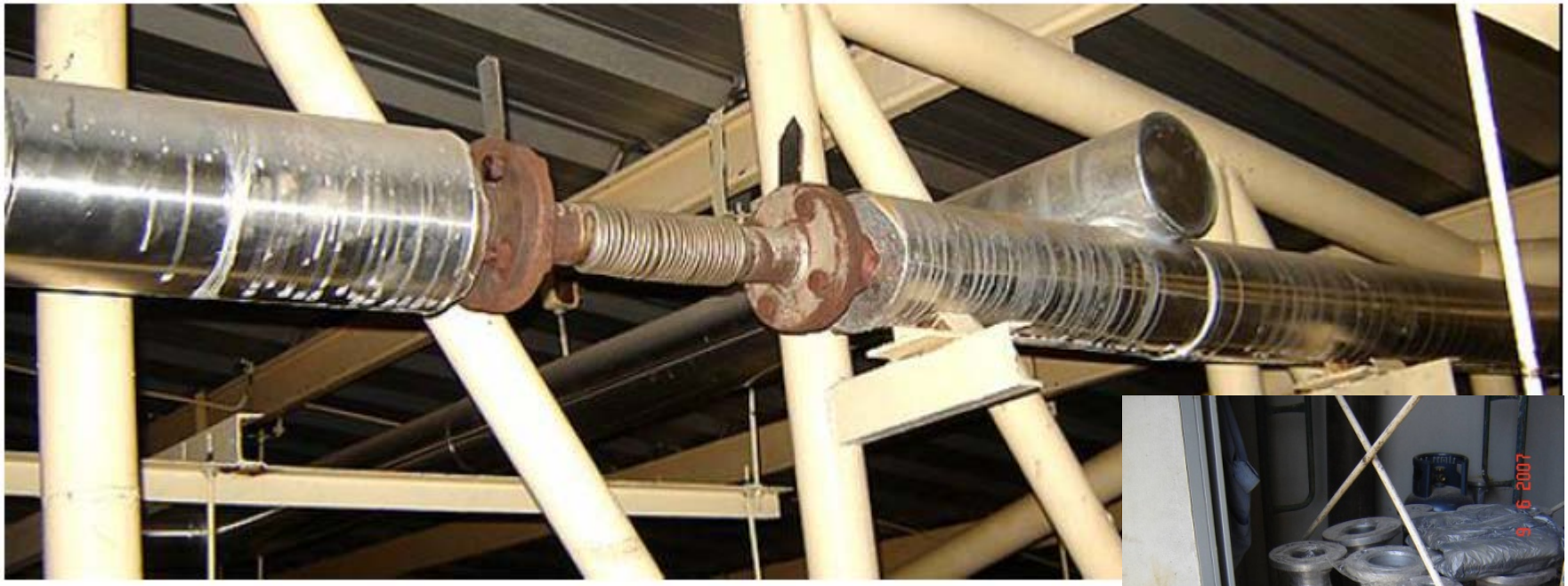








EXPANSION JOINTS



STEAM TRAPS

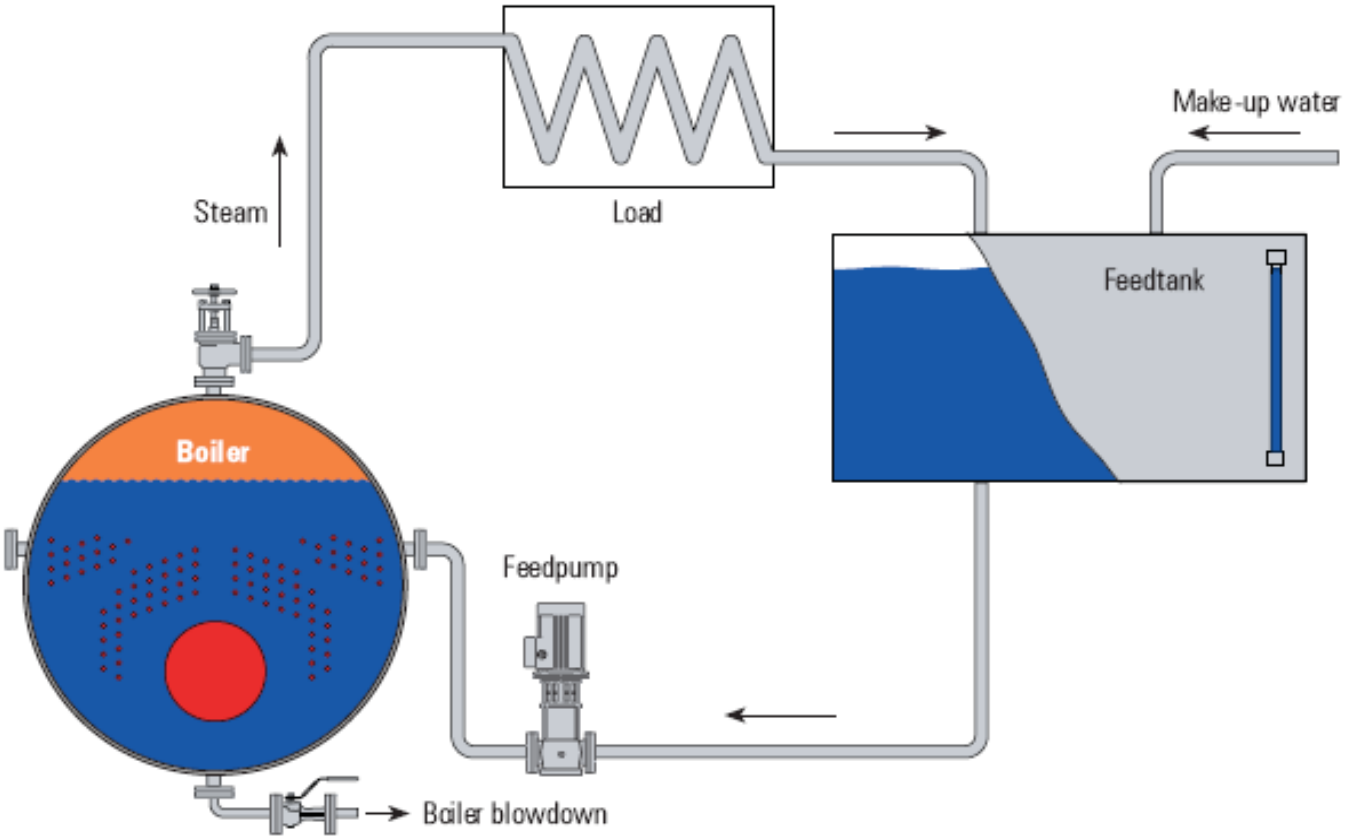
Ball float type

Thermodynamic type

Thermostatic type

Inverted bucket type

3. STEAM PIPING SIZING



PIPE MATERIAL

- SCHEDULE 40 STEEL PIPES RANGE FROM 15mm TO 600mm ARE SUFFICIENT FOR MOST STEAM PIPES.
- LARGE PIPES OR PIPES IN HIGH PRESSURE SYSTEM MAY BE SCH80.
- MATERIAL'S STRENGTH DECREASE WITH INCREASING TEMPERATURE.
- FOLLOW ASME B31.1 SERIES FOR POWER PIPING.

HEAT vs STEAM RATE

$$\dot{q} = \frac{\dot{m} h_{fg}}{3600}$$

เมื่อ

$\dot{q}$ คือความร้อนที่ต้องการนำไปใช้ในอุปกรณ์ (kW)

$\dot{m}$ คืออัตราการไหลของไอน้ำในหน่วย (kg/h)

h_{fg} คือความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอของน้ำที่อุณหภูมิใช้งาน (kJ/kg)

PIPE SIZE

Nominal size pipe (mm)		15	20	25	32	40	50	65	80	100	150
Bore (mm)	Schedule 40	15.8	21.0	26.6	35.1	40.9	52.5	62.7	77.9	102.3	154.1
	Schedule 80	13.8	18.9	24.3	32.5	38.1	49.2	59.0	73.7	97.2	146.4
	Schedule 160	11.7	15.6	20.7	29.5	34.0	42.8	53.9	66.6	87.3	131.8
	DIN 2448	17.3	22.3	28.5	37.2	43.1	60.3	70.3	82.5	107.1	159.3

PIPE SIZING

Oversized pipework means:

- Pipes, valves, fittings, etc. will be more expensive than necessary.
- Higher installation costs will be incurred, including support work, insulation, etc.
- For steam pipes a greater volume of condensate will be formed due to the greater heat loss. This, in turn, means that either:
  - More steam trapping is required, or
  - Wet steam is delivered to the point of use.

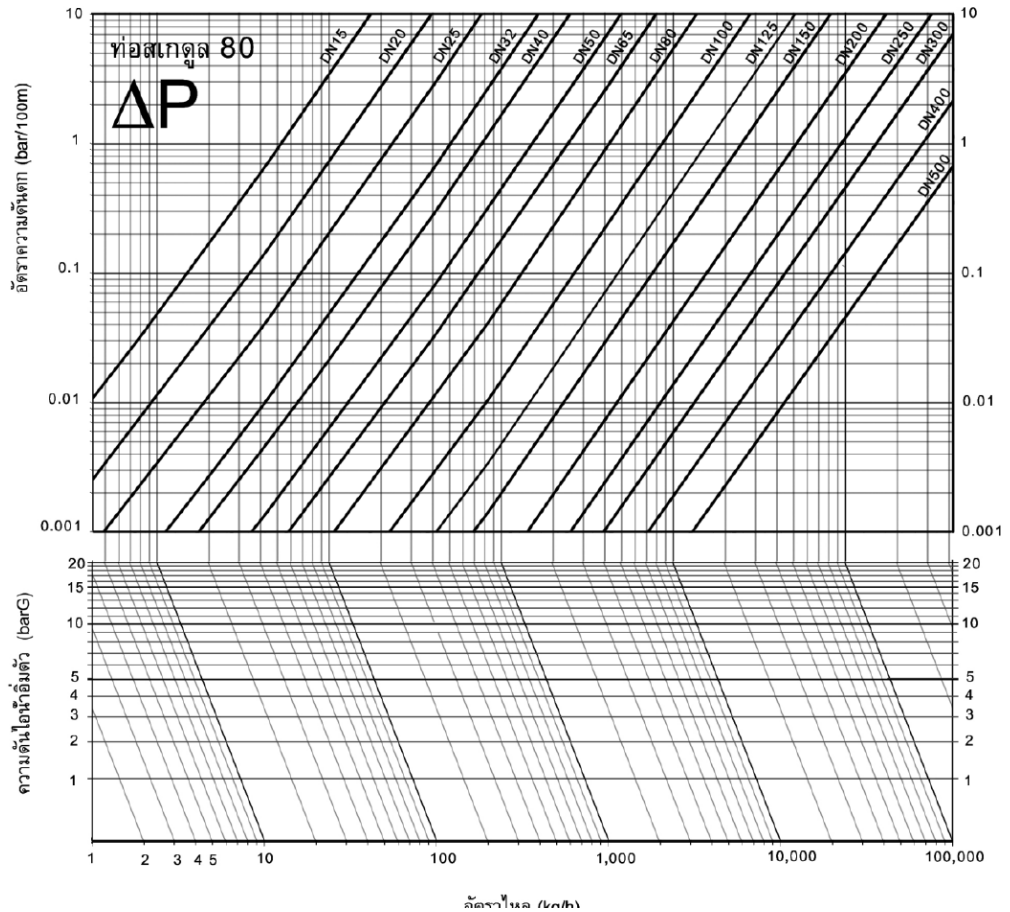
In a particular example:

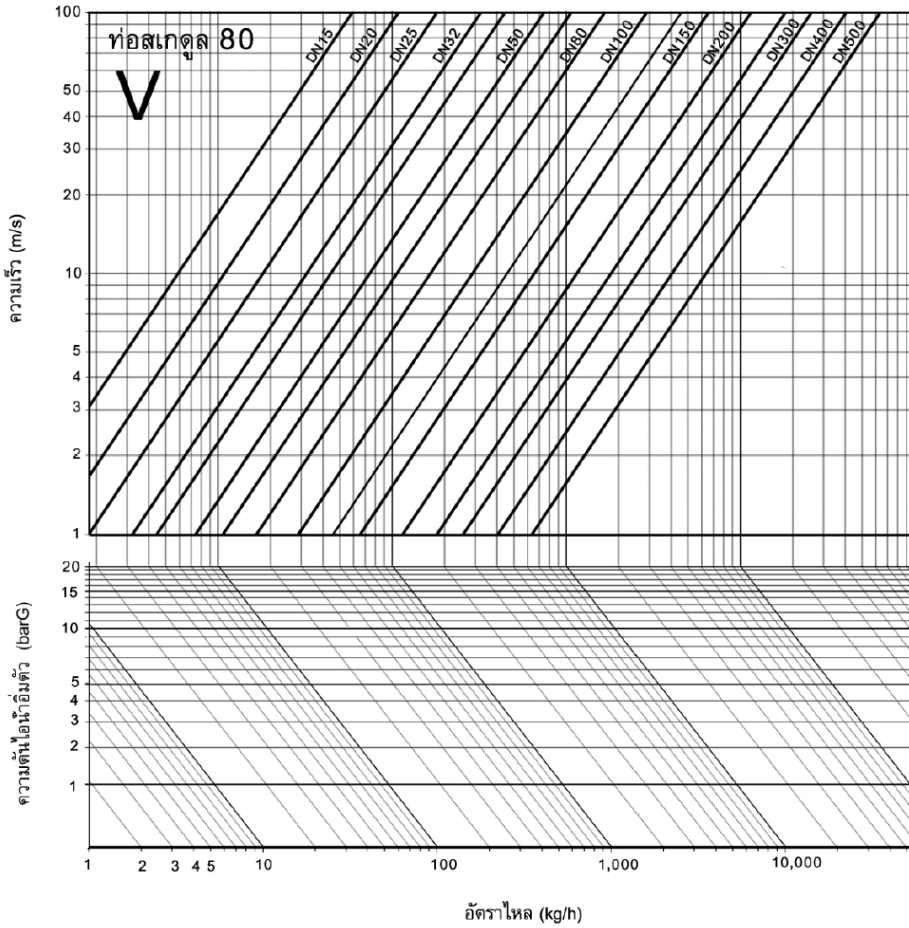
- The cost of installing 80 mm steam pipework was found to be 44% higher than the cost of 50 mm pipework, which would have had adequate capacity.
- The heat lost by the insulated pipework was some 21% higher from the 80 mm pipeline than it would have been from the 50 mm pipework. Any non-insulated parts of the 80 mm pipe would lose 50% more heat than the 50 mm pipe, due to the extra heat transfer surface area.

Undersized pipework means:

- A lower pressure might be available at the point of use, which may hinder equipment performance.
- There is a risk of steam starvation due to an excessive pressure drop.
- There is a greater risk of erosion, waterhammer and noise due to the inherent increase in steam velocity.

STEAM PRESSURE DROP CHART





PIPE SIZING METHODS

PIPE SIZING BASED ON VELOCITY

- NORMAL VELOCITY 25 - 40 m/s
- LOWER VELOCITY FOR LONG PIPE

PIPE SIZING BASED ON PRESSURE DROP

HIGHER STEAM PRESSURE = SMALLER PIPE

PIPE SIZING BASE ON VELOCITY

ไอน้ำยิ่งมีความดันสูงจะยิ่งมีโอกาสเกิดความชื้นน้อยจึงสามารถออกแบบที่ความเร็วสูงมากได้ แต่ทั้งนี้หากท่อมีความยาวเกิน 50 เมตรต้องมีการตรวจสอบความดันตกด้วยเสมอ โดยอาจใช้ความเร็วต่ำกว่า 20 m/s หากไอน้ำความดันต่ำต้องวิ่งในท่อยาวมาก

ตารางที่ 11.5 ตัวอย่างช่วงความเร็วกระแสที่เหมาะสมของไอน้ำ (Bell, 2000)

ระดับความดัน	ความดันไอน้ำ (barG)	ความเร็ว (m/s)
ความดันต่ำ	0 – 1	20 – 30
ความดันปานกลาง	1 – 7	30 – 40
ความดันสูง	7 – 20	40 – 75

PIPE SIZING BASE ON VELOCITY

ตารางที่ 11.7 อัตราไหลของไอน้ำอิ่มตัวที่ความเร็วต่างๆในท่อสเกดูล 40

P	V	อัตราไหลของไอน้ำอิ่มตัว (kg/h) ในท่อ สเกดูล 40										
(barg)	(m/s)	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150
0.5	10	6	11	17	29	41	67	98	148	255	401	579
	20	12	21	35	58	82	135	197	296	510	802	1,158
	30	18	32	52	87	122	202	295	445	765	1,203	1,737
	40	24	43	69	116	163	269	394	593	1,021	1,604	2,316
1	10	8	14	23	38	53	88	129	194	334	525	758
	20	16	28	45	76	107	176	257	388	668	1,049	1,515
	30	24	42	68	114	160	264	386	582	1,001	1,574	2,273
	40	32	56	91	152	214	352	515	775	1,335	2,098	3,030
2	10	12	20	33	56	78	129	188	283	488	767	1,108
	20	23	41	66	111	156	257	376	567	976	1,534	2,216
	30	35	61	99	167	234	386	565	850	1,464	2,301	3,323
	40	47	82	133	223	312	515	753	1,134	1,953	3,069	4,431

PIPE SIZING BASE ON VELOCITY

ตารางที่ 11.8 อัตราไหลของไอน้ำอิ่มตัวที่ความเร็วต่างๆในท่อสเกดูล 80

P	V	อัตราไหลของไอน้ำอิ่มตัว (kg/h) ในท่อ สเกดูล 80										
(barg)	(m/s)	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150
0.5	10	5	9	14	26	35	59	85	132	230	365	522
	20	9	17	29	51	71	118	170	265	461	729	1,045
	30	14	26	43	77	106	178	255	397	691	1,094	1,567
	40	19	35	58	103	142	237	340	530	922	1,459	2,090
1	10	6	11	19	34	46	77	111	173	301	477	684
	20	12	23	38	67	93	155	222	346	603	954	1,367
	30	18	34	57	101	139	232	333	520	904	1,431	2,051
	40	25	45	75	135	185	310	445	693	1,206	1,908	2,734
2	10	9	17	28	49	68	113	163	253	441	698	1,000
	20	18	33	55	98	136	226	325	507	882	1,395	1,999
	30	27	50	83	148	203	340	488	760	1,323	2,093	2,999
	40	36	66	110	197	271	453	650	1,013	1,763	2,791	3,998

EXAMPLE 11.1

จงหากำหนดขนาดท่อส่งไอน้ำในอัตรา 300 kg/h ที่ความดัน 8 barG โดยใช้ท่อสเกดูล 80 ให้มีความเร็วไม่เกิน 40 m/s และหาอัตราความดันตก

วิธีทำ

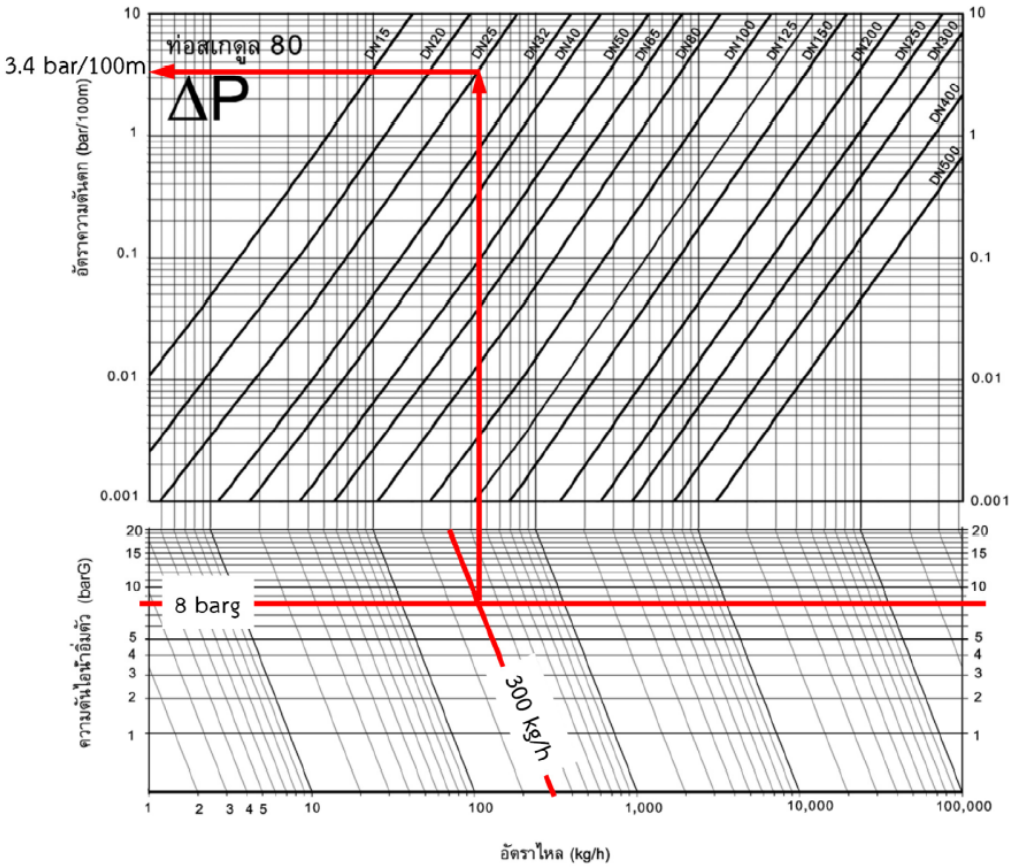
11.8

จากตาราง 11.7 พบว่าท่อ DN25 สเกดูล 80 รับอัตราไหลได้ 311 kg/h ที่ความดัน 8 barG ดังนั้นเลือกใช้ท่อ DN25 Sch80 ตอบ

P	V	อัตราไหลของไอน้ำอิ่มตัว (kg/h) ในท่อ สเกดูล 80										
(barg)	(m/s)	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150
8	10	25	47	78	139	191	319	458	714	1,243	1,967	2,818
	20	51	93	156	277	382	639	916	1,428	2,486	3,934	5,636
	40	101	187	311	555	764	1,277	1,833	2,857	4,972	7,868	11,273
	60	152	280	467	832	1,146	1,916	2,749	4,285	7,458	11,802	16,909

EXAMPLE 11.1

จากนั้นตรวจสอบอัตราความดันตกจากรูป 11.11 โดยลากเส้นอัตราไหล 300kg/h ตัดกับเส้นความดัน 8 barG จากนั้นโปรเจคจุดตัดขึ้นในแนวตั้งไปตัดกับเส้น DN25 แล้วอ่านค่าอัตราความดันตกได้ 3.4 bar/100m



หมายเหตุ ความดันตก 3.4 bar/100 เมตรเป็นค่าที่สูง ในการติดตั้งจริงจะต้องดูความยาวของท่อด้วย หากท่อมีความยาวมากจะต้องออกแบบโดยใช้เกณฑ์ความดันตกดังจะกล่าวต่อไป

PIPE SIZING BASE ON PRESSURE DROP

ตาราง 11.6 ความดันตกที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบท่อไอน้ำอิ่มตัว (Bell, 2000)

ระดับความดัน	ความดันไอน้ำ (barG)	ความดันตก (bar/100m)	ความดันตกรวม (bar)
ความดันต่ำ	0 – 1	0.03 – 0.1	0.01 – 0.2
ความดันปานกลาง	1 – 7	0.1 – 0.45	0.2 – 0.7
ความดันสูง	7 – 20	0.45 – 1.1	0.7 – 4

EXAMPLE 11.2

จงหากำหนดขนาดท่อส่งไอน้ำในอัตรา 300 kg/h ที่ความดันต้นทาง 8 barG เป็นระยะทาง 150 m โดยต้องการความดันที่ปลายทางไม่ต่ำกว่า 7.6 barG ให้ประมาณอัตราการเกิดน้ำกลั่นตัวเนื่องจากความร้อนสูญเสียไว้ที่ 3.5%/100 m และคิดความสูญเสียในข้อต่อและวาล์วเป็น 10% ของความยาวท่อ

วิธีทำ

เนื่องจากมีข้อกำหนดความดันต้นทางและปลายทาง จึงควรออกแบบด้วยเกณฑ์ความดันตก ขั้นแรกคิดความยาวเทียบเท่าเป็น 150 m + 10% = 165 m

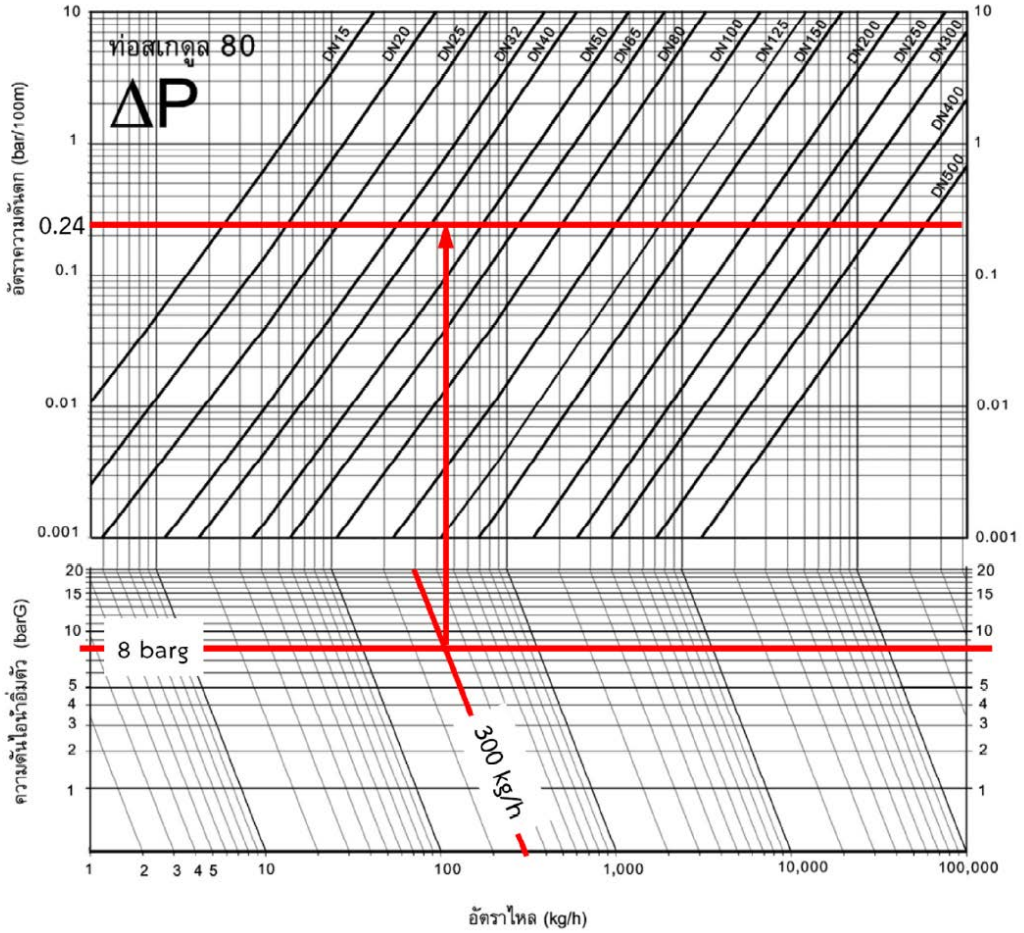
จากนั้นคำนวณความดันตกต่อ 100 m คือ $dp = \dfrac{8 - 7.6}{165} \times 100 = 0.24$ bar/100 m

แล้วคิดเผื่อความร้อนสูญเสียตามที่โจทย์แนะนำโดยการส่งไอน้ำด้วยอัตราที่เพิ่มขึ้น 3.5%/100 m คิดเป็น $\dot{m} = 300 \times (1 + 3.5\% \times 165/100) = 317$ kg/h

EXAMPLE 11.2

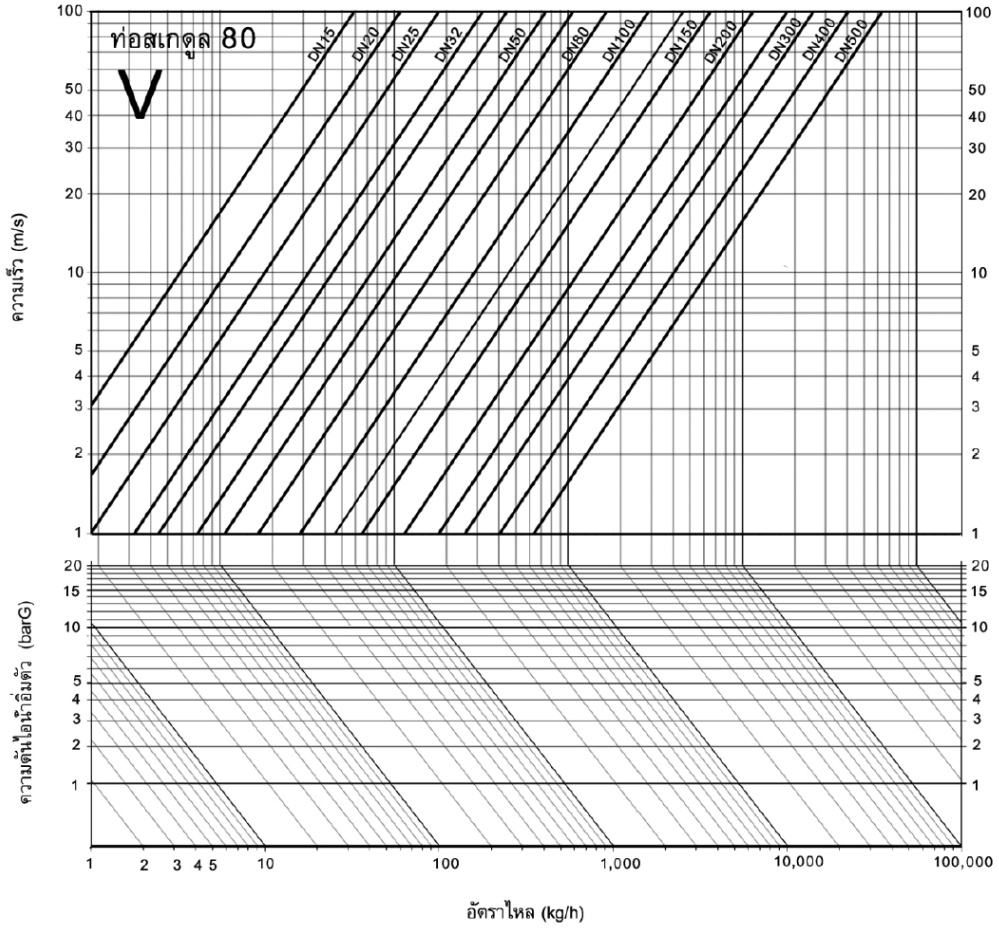
จากนั้นใช้รูปที่ 11.11 โดยลากเส้นอัตราความดันตก 0.24 bar/100m ตัดกับอัตราไหล 300 kg/h

พบว่าควรใช้ท่อ DN50 Sch80 ตอบ



EXAMPLE 11.2

หากตรวจสอบความเร็วดูจากรูปที่ 11.12 จะพบว่าไอน้ำมีความเร็วประมาณ 6.5 m/s เท่านั้น ทั้งนี้หากใช้วิธีออกแบบด้วยเกณฑ์ความเร็ว 40 m/s ดังตัวอย่างที่ 11.1 จะได้ขนาดท่อเพียง DN25 Sch 80 แต่มีความดันตกสูงมากเนื่องจากท่อมีความยาวมาก การออกแบบด้วยเกณฑ์ความเร็วจึงใช้ไม่ได้ในกรณีนี้



EXERCISE

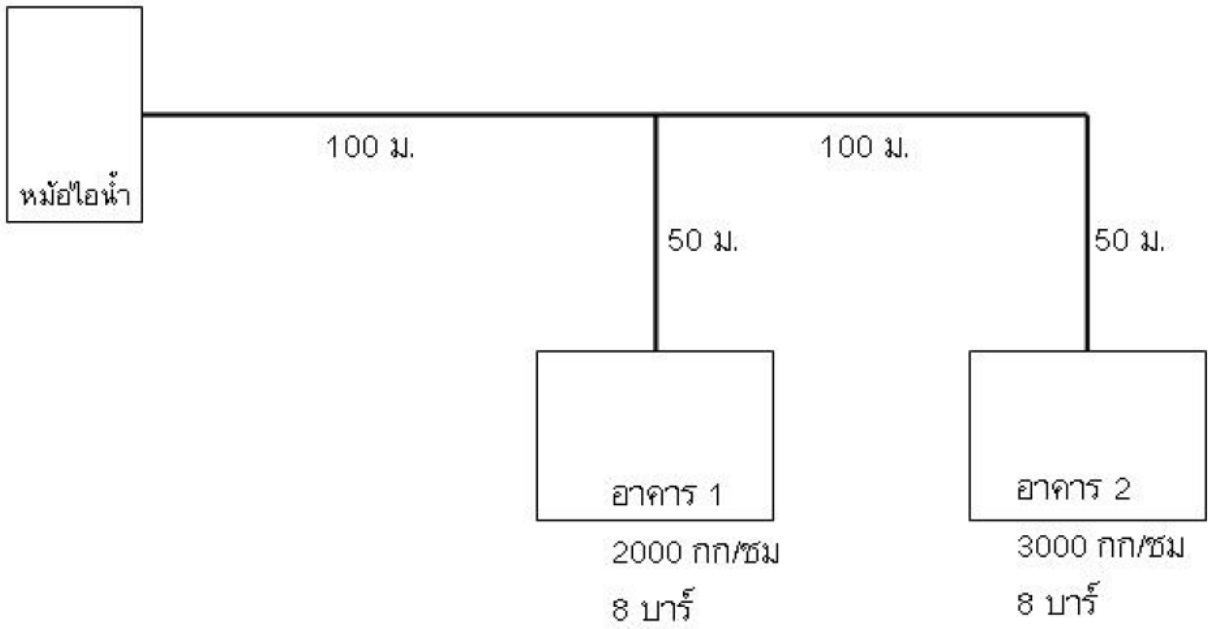
11.1) ทำการคำนวณออกแบบระบบท่อไอน้ำตามขั้นตอนต่อไปนี้

(11.1.1) จงกำหนดขนาดท่อส่งไอน้ำโดยให้ความเร็วไอน้ำไม่เกิน 30 m/s

(11.1.2) คำนวณความดันตกสูงสุดในระบบท่อไอน้ำ

(11.1.3) หากฉนวนที่หุ้มท่อทำให้ความร้อนสูญเสียจากท่อไม่เกิน 100 w/m จงหาอัตราการเกิดคอนเดนเสทในท่อไอน้ำ

(11.1.4) กำหนดอัตราการผลิตไอน้ำ และ ความดัน ไอน้ำของหม้อไอน้ำ



CONDENSATE RETURN LINE

- FOR NON-PUMP PART, SIZE AT LOW VELOCITY
- PROVIDE SLOPE
- PUMP MAY REQUIRE