

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของการวิจัย

พลังงานเป็นสิ่งที่มีค่าเป็นอย่างมากในการพัฒนาประเทศ ปัจจุบันมีการนำพลังงานมาใช้ในเชิงอุตสาหกรรมกันอย่างแพร่หลายยังผลให้มีการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ปริมาณของพลังงานมีอยู่อย่างจำกัด (จรรยา ยุญยุบล, 2529) สำหรับประเทศไทยมีการใช้พลังงานสูงมากขึ้นทุกปีซึ่งพลังงานมากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ (ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย, 2541) ถูกนำมาใช้ในภาคเศรษฐกิจ 3 ประเภท ได้แก่ อุตสาหกรรม คมนาคม และที่อยู่อาศัย ตลอดระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา การผลิตพลังงานภายในประเทศมีอัตราเพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 108 ขณะที่มีการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศมีอัตราเพิ่มขึ้นร้อยละ 269 (ปริดา วิบูลสวัสด์, 2540) การแก้ไขปัญหานี้สามารถทำได้โดยการอนุรักษ์พลังงาน การประหยัดพลังงาน และการปรับปรุงอุปกรณ์ที่ใช้ให้มีประสิทธิภาพ วิธีหนึ่งที่สามารถช่วยในการอนุรักษ์พลังงานคือ การนำความร้อนทิ้งกลับนำมาใช้ประโยชน์ (Waste heat recovery)

การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่สามารถทำได้หลายวิธีเช่น นำไอน้ำที่ใช้แล้วในกระบวนการผลิตมาให้ความร้อนกับน้ำก่อนเข้าหม้อไอน้ำโดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน การนำไอเสียจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำสามารถนำมาใช้ประโยชน์โดยให้ความร้อนกับน้ำก่อนเข้าหม้อไอน้ำโดยใช้เครื่องอุ่นน้ำป้อน (Economizer) และการนำความร้อนจากไอเสียมาเก็บไว้ในรูปแบบของความร้อนแฝง

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนเป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งที่ใช้ในการดึงความร้อนจากไอร้อนทิ้งโดยอาศัยความร้อนแฝง เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนมีลักษณะที่ให้อุปกรณ์ส่งถ่ายพลังงานความร้อนโดยท่อเทอร์โมไซฟอน (Thermosyphon) ชนิดที่ใช้แรงโน้มถ่วงช่วยในการไหลกลับของสารทำงานในท่อ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพการส่งถ่ายความร้อนได้ดี ถ่ายเทความร้อนได้โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานจากภายนอก และยังสะดวกในการติดตั้ง

อย่างไรก็ตามท่อเทอร์โมไซฟอนส่วนใหญ่จะทำมาจากท่อ เหล็ก ทองแดง และอะลูมิเนียมจึงมีปัญหาเกี่ยวกับการสะสมของฟาวลิง (Fouling) และการกัดกร่อน (Corrosion) ทั้งภายในและภายนอกของท่อซึ่งสาเหตุหนึ่งของการกัดกร่อนภายในคือเกิดก๊าซจำนวนหนึ่งที่ไม่วางแน่นเกิดขึ้นภายในท่อ สำหรับการกัดกร่อนภายนอกเกิดจากฟาวลิงและการกระแทกของเศษวัสดุที่มากับไอร้อนทิ้ง ซึ่งปัญหาดังกล่าวส่งผลทำให้ความสามารถในการส่งถ่ายความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนลดลงจึงทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเทอร์โมไซฟอนลดลง นอกจากนั้นยังทำให้ระยะเวลาการทำงานของเทอร์โมไซฟอนสั้นลง ซึ่งส่งผลให้ต้องเสียเวลาและเงินในการซ่อมบำรุงบ่อยๆ สำหรับการแก้ปัญหาของการกัดกร่อนที่ผิวภายในและภายนอกของท่อสามารถทำได้โดยการเคลือบผิวด้วยสารป้องกันการกัดกร่อนและเติมสารยับยั้งลงในสารทำงานตามลำดับ

เกี่ยวกับปัญหาในการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน ได้มีการทดลองเกี่ยวกับการป้องกันการกัดกร่อนของเทอร์โมไซฟอนทั้งภายในและภายนอกเช่น โดยการเติมสารยับยั้งการกัดกร่อนโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) ลงในสารทำงาน ทำการเผาท่อที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส สำหรับการป้องกันการกัดกร่อนภายใน

(ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์, 2541) และเคลือบสีทนความร้อน(ประชา ยืนยงกุล, 2541) เคลือบอีนาเมล (Enamel) (ถนัด เกษประดิษฐ์, 2543) สำหรับการป้องกันการกัดกร่อนภายนอก แต่ข้อมูลที่ได้จากการทดลองเหล่านี้มีความซับซ้อนต้องใช้เวลามากสำหรับการคำนวณเพื่อนำมาใช้ทำนายความเหมาะสมของการเลือกวิธีป้องกันการกัดกร่อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไฮฟอน และมีหลายปัจจัยที่ต้องพิจารณา เช่น ความหนาที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบผิว เวลาที่สมควรจะทำความสะอาด อายุการใช้งานของท่อ รวมถึงราคาที่ใช้ในการป้องกันการกัดกร่อน ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงต้องการที่จะศึกษาหาจุดที่เหมาะสมของแต่ละวิธีที่ใช้ในการป้องกันการกัดกร่อน และคำนวณหาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการทำความสะอาดที่ผิวท่อ ซึ่งจุดที่เหมาะสมในการป้องกันสามารถหาได้โดยการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ และทำการออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยคำนวณหาวิธีป้องกันการกัดกร่อนที่เหมาะสมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไฮฟอน

1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

1.2.1 การป้องกันการกัดกร่อนภายในของท่อเทอร์โมไฮฟอน

จากรายงานผลการวิจัยเกี่ยวกับท่อความร้อนที่ผ่านมา ได้มีการศึกษาถึงวิธีการป้องกันการกัดกร่อนภายในและความเข้ากันได้ของสารทำงานกับวัสดุที่ใช้ทำท่อเพื่อที่จะช่วยยืดอายุการใช้งานของท่อความร้อน โดยที่ท่อความร้อนสามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ซึ่งวิธีการป้องกันการกัดกร่อนภายในสามารถทำได้โดยการเติมสารยับยั้งและทำการเปลี่ยนคุณสมบัติทางกายภาพของท่อความร้อน

Mou et al. (1990) ได้ทำการศึกษาการกัดกร่อน อายุการใช้งาน และความเข้ากันได้ของท่อความร้อนที่ทำจากเหล็กภายในเป็นร่องมีน้ำเป็นสารทำงาน พบว่าจากการที่เหล็กกับน้ำเข้ากันไม่ได้จะทำให้เกิดการกัดกร่อนได้เร็วกว่าปรกติและเกิดก๊าซไฮโดรเจนขึ้น และพบว่าการ Pretreatment ผิวภายนอกจะช่วยป้องกัน เหล็กจากการกัดกร่อนในน้ำ และเพื่อให้ผลดีที่สุดสำหรับอุณหภูมิการใช้งานที่แตกต่างกันก็ควรใช้การ Pretreatment ที่แตกต่างกัน

Nishchik et al. (1997) ได้ทำการศึกษาการป้องกันการกัดกร่อนภายในโดยการเติมสารยับยั้งโดยทำการค้นคว้าเกี่ยวกับการกัดกร่อนในท่อสแตนเลสกับน้ำโดยทำการทดสอบอย่าง ต่อเนื่องเป็นเวลา 1000 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 90 – 95 เซลเซียส พบว่าในเวลาเริ่มต้นอัตราการกัดกร่อนจะสูง แต่เมื่อเวลาการทำงานเพิ่มขึ้นอัตราการกัดกร่อนจะค่อยๆลดลง และที่อุณหภูมิการใช้งานสูงกว่า การกัดกร่อนจะรุนแรงมากขึ้น และได้ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการป้องกันการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นในระบบปิดของเหล็กและน้ำโดยทำการทดสอบกับเทอร์โมไฮฟอนที่ทำจากเหล็กและมีน้ำเป็นสารทำงานที่อุณหภูมิ 100 – 105 องศาเซลเซียส ทำการเติมสารยับยั้งลงในท่อเทอร์โมไฮฟอน แล้วทำการเปรียบเทียบผลกับท่อที่ไม่ได้รับการเติมพบว่าท่อที่ไม่ได้รับการเติมมีอัตราการกัดกร่อนน้อยและส่งถ่ายความร้อนได้ดีกว่า

Novotna et al. (1994) ได้ทำการทดสอบเพื่อจะลดการกัดกร่อนภายในท่อความร้อนโดยทำการศึกษากับท่อความร้อนที่ทำจากเหล็กและมีน้ำเป็นสารทำงาน ซึ่งได้รับการป้องกันการกัดกร่อน 3 วิธี คือ

(1) การเติมสารยับยั้ง Potassium chromate (K_2CrO_4) ลงในสารทำงานในอัตราส่วน K_2CrO_4 ปริมาณ 5 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร ซึ่งมีค่า pH เท่ากับ 7.87

(2) การเคลือบผิวภายในท่อความร้อนด้วย Magnetite (Fe_3O_4) คือการทำให้ผิวท่อกลายเป็นออกไซด์ด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 550 เซลเซียส

(3) รวม 2 วิธีข้างบนเข้าด้วยกัน

จากการทดสอบอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 6000 ชั่วโมงและให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยของท่อจมน้ำอุณหภูมิเท่ากับ 200 เซลเซียส จะเกิดการกัดกร่อนของเหล็กในน้ำด้วยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีซึ่งจะเกิดขึ้นเล็กน้อยเมื่อขาดก๊าซออกซิเจนและเมื่อนำท่อมาวิเคราะห์ในส่วนของการทำงานก๊าซที่ไม่ควบแน่นหรือก๊าซไฮโดรเจน วัตถุที่ผิวท่อ และการกระจายของอุณหภูมิในส่วนควบแน่นของท่อความร้อน จะพบว่าวิธีที่ดีที่สุดคือวิธีที่ 3 รองมาคือวิธีที่ 1 แม้ว่าวิธีที่ 3 จะดีที่สุดแต่ต้องใช้เทคโนโลยีและต้นทุนการผลิตที่สูงกว่าวิธีที่ 1 ดังนั้น วิธีที่ 1 จึงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าและเหมาะสำหรับการใช้งานเป็นระยะเวลานาน

ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์ (2541) ทำการศึกษาถึงการกัดกร่อนภายในท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไฮฟอนที่ใช้กับระบบดึงความร้อนสูญเสีย โดยศึกษาจากท่อเทอร์โมไฮฟอนที่ทำจากท่ออะลูมิเนียมท่อทองแดง ท่อเหล็ก และท่อทองแดงกับสแตนเลสโดยมีผิวภายในเป็นร่องเกลียว ทำการป้องกันการกัดกร่อนด้วยการเผาท่อที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสที่เวลาต่างกัน และทำการเติมสารยับยั้ง (Na_2HPO_4) ด้วยความเข้มข้น 20 ppm. ลงในสารทำงานทดสอบเทียบกับท่อธรรมดา ใช้เวลาในการทดสอบเป็นเวลา 4,000 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิใช้งาน 150, 250 และ 350 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่า การกัดกร่อนเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น สำหรับวิธีที่เหมาะสมในการป้องกันการกัดกร่อนภายในของท่ออะลูมิเนียมและท่อทองแดงในช่วงอุณหภูมิ 150 – 350 องศาเซลเซียส คือการเผาท่อเป็นเวลา 1 ชั่วโมงและเติมสารยับยั้ง (Na_2HPO_4) ลงในสารทำงานปริมาณ 20 ppm. พบว่าอัตราความต้านทานความร้อนของฟาวลิงแปรผันตรงกับเวลา

1.2.2 การป้องกันการกัดกร่อนภายนอกท่อเทอร์โมไฮฟอนด้วยการเคลือบผิวด้วยสี

Terdtoon et.al. (1999) ทำการทดสอบท่อความร้อนแบบเทอร์โมไฮฟอนที่ทำจากท่ออะลูมิเนียมท่อทองแดง และท่อเหล็ก มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของท่อเท่ากับ 22.225 , 225.25 และ 21.3 มม. ตามลำดับ เทอร์โมไฮฟอนเคลือบสี 3 ชนิด ได้แก่ เรด-ออกไซด์ (Red-oxide), เรด-เลด (Red-lead) และสีทนความร้อน ในแต่ละสีเคลือบด้วย 3 ความหนา ทดสอบกับเครื่องอุ่นน้ำป้อนที่รับไอเสียร้อนจากการเผาไหม้ของน้ำมันผสมของน้ำมันเตาเกรด A ที่มีน้ำมันดีเซลผสมอยู่ 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ไอเสียร้อนมีอุณหภูมิ 225 องศาเซลเซียส ทำการทดสอบเป็นเวลา 1,000 ชั่วโมง จากผลการทดสอบพบว่า การกัดกร่อนที่วัดจากภาพถ่ายภาคตัดขวางของเทอร์โมไฮฟอนที่ทำจากท่ออะลูมิเนียม ท่อทองแดงและท่อเหล็ก ที่ไม่เคลือบสี เท่ากับ 174.86, 165.71 และ 167.14 ไมครอน ตามลำดับ และสีที่เหมาะสมในการนำมาใช้สำหรับท่ออะลูมิเนียม ท่อทองแดง และท่อเหล็ก คือ สีเรด - เลด และสีทนความร้อน ที่ความหนา 280 ไมครอน และสีทนความร้อน 300 ไมครอน ตามลำดับ สำหรับผลการศึกษาเกี่ยวกับฟาวลิงที่เกาะที่ผิวท่อพบว่า ความสัมพันธ์ของความหนาฟาวลิงกับเวลาคือ $R_{\text{fouling}} = 11.905(1 - e^{-0.0021t})$ ความหนาของฟาวลิงมีค่าเกือบไม่เปลี่ยนแปลงที่เวลา 1,250 ชั่วโมง และความสัมพันธ์ของความต้านทานความร้อนของฟาวลิงกับเวลาคือ $Z_{\text{fouling}} = 0.02365(1 - e^{-0.0012t})$

ประชา ยืนยงกุล (2541) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการป้องกันการกัดกร่อนบนผิวภายนอกท่อเทอร์โมไฮฟอนแบบท่อครีป ของเครื่องอุ่นน้ำป้อนโดยใช้สีเคลือบโดยทดสอบกับเทอร์โมไฮฟอนที่ทำจากเหล็กครีปเหล็ก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของท่อ 21.7 มม. ความหนาท่อ 2.68 มม. ความสูงของครีป 10 มม. ท่อ

ทองแดงติดครีบบะลูมิเนียม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกท่อ 19.05 มม. ความหนาท่อ 1.4 มม. ความสูงครีบบ 10 มม. โดยความยาวท่อเทอร์โมไซฟอนทั้งหมด 630 มม. มีส่วนทำระเหยยาว 420 มม. ส่วนที่เป็นฉนวนกันความร้อนยาว 10 มม. และส่วนควบแน่นยาว 200 มม. แล้วทำการเคลือบส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอนด้วยด้วยสีทนความร้อนทดสอบกับไอเสียที่อุณหภูมิ 225 องศาเซลเซียสที่ได้จากการเผาไหม้น้ำมันเตาเกรด A ผสมกับน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ ทำการทดสอบวันละ 16 ชั่วโมงเป็นเวลา 1,000 ชั่วโมง ทำการวิเคราะห์การกัดกร่อนที่เวลา 250, 500, 750 และ 1,000 ชั่วโมง นำข้อมูลมาวิเคราะห์การกัดกร่อนจากภาพถ่าย 25 เท่าและตรวจหาสารประกอบในฟาวลิง ทำการวิเคราะห์ความต้านทานความร้อนของฟาวลิงจากความต้านทานความร้อนรวมของเครื่องอุ่นน้ำป้อนที่เปลี่ยนไป จากการทดลองพบว่าตำแหน่งด้านหน้ารับไอเสียร้อนและความหนาสี ทนความร้อนไม่มีผลต่อการกัดกร่อน และผลของความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนาฟาวลิงกับเวลาของท่อเหล็กครีบลูกเป็น $R_{\text{fouling}} = 42.23(1 - e^{-0.0012t})$ ของท่อทองแดงติดครีบบะลูมิเนียมคือ $R_{\text{fouling}} = 36.68(1 - e^{-0.0019t})$ และท่ออะลูมิเนียมติดครีบบะลูมิเนียมเป็น $R_{\text{fouling}} = 15.87(1 - e^{-0.0063t})$ ตามลำดับ ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานความร้อนรวมของฟาวลิงกับเวลาเป็นไปดังสมการ $Z_{\text{fouling}} = 1.038(1 - e^{-0.0034t})$

1.2.3 การป้องกันการกัดกร่อนภายนอกท่อเทอร์โมไซฟอนด้วยการเคลือบผิวด้วยอินามัล

ได้มีการป้องกันการกัดกร่อน โดยการเลือกวัสดุที่ทำท่อ และการเคลือบผิวท่อโดย Polasek and Stulec (1994) โดยการกัดกร่อนนั้นเกิดจากปรากฏการณ์ โคลด์-เอนด์ (Cold-end) คือ การกลั่นตัวของไอของซัลฟูริก และไอน้ำ ทำให้เกิดกรดซัลฟูริกที่ผิวท่อซึ่งการกลั่นตัวเกิดจากการที่ ก๊าซร้อนทั้งมีอุณหภูมิถึงจุดน้ำค้าง คือที่ 125 - 145 องศาเซลเซียสสำหรับก๊าซร้อนทั้งจากเชื้อเพลิงที่เป็นน้ำมัน และ 115-130 องศาเซลเซียสสำหรับก๊าซร้อนทั้งจากเชื้อเพลิงที่เป็นถ่านหิน จึงมีการป้องกันการกัดกร่อนโดยใช้อินามัลเคลือบผิวท่อ ทำการทดสอบโดยใช้ท่อความยาว 2 เมตร มีความยาวส่วนควบแน่น และความยาวส่วนทำระเหย มีความยาว 1 เมตร เคลือบอินามัลที่ส่วนทำระเหย และที่ส่วนกลั่นตัวเป็นครีบบะลูมิเนียม ทดสอบที่สภาวะการทำงานกับก๊าซร้อนทั้ง โดยเปรียบเทียบกับท่อเหล็กกล้าไร้สนิม ที่สภาวะเดียวกัน พบว่ามีความสามารถในการต้านทานต่อการกัดกร่อนดีมาก และมีความคงทนต่อการกัดกร่อนได้ดีกว่าท่อเหล็กกล้าไร้สนิม

ขวัญชัย ไกรทอง (2541) ได้ศึกษาถึงการป้องกันการกัดกร่อนบนผิวภายนอกท่อเทอร์โมไซฟอนของเครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเทอร์โมไซฟอนด้วยการเคลือบอินามัล ทำการทดสอบกับไอเสียร้อนที่ อุณหภูมิ 225 องศาเซลเซียส ที่ได้จากการเผาไหม้น้ำมันเตาเกรด A ผสมกับน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซ็นต์ ทำการทดสอบวันละ 16 ชั่วโมงเป็นเวลา 1,000 ชั่วโมง ทำการวิเคราะห์ผลการกัดกร่อนที่เวลา 250, 500, 750 และ 1,000 ชั่วโมง จากผลการทดลองพบว่าตำแหน่งด้านหน้ารับไอเสียร้อนและความหนาอินามัลไม่มีผลต่อการกัดกร่อนหรือความหนาของฟาวลิง หรืออัตราการเกาะตัวของฟาวลิงเฉลี่ย การกัดกร่อนของท่อเหล็กและท่อทองแดงที่เคลือบอินามัลจะมีค่าน้อยกว่าท่อที่ไม่เคลือบ 0.15 มม. และ 0.136 มม. ตามลำดับ ที่เวลา 1,000 ชั่วโมงได้พบความสัมพันธ์ระหว่างการกัดกร่อนกับเวลาของท่อเหล็กที่ไม่เคลือบและเคลือบอินามัลเป็นไปดังสมการ $Cr = 0.008t^{0.457}$ และ $Cr = 0.0073t^{0.231}$ ตามลำดับ ส่วนท่อทองแดงมีความสัมพันธ์ระหว่างการกัดกร่อนกับเวลาของท่อทองแดงที่ไม่เคลือบและเคลือบอินามัลเป็น $Cr = 0.0233t^{0.2938}$ และท่อทองแดงเคลือบอินามัลดังสมการ $Cr = 0.0347t^{0.202}$ ตามลำดับ

ทางด้านความหนาฟาล้างพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความหนาฟาล้างกับเวลาของท่อเหล็กเป็นไปดังสมการ $R_{\text{fouling}} = 28.62(1 - e^{-0.0018t})$ และท่อทองแดงเป็นไปดังสมการ $R_{\text{fouling}} = 31.34(1 - e^{-0.009t})$ ตามลำดับ และความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานความร้อนของฟาล้างกับเวลาคือ $Z_{\text{fouling}} = 0.0925(1 - e^{-0.003t})$ ในการใช้เครื่องอุ่นน้ำป้อนเทอร์โมไซฟอนที่ทำงานกับอุณหภูมิ 150 – 250 องศาเซลเซียส

ณัฏ เกษประดิษฐ์ (2543) ได้ทำการทดลองเพื่อหาการกัดกร่อนและความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับเวลาของท่อเทอร์โมไซฟอนที่ทำจากเหล็กครีบล็กและท่อทองแดงครีบล็กซึ่งทำการป้องกันการกัดกร่อนผิวโดยการเคลือบอีนาเมลที่ความหนาแตกต่าง 3 ความหนา ทำการทดสอบกับไอเสียร้อนทิ้งที่ได้จากการเผาไหม้น้ำมันเตาผสมกับน้ำมันดีเซลในปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ทำการทดสอบวันละ 16 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 225 องศาเซลเซียส ทำการวิเคราะห์ผลที่เวลา 500, 1,000 และ 1,500 ชั่วโมงตามลำดับ จากการทดลองพบว่า ความหนาของอีนาเมลที่เคลือบผิวไม่มีผลต่อการกัดกร่อนหรือความหนาแน่นของเขม่า และพบว่าความสัมพันธ์การกร่อนของท่อเหล็กครีบล็กที่ไม่ได้ทำการเคลือบและเคลือบผิวเป็นไปดังสมการ $Cr = 0.0104t^{0.4}$ และ $Cr = 0.0105t^{0.187}$ ตามลำดับ ส่วนท่อทองแดงครีบล็กที่ไม่ได้รับการเคลือบ $Cr = 0.0188t^{0.31}$ และได้รับการเคลือบ $Cr = 0.0105t^{0.184}$ และยังวิเคราะห์หาผลต่างการกัดกร่อนระหว่างท่อเหล็กครีบล็กท่อทองแดงครีบล็กเคลือบอีนาเมลผลของการกัดกร่อนที่ผิวของโลหะทั้งสองมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ และมีค่าตรงข้ามกับผิวที่ไม่ได้รับการป้องกันสำหรับความหนาแน่นของเขม่าพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานความร้อนของเขม่ากับเวลาได้ดังสมการ $Z_{\text{fouling}} = 1.146(1 - e^{-0.006t})$

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาการวิเคราะห์และรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับวิธีป้องกันการกัดกร่อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่ทำจากท่ออะลูมิเนียม ท่อทองแดง และท่อเหล็ก เพื่อหาจุดเหมาะสมของแต่ละวิธีที่ใช้ในการป้องกันการกัดกร่อนโดยใช้การวิเคราะห์ทางเชิงเศรษฐศาสตร์ ซึ่งใช้การป้องกันการกัดกร่อนแบบ

ก.ป้องกันการกัดกร่อนภายนอกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนแบบท่อเรียบเคลือบด้วยสีทนความร้อนและเคลือบด้วยอีนาเมล

ข.ป้องกันการกัดกร่อนภายนอกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนแบบท่อมีครีบล็กเคลือบด้วยสีทนความร้อนและเคลือบด้วยอีนาเมล

ค.ป้องกันการกัดกร่อนภายใน โดยการเติมสารยับยั้งการกัดกร่อนโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตลงในสารทำงานปริมาณ 20 ppm.

ง. ป้องกันการกัดกร่อนภายในโดยการเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสเวลา 1 ชั่วโมง

1.3.2 เพื่อสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถช่วยในการคำนวณหาจุดที่เหมาะสมสำหรับการเลือกวิธีป้องกันการกัดกร่อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.4.1 ได้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถใช้ช่วยในการคำนวณหาจุดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับ แต่ละวิธีที่เลือกในการป้องกันการกักกร่อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน โดยพิจารณาจากราคาต้นทุนรวมทั้งหมดประกอบกับเงื่อนไขของเวลา การส่งถ่ายความร้อนและการกักกร่อน ซึ่งทำการวิเคราะห์โดยเชิงเศรษฐศาสตร์

1.4.2 เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกใช้วิธีป้องกันการกักกร่อนของเทอร์โมไซฟอน ในเครื่องอุ่นน้ำป้อนโดยพิจารณาจากวิธีที่มีต้นทุนต่างๆ ค่าที่สุด

1.4.3 ทำให้ทราบเวลาที่เหมาะสมในการทำความสะดวกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แบบเทอร์โมไซฟอน

1.4.4 มีความเข้าใจในหลักการ คุณลักษณะของการส่งถ่ายความร้อนและลักษณะการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน

1.5 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.5.1 การออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถใช้ช่วยในการคำนวณหาจุดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับวิธีที่เลือกแต่ละวิธีในการป้องกันการกักกร่อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนโดยคำนึงถึง

ก. คัดความรุนแรงสูญเสียและการกักกร่อนของเทอร์โมไซฟอนในส่วนด้านในและส่วนที่สัมผัสไอร้อนทั้ง

ข. ไอร้อนทั้งได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงผสมระหว่างน้ำมันเตาเกรด A และน้ำมันดีเซล โดยผสมกับน้ำมันดีเซล 20 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร

ค. อุณหภูมิการใช้งานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอยู่ในช่วง 150-250 องศาเซลเซียส

ง. ลักษณะของการวางของท่อในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนเป็นแบบสลับแถว

1.5.2 ลักษณะของท่อและวัสดุที่ใช้ทำเทอร์โมไซฟอน

ก. มีครีบบีความสูง 10 มม. ทำจาก

- ท่อเหล็กครีบลีกล
- ท่อทองแดงครีบทองแดง
- ท่ออะลูมิเนียมครีบบอะลูมิเนียม

ข. ท่อผิวเรียบ

- เหล็ก
- ทองแดง
- อะลูมิเนียม

1.5.3 การป้องกันการกัดกร่อน

ก. ป้องกันการกัดกร่อนภายนอก โดยการเคลือบสีทนความร้อนและเคลือบด้วยอีนาเมล

ข. ป้องกันการกัดกร่อนภายใน โดยการเติมสารยับยั้งการกัดกร่อนโซเดียม ไฮโดรเจนฟอสเฟต ลงในสารทำงาน ปริมาณ 20 ppm. และเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

1.5.4 โปรแกรมที่ใช้คือ วิวเบสิก (Visual Basic) เวอร์ชัน 6 โดยการแสดงผลของโปรแกรมจะแสดงออกมาในรูปของราคาต่อชั่วโมงการทำงานและวิธีการป้องกันการกัดกร่อนที่ดีที่สุด