หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

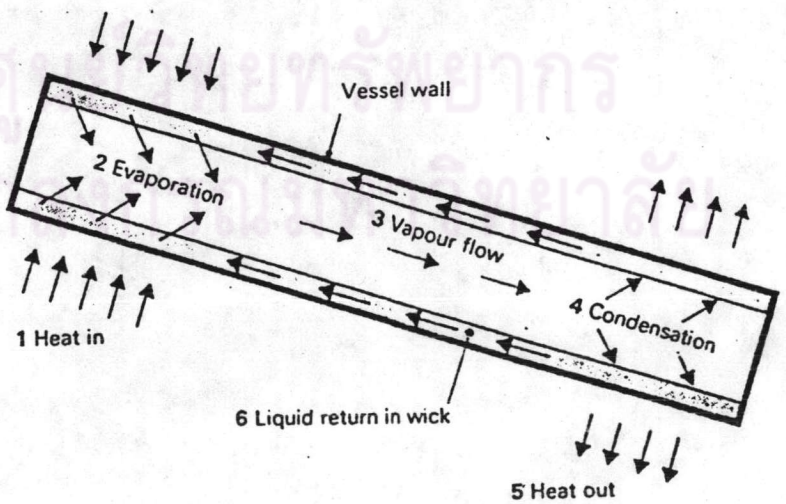
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

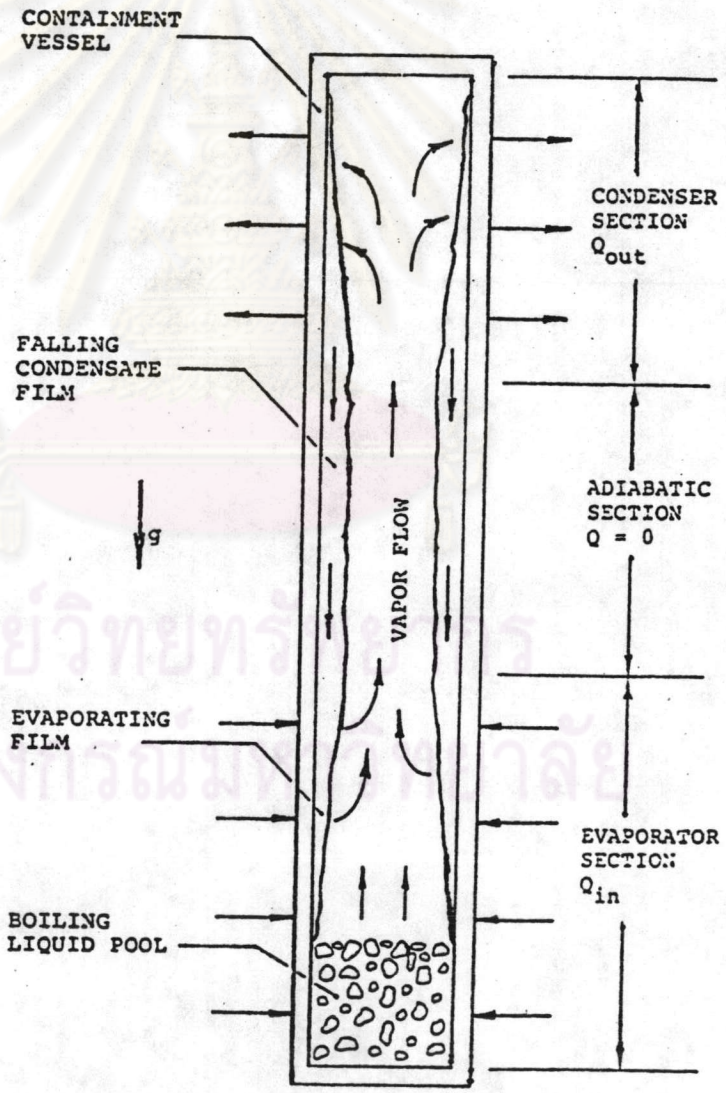
พลังงานเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม และค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเป็นค่าใช้จ่ายส่วนหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อต้นทุนการผลิต ดังนั้นการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิผลเต็มที่จึงมีความสำคัญยิ่ง ความร้อนเป็นพลังงานรูปหนึ่งที่ใช้มากในอุตสาหกรรม และพลังงานความร้อนที่ใช้ในอุตสาหกรรมส่วนหนึ่งจะต้องถูกทิ้งไปเสมอ การที่จะลดปริมาณความร้อนที่ถูกทิ้งไปให้เหลือน้อยที่สุดได้ เช่น การนำความร้อนทิ้งของระบบกลับมาใช้ใหม่ได้มากที่สุด ก็จะเป็นการลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงได้โดยตรง นั่นคือเป็นการลดต้นทุนการผลิตด้านพลังงานอย่างได้ผล

อุปกรณ์ที่เก็บความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่ในปัจจุบันมีหลายแบบ ฮีทไปป์เป็นอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนแบบใหม่ที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูง R.S. Gaugler เป็นผู้ที่เสนอความคิดเกี่ยวกับฮีทไปป์เป็นคนแรกในปี ค.ศ. 1942 (1) ต่อมา G.M.Grover ได้ประดิษฐ์ฮีทไปป์ขึ้นเป็นคนแรกในปี ค.ศ. 1963 (2)



รูปที่ 1.1 หลักการทำงานของฮีทไปป์

ฮีทไปป์ประกอบด้วยท่อปิดผนึกที่ภายในบรรจุวิกค์ (wick) ของไหลใช้งาน (working fluid) และไอของของไหลใช้งานเท่านั้น (รูปที่ 1.1) ที่ช่วงการระเหยของท่อความร้อนจะถูกถ่ายเทจากแหล่งให้ความร้อนผ่านผนังของท่อไปยังวิกค์เพื่อระเหยของเหลวใช้งาน ไอที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่ตามท่อไปยังช่วงของการควบแน่น ช่วงกั้นกลางระหว่างช่วงของการระเหยกับช่วงของการควบแน่นของท่อ เป็นช่วงที่ไม่ได้รับความร้อนหรือคายความร้อนที่ช่วงของการควบแน่น ไอจะควบแน่นและความร้อนแฝงของการควบแน่นจะถ่ายเทออกจากท่อ ของเหลวจากการควบแน่นจะไหลกลับไปยังช่วงของการระเหยโดยแรงท่อรูเข็ม (capillary action) ของวิกค์ ซึ่งมีรูพรุนเล็ก ๆ



รูปที่ 1.2 หลักการทำงานของเทอร์โมไซฟอน

ฮีทไปป์ไร้วิกค์หรือเทอร์โมไซฟอน (thermosyphon,thermosiphon) หรือ closed two-phase thermosyphon หรือ Perkins tube (3) (รูปที่ 1.2) มีโครงสร้างคล้ายฮีทไปป์เพียงแต่ไม่มีวิกค์ ของเหลวควบแน่นไหลกลับไปยังช่วงการระเหยโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก ดังนั้นการทำงานของฮีทไปป์ไร้วิกค์ จึงต้องให้ช่วงการระเหยอยู่ต่ำกว่าช่วงการควบแน่นเสมอ ตารางที่ 1.1 รวบรวมหลักการต่าง ๆ ที่สามารถใช้ส่งของเหลวกลับไปยังช่วงการระเหย (4)

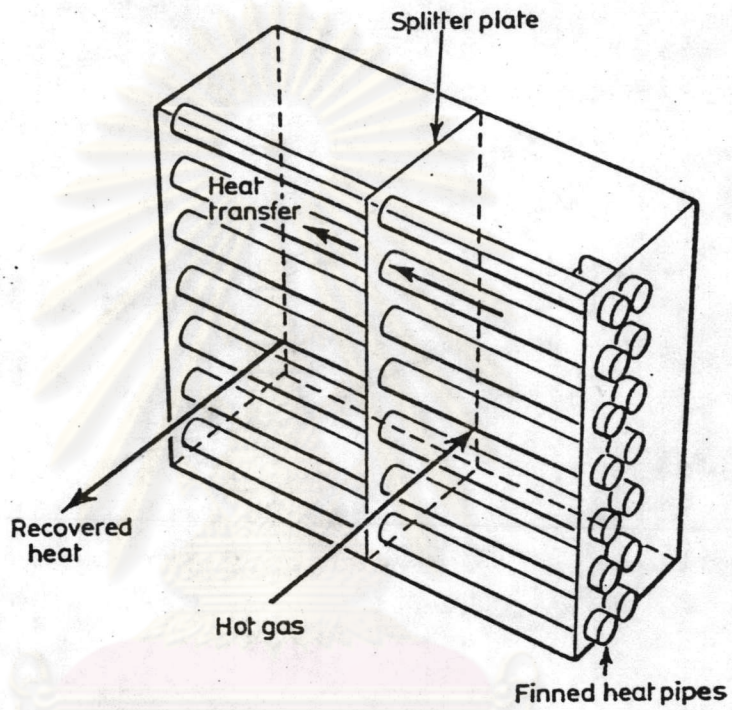
ตารางที่ 1.1 การนำกลับของเหลวควบแน่นด้วยวิธีต่าง ๆ

เทอร์โมไซฟอน (thermosyphon)	แรงดึงดูดของโลก (gravity)
ฮีทไปป์ (heat pipe)	แรงท่อรูเข็ม(capillary force)
ฮีทไปป์แบบหมุน (rotating heat pipe)	แรงหนีศูนย์กลาง (centrifugal force)
ฮีทไปป์แบบอิเลคโตรไฮโดรไดนามิค (electrohydrodynamic heat pipe)	แรงเชิงไฟฟ้าสถิตย์ (electrostatic volume force)
ฮีทไปป์แบบแมคเนโตรไฮโดรไดนามิค (magnetohydrodynamic heat pipe)	แรงแม่เหล็ก (magnetic volume force)
ฮีทไปป์แบบออสโมติก (osmotic heat pipe)	แรงออสโมติก (osmotic force)

งานวิจัยนี้เน้นการศึกษาและสร้างฮีทไปป์แบบไร้วิกค์ซึ่งมีข้อดีคือ สร้างง่าย ต้นทุนการผลิตต่ำ คุณภาพการผลิตมีลักษณะค่อนข้างแน่นอนกว่าฮีทไปป์แบบธรรมดา ซึ่งขึ้นกับความแนบสนิทในการใส่ของวิกค์ ทำให้การทำนายฟลักซ์ความร้อน (heat flux) แน่นอนกว่า ความต้านทานการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังท่อก็น้อยกว่า เนื่องจากไม่มีวิกค์และฟองของไอในวิกค์ซึ่งเป็นตัวต้านทานการถ่ายเทความร้อน โดยเฉพาะในช่วงอุณหภูมิวิกฤติ (5),(6),(7),(8),(9)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลร้อน (hot fluid)

กับของไหลเย็น (cold fluid) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่รู้จักและใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม เนื่องจากท่อฮีทไปป์มีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนได้สูง จึงได้มีการนำท่อฮีทไปป์มาประกอบเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งเรียกว่า เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ (Heat Pipe Heat Exchanger)



รูปที่ 1.3 โครงสร้างของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ (10) มีลักษณะโครงสร้างทั่ว ๆ ไป ดังแสดงในรูป 1.3 กล่าวคือประกอบด้วยท่อฮีทไปป์เรียงกันเป็นแถวอยู่ในตัวเครื่อง และมีแผ่นแยก (Splitter Plate) ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ของเหลวร้อนและเย็นที่ไหลผ่านเครื่องเกิดการไหลปนกัน (cross flow) และยังช่วยยึดตัวท่อฮีทไปป์ไว้ ช่วงการระเหยของท่อฮีทไปป์จะเป็นด้านที่ให้ของไหลร้อนไหลผ่าน ส่วนช่วงการควบแน่นของท่อฮีทไปป์เป็นด้านที่ให้ของไหลเย็นไหลผ่าน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์นี้ อาจใช้ท่อฮีทไปป์แบบมีวิกค์และแบบไม่มีวิกค์ได้ แต่การวางใช้งานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะแตกต่างกัน เนื่องจากฮีทไปป์แบบมีวิกค์นั้นของไหลใช้งานจะไหลกลับสู่ช่วงการระเหยโดยอาศัยแรงท่อรูเข็ม ดังนั้นการจัดวางท่อฮีทไปป์สามารถวางในแนวใดก็ได้ ไม่ว่าช่วงการระเหยจะอยู่สูงหรือต่ำกว่าช่วงการควบแน่นหรืออยู่ในแนวระดับ แต่ถ้าใช้ฮีทไปป์

แบบไร้วิกค์ ของไหลใช้งานจะไหลกลับสู่ช่วงการระเหยได้โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก ดังนั้นช่วงการระเหยจะต้องอยู่ต่ำกว่าช่วงการควบแน่นเสมอ ในที่นี้เราจะศึกษาแต่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ไร้วิกค์ เนื่องจากฮีทไปป์แบบไร้วิกค์นั้นสร้างง่ายกว่าราคาถูกกว่า และนิยมใช้ในอุตสาหกรรมมากกว่า

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์มีข้อดี (11),(12),(13)คือ

1. สามารถถ่ายเทความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถึงแม้ว่าอุณหภูมิของของไหลที่จะแลกเปลี่ยนความร้อนนั้นแตกต่างกันไม่มากนัก จึงมีการนำมาใช้ในการเก็บกลับความร้อนทิ้งซึ่งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดอื่นทำไม่ได้ดีเท่า
2. ไม่มีส่วนเคลื่อนไหว ทำให้เครื่องไม่เกิดการสึกหรอง่าย
3. มีแผ่นกั้นกลางทำให้ของไหลไม่เกิดการไหลปนกัน
4. สามารถออกแบบเป็นรูปร่างต่าง ๆ ได้ง่ายและการบำรุงรักษาก็ง่าย

ข้อจำกัดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ที่สำคัญคือ ช่วงอุณหภูมิในการทำงานจะไม่กว้างและถูกจำกัดโดยประเภทของของไหลใช้งานในฮีทไปป์

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์มีใช้งานมาไม่น้อยกว่าสิบปีมาแล้ว โดยมีการเริ่มต้นและพัฒนาการใช้งานใน 3 ลักษณะใหญ่ ๆ (10) คือ

1. เก็บกลับความร้อนจากระบบปรับอากาศ ซึ่งเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิที่แตกต่างกันไม่มากนัก
2. เก็บกลับความร้อนจากก๊าซทิ้งของกระบวนการต่าง ๆ (เช่น สันดาปอบแห้ง) มาอุ่นอากาศใหม่ที่จะนำมาใช้
3. ระบายความร้อนจากชิ้นส่วนอิเลคโทรนิกส์ต่าง ๆ

ปัจจุบันเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้มีการใช้งานอย่างแพร่หลายอยู่ในวงการอุตสาหกรรมต่าง ๆ ดังนี้ (10), (13), (14)

อบแห้งกระดาษ	(Paper drying)
อบแห้งในสิ่งทอ	(Textile drying)

ซักรีด	(Laundries)
อุตสาหกรรมยา	(Pharmaceuticals)
เตาอบขนมปังกรอบและขนมปัง	(Biscuit and bread ovens)
อบแห้งแบบสเปรย์	(Spray drying)
เตาอบแห้งสีรถยนต์	(Automotive paint-drying ovens)
เก็บกลับความร้อนในเตาเผาอิฐ	(Brick-kiln hut recovery)
เก็บกลับความร้อนและควบคุมมลภาวะ	(Pollution control plus heat recovery)
Welding-booth heat recovery	
เป็นต้น	

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ซึ่งรวมทั้งแบบเทอร์โมไซฟอน (ฮีทไปป์ไร้วิกค์) ถึงแม้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนจะสู้แบบ Heat wheel ไม่ได้ แต่ก็มีคุณสมบัติอื่น ๆ ที่ดีกว่า จึงเป็นคู่แข่งที่สำคัญของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Heat wheel, Run-around coil และ Gas-gas plate heat exchanger ตารางที่ 1.2 สรุปผลการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบต่าง ๆ

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ที่ใช้งานกันในปัจจุบัน ส่วนใหญ่จะใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซกับก๊าซ หรือก๊าซกับของเหลว เพื่อสะดวกในการทำวิจัย และลดค่าใช้จ่ายในการทดลอง งานวิจัยนี้จะศึกษาถึงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของเหลวกับของเหลว นั่นคือ ระหว่างน้ำร้อนกับน้ำเย็น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1.2 การเปรียบเทียบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในการเก็บความร้อนคืนที่อุณหภูมิสูง

ประเภทของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	ความดันที่สูญเสีย	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน	การบำรุงรักษา	ราคา	พลังงานเสริม	การรั่วผสมของของไหล	พื้นที่ถ่ายเทความร้อนต่อปริมาตรหนึ่งหน่วย	คะแนนรวม
regeneration	ปานกลาง 3	สูง 4	ยาก 2	สูง 2	จำเป็น	มี 0	มาก 4	15
shell and tube	สูง 2	สูง 4	ธรรมดา 3	ปานกลาง 3	ไม่จำเป็น	ไม่มี 5	น้อย 2	19
plate fin	ต่ำ 4	ปานกลาง 3	ธรรมดา 3	สูง 2	ไม่จำเป็น	ไม่มี 5	มากพิเศษ 5	22
recirculating - secondary medium	ต่ำ 4	ต่ำ 2	ยาก 2	สูง 2	จำเป็น	ไม่มี 5	ปานกลาง 3	18
heat pipe	ต่ำ 4	สูง 4	ง่าย 5	ปานกลาง 3	ไม่จำเป็น	ไม่มี 5	มาก 4	25

หมายเหตุ คะแนนต่ำสุด 0 ถึงสูงสุด 5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์ ดังนี้

1. ทดลองสร้างฮีทไปป์แบบไร้วิกค์ (wickless heat pipe) โดยอาศัยเทคนิคการสร้างฮีทไปป์แบบทั่วไป ที่ได้เรียนรู้และพัฒนาขึ้นในห้องทดลองนี้

2. ทดสอบสมรรถนะการทำงานของฮีทไปป์ไร้วิกค์ที่สร้างขึ้น เพื่อหาข้อมูลพื้นฐานสำหรับออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์

3. ออกแบบและสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์และชุดอุปกรณ์การทดลองสมรรถนะ

4. ทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ที่พัฒนาขึ้น โดยการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของไหลร้อนและของไหลเย็น (การเก็บความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์)

5. หาทฤษฎีคำนวณสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ และพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาวิธีผลิตฮีทไปป์แบบไร้วิกค์ โดยอาศัยข้อมูลจากการผลิตฮีทไปป์แบบมีวิกค์ที่ได้พัฒนาขึ้นในห้องทดลอง รวมทั้งศึกษากรรมวิธีในการผลิตให้ได้จำนวนมาก เพื่อนำมาติดตั้งในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์นี้

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

1. ทดลองสร้างฮีทไปป์แบบไร้วิกค์
2. ทดสอบสมรรถนะฮีทไปป์ที่สร้างขึ้น

3. ออกแบบและสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์และอุปกรณ์การทดลองที่เกี่ยวข้อง
4. ทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
5. เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการคำนวณสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
6. รวบรวมผลการวิจัยและจัดพิมพ์วิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยนี้

1. การวิจัยพัฒนาการสร้างฮีทไปป์แบบไร้วิกค์ตลอดจนถึงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ขึ้นเอง จะทำให้รู้ถึงปัญหาทางเทคนิคที่สำคัญตลอดจนข้อมูลในการสร้างปรับปรุงและออกแบบ
2. เป็นการส่งเสริมเทคโนโลยี่ทางฮีทไปป์ในประเทศและส่งเสริมการประหยัดพลังงานในอุตสาหกรรมในประเทศโดยการผลิตเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ขึ้นใช้เองในประเทศ

1.6 เอกสารและผลงานวิจัยในอดีต

1.6.1 เอกสารบทความที่กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการทั่วไปของฮีทไปป์ไร้วิกค์

1. Andros, F.E., Florchuctz, L.W., "Heat Transfer Characteristics of The Two-Phase Closed Thermosiphon (Wickless Heat Pipe)," Proc. of 7th Int. Heat Transfer Conf., 4, pp. 187-92 , 1982.

2. Andros, F.E., "Heat Transfer Characteristics of The Two-Phase Closed Thermosyphon (Wickless Heat Pipe)," Ph.D. dissertation, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Arizona, 1980.

3. Bezrodnyi, M.K., "Upper Boundary of The Maximum Heat Transfer Capacity of Evaporative Thermosyphons," Teploenergetika (Moscow), (8), 63-6, 1978, (Russ).

4. Bezrodnyi, M.K. , Alabovskii, A.N., "Critical Heat Fluxes During Boiling of Liquids in Thermosiphons," Kipenie Kondens. 3, pp. 47-59, 1979 (Russ).

5. Bezrodnyi, M.K., Alabovskii, A.N., Volkov, S.S., "Study of Hydrodynamic Characteristics of a 2 Phase Steam under Conditions of a Closed Heat Sipho," Izv. Vyssh. Uchcbn. Zaved. , Energ., 23(2), pp. 116-21,1980 (Russ).

6. Bezrodnyi, M.K., Elekseyenko, D.V., "Boiling Heat Transfer in Closed Two-Phase Thermosyphons," Heat Transfer-Soviet, Res. 9, pp. 14-20, 1977.

7. Bezrodnyi, M.K., Faninzil berg, S.N., Kondrusik, E.A., "Investigation of The Maximum Heat Transfer in Annular 2-Phase Thermosiphon," Heat Transfer Sov Rep., 12(1) , pp. 118-23, 1980.

8. Bezrodnyi, M.K., Moklyak V.F. , "Heat Transfer During Condensation in a Dynamic Two-Phase Layer of Closed Thermosiphons," Izv Vyssh. Uchebn. Zaved.,Energ., 4, pp. 99-105, 1983 (Russ)

9. Bezrodnyi, M.K., Volkov, S.S., "Hydrodynamic Characteristics of 2-Phase Countercurrent Steam in Closed Thermosiphon," Gidrodinam i Teploobmen v Kondensir Sredakh, Novoibersk, pp. 121-7, 1981, (Russ), From Ref. Zh. Kilm 1982, Abstr. No. 15135.

10. Casarosa, C. , Latrofa, E., Shelginski, A. , "The Geyser Effect in a 2-Phase Thermosyphon," Int. J. Heat Mass Transfer , 26 (6), pp. 933-41, 1983.

11. Chinen,T. , Nosetani, T., (SumitomoLight Metal) "90/10 Cupronickel Two-Phase Thermosyphons,"5 IHPC Program 1984.

12. Clements, B., Lee,Y. , "Additional Parameters A-F in 2 Phase Closed Thermosyphons, Effects of Tube

Diameter and Wall Thickness," Int. J. Heat Mass Transfer, vol. 24, no, 9, pp. 1554-1555, 1981.

13. Dobran, F. (Stevens Inst) , "Stability Threshold of a Closed Two-Phase Thermosyphon," 5 IHPC Program, 1984.

14. Dunn, P. , Reay, D.A. , Heat Pipes, Pergamon Press, 2 nd ed., 1978.

15. Feldman, Jr, K.T. (EEi Albuquerque), Srinivasan, R. (UPM Dhahran) , "Investigation of Heat Transfer Limits in Two-Phase Closed Thermosyphons," 5 IHPC Program, 1984.

16. Gross, Ulrich, Hohre, Erich , "Effect of Pressure on Heat Transfer in an Inclined Closed Thermosyphon," Chene-Ing-Teck, 54 (10), pp. 921, 1982 (Ger).

17. Honda, I. , Iimura, T. , Shimoda, H. (Suzuki Metal Ind) , "The Study of Corrosion Phenomena in Water-Copper, Steel Heat Pipes and Others," 5 IHPC Program, 1984.

18. Imura, H., Sasaguchi, K., Kozai, H., Numath, S.,"Critical Heat Flux in a Closed Two-Phase Thermosyphon," Int. J. Heat Mass transfer, 26 (8), pp. 1181-88, 1983.

19. Imura, H., et al. ,"Heat Transfer in Two-Phase Closed Type Thermosyphons," Heat Transfer Japan Res., 8, pp. 41-53, 1979.

20. Imura, H., Kusudra, J. , Ogata, T. , Miyazaki, T. , Sakamoto, N. , "Heat Transfer in 2-Phase Closed Thermosyphons," Nippon Kikai Gakkai Ronbunshu, B Hen, 45(393) , pp. 712-22, 1979 (Jan).

21. Kashorskii, V.G. , Pechenegov, Yu. Ya., Scrov, Yu. I. , "Experimental Study of Heat Transfer During Water Boiling in a Small Thermosiphon With Heat Supply to The Side," Iav. Vyssh. Uchebn Zaved, Energ, 24(10), pp. 64-8, 1981 (Russ).

22. Kiselev, I.G. , Isahecv, A.I. , Filatov, V.V., istomin, N.I. , "Boiling and Condensation in Two-Phase Thermosiphon," Kipenie Kondens, 3, pp. 74-83, 1979 (Russ).

23. Kobayashi, K. (Kawasaki Heavy Ind) , Yamamoto, T. , Kuroki, T. , Nagata, K. (Waseda Univ) , "Heat Transfer Performance of a Two-Phase Closed Thermosyphon," 5 IHPC Program, 1984.

24. Kornilitoyn, A.A. , Snytin, S. Yu. , Fedorov, M.V. , "Experimental Study of Heat Transfer in a Closed 2-Phase Cryothermosiphon of Slot Type," Tr. Mosk. Energ. Inst. , 491, pp. 22-30, 1980 (Russ).

25. Larkin, B.S. , "An Experimental Study of The Two-Phase Thermosyphon Tube," CSME Trans., EIC vol. 14, No. b-6, I-VIII, (Aug/Sept. 1971.).

26. Lee, Y. , Mital, U. , "A Two-Phase Closed Thermosyphon" Int. J. Heat Mass Transfer , vol. 15, pp. 1695-1707, 1972.

27. Mirmov, N.I., Belyakova, I.G., "Heat Transfer in Condensation in Thermosiphon," Inzh. - Fiz. Zh. , 43(3) pp. 385-90, 1982 (Russ).

28. Mirmov, N.I., Bilyakova, I.G., "Thermosiphons With Binary Heat-Transfer Agents," Inzh. - Fiz. , 38(5), pp. 934, 1980 (Russ).

29. Mirmov, N.I., Portnov, V.D., Belyakova, I.G. , "Study of The Heat Transfer Coefficient During Vapor Condensation in Thermosiphons," Izv. Vyssh Uchcbn. Zaved, Energ. , (7), pp. 100-3, 1982 (Russ).

30. Negishi, K. (Univ Osaka Pref) . "Thermo-Fluiddynamics of Two-Phase Thermosyphons," 5 IHPC Program, 1984.

31. Negishi, Kangi , "Unstable Phenomena in a Two-Phase Closed Thermosiphon," Inst. Space Astronaut. Sci. , S.P. 1, pp. 257-63, 1983.

32. Nguyen-Chi, H, Groll, M , "Entrainment or Flooding Limit in a Closed Two-Phase Thermosiphon," J. Heat Recovery Syst. , 1(4), pp. 275-86, 1981.

33. Nguyen-chi, H. , Grall, M. , Dang-Van, Th , "Experimental Investigation of Closed Two-Phase Thermosyphons," AIAA 14th Thermophysics Conf. , pp. 79-1106, Orland, Florida, June, 1979.

34. Pioro, I.L. . "Limit Heat Transfer Characteristics of 2-Phase Thermosiphon," Teplotekh, 4(4) pp. 25-30, 1982 (Russ).

35. Prenger, F.C. (Los Alamos) , "Perfomance Limits of Gravity-Assisted Heat Pipes," 5 IHPC Program, 1984.

36. Semena, M.G. , Kisclev, Yu. F. ,"Study of Heat Transfer in The Heat Supply Zone of Two-Phase Thermosiphons at Low Degrees of Filling," Inzh. - Fiz. Zh. , 35(4), pp. 60-5, 1978, (Russ).

37. Semena, M.G. , Kisclev, Yu. F. ,"Study of Heat Transfer in The Condensation Part of 2-Phase Thermosiphon," Teploobmen Energ. Ustanovkakh , pp. 68-74, 1978 (Russ).

38. Semena, M.G. , "Maximum Heat-Transfer Capacity of Vertical 2-Phase Thermosyphon," Inzh-Fiz. Zh. , 35(3), pp. 397-403, 1978 (Russ).

39. Spendel, Th. , "Laminar Film Condensation Heat Transfer in Closed 2-Phase Thermosiphons," Adv Heat Pipe Technol., (Proc. 4th Int. Heat Pipe Conf., 1981), pp. 163-73 Edit by Reay, D.A., Pergamon, Oxford, UK. 1982.

40. Spendel, Th. (IKE Stuttgart) , "Laminar Film Condensation in Vertical Two-Phase Thermosyphons," 5 Ihpc Program, 1984.

41. Spendel, Th. , Groll, M. (IKE Stuttgart) , "Thermal Behaviour of High-Performance Closed Two-Phase Thermosyphons," 5 IHPC Program, 1984.

42. Takuma, Masao , Maczawa, Saburo , Tsuchida, Akira , "Studies on Condensation Heat Transfer in Two-Phase Closed Thermosiphons," Inst Space Astronaut Sci Pep. , S.P. 1, pp. 247-55, 1983.

43. Tolubinskii, V.I. , Pioro, I.L. , "Study of The Thermostabilizing and Limiting Heat Transfer Characteristics of Two-Phase Thermosiphons," Khim Tekhnol. , pp. 38-9, 1983 (Russ).

44. Utkin, V.B. , Khoze, A.N. , "Calculation of Critical Heat Flux in Two-Phase Thermosiphons," Dispersnyi Sist. Energokhim. Protessakh , pp. 76-81, 1982 (Russ).

45. Wen Yaopu , Guo Shun (ISSE Beijing) , "Experimental Heat Transfer Performance of Two-Phase Thermosyphons," 5 IHPC Program, 1984.

1.6.2 เอกสารบทความที่เกี่ยวกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์

1. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล "โครงการศึกษาทดสอบและสร้างโมเดลคณิตศาสตร์สำหรับการทำงานของฮีทไปป์" , ทุนวิจัยรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2526.

2. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล "รายงานโครงการแสดงนิทรรศการ" เงินทุนคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2526.

3. Azad, E. , Mozlarzadeh, F. , "Design of Air to Water Coaxial Heat Pipe Heat Exchanger," J. Heat Recovery System., 5(3), pp. 217-24, 1985.

4. Bendescu, J. , Peretz, R. , "Theoretical and Experimental Investigation of Heat Pipe Heat Exchangers at The Polytechnical Institute of IASI," 15 th National Installation Conf. Sinaia, 1981, (Rumanian).

5. Bilegan, I.C. , "Aluminium Heat Pipes for Heat Exchangers," Energetica, 28, Vol. 3, pp. 112-116, 1980 (in Rumanian).

6. Bilegan, I.C. , Bunescu, A. , "Experimental Investigation Concerning The Implementation and Operation of a Pattern of Waste-Heat Recuperator Type Water-Water With Gravity Assisted Heat Pipes," 5 th - IHPC, Tsukuba, 1984.

7. Chaudourne, S., "Heat Pipe Exchangers for Heat Recovery in Industrial Processes," (Serv. Transfer Therm., CEA, 38041 F.R.) Rev. Physic Appl., 17(9), pp. 625-32,1982.

8. Chaudourne, S. , "Optimization of Heat Pipe Heat Exchangers," 5th IHPC, Tsukuba, 1984.

9. Davies, M.J. , Chaffey, G.H. , "Development and Demonstration of Improved Gas To Gas Heat Pipe Heat Exchangers for The Recovery of Residual Heat," EUR 7129, 1981.

10. Fetcu, D. , "Contribution to Study of Heat Recovery By Heat Pipes at Small Temperature Differences," Ph.D. Thesis, University of Brasov, 1983, (in Rumanian).

11. Fetcu, D., "Finding of Optimum Gravity-Assisted Wickless Heat Pipes With Methanol and Acetone for Heat Exchanger," 5th IHPC, Tsukuba, 1984.

12. Fetcu, D. , Bilegan, C. , "Heat Pipe Heat Exchangers for Heat Recovery Porous Bodies," 5th IHPC, Tsukuba, 1984.

13. Guo Shun, et. al. , "Design and Application of Low Temperature Heat Pipe Heat Exchanger," CSET 1 NHPC, Harbin, Aug. , 1983.

14. Hettwer, H. , "Experimental Investigation of Thermal Parameters of Closed Two-Phase Thermosyphons," Symposium Heat Recovery, Veszprem 1982, (German).

012508

15. Hettwer, H. , Bath, H.H. , "Heat Recovery in Vertical Systems," 4th IHPC, London, 1981.

16. Kotrba, V. , "Heat Pipe Heat Exchanger Model," Seminar Heat Pipes and their applications, NRIMD Prague, 1977. (in Czech).

17. Kotrba, V. , Oslejsek, o., et. al. , "Experimental Analysis of a Heat pipe Heat Exchanger," Strojnicky Casopis, 31, No. 2, pp. 165-182, 1980.

18. Kreitlow, D.B. , Reistd G.M. , Miles, C.R. , Culver G.G. , "Thermosyphon Model for Downhole Heat Exchanger Application in Shallow Geothermal System," J.Heat Trans. , 100(4) , pp. 713-719.

19. Krishnan, K.N., "Analysis and Design of a Heat Pipe Heat Exchanger," 5th IHPC, Tsukuba 1984.

20. Ledecdy, R. ; Stulc, P. , "Heat Recovery by Means of Heat Pipe Heat Exchanger, Seminar Progress in Fuel and Energy Saving, Prague, 1983, (in Czech).

21. Lee, Y. , Bedrossian, A. , "The Characteristics of Heat Exchanger Using Heat Pipe or Thermosyphons," Int. J. Heat Mass Transfer, 21, pp. 221-229, 1978.

22. Lee, Y. , Clements, B.R.C. ,"An Analysis of Heat Exchangers Using Finned Two-Phase Closed Thermosyphons," 5th IHPC, Tsukuba, 1984.

23. Mazurkiewicz, W. , Sniezyk, R. , Tomczak, W. , "Analysis of The Work of The Heat Pipe Heat Exchanger," Cieplownictwo Ogrzewnictvo Wentylacja, 11, No. 9, pp. 225-228, 1979 (in Polish).

24. Mazurkiewicz, W. , Sniezyk, R. , Wieczorek, M. "Investigation into Two Phase Closed Thermosyphons and Heat Pipes for Air Conditioning," Prase Naukowe Inst. Chen. i Uzadzen Cieplnych Polit. Wroclawskiej, No. 35, pp. 243-250. (in Polish).

25. Mazurkiewicz, W. , Sniezyk, R. , Wieczorek, M. "Theorectical Model for a Wickless Heat Pipe Involved in a Heat Recovery Unit," Prace Naukowe Institutu Inzynierii Chemicznej I Urzadzen Cieplnyck Politechniki Wroclawskiej, No. 35, pp. 252-259. 1977 (in Polish).

26. Niekawa, J. , Matsumoto, K. , Noda, H., Koizumi, T. , "Large Scale Heat Pipe Heat Exchanger for a Flue Gas Desulfurizing System," 5th IHPC, Isukuba 1984.

27. Nishizawa, F. , Kuroku, T. , Nagata, K. , Development of The Water Heater Applying The Heat Pipe Principle," 5th IHPC, Tsukuba 1984.

28. Peretz, R. , "The Influence of The Heat Pipe Heat Exchangers Geometry on Its Heat Transfer Effectiveness," J. Heat Recovery System, 3, No. 1, pp. 23.

29. Stulc, P. , Polasek, F. , "Heat Recovery by Means of Heat Pipes," Seminar, Waste Energy and Heat Pump, Karlik 1982. (in Czech).

30. Tomczak, W. , Mazurkiewicz, W. , Sniezyk, R. , "An Operation Analysis of The Heat Exchanger Element With Chloride-ethyl as a Working Fluid," Cholodnictwo, 13, No. 6 pp. 10-11, 1978 (in Polish).

31. Unk, J. , "Heat Recovery From Ventilating and Air-Conditioning Equipment," 6th Congress CHISA, Pragur, 1978.

32. Vasilev, L.L. , Grakovich, L.P. , Kiselev, V.G. Matveev, Yu. , Khrustalev, D.K. (A.V. Luikov Heat Mass Transfer Inst, Minsk USSR), "Heat Pipes and Heat Pipe Exchangers for Heat Recovery System," J. Heat Recovery Syst. , 4(4), pp. 227-223, 1984.

33. Xu Tongming, et. al. , "Characteristic Study of The Heat Exchanger Using Heat Pipe With Sprial Fins Welded

by High Frequency Induction Heating," CSET, NHPC, Harbin, Aug, 1983.

34. Zemanek, J. , "Air-Air Heat Recovery by Means of Heat Pipe Heat Exchangers," Energieanwendung, 32, 1983, No. 4, pp. 143-145, 1983 (in German).

35. Zemanek, J. , "Application of Closed Two-Phase Thermosyphons in Heat Recovery," Seminar Heat Pipes and Their Applications, NRIMD, Prague, 1977. (in Czech).

36. Zemanaek, J. , "Heat Pipe Exchangers," 29th National CHISA Conference, 1982 (in Czech).

37. Zemanaek, J. , "Heat Pipe Heat Recovery in Farm Buildings," Zemedelska Technika, 29 No. 6, pp. 333-345, 1983 (in Czech).

38. Zhuang Jun, et.al. , "Summary on The Application of Heat Pipe Heat Exchangers to The Industrial Furnace," Private Communication 1983, (China).

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย