Thesis Title Mathematical Models of Operation for Closed Loop Oscillating Heat Pipe at Normal Condition

Author Mr. Nitipong Soponpongpipat

Degree Doctor of Philosophy (Mechanical Engineering)

Thesis Advisory Committee

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

ABSTRACT

This research establishes the mathematical model to study the startup condition and the average heat transfer rate of the Closed Loop Oscillating Heat Pipe (CLOHP) at normal operating conditions. Moreover, this research makes an attempt to depict the evolution of heat transfer behavior of CLOHP by using a parameter called Phase Change Damping Coefficient: PCDC. Thus, there are 3 models, which are established, in this research; the successful startup model, the characteristic model and the behavior model.

The successful startup model shows that CLOHP is able to have a successful start up when replacement process, the configuration of the working fluid circulation, occurs inside. It can be achieved when more net vapor collapses than expands. The model of successful startup condition gave a good prediction with a 16% error range. When the inside diameter follows Maezawa criteria and the evaporator and condenser lengths are equal, the tube geometry does not have an effect on the temperature difference for a suitable successful start up. The control of suitable temperature

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

differences between the evaporator and condenser sections is the most important. The filling ratio strongly affects the temperature difference for a suitable startup condition. In the case of a fixed evaporator temperature and a small filling ratio, a large temperature difference is needed in order to have a successful start up; vice versa for a large filling ratio. In addition, the effect of number of turns on successful startup was also studied by probability theory. The results show that the increasing of number of turn results in easy startup of CLOHP. However, there is a risk of failure to startup when a large number of turn CLOHP is in horizontal orientation.

For the characteristic model, the group of thermal resistances and PCDC was introduced to explain the average heat transfer rate of CLOHP. Determination of PCDC values can be done by using experimental data of CLOHP with R123 as working fluid. The correlation for predicting PCDC is as follows:

$$S = 0.0133\left[Bo_{Le,mix}^{0.65} \, Pr_{mix}^{0.005} \, Re_{mix}^{0.31} \left(\frac{NLe}{Di}\right)^{2.15} \right]^{0.2893}$$

After correlation of PCDC was obtained, the prediction of average heat transfer rate was done. The predicted values by using the characteristic model give a good agreement with experimental data with ±19.60 % error range. Moreover, the model shows that the change in inner diameter results in a change of inner thermal resistance. In the case of keeping other parameters constant and varying only the inside diameter, the inner thermal resistance increases with an increasing of diameter from 0.66 to 1.06 mm., while it decreases when inside diameter increases from 1.06 to 2.03 mm. But it is difficult to conduct the experiment as above. Thus, in practice, operating temperature can be fixed but the surface temperature difference between evaporator and condenser section can not be fixed; we can see the increasing of heat transfer rate flux when the inside diameter increases. The heat transfer flux decreases when evaporator length increases. The characteristic model also shows that in the case of keeping other parameters constant, and varying only number of turns, heat transfer rate flux increases when number of turns increases. On the other hand, in the case of operating temperature being fixed but the surface temperature difference between

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

evaporator and condenser section not being fixed, heat transfer flux decreases when number of turns increase.

Finally, the behavior model shows that there is existence of PCDC. The physical meaning of PCDC is a correction factor of convection heat transfer coefficient inside CLOHP, which is calculated from the characteristic model. PCDC is also the correction factor of sensible to latent heat transfer ratio of CLOHP's heat transfer. Prediction of PCDC by using information from the behavior model gives a good agreement with experimental data with ±14.04 % error range. The increasing of heat input to CLOHP results in increasing of the circulation velocity of sub cool liquid. The frequently stopping circulation of working fluid inside CLOHP is easier to see in case of low heat input than that of high heat input, because it is easier, in case of low heat input, to perturb the circulation velocity until it stops than in the case of high heat input.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการทำงานของท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบที่สภาวะปรกติ

ผู้เขียน นายนิติพงศ์ โสภณพงศ์พิพัฒน์

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

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

บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาเงื่อนไขการเริ่มทำงานได้และทำนายอัตราการส่งผ่านความร้อนเฉลี่ยของท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบ นอกจากนี้ยังมุ่งเน้นการอธิบายพฤติกรรมของท่อความร้อนชนิดนี้ที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ผ่านทางตัวแปรค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงการเปลี่ยนสถานะ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะสร้างแบบจำลองขึ้นจำนวน 3 แบบจำลอง ซึ่งประกอบด้วย แบบจำลองเงื่อนไขการเริ่มต้นทำงานได้ แบบจำลองหาการส่งผ่านความร้อนเฉลี่ย และแบบจำลองพฤติกรรมของท่อความร้อนที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

จากการศึกษาแบบจำลองเงื่อนไขการเริ่มต้นทำงานได้นั้น พบว่าเงื่อนไขที่ทำให้ท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบสามารถเริ่มทำงานได้คือ การขยายตัวสุทธิต้องมีค่าน้อยกว่าการหดตัวสุทธิ และแบบจำลองการทำนายเงื่อนไขการเริ่มต้นทำงานได้ของท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบมีศักยภาพในการทำนายเงื่อนไขการทำงานได้เป็นอย่างดี โดยพบว่าแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อน 16 เปอร์เซนต์ นอกจากนี้พบว่าเมื่อขนาดท่อเป็นไปตามเกณฑ์ของ Maezawa และความยาวส่วนทำ-

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ระเหยเท่ากับความยาวส่วนควบแน่นแล้ว ขนาดและจำนวนโค้งเลี้ยวของท่อจะไม่มีผลต่อระดับอุณหภูมิแตกต่างที่เหมาะสมในการเริ่มทำงานได้ของท่อ ในขณะที่ระดับอุณหภูมิแตกต่างระหว่างส่วนให้ความร้อน และส่วนรับความร้อนมีบทบาทสำคัญในการกำหนดว่าท่อจะทำงานได้หรือไม่ และอัตราส่วนการเติมมีผลอย่างมากต่อเงื่อนไขระดับอุณหภูมิที่ทำให้ท่อทำงานได้ โดยที่อัตราส่วนการเติมน้อยๆ จะมีความต้องการระดับอุณหภูมิแตกต่างมาก เพื่อให้ท่อทำงานได้ ในขณะที่ตรงข้ามกันในกรณีอัตราส่วนการเติมมากๆ

สำหรับแบบจำลองการส่งผ่านความร้อนเฉลี่ย มีการนิยามกลุ่มความต้านทานความร้อนภายในท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบขึ้นใหม่ รวมทั้งตัวแปรค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงการเปลี่ยนสถานะด้วย สำหรับการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงการเปลี่ยนสถานะนั้น จะหาจากความสัมพันธ์ของข้อมูลการทดลองที่ใช้สารทำงาน R123 จากการดำเนินการข้างต้นพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงการเปลี่ยนสถานะสามารถทำนายได้โดยใช้สมการสหสัมพันธ์

$$S = 0.0133\left[Bo_{Le,mix}^{0.65} \, Pr_{mix}^{0.005} \, Re_{mix}^{0.31} \left(\frac{NLe}{Di}\right)^{2.15} \right]^{0.2893}$$

หลังจากหาสหสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงการเปลี่ยนสถานะแล้ว จะทำการคำนวณหาอัตราการส่งผ่านความร้อนเฉลี่ย แล้วนำค่าที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง จากการเปรียบเทียบพบว่าแบบจำลองทำนายค่าอัตราการส่งผ่านความร้อนเฉลี่ยมีความคลาดเคลื่อนในการทำนายค่าเทียบกับข้อมูลการทดลอง ±19.6% นอกจากนี้แบบจำลองที่สร้างขึ้นแสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในมีผลทำให้ความต้านทานความร้อนภายในมีค่าเปลี่ยนไป โดยหากอยู่ในกรณีที่สามารถรักษาอุณหภูมิทำงาน และรักษาความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นให้คงที่ในขณะที่เปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแล้ว จะพบว่าความต้านทานความร้อนภายในมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นจาก 0.66-1.06 มิลลิเมตร ในขณะที่ความต้านทานความร้อนภายในมีค่าลดลงเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นจาก 1.06-2.03 มิลลิเมตร แต่เนื่องจากการรักษาความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นให้คงที่ทำได้ยาก ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงพบว่าการทดลองทำได้เพียงรักษาอุณหภูมิทำงานให้คงที่โดยไม่สามารถรักษาความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นให้คงที่ไว้ได้ ซึ่งในกรณีนี้อัตราการส่งผ่านความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้แบบจำลองยังแสดงให้เห็นว่าฟลักซ์การส่งผ่านความร้อนเฉลี่ยจะลดลง เมื่อเพิ่มความยาวส่วนทำระเหย สำหรับอิทธิพลของจำนวนโค้งเลี้ยวที่มีต่อการส่งผ่านความร้อนนั้น แบบจำลองแสดงให้เห็นว่า ในกรณีที่ควบคุมให้อุณหภูมิทำงานและความ-

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นมีค่าคงที่แล้ว ฟลักซ์การส่งผ่านความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนโค้งเลี้ยวเพิ่มมากขึ้น และในกรณีที่ควบคุมให้อุณหภูมิทำงานมีค่าคงที่ แต่ไม่ควบคุมความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นนั้น ฟลักซ์การส่งผ่านความร้อนลดลง เมื่อจำนวนโค้งเลี้ยวเพิ่มขึ้น

ในท้ายที่สุดแบบจำลองพฤติกรรมแสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงการเปลี่ยนสถานะเป็นค่าที่มีอยู่จริง และมันคือตัวปรับแก้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในการคำนวณตามแบบจำลองการส่งผ่านความร้อนเฉลี่ย และเป็นค่าที่ใช้ปรับสัดส่วนการส่งผ่านความร้อนแฝง และความร้อนสัมผัสให้ถูกต้อง การทำนายค่านี้โดยใช้ข้อมูลจากแบบจำลองพฤติกรรม เปรียบเทียบกับข้อมูลการทดลองพบว่าการทำนายมีความคลาดเคลื่อน $\pm$14.04 เปอร์เซ็นต์ และการเพิ่มความร้อนให้ท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบจะทำให้ความเร็วในการไหลเวียนของของเหลวใต้เย็นเพิ่มสูง และการพบการหยุดชั่วขณะของสารทำงานในกรณีให้ความร้อนต่ำๆนั้น เกิดจากการรบกวนความเร็วในการไหลเวียนซึ่งมีค่าน้อยอยู่แล้วให้น้อยลงอีกจนหยุดนิ่งชั่วขณะหนึ่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved