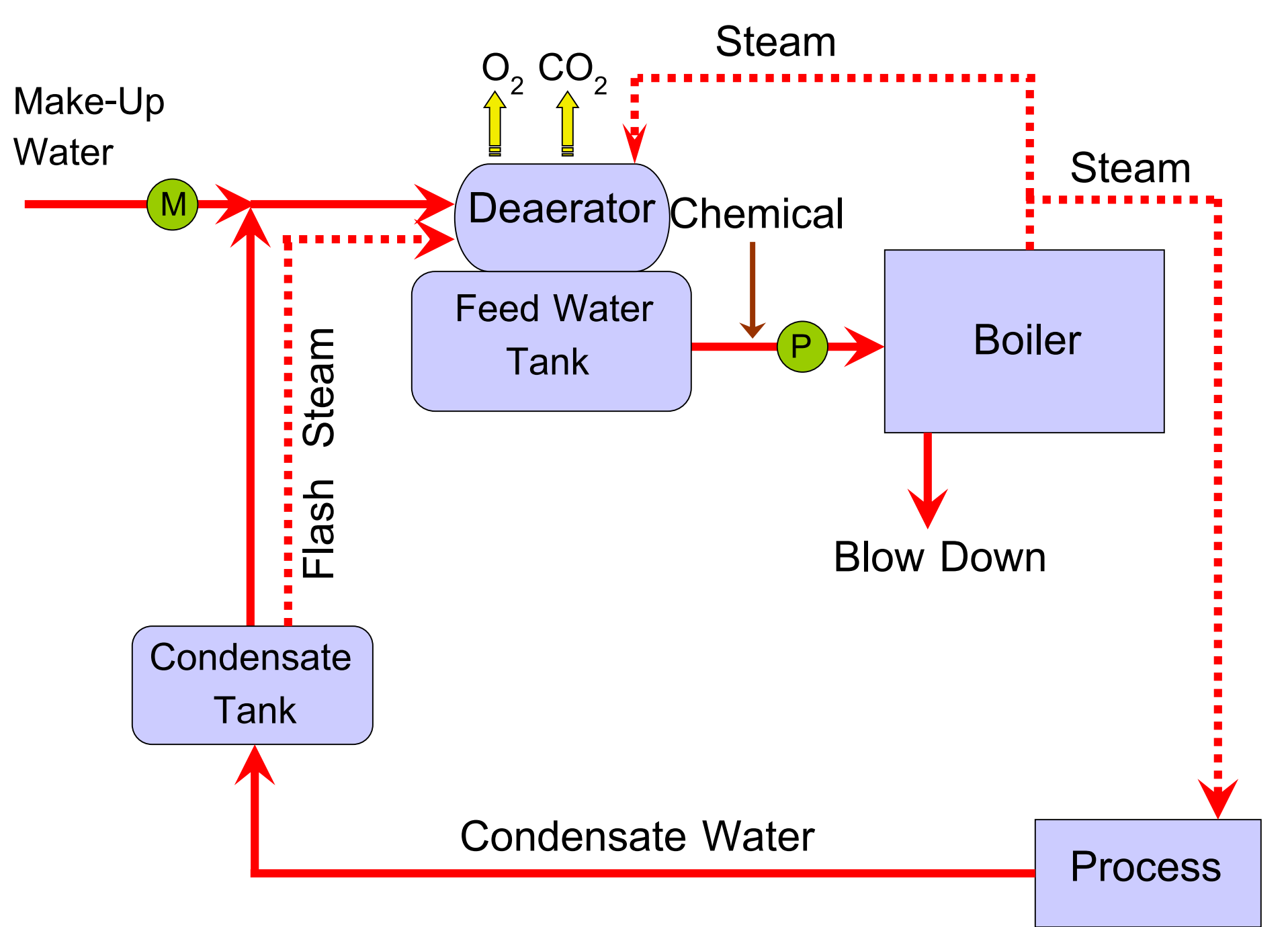
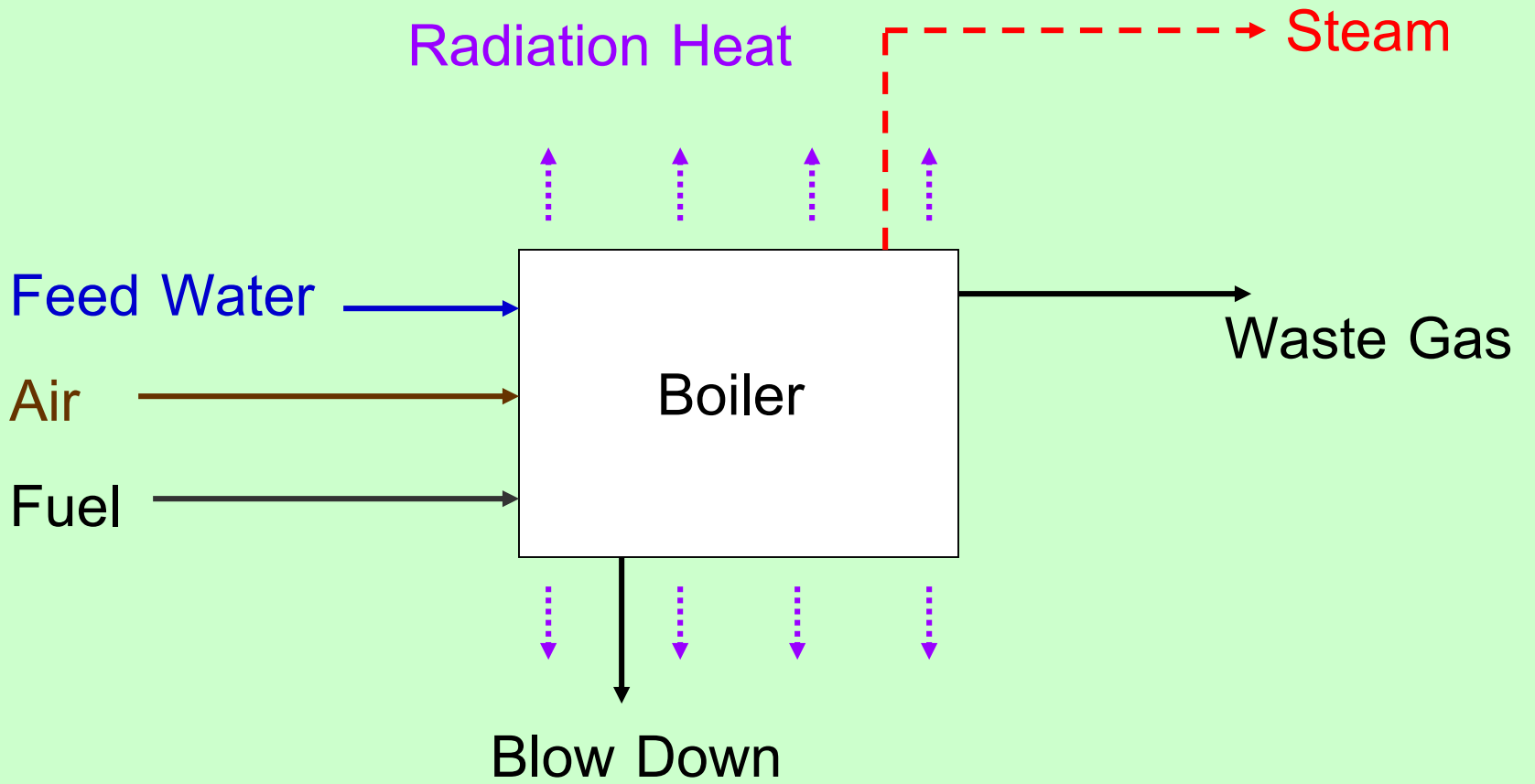


# การหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ (Calculation of Boiler Efficiency)

โดย ส่วนเทคโนโลยีน้ำอุตสาหกรรม

สำนักเทคโนโลยีน้ำและการจัดการมลพิษโรงงาน





Heat Input

=

Heat Output

① ความร้อนในน้ำ Feed Water

② ความร้อนของลมที่เข้าไปเผาไหม้

③ ความร้อนของเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้า

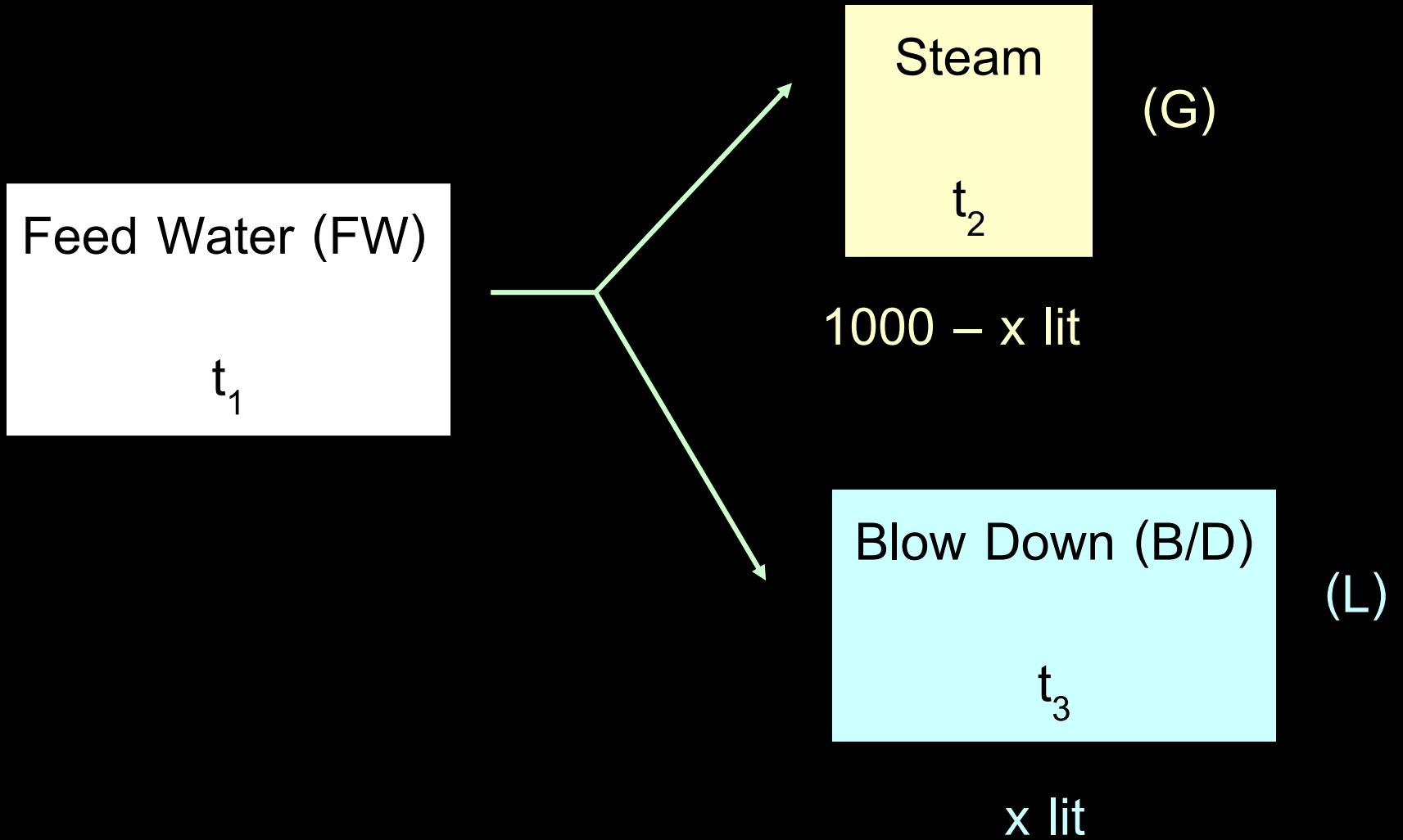
④ ความร้อนของเชื้อเพลิง

⑤ ความร้อนของ Steam ที่ผลิตได้

⑥ ความร้อนของน้ำ Blow Down ที่ปล่อยออก

⑦ ความร้อนของ Waste Gas หลังจากการเผาไหม้

⑧ ความร้อนจากการแผ่รังสีของหม้อไอน้ำ



ที่อุณหภูมิ เท่ากับ  $t_2$

Steam (Gas) มี Enthalpy =  $x$  kcal/kg

B/D (Liquid) มี Enthalpy =  $y$  kcal/kg

ส่วนที่ต่างกัน  $x - y$  คือค่า

Latent Heat ในการกลายเป็นไอที่อุณหภูมิ  $t_2$

จากรูปที่ 3 และ 4

$$\textcircled{1} + \textcircled{2} + \textcircled{3} + \textcircled{4} = \textcircled{5} + \textcircled{6} + \textcircled{7} + \textcircled{8}$$

ค่า  $\textcircled{2}$ ,  $\textcircled{3}$ ,  $\textcircled{7}$ ,  $\textcircled{8}$  ว่าง และมิต้าน้อยไม่สำคัญ (ยกเว้น  $\textcircled{7}$ )

เขียนใหม่เป็น

$$\frac{\textcircled{5} + \textcircled{6} - \textcircled{1}}{\text{Eff.}} = \textcircled{4}$$

**นั่นคือ**

**ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง เท่ากับ**

**ค่าความร้อนของ Steam + ค่าความร้อนของ B/D – ค่าความร้อนของ FW**

**Eff.**



## โดยการปฏิบัติ

ถ้าใช้ หัวเผา (Burner) ชนิดหัวฉีด (Nozzle)

กำหนด Eff. ที่ 80 % (สูงสุดทำได้ 83%)

ถ้าใช้ หัวเผา (Burner) ชนิด Atomizer Cap (Rotary)

กำหนด Eff. ที่ 85 % (สูงสุดทำได้ 88% ในห้องทดลอง  
ทำได้ 93%)

## จากรูปที่ 3

### ค่า Variable Factor

1. อุณหภูมิของ FW

2. Steam Pressure → Steam Temp., B/D temp.

3. Cycle of Concentration (N) → คุณภาพน้ำ Boiler และ FW

4. Specific. Heat ของเชื้อเพลิง

5. Data Correction ปริมาณ FW, ปริมาณเชื้อเพลิง, Boiler Stop

6. Boiler Eff.

## ค่าที่ใช้ในการคำนวณ

- ปริมาณ FW → ใช้ได้จาก Flow Meter  $m^3/D$ ,  $m^3/h$
- ปริมาณ B/D → หาได้จากสูตร

$$\begin{aligned} \text{C.O.C. (N)} &= \frac{\text{FW (m}^3\text{)}}{\text{B/D (m}^3\text{)}} &= \frac{\text{B/D (conc.)}}{\text{FW (conc.)}} \\ & & \\ & & \\ \text{B/D (m}^3\text{)} &= \frac{\text{FW (m}^3\text{)}}{\text{N}} \end{aligned}$$

- ความเข้มข้นของ B/D, FW → ใช้ค่า EC, TDS,  $\text{Cl}^-$ , M-Alk
- FW temp. → จดจาก Thermometer
- Steam temp. → อ่านจากค่าความดันของ Pressure Gauge แล้วไปเทียบ Steam Table จะได้เป็นอุณหภูมิ  $^{\circ}\text{C}$
- B/D temp. = Steam temp.
- ค่า Enthalpy ของ FW, B/D, Steam → เทียบจาก Steam Table

- Burner Type → Nozzle, Atomizer Cap (Rotary)

- Efficiency → กำหนด Bench Mark ที่

80% สำหรับหัวฉีด Nozzle

85% สำหรับหัวฉีด Rotary

- Specific Heat ของน้ำมันเตา

	Fuel Oil					Remark
	No.1	No.2	No.3*	No.4	No.5	
Specific gravity at 15.6/15.6 °C	0.985	0.990	0.995	0.995	0.996	Not more than
Gross Heat of Combustion kcal/kg	10,000	9,900	9,900	9,900	9,900	Not less than
Gross Heat of Combustion kcal/l	9,850	9,801	9,850	9,850	9,860	Not less than



ตัวอย่าง

## ข้อมูล

Boiler 16 ตัน/ชม. หัวเผาแบบ nozzle ใช้ น้ำมันเตา C เป็นเชื้อเพลิง

Feed temp.  $\sim 60$  °C Operate ที่  $\sim 5$  kg/cm<sup>2</sup>

เปิด Steam Table

Absolute pressure = 6 kg/cm<sup>2</sup> , อุณหภูมิ = 158.08 °C

วันที่ 25 พ.ย. 46      FW = 137 m<sup>3</sup> ค่า EC = 2,150  $\mu$ S/cm

Fuel = 9,390 lit

B/D วัดค่า EC = 11,860  $\mu$ S/cm



## การคำนวณ

$$\text{C.O.C (N)} = \frac{11,860}{2,150} = 5.5$$

$$\text{จาก B/D} = \text{FW} / \text{N}$$

$$\text{คิด \% B/D} = 100 / 5.5 = 18.13\%$$

$$\therefore \text{B/D} = 181.3 \text{ lit/m}^3 \text{ of FW}$$

$$\therefore \text{Steam} = 1,000 - 181.3$$

$$= 818.7 \text{ lit/m}^3 \text{ of FW}$$

## จากการเปิด Steam Table จะได้

- Enthalpy of 6 kg/cm<sup>2</sup> Saturated water...  $H_{BW} = 159.25$  kcal/kg
  - Enthalpy of 6 kg/cm<sup>2</sup> Saturated steam...  $H_S = 658.1$  kcal/kg
  - Enthalpy of 60 °C Feed water.....  $H_f = 59.94$  kcal/kg
  - Gross heat of combustion of fuel oil.....  $F_f = 9,850$  kcal/lit
- ∴ Total heat =  $(658.1 \times 818.7) + (159.25 \times 181.3) - (59.94 \times 1,000)$   
= 507,718.5 kcal/ton of FW .....theoretical

หมายเหตุ - Operate 5 kg/cm<sup>2</sup>

- Absolute pressure 6 kg/cm<sup>2</sup>

# คำนวณ Boiler

โดยกำหนดให้ Boiler มีประสิทธิภาพ 80%

$$\begin{aligned}\therefore \text{Total heat require} &= \frac{507,718.5}{0.80} \\ &= 634,648 \text{ kcal/ton of FW}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\therefore \text{Fuel rate} &= \frac{634,648}{9,850} = 64.48 \text{ lit/ton of FW} \\ &= \frac{64.43}{1 - 0.1813} = 78.7 \text{ lit/ton of steam}\end{aligned}$$

# จากข้อมูลของโรงงานวันที่ 25 พ.ย. 2546

$$\text{Fuel rate} = \frac{9,390}{137} = 68.54 \text{ lit/ton of FW}$$

$$= \frac{68.50}{1 - 0.1813} = 83.72 \text{ lit/ton of steam}$$

$$\text{Eff.} = \frac{507,718.5 \times 100}{9,850 \times 68.5} = 75.2\%$$

$$\text{ไต้ Steam} = (137 \times 0.8187) = 112.16 \text{ ton/D}$$

ส่วนต่างเทียบกับต่อ Bench Mark ที่ 80% ที่ Boiler ควรทำได้

$$\text{ต่อ FW 1 ton} = 68.54 - 64.48$$

$$\therefore \text{ปริมาณน้ำมันเตาที่เกิน} = 4.06 \text{ lit}$$

$$1 \text{ วัน FW} = 137 \text{ m}^3/\text{D}$$

$$\therefore \text{ส่วนต่างของน้ำมันเตาที่เกิน Standard 1 วัน} = 556 \text{ lit}$$

กำหนดน้ำมันเตาลิตรละ 8 บาท

$$\therefore \text{ใช้เงินเกินวันละ} = 4,448 \text{ บาท}$$

$$1 \text{ ปี (300 วัน)} = 1,334,400 \text{ บาท}$$

☞ เนื่องจากการควบคุมคุณภาพน้ำ Boiler ยังไม่เหมาะสม แนวโน้มการใช้น้ำมันจะมากกว่านี้จนกว่าจะมีการล้าง Boiler

☞ ถ้าใช้น้ำ FW คุณภาพปัจจุบัน ทำให้ได้ตาม Boiler Standard โรงงานจะต้องมีการ B/D มากขึ้น

จาก Boiler Standard กำหนดค่า  $EC = 5,000 \mu S/cm$

$$\text{C.O.C (N)} = \frac{5,000}{2,150} = 2.3$$

$$\therefore \text{ต้อง B/D} = 43\%$$

$$= 430 \text{ lit/m}^3 \text{ of FW}$$

$$\therefore \text{ได้ Steam} = 1,000 - 430$$

$$= 570 \text{ lit/m}^3 \text{ of FW}$$

$$\therefore \text{Total heat} = (658.1 \times 570) + (159.25 \times 430) - (59.94 \times 1,000)$$

$$= 383,654.5 \text{ kcal/ton of FW}$$

กำหนด Boiler Eff. 80%

$$\therefore \text{Total heat require} = 479,568 \text{ kcal/ton of FW}$$

$$\therefore \text{Fuel rate} = 48.69 \text{ lit/ton of FW}$$

$$= \frac{48.69}{1 - 0.43} = 85.4 \text{ lit/ton of steam}$$

ถ้าต้องการ Steam เท่าเดิม 112.16 ton ใช้น้ำมัน 9,580 lit

$$\therefore \text{ใช้น้ำมันเพิ่มขึ้น } 9,580 - 9,290 = 190 \text{ lit/D}$$



ถ้า Boiler Eff. เท่าเดิม = 75.2% (ยังไม่ล้าง Boiler)

$$\therefore \text{Total heat require} = 510,179 \text{ kcal/ton of FW}$$

$$\therefore \text{Fuel rate} = 51.79 \text{ lit/ton of FW}$$

$$= \frac{51.79}{1 - 0.43} = 90.9 \text{ lit/ton of steam}$$

ถ้าต้องการ Steam เท่าเดิม 112.16 ton ใช้น้ำมัน 10,192 lit

$$\therefore \text{ใช้น้ำมันเพิ่มขึ้น} = 802 \text{ lit/D}$$

ถ้าใช้น้ำประปาเป็นน้ำดิบในการทำ FW

ค่า EC ของน้ำประปา = 291  $\mu\text{S}/\text{cm}$

$$\text{C.O.C (N)} = \frac{5,000}{291} = 17.8$$

$$\therefore \text{ต้อง B/D} = 5.82\%$$

$$= 58.2 \text{ lit}/\text{m}^3 \text{ of FW}$$

$$\therefore \text{ได้ Steam} = 1,000 - 58.2$$

$$= 941.8 \text{ lit}/\text{m}^3 \text{ of FW}$$

$$\begin{aligned}\therefore \text{Total heat} &= (658.1 \times 941.8) + (159.25 \times 58.2) - (59.94 \times 1,000) \\ &= 569,127 \text{ kcal/ton of FW}\end{aligned}$$

ใช้ Boiler Eff. เท่าเดิม = 75.2% (ยังไม่ล้าง Boiler)

$$\therefore \text{Total heat require} = 756,818 \text{ kcal/ton of FW}$$

$$\therefore \text{Fuel rate} = 76.8 \text{ lit/ton of FW}$$

$$= \frac{76.8}{1 - 0.0582} = 81.6 \text{ lit/ton of steam}$$

ต้องการ Steam เท่าเดิม 112.16 ton ใช้น้ำมัน 9,150 lit

∴ ใช้น้ำมันลดลง = 240 lit/D

น้ำมันเตา 8 บาท/ลิตร ประหยัดได้ = 1,920 บาท/วัน

กำหนดน้ำประปามีมูลค่าเพิ่มจากน้ำบาดาล ลบ.ม. ละ 10 บาท

ใช้ FW วันละ  $\frac{112.16}{0.9418} = 119 \text{ m}^3$

∴ จะประหยัดเงินได้ 1,920 – 1,190 = 730 บาท/วัน

1 ปี (300 วัน) = 219,000 บาท

## ถ้าล้าง Boiler และควบคุมให้ได้ตาม Boiler Standard

$$\text{ให้ Boiler Eff} = 80\%$$

$$\therefore \text{Total heat require} = 711,409 \text{ kcal}$$

$$\therefore \text{Fuel rate} = 72.2 \text{ lit/ton of FW}$$

$$= \frac{72.2}{1 - 0.0582} = 76.69 \text{ lit/ton of steam}$$

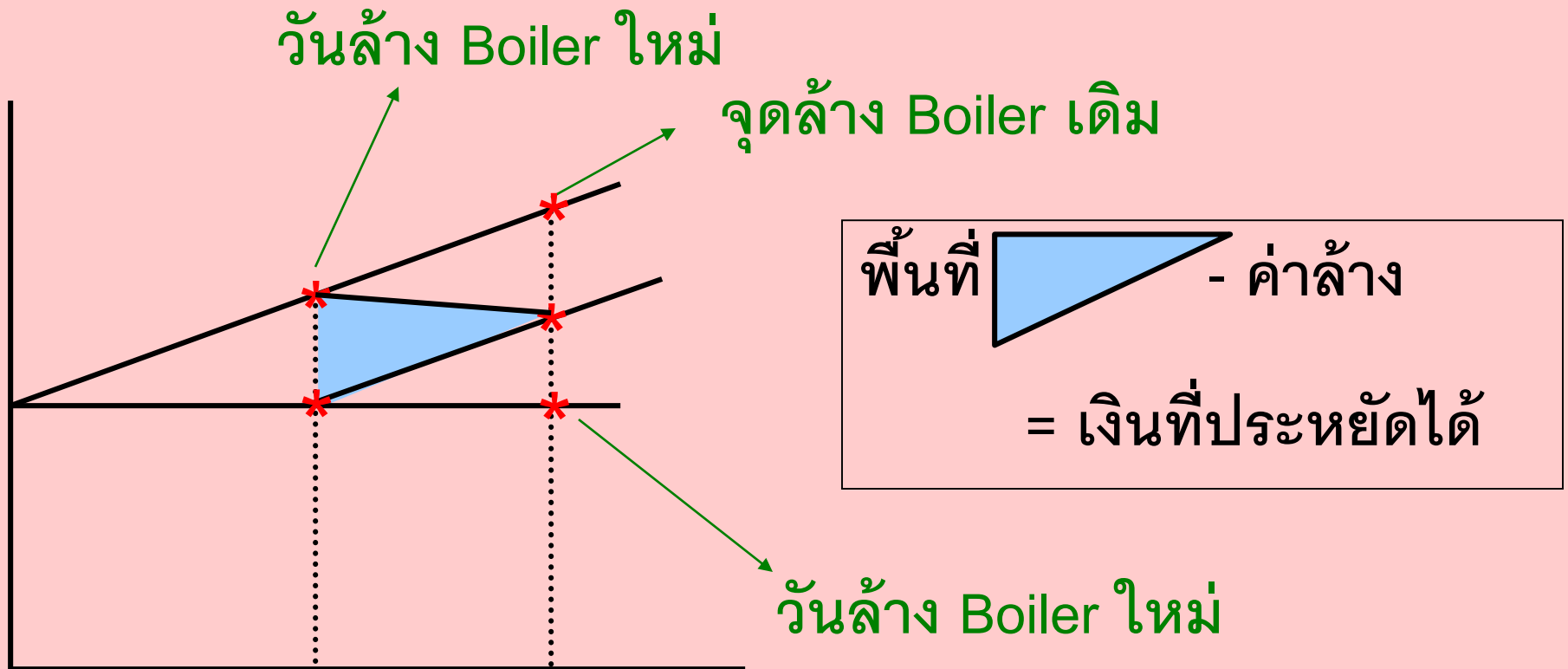
$$\text{Steam } 112.16 \text{ ใช้น้ำมัน} = 8,601 \text{ lit}$$

$$\therefore \text{ประหยัดน้ำมันได้} = 789 \text{ lit/D}$$

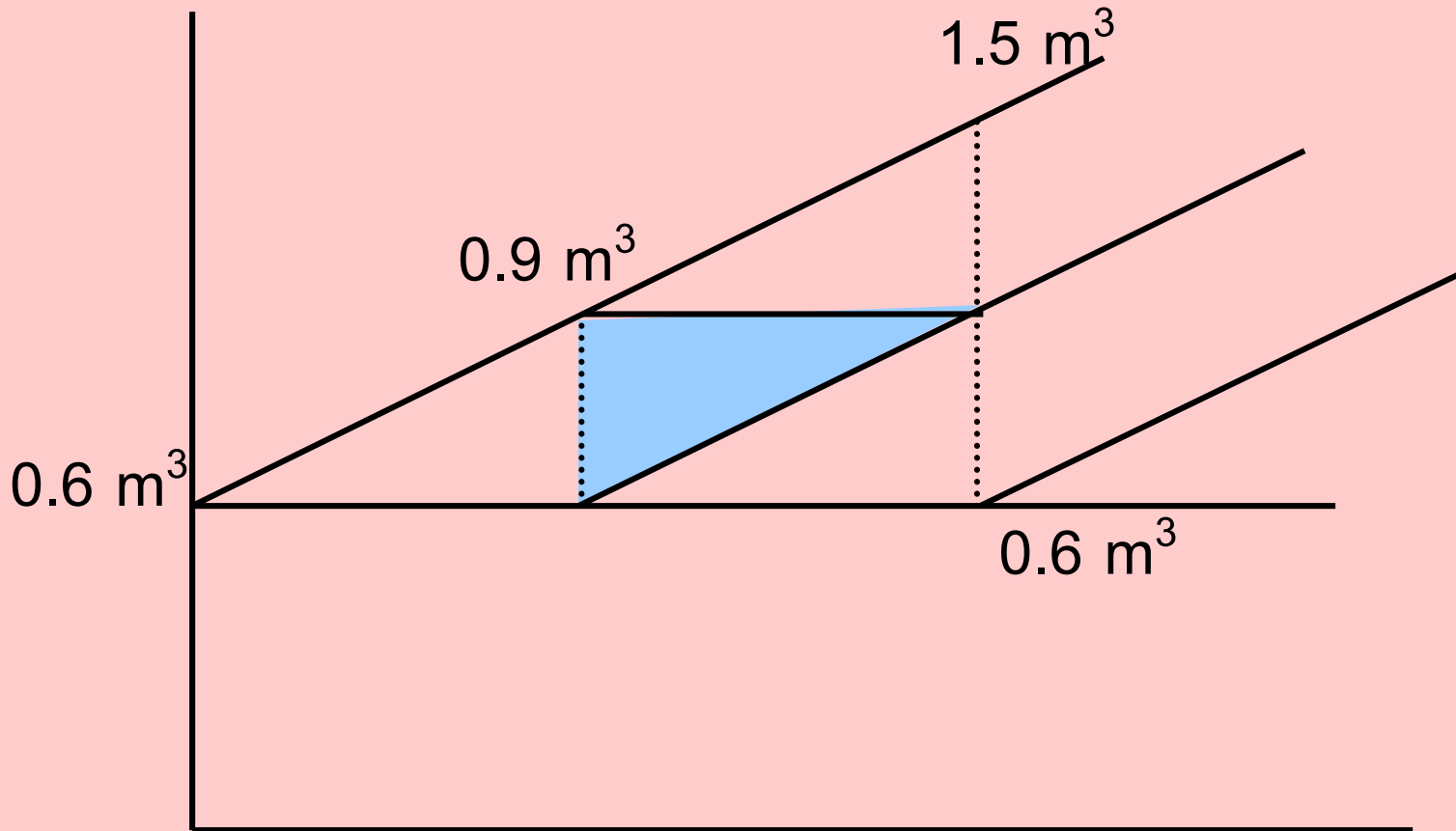
หักค่าน้ำประปาที่เพิ่มขึ้น จะประหยัดเงินได้ **1,536,600** บาท/ปี

การประหยัดเงินของโรงงานประหยัดได้จาก

☝️ รู้ว่าเมื่อใดควรล้าง Boiler ได้แล้ว เพราะว่าคุณน้ำมัน  
จะสิ้นเปลืองมากกว่าค่าล้าง




# ตัวอย่าง





✌️ โรงงานจะได้รู้ว่า Boiler ของตัวเองอยู่ที่จุดไหน  
เมื่อเปรียบเทียบกับ Standard จะได้หาต่อไปว่า  
ควรจะปรับปรุงอะไรต่อไปบ้าง

- **คุม Boiler Quality**
- **คุม Excess Air**
- **Cleaning Fire Side**
- **Cleaning Water Side**
- **Return Condensate**
- **ใช้ Condensate มาเพิ่ม  
อุณหภูมิ FW**
- **คุมเคมี**

 เมื่อคุมคุณภาพน้ำได้ ก็จะชะลอตะกอนไม่ให้  
เกิดขึ้นมาก โดยจะดูจาก Fuel Consumption เป็น  
การประหยัดค่าล้าง

ยืดอายุ Boiler → ประหยัดน้ำมัน

เมื่อควบคุม Excess Air + Cleaning Fire Side

(แย่งจับ) ก็จะตัดปัญหาตะกรันด้าน Fire Side →

ประหยัดน้ำมัน

# ปัญหาในปัจจุบันคือ

1. โรงงานไม่รู้ว่าสภาพ Boiler ของตัวเองอยู่ที่จุดไหน  
ไม่รู้ว่าใช้ Steam วันละเท่าไร ไม่รู้ว่า Steam 1 ตัน  
ใช้น้ำมันเตากี่ลิตร
2. โรงงานไม่รู้ว่า Standard ควรจะเป็นเท่าใด
3. โรงงานมีจดบันทึกการใช้ น้ำ, น้ำมัน แต่ไม่มีการ  
Evaluate ข้อมูล

# การปรับปรุง

เมื่อคำนวณ Eff. ได้ต่ำกว่าค่า Bench Mark (Standard) ที่ตั้งไว้

➤ ดู Stack Temperature โดยตรวจสอบว่า

- เครื่องวัดอุณหภูมิติดตั้งถูกต้องหรือไม่ Probe ต้อง  
แหงถึงจุดกึ่งกลางปล่อง
- มีการทำความสะอาด Probe ไม่ให้มีเขม่าเกาะหรือไม่
- Stack Temperature ควรมากกว่าอุณหภูมิของ Steam  
อยู่ 20 – 40 °C ถ้ามากกว่านี้แสดงว่ามีตะกั่ว (fire Side,  
Water Side)

➤ ดู Combustion Eff. การตั้ง % ของ  $O_2$  Excess (Excess Air),  $\%CO_2$ , C + CO (ถ้าน้ำมันเผาไหม้ไม่หมด) โดยดูจากผลวิเคราะห์ ในขณะที่พัดลมเดินที่ High Speed และ Low Speed

➤ ดู Scale

- ด้าน Fire Side ตรวจสอบเวลาการแยง Tube ปริมาณฝุ่นที่แยงและเก็บได้

การแยง Tube ควรแยงจนเห็นเนื้อเหล็ก

- ด้าน Water Side ดูผลวิเคราะห์น้ำ ตรวจสอบเวลาการล้าง Boiler

➤ ดูโครงสร้างและวัสดุของ Boiler

➤ ดู Operating Condition เช่น Boiler 7 ton/h แต่ Operate ที่  
1 – 3 ton/h



ควรยึดถือค่า

อุณหภูมิปล่อง

Fuel Consumption

Eff.

เมื่อล่าง Boiler และปรับ Excess Air  
พร้อมกันเป็นมาตรฐาน

อุณหภูมิปล่อง

Fuel Consumption

Eff.


เมื่อแยง Probe เป็นมาตรฐานย่อย

ควร Plot Curve ให้ครบรอบการล้าง จะเป็น

Eff. : เวลา

หรือ

Fuel Consumption : เวลา ก็ได้



อย่าลืม

Evaluate ทุก Data ที่ได้มา และใช้ควบคุมระบบฯ