บทที่ 2

ผลงานวิจัยในอดีต

2.1 ผลงานวิจัยในอดีตที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในปี พ.ศ. 2526 สมใจ พิเชียรโสภณ ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสมรรถนะและการสร้างแบบจำลองของฮีทไปป์ โดยได้ทำการทดลองกับฮีทไปป์ชนิดท่อทองแดงกับน้ำที่ได้มาจากต่างประเทศ จำนวน 2 ท่อ ท่อหนึ่งประกอบด้วยวิกค์ทองแดงขนาด 100 เมช (mesh) จำนวนหนึ่งชั้น อีกท่อหนึ่งประกอบด้วยวิกค์ทองเหลือง 150 เมช จำนวน 3 ชั้น ตัวแปรที่ศึกษาคือมุมที่วางฮีทไปป์จากแนวระดับ พบว่า อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดในแนวแกนของฮีทไปป์มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อมุมที่ฮีทไปป์ทำกับแนวระดับในช่วงมุมเท่ากับ(ψ) 0 ถึง 20 องศา โดยที่ช่วงการควบแน่นอยู่เหนือช่วงการระเหย จากนั้นจะมีค่าค่อนข้างคงที่แม้จะเพิ่มมุมอีกซึ่งคล้ายคลึงกับผลงานวิจัย(ทดลอง)ของนักวิจัยอื่น

นอกจากนี้ได้ค้นหาแบบจำลองเชิงทฤษฎีอย่างง่ายและปรับปรุงให้ทำนายการทำงานของฮีทไปป์ให้ดียิ่งขึ้น อนึ่งยังได้สาธิตวิธีคำนวณออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ในงานประหยัดพลังงาน และวิธีทำนายประเภทและค่าขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนประเภทต่างๆของฮีทไปป์ จากการทำนายดังกล่าวพบว่าขีดจำกัดที่เกิดขึ้นเมื่อใช้งานฮีทไปป์ที่อุณหภูมิช่วงการระเหย 44.2 องศาเซลเซียส และวางมุมเอียงเท่ากับ 10 องศา โดยที่ช่วงการระเหยอยู่เหนือช่วงการควบแน่น เป็นขีดจำกัดเนื่องจากท่อรูเข็ม

ในปี พ.ศ. 2526 วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล ได้ทดสอบสมรรถนะการทำงานของฮีทไปป์และอธิบายผลการทดสอบโดยใช้แบบจำลองเชิงทฤษฎี งานทดสอบที่ทำขึ้นเน้นการแปรมุมเอียงที่วางฮีทไปป์จากแนวระดับ เพราะเป็นตัวแปรที่เปลี่ยนได้ง่ายในการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ พบว่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสูงสุดของฮีทไปป์จะสูงขึ้นถ้าวางฮีทไปป์ให้ทำมุมบวกกับแนวระดับ

(นั่นคือช่วงการควบแน่นอยู่สูงกว่าช่วงการระเหย) และสมรรถนะสูงสุดจะลดลงถ้าวางฮีทไปป์ให้ทำมุมลบ (ช่วงการควบแน่นอยู่ต่ำกว่าช่วงการระเหย) นอกจากนี้ได้พบว่าแบบจำลองเชิงทฤษฎีสามารถใช้ทำนายอัตราการถ่ายเทความร้อนของฮีทไปป์โดยให้ค่าผิดพลาดภายในช่วง ±25 % และยังเสนอแนะวิธีการใช้ตัวคูณชดเชยเพื่อลดค่าผิดพลาดเหลือเป็น ±7.5 %

ในปีพ.ศ. 2527 ชุมพล สุริยฉาย ได้ศึกษากรรมวิธีการสร้างฮีทไปป์ขึ้นเองในห้องปฏิบัติการ โดยมุ่งเน้นกรรมวิธีที่เหมาะกับการสร้างฮีทไปป์จำนวนมาก (mass production) กรรมวิธีที่พัฒนาขึ้นเป็นวิธีที่ให้ความร้อนต่อท่อฮีทไปป์โดยใช้ออยบาธ (oil bath) อุณหภูมิคงที่ที่ 110 °ซ. ฮีทไปป์ที่สร้างมีผนังทำด้วยท่อแก้วแข็งเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอก 8 และ 10 มม. ตามลำดับ วิกค์ที่ใช้เป็นแบบตาข่ายทองแดงขนาด 80 เมช ซ้อนกัน 3 ชั้นและของไหลใช้งานเป็นน้ำบริสุทธิ์ ความยาวของท่อฮีทไปป์ที่สร้างขึ้นประมาณ 1 ฟุต ในระยะแรกเปอร์เซนต์ของท่อฮีทไปป์ที่สร้างได้คุณภาพดีมีเพียงประมาณ 5-10 % แต่เมื่อดัดแปลงปรับปรุงกรรมวิธีดังกล่าวและมีความชำนาญในการสร้างเพียงพอแล้ว เปอร์เซนต์ของความสำเร็จก็สูงขึ้นเป็น 50-60% เพื่อยืนยันสมรรถนะของฮีทไปป์ที่สร้างขึ้นเองได้ทำการทดสอบสมรรถนะที่มุมเอียงต่างๆในลักษณะต้านแรงโน้มถ่วงของโลก (ช่วงการระเหยอยู่เหนือช่วงการควบแน่น) (anti-gravity) คือที่มุม 14, 16, 18 และ 20 องศา กับแนวระดับตามลำดับ จากการทดสอบขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนของฮีทไปป์ที่สร้างเอง พบว่าเป็นขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนแบบท่อรูเข็มโดยมีความคลาดเคลื่อนจากค่าทางทฤษฎีไม่เกิน ±10 % และสภาพการนำความร้อนเชิงประสิทธิผลของฮีทไปป์ที่สร้างเอง(λ_{eff}) มีค่าสูงสุดที่มุมเอียงน้อยที่สุดที่ทดลองคือ 14 องศา และอัตราการถ่ายเทความร้อนในแนวแกนต่ำสุดที่ได้คือที่ 2.83 วัตต์ ค่า λ_{eff} สูงสุดที่พบคือ 4 กิโลวัตต์/เมตร-องศาเคลวิน หรือประมาณ 10 เท่าของสภาพการนำความร้อนของท่อทองแดงตัน 372 วัตต์/เมตร-องศาเคลวิน) เหตุที่ λ_{eff} มีค่าค่อนข้างต่ำ เพราะการทดสอบกระทำในลักษณะต้านแรงโน้มถ่วงของโลก และวัสดุผนังท่อฮีทไปป์เป็นแก้วไม่ใช่ทองแดง

ในปีพ.ศ. 2529 สุจินดา นิลจันทร์ ศึกษาการทำงานของฮีทไปป์แบบท่อ

ทองแดงกับน้ำซึ่งมีวิกค์เป็นตาข่ายทองเหลือง(150 เมช) 3 ชั้น ในสภาวะที่ไม่คงที่ (เริ่มเดินเครื่อง) พารามิเตอร์ที่ใช้ศึกษาคือมุมเอียง ซึ่งแท่งฮีทไปป์กระทำกับแนวระดับ โดยทดลองแปรอัตราความร้อนที่ใส่เข้าเพื่อหาขีดจำกัด ของสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่มุมเอียงนั้นๆ การทดลองกระทำในลักษณะให้ความร้อนที่ช่วงบน(ช่วงการระเหยอยู่เหนือกว่าช่วงการควบแน่น) ในการทดลองนี้วัดการกระจายของอุณหภูมิในแนวแกนของแท่งฮีทไปป์ที่มุมเอียงต่างๆ และแสดงผลการเปลี่ยนแปลงตามเวลาตั้งแต่เริ่มเดินเครื่อง (เริ่มใส่ความร้อน) จนระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ ในกรณีที่มุมเอียงเท่ากับ 10 องศา (ต้านแรงโน้มถ่วง) ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นกลไกที่จำกัดสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนคือขีดจำกัดเนื่องจากคาปิลารี่ (แรงท่อรูเข็ม) พบว่าค่าการทดลองและค่าทฤษฎีของขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนสอดคล้องกันเป็นอย่างดี(17.4 วัตต์ต่อ 17.04 วัตต์) จากผลการทดลอง ผู้วิจัยได้คำนวณค่าความนำความร้อนเชิงประสิทธิผล λ_{eff} ของแท่งฮีทไปป์ และพบว่าค่า λ_{eff} นี้แปรเลี่ยนได้มาก ขึ้นกับมุมเอียงที่วางและอัตราการใส่ความร้อนเข้า ถ้ามุมเอียงยิ่งเล็กและอัตราการใส่ความร้อนยิ่งสูง ความนำความร้อนเชิงประสิทธิผลก็ยิ่งสูงด้วย ผู้วิจัยได้อนุพันธ์แบบจำลองคณิตศาสตร์เชิงพลวัตแบบลัมพ์ (lumped) สำหรับฮีทไปป์แล้วเปรียบเทียบผลการจำลอง(simulation) กับผลการทดลองเพื่อดูว่าแบบจำลองนี้ดีเพียงไรผลที่พบก็คือ แบบจำลองเชิงพลวัตนี้ทำนายผลการเริ่มเดินเครื่องซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองเพียงในเชิงคุณภาพ (qualitative) เพราะยังมีความไม่แน่นอน(uncertainty) ในการกำหนดพารามิเตอร์บางตัวของโมเดล โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิวแฟคเตอร์เชิงประสิทธิผล(effective view factor)ของการแผ่รังสีความร้อนจากลวดให้ความร้อนและสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเชิงประสิทธิผลของผนังท่อฮีทไปป์ร่วมกับวิกค์ที่มีของไหลเปียกอยู่

ในปี พ.ศ. 2529 พิชัย ตั้งสถาพรพาณิชย์ ได้ศึกษากรรมวิธีสร้างท่อฮีทไปป์แบบไร้วิกค์ขึ้นเองในห้องทดลอง โดยมุ่งเน้นกรรมวิธีที่เอื้ออำนวยการสร้างฮีทไปป์ไร้วิกค์จำนวนมากในเวลาจำกัด(mass production) กรรมวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้ ให้ความร้อนต่อท่อฮีทไปป์ไร้วิกค์โดยใช้อ่างน้ำมัน(oil bath) ฮีทไปป์ไร้วิกค์ที่สร้างขึ้นเป็นท่อแก้วแข็ง เส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกเป็น 8 และ 10

มม. ตามลำดับและความยาว 37 ซม. ±1 ซม. ของไหลใช้งานเป็นน้ำบริสุทธิ์ อุณหภูมิของบออยบาธตั้งไว้คงที่ที่ 125 °ซ. ได้ทดลองสร้างขึ้น 2 งวด ทั้งหมดประมาณ 500 แท่ง จากผลการทดสอบปรากฏว่าใช้งานได้ร้อยละ 70% ส่วนเวลาที่ใช้ในการผลิตฮีทไปป์ไร้วิกค์เฉลี่ยแล้วประมาณ 3 คน-ชม./แท่ง นอกจากนี้ได้คิดพัฒนาการทดสอบสมรรถนะขั้นต้นของแท่งฮีทไปป์โดยใช้ออยบาธที่อุณหภูมิ 70 ° ซ. โดยการจับเวลาตอบสนองของฮีทไปป์ที่สร้างขึ้น ในการทดสอบสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่สภาวะคงที่ ได้เปลี่ยนมุมมองแท่งฮีทไปป์ที่ 5, 25,40, 70 และ 90 องศา พบว่าที่มุม 70 องศา ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ต้นแบบที่ทดลองสร้างขึ้นมีทั้งหมด 2 เครื่อง เครื่องแรกมีจำนวนฮีทไปป์ 27 แท่ง จากนั้นได้ออกแบบปรับปรุงและสร้างเครื่องต้นแบบซึ่งมีฮีทไปป์ 240 แท่ง ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ทั้ง 2 เครื่อง ได้ศึกษาการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของไหลร้อนและเย็นซึ่งเป็นน้ำทั้งคู่ ในการทดลองสมรรถนะของเครื่องต้นแบบได้เปลี่ยนแปลงมุมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ 5, 25, 40, 70 และ 90 องศา พบว่ามุม 90 องศา ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุด นอกจากนี้ได้ทดลองเปลี่ยนอัตราไหลของน้ำในเครื่องที่ 4, 7,10, 13 และ 16 ลิตรต่อนาที และพบว่าที่อัตราความเร็วสูงขึ้นอัตราการถ่ายเทความร้อนจะสูงขึ้นด้วย อนึ่งอัตราการไหลของน้ำภายในเครื่องแลกเปลี่นความร้อนค่อนข้างต่ำจึงทำให้เกิดการกระจายอุณหภูมิภายในเครื่องเป็นชั้นๆในแนวดิ่ง พบว่าความต้านทานการถ่ายเทความร้อนของฟิล์มชั้นนอกมีค่าสูงสุด จึงเป็นตัวกำหนดอัตราการถ่ายเทความร้อนของเครื่อง ค่า UA เฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบมีค่าประมาณ 0.12-0.43 วัตต์/°ซ/แท่งฮีทไปป์ ซึ่งยังต่ำกว่าขีดจำกัดสูงสุดในเชิงทฤษฎีมาก (270-570 วัตต์ ที่อุณหภูมิ 30-80 °ซ) การคำนวณสมรรถนะของฮีทไปป์ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้ใช้ทฤษฎีของการเดือด และทฤษฎีฟิล์มของนัสเซลท์มาคำนวณ และได้เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับช่วยคำนวณออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ด้วย

ในปีพ.ศ. 2530 วันชัย โกมลภมร ได้ทำการออกแบบและสร้างฮีทไปป์ไร้วิกค์แนวใหม่ ที่มีการไหลของไอและของเหลวควบแน่นเป็นวงปิดในทิศทางเดียว

วัตถุประสงค์ก็เพื่อลดการเกิดการหลุดลอยของของเหลวตามไอและการแห้งเหือด ซึ่งมักเกิดขึ้นกับฮีทไปป์แบบทั่วไปในกรณีที่ฟลักซ์ความร้อนมีค่าสูง ผลการทดสอบที่ฟลักซ์ความร้อนต่ำพบว่า ฮีทไปป์แบบไหลครบวงจรนี้สามารถส่งผ่านความร้อนในแนวแกนจากช่วงการระเหยไปยังช่วงควบแน่นได้ดีกว่าฮีทไปป์แบบทั่วไป ซึ่งผนังท่อทำจากวัสดุชนิดเดียวกันประมาณ 100% นอกจากนี้การทดสอบฮีทไปป์แบบไหลครบวงจรที่ผนังท่อทำด้วยทองแดงที่ฟลักซ์ความร้อนสูง พบว่าสามารถส่งผ่านความร้อนในแนวแกนได้สูงกว่า 464 วัตต์ ซึ่งเมื่อคิดเป็นค่าความนำความร้อนเชิงประสิทธิผลแล้วจะสูงกว่าค่าความนำความร้อนของทองแดงประมาณ 157 เท่า นอกจากนั้นยังได้ศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆได้แก่ปริมาตรบรรจุของของไหลใช้งาน มุมเอียง และอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นที่มีต่อสมรรถนะการทำงานของฮีทไปป์ที่สร้างขึ้นทั้งในแง่เวลาตอบสนองและอัตราการถ่ายเทความร้อนที่สภาวะคงที่

ในปี พ.ศ. 2533 ชุติมา จารุศิริพจน์ ได้ทำการทดสอบสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของแท่งฮีทไปป์เดี่ยวๆ ที่สร้างขึ้นที่บริษัท ยูนิแฟบ อีควิปเมนต์ จำกัด และที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฮีทไปป์ไร้วิกค์นี้ทำจากท่อทองแดง ซึ่งมีผนังด้านในเป็นร่องแบบเกลียว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 9.5 มิลลิเมตร และยาว 900 มิลลิเมตร และใช้ฟรีออน 22 (จุดเดือด -40.75 °ซ.) และฟรีออน 113 (จุดเดือด 48 °ซ) เป็นของไหลใช้งาน ช่วงการระเหยและช่วงการควบแน่นของฮีทไปป์ยาวช่วงละ 400 มิลลิเมตร ส่วนช่วงคั่นกลาง(อะไดอะแบติก) ยาว 100 มิลลิเมตร การทดสอบสมรรถนะของแท่งฮีทไปป์ทำโดยการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำร้อนและน้ำเย็น อุณหภูมิของน้ำร้อนและน้ำเย็น ตั้งค่าไว้ที่ 35 หรือ 40 °ซ. และ 20,25 หรือ 30 °ซ. ตามลำดับ ปริมาณของไหลใช้งาน มุมเอียงของฮีทไปป์ และอัตราการไหลของน้ำร้อนและน้ำเย็นเป็นตัวแปรที่ศึกษาในการทดลอง ผลของการทดลองแสดงอยู่ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำความร้อนรวมเชิงประสิทธิผลกับตัวแปรข้างต้น จากการทดลองพบว่าอัตราการไหลของน้ำร้อนและน้ำเย็นมีผลไม่มากต่อสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของแท่งฮีทไปป์ ค่ามุมเอียงที่ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนสูงสุดมีค่าประมาณ 50 องศา สำหรับฟรีออนทั้งสองชนิด ปริมาณของไหลใช้งานที่เหมาะสำหรับฟรีออน

113 อยู่ในช่วง 9.3-18.5 % และประมาณ 30 % สำหรับฟรีออน 22 ผลการทดลองที่ได้ถูกนำมาหาสหสัมพันธ์เพื่อใช้ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายในช่วงการระเหยและช่วงการควบแน่น และที่ผิวด้านนอกของท่อฮีทไปป์ ความต้านทานการถ่ายเทความร้อนรวม และความต้านทานภายใน ของแท่งฮีทไปป์ที่คำนวณได้มีค่าสอดคล้องกับผลการทดลอง แต่สหสัมพันธ์ของความต้านทางของฟิล์มด้านนอกของท่อให้ผลไม่ดีนัก อุณหภูมิน้ำร้อนและน้ำเย็นที่ให้ค่าทดลองของการนำความร้อนเชิงประสิทธิผลที่ดีที่สุดในงานวิจัยนี้ คือ 35°ซ และ 30 °ซ ตามลำดับ ค่าความนำความร้อนเชิงประสิทธิผลของแท่งฮีทไปป์ที่ได้จะอยู่ในช่วง $6x10^{4}$ - $1.2x10^{7}$ วัตต์/(ม-°ซ.) นอกจากนี้ได้เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับช่วยในการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยใช้สหพันธ์ที่ได้จากการทดลองนี้

ในปี พ.ศ.2533 ปรีชา กอบเกื้อชัยพงษ์ ศึกษาถึงการสร้างและทดสอบสมรรถนะเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์แยกส่วนระเหยและส่วนควบแน่นชนิดไหลครบวงจร เพื่อใช้ถ่ายเทความร้อนจากลมร้อนสู่ลมเย็น เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สร้างขึ้นดัดแปลงจากหม้อน้ำรถยนต์ ขนาดกว้าง 60 เซนติเมตร สูง 40 เซนติเมตร มีท่อเป็นท่อแบบรีแบนจำนวน 118 แท่งวางเป็น 2 แถวในแนวเดียวกัน (in-line) ติดครีบแบบ multilouver fin จำนวน 2 แผง ต่อถึงกันโดยท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $1\frac{3}{8}$ นิ้ว ของไหลใช้งานเป็นน้ำบริสุทธิ์สร้างเป็นฮีทไปป์โดยวิธีการต้มร่วมกับการดูดสุญญากาศ

ในการทดสอบสมรรถนะโดยเปลี่ยนแปลงปริมาณบรรจุของของไหลใช้งานที่ 40,55,70 และ 90 และ 100 องศาเซลเซียส และเปลี่ยนอัตราไหลของอากาศทั้ง 2 สายในช่วง 2-6 เมตรต่อวินาที พบว่าที่อัตราความเร็วสูงอัตราการถ่ายเทความร้อนจะสูงขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามในการทดลองที่ปริมาณบรรจุของของไหลใช้งานต่ำๆ พบว่าเมื่อถึงจุดๆหนึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อนจะไม่เพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มว่าจะลดลง อัตราการไหลของอากาศในสายร้อนมีผลในการเปลี่ยนแปลงอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าสายเย็น ค่าของ U ที่ปริมาณของไหลใช้งาน 90 เปอร์เซนต์ จะอยู่ในช่วง 27-63 วัตต์ต่อองศาเซลเซียส และอัตราการถ่าย

เทความร้อนสูงสุดที่ความเร็วด้านร้อน 6 เมตรต่อวินาที ด้านเย็น 4 เมตรต่อวินาที จะได้เท่ากับ 27 กิโลวัตต์ที่อุณหภูมิขาเข้าของลมร้อน 100 องศาเซลเซียส

2.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในต่างประเทศ

ในปี ค.ศ.1974 บี เอส ลาร์กิ้น(B.S. Larkin) เจ อี เทิรนบูลล์ (J.E.Turnbull)และ อาร์ เอส โกเว (R.S. Gowe) ได้นำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนมาใช้ในโรงเลี้ยงสัตว์สำหรับระบายอากาศ ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในโรงเลี้ยง เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่ใช้เป็นชนิดท่อปิดผนึก(Sealed tube)ทำด้วยท่อทองแดงมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.902 นิ้ว ยาว 50 นิ้ว ติดครีบอลูมิเนียมหนา 0.015 นิ้ว จำนวน 6 ครีบต่อนิ้ว ใช้ท่อทองแดง 4 ท่อ วางเรียงแถวเป็นหนึ่งชุดเวลานำไปใช้งานจะนำมาวางเรียงกันแบบอนุกรมจำนวน 9 ชุด ในการทดลองช่วงแรกของฤดูหนาว พอถึงช่วงที่ 2 จะลดลงหลือ 5 ชุด ในท่อทองแดงแต่ละท่อจะบรรจุฟรีออน 22 จำนวน 12 ออนซ์ (oz.)เป็นของเหลวใช้งาน โดยแต่ละชุดจะวางเอียงมุม 45 องศากับแนวระดับ จากการทดลองพบว่าฝุ่นละอองที่เกาะติดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะทำให้ อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลงและยังทำให้อัตราการไหลของอากาศลดลงด้วย

ในปี ค.ศ. 1976 วาย ลี (Y.Lee) และ เอ เบดโรซสเซียน (A. Bedrossian) ได้ศึกษาถึงลักษณะต่างๆของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์หรือเทอร์โมไซฟอน สร้างขึ้นด้วยท่อทองแดงและใช้น้ำกลั่นจำนวน 15 เปอร์เซ็นต์เป็นของไหลใช้งาน การจัดเรียงตัวของกลุ่มท่อเป็นแนวเส้นตรง (In-line) จำนวน 4 แถว แต่ละแถวมี 5 ท่อ และแบบวางให้เหลื่อมกัน (staggered) จำนวน 4 แถวขนาด 4 x 5 x 4 x 5 ความยาวของท่อทองแดงแต่ละส่วนยาว 30.5 เซนติเมตร การวิเคราะห์หาสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนใช้แบบจำลองการนำความร้อน ซึ่งพบว่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมไม่ได้เพิ่มขึ้นตามค่าตัวเลขเรโนลด์แต่เพียงอย่างเดียว แต่ยังเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอัตราส่วนของตัวเลขเรโนลด์ด้านการระเหยต่อด้านการควบแน่น และยังพบว่ายังเพิ่มขึ้นตามตัวเลขแพรนด์ทัล (Prandtl number) ส่วนการวาง

เรียงตัวของกลุ่มท่อแบบวางให้เหลื่อมกันจะให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมมากกว่าแบบแนวเส้นตรง

ในปี ค.ศ.1984 เอส ราซา (S.Raza) และ ที ดับบลิว แมคโดนัลด์ (T.W.McDonald) ได้ศึกษาผลของการให้ความร้อนและการวางเอียงมุมกับปริมาณการเติมของไหลใช้งานของคอยล์ระเหยต่อสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน ลูป สองสถานะ (Two-Phase Thermosiphon Loop Heat Exchangers) การทดลองนี้ใช้ฟรีออน 11 เป็นของไหลใช้งานโดยคอยล์ระเหยและคอยล์ควบแน่นมีลักษณะเหมือนกัน คือประกอบด้วยท่อทองแดงขนาด 3/8 นิ้ว 3 ท่อ และมีท่อหุ้มเป็นวงแหวนภายนอกและใช้น้ำเป็นตัวกลางแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างระบบ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิให้ความร้อนเป็น 35 และ 40 องศาเซลเซียส ปริมาณของฟรีออน 11 อยู่ในช่วง 25-90 เปอร์เซนต์ และคอยล์ระเหยวางมุมเอียง 0,30 และ 45 องศา กับแนวระดับ จากการทดลองพบว่าทั้งมุมเอียง ปริมาณของไหลใช้งานและการเปลี่ยนอุณหภูมิให้ความร้อน ไม่ค่อยมีผลต่อสมรรถนะ ของคอยล์ระเหย (insensitive) และพบว่าปริมาณของไหลใช้งานที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 40-90 เปอร์เซนต์ แต่พบว่าสมรรถนะของคอยล์ระเหยขึ้นอยู่มากกับจำนวนของท่อ

ในปี ค.ศ. 1985 ที ดับบลิว แมคโดนัลด์ (T.W. McDonald) และ เอ็ม โคสนิค (M.Kosnik) ทำการทดสอบสมรรถนะเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน ลูป สองสถานะ (Two-Phase Thermosiphon-Loop Heat Exchanger) ระหว่างอากาศกับอากาศโดยมีฟรีออน 11 เป็นของไหลใช้งาน คอยล์ระเหยและคอยล์ควบแน่นจะมีจำนวนท่อทองแดง 8 แถว ท่อทองแดงขนาด 3/8 นิ้ว การวางกลุ่มท่อเป็นแบบเหลื่อมกัน (Staggered) ติดครีบอลูมิเนียมแบบรูปคลื่น (wavy) จำนวน 12 ครีบ/นิ้ว คอยล์ระเหยมีท่อทองแดง 12 ท่อ ยาวท่อละ 3 ฟุต ส่วนคอยล์ควบแน่นมีท่อทองแดง 36 ท่อ ยาวท่อละ 1 ฟุต ซึ่งส่วนนี้จะทำมุมเอียง 45 องศา กับแนวระดับ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีจำนวน 4 ลูป โดย 1 ลูป จะมี 2 แถว ซึ่งระหว่างแถวจะมีท่อเชื่อมต่อและมีวาล์วเป็นตัวควบคุมปริมาณของไหลใช้งานอยู่ในช่วง 54-88 เปอร์เซนต์ จากการทดลองพบว่าปริมาณ

ของไหลใช้งานไม่มีผลต่อค่าประสิทธิผล (Effectiveness) ยกเว้นเมื่อเกิดการเหือดแห้ง (Dryout) แต่ค่านี้จะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของผลต่างอุณหภูมิรวมระหว่างคอยล์ และจะลดลงเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น

ในปี ค.ศ. 1986 ที ดับบลิว แมคโดนัลด์ (T.W. McDonald) และ เอฟ เอ สทูเดอร์(F.A.Stauder) ได้ทำการทดลองศึกษาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน ลูป สองสถานะ (Two-phase Thermosiphon-Loop Heat Exchanger) ระหว่างอากาศกับอากาศ โดยใช้ฟรีออน 11 เป็นของไหลใช้งานจำนวนหลายลูป ชนิดแรกเป็น 4 ลูป กำหนดให้ความเร็วผิวหน้าทั้งส่วนคอยล์ระเหยและคอยล์ควบแน่นเท่ากันคือ 1.3,2.2 และ 3.1 เมตร/วินาที ชนิดที่สองมีลูปเดียวมีความเร็วผิวหน้า 2.2 m/s โดยความเร็วเท่ากันทั้งสองส่วน เครื่องแลกเปลี่ยนชนิด 4 ลูป จะมีทั้งหมด 8 แถว โดยหนึ่งลูปจะมี 2 แถวต่อถึงกันและมีวาวล์เป็นตัวควบคุม ในการทดลองนี้จะดูผลของการเกิดฮีสเทรีซีส(Hysteresis) ที่ปริมาณของไหลใช้งาน 80-82 เปอร์เซนต์ จากการทดลองพบว่าสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน ลูป สองสถานะ ทั้งชนิด 4 ลูป และลูปเดียวขึ้นอยู่กับผลต่างอุณหภูมิรวมและอัตราการไหล จากการศึกษาฮีสเทรีซีสพบว่าในช่วงผลต่างอุณหภูมิรวมต่ำกว่า 45 องศาเซลเซียส ในตอนเพิ่มอุณหภูมิของเหลวจะเริ่มเดือดที่ผลต่างอุณหภูมิรวมเป็น 13 องศาเซลเซียส ส่วนในตอนลดอุณหภูมิลง จะหยุดเดือดเมื่อผลต่างอุณหภูมิรวมเป็น 4 องศาเซลเซียส

ในปี ค.ศ.1986 จี ดี มาเธอร์ (G.D. Mathur) และ ที ดับบลิว แมคโดนัลด์ (T.W.McDonald) ได้สร้างโปรแกรมจำลองสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน ลูป สองสถานะ เพื่อดูสมรรถนะโดยได้ทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากทำแบบจำลองกับผลที่ได้จากการทดลองของทั้งสองระบบ คือระบบแรกเป็นการแลกเปลี่ยนกันระหว่างของเหลวกับของเหลว(น้ำ) ซึ่งในส่วนคอยล์ระเหยและคอยล์ควบแน่นจะมีท่อหุ้มเป็นวงแหวน(Jacket)เพื่อให้ของเหลวไหลผ่าน ระบบที่สองจะเป็นการแลกเปลี่ยนกันระหว่างอากาศกับอากาศ ทั้งคอยล์ระเหยและควบแน่นจะติดครีบ ใช้ฟรีออน 11 และฟรีออน 113 เป็นของไหลใช้งานตามลำดับ จากการทดลองพบว่าการทำแบบจำลองโปรแกรมด้วยคอมพิวเตอร์สามารถที่จะศึกษา

ถึงพฤติกรรมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แบบเทอร์โมไซฟอน ลูป สองสถานะเป็นอย่างดีทั้งตอนเพิ่มอุณหภูมิและลดอุณหภูมิโดยตรงกับผลที่ได้จากการทดลอง

ในปี ค.ศ. 1987 เจ ดี มาเธอร์ (G.D. Mathur) และ ที ดับบลิว แมคโดนัลด์ (T.W. McDonald) ได้ทำการทดสอบสมรรถนะคอยล์ระเหย (Evaporator) ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน ลูป สองสถานะที่ติดครีบระหว่างอากาศกับอากาศ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้สร้างแบบจำลองขึ้นเพื่อศึกษาพฤติกรรมของระบบเมื่อเปลี่ยนความยาว เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ ปริมาณของของไหลใช้งานในคอยล์ระเหยและผลต่างอุณหภูมิรวม โดยมีฟรีออน 11 เป็นของไหลใช้งาน ในการศึกษาจะให้อากาศรอบนอกคงที่ที่ 20 องศาเซลเซียส และความเร็วผิวหน้าของคอยล์ทั้งสองมีค่าเท่ากันคือ 3.1 เมตร/วินาที ติดครีบจำนวน 12 ครีบ/นิ้ว และเส้นผ่านศูนย์กลางในคอยล์ทั้งสองเท่ากัน สมมติให้คอยล์ทั้งสองวางในแนวดิ่งและมีพื้นที่เท่ากันโดยมีความยาวของคอยล์ควบแน่นยาวเป็นครึ่งหนึ่งของคอยล์ระเหย จากการทดลองพบว่าที่ปริมาณบรรจุ 80 เปอร์เซนต์ ของของไหลใช้งาน ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของคอยล์การระเหยจะมีค่าสูงสุดและเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของเส้นผ่านศูนย์กลางหรือความยาวของท่อ เส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวที่เหมาะสมจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของผลต่างอุณหภูมิรวม ซึ่งการเพิ่มขึ้นนี้จะถึงจุดที่สูงที่สุด เพราะหลังจากนั้นคอยล์การระเหยจะเกิดการเหือดแห้ง (Dryout) ทำให้สมรรถนะลดลง

ในปี ค.ศ. 1987 ดี จี (D.Ge) ที ดับบลิว แมคโดนัลด์ (T.W. McDonald)และเจ ดี มาเธอร์(G.D.Mathur) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับฮีสเทรีซีส (Hysteresis)ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน ลูป สองสถานะ โดยแบ่งการศึกษาออกเป็นสองแบบคือ การทำแบบจำลองกับทำการทดลอง ในการทำการทดลองศึกษาพฤติกรรมของฮีสเทรีซีส ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน ลูป สองสถานะหว่างอากาศกับอากาศ คอยล์ระเหยและคอยล์ควบแน่นมีท่อทองแดงเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว ติดครีบอะลูมิเนียมแบบรูปคลื่นจำนวน 12 ครีบ/นิ้ว โดยจะให้คอยล์ควบแน่นวางทำมุมเอียง 45 องศากับแนวดิ่ง ใช้ฟรีออน 11 เป็นของไหลใช้งาน การทำแบบจำลองโปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นการ

พัฒนาขึ้นเพื่อหาค่าอุณหภูมิยิ่งยวดที่ต่ำสุดของผนัง(minimum wall superheat) จากการทดลองพบว่าทั้งสองวิธีจะให้ผลสอดคล้องกัน โดยฮีสเทรีซีสจะเกิดมากในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน ลูป สองสถานะ ไม่ว่าจะอยู่ภายในความแตกต่างของอุณหภูมิรวมสูงกว่าหรือต่ำกว่าช่วงการเริ่มเดือด จนกระทั่งเข้าสู่ความแตกต่างอุณหภูมิเริ่มต้นก็จะไม่เกิดขึ้นอีกและยังพบอีกว่าการเดือดช่วงนิวคลีเอท (Nucleate boiling) จะเดือดต่อไปจนกระทั่งอุณหภูมิยิ่งยวดของผนังมีค่าน้อยกว่าค่าต่ำสุด ที่จุดนี้การเดือดจะลดลงจนหมด ดังนั้นต่อไปสามารถประเมินได้ว่าถ้าลดลงต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของอุณหภูมิยิ่งยวดของผนังจะทำให้การเดือดที่เกิดขึ้นหยุดลงอย่างรวดเร็ว(Quenching site) แต่การเพิ่มอุณหภูมิยิ่งยวดที่ผนังจะทำให้เริ่มมีการเดือดช่วงนิวคลีเอทกลับมาอีก (Nucleate site reactive) แต่ที่ช่วงการลดลงอย่างรวดเร็วต้องมีอุณหภูมิยิ่งยวดของผนังเท่ากับจุดเดือดเริ่มต้นก่อนจึงจะเกิดขึ้นมาอีก

ในปี ค.ศ. 1988 เจ ดี มาเธอร์ (G.D. Mathur) และ ที ดับบลิว แมคโดนัลด์ (T.W.McDonald) ได้ทำการทดสอบสมรรถนะคอยล์ระเหยของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน ลูป ภายใต้เงื่อนไขฟลักซ์ความร้อนคงที่ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการทำแบบจำลองเปรียบเทียบผลการทดลองของเบอร์เกอร์ริน (Bergerin,1983) และ เพครูล(Pekrul)กับเวียสเกอร์เบอร์(Weisgerber, 1985) ใช้ฟรีออน 113 และ ฟรีออน 11 เป็นของไหลใช้งานตามลำดับ ส่วนแบบจำลองโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ใช้แบบจำลองการเหือดแห้ง (Dryout model) ที่แตกต่างกัน 3 แบบ คือให้เลขยกกำลัง m = 0.5,0.1 และ 0.05 โดยในแต่ละแบบมีปริมาณของไหลใช้งาน 95 เปอร์เซนต์ จากการศึกษาพบว่าที่ฟลักซ์ความร้อนต่ำสมรรถนะจะถูกกำหนดโดยการถ่ายเทความร้อนเฟสเดียว และโดย pool boiling และเมื่อฟลักซ์ความร้อนมีค่าสูงจะทำให้เกิดการเหือดแห้ง (Dryout) ซึ่งจะทำให้สมรรถนะต่ำลง ซึ่งจากการศึกษาพบว่าเริ่มเกิดที่ฟลักซ์ความร้อนมีค่า 2 กิโลวัตต์/ตารางเมตร และแบบจำลองที่มีเลขยกกำลัง m = 0.5 จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนดีที่สุดเมื่อฟลักซ์ความร้อนคงที่ จากการทำแบบจำลองนี้ พบว่าสามารถที่จะทำการทดสอบสมรรถนะของคอยล์ระเหยได้เป็นอย่างดี

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

019285

มากเมื่อเทียบกับผลการทดลองของคนอื่นๆ จากการทดลองนี้ตัวเลขยกกำลังจะเป็นตัวกำหนดการเดือดที่ฟลักซ์ความร้อนคงที่ที่แตกต่างกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย