Thesis Title Effect of Inclination Angle on Performance Limit of Closed-End Oscillating Heat Pipe

Author Mr. Teerasak Hudakorn

Degree Doctor of Philosophy (Mechanical Engineering)

Thesis Advisory Committee

Prof. Dr.	Pradit	Terdtoon	Chairperson
Asst.Prof .Dr.	Patrapon	Kamonpet	Member
Asst.Prof. Dr.	Theeraphong	Wongratanaphisan	Member

ABSTRACT

This thesis aims to study the effect of inclination angle on performance limit of closed-end oscillating heat pipe (CEOHP) by quantitative experiment to investigate the heat transfer characteristics at critical operation at any inclination angles. Then, the cause of performance limit of inclined CEOHP is examined by visualization study. Finally, the mathematical model to predict the critical heat flux of inclined CEOHP is established.

From a study of the effect of inclination angle on performance limit of closed-end oscillating heat pipe by varying the inclination angle, the evaporator section length, the internal diameter and working fluid were varied. It was found that the inclination angle of operation affected the critical heat flux. The critical heat flux increased as the inclination angle decreased. After that, the critical heat flux would decrease as the inclination angle would be lowered to horizontal orientation. The maximum critical heat flux is occurred in the range of 50-70 degree of horizontal position. From the visual study, it was found that the cause of performance limit at the

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

horizontal orientation was the initial dry-out because the insufficient condensed liquid film was supplied to the evaporator section since the beginning of operation. At the inclination angle of 5-90 degree, the cause of performance limit was dry-out due to the flooding phenomena at the entrance of the evaporator section. The critical heat flux transferred in a CEOHP with long evaporator section length was lower than that transferred in the one with shorter evaporator section length for all orientation of operation. Moreover, the internal diameter of the CEOHP had an effect on the critical heat flux. The CEOHP with long internal diameter brought about greater critical heat flux than that with shorter internal diameter for all orientation of operation. The latent heat of vaporization also affected the critical heat flux of CEOHP. The working fluid with high latent heat of vaporization had more critical heat flux than that with lower latent heat of vaporization at any inclination angles.

From the quantitative and visual studies, a mathematical model was established. From the establishing mathematical model to predict the critical heat flux at an inclination angle between 10^o to 90^o, the equation to predict a ratio of the critical heat flux at an inclination angle between 10^o to 90^o to the critical heat flux at a vertical plane was obtained as

$$\frac{q_{c,\beta}}{q_{c,90^o}} = 1.75\sin\beta + 0.80\left|\cos\beta\right| - 0.75$$

where the critical heat flux at a vertical plane ($q_{c,90}$) could be calculated from Kutateladze's equation at a vertical plane of Katpradit et al. (2005). When comparing the data of the critical heat flux at any inclination angles gained from the prediction together with the results from the data of quantitative experiment, it appeared that a standard deviation from experimental data was ±27.67%.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ ผลของมุมเอียงที่มีต่อขีดจำกัดสมรรถนะของท่อความร้อนแบบสั่นชนิดปลายปิด

ผู้เขียน **นายธีระศักดิ์ หุดากร**

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ศ. ดร. ประดิษฐ์ เทอดทูล	ประธานกรรมการ
ผศ. ดร. ภัทราพร กมลเพ็ชร	กรรมการ
ผศ. ดร. ธีระพงษ์ ว่องรัตนะไพศาล	กรรมการ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาถึงผลของมุมเอียงที่มีต่อขีดจำกัดสมรรถนะของท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด โดยทำการศึกษาเชิงปริมาณถึงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนวิกฤต ที่มุมเอียงต่างๆ และหาสาเหตุการเกิดขีดจำกัดสมรรถนะของท่อความร้อนที่มุมเอียงต่างๆ โดยการศึกษาเชิงทัศน์หลังจากนั้นทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้สำหรับทำนายค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตของท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด ที่มุมเอียงต่างๆ

จากการศึกษาถึงผลของมุมเอียงที่มีต่อขีดจำกัดสมรรถนะของท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด โดยแปรตัวแปรที่ได้ทำการศึกษาดังนี้ มุมเอียงการทำงาน ความยาวส่วนทำระเหย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน และสารทำงาน พบว่า มุมเอียงการทำงานมีผลต่อค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตของท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด โดยค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตเพิ่มขึ้น เมื่อมุมเอียงลดลงจากแนวดิ่ง หลังจากนั้นค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตจะมีค่าลดลง เมื่อมุมเอียงเข้าใกล้แนวระดับ และมีค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตสูงสุด ในช่วงมุมเอียงการทำงาน 50 – 70 องศาจากแนวระดับ และพบจากการศึกษาเชิงทัศน์ว่า สาเหตุการเกิดขีดจำกัดสมรรถนะของท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด ที่มุม 0 องศา หรือมุมในแนวระดับเกิดจากการแห้งตั้งแต่เริ่มต้นการทำงาน (Initial Dry-out) เนื่องจากไม่มีฟิล์มของเหลวควบแน่นมาจ่ายยังส่วนทำระเหยตั้งแต่เริ่มต้นการทำงาน จึงเกิดการแห้งเกิดขึ้น ส่วนสาเหตุการเกิดขีดจำกัดสมรรถนะของท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด ที่มุมเอียง 5 – 90 องศาจาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แนวระดับเกิดจากการแห้งเนื่องจากปรากฏการณ์การท่วมที่บริเวณปากทางเข้าส่วนทำระเหย และยังพบอีกว่า ความยาวส่วนทำระเหยมีผลต่อค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตของท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด โดยท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิดที่มีความยาวส่วนทำระเหยยาวกว่าจะให้ค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตต่ำกว่าท่อที่มีความยาวส่วนทำระเหยสั้น สำหรับทุกมุมเอียงการทำงาน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อความร้อนมีผลต่อค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤต โดยท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อใหญ่กว่าจะให้ค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตสูงกว่าท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อเล็ก สำหรับทุกมุมเอียงการทำงาน และความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของสารทำงานมีผลต่อค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตของท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด โดยสารที่มีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูงจะมีค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตสูงกว่าสารที่มีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอต่ำ สำหรับทุกมุมเอียงการทำงาน

จากผลการทดลองเชิงทัศน์ข้างต้นสามารถนำมาสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤต ที่มุมเอียงการทำงาน 10 – 90 องศาจากแนวระดับ จะได้สมการทำนายอัตราส่วนค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตที่มุมเอียงการทำงาน 10-90 องศากับค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตที่มุมในแนวดิ่ง ดังนี้

$$\frac{q_{c,\beta}}{q_{c,90^o}} = 1.75\sin\beta + 0.80|\cos\beta| - 0.75$$

โดยค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตที่มุมในแนวดิ่ง ($q_{c,90}$) ได้จากสมการคูทาเทลาดเซของมุมในแนวดิ่ง (Ku_{90}) ของ Katpradit et al. (2005) และเมื่อใช้ข้อมูลของค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤตที่ได้จากการทำนายเปรียบเทียบกับผลจากข้อมูลการทดลองเชิงปริมาณ พบว่ามีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากข้อมูลการทดลอง ±27.67%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved