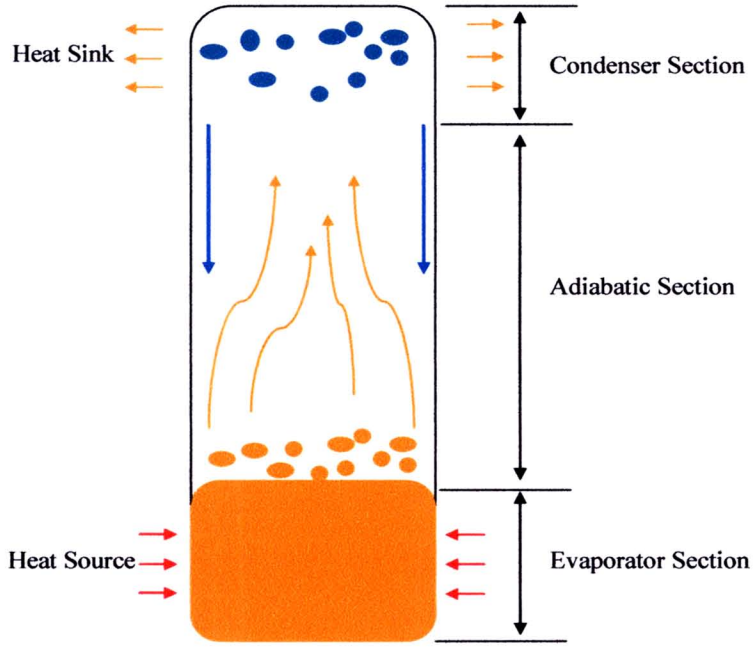
บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีอัตราการใช้พลังงานในงานอุตสาหกรรมและการดำเนินชีวิตของมนุษย์มากขึ้น ในขณะที่แหล่งพลังงานของโลกมีปริมาณลดลงเรื่อยๆ ปัญหาการขาดแคลนพลังงานในอนาคตจึงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ การนำพลังงานมาใช้อย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยลดหรือแก้ไขปัญหาได้ ในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ได้มีการปล่อยปริมาณความร้อนที่เหลือใช้ทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์เป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดการสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์อย่างมากมาย วิธีการหนึ่งที่สามารถช่วยประหยัดพลังงานได้ คือการนำพลังงานความร้อนทิ้งมาใช้ให้เป็นประโยชน์ (Wasted heat recovery) ช่วยทำให้มีการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่ามากขึ้น



รูป 1.1 เทอร์โมไซฟอน

เทอร์โมไซฟอน (Thermosyphon) เป็นอุปกรณ์อย่างหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ เทอร์โมไซฟอนสามารถส่งผ่านความร้อนได้สูงมาก โดยอาศัยกระบวนการการระเหยและการควบแน่นของสารทำงาน และอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกในการนำของเหลวที่ควบแน่นแล้วกลับมายังส่วนทำระเหย ลักษณะทั่วไปเป็นท่อปลายปิดสองข้าง มีส่วนประกอบ 3 ส่วน คือ ส่วนทำระเหย (Evaporator section) เป็นส่วนที่สารทำงานได้รับความร้อนจากแหล่งความร้อนแล้วกลายเป็นไอ ส่วนกันความร้อน (Adiabatic section) เป็นส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน และส่วนควบแน่น (Condenser section) เป็นส่วนที่สารทำงานคายความร้อนให้กับแหล่งรับความร้อนแล้วกลั่นตัวกลายเป็นของเหลว ส่วนประกอบที่เป็นสารทำงานมีหน้าที่เป็นตัวกลางในการรับความร้อนจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่น หลักการทำงานของเทอร์โมไซฟอน คือ เมื่อส่วนทำระเหยได้รับความร้อนสารทำงานจะรับเอาความร้อนทำให้ระเหยกลายเป็นไอ เคลื่อนที่ไปยังส่วนควบแน่นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า เมื่อไอสารทำงานนี้กระทบส่วนที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าก็จะคายความร้อนทำให้เกิดการควบแน่น ของเหลวที่ควบแน่นแล้วก็จะไหลกลับมายังส่วนทำระเหยเป็นการครบวงจรการทำงานของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ เทอร์โมไซฟอนแบบท่อตั้งตรงในแนวดิ่งหรือแบบธรรมดานี้ ก็ยังมีข้อจำกัดในการทำงานอยู่ เช่น ในขณะที่ไอของสารทำงานไหลขึ้นไปหาส่วนควบแน่นอาจจะพาเอาหยดสารทำงานที่แตกตัวจากสารทำงานที่เป็นของเหลวในขณะที่ไหลสวนทางกันขึ้นไปด้วย ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ไม่ดีเท่าที่ควร

จากปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าว จึงมีการพัฒนาสร้างเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ (Loop Thermosyphon) เพื่อแก้ปัญหานี้ เพราะเส้นทางการไหลของไอสารทำงานและสารทำงานที่ควบแน่นแล้วไหลแยกทางกัน จึงทำให้แก้ปัญหาที่เกิดจากการไหลสวนทางกัน อย่างไรก็ตาม สมรรถนะทางความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ ยังขึ้นอยู่กับตัวแปรอีกหลายตัวแปร เช่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อไอ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อของเหลว สัดส่วนการเติม และชนิดของสารทำงาน เป็นต้น ซึ่งตัวแปรเหล่านี้ยังไม่มีการศึกษาที่ชัดเจน จึงเป็นแนวทางในการศึกษาของงานวิจัยนี้

1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

มนตรี เดชมา (2544) ได้ศึกษาการใช้เทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบในระบบอบแห้งชนิดปั๊มความร้อน เทอร์โมไซฟอนที่ใช้เป็นแบบวงรอบ (Loop Thermosyphon) ซึ่งมีขนาดพื้นที่ผิวหน้า 400×360 ตารางมิลลิเมตร ภายในคอยล์ประกอบด้วยท่อทองแดงชนิดเรียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 10 มิลลิเมตร และครีบอลูมิเนียมที่มีจำนวนครีบ 12 ครีบต่อนิ้ว หนา 0.15 มิลลิเมตร เทอร์โมไซฟอนที่ใช้เป็นแบบ 42 วงรอบ ซึ่งคอยล์แต่ละส่วนมีจำนวนแถว 6 แถว

สารทำงานที่ใช้คือ R-123 เงื่อนไขจะควบคุมอุณหภูมิอากาศอบแห้งที่ 55 องศาเซลเซียส ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกประมาณ 13 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ใช้เวลาในการอบ 7 ชั่วโมงจนเหลือความชื้นสุดท้าย 5-7 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก และอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศอบแห้งคือประมาณ 0.4 กิโลกรัมต่อวินาที ผลการทดลองที่ได้ คือ เทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ 42 วงรอบ สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 3.08 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อ 1 วัน และ 3.50 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อ 1 วัน สำหรับกรณี Bypass air ratio (BAR) 20 เปอร์เซ็นต์ และ 40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ หรือคิดเป็น 7.2 เปอร์เซ็นต์ และ 8.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับระบบที่ไม่ได้ติดตั้งเทอร์โมไซฟอน ส่วนกรณี BAR 0 เปอร์เซ็นต์ นั้นค่าพลังงานไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น 3.6 เปอร์เซ็นต์ ค่าประสิทธิผลเพิ่มขึ้นจาก 0.217 เป็น 0.288 เมื่อค่าหน่วยการถ่ายเทความร้อน (NTU) เพิ่มจาก 0.044 เป็น 0.050 ตามลำดับ และมีอัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับ 22.90 เปอร์เซ็นต์ และ 26.45 เปอร์เซ็นต์ สำหรับกรณี BAR 20 เปอร์เซ็นต์ และ 40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้นเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบจึงมีความเหมาะสมสำหรับระบบอบแห้งชนิดปั๊มความร้อนนี้ที่เงื่อนไข BAR 20 เปอร์เซ็นต์ และ 40 เปอร์เซ็นต์

ลือชัย สวาสดิพันธ์ (2540) ศึกษาสมรรถนะของท่อนำความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน ที่ทำด้วยท่อทองแดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 37 มิลลิเมตร หนา 1.5 มิลลิเมตร ยาว 12.30 มิลลิเมตร ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนทำระเหยยาว 280 มิลลิเมตร ส่วนกันความร้อนยาว 500 มิลลิเมตร และส่วนควบแน่นยาว 450 มิลลิเมตร การทดสอบสมรรถนะของท่อนำความร้อน ศึกษาโดยการให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหยที่อุณหภูมิคงที่ ซึ่งมีค่า 30, 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส และระบายความร้อนออกที่ส่วนควบแน่นที่อุณหภูมิคงที่ ซึ่งมีค่า 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส โดยวางท่อนำความร้อนในแนวดิ่ง การศึกษาปริมาณของความร้อนที่ถ่ายเทผ่านท่อนำความร้อนโดยใช้ของไหลทำงานเป็น น้ำ R-11 R-12 R-22 และ R-134a พบว่าสภาวะที่เกิดการถ่ายเทความร้อนผ่านท่อนำความร้อนสูงที่สุดคือ เมื่อส่วนทำระเหยมีอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และส่วนควบแน่นมีอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส สารทำงานที่ดีที่สุดคือ R-22 ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนได้ 307 วัตต์ ส่วนสารทำงานที่มีสมรรถนะต่ำสุดคือ น้ำ ซึ่งให้ค่าการถ่ายเทความร้อน 30 วัตต์

วีรชาติ นามพรหม (2535) ศึกษาสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบคอยล์-ลูปเทอร์โมไซฟอนระหว่างอากาศกับอากาศ โดยใช้ฟรีออน 22 เป็นของไหลใช้งาน ในเทอมของอัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิผล เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ประกอบด้วยคอยล์ส่วนทำระเหยและคอยล์ส่วนควบแน่นที่มีขนาด 60×40 ตารางเซนติเมตร แต่ละคอยล์ประกอบด้วยท่อทองแดงขนาด 3/8 นิ้ว (ผิวในเป็นเกลียว) จำนวน 4 แถว ติดครีบอลูมิเนียม 13 ครีบต่อนิ้ว พบว่าค่า

ดัชนีสมรรถนะทั้งสองนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณบรรจุของของไหลใช้งานเมื่อปริมาณยังมีน้อย แต่เมื่อเพิ่มปริมาณบรรจุของไหลใช้งานถึงช่วงที่เหมาะสมแล้วจะค่อนข้างคงที่ นอกจากนี้ค่าจะเพิ่มขึ้นตามผลต่างอุณหภูมิระหว่างลมร้อนและลมเย็น อัตราการถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอัตรา-การไหลของของไหลร้อนและเย็น แต่ประสิทธิผลจะลดลงเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น

สันติ หวังนิพพานโต (2537) งานวิจัยนี้เป็นการสร้างเทอร์โมไซฟอนที่ทำด้วยท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2 เซนติเมตร ยาว 81 เซนติเมตร และใช้น้ำเป็นสารทำงาน มีชุดให้ความร้อนช่วงการทำระเหย (evaporator) เป็นน้ำมันร้อน (heat transfer oil) และใช้น้ำระบายความร้อนในส่วนของการควบแน่น (condenser) ในการศึกษาจะทดลองเปลี่ยนตัวแปรด้านมุมเอียงเทียบจากแนวระดับ (β) สัดส่วนปริมาณสารที่เติมต่อปริมาตรช่วงการทำระเหย (F) สัดส่วนความยาวช่วงการส่งถ่ายความร้อน (Transport Zone) ต่อความยาวของท่อทั้งหมด (L_a) และอุณหภูมิของน้ำมันร้อนที่ป้อนเข้าสู่ช่วงการทำระเหย ($T_{e,in}$) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนช่วงการทำระเหย และ กลั่นตัวของเทอร์โมไซฟอน จากการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนช่วงการทำระเหย (h_e) จะขึ้นอยู่กับสัดส่วนความยาวของช่วงการทำระเหยต่อความยาวทั้งหมด (L_e) โดยที่ $L_a = 0$ (ไม่มีtransport zone) หรือ $L_e = 3$ จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ช่วงการทำระเหยสูงสุด ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนช่วงการควบแน่น (h_c) จะขึ้นอยู่กับมุมเอียงและปริมาณสารที่เติม โดยที่ B = 22.5 องศา และ F = 0.3 จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงที่สุด การเพิ่มอุณหภูมิในช่วง 75-100 องศาเซลเซียสจะไม่ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนช่วงการทำระเหยและกลั่นตัวเปลี่ยนแปลงมากนัก ในส่วนความยาวการส่งไอหากมีการหุ้มฉนวนอย่างดีจะไม่ทำให้กลไกการส่งถ่ายความร้อนเปลี่ยนไป เมื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของตัวแปรที่ทำการศึกษา จะพบว่าสัดส่วนความยาว (L_a) จะมีผลต่อสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนอย่างมาก

Dube et al. (2000) ศึกษาการประยุกต์ใช้ความร้อนที่สูญเสียแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ จากปล่องควันในเตาอบเบเกอร์รี่ โดยใช้เทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบในการแลกเปลี่ยนความร้อน (Loop thermosyphon heat exchangers ; LTHE) ในส่วนของไอและของเหลว ใช้น้ำเป็นสารทำงาน สร้างและทดลองภายใต้การควบคุมอุณหภูมิที่เหมาะสม เทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบจะดึงพลังงานความร้อนจากปล่องควันของเตาอบเบเกอร์รี่ แล้วไปแลกเปลี่ยนความร้อนที่ส่วนควบแน่น คำนวณหาค่าประสิทธิผล และความร้อนที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้ พบว่าค่าประสิทธิผลอยู่ที่ 51 เปอร์เซ็นต์ และนำความร้อนกลับมาใช้ได้ 19.3 กิโลวัตต์

Lee et al. (1998) ศึกษาการใช้เทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบสองสถานะ (Two-phase loop thermosyphon) ดึงความร้อนออกจากพื้นที่แคบๆ มีการเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลที่

ได้จากแบบจำลองทางตัวเลข (Numerical method) 2 วิธี คือ วิธี lumped and sectorial thermal resistance มีการสร้างเทอร์โมไซฟอนแบบลูปสองสถานะขึ้นมาสองชุดสำหรับทดสอบในสองกรณีคือ ที่ส่วนทำระเหยมีพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนได้จริงด้านนอกเท่ากับ 1.53 และ 0.89 ตารางเมตร ในกรณีที่ 1 และ 2 ตามลำดับ พื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนได้จริงภายในเท่ากับ 0.158 และ 0.105 ตารางเมตร ในกรณีที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ส่วนควบแน่นมีพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนได้จริงเท่ากับ 0.0114 ตารางเมตร เท่ากันในทั้งสองกรณี และใช้ R-134a เป็นสารทำงาน อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศแวดล้อมบริเวณพื้นที่แคบๆ คือ -17 องศาเซลเซียส และ 3 องศาเซลเซียส ในกรณีที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ผลที่ได้คือ ได้อัตราการดึงความร้อนออก 7 และ 21 วัตต์ต่อตารางเมตร การถ่ายเทความร้อนด้านนอกของส่วนทำระเหย ในกรณีที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ผลที่ได้นี้เกิดขึ้นภายใต้การถ่ายเทความร้อนแบบการพาอิสระที่ครีบของส่วนทำระเหย

Roesler et al.(1993) สร้างท่อนำความร้อนเทอร์โมไซฟอน ทำจาก Stainless steel ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 14 มิลลิเมตร หนา 1 มิลลิเมตร ความยาวทั้งหมด 1,290 มิลลิเมตร แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนทำระเหยยาว 500 มิลลิเมตร ส่วนกันความร้อนยาว 490 มิลลิเมตร และส่วนควบแน่นยาว 300 มิลลิเมตร ใช้ของไหลทำงาน 2 ชนิด ได้แก่ Naphthalemc และ Diphcnyl ปริมาณที่เติมคิดเป็นอัตราส่วนปริมาตรสารต่อปริมาตรส่วนทำระเหยเท่ากับ 0.8 ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหยโดยลวดความร้อน และนำความร้อนออกที่ส่วนควบแน่นด้วยน้ำ ผลจากการทดลอง พบว่าอุณหภูมิของส่วนทำระเหยจะแปรตามปริมาณการถ่ายเทความร้อน เมื่อของไหลทำงานคือ Naphalenc จะมีค่ามากกว่าของไหลทำงานเป็น Diphenyl เมื่อของไหลทำงานคือ Naphthalenc ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทได้สูงสุดมีค่าประมาณ 900 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เมื่ออุณหภูมิของส่วนทำระเหย มีค่าประมาณ 370 องศาเซลเซียส ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทได้ต่ำสุดมีค่าประมาณ 260 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เมื่ออุณหภูมิของส่วนทำระเหยมีค่าประมาณ 140 องศาเซลเซียส และเมื่อเปลี่ยนของไหลทำงานเป็น Diphenyl ที่อุณหภูมิของส่วนทำระเหยมีค่าประมาณ 370 องศาเซลเซียส ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทมีค่า 750 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร และที่อุณหภูมิของส่วนทำระเหยมีค่าประมาณ 140 องศาเซลเซียส ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทมีค่า 200 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร

Noie- baghban et al. (2000) ได้ศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ ออกแบบการทดลองโดยให้สัดส่วนการเติมสารทำงานอยู่ที่ 60 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย ใช้น้ำเป็นสารทำงาน มีพื้นที่หน้าตัดของส่วนทำระเหยเท่ากับส่วนควบแน่น คือ 458×750 ตารางมิลลิเมตร อุณหภูมิขาเข้าส่วนทำระเหยอยู่ที่ 85-100 องศาเซลเซียส อุณหภูมิขาเข้าส่วนควบแน่นเท่ากับ 20 องศาเซลเซียส ความเร็วก่อนเข้าส่วนทำระเหยอยู่ที่ 2.9-3.6 เมตรต่อ

วินาที ความเร็วก่อนเข้าส่วนควบแน่นอยู่ที่ 0.9-3.24 เมตรต่อวินาที คำนวณหาค่าประสิทธิผล และความร้อนสูญเสีย พบว่ามีค่าประสิทธิผลสูงสุดเท่ากับ 46 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็วก่อนเข้าส่วนทำระเหยเป็น 2.9 เมตรต่อวินาที และความเร็วก่อนเข้าส่วนควบแน่นเท่ากับ 1 เมตรต่อวินาที มีความร้อนสูญเสีย 8 เปอร์เซ็นต์

Noie. (2006) ศึกษาการวิเคราะห์สมรรถนะทางความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเทอร์โมไซฟอนแบบอากาศกับอากาศ โดยวิธี ε-NTU พบว่ามีปัจจัยหลายด้านที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะทางความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน รวมถึงความเร็วและอุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้า ชนิดและอัตราการเติมของสารทำงาน และวัสดุท่อ มีความยาวของส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนยาว 600 มิลลิเมตร และส่วนกันความร้อนยาว 100 มิลลิเมตร เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีครีบ 90 ครีบ มีจำนวนแถว 6 แถว อุณหภูมิที่เข้าเครื่องส่วนทำระเหยจะอยู่ในช่วง 100-250 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ทางเข้าของส่วนควบแน่นจะมีค่าใกล้เคียงที่ 25 องศาเซลเซียส สารทำงานที่ใช้จะเป็นน้ำกลั่น มีอัตราการเติมเท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์ของความยาวส่วนทำระเหย อากาศที่ไหลผ่านจะอยู่ในช่วง 0.5-5.5 เมตรต่อวินาที และความร้อนที่ให้กับส่วนทำระเหยมีค่าเท่ากับ 18 และ 72 กิโลวัตต์ โดยใช้ไฟฟ้าเป็นตัวให้ความร้อน จากการทดลองพบว่าประสิทธิผลโดยสรุปทั้งหมดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่ได้มาจากการทดลองจะมีค่าเท่ากับ 37 และ 65 เปอร์เซ็นต์

Terdtoon et al. (1989) ได้ศึกษาถึงผลของอัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนวิกฤตต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนที่ 90 องศาเซลเซียส ($Q_{critical}/Q_{C90}$) ที่มุมเอียงใดๆ โดยใช้เทอร์โมไซฟอนทำจาก Stainless Steel โดยใช้สารทำงาน 3 ชนิด คือ Ethanol R-113 และ Fluorinert (FC-72) ที่ อัตราการเติม 80, 50 และ 30 เปอร์เซ็นต์ โดยอัตราการถ่ายเทความร้อนวิกฤติหาในช่วงของ Isothermal ในการทดลองนี้ทำใกล้ๆ จุดเดือด โดยอัตราส่วน $Q_{critical}/Q_{C90}$ กำหนดเป็นฟังก์ชันของมุมเอียง จากผลการวิจัยพบว่าอัตราส่วน $Q_{critical}/Q_{C90}$ ของของไหลทำงานทั้งหมดขึ้นอยู่กับมุมเอียงซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 4 ช่วงใหญ่ๆ

ช่วงที่ 1 ตำแหน่งแนวดิ่งถึงประมาณ 70 องศา ในช่วงนี้การเพิ่มของ $Q_{critical}$ จะขึ้นอยู่กับการลดลงของมุมเอียง จะไม่ขึ้นกับอัตราการเติม

ช่วงที่ 2 ที่มุม 70 องศาถึงประมาณ 50 องศา $Q_{critical}$ จะเพิ่มขึ้นเมื่อมุมเอียงลดลงจนถึงค่าสูงสุด อัตราการเติมมีผลต่อ $Q_{critical}/Q_{C90}$

ช่วงที่ 3 ที่มุม 50 องศาถึงมุมเล็กที่สุดที่เทอร์โมไซฟอนสามารถทำงานได้ในภาวะไอโซเทอร์มอล (Isothermal) ในช่วงนี้ $Q_{critical}$ จะลดลงเมื่อมุมเอียงลดลง และอัตราการเติมมีผลมาก

ต่ออัตราส่วน $Q_{critical}/Q_{C90}$ และมุมเล็กที่สุดที่เทอร์โมไซฟอนสามารถทำงานได้ในภาวะไอโซ-เทอร์มอล

ช่วงที่ 4 ที่มุมเล็กที่สุดที่เทอร์โมไซฟอนสามารถทำงานได้จนถึง 0 องศา ในช่วงนี้จะมีบางส่วนที่ด้านในของส่วนทำระเหยที่ไม่เปียกดังนั้นการกระจายอุณหภูมิภายในจึงไม่สม่ำเสมอทำให้ไม่สามารถกำหนดค่า $Q_{critical}$ ได้

Terdtoon et al. (1996) ได้ทำการศึกษาการใช้เทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ (Loop thermosyphon) ในระบบควบคุมสภาวะอากาศห้อง คือใช้เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศก่อนเข้าและหลังออกส่วนทำระเหยของเครื่องปรับอากาศในระบบควบคุมสภาวะอากาศห้องเพื่อการประหยัดพลังงาน โดยติดตั้งในลักษณะประกบเข้ากับส่วนทำระเหยของเครื่องปรับอากาศ โดยให้ส่วนทำระเหยอยู่ด้านล่างสุด เพื่อดูดรับความร้อนจากอากาศก่อนเข้าส่วนทำระเหยให้อากาศมีอุณหภูมิต่ำลง แล้วส่วนทำระเหยก็จะสามารถลดปริมาณน้ำแฝงในอากาศได้มากขึ้น และความร้อนนี้ก็จะถูกส่งไปยังส่วนควบแน่นแล้วคายความร้อนให้แก่อากาศหลังออกมาจากส่วนทำระเหยหรือก่อนเข้าเครื่องทำความร้อนทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เครื่องทำความร้อนทำงานน้อยลงจึงเป็นการประหยัดพลังงานได้

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางท่อไอ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อของเหลว สัดส่วนการเติมสารทำงาน และชนิดสารทำงานที่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.4.1 ได้ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางท่อไอ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อของเหลว สัดส่วนการเติมสารทำงานและชนิดสารทำงานที่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ

1.4.2 สามารถประยุกต์ใช้งานเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ ที่เหมาะสมกับช่วงการทำงานที่ให้สมรรถนะการทำงานที่ดีที่สุด

1.5 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

1.5.1 ศึกษาขนาดท่อทองแดงชนิด L เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อไอ 3 ขนาด คือ 34.93, 19.05 และ 9.53 มิลลิเมตร

1.5.2 ศึกษาขนาดท่อทองแดงชนิด L เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อของเหลว 3 ขนาด คือ 34.93, 19.05 และ 9.53 มิลลิเมตร

1.5.3 ศึกษาสัดส่วนการเติมสารทำงาน 4 ค่า คือ 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย

1.5.4 ศึกษาชนิดสารทำงาน 2 ชนิด คือ น้ำ และเอธานอล