**Thesis Title** Effect of Tube Bending on Heat Transfer Characteristics of Miniature Heat Pipe with Sintered Porous Media

**Author** Mr. Nat Thuchayapong

**Degree** Doctor of Philosophy (Mechanical Engineering)

**Thesis Advisory Committee**

| | |
|---|---|
| Professor Dr. Pradit Terdtoon | Advisor |
| Assistant Professor Dr. Phrut Sakulchangsatjatai | Co-advisor |
| Assistant Professor Dr. Nat Vorayos | Co-advisor |

## ABSTRACT

The miniature heat pipes have been widely employed in many thermal management applications of electrical equipments, especially in laptop computer. Bending of tube in heat pipe is unavoidable in such small space. However, the numerical codes to simulate the overall heat pipe operation still need to be established to explain the internal phenomena. Therefore, in this study, the heat transfer characteristics of a water-copper sintered-wick bent heat pipe were predicted by the established simulation program and compared with experimental results. The 2D numerical model was initially developed using Finite Element Method (FEM) and validated with the experimental results obtained from Huang *et al*. (1993) to verify the computational protocols. Although the water-copper screen-wick heat pipes have been studied in their research, their vapor and wall temperature profiles were adapted to compare with our 2D numerical results. The standard deviations of vapor and wall

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

temperature between the present simulation and the experimental results are dramatically closed at 0.48 °C and 1.78 °C, respectively. After the 2D numerical model was justified, the 3D heat transfer and fluid flow in a miniature heat pipe at steady state was subsequently established. The calculated domains of heat pipe consisted of three parts; vapor core, wick, and container wall. In simulation, the vapor was assumed to be incompressible Newtonian fluid. The inertia force of vapor and the gravity effect were neglected. The wick was saturated with the liquid and the convective heat transfer in wick was neglected because the liquid velocity is very low. The governing equations, i.e. continuity, Stokes, and energy equations, and boundary conditions, were solved by using the FEM and the numerical results were compared with the experimental data obtained from our research tests. In the experiment, 27 heat pipes with the outer diameter of 6 mm and the length of 185 mm were used. The evaporator, adiabatic, and condenser section length were 15 mm, 100 mm, and 70 mm, respectively. The straight and bent heat pipes with the bending radius of 15 mm, 21 mm, 27 mm and the bending angle of 30°, 60°, 90° were constructed and tested at the heat input of 10 W, 20 W, and 30 W. It was found that both results from the experiment and the simulation well agree, the miniature heat pipe with sintered wick have insignificant thermal deterioration in range of bending scope. The percentage of standard deviation of $Z_B/Z_S$ between the simulation and the experiment are 21.7%. Although, there was insignificant thermal deterioration in range of bending scope, it can further be realized at higher heat load and extremely small tube that, the tube bending affects the thermal performance of heat pipe.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

**ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์** ผลของการดัดโค้งท่อที่มีต่อลักษณะเฉพาะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนขนาดเล็กที่มีวัสดุพรุนแบบซินเตอร์

**ผู้เขียน** นายณัฐ ธัชยะพงษ์

**ปริญญา** วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)

**คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์**

| | |
|---|---|
| ศาสตราจารย์ ดร. ประดิษฐ์ เทอดทูล | อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พฤทธ์ สกุลช่างสัจจะทัย | อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐ วรยศ | อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม |

## บทคัดย่อ

ท่อความร้อนขนาดเล็กเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการจัดการทางความร้อนของเครื่องใช้ไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่มีขนาดเล็ก ซึ่งจะทำให้ท่อความร้อนที่นำไปใช้นั้นถูกดัดโค้งไปมาตามพื้นที่ที่มีอยู่อย่างจำกัดภายใน อย่างไรก็ตามโปรแกรมการจำลองสภาพท่อความร้อนแบบดัดโค้งนั้น ยังเป็นที่ต้องการเพื่อใช้ในการออกแบบและศึกษาปรากฏการณ์ภายในท่อความร้อน ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้ทำการสร้างโปรแกรมการจำลองสภาพ เพื่อใช้ในการทำนายลักษณะเฉพาะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนทองแดงน้ำแบบดัดโค้งที่ใช้วัสดุพรุนแบบซินเตอร์และทำการเปรียบเทียบกับผลการทดลองในการศึกษาเบื้องต้นนั้น ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองใน 2 มิติ โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองกับผลการทดลองที่ได้มาจาก Huang *et al*. (1993) ซึ่งได้ทำการศึกษาสมรรถนะของท่อความร้อนทองแดงน้ำที่ใช้วัสดุพรุนแบบตาข่าย จากการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิไอและผนังของท่อความร้อนที่ได้จากแบบจำลองใน 2 มิติในการศึกษานี้กับผลการทดลองของ Huang *et al*. พบว่าส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐานของอุณหภูมิไอและผนังมีค่า 0.48 °C และ 1.78°C ตามลำดับ หลังจากที่ได้ทำการสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขใน 2 มิติแล้ว ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองใน 3 มิติขึ้นมาเพื่อใช้ในการจำลองสภาพการถ่ายเทความร้อนและการไหลในท่อความร้อนขนาดเล็กที่สภาวะคงตัว โดยแบ่งโดเมนการคำนวณออกเป็น 3 ส่วน คือ ช่องไอ วัสดุพรุนและผนังท่อความร้อน ในการจำลองสภาพได้มีการตั้งสมมุติฐานให้ไอเป็นของไหลนิวโตเนียนแบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไม่อัดตัว ไม่พิจารณาแรงเฉื่อยของไอและผลของของแรงโน้มถ่วง วัสดุพรุนอิ่มไปด้วยของเหลว และการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพาภายในวัสดุพรุนถูกตัดทิ้งเนื่องจากของไหลมีความเร็วต่ำ ทำการแก้สมการควบคุมอันได้แก่ สมการคงมวล สมการสโตกส์ สมการพลังงาน และเงื่อนไขขอบ โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์เชิงตัวเลขที่ได้กับผลการทดลองในการศึกษานี้ โดยใช้ท่อความร้อน 27 ท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm และมีความยาว 185 mm ในการทดสอบ ส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่น มีความยาว 15 mm, 100 mm และ 70 mm ตามลำดับ ทำการสร้างท่อความร้อนท่อความร้อนแบบตรงและดัดโค้งด้วยรัศมีดัดโค้ง 15 mm, 21 mm, 27 mm และมุมดัดโค้ง 30°, 60°, 90° และทดสอบที่กำลังความร้อนที่ป้อน 10 W, 20 W, 30 W จากการทดลองและการจำลองสภาพพบว่าผลลัพธ์ที่ได้นั้นมีความสอดคล้องกันคือ ท่อความร้อนขนาดเล็กที่ใช้วัสดุพรุนแบบซินเตอร์ไม่มีการลดลงของสมรรถนะทางความร้อนในช่วงที่ได้ทำการดัดโค้ง จากนั้นได้ทำการเปรียบเทียบค่า $Z_B/Z_S$ ระหว่างการจำลองสภาพและการทดลอง พบว่ามีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 21.7 % ถึงแม้ว่าจะไม่พบการลดลงของสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อน แต่จากการจำลองสภาพสามารถทำนายได้ว่าการดัดโค้งจะมีผลต่อสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อน เมื่อท่อความร้อนทำงานที่ภาระความร้อนที่สูงและใช้ท่อขนาดเล็ก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved