

# การศึกษาการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบ ชนิดคอยล์ขดในแนวตั้ง

## Experimental Study of Heat Transfer Characteristics of Vertical Helical Loop Heat Pipe

อมร ดอนเมือง,<sup>1</sup> ธีรพัฒน์ ชมภูคำ,<sup>2\*</sup> สัมพันธ์ ฤทธิเดช<sup>3</sup>

Amorn Donmuang,<sup>1</sup> Teerapat Chompookham,<sup>2\*</sup> Sampan Rittidech<sup>3</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาเชิงทดลองผลของโครงสร้างต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดคอยล์ขด ตัวแปรของโครงสร้างทำการศึกษาในการทดลองนี้ ประกอบด้วย เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 3 ค่าเท่ากับ 2.03, 3.5 และ 4.5 มิลลิเมตร อุณหภูมิส่วนทำระเหย 3 ค่าเท่ากับ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส เส้นผ่านศูนย์กลางคอยล์ 2 ค่าเท่ากับ 50 และ 70 มิลลิเมตร และระยะพิทช์ 3 ค่าเท่ากับ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร ทำการทดลองที่มุมเอียง 90 องศา ความยาวส่วนควบแน่นเท่ากับความยาวส่วนทำระเหยที่ 1500 มิลลิเมตร และความยาวส่วนกันความร้อนเท่ากับ 100 มิลลิเมตร โดยใช้ น้ำ เป็นสารทำงานในท่อด้วยอัตราการเติมสารทำงานร้อยละ 30 ของปริมาตรโดยรวมของส่วนทำระเหย ผลการทดลองพบว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ อุณหภูมิส่วนทำระเหยเส้นผ่านศูนย์กลางคอยล์และระยะพิทช์ ท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดคอยล์ขดที่เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 4.5 มิลลิเมตร อุณหภูมิส่วนทำระเหย 80 องศาเซลเซียส เส้นผ่านศูนย์กลางคอยล์ 70 มิลลิเมตรและระยะพิทช์ 20 มิลลิเมตรให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่ค่าเท่ากับ 65.21 วัตต์ แต่อย่างไรก็ตามอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่กลับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการลดลงของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ โดยที่เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 2.03 มิลลิเมตร อุณหภูมิส่วนทำระเหย 80 องศาเซลเซียส เส้นผ่านศูนย์กลางคอยล์ 70 มิลลิเมตรและระยะพิทช์ 20 มิลลิเมตรให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่ค่าเท่ากับ 2617.66 วัตต์ต่อตารางเมตร

<sup>1</sup>นิสิตปริญญาเอก, <sup>2\*</sup>ผู้ช่วยศาสตราจารย์, <sup>3</sup>รองศาสตราจารย์. หน่วยวิจัยท่อความร้อนและการออกแบบเครื่องมือทางความร้อน, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

<sup>1</sup>Doctoral degree student, <sup>2\*</sup>Assistant Professor, <sup>3</sup>Associate Professor. Heat Pipe and Thermal Tools Design Research Unit (HTDR), Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantarawichai, Maha Sarakham, 44150.

\*Corresponding author: Teerapat Chompookham, Heat Pipe and Thermal Tools Design Research Unit (HTDR), Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantarawichai, Maha Sarakham, 44150.

Email address: [teerapat.c@msu.ac.th](mailto:teerapat.c@msu.ac.th)

**คำสำคัญ:** การถ่ายเทความร้อน ท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดคอยล์ชนิด อุณหภูมิส่วนทำระเหย

## Abstract

The aim of this research is to presents an experimental study effect of geometric on heat transfer behavior of a helical loop heat pipe (HLHP). The geometric parameters of the helical loop heat pipe are three inner diameters ( $D_i = 2.03, 3.5$  and  $4.5$  mm), three temperatures of evaporation ( $T_e = 60, 70$  and  $80$  °C), two coil diameters ( $D_c = 50$  and  $70$  mm) and three coil pitches ( $P = 10, 15$  and  $20$  mm) at inclination angle of  $90^\circ$ , condenser section length and evaporator section length are equal ( $L_c = L_e = 1500$  mm) and adiabatic section length is  $100$  mm are examined experimentally. Water used as the working fluid in pipe with the filling ratio is  $30\%$  by total volume of the evaporator section. The experimental results show that the heat transfer rate tends to increase with the rise of inner diameter, temperature of evaporation, coil diameter and coil pitch. The helical loop heat pipe at  $D_i = 4.5$  mm,  $T_e = 80$  °C,  $D_c = 70$  mm and  $P = 20$  mm yields the highest heat transfer about  $65.21$  W. However the heat flux tends to increase with the down of inner diameter, the best value at  $D_i = 4.5$  mm,  $T_e = 80$  °C,  $D_c = 70$  mm and  $P = 20$  mm is  $2617.66$  W/m<sup>2</sup>.

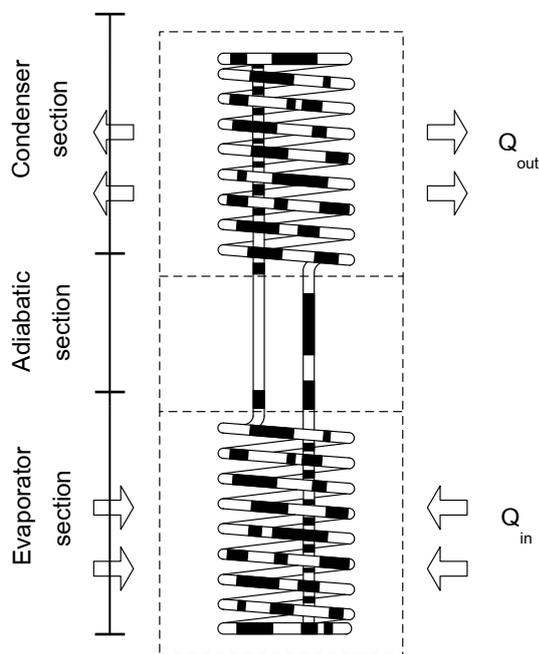
**Keywords:** heat transfer rate, helical loop heat pipe, temperatures of evaporation

## บทนำ

ท่อความร้อน (Heat pipe) คือ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดหนึ่งที่สามารถถ่ายเทความร้อนได้โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานจากภายนอก ทำงานโดยใช้หลักการส่งถ่ายความร้อนจากความร้อนแฝงของสารทำงานภายในท่อ ซึ่งระเหยเมื่อได้รับความร้อนจากแหล่งให้ความร้อน แล้วถ่ายเทความร้อนให้กับสารรับความร้อนที่ต้องการจะถ่ายเทให้ เช่น น้ำหรืออากาศแล้วควบแน่นกลับเป็นของเหลวไหลย้อนกลับมายังส่วนทำระเหยอีกครั้ง เนื่องจากความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของสารทำงานมีค่าสูงมากจึงสามารถถ่ายเทความร้อนจากปลายด้านหนึ่งไปสู่ปลายอีกด้านหนึ่งโดยมีอุณหภูมิแตกต่างเล็กน้อย

โดยทั่วไปแล้วท่อความร้อนจะประกอบด้วยส่วนทำระเหย (Evaporator section) ส่วนกันความร้อน (Adiabatic section) และส่วนควบแน่น (Condenser section) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อนแบบธรรมดาที่สภาวะความร้อนสูงนั้น จะถูกจำกัดโดยแรงดันไอ (Vapor pressure) และขีดจำกัดที่เกี่ยวข้องกับค่าสมรรถนะของท่อความร้อน เช่น ขีดจำกัดคาปิลารี (Capillary limit) ซึ่งเกิดเมื่อวัสดุพรม (Wicks) ไม่สามารถนำเอาของเหลวที่เกิดจากการกลั่นตัวกลับมายังส่วนทำระเหยได้ ขีดจำกัดการพา (Entrainment limit) ซึ่งเป็นผลมาจากการไหลที่สวนทางกัน (Counter current flow) ของไอจากส่วนทำระเหยกับของเหลวที่กลั่นตัวจากส่วน

ความแน่นของท่อความร้อน โดยที่ท่อความร้อนนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ท่อความร้อนแบบธรรมดาหรือที่เรียกว่า กาลักความร้อน (Thermosyphon) สัมพันธ์ ฤทธิเดช<sup>1</sup> และท่อความร้อนแบบพิเศษ ซึ่งท่อความร้อนประเภทนี้มีหลายชนิดด้วยกัน เช่น ท่อความร้อนแบบวงรอบก็เป็นแบบพิเศษชนิดหนึ่ง ซึ่งจะนำมาใช้ที่จะใช้ในงานวิจัยนี้



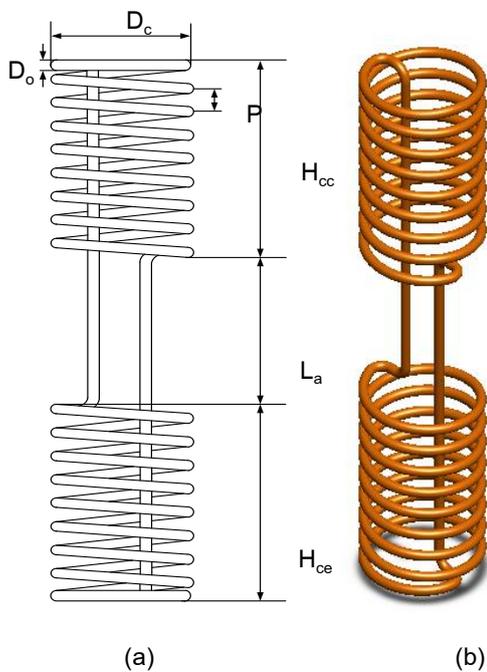
**Figure 1** Characteristics of helical loop heat pipe

ท่อความร้อนแบบวงรอบ (Loop heat pipe) คือ ท่อความร้อนที่ออกแบบมาเพื่อเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนให้ดีขึ้นกว่าท่อความร้อนแบบทั่วไป โดยที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นสามารถติดตั้งในสถานที่ที่แตกต่างกัน ทำให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้นเมื่อมีข้อจำกัดของพื้นที่มาเกี่ยวข้องหรือการนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่สำหรับการใช้งานที่ส่วนทำระเหยไม่ได้อยู่ในสถานที่เดียวกันกับส่วนควบแน่น โดยจาก

ลักษณะการไหลที่แตกต่างกันในวงรอบทำให้ขีดจำกัดการเดือดและการท่วมสำหรับท่อความร้อนแบบวงรอบไม่มีผลกระทบมากนักเมื่อเทียบกับท่อความร้อนแบบธรรมดาทั่วไป Jie Yi และคณะ<sup>2</sup> ท่อความร้อนแบบใหม่ ได้มีการออกแบบโดยการตัดท่อให้มีลักษณะเป็นคอยล์ขด โดยมีการทำงานเหมือนท่อความร้อนทั่วไปแต่ในทางลักษณะโครงสร้างจะแตกต่างกัน เพื่อวัตถุประสงค์ในการถ่ายเทความร้อนที่สูงขึ้นและลดการสูญเสียความร้อนให้ต่ำลง N. Pipatpaiboon และคณะ<sup>3</sup> ได้มีการประยุกต์ใช้ท่อแบบคอยล์ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน สำหรับการนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ของเครื่องปรับอากาศและปั๊มความร้อนแบบเคลื่อนย้ายได้ พบว่า ระบบการนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ท่อแบบคอยล์สามารถช่วยลดการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศและเครื่องทำน้ำร้อนโดยทั่วไป T. Wessapan และคณะ<sup>4</sup> ดังนั้นจากงานวิจัยที่ผ่านมา ผู้วิจัยจึงได้มีความสนใจที่จะศึกษาท่อความร้อนแบบวงรอบ เพื่อที่จะพัฒนานำท่อความร้อนให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น จึงได้ทำการออกแบบใหม่ โดยการขึ้นรูปท่อความร้อนที่ทำจากท่อทองแดงให้มีลักษณะคอยล์ขดในส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย โดยทำการเชื่อมต่อท่อตรงในส่วนของส่วนกันความร้อน ซึ่งอยู่ระหว่างส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหย โดยเราจะเรียกท่อความร้อนชนิดใหม่นี้ว่า ท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดคอยล์ขด (Helical Loop Heat Pipe: HLHP) ดังแสดงใน Figure 1

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบชุดทดลองท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดคอยล์ขด (HLHP) โดยมีการกำหนดรายละเอียดในส่วนต่างๆ ดังนี้ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอยล์ ( $D_c$ ) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ ( $D_o$ ) ระยะพิตช์ของคอยล์ ( $P$ ) ความสูงของคอยล์ที่ส่วนทำระเหย ( $H_{ce}$ ) ความสูงของคอยล์ที่ส่วนควบแน่น ( $H_{cc}$ ) ความยาวส่วนทำระเหย ( $L_e$ )



**Figure 2** (a) Physical parameters, (b) Structure of the HLHP

ความยาวส่วนควบแน่น ( $L_c$ ) และความยาวส่วนกันความร้อน ( $L_a$ ) ดังใน Figure 2(a) โดยนำท่อทองแดง มาทำการขึ้นรูปโดยการตัดส่วนท่อให้มีลักษณะเป็นขดในส่วนของส่วนทำระเหย (Evaporator section) และส่วนควบแน่น (Condenser section) ในส่วนกันความร้อน (Adiabatic section) จะมีลักษณะเป็นท่อตรง

ต่อเชื่อมระหว่างส่วนทำระเหยกับส่วนควบแน่น มีลักษณะโครงสร้าง ดังใน Figure 2(b) ในการทดลองได้ใช้ท่อความร้อนแบบ HLHP ทำจากท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.03, 3.5 และ 4.5 มิลลิเมตร ท่อมีความหนา 0.5 มิลลิเมตร โดยใช้สารทำงานคือ น้ำ อัตราการเติมสารทำงานอยู่ที่ร้อยละ 30 ของปริมาตรโดยรวมของส่วนทำระเหย ขั้นตอนการเติมสารทำงานคือ นำปั๊มสุญญากาศและท่อความร้อน HLHP ประกอบเข้ากับชุดเติมสารทำงานหลังจากนั้นทำสุญญากาศให้กับท่อความร้อน HLHP เติมน้ำสารทำงานที่เตรียมไว้ลงในหลอดแก้ว (Glass tube) ในชุดเติมสารทำงานแล้วทำการเติมสารทำงานให้กับท่อความร้อน HLHP หลังจากเติมเสร็จตัดท่อทองแดงที่เชื่อมระหว่างชุดเติมสารทำงานแล้วทำการเชื่อมปลายท่อทองแดงจุดที่ตัดด้วยลวดเชื่อมเงินกับแก๊ส การทดลองใช้อุณหภูมิส่วนทำระเหยคือ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ควบคุมอุณหภูมิเข้าส่วนควบแน่นที่ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอยล์ 50 และ 70 มิลลิเมตร ระยะพิตช์ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร มุมเอียง 90 องศา ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น 1500, 2000 และ 3000 มิลลิเมตร โดยการออกแบบชุดทดลอง HLHP จะใช้วงจรอากาศเย็นในส่วนควบแน่นและวงจรอากาศร้อนในส่วนทำระเหย โดยในจะมีเครื่องวัดความเร็วลมแบบ Anemometer probe (ยี่ห้อ Testo สามารถวัดความเร็วลมที่มีอุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ความแม่นยำ  $\pm 0.05\%$ ) ก่อนที่จะไหลเข้าสู่ส่วนควบแน่น ซึ่งควบคุมความเร็วลมไว้ที่ 1 เมตร/วินาที ติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิล (ยี่ห้อ OMEGA Type K ความแม่นยำ 350 องศาเซลเซียส) ที่ส่วนทดสอบ HLHP และทางเข้าและทางออกของส่วน

ทำระเหยและส่วนควบแน่น ทำการบันทึกข้อมูลด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล (ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น DX200 ขนาด 20 ช่องสัญญาณมีช่วงการวัดที่อุณหภูมิ -200 องศาเซลเซียส ถึง 1100 องศาเซลเซียส มีความละเอียด  $\pm 0.1$  องศาเซลเซียส) โดยมีรายละเอียดดัง Figure 3 โดยการวิเคราะห์คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนสามารถคำนวณจากวิธี Calorimeter คำนวณโดยใช้สมการดังสมการที่ (1)

$$Q = \dot{m}C_p(T_{co} - T_{ci}) \quad (1)$$

และการหาอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ ดังสมการที่ (2)

$$q = \frac{Q}{A_c} = \frac{Q}{\pi D_o L_c} \quad (2)$$

เมื่อ Q คือ ค่าการถ่ายเทความร้อน หน่วย วัตต์

q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ หน่วย วัตต์/ตารางเมตร

$\dot{m}$  คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ หน่วย กิโลกรัม/วินาที

$C_p$  คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ หน่วย จูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส

$T_{co}$  คือ อุณหภูมิของอากาศขาออกส่วนควบแน่น หน่วย องศาเซลเซียส

$T_{ci}$  คือ อุณหภูมิของอากาศขาเข้าส่วนควบแน่น หน่วย องศาเซลเซียส

$D_o$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ หน่วย เมตร

$A_c$  คือ พื้นที่ผิวท่อภายนอกทั้งหมดในส่วนควบแน่น หน่วย ตารางเมตร

$L_c$  คือ ความยาวของท่อในส่วนควบแน่น หน่วย เมตร

### ผลการทดลอง

จากผลการทดลองดัง Figure 4 แสดงผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดคอยล์ขด ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอยล์ 50 มิลลิเมตร

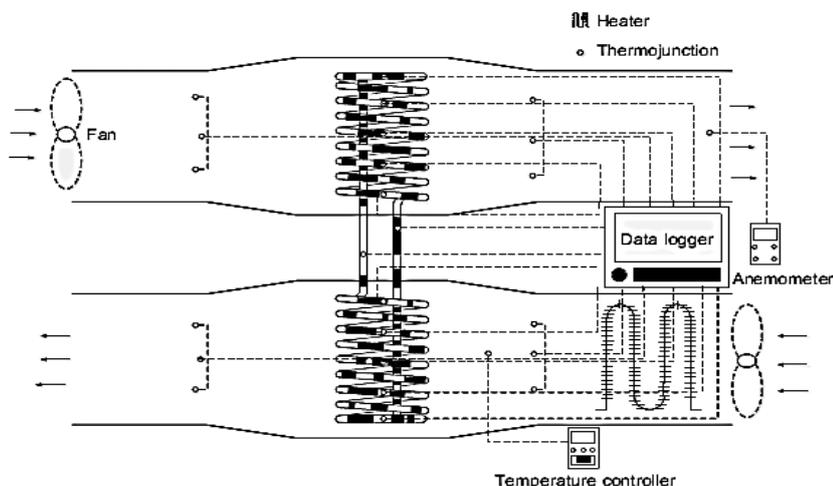


Figure 3 Experimental procedure

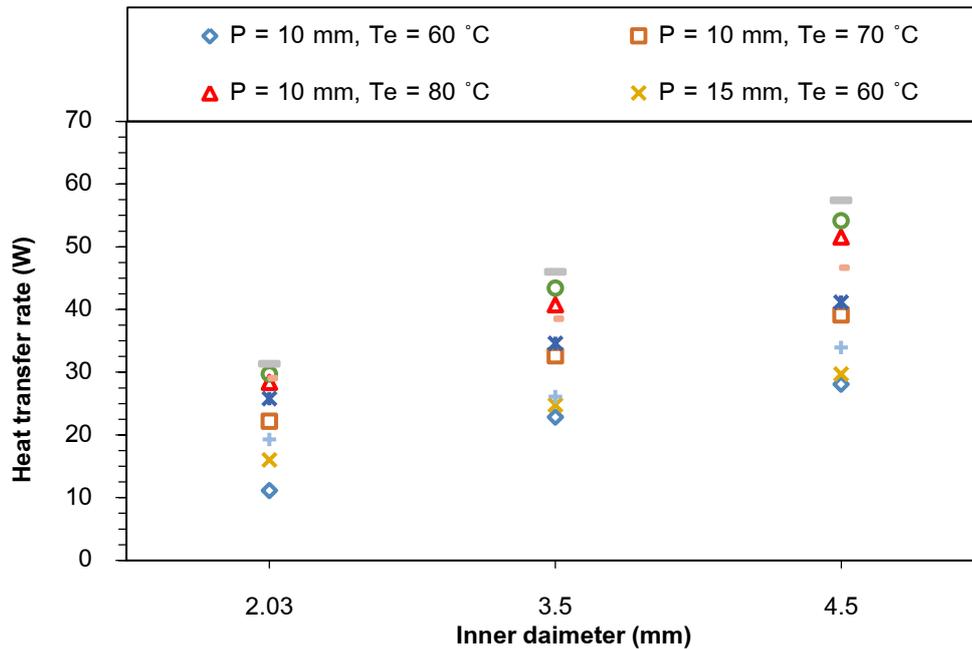


Figure 4 Variation of heat transfer rate with inner diameter at coil diameter = 50 mm

โดยใช้น้ำเป็นสารทำงานพบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อขนาด 4.5 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิทำระเหย 80 องศาเซลเซียส ระยะพิทช์ 20 มิลลิเมตร ให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุดคือ 57.39 วัตต์ รองลงมาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 3.5 มิลลิเมตร อุณหภูมิส่วนทำระเหย 80 องศาเซลเซียส ระยะพิทช์ 20 มิลลิเมตร ให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน 45.97 วัตต์ ส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อที่ให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนน้อยที่สุดคือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 2.03 มิลลิเมตร อุณหภูมิส่วนทำระเหย 80 องศาเซลเซียส ระยะพิทช์ 20 มิลลิเมตร ซึ่งให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน 31.31 วัตต์ Figure 5 แสดงผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดคอยล์ซัด ที่อุณหภูมิส่วนทำ

ระเหยคือ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอยล์ 70 มิลลิเมตร ของสารทำงานน้ำ พบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ ขนาด 4.5 มิลลิเมตร ที่ อุณหภูมิส่วนทำระเหย 80 องศาเซลเซียส ระยะพิทช์ 20 มิลลิเมตร ให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุดคือ 65.21 วัตต์ รองลงมาคือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 3.5 มิลลิเมตร อุณหภูมิส่วนทำระเหยที่ 80 องศาเซลเซียส ระยะพิทช์ 20 มิลลิเมตร ให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน 50.87 วัตต์ ส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อที่ให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่น้อยที่สุดคือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 2.03 มิลลิเมตร อุณหภูมิส่วนทำระเหย 80 องศาเซลเซียส ระยะพิทช์ 20 มิลลิเมตร ซึ่งจะให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน 37.17 วัตต์

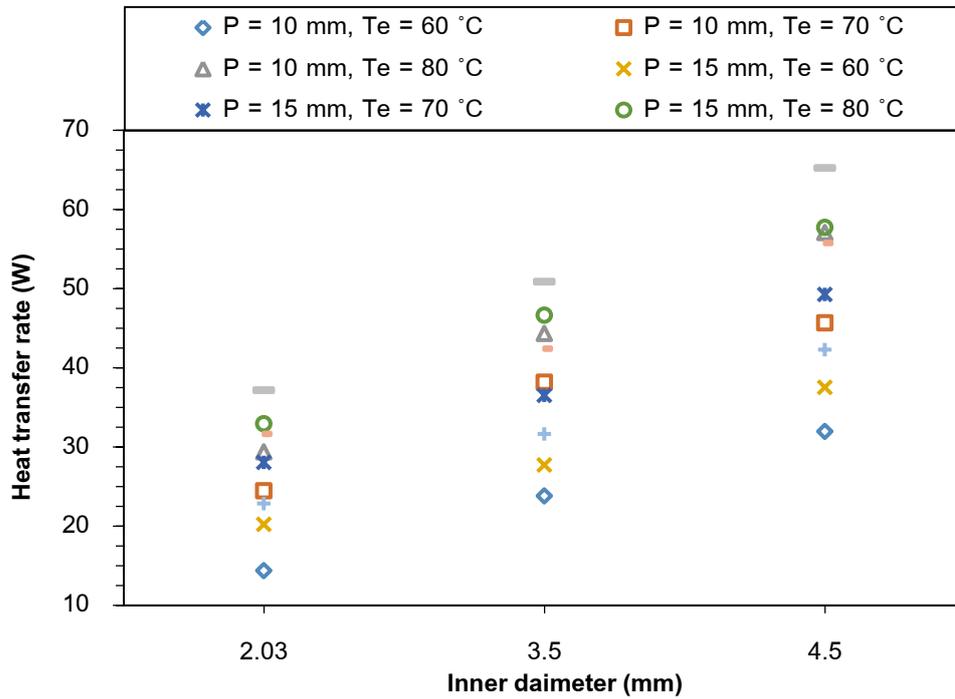


Figure 5 Variation of heat transfer rate with inner diameter at coil diameter = 70 mm

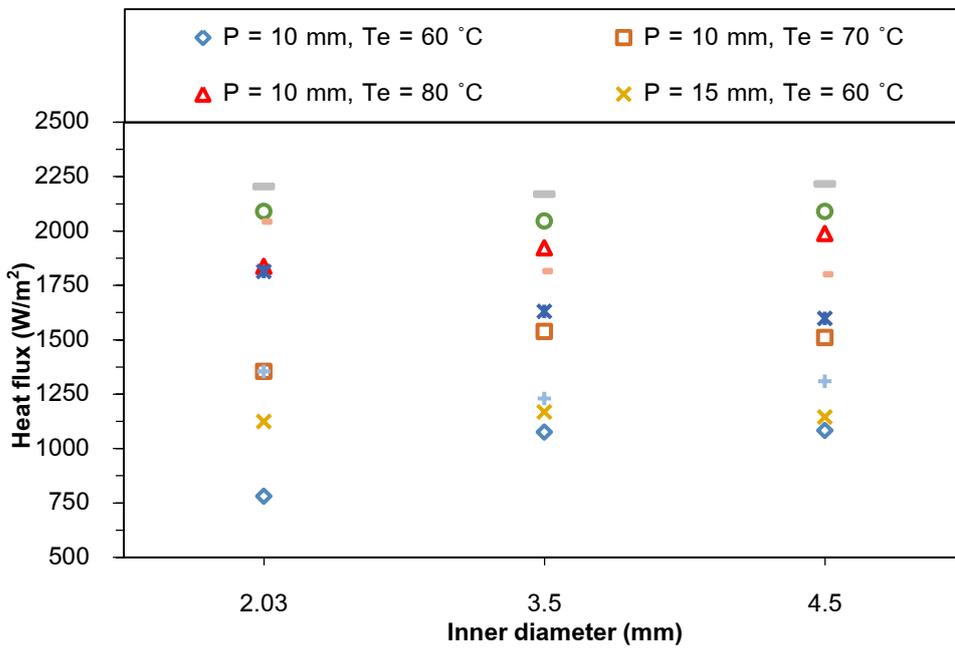


Figure 6 Variation of heat flux with inner diameter at coil diameter = 50 mm

Figure 6 แสดงผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิด

คอยล์ขด ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอยล์ 50 มิลลิเมตร ของสารทำงานน้ำ พบว่า ขนาดเส้น

ผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ ขนาด 4.5 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิมีส่วนทำระเหย 80 องศาเซลเซียส ระยะพิตช์ 20 มิลลิเมตร ให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ที่ดีที่สุดคือ 2215.7 วัตต์ต่อตารางเมตร รองลงมาคือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 2.03 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิมีส่วนทำระเหย 80 องศาเซลเซียส ระยะพิตช์ 20 มิลลิเมตร ให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 2204.35 วัตต์ต่อตารางเมตร ส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อที่ให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ที่น้อยที่สุดคือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 3.5 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิมีส่วนทำระเหย 80 องศาเซลเซียส ระยะพิตช์ 20 มิลลิเมตร ซึ่งให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน 2168.61 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยที่ Figure 7 แสดงผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดคอยล์ชนิดที่อุณหภูมิมีส่วนทำระเหย 60, 70 และ 80 องศา

เซลเซียส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอยล์ 70 มิลลิเมตร ของสารทำงานน้ำ พบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ ขนาด 2.03 มิลลิเมตร ที่ อุณหภูมิมีส่วนทำระเหย 80 องศาเซลเซียส ระยะพิตช์ 20 มิลลิเมตร ให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ที่ดีที่สุดคือ 2617.66 วัตต์ต่อตารางเมตร รองลงมาคือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 4.5 มิลลิเมตร อุณหภูมิมีส่วนทำระเหย 80 องศาเซลเซียส ระยะพิตช์ 20 มิลลิเมตร ให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 2517.84 วัตต์ต่อตารางเมตร ส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อที่ให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ที่น้อยที่สุดคือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 3.5 มิลลิเมตร อุณหภูมิมีส่วนทำระเหย 80 องศาเซลเซียส ระยะพิตช์ 20 มิลลิเมตร ซึ่งให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 2399.31 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งเห็นได้ว่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ

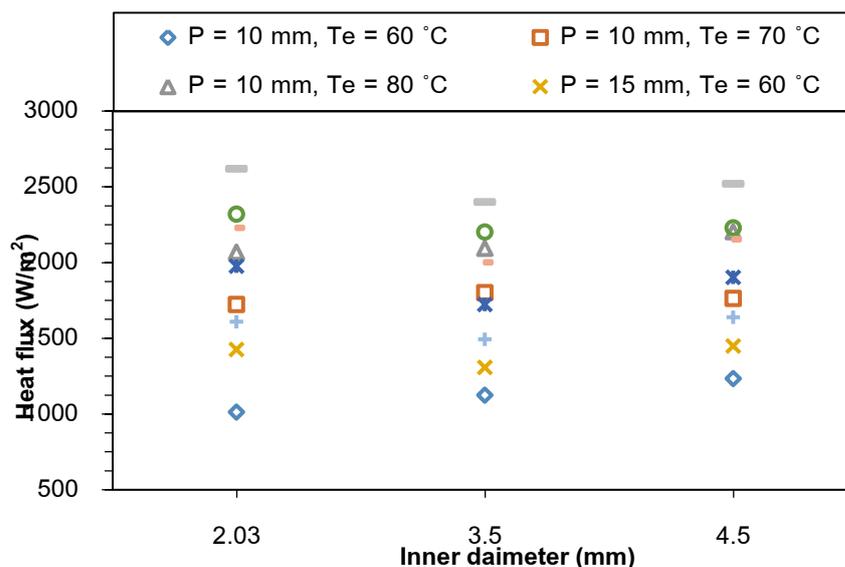


Figure 7 Variation of heat flux with inner diameter at coil diameter = 70 mm

มีผลต่อค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน โดยที่ Figure 8 แสดงผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอยล์ที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดคอยล์ขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 2.03, 3.5 และ 4.5 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอยล์ 50 และ 70 มิลลิเมตร ของสารทำงานน้ำ พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอยล์ 70 มิลลิเมตร ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 2.03 มิลลิเมตร ระยะพิทช์ 20 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นระยะพิทช์ที่ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 80 องศาเซลเซียส ให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ที่ดีที่สุดคือ 2617.66 วัตต์ต่อตารางเมตร ส่วนขนาดเส้น

ผ่านศูนย์กลางคอยล์ 50 มิลลิเมตร ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 4.5 มิลลิเมตร ระยะพิทช์ 20 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 80 องศาเซลเซียส ให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ที่ดีที่สุดคือ 2215.7 วัตต์ต่อตารางเมตร Figure 9 แสดงผลของระยะพิทช์ที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดคอยล์ขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 2.03, 3.5 และ 4.5 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอยล์ 70 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอยล์ที่ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด ใช้น้ำเป็นสารทำงาน

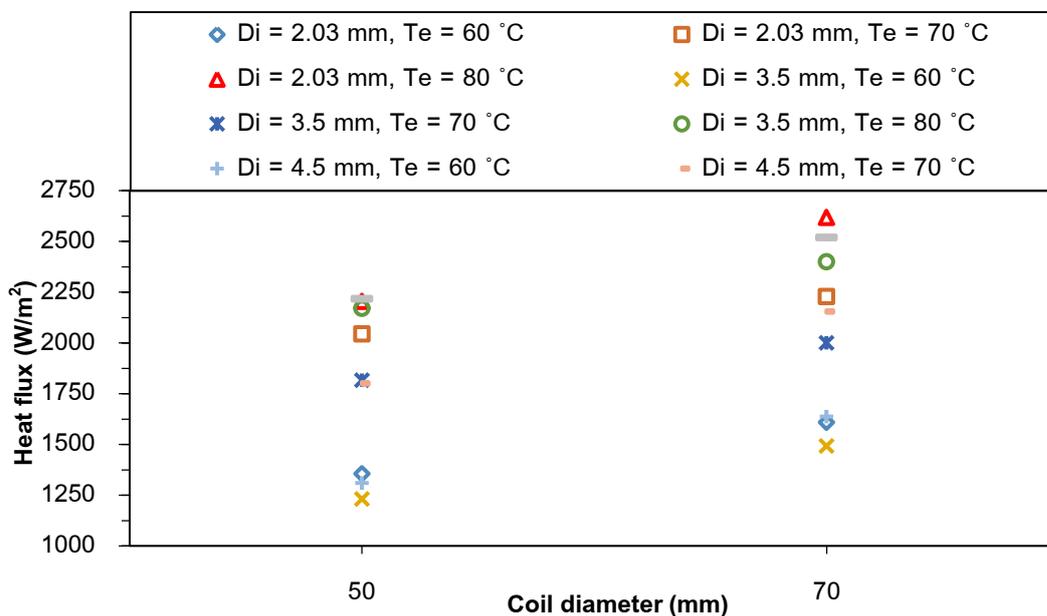


Figure 8 Variation of heat flux with coil diameter at coil pitch = 20 mm

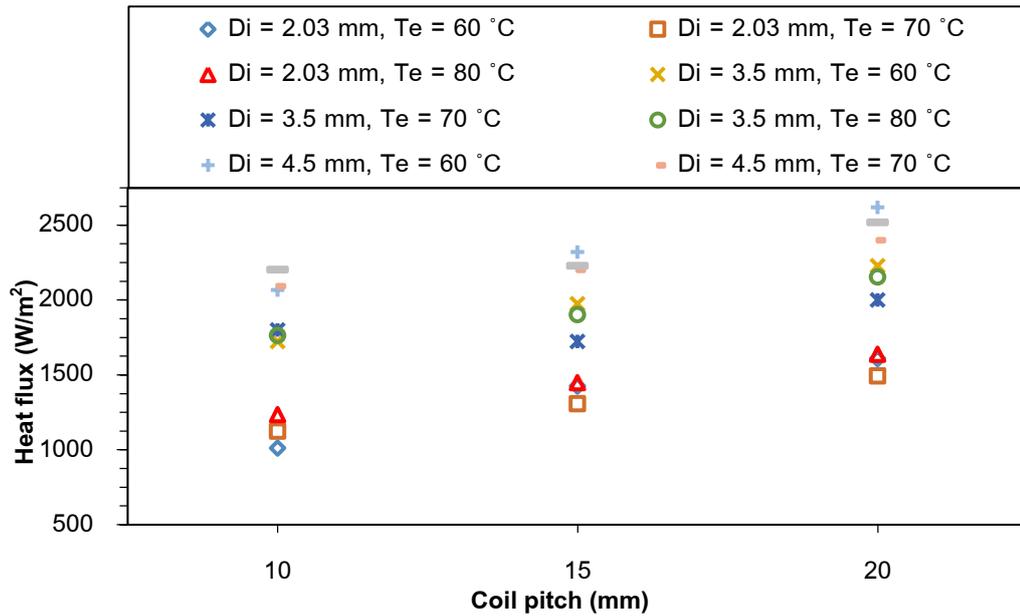


Figure 9 Variation of heat flux with coil diameter at coil diameter = 70 mm

พบว่า ระยะพิทช์ 20 มิลลิเมตร ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 2.03 มิลลิเมตร อุณหภูมิส่วนทำระเหย 80 องศาเซลเซียส ให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ที่ดีที่สุดคือ 2617.66 วัตต์ต่อตารางเมตร รองลงมาคือ ระยะพิทช์ 15 มิลลิเมตร ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 2.03 มิลลิเมตร อุณหภูมิส่วนทำระเหย 80 องศาเซลเซียส ให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ที่น้อยที่สุดคือ ระยะพิทช์ 10 มิลลิเมตร ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 4.5 มิลลิเมตร อุณหภูมิส่วนทำระเหย 80 องศาเซลเซียส ซึ่งให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 2203.11 วัตต์ต่อตารางเมตร

### สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาเชิงทดลองผลของโครงสร้างต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดคอยล์ขด ที่เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อเท่ากับ 2.03, 3.5 และ 4.5 มิลลิเมตร อุณหภูมิส่วนทำระเหยเท่ากับ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส เส้นผ่านศูนย์กลางคอยล์เท่ากับ 50 และ 70 มิลลิเมตร และระยะพิทช์ เท่ากับ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร ทำการทดลองที่มุมเอียง 90 องศา ความยาวส่วนควบแน่นเท่ากับความยาวส่วนทำระเหยที่ 1500 มิลลิเมตร และความยาวส่วนกันความร้อนเท่ากับ 100 มิลลิเมตร โดยใช้น้ำเป็นสารทำงานในท่อด้วยอัตราการเติมสารทำงานร้อยละ 30 ของปริมาตรโดยรวมของส่วนทำระเหย จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1) ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดคอยล์ขดพบว่า เมื่อ

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อความร้อนเพิ่มขึ้นจะให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนเพิ่มขึ้น ตามไปด้วย โดยที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4.5 มิลลิเมตร ให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด แต่อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ที่ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาดเล็กกว่าจะให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนแล้วท่อที่มีขนาดเล็กจะมีพื้นที่น้อยกว่าท่อที่มีขนาดใหญ่ แต่ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ได้ให้ค่าไม่แตกต่างกันมากนัก จึงส่งผลให้ท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาดเล็กมีอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่า

2) ผลของเส้นผ่านศูนย์กลางคอยล์ที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนวงรอบชนิดคอยล์ขดพบว่า อัตราการถ่ายเทความร้อนจะให้ค่าเพิ่มขึ้นตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอยล์ที่มากขึ้น โดยจะให้ถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุด เมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหย 80 องศาเซลเซียส รองลงมาคือ 70 และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เนื่องจากที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอยล์ที่ใหญ่กว่าเมื่อพิจารณาที่ความยาวท่อเท่ากันจะมีจำนวนขดของคอยล์ที่น้อยกว่า ทำให้สารทำงานภายในท่อสามารถเคลื่อนที่จากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่นได้สะดวกกว่า

3) ผลของระยะพิตช์ที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนวงรอบชนิดคอยล์ขด พบว่า ขนาดของระยะพิตช์มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน โดยที่ระยะพิตช์ 20 มิลลิเมตร ให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุด เนื่องจากความห่างของระยะพิตช์ที่ยาวกว่า

ระยะ 15 และ 10 มิลลิเมตร จะส่งผลทำให้สารทำงานเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ดี

4) ผลของโครงสร้างต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดคอยล์ขดพบว่า ที่เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 2.03 มิลลิเมตร อุณหภูมิส่วนทำระเหย 80 องศาเซลเซียส เส้นผ่านศูนย์กลางคอยล์ 70 มิลลิเมตรและระยะพิตช์ 20 มิลลิเมตรให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่ค่าเท่ากับ 2617.66 วัตต์ต่อตารางเมตร ดังนั้นในการประยุกต์ใช้งานจึงขึ้นอยู่กับ เงื่อนไขและข้อจำกัดต่าง ๆ ในการออกแบบ เนื่องจากการออกแบบให้ท่อความร้อนมีเส้นผ่านศูนย์กลางท่อและเส้นผ่านศูนย์กลางคอยล์ที่ขนาดใหญ่ ก็จะส่งผลให้งบประมาณที่ใช้เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ หน่วยวิจัยท่อความร้อนและการออกแบบเครื่องมือทางความร้อน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

## เอกสารอ้างอิง

1. สัมพันธ์ ฤทธิเดช. เทคโนโลยีท่อความร้อน. มหาสารคาม: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม; 2553.
2. Jie Yi, Zhen-Hua Liu, Jing Wang. Heat transfer characteristics of the evaporator section using small helical coiled pipes in a looped heat pipe, Applied Thermal Engineering 2003; 23: 89-99.
3. N. Pipatpaiboon, S. Rittidech, N. Huchaiyaphum, W. Dangton, P. Meena. Effect of Working Temperature on Heat

- Transfer Characteristic of Helix Oscillating Heat Pipe (HOHP). The Fourth International Conference on Science, Technology and Innovation for Sustainable Well-Being (STISWB IV), 10-12 August 2012; Thailand. 2012. P. 121-124.
4. T. Wessapan, T. Borirak, S. Teeksap. A Development of a Portable Air Conditioning-Heat Pump Unit using Helical Coil Heat Exchanger. The 2010 International Conference on Mechanical and Aerospace Engineering (CMAE 2010), 2010 April 16-18; 2010. P.186-190.