

Thesis Title Performance Limit of Closed End Oscillating Heat Pipe

Author Mr. Thanad Katpradit

Degree Doctor of Philosophy (Mechanical Engineering)

Thesis Advisory Committee

Asst.Prof. Dr. Theeraphong	Wongratanaphisan	Chairperson
Prof. Dr. Pradit	Terdtoon	Member
Prof. Dr. Aliakbar	Akbazadeh	Member
Asst.Prof .Dr. Patrapon	Kamonpet	Member
Asst.Prof. Dr. Apiwon	Polchai	Member
Asst.Prof .Dr. Sampan	Ritidech	Member

ABSTRACT

This thesis addressed the performance limit of a closed end oscillating heat pipe (CEOHP) by the three following procedures: 1) an investigation of the heat transfer characteristics at critical operation; 2) a visualization study of the internal flow phenomena at critical operation; and 3) establishment of a mathematical model.

The focus of this study is a systematic investigation of how heat transfer characteristics behave at the critical operating condition as the evaporator section length, L_e , the internal diameter, D , number of meandering turns and the working fluid are varied. It was found that the critical heat flux transferred in a CEOHP with a long evaporator section is lower than that one with a shorter evaporator section. In terms of the influence of the dominant working fluid property, higher latent heat associated with higher critical heat flux. With respect to the internal diameter of the tube, it was found that as the internal diameter increased, the critical heat flux increased. The experimental data were used to correlate the relationship between the critical heat flux and these three parameters and the results for horizontal installation and vertical installation, respectively, were found to be

$$Ku_0 = 53680 \times \left[\frac{Di}{Le} \right]^{1.127} \times \left[\frac{Cp\Delta T}{h_{fg}} \right]^{1.417} \times \left[Di \left[\frac{g(\rho_l - \rho_v)}{\sigma} \right]^{0.5} \right]^{-1.32}$$

and

$$Ku_{90} = 0.0002 \times \left[\frac{Di}{Le} \right]^{0.92} \times \left[\frac{Cp\Delta T}{h_{fg}} \right]^{-0.212} \times \left[Di \left[\frac{g(\rho_l - \rho_v)}{\sigma} \right]^{0.5} \right]^{-0.59} \times \left[1 + \left(\frac{\rho_v}{\rho_l} \right)^{0.25} \right]^{13.06}$$

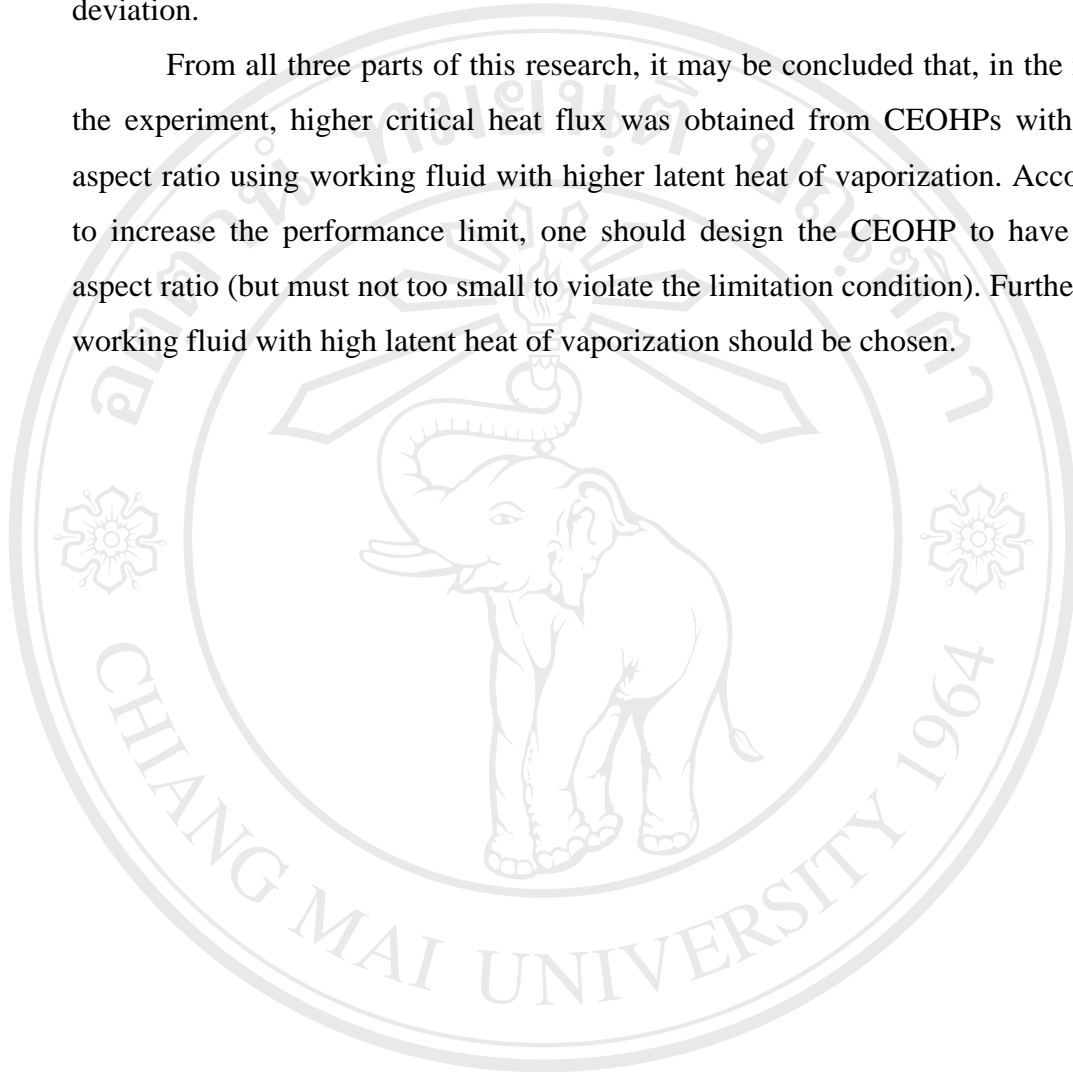
The standard deviations of experimental results from these correlations were $\pm 18\%$ and $\pm 29\%$, respectively.

The effects of internal diameter and evaporator section length on the internal flow pattern at critical operation were observed from CEOHPs which were made from pyrex glass tube. R123 was used as the working fluid. It was found that the main mechanism that limits the performance of a CEOHP is the flooding phenomenon caused by retardation of the condensate return from the condenser section to the evaporator section. With the condensate liquid being blocked dryout occurred below. It was observed that the flow pattern of the fluid at critical operation depends on the magnitudes of the internal diameter and the evaporator section length. Based on an evaporator section length of 50 mm, an annular flow pattern was observed in a small diameter (1 mm) tube while a churn flow pattern was observed in a larger diameter (2mm) tube. The experimental data showed that the critical heat flux in a CEOHP with smaller diameter is lower than for a larger diameter. This may be explained by the observation that the annular flow pattern, as occurred in a smaller diameter tube, had long vapor slugs with thin film which could lead to flooding more easily as more heat was applied. Based on 2 mm tube and evaporator length of 150 mm, the flow pattern at critical operation was annular flow. Therefore, it seems that annular flow occurred in the tube with large aspect ratio (Le/D) and churn flow occurred in the tube with small aspect ratio. The larger aspect ratio corresponded to lower critical heat flux.

From the quantitative and visualization study, a mathematical model was established. The principles of pipe friction flow, basic conservation equations, the Wallis condition equation, which indicated flooding phenomena causing dryout, and a finite difference scheme were applied in the model to evaluate the heat transfer rate of CEOHP at critical operation. From the mathematical model, heat transfer rates of CEOHP at critical operation in bottom heat mode for various conditions were

calculated and compared to experimental values. It was found that the heat transfer predicted from the model agreed with experimental values within $\pm 30.6\%$ standard deviation.

From all three parts of this research, it may be concluded that, in the range of the experiment, higher critical heat flux was obtained from CEOHPs with smaller aspect ratio using working fluid with higher latent heat of vaporization. Accordingly, to increase the performance limit, one should design the CEOHP to have a small aspect ratio (but must not too small to violate the limitation condition). Furthermore, a working fluid with high latent heat of vaporization should be chosen.



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ ชีดจำกัดสมรรถนะของท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิด

ผู้เขียน นายถนัด เกษประดิษฐ์

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผศ. ดร. ชีระพงษ์	ว่องรัตนะไพศาล	ประธานกรรมการ
ศ. ดร. ประดิษฐ์	เทอดทูล	กรรมการ
Prof. Dr. Aliakbar	Akbarzadeh	กรรมการ
ผศ. ดร. ภัทราพร	กมลเพชร	กรรมการ
ผศ. ดร. อภิวัฒน์	พลชัย	กรรมการ
ผศ. ดร. สัมพันธ์	ฤทธิเดช	กรรมการ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาถึงขีดจำกัดสมรรถนะของท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิด (CEOHP) โดยแยกการศึกษาเป็นสามหัวข้อดังนี้ 1) การศึกษาคุณลักษณะการส่งถ่ายความร้อนที่สภาวะวิกฤต 2) การศึกษาเชิงทัศน์ของปรากฏการณ์การไหลภายในที่สภาวะวิกฤต และ 3) การศึกษาถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ส่วนสำคัญของการศึกษานี้คือการศึกษาลักษณะการส่งถ่ายความร้อนที่สภาวะวิกฤต เมื่อทำการเปลี่ยนแปลง ความยาวส่วนทำระเหย เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน จำนวนของโค้งเลี้ยว และ สารทำงาน จากการศึกษาพบว่าค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตที่ส่งถ่ายในท่อความร้อนของท่อที่มีส่วนทำระเหยยาวจะมีค่าต่ำกว่าท่อที่มีส่วนทำระเหยสั้น สำหรับผลของสารทำงานพบว่า สารที่มีความร้อนแฝงสูงท่อความร้อนจะสามารถให้ค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตสูง ซึ่งสอดคล้องกับผลของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อพบว่าเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อเพิ่มขึ้นค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตจะเพิ่มขึ้น จากข้อมูลการทดลองได้ใช้เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตกับตัวแปรเหล่านั้น และผลที่ได้จากการติดตั้งท่อแนวระดับและแนวตั้งมีดังนี้คือ

$$Ku_0 = 53680 \times \left[\frac{Di}{Le} \right]^{1.127} \times \left[\frac{Cp\Delta T}{h_{fg}} \right]^{1.417} \times \left[Di \left[\frac{g(\rho_1 - \rho_v)}{\sigma} \right]^{0.5} \right]^{-1.32}$$

และ

$$Ku_{90} = 0.0002 \times \left[\frac{Di}{Le} \right]^{-0.92} \times \left[\frac{Cp\Delta T}{h_{fg}} \right]^{-0.212} \times \left[Di \left[\frac{g(\rho_1 - \rho_v)}{\sigma} \right]^{0.5} \right]^{-0.59} \times \left[1 + \left(\frac{\rho_v}{\rho_1} \right)^{0.25} \right]^{13.06}$$

ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมการสหสมพันธ์นี้คือ $\pm 18\%$ และ $\pm 29\%$ ตามลำดับ การศึกษารูปแบบการไหลภายในที่สภาวะวิกฤตถึงผลของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและความยาวส่วนทำระเหยสังเกตจากท่อความร้อนแบบสั้นที่ทำจากท่อแก้วทนความร้อนและใช้ R123 เป็นสารทำงาน จากการศึกษาพบว่ากลไกหลักที่ทำให้เกิดขีดจำกัดสมรรถนะของท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิดคือเกิดปรากฏการณ์การหอบของเหลวโดยการย้อนกลับของของเหลวที่ควบแน่นจากส่วนควบแน่นสู่ส่วนทำระเหย ซึ่งของเหลวที่ควบแน่นจะถูกกั้นและการแห้งจะเกิดขึ้นด้านล่างของส่วนที่ถูกกั้นนั้น จะสังเกตได้ว่ารูปแบบการไหลของของเหลวที่สภาวะวิกฤตขึ้นอยู่กับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและความยาวส่วนทำระเหย ซึ่งที่ความยาวส่วนทำระเหย 50 มม. สามารถสังเกตรูปแบบการไหลภายในของท่อขนาดเล็ก (1 มม.) เป็นแบบวงแหวน ขณะที่ท่อที่มีขนาดใหญ่กว่า (2 มม.) จะสังเกตเห็นว่ารูปแบบการไหลภายในเป็นแบบโพรง จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตที่ส่งถ่ายในท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิดในท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยมีค่าต่ำกว่า จากการสังเกตสามารถอธิบายได้ว่ารูปแบบการไหลแบบวงแหวนเกิดขึ้นในท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กจะมีฟองไอน์ที่ยาวและมีฟิล์มของเหลวบางซึ่งจะทำให้เกิดการหอบของเหลวได้ง่ายเมื่อเพิ่มความร้อนเพิ่มมากขึ้น เมื่อท่อมีขนาด 2 มม. และความยาวส่วนทำระเหย 150 มม. รูปแบบการไหลที่การทำงานสภาวะวิกฤตเป็นแบบวงแหวน ดังนั้นจะเห็นได้ว่ารูปแบบการไหลแบบวงแหวนเกิดขึ้นในท่อที่มีค่าอัตราส่วนสนทัดสูง และรูปแบบการไหลแบบโพรงจะเกิดขึ้นในท่อที่มีอัตราส่วนสนทัดต่ำ ซึ่งค่าอัตราส่วนสนทัดสูงจะทำให้ค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตมีค่าต่ำ

แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์สามารถสร้างจากผลการศึกษาทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ จากหลักการและทฤษฎีของการไหลภายใน สมการควบคุมพื้นฐาน สมการเงื่อนไขความสัมพันธ์ของ Wallis ซึ่งเป็นสมการที่บอกถึงสาเหตุการแห้งเกิดจากการหอบของเหลว และแก้สมการพื้นฐานโดยอาศัยหลักการของ Finite difference เพื่อหาค่าอัตราการส่งถ่ายความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิดที่สภาวะวิกฤต จากแบบจำลองจะทำการแปรเปลี่ยนเงื่อนไขต่างๆ คำนวณและเปรียบเทียบต่อผลการทดลองของอัตราการส่งถ่ายความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิดที่สภาวะวิกฤตซึ่งทำงานในแนวตั้ง โดยให้ด้านล่างเป็นส่วนทำระเหยพบว่าค่าการส่งถ่ายความร้อนที่ทำนายจากแบบจำลองเข้ากันได้ดีกับค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\pm 30.6\%$

จากทั้งสามส่วนของงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่า พลังความร้อนวิกฤตสูงสุดได้จากท่อความร้อนแบบสันปลายปิดที่มีค่าอัตราส่วนสั้นค่อน้อยและใช้สารทำงานที่มีค่าความร้อนแฝงที่มีค่ามาก ดังนั้นเพื่อเพิ่มขีดจำกัดสมรรถนะการทำงาน การออกแบบของท่อความร้อนแบบสันปลายปิดควรเลือกใช้ท่อที่มีอัตราส่วนสั้นค่อน้อย และควรเลือกสารทำงานที่มีค่าการกลายเป็นไอที่มีค่าสูง



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved