Thesis Title Effect of Inclination Angles on Heat Transfer Characteristics of a Closed-End Pulsating Heat Pipe

Author Mr.Phrut Sakulchangsatjatai

Degree Doctor of Philosophy (Mechanical Engineering)

Thesis Advisory Committee

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

ABSTRACT

This thesis aims to study the heat transfer characteristics of a closed-end pulsating heat pipe (CEPHP) at any inclination angle. The principles, basic governing equations and the conditions of the real phenomena inside the CEPHP in the visual study were applied to the model to evaluate the heat flux of the CEPHP. Moreover, the calculated results were compared to the data in the experiment in both the quantitative and qualitative part to confirm the accuracy. This mathematical model also investigated the effect of the evaporator temperature and the inclination angle on the heat transfer characteristic of the CEPHP.

In order to clearly observe the internal flow patterns, the CEPHP was made of a Pyrex glass tube, which was especially-designed so as to be able to inspect all parts of the CEPHP. An electric heater was employed to transfer heat onto the side of the CEPHP and heat was released by a cooling fluid. It was found from the operating cycle that: after supplying heat to evaporator section, nucleate boiling was observed inside liquid slug at the wall of the tube. Small bubbles departed from the wall and expanded both axially and radially. These vapor plugs gained more buoyancy force and pushed the liquid slug upward to release heat at the condenser section. Due to the high compress force of vapor plug, the liquid slug flowed down as liquid film. The length of liquid slug was gradually decreased, finally the vapor plug merged with

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

another plug forming long vapor. Simultaneously, the short and long vapor plugs which released heat at the condenser section condensed and flowed down as liquid film. The liquid film flowed down to accumulated at the lower bend. If the vapor plug occupied at the lower bend, it would separate into 2 small vapor plug, but in case that the liquid slug occupied there, the liquid film simply increased the level of liquid slug. It was also noted that the fast movement of working fluid from the evaporator to condenser section occurred at the inclination angles of 60-80 degree from horizontal axis or highest evaporator temperature.

The mathematical model was established from the governing equation (conservation of mass, momentum equation and conservation of energy) of the working fluid inside the CEPHP and solved by the finite difference method (explicit and implicit scheme). Moreover, the results from the visual study were added to the model such as, the flow of the liquid film, the accumulation of liquid at the lower bend and new bubble generation. This model showed the good dynamic movement of the vapor and liquid and all the phenomena from the model showed the same results as the visual study. Moreover, the mathematical model showed that the heat transfer had a fairly good tendency. The difference in the heat flux from the experiment to the model was about 13% and the maximum heat flux was obtained at an inclination angle of about 60-80^{O} from horizontal.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ ผลของมุมเอียงที่มีต่อคุณลักษณะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด

ผู้เขียน นายพฤทธ์ สกุลช่างสัจจะทัย

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ศ. ดร. ประดิษฐ์ เทอดทูล		ประธานกรรมการ
Prof. Dr. Masahide MURAKAMI		กรรมการ
ผศ. ดร. ภัทราพร กมลเพ็ชร		กรรมการ
ผศ. ดร. ธีระพงษ์ ว่องรัตนะไพศาล		กรรมการ

บทคัดย่อ

ดุษฎีนิพนธ์นี้ศึกษาความสามารถการส่งถ่ายความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด (CEPHP) ที่มุมเอียงต่างๆ โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากสมการควบคุมพื้นฐานและเพิ่มเงื่อนไขจากปรากฏการณ์ที่มีอยู่จริงภายในท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิดที่ได้จากการศึกษาเชิงทัศน์ นอกจากนี้มีการเปรียบเทียบผลการคำนวณกับข้อมูลการทดลองทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณเพื่อยืนยันถึงความถูกต้อง ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังกล่าว จะศึกษาถึงผลของอุณหภูมิและมุมเอียงการทำงานที่มีต่อคุณลักษณะการทำงานของท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด

การศึกษาเชิงทัศน์ถึงปรากฏการณ์การไหลภายใน CEPHP แบบท่อแก้วที่ออกแบบพิเศษที่สามารถสังเกตุเห็นการเปลี่ยนแปลงของสารทำงานตลอดความยาวชุดทดลอง โดยใช้ Heaterไฟฟ้าเป็นตัวให้ความร้อนและระบายความร้อนออกโดยสารหล่อเย็น พบวัฏจักรการทำงานดังนี้ ภายหลังป้อนความร้อนให้กับส่วนทำระเหย สังเกตเห็นการเดือดแบบฟองที่ผนังท่อ ฟองไอเล็กๆหลุดออกจากผนังและขยายตัวทั้งแนวแกนและแนวรัศมี ฟองไอนี้พยายามลอยขึ้นด้านบน พร้อมทั้งช่วยยกแท่งของเหลวขึ้นไประบายความร้อนออกในส่วนควบแน่น เนื่องจากแรงอัดที่สูงของฟองไอทำให้บีบแท่งของเหลว และไหลลงเป็นแบบฟิล์มของเหลว ขนาดของแท่งของเหลวลดลงเรื่อยๆและฟองไอรวมเข้าหากันเป็นฟองไอที่ยาวขึ้น ในเวลาเดียวกัน ฟองไอที่ยาวและสั้นระบายความร้อนออกที่สู่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ควบแน่น เกิดการควบแน่นและไหลลงเป็นฟิล์มของเหลวเช่นกัน ฟิล์มของเหลวเหล่านี้ไหลลงมาสะสมที่โค้งเลี้ยวด้านล่าง หากบริเวณโค้งเลี้ยวด้านล่างมีฉพาะฟองไอปกคลุมอยู่ ฟิล์มของเหลวที่ไหลลงมานี้จะสะสมจนกลายเป็นแท่งของเหลวใหม่แบ่งแยกฟองไอออกเป็น 2 ส่วน แต่ถ้าบริเวณโค้งเลี้ยวเป็นแท่งของเหลว ฟิล์มของเหลวนี้ก็จะมาเพิ่มปริมาณของเหลวให้สูงขึ้น นอกจากนี้สามารถสังเกตเห็นการเคลื่อนที่ของสารทำงานภายใน CEPHP อย่างรวดเร็วหรือสะดวกจากส่วนทำระเหยสู่ส่วนควบแน่นเมื่อ มุมเอียงการทำงานประมาณ 60-80^{O}หรืออุณหภูมิส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้น

การศึกษาที่เป็นระบบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยการแก้สมการควบคุมพื้นฐานทั้งสามอันได้แก่ กฎทรงมวล โมเมนตัม และพลังงาน ของสารทำงานภายในท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด โดยวิธี Finite difference แบบ Explicit และ Implicit เพิ่มเงื่อนไขต่างๆ ที่ได้จากการศึกษาเชิงทัศน์ดังนี้ การไหลลงแบบฟิล์มพร้อมการระเหยที่ส่วนทำระเหย การสะสมของเหลวที่โค้งเลี้ยวด้านล่าง การเกิดฟองไอใหม่ ผลการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถแสดงพลศาสตร์การเคลื่อนที่ของแท่งของเหลว หรือฟองไอได้เป็นอย่างดี และแสดงปรากฏการณ์ทั้งหมดตามที่สังเกตุได้ในการศึกษาเชิงทัศน์ นอกจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้จะแสดงความถูกต้องเชิงคุณภาพแล้วแบบจำลองดังกล่าวยังแสดงแนวโน้มค่าการส่งถ่ายความร้อนได้ดีพอใช้คือมีค่าความแตกต่างประมาณ $\pm$ 13 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าการส่งถ่ายความร้อนสูงสุดเกิดขึ้นที่มุมเอียง 60-80^{O} จากแนวระดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved