บทที่ 6

มาตรการการปรับปรุงประสิทธิผลของการใช้พลังงาน และความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

6.1 แนวทางการประหยัดพลังงาน

แนวทางในการประหยัดพลังงานของโรงงานมีหลายระดับ ตั้งแต่เริ่มจากการดูแลบำรุงรักษา (housekeeping) การปรับปรุงเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เช่น หุ้มฉนวนเป็นต้น ตลอดจนถึงการปรับปรุงในระดับการดัดแปลงกระบวนการ ซึ่งขั้นตอนนี้จำเป็นต้องใช้เงินลงทุนมากกว่าสองระดับแรกที่กล่าวมา ดังนั้น ในบทนี้จะแยกประเด็นในการประหยัดพลังงานของโรงงานให้เห็นชัดเจน เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินการ

6.1.1 การดูแลบำรุงรักษา (housekeeping)

ในการดูแลรักษาอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการ เป็นสิ่งจำเป็นอย่างหนึ่งในขั้นตอนของการประหยัดพลังงาน โดยทำการปรับปรุงแก้ไขของเดิมที่ใช้งานอยู่แล้วให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นโดยไม่ต้องลงทุนหรือลงทุนเล็กน้อย ขั้นตอนอาจจะทำได้ดังนี้

1. ตรวจสอบรอยรั่วที่ท่อส่งไอน้ำหรือท่อคอนเด็นเสท ว่ามีที่ใดรั่วบ้าง เมื่อพบเห็นให้รีบดำเนินการซ่อมแซมทันที

2. ตรวจสอบตามวาล์วต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการว่ามีรอยรั่วหรือไม่ ทำนองเดียวกับข้อ 1

3. ตรวจสอบกับดักไอน้ำที่ใช้อยู่ว่าชำรุดหรือไม่ และตรวจสอบตำแหน่งติดตั้งของกับดักไอน้ำว่าเหมาะสมหรือไม่ พร้อมทั้งตรวจสอบการเลือกใช้ชนิดของกับดักไอน้ำที่มีอยู่ปัจจุบันว่าเหมาะสมหรือไม่ เพียงไร

เนื่องจากกับดักไอน้ำมีหลายประเภท ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์และลักษณะงานต่าง ๆ

ในการเลือกใช้กับดักไอน้ำ จะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมกับเงื่อนไขต่าง ๆ ดังนี้

1. ความดันไอน้ำ
2. อุณหภูมิไอน้ำ
3. ผลต่างของความดันไอที่ทางเข้าและทางออกของกับดัก
4. ปริมาณน้ำระบายที่เกิดขึ้น
5. เงื่อนไขในการติดตั้ง

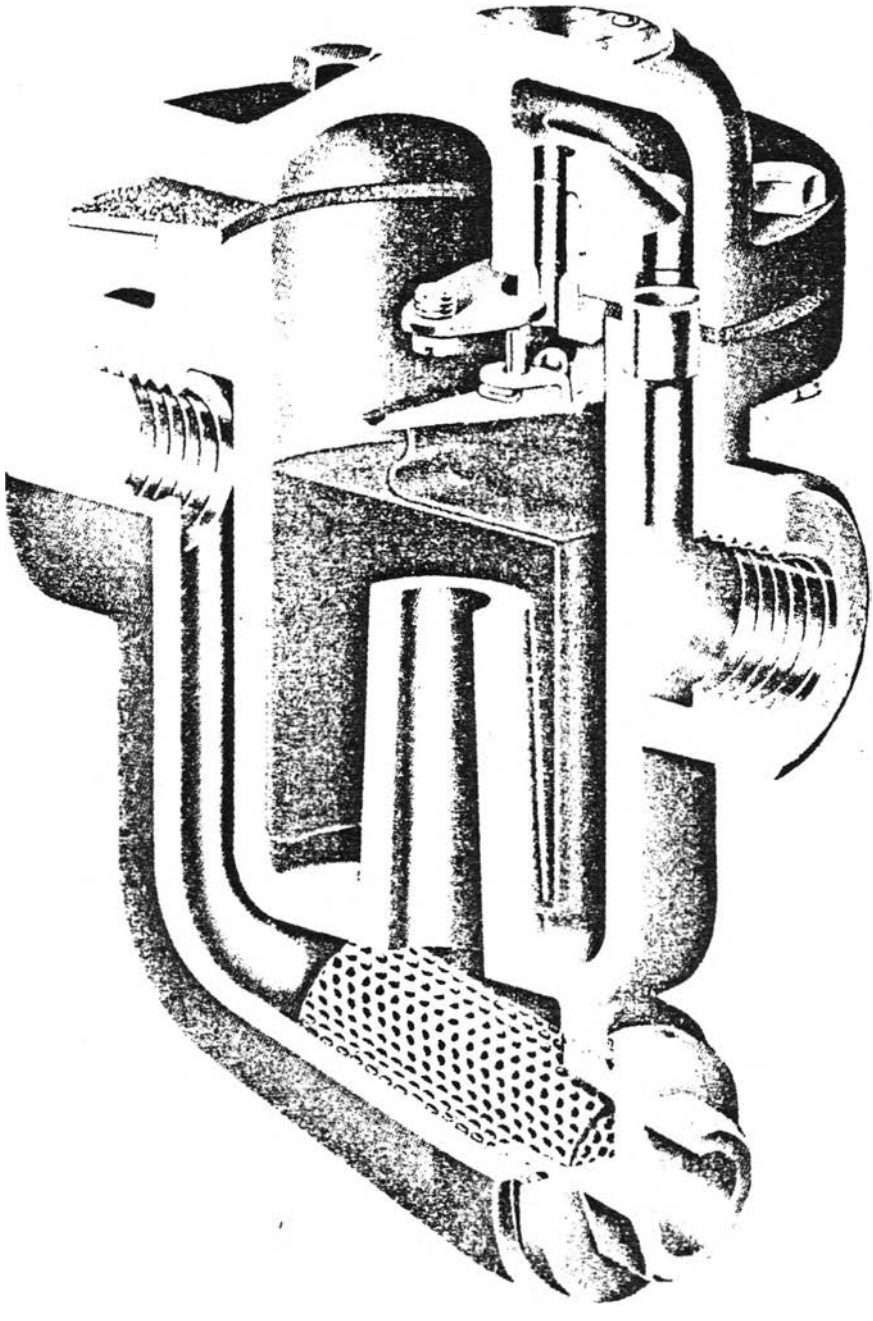
สำหรับจุดเด่นที่สำคัญของกับดักไอน้ำแบบต่าง ๆ มีแสดงไว้ในตารางที่ 6.1 พร้อมทั้งแสดงรูปร่างชนิดต่าง ๆ ของกับดักไอน้ำในรูป 6.1-6.6

4. ตรวจสอบฉนวนที่หุ้มท่อส่งไอน้ำ ว่ามีหลุดขาด, เปียก หรือชำรุดเสียหายหรือไม่ ถ้าพบเห็นให้รีบดำเนินการทันที นอกจากนั้นควรตรวจสอบความหนาของฉนวนที่ใช้อยู่ว่าเหมาะสมหรือไม่ และตรวจสอบตามหน้าแปลนและวาล์วว่าหุ้มฉนวนเรียบร้อยดีหรือไม่

จากการศึกษาและพูดคุยกับวิศวกรโรงงาน พบว่า ที่โรงงานแห่งนี้ได้ดำเนินมาตรการประหยัดพลังงานในขั้นตอนการดูแลบำรุงรักษาในขั้นดีอยู่แล้ว คือ เมื่อตรวจสอบพบว่าท่อไอน้ำมีรอยรั่ว ได้ดำเนินการปรับปรุงทันที และตรวจสอบความชำรุดของฉนวนที่อุปกรณ์ เมื่อพบเห็นก็ได้ดำเนินการเปลี่ยนใหม่ทันทีเช่นเดียวกัน

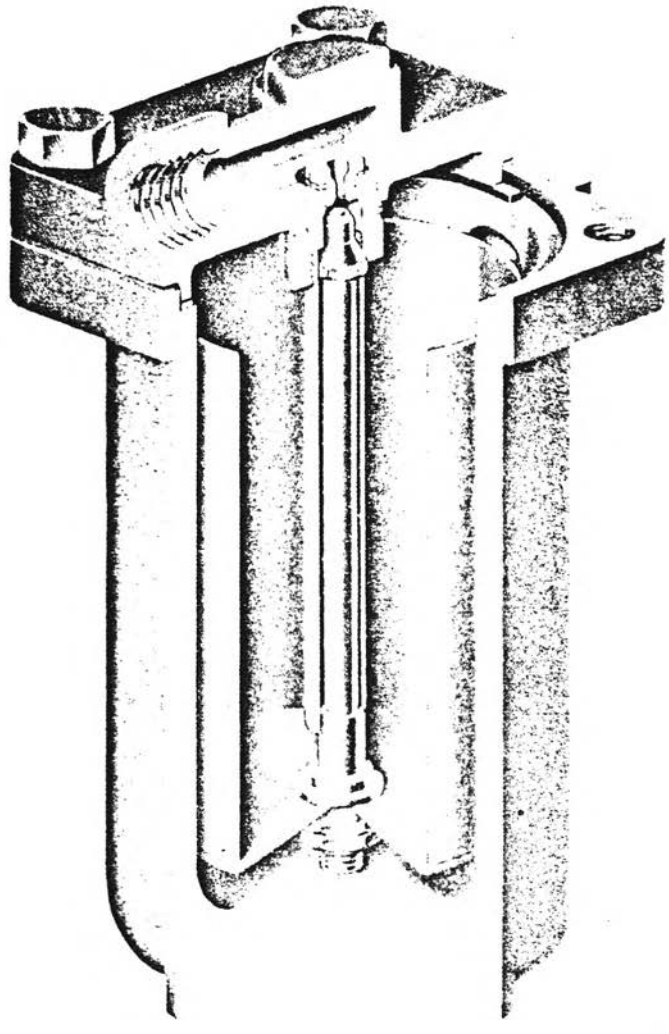
ตาราง 6.1 จุดเด่นที่สำคัญของกับดักไอน้ำแบบต่างๆ

	แบบ	ข้อดี	ข้อเสีย
กับดักไอน้ำเชิงกล	แบบบักเค็ทหงาย	(1) การทำงานแม่นยำ (2) ไอน้ำไม่รั่วไหลเนื่องจากมี Water Seal (3) อาจมีปัญหาน้ำแข็งตัว	(1) รูปร่างและขนาดใหญ่ (2) การระบายอากาศทิ้งไม่ดี
	แบบบักเค็ทคว่ำ	(1) การระบายอากาศทิ้งไม่ดี	(1) การติดตั้งไม่สะดวก (2) อาจมีปัญหาน้ำแข็งตัวได้ (เมืองหนาว) (3) ประสิทธิภาพการระบาย ระบายไม่ดี
	แบบลูกลอยติดคาน	(1) เหมาะสมกับความดันต่ำ และภาระต่ำ	(1) ไม่ทนต่อ water hammer (2) มีปัญหาการชัดข้องเนื่องจากกลไกคานสึกหรอบ่อย
	แบบลูกลอยอิสระ	(1) ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา (2) โครงสร้างง่าย (3) ปล่อยทิ้งอย่างต่อเนื่อง และการทำงานเงียบ (4) เปลี่ยนลูกลอย และบ่าลิ้นได้ง่าย	(1) จำเป็นต้องหาทางป้องกัน water hammer (2) จำเป็นต้องติดตั้งในแนวระนาบจึงมีขีดจำกัดด้านสถานที่ติดตั้ง
กับดักไอน้ำแบบเทอร์โมสแตติก	แบบเบลโล่ส์	(1) สามารถปรับตั้งและควบคุมอุณหภูมิน้ำระบายได้ (2) การระบายอากาศทิ้งดี	(1) ไม่ทนต่อ water hammer (2) ไม่เหมาะกับความดันสูง
	แบบไบเมทัล	(1) ไม่มีปัญหาน้ำแข็งตัว (2) ไม่มีปัญหาลิ้นปิดตาย (3) การระบายอากาศทิ้งดี	(1) ผลต่างอุณหภูมิสำหรับปิดเปิดลิ้นสูง (2) คุณสมบัติของไบเมทัลเปลี่ยนแปลงไปในขณะใช้งาน
กับดักไอน้ำแบบเทอร์โมไดนามิกส์	แบบออริฟิส	(1) ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา (2) เหมาะกับความดันสูง อุณหภูมิสูง	(1) ไอน้ำรั่วไหลมาก (2) มีปัญหาการชัดข้องของชิ้นส่วนที่มีความเที่ยงสูง (high accuracy) บ่อย (3) มีขีดจำกัดของความดันย้อนกลับ (30%)
	แบบจาน	(1) ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา (2) โครงสร้างง่าย (3) สามารถใช้กับไอน้ำยิ่งยวดได้ (4) ทนต่อ water hammer ได้	(1) ต้องมีผลต่างความดันทำงานอย่างต่ำสุด 0.3 kg/cm^2 (2) มีขีดจำกัดของความดันย้อนกลับ (50%)



inverted-bucket steam traps

Fig. 6.1



open-top bucket steam trap

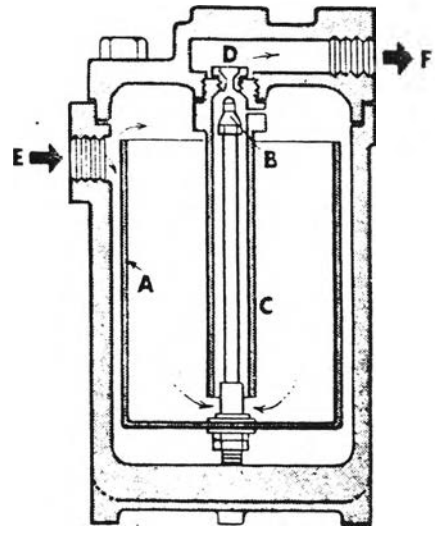
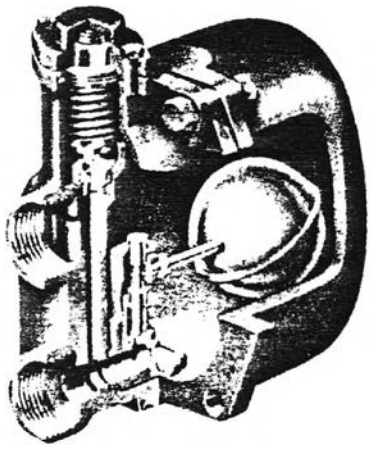
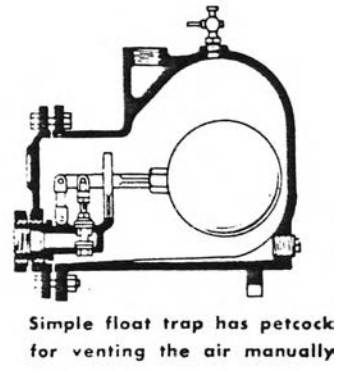


Fig. 6.2

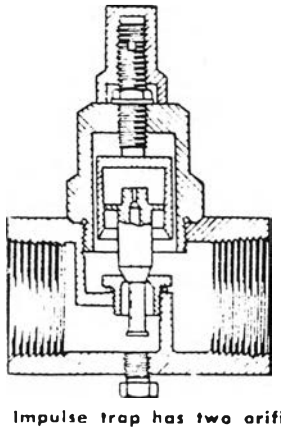
ball float steam traps





Simple float trap has petcock for venting the air manually

Fig. 6.3



Impulse trap has two orifices in series with chamber between

Fig. 6.4

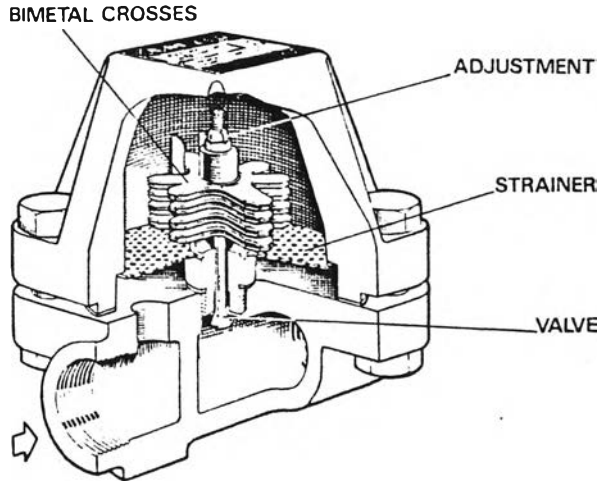


Fig. 6.5

(ข) เทอร์โมไดนามิค (Thermodynamic) ดังรูป 6.6

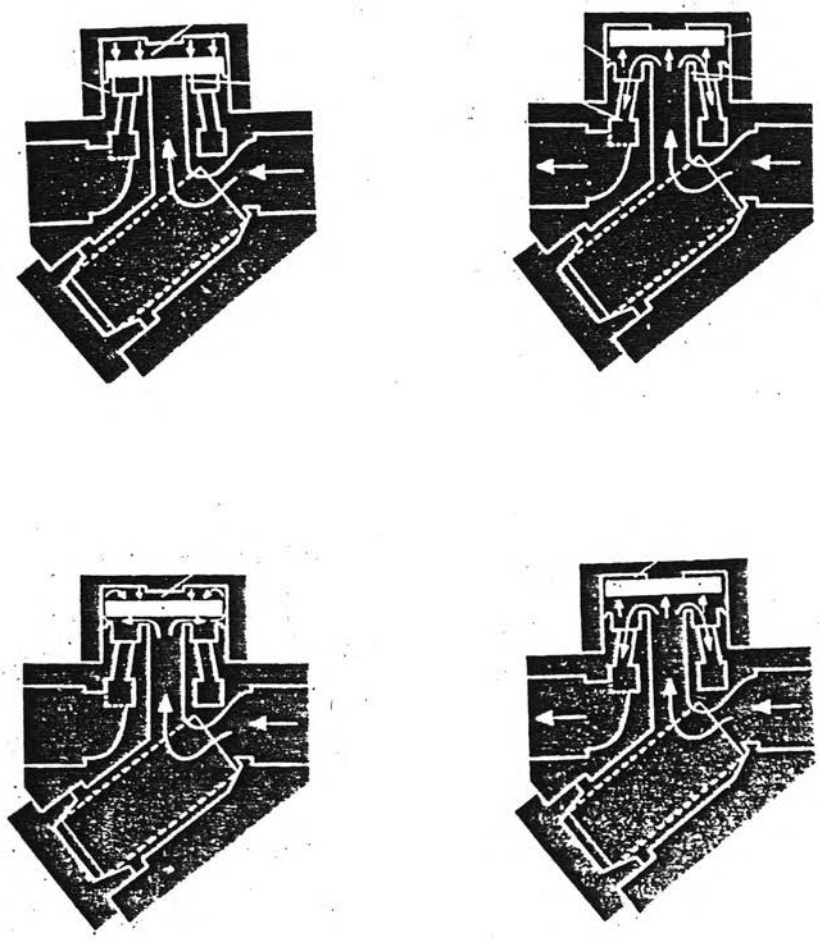
(ค) Inverted Bucket ดังรูป 6.1

(ง) Upright Bucket or Open Bucket ดังรูป 6.2

(จ) Float and Thermostatic ดังรูป 6.3

(ฉ) Impulse Trap ดังรูป 6.4

(ช) Bimetal steam trap ดังรูป 6.5



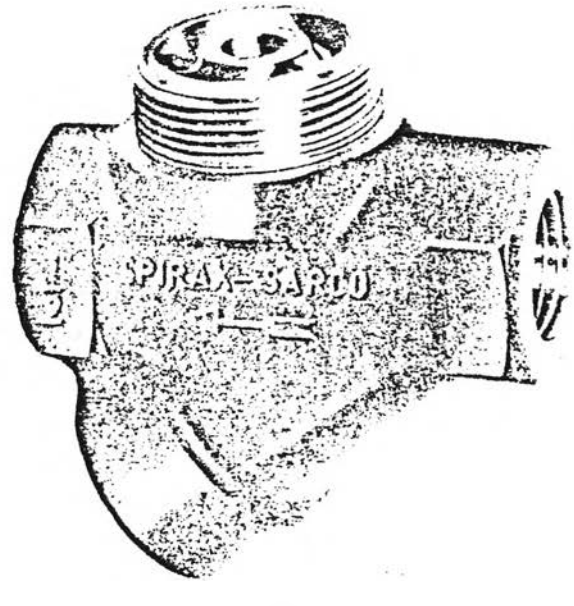


Fig. 6.6

6.1.2 ข้อเสนอแนะในขั้นตอนการดูแลรักษา (housekeeping)

1. ในการติดตั้งตำแหน่งของกับดักไอน้ำของอุปกรณ์เตาอบบอร์ด ควรจะติดตั้งที่ใกล้กับทางออกของอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ เพื่อป้องกันปัญหาการสะสม และการเย็นตัวของคอนเดนเสทในท่อทางเข้าของกับดักไอ

2. ลักษณะการติดตั้งใช้กับดักไอน้ำ 2 ตัวที่ถูกต้อง ควรจะใช้เป็นชนิดเดียวกันแบบ Mechanical (Inverted Bucket) และควรจะให้ทั้งสองกับดักไอน้ำอยู่ขนานกันในแนวระดับเดียวกัน หรือควรจะเปลี่ยนเป็นกับดักไอน้ำที่ใหญ่กว่าเดิมที่ใช้อยู่ทั้งสองตัว

3. ในการทำงานทุกครั้ง ควรจะมีการจดบันทึกข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องไว้ด้วยเสมอ เช่น ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของแต่ละตัวใหม่, ปริมาณแร่ที่ป้อนเข้าอุปกรณ์ เป็นต้น

4. ที่เตาอบบอร์ด ควรจะจดบันทึกอุณหภูมิของอากาศที่นำเข้าเตาอบ และของก๊าซร้อนทิ้งที่ทางออกทั้งอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (dry bulb temperature) และอุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet bulb temperature) ในขณะปฏิบัติงาน

6.2 การปรับปรุงและแก้ไขเพื่อให้มีประสิทธิผลโดยปรับปรุงเล็กน้อย

6.2.1 มาตรการโดยการหุ้มฉนวนตัวอุปกรณ์

จากผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานที่กล่าวมาในบทที่ 4 ในระบบย่อย 1 (Subprocess 1) ที่อุปกรณ์ลำเลียงแร่ที่ 1 พลังงานความร้อนที่สูญเสียจากอุปกรณ์นี้เป็นค่าประมาณ 7.2808×10^{3} kJ/h หรือ 4.3436×10^{6} kJ/month

ถ้าทำการหุ้มฉนวนที่อุปกรณ์นี้ด้วยฉนวนใยหิน (rockwool) ซึ่งมีความหนา 0.051 เมตร ($k = 0.122$ kJ/m.h.K) จะสามารถคำนวณหาปริมาณความร้อนที่จะเก็บรักษาไว้ได้ดังนี้

จากสูตร $$Q = \frac{A \Delta T}{(x_1/k_1)+(x_2/k_2)+(1/\alpha_s)} \qquad (6.1)$$

โดย $A = 25.2018 \quad m^2$

$x_1 = 0.0127 \quad m$

$k_1 = 288.00 \quad kJ/m.h.K$

$x_2 = 0.051 \quad m$

$k_2 = 0.122 \quad kJ/m.h.K$

$\alpha_s = 20.92 \quad kJ/m^2.h.K$

$\Delta T = (353-303) = 50 \ K$

จาก (6.1), แทนค่า: $$Q = \frac{25.2018 \times (50)}{(0.0127/288.00)+(0.051/0.122)+(1/20.92)}$$

$Q = 2.7047 \times 10^3 \quad kJ/h$

หรือ $= 1.6136 \times 10^6 \quad kJ/month$

ดังนั้น ปริมาณความร้อนที่จะสามารถเก็บรักษาไว้ได้

$= 7.2808 \times 10^3 - 2.7047 \times 10^3$

$= 4.5761 \times 10^3 \quad kJ/h$

หรือ $= 2.7301 \times 10^6 \quad kJ/month$

ที่อุปกรณ์ถังเก็บแร่ที่ 1 (Gypsum Bin 1)

เมื่อทำการหุ้มฉนวนด้วยใยหิน จะสามารถคำนวณหาปริมาณความร้อนที่จะเก็บรักษาไว้ได้ดังนี้

จากสูตร (6.1) แทนค่า

$A = 56.172 \quad m^2$

$\Delta T = 50 \ K$

$x_1 = 0.0127 \quad m$

$k_1 = 288.00 \quad kJ/m.h.K$

$x_2 = 0.051 \quad m$

$k_2 = 0.122 \quad kJ/m.h.K$

$\alpha_s = 20.92 \quad kJ/m^2.h.K$

แทนค่าใน (6.1);

$$Q = \frac{56.172 \times (50)}{(0.0127/288.00)+(0.051/0.122)+(1/20.92)}$$

$= 6.0286 \times 10^{3}$ kJ/h

หรือ $= 3.5966 \times 10^{6}$ kJ/month

ที่ถังเก็บแร่ที่ 1 (Gypsum Bin 1) สามารถเก็บรักษาความร้อนไว้ได้โดยการหุ้มฉนวนอุปกรณ์ $= 1.6225 \times 10^{4} - 6.0286 \times 10^{3}$

$= 1.0196 \times 10^{4}$ kJ/h

หรือ $= 6.0831 \times 10^{6}$ kJ/month

ดังนั้น ที่อุปกรณ์ลำเลียงแร่ที่ 1 เมื่อหุ้มฉนวนรอบอุปกรณ์ จะสามารถเก็บรักษาพลังงานความร้อนไว้ได้เป็น 2.7301×10^{6} kJ/month

และที่อุปกรณ์ถังเก็บแร่ที่ 1 (Gypsum Bin 1) จะสามารถเก็บรักษาพลังงานความร้อนไว้ได้เป็น 6.0831×10^{6} kJ/month

และที่ทั้ง 2 อุปกรณ์สามารถเก็บรักษาพลังงานความร้อนไว้ได้เป็น

$2.7301 \times 10^{6} + 6.0831 \times 10^{6}$

$= 8.8132 \times 10^{6}$ kJ/month

เมื่อคิดเทียบเป็นจำนวนของเชื้อเพลิง (น้ำมันเตาที่มี LHV = 41,450 kJ/kg) สำหรับพลังงานความร้อนที่เก็บรักษาไว้ได้คือ 212.622 kg/month หรือประมาณ 226.0 litre/month

ที่อุปกรณ์ลำเลียงแร่ที่ 2 (Bucket elevator 2)

พลังงานความร้อนที่สูญเสียจากอุปกรณ์คำนวณได้เป็น 9.1689×10^{3} kJ/h หรือ 5.4701×10^{6} kJ/month เมื่อกำหนดมาตรการโดยการหุ้มฉนวนด้วยใยหิน (rockwool) หนา 0.051 เมตร (k = 0.122 kJ/m.h.K) จากสมการ (6.1)

$A = 35.2638 \quad m^2$

$\Delta T = 45 \quad K$

$x_1 = 0.0127 \quad m$

$k_1 = 288.00 \quad kJ/m.h.K$

$x_2 = 0.051 \quad m$

$k_2 = 0.122 \quad kJ/m.h.K$

$\alpha_o = 20.92 \quad kJ/m^2.h.K$

แทนค่าใน (6.1) ;

$$Q = \frac{35.2638 \times 45}{(0.0127/288.00)+(0.051/0.122)+(1/20.92)}$$

$= 3.406 \times 10^3 \quad kJ/h$

หรือ $= 2.0320 \times 10^6 \quad kJ/month$

ดังนั้น ปริมาณความร้อนจะสามารถเก็บรักษาไว้ได้

$= 9.1689 \times 10^3 - 3.406 \times 10^3$

$= 5.7629 \times 10^3 \quad kJ/h$

หรือ $= 3.4381 \times 10^6 \quad kJ/month$

ที่อุปกรณ์ถังเก็บแร่ที่ 2 (Imp. mill Bin 2)

พลังงานความร้อนที่สูญเสียที่อุปกรณ์นี้เป็น 1.0338×10^4 kJ/h หรือ 6.1675×10^6 kJ/month เมื่อดำเนินมาตรการเช่นเดียวกันกับข้างต้น จะคำนวณหาปริมาณพลังงานความร้อนที่เก็บรักษาไว้ได้ดังนี้

จากสมการ (6.1) ;

$A = 44.73 \quad m^2$

$\Delta T = 40 \quad K$

$x_1 = 0.0127 \quad m$

$k_1 = 288.00 \quad kJ/m.h.K$

$x_2 = 0.051 \quad m$

$k_2 = 0.122 \quad kJ/m.h.K$

$\alpha_o = 20.92 \quad kJ/m^2.h.K$

แทนค่าใน (6.1) : $Q = \dfrac{44.73 \times (40)}{(0.0127/288.00)+(0.051/0.122)+(1/20.92)}$

$= 3.8405 \times 10^{3}$ kJ/h

หรือ $= 2.2912 \times 10^{6}$ kJ/month

ดังนั้น ปริมาณความร้อนที่จะสามารถเก็บรักษาไว้ได้ ที่อุปกรณ์ถังเก็บแรงดัน 2

$= 1.0338 \times 10^{4} - 3.8405 \times 10^{3}$ kJ/h

$= 6.4975 \times 10^{3}$ kJ/h

หรือ $= 3.8763 \times 10^{6}$ kJ/month

ผลการเสนอแนะได้แสดงไว้ในตารางที่ 6.2 และ 6.3 แล้ว

ตารางที่ 6.2 แสดงปริมาณพลังงานความร้อนที่จะเก็บรักษาได้เมื่อดำเนินมาตรการปรับปรุงที่ระบบย่อย 1 (Subprocess 1)

อุปกรณ์	พลังงานที่สูญเสียก่อนการกำหนดมาตรการปรับปรุง (kJ/month)	พลังงานที่เก็บรักษาไว้ได้เมื่อกำหนดมาตรการปรับปรุง (kJ/month)	เปรียบเทียบเป็นเชื้อเพลิงที่จะประหยัดได้ (kg/month)	ราคาของเชื้อเพลิงที่จะประหยัดได้ (baht/month)*
1. อุปกรณ์ลำเลียงแร่ที่ 1 (Bucket elevator 1)	4.3436×10^6	2.7301×10^6	65.86	198.00
2. ถังเก็บแร่ที่ 1 (Gypsum bin 1)	9.6797×10^6	6.0831×10^6	146.76	443.00
3. อุปกรณ์ลำเลียงแร่ที่ 2 (Bucket elevator 2)	5.4701×10^6	3.4381×10^6	82.95	250.00
4. ถังเก็บแร่ที่ 2 (Imp. mill bin 2)	6.1675×10^6	3.8763×10^6	93.52	282.00
			รวม 389.09	1,173.00

* ราคาเชื้อเพลิง (น้ำมันเตาใช้ 2.960 บาท/ลิตร หรือ 3.020 บาท/กิโลกรัม)

ตารางที่ 6.3 แสดงปริมาณการลงทุนและผลที่ได้รับเมื่อดำเนินมาตรการปรับปรุงที่ระบบย่อย 1 (Subprocess 1)

อุปกรณ์	พื้นที่ของอุปกรณ์ (เมตร^2)	ราคาของฉนวนที่ใช้[1] (บาท)	ราคาพลังงานที่จะประหยัดได้ (บาท/ปี)	ระยะเวลาคืนทุน[2] (ปี)
1. อุปกรณ์ลำเลียงแร่ที่ 1 (Bucket elevator 1)	25.2018	10,080.00	2,376.00	4.2
2. ถังเก็บแร่ที่ 1 (Gypsum bin 1)	56.172	22,468.00	5,316.00	4.2
3. อุปกรณ์ลำเลียงแร่ที่ 2 (Bucket elevator 2)	35.2638	14.105.00	3,000.00	4.7
4. ถังเก็บแร่ที่ 2 (Imp. mill bin 2)	44.730	17,892.00	3,384.00	5.3
		รวม 64,545.00	14,076.00	4.6

(1) ฉนวนราคาประมาณ 400 บาท/เมตร^2

(2) ในการคำนวณไม่ได้คำนึงถึงการเสื่อมราคาและดัชนีของเงิน

6.2.2 ข้อเสนอแนะในขั้นตอนปรับปรุงเล็กน้อย

1. ควรจะมีการปรับอัตราการเผาไหม้ของอากาศกับเชื้อเพลิงให้เหมาะสม โดยมีการวัดปริมาณ O_2 ในก๊าซร้อนทิ้ง (flue gas) เช่น ที่หม้อไอน้ำ ถ้าให้อัตราส่วนของอากาศ (air ratio) ลดลงเป็น 1.25 ปริมาณความร้อนจะลดลงจากก๊าซร้อนทิ้งจาก 8.81% เป็น 7.96% ได้ เมื่อพิจารณาในแง่ปริมาณของเชื้อเพลิงจะประหยัดเชื้อเพลิงได้ 6.34 kg/h หรือ 4,260 kg/month เมื่อคิดเป็นเงินจะประหยัดได้ 12,866 บาท/เดือน

2. ทำการอุ่นอากาศล่วงหน้า เมื่อใช้ในการอุ่นบอร์ดก่อนจะเข้าเตาอบบอร์ด ซึ่งแหล่งความร้อนที่จะนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้มี 2 แหล่งความร้อน คือ

1. จากไอน้ำทิ้ง (flash steam) ในอัตรา 500 kg/h ที่ 13 bar จากถังเก็บคอนเด็นเสท
2. จากลมร้อนทิ้งจากเตาอบบอร์ดที่อุณหภูมิ 139°C

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของแหล่งให้ความร้อนทั้ง 2 แหล่งแล้ว พบว่าถ้ามองในแง่การถ่ายเทความร้อน (heat transfer) กรณีของไอน้ำปล่อยทิ้งจะดีกว่าลมร้อนจากเตาอบบอร์ด เพราะในกรณีของไอน้ำ เมื่อผ่านเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (h) สูง ดังนั้น ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะติดฟิน (fin) เพียงด้านเดียวคือด้านอากาศ ดังนั้นเครื่องจะเล็กเมื่อทำการลงทุน เมื่อขนาดของเครื่องเล็ก การลงทุนก็จะน้อยตามด้วย ในขณะที่ถ้าใช้แหล่งความร้อนจากลมร้อนจำเป็นจะต้องติดฟิน (fin) เข้ากับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสองด้าน คืออากาศร้อนด้านหนึ่งและอีกด้านหนึ่งคือ อากาศเย็น ทำให้มีการลงทุนที่สูงและขนาดของเครื่องก็ใหญ่ด้วย และอีกเหตุผลหนึ่งที่จะใช้เป็นตัวตัดสินในการเลือกแหล่งความร้อน คือปริมาณของไอน้ำทิ้งนั้นมีปริมาณมากพอในการให้ความร้อน และอีกอย่างคือ ตำแหน่งของแหล่งความร้อนอยู่ใกล้และเหมาะสมกับทางลำเลียงของบอร์ด ซึ่งจะทำให้การลงทุนในการติดตั้งท่อ (pipe) นั้นน้อยลงตามระยะทางด้วย

อนึ่ง รูปแบบจำลองอย่างง่ายของข้อเสนอแนะในการอบแผ่นบอร์ดล่วงหน้าด้วยอากาศร้อนนี้ แสดงไว้ในรูป 6.7

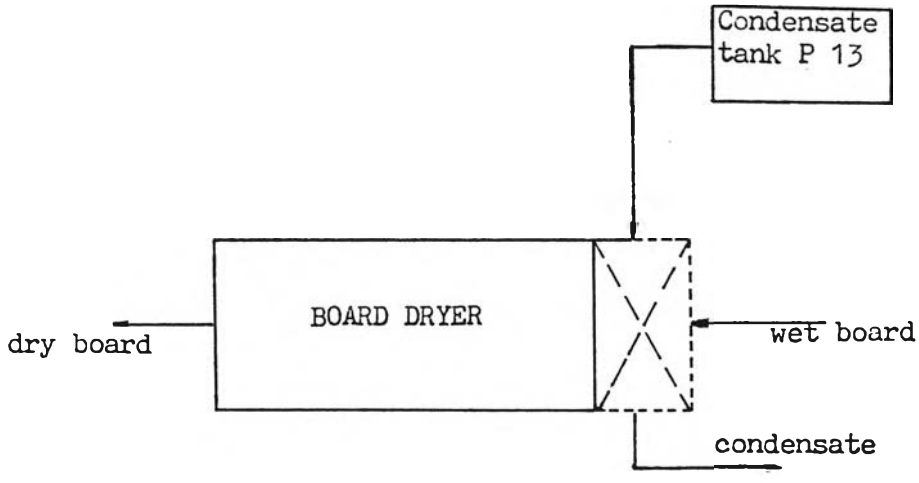


Fig 6.7 Proposed model for Preheating Board

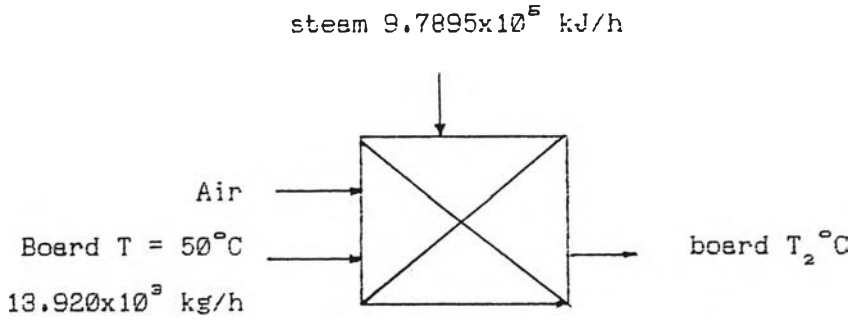
ในการคำนวณ: จำนวนของไอน้ำทั้งปริมาณ 500 kg/h

ที่ความดัน 13 bar, h_{fg} = 1,957.8953 kJ/kg K

ดังนั้น ปริมาณความร้อนที่จะนำไปใช้งานเป็น

= 500 x 1,957.8953

= 9.7895×10^5 kJ/h



บอร์ดน้ำหนัก = 13.920×10^3 kg/h

C_p ของบอร์ด = 1.137 kJ/kg K

C_p ของอากาศที่ 100°C = 1.0094 kJ/kg K

บอร์ดน้ำหนัก = 13.920×10^3 kg/h

C_p ของบอร์ด = 1.137 kJ/kg K

C_p ของอากาศที่ 100°C = 1.0094 kJ/kg K

ปริมาณความร้อนจากไอน้ำ = ปริมาณความร้อนที่อุ่นอากาศจาก 30°C ถึง 120°C

นั่นคือ $9.7895 \times 10^5 = m_{air} \times 1.0094 \times (120-30)$

m_{air} = 10,775.9 kg/h หรือ 8,335.3 m^3_N/h

นั่นคือ มวลของอากาศในการอุ่นบอร์ดเป็น 10,775.9 kg/h

จากอากาศจำนวน 10,775.9 kg/h อุณหภูมิที่ 120°C ใช้อุ่นบอร์ดจนอุณหภูมิลดลด T_1 °C ขณะที่อุณหภูมิของบอร์ดเพิ่มจาก 50°C เป็น T_2 เขียนด้วยสมการดังนี้

สมการ: $10,775.9 \times 1.0094 \times (120-T_1) = 13,920 \times 1.137 \times (T_2-50)$

จากการทำ trial & error: T_1 = 101°C และ T_2 = 63°C

นั่นคือเมื่อทำการอุ่นบอร์ดก่อนเข้าเตาอบจากความร้อนจากไอน้ำทิ้งแล้ว จะสามารถอุ่นบอร์ดให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจาก 50°C เป็น 63°C ได้ ผลจากข้อเสนอแนะของการทำอุ่นบอร์ดก่อนเข้าเตาอบนี้จะทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้ โดยคิดเป็นจำนวนน้ำมันที่ประหยัดได้ 4.96 kg/h หรือคิดเป็นเงิน 14.99 บาท/ชม. หรือ 10,073.75 บาท/เดือน

6.3 การปรับปรุงกระบวนการผลิต

จากข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานแห่งนี้ มีปริมาณการใช้พลังงานโดยเฉลี่ยเป็นดังนี้ ในปีค.ศ.1985 โรงงานใช้ไฟฟ้าในกระบวนการเป็น 3.41% ของพลังงานทั้งหมด และใช้น้ำมันเตา 96.59% ในปี 1986 ใช้พลังงานจากไฟฟ้าเป็น 96.57% น้ำมันเตา 3.43% ถึงปี 1987 มีการใช้ไฟฟ้าเป็น 96.53% และการใช้น้ำมันเตาเป็น 3.47% จะเห็นได้ว่าโรงงานแห่งนี้มีปริมาณการใช้น้ำมันเตาในอัตราที่สูงเฉลี่ย 96% เมื่อพิจารณาในด้านต้นทุนของการใช้พลังงานจะเป็นดังนี้

ราคาของน้ำมันเตา 87.37% ของราคาทั้งหมด

และราคาของไฟฟ้า 12.63% ของราคาทั้งหมด

ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต อาจจะปรับปรุงโดยเพิ่มกำลังการผลิตหม้อไอน้ำจาก 10 t/h เป็น 10 t/h ที่ความดันสูง 60 bar นั่นคือ จะทำได้โดยต้องเปลี่ยนหม้อไอน้ำใหม่ ค่าลงทุนสูงมาก แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อได้ไอน้ำความดันสูงที่ 60 bar สามารถที่จะนำมาผลิตไฟฟ้าขึ้นใช้เองในโรงงาน โดยใช้ไอน้ำความดันสูงเปลี่ยนเป็นไฟฟ้าจากเครื่องผลิตไฟฟ้าแบบกังหัน (Turbogenerator) จากนั้นจะได้ไอน้ำความดันต่ำ (17.5 bar) ไปใช้ในกระบวนการอบแผ่นบอร์ด แต่จากแนวทางที่เสนอแนะนี้ เมื่อพิจารณาจากปริมาณการใช้ไฟฟ้าและน้ำมันเตาในโรงงานแล้ว ผลการคุ้มทุนคงไม่เป็นที่น่าพอใจ เพราะการลงทุนอยู่ในสัดส่วนที่สูง ลองพิจารณาจากตัวเลขที่จะแสดงดังต่อไปนี้

หม้อไอน้ำราคาประมาณ (รวมภาษี)	23,902,316.53	บาท
เครื่องผลิตไฟฟ้าแบบกังหัน (รวมภาษี)	16,731,621.57	บาท

ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากไอน้ำความดัน 60 bar ในปริมาณ 10 t/h (เดินเครื่องเต็มที่) ให้ได้ไอน้ำความดัน 17.5 bar จำนวน 10 t/h จะได้ปริมาณไฟฟ้าเป็น 183.75 kW (ถ้าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องผลิตไฟฟ้าเป็น 90%)

ไอน้ำยิ่งยวดที่ 60 bar และ T = 350°C

มีเอ็นธัลปี	h_g	=	3,043.0	kJ/kg
	s_g	=	6.3335	kJ/kg.K
ไอน้ำที่ 17.5 bar มี	h_g	=	2,798.00	kJ/kg
	s_g	=	6.3658	kJ/kg.K

ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องปั่นไฟฟ้า

$= 10 \times 10^3 \times (3,043-2,798.00) \times 0.90$

$= 2.2050 \times 10^6$ kJ/h

$= 183.75$ kW

จากผลการคำนวณแล้ว ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ไม่คุ้มทุนกับที่ลงทุน ซึ่งเป็นเงินจำนวนมากถึง 40 ล้านบาท แต่ถ้าพิจารณาระยะเวลาคืนทุนจะเป็น 22.32 ปี ดังนั้นข้อเสนอแนะนี้ไม่เหมาะสมกับสภาพปัจจุบันของโรงงาน