การควบคุมอุณหภูมิน้ำก่อนเข้าอีโคโนไมเซอร์เพื่อป้องกันกรดจากก๊าซเสียกลั่นตัว

ธิติญาณ์ เปลี่ยนมณี[1] และ มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล[2]

[1,2]*ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330*

[1]*sme7chula@gmail.com*

บทคัดย่อ

การอุ่นน้ำป้อนก่อนเข้าหม้อไอน้ำโดยผ่านอีโคโนไมเซอร์เป็นวิธีการประหยัดพลังงานที่ใช้ในการเผาไหม้วิธีการหนึ่ง เนื่องจากเป็นการทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้หม้อไอน้ำใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงลดน้อยลง อย่างไรก็ตามการใช้อีโคโนไมเซอร์เป็นเรื่องยาก เนื่องจากเกิดปัญหาการกัดกร่อนของกรดที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงทำให้อุปกรณ์เกิดความเสียหายเนื่องจากอุณหภูมิของผิวถ่ายเทความร้อนต่ำกว่าอุณหภูมิกลั่นตัวของกรด โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการควบคุมอุณหภูมิของน้ำในระบบอุ่นน้ำป้อนก่อนเข้าอีโคโนไมเซอร์ เพื่อป้องกันก๊าซเสียกลั่นตัวเป็นกรด

ในการศึกษานั้นได้ใช้หม้อไอน้ำขนาด 3,000 kg/h ใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิง มีอุณหภูมิก๊าซเสีย 170 °C โดยอีโคโนไมเซอร์ผลิตจากเหล็กกล้าไร้สนิม มีกำลังการผลิตจากการออกแบบ 11 kW มีพื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อนทั้งหมด 18.91 m^2 และน้ำภายในถังคอนเดนเสทมีอุณหภูมิประมาณ 43 °C และไอน้ำที่นำกลับมาใช้ในการอุ่นน้ำมีความดัน 6 bar อุณหภูมิ 160 °C ซึ่งในระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์วัดอัตราการไหล วัดความดันและวัดอุณหภูมิ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำผ่านวาล์วควบคุมก่อนเข้าอีโคโนไมเซอร์

ในการทดลองได้กำหนดให้อุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าอีโคโนไมเซอร์อยู่ที่ 70 °C ให้สูงกว่า 54 °C ซึ่งคืออุณหภูมิกลั่นตัวเป็นกรดที่เกิดจากการเผาไหม้ของก๊าซปิโตรเลียมเหลว จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิผิวท่อด้านนอกภายในอีโคโนไมเซอร์มีอุณหภูมิต่ำสุด 82 °C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิกลั่นตัวของกรดที่เกิดจากการเผาไหม้ของก๊าซปิโตรเลียมเหลว จึงไม่ทำให้ก๊าซเสียกลั่นตัวเป็นกรดและไม่ทำให้ท่อเกิดการกัดกร่อน นอกจากนี้ยังสามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้ 3.3% เมื่อเทียบกับช่วงแรกก่อนที่มีการอุ่นน้ำ

คำสืบค้น

อีโคโนไมเซอร์, การกัดกร่อน, อุณหภูมิกลั่นตัว, วาล์วควบคุม

Water Temperature Control prior to Entering the Economizer to Prevent Acid from Flue Gas Condensation

Thitiya Plianmanee[1] and Mingsak Tangtrakul[2]

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Phayathai Road, Patumwan, Bangkok, Thailand 10330

[1]sme7chula@gmail.com

ABSTRACT

Preheating feed water prior to entering boiler through an economizer is one of many methods to save energy for boiler. The condensation of flue gas causes acidic solution in the condensate and corrodes the economizer tubes. Therefore economizers are not widely used in small boilers. The research study tries to raise feed water temperature above acid dew point temperature to prevent acidic flue gas condensation.

In the studies used boiler size 3,000 kg/h and liquefied petroleum gas as fuel. Flue gas temperature enters the economizer at 170 ^{o}C. The economizer is made of stainless steel. The design capacity is 11 kW. The economizer is 18.91 m^2 of heating surface. The temperature of feed water in the feed water tank is 43 ^{o}C. The steam for preheating is 6 bar and 160 ^{o}C. The system is equipped with a flow rate, pressure and temperature measurement. The computer program is used to control flow rate of water through the control valves.

In the experiment, the temperature of the water entering the economizer is controlled at 70 ^{o}C. As a result, the economizer tube surface has the lowest temperature 82 ^{o}C which is above the acid dew point of the flue gas. Therefore the corrosion of the economizer tubes is controlled and the fuel saving is 3.3%**.**

KEYWORDS

economizer, corrosion, dew point temperature, control valves

I. บทนำ

สถานการณ์การใช้พลังงานของโลกในปัจจุบันและในอนาคตมีแนวโน้มราคาจะเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากความต้องการใช้พลังงานที่ปรับตัวสูงขึ้น ตามการฟื้นตัวของเศรษฐกิจโลก ทำให้ทุกภาคส่วนให้ความสำคัญในเรื่องของการอนุรักษ์พลังงาน และการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการใช้พลังงานอย่างไม่มีประสิทธิภาพนั้นย่อมก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานจำนวนมาก ส่งผลให้ต้นทุนด้านพลังงานเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ การใช้พลังงานอย่างไม่มีประสิทธิภาพ ยังนำไปสู่การปล่อยมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อมมากขึ้น

การอุ่นน้ำป้อนก่อนเข้าหม้อไอน้ำโดยผ่านอีโคโนไมเซอร์ เป็นวิธีนำเอาความร้อนปล่อยทิ้งกลับมาใช้และเป็นวิธีการประหยัดพลังงานที่ใช้ในการเผาไหม้วิธีการหนึ่ง เนื่องจากการที่น้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงลดน้อยลง โดยอีโคโนไมเซอร์เป็นอุปกรณ์ซึ่งเป็นที่รู้จักกันเป็นอย่างดี อีโคโนไมเซอร์จะใช้ความร้อนจากก๊าซเสียที่ปล่อยทิ้งจากหม้อไอน้ำ เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อนป้อนเข้าหม้อไอน้ำ ส่งผลให้หม้อไอน้ำใช้เชื้อเพลิงในการเผาไหม้ลดน้อยลง ซึ่งนับเป็นการประหยัดพลังงาน เนื่องจากโดยปกติแล้วหม้อไอน้ำนั้นถือได้ว่ามีการใช้พลังงานค่อนข้างมาก ดังนั้นการใช้งานหม้อไอน้ำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดนั้นก็เท่ากับเป็นการอนุรักษ์พลังงานด้วยเช่นกัน

อย่างไรก็ตามการใช้อีโคโนไมเซอร์ในอุตสาหกรรมเป็นเรื่องยาก เนื่องจากการกัดกร่อนของกรดที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง อันสืบเนื่องมาจากอุณหภูมิของผิวถ่ายเทความร้อนต่ำกว่าอุณหภูมิกลั่นตัวของกรด ดังนั้นการที่จะใช้อีโคโนไมเซอร์ในอุตสาหกรรมให้เกิดประโยชน์นั้น จะต้องควบคุมอุณหภูมิน้ำก่อนเข้าอีโคโนไมเซอร์ไม่ให้ต่ำกว่าอุณหภูมิที่กรดเกิดการกลั่นตัว

II. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 อีโคโนไมเซอร์ (Economizer)

อีโคโนไมเซอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ทำงานโดยรับความร้อนจากแหล่งความร้อน (ก๊าซทิ้งจากกระบวนการผลิตหรือหม้อไอน้ำ) และถ่ายเทให้กับน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต สำหรับระบบหม้อไอน้ำนั้น อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซกับของเหลวทำงาน จะได้รับความร้อนจากก๊าซเสียทิ้งจากหม้อไอน้ำโดยส่วนใหญ่และถ่ายเทให้กับน้ำ ก่อนเข้าหม้อไอน้ำ การแลกเปลี่ยนความร้อนนี้อาศัยหลักการนำความร้อนและพาความร้อนผ่านวัสดุตัวกลางที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูง ท่อน้ำที่วิ่งเข้าสู่อีโคโนไมเซอร์จะมีลักษณะเป็นท่อและขดเป็นรูปตัวยู U สลับกันไปมาเพื่อเพิ่มพื้นที่การถ่ายเทความร้อนระหว่างก๊าซกับของเหลว

การนำก๊าซเสียกลับมาใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่จะนำมาใช้โดยผ่านอีโคโนไมเซอร์ ซึ่งโดยทั่วไปอีโคโนไมเซอร์จะทำจากโลหะที่สามารถทนต่ออุณหภูมิก๊าซเสียได้ นอกจากนี้ควรคำนึงถึงอุณหภูมิกลั่นตัวของกรดที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง [1] เช่น Sulfurous acid (H_2SO_3) และ Sulfuric acid (H_2SO_4) ซึ่งกรดเหล่านี้เกิดจากเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้มีองค์ประกอบของกำมะถัน (S)

2.2 การกลั่นตัวของกรด

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) เป็นสารมลพิษที่พบได้ในกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง โดยเฉพาะก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์นอกจากจะเป็นมลพิษทางอากาศแล้ว ยังเป็นสารที่ทำให้อุปกรณ์ต่างๆ ถูกกัดกร่อน [2] และเมื่อก๊าซที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิกลั่นตัวของไอน้ำ (อุณหภูมิกลั่นตัว คือ อุณหภูมิที่เริ่มมีการควบแน่นเป็นหยดน้ำจะเกิดขึ้นเมื่ออากาศเย็นตัวลงที่ความดันคงที่) ทำให้ความชื้นบางส่วนเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำแล้วกรดละลายลงในหยดน้ำที่กลั่นตัว ทำให้อุปกรณ์ต่างๆ เกิดการผุกร่อน ดังนั้นอุณหภูมิกลั่นตัวจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องศึกษา เนื่องจากหยดน้ำสามารถรวมตัวกับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้

เปลี่ยนไปเป็นกรดกำมะถันได้ ซึ่งกรดกำมะถันมีความสามารถในการกัดกร่อนสูงจึงก่อให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ต่างๆ ตามมา

สำหรับการหาอุณหภูมิกลั่นตัวของกรดที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงนั้น สามารถหาได้ 2 วิธี คือ

1) หาจากสมการของ Kiang ดังนี้ [3]

$$\frac{1000}{T} = 3.9526 - 0.1863\log_e(P_{H_2O}) + 0.000867\log_e(P_{SO_2}) + 0.000913\log_e(P_{H_2O})\log_e(P_{SO_2})$$

เมื่อ P_{H_2O} แทน ค่าความดันย่อยของไอน้ำ (mmHg)

P_{SO_2} แทน ค่าความดันย่อยของ Sulfur dioxide (mmHg)

T แทน อุณหภูมิกลั่นตัวของกรด (K)

ในกรณีที่เชื้อเพลิงมีส่วนประกอบกำมะถัน โดยเมื่อเผาไหม้แล้ว เมื่อ H_2O ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำและรวมตัวกับ SO_2 ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง จะได้สมการดังนี้

$$H_2O + SO_2 \rightarrow H_2SO_3$$

ซึ่ง SO_2 เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเผาไหม้โดยเกิดขึ้นมากกว่า SO_3 และ SO_3 เมื่ออยู่ในที่อุณหภูมิสูงมักจะสลายตัวได้ง่าย

โดยในที่นี้ยกตัวอย่างสมการการเผาไหม้ของน้ำมันเตาในทางทฤษฎีสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$C_{7.193}H_{11.509} + 0.062S + 10.13\,(O_2 + 3.76N_2) \rightarrow 7.193CO_2 + 5.7545H_2O + 0.062SO_2 + 38.09N_2$$

สมมติให้ค่าความดันย่อยของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงมีค่า 1 atm

ดังนั้นค่าความดันย่อยของไอน้ำ (P_{H_2O}) สามารถหาได้ดังนี้

$$P_{H_2O} = \left(\frac{N_{H_2O}}{N_{prod}}\right)(P_{prod})$$

เมื่อ N แทน จำนวนโมล (โมล)

$$P_{H_2O} = \left(\frac{5.7545}{51.1}\right)(1)$$

$P_{H_2O} = 0.113$ atm หรือ 85.59 mmHg

ค่าความดันย่อยของ Sulfur dioxide (P_{SO_2}) สามารถหาได้ดังนี้

$$P_{SO_2} = \left(\frac{N_{SO_2}}{N_{prod}}\right)(P_{prod})$$

$$= \left(\frac{0.062}{51.1}\right)(1)$$

$P_{SO_2} = 0.00121$ atm หรือ 0.92 mmHg

เมื่อนำค่า P_{H_2O} และ P_{SO_2} ที่ได้จากการคำนวณในหน่วย mmHg ไปแทนในสมการของ Kiang จะได้อุณหภูมิกลั่นตัวของกรด 320 K หรือ 47 °C

2) หาจากค่าความดันย่อยของไอน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง

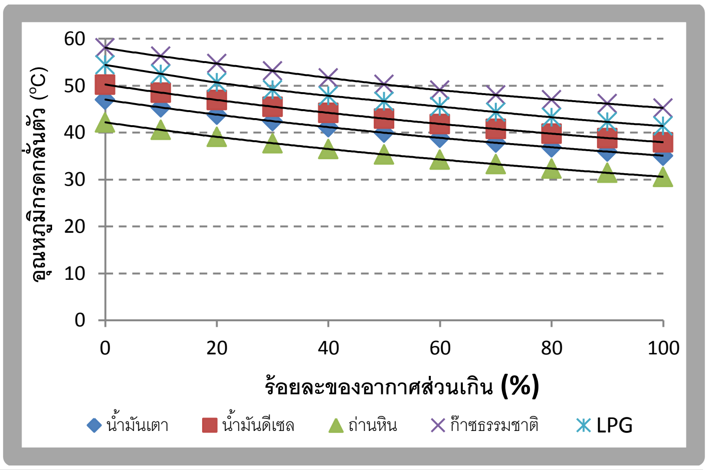
$$T = T_{sat\,@\,P_{H_2O}}$$

เมื่อ T แทน อุณหภูมิกลั่นตัวของกรด (K)

P แทน ความดันย่อย (atm)

พบว่าเชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะมีอุณหภูมิกลั่นตัวของกรดที่เกิดจากการเผาไหม้ต่างกัน โดยเมื่อการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงหมดพอดี (ร้อยละของอากาศส่วนเกินเป็นศูนย์) ซึ่งเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ เช่น ก๊าซธรรมชาติ ก๊าซปิโตรเลียมเหลว

น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา และถ่านหิน จะมีอุณหภูมิกลั่นตัวของกรดที่ 58 °C, 54 °C, 50 °C, 47 °C และ 42 °C ตามลำดับ แสดงดังรูป



รูปที่ 1 อุณหภูมิกลั่นตัวของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

III. วิธีการทดลอง

3.1 ระบบอุ่นน้ำป้อนก่อนผ่านอีโคโนไมเซอร์

ระบบอุ่นน้ำป้อนก่อนผ่านอีโคโนไมเซอร์ที่ทำการศึกษาใช้ไอน้ำที่ผลิตจากหม้อไอน้ำดังกล่าว โดยระบบอุ่นน้ำป้อนมีส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

1) หม้อไอน้ำ ขนาด 3,000 kg/h มีอุณหภูมิก๊าซเสีย 170 °C และประสิทธิภาพหม้อไอน้ำประมาณ 80%

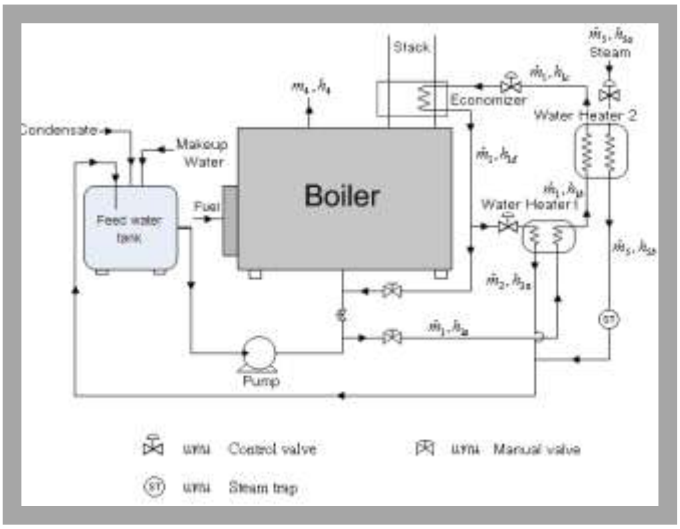
2) อีโคโนไมเซอร์ เป็นอุปกรณ์อุ่นน้ำด้วยก๊าซเสียปล่อยทิ้งจากหม้อไอน้ำ มีกำลังในการผลิต 11 kW มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 19 mm. ความหนาท่อ 1.5 mm. ความยาวท่อ 0.8 m. โดยมีจำนวน 18 ท่อต่อแถว และมีทั้งหมด 22 แถว มีพื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อนทั้งหมด 18.91 m^2 และขนาดพื้นที่หน้าตัดของปล่องก๊าซเสีย 0.21 m^2

3) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตัวที่ 1 เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจากน้ำร้อนที่ออกจากอีโคโนไมเซอร์ไปยังน้ำที่เข้าอีโคโนไมเซอร์ เพื่อให้อุณหภูมิของน้ำสูงพอที่ไม่ให้กรดกลั่นตัว โดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นตัวที่ 1 มีพื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อน 1.32 m^2 มีอัตราการไหลของน้ำเย็นประมาณ 6,000 kg/h และอัตราการไหลของน้ำร้อนประมาณ 3,600 kg/h

4) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตัวที่ 2 เป็นอุปกรณ์เสริมที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิให้กับน้ำภายหลังออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตัวที่ 1 โดยเมื่อน้ำที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตัวที่ 1 มีอุณหภูมิต่ำกว่าที่ต้องการ วาล์วควบคุมอัตราการไหลของไอน้ำบางส่วนที่ผลิตได้จากหม้อไอน้ำ จะเปิดให้ไอน้ำไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตัวที่ 2 เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำให้ได้ตามที่ต้องการ โดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นตัวที่ 2 มีพื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อน 2.06 m^2 มีน้ำไหลเข้าด้วยอัตราเร็วประมาณ 6,000 kg/h และมีไอน้ำไหลเข้าด้วยอัตราเร็วประมาณ 134 kg/h

5) อุปกรณ์ประกอบอื่นๆ เช่น ถังคอนเดนเสท ปั๊ม วาล์วและกับดักไอน้ำ

แผนผังของระบบอุ่นน้ำป้อนก่อนผ่านอีโคโนไมเซอร์ที่ทำการศึกษาแสดงดังนี้



รูปที่ 2 แผนผังระบบอุ่นน้ำป้อนก่อนผ่านอีโคโนไมเซอร์

ในการเริ่มต้นการทำงานของระบบนั้น น้ำจะถูกปั๊มเข้าหม้อไอน้ำโดยตรง เมื่อหม้อไอน้ำสามารถผลิตไอน้ำที่ความดันตามที่ต้องการได้แล้วนั้น วาล์วที่ควบคุมการไหลของน้ำเข้าหม้อไอน้ำโดยตรงนั้นจะถูกปิด และน้ำจะไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตัวที่ 1 โดยแลกเปลี่ยนความร้อนจากน้ำร้อนที่ออกจากอีโคโนไมเซอร์ ต่อจากนั้นน้ำจะไหลไปยังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตัวที่ 2 โดยการแลกเปลี่ยนความร้อนกับไอน้ำบางส่วนที่ผลิตจากหม้อไอน้ำ ทำให้น้ำมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นซึ่งน้ำที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตัวที่ 2 นี้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิกลั่นตัวของกรด และน้ำจะไหลเข้าสู่อีโคโนไมเซอร์โดยการแลกเปลี่ยนความร้อนกับก๊าซเสียจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำ ซึ่งน้ำบางส่วนภายหลังออกจากอีโคโนไมเซอร์แล้วนั้นจะไหลไปยังหม้อไอน้ำและน้ำบางส่วนจะถูกนำไปใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตัวที่ 1

ในการบังคับตำแหน่งควบคุมของวาล์วควบคุมนั้น จะใช้สมการสมดุลพลังงานสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตัวที่ 1 และ 2 เพื่อบังคับตำแหน่งควบคุมของวาล์วควบคุมต่อไป โดยสมการสมดุลพลังงานแสดงได้ดังนี้

สมดุลพลังงานสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตัวที่ 1 : $$\dot{m}_2 = \frac{\dot{m}_1 (h_{1b}-h_{1a})}{(h_{1d}-h_{2a})} \quad (1)$$

สมดุลพลังงานสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตัวที่ 2 : $$\dot{m}_5 = \frac{\dot{m}_1 (h_{1c}-h_{1b})}{(h_{5a}-h_{5b})} \quad (2)$$

เมื่อ $\dot{m}_1$ แทน อัตราการไหลของน้ำก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตัวที่ 2 (kg/h)

$\dot{m}_2$ แทน อัตราการไหลของน้ำร้อนบางส่วนหลังออกจากอีโคโนไมเซอร์ (kg/h)

$\dot{m}_5$ แทน อัตราการไหลของไอน้ำที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำ (kg/h)

h_{1a} แทน ค่าเอนทาลปีของน้ำที่ออกจากปั๊ม (kJ/kg)

h_{1b} แทน ค่าเอนทาลปีของน้ำหลังออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตัวที่ 1 ก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตัวที่ 2 (kJ/kg)

h_{1c} แทน ค่าเอนทาลปีของน้ำหลังออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตัวที่ 2 ก่อนเข้าอีโคโนไมเซอร์ (kJ/kg)

h_{1d} แทน ค่าเอนทาลปีของน้ำหลังออกจากอีโคโนไมเซอร์ (kJ/kg)

h_{5a} แทน ค่าเอนทาลปีของไอน้ำที่ใช้ (kJ/kg)

h_{5b} แทน ค่าเอนทาลปีของน้ำหลังออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตัวที่ 2 ก่อนกลับเข้าสู่ถังคอนเดนเสท (kJ/kg)

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

ในการศึกษาวิจัยนั้นมีขั้นตอนในการทดลอง 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนการปรับตั้งตำแหน่งการเคลื่อนที่ของวาล์วควบคุม และส่วนการควบคุมอุณหภูมิน้ำก่อนเข้าอีโคโนไมเซอร์

3.2.1 ส่วนการปรับตั้งตำแหน่งการเคลื่อนที่ของวาล์วควบคุมในเบื้องต้นก่อนการควบคุมแบบอัตโนมัติ

การทดลองในส่วนนี้ เพื่อต้องการหาค่าอัตราการไหลของน้ำและไอน้ำภายในท่อ เมื่อผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตัวที่ 1 และ ตัวที่ 2 ตามลำดับ

1) เปิดน้ำจากปั๊มเข้าสู่ระบบที่ทำการศึกษาวิจัย

2) ปรับตำแหน่งควบคุมของวาล์วควบคุมทั้ง 3 ตัว โดยทำการปรับทีละตัวที่ตำแหน่งควบคุมต่างๆ เพื่อหาค่าอัตราการไหลของน้ำและไอน้ำผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 2 เครื่อง จากสมการสมดุลพลังงาน สมการ (1) และ (2)

3) บันทึกค่าการไหลภายในท่อ เช่น อุณหภูมิของน้ำ อัตราการไหลของน้ำ อัตราการไหลของไอน้ำ ความดันไอน้ำ และตำแหน่งควบคุมของวาล์วควบคุม

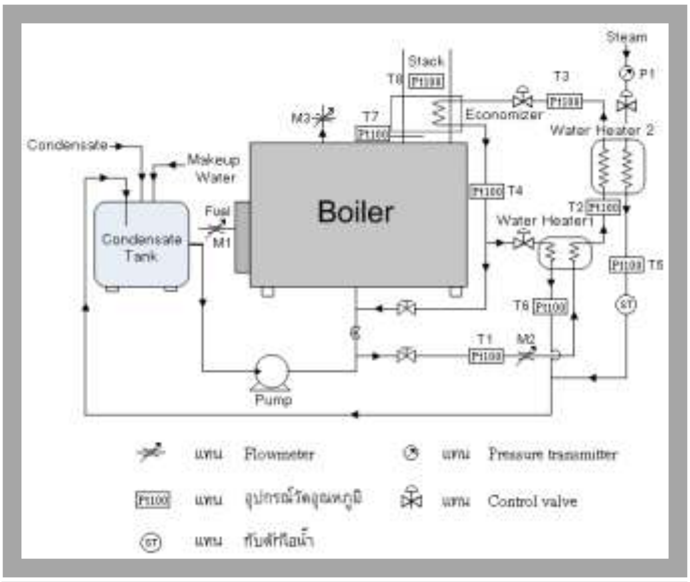
3.2.2 ส่วนการควบคุมอุณหภูมิน้ำก่อนเข้าอีโคโนไมเซอร์แบบอัตโนมัติ

1) ใส่ค่าอุณหภูมิน้ำก่อนเข้าอีโคโนไมเซอร์ที่ต้องการ ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยในการศึกษาวิจัยนี้ ได้กำหนดให้อุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าอีโคโนไมเซอร์สูงกว่า 70 $^{\circ}$C เพื่อป้องกันการกลั่นตัวของกรดที่เกิดจากการเผาไหม้ของก๊าซปิโตรเลียมเหลว

2) เปิดน้ำจากปั๊มเข้าสู่ระบบที่ทำการศึกษาวิจัย

3) ควบคุมอัตราการไหลของน้ำแบบอัตโนมัติจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ผ่านวาล์วควบคุมทั้ง 3 ตัว

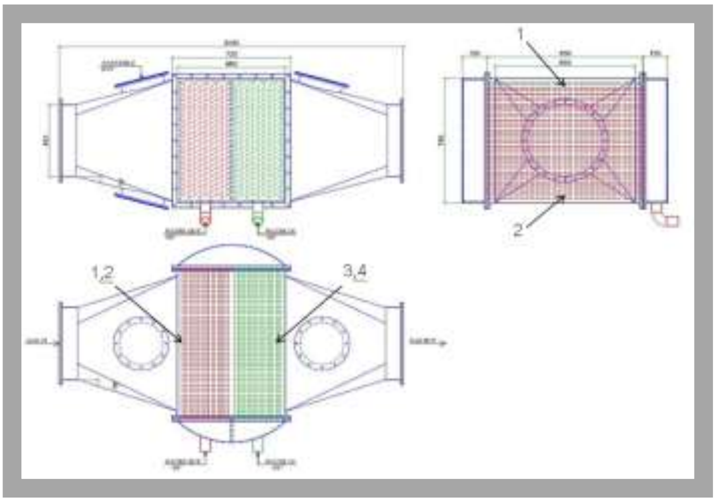
4) บันทึกค่าการไหลภายในท่อ เช่น อุณหภูมิของน้ำ (จากอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ RTD PT100) อัตราการไหลของน้ำ อัตราการไหลของไอน้ำ ความดันไอน้ำ และตำแหน่งการเคลื่อนที่ของวาล์วควบคุม โดยแสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์การวัดและการควบคุมดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การบันทึกผลและการควบคุมอัตราการไหลผ่านจุดต่างๆ

นอกจากนี้ยังมีการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิ (เทอร์มอคัปเปิลชนิด K) จำนวน 4 ตัว ไว้บริเวณผิวท่อด้านนอกภายในอีโคโนไมเซอร์ ตำแหน่งต่างๆ ดังนี้

1) เทอร์มอคัปเปิลตัวที่ 1 ติดตั้งบริเวณตำแหน่งท่อที่ 1 แถวที่ 21
2) เทอร์มอคัปเปิลตัวที่ 2 ติดตั้งบริเวณตำแหน่งท่อที่ 1 แถวที่ 2
3) เทอร์มอคัปเปิลตัวที่ 3 ติดตั้งบริเวณตำแหน่งท่อที่ 17 แถวที่ 2
4) เทอร์มอคัปเปิลตัวที่ 4 ติดตั้งบริเวณตำแหน่งท่อที่ 17 แถวที่ 21 แสดงดังภาพ

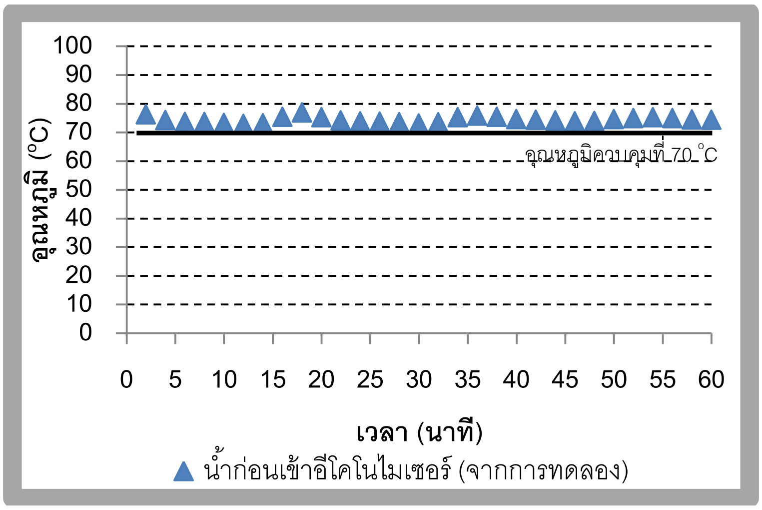


รูปที่ 4 การติดตั้งเทอร์มอคัปเปิลชนิด K บริเวณตำแหน่งต่างๆ

IV. ผลการศึกษาวิจัย

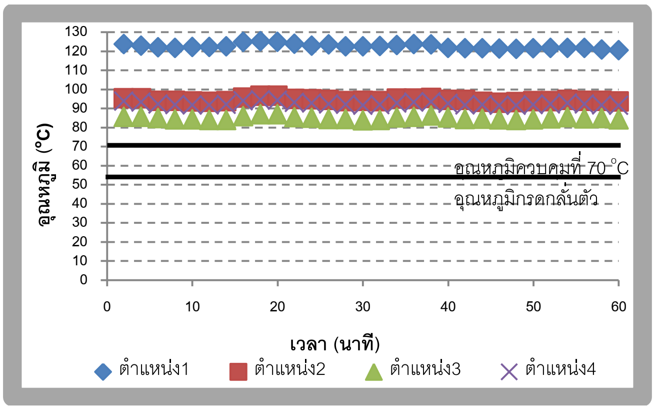
จากการทดลอง ไอน้ำที่นำมาใช้ในการอุ่นน้ำในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตัวที่ 2 นั้นมีความดันประมาณ 6 บาร์ และเมื่อผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตัวที่ 2 แล้วนั้น ไอน้ำบางส่วนควบแน่นเป็นน้ำและไหลออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตัวที่ 2 เมื่อผ่านกับดักไอน้ำ โดยน้ำดังกล่าวมีอุณหภูมิประมาณ 53 $^{\circ}$C ก่อนที่จะไหลเข้าสู่ถังคอนเดนเสท

และเมื่อกำหนดให้น้ำก่อนเข้าอีโคโนไมเซอร์มีอุณหภูมิ 70 $^{\circ}$C เพื่อป้องกันการกลั่นตัวของกรดที่เกิดจากการเผาไหม้ของก๊าซปิโตรเลียมเหลว จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิน้ำก่อนเข้าอีโคโนไมเซอร์มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 72 - 76 $^{\circ}$C ซึ่งค่าอุณหภูมิที่ได้นั้นมีความคลาดเคลื่อนจากที่ได้กำหนดไว้ 2.86 - 8.57% แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 อุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าอีโคโนไมเซอร์

และอุณหภูมิผิวท่อด้านนอกภายในอีโคโนไมเซอร์ที่ตำแหน่งต่างๆ แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 อุณหภูมิผิวท่อด้านนอกภายในอีโคโนไมเซอร์

จากรูปที่ 6 พบว่าอุณภูมิผิวท่อด้านนอกภายในอีโคโนไมเซอร์ตำแหน่งที่ 3 จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าตำแหน่งอื่น เนื่องจากเป็นตำแหน่งบริเวณทางเข้าของน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยอุณหภูมิผิวท่อต่ำสุดจะประมาณ 82 °C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิกลั่นตัวของกรดที่เกิดจากการเผาไหม้ของก๊าซปิโตรเลียมเหลวซึ่งคือ 54.4 °C จึงไม่ทำให้ให้กรดเกิดการกลั่นตัวและไม่ทำให้ท่อเกิดการกัดกร่อน

และจากรูปที่ 6 นั้น พบว่าอุณหภูมิผิวท่อตำแหน่งที่ 1 จะมีอุณหภูมิสูงกว่าตำแหน่งอื่นนั้น เกิดจากเทอร์มอคัปเปิลไม่แนบสนิทกับผิวท่อ ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างการใช้งาน

สำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นได้แสดงดังตารางที่ 1 และ 2 โดยอุณหภูมิตำแหน่งต่างๆ ได้อ้างอิงตามรูปที่ 3

ตารางที่ 1 ข้อมูลเมื่อระบบไม่มีการควบคุมอุณหภูมิน้ำก่อนเข้าอีโคโนไมเซอร์

เวลา (นาที)	ปริมาณไอน้ำ (kg/h)	ปริมาณเชื้อเพลิง (kg/h)	ความดันไอน้ำ (บาร์)	อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ (°C)	
				T7	T8
10	1,002	120.08	6.1	166	154
20	957	47.20	5.4	156	145
30	945	120.55	4.8	158	152
40	1,096	120.79	6.2	165	156
50	1,001	56.10	6.1	168	160
60	959	49.92	5.7	166	161

ตารางที่ 2 ข้อมูลเมื่อระบบมีการควบคุมอุณหภูมิน้ำก่อนเข้าอีโคโนไมเซอร์

เวลา (นาที)	น้ำที่ออกจากปั๊ม (kg/h)	ปริมาณไอน้ำ (kg/h)	ปริมาณเชื้อเพลิง (kg/h)	ความดันไอน้ำ (บาร์)	อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ (°C)								ปริมาณความร้อนจากก๊าซเสียที่นำมาใช้ (kW)
					T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	
10	6,274	1,014	107.65	6.1	46	62	74	79	57	50	168	91	24.2
20	6,237	1,099	107.11	6.4	47	61	73	77	58	51	170	90	34.6
30	6,172	1,029	100.58	6.3	44	62	75	80	56	49	171	92	16.6
40	6,258	1,729	102.30	5.6	46	62	73	78	57	51	171	91	18.1
50	6,505	1,761	110.69	6.2	42	59	77	79	55	46	169	91	30.4
60	6,579	1,421	102.02	5.9	44	59	74	78	55	48	167	90	30.3

จากตารางที่ 1 และ 2 ค่า T1, T2, T3, T4, T5 และ T6 แทนอุณหภูมิของน้ำภายในท่อ ณ ตำแหน่งต่างๆ ตามที่ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3 ส่วนค่า T7 และ T8 แทนอุณหภูมิก๊าซเสียก่อนเข้าอีโคโนไมเซอร์และอุณหภูมิก๊าซเสียภายหลังออกจากอีโคโนไมเซอร์ ตามลำดับ

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบปริมาณการใช้เชื้อเพลิงไม่อุ่นน้ำเข้าหม้อไอน้ำกับหลังจากอุ่นน้ำด้วยอีโคโนไมเซอร์

รายการ	ไม่อุ่นน้ำก่อนเข้าหม้อไอน้ำ	อุ่นน้ำก่อนเข้าหม้อไอน้ำ
1. อุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำ (°C)	41 - 46	77 - 80
2. ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (kg/h)	82.59	103.27
3. ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ (ton/h)	0.93	1.34
4. ปริมาณไอน้ำที่นำกลับมาใช้ในการอุ่นน้ำ (ton/h)	-	0.137
5. ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้สุทธิ (ton/h)	0.93	1.20
6. อัตราส่วนระหว่างปริมาณการใช้เชื้อเพลิง ต่อ ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้สุทธิ (kg-fuel / ton-steam)	88.99	86.04
7. ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงที่ลดลง (%)	-	3.3

เมื่อพิจารณาปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในการอุ่นน้ำก่อนเข้าอีโคโนไมเซอร์พบว่า ในเริ่มแรกก่อนที่จะทำการอุ่นน้ำก่อนเข้าอีโคโนไมเซอร์นั้น จะมีค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณการใช้เชื้อเพลิง ต่อ ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้สุทธิ 88.99 kg_{fuel} / ton_{steam} และเมื่อมีการอุ่นน้ำก่อนเข้าอีโคโนไมเซอร์ จะมีค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณการใช้เชื้อเพลิง ต่อ ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้สุทธิ 86.04 kg_{fuel} / ton_{steam} ซึ่งสามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้ 3.3% เมื่อเทียบกับช่วงแรกก่อนที่มีการอุ่นน้ำ

V. สรุปผล

จากที่ได้ทราบแล้วว่าอุณหภูมิกลั่นตัวของกรดที่เกิดจากการเผาไหม้ของก๊าซปิโตรเลียมเหลวนั้นประมาณ 54 °C ดังนั้น ในการควบคุมอุณหภูมิน้ำก่อนเข้าอีโคโนไมเซอร์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ จึงได้มีการกำหนดให้น้ำก่อนเข้าอีโคโนไมเซอร์มีอุณหภูมิสูงกว่า 70 °C โดยการปรับตำแหน่งควบคุมของวาล์วทั้ง 3 ตัว ตามสมการสมดุลพลังงานนั้น ผลที่ได้คือ อุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าอีโคโนไมเซอร์จะอยู่ระหว่าง 72 - 76°C ซึ่งค่าอุณหภูมิที่ได้มีความคลาดเคลื่อนจากที่ได้กำหนดไว้ 2.86 - 8.57%

อุณหภูมิผิวด้านนอกของท่อภายในอีโคโนไมเซอร์ ตำแหน่งที่มีอุณหภูมิต่ำสุดคือมีอุณหภูมิประมาณ 82 °C อยู่บริเวณน้ำเข้าอีโคโนไมเซอร์ ซึ่งมีค่าที่สูงกว่าอุณหภูมิกลั่นตัวของกรดที่เกิดจากการเผาไหม้ของก๊าซปิโตรเลียมเหลว นอกจากนี้ยังสามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้ 3.3% เมื่อเทียบกับช่วงแรกก่อนที่มีการอุ่นน้ำ

VI. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณกองทุนสนับสนุนการวิจัยของสำนักพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทศโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่ให้เงินสนับสนุนงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณสถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้เงินสนับสนุนงานวิจัยบางส่วน

บรรณานุกรม

[1] Mobin, M., Malik, A. U., and Al-Hajri, M. “Investigations on the failure of economizer tubes in a high-pressure boiler”. ASM International 2008 : 69-74.

[2] Yunus A. Cengel and Michael A. Boles, “Thermodynamics an engineering approach”, 4th ed. America : Mc Graw-Hill, 2002.

[3] Huijbregts, W.M.M. and Leferink (2004), “Latest Advances in the Understanding of Acid Dewpoint Corrosion: Corrosion and Stress Corrosion Cracking in Combustion Gas Condensates”. Anti-Corrosion Methods and Materials 51 (3): 173 - 188.

[5] Acid dew point [Online]. 2010. Available from : http://en.citizendium.org/wiki/Acid_dew_point [2011, December]