บทที่ 1
บทนำ

ตั้งแต่เกิดวิกฤติการณ์ด้านพลังงาน เนื่องจากเชื้อเพลิงมีราคาสูงขึ้นและแหล่งพลังงานสำรองลดลงเรื่อยๆ วงการอุตสาหกรรมก็ได้เริ่มมุ่งความสนใจและความพยายามในการอนุรักษ์พลังงานมากขึ้น วิธีหนึ่งที่สามารถช่วยให้เกิดการอนุรักษ์พลังงาน คือ การนำความร้อนที่เหลือทิ้งจากขบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆในอุตสาหกรรมกลับมาใช้ประโยชน์อีก เช่น ความร้อนจากการเผาไหม้ของหัวเผาหม้อไอน้ำหรือความร้อนทิ้งจากระบบหล่อเย็น การพัฒนาระบบดึงความร้อนทิ้งกลับคืนจากความร้อนทิ้งทางอุตสาหกรรมได้รับการศึกษาและพัฒนาอย่างมากมายทั่วโลก ท่อความร้อนหรือเทอร์โมไซฟอน (Thermosyphon) ก็เป็นหนึ่งในการพัฒนานั้น

ปัญหาหนึ่งที่เกี่ยวกับการใช้งานเทอร์โมไซฟอนในระยะเวลายาวนานก็คือ วัสดุต่างๆของท่อเกิดความไม่เข้ากัน ในเรื่องของเทอร์โมไซฟอน คำว่า "ความเข้ากันได้" เป็นสิ่งสำคัญเพราะองค์ประกอบต่างๆของเทอร์โมไซฟอน ซึ่งคือวัสดุท่อและสารทำเย็นต้องสามารถทำงานร่วมกันได้โดยที่ไม่ส่งผลกระทบใดๆ ต่อระบบโดยรวมเมื่อทำงานไปเป็นระยะเวลาที่ยาวนาน ผลที่สำคัญของการเข้ากันไม่ได้ก็คือจะเกิดการกัดกร่อนและเกิดก๊าซที่ไม่ควบแน่นขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้คุณลักษณะการถ่ายเทมวลและการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนลดลง โดยทั่วไปมักจะมีการทดสอบหาความเข้ากันได้ของเทอร์โมไซฟอนระบบใดๆที่ออกแบบขึ้นมาเสียก่อน จุดประสงค์สำคัญของการทดสอบก็เพื่อประมาณได้ถึงอายุการใช้งานที่แท้จริงของเทอร์โมไซฟอน เมื่อเทอร์โมไซฟอนนั้นทำงานภายใต้สภาวะที่กำหนด

เนื่องจากเทอร์โมไซฟอนที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบันโดยมากทำมาจากโลหะ เช่น ทองแดง เหล็ก หรือ อะลูมิเนียม ซึ่งเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัตินำความร้อนได้สูงและมีกรรมวิธีการประกอบที่ง่าย แต่ก็มีข้อด้อยบางประการในการใช้งาน คือ ท่อโลหะมีน้ำหนักมากซึ่งไม่สะดวกต่อการติดตั้งและใช้งานบางประเภทรวมถึงปัญหาด้านต้นทุนการสร้างท่อ ซึ่งท่อโลหะนั้นแม้ว่าจะมีความสามารถในการนำความร้อนได้ดีแต่ราคาก็จะสูงตามไปด้วย และมักจะเกิดความเข้ากันไม่ได้ระหว่างคู่ท่อโลหะและสารทำเย็นบางชนิดเมื่อสภาวะของระบบเปลี่ยนแปลงไป โดยสามารถสังเกตได้จากเกิดการกัดกร่อนบนผิวท่อโลหะทั้งการกัดกร่อนภายในและภายนอก หรือเกิดก๊าซที่ไม่ควบแน่นบางชนิดขึ้นภายในท่อเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้นในระบบ อันเป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนลดลง อายุการทำงานของเทอร์โมไซฟอนจึงสั้นลงไปด้วย

จากข้อด้อยบางประการของเทอร์โมไซฟอนโลหะ จึงเริ่มมีแนวคิดในการใช้วัสดุท่อชนิดใหม่มาใช้เพื่อแทนข้อด้อยดังกล่าว นั่นก็คือ ท่อพลาสติก เนื่องจากท่อพลาสติกมีข้อได้เปรียบบางประการจากท่อโลหะคือมีน้ำหนักที่เบากว่า มีความทนทานต่อปฏิกิริยาเคมีได้ดีกว่าท่อโลหะ

ทั่วไป รวมทั้งมีคุณสมบัติในด้านการนำความร้อนได้ดีในช่วงอุณหภูมิทำงานไม่สูงมากนัก คือ ในช่วง 12°C -80°C แต่เนื่องจากเทอร์โมไซฟอนพลาสติกยังเป็นหัวข้อที่ใหม่ในงานวิจัยมีเพียงงานวิจัยโดย Terdtoon et.al (1999) เรื่อง เทอร์โมไซฟอนพลาสติกและงานวิจัยโดยกฤษฎากร บุดดาจันทร์ (2543) เรื่อง คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนพลาสติก เท่านั้น ซึ่งต่างก็ศึกษาถึงระบบเทอร์โมไซฟอนที่ประกอบด้วยท่อพลาสติกชนิดโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene Pipe; HDPE) กับสารทำเย็น 2 ชนิด คือ R11 และ R113 ซึ่งการเลือกวัสดุท่อและสารทำเย็นดังกล่าวนั้น ได้พิจารณาจากปัจจัยต่างๆประกอบกัน เช่น ความสะดวกในการหาวัสดุ ท่อพลาสติกที่ใช้ต้องมีความสามารถทนความร้อนได้สูงและต้องมีความเป็นฉนวนน้อยที่สุด ดังนั้นท่อพลาสติกชนิดเอชดีพีอีจึงมีความเหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้ อนึ่ง สารทำเย็นที่เลือกมาทำการทดสอบนี้ ก็เนื่องจากพิจารณาถึงความเหมาะสมของอุณหภูมิและความดันปฏิบัติงานของสารทำเย็นที่สามารถทำงานกับท่อพลาสติกชนิดดังกล่าวได้ จากการศึกษาพบว่า เทอร์โมไซฟอนระบบดังกล่าวสามารถส่งถ่ายความร้อนได้ดีและสามารถนำไปใช้งานได้จริง แต่ข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวกับความเข้ากันได้ระหว่างท่อพลาสติกกับสารทำเย็นในระยะเวลาทำงานที่ยาวนาน อันเป็นปัจจัยกำหนดอายุการใช้งานของเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีผู้ที่ทำการศึกษา และสารทำเย็น R11 ที่ใช้ในการทดสอบนี้ก็เป็นสารเคมีที่เป็นอนุพันธ์ของคลอโรฟลูออโรคาร์บอน ซึ่งมีพิษต่อสิ่งแวดล้อมสูงมากและปัจจุบันก็ได้เลิกทำการผลิตไปแล้ว จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งานและทำการทดสอบอีก ดังนั้นจึงควรเปลี่ยนไปใช้สารทำเย็นอื่นๆที่มีความเป็นพิษน้อยกว่าแต่ยังมีความเหมาะสมในด้านอุณหภูมิและความดันปฏิบัติงานอยู่

การวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาความเข้ากันได้ของวัสดุท่อซึ่งคือท่อเอชดีพีอี กับสารทำเย็น 2 ชนิด คือ R113 และ R123 ภายใต้การปฏิบัติงานระยะยาว ซึ่งจะช่วยในการทำนายอายุการใช้งานของเทอร์โมไซฟอนระบบดังกล่าวภายใต้สภาวะที่กำหนดได้ อันจะเป็นแนวทางในการทดสอบและประยุกต์ใช้เทอร์โมไซฟอนพลาสติกคู่กับสารทำเย็นใดๆ เพื่อนำไปใช้งานให้เกิดผลแห่งการอนุรักษ์พลังงานได้ต่อไป เช่น การนำเทอร์โมไซฟอนพลาสติกไปใช้ในระบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อระบายความร้อนน้ำยาเคมี หรือการนำไปใช้รักษาระดับอุณหภูมิของตัวกลางที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีหรือการกัดกร่อน เช่น ในดินหรือในบริเวณที่มีความชื้นสูงเป็นต้น

1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

1.2.1 เทอร์โมไซฟอนพลาสติก

Terdtoon et.al (1999) และกฤษฎากร บุดดาจันทร์ (2543) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมทางความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่สร้างจากท่อพลาสติกชนิดเอชดีพีอี ซึ่งมีความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนจากสารเคมีและปฏิกิริยาเคมีได้เป็นอย่างดี โดยแปรค่ามุมเอียงที่ใช้ในการทดสอบ อัตราส่วนสนทัด ขนาดท่อ และใช้สารทำเย็น 2 ชนิด คือ R11 และ R113 โดยใช้อัตราส่วนการเติม

50% พบว่าค่าการส่งผ่านความร้อนอยู่ในช่วงที่เป็นที่น่าพอใจ กล่าวคือ สำหรับท่อเทอร์โมไซฟอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 15 มิลลิเมตร ที่มีอัตราส่วนสนทัด 10 นั้น สามารถส่งผ่านความร้อนสูงสุดได้ถึง 60 วัตต์ ที่อุณหภูมิไอ 43 $\pm$ 3 °C ส่วนท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 25 มิลลิเมตร อัตราส่วนสนทัด 30 นั้น สามารถส่งผ่านความร้อนสูงสุด ได้ถึง 220 วัตต์ นอกจากนี้ยังพบว่าเทอร์โมไซฟอนแบบพลาสติกที่ใช้สารทำเย็นชนิดดังกล่าว มีช่วงมุมเอียงการทำงานที่ให้ค่าการส่งผ่านความร้อนสูงสุด คือ ช่วงมุมเอียง 60-70 องศาจากแนวระดับสำหรับทุกๆการทดสอบ และพบว่าอัตราส่วนสนทัดและตัวเลขของบอนด์ไม่มีผลต่ออัตราส่วนของค่าการส่งผ่านความร้อนที่ตำแหน่งมุมเอียงที่ให้ค่าการส่งผ่านความร้อนสูงสุดเทียบกับค่าการส่งผ่านความร้อนที่ตำแหน่งแนวดิ่ง แต่การศึกษานี้ยังไม่ได้ศึกษาถึงความเข้ากันได้ของสารทำเย็นที่ใช้กับวัสดุท่อ ซึ่งเป็นปัจจัยกำหนดอายุการใช้งานของเทอร์โมไซฟอนและยังไม่ได้ศึกษาถึงผลของก๊าซที่ไม่ควบแน่นที่อาจเกิดขึ้นในท่อระหว่างทำการทดลอง

1.2.2 การทดสอบอายุการใช้งานของเทอร์โมไซฟอน

อายุการใช้งานของเทอร์โมไซฟอนขึ้นกับองค์ประกอบต่างๆ การทดสอบอายุการใช้งานของเทอร์โมไซฟอนเป็นสิ่งแรกที่จะต้องทำเมื่อออกแบบเทอร์โมไซฟอนใดๆ 1 ท่อ เพื่อให้ทราบถึงอายุการใช้งานที่แท้จริงของเทอร์โมไซฟอน ในทางปฏิบัติการทดสอบเทอร์โมไซฟอนในระยะเวลานานๆ ภายใต้สภาวะใช้งานจริงๆ นั้นทำได้ยาก จึงจำเป็นต้องใช้ปัจจัยต่างๆในการเร่งทดสอบเทอร์โมไซฟอน อาทิ อุณหภูมิ หรือ อัตราถ่ายเทความร้อน เป็นต้น โดยออกแบบให้มีภาระมากกว่าปกติ

Baker, E. (1973) ได้ทำการศึกษาหาสมรรถนะการทำงานของเทอร์โมไซฟอนภายใต้การปฏิบัติงานระยะยาวจากการเร่งทดสอบอายุการใช้งาน โดยศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนในท่อความร้อนโลหะชนิดเหล็กไร้สนิมจำนวน 15 ท่อ ที่ใช้น้ำเป็นสารทำเย็น ทดสอบเป็นเวลา 2 ปี ที่อุณหภูมิ 100°F 200°F และ 300°F อุณหภูมิละ 5 ท่อ Baker ได้ทำการทดสอบการสั่นสะเทือน รวมทั้งการกัดกร่อนและการเกิดออกไซด์ เขาพบว่าสาเหตุสำคัญของการเสื่อมสภาพของท่อความร้อนมักจะเกิดจากกลไกความล้มเหลวที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการที่มีการกระตุ้น เช่น การเกิดก๊าซที่ไม่ควบแน่นซึ่งก็คือก๊าซไฮโดรเจนที่สะสมตัวอยู่ในส่วนควบแน่นของท่อความร้อน ซึ่งพบว่าที่เวลาการทดสอบที่ยาวนานขึ้นจะเกิดการสะสมตัวของก๊าซไฮโดรเจนมากขึ้น และที่อุณหภูมิสูงขึ้นมวลของก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นในท่อความร้อนก็จะมากขึ้น

Baker ได้ทำการปรับค่าข้อมูลดิบของการเกิดก๊าซไฮโดรเจนเทียบกับสเกลของเวลา โดยเลื่อน (Shift) ข้อมูลการเกิดก๊าซไฮโดรเจนตามสเกลของเวลาเพื่อสร้างเส้นโค้งสากล (Universal

curve) โดยจะใช้ชุดข้อมูล 1 ชุด เป็นชุดอ้างอิงในการเลื่อนค่าให้อยู่ในเส้นตรงเดียวกัน ค่าที่คูณเข้ากับแต่ละชุดของข้อมูลเพื่อให้เกิดการเลื่อนที่นั้นเรียกว่าตัวคูณเลื่อนค่า (Shift factor) เส้นโค้งสากลนี้มีประโยชน์เพื่อใช้ทำนายคุณลักษณะการเกิดก๊าซไฮโดรเจนในระบบที่อุณหภูมิและเวลาใดๆ อัตราการเกิดมวล (m^*), เวลา (t) และอุณหภูมิ (T) แสดงได้ดังสมการ

$$m^*(t,T) = f(t)\,F(T) \qquad (1.1)$$

เมื่อ $m^*(t,T)$ คือ อัตราการเกิดมวลก๊าซ

$f(t)$ คือ ฟังก์ชันของเวลา

$F(T)$ คือ ฟังก์ชั่นของอุณหภูมิหรือตัวคูณเลื่อนค่า (Shift factor)

โดยทั่วไปแบบจำลองดังกล่าวสามารถอธิบายได้โดยใช้สมการ

$$F(T) = C * \exp(-A/kt) \qquad (1.2)$$

เมื่อ $F(T)$ คือ ตัวแปรที่ต้องการพิจารณา

C คือ ค่าคงที่

A คือ พลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยา

k คือ ค่าคงที่ของโบลทซ์แมน (Boltzman)

T คือ ค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์

ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อพล็อตกราฟลอการิทึมของตัวคูณเลื่อนค่าต่อส่วนกลับของอุณหภูมิสัมบูรณ์จะได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงที่มีความชันเป็นลบ

1.2.3 การศึกษาการเกิดปฏิกิริยาการกัดกร่อนบนพื้นผิวเทอร์โมไซฟอน

Murakami and Kimura (1990) ทำการทดสอบต่อเนื่องเพื่อพิจารณาความเข้ากันได้ระหว่างท่อความร้อนแบบท่อทองแดงที่มีฟอสฟอรัสผสมกับน้ำและท่อทองแดงที่ไม่มีออกซิเจนผสมกับน้ำที่ได้ทดสอบมาแล้ว โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 433 K เป็นเวลา 150 วัน พบว่าท่อทองแดงที่มีฟอสฟอรัสผสมอยู่นั้นเกิดการกัดกร่อนเป็นจำนวนมาก ซึ่งพบได้จากการตัดเอาชิ้นตัวอย่างมาทำการส่องด้วยกล้องถ่ายภาพกำลังขยายสูง และยังพบอีกว่าท่อความร้อนที่ทำจากทองแดงที่มีส่วนผสมของ

ฟอสฟอรัสนั้น มีอุณหภูมิความแตกต่างระหว่างส่วนควบแน่นและส่วนฉนวนนั้น แตกต่างกันถึง 2.2 °C ภายในช่วงระยะเวลาที่ทดสอบ ในขณะที่ท่อทองแดงที่ไม่มีออกซิเจนผสมนั้นมีความแตกต่างของอุณหภูมิดังกล่าวน้อยกว่า 1 °C ซึ่งได้สรุปไว้ว่าในการทดสอบเกี่ยวกับอายุการใช้งานของท่อความร้อนนั้น นอกจากจะดูปัจจัยเรื่องการเกิดการสะสมของก๊าซที่เกิดจากการกัดกร่อนแล้วนั้น ยังต้องพิจารณาถึงความเข้ากันได้และความบริสุทธิ์ของวัสดุท่อและสารทำเย็นเอาไว้ด้วย

Novotna et.al (1994) ได้ทำการศึกษาถึงอายุการใช้งานของท่อความร้อนแบบเหล็กคาร์บอนซึ่งใช้น้ำเป็นสารทำเย็นโดยศึกษาในแง่ของการเกิดการกัดกร่อน เมื่อใช้งานท่อความร้อนกับก๊าซเสียร้อนจากงานอุตสาหกรรมไปเป็นเวลา 10000 ชั่วโมง ท่อมีลักษณะ คือ ชั้นในเป็นท่อเหล็กส่วนชั้นนอกเป็นท่อมีครีบทำจากอะลูมิเนียม (Bimetallic Heat Pipe Jacket) โดยการใช้เครื่อง X-ray Microanalyzer วิเคราะห์พื้นผิวภายในท่อเทอร์โมไซฟอนพบว่าจากการวิเคราะห์ทั้งทางกายภาพและทางเคมีเพื่อหาร่องรอยการกัดกร่อนของท่ออะลูมิเนียม เมื่อเวลาผ่านไป 10000 ชั่วโมงนั้นแสดงให้เห็นว่ามีธาตุต่างๆ ดังต่อไปนี้ คือ Cu, Ni, Al, Si, Fe, V, Ca, Mn, Mg, Na และ Cr และแสดงอย่างเห็นได้ชัดถึงพื้นผิวที่มีซัลเฟอร์เกาะติดบนผิวท่อ แต่ไม่มีการกัดกร่อนเข้าไปในเนื้อโลหะ

การวิเคราะห์และการทดสอบนำไปสู่บทสรุปต่อไปนี้ มีสิ่งสกปรกเพียงเล็กน้อยเกาะที่พื้นผิวด้านล่างซึ่งคือเหล็กและซิลิกอน และสิ่งสกปรกนี้ไม่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติด้านการกัดกร่อนของวัสดุ บทสรุปนี้ ได้รับการยืนยันโดยการวิเคราะห์ทางโลหะวิทยา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไม่มีรอยแตกร้าวที่เกิดจากความเค้นหรือการกัดกร่อนระหว่างผลึก

Xi and Pan (1994) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับความเข้ากันได้ของท่อเหล็ก ท่อสเตนเลส ท่อทองแดงกับสารทำเย็น คือ แนพทาลีน โดยได้ทำการทดสอบในระบบปิดที่ 430°C เป็นเวลา 1000 ชั่วโมง พบว่าสเตนเลสกับทองแดงสามารถเข้ากันได้ดีกับแนพทาลีน เนื่องจากเกิดอัตราการกัดกร่อนเป็น 0.000 มม/ปี ส่วนของเหล็กเท่ากับ 0.0038 มม./ปี ซึ่งมีค่าน้อยมาก เนื่องจากเหล็กถูกกัดกร่อนด้วยออกซิเจนไม่ได้ถูกกัดกร่อนด้วยแนพทาลีน

Matsumoto and Yamamoto (1997) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะการถ่ายเทมวลของท่อความร้อนแบบที่ใช้โซเดียมเป็นสารทำเย็นภายใต้การปฏิบัติงานระยะยาว และเพื่อหาความเข้ากันได้ของวัสดุท่อซึ่งคือ Inconel600 และ SUS316L กับสารทำเย็นโซเดียม มีการให้ความร้อนแก่ท่อความร้อนแบบ Inconel600 เป็นเวลา 10000 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิไอคงที่ที่ 900°C และให้ความร้อนแก่ท่อความร้อนแบบ SUS316L เป็นเวลา 3000 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิไอคงที่ที่ 700°C

จากการสังเกตโดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) พบว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดบนพื้นผิวด้านนอกของท่อตลอดช่วงของส่วนทำระเหยจนถึงส่วนควบแน่นและทำให้พื้นผิวมีสีดำ และเช่นเดียวกันการกัดกร่อนก็ได้เกิดขึ้นที่ผิวผนังภายในและผิวของวัสดุพรุน เป็นเหตุให้พื้นผิวมีผิวเป็นเงาและค่อนข้างขาว และพบรอยยุบและรูเป็นจำนวนมาก ความลึกของรูที่ผิวผนังภายในของส่วนทำระเหยอยู่ในช่วง 0.07-0.14 มิลลิเมตร โดยรูที่ลึกที่สุดเท่ากับ 0.14 มิลลิเมตร ในขณะที่ความลึกของรูที่ผิวผนังภายในของส่วนควบแน่นอยู่ในช่วง 0.086-0.114 มิลลิเมตร โดยรูที่ลึกที่สุดเท่ากับ 0.114 มิลลิเมตร รอยยุบที่ผิวผนังส่วนควบแน่นมีน้อยกว่าส่วนทำระเหยและไม่พบความแตกต่างมากนักในรูปแบบของรูที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น ดังนั้นการเกิดรูจะเป็นผลมาจากผลกระทบทางเคมีของสารทำเย็นและวัสดุท่อมากกว่าจะเกิดจากผลกระทบทางความร้อน

ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบของพื้นผิวผนังภายในและพื้นผิวของวัสดุพรุนโดยการใช้ X-Ray Microanalyzer แสดงให้เห็นว่ามีธาตุ Ni, Cr, Fe ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของ Inconel600 ดังนั้นดูเหมือนว่าจะไม่มีการปนเปื้อนของสารอื่นๆ หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงในคุณภาพของวัสดุ

Matsumoto and Yamamoto (1997) ทำการศึกษาหาการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะการส่งผ่านความร้อนของท่อความร้อนโลหะชนิดสเตนเลส โดยจะดูผลของการกัดกร่อนกับระยะเวลาการทดสอบ ท่อความร้อนชนิดสเตนเลสใช้สารทำเย็นเป็นโซเดียม ทำการทดสอบที่ระยะเวลา 3000 และ 10000 ชั่วโมง ภายใต้อุณหภูมิการทดสอบ 700 และ 900 °C ซึ่งจากการวัดการกระจายอุณหภูมิที่ผนังท่อนั้นพบว่าค่าความต้านทานทางความร้อนของท่อทดสอบนั้นจะลดลงในช่วง 500 ชั่วโมงแรกของการทดสอบเท่านั้น หลังจากนั้นจะมีค่าค่อนข้างคงที่ และจากการศึกษาถึงความเข้ากันได้ของสารทำเย็นกับวัสดุที่ใช้เป็นวัสดุพรุนและท่อบรรจุนั้น พบว่า เกิดการกัดกร่อนที่บริเวณส่วนทำระเหยเป็นจำนวนมาก ซึ่งหลังจากวิเคราะห์ด้วยเครื่องอินฟาเรดสเปคโตรมิเตอร์แล้ว พบว่า การกัดกร่อนนั้นเกิดจากความเข้ากันไม่ได้ระหว่างสารทำเย็นกับวัสดุท่อ

ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์ (2541) ได้ทำการศึกษาการกัดกร่อนภายในท่อที่ใช้ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนสำหรับการดึงความร้อนทิ้งกลับคืน ท่อเทอร์โมไซฟอนที่ใช้ในการทดสอบทำจากอะลูมิเนียม เหล็ก ทองแดง ทองแดงร่องเกลียวภายใน และอะลูมิเนียมร่องเกลียวภายใน ทำการติดตั้งเทอร์โมไซฟอนไว้ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและทำการทดสอบเป็นเวลา 4000 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิทำงาน 150°C 250°C และ 350°C และใช้แบบจำลองของอาร์รีเนียสในการวิเคราะห์ข้อมูล จากการทดลองพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปนานๆ จะเกิดการกัดกร่อนภายในขึ้น สิ่งที่ได้จากการกัดกร่อนโดยทั่วไปก็คือก๊าซที่ไม่ควบแน่นและสารประกอบใหม่ๆที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวภายใน

ซึ่งจะไปลดความสามารถในการถ่ายเทความร้อนโดยตรง อัตราการกัดกร่อนโดยเฉลี่ยจะเป็นสัดส่วนผกผันกับเวลา และขึ้นกับอุณหภูมิ

คุณลักษณะการกัดกร่อนสามารถหาได้จากอัตราการกัดกร่อนโดยเฉลี่ย (Cr) อัตราการกัดกร่อนสูงสุด (Cr, max) และสิ่งที่เกาะติดบนวัสดุท่อ โดย

อัตราการกัดกร่อนโดยเฉลี่ย(Cr) สามารถหาได้จากน้ำหนักที่แตกต่างกันก่อนและหลังการทดสอบ ทำการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองของอาร์รีเนียส จากการทดลองพบว่าอัตราการกัดกร่อนโดยเฉลี่ยเป็นสัดส่วนผกผันกับเวลาแต่จะขึ้นกับอุณหภูมิทำงาน ดังนี้

$$Cr = 301.64t^{(-0.6062)}$$

$$Cr = 30.783e^{(-2174.7/T)}$$

ยิ่งไปกว่านั้นวัสดุที่เหมาะสมที่สุดสำหรับช่วงอุณหภูมิทำงานที่ 150-350°C คือ ท่อทองแดงที่มีร่องเกลียวภายในหรือท่อทองแดงธรรมดา ช่วงความถูกต้องของความสัมพันธ์มีค่า ±18%

อัตราการกัดกร่อนสูงสุด (Cr, max) สามารถหาได้จากภาพถ่ายภาคตัดขวางขนาดขยาย 25 เท่าของท่อ และโดยใช้แบบจำลองของอาร์รีเนียส จากการทดลองพบว่าอัตราการกัดกร่อนสูงสุดโดยเฉลี่ยเป็นสัดส่วนผกผันกับเวลา แต่จะขึ้นกับอุณหภูมิทำงาน ดังนี้

$$Cr, max = 8847t^{(-0.96821)}$$

$$Cr, max = 500.33e^{(-3067.3/T)}$$

วัสดุที่เหมาะสมที่สุดสำหรับช่วงอุณหภูมิทำงานที่ 150-350°C พบว่า คือท่อทองแดงที่มีร่องเกลียวภายในหรือท่อทองแดงธรรมดา ช่วงความถูกต้องของความสัมพันธ์มีค่า ±12%

สิ่งที่เกาะติดบนวัสดุท่อ เมื่อทำการทดลองไปแล้ว 1000 ชั่วโมง นำไปวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง X-Ray Diffractroscopy (XRD) และเครื่อง Infra-Red Spectroscopy (IR) แสดงให้เห็นถึงสารประกอบที่เกาะติดอยู่บนพื้นผิวภายในของท่ออะลูมิเนียม ซึ่งคือพันธะ OH, SiO, OSiO ที่ความหนาน้อยกว่า 1 ไมครอน สารที่เคลือบอยู่บนผิวภายในท่อทั้ง 4 ชนิด พบว่า คือ พันธะของ SO และ OSO ด้วยความหนาน้อยกว่า 1 ไมครอน สรุปได้ว่าสารประกอบที่เกาะติดบนผิวท่อนั้นมาจากตัวของวัสดุท่อเอง ไม่ได้มาจากสารทำเย็น

1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย

1.3.1 เพื่อศึกษาความเข้ากันได้ของเทอร์โมไซฟอนพลาสติกชนิด HDPE กับสารทำเย็น R113 และ R123 ในแง่ของการเกิดปฏิกิริยาบนพื้นผิวของเทอร์โมไซฟอน โดยหาลักษณะของพื้นผิวและชนิดของสารประกอบที่เกิดขึ้นภายใต้การปฏิบัติงานระยะยาว

1.3.2 เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิทำงาน เวลาที่ทำการทดสอบ ชนิดของสารทำเย็นที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาในเทอร์โมไซฟอนพลาสติกชนิด HDPE ที่ใช้สารทำเย็น R113 และ R123

1.3.3 เพื่อศึกษาผลของการเกิดปฏิกิริยาเคมีบนพื้นผิวของเทอร์โมไซฟอนพลาสติกชนิด HDPE ที่ใช้สารทำเย็น R113 และ R123 ภายใต้การปฏิบัติงานระยะยาวที่มีต่อสมบัติเชิงกลในด้านการทนต่อแรงดึง

1.3.4 เพื่อสร้างสมการทำนายอายุการใช้งานของเทอร์โมไซฟอนพลาสติกชนิด HDPE ที่ใช้สารทำเย็น R113 และ R123 ที่เวลาและอุณหภูมิใดๆ

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษาวิจัย

1.4.1 เพื่อทราบถึงลักษณะการเกิดปฏิกิริยาบนพื้นผิวของเทอร์โมไซฟอนพลาสติกชนิด HDPE ที่ใช้สารทำเย็น R113 และ R123 ที่อุณหภูมิทำงานและระยะเวลาใดๆได้

1.4.2 เพื่อทราบถึงอัตราการเกิดปฏิกิริยาในเทอร์โมไซฟอนพลาสติกชนิด HDPE ที่ใช้สารทำเย็น R113 และ R123 ที่จะมีผลต่อสมรรถนะการใช้งาน ที่อุณหภูมิทำงานและระยะเวลาใดๆได้

1.4.3 ได้สมการทำนายอายุการใช้งานของเทอร์โมไซฟอนพลาสติกชนิด HDPE ที่ใช้สารทำเย็น R113 และ R123 ที่เวลาและอุณหภูมิทำงานใดๆ

1.4.4 เพื่อได้แนวความคิดที่ว่า เมื่อทำการใช้งานเทอร์โมไซฟอนพลาสติกชนิด HDPE ไปเป็นระยะเวลายาวนานแล้ว จะมีความเหมาะสมที่จะนำเทอร์โมไซฟอนชนิดดังกล่าวมาใช้งานจริงได้หรือไม่

1.5 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.5.1 ใช้ท่อพลาสติกชนิดเอชดีพีอีที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 15 มิลลิเมตร ยาว 400 มิลลิเมตร

1.5.2 ทำการศึกษาลักษณะการเกิดปฏิกิริยาบนพื้นผิวของเทอร์โมไซฟอนพลาสติก HDPE โดย

ก.ใช้กล้องจุลทรรศน์เพื่ออธิบายรูปแบบการเกิดปฏิกิริยาบนพื้นผิว

ข.ใช้เครื่อง Nuclear Magnetic Resonance (NMR) หรือเครื่อง Infra-Red Spectroscopy (IR) เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเคมีของสารทำเย็น

ค.ใช้เครื่องชั่งมวลละเอียด ± 0.005 กรัม วิเคราะห์หาอัตราการกัดกร่อนจากน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปก่อนและหลังการทดสอบ

1.5.3 ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของเทอร์โมไซฟอนพลาสติกชนิด HDPE ในแง่ของความสามารถในการทนแรงดึง (Tensile Strength) ตามมาตราฐาน ASTM D2290-92

1.5.4 ใช้อัตราส่วนสนทัด 10

1.5.5 สารทำเย็นที่ใช้ คือ R113 และ R123

1.5.6 อัตราส่วนการเติม 50%

1.5.7 อุณหภูมิทำงาน คือ ที่อุณหภูมิห้อง 40 60 และ 80°C

1.5.8 แปรค่าฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่น 2 ค่า

1.5.9 ทำการศึกษาอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 3000 ชั่วโมง โดยเก็บข้อมูลที่เวลา 500 1000 และ 3000 ชั่วโมง

1.5.10 ใช้กระบะทรายร้อนเป็นตัวกลางให้ความร้อน โดยทำการหล่อเย็นส่วนควบแน่นของเทอร์โมไซฟอนทั้งหมดด้วยอากาศ

1.5.11 ทดสอบกับท่อเทอร์โมไซฟอนพลาสติกที่วางในแนวดิ่งและชิ้นทดสอบของท่อพลาสติกที่บรรจุในขวดแก้วบรรจุสารทำงานที่ปิดผนึกแน่นหนา

1.5.12 ในการทดสอบแต่ละรอบ จะทำการทดสอบ 5 ซ้ำ

1.5.13 ใช้แบบจำลองของอาร์รีเนียสทำนายอายุการใช้งานของเทอร์โมไซฟอนพลาสติกชนิดเอชดีพีอี