

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ: TRG5780024

ชื่อโครงการ: สมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบภายใต้ความเร่งหนีศูนย์กลาง

ชื่อนักวิจัย: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิตติ คำเมืองลือ
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

E-mail Address: niti@eng.cmu.ac.th

ระยะเวลาโครงการ: 2 มิถุนายน 2557 – 1 ธันวาคม 2560

วัตถุประสงค์ของโครงการนี้ ได้แก่ เพื่อศึกษาสมรรถนะทางความร้อน เพื่อศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อความต้านทานความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบภายใต้ความเร่งหนีศูนย์กลาง และเพื่อสร้างสมการสหสัมพันธ์สำหรับทำนายสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบภายใต้ความเร่งหนีศูนย์กลาง ในปัจจุบัน ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบภายใต้ความเร่งหนีศูนย์กลางได้รับการตั้งชื่อใหม่อย่างเป็นทางการว่า ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบแบบหมุน และในโครงการนี้จะใช้ชื่อนี้แทนตั้งแต่นี้เป็นต้นไป ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบแบบหมุนในโครงการนี้ทำจากท่อคาปิลลารีทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.5 และ 1.78 มม. ดัดท่อให้มีลักษณะโค้งกลับไปมาโดยมีจำนวนโค้งเลี้ยว 11 22 และ 33 โค้งเลี้ยว แผงท่อวางตัวอยู่ในระนาบแนวดิ่งโดยรอบตามแนวรัศมีของเพลลาที่ติดตั้งบนแท่นทดลองซึ่งรับกำลังการหมุนจากมอเตอร์กระแสตรงผ่านระบบส่งกำลังแบบสายพานและลูกรอก ความเร็วการหมุนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบแบบหมุนควบคุมและวัดโดยเครื่องควบคุมความเร็วและเซนเซอร์วัดความเร็วตามลำดับ แปรความเร็วการหมุนเพื่อสร้างความเร่งหนีศูนย์กลางเท่ากับ 0.5 1 3 5 10 และ 20 เท่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นควบคุมให้เท่ากันในแต่ละชุดทดลองโดยมีความยาวเท่ากับ 50 และ 100 มม. ดูดอากาศออกจากท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบแบบหมุนและเติม R123 เอทานอล และน้ำ เป็นสารทำงาน โดยมีสัดส่วนการเติมสารทำงาน 25 50 และ 75% โดยปริมาตรทั้งหมดภายในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยได้รับความร้อนจากฮีตเตอร์ไฟฟ้าแบบแผ่นวงแหวน กำลังไฟฟ้าป้อนให้ควบคุมและวัดโดยเครื่องควบคุมฮีตเตอร์และวัดวัตต์มิเตอร์ตามลำดับ แปรกำลังไฟฟ้าป้อนให้ตั้งแต่ 24 เป็น 42 86 132 และ 174 W ส่วน

ความแน่นอนระบายความร้อนไปยังอากาศที่อยู่โดยรอบซึ่งควบคุมอุณหภูมิคงที่ที่ 25 ± 1 องศาเซลเซียส โดยระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน การทดลองเริ่มต้นหลังจากปรับตั้งกำลังความร้อนป้อนให้และความเร็วการหมุนของเพลลา เมื่อถึงสภาวะคงตัว ทำการวัดกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ฮีตเตอร์และคำนวณหาลำดับความร้อนป้อนให้จริง ในขณะเดียวกัน บันทึกอุณหภูมิของแต่ละจุดด้วย จากนั้นวิเคราะห์สมรรถนะทางความร้อนโดยพิจารณาในรูปของความต้านทานความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ จากการศึกษาพบว่า เมื่อความเร่งหนีศูนย์กลาง และกำลังความร้อนป้อนให้เพิ่มขึ้น ความต้านทานความร้อนมีค่าลดลง สมรรถนะทางความร้อนเพิ่มขึ้น ในทางกลับกัน เมื่อความยาวส่วนทำระเหย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ความร้อนแฝง และจำนวนโค้งเลี้ยวเพิ่มขึ้น ความต้านทานความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น สมรรถนะทางความร้อนลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าสัดส่วนการเติมสารทำงานที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 50% โดยปริมาตรทั้งหมด การวิเคราะห์กลุ่มตัวแปรไร้มิติโดยอาศัยทฤษฎี Buckingham Pi Theorem ทำให้ได้กลุ่มตัวแปรไร้มิติที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณฐานวงรอบแบบหมุน จำนวน 9 กลุ่ม โดยแต่ละกลุ่มมีผลต่อสมรรถนะทางความร้อนโดยพิจารณาในรูปของกลุ่มตัวแปรไร้มิติ Kutateladze number ดังนั้นเมื่อ Froude number, Karman number, Bond number และ Prandtl number เพิ่มขึ้น Kutateladze number มีค่าเพิ่มขึ้น สมรรถนะทางความร้อนเพิ่มขึ้น ในทางกลับกัน เมื่อ Jacob number อัตราส่วนสนทรรศน์ จำนวนโค้งเลี้ยว $(c_p \Delta T_{e-c} / D_i^2 \omega^2)$ และ $(k \Delta T_{e-c} / D_i^4 \omega^3 \rho)$ เพิ่มขึ้น Kutateladze number มีค่าลดลง สมรรถนะทางความร้อนลดลง จากการศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ และการวิเคราะห์ผลของกลุ่มตัวแปรไร้มิติที่มีต่อสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณฐานวงรอบแบบหมุน จะสามารถสร้างสมการสหสัมพันธ์เพื่อใช้ในการทำนายสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณฐานวงรอบแบบหมุน โดยมีร้อยละค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ $\pm 14\%$ องค์ความรู้พื้นฐานและสมการสหสัมพันธ์ที่ได้รับจากโครงการนี้คาดว่าจะมีประโยชน์อย่างมากต่อนักออกแบบท่อความร้อน ผู้ผลิตท่อความร้อนในเชิงอุตสาหกรรม และนักวิจัยเกี่ยวกับท่อความร้อน ที่มีความสนใจในการประยุกต์ใช้ท่อความร้อนแบบสัณฐานวงรอบแบบหมุนเพื่อระบายความร้อนเครื่องจักรและอุปกรณ์แบบหมุน

คำหลัก: ท่อความร้อนแบบสัณฐานวงรอบแบบหมุน, ความเร่งหนีศูนย์กลาง, สมรรถนะทางความร้อน, ความต้านทานความร้อน, สมการสหสัมพันธ์

Abstract

Project Code: TRG5780024

Project Title: Thermal Performance of Closed-Loop Pulsating Heat Pipe
under Centrifugal Acceleration

Investigator: Assistant Professor Dr.Niti Kammuang-lue
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,
Chiang Mai University

E-mail Address: niti@eng.cmu.ac.th

Project Period: June 2, 2014 - December 1, 2017

The objectives of this project were to study the thermal performance, to study the effects of various parameters on the thermal resistance of the closed-loop pulsating heat pipe under centrifugal acceleration (CLPHPuCA), and to establish the correlation to predict the thermal performance of the CLPHPuCA. Recently, the CLPHPuCA has been officially renamed as the rotating closed-loop pulsating heat pipe (RCLPHP) and this name will be used instead beyond this point. The RCLPHPs used in this project were made from a long copper capillary tube of which the inner diameters were 1.5 and 1.78 mm. They were bent into undulating turns with 11, 22, and 33 turns in the vertical plane around the circumference of a shaft of a test section which was driven through belt and pulley drivetrain by a DC motor. Rotational speeds of the RCLPHP were controlled and measured by the speed controller and speed sensor, respectively. The rotational speed was varied to generate various centrifugal accelerations of 0.5, 1, 3, 5, 10, and 20 times of the gravitational acceleration. The evaporator and the condenser section lengths were kept in the same length in each test set consisted of 50 and 100 mm. The RCLPHPs were evacuated and individually filled with R123, ethanol, and water as working fluid with the filling ratio of 25, 50, and 75% of total volume inside the heat pipe.

Electrical annular-plate heaters of which input heat rate was controlled and measured by a heater controller and Watt meters, respectively, were used as a heat source of the evaporator section. The input heat rates were varies from 24 to 42, 86, 132, and 174 W. The condenser section releases the heat to surrounding air of which temperature was controlled constantly at 25 ± 1 °C by the split-type air-conditioning system. The experiment started after input heat rate and rotational speed of the shaft were adjusted. When steady state was reached, electrical power supplying to heaters was measured and actual input heat flux could be calculated. In the meantime, the temperature at each point was recorded. Thermal performance, which was analyzed in a term of the thermal resistance per unit area, was consequently obtained. It could be found from the studies that when the centrifugal acceleration, and the input heat rate increased, the thermal resistance decreased, the thermal performance increased. On the other hand, when the evaporator section length, the inner diameter, the latent heat, and number of turns increased, the thermal resistance increased, the thermal performance decreased. Moreover, the most suitable working fluid's filling ratio was found to be 50% by total volume. Nine groups of dimensionless parameters involving in the thermal performance of the RLPHP were determined by the Buckingham Pi Theorem analyses. Thermal performance, which was analyzed in a term of Kutateladze number, was finally obtained. When Froude number, Karman number, Bond number, and Prandtl number increased, Kutateladze number increased, thermal performance increased. On contrary, when Jacob number, aspect ratio, number of turns, $(c_p \Delta T_{e-c} / D_i^2 \omega^2)$, and $(k \Delta T_{e-c} / D_i^4 \omega^3 \rho)$ increased, Kutateladze number decreased, thermal performance decreased. According to the studies on effects of various parameters and the analyses on effects of dimensionless parameters on the thermal performance of the RCLPHP, the correlation to predict the thermal performance of the RCLPHP has been established with the percentage standard deviation of error of $\pm 14\%$. The basic knowledge and the correlation established from this project were expected to be very useful to any heat pipe designers, people involving in heat pipe manufacturing industries, and heat pipe researchers, who concerned in heat-releasing applications of RCLPHP on various turbo-machineries or rotating devices.

Keywords: rotating closed-loop pulsating heat pipe, centrifugal acceleration,
thermal performance, thermal resistance, correlation