หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

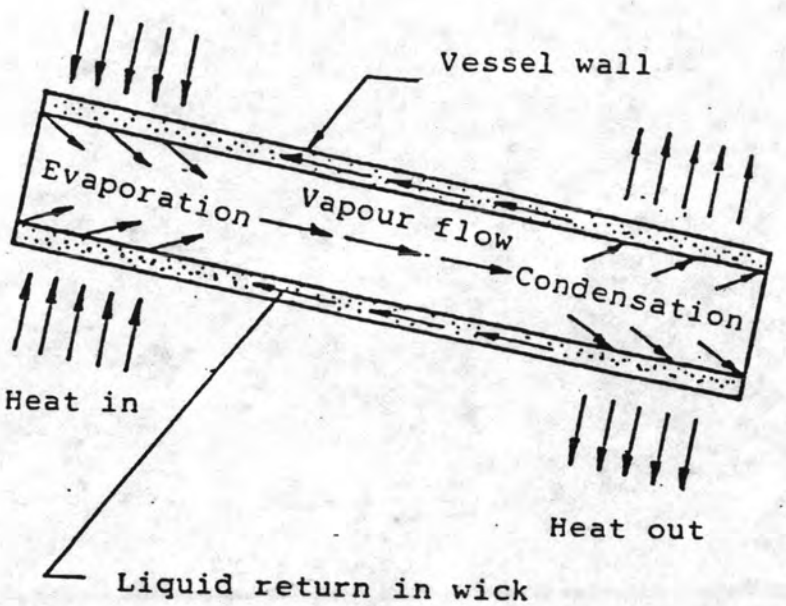
บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ถึงแม้ว่าแนวคิดในการประหยัดพลังงานความร้อนในอุตสาหกรรมจะมีมานานแล้ว แต่การตื่นตัวในการค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับการประหยัดพลังงานเพิ่งจะกระทำกันอย่างจริงจังในราว 2 ทศวรรษที่ผ่านมานี้เอง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อเกิดวิกฤตการณ์น้ำมันของโลกขึ้นในปี 2516 ประเทศในกลุ่มแนวหน้าทางอุตสาหกรรม ทั้งในยุโรป, ญี่ปุ่น และสหรัฐอเมริกา ต่างก็พยายามแข่งขันกันวิจัยและพัฒนา อุปกรณ์ หรือกระบวนการ เพื่อที่จะทำให้การใช้พลังงานมีประสิทธิภาพมากที่สุด รวมทั้งการเก็บกลับความร้อนทิ้งมาใช้ใหม่ (heat recovery) เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มความสามารถในการผลิต (productivity)

ฮีตไพป์ (heat pipe) เป็นอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนแนวใหม่ที่มีสมรรถนะในการทำงานสูงมาก หลักการทำงานของฮีตไพป์นั้นไม่ใช่เป็นเรื่องที่เข้าใจยาก R.S. Gaugler (1) วิศวกรของบริษัท General Motor เป็นคนแรกที่ได้กล่าวถึงความเป็นไปได้ในการนำเอาหลักการของฮีตไพป์มาใช้ประโยชน์ในการถ่ายเทความร้อนในปี ค.ศ. 1942 หลังจากนั้นอีก 18 ปี คือในราวต้นปี ค.ศ. 1960 G.M. Grover (2) ก็ได้ประดิษฐ์ฮีตไพป์แท่งแรกขึ้นมาสำเร็จ ซึ่งอาจถือได้ว่า เป็นจุดเริ่มต้นของการปฏิวัติรูปแบบของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเก่า

ก่อนที่จะกล่าวถึง "ฮีตไพป์แบบไหลครบวงจร" จะอธิบายหลักการทำงานของฮีตไพป์แบบทั่วไป (conventional heat pipe) รูปที่ 1 เป็นแผนภาพแสดงการทำงานของฮีตไพป์แบบทั่วไป



รูปที่ 1.1 หลักการทำงานของฮีตไพป์แบบทั่วไป

ซึ่งประกอบด้วยภาชนะ (container) ปิดผนึกที่บรรจุวิกค์ (Wick) และของไหลใช้งาน (working fluid) ไว้ภายใน ที่ช่วงการระเหย (evaporator section) ของฮีตไพป์ ความร้อนจะถูกถ่ายเทจากแหล่งความร้อนผ่านวิกค์เพื่อระเหยของไหลใช้งานภายใต้สูญญากาศ ไอที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่ไปตามท่อไปยังช่วงของการควบแน่น (condenser section) ช่วงคั่นกลางของการระเหยกับช่วงการควบแน่นของฮีตไพป์เป็นช่วงที่ไม่ได้รับหรือคายความร้อน (adiabatic section) ที่ช่วงการควบแน่นไอจะควบแน่น และความร้อนแฝงของการควบแน่นจะถ่ายเทออกจากท่อ ของเหลวจากการควบแน่นจะไหลกลับไปยังช่วงของการระเหยโดยแรงท่อรูเข็ม (Capillary action)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไพป์ มีการผลิตขายเพียงประมาณทศวรรษเดียวก็จริง แต่คุณสมบัติที่ดีเด่นของมัน ทำให้มีการประยุกต์ใช้งาน

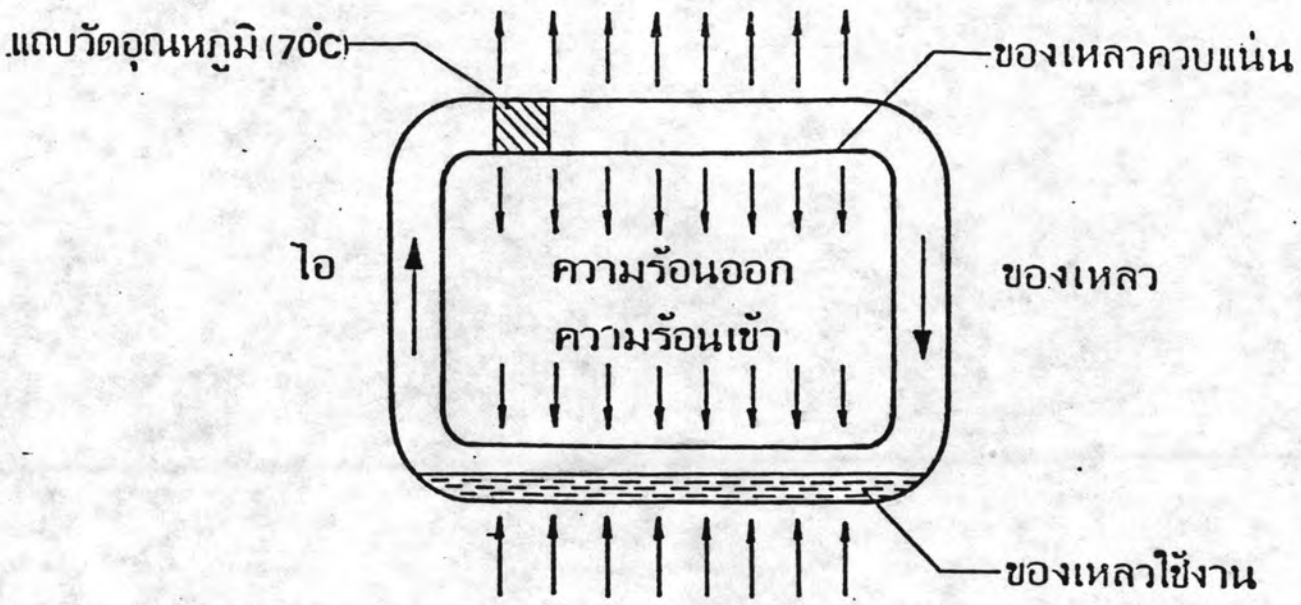
ในลักษณะต่างๆ ตั้งแต่ในยานอวกาศเพื่อรักษาอุณหภูมิภายในยานให้มีค่าเท่ากันทุกจุด, ในการระบายความร้อนออกจากกระบวนการแข็งตัวของโลหะผสมในการหล่อโลหะ, ในการระบายความร้อนออกจากชิ้นส่วนอิเลกตรอนิก, ในการถ่ายเทความร้อนระหว่างก๊าซร้อนและก๊าซเย็นเพื่อประหยัดพลังงาน, ในการควบคุมอุณหภูมิในถังปฏิกรณ์ที่เกิดปฏิกริยาดูดหรือคายความร้อน, ในการถ่ายเทความร้อนระหว่างของเหลวและก๊าซ, ในกระบวนการอบแห้ง, ในการเก็บความร้อนทิ้งจากหม้อไอน้ำ และในการระบายความร้อนจากระบบเบรคของเครื่องบิน เป็นต้น

ขีดจำกัดของสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของฮีตไพป์ทั่วไปมีหลายอย่าง ในการใช้งานภายในช่วงอุณหภูมิ จนถึงประมาณ 200° ซ ขีดจำกัดที่มักพบเห็นในฮีตไพป์ทั่วไปจะเป็นขีดจำกัด เนื่องจากแรงท่อรูเข็ม(capillary limit) และขีดจำกัดเนื่องจากการแห้งเหือด (burn-out limit) ส่วนในกรณีของฮีตไพป์ไร้วิกค์ ขีดจำกัดที่สำคัญจะเป็นขีดจำกัดเนื่องจากการหลุดลอยของหยดของเหลว (entrainment limit) และขีดจำกัดเนื่องจากการแห้งเหือด (burn-out limit) ขีดจำกัดเนื่องจากการหลุดลอยของหยดของเหลวเกิดขึ้นได้ง่ายในฮีตไพป์ไร้วิกค์เพราะการไหลของไอ (Vapor) กับของเหลว (condensate) ที่เกิดจากการควบแน่นหลังจากคายความร้อนแล้ว เป็นการไหลสวนทางกัน ดังนั้น ในเงื่อนไขการทำงานที่อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงมาก (อัตราการไหลของไอในท่อมีค่าสูงมาก) การไหลของไอจะรบกวนการไหลกลับของของเหลวจนในที่สุดเกิดการหลุดลอยของหยดของเหลวกลับไปยังช่วงการควบแน่นได้ ผลก็คือ สมรรถนะสูงสุดในการถ่ายเทความร้อนของฮีตไพป์จะถึงขีดจำกัดเมื่อเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวขึ้น

1.2 แนวคิดในการเพิ่มสมรรถนะของฮีตไพป์

เพื่อแก้ปัญหาการไหลสวนทาง (ปัญหาการ "จราจร" ของไอและของเหลว) ดังกล่าว และเพื่อเพิ่มความคล่องตัว (flexibility) ในการวางช่วงการควบแน่นและช่วงการระเหยของระบบ ในต่างประเทศจึงกำลังคิดค้นพัฒนาฮีตไพป์ที่มีการไหลของไอและของเหลวเป็นแบบครบวงจร (closed-loop)

เพื่อแก้ปัญหาขีดจำกัดเนื่องจากการหลุดลอยของหยดของเหลวและเพิ่มสมรรถนะการทำงานของฮีทไปป์ให้สูงขึ้น แต่ข้อมูลและผลการพัฒนาโดยเฉพาะเทคนิคการสร้างและการปรับปรุงโครงสร้างยังไม่มีการเปิดเผยทั่วไป



รูปที่ 1.2 แนวคิดในการออกแบบฮีตไพป์แบบไหลครบวงจร

ห้องปฏิบัติการวิจัยฮีตไพป์ของภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้เริ่มทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับฮีตไพป์ในด้านต่างๆ (การทดลองสมรรถนะ, การสร้าง, การคำนวณออกแบบ) (3-5) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2523 วิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวถึงฮีตไพป์ไร้วิกค์แนวใหม่ที่ห้องปฏิบัติการนี้กำลังดำเนินการอยู่ รูปที่ 1.2 อธิบายหลักการทำงานของฮีตไพป์แบบไหลครบวงจรที่ผู้วิจัย ได้มีแนวคิดในการออกแบบและสร้าง

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- เพื่อทดลองผลิต ฮีตไพป์แบบไหลครบวงจร (Closed-Loop Heat Pipe) CLHP
- ศึกษาสมรรถนะการทำงานของ CLHP ที่ผลิตขึ้น
- ปรับปรุงรายละเอียดของโครงสร้างและสมรรถนะของ CLHP ที่สร้างขึ้น
- เปรียบเทียบกับฮีตไพป์แบบทั่วไป ซึ่งมีการไหลของของไหลใช้งานไม่เป็นวงจร (สวนทางกัน)

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

เป้าหมายหลักของโครงการนี้ เป็นการทดลองสร้าง CLHP ที่มีโครงสร้างต่างๆ กัน แบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ

CLHP Type A (ดูรูป 3.21)
CLHP Type B (ดูรูป 3.23)
CLHP Type C (ดูรูป 3.25)

โดยใช้แก้วและทองแดงเป็นตัวโครงสร้าง ส่วนของไหลใช้งานคือน้ำกลั่นบริสุทธิ์ เพื่อใช้ในการศึกษาลักษณะสมบัติและสมรรถนะในการถ่ายเทความร้อน

1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

1.5.1 ศึกษากรรมวิธีผลิตฮีตไพป์ที่มีข้อมูลอยู่ และเลือกกรรมวิธีที่เหมาะสมที่สุดทั้งในแง่เทคนิค และการผลิตจำนวนมาก (mass production)

1.5.2 ออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในกรรมวิธีผลิต CLHP

1.5.3 สั่งซื้อชิ้นส่วนและประกอบอุปกรณ์ที่ใช้ในกรรมวิธีผลิต CLHP

1.5.4 ตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น

1.5.5 ทดลองสร้าง CLHP

1.5.6 ปรับปรุงข้อบกพร่องในกรรมวิธีการผลิต

1.5.7 ปรับปรุงข้อบกพร่องของโครงสร้าง CLHP

1.5.8 ทดสอบสมรรถนะของ CLHP ที่สร้างขึ้นภายใต้เงื่อนไขการทำงานต่างๆ

1.5.9 เปรียบเทียบสมรรถนะของ CLHP ที่สร้างขึ้นกับของฮีตไพป์แบบทั่วไปที่สร้างขึ้นเอง

1.5.10 เสนอแนะแนวทางปรับปรุงวิธีการสร้าง CLHP เพื่อให้มีสมรรถนะสูงยิ่งขึ้น

1.5.11 ทำรายงานผลการวิจัย

1.6 เอกสารและผลงานวิจัยในอดีต

1.6.1 เอกสารบทความที่กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการทั่วไปของฮีตไพป์ไร้วิกค์

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., 1982, 4, pp. 187-19

2. Andros, F.E. "Heat Transfer Characteristics of The Two-Phase Closed Thermosyphon (Wickless Heat Pipe)", PhD 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) 1978, (8), 63-6 (Russ)

4. Bezrodnyi, M.K.,Alabovskii, A.N., "Critical Heat Fluxes During Boiling of Liquids in Thermosiphons",Kipenie Kondens.1979,3, pp. 47-59, (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 Siphon", Izv Vyssh Uchebn Zaved, Energ 1980, 23 (2), pp. 116-21, (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 Sov Rep. 1980, 12 (1), pp. 118-23.

8. Bezrodnyi, M.K.,Moklyak V.F.,"Heat Transfer During Co Condensation In A Dynamic Two-Phase Layer of Closed Tharmosiphons", Izv Vyssh U chebn. Energ, 1983, (4), pp. 99-105,(Russ)

9. Bezrodnyi, M.K.,Volkov, S.S. (USSR) "Hydrodynamic Characteristics of 2-Phase Countercurrent Steam In Closed Thermosiphon", Gidrodinam i Teploobmen v kondenbsir Sredakh, Novoibersk 1981, pp. 121-7, (Russ), From Ref. Ah, 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 1983, 26 (6), pp. 933-41.

11. Chinen, T.,Nosetani, T. (Sumitomo Light 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, 2nd edition Pergamon Press, 1987.

15. Feldman, Jr, K.T. (EEI Albuquerque), Srinivasan, R. (UdPM 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. 1982, 54 (10), pp. 921, (Ger).

17. Honda, I., Iimura, T., Shimoda, H. (Auzuki Metal Ind), "The Study Of Corrosion Phenomean 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 1983, 26 (8), pp. 1181-88.

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 1979, 45 (393), pp. 712-22 (Jap)

21. Kashorskii, V.G.,Pechenegov, Yu. Ya., Scrov, Yo.I.,"Experimental Study Of Heat Transfer During Water Boiling In A Small Thermosiphon With Heat Supply To The Side", Iav. Vyssh. Uchebn Zaved, Energ 1981, 24 (10), pp. 64-8,

22. Kiselev, I.G., Isahecv, A.I.,Filatov, V.V.,istomin,N.I.,"Boiling and Condensation In Two-Phase Thermosiphon", Kipenie kondens. 1979, 3, pp. 74-83, (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. (USSR) "Experimental Study Of Heat Transfer In a Closed 2-Phase Cryothermosiphon Of Slot Type" , Tr. Mosk. Energ. Inst. 1980, 491, pp. 22-30,

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 1982,43(3), pp. 385-90 (Russ)

28. Mirmov, N.I., Bilyakova, I.G., (USSR), " Thermosiphons with Binary Heat-Transfer Agents", Inzh. Fiz. 1982,38 (5),pp. 934,(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. 1982,(7),pp. 100-3,(Russ).

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

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

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

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

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

35. Prenger, F.C.(Los Alamos), "Perfomance Limits of Gravity-Assisted Heat Pipes", 5 IHPC Prɑgram 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 1978, 35(4),pp. 60-5, (Russ).

37. Semena, M.G.,Kisclev, Yu.F.(USSR), "Study of Heat Transfer in the Condensation Part of 2-Phase Thermosiphon", Teploobmen Energ. Ustanovkakh 1987,pp. 68-74,(Russ).

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

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

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., 1983,S.P. 1,pp. 247-55.

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

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

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

1.6.2 เอกสารบทความที่กล่าวถึง เทอร์โมไซฟอนแบบวงจร

1. Damerell, P.S.,Schoenhals, R.J.,"Flow in a Toroidal Thermosyphon with Angular Displacement of Heated and Cooled Sections", J. of Heat Transfer, Trans A.S.M.E. Vol. 101, November 1979.

2. Davies, T.H.and Morris, W.d.,"Heat Transfer Characteristics of a Closed Loop Rotating Thermosyphon",Proceeding of the International Heat Transfer Conference, 3rd, Chicago, Vol. 2,1966, pp. 172-181.

3. Creveling, H.F.,dePaz, J.F.,Baladi,J.Y.,and Schoenhals, R.J., "Stability Characteristics of a Single-Phase Free Convection Loop". Journal of Fluid Mechanics, Vol.67,Part I, 1975,pp.65-84.

4. Japikse, D., Advances in thermosyphon technology, Advances in Heat Transfer, Vol.9, Academic Press, New York, 1973,pp.1-111.

5. Hart, J.E.,"A New Analysis of the Closed Loop Thermosyphon", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 27, No. 1, pp. 125-136, 1984.

6. Grief, R.,Zvirin,Y.,Mextol,A.,"The Transient and Stability Behavior of a Natural Convection Loop", J.Heat Transfer, Vol.101,pp.684-688,1979.

7. Mcdonald, T.W., Hwang, K.S., and Diciccio, R., " Thermosyphon Loop Performance Characteristics :Part I. Experimental Study". , ASHRAE Transactions, Vol.83,1977,pp. 250-259.

8. Ali, A.F.M., and Mcdonald, T.W., "Thermosyphon Loop Performance Characteristics : Part 2. Simulation Program", ASHRAE Transactions, Vol. 83,1977,pp. 260-278.

9. Mcdonald, T.W., and Ali, A.F.M.,"Thermosyphon Loop Performance Characteristics : Part 3. Simulated Results", ASHRAE Transactions,Vol. 83, 1977,pp.279-287.

10. Jeuck III,P.R., Sullivan, C.W.,Duffey, R.B. and Zvirin, Y., "Experimental and Analytical Investingation of a Natural Circulation System with Parallel Loops", J. of Heat Transfer, Trans A.S.M.E., Vol. 103, November 1981.

012377