พระบรมราชูปถัมภ์ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

พลังงานเป็นสิ่งที่มนุษย์จะขาดเสียมิได้ จัดเป็นปัจจัยที่ 5 อันนอกเหนือจากปัจจัยอื่น อันได้แก่ อาหาร เครื่องนุ่งห่ม ยารักษาโรค และที่อยู่อาศัย คำทำนายเกี่ยวกับปริมาณการใช้พลังงานในอนาคตได้แสดงไว้ด้วยตัวเลขต่างๆกัน แต่อย่างไรก็ตามตัวเลขเหล่านั้นก็มีแนวโน้มตรงกันที่ว่า ประชากรของโลกที่เพิ่มขึ้นจะใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างมากมายในช่วง 10 ปี หรือ 100 ปีจากนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศไทยในปัจจุบัน มีการเติบโตและเปลี่ยนโครงสร้างของอุตสาหกรรมอย่างมาก อันส่งผลให้มีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นในอัตราสูงขึ้นเป็นเงาตามกัน

เพื่อตอบสนองความต้องการทางด้านพลังงานดังกล่าว วิศวกรและนักวิทยาศาสตร์จะยังคงมีบทบาทอันสำคัญในด้านการแสวงหาแหล่งพลังงานใหม่ การพัฒนาเชื้อเพลิงชนิดใหม่ การออกแบบขบวนการใหม่ ตลอดจนการหาแนวทางในการนำพลังงานที่หามาได้ไปใช้อย่างคุ้มค่าที่สุด

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วถึงความสำคัญของพลังงานที่มีต่อการดำรงชีพ ในทางอุตสาหกรรม พลังงานก็เป็นสิ่งจำเป็นเช่นกัน ค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานนั้นเป็นค่าใช้จ่ายส่วนหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อต้นทุนในการผลิตโดยตรง พลังงานที่เรานำมาใช้ในการผลิตนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ รูปแบบหนึ่งของพลังงานที่เข้ามาเกี่ยวข้องและมีการใช้อันอย่างกว้างขวางในกระบวนการผลิตคือ พลังงานความร้อน อาทิเช่นในโรงงานปิโตรเคมีนั้นจะมีการลดหรือเพิ่มอุณหภูมิของของไหลที่จุดต่างๆในกระบวนการผลิตต่างๆอยู่ตลอดกระบวนการ อันจะเห็นได้จากมีการใช้เครื่องแลกเปลี่ยน-ความร้อนในรูปแบบต่างๆเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการนำพลังงานความร้อนมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งจำเป็น และเป็นการลดต้นทุนในการผลิตโดยตรง ตลอดจนเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่า การใช้พลังงานความ-ร้อนอย่างคุ้มค่านี้ จะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้า น้ำมันเชื้อเพลิงและกาซธรรมชาติซึ่งเป็นที่มาของพลังงานความร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำมันและกาซธรรมชาตินั้นเรายังสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบของกระบวนการอุตสาหกรรมปิโตรเคมีอื่นๆ ซึ่งเป็นการเพิ่มคุณค่าให้กับทรัพยากรธรรมชาติของโลกที่มีอยู่จำกัด

นอกจากนี้ การใช้พลังงานความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่านี้ ยัง

ช่วยลดปัญหามลภาวะเป็นพิษและปัญหาการอุ่นตัวของโลกอีกด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจากการลดการใช้วัตถุเชื้อเพลิงที่ไม่จำเป็นลง อันเป็นการลดปัญหามลภาวะที่เกิดจากการเผาไหม้ ลดปัญหาการตัดไม้ทำลายป่า ทั้งยังช่วยลดอุณหภูมิของกาซทิ้งที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมด้วย

พลังงานความร้อนอุณหภูมิต่ำนั้น มักจะนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ไม่ง่ายนัก สาเหตุหนึ่งเป็นเพราะว่า เป็นพลังงานที่มีคุณภาพต่ำ และหาจุดใช้งานที่เหมาะสมได้ลำบาก อีกสาเหตุหนึ่งก็คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่าต่ำ และต้องลงทุนสูงในการเก็บกลับความร้อนอุณหภูมิต่ำ แต่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์จะยังคงความสามารถในการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลสองสาย ซึ่งมีผลต่างของอุณหภูมิน้อยๆได้ ดังนั้น เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์จึงเหมาะที่จะนำไปใช้กับระบบประหยัดพลังงาน (ระบบเก็บกลับพลังงานความร้อน) ได้เป็นอย่างดี อันเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรม

เป็นที่ทราบกันดีว่า ฮีทไปป์มีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่หน้าตัดหนึ่งหน่วยสูงกว่าอัตราการนำความร้อนของโลหะมาก พบว่า สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของฮีทไปป์นั้นมีค่าสูงกว่าของแท่งทองแดงตันที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเดียวกันถึง 1,000 กว่าเท่า

ในปัจจุบันได้มีการนำฮีทไปป์ไปใช้ประโยชน์ในทางอื่นอีก อธิเช่นใช้เป็นเครื่องลดความชื้นในระบบปรับอากาศ ซึ่งมีการผลิตออกขายในต่างประเทศแล้ว

## 1.1 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1.1.1 ศึกษาวิธีการสร้างฮีทไปป์และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์

1.1.2 สร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ซึ่งมีของไหลใช้งานเป็นน้ำ

1.1.3 ออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์ทดสอบสมรรถนะระหว่างกาซกับกาซ

1.1.4 ทดสอบสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ที่สร้างขึ้นโดยใช้อุปกรณ์ทดสอบในหัวข้อ 1.1.3

## 1.2 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิธีการผลิตเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีท-ไปป์ไร้วิกค์ชนิดไหลครบวงจร (Closed loop hest-pipe heat exchanger) ที่มีของเหลวใช้งานเป็นน้ำ พร้อมทั้งทำการทดสอบสมรรถนะในการแลกเปลี่ยน-ความร้อนระหว่างกาซร้อนและกาซเย็นของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สร้างขึ้นเพื่อใช้พัฒนาสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ราคาถูกสำหรับส่งเสริมการประหยัดพลังงานในอุตสาหกรรม

## 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 พัฒนาเทคนิคการสร้างฮีทไปป์และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ขึ้นเองภายในประเทศ

1.3.2 เป็นการส่งเสริมการประหยัดพลังงานในอุตสาหกรรม โดยการเก็บกลับความร้อนทิ้งมาใช้ประโยชน์ด้วยเครื่องแลกเปลี่ยน-ความร้อนแบบฮีทไปป์

## 1.4 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย

1.4.1 ค้นคว้ารวบรวมและศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ศึกษาวิธีการสร้างฮีทไปป์และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์
นำเทคนิคซึ่งพัฒนาขึ้นในห้องปฏิบัติการมาศึกษาปรับปรุง เพื่อสร้างฮีทไปป์แบบไร้วิกค์และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ไร้วิกค์

1.4.3 ออกแบบและสร้างชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์
ทำการออกแบบและสร้างชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างกาซร้อนกับกาซเย็นแบบฮีทไปป์ไร้วิกค์ชนิดแยกส่วนการระเหยและการควบแน่น

1.4.4 ทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนข้างต้น

1.4.4.1 ทำการทดลองโดยใช้อากาศที่อุณหภูมิห้องเป็นกาซเย็นและลมร้อนในช่วง 50-100 °ซ เป็นกาซร้อน ความเร็วของลมร้อนและเย็นอยู่ในช่วง 1-6 เมตร/วินาที จากนั้นบันทึกข้อมูลอุณหภูมิที่ทางเข้าและทางออกของลมทั้ง 2 สาย

1.4.4.2 ทดลองสมรรถนะข้างต้นโดยแปร ปริมาณของของเหลวใช้งานของฮีทไปป์ในช่วง 40-90 เปอร์เซนต์

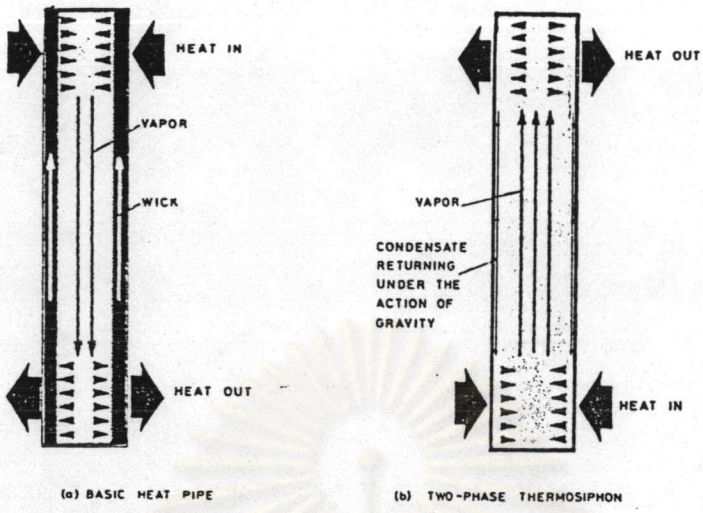
1.4.6 รวบรวมผลการวิจัยและจัดพิมพ์วิทยานิพนธ์

## 1.5 ประวัติความเป็นมาของฮีทไปป์

ฮีทไปป์เป็นอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงชนิดหนึ่งและสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีในสภาวะที่มีผลต่างของอุณหภูมิไม่มากนัก ผู้เสนอความคิดเกี่ยวกับฮีทไปป์เป็นคนแรกคือ อาร์ เอส เกาเลอร์ (R. S. Gaugler) (1) ในปี ค.ศ. 1942 ต่อมาในต้นปี ค.ศ. 1960 จี เอ็ม โกรเวอร์ (G. M. Grover)(2) ก็ได้ประดิษฐ์ฮีทไปป์ขึ้นเป็นคนแรก

ฮีทไปป์ ประกอบด้วยท่อปิดผนึกที่บรรจุวิกค์ (wick) และของไหลใช้งาน (working fluid) ไว้ภายใน (รูปที่ 1.1ก) ที่ช่วงของการระเหยของท่อฮีทไปป์ ความร้อนถูกถ่ายเทจากแหล่งความร้อนผ่านผนังของท่อไปยังวิกค์ เพื่อระเหยของเหลวใช้งาน ไอที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่ผ่านท่อไปยังช่วงของการควบแน่น ช่วงคั่นกลางระหว่างช่วงของการระเหย กับช่วงของการควบแน่นของท่อ เป็นช่วงที่ไม่ได้รับความร้อนหรือคายความร้อน ที่ช่วงของการควบแน่น ไอจะควบแน่นและความร้อนแฝงของการควบแน่นจะถ่ายเทออกจากท่อ ของเหลวจากการควบแน่นจะไหลกลับไปยังช่วงของการระเหย โดยแรงท่อรูเข็ม (capillary action) ผ่านวิกค์ซึ่งมีรูพรุนเล็ก ๆ

ฮีทไปป์ไร้วิกค์หรือเทอร์โมไซฟอน (Two-phase thermosiphon) (รูปที่ 1.1 ข) เป็นฮีทไปป์ชนิดที่การส่งของเหลว จากช่วงการควบแน่นไปสู่ช่วงของการระเหย โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก ดังนั้นการใช้งานของเทอร์โมไซฟอนจึงต้องให้ช่วงของการระเหยอยู่ต่ำกว่าช่วงการควบแน่นเสมอ



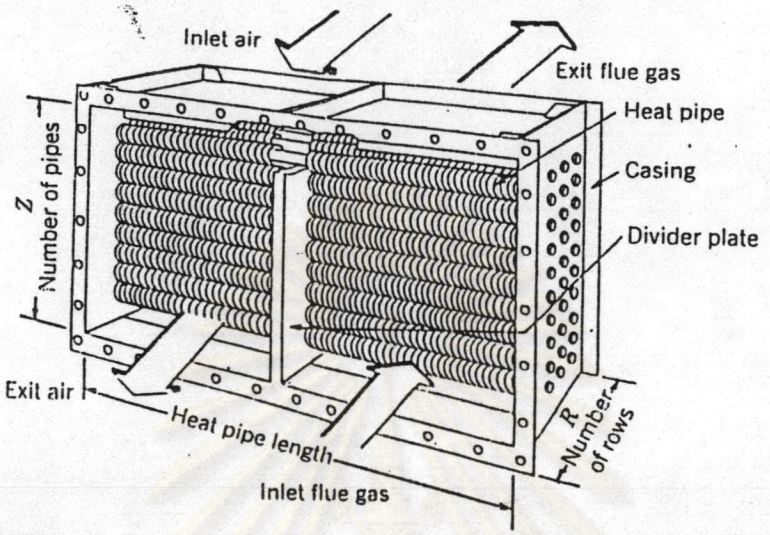

รูปที่ 1.1 ฮีทไปป์และฮีทไปป์ไร้วิกค์ (เทอร์โมไซฟอน)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลร้อน (hot fluid) กับของไหลเย็น (cold fluid) เนื่องจากประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนสูงของฮีทไปป์จึงมีการนำฮีทไปป์มาประกอบเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งเรียกว่า"เครื่องแลก-เปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ (Heat-pipe Heat exchanger)" ดังตัวอย่างในรูปที่ 1.2

จุดเด่นของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ได้แก่

1. ไม่ต้องใช้พลังงานเสริมในการใช้งาน
2. อุณหภูมิที่ใช้งานมีช่วงกว้าง และสามารถทำงานได้ แม้ว่าผลต่างอุณหภูมิระหว่างแหล่งให้ความร้อน และแหล่งรับความร้อนจะมีไม่มาก ถ้าเลือกของเหลวใช้งานให้เหมาะสมกับช่วงอุณหภูมิ
3. อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่หนึ่งหน่วย มีค่าสูงกว่าอัตราการนำความร้อนของโลหะหลายร้อยหลายพันเท่า
4. ปัญหาในการใช้งานและการดูแลรักษามีน้อย เพราะไม่มีส่วนที่เคลื่อนไหว

อย่างไรก็ตาม การเลือกวัสดุและการออกแบบฮีทไปป์ จะต้องกระทำอย่างถูกต้องเหมาะสม มิฉนั้น อาจเกิดปัญหาในการใช้งานได้




รูปที่ 1.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์

เอกสารต่างประเทศที่เกี่ยวกับฮีทไปป์นั้น ปัจจุบันมีอยู่มากมายสามารถหาอ่านได้ทั่วไป ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 เอกสารวิจัยที่เกี่ยวกับฮีทไปป์ของต่างประเทศ

| หัวข้อ | เอกสารอ้างอิงเลขที่ |
|---|---|
| 1. General | 10 - 13 |
| 2. คุณสมบัติทางสมรรถนะของฮีทไปป์ | 14 - 33 |
| 3. ฮีทไปป์แบบอื่นๆ | 34 - 37 |
| 4. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ | 38 - 42 |
| 5. การประยุกต์ใช้งาน | 43 - 45 |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 1.6 ผลงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวกับฮีทไปป์ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทางห้องปฏิบัติการที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งนำโดย รศ. ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล ได้ทำการทดสอบและพัฒนาทั้งทางด้านการสร้างแบบจำลอง, วิธีการสร้างฮีทไปป์, การทดสอบสมรรถนะของฮีทไปป์เดี่ยว, การสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ตลอดจนการทดสอบสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์โดยสังเขปดังนี้

ในปีพ.ศ. 2526 สมใจ พิเชียรโสภณ (3) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสมรรถนะและการสร้างแบบจำลองของฮีทไปป์ โดยได้ทำการทดลองกับฮีทไปป์ชนิดทองแดง/น้ำที่ได้มาจากต่างประเทศ จำนวน 2 ท่อ ท่อหนึ่งประกอบด้วยวิกค์ทองแดงขนาด 100 เมช (mesh) จำนวนหนึ่งชั้น อีกท่อหนึ่งประกอบด้วยวิกค์ทองเหลือง 150 เมช จำนวน 3 ชั้น ตัวแปรที่ศึกษาคือมุมที่วางฮีทไปป์จากแนวระดับ พบว่า อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดในแนวแกนของฮีทไปป์มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อมุมที่ฮีทไปป์ทำกับแนวระดับในช่วงมุม $\psi$ = 0 ถึง 20 องศา โดยที่ช่วงการควบแน่นอยู่เหนือช่วงการระเหย จากนั้นจะมีค่าค่อนข้างคงที่แม้จะเพิ่มมุมอีก ซึ่งคล้ายคลึงกับผลงานวิจัย (ทดลอง) ของนักวิจัยอื่น

นอกจากนี้ได้ค้นหาแบบจำลองเชิงทฤษฎีอย่างง่ายและปรับปรุงให้ทำนายการทำงานของฮีทไปป์ให้ดียิ่งขึ้น อนึ่ง ยังได้สาธิตวิธีคำนวณออกแบบเครื่องแลก-เปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ในงานประหยัดพลังงาน และวิธีทำนายประเภทและค่าขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนประเภทต่างๆของฮีทไปป์ จากการทำนายดังกล่าวพบว่าขีดจำกัดที่เกิดขึ้นเมื่อใช้งานฮีทไปป์ที่อุณหภูมิช่วงการระเหย 44.2 องศา-เซลเซียส และวางมุมเอียง = 10 องศา โดยที่ช่วงการระเหยอยู่เหนือช่วงการควบแน่น เป็นขีดจำกัดเนื่องจากท่อรูเข็ม

วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล (4) ได้ทดสอบสมรรถนะการทำงานของฮีทไปป์และอธิบายผลการทดสอบโดยใช้แบบจำลองเชิงทฤษฎี งานทดสอบที่ทำขึ้นเน้นการแปรมุมเอียงที่วางฮีทไปป์จากแนวระดับเพราะเป็นตัวแปรที่เปลี่ยนได้ง่ายในการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ พบว่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสูงสุดของฮีทไปป์จะสูงขึ้นถ้าวางฮีทไปป์ให้ทำมุมบวกกับแนวระดับ (นั่นคือ ช่วงการควบแน่นอยู่สูงกว่าช่วงการระเหย) และสมรรถนะสูงสุดจะลดลงถ้าวางฮีทไปป์ให้ทำมุมลบ (ช่วงการควบแน่นอยู่ต่ำกว่าช่วงการระเหย) นอกจากนี้ได้พบว่าแบบจำลองเชิงทฤษฎีสามารถใช้ทำนายอัตราการถ่ายเทความร้อนของฮีทไปป์โดยให้ค่าผิดพลาด

ภายในช่วง $\pm$ 25% และยังเสนอแนะวิธีการใช้ตัวคูณชดเชยเพื่อลดค่าผิดพลาดเหลือเป็น $\pm$ 7.5%

ในปีพ.ศ.2527 ชุมพล สุริยฉาย (5) ได้ศึกษากรรมวิธีการสร้างฮีท-ไปป์ขึ้นเองในห้องปฏิบัติการโดยมุ่งเน้นกรรมวิธีที่เหมาะกับการสร้างฮีทไปป์จำนวนมาก (mass production) กรรมวิธีที่พัฒนาขึ้นเป็นวิธีที่ให้ความร้อนต่อท่อฮีทไปป์โดยใช้ออยบาธ (oilbath) อุณหภูมิคงที่ที่ 110 °ซ ฮีทไปป์ที่สร้างมีผนังทำด้วยท่อแก้วแข็งเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอก 8 และ 10 มม. ตามลำดับ วิกค์ที่ใช้เป็นแบบตาข่ายทองแดง ขนาด 80 เมชซ้อนกัน 3 ชั้น และของไหลใช้งานเป็นน้ำบริสุทธิ์ ความยาวของท่อฮีทไปป์ที่สร้างขึ้นยาวประมาณ1ฟุต ในระยะแรกเปอร์เซนต์ของท่อฮีทไปป์ที่สร้างได้คุณภาพดีมีเพียงประมาณ 5-10% แต่เมื่อดัดแปลงปรับปรุงกรรมวิธีดังกล่าว และมีความชำนาญในการสร้างเพียงพอแล้วเปอร์เซนต์ของความสำเร็จก็สูงขึ้นเป็น 50-60% เพื่อยืนยันสมรรถนะของฮีทไปป์ที่สร้างขึ้นเองได้ทำการทดสอบสมรรถนะที่มุมเอียงต่างๆในลักษณะต้านแรงโน้มถ่วงของโลก (ช่วงการระเหยอยู่เหนือช่วงการควบแน่น) (anti-gravity) คือที่มุม 14, 16, 18, และ 20 องศากับแนวระดับตามลำดับจากการทดสอบขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนของฮีทไปป์ที่สร้างเอง พบว่าเป็นขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนแบบท่อรูเข็มโดยมีความคลาดเคลื่อนจากค่าทางทฤษฎีไม่เกิน $\pm$ 10% และสภาพการนำความร้อนเชิงประสิทธิผลของฮีทไปป์ที่สร้างเอง ( $\lambda_{eff}$ ) มีค่าสูงสุดที่มุมเอียงน้อยที่สุดที่ทดลองคือ 14 องศา และอัตราการถ่ายเทความร้อนในแนวแกนต่ำสุดที่วัดได้คือที่ 2.93 วัตต์ ค่า $\lambda_{eff}$ สูงสุดที่พบคือ 4 กิโลวัตต์/เมตร-องศาเคลวิน หรือประมาณ 10 เท่าของสภาพการนำความร้อนของท่อทองแดงตัน ( $\lambda_{Cu}$ = 372 วัตต์/เมตรองศาเคลวิน) เหตุที่ $\lambda_{eff}$ มีค่าค่อนข้างต่ำ เพราะการทดสอบกระทำในลักษณะต้านแรงโน้มถ่วงของโลก และวัสดุผนังท่อฮีทไปป์เป็นแก้วไม่ใช่ทองแดง

ในปีพ.ศ. 2529 สุจินดา นิลจันทร์ (6) ศึกษาการทำงานของฮีทไปป์แบบทองแดง/น้ำ ซึ่งมีวิกค์เป็นตาข่ายทองเหลือง (# 150 เมช) 3 ชั้น ในสภาวะที่ไม่คงที่ (เริ่มเดินเครื่อง) พารามิเตอร์ที่ใช้ศึกษาคือมุมเอียง ซึ่งแท่งฮีทไปป์กระทำกับแนวระดับ โดยทดลองแปรอัตราความร้อนที่ใส่เข้าเพื่อหาขีดจำกัดของสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่มุมเอียงนั้นๆ การทดลองกระทำในลักษณะให้ความร้อนที่ช่วงบน (ช่วงการระเหยอยู่เหนือช่วงการควบแน่น) ในการทดลองนี้วัดการกระจายของอุณหภูมิในแนวแกนของแท่งฮีทไปป์ที่มุมเอียงต่างๆและแสดงผลการ

เวลาตั้งแต่เริ่มเดินเครื่อง (เริ่มใส่ความร้อน) จนระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ ในกรณีที่มุมเอียงเท่ากับ 10 องศา (ต้านแรงโน้มถ่วง) ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่ากลไกที่จำกัดสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนคือขีดจำกัดเนื่องจากคาปิลารี่ (แรงท่อรูเข็ม) พบว่าค่าการทดลองและค่าทฤษฎีของขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนสอดคล้องกันเป็นอย่างดี (17.4 วัตต์ต่อ 17.04 วัตต์) จากผลการทดลอง ผู้วิจัยได้คำนวณค่าความนำความร้อนเชิงประสิทธิผล $\lambda_{eff}$ ของแท่งฮีทไปป์ และพบว่า ค่า $\lambda_{eff}$ นี้แปรเลี่ยนได้มาก ขึ้นกับมุมเอียงที่วางและอัตราการใส่ความร้อนเข้า ถ้ามุมเอียงยิ่งเล็กและอัตราการใส่ความร้อนยิ่งสูง ความนำความร้อนเชิงประสิทธิ-ผลก็ยิ่งสูงด้วย ผู้วิจัยได้อนุพันธ์แบบจำลองคณิตศาสตร์เชิงพลวัตแบบลัมพ์ (lumped) สำหรับฮีทไปป์แล้วเปรียบเทียบผลการจำลอง (simulation) กับผลการทดลองเพื่อดูว่าแบบจำลองนี้ดีเพียงไร ผลที่พบก็คือ แบบจำลองเชิงพลวัตนี้ทำนายผลการเริ่มเดินเครื่องซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองเพียงในเชิงคุณภาพ (qualitative) เพราะยังมีความไม่แน่นอน (uncertainly) ในการกำหนดพารามิเตอร์บางตัวของโมเดล โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิวแฟคเตอร์เชิงประสิทธิผล (effective view factor) ของการแผ่รังสีความร้อนจากลวดให้ความร้อนและสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเชิงประสิทธิผลของผนังท่อฮีทไปป์รวมกับวิกค์ที่มีของไหลเปียกอยู่

พิชัย ตั้งสถาพรพาณิชย์ (7) ได้ศึกษากรรมวิธีสร้างท่อฮีทไปป์แบบไร้วิกค์ขึ้นเองในห้องทดลองโดยมุ่งเน้นกรรมวิธีที่เอื้ออำนวยการสร้างฮีทไปป์ไร้วิกค์จำนวนมากในเวลาจำกัด (mass production) กรรมวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้ให้ความร้อนต่อท่อฮีทไปป์ไร้วิกค์โดยใช้อ่างออยบาธ (oil bath) ฮีทไปป์ไร้วิกค์ที่สร้างขึ้นเป็นท่อแก้วแข็ง เส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกเป็น 8 และ 10 มม. ตามลำดับและความยาว 37 ซม. $\pm$ 1 ซม. ของไหลใช้งานเป็นน้ำบริสุทธิ์ อุณหภูมิของออยบาธตั้งไว้คงที่ที่ 125 °ซ ได้ทดลองสร้างขึ้น 2 งวดทั้งหมดประมาณ 500 แท่งจากผลการทดสอบปรากฏว่าใช้งานได้ร้อยละ 70 ส่วนเวลาที่ใช้ในการผลิตฮีทไปป์ไร้วิกค์เฉลี่ยแล้วประมาณ 3 คน-ชม./แท่ง นอกจากนี้ได้คิดพัฒนาการทดสอบสมรรถนะขั้นต้นของแท่งฮีทไปป์โดยใช้ออยบาธที่อุณหภูมิคงที่ที่ 90 °ซ และเทปวัดอุณหภูมิชนิดเปลี่ยนสีที่อุณหภูมิ 70 °ซ ในการจับเวลาตอบสนองของฮีทไปป์ที่สร้างขึ้น ในการทดสอบสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่สภาวะคงที่ ได้เปลี่ยนมุมของแท่งฮีทไปป์ที่ 5, 25, 40, 70 และ 90 องศา พบว่าที่มุม 70 องศา ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ต้นแบบที่ทดลองสร้างขึ้นมีทั้งหมด 2 เครื่องเครื่องแรกมีจำนวนฮีทไปป์ 27 แท่ง จากนั้นได้ออกแบบปรับปรุงและ

2 เครื่องเครื่องแรกมีจำนวนฮีทไปป์ 27 แท่ง จากนั้นได้ออกแบบปรับปรุงและสร้างเครื่องต้นแบบซึ่งมีฮีทไปป์ 240 แท่ง ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ทั้ง 2 เครื่อง ได้ศึกษาการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของไหลร้อนและเย็นซึ่งเป็นน้ำทั้งคู่ ในการทดลองสมรรถนะของเครื่องต้นแบบได้เปลี่ยนแปลงมุมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ 5, 25, 40, 70 และ 90 องศา พบว่ามุม 90 องศาให้อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุด นอกจากนี้ได้ทดลองเปลี่ยนอัตราไหลของน้ำในเครื่องที่ 4, 7, 10, 13 และ 16 ลิตรต่อนาที และพบว่าที่อัตราความเร็วสูงอัตราการถ่ายเทความร้อนจะสูงขึ้นด้วย อนึ่งอัตราไหลของน้ำภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนค่อนข้างต่ำ จึงทำให้เกิดการกระจายอุณหภูมิภายในเครื่องเป็นชั้นๆในแนวดิ่ง พบว่าความต้านทานการถ่ายเทความร้อนของฟิล์มชั้นนอกมีค่าสูงสุด จึงเป็นตัวกำหนดอัตราการถ่ายเทความร้อนของเครื่อง ค่า UA เฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบมีค่าประมาณ 0.12-0.43 วัตต์/°ซ/แท่งฮีทไปป์ และอัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 3-16 วัตต์/แท่งฮีทไปป์ ซึ่งยังต่ำกว่าขีดจำกัดสูงสุดในเชิงทฤษฎีมาก (270-570 วัตต์ที่อุณหภูมิ 30-80 °ซ) การคำนวณสมรรถนะของฮีทไปป์ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้ใช้ทฤษฎีของการเดือดและทฤษฎีฟิล์มของนัสเซลท์มาคำนวณ และได้เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับช่วยคำนวณออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ด้วย

ในปีพ.ศ. 2530 วันชัย โกมลภมร (8) ได้ทำการออกแบบและสร้างฮีทไปป์ไร้วิกค์แนวใหม่ที่มีการไหลของไอและของเหลวควบแน่นเป็นวงปิดในทิศทางเดียว วัตถุประสงค์ก็เพื่อลดการเกิดของการที่ของเหลวหลุดลอยตามไอและการแห้งเหือด ซึ่งมักเกิดขึ้นกับฮีทไปป์แบบทั่วไปในกรณีที่ฟลักซ์ความร้อนมีค่าสูง ผลการทดสอบที่ฟลักซ์ความร้อนต่ำพบว่า ฮีทไปป์แบบไหลครบวงจรนี้ สามารถส่งผ่านความร้อนในแนวแกนจากช่วงการระเหยไปยังช่วงควบแน่นได้ดีกว่าฮีทไปป์แบบทั่วไปซึ่งผนังท่อทำจากวัสดุชนิดเดียวกันประมาณ 100% นอกจากนี้การทดสอบฮีทไปป์แบบไหลครบวงจรที่ผนังท่อทำด้วยทองแดงที่ฟลักซ์ความร้อนสูง พบว่าสามารถส่งผ่านความร้อนในแนวแกนได้สูงกว่า 464 วัตต์ ซึ่งเมื่อคิดเป็นค่าสภาพนำความร้อนเชิงประสิทธิผลแล้ว จะสูงกว่าค่าสภาพนำความร้อนของทองแดงประมาณ 157 เท่า นอกจากนั้นยังได้ศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ปริมาตรของของไหลใช้งาน มุมเอียงและอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นที่มีต่อสมรรถนะการทำงานของฮีทไปป์ที่สร้างขึ้นทั้งในแง่เวลาตอบสนองและอัตราการถ่ายเทความร้อนที่สภาวะคงที่

ในปีพ.ศ. 2533 ชุติมา จารุศิริพจน์(9) ได้ทำการทดสอบสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของแท่งฮีทไปป์เดี่ยวๆที่สร้างขึ้นที่บริษัท 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 ผลของการทดลองแสดงอยู่ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำความร้อนเชิงประสิทธิผลรวมกับตัวแปรข้างต้น จากการทดลองพบว่าอัตราการไหลของน้ำร้อนและน้ำเย็นมีผลไม่มากต่อสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของแท่งฮีทไปป์ ค่ามุมเอียงที่ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนสูงสุดมีค่าประมาณ 50 องศา สำหรับฟรีออนทั้งสองชนิด ปริมาณของไหลใช้งานที่เหมาะสมสำหรับฟรีออน 113 อยู่ในช่วง 9.3-18.5 % และประมาณ 30% สำหรับฟรีออน 22 ผลการทดลองที่ได้ถูกนำมาหาสหสัมพันธ์เพื่อใช้ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายในช่วงการระเหย และช่วงการควบแน่น และที่ผิวด้านนอกของท่อฮีทไปป์ ความต้านทานการถ่ายเทความร้อนรวม และความต้านทานภายในของแท่งฮีทไปป์ที่คำนวณได้มีค่าสอดคล้องกับผลการทดลอง แต่สหสัมพันธ์ของความต้านทางของฟิล์มด้านนอกของท่อให้ผลไม่ดีนัก อุณหภูมิน้ำร้อนและน้ำเย็นที่ให้ค่าทดลองของการนำความร้อนเชิงประสิทธิผลที่ดีที่สุดในงานวิจัยนี้คือ 35 °ซ และ 30 °ซ ตามลำดับ ค่าความนำความร้อนเชิงประสิทธิผลของแท่งฮีทไปป์ที่ได้จะอยู่ในช่วง 60,000 - $1.2 \times 10^7$ วัตต์/(ม-°ซ) นอกจากนี้ได้เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับช่วยในการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้สหสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองนี้