

ETM : Energy Technology and Management

ผลของมุมเอียงต่ออัตราการส่งถ่ายความร้อนของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่ ทำงานภายใต้คลื่นเสียง

Effect of Incline Angle on Heat transfer of Thermosyphon Heat Pipe Under Sound Wave

สมพล วงศ์ต่อม¹, ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

w_sompon@hotmail.com โทร 084-6113011

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของการเดือดภายในท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอน กรณีใช้ร่วมกับระบบคลื่นเสียง โดยการศึกษาหาอัตราการส่งถ่ายความร้อนในท่อความร้อน กับอุณหภูมิของน้ำขาเข้าส่วนทำระเหยและสารทำงาน

ในการทดสอบใช้น้ำร้อนแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำเย็น วัสดุที่ใช้ท่อเป็นทองแดง ไม่มีครีป ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 22 mm หนา 1.3 mm ยาว 1 m ส่วนทำระเหยยาว 0.45 m ส่วนอะเดียแบติกยาว 0.1 m ส่วนควบแน่นยาว 0.45 m อุณหภูมิน้ำเย็น 25 °C และ อุณหภูมิน้ำร้อนอยู่ในช่วง 50°C - 90°C ใช้ เอทานอล เป็นสารทำงาน ท่อที่วางเอียงกับระนาบ 15, 20, 25 องศา มีอัตราการเพิ่มสารทำงาน 60%, 70%, 80 % ของส่วนทำระเหย หัวกำเนิดคลื่นเสียงติดตั้งบริเวณด้านล่างของท่อบริเวณส่วนทำระเหยโดยกำเนิดคลื่นเสียงที่ 70 Hz, 80 Hz, 90 Hz, 100 Hz ตามลำดับและ ป้อนพลังงานให้กับชุดกำเนิดคลื่นเสียงที่ 110 W

จากผลการทดสอบ พบว่าคลื่นเสียงสามารถช่วยเพิ่มกรณีของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่อยู่ที่มีมุมเอียง 15 องศา อุณหภูมิของน้ำ ที่เข้าส่วนทำระเหยที่ 80°C ที่คลื่นเสียง 90 Hz อัตราการเพิ่มสารทำงาน 80% สามารถเพิ่มอัตราการส่งถ่ายความร้อนได้ 89.51 %

คำสำคัญ: อัตราการส่งถ่ายความร้อน, ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน, คลื่นเสียง, สารทำงาน

Abstract

Boiling phenomenon of working fluid in thermosyphon heating under sound wave has been carried out. The study has considered the effect of working fluid and inlet water at the evaporator section on heat transfer rate.

In the experiment, the heat transfer medium of the thermosyphon is water. The heat pipe is copper tube with 22 mm inner diameter and 1 m length. The evaporator sections, the adiabatic section and the condensing sections are 0.45, 0.10 and 0.45 m respectively. The working fluid in the heat pipe



Is ethanol, which is filled 60%, 70%, 80% of the evaporator. Cold water 25 °C and hot water at 50 - 90 °C and generates heat to the heat pipe which is oriented 15, 20, and 25 degree from horizontal plane. A sound wave generator is attached at bottom and the evaporator and it generates wave at 70, 80, 90, and 100 Hz. The input power 110 W.

It could be found that the sound wave could enhance heat transfer, at 15 degree inclination, with water temperature 80 °C and sound wave at 90 Hz, the filling ratio 80% working fluid, the heat transfer rate could be enhanced 89.51 %

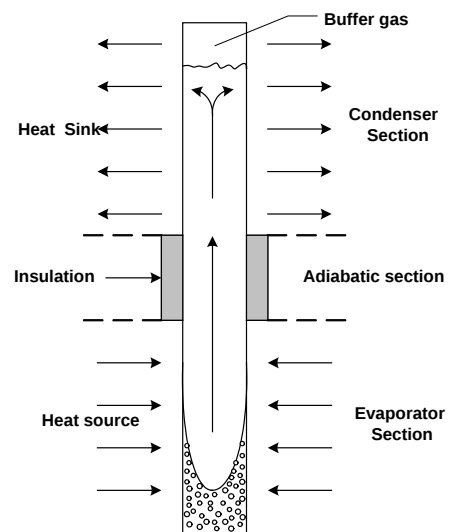
Keywords: Heat Transfer Rate, Heat Transfer Coefficient, Sound Wave, Working Fluid

1. บทนำ

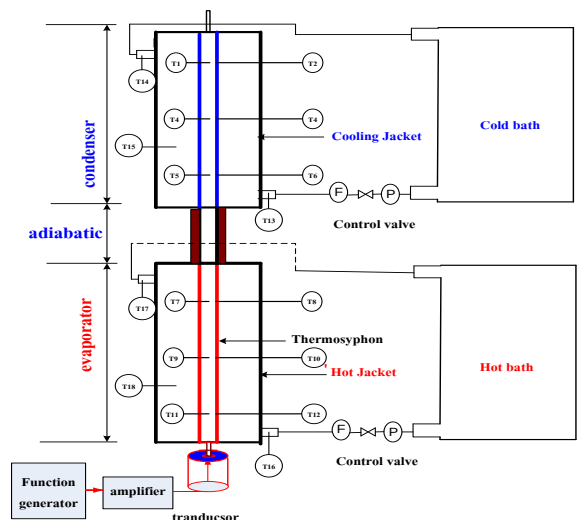
ท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอน เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดหนึ่ง ที่ถูกใช้มากในกระบวนการอุตสาหกรรมเนื่องจากมีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูง รวมทั้งมีรูปแบบโครงสร้างที่ง่ายต่อการผลิต ปัจจุบัน นิยมใช้ในการดึงความร้อนจากกระบวนการทิ้งความร้อนกลับมาใช้ใหม่ (Waste Heat Recovery)

ท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอนแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนระเหย (Evaporator Section) ส่วนอะเดียแบติก (Adiabatic Section) และส่วนควบแน่น (Condenser Section) ดังรูปที่ 1 ส่วนระเหยรับความร้อนจากแหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงทำให้ของไหลทำงาน (Working Fluid) ที่มีอยู่ภายในท่อเกิดการเดือด

โดยทั่วไปแล้ว การถ่ายเทความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอน จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแหล่งให้และแหล่งรับความร้อน สำหรับกรณีอุณหภูมิแหล่งให้ความร้อนที่ต่ำ พบว่ากระบวนการถ่ายเทความร้อนในท่อไม่ดีเนื่องจากสารทำงานในท่อเกิดการเดือดยาก หนทางหนึ่งในการแก้ปัญหา คือ การเลือกใช้เทคนิคการสั่นของของไหลทำงานโดยใช้คลื่น เพื่อกระตุ้นให้สารทำงานในท่อให้เกิดการปั่นป่วนขึ้น ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนภายในส่วนระเหยดีขึ้นของเหลวไหลลงมาตามแรงโน้มถ่วงเพื่อย้อนกลับไปรับพลังงานใหม่เป็นวงจรแบบนี้ต่อไปเรื่อยๆ



รูปที่ 1 หลักการทำงานอย่างง่ายของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน



รูปที่ 2 ชุดทดสอบการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอน



จากการศึกษาของ Oh et al. [1] พบว่าการสั่นของคลื่นอัลตราโซนิกมีผลต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนในกระบวนการเปลี่ยนสถานะของสาร พบว่าคลื่นอัลตราโซนิกทำให้กระบวนการหลอมละลายของสารเร็วขึ้น 2.5 เท่าเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการติดระบบอัลตราโซนิก

ศิริศักดิ์ ศรีวิชัย [2] ได้ศึกษาวิธีการเพิ่มสมรรถนะของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก โดยท่อความร้อนดังกล่าวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.029 เมตร ความยาวของส่วนระเหยและส่วนควบแน่น ส่วนละ 0.16 เมตร ความยาวของส่วนอะเดียแบติก 0.52 เมตร แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำร้อนอุณหภูมิ 35 - 65 องศาเซลเซียสกับน้ำเย็นอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และ ติดตั้งเครื่องกำเนิดคลื่นอัลตราโซนิก บริเวณปลายท่อของส่วนระเหย ในงานวิจัยนี้ความถี่ของคลื่นที่ป้อนเข้าสู่ท่อความร้อนมีค่าระหว่าง 8-14 kHz พบว่า สมรรถนะของท่อความร้อนเพิ่มขึ้น 20-60% ขึ้นอยู่กับสารทำงาน และอุณหภูมิของน้ำร้อน และความถี่ที่เหมาะสมคือ 8 kHz

ธรรมบุญ เตชะนา [3] ศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของการเดือดภายในท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอน กรณีใช้ร่วมกับระบบอัลตราโซนิก ในกรณีของท่อที่วางในแนวตั้งและแนวเอียง โดยการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน กับอุณหภูมิของน้ำเข้าส่วนทำระเหยและมุมของท่อความร้อนที่กระทำต่อแนวระนาบ ในการทดสอบใช้น้ำร้อนแลกเปลี่ยนความร้อนกับ น้ำเย็น วัสดุที่ใช้ท่อเป็นทองแดง ไม่มีคريب ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 27.75 mm หนา 1.3 mm ยาว 1.2 m ส่วนทำระเหยยาว 0.5 m ส่วนอะเดียแบติกยาว 0.2 m อุณหภูมิน้ำร้อนอยู่ในช่วง 50°C-80°C ใช้น้ำเป็นสารทำงาน มีอัตราการเติมสารทำงาน 50 % ของส่วนทำระเหย หัวกำเนิดคลื่นอัลตราโซนิกติดบริเวณ ด้านล่างของ ท่อบริเวณส่วนทำระเหยโดยกำเนิดคลื่น 8 kHz 10 kHz และ 14 kHz จากผลการทดสอบ พบว่าคลื่นอัลตราโซ

นิกสามารถ ช่วยเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนส่วนระเหยได้สูงสุดประมาณ 370% ที่อุณหภูมิขาเข้าของน้ำร้อน 50°C-60°C แต่ที่อุณหภูมิของน้ำร้อนเพิ่มขึ้น พบว่าสมรรถนะของท่อความร้อนที่ใช้และไม่ใช้คลื่นอัลตราโซนิก มีค่าใกล้เคียงกัน ในกรณีของท่อที่วางตัวตามแนวเอียง พบว่าที่มุมเอียง 30 องศา กับแนวระนาบ มีสมรรถนะสูงที่สุดทำ ความร้อนประกอบด้วยอ่างสแตนเลส ขนาด 50 x 50 x 45 cm มีฮีทเตอร์ขนาด 1 kW จำนวน 6 ชุด และ ชุดอุปกรณ์กำเนิดคลื่นเสียง ใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 110 W กำเนิดคลื่นความถี่สูงสุด 40 kHz

จากงานวิจัยที่ผ่านมา ยังไม่ได้มีการศึกษาสมรรถนะของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน ที่มี การเพิ่มสมรรถนะโดยใช้คลื่นเสียง ซึ่งวางตัวอยู่ในแนวเอียงทำมุมต่างๆ จากแนวระดับ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาสมรรถนะของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน ภายใต้สภาวะการทำงานดังกล่าว ทั้งนี้ผลงานวิจัยที่ได้รับ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกรณีของระบบผลิตน้ำร้อนตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์แบบท่อความร้อนได้เป็นอย่างดี

2. วัสดุและวิธีการวิจัย

การติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ

รูปที่ 2 แสดงชุดทดสอบเพื่อการศึกษา ลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน แบบเทอร์โมไซฟอน ขณะมีระบบอัลตราโซนิกประกอบ โดยท่อความร้อน แบบเทอร์โมไซฟอนผลิตจากท่อทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.0223 m หนา 1.3 mm ยาว 1 m ส่วนทำระเหยยาว 0.45 m ส่วนอะเดียแบติกยาว 0.1 m และส่วนควบแน่น 0.45m วัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K 18 จุด ประกอบด้วย อุณหภูมิน้ำเข้าและออกส่วนทำระเหยและ ส่วนควบแน่น อุณหภูมิผนังท่อความร้อน ด้านนอกส่วนทำระเหยและควบแน่น และอุณหภูมิ ภายในท่อความร้อนส่วนทำระเหยและควบแน่น ตำแหน่งละ 3 จุด วัดอัตราการไหลของน้ำเข้าส่วนควบแน่นโดยใช้ เครื่องวัดอัตราการไหล แบบ Rotameter วัดได้ในช่วง

1-10 l/min มีค่าความผิดพลาด 0.01 l/min ชุดระบบทำความร้อน ประกอบด้วยอ่างสแตนเลส ขนาด 50 x 50 x 45 cm มีฮีตเตอร์ขนาด 1 kW จำนวน 6 ชุด และ ชุดอุปกรณ์กำเนิดคลื่นเสียง ใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 110 W กำเนิดคลื่นความถี่สูงสุด 40 kHz

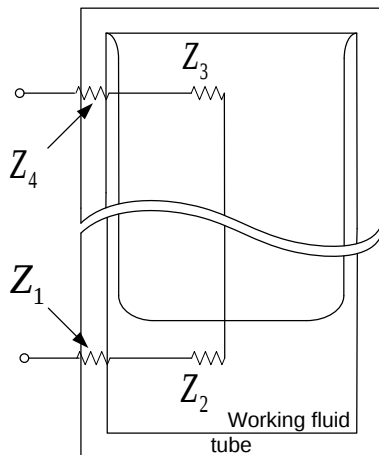
3. การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน

อัตราการถ่ายเทความร้อน ของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน สามารถคำนวณได้จาก สมการของ ESDU No. 81038 (1983) การถ่ายเทความร้อนที่ส่วนควบแน่นดังต่อไปนี้

$$Q_c = mC_p(T_{sc,out} - T_{sc,in}) \quad (1)$$

ในกรณีที่ไม่มี การสูญเสียความร้อนสู่สิ่งแวดล้อม อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ส่วนควบแน่น จะมีเท่ากับ อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ส่วนระเหย

$$Q_c = Q_e \quad (2)$$



รูปที่ 3 วงจรต้านทานทางความร้อน

จากวงจรการถ่ายเทความร้อนดังรูปที่ 3 อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ส่วนระเหย มีค่าเท่ากับ

$$Q_e = \frac{T_{eo} - T_{ei}}{Z_1 + Z_2} \quad (3)$$

โดยที่

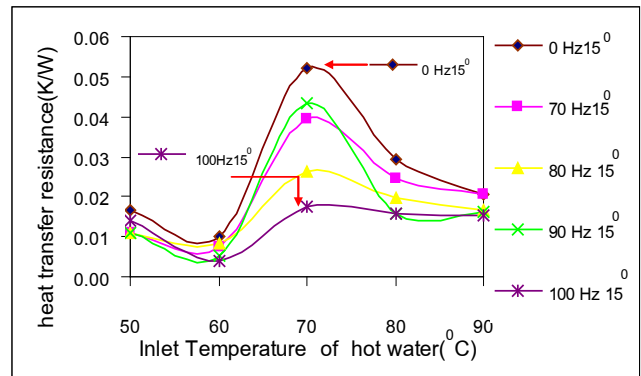
$$Z_1 = \frac{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}{2\pi K_{copper} L_e} \quad (4)$$

ดังนั้น สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ส่วนระเหยได้จาก

$$Z_2 = \frac{T_{eo} - T_{ei}}{Q_e} - Z_1 \quad (5)$$

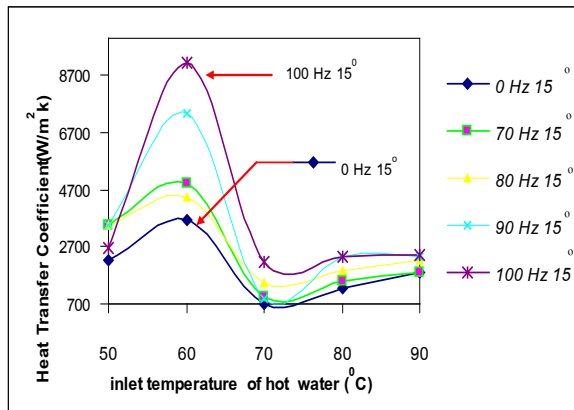
$$h_{ei} = \frac{1}{Z_2 A_{ei}} \quad (6)$$

4. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์



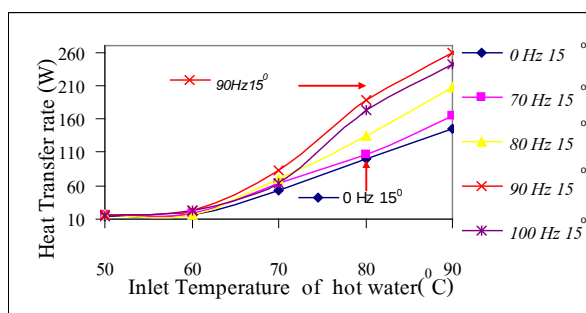
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความต้านทานส่งถ่ายความร้อนภายในท่อความร้อน กับอุณหภูมิของน้ำ ที่เข้าส่วนทำระเหย กรณีนี้คือคลื่นเสียงที่มีความถี่ 0 , 70, 80, 90 และ 100 Hz ตามลำดับ ที่มุมเอียง 15 องศา กับระนาบและอัตราการเติมสารทำงานที่ 80%

จากรูปที่ 4 กรณีของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่อยู่ ที่มุมเอียง 15 องศา อุณหภูมิของน้ำ ที่เข้าส่วนทำระเหยที่ 70°C ที่คลื่นเสียง 100 Hz จากการทดลองค่าความต้านทานส่งถ่าย ความร้อนภายในท่อความร้อนมีค่าน้อยสุด



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในท่อความร้อน (hei) กับอุณหภูมิของน้ำที่เข้าส่วนทำระเหย กรณีมีคลื่นอัลตราโซนิกที่มีความถี่ 0, 70, 80, 90 และ 100 Hz ตามลำดับที่มุมเอียง 15 องศา กับระนาบและอัตราการเดินสารทำงานที่ 80%

จากรูปที่ 5 กรณีของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่อยู่ ที่มุมเอียง 15 องศา อุณหภูมิของน้ำที่เข้าส่วนทำระเหยที่เริ่มที่ 60°C ที่คลื่นเสียง 100 Hz จากการทดลองค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในท่อความร้อน (hei) ภายในท่อความร้อนมีค่าสูงสุด



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการส่งถ่ายความร้อนภายในท่อความร้อน กับอุณหภูมิของน้ำ ที่เข้าส่วนทำระเหย กรณีมีคลื่นเสียงที่มีความถี่ 0 , 70, 80, 90 และ 100 Hz ตามลำดับที่มุมเอียง 15 องศา กับระนาบและอัตราการเดินสารทำงานที่ 80%

จากรูปที่ 6 กรณีของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่อยู่ ที่มุมเอียง 15 องศา อุณหภูมิของน้ำ ที่เข้าส่วนทำระเหยที่ 80°C ที่คลื่นเสียง 90 Hz จากการ

ทดลองค่าอัตราการส่งถ่าย ความร้อนภายในท่อความร้อนมีค่าสูงสุด

5.สรุปผลการทดลอง

ผลที่ได้จากการคำนวณ พบว่า กรณีของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่อยู่ ที่มุมเอียง 15 องศา อุณหภูมิของน้ำ ที่เข้าส่วนทำระเหย ที่ 70°C ที่คลื่นเสียง 90 Hz ค่าความต้านทานส่งถ่ายความร้อนภายในท่อความร้อนมีค่า 0.01 กรณีของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่อยู่ ที่มุมเอียง 15 องศา อุณหภูมิของน้ำ ที่เข้าส่วนทำระเหยที่ 60°C ที่คลื่นเสียง 90 Hz สามารถเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในประมาณ 24.39 % จากผลการทดสอบ พบว่าคลื่นเสียงสามารถช่วยเพิ่มกรณีของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่อยู่ ที่มุมเอียง 15 องศา อุณหภูมิของน้ำ ที่เข้าส่วนทำระเหยที่ 80°C ที่คลื่นเสียง 90 Hz อัตราการเดินสารทำงาน 80% สามารถเพิ่มอัตราการส่งถ่ายความร้อนได้ 89.51 % ในการทดลองและคำนวณเป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยในครั้งนี้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณาจารย์ที่ให้การสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการทำวิจัยในครั้งนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Oh, Y.K., Park, S.H. and Cho, Y.I. (2002), A Study of the Effect of Ultrasonic Vibrations on Phase-Change Heat Transfer, International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 45, pp. 4631-4641.
- [2] ศิริศักดิ์ ศรีวิชัย. (2550). การเสริมความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอนโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ตัวกำกับล่าง

[3] ธรรมนูญ เตชะนา ศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของการเดือดภายในท่อความร้อนเทอร์โมไฮฟอนกรณั้ใช้ร่วมกับระบบบอลต์รั้าโซนิค .วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	a	ส่วนอะเดียแบติก
[4] Engineering Data Science Unit No. 81038, Heat Pipes-Performance Enhancement of Two-Phase Closed Thermosyphon, ESDU Int. Plc., London, UK, 1983.	atm	สภาวะบรรยากาศ
	c	ส่วนควบแน่น
	e	ส่วนทำระเหย
	i	ภายในท่อ
	l	ของเหลว
	o	ผนังภายนอกท่อ
	s	สิ่งแวดล้อม
	v	ไอ
	ul	มีระบบคลื่นเสียง

รายการสัญลักษณ์

A	พื้นที่ผิวท่อ
C_p	ความจุความร้อน
D	เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ
f	ความถี่คลื่น
g	ความโน้มถ่วงของโลก
h	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน
k	การนำความร้อนของท่อ
λ_l	การนำความร้อนของของเหลว
L_c	ความยาวส่วนควบแน่น
L_e	ความยาวส่วนทำระเหย
$\dot{m}$	อัตราการไหลเชิงมวล
P	ความดัน
Q	อัตราการถ่ายเทความร้อน
T	อุณหภูมิ
U	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม
σ	แรงตึงผิวของของเหลว
ρ	ความหนาแน่น
μ	ความหนืดของของเหลว