การศึกษาสมรรถนะของฮีทไปป์ชนิดมีวิกแบบไมโครกรูฟ

A STUDY OF PERFORMANCE OF HEAT PIPE WITH MICROGROOVE

วิทยา ยงเจริญ[1] และ ณิวัฒนา อัศวารักษ์[2]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10300
โทร 02-218-6600 โทรสาร 02-218-6600 อีเมล์ fmewyc@eng.chula.ac.th
[2]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10300
โทร 02-218-6600 โทรสาร 02-218-6600 อีเมล์ yonasi952@hotmail.com

Wittaya Yongcharoen[1*], Niwattana Assawarakse [2]
[1]Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University ,
Bangkok, 10300, Thailand
Tel: 02-218-6600, Fax: 02-218-6600,
[2 1]Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University ,
Bangkok, 10300, Thailand
Tel: 02-218-6600, Fax: 02-218-6600,

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาสมรรถนะความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของฮีทไปป์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนชนิดหนึ่งซึ่งมีจุดเด่นหลายประการ ทั้งเรื่องความสามารถในการถ่ายเทความร้อนสูง แล้วยังไม่ต้องใช้พลังงานในการทำงาน นอกจากนี้ ภายใต้ผลต่างของอุณหภูมิต่ำๆ ฮีทไปป์ยังสามารถทำงานได้ดี ผลงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบสร้าง และทดสอบ สมรรถนะของฮีทไปป์ ฮีทไปป์ที่ใช้ทดสอบ ทำมาจากท่อทองแดง ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 7.94 ม.ม. โดยใช้เมททานอล เป็นของไหลทำงาน โดย สร้างท่อฮีทไปป์ ที่ใช้วิกต่างๆกัน 3 แบบ คือ แบบไมโครกรูฟ แบบลวดตาข่าย และ แบบไมโครกรูฟใส่ลวดตาข่าย โดยมีความยาวส่วนควบแน่น 80 ม.ม. ความยาวส่วนระเหย 80 ม.ม. และ ความยาวส่วนแอเดียร์แบติค 30 ม.ม. ในการทดสอบหาความสามารถในการถ่ายเทความร้อนนั้น ทำการทดสอบที่อุณหภูมิของส่วน ระเหย ตั้งแต่อุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส โดยทดสอบทั้งหมด 5 ครั้ง เพิ่มอุณหภูมิทีละ 5 องศา สำหรับทุกๆอุณหภูมิที่ทำการทดลอง ได้ทำการทดสอบมุมเอียง 3 มุมเอียง คือ มุม 3 , 5 และ 7 องศา เทียบกับแนวระดับ โดยให้ของไหลทำงานไหลต้านแรงโน้มถ่วงของโลก จากการทดสอบพบว่า ฮีทไปป์ที่ทำการทดสอบสามารถ ทำงานต้านแรงโน้มถ่วงของโลกได้ สำหรับฮีทไปป์ที่มีวิกแบบไมโครกรูฟ การถ่ายเทความร้อนที่สามารถวัดได้ น้อยมากจนถือได้ว่าไม่มีการถ่ายเทความร้อน ส่วนฮีทไปป์ที่มีวิกแบบ ลวดตาข่าย สามารถถ่ายเทความร้อนได้สูงถึง 51.3 W การปรับปรุงให้ฮีทไปป์มีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น สามารถทำได้โดย การทำให้แรงคาปิลารี่มีค่าสูงขึ้น ซึ่งทำได้หลายวิธี ทั้งการใช้ของไหลทำงานที่มีค่าแรงตึงผิวสูงๆ ใช้วิกแบบสามารถให้แรงคาปิลารี่สูงๆ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การออกแบบส่วนต่างๆของฮีทไปป์ ควรคำนึงถึงการใช้งานเป็นหลัก

Abstract

Heat Pipe is a type of heat exchanger and also have many good outstanding . Such as high heat transfer rate , no need any energy to operate and it can operate in low temperature. This research is the design , invent and test for the heat pipe's performance for apply to use . This heat pipe made from copper with 7.94 m.m. diameter. Methanal is use as working fluid. This research test with 3 kinds of wick. Microgroove , mesh and microgroove together with mesh. Length of condenser and evaporator section are 80 m.m. and adiabatic section is 30 m.m. This research test at 5 point of evaporator section temperature from 60 to 80 °C by increase by 5 degree . For every temperature test angle is 3 , 5 and 7 degree. The test result, Heat pipe can operate opposite the gravity. Heat transfer rate is lower till it can say that it have no heat transfer rate for microgroove wick, and 51.3 W for mesh wick. There are many way to improve heat transfer rate. Such as use the higher surface

tension working fluid , use higher capillary kind of wick . However the design must mention on how to work.

1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ภายในประเทศ ได้มีใช้พลังงานกันอย่างมาก และการใช้พลังงานก็มีความต้องการที่จะเพิ่มมากขึ้นทุกวัน ๆ การใช้พลังงานเชื้อเพลิงต่าง ๆก็เพิ่มขึ้นมากในขณะที่ปริมาณเชื้อเพลิงนั้นมีอยู่จำกัด และหมดลงทุกที การประหยัดพลังงาน ก็คือการประหยัดเชื่อเพลิง อีกทั้งยังไม่ทำให้เกิดมลพิษอีก ความร้อนที่เหลือจากการใช้ประโยชน์จากส่วนหนึ่ง สามารถนำไปใช้อีกที่หนึ่งได้ แทนที่จะปล่อยไปโดยสูญเปล่า ซึ่งถ้าคิดความสูญเสียเป็นตัวเลขแล้ว สูงมาก

การนำเอาความร้อนกลับมาใช้ประโยชน์นั้น สามารถทำได้โดยการนำความร้อนผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนั้นมีหลายแบบ แต่ละแบบกระบวนการทำงานแตกต่างกัน แต่อยู่ใน พื้นฐานเดียวกัน คือต้องการแลกเปลี่ยนความร้อน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนก็มีมากมายหลายแบบซึ่งแต่ละแบบมีข้อดี และข้อเสียต่างกัน ในบรรดาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบต่างๆ ฮีทไปป์ เป็นอุปกรณ์ที่มีข้อดีมากที่สุด และโดยหลักการทำงานของ ฮีทไปป์ ซึ่งจะอธิบายในบทต่อไป นั้น ไม่จำเป็นต้องอาศัยพลังงานในการใช้งาน เพราะ ฮีทไปป์ ทำงานโดยอาศัยปรากฏการณ์ตามธรรมชาติ ที่เรียกว่า capillary effect ซึ่งแตกต่างจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดอื่นๆ ที่ต้องใช้ไฟฟ้าในการทำงาน

2. ทฤษฎีเกี่ยวกับฮีทไปป์

ฮีทไปป์ ประกอบด้วยส่วนประกอบทั้งหมด 3 ส่วน คือ ท่อ ของไหลทำงาน และ วิก การทำงานของฮีทไปป์ ใช้หลักของแรงคาปิลารี่ เป็นหลักโดยสามารถเขียนได้ตามสมการดังนี้

$$(\Delta P_c)_m \geq \int_{L_{eff}} \frac{\partial P_v}{\partial x} dx + \int_{L_{eff}} \frac{\partial P_l}{\partial x} dx + \Delta P_{ph,e} + \Delta P_{ph,c} + \Delta P_{+} + \Delta P_{ll}$$

[2],[3],[4] เมื่อแทนค่าต่าง ๆในสมการจะได้ค่าความสามารถในการนำความร้อนออกมา

โดย $(\Delta P_c)_m$ = ผลต่างความดันคาปิลารี่สูงสุดระหว่างส่วนเปียกกับส่วนแห้ง (Capillary pressure at the liquid-vapor interfhase)

$\frac{\partial P_v}{\partial x}$ = ผลรวมของการสูญเสียความดัน ของความหนืด และ ความเฉื่อย ที่เกิดขึ้นในส่วนไอ

$\frac{\partial P_l}{\partial x}$ = ผลรวมของการสูญเสียความดัน ของความหนืด และ ความเฉื่อย ที่เกิดขึ้นในส่วนของเหลว

$\partial P_{ph,e}$ = pressure gradient ของการเปลี่ยนเฟส ในส่วน อีแวปโปเรเตอร์

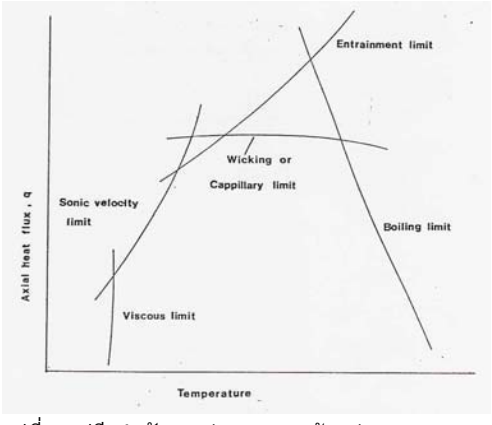
$\partial P_{ph,e}$ = pressure gradient ของการเปลี่ยนเฟส ในส่วน คอนเดนเซอร์

∂P_{+} = normal hydrostatic pressure drop

∂P_{ll} = axial hydrostatic pressure drop

ขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนต่าง ๆของฮีทไปป์

ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น การหมุนเวียนของของเหลวใช้งานเป็นกระบวนการสำคัญอย่างหนึ่งของการทำงานของฮีทไปป์ เพื่อให้ได้การถ่ายเทความร้อนสูงสุด แต่คุณสมบัติและขีดจำกัดต่าง ๆ เป็นตัวแปรที่กำหนดขอบเขตที่ใช้งาน



รูปที่ 1 รูปขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนต่าง ๆ[1]

ขีดจำกัดการถ่ายความร้อนเนื่องจากความหนืด

เกิดขึ้นเนื่องจากความหนืดของ ๆเหลวใช้งาน ซึ่งจะมีผลมาก ๆที่อุณหภูมิต่ำ ๆ ความหนืดนี้จะมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของไอ Busse ได้แสดงให้เห็นว่า ฟลักซ์ความร้อนในแนวแกน จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วขณะที่ความดันที่ช่วงการควบแน่นลดลง และจะให้ค่าสูงสุดเมื่อค่าความดันเป็นศูนย์ และพบว่าความเร็วในแนวแกนมีผลสำคัญ

$$q_v = \frac{A_v r_o^2 \lambda \rho_v P_v}{16 \mu_v L_e}$$

โดย q_v = ขีดจำกัดความหนืด

A_v = พื้นที่ส่วนของไอ

r_o = Outer radius

λ = Latent heat of vaporization

ρ_v = ความหนาแน่นของไอ

P_v = ความดันไอ

μ_v = ความหนืด

L_e = ความยาวส่วน evaporator

ขีดจำกัดการถ่ายความร้อนเนื่องจากความเร็วเสียง

จะเกิดเมื่ออุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิโชคกิ้ง คือความเร็วในการไหลของของไหลสูงกว่าความเร็วเสียงซึ่งจะมีผลกระทบต่อ การถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน

$$q_s = 0.47 \lambda A_v (\rho_v P_v)^{\frac{1}{2}}$$

โดย q_s = ขีดจำกัดความเร็วเสียง
λ = Latent heat of vaporization
A_v = พื้นที่ส่วนของไอ
ρ_v = ความหนาแน่นของไอ
P_v = ความดันไอ

ขีดจำกัดการถ่ายความร้อนเนื่องจากการดึงของเหลวกลับ

สภาวะการเกิดการดึงกลับของของเหลว เมื่อไอมีความเร็วสูงขึ้น แรงเฉือนที่ไอกระทำกับของเหลวใช้งานภายในวิกที่ผิวสัมผัส ระหว่างไอกับผิววิก อาจมีขนาด โตกว่าแรงต้านที่เกิดจากแรงตึงผิวของของไหลใช้งาน ทำให้หยดของเหลวหลุดลอยไปกับไอในช่วงการควบแน่น ปรากฏการณ์ดังกล่าว ขัดขวางการทำงานของฮีทไปป์

$$q_e = A_v \lambda \left(\frac{8\sigma\rho_v}{\iota}\right)^{0.5}$$

โดย q_e = ขีดจำกัดการถ่ายความร้อนเนื่องจากการดึงของเหลวกลับ
A_v = พื้นที่ส่วนของไอ
λ = Latent heat of vaporization
σ = แรงตึงผิว
ρ_v = ความหนาแน่นของไอ
ι = Characteristic length of wick

ค่า ι เป็นค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับ ขนาดของร่องตาข่าย โดย เป็นค่าซึ่งหาค่าที่ถูกต้องยาก โดยทั่วไปอาจใช้การประมาณเอาจาก สองเท่าของรัศมีของหยดของเหลวที่ใหญ่ที่สุด ที่เกิดขึ้นส่วนในสุดของลวดตาข่าย

ขีดจำกัดการถ่ายความร้อนเนื่องจากการเดือด

เป็นการถ่ายเทความร้อนในช่วงการระเหย เมื่อของไหลทำงานได้รับความร้อนมากพอจนเกิดการอิ่มตัว และเดือดเป็นไอน้ำในช่วงการกลั่นตัว จะเกิดฟองของๆเหลวขึ้น ซึ่งฟองนี้จะไปติดอยู่ตามวิก ซึ่งจะทำให้ของเหลว ไม่สามารถไหลไปยังส่วน คอนเดนเซอร์ ได้

$$q_b = \left(\frac{2\pi L_e k_{eff} T_v}{\lambda\rho_v \ln\left(r_i / r_v\right)}\right)\left(\frac{2\sigma}{r_n} - \Delta P_{c,m}\right)$$

โดย q_b = ขีดจำกัดการถ่ายความร้อนเนื่องจากการเดือด
L_e = ความยาวส่วน evaporator
k_{eff} = Effective thermal conductivity
T_v = อุณหภูมิไอ
λ = Latent heat of vaporization
ρ_v = ความหนาแน่นของไอ
σ = แรงตึงผิว
r_i = รัศมีในท่อ
r_v = รัศมีช่วงไอไหลผ่าน
r_n = รัศมี nucleation
$\Delta P_{c,m}$ = ผลต่างความดันสูงสุดช่วง คอนเดนเซอร์

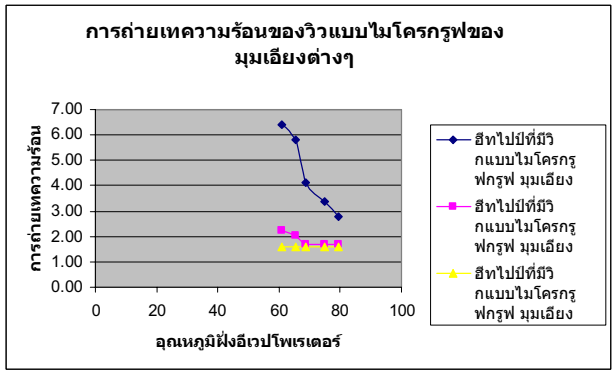
โดยค่า k_{eff} แสดงสูตรการหาได้จากตารางที่ อย่างไรก็ตาม การหาค่าคงที่ต่างๆในสมการนี้ สามารถทำได้ยาก และ เนื่องจาก ขีดจำกัดการถ่ายความร้อนเนื่องจากการเดือด มักจะ มีค่าสูง ฮีทไปป์ทั่วไปจะมีขีดจำกัดอื่นๆต่ำกว่า ดังนั้น จึงไม่นิยมนำ ขีดจำกัดเนื่องจากการเดือดมาคิด

3. การออกแบบแท่นทดสอบ

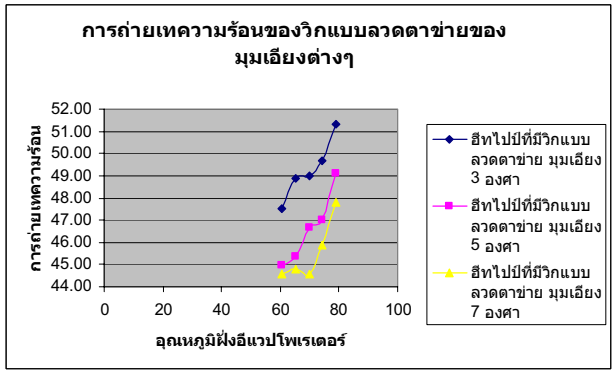
ในการทดลอง มุ่งหาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน ผู้วิจัย จึงเลือกวิธีการ โดย ให้น้ำที่อุณหภูมิห้องไหลผ่าน แล้วดูการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำ การจะทำให้การไหลของน้ำคงที่ ผู้วิจัยได้ ออกแบบถังน้ำและความสูงเทียบกับแท่นทดสอบมา เพื่อควบคุมอัตราการไหลของน้ำ จากนั้น ออกแบบ ชุดวัดตวงปริมาณน้ำที่ไหลผ่าน ต่อเวลา จากนั้นได้เลือกวิธีวัดอุณหภูมิน้ำโดย เนื่องจากผลต่างของอุณหภูมิน้ำที่จะได้ตามทฤษฎี มีค่าไม่มาก จึงให้ เทอร์โมคัปเปิล สามเส้น ต่ออนุกรมกัน แล้วนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ เพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิที่แม่นยำยิ่งขึ้น

4. การทดลอง

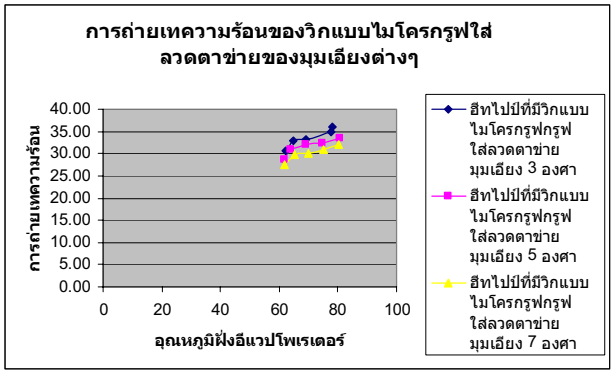
ดำเนินการทำลองโดยนำน้ำไหลผ่านส่วนควบแน่น และส่วนระเหย แล้ววัดค่าอุณหภูมิที่จุดต่างๆ วัดอัตราการไหล นำค่าที่ได้ ไปคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อน โดยทำลองที่ 3 มุมเอียงเทียบกับแนวระดับ คือ 3 5 และ 7 องศา แต่ละองศา ทดลอง 5 อุณหภูมิคือ 60 65 70 75 และ 80 องศาเซลเซียส ทดลองโดยฮีทไปป์ที่มีวิก 3 แบบ คือ ไมโครกรูฟแบบลวดตาข่าย และ แบบ ไมโครกรูฟใส่ลวดตาข่าย ได้ผลการทดลองดังกราฟ



กราฟที่ 1 แสดงผลการถ่ายเทความร้อนของฮีทไปป์ที่มีวิกแบบไมโครกรูฟของมุมเอียงต่างๆ



กราฟที่ 2 แสดงผลการถ่ายเทความร้อนของฮีทไปป์ที่มีวิกแบบลวดตาข่ายของมุมเอียงต่างๆ



กราฟที่ 3 แสดงผลการถ่ายเทความร้อนของฮีทไปป์ที่มีวิกแบบไมโครกรูฟใส่ลวดตาข่ายของมุมเอียงต่าง ๆ

5. สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. จากการทดลองพบว่าฮีทไปป์ที่สร้าง สามารถทำงานสวนแรงโน้มถ่วงของโลกได้

2. จากชุดทดลองที่ 1 ที่ใช้วิกเป็นแบบ ไมโครกรูฟ จะพบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อนำความร้อนชนิดนี้ มีผลการถ่ายเทความร้อยสูงกว่าทฤษฎีเล็กน้อย ทั้งนี้ อาจเป็นผลมาจาก การกำหนดค่าพารามิเตอร์ ต่าง ๆ ไม่ถูกต้อง และ อาจมีผลจากการนำความร้อนของท่อทองแดงด้วย

3. จากชุดทดลองที่ 2 ที่ใช้วิกเป็นแบบลวดตาข่าย จะพบว่า มีค่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่ามากเมื่อเทียบกับแบบ ใช้วิกเป็นแบบไมโครกรูฟ แต่เมื่อเทียบกับค่าการถ่ายเทความร้อนทางทฤษฎี ปรากฏว่าท่อความร้อนที่ทดสอบนั้น สามารถถ่ายเทความร้อนได้คิดเป็นเพียง 44.3 % ของทางทฤษฎี ทั้งนี้เป็นผลมาจาก ลวดตาข่ายอาจไม่สัมผัสติดกับพื้นผิวภายในท่อตลอดความยาวท่อ ทำให้เกิดการสูญเสียแรง คาปิลารี่ ไปส่วนหนึ่ง มีผลทำให้สารทำงาน สามารถไหลสวนแรงโน้มถ่วงได้ไม่เต็มที่

4. จากชุดทดลองที่ 3 ที่ใช้วิกเป็นแบบผสมระหว่าง ไมโครกรูฟ กับ ลวดตาข่าย จะพบว่า มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงว่าเมื่อเทียบกับท่อความร้อนที่มีวิกแบบไม่โครกรูฟ เพียงอย่างเดียว แต่ก็มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำกว่าท่าความร้อนที่มีวิกแบบ ลวดตาข่าย เพียงอย่างเดียว คิดเป็นเพียง 25.3 % ของทางทฤษฎี ที่ได้คำนวณไว้ ทั้งนี้ อาจเป็นผลมาจาก ลวดตาข่ายอาจไม่สัมผัสติดกับพื้นผิวภายในท่อตลอดความยาวท่อ ประกอบกับพื้นผิวภายในท่อเป็นร่อง พื้นที่ผิวที่สัมผัสกับลวดตาข่ายมีน้อย ทำให้ของไหลทำงานไม่สามารถซึมผ่านขึ้นไปตามแนวลวดตาข่ายได้หมด กรูฟจึงไม่สามารถคิดให้เป็นร่องแบบปิดได้ ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนจึงลดลง

5.จากผลการทดลองจะพบว่า ในท่อความร้อนที่มีขนาดเท่ากัน สารทำงานเดียวกัน ช่วงการระเหย ระยะช่วงแอเดียแบติค ช่วงการควบแน่น เท่ากัน วิกแบบไมโครกรูฟให้การถ่ายเทสูงกว่าทางทฤษฎีเล็กน้อย แต่ยังมีค่าการถ่ายเทความร้อนน้อยกว่าใช้วิกแบบ ลวดตาข่ายมาก

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การสร้างฮีทไปป์นั้น ควรเลือกสารทำงานที่มีแรงตึงผิวสูง เพื่อให้เกิดแรงคาปิลารี่ได้ดี ทั้งนี้ทั้งนั้น ควรเลือกของไหลทำงานให้เหมาะสมกับวัสดุที่ใช้ทำวิก และ ท่อความร้อน

2. การลดช่วงแอเดียแบติค หรือ ให้ไม่มีช่วงแอเดียแบติค จะทำให้การสูญเสียความร้อน ลดลง ทั้งนี้ทั้งนั้น การออกแบบ ควรคำนึงถึงการใช้งาน เนื่องจาก ถ้าสามารถหาวิธีหุ้มฉนวนดี ๆ จะทำให้การสูญเสียความร้อนน้อยลง

3. ท่อที่ใช้ในการทดลอง เป็นท่อที่สามารถหาได้ตามท้องตลาด มีระยะห่างของร่องเกลียวในระยะหนึ่ง ถ้าหากสามารถผลิต ท่อที่มีร่องภายในซึ่งมีขนาดเล็กมากเท่าไร จะทำให้เกิดแรงคาปิลารี่มากเท่านั้น จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมากขึ้น

4. การใช้ลวดตาข่ายเป็นวิกนั้น ถ้าหากใช้ลวดตาข่ายที่มีความละเอียดมากขึ้น หรือ ใช้ลวดตาข่ายหลายชั้นมากขึ้น จะทำให้เกิดแรงคาปิลารี่มากเท่านั้น จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมากขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงอย่างดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของบุคคลหลายท่านดังนี้ นาง ลักขณา อัศวารักษ์ มารดา และ นาย ปกรณ์ อัศวารักษ์ บิดา โดยท่านทั้งสองได้ให้การสนับสนุนผู้วิจัยทั้งในด้านค่าใช้จ่ายและกำลังใจอย่างมากในการทำวิจัยมาโดยตลอด รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้การสนับสนุนด้านเครื่องมือวัด ต่าง ๆ และ คำปรึกษาทางด้านเทคนิคต่าง ๆ ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยอย่างยิ่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูลและ รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ธร จรัญญากร รองศาสตราจารย์ ฤชากร จิรกาลวสาน กรุณาให้คำแนะนำถ่ายทอดประสบการณ์ความรู้ต่าง ๆให้กับผู้วิจัย

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ส.น.พ. ที่ได้สนับสนุน ทุนอุดหนุนการวิจัย ซึ่งทำให้ผู้วิจัยสามารถ สร้างอุปกรณ์การทดลอง ต่าง ๆ เพื่อเป็นประโยชน์แก่คนรุ่นหลัง ไว้ใช้ในการออกแบบ และ พัฒนา ฮีทไปป์ ไว้ใช้งานต่าง ๆในประเทศได้

เอกสารอ้างอิง

[1] ประดิษฐ์ เทอดทูล. ท่อความร้อน. เชียงใหม่ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,

[2] Chisholm, D., The Heat Pipe, London: Mill&Boon,1971.

[3] Dunn, P., and Reay, D.A., Heat Pipes, 2nd ed., Great Britian: Pergamon Press, 1978.

[4] Peterson, G.P., An Introduction to Heat Pipes, U.S.A.: John Wiley & Sons,1994.