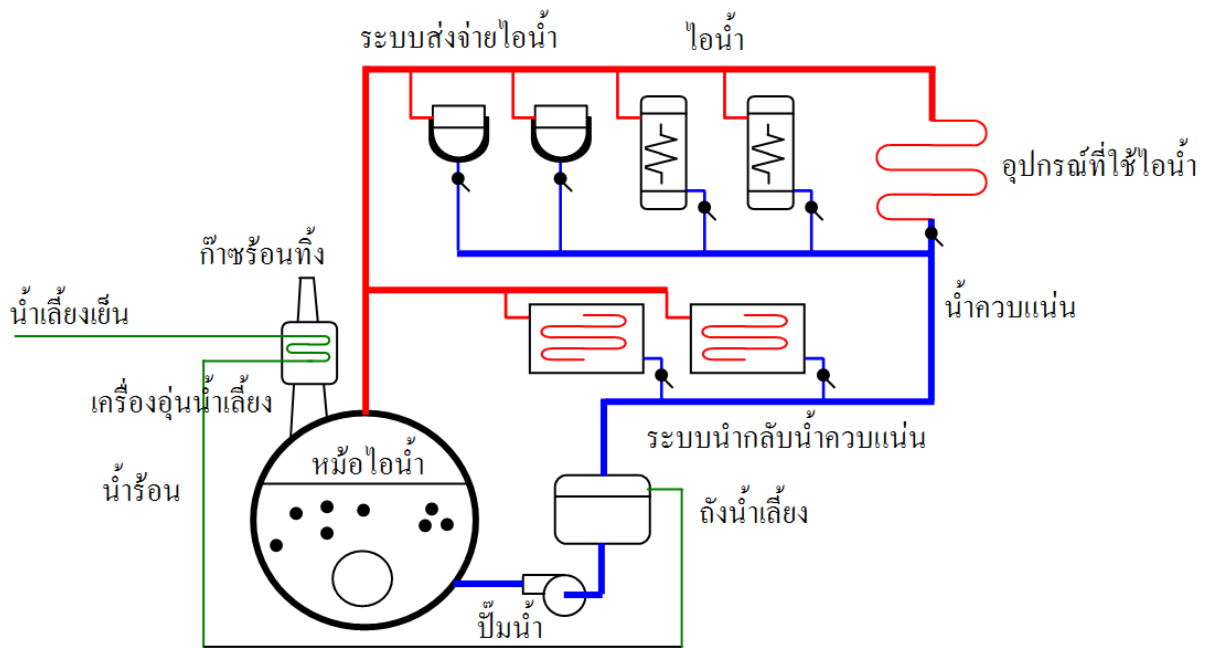


## บทที่ 10 หม้อไอน้ำ

## 10.1 องค์ประกอบของระบบ

ระบบไอน้ำเป็นระบบที่ใช้พลังงานพื้นฐานที่มีการใช้งานและสามารถพบเห็นได้ในหลายอุตสาหกรรมทั้งในโรงงานและอาคาร องค์ประกอบของระบบไอน้ำและการทำงานของหม้อไอน้ำประกอบด้วยอุปกรณ์และระบบย่อยต่าง ๆ ดังรูป ได้แก่ (1) หม้อไอน้ำ (2) ระบบส่งจ่ายไอน้ำ (3) ระบบนำกลับน้ำควบแน่น (คอนเดนเสท) และ (4) อุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ (ผู้ใช้ไอน้ำปลายทาง)



รูปที่ 10.1 แผนภาพระบบไอน้ำและการทำงานของหม้อไอน้ำ

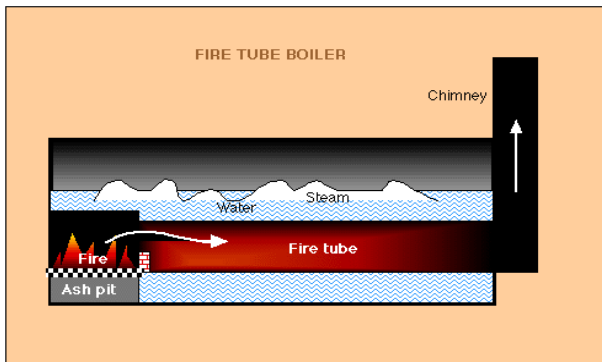
จากรูปที่ 10.1 น้ำป้อนที่มีอุณหภูมิต่ำจะถูกผ่านเข้าไปยังหม้อไอน้ำเพื่อรับความร้อนจากก๊าซเผาไหม้และกลายเป็นไอน้ำ ไอน้ำที่ผลิตขึ้นจะถูกส่งไปยังผู้ใช้ซึ่งได้แก่อุปกรณ์ต่าง ๆ ในกระบวนการผลิต ผ่านระบบส่งจ่ายไอน้ำ ไอน้ำหรือน้ำร้อนควบแน่นที่เหลือจากกระบวนการผลิตจะถูกนำกลับมายังหม้อไอน้ำอีกครั้งเพื่อรวมกับน้ำเติมก่อนที่จะส่งไปยังหม้อไอน้ำและผลิตเป็นไอน้ำต่อไป

ก๊าซร้อนจากกระบวนการเผาไหม้ เมื่อถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำแล้ว จะถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ความร้อนที่ปล่อยออกไปพร้อมกับก๊าซไอเสียนี้เป็นการสูญเสียพลังงานมากที่สุดของหม้อไอน้ำ ในรูปที่ 10.1 แสดงการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำป้อนซึ่งเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประเภทหนึ่ง ความร้อนจากก๊าซไอเสียจะถูกถ่ายเทให้แก่น้ำป้อนเพื่อให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อนจ่ายเข้าหม้อไอน้ำ วิธีการดังกล่าวเป็นหนึ่งในหลายมาตรการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของหม้อไอน้ำและระบบไอน้ำอุตสาหกรรม ซึ่งจะได้กล่าวถึงในบทนี้

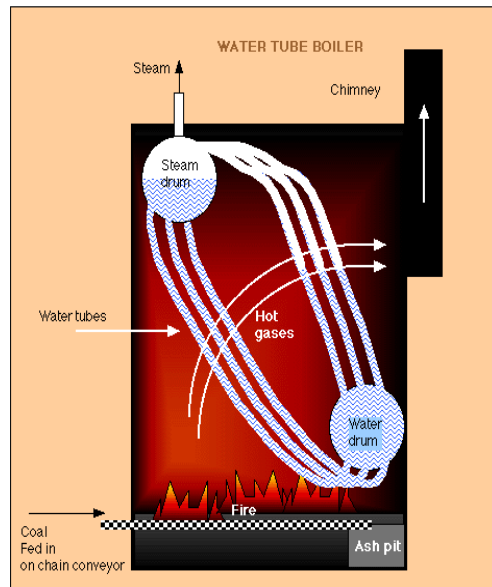
ประเภทของหม้อไอน้ำ

หม้อไอน้ำมีอยู่ด้วยกันหลายชนิดและหลายลักษณะ อย่างไรก็ตามอาจจำแนกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

- หม้อไอน้ำชนิดท่อน้ำ (Water tube Boiler) หม้อไอน้ำชนิดนี้ น้ำจะถูกบรรจุและไหลอยู่ในท่อโดยเปลวไฟหรือก๊าซร้อนจะเคลื่อนที่อยู่ที่รอบท่อ
- หม้อไอน้ำชนิดท่อไฟ (Fire tube or Shell Boiler) หม้อไอน้ำชนิดนี้ ก๊าซร้อนจากการเผาไหม้จะเคลื่อนที่ในท่อซึ่งจมอยู่ในน้ำ โดยที่น้ำจะอยู่นอกท่อ (ระหว่างเปลือกหม้อไอน้ำและท่อ) ของหม้อไอน้ำ



(ก) หม้อไอน้ำชนิดท่อไฟ



(ข) หม้อไอน้ำชนิดท่อน้ำ

รูปที่ 10.2 ประเภทของหม้อไอน้ำ

หม้อไอน้ำชนิดท่อไฟสามารถผลิตไอน้ำให้ได้ความดันตามต้องการช้ากว่าหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำในกรณีที่ภาระของไอน้ำเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เราควรใช้หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ เพราะจะสามารถผลิตไอน้ำได้ทันต่อความต้องการได้อย่างรวดเร็วกว่าหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ

สำหรับหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ จำนวนกลับของท่อไฟยิ่งมากประสิทธิภาพหม้อไอน้ำก็ยิ่งสูงขึ้นเนื่องจากก๊าซร้อนใช้เวลาไหลอยู่ในหม้อไอน้ำนานกว่า สำหรับหม้อไอน้ำขนาดเล็กมักจะมีจำนวนกลับเพียง 2 กลับ ขณะที่ส่วนหม้อไอน้ำขนาดใหญ่จะมี 3 หรือ 4 กลับ

## 10.2 นิยามประสิทธิภาพหรือสมรรถนะ

10.2.1 เอนทาลปี (h) หมายถึง ค่าพลังงานความร้อนของน้ำหรือไอน้ำที่สภาวะต่าง ๆ

10.2.2 ความความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง (LHV) หมายถึง ค่าพลังงานความร้อนต่อมวลที่ได้จากเชื้อเพลิง เมื่อมีการสันดาปแล้ว

10.2.3 ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ ( $\eta_B$ ) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาณพลังงานความร้อนของไอน้ำ กับพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำ

$$\eta_B = \frac{m_s \times (h_s - h_w)}{m_f \times LHV} \times 100$$

โดยที่  $\eta_B$  = ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ (%)

$m_s$  = อัตราการไหลของไอน้ำ (kg/hr)

$m_f$  = อัตราการใช้เชื้อเพลิง (kg/hr)

$h_s$  = เอนทาลปีของไอน้ำ (kJ/kg)

$h_w$  = เอนทาลปีของน้ำป้อน (kJ/kg)

$LHV$  = ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

## 10.3 กฎหมายที่เกี่ยวข้อง

กฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการ ออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 กำหนดค่าประสิทธิภาพขั้นต่ำของอุปกรณ์ผลิตน้ำร้อน สำหรับอาคารที่ก่อสร้างหรือดัดแปลงที่มีพื้นที่รวมกันตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไปดังตาราง

(1) หม้อไอน้ำและหม้อต้มน้ำร้อน

ประเภท	ค่าประสิทธิภาพขั้นต่ำ (ร้อยละ)
(ก) หม้อไอน้ำที่ใช้ น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง (oil fired steam boiler)	85
(ข) หม้อต้มน้ำร้อนที่ใช้ น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง (oil fired hot water boiler)	80
(ค) หม้อไอน้ำที่ใช้ แก๊สเป็นเชื้อเพลิง (gas fired steam boiler)	80
(ง) หม้อต้มน้ำร้อนที่ใช้ แก๊สเป็นเชื้อเพลิง (gas fired hot water boiler)	80

#### 10.4 แนวทางการสำรวจและการเก็บข้อมูลวิเคราะห์ประสิทธิภาพ

เครื่องมือหรือมาตรวัดที่ต้องใช้ในการตรวจวัดเพื่อวิเคราะห์หาประสิทธิภาพหม้อไอน้ำดังนี้

- มาตรวัดหรือเครื่องมือวัดอัตราการไหลของไอน้ำที่จ่าย (ถ้ามี)
- มาตรวัดหรือเครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ
- มาตรวัดความดันของไอน้ำที่ออกจากหม้อไอน้ำ
- เครื่องมือหรือมาตรวัดอุณหภูมิของน้ำเติมหม้อไอน้ำ
- ตารางแสดงค่าพลังงานของไอน้ำ (Steam table)
- ตารางแสดงค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงที่ใช้เผาไหม้
- มาตรวัดหรือเครื่องมือวัดอัตราการไหลของเชื้อเพลิง

การตรวจวัดและการวิเคราะห์ควรเป็นช่วงที่หม้อไอน้ำทำงานต่อเนื่องและไม่มีการ Blow down ในช่วงดังกล่าว โดยมีขั้นตอนในการสำรวจและตรวจวัดดังนี้

1. ตรวจวัดค่าอัตราการไหลของน้ำป้อนในหน่วยของกิโลกรัมต่อชั่วโมง (kg/hr) และอุณหภูมิน้ำเติมหม้อไอน้ำในหน่วยขององศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ )
2. ตรวจวัดค่าอัตราการไหลของไอน้ำที่ออกจากหม้อไอน้ำ (ถ้ามี) ในหน่วยของ กิโลกรัมต่อชั่วโมง (kg/hr) กรณีไม่มีมาตรวัดหรือเครื่องมือวัดอัตราการไหลของไอน้ำสามารถใช้ค่าอัตราการไหลของน้ำป้อนทดแทนได้
3. ตรวจวัดค่า ความดันใช้งานของไอน้ำในหน่วยบาร์เกจ (barg) จากนั้นเปิดตารางไอน้ำเพื่อหาอุณหภูมิของไอน้ำในหน่วยขององศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ )
4. ตรวจวัดค่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิงใน หน่วยของ กิโลกรัมต่อชั่วโมง (kg/s) หรือหน่วยอื่นที่สัมพันธ์กับค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง
5. หาค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงจากผู้ผลิตหรือค่ามาตรฐานที่ พพ. กำหนด
6. นำค่าอุณหภูมิไอน้ำหาค่าเอนทาลปี (Enthalpy) จากตารางไอน้ำ
7. หาค่าเอนทาลปี (Enthalpy) ของน้ำป้อนโดย เอนทาลปีของน้ำป้อนเท่ากับ 1 kJ/kg ต่อ  $1^{\circ}\text{C}$
8. นำค่าที่ได้จากการตรวจวัด มาคำนวณหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ ดังสมการต่อไปนี้

$$\eta_B = \frac{m_s \times (h_s - h_w)}{m_f \times LHV} \times 100$$

ตัวอย่างตารางตรวจวัดหม้อไอน้ำ

ตารางการตรวจวัด Boiler					
หมายเลขเครื่อง _____, วันที่ตรวจวัด _____, สถานที่ใช้งาน _____					
ผู้ผลิต _____, ประเภท/แบบ _____, โครงการ _____					
ปีที่ผลิต _____, พื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อน (m <sup>2</sup> ) _____, สภาพฉนวน _____					
เวลาทำงาน (h/y) _____, รูปร่างภายนอก (m) กว้าง _____, ยาว _____, สูง _____ เส้นผ่าศูนย์กลาง _____					
	สภาวะการใช้งาน	หน่วย	สัญลักษณ์	ข้อมูล	แหล่งที่มา
กำลังการผลิตติดตั้ง	ไอน้ำที่ผลิต	kg/hr	S <sub>rated</sub>		Name Plate
	ความดันไอน้ำสูงสุด	barg	P <sub>rated</sub>		Designed Pressure / Name Plate
กำลังการผลิตจริง	ไอน้ำที่ผลิต	kg/hr	m <sub>s</sub>		จากการตรวจวัด
	ความดันไอน้ำใช้งาน	barg	P <sub>s</sub>		Pressure Gauge
	อุณหภูมิของไอน้ำ	°C	T <sub>s</sub>		จากตารางไอน้ำ
	Enthalpy ของไอน้ำ	kJ/kg	h <sub>s</sub>		จากตารางไอน้ำ
เชื้อเพลิง	ชนิด	-	-		เชื้อเพลิงที่ใช้
	ปริมาณการใช้	kg/hr	m <sub>f</sub>		จากการตรวจวัด
	ค่าความร้อนต่ำ	kJ/kg	LHV		จากข้อมูลผู้ขายหรือค่ามาตรฐาน
	อุณหภูมิ เชื้อเพลิงป้อนเข้าเผาไหม้	°C	T <sub>f</sub>		จากการตรวจวัด
น้ำป้อน	อัตราการไหล	kg/hr	m <sub>w</sub>		ข้อมูลเครื่อง
	อุณหภูมิ	°C	T <sub>w</sub>		จากการตรวจวัด ก่อนเข้า Boiler
	Enthalpy ของน้ำป้อน	kJ/kg	h <sub>w</sub>		จากตารางไอน้ำ
อากาศป้อน	อุณหภูมิ	°C	T <sub>a</sub>		จากการตรวจวัด
	ความชื้นสัมพัทธ์	%RH	RH		จากการตรวจวัด
Flue Gas	อุณหภูมิ T <sub>g</sub>	°C	T <sub>g</sub>		จากการตรวจวัด
	ปริมาณ O <sub>2</sub>	%	O <sub>2</sub>		จากการตรวจวัด
	ปริมาณ CO <sub>2</sub>	%	CO <sub>2</sub>		จากการตรวจวัด
	ปริมาณ CO	ppm	CO		จากการตรวจวัด
	อัตราส่วนอากาศ	-	M		M = 21 / 21-O <sub>2</sub>
ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ		%	η <sub>B</sub>		$\eta_B = \frac{m_s \times (h_s - h_w)}{m_f \times LHV} \times 100$
หมายเหตุ					

ตารางคุณสมบัติของไอน้ำอิ่มตัว (Saturated Steam Table)

Pressure (barG)	Sat. Tem.(°C)	Specific Volume (m <sup>3</sup> /kg)		S. Weight (kg/m <sup>3</sup> )	Specific Enthalpy (kJ/kg)		
		V'	V''		h' <sub>f</sub>	h'' <sub>g</sub>	r = h'' - h'
P	T	V'	V''	1/V''	h' <sub>f</sub>	h'' <sub>g</sub>	r = h'' - h'
0.0	100.00	0.00104371	1.67300	0.59773	419.07	2,675.99	2,256.94
0.1	102.52	0.00104573	1.54541	0.65153	429.69	2,679.89	2,250.20
0.2	105.03	0.00104774	1.41782	0.70533	440.30	2,683.78	2,243.45
0.3	107.23	0.00104956	1.32495	0.75857	449.60	2,687.11	2,237.49
0.4	109.43	0.00105138	1.23208	0.81180	458.89	2,690.44	2,231.52
0.5	111.39	0.00105306	1.16120	0.86459	467.19	2,693.37	2,226.16
0.6	113.35	0.00105473	1.09031	0.91737	475.49	2,696.30	2,220.80
0.7	115.12	0.00105629	1.034391	0.96974	483.01	2,698.87	2,215.86
0.8	116.89	0.00105784	0.978472	1.0221	490.53	2,701.45	2,210.92
0.9	118.51	0.00105930	0.933281	1.0741	497.40	2,703.79	2,206.38
1.0	120.13	0.00106075	0.888089	1.1261	504.28	2,706.14	2,201.84
1.1	121.63	0.00106213	0.850699	1.1778	510.63	2,708.27	2,197.63
1.2	123.12	0.00106350	0.813309	1.2295	516.99	2,710.41	2,193.42
1.3	124.51	0.00106480	0.781921	1.2810	522.91	2,712.36	2,189.45
1.4	125.90	0.00106610	0.750532	1.3325	528.83	2,714.30	2,185.47
1.5	127.20	0.00106734	0.723773	1.3837	534.37	2,716.08	2,181.72
1.6	128.50	0.00106857	0.697014	1.4349	539.90	2,717.86	2,177.97
1.7	129.72	0.00106975	0.673884	1.4858	545.12	2,719.52	2,174.39
1.8	130.94	0.00107093	0.650754	1.5367	550.33	2,721.17	2,170.81
1.9	132.10	0.00107207	0.630630	1.5875	555.26	2,722.72	2,167.44
2.0	133.25	0.00107321	0.610505	1.6382	560.18	2,724.27	2,164.07
2.1	134.34	0.00107430	0.592762	1.6888	564.86	2,725.71	2,160.85
2.2	135.43	0.00107539	0.575018	1.7393	569.53	2,727.16	2,157.63
2.3	136.48	0.00107645	0.559264	1.7897	573.99	2,728.52	2,154.53
2.4	137.52	0.00107750	0.543509	1.8401	578.44	2,729.88	2,151.43
2.5	138.51	0.00107852	0.529436	1.8904	582.70	2,731.15	2,148.46
2.6	139.50	0.00107954	0.515363	1.9406	586.95	2,732.43	2,145.48
2.7	140.45	0.00108053	0.506674	1.9907	591.02	2,733.62	2,142.59
2.8	141.40	0.00108151	0.497985	2.0408	595.10	2,734.82	2,139.71
2.9	142.31	0.00108247	0.482583	2.0908	599.01	2,735.97	2,136.94
3.0	143.22	0.00108343	0.467181	2.1407	602.92	2,737.12	2,134.18
3.1	144.10	0.00108438	0.456773	2.1906	606.69	2,738.21	2,131.52
3.2	144.97	0.00108533	0.446364	2.2404	610.45	2,739.30	2,128.86
3.3	145.81	0.00108622	0.436903	2.2736	614.07	2,740.32	2,126.27
3.4	146.65	0.00108711	0.427441	2.3068	617.70	2,741.35	2,123.67
3.5	147.46	0.00108800	0.418748	2.3729	621.19	2,742.33	2,121.14
3.6	148.27	0.00108888	0.410054	2.4389	624.69	2,743.32	2,118.60
3.7	149.01	0.00108969	0.402531	2.4853	627.87	2,744.20	2,116.32
3.8	149.74	0.00109050	0.395008	2.5317	631.04	2,745.08	2,114.04
3.9	150.55	0.00109140	0.388262	2.5842	634.52	2,746.02	2,111.49
4.0	151.36	0.00109229	0.381516	2.6367	638.01	2,746.96	2,108.93
4.1	152.10	0.00109277	0.376446	2.6655	639.86	2,747.46	2,107.59
4.2	152.83	0.00109325	0.371376	2.6942	641.70	2,747.96	2,106.25
4.3	153.54	0.00109440	0.362150	2.7640	646.12	2,749.14	2,103.01
4.4	154.25	0.00109555	0.352924	2.8337	650.53	2,750.31	2,099.76
4.5	154.95	0.00109635	0.347000	2.8829	653.53	2,751.10	2,097.57
4.6	155.64	0.00109714	0.341075	2.9321	656.53	2,751.90	2,095.37
4.7	156.21	0.00109792	0.335545	2.9812	659.45	2,752.65	2,093.21
4.8	156.78	0.00109869	0.330014	3.0302	662.36	2,753.41	2,091.06
4.9	157.54	0.00109946	0.324859	3.0792	665.20	2,754.14	2,088.94
5.0	158.29	0.00110022	0.319704	3.1281	668.04	2,754.87	2,086.83
5.1	158.93	0.00110096	0.314850	3.1771	670.81	2,755.56	2,084.75
5.2	159.57	0.00110170	0.309995	3.2260	673.58	2,756.25	2,082.68
5.3	160.19	0.00110245	0.305433	3.2749	676.29	2,756.92	2,080.65
5.4	160.81	0.00110319	0.300870	3.3238	678.99	2,757.59	2,078.62
5.5	161.42	0.00110391	0.296581	3.3726	681.63	2,758.24	2,076.63
5.6	162.02	0.00110463	0.292292	3.4213	684.26	2,758.89	2,074.64
5.7	162.53	0.00110524	0.288828	3.4628	686.46	2,759.42	2,072.97
5.8	163.03	0.00110584	0.285364	3.5043	688.66	2,759.94	2,071.29
5.9	163.61	0.00110655	0.281491	3.5532	691.20	2,760.57	2,069.37

Pressure (barG)	Sat. Tem.(°C)	Specific Volume (m <sup>3</sup> /kg)		S. Weight (kg/m <sup>3</sup> )	Specific Enthalpy (kJ/kg)		
		V'	V''		h' <sub>f</sub>	h'' <sub>g</sub>	r = h'' - h'
6.0	164.19	0.00110726	0.277617	3.6021	693.74	2,761.19	2,067.44
6.1	164.76	0.00110795	0.273457	3.6506	696.20	2,761.76	2,065.56
6.2	165.32	0.00110863	0.269296	3.6990	698.66	2,762.33	2,063.67
6.3	165.88	0.00110931	0.265860	3.7477	701.09	2,762.91	2,061.83
6.4	166.43	0.00110999	0.262423	3.7963	703.51	2,763.50	2,059.99
6.5	166.98	0.00111067	0.259635	3.8449	705.89	2,764.04	2,058.15
6.6	167.52	0.00111134	0.256847	3.8934	708.26	2,764.59	2,056.30
6.7	168.16	0.00111212	0.253114	3.9517	711.05	2,765.23	2,054.17
6.8	168.79	0.00111289	0.249380	4.0100	713.84	2,765.88	2,052.03
6.9	169.29	0.00111353	0.246588	4.0560	715.99	2,766.37	2,050.36
7.0	169.78	0.00111417	0.243796	4.1019	718.15	2,766.85	2,048.68
7.1	170.29	0.00111482	0.240983	4.1504	720.38	2,767.35	2,046.97
7.2	170.80	0.00111546	0.238170	4.1988	722.61	2,767.85	2,045.25
7.3	171.30	0.00111610	0.235486	4.2400	724.80	2,768.33	2,043.54
7.4	171.80	0.00111674	0.232802	4.2811	726.99	2,768.81	2,041.82
7.5	172.30	0.00111738	0.230212	4.3372	729.17	2,769.28	2,040.10
7.6	172.79	0.00111801	0.227622	4.3933	731.34	2,769.74	2,038.39
7.7	173.27	0.00111863	0.225198	4.4412	733.43	2,770.61	2,036.73
7.8	173.74	0.00111924	0.222773	4.4890	735.52	2,770.61	2,035.08
7.9	174.22	0.00111985	0.220427	4.5373	737.61	2,771.49	2,033.45
8.0	174.69	0.00112046	0.218080	4.5856	739.69	2,771.49	2,031.81
8.1	175.15	0.00112107	0.215834	4.6338	741.73	2,772.37	2,030.20
8.2	175.61	0.00112168	0.213588	4.6820	743.77	2,772.37	2,028.59
8.3	176.07	0.00112228	0.211433	4.7303	745.78	2,774.01	2,027.00
8.4	176.53	0.00112288	0.209278	4.7785	747.79	2,773.21	2,025.41
8.5	176.98	0.00112348	0.207207	4.8268	749.77	2,771.66	2,023.84
8.6	177.43	0.00112408	0.205135	4.8750	751.76	2,774.01	2,022.27
8.7	177.87	0.00112466	0.203147	4.9232	753.71	2,774.40	2,020.70
8.8	178.31	0.00112524	0.201158	4.9714	755.65	2,774.80	2,019.13
8.9	178.75	0.00112583	0.199246	5.0196	757.57	2,775.18	2,018.10
9.0	179.18	0.00112641	0.197334	5.0678	759.49	2,775.56	2,017.07
9.1	179.61	0.00112699	0.195537	5.1160	761.39	2,775.93	2,015.04
9.2	180.04	0.00112757	0.193740	5.1642	763.28	2,776.31	2,013.01
9.3	180.46	0.00112814	0.191922	5.2123	765.14	2,776.66	2,011.51
9.4	180.88	0.00112871	0.190104	5.2603	767.01	2,777.02	2,010.00
9.5	181.30	0.00112928	0.188948	5.3085	768.84	2,777.38	2,008.53
9.6	181.71	0.00112985	0.187791	5.3567	770.68	2,777.73	2,007.07
9.7	182.12	0.00113041	0.185592	5.4048	772.49	2,778.07	2,005.58
9.8	182.53	0.00113097	0.183393	5.4529	774.31	2,778.40	2,004.10
9.9	182.93	0.00113152	0.181806	5.5010	776.09	2,778.74	2,002.65
10.0	183.33	0.00113207	0.180218	5.5491	777.88	2,779.07	2,001.21
10.1	183.73	0.00113262	0.178684	5.5972	779.64	2,779.39	1,999.74
10.2	184.13	0.00113317	0.177150	5.6452	781.40	2,779.70	1,998.28
10.3	184.53	0.00113372	0.175664	5.6933	783.15	2,780.01	1,996.85
10.4	184.92	0.00113427	0.174177	5.7413	784.89	2,780.33	1,995.43
10.5	185.31	0.00113482	0.172888	5.7894	786.61	2,780.64	1,994.03
10.6	185.69	0.00113536	0.171598	5.8375	788.32	2,780.96	1,992.62
10.7	186.07	0.00113590	0.170068	5.8856	790.02	2,781.25	1,991.22
10.8	186.45	0.00113643	0.168537	5.9336	791.72	2,781.54	1,989.82
10.9	186.83	0.00113696	0.167195	5.9817	793.39	2,781.84	1,988.44
11.0	187.20	0.00113749	0.165853	6.0297	795.06	2,782.13	1,987.06
11.1	187.58	0.00113803	0.164500	6.0778	796.72	2,782.42	1,985.69
11.2	187.95	0.00113856	0.163146	6.1258	798.37	2,782.71	1,984.33
11.3	188.32	0.00113908	0.161939	6.1751	800.00	2,782.99	1,982.97
11.4	188.68	0.00113960	0.160731	6.2244	801.63	2,783.26	1,981.61
11.5	189.05	0.00114013	0.159511	6.2711	803.25	2,783.53	1,980.27
11.6	189.41	0.00114065	0.158290	6.3177	804.87	2,783.80	1,978.93
11.7	189.77	0.00114117	0.157105	6.3499	806.46	2,784.08	1,977.61
11.8	190.12	0.00114168	0.155919	6.3821	808.06	2,784.35	1,976.30
11.9	190.56	0.00114220	0.154769	6.4459	809.64	2,784.60	1,974.96
12.0	191.00	0.00114271	0.153618	6.5097	811.21	2,784.85	1,973.62

Pressure (barG)	Sat. Tem.(°C)	Specific Volume (m <sup>3</sup> /kg)		S. Weight (kg/m <sup>2</sup> )	Specific Enthalpy (kJ/kg)		
		V'	V''		h' <sub>f</sub>	h'' <sub>g</sub>	r = h'' - h'
12.1	191.26	0.00114322	0.152503	6.5577	812.77	2,785.10	1,972.32
12.2	191.52	0.00114373	0.151387	6.6057	814.33	2,785.35	1,971.02
12.3	191.87	0.00114424	0.150303	6.6537	815.88	2,785.60	1,969.72
12.4	192.21	0.00114474	0.149219	6.7017	817.42	2,785.85	1,968.42
12.5	192.56	0.00114525	0.148163	6.7498	818.95	2,786.11	1,967.15
12.6	192.90	0.00114575	0.147107	6.7978	820.48	2,786.36	1,965.87
12.7	193.24	0.00114625	0.146085	6.8458	821.99	2,786.59	1,963.78
12.8	193.57	0.00114674	0.145063	6.8937	823.49	2,786.82	1,961.68
12.9	193.91	0.00114724	0.144068	6.9417	824.99	2,787.05	1,961.24
13.0	194.24	0.00114773	0.143073	6.9896	826.48	2,787.28	1,960.80
13.1	194.57	0.00114822	0.277101	7.0403	827.96	2,787.49	1,959.53
13.2	194.90	0.00114871	0.411129	7.0909	829.44	2,787.70	1,958.25
13.3	195.23	0.00114921	0.275189	7.1312	830.90	2,787.93	1,957.01
13.4	195.56	0.00114970	0.139248	7.1715	832.37	2,788.16	1,955.78
13.5	195.88	0.00115019	0.138331	7.2245	833.81	2,788.37	1,954.54
13.6	196.20	0.00115067	0.137413	7.2775	835.26	2,788.58	1,953.31
13.7	196.52	0.00115116	0.136517	7.3256	836.70	2,788.79	1,951.22
13.8	196.84	0.00115164	0.135621	7.3736	838.13	2,788.99	1,949.12
13.9	197.16	0.00115212	0.134752	7.4144	839.55	2,789.18	1,948.77
14.0	197.47	0.00115260	0.133882	7.4551	840.97	2,789.37	1,948.41
14.1	198.20	0.00115308	0.133034	7.5102	842.38	2,789.56	1,947.20
14.2	198.93	0.00115355	0.132185	7.5653	843.78	2,789.75	1,945.98
14.3	198.82	0.00115403	0.131355	7.6134	845.17	2,789.96	1,944.79
14.4	198.71	0.00115450	0.130525	7.6614	846.57	2,790.17	1,943.60
14.5	199.02	0.00115498	0.129980	7.7094	847.95	2,790.33	1,942.38
14.6	199.33	0.00115545	0.129434	7.7573	849.33	2,790.50	1,941.17
14.7	199.63	0.00115592	0.128642	7.8054	850.70	2,790.69	1,940.00
14.8	199.93	0.00115639	0.127850	7.8535	852.07	2,790.88	1,938.82
14.9	200.23	0.00115686	0.126824	7.9014	853.42	2,791.07	1,937.65
15.0	200.53	0.00115732	0.125798	7.9493	854.77	2,791.26	1,936.48

### 10.5 ตัวอย่างการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

**ตัวอย่างที่ 1:** โรงแรมแห่งหนึ่งติดตั้งใช้งานหม้อไอน้ำชนิดท่อไฟขนาด 2,500 kg/hr ใช้น้ำมันเตาเกรด เอ เป็นเชื้อเพลิง ผลิตไอน้ำที่ความดัน 7 barG จากการสำรวจและตรวจวัดมีข้อมูลดังนี้

ปริมาณการใช้น้ำมันเตา 59.3 l/hr

ปริมาณน้ำป้อน 686 kg/hr

อุณหภูมิน้ำป้อน 87 °C

ไม่มีการ Blow Down ขณะตรวจวัด

จงคำนวณหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ



วิธีคำนวณ

จากสมการ

$$\eta_B = \frac{m_s \times (h_s - h_w)}{m_f \times LHV} \times 100$$

ค่า LHV ของน้ำมันเตา = 39.77 MJ/l (จากตารางค่าความร้อนของ พพ.)

Enthalpy ของไอน้ำที่ 7 barG = 2,766.85 kJ/kg (จาก Steam Table ช่อง  $h''_g$ )

Enthalpy ของน้ำป้อนที่ 87 °C = 87.0 kJ/kg

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \eta_B &= \frac{686 \text{ kg/hr} \times (2,766.85 - 87.0) \text{ kJ/kg}}{59.3 \text{ l/hr} \times 39,770 \text{ kJ/l}} \times 100 \\ &= \frac{1,838,377.10}{2,358,361.00} \times 100 \\ &= 77.95\% \end{aligned}$$

## 10.6 ตัวอย่างมาตรการที่ประสบความสำเร็จ

### ตัวอย่างที่ 1 : การนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้งาน

#### ความเป็นมาและลักษณะการใช้พลังงาน

ในกระบวนการซักผ้าขาวมีการใช้งานเครื่อง L-Box จำนวน 2 ชุด (No.1 และ No.2) ซึ่งมีส่วนประกอบต่างๆ ดังรูป และจากรูปสามารถอธิบายการใช้และการสูญเสียพลังงานได้ดังนี้

1) บ่อที่ 3-5 เป็นบ่อน้ำร้อน (อุณหภูมิที่ต้องการประมาณ 70°C - 80°C) ที่ได้จากการนำน้ำประปาที่อุณหภูมิ 30°C มาจ่ายเข้าในบ่อที่ 5 และปล่อยให้ น้ำ ล้น ผ่าน ไปยังบ่อที่ 4-3-2-1 ตามลำดับ โดยในบ่อที่ 3-5 จะมีการจ่ายไอน้ำที่ความดันไม่เกิน 4 บาร์เกจ (ควบคุมโดย Ball Valve แบบ Manual Control) ลงไปผสมกับน้ำในบ่อโดยตรง และเมื่อน้ำร้อนได้ผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อนกับผ้าขาวในกระบวนการผลิตแล้วบางส่วนก็จะถูกปล่อยทิ้งออกทางท้ายบ่อที่ 1 ด้วยระบบน้ำล้น ซึ่งเป็นจุดที่ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำและพลังงานความร้อน

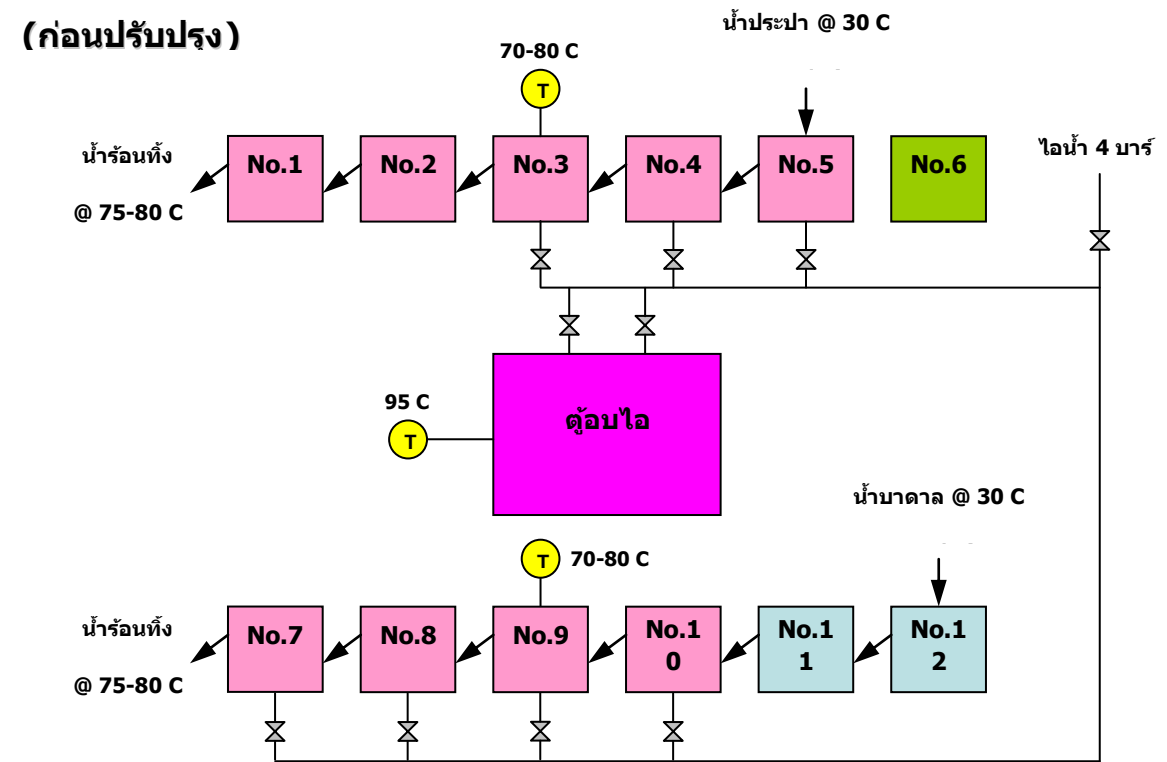
2) บ่อที่ 1-2 เป็นบ่อน้ำเย็น และบ่อที่ 6 เป็นบ่อเคมี เป็นส่วนที่ไม่มีการใช้พลังงานความร้อน

3) ตู้อบไอ เป็นส่วนที่ใช้ไอน้ำพ่นลงบนเนื้อผ้าโดยตรง ควบคุมอุณหภูมิภายในตู้ไว้ไม่เกิน 95°C โดยใช้ Ball Valve ที่เปิด-ปิดการจ่ายไอน้ำตามอุณหภูมิที่แสดงไว้ที่หน้าตู้แบบ Manual Control

4) บ่อที่ 7-10 เป็นบ่อน้ำร้อน (อุณหภูมิที่ต้องการประมาณ  $70^{\circ}\text{C} - 80^{\circ}\text{C}$ ) ที่ได้จากการนำน้ำบาดาลที่อุณหภูมิ  $30^{\circ}\text{C}$  มาจ่ายเข้าในบ่อที่ 12 และปล่อยให้ น้ำล้นผ่านไปยังบ่อที่ 11-10-9-8-7 ตามลำดับ โดยในบ่อที่ 7-10 จะมีการจ่ายไอน้ำที่ความดันไม่เกิน 4 บาร์เกจ (ควบคุมโดย Ball Valve แบบ Manual Control เช่นกัน) ลงไปผสมกับน้ำในบ่อโดยตรง เหมือนบ่อที่ 1-5 และเมื่อน้ำร้อนได้ผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อนกับผ้าขาวในกระบวนการผลิตแล้วบางส่วนก็จะถูกปล่อยทิ้งออกทางท้ายบ่อที่ 7 ด้วยระบบน้ำล้น ซึ่งเป็นจุดที่ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำและพลังงานความร้อนเช่นกัน

## L-BOX No.1

(ก่อนปรับปรุง)



รูปที่ 10.3



รูปที่ 10.4 เครื่อง L-Box (กระบวนการซักผ้าขาว)

### ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

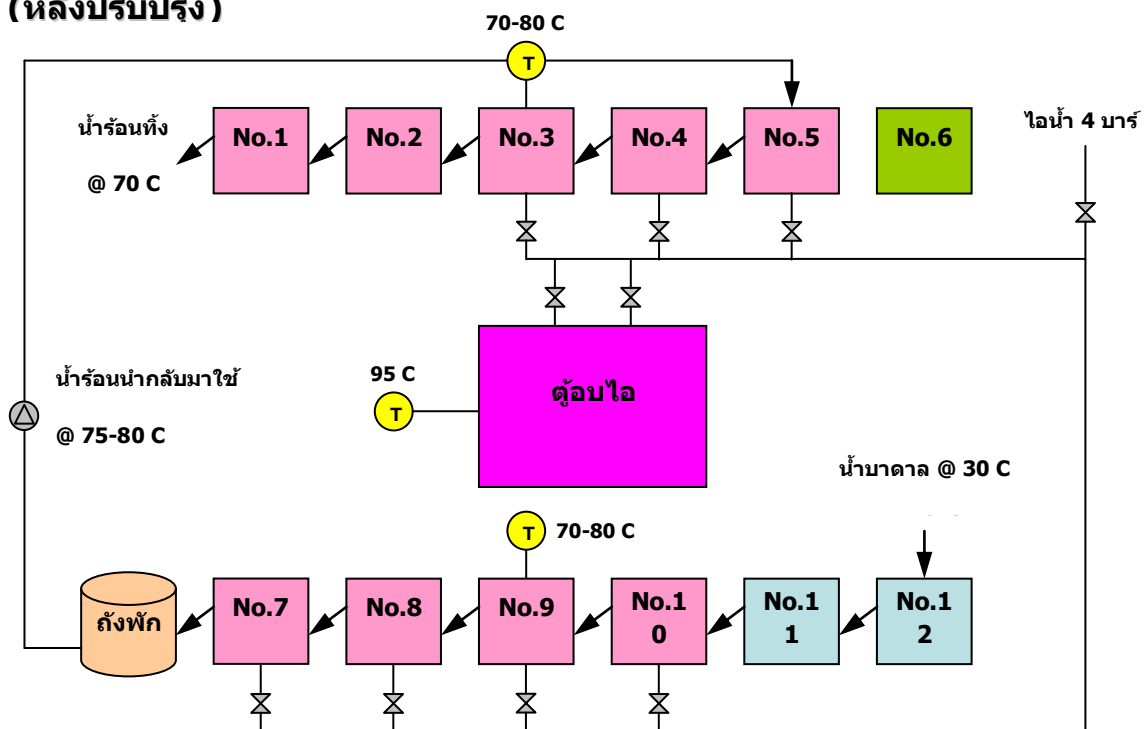
จากข้อ 1) – 4) ในข้างต้นจะเห็นได้ว่าการสูญเสียพลังงานความร้อนและค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงในส่วนของน้ำร้อนที่ล้นทิ้งตลอดเวลา (บ่อที่ 1 และ 7) เนื่องจากมีปริมาณที่มากในแต่ละวันและต้องใช้ความร้อนจากไอน้ำโดยตรงในการรักษาอุณหภูมิขณะใช้งาน ประกอบกับเรื่องของค่าใช้จ่ายทางด้านเคมีที่ใช้ควบคุมคุณภาพของน้ำด้วย

### แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

ทางฝ่ายผลิตได้ประสานงานกับทางฝ่ายวิศวกรรมในการปรับปรุงอุปกรณ์ดังกล่าวให้สามารถนำน้ำทิ้งและพลังงานความร้อนที่สูญเสียกลับมาใช้ประโยชน์ให้ได้มากที่สุด (ดังรูป) โดยการนำน้ำร้อนทิ้งจากบ่อที่ 7 มาเก็บในถังพักและสูบกลับไปเติมลงในบ่อที่ 5 ที่อุณหภูมิประมาณ 77°C - 79°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เพียงพอต่อกระบวนการผลิตในบ่อที่ 1-5 ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นที่ต้องจ่ายไอน้ำเข้าไปในบ่อที่ 1-5 รวมทั้งสามารถยกเลิกการเติมน้ำประปาในบ่อที่ 5 ได้ด้วยเนื่องจากน้ำที่ได้จากบ่อที่ 7 มีปริมาณมากพอสำหรับใช้แทนน้ำประปาในบ่อที่ 5

## L-BOX No.1

(หลังปรับปรุง)



รูปที่ 10.5

### สภาพหลังปรับปรุง

ทางโรงงานสามารถลดการใช้น้ำประปา (ส่วนที่เติมลงในบ่อที่ 5), การใช้อินน้ำ (บ่อที่ 1-5) และสารเคมี สำหรับบำบัดน้ำลงได้ โดยไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพการผลิตแต่อย่างใด



รูปที่ 10.6 ถังพักน้ำร้อนและเครื่องสูบน้ำกลับจากบ่อที่ 7 ไปยังบ่อที่ 5

### แนวทางการขยายผล

เนื่องจากมาตรการดังกล่าวนี้ให้ผลเป็นที่น่าพอใจและผู้บริหารเห็นชอบด้วย ดังนั้นทางโรงงานจึงมีแผน จะขยายแนวทางการปรับปรุงไปยังเครื่อง No.2 ต่อไป

### วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

#### - ส่วนของน้ำประปา

ปริมาณน้ำประปาที่ใช้ลดลง	=	13 ลิตร/นาที × 60 นาที/ชั่วโมง × 7,200 ชั่วโมง/ปี
	=	5,616 ลบ.ม./ปี
อัตราค่าน้ำประปา	=	16.92 บาท/ลบ.ม.
คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้	=	5,616 ลบ.ม./ปี × 16.92 บาท/ลบ.ม.
	=	95,003 บาท/ปี

**- ส่วนของสารเคมีในการบำบัดน้ำ**

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณสารเคมีที่ใส่ลดลง} &= 300 \text{ kg/เดือน} \times 12 \text{ เดือน/ปี} \\
 &= 3,600 \text{ kg/ปี} \\
 \text{อัตราค่าสารเคมี} &= 26 \text{ บาท/kg} \\
 \text{คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้} &= 3,600 \text{ kg/ปี} \times 26 \text{ บาท/kg} \\
 &= 93,600 \text{ บาท/ปี}
 \end{aligned}$$

**- ส่วนของน้ำร้อนทิ้ง**

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณน้ำร้อนทิ้งที่ลดลง} &= \text{ปริมาณน้ำประปาที่ใส่ลดลงในบ่อที่ 5} \\
 &= 5,616,000 \text{ ลิตร/ปี} \\
 \text{อุณหภูมิน้ำร้อนทิ้งเฉลี่ย} &= 75 \text{ }^{\circ}\text{C} \\
 \text{อุณหภูมิน้ำประปาที่ป้อนเข้า} &= 30 \text{ }^{\circ}\text{C} \\
 \text{พลังงานความร้อนสูญเสียที่ลดลง} &= 5,616,000 \text{ ลิตร/ปี} \times 1 \text{ kg/ลิตร} \times 0.004187 \text{ MJ/kg-}^{\circ}\text{C} \\
 &\quad \times (75 - 30)^{\circ}\text{C} \\
 &= 1,058,139 \text{ MJ/ปี} \\
 \text{คิดเป็นปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้} &= 1,058,139 \text{ MJ/ปี} / 17,930 \text{ MJ/ตัน} \\
 &= 59.01 \text{ ตัน/ปี} \\
 \text{หรือคิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ประหยัดได้} &= 59.01 \text{ ตัน/ปี} \times 2,500 \text{ บาท/ตัน} \\
 &= 147,525 \text{ บาท/ปี} \\
 \text{รวมทั้งสิ้นคิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้} &= 336,128 \text{ บาท/ปี}
 \end{aligned}$$

## ตัวอย่างที่ 2 : มาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ

### ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

ทางโรงงานมีการใช้งานหม้อไอน้ำ 1 ชุด แบบท่อไฟ ขนาดความดันไอน้ำใช้งาน 8-9 บาร์

### ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากการตรวจวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ พบว่าหม้อไอน้ำมีการสูญเสียความร้อนในไอเสีย เนื่องจากมีอากาศส่วนเกินในไอเสียในปริมาณที่สูงกว่าปกติ (%O<sub>2</sub> ที่วัดได้เท่ากับ 8.9 และ 6.8% ที่ Low Fire และ Medium Fire ตามลำดับ) และอุณหภูมิไอเสียที่มีค่าสูงกว่าปกติซึ่งเกิดจากความสกปรกจากเขม่าที่สะสมภายในผิวท่อไฟ ดังแสดงในข้อมูลการตรวจวัดดังนี้

### Before (@ 31/8/49)

#### Status

Flue Gas Temp. (°C)

%O<sub>2</sub>

%CO<sub>2</sub>

ppm of CO

Air Ratio

Gross Efficiency

Combustion Loss

Surface Loss

Blowdown Loss

Other Loss

Boiler Efficiency

#### Medium Fire (Stage 2)

253.1

11.7

6.8

64

2.26

76.9%

23.1%

2.0%

4.0%

2.0%

68.9%

#### Low Fire (Stage 1)

219.0

9.2

8.9

54

1.78

81.0%

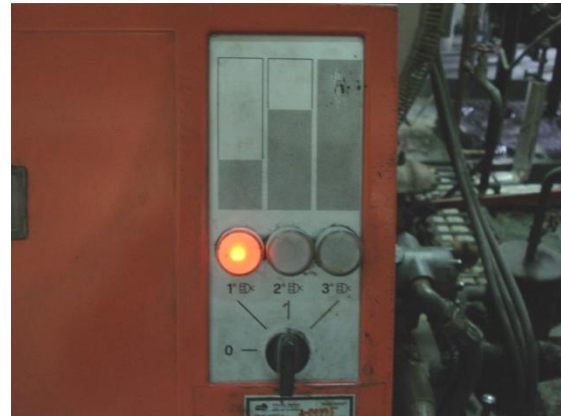
19.0%

2.0%

4.0%

2.0%

73.0%



รูปที่ 10.7 หม้อไอน้ำและสถานะการทำงาน (Low Fire)

### แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

1. ปรับตั้งปริมาณอากาศส่วนเกินใหม่และล้างทำความสะอาดผิวท่อไฟ โดยบริษัทผู้ให้บริการหม้อไอน้ำ
2. ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ, %O<sub>2</sub> ในไอเสียและประสิทธิภาพการเผาไหม้หลังปรับตั้งค่าใหม่แล้ว
3. คำนวณผลการประหยัดพลังงานที่ได้รับ
4. ดำเนินการตรวจสอบเป็นประจำทุกครั้งที่มีการเข้าให้บริการจากบริษัทฯ และปรับตั้งค่าให้อยู่ในระดับที่คงที่ตลอดเวลา เพื่อให้การประหยัดพลังงานเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ

### สภาพหลังปรับปรุง

ภายหลังการดำเนินการ จะได้ว่า

- ในช่วง Low Fire หม้อไอน้ำสามารถลด %O<sub>2</sub> ลงได้เท่ากับ 3.9% และอุณหภูมิไอเสียลดลงจาก 219.0°C เหลือ 209.4°C โดยที่ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำเพิ่มขึ้นจาก 73% เป็น 79.1%
- ในช่วง Medium Fire หม้อไอน้ำสามารถลด %O<sub>2</sub> ลงได้เท่ากับ 6.0% และอุณหภูมิไอเสียลดลงจาก 253.1°C เหลือ 244.7°C โดยที่ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำเพิ่มขึ้นจาก 68.9% เป็น 76.5% ดังแสดงในข้อมูลการตรวจวัดดังนี้

**After**  
**(@ 21/9/49)**

Status	Medium Fire (Stage 2)	Low Fire (Stage 1)
Flue Gas Temp. (°C)	244.7	209.4
%O <sub>2</sub>	6.0	3.9
%CO <sub>2</sub>	11.1	12.6
ppm of CO	15	15
Air Ratio	1.40	1.23
Gross Efficiency	84.5%	87.1%
Combustion Loss	15.5%	12.9%
Surface Loss	2.0%	2.0%
Blowdown Loss	4.0%	4.0%
Other Loss	2.0%	2.0%
Boiller Efficiency	76.5%	79.1%

## วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

## - Low Fire

$$\begin{aligned} \% \text{ การประหยัดเชื้อเพลิงเทียบเท่า} &= \frac{(\text{Eff.หลัง} - \text{Eff.ก่อน}) \times 100\%}{\text{Eff.หลัง}} \\ &= \frac{(79.1 - 73.0) \times 100\%}{79.1} \\ &= 7.71 \quad \% \\ \text{ปริมาณการใช้น้ำมันเตา C ของหม้อไอน้ำ} &= 599,304 \quad \text{ลิตร/ปี} \\ \% \text{Use Factor (Low Fire)} &= 83.3 \quad \% \\ \% \text{Safety Factor} &= 50 \quad \% \\ \text{คิดเป็นปริมาณน้ำมันเตา C ที่ประหยัดได้} &= 599,304 \times 7.71\% \times 83.3\% \times 50\% \\ &= 19,254 \quad \text{ลิตร/ปี} \end{aligned}$$

## - Medium Fire

$$\begin{aligned} \% \text{ การประหยัดเชื้อเพลิงเทียบเท่า} &= \frac{(\text{Eff.หลัง} - \text{Eff.ก่อน}) \times 100\%}{\text{Eff.หลัง}} \\ &= \frac{(76.5 - 68.9) \times 100\%}{76.5} \\ &= 9.93 \quad \% \\ \text{ปริมาณการใช้น้ำมันเตา C ของหม้อไอน้ำ} &= 599,304 \quad \text{ลิตร/ปี} \\ \text{(ประมาณ 15\% ของปริมาณที่ใช้ทั้งโรงงาน)} & \\ \% \text{Use Factor (Low Fire)} &= 16.7 \quad \% \\ \% \text{Safety Factor} &= 50 \quad \% \\ \text{คิดเป็นปริมาณน้ำมันเตา C ที่ประหยัดได้} &= 599,304 \times 9.93\% \times 16.7\% \times 50\% \\ &= 4,965 \quad \text{ลิตร/ปี} \\ \text{รวมน้ำมันเตา C ที่ประหยัดได้} &= 19,254 + 4,965 \quad \text{ลิตร/ปี} \\ &= 24,219 \quad \text{ลิตร/ปี} \\ \text{พลังงานความร้อนที่สามารถประหยัดได้} &= 24,219 \text{ ลิตร/ปี} \times 41.28 \text{ MJ/ลิตร} \\ &= 999,760 \quad \text{MJ/ปี} \\ \text{คิดเทียบเป็นน้ำมันดิบได้} &= 0.0237 \quad \text{ktoe/ปี} \end{aligned}$$



คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้	=	24,219 ลิตร/ปี × 13.00 บาท/ลิตร
	=	314,851 บาท/ปี
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ	=	7,000 บาท/ครั้ง × 4 ครั้ง/ปี
	=	28,000 บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	0.09 ปี