บทที่ 1

บทนำ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

พลังงานนั้นนับเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งของการดำรงชีวิตในปัจจุบัน ยิ่งอัตราการเติบโตทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเท่าไร ก็ยิ่งทำให้เกิดความต้องการใช้พลังงานมากขึ้นเท่านั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศไทยที่กำลังก้าวไปเป็นประเทศอุตสาหกรรมใหม่ (NICS) อัตราการเติบโตทางเศรษฐกิจอยู่ในระดับสูง ความต้องการในการใช้พลังงานจึงมีมาก ดังนั้นพลังงานจึงมีบทบาทที่สำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ

พลังงานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบด้วยกัน พลังงานความร้อนเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่ใช้กันอยู่มากในอุตสาหกรรมในปัจจุบัน และเป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าในการใช้พลังงานความร้อน ความร้อนส่วนหนึ่งจะถูกทิ้งไปเสมอ เพื่อที่จะใช้ความร้อนให้ได้ประสิทธิผลเต็มที่ จึงต้องลดปริมาณความร้อนที่ถูกทิ้งไปให้เหลือน้อยที่สุดและนำความร้อนที่ถูกทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์มากที่สุด การประหยัดพลังงานช่วยลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงให้น้อยลงด้วย ดังนั้นการนำพลังงานความร้อนมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งจำเป็น และเป็นการลดต้นทุนการผลิต ตลอดจนเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างคุ้มค่า

ในปัจจุบันอุปกรณ์หรือระบบที่เก็บความร้อนกลับมาใช้ใหม่มีอยู่ด้วยกันหลายประเภท ดังนั้นการเลือกใช้เครื่องมือให้เหมาะสมเพื่อนำพลังงานความร้อนที่มีอยู่มาใช้ประโยชน์มากที่สุดจึงเป็นสิ่งจำเป็น เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูปเทอร์โมไซฟอน เป็นอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนแนวใหม่ ที่มีอัตราการนำความร้อนและสมรรถนะสูง แม้ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างแหล่งให้ความร้อนและแหล่งรับความร้อนมีค่าน้อย ซึ่งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั่วๆไปทำได้ลำบาก และมีความหยืดหยุ่นใน

ด้านโครงสร้างและการดูแลรักษาก็กระทำได้ง่าย ดังนั้นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ

ปัจจุบันประเทศไทยมีอัตราการเติบโตทางเศรษฐกิจค่อนข้างสูง มีการส่งเสริมการลงทุนเป็นอย่างมาก เพื่อเป็นการส่งเสริมการให้มีการลงทุนและประหยัดพลังงานขึ้นภายในประเทศ ดังนั้นจึงเห็นสมควรศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนผลิตเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน ขึ้นภายในประเทศไทย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ค้นคว้าติดตามความก้าวหน้าเกี่ยวกับ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้
2. กำหนดรูปแบบและขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน และทดลองสร้างเครื่องดังกล่าว
3. สร้างชุดทดสอบสมรรถนะ เสนอวิธีและเงื่อนไขมาตรฐานในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน และทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องโดยวิธีดังกล่าว
4. กำหนดขั้นตอนการผลิตเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน ในระดับอุตสาหกรรม รวมทั้งออกแบบผังโรงงาน
5. ศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ ในการผลิตเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน

1.3 ขอบเขตการวิจัย

เป้าหมายของโครงการวิจัยนี้ เป็นการทดลองสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน ที่มีของไหลใช้งานเป็นฟรีออนขึ้นในห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาแนวทางในการออกแบบ สร้าง และปรับปรุง เพื่อจะนำไป

ใช้เป็นข้อมูลในการผลิต เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเดียวกันในระดับอุตสาหกรรมนอกจากนี้ยังจะเสนอวิธีและเงื่อนไขมาตรฐานในการทดสอบสมรรถนะ ทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สร้างขึ้นเอง ภายใต้เงื่อนไขมาตรฐาน ตลอดจนศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการลงทุนการผลิตเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน ขึ้นภายในประเทศไทย

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

1. ค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2. ศึกษาติดตามกรรมวิธีการสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แบบคอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอนที่มีของไหลใช้งานเป็นฟรีออน โดยนำข้อมูลที่เคยรวบรวมไว้และเทคนิคที่พัฒนาขึ้นในห้องปฏิบัติการ มาใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน ที่มีของเหลวใช้งานเป็นฟรีออนและช่วงการระเหยและช่วงการควบแน่นแยกออกจากกัน

3. สร้างชุดทดสอบสมรรถนะในการถ่ายเทความร้อน ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สร้างขึ้น

4. เสนอวิธีและเงื่อนไขมาตรฐานในการทดสอบสมรรถนะ และทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สร้างขึ้น

4.1 กำหนดวิธี และเงื่อนไขมาตรฐานในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน ที่มีของไหลใช้งานเป็นฟรีออน จากเอกสารที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศและต่างประเทศ

4.2 ทดสอบสมรรถนะภายใต้เงื่อนไขมาตรฐานที่ตั้งขึ้น ในด้านการถ่ายเทความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ (เก็บกลับความเย็น)

5. กำหนดขั้นตอนในกระบวนการผลิต ขนาดของโรงงาน และการวางผังโรงงาน ที่เหมาะสม

6. จากขั้นตอนการผลิตและรูปแบบโรงงานที่กำหนดข้างต้น วิเคราะห์ต้นทุนการผลิต และวิเคราะห์ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์การเงิน เพื่อตัดสิน

ความเหมาะสมในการลงทุน

7. รวบรวมผลการวิจัยและจัดพิมพ์วิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ทำให้รู้ถึงปัญหาทางเทคนิคที่สำคัญ ตลอดจนข้อมูลในการออกแบบ สร้าง ปรับปรุง และทดสอบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โม-ไซฟอน ที่อุณหภูมิต่ำ

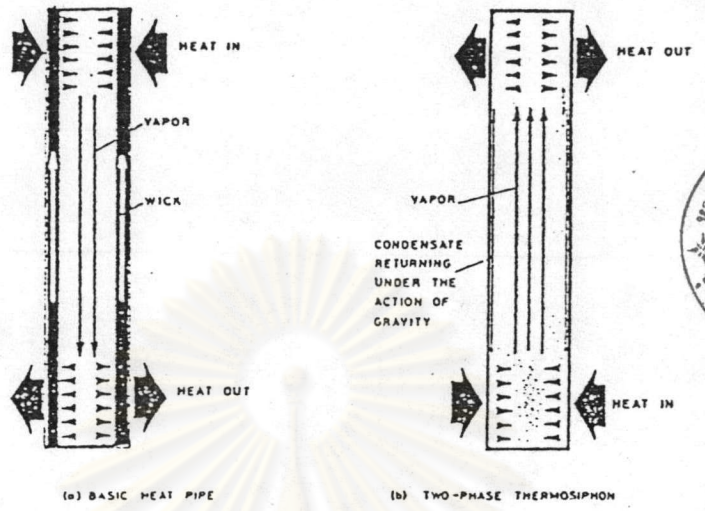
2. เป็นประโยชน์สำหรับกระบวนการ หรืออุตสาหกรรมที่ต้องการเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนไปใช้ในการประหยัดพลังงานหรือถ่ายเทความร้อน

3. เป็นแนวทางสำหรับนักธุรกิจอุตสาหกรรมของประเทศ ที่สนใจทำการลงทุนในอุตสาหกรรม ประเภทนี้

1.6 หลักการทำงานของฮีทไปป์ และคอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน

ฮีทไปป์ เป็นอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนแนวใหม่ ที่มีอัตราการนำความร้อนสูงและสามารถถ่ายเทความร้อนได้ในสภาวะที่มีผลต่างของอุณหภูมิไม่มาก ผู้ที่เสนอความคิดเกี่ยวกับฮีทไปป์เป็นคนแรกคือ อาร์ เอส เกาก์เลอร์ (R.S GAUGLER, 1944) วิศวกร บริษัทเจเนอรัลมอเตอร์ ในสหรัฐอเมริกา ในปี คศ.1942 ต่อมาในปี คศ.1960 จี เอม โกรเวอร์ (G.M.GROVER,1963) แห่งสถาบันวิทยาศาสตร์ ลอสอลามอส ก็ได้ประดิษฐ์ฮีทไปป์ขึ้นเป็นคนแรก

ฮีทไปป์เป็นท่อปิดผนึกภายในเป็นสูญญากาศ ในท่อบรรจุของไหลใช้งาน (working fluid) และบุวิกค์ (wick) ที่ผนังด้านในของท่อ (รูปที่ 1.1a) ที่ช่วงระเหย (evaporator section) ความร้อนจะถูกถ่ายเทจากแหล่งให้ความร้อน (heat source) ผ่านผนังท่อไปยังวิกค์เพื่อระเหยของไหลใช้งานที่อยู่ในวิกค์ ไอที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่ไปตามแนวกลางท่อไปยังช่วงของการควบแน่น (condenser section) ซึ่งมีความดันไอต่ำกว่า ช่วงคั่นกลางของช่วงการระเหยกับช่วงการควบ



หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 1.1 ฮีทไปป์และฮีทไปป์ไร้วิกค์ (เทอร์โมไซฟอน)

แน่นของฮีทไปป์เป็นช่วงที่ไม่ได้รับความร้อนหรือคายความร้อน (adiabatic section) ที่ช่วงการควบแน่น ไอจะควบแน่นและความร้อนแฝงของการควบแน่นจะถ่ายเทออกจากฮีทไปป์ไปสู่แหล่งรับความร้อน (heat sink) ของเหลวจากการควบแน่นจะไหลกลับไปยังช่วงการระเหยโดยแรงท่อรูเข็ม (capillary action) ของวิกค์ซึ่งมีรูพรุนเล็กๆ กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นเป็นวงจรอย่างต่อเนื่อง

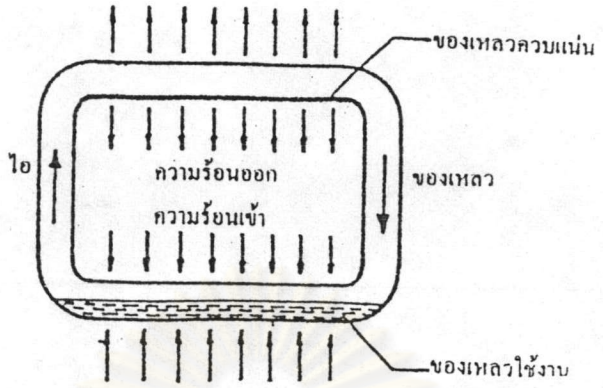
ฮีทไปป์ไร้วิกค์ หรือ เทอร์โมไซฟอน(รูปที่ 1.1b) มีโครงสร้างโดยทั่วไปคล้ายคลึงกับฮีทไปป์ เพียงแตกต่างกันที่ฮีทไปป์จะใช้วิกค์เป็นตัวดูดส่งของเหลวควบแน่นกลับไปยังช่วงระเหย ส่วนเทอร์โมไซฟอนจะไม่มีวิกค์ ดังนั้นการส่งของเหลวควบแน่นไปยังช่วงระเหยจึงอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก การทำงานของเทอร์-โมไซฟอน ต้องวางให้ช่วงของการควบแน่นอยู่สูงกว่าช่วงการระเหยเสมอ ตาราง 1.1 รวบรวมวิธีการส่งกลับของของเหลวควบแน่นกลับไปยังช่วงการระเหย ข้อดีของเทอร์โมไซฟอน คือสร้างง่าย ต้นทุนการผลิตต่ำ คุณภาพการผลิตมีความแน่นอนสูงกว่าฮีทไปป์ธรรมดาซึ่งจะขึ้นอยู่กับความแนบสนิทระหว่างวิกค์กับผนังท่อด้านใน ดังนั้นการทำนายฟลักซ์ความร้อนของเทอร์โมไซฟอนจึงแน่นอนกว่า และความต้านทาน

ตารางที่ 1.1 วิธีการส่งกลับของของเหลวควบแน่น

ชื่ออุปกรณ์	ประเภทแรงส่งกลับ
เทอร์โมไซฟอน (Thermosiphon)	แรงดึงดูดของโลก (Gravity)
ฮีทไปป์ (Heat Pipe)	แรงท่อรูเข็ม (Capillary Force)
ฮีทไปป์แบบหมุน (Rotary Heat Pipe)	แรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force)
ฮีทไปป์แบบอิเลคโตรไฮโดรไดนามิก (Electrohydrodynamic Heat Pipe)	แรงเชิงไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Volume Force)
ฮีทไปป์แบบแมคเนโตไฮโดรไดนามิก (Magnetohydrodynamic Heat Pipe)	แรงแม่เหล็ก (Megnetic Volume Force)
ฮีทไปป์แบบออสโมติก (Osmotic Heat Pipe)	แรงออสโมติก (Osmotic Force)

การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังท่อก็น้อยกว่าเนื่องจากไม่มีวิกค์ และไม่เกิดการติดค้างของฟองของไอในวิกค์ ซึ่งฟองเหล่านี้จะทำให้การถ่ายเทความร้อนช้าลง

คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน (Coil-loop Thermosiphon) เป็นการพัฒนาสมรรถนะของเทอร์โมไซฟอนอีกรูปแบบหนึ่ง โดยออกแบบให้การไหลของของไหลใช้งานเป็นไปในทิศทางเดียวกันตลอด (รูปที่ 1.2) ข้อดีของเทอร์โมไซฟอนแบบนี้คือ ของไหลใช้งาน และไอของของไหลใช้งานจะไม่ไหลสวนทางกัน ทำให้ช่วยลดปัญหาการเกิดการหลุดติดของหยดของเหลวไปกับไอ (Entrainment) และเพิ่มความคล่องตัวในการวางตำแหน่งของช่วงการระเหยและช่วงการควบแน่น

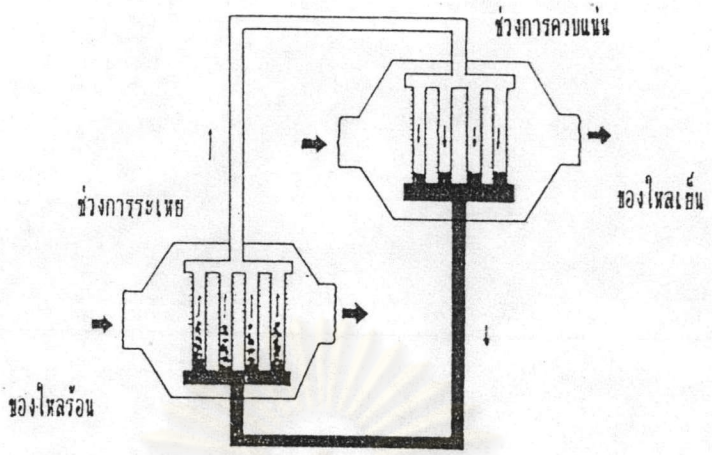


รูปที่ 1.2 แนวความคิดในการออกแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลสองสายคือของไหลร้อน (hot fluid) และของไหลเย็น (cold fluid) โดยที่สายหนึ่งต้องการให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่อีกสายหนึ่งต้องการให้มีอุณหภูมิต่ำลง จากข้อดีของ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน จึงได้นำมาสร้างเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งเรียกว่า เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน (coil-loop thermosiphon heat exchanger) (รูปที่ 1.3)

การใช้งานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซ-ฟอน แบ่งออกได้เป็นสองลักษณะดังนี้

1. วางช่วงการระเหย และช่วงการควบแน่น ให้อยู่ในระดับแนวนอนเดียวกันซึ่งเรียกว่า เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอนชนิดสองทาง (Bidirectional Coil-loop Thermosiphon Heat Exchanger) ดังแสดงในรูปที่ 1.4a เครื่องสามารถที่จะถ่ายเทความร้อนได้สองทิศทาง คือทั้งจาก A ไป B และ จาก B ไป A ถ้าอุณหภูมิของ A ต่ำกว่าของ B ความร้อนจะถ่ายเทจาก B ไปยัง A แต่ถ้าอุณหภูมิของ B ต่ำกว่าของ A ความร้อนจะถ่ายเทจาก A ไปยัง B

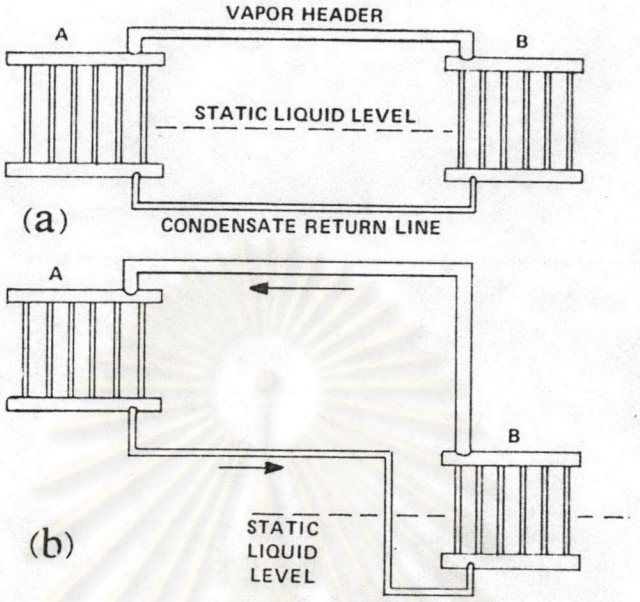


รูปที่ 1.3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน

2. วางช่วงการระเหยให้อยู่สูงกว่าช่วงการควบแน่น ซึ่งเรียกว่า เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน ชนิดทางเดียว (Unidirectional Coil-loop Thermosiphon heat exchanger) ดังแสดงในรูปที่ 1.4b เครื่องสามารถที่จะถ่ายเทความร้อนได้เพียงทางเดียว คือ จาก B ไป A และการถ่ายเทความร้อนหยุดลงทันที ในกรณีที่อุณหภูมิของ A สูงกว่าของ B

อย่างไรก็ตาม เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซ-ฟอน ชนิดทางเดียว ย่อมมีประสิทธิภาพสูงกว่า เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน ชนิดสองทาง ในกรณีที่เงื่อนไขการใช้งานเหมือนกัน (ASHARE, 1981) เพราะปริมาณที่เติมของไหลใช้งานในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน ชนิดทางเดียว สามารถกำหนดให้เหมาะสมที่สุดโดยอาศัยเงื่อนไขการทำงาน เพียงเงื่อนไขเดียว (ด้านเดียว) แต่ในกรณีของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน ชนิดสองทาง จะต้องกำหนดปริมาณเติมโดยอาศัยสองเงื่อนไข (ทั้งสองด้าน)

ดังนั้น ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงเลือกศึกษาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน ชนิดทางเดียว



[a] Installations: bidirectional in which loop can transfer heat in either direction, A to B or B to A (top); unidirectional in which loop can transfer heat only from B to A (bottom).

รูปที่ 1.4 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน ชนิดสองทาง (a)
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน ชนิดทางเดียว (b)

ลักษณะเด่นของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โม-ไซฟอน ได้แก่

1. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่หน้าตัดหนึ่งหน่วยของท่อฮีทไปป์สูงกว่า อัตราการนำความร้อนของแท่งโลหะที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากัน

2. ไม่จำเป็นต้องใช้แรงภายนอกในการทำงาน

3. อุณหภูมิใช้งานมีช่วงกว้าง สามารถทำงานได้แม้ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างแหล่งให้ความร้อนกับแหล่งรับความร้อนมีค่าน้อย และใช้ได้ทั้งที่อุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำ ถ้าเลือกของไหลใช้งานให้เหมาะสมกับอุณหภูมิ

4. ปัญหาการบำรุงดูแลรักษามีน้อย และไม่มีเสียงดัง เพราะไม่มีส่วนที่เคลื่อนไหว

5. มีโครงสร้างอย่างง่ายๆ น้ำหนักเบา และรูปร่างกระทัดรัด

6. ไม่เกิดปัญหาการปนกัน ระหว่างของไหลที่ต้องการจะแลกเปลี่ยนความร้อน

7. สามารถแยกช่วงการรับความร้อน และช่วงการถ่ายความร้อน ให้ออกห่างจากกันได้ จึงทำให้สะดวกในการติดตั้ง

8 การตอบสนองเชิงความร้อนเกิดขึ้นได้ดี เนื่องจากการนำความร้อนเกิดขึ้นในรูปของความร้อนแฝง การตอบสนองเชิงความร้อนจึงรวดเร็ว และสามารถรับการเปลี่ยนแปลงของแหล่งให้ความร้อนได้ดี

1.7 การประยุกต์ใช้ประโยชน์ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูปเทอร์โมไซฟอน

จากคุณสมบัติที่ดีของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน จึงได้นำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ในงานการเก็บกลับความร้อนกลับมาใช้ใหม่ อาทิเช่น

1. ลดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศเข้า ของระบบปรับอากาศ

ในปัจจุบันปัญหาเรื่อง ความชื้นในอากาศ ในเขตร้อนชื้นอย่างเช่นประเทศไทย เป็นปัญหาที่สำคัญของระบบปรับอากาศ ดังนั้นจึงได้นำเอาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน มาลดอุณหภูมิและความชื้น ของอากาศก่อนเข้าระบบปรับอากาศ แม้แต่ในสหรัฐอเมริกาก็ได้มีการนำมาใช้และพบว่าสามารถประหยัดพลังงานได้ร้อยละ 20 และยังสามารถลดขนาดของเครื่องปรับอากาศได้อีก 7000 Btu/h ในระบบ 3 ตันความเย็น (Terrestrial Applications Technology Utilization Division,——) สถานที่ที่สามารถนำระบบนี้ไปใช้ได้แก่ ห้างสรรพสินค้า , โรงภาพยนต์ , ห้องประชุม ,

ห้องสะอาด (clean room) เป็นต้น

2. ใช้ในการเก็บความร้อนจากก๊าซทิ้งของกระบวนการผลิตต่างๆ มาอุ่นอากาศใหม่ที่จะนำมาใช้ เช่นในอุตสาหกรรมต่อไปนี้

1. การซักรีด (laundry)
2. อบแห้งกระดาษ(paper drying)
3. อุตสาหกกรมอาหาร (food-processing)
4. อุตสาหกรรมยา (pharmaceutical)
5. เครื่องกำเนิดพลังงาน (power generation)
6. เตาขึ้นรูปพลาสติก (plasticizer curving oven)
7. อบแห้งสิ่งทอ (textile drying)
8. เตาอบแบบเสปรย์ (spray drying)
9. เก็บกลับความร้อนในน้ำป้อนหม้อน้ำ (boiler recovery)

1.8 ผลงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวกับฮีทไปป์ และ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบคอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน

1.8.1 ผลงานวิจัยในอดีตที่ศึกษาที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีพ.ศ. 2526 สมใจ พิเชียรโสภณ ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสมรรถนะ และการสร้างแบบจำลองคณิตศาตร์ของฮีทไปป์ โดยได้ทำการทดลองกับฮีทไปป์ชนิดทองแดง/น้ำ ที่ วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล ได้มาจากประเทศญี่ปุ่น จำนวน 2 ท่อ ท่อหนึ่งบุด้วยวิกค์ทองแดงขนาด 100 เมช จำนวนหนึ่งชั้น อีกท่อหนึ่งบุด้วยวิกค์ทองเหลืองขนาด 150 เมช จำนวนสามชั้น ตัวแปรที่ศึกษาคือ มุมที่วางฮีทไปป์กับแนวระดับ จากการศึกษาพบว่า อัตราการถ่ายเทความร้อนในแนวแกนของฮีทไปป์มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อมุมของฮีทไปป์กับแนวระดับอยู่ในช่วง 0 ถึง 20 องศา โดยที่ช่วงการควบแน่นอยู่เหนือช่วงการระเหย จากนั้นจะมีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อมุมเพิ่มขึ้น และได้เสนอแบบจำลองคณิตศาสตร์อย่างง่ายเพื่อใช้ทำนายการทำงานของ

ฮีทไปป์ จากการทำนายโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ พบว่าที่อุณหภูมิช่วงการระเหย 44.2 องศาเซลเซียส และวางมุมเอียง 10 องศา โดยที่ช่วงการระเหยอยู่เหนือช่วงการควบแน่น เกิดขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากแรงท่อรูเข็ม

วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล (2526) ได้ทดสอบสมรรถนะการทำงานของฮีทไปป์และอธิบายผลการทดสอบโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ โดยเน้นเงื่อนไขการวางมุมเอียงของฮีทไปป์กับแนวระดับ เนื่องจากเป็นตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงง่ายในการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ จากการทดสอบพบว่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของฮีทไปป์สูงขึ้นถ้าวางฮีทไปป์ให้ทำมุมบวกกับแนวระดับ (ช่วงการควบแน่นอยู่สูงกว่าช่วงการระเหย) และสมรรถนะลดลงถ้าวางฮีทไปป์ในแนวมุมลบ (ช่วงการควบแน่นอยู่ต่ำกว่าช่วงการระเหย) อนึ่งแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่เสนอสามารถใช้ทำนายอัตราการถ่ายเทความร้อนของฮีทไปป์ โดยให้ค่าผิดพลาดภายในช่วง 25 เปอร์เซนต์ และเสนอวิธีการใช้ตัวคูณชดเชยเพื่อลดค่าผิดพลาดให้เหลืออยู่ในช่วง 7.5 เปอร์เซนต์

ปีพ.ศ. 2527 ชุมพล สุริยฉาย ศึกษากรรมวิธีการสร้างฮีทไปป์ขึ้นเองในห้องปฏิบัติการ โดยมุ่งเน้นกรรมวิธีที่เหมาะกับการสร้างฮีทไปป์จำนวนมาก (mass production) ฮีทไปป์ที่สร้างทำด้วยท่อแก้วแข็งเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 มม. ภายนอก 10 มม.ยาว 1 ฟุต บุวิกค์ตาข่ายทองแดงขนาด 80 เมช ซ้อนกันสามชั้น ของไหลใช้งานเป็นน้ำบริสุทธิ์ ในระยะแรกฮีทไปป์ที่สร้างได้คุณภาพดีมีเพียงประมาณ 5-10 เปอร์เซนต์ของจำนวนทั้งหมดที่สร้างขึ้น เมื่อปรับปรุงกรรมวิธีการสร้างและมีความชำนาญในการสร้างมากขึ้น ฮีทไปป์ที่สร้างได้มีคุณภาพดีมีประมาณ 50-60 เปอร์เซนต์ และได้ทำการทดสอบสมรรถนะของฮีทไปป์ที่สร้างขึ้นในลักษณะต้านแรงโน้มถ่วงของโลก (ช่วงการระเหยอยู่เหนือช่วงการควบแน่น) ที่มุม 14, 16, 18 และ 20 องศากับแนวระดับ จากการทดสอบพบว่า ขีดจำกัดของการถ่ายเทความร้อนแบบท่อรูเข็มมีความคลาดเคลื่อนจากทางทฤษฎีในช่วง 10 เปอร์เซนต์ การนำความร้อนเชิงประสิทธิผลสูงสุดของฮีทไปป์ที่สร้างคือ 4 กิโลวัตต์/เมตร-องศาเคลวิน หรือประมาณ 10 เท่าของการนำความร้อนของแท่งทองแดงตัน (372 วัตต์/เมตร-องศาเคลวิน) ที่มุมเอียง 14 องศา เหตุที่การนำความ

ร้อนเชิงประสิทธิผลต่ำ เนื่องจากการทดสอบกระทำในลักษณะต้านแรงโน้มถ่วงของโลก และผนังท่อฮีทไปป์เป็นแก้ว

ปีพ.ศ. 2529 สุจินดา นิลจันทร์ ศึกษาการทำงานของฮีทไปป์แบบทองแดง/น้ำ บุวิกค์ตาข่ายทองเหลือง (150 เมช) สามชั้น ซึ่ง วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล ได้มาจากประเทศญี่ปุ่น พารามิเตอร์ที่ศึกษาคือมุมของแท่งฮีทไปป์ที่วางกับแนวระดับ ผลการทดสอบพบว่าขีดจำกัดของการถ่ายเทความร้อนที่มุมเอียง 10 องศา (ต้านแรงโน้มถ่วง) เกิดจากแรงท่อรูเข็ม และค่าขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนจากการทดลองและทฤษฎีมีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดี (17.4 วัตต์ กับ 17.04 วัตต์ ตามลำดับ) ค่าความนำความร้อนเชิงประสิทธิผลจะแปรเปลี่ยนได้มากเมื่อมุมของการวางแท่งฮีทไปป์เปลี่ยนไป นอกจากนี้ได้เสนอแบบจำลองคณิต-ศาสตร์เชิงพลวัตแบบลัมพ์ (lumped) สำหรับฮีทไปป์ แล้วเปรียบเทียบกับผลการทดลอง พบว่าแบบจำลองทำนายผลได้เพียงในเชิงคุณภาพเพราะยังมีความไม่แน่นอนในการกำหนดพารามิเตอร์บางตัวของโมเดล

พิชัย ตั้งสถาพรพาณิชย์ (2529) ได้ศึกษากรรมวิธีสร้างท่อฮีทไปป์แบบไร้วิกค์ขึ้นเองในห้องทดลองปฏิบัติการ โดยมุ่งเน้นกรรมวิธีการสร้างจำนวนมาก ฮีทไปป์ไร้วิกค์ที่สร้างเป็นท่อแก้วแข็ง เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 มม. และภายนอก 10 มม. ยาว 37 ซม. ของไหลใช้งานเป็นน้ำบริสุทธิ์ การทดสอบสมรรถนะขั้นต้นของแท่งฮีทไปป์ที่สร้างปรากฏว่าใช้งานได้ร้อยละ 70 ของจำนวนทั้งหมดที่สร้างเวลาที่ใช้ในการผลิตฮีทไปป์ไร้วิกค์เฉลี่ย 3 คน-ชม./แท่ง ได้พัฒนาสร้างต้นแบบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์สองเครื่อง เครื่องแรกมีจำนวนฮีทไปป์ 27 แท่ง จากนั้นปรับปรุงพัฒนาสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องที่สองซึ่งมีฮีทไปป์ 240 แท่ง และได้ทดสอบสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ทั้งสอง โดยใช้ของไหลร้อนและเย็นเป็นน้ำ ผลการการทดสอบโดยเปลี่ยนแปลงมุมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ 5, 25, 40, 70 และ 90 องศา พบว่ามุม 90 องศาให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด เมื่อเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำที่ 4, 7, 10, 13 และ 16 ลิตรต่อนาที พบว่าเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้นด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (UA) เฉลี่ย

0.12-0.43 วัตต์/°ซ/แท่งฮีทไปป์ ซึ่งยังต่ำกว่าขีดจำกัดสูงสุดในเชิงทฤษฎี นอกจากนี้ได้เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับช่วยคำนวณออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์

ปีพ.ศ. 2530 วันชัย โกมลภมร ได้ทำการออกแบบและสร้างฮีทไปป์ไร้วิกค์แนวใหม่ ที่มีการไหลของไอและของเหลวควบแน่นเป็นวงปิดในทิศทางเดียว วัตถุประสงค์ก็เพื่อลดการเกิดการหลุดลอยของของเหลวตามไอและการแห้งเหือด ซึ่งมักเกิดขึ้นกับฮีทไปป์แบบทั่วไปในกรณีที่ฟลักซ์ความร้อนมีค่าสูง ผลการทดสอบที่ฟลักซ์ความร้อนต่ำพบว่า ฮีทไปป์แบบไหลเป็นวงปิดสามารถส่งผ่านความร้อนในแนวแกนจากช่วงการระเหยไปยังช่วงควบแน่นได้ดีกว่า ฮีทไปป์แบบทั่วไป และได้ทดสอบกรณีที่ฟลักซ์ความร้อนสูง พบว่าสามารถส่งผ่านความร้อนในแนวแกนได้สูงกว่า 464 วัตต์ ซึ่งเมื่อคิดเป็นค่าความนำความร้อนเชิงประสิทธิผลแล้วสูงกว่าค่าความนำความร้อนของแท่งทองแดงตันประมาณ 157 เท่า นอกจากนี้ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ปริมาตรบรรจุของของไหลใช้งาน มุมเอียง และอัตราการไหลของของไหล ที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของฮีทไปป์

ปีพ.ศ. 2533 ชุติมา จารุศิริพจน์ ได้ทำการทดสอบสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของแท่งฮีทไปป์ไร้วิกค์เดี่ยว ทั้งที่สร้างขึ้นที่บริษัท ยูนิแฟบ อีควิปเมนต์ จำกัด และที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฮีทไปป์ไร้วิกค์ทำจากท่อทองแดง มีผนังด้านในเป็นร่องแบบเกลียว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 9.5 มิลลิเมตร ยาว 900 มิลลิเมตร ของเหลวใช้งานมีทั้งฟรีออน 22 (จุดเดือด -40.75 °ซ) และฟรีออน 113 (จุดเดือด 48 °ซ) ในการทดสอบสมรรถนะของแท่งฮีทไปป์ตัวแปรที่ศึกษาคือ อุณหภูมิของของไหลร้อน (น้ำร้อน) และของไหลเย็น (น้ำเย็น) ปริมาณของไหลใช้งาน มุมเอียงของการวางฮีทไปป์ และอัตราการไหลของของไหลร้อนและของไหลเย็น ผลของการทดลองแสดงอยู่ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำความร้อนรวมเชิงประสิทธิผล กับตัวแปรข้างต้น พบว่าค่ามุมเอียงที่ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนสูงสุดคือ 50 องศา สำหรับฟรีออนทั้งสองชนิดปริมาณของไหลใช้งานที่เหมาะสำหรับฟรีออน113 อยู่ในช่วง 9.3-18.5 เปอร์เซนต์ และ 30 เปอร์เซนต์ สำหรับฟรีออน 22 นอกจากนี้ได้เสนอสหสัมพันธ์

เพื่อใช้ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ด้านในของช่วงการระเหย และช่วงการควบแน่นและที่ผิวด้านนอกของท่อฮีทไปป์ เมื่อเปรียบเทียบความต้านทานการถ่ายเทความร้อนรวมของแท่งฮีทไปป์ จากผลที่ได้จากการทดลองกับผลที่ได้จากสหสัมพันธ์ พบว่ามีความสอดคล้องกัน ค่าการนำความร้อนเชิงประสิทธิผลของแท่งฮีทไปป์ที่ได้จะอยู่ในช่วง 6.0×10^{4} - 1.2×10^{7} วัตต์ ต่อ เมตร-องศาเซลเซียส และได้เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับช่วยในการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ปีพ.ศ. 2533 ปรีชา กอบเกื้อชัยพงษ์ ศึกษาถึงการสร้างและทดสอบสมรรถนะเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ แบบแยกส่วนการระเหยและส่วนการควบแน่นชนิดไหลวงปิดแบบประหยัด เพื่อใช้ถ่ายเทความร้อนระหว่างลมร้อนกับลมเย็น เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สร้างขึ้นดัดแปลงจากหม้อน้ำรถยนต์ ขนาดกว้าง 60 เซนติเมตร สูง 40 เซนติเมตร ภายในเป็นท่อแบบรีแบน จำนวน 118 ท่อ วางเป็น 2 แถว ในแนวเดียวกัน ติดครีบ ทั้งหมดจำนวน 2 แผง ต่อถึงกันระหว่างส่วนการควบแน่นและส่วนการระเหย โดยใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 3/8 นิ้ว ของไหลใช้งานคือน้ำบริสุทธิ์กรรมวิธีการสร้างใช้วิธีการต้มเดือดร่วมกับการดึงสุญญากาศ ในการทดสอบสมรรถนะ ตัวแปรที่ศึกษาคือ ปริมาณบรรจุของของไหลใช้งาน อุณหภูมิของของไหลร้อน (อากาศร้อน) และของไหลเย็น (อากาศเย็น) อัตราไหลของอากาศทั้งสองสายอยู่ในช่วง 2-6 เมตรต่อวินาที จากการทดลองพบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจะสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น อัตราการไหลของอากาศในสายร้อนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลง อัตราการถ่ายเทความร้อนมากกว่าของอากาศในสายเย็น ค่าของ U จะอยู่ในช่วง 27 ถึง 63 วัตต์ ต่อองศาเซลเซียส อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 27 กิโลวัตต์ ที่ปริมาณบรรจุของของไหลใช้งานเท่ากับ 90 เปอร์เซนต์ และที่อุณหภูมิขาเข้าของลมร้อน 100 $^{\circ}$ซ โดยมีความเร็วลมร้อน 6 ม/วินาที ความเร็วลมเย็น 4 ม/วินาที

019487

1.8.2 ผลงานวิจัยในต่างประเทศเกี่ยวกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน

ปีค.ศ. 1974 บี เอส ลาร์กิ้น (B.S. Larkin) เจ อี เทิรนบูลล์ (J.E.Turnbull) และ อาร์ เอส โกเว (R.S. Gowe) ได้นำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ เทอร์โมไซฟอนมาใช้กับระบบระบายอากาศของโรงเลี้ยงสัตว์เพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในโรงเลี้ยงสัตว์ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่ใช้เป็นชนิดท่อปิดผนึก (Sealed tube) ทำด้วยท่อทองแดงมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.902 นิ้ว ยาว 50 นิ้ว ติดครีบอลูมิเนียมหนา 0.015 นิ้ว จำนวน 6 ครีบ ต่อ นิ้ว ใช้ท่อทองแดง 4 ท่อ วางเรียงแถวเป็นหนึ่งชุดเวลานำไปใช้งานจะนำแต่ละชุดมาวางเรียงกันแบบอนุกรมจำนวน 9 ชุด ในการทดลองช่วงแรกทำในช่วงฤดูหนาว พอถึงช่วงการทดลองที่ 2 จะลดลงหลือ 5 ชุด ในท่อทองแดงแต่ละท่อจะบรรจุฟรีออน 22 จำนวน 12 ออนซ์ เป็นของไหลใช้งาน โดยแต่ละชุดจะวางเอียงมุม 45 องศากับแนวระดับ จากการทดลองพบว่าฝุนละอองที่เกาะติดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จะทำให้ประสิทธิภาพอัตราการถ่ายเทความร้อนลดลง และยังทำให้อัตราการไหลของอากาศลดลงด้วย

ปีค.ศ. 1976 วาย ลี (Y.Lee) และ เอ เบดร๊อสเซียน (A. Bedrossian) ได้ศึกษาถึงลักษณะต่างๆ ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน ที่สร้างขึ้นเป็นท่อทองแดง และบรรจุน้ำกลั่นจำนวน 15 เปอร์เซ็นต์ เป็นของไหลใช้งาน วิธีการวางเรียงท่อมีทั้งเป็นแบบแนวเส้นตรง (In-line) จำนวน 4 แถว แต่ละแถวมี 5 ท่อ และแบบวางเหลื่อมกัน (staggered) จำนวน 4 แถว โดยมี 4 x 5 x 4 x 5 ท่อตามลำดับความยาว ประสิทธิผลของท่อทองแดงแต่ละส่วนยาว 30.5 เซนติเมตร การวิเคราะห์หาสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนใช้แบบจำลองการนำความร้อน ซึ่งพบว่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ไม่ได้เพิ่มขึ้นตามค่าตัวเลขเรโนลด์เพียงอย่างเดียว แต่ยังเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอัตราส่วนของตัวเลขเรโนลด์ ด้านการระเหยต่อด้านการควบแน่น การวางเรียงท่อแบบวางให้เหลื่อมกัน จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การ

ถ่ายเทความร้อนรวมมากกว่าแบบแนวเส้นตรง

ปีค.ศ. 1984 เอส ราซา (S.Raza) และ ที ดับบลิว แมคโดนัลด์ (T.W.McDonald) ได้ศึกษาสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แบบเทอร์โมไซฟอน-ลูป สองสถานะ (Two-Phase Thermosiphon Loop Heat Exchangers) ตัวแปรที่ศึกษาคือ มุมเอียงของการวาง กับปริมาณของไหลใช้งานในคอยล์ระเหย โดยใช้ฟรีออน 11 เป็นของไหลใช้งาน คอยล์ระเหยและคอยล์ควบแน่นมีลักษณะเหมือนกันคือ ประกอบด้วยท่อทองแดงขนาด 3/8 นิ้ว จำนวน 3 ท่อ ใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน ปริมาณของไหลใช้งานอยู่ในช่วง 25 -90 เปอร์เซนต์ คอยส์ระเหยวางมุมเอียง 0, 30 และ 45 องศา กับแนวระดับ ผลจากการศึกษาพบว่า มุมเอียง ปริมาณของไหลใช้งาน และการเปลี่ยนอุณหภูมิของตัวกลางการถ่ายเทความร้อน ไม่ค่อยมีผลต่อสมรรถนะของคอยล์ระเหย ปริมาณของไหลใช้งานที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 40-90 เปอร์เซนต์ และสมรรถนะของคอยล์ระเหยขึ้นอยู่กับจำนวนของท่อ

ปีค.ศ. 1985 ที ดับบลิว แมคโดนัลด์ (T.W. McDonald) และ เอ็ม โคสนิค (M.Kosnik) ทำการทดสอบสมรรถนะเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน-ลูป สองสถานะ (Two-Phase Thermosiphon-Loop Heat Exchanger) ระหว่างอากาศกับอากาศโดยใช้ฟรีออน 11 เป็นของไหลใช้งาน คอยล์ระเหยและคอยล์ควบแน่นใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว วางเรียงท่อเป็นแบบเหลื่อมกัน ติดครีบอลูมิเนียมจำนวน 12 ครีบ/นิ้ว คอยล์ระเหยประกอบด้วยท่อทองแดง 12 ท่อ ยาวท่อละ 3 ฟุต ส่วนคอยล์ควบแน่นประกอบด้วยท่อทองแดง 36 ท่อ ยาวท่อละ 1 ฟุต และทำมุมเอียง 45 องศากับแนวระดับ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีจำนวน 4 ลูป โดย 1 ลูป จะมี 2 แถว ระหว่างแถวจะมีท่อเชื่อมต่อถึงกันโดยมีวาล์วเป็นตัวควบคุม ปริมาณบรรจุของไหลใช้งานอยู่ในช่วง 54 -88 เปอร์เซนต์ จากการทดลองพบว่าเมื่อระบบยังไม่เกิดการเหือดแห้ง(Dryout) ปริมาณของไหลใช้งานไม่มีผลต่อค่าประสิทธิผล(Effectiveness)และการเกิดการเหือดแห้งจะเกิดง่ายขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของผลต่างอุณหภูมิรวมระหว่างคอยล์

ปีค.ศ. 1986 ที ดับบลิว แมคโดนัลด์ (T.W. McDonald) และ เอฟ เอ สเทาเดอร์ (F.A. Stauder) ได้ทำการทดลองศึกษาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ เทอร์โมไซฟอน-ลูป สองสถานะ (Two-phase Thermosiphon-Loop Heat Exchanger) ระหว่างอากาศกับอากาศ ใช้ฟรีออน 11 เป็นของไหลใช้งาน ชนิดแรกมี 4 ลูป ความเร็วผิวหน้าของคอยล์ระเหยและคอยล์ควบแน่นเท่ากันคือ 1.3, 2.2 และ 3.1 เมตร/วินาที ชนิดที่สองมีลูปเดียว ความเร็วผิวหน้า 2.2 m/s โดยความเร็วเท่ากันทั้งสองคอยล์ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิด 4 ลูป มีจำนวน 8 แถว โดยหนึ่งลูปจะมี 2 แถว ต่อถึงกันและมีวาวล์เป็นตัวควบคุม เพื่อทดลองศึกษาผลของการเกิด ฮีสเทรีซีส (Hysteresis) ที่ปริมาณบรรจุ ของไหลใช้งาน 80-82 เปอร์เซนต์ จากการศึกษาพบว่าสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ เทอร์โมไซฟอน-ลูป สองสถานะ ทั้งชนิด 4 ลูป และ ลูปเดียว ขึ้นอยู่กับผลต่างอุณหภูมิรวม จากการศึกษาฮีสเทรีซีสพบว่าในช่วงที่ผลต่างอุณหภูมิรวมต่ำกว่า 45 องศาเซลเซียส การเพิ่มอุณหภูมิในช่วงแรกจะใช้ทำให้เกิดการเดือด เมื่อมีผลต่างอุณหภูมิรวมเป็น 13 องศาเซลเซียส ส่วนตอนลดอุณหภูมิลงจะหยุดเดือดเมื่อผลต่างอุณหภูมิรวมเป็น 4 องศาเซลเซียส

จี ดี มาเธอร์ (G.D. Mathur) และ ที ดับบลิว แมคโดนัลด์ (T.W. McDonald)(1986)ได้พัฒนาโปรแกรมจำลองแบบสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน-ลูป สองสถานะ เพื่อศึกษาสมรรถนะของการแลกเปลี่ยนความร้อน ระหว่างของเหลวกับของเหลว (น้ำ) และอากาศกับอากาศ โดยได้ทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทำนายของแบบจำลอง กับผลที่ได้จากการทดลอง โดยใช้ฟรีออน 11 และ ฟรีออน 113 เป็นของไหลใช้งาน จากการศึกษาพบว่าโปรแกรมจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ สามารถที่จะใช้ศึกษาพฤติกรรมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ เทอร์โมไซฟอน-ลูป สองสถานะ ได้เป็นอย่างดี โดยให้ผลสอดคล้องกับผลการทดลอง

ซี เอ็ม สโกฟิลด์ (C.M. Scofield, P.E,1986) ได้นำเอาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ มาใช้กับระบบปรับอากาศภายในอาคารโดยใช้ฮีทไปป์จำนวน 5 แถว ติดครีบ 11 ครีบ/นิ้ว อัตราการไหลของระบบปรับอากาศ

60,000 ลูกบาศก์ฟุต/นาที อัตราการไหลของระบบอากาศทิ้งน้อยกว่าอัตราการไหลของระบบปรับอากาศ 10 เปอร์เซนต์ โดยติดตั้งคอยล์ระเหยของชุดฮีทไปป์ที่ระบบอากาศทิ้ง ชุดหนึ่งมีการสเปรย์น้ำลงบนคอยล์ระเหยของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอีกชุดหนึ่งไม่มีการใช้สเปรย์น้ำช่วย ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าระบบที่ใช้สเปรย์น้ำช่วยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนจาก 58.7 เปอร์เซนต์ ไปเป็น 67.4 เปอร์เซนต์

ปีค.ศ. 1987 จี ดี มาเธอร์ (G.D. Mathur) และ ที ดับบลิว แมคโดนัลด์ (T.W. McDonald) (20) ได้ทำการทดสอบสมรรถนะคอยล์ระเหย (Evaporator) ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แบบเทอร์โมไซฟอน-ลูป สองสถานะ ที่ติดครีบ ระหว่างอากาศกับอากาศ การศึกษาครั้งนี้ได้สร้างแบบจำลองขึ้นเพื่อศึกษาพฤติกรรมของระบบเมื่อเปลี่ยน ความยาว เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ ปริมาณบรรจุของของไหลใช้งาน ในคอยล์ระเหยและผลต่างอุณหภูมิรวม ของเหลวใช้งานเป็นฟรีออน 11 ในการศึกษาให้ความเร็วผิวหน้าของคอยล์ทั้งสองมีค่าเท่ากัน คือ 3.1 เมตร/วินาที ติดครีบจำนวน 12 ครีบ/นิ้ว โดยให้คอยล์ทั้งสองวางในแนวดิ่งและมีพื้นที่ของคอยล์ทั้งสองเท่ากัน และมีความยาวของคอยล์ควบแน่นยาวเป็นครึ่งหนึ่งของคอยล์ระเหย จากการทดลองพบว่าที่ปริมาณบรรจุของของเหลวใช้งาน 80 เปอร์เซนต์ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของคอยล์ระเหย และผลต่างอุณหภูมิรวมจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของท่อเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่เหมาะสม หลังจากนั้นถ้าเพิ่มความยาวท่ออีกคอยล์ระเหยจะเกิดการเหือดแห้ง (Dryout) จึงทำให้สมรรถนะลดลง

ดี จี (D.Ge) ที ดับบลิว แมคโดนัลด์ (T.W. McDonald) และ จี ดี มาเธอร์ (G.D. Mathur) (1987) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับฮีสเทรีซีส (Hysteresis) ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ เทอร์โมไซฟอน-ลูป สองสถานะ โดยศึกษาสองส่วนคือ การจำลองแบบกับ การทดลอง ในการทดลองศึกษาพฤติกรรมของฮีสเทรีซีสของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ เทอร์โมไซฟอน-ลูป สองสถานะ ระหว่างอากาศกับอากาศ คอยล์ระเหยและคอยล์ควบแน่น เป็นท่อทองแดงเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว ติดครีบอะลูมิเนียมจำนวน 12 ครีบ/นิ้ว โดยจะให้

คอยล์ควบแน่นวางทำมุมเอียง 45 องศา กับแนวระดับ ใช้ฟรีออน 11 เป็นของไหลใช้งาน ผลการทดลองพบว่าฮีสเทรีซีสจะเกิดมากในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน-ลูป สองสถานะ ซึ่งจะเกิดในช่วงที่ผลต่างอุณหภูมิต่ำกว่า 17 °ซ (จุดที่เริ่มเกิดการเดือด)

ปีค.ศ. 1988 เจ ดี มาเธอร์ (G.D. Mathur) และ ที ดับบลิว แมคโดนัลด์ (T.W. McDonald) ได้ทำการทดสอบสมรรถนะคอยล์ระเหยของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน-ลูป ภายใต้เงื่อนไขฟลักซ์ความร้อนคงที่ การศึกษาครั้งนี้เป็นการสร้างแบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ เบอร์เกอริน (Bergerin, 1983) และ เพครูล (Pekrul) กับ ไวสเกอร์เบอร์ (Weisgerber, 1985) ซึ่งใช้ฟรีออน 113 และ ฟรีออน 11 เป็นของไหลใช้งาน ส่วนแบบจำลองโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ใช้แบบจำลองการเหือดแห้ง (Dryout model) ที่แตกต่างกัน 3 กรณี คือให้เลขยกกำลัง m = 0.5 , 0.1 และ 0.05 โดยในแต่ละกรณีมีปริมาณบรรจุของไหลใช้งาน 95 เปอร์เซนต์ จากการศึกษาพบว่า ที่ฟลักซ์ความร้อนต่ำสมรรถนะจะถูกกำหนดโดยการถ่ายเทความร้อนเฟสเดียว และโดยการเดือด (Pool Boiling) เมื่อฟลักซ์ความร้อนมีค่าสูงจะทำให้เกิดการเหือดแห้ง (Dryout) ซึ่งจะทำให้สมรรถนะต่ำลง อนึ่งแบบจำลองกรณีที่มีเลขยกกำลัง m = 0.5 จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนดีที่สุดเมื่อฟลักซ์ความร้อนคงที่ จากการสร้างแบบจำลองนี้ พบว่าสามารถทำนายสมรรถนะของคอยล์ระเหยได้เป็นอย่างดีเมื่อเทียบกับผลการทดลองของคนอื่นๆ อนึ่งตัวเลขยกกำลังจะเป็นตัวกำหนดการเดือดที่ฟลักซ์ความร้อนคงที่ที่แตกต่างกัน

ปีคศ. 1990 เจ ดี มาเธอร์ (G.D. Mathur) ได้ศึกษาการนำเอาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน-ลูป สองสถานะ มาประยุกต์ใช้กับระบบปรับอากาศโดยอาศัยแบบจำลองโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่ได้พัฒนาโดย มาร์เธอร์ (Mathur , 1986) การศึกษาทำกับระบบสองระบบ ระบบแรกใช้พวกมีเดียแพด (media pad) ซึ่งถ้าเป็นพวกแก้วและไฟเบอร์กลาส จะใช้สเปรย์น้ำช่วย แต่ถ้าเป็นพวกไม้จะไม่ต้องใช้สเปรย์น้ำช่วย โดยวางพวกมีเดียแพดวางอยู่หน้าคอยล์ควบแน่นของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน-ลูป สองสถานะ

อีกระบบ ใช้สเปรย์น้ำฉีดลงไปโดยตรงที่คอยล์ควบแน่นของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากการศึกษาพบว่า ระบบที่ฉีดสเปรย์ลงไปโดยตรงมีประสิทธิภาพดีกว่าระบบที่ใช้มีเดียแพด และสามารถลดราคาของอุปกรณ์ และค่าใช้จ่ายการเดินเครื่อง ของระบบปรับอากาศได้

1.8.3 เอกสารการวิจัยทั่วๆ ไป

ในอดีตและปัจจุบันมีการวิจัยที่กับฮีทไปป์แบบต่างๆ อย่างกว้างขวาง ดังนั้นจึงมีเอกสารการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับฮีทไปป์ และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ มาก ดังจะหาอ่านได้ตามรายการอ้างอิงเป็นต้น

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย