Thesis Title Heat Transfer Characteristics of Closed-Loop Oscillating Heat Pipe

Author Ms. Piyanun Charoensawan

Ph.D. Mechanical Engineering

Examining Committee

Assoc. Prof. Dr.	Pradit Terdtoon	Chairman
Prof. Dr.	Manfred Groll	Member
Assoc. Prof.	Prasong Ingsuwan	Member
Lect. Dr.	Patraporn Kamonpet	Member
Asst. Prof. Dr.	Wasan Jompakdee	Member
Lect. Dr.	Sampan Rittidech	Member

ABSTRACT

Parameter dependency of the thermal performance and internal flow phenomena of a closed-loop oscillating heat pipe (CLOHP) have been experimentally investigated. Quantitative data thus generated is used to formulate semi-empirical correlations which are efficiently applied to predict the thermal performance of the tested CLOHPs. The effect of each parameter on the thermal performance is studied by testing the CLOHPs made of copper tube. The phenomenological operational characteristics and the associated physics are observed by testing the CLOHPs made of Pyrex glass tube. For the copper CLOHPs, the influent characterization has been done for the internal diameter (2.03, 1.06 and 0.66 mm), evaporator length (50, 100 and 150 mm), number of turns (varied from 5 to 23), working fluid (water, ethanol and R123) and inclination angle mode (from vertical bottom heat mode to vertical top heat mode). The transparent CLOHPs are completely made of glass tube with 2 mm inside diameter and the working fluid employed is R123. The tested parameters in case of the glass CLOHPs cover the extreme range of a CLOHP operation, i.e. the evaporator length of 50 and 150 mm, the number of turns of 10 and 28 and the

operating orientation changes from vertical bottom heat mode to horizontal orientation. Both the copper and glass CLOHPs are investigated at 50% filling ratio of the total device volume. The heat source and heat sink temperatures are always maintained at 80°C and 20°C, respectively. The quantitative results indicate a strong influence of gravity, number of turns and internal diameter on the achievable heat throughput. A certain critical number of turns is required to make horizontal operation possible. The thermophysical properties of working fluids affects the performance based on the boundary conditions of CLOHP operation. It is seen from visualization results that the two-phase flow patterns are divided into four cases by using a critical number of turns and the operating orientation. The internal flow patterns are both the annular and slug flows for bottom heating mode and for horizontal orientation only slug flow is found. The CLOHP can work at horizontal mode when the number of turns is more than or equal to a critical value ($n \geq n_{crit}$) because of the existence of the vapor plug/liquid slug circulation. Thereafter semi-empirical correlations for the thermal performance of a CLOHP have been formulated by using dimensional analysis along with these results. The semi-empirical models consist of two types, i.e. a semi-empirical correlation and a dimensional semi-empirical correlation. A correlation is calculated by using the curve fitting of power function of the interesting dimensionless groups corresponding to the physical phenomena of heat and mass transfer with reliable data sets. It is seen that the semi-empirical correlations can be well used to design a practical CLOHP with $n \geq n_{crit}$ and 50% filling ratio, in which a CLOHP can operate at both bottom and horizontal heating modes with high performance. The dimensional semi-empirical correlation can be efficiently and easily used to predict the thermal performance of a practical CLOHP with 50% filling ratio.

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนสั่นแบบวงรอบ

ชื่อผู้เขียน นางสาวปิยะนันท์ เจริญสวรรค์

วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

รศ. ดร. ประดิษฐ์	เทอดทูล	ประธานกรรมการ
Prof. Dr. Manfred	Groll	กรรมการ
รศ. ประสงค์	อิงสุวรรณ	กรรมการ
อ. ดร. ภัทราพร	กมลเพ็ชร	กรรมการ
ผศ. ดร. วสันต์	จอมภักดี	กรรมการ
อ. ดร. สัมพันธ์	ฤทธิเดช	กรรมการ

บทคัดย่อ

ดุษฎีนิพนธ์นี้มุ่งศึกษาในเชิงการทดลองถึงผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อสมรรถนะทางความร้อนและปรากฏการณ์การไหลภายในของท่อความร้อนสั่นแบบวงรอบ (CLOHP) จากนั้นจะนำข้อมูลเชิงคุณภาพที่ได้รับมาใช้สร้างสมการสหสัมพันธ์เชิงทฤษฎีซึ่งนำมาใช้ในการทำนายสมรรถนะทางความร้อนของ CLOHPs ที่ใช้ในการทดสอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำการศึกษาถึงผลกระทบของตัวแปรแต่ละตัวที่มีต่อสมรรถนะทางความร้อนโดยทดสอบ CLOHPs ที่ทำมาจากท่อทองแดง และทำการสังเกตลักษณะการทำงานเชิงกายภาพและลักษณะทางกายภาพที่เกี่ยวข้องโดยทำการทดสอบ CLOHPs ที่ทำมาจากท่อแก้ว Pyrex สำหรับ CLOHPs ที่เป็นท่อทองแดงนั้น ทำการศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบซึ่งประกอบไปด้วย เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อขนาด 2.03 1.06 และ 0.66 มิลลิเมตร ความยาวส่วนทำระเหยขนาด 50 100 และ 150 มิลลิเมตร จำนวนโค้งเลี้ยวที่แปรเปลี่ยนจาก 5 ถึง 23 ของไหลทำงานคือ น้ำ เอทธานอล และ R123 และตำแหน่งของมุมเอียงจากตำแหน่งส่วนทำระเหยอยู่ด้านล่างในแนวดิ่ง (Vertical bottom heat mode) ไปยังตำแหน่งส่วนทำระเหยอยู่ด้านบนในแนวดิ่ง (Vertical top heat mode) สำหรับ CLOHPs แบบแก้วนั้น จะสร้างจากท่อแก้วตลอดทั้งอันที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 2 มิลลิเมตร ใช้ R123 เป็นสารทำงาน ตัวแปรที่ทำการทดสอบในกรณีของ CLOHPs ที่เป็นท่อแก้วนั้นจะครอบคลุมช่วงปลายของการทำงานของ CLOHP

นั่นคือ ความยาวส่วนทำระเหยที่ 50 และ 150 มิลลิเมตร จำนวนโค้งเลี้ยวที่ 10 และ 28 และตำแหน่งการทำงานจะเปลี่ยนแปลงจากตำแหน่งส่วนทำระเหยอยู่ด้านล่างในแนวดิ่งไปยังแนวระดับ (Horizontal orientation) ทำการศึกษา CLOHPs ทั้งแบบท่อทองแดงและท่อแก้วที่อัตราการเติม 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรโดยรวมของท่อ ทำการรักษาอุณหภูมิแหล่งให้ความร้อนและแหล่งระบายความร้อนให้คงที่สม่ำเสมอที่ 80 และ 20 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ผลการทดลองเชิงคุณภาพ ชี้ให้เห็นถึง ผลกระทบของความโน้มถ่วงของโลก จำนวนโค้งเลี้ยว และเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ ที่มีต่อค่าการถ่ายเทความร้อนที่ส่งผ่านได้อย่างมาก และมีจำนวนโค้งเลี้ยววิกฤตที่แน่นอนเพื่อให้ CLOHPs ทำงานในแนวระดับ ผลกระทบของคุณสมบัติทางกายภาพและความร้อนของสารทำงานต่อสมรรถนะขึ้นอยู่กับสภาวะขอบเขตในการทำงานของ CLOHP จากผลการศึกษาเชิงทัศน์พบว่า มีการแบ่งรูปแบบการไหลสองสถานะเป็น 4 กรณี โดยอ้างอิงจากจำนวนโค้งเลี้ยววิกฤตและตำแหน่งการทำงาน หากตำแหน่งส่วนทำระเหยอยู่ด้านล่าง รูปแบบการไหลภายในจะเป็นทั้งการไหลแบบวงแหวน (Annular flow) และแบบฟองไอรูปร่างคล้ายกระสุน (Slug flow) สำหรับตำแหน่งแนวระดับจะมีเฉพาะการไหลแบบฟองไอรูปร่างคล้ายกระสุนเท่านั้น CLOHP สามารถทำงานที่ตำแหน่งในแนวระดับเมื่อมีจำนวนโค้งเลี้ยวมากกว่าหรือเท่ากับค่าวิกฤต ($n \geq n_{crit}$) เนื่องจากมีการไหลเวียนของแท่งไอและแท่งของเหลว (Vapor plug/ liquid slug) หลังจากนั้นได้สร้างสมการสหสัมพันธ์กึ่งการทดลอง (Semi-empirical correlations) สำหรับสมรรถนะทางความร้อนของ CLOHP โดยการใช้การวิเคราะห์ขนาด (Dimensional analysis) ร่วมกับผลการทดลองเหล่านี้ แบบจำลองกึ่งการทดลองแบ่งเป็น 2 แบบ นั่นคือ สมการกึ่งการทดลองแบบไร้มิติ และสมการกึ่งการทดลองที่มีมิติ (Dimensional semi-empirical correlation) ทำการคำนวณหาสมการสหสัมพันธ์โดยการใช้ Curve fitting ของฟังก์ชันยกกำลัง (Power function) ของกลุ่มตัวแปรไร้มิติ (Dimensionless groups) ที่น่าสนใจซึ่งสอดคล้องกับปรากฏการณ์ทางกายภาพในการถ่ายเทมวลและความร้อนกับชุดข้อมูลที่เชื่อถือได้ พบว่าสามารถนำสมการกึ่งการทดลองแบบไร้มิติมาใช้ในการออกแบบ CLOHP เพื่อใช้งานจริงได้เป็นอย่างดีเมื่อ $n \geq n_{crit}$ และอัตราการเติม 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่ง CLOHP สามารถทำงานด้วยสมรรถนะสูงทั้งตำแหน่งส่วนทำระเหยอยู่ด้านล่างและแนวระดับ สามารถนำสมการกึ่งการทดลองที่มีมิติมาใช้ในการทำนายสมรรถนะทางความร้อนของ CLOHP ที่มีอัตราการเติม 50 เปอร์เซ็นต์ เพื่อใช้งานจริงได้อย่างง่ายและมีประสิทธิภาพ