

การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์สำหรับหม้อน้ำขนาดเล็ก

The Waste Heat Recovery System for Small Boilers

อุทัย ผ่องศรีมี¹, เสนีย์ ศิริไชย² และ สำราจ อินแบน³^{1,2} สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี 38 หมู่ 8 ต.นาบัว อ.เมือง จ.เพชรบุรี 76000³ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ วิทยาลัยเทคนิคนครพนม มหาวิทยาลัยนครพนม 103 หมู่ 3 ต.ขามเฒ่า อ.เมือง จ.นครพนม 48000

E-mail : Uthai_MT@hotmail.com เบอร์โทรศัพท์และแฟกซ์ : 032-414458

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อเพื่อศึกษาผลกระทบของความเร็วดูดก๊าซร้อนทิ้งต่อเงื่อนไขที่เหมาะสม สำหรับหม้อน้ำแบบความร้อนไหลผ่านทางเดียว ซึ่งมีอัตราการผลิตไอน้ำ 500 kg/h จากการวัดอุณหภูมิก๊าซร้อนทิ้งมีอุณหภูมิสูงถึง 453 K จึงได้ติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อ โดยนำก๊าซร้อนทิ้งมาอุ่นน้ำป้อน ให้แก่หม้อน้ำแบบความร้อนไหลผ่านทางเดียว เครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อ มีพื้นที่ผิวการถ่ายโอนความร้อน 3.55 m^2 ท่อมีความยาว 34 m ก๊าซร้อนไหลอยู่ในแนวตั้งฉากกับเครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อ ได้ติดตั้งพัดลมดูดก๊าซร้อนทิ้งหลังจากการถ่ายโอนความร้อนให้แก่เครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อ ผลการวิจัยพบว่าที่อัตราการผลิตไอน้ำ 200 kg/h ที่ความเร็วดูดก๊าซร้อนทิ้ง 7.65 m/s มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนที่พื้นผิวภายนอกและพื้นที่ผิวภายในท่อเฉลี่ย 33.42 และ $5.71 \text{ W/m}^2\text{K}$ ความดันลดเฉลี่ย 25.69 และ 2.27 Pa และมีประสิทธิภาพเครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อ 0.40 ซึ่งสามารถประหยัดพลังงานได้ 78,300 บาทต่อปี และระยะเวลาคืนทุน 30 เดือน ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับหม้อน้ำแบบให้ความร้อนไหลผ่านทางเดียว

คำสำคัญ : หม้อน้ำแบบความร้อนไหลผ่านทางเดียว, เครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อ, ความเร็วก๊าซร้อนทิ้ง

Abstract

The research was to design and develop a shell and tube economizer to investigate the effect of the exhaust gas velocity on the performance of the economizer used in a once through boiler generating steam rate 500 kg/h. The measured temperature of exhaust gas was 453 K and the shell and tube economizer was mounted on the exhaust stack to recover the waste heat of the boiler. The heating surface area and the tube length of the economizer were about 3.55 m^2 and 34 m. The hot or exhaust gas at 7.65 m/s entered the cross – flow economizer used to preheat the feeding water of the boiler at steam rate 200 kg/h the heat transfer coefficients of the tube outer and inner areas are 33.42 and $5.71 \text{ W/m}^2\text{K}$, respectively while the pressure drops for the shell and the tube were 25.69 and 2.27 Pa. The effectiveness of the economizer was 0.40 and the energy saving cost 78,300 Baht/year. The payback period is around 30 months.

Keywords : once – through boiler, economizer shell and tube, velocity hot air.

1 บทนำ

ปัจจุบันหม้อน้ำแบบหลอดน้ำที่มีขนาดกำลังการผลิตไอน้ำ 200 – 2000 kg/h มีใช้ในภาคอุตสาหกรรมประมาณ 300 เครื่อง (สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย, 2551) [1] การถ่ายโอนความร้อนจะเป็นแบบความร้อนไหลผ่านทางเดียว (Once-Through Boiler) ซึ่งในบทความนี้จะกล่าวเฉพาะหม้อน้ำแบบความร้อนไหลผ่านทางเดียวที่มีขนาดกำลังการผลิตไอน้ำ 500 kg/h ซึ่งเป็นหม้อน้ำชนิดเปลือกถังภายในติดตั้งหลอดน้ำเป็นรูปทรงกระบอก ส่วนบนท่อจะมีพื้นที่เก็บไอน้ำ ใช้น้ำมันมีเซลเป็นเชื้อเพลิงหัวฉีด 2 หัวใช้ความดันการฉีด 2 bar และตั้งความดันการใช้งานไอน้ำที่ 5 kg/cm^2 จากการใช้เครื่องมือตรวจวัดสมรรถนะหม้อน้ำพบว่าที่ความเร็วก๊าซร้อนทั้งที่ปล่องไอเสีย $6.5 - 7.5 \text{ m/s}$ วัดอุณหภูมิก๊าซร้อนทั้งได้อยู่ระหว่าง $180-300^\circ\text{C}$ และปริมาณความร้อนที่สูญเสียที่ปล่องไอเสียหม้อน้ำอยู่ระหว่าง 15-20% ซึ่งสอดคล้องกับระบบการสูญเสียความร้อนทั้งของหม้อน้ำ (The Natural Gas Boiler Burner Consortium, 2551) [4]



รูปที่ 1 ระบบการสูญเสียความร้อนทั้งของหม้อน้ำ

ผู้วิจัยได้ให้ความสำคัญกับพลังงานความร้อนทั้งที่ปล่องไอเสียหม้อน้ำ ซึ่งจะนำก๊าซร้อนทั้งกลับมาอุ่นน้ำป้อนให้แก่หม้อน้ำโดยผ่านเครื่องอุ่นน้ำป้อน (Economizer) จากประโยชน์ดังกล่าวเป็นการจัดการระบบการนำความร้อนส่วนนี้กลับมาใช้ใหม่ซึ่งนับว่ามีความสำคัญยิ่งสำหรับการนำความร้อนทั้งกลับมาใช้

ประโยชน์สำหรับหม้อน้ำขนาดเล็กชนิดความร้อนไหลผ่านทางเดียว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าและเพื่อลดพลังงานความร้อนที่สูญเสีย ดังนั้น การวิจัยนี้จึงได้ออกแบบเครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อ (Shell and Tube) เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวการถ่ายโอนความร้อน เนื่องจากมีความเหมาะสมกับชนิดของของไหลที่มีความดันคงที่ การออกแบบสามารถทำได้ง่าย ต้นทุนไม่สูงมาก และสามารถนำพลังงานกลับมาใช้อย่างคุ้มค่า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ : เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อ สำหรับหม้อน้ำแบบหลอดน้ำที่มีขนาดกำลังการผลิตไอน้ำ 500 kg/h เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการดูดก๊าซร้อนทั้งออกจากเครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อที่ความเร็วต่างๆ ต่อตัวแปร Re , Nu , h , ΔP , Q , ϵ และเพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมการลงทุนและการประหยัดพลังงาน

2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อ ทำหน้าที่ดึงความร้อนที่มากับก๊าซไอเสียของหม้อน้ำมาถ่ายโอนความร้อนให้แก่ น้ำที่อยู่ในท่อ ก่อนที่น้ำจะถูกส่งเข้าสู่หม้อน้ำ ซึ่งน้ำที่อยู่ภายในท่อเมื่อได้รับความร้อนจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งการคำนวณหาพื้นที่ผิวการถ่ายโอนความร้อนสามารถคำนวณได้ตามสมการความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยลอการิทึม Log Mean Temperature Differential, LMTD) ดังนี้

$$A_t = \frac{Q_c}{U \Delta T_{lm}} \quad (1)$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{s,i} - T_{l,o}) - (T_{s,i} - T_{l,i})}{\ln(T_{s,i} - T_{l,o}) / (T_{s,i} - T_{l,i})} \quad (2)$$

$$Q_c = \dot{m} C_w (T_{l,o} - T_{l,i}) \quad (3)$$

$$L = \frac{A_t}{\pi D_i} \quad (4)$$

นอกจากทฤษฎีการออกแบบและการสร้างเครื่องอุ่นน้ำ
ป้อนแบบเปลือกและท่อแล้วยังต้องใช้สมการวิเคราะห์หัว
แปรต่าง ๆ ที่อยู่ภายในส่วนเปลือก ดังนี้

$$V_{s,max} = \frac{S_T}{S_T - D_o} V_s \quad (5)$$

$$Re_{s,max} = \frac{V_{s,max} D_o \rho_s}{\mu_s} \quad (6)$$

$$Nu_s = C_2 C_r Re_{s,max} P_r^{0.36} \left(\frac{Pr_s}{Pr_w} \right)^{0.25} \quad (7)$$

$$h_{s,o} = \frac{Nu_s k_s}{D_o} \quad (8)$$

$$f_s = \left[0.044 + \frac{0.8 S_L / D_o}{\left[(S_T - D_o) / D_o \right]^{0.43 + 1.13 D_o / S_L}} \right] Re_{s,max}^{-0.15} \quad (9)$$

$$\Delta P_s = \frac{2 f_s N_L (\rho_s V_{s,max})^2}{\rho_s} \left(\frac{\mu_w}{\mu_s} \right)^{0.14} \quad (10)$$

สมการวิเคราะห์ส่วนท่อ

$$G_t = \frac{\dot{m}_t}{A_t} \quad (11)$$

$$Re_t = \frac{G_t D_i}{\mu_t} \quad (12)$$

$$Pr_t = \frac{Cp_t \mu_t}{k_t} \quad (13)$$

$$Nu_t = 1.86 (Re_t Pr_t)^{0.33} \left(\frac{D_i}{L} \right)^{0.33} \left(\frac{\mu_t}{\mu_w} \right)^{0.14} \quad (14)$$

$$h_{t,i} = \frac{Nu_t k_t}{D_i} \quad (15)$$

$$f_t = \frac{64}{Re_t} \quad (16)$$

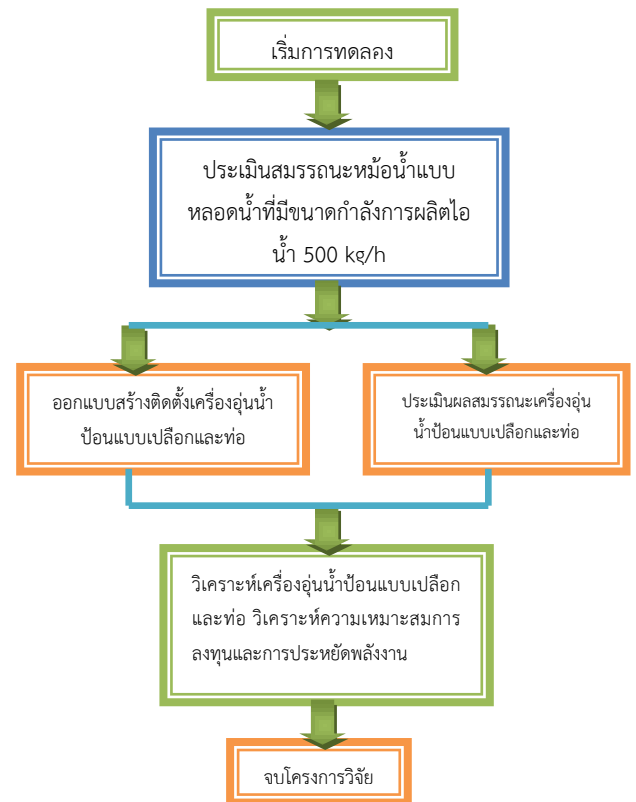
$$\Delta P_t = \frac{f_t N_L L G_t^2}{2000 D_i S_t \phi} \quad (17)$$

สมการวิเคราะห์สมรรถนะเครื่องอุ่นน้ำป้อน

$$\varepsilon = \frac{\dot{m}_s Cp (T_{s,i} - T_{s,o}) + \dot{m}_t Cp (T_{t,i} - T_{t,o})}{\dot{m}_t Cp (T_{s,i} - T_{t,i})} \quad (18)$$

3. การดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนดำเนินการวิจัย แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ
ส่วนแรกเป็นการวิเคราะห์หม้อน้ำแบบหลอดน้ำที่มีขนาด
กำลังการผลิตไอน้ำ 500 kg/h และการออกแบบสร้าง
ติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อ ส่วนที่สอง
เป็นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพและความเหมาะสมการ
ลงทุน เครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อสำหรับหม้อ
น้ำแบบหลอดน้ำขนาดเล็ก ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.1 การประเมินสมรรถนะหม้อน้ำแบบหลอดน้ำที่มีขนาดกำลังการผลิตไอน้ำ 500 kg/h

การประเมินสมรรถนะหม้อน้ำแบบหลอดน้ำชนิดความร้อนไหลผ่านทางเดียวที่มีขนาดกำลังการผลิตไอน้ำ 500 kg/h ที่ความดัน (เกจ) การใช้งานไอน้ำ 1-4 kg/cm² และใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง และใช้เครื่องมือวิเคราะห์สมรรถนะ Visitor - 01

ตารางที่ 1 ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดสมรรถนะหม้อน้ำแบบความร้อนไหลผ่านทางเดียว

หม้อน้ำแบบให้ความร้อน ไหลผ่านทางเดียว	ปริมาณ
1. น้ำป้อนและไอน้ำ	
1.1 ปริมาณน้ำเข้าสู่หม้อน้ำ	112 liters
1.2 อุณหภูมิน้ำป้อน	30°C
1.3 อัตราการผลิตไอน้ำ	500 kg/h
1.4 ความดันการใช้งานไอน้ำ	1- 4 kg/cm ²
2. เชื้อเพลิง	
2.1 ประเภทเชื้อเพลิง	Diesel
2.2 อัตราการใช้เชื้อเพลิง	11 liters/h
2.3 ค่าความดันน้ำมันเชื้อเพลิง ของหัวฉีด(2 หัว)	2 bar
3. อากาศ	
3.1 อัตราการไหลของอากาศ	0.056 m ³ /s
3.2 อุณหภูมิอากาศ	32°C
4. ก๊าซร้อนทิ้ง (ปล่อยไอเสียหม้อน้ำ)	
4.1 อุณหภูมิก๊าซร้อนทิ้ง	180 - 310°C
4.2 อัตราการไหลของก๊าซเสีย	0.064 m ³ /s

จากข้อมูลที่ได้จากการวัดสมรรถนะหม้อน้ำแบบหลอดน้ำสามารถนำมาออกแบบเครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อสำหรับการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์สำหรับหม้อน้ำขนาดเล็ก

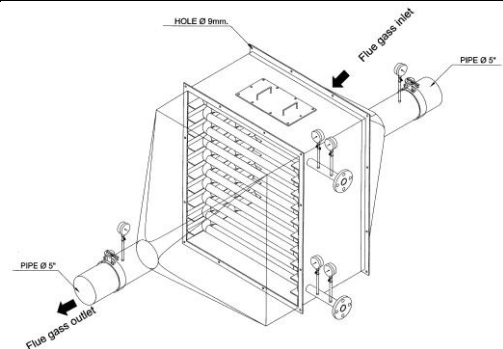
ตารางที่ 2 ข้อมูลที่ได้รับจากการวัดสมรรถนะหม้อน้ำแบบให้ความร้อนไหลผ่านทางเดียวนำมาออกแบบ

ข้อมูล	ปริมาณ
1. อุณหภูมิก๊าซร้อนทิ้งใช้ออกแบบ	180°C
2. อุณหภูมิน้ำป้อนเข้าเครื่องอุ่นน้ำป้อน	30°C
3. อุณหภูมิก๊าซร้อนทิ้งปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม	120°C
4. อุณหภูมิน้ำป้อนที่ต้องการ	60°C
5. สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนของน้ำ	50 W/m ² K

ข้อมูล	ปริมาณ
6. ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ	4.186 kJ/ kgK
7. อัตราการผลิตไอน้ำ	0.138 kg /s

ตารางที่ 2 ผลที่ได้จากการออกแบบเครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อสำหรับหม้อน้ำแบบให้ความร้อนไหลผ่านทางเดียว

ข้อมูล	ปริมาณ
1. ความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ยลอการิทึม	98.22 °C
2. การถ่ายโอนความร้อนของน้ำ	17.33 kW
3. พื้นที่ผิวการถ่ายโอนความร้อน	3.55 m ²
4. ความยาวท่อ	34 m
5. พื้นที่ผิวส่วนเปลือก	5.60 m ²
6. ความยาวเปลือก	1.8 m

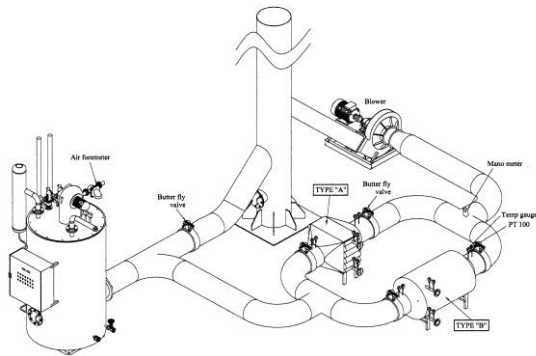


รูปที่ 2 การออกแบบและสร้างเครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อ

3.2 การติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อสำหรับหม้อน้ำชนิดความร้อนไหลผ่านทางเดียว

การติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อโดยให้ก๊าซร้อนทิ้งไหลอยู่ในแนวตั้งฉากกับท่อ (5 แถว) เมื่อก๊าซร้อนทิ้งถ่ายโอนความร้อนให้แก่พื้นผิวท่อ (น้ำ) ซึ่งติดตั้งพัดลมดูด (Blower) ช่วยดูดก๊าซร้อนทิ้งออกจากเครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อ ซึ่งพัดลมดูดนี้สามารถควบคุมการทำงานของมอเตอร์ด้วยการปรับความถี่ (f) ในส่วนอุปกรณ์ของระบบได้ติดตั้ง เกจวัดอุณหภูมิแบบกระเปาะทางเข้า-ออก และเกจวัดความดัน

เข้า – ออก (น้ำและก๊าซร้อนทั้ง) และเจาะรูทางเข้า-ออก
เพื่อใส่ เครื่องมือวัดสมรรถนะของก๊าซร้อนทั้งทั้งสองด้าน

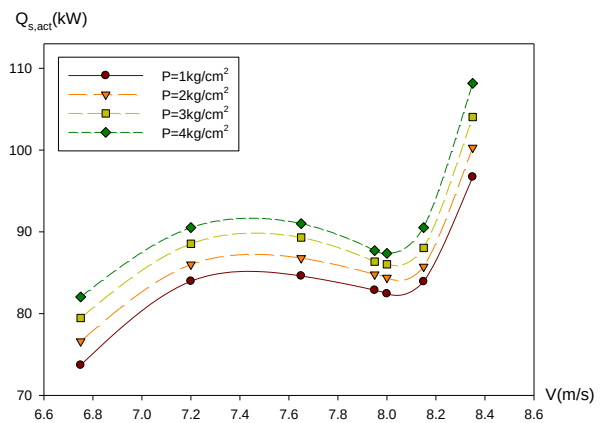


รูปที่ 3 แสดงการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อ (Type A) ร่วมกับหม้อน้ำแบบความร้อนไหลผ่านทางเดียว (Once-Through Boiler)

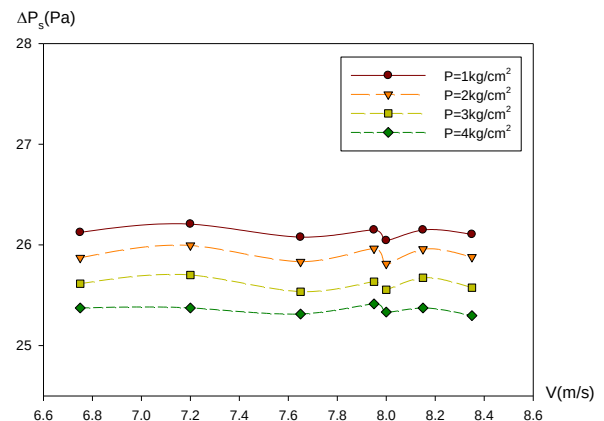
4 ผลการวิจัย

ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัดและทดสอบ เครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อ สำหรับหม้อน้ำแบบหล่อต่น้ำชนิดความร้อนไหลผ่านทางเดียว จะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

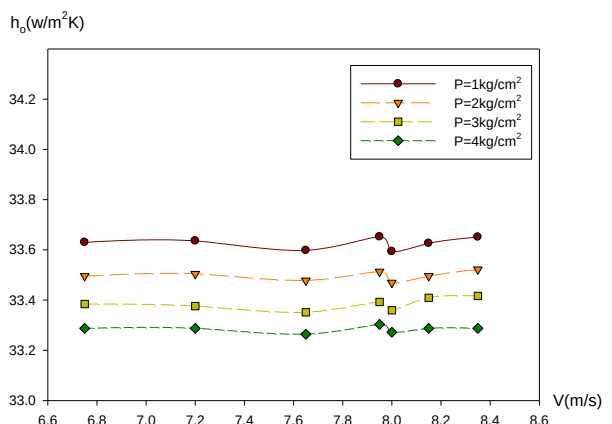
4.1 การวิเคราะห์ส่วนก๊าซร้อนภายในเปลือก ในการออกแบบเครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อร่วมกับหม้อน้ำแบบความร้อนไหลผ่านทางเดียว หม้อน้ำจะต้องทำงานในสภาพปกติที่ความดันใช้ไอน้ำไม่เกิน 5 kg/cm^2 อัตราการผลิตไอน้ำ 200 kg/h ความเร็วก๊าซร้อนทั้งออกจากปล่องไอเสียหม้อน้ำ $6.5 - 7.5 \text{ m/s}$ จากเงื่อนไขดังกล่าวจึงจำเป็นต้องติดตั้งพัดลมดูดก๊าซร้อนทั้งหลังจากก๊าซร้อนทั้งถ่ายโอนความร้อนให้แก่น้ำที่อยู่ภายในท่อ เพื่อป้องกันความดันใช้ไอน้ำเกินความดันการออกแบบของหม้อน้ำแบบความร้อนไหลผ่านทางเดียว ซึ่งเมื่อติดตั้งพัดลมดูดก๊าซร้อนทั้ง ย่อมส่งผลต่อตัวแปร อัตราการถ่ายโอนความร้อน, ความดันลด และสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนที่ความดันใช้ไอน้ำต่าง ๆ ดังนี้



รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วดูดก๊าซร้อนทั้งกับอัตราการถ่ายโอนความร้อนภายในเปลือกที่ความดันต่างๆ



รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วดูดก๊าซร้อนทั้งกับความดันลดภายในเปลือกที่ความดันต่างๆ

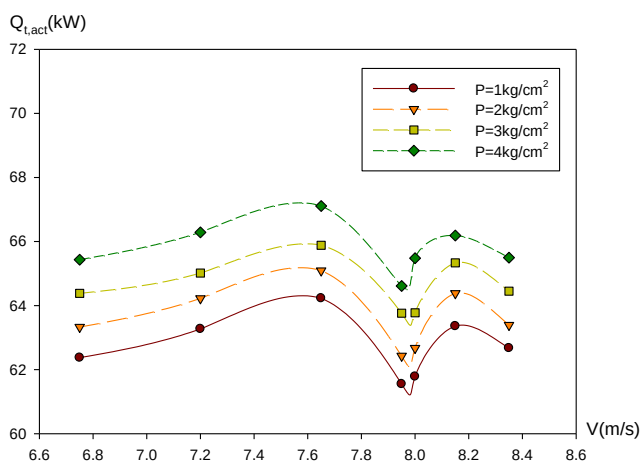


รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนกับความเร็วดูดก๊าซร้อนทั้ง(ส่วนเปลือก)

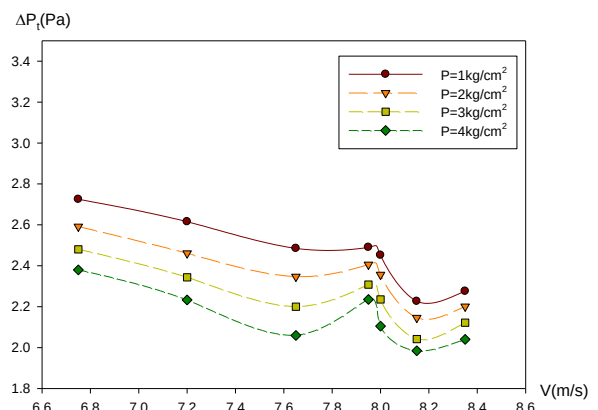
จากรูปที่ 4 – 6 แสดงผลการวิเคราะห์เครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อ(ส่วนเปลือก)ที่ความเร็วดูดก๊าซร้อนทั้ง 6.75 – 8.35 m/s ต่ออัตราการถ่ายโอนความร้อนภายในเปลือกให้แก่พื้นผิวท่อภายนอกท่อ, ความดันลดภายในเปลือก และสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนภายในเปลือก พบว่าที่ความเร็วดูดก๊าซร้อนทั้ง 7.20 – 7.65 m/s มีอัตราการถ่ายโอนความร้อนสูงสุดเฉลี่ย 87.26 kW มีความดันลดต่ำสุดเฉลี่ย 25.82 Pa และมีสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนสูงสุดเฉลี่ย $33.45 \text{ W/m}^2\text{K}$ ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบเครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อ(ส่วนเปลือก) ที่มีพื้นที่ผิว 5.60 m^2 สำหรับให้ก๊าซร้อนซึ่งเกิดการหมุนวนเพื่อการถ่ายโอนความร้อนให้แก่ท่อน้ำและค่าดังกล่าวมีความสอดคล้องกับความเร็วดูดก๊าซร้อนทั้งก่อนติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อ 6.5 – 7.5 m/s ที่ความดันการใช้งานไอน้ำไม่เกิน 5 kg/cm^2 สำหรับหม้อน้ำแบบความร้อนไหลผ่านทางเดียวที่มีอัตราการผลิตไอน้ำไม่เกิน 500 kg/h

4.2 การวิเคราะห์ส่วนท่อ

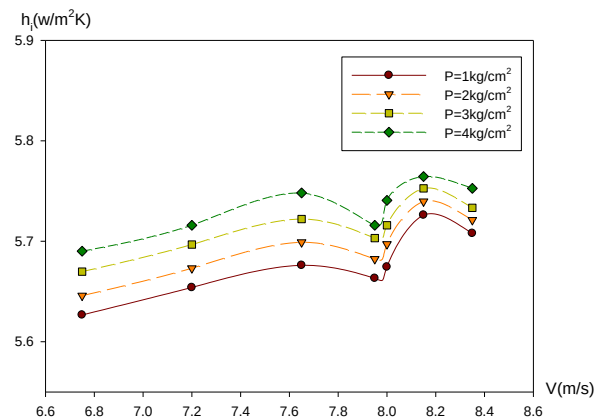
การวิเคราะห์ผลส่วนท่อที่ความเร็วดูดก๊าซร้อนทั้งต่ออัตราการถ่ายโอนความร้อน, ความดันลดภายในท่อ และสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนที่ความดันการใช้งานไอน้ำ 1 – 4 kg/cm^2 ดังนี้



รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายโอนความร้อนจริงภายในท่อกับความเร็วดูดก๊าซร้อนทั้งที่ความดันต่าง ๆ



รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันสูญเสียกับความเร็วดูดก๊าซร้อนทั้งที่ความดันต่าง ๆ



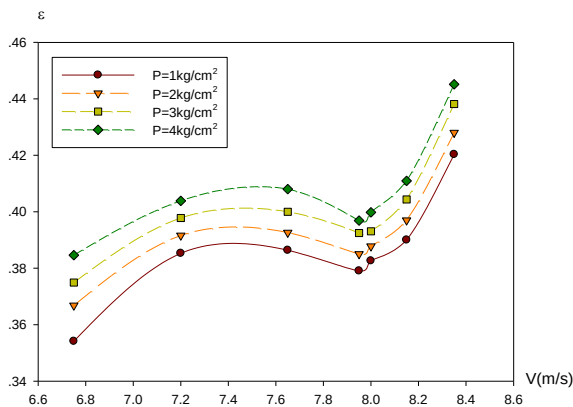
รูปที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนภายในท่อกับความเร็วดูดก๊าซร้อนทั้ง(ส่วนท่อ)ที่ความดันต่าง ๆ

จากรูปที่ 7 – 9 แสดงผลการวิเคราะห์เครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อ(ส่วนท่อ)ที่ความเร็วดูดก๊าซร้อนทั้ง 6.75 – 8.35 m/s ปริมาณการไหลของน้ำ 0.05 kg/s และอุณหภูมิน้ำป้อนอยู่ระหว่าง 30 – 40 °C ต่ออัตราการถ่ายโอนความร้อนที่น้ำได้รับผ่านพื้นผิวท่อ, ความดันลดภายในท่อและสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนพบว่า ที่ความเร็วดูดก๊าซร้อนทั้ง 7.20 – 7.65 m/s มีอัตราการถ่ายโอนความร้อนภายในเปลือกสูงสุดเฉลี่ย 87.26 kW ซึ่งเป็นค่าอัตราการถ่ายโอนความร้อนให้แก่ท่อน้ำภายในท่อสูงสุดเฉลี่ย 65.58 kW (ความร้อนสูญเสีย 21.66 kW) มีความดันลดต่ำสุดเฉลี่ย 2.27 Pa และมีสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนสูงสุดเฉลี่ย $5.68 \text{ W/m}^2\text{K}$ ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสม สำหรับการออกแบบเครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบ

เปลือกและท่อ(ส่วนท่อ) ที่มีพื้นที่ผิวการถ่ายโอนความร้อน 3.55 m^2 ท่อมีความยาว 34 m สำหรับการถ่ายโอนความร้อนระหว่างก๊าซร้อนทิ้งกับน้ำที่อยู่ภายในท่อซึ่งอุณหภูมิน้ำสูงขึ้น 45 – 50 %

4.3 การวิเคราะห์ผลสมรรถนะเครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อสำหรับหม้อน้ำแบบหลอดน้ำชนิดความร้อนไหลผ่านทางเดียว

การวิเคราะห์ที่ได้ประสิทธิภาพเครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อ สำหรับหม้อน้ำแบบหลอดน้ำชนิดความร้อนไหลผ่านทางเดียวต่อความเร็วในการดูดก๊าซร้อนทิ้งที่ความดันต่างๆ ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วการดูดก๊าซร้อนทิ้งกับประสิทธิภาพเครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อที่ความดันต่าง ๆ

จากรูปที่ 10 แสดงผลการวิเคราะห์เครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อ ที่ความเร็วดูดก๊าซร้อนทิ้ง 6.75 – 8.35 m/s กับประสิทธิภาพ เครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อ พบว่า มีประสิทธิภาพเครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อสูงสุดเฉลี่ย 0.39 - 0.40 เมื่ออุณหภูมิน้ำป้อนอยู่ระหว่าง 32 – 36 °C ปริมาณน้ำป้อนคงที่ และมีความเร็วดูดก๊าซร้อนทิ้งระหว่าง 7.20 – 7.65 m/s ที่ความดันการใช้งานไอน้ำ 1 – 4 kg/cm² ในกรณีมีความเร็วดูดก๊าซร้อนเพิ่ม มีการจ่ายไอน้ำไปใช้งานน้ำป้อนจะถูกส่งเข้ามาในเครื่องอุ่นน้ำป้อนใหม่ อุณหภูมิน้ำป้อนอยู่ระหว่าง 36 – 40 °C พบว่าประสิทธิภาพจะลดต่ำลง

จนกระทั่งปริมาณน้ำป้อนคงที่ประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ

4.4 การวิเคราะห์ความเหมาะสม ความคุ้มค่าและการประหยัดพลังงานการใช้เครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อ

ตารางที่ 3 ตารางวิเคราะห์ความเหมาะสมเครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อ สำหรับหม้อน้ำแบบความร้อนไหลผ่านทางเดียว

ความเหมาะสมการใช้เครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อ	
1. ชั่วโมงการทำงาน	6 h
2. ราคาน้ำมันดีเซล	30 Baht/liters
3. ค่าพลังงานที่ประหยัดได้	13.29 kW
4. ค่าพลังงานที่ประหยัดได้	43.50 Baht /h
5. ค่าพลังงานที่ประหยัดได้	261 Baht /day
6. ค่าพลังงานที่ประหยัดได้	78,300 Baht/year
7. ราคาสร้างเครื่อง	195,000 Baht
8. ค่าบำรุงรักษา	15,000 Baht
9. ระยะเวลาคืนทุน	2.66 year

จากตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์การประหยัดพลังงานและระยะเวลาคืนทุนของการออกแบบเครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อสำหรับหม้อน้ำแบบความร้อนไหลผ่านทางเดียวจากต้นทุนการสร้างเครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อและการบำรุงรักษาใช้งบประมาณ 210,000 บาท ในกรณีเดินเครื่องวันละ 6 ชั่วโมง และใช้น้ำมันดีเซลราคาลิตรละ 30 บาท พบว่า เครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อสามารถประหยัดพลังงานได้ 13.29 kW เมื่อคิดค่าพลังงานเชื้อเพลิงประหยัดได้ 78,300 บาทต่อปี และมีระยะเวลาคืนทุน 30 เดือน และมีอัตราผลตอบแทนภายใน 31.91% จะเห็นว่าอัตราผลตอบแทนสูงเกินกว่า 10% ดังนั้นการติดตั้งเครื่องอุ่น

น้ำป้อนแบบเปลือกและท่อจึงมีความเหมาะสมแก่การลงทุน

5 อภิปรายผล

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อสำหรับหม้อน้ำแบบความร้อนไหลผ่านทางเดียวกับความเร็วดูดก๊าซร้อนที่ความถี่ต่างๆ พบว่าที่ความเร็วเฉลี่ยดูดก๊าซร้อนทั้งที่ออกจากเครื่องอุ่นน้ำป้อน 7.20 – 7.65 m/s มีอัตราการถ่ายโอนความร้อนภายในเปลือกและภายในท่อสูงสุดเฉลี่ย 87.26kW, 65.58kW (พลังงานสูญเสีย 21.68 kW.) มีสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนภายในเปลือกและภายในท่อ 33.45 และ 5.68 W/m²K และมีประสิทธิภาพเครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อที่ 0.39 – 0.40 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับหม้อไอน้ำแบบความร้อนไหลผ่านทางเดียวขนาด 500 kg/h

6 ข้อเสนอแนะ

1. ในการออกแบบเครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเปลือกและท่อ ควรเพิ่มอัตราความเร็วของการไหลของน้ำ ซึ่งจะส่งผลต่ออัตราการถ่ายโอนความร้อนเพิ่มขึ้น
2. ถ้าสามารถเพิ่มพื้นที่การรับความร้อน ส่วนท่อ (Tube) อาจจัดทำโดยการใส่ครีป ซึ่งจะช่วยให้อัตราการถ่ายโอนความร้อน และค่าประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น
3. ควรหาวิธีการที่เพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนของก๊าซร้อนทั้ง ซึ่งอาจจะใช้วิธีใช้สารเคลือบท่อซึ่งมีคุณสมบัติที่จะต้องวิจัยต่อไป
4. ต้นทุนการผลิต ถ้าสามารถลดได้ จะทำให้ค่าประหยัดเพิ่มขึ้นและมีอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งจะทำให้การลงทุนนั้นคุ้มค่าสมควรแก่การลงทุน

7 เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย. (2551). **สถิติการขอขึ้นทะเบียนการใช้หม้อน้ำของอุตสาหกรรม.** กรุงเทพมหานคร : กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- [2] ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2547). **การใช้หม้อน้ำรถยนต์เป็นอุปกรณ์นำความร้อนทิ้งกลับคืน.** สำนักงานนโยบายและพลังงาน กระทรวงพลังงาน
- [3] บริษัทวันไทยอุตสาหกรรมอาหาร จำกัด. (2550). **การนำความร้อนทิ้งจากปล่องไอเสียหม้อน้ำมาอุ่นน้ำป้อน.** กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน.
- [4] The Natural gas boiler burner consortium. (2011). **Boiler Efficiency.** ค้นเมื่อ กรกฎาคม 2, 2554, จาก http://cleanboiler.org/eff_Improve/efficiency/Index_boiler_efficiency.asp
- [5] A. Yumnus Cengel and A. Michael Boles.(2008). **Thermodynamics an Engineering Approach.** New York : Mc Graw-Hill.
- [6] N. V. Suryanarayana and Oner Arici. (2003). **Design and Simulation of Thermal System.** New York : McGraw-Hill.
- [7] P. K. Nag. (2002). **Heat Transfer.** Tata McGraw-Hill.
- [8] P. Chattopadhyay. (2009). **Boiler Operation Engineering Questions and Answers.** New Delhi. India : McGraw-Hill.
- [9] Thai Support Engineering. (2010). **Standards of Mechanical Engineering Designs.** ค้นเมื่อ กรกฎาคม 2, 2554 จาก <http://www.seddesigns.com/webboard/index.php>