

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 14
2-3 พฤศจิกายน 2543 โรงแรม โนโวเทล เชียงใหม่

การใช้เครื่องเป่าเถ้าเพื่อทำความสะอาดผิวท่อของหม้อไอน้ำ ในโรงไฟฟ้าแม่เมาะ

Soot Blower Operation for Boiler Tube Cleaning In Mae Moh Power Plant

เชิดชัย วิชา และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
เชียงใหม่ 50200

โทร 053-944144, โทรสาร 053-944145, E-Mail : tanong@mech.dome.eng.cmu.ac.th

Cherdchai Wicha and Tanongkiat Kiatsirirot
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering Chiang Mai University
Chiang Mai 50200, Thailand

Tel : 053-944144 Fax : 053-944145, E-Mail : tanong@mech.dome.eng.cmu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาหารูปแบบการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานความร้อนของเถ้าที่เกาะสะสมตัวบนผิวท่อในหม้อกำเนิดไอน้ำ ที่ใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิง และหาแนวทางการใช้เครื่องเป่าเถ้าเพื่อทำความสะอาดผิวท่อ จากการศึกษาพบว่า รูปแบบการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานความร้อนของเถ้า จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลา และเริ่มค่อยๆคงที่เมื่อเข้าใกล้ค่าสูงสุด การเกาะสะสมตัวของเถ้าบริเวณ Furnace zone จะมีอัตราเร็วกว่าบริเวณ Convection zone ทำให้ต้องใช้ความถี่ในการเป่าทำความสะอาดที่สูง คือ 22 ครั้งต่อวัน ส่วนบริเวณ Convection zone จะต้องใช้เครื่องเป่าเถ้าเพื่อทำความสะอาดที่ SH. horizontal high temp. ass'y, SH. horizontal low temp. ass'y, RH. horizontal ass'y, Economizer interm./lower ass'y และ Economizer upper ass'y ด้วยความถี่ 10, 4, 4, 3 และ 2 ครั้งต่อวันตามลำดับ จะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดประมาณ 62,537 บาทต่อวัน สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ ประมาณ 284,475 บาทต่อวัน หรือประมาณ 93,307,800 บาทต่อปี คิดเป็นถ่านหินลิกไนต์ที่ประหยัดได้ 171,838 ตันต่อปี หรือประมาณ 8.13 % ของราคาเชื้อเพลิงที่ใช้ทั้งหมด

Abstract

This research is to study the effect of ash deposition on thermal resistance of coal-fired boiler tubes in Mae Moh power plant. The suitable frequency in using soot blower for cleaning up the boiler tube surfaces is considered. From the study, the thermal resistance increases with time and becomes nearly constant when it closed the maximum limit. The ash deposition rate in the furnace zone is higher than that in the convection zone and the optimal frequency in using its soot blower is 22 times/day while those of the soot blowers at the SH. horizontal high temp. ass'y, SH. horizontal low temp. ass'y, RH. horizontal ass'y, Economizer interm./lower ass'y and Economizer upper ass'y should be at 10, 4, 4, 3 and 2 times/day respectively. The operating cost estimated is amount 62,537 Baht/day and the operating cost could be saved of 284,475 Baht/day or 93,307,800 Baht/year. On the other words, it saves lignite consumption for 171,838 ton/year that is 8.13 % of the total fuel cost.

1. บทนำ

หม้อกำเนิดไอน้ำของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จะใช้ถ่านลิกไนต์จากเหมืองแม่เมาะเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งจะมีค่าความร้อน (Heating Value) ต่ำ มีปริมาณความชื้น (Moisture), ซัลเฟอร์ (Sulphur) และเถ้า (Ash) ค่อนข้างสูง (High Heating Value = 2,200 - 2,817 kcal/kg, Moisture = 32 %, Sulphur = 1.7 %, Ash = 22-26 %) จากคุณสมบัติดังกล่าวมีผลทำให้การสะสมตัวของเถ้าบนผิวท่อสูง ทำให้เกิดปัญหาในการเดินเครื่อง โดยเถ้าที่เกาะสะสมตัวบนผิวท่อนั้น จะเป็นตัวการเพิ่มค่าความต้านทานความร้อน (Heat Resistance) ที่ผิวท่อขัดขวางการถ่ายเทความร้อนจากก๊าซร้อน (Hot gas) ไปยังน้ำหรือไอน้ำ ที่อยู่ภายในท่อทำให้ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้น้อยกว่าสภาพปกติ ส่งผลให้ต้องเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงมากขึ้นเพื่อจะได้ปริมาณไอน้ำตามที่ต้องการ จึงทำให้เกิดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง จากปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าว จึงทำให้หม้อกำเนิดไอน้ำที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง ต้องมีอุปกรณ์ที่ใช้ทำความสะอาดผิวท่อเมื่อมีการสะสมตัวของเถ้าขึ้น ซึ่งเรียกอุปกรณ์ดังกล่าวว่า เครื่องเป่าเถ้า (Soot Blower) แต่ในปัจจุบันในหม้อกำเนิดไอน้ำยังไม่มีตัวที่บ่งบอกถึงปริมาณเถ้าที่เกาะบนผิวท่อในแต่ละพื้นที่ ทำให้พนักงานเดินเครื่อง (Operator) ใช้เครื่องเป่าเถ้าไม่เหมาะสมกับปริมาณเถ้าที่เกาะบนผิวท่อ หรือไม่เป็นไปตามความเป็นจริง เป็นผลให้สิ้นเปลืองปริมาณไอน้ำ (Steam) ที่ใช้ในการเป่าทำความสะอาดเถ้าบนผิวท่อ ส่งผลให้ท่อ Boiler Tube บริเวณที่เป่ามากเกินไปเกิดการสึกกร่อน (Erosion) และบริเวณที่เป่าทำความสะอาดน้อยไม่สะอาดเกิดปัญหาการผุกร่อน (Corrosion) เป็นสาเหตุทำให้ท่อ Boiler Tube เกิดแตกเสียหายในเวลาต่อมา

ด้วยเหตุดังกล่าว จึงได้ทำการศึกษาถึงการเกาะตัวของเถ้าบนผิวท่อ ที่แต่ละสภาวะการเดินเครื่อง โดยใช้ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน มาเป็นตัวตรวจวัด โดยการเก็บข้อมูลแล้วนำมาคำนวณหารูปแบบการเปลี่ยนแปลงความต้านทานความร้อนเทียบกับเวลาในแต่ละพื้นที่ จากรูปแบบการเกาะสะสมของเถ้าดังกล่าวจะนำไปประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์เพื่อวิเคราะห์หาความถี่หรือช่วงเวลาที่เหมาะสมในการใช้เครื่องเป่าเถ้า ซึ่งจะเป็นประโยชน์กับพนักงานเดินเครื่อง ในการนำไปพิจารณาการใช้ เครื่องเป่าเถ้า ให้เหมาะสมกับการเกาะตัวของเถ้าในแต่ละพื้นที่ ทำให้ลดปัญหาตามที่กล่าวมาแล้ว เพิ่มประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนของหม้อ

กำเนิดไอน้ำ และประหยัดค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิง และปริมาณไอน้ำที่ใช้ในการทำความสะอาดท่อ

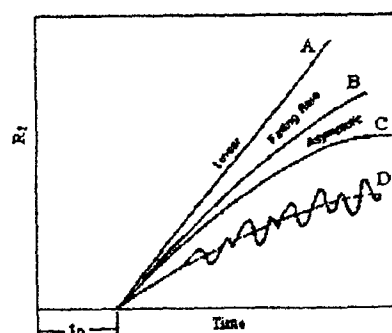
2. ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย

2.1 รูปแบบการสะสมตัวของเถ้าบนผนังท่อ

ในหม้อกำเนิดไอน้ำ (Boiler) ที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง Fouling ที่เกิดขึ้นจะเป็นแบบ Particulate Fouling ซึ่งเป็นอนุภาคของของแข็งที่แขวนลอยอยู่ในของไหล ไปเกาะสะสมบนพื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อมี Unburnt Fuel หรือ Ashes ถูกพัดพามาในกาซเผาไหม้ ขนาดและรูปร่างของอนุภาค จะมีขนาดตั้งแต่ต่ำกว่าไมโครเมตร จนถึงขนาดประมาณ 2-3 มิลลิเมตร Particulate Fouling ที่พบได้แก่ Sand, Muds, Corrosion Debris, Dust ใน Gas Stream รวมถึง Ashes ใน Combustion Gas ด้วย การเกาะสะสมตัวสุทธิของ Deposit บนพื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อน ค่าอัตราการสะสมตัวของเถ้าจะขึ้นกับ อัตราการเกาะตัวของสิ่งสกปรก (Deposition Rate, ϕ_d) กับอัตราการหลุดร่วง (Removal Rate, ϕ_r) ของเถ้าหรือสิ่งสกปรก (Deposit) ซึ่งจะได้ตามสมการ [2] ดังนี้

$$\frac{dR_f}{dt} = \phi_d - \phi_r \quad (1)$$

โดยทั่วไปรูปแบบของการเกาะตัวของ Fouling บนผนังท่อจะมีด้วยกัน 4 แบบ คือ แบบ Linear (A), แบบ Falling Rate (B), แบบ Asymptotic (C), แบบ Sawtooth Configuration (D) รูปแบบทั้งหมดจะเป็นแฟกเตอร์กับเวลาตามที่แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงรูปแบบของการเกาะสะสมตัวของ Fouling [3]

รูปแบบที่ใช้อธิบายการเกิด Fouling อย่างกว้างขวาง คือ Asymptotic Fouling ดังแสดงในกราฟรูปแบบ C กรณีดังกล่าว จะเกิดเมื่ออัตราการเกาะสะสมตัว มีค่าคงที่ และอัตราการหลุดร่วง เป็นสัดส่วนกับขนาดชั้นความหนาของ Fouling และถือว่าแรงเฉือนระหว่างชั้น มีค่าลดลงตามเวลา และถือว่า ขบวนการระหว่างชั้นมีค่าน้อยไม่นำมาพิจารณา สมมุติให้ ฟังก์ชันของอัตราการหลุดร่วง ($\dot{O}_r$) เป็นสัดส่วนกับค่าความต้านทานความร้อนของ Fouling หรือ Fouling Resistance ($\dot{O}_r = bR_f$) และฟังก์ชันการเกาะสะสมตัว (Deposition) มีค่าคงที่ ($\dot{O}_d = a$) ดังนั้นสมการที่ 1 จะเขียนได้ใหม่ดังสมการ

$$\frac{dR_f}{dt} = a - bR_f \quad (2)$$

เมื่อ a, b เป็นค่าคงที่ (Constant) ค่า Fouling Resistance จะได้เป็น

$$R_f = R_i (1 - e^{-\theta}) \quad (3)$$

เมื่อ $R_i = \text{Asymptotic Fouling Factor}$
 $= a / b$

$\theta = \text{Time Constant} = 1 / b$

3. วิธีการวิจัย

3.1 หม้อกำเนิดไอน้ำที่ทำการศึกษา

โครงการนี้จะทำการศึกษเกี่ยวกับการสะสมตัวของเถ้า (Ash) ในหม้อกำเนิดไอน้ำ ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ หน่วยที่ 10 ขนาดกำลังผลิต หน่วยละ 300,000 kW โดยมีข้อมูลทางด้านเทคนิคดังนี้

Type :	Force Circulation Boiler (Water Tube Boiler)
Steam Production	250 kg/s
Steam Pressure	167 bar(g)
Steam Temperature	540 °C
Lignite Consumption	300 Ton/hr
	(Maximum Load)
Total Combustion Air	365 kg/s

ถ่านหินที่ใช้เป็นถ่านหินลิกไนต์จากเหมือง มีค่า Coal Fineness 70-75 % ผ่านตะแกรง 200 mesh ค่า Burner

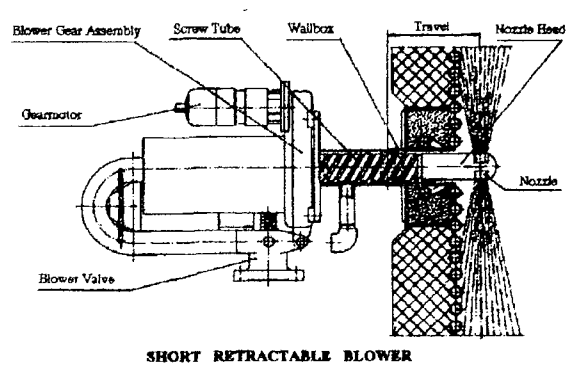
Tilting Position -5 ถึง +5 องศา ค่า Excess Air 20 % ที่ บริเวณพื้นที่ Furnace Zone และ บริเวณแผง Convection Zone (Superheater Coil, Reheater Coil และ Economizer Coil)

3.2 เครื่องเป่าเถ้า (Soot Blower)

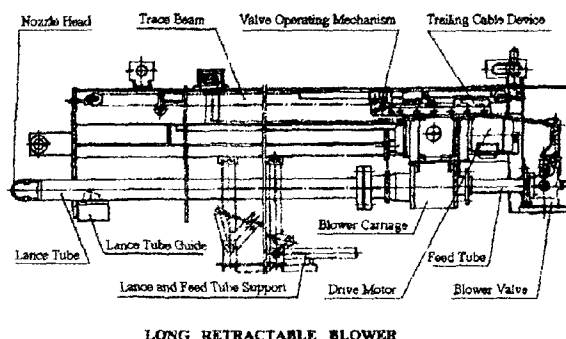
หม้อกำเนิดไอน้ำของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ หน่วยที่ 8-11 จะมีเครื่องเป่าเถ้า ทั้งหมด 182 ตัวต่อหน่วย โดยแยกเป็น เครื่องเป่าเถ้า ที่ทำความสะอาดผนังเตาบริเวณ Furnace Zone จำนวน 98 ตัว ซึ่งเรียกว่า Short Retracting Blower และเครื่องเป่าเถ้า ที่ทำความสะอาด Superheater Coil, Reheater Coil และ Economizer Coil หรือ Convection Zone มีจำนวน 84 ตัว จะเรียกว่า Long Retracting Blower ดังแสดงในรูป 2 และ 3 สำหรับข้อมูลของเครื่องเป่าเถ้าแต่ละแบบ จะแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลของเครื่องเป่าเถ้าในหม้อกำเนิดไอน้ำ

Soot Blower	Short Retracting Blower	Long Retracting Blower
1. Type	V58	RKS81E
2. Number	98 EA.	84 EA.
3. Power per blower	0.25 kW	0.75 kW
4. Blower Travel	-	7415 mm.
5. Blowing Time/Blower	10 sec.	390 sec.
6. Operational Time	36 sec.	406 sec.
7. Steam Condition	174 bar, 405 °C	174 bar, 405 °C
8. Blowing Pressure	10.34 bar	5 - 12 bar
9. Speed of Motor	1410 rpm.	1390 rpm.



รูปที่ 2 เครื่องเป่าเถ้า Short Retracting Blower Type V58



LONG RETRACTABLE BLOWER

รูปที่ 3 เครื่องเป่าแก้ว Long Retracting Blower
Type RKS 81 E

3.3.1.1 Furnace Zone

คำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อน ซึ่งหาได้จากสมการ

$$Q_{WALL} = UA \Delta T = UA (T_g - T_w) \quad (4)$$

$$\text{และ } Q_{WALL} = \dot{m} \times Q_L \quad (5)$$

เมื่อ Q_L = ค่าความร้อนแฝงกลายเป็นไอ
(Latent Heat) (kJ/kg)

$$T_w = T_{sat}$$

ดังนั้น จากสมการ (4) และ (5) จะได้ ค่า Heat
Resistance (R_f) ดังนี้

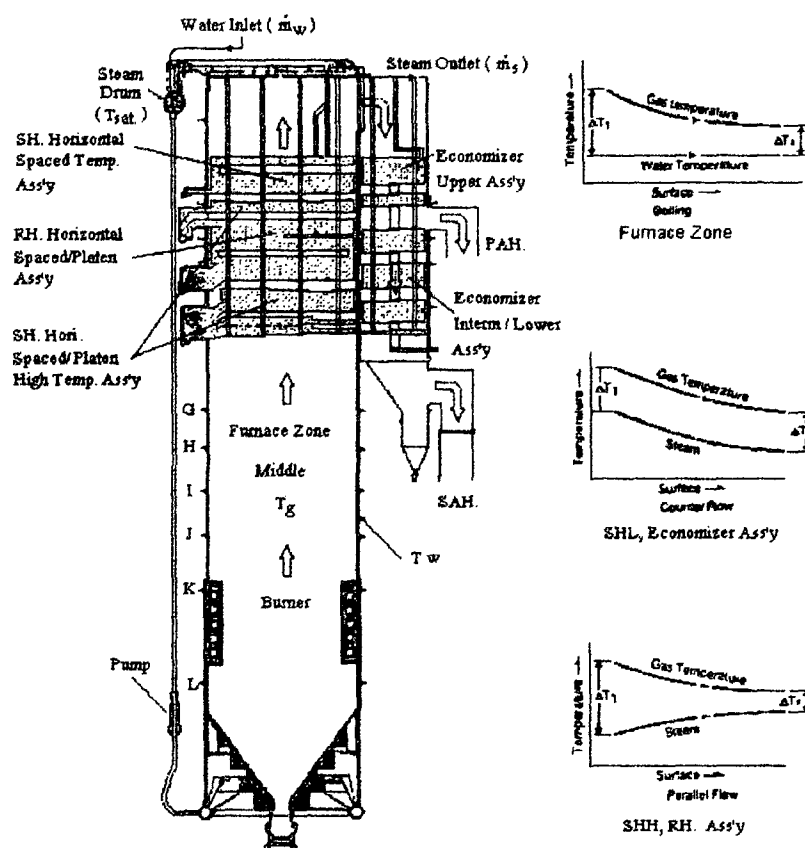
$$R_f = \frac{1}{UA} = \frac{(T_g - T_{sat})}{\dot{m} \times Q_L} \quad (6)$$

3.3 วิธีการวิจัย

3.3.1 ค่าความต้านทานความร้อน (Heat Resistance, R_t)

ของแก้ว (Ash) ที่เกาะบนผนังท่อ Boiler Tube โดยการแยก
พิจารณาแก้วที่บริเวณ Furnace Zone หรือ Water Wall
Tube (Radiation Zone) และบริเวณ Superheater Coil,
Reheater Coil และ Economizer Coil (Convection Zone)

ดังรูปที่ 4 โดยแยกพิจารณาที่บริเวณต่างๆ ดังนี้



รูปที่ 4 โรงไฟฟ้าแม่เมาะ หน่วยที่ 8-11

3.3.1.2 Convection Zone

แยกพิจารณาออกเป็นพื้นที่ใหญ่ๆ ได้ 4 พื้นที่ Economizer Ass'y, SH. Horizontal Spaced Low Temp. Ass'y, RH. Horizontal Spaced/Platen Ass'y และ SH. Horizontal Spaced/Platen High-Temp. Ass'y โดยจะทำการเก็บข้อมูล อุณหภูมิ ความดันและอัตราการไหล ของไอน้ำและก๊าซร้อนที่สภาวะเข้า-ออก ในแต่ละพื้นที่ เพื่อนำมาคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อน (R_t) ดังนี้

$$\text{จาก } Q = \dot{m}_s C_p (T_{s,out} - T_{s,in}) \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{และ } Q &= UA \Delta T_m \\ &= UA \frac{(\Delta T_1 - \Delta T_2)}{\ln (\Delta T_1 / \Delta T_2)} \end{aligned}$$

จะได้ค่า Heat Resistance (R_t) ดังนี้

$$\begin{aligned} R_t &= \frac{1}{UA} \\ &= \frac{(\Delta T_1 - \Delta T_2)}{\ln (\Delta T_1 / \Delta T_2) \cdot \dot{m}_s C_p (T_{s,out} - T_{s,in})} \end{aligned} \quad (8)$$

3.3.2 รูปแบบการสะสมตัวของเถ้าบนผนังท่อ

การหารูปแบบของการเกิดเถ้าสะสมตัวบนผนังท่อในหม้อกำเนิดไอน้ำ (Boiler) จะใช้สมการ (2) และ (3) โดยจะนำค่า Heat Resistance (R_t) ที่คำนวณได้จาก 3.3.1 มาเฉลี่ยหาการเปลี่ยนแปลงของ R_t เทียบกับเวลา ตั้งแต่สภาวะสะอาดจนถึงสภาวะที่มีเถ้าเกาะสะสมบนผิวท่อ เมื่อนำมาวิเคราะห์หาการเปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา (Math Model) จะได้ดังสมการที่ 9 และรูปแบบดังกล่าวเมื่อนำมาเขียนกราฟจะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง R_t กับเวลา ดังรูปที่ 5

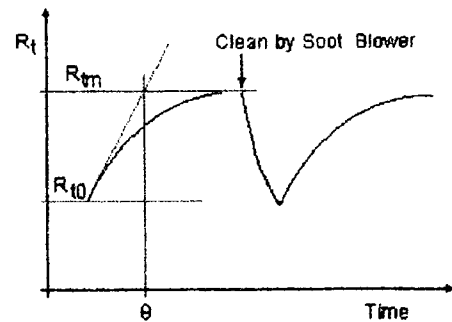
$$\begin{aligned} R_t &= R_f + R_{t0} \\ &= \dot{R}_f (1 - e^{-\theta}) + R_{t0} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\text{และ } \dot{R}_f = R_{tm} - R_{t0}$$

เมื่อ R_{t0} = ค่าความต้านทานความร้อน

ที่สภาวะเตาสะอาด ($t = t_0$)

R_{tm} = ค่าความต้านทานความร้อนที่สภาวะเตามีเถ้าสะสมมากที่สุด ($t = t_m$)



รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง R_t กับ เวลา

3.3.3 ความถี่ในการใช้เครื่องเป่าเถ้า

ทำการพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น ในด้านการใช้เชื้อเพลิงและความสิ้นเปลืองไอน้ำในการทำความสะอาดท่อเมื่อมีเถ้า (Ash) เกาะบนผิวท่อ ตามรูปแบบการเกาะสะสมตัวของเถ้าที่ได้จากการวิเคราะห์ เพื่อกำหนดมาตรการในการทำความสะอาดเถ้า ที่เกาะสะสมในแต่ละพื้นที่ของหม้อกำเนิดไอน้ำ (Boiler) โดยประเมินค่าความถี่หรือช่วงเวลา (Period) ในการทำความสะอาด ที่เหมาะสม

3.3.3.1 ค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องเป่าเถ้า ($Cost_{soot}$)

ค่าใช้จ่ายในการทำความสะอาดท่อของหม้อกำเนิดไอน้ำ โดยใช้เครื่องเป่าเถ้า จะมาจากค่าพลังงานไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องเป่าเถ้า ค่าใช้จ่ายจากไอน้ำที่ใช้เป่าทำความสะอาดท่อ และค่าบำรุงรักษาเครื่องเป่าเถ้า

ค่าใช้จ่ายจากพลังงานไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องเป่าเถ้า ($Cost_E$)

$$\begin{aligned} Cost_E &= W_{motor} \cdot C_E \\ &= (N_1 \cdot N_2 \cdot P_E \cdot Time) \cdot C_E \end{aligned} \quad (10)$$

เมื่อ N_1 = จำนวนครั้งในการเป่า

N_2 = จำนวนเครื่องเป่าเถ้าที่ใช้งาน

P_E = กำลังที่ใช้ใน Motor (kW)

Time = เวลาที่ใช้ในการเป่าเถ้าต่อตัว (h)

C_E = ค่ากระแสไฟฟ้าต่อหน่วย kWh

= 1.7385 บาท / kWh

ค่าใช้จ่ายจากไอน้ำที่ใช้เป่าทำความสะอาดท่อ ($Cost_S$)
คำนวณจาก

$$Cost_S = Cost_Q + Cost_w \quad (11)$$

$$= \frac{m_{soot} (h_s - h_f) \cdot C_L + m_{soot} \cdot C_w}{LHV}$$

เมื่อ $Cost_Q$ = ค่าเชื้อเพลิงที่ให้กับไอน้ำ

$Cost_w$ = ค่าใช้จ่ายของปริมาณน้ำ

m_{soot} = ปริมาณไอน้ำที่ใช้ทำความสะอาด (kg)

h_s = Enthalpy ของไอน้ำ (kJ/kg)

h_f = Enthalpy ของน้ำที่เข้าไปใน
หม้อกำเนิดไอน้ำ (kJ/kg)

LHV = Low Heating Value (kJ/kg)

C_L = ราคาถ่านหิน = 543 บาท/Ton

C_w = ราคาของน้ำ = 42.03 บาท/1000 kg

ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องเป่าแก้ว ($Cost_M$) หาได้
จากสมการ

$$Cost_M = N_1 \cdot N_2 \cdot C_M \quad (12)$$

เมื่อ C_M = ค่าการบำรุงรักษาต่อการใช้งานหนึ่งครั้ง
($C_M = 5.07$ บาท/ครั้ง สำหรับ Short Retracting Blower และ
 $C_M = 32.20$ บาท/ครั้ง สำหรับ Long Retracting Blower)

ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องเป่าแก้ว ($Cost_{soot}$) หาได้จาก

$$Cost_{soot} = Cost_E + Cost_S + Cost_M \quad (13)$$

3.3.3.2 ค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงเมื่อมีเต้าสะสม

หาได้จากค่าพลังงานความร้อนที่ไซเพิ่มขึ้นเมื่อมีการ
สะสมของเต้า

$$Cost_f = \frac{(Q_{gas} / LHV) \times C_L}{t} \quad (14)$$

$$\text{โดย } Q_{gas} = \dot{m}_g C_{pg} q_w \int_0^t R_f (1 - e^{-\theta}) dt$$

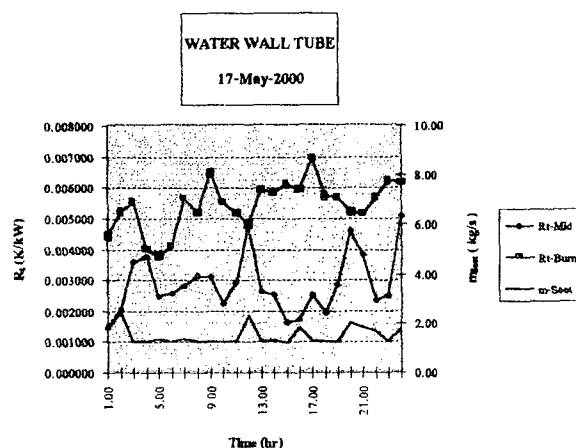
ดังนั้นจุดที่เหมาะสมในการใช้เครื่องเป่าแก้วคือจุดที่ทำให้เกิด
ค่าให้ใช้จ่าย ($Cost_{Total}$) น้อยที่สุด

นั่นคือ $Cost_{Total} = Cost_{soot} + Cost_f$ มีค่าต่ำสุด

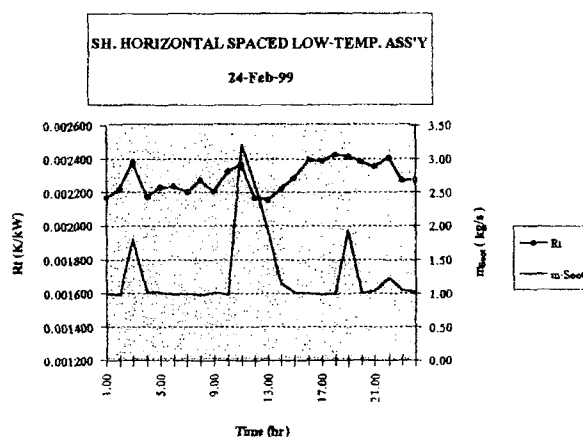
4. ผลการวิจัย

4.1 ค่า Heat Resistance (R_f)

จากการคำนวณจะได้ค่า Heat Resistance ที่บริเวณ
Furnace Zone และ Convection Zone ดังแสดงในรูปที่ 6, 7
เมื่อทำการใช้เครื่องเป่าแก้วทำความสะอาดค่า Heat
Resistance จะลดลงมาที่ค่าต่ำสุด (R_0) เมื่อหยุดทำความสะอาด
ค่า Heat Resistance จะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนเข้าใกล้ค่าสูง
สุด (R_{tm})



รูปที่ 6 ค่า Heat Resistance (R_f) for Furnace Zone



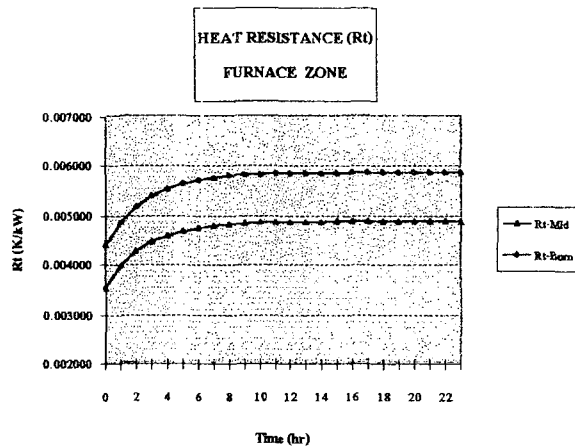
รูปที่ 7 ค่า Heat Resistance (R_f) for Convection Zone

4.2 รูปแบบการสะสมตัวของเต้า

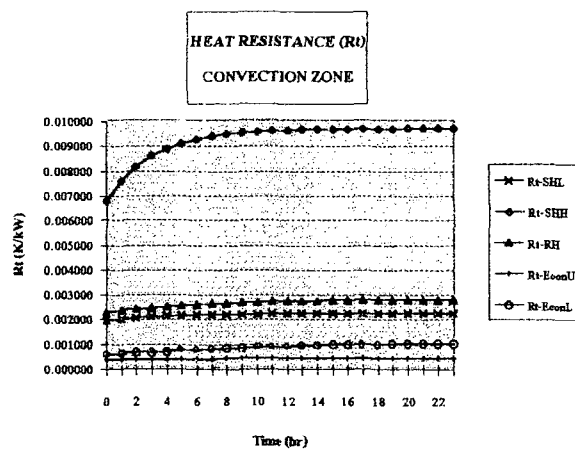
จากค่าความต้านทานความร้อน (Heat Resistance ,
 R_t) ที่ได้จาก 4.1 ในแต่ละพื้นที่ เมื่อนำมาวิเคราะห์หาการ
เปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นตามเวลา จะได้ผลดังรูปที่ 8, 9 จาก
Math Model ตามสมการ $R_f = R_f (1 - e^{-\theta}) + R_0$
ค่าตัวแปรต่างๆ เมื่อทำการวิเคราะห์แล้วได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2. Math Model of Heat Resistance (R_f , (K/kW))

Furnace/Convection Zone	R_f ($\times 10^{-3}$)	R_{10} ($\times 10^{-3}$)	θ
1. Burner Area (Furnace)	1.47833118	4.38858462	2.64428789
2. Middle Area (Furnace)	1.33763079	3.53795455	2.53024471
3. Economizer Lower Ass'y	0.56500869	0.56516209	12.23288552
4. Economizer Upper Ass'y	0.03544667	0.39540476	3.60147566
5. SH. Low Temp. Ass'y	0.25835245	1.98379164	4.31584906
6. SH. High Temp. Ass'y	2.93133160	6.78305861	3.13662220
7. RH. Horizontal Ass'y	0.51534800	2.29026006	6.26270000



รูปที่ 8 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงค่า Heat Resistance (R_f)
for Furnace Zone

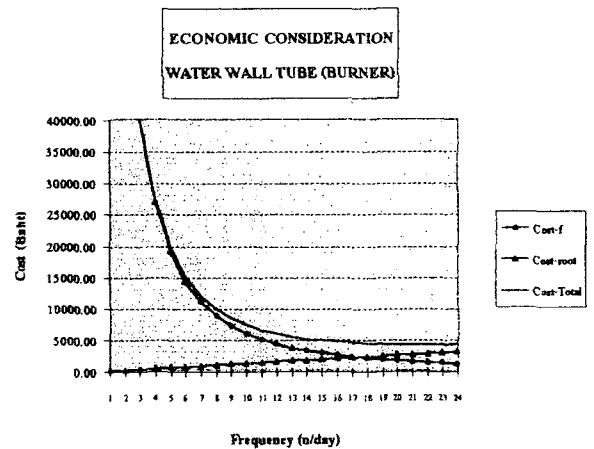


รูปที่ 9 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงค่า Heat Resistance (R_f)
for Convection Zone

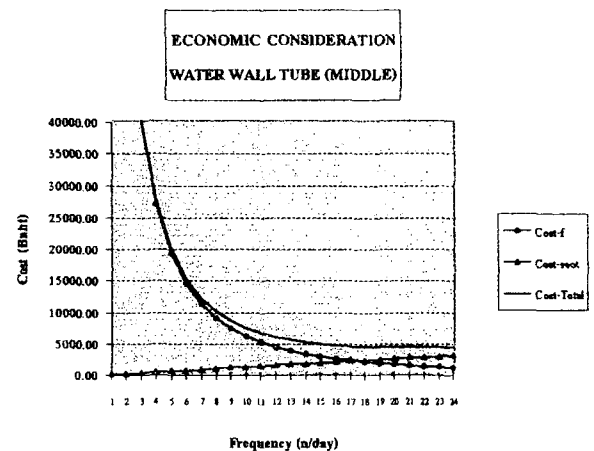
4.3 ความถี่ในการใช้เครื่องเป่า

จาก Math Model ของค่าความต้านทานความร้อน เมื่อ
นำมาประเมินหาจุดที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด ซึ่งจะนำ

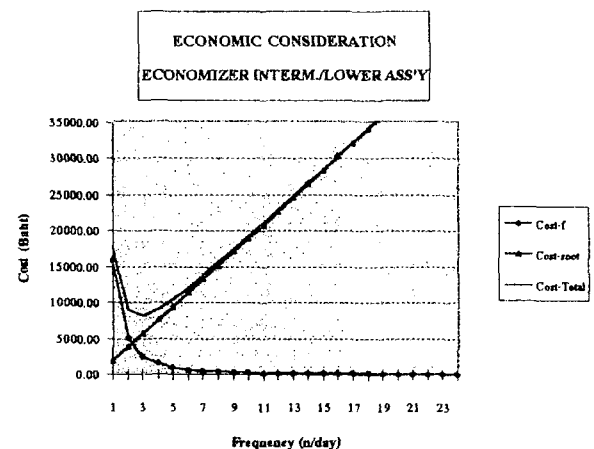
ไปกำหนดมาตรการการใช้เครื่องเป่าเข้าทำความสะอาดท่อ
ผลการประเมินแสดงดังรูปที่ 10 - 16



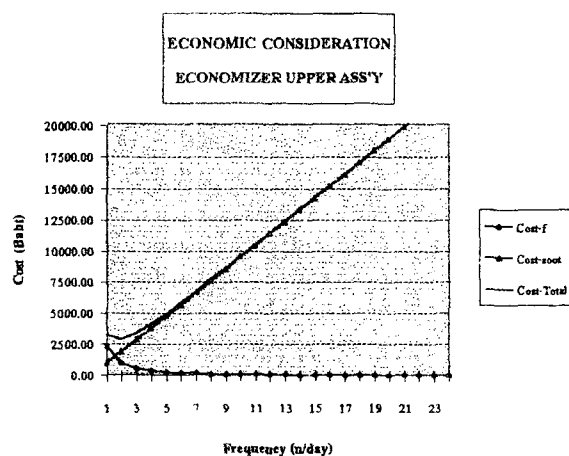
รูปที่ 10 การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ของ Burner Area
(Furnace Zone) ($n = 22$ Times/Day)



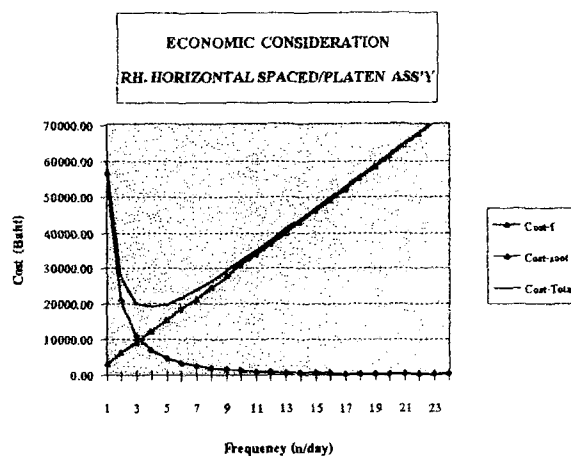
รูปที่ 11 การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ของ Middle
Area (Furnace Zone) ($n = 22$ Times/Day)



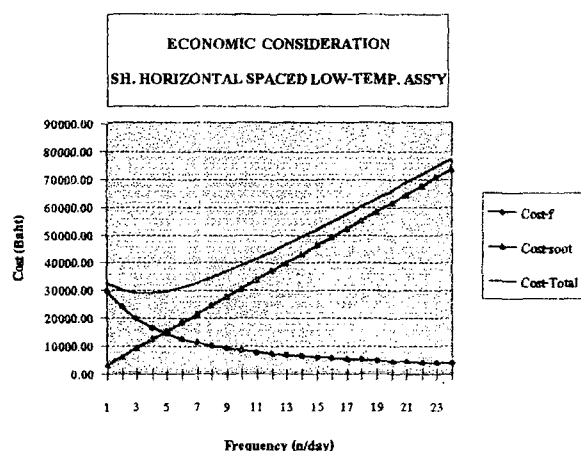
รูปที่ 12 การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ของ Economizer
Interm./Lower Ass'y ($n = 3$ Times/Day)



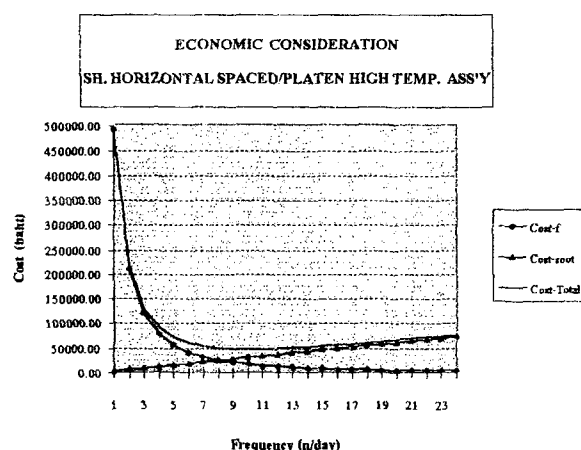
รูปที่ 13 การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ของ Economizer Upper Ass'y (n = 2 Times/Day)



รูปที่ 16 การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ของ RH Horizontal Ass'y (n = 4 Times/Day)



รูปที่ 14 การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ของ SH Horiz. Low Temp. Ass'y (n = 4 Times/Day)



รูปที่ 15 การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ของ SH Horiz. High Temp. Ass'y (n = 10 Times/Day)

จากกราฟรูปที่ 10 - 16 เมื่อนำมาหาจุดที่เหมาะสมในการใช้เครื่องเป่าแห้ง เพื่อหาค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องเป่าแห้งทำความสะอาดท่อ ได้ผลตามตารางที่ 3 โดยพบว่าค่าใช้จ่ายรวม ($Cost_{Total}$) เท่ากับ 115,452.35 บาทต่อ 24 ชั่วโมง ในหนึ่งวันจะเดินเครื่องตามสภาวะที่กำหนดได้ 13 ชั่วโมง ดังนั้นค่าใช้จ่ายรวมประมาณ 62,537 บาทต่อวัน ส่วนค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการใช้เครื่องเป่าแห้ง ในอดีตที่ผ่านมา จะได้ตามตารางที่ 4 โดยพบว่าค่าใช้จ่ายรวม ($Cost_{Total}$) เท่ากับ 640,637.50 บาทต่อ 24 ชั่วโมง ดังนั้นค่าใช้จ่ายรวมประมาณ 347,012 บาทต่อวัน

เมื่อทำการเปรียบเทียบตารางที่ 3 และ 4 ถ้าใช้เครื่องเป่าแห้งตามความถี่ที่เหมาะสมกับการเกาะสะสมตัวของถั่วตามรูปแบบการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานความร้อนแล้วจะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ประมาณ 284,475 บาทต่อวัน หรือประมาณ 93,307,800 บาทต่อปี คิดเป็นเชื้อเพลิงถ่านหินที่ประหยัดได้ 171,838 ตันต่อปี หรือประมาณ 8.13 % ของค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ทั้งหมด

ตารางที่ 3 ความถี่ที่เหมาะสมและค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องเป่าแห้งจากการวิเคราะห์

Heating Area (Purposes/Convection Zone)	n (Times/Day)	Q _h (GJ)	Cost _f (Baht)	Cost _r (Baht)	Cost _h (Baht)	Cost _{sh} (Baht)	Cost _{ss} (Baht)	Cost _{loss} (Baht)	% _{save} (%)
1. Purcase Burner Zone	22.0	29.24	1454.55	864.79	1.72	2007.72	2874.23	4328.79	7972.0
2. Purcase Middle Zone	22.0	30.02	1493.41	864.79	1.72	2007.72	2874.23	4367.65	8043.6
3. Econ. Internu./Lower Ass'y	3.0	50.40	2507.26	4128.60	6.76	1545.60	5680.96	8188.23	15079.6
4. Economizer Upper Ass'y	2.0	19.40	965.34	1376.20	2.25	515.20	1893.65	2859.00	5265.2
5. SH. Low Temp. Ass'y	4.0	333.80	16606.81	9684.37	11.27	2576.00	12271.64	28878.45	53183.1
6. SH. High Temp. Ass'y	10.0	343.76	17102.71	24210.92	28.18	6440.00	30679.10	47781.80	87996.0
7. RH. Ass'y	4.0	136.21	6776.80	9684.37	11.27	2576.00	12271.64	19048.44	35080.0
ECONOMIC	Mean	134.69	6700.98	7259.15	9.03	2524.03	9792.21	16493.19	30374.2
CONSIDERATION	Total	942.83	46906.89	50814.04	63.18	17668.24	68545.46	115452.35	232619.4

ตารางที่ 4 ความถี่ในการใช้เครื่องเป่าแก้วและค่าใช้จ่าย ในอดีตที่ปฏิบัติมา

Heating Area (Plasma/Convection Zone)	n	Q _p	Cost _p	Cost _h	Cost _{st}	Cost _{sk}	Cost _{ss}	Cost _{tot}	m _{1,rate}
	(Time/Day)	(GJ)	(\$/h)	(\$/h)	(\$/h)	(\$/h)	(\$/h)	(\$/h)	(g)
1. Furnace Burner Zone	6.0	287.62	14309.29	235.85	0.47	547.56	783.88	13093.18	27799.59
2. Furnace Middle Zone	6.0	291.85	14520.02	235.85	0.47	547.56	783.88	13303.91	28184.04
3. Room, Intern./Lower Assy	1.0	319.42	15891.32	1376.20	2.25	515.20	1893.65	17794.97	32753.53
4. Econometer Upper Assy	1.0	46.43	2309.79	688.10	1.15	257.68	946.83	3256.62	5907.57
5. SH Low Temp. Assy	1.0	595.90	29646.98	2421.09	2.82	644.00	3067.91	32713.59	60247.85
6. SH High Temp. Assy	1.0	9924.32	493747.40	2421.09	2.82	644.00	3067.91	496815.13	914045.43
7. BR Assy	1.0	1137.68	56801.02	2421.09	2.82	644.00	3067.91	59668.99	109887.57
PAST TIME	Min	1800.46	89757.06	1399.96	1.82	542.85	1944.57	91519.64	168544.41
	Total	12603.23	627023.53	9799.28	12.77	3799.92	13611.97	640637.50	1179811.51

5. สรุปผลการวิจัย

5.1 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานความร้อนของ
เตา ที่เกาะสะสมตัวบนผิวท่อ ในหม้อกำเนิดไอน้ำ หน่วยที่ 8-
11 ที่ใช้ถ่านหินลิกไนต์จากเหมืองแม่เมาะเป็นเชื้อเพลิง จะมี
แนวโน้มเป็นรูปแบบ Asymptotic ตามสมการ $R_f = R_i$
 $(1 - e^{-\theta})$ โดยค่า R_f ของบริเวณ Furnace Zone และ
SH. Horizontal High Temp. Ass'y จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมาก
ที่สุด แสดงว่าบริเวณดังกล่าวจะมีการเกาะตัวของเถ้าในอัตรา
สูง จึงต้องใช้ความถี่ในการใช้เครื่องเป่าเตาทำความสะอาด
มาก ประมาณ 22 และ 10 ครั้งต่อวัน ตามลำดับ ส่วนใน
บริเวณ Economizer Interm./Lower Ass'y และ
Economizer Upper Ass'y ค่า R_f มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นช้า แสดง
ว่ามีการเกาะตัวของเถ้าน้อย ท่อค่อนข้างสะอาด จึงใช้เครื่อง
เป่าเต้าน้อย คือ ใช้ความถี่ในการเป่าเตา ประมาณ 3 และ 2
ครั้งต่อวัน สำหรับบริเวณ SH. Horizontal Low Temp.
Ass'y และ RH. Horizontal Ass'y ค่า R_f มีการเพิ่มขึ้นปาน
กลาง ความถี่ที่ใช้ในการเป่าเตา ประมาณ 4 ครั้งต่อวัน

5.2 การประเมินทางเศรษฐศาสตร์ เมื่อมีการใช้เครื่องเป่า
 เป่าที่เหมาะสม ตามสภาพการเกาะสะสมตัวของเถ้าในแต่ละ
 พื้นที่แล้ว จะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด จากการวิจัย
 จะเสียค่าใช้จ่ายประมาณ 62,537 บาทต่อวัน เมื่อเปรียบเทียบกับ
 กับการใช้เครื่องเป่าเถ้าในอดีตที่ผ่านมาถึงปัจจุบันนั้น พบว่า
 ต้องเสียค่าใช้จ่าย ประมาณ 347,012 บาทต่อวัน ดังนั้นเมื่อ
 ทำความสะอาดท่อด้วยความถี่ที่เหมาะสมตามสภาพการเกาะ
 สะสมของเถ้าบนผิวท่อตามที่วิจัยแล้ว จะสามารถประหยัดค่าใช้จ่าย
 ได้ ประมาณ 284,475 บาทต่อวัน หรือประมาณ
 93,307,800 บาทต่อปี คิดเป็นปริมาณถ่านหินลิกไนต์ที่
 ประหยัดได้ ประมาณ 171,838 ตันต่อปี หรือประมาณ 8.13
 % ของค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ทั้งหมด

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุนันท์ ศรีถยนต์. (2530). "การถ่ายเทความร้อน". (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี.
- [2] Agrawal, A. K. and Kakac, S. (1991). "Heat Exchanger Fouling". in S. Kakac (Ed.), Boilers, Evaporators and Condensers, (pp. 107-141). U.S.A.: John Wiley & Sons, Inc.
- [3] Epstein, N. (1983). "Fouling of Heat Exchangers". in J. Taborek, G. F. Hewitt and N. Afgan (Eds.), Heat Exchangers: Theory and Practice, (pp. 795-815). U.S.A.: Mc.Graw-Hill Book Company.
- [4] KaKac, S. and Paykoc, E. (1991). "Basic Design Methods of Heat Exchangers". in S. Kakac (Ed.), Boilers, Evaporators and Condensers, (pp. 9-68). U.S.A.: John Wiley & Sons, Inc.
- [5] O'Callaghan, G. M. (1981). "Fouling of Heat Transfer Equipment: Summary Review". in S. Kakac, A. E. Bergles and F. Mayinger (Eds.), Heat Exchangers: Thermal-Hydraulic Fundamentals and Design, (pp. 1037-1047). U.S.A.: Mc.Graw-Hill Book Company.
- [6] Pinheiro, Joao De Deus R. S. (1981). "Fouling of Heat Transfer Surfaces. in S. Kakac, A. E. Bergles and F. Mayinger (Eds.), Heat Exchangers: Thermal-Hydraulic Fundamentals and Design, (pp. 1013-1035). U.S.A.: Mc.Graw-Hill Book Company.
- [7] Singer, G. J. (1991). "Combustion Fossil Power". (4th ed.). U.S.A: Combustion Engineering, Inc.
- [8] Wynnyckyj, R. J. and Rhodes, E. (1983). "Mechanisms of Furnace Fouling". in J. Taborek, G. F. Hewitt and N. Afgan (Eds.), Heat Exchangers: Theory and Practice, (pp. 817-831). U.S.A.: Mc.Graw-Hill Book Company.