

การศึกษาการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด
Heat Transfer Study of Helical Loop Heat Pipe

ปริญญานิพนธ์

ของ

บดีนทร์	กระมลวงศ์	54010310445
อนุวัฒน์	บรรณารักษ์	54010310497

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม



คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ได้พิจารณาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้วเห็นสมควรรับเป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โสภณ แคนสี)

กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ธวัชชัย คุณะโคตร)

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรพัฒน์ ขมภูคำ)

มหาวิทยาลัยมหาสารคามได้อนุมัติให้รับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เกสร วงศ์เกษม)
หัวหน้าสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรพัฒน์ ชมภูคำ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ซึ่งกรุณาให้ความรู้ คำแนะนำอย่างเอาใจใส่ในทุกๆขั้นตอนของการทำปริญญานิพนธ์ ทั้งในการทดลองการเขียนปริญญานิพนธ์ ตลอดจนการแก้ไขปัญหาดังกล่าวจนทำให้ปริญญานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โสภา แคนสี ประธานกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ และ อาจารย์ ดร.ธวัชชัย คุณะโคตร กรรมการสอบปริญญานิพนธ์และตรวจสอบปริญญานิพนธ์ ตลอดจนการสอบวิชาการความรู้ต่างๆแนะนำการแก้ไขปัญหาดังกล่าวและอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ประสบการณ์และประสิทธิภาพวิชาความรู้ต่างๆในการทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณพินีสิตปริญญาเอก สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คือ คุณสุรียันต์ สมศรี ที่คอยให้คำแนะนำความช่วยเหลือ ในการทดลองและจัดทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้ตลอดมา

ขอขอบพระคุณหน่วยวิจัยท่อความร้อนและออกแบบเครื่องมือทางความร้อน คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ซึ่งให้ความอนุเคราะห์ยืมอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองและจัดทำปริญญานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ให้กำเนิดเลี้ยงดูและคอยให้กำลังใจ เอาใจใส่ดูแลและให้การสนับสนุนทุกสิ่งทุกอย่างด้วยดี โดยเฉพาะการให้การศึกษาที่ดีแก่ผู้จัดทำตลอดมา

หากเนื้อหาหรือข้อมูลต่างๆในปริญญานิพนธ์นี้มีผลประโยชน์ในการศึกษาค้นคว้าและผู้ทำวิจัยท่านอื่นๆผู้จัดทำขอขอบคุณความดีทั้งหลายนี้ให้แก่บุคคลทุกท่านที่กล่าวมา หายที่สุดนี้หากปริญญานิพนธ์เล่มนี้มีข้อบกพร่องหรือผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำต้องกราบขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

บดินทร์ กระมูลวงศ์
อนุวัฒน์ บรรณารักษ์

ชื่อเรื่อง	การศึกษาการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด
ผู้วิจัย	นายบัณฑิต กระจมุลวงศ์ นายอนุวัฒน์ บรรณารักษ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรพัฒน์ ชมภูคำ
ปริญญา	วศ.บ. สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่พิมพ์ 2558

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ตัวแปรทดสอบในการทดลองนี้ ประกอบด้วยเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 2 ค่าเท่ากับ 1.77 และ 2.03 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว 3 ค่า เท่ากับ 50, 70 และ 90 มิลลิเมตร และระยะพิตช์ 3 ค่า เท่ากับ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร และการติดตั้งวาล์วก้นกลับ ทำการทดลองที่มุมเอียง 90 องศา ความยาวส่วนควบแน่นเท่ากับความยาวส่วนทำระเหยที่ 1,000 มิลลิเมตร และความยาวส่วนกันความร้อน เท่ากับ 100 มิลลิเมตร อุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 องศาเซลเซียส ใช้ R-11 เป็นของไหลทำงานด้วย อัตราการเติมสารทำงานร้อยละ 70 ของปริมาตรของท่อทั้งหมด ผลการทดลองพบว่า ค่าการถ่ายเท ความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อและการลดลงขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางเกลียวและระยะพิตช์ ที่สภาวะทดสอบเดียวกันท่อความร้อนที่ติดตั้งวาล์วก้นกลับจะให้ค่าการ ถ่ายเทความร้อนสูงกว่าแบบไม่ติดตั้งวาล์วก้นกลับ เมื่อเปรียบเทียบในการทดสอบนี้ท่อความร้อนแบบ วงรอบชนิดเกลียวขดที่เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 2.03 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งวาล์วก้นกลับ อุณหภูมิส่วน ทำระเหย 70 องศาเซลเซียส เส้นผ่านศูนย์กลางคอยล์ 50 มิลลิเมตร และระยะพิตช์ 10 มิลลิเมตร ให้ค่า การถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่ค่าเท่ากับ 51.76 วัตต์



TITLE	Heat Transfer Study of Helical Loop Heat Pipe
AUTHOR	Mr. Badin Kamoolwong Mr. Anuwat Bannarak
ADVISOR	Asst.Prof.Teerapat Chompookham,D.Eng.
DEGREE	B.Eng. (Mechanical Engineering)
UNIVERSITY	Maharakham University YEAR 2015

ABSTRACT

The aim of this senior project is to study on heat transfer behavior in a helical loop heat pipe (HLHP). The tested parameters of the helical loop heat pipe are two inner diameters ($D_i = 1.77$ and 2.03 mm), three coil diameters ($D_c = 50, 70$ and 90 mm), three pitches lengths ($P = 10, 15$ and 20 mm) and check valve installation. Heat transfer experiments are carried out for an inclination angle ($\alpha = 90^\circ$), condenser section length ($L_c = 1000$ mm), evaporator section length ($L_e = 1000$ mm), adiabatic section length = 100 mm and evaporator temperature ($T_e = 70^\circ\text{C}$). R-11 used as the working fluid with 70% filling ratio by total volume of the tube. The experimental results showed that the heat transfer tends to increase with the increase of inner diameter and reduction of coil diameter and pitch length. The heat pipe with check valve leads to higher heat transfer than that with no check valve for similar operating conditions. In comparison, the helical loop heat pipe with check valve, $D_i = 2.03$ mm, $T_e = 70^\circ\text{C}$, $D_c = 50$ and $P = 10$ mm yields the highest heat transfer about 51.76 W.

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ทฤษฎีของท่อความร้อน	5
2.2 หลักการทำงานของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด	8
2.3 คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ...	9
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	10
3 วิธีดำเนินการศึกษา	13
3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	13
3.1.1 ตัวแปรต้น	13
3.1.2 ตัวแปรตาม	13
3.1.3 ตัวแปรควบคุม	13
3.2 ชุดการทดลอง	14
3.3 อุปกรณ์กรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	15
3.4 ขั้นตอนการทดลอง	18
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล	19
4 ผลการทดลองและวิจารณ์การทดลอง	20
4.1 ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อที่มีต่อการถ่ายเทความร้อน	20
4.2 ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อที่มีต่อการถ่ายเทความร้อน ต่อหน่วยพื้นที่	24
4.3 ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวที่มีต่อการถ่ายเทความร้อน และอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่	28
4.4 ผลของระยะพิชช์ที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่	36

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.5 อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อที่มีการติดตั้งวาล์วกันกลับ และไม่มีการติดตั้งวาล์วกันกลับ	40
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	43
5.1 สรุปผลการทดลอง	43
5.2 ข้อเสนอแนะ	43
บรรณานุกรม	46
ภาคผนวก	47
ภาคผนวก ก ตัวอย่างการคำนวณ	48
ภาคผนวก ข ตารางแสดงผลการทดลอง	52
ภาคผนวก ค รายละเอียดชุดทดลอง	65
ภาคผนวก ง ตารางคุณสมบัติของสารทำงาน	73
ภาคผนวก จ อักษรย่อและสัญลักษณ์	75
ประวัติย่อผู้วิจัย	76



บัญชีตาราง[illegible]

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ข.10 อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 2.03 มิลลิเมตร ติดตั้งวาล์วกันกลับ โดยใช้ R-11 เป็นสารทำงาน อัตราการเติมสารทำงาน 70 เปอร์เซ็นต์ ระยะพิตช์ 10 มิลลิเมตร	61
ข.11 อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 2.03 มิลลิเมตร ติดตั้งวาล์วกันกลับ โดยใช้ R-11 เป็นสารทำงาน อัตราการเติมสารทำงาน 70 เปอร์เซ็นต์ ระยะพิตช์ 15 มิลลิเมตร	62
ข.12 อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 2.03 มิลลิเมตร ติดตั้งวาล์วกันกลับ โดยใช้ R-11 เป็นสารทำงาน อัตราการเติมสารทำงาน 70 เปอร์เซ็นต์ ระยะพิตช์ 20 มิลลิเมตร	63
ง.1 คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสารทำงาน R-11	73



บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 ประเภทของท่อความร้อน	7
2.2 วาล์วกันกลับ (Check valves)	7
2.3 ท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด (Helical Loop Heat Pipe; HLHP)	8
2.4 รูปทรงของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด (HLHP)	9
3.1 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง	14
3.2 Data logger ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น DX200	15
3.3 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ยี่ห้อ OMEGA Type K	15
3.4 ชุดการเดินสารทำงาน	16
3.5 เครื่องวัดความเร็วลม	17
3.6 เครื่องทำสุญญากาศ	17
4.1 ความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.77 มิลลิเมตร ติดตั้งวาล์วกันกลับ ...	20
4.2 ความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.03 มิลลิเมตร ติดตั้งวาล์วกันกลับ	21
4.3 ความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.77 มิลลิเมตร ไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับ	22
4.4 ความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.03 มิลลิเมตร ไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับ ...	23
4.5 ความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.77 มิลลิเมตร ติดตั้งวาล์วกันกลับ	24
4.6 ความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.03 มิลลิเมตร ติดตั้งวาล์วกันกลับ	25
4.7 ความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.77 มิลลิเมตร ไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับ	26
4.8 ความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.03 มิลลิเมตร ไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับ	27

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

[illegible]

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ

หน้า

- 4.20 ความสัมพันธ์ของระยะพิตช์ต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ของท่อความร้อน
แบบวงรอบชนิดเกลียวชุด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.03 มิลลิเมตร ไม่ติดตั้งวาล์ว
กันกลับ 39
- 4.21 ความสัมพันธ์ของท่อ 1.77 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งวาล์วกันกลับและไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับ
ต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวชุด 40
- 4.22 ความสัมพันธ์ของท่อ 2.03 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งวาล์วกันกลับและไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับ
ต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวชุด 41



1.1 หลักการและเหตุผล

ปัจจุบันมีอัตราการใช้พลังงานในงานอุตสาหกรรมและการดำเนินชีวิตของมนุษย์มากขึ้น ในขณะที่แหล่งพลังงานของโลกมีปริมาณลดลงเรื่อยๆ ปัญหาการขาดแคลนพลังงานในอนาคตจึงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ การนำพลังงานมาใช้อย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยลดหรือแก้ไขปัญหานี้ได้ ในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ได้มีการปล่อยปริมาณความร้อนที่เหลือใช้ทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์เป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดการสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์อย่างมากมาย วิธีการหนึ่งที่สามารถช่วยประหยัดพลังงานได้คือการนำพลังงานความร้อนทิ้งมาใช้ให้เป็นประโยชน์

ท่อความร้อน (Heat pipe) คือ อุปกรณ์อย่างง่ายซึ่งมีความสามารถถ่ายเทความร้อนจากจุดหนึ่งไปยังจุดอื่นๆ ได้รวดเร็วมากโดยเราเปรียบเทียบกับตัวนำยิ่งยวด (Superconductor) ซึ่งสามารถถ่ายเทความร้อนได้ทั้งหมดโดยไม่มีการสูญเสีย ท่อความร้อน (Heat pipe) ถูกคิดค้นในช่วงประมาณปี ค.ศ. 1950 และได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในช่วงตั้งแต่ ค.ศ. 1970 เป็นต้นมาและค้นคว้าพัฒนามาถึงปัจจุบันมีเวลามากกว่า 60 ปีแล้วโดยแรกทีเดียวเริ่มต้นในด้านเทคโนโลยีอวกาศ ดาวเทียม โรงไฟฟ้า นิวเคลียร์ โดยในระยะหลัง 10-15 ปี จนถึงปัจจุบันท่อความร้อนได้ถูกนำมาใช้ในการลดความร้อนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เช่นคอมพิวเตอร์หรือนำไปใช้ด้านประหยัดพลังงานและแลกเปลี่ยนความร้อนในอุตสาหกรรมทั่วไป

ท่อความร้อนแบบธรรมชาติ (Thermosyphon) ท่อความร้อนแบบธรรมชาติหรือเทอร์โมไซฟอน นั้น จัดเป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่สามารถถ่ายเทความร้อนได้โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานภายนอก ทำงานโดยใช้หลักการส่งถ่ายความร้อนจากความร้อนแฝงของสารทำงานภายในท่อ ซึ่งสารทำงานระเหยโดยการรับความร้อนจากแหล่งความร้อนและถ่ายเทความร้อนโดยการควบแน่นหลังจากถ่ายเทความร้อนให้กับแหล่งความเย็น ทั้งนี้ยังมีท่อความร้อนที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น โดยท่อความร้อนที่พัฒนามาจากท่อความร้อนแบบธรรมชาติ สามารถแบ่งได้เป็น 3 แบบ ท่อความร้อนชนิดสั่นปลายปิด (Closed-end oscillating heat pipe, CEOHP) ท่อความร้อนชนิดล้นวงรอบ (Closed-loop oscillating heat pipe, CLOHP) และท่อความร้อนชนิดล้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (Closed-loop oscillating heat pipe with check valve, CLOHP/CV)

ท่อความร้อนแบบล้นวงรอบ (Closed-loop oscillating Heat Pipe) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถแลกเปลี่ยนความร้อนได้โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานภายนอกเหมือนกับเทอร์โมไซฟอน มีลักษณะเป็นระบบปิด ประกอบด้วย 3 ส่วนเหมือนกับเทอร์โมไซฟอน คือ ส่วนทำระเหย (L_e) ส่วนกันความร้อน (L_g) ส่วนควบแน่น (L_c) สามารถทำงานได้โดยเมื่อสารทำงานถูกบรรจุลงในท่อที่ทำมาจากท่อคาปิลารีซึ่งอยู่ในสถานะของเหลวอิ่มตัวเกิดการเดือดแบบฟองและรวมตัวเป็นก้อนไอ (Vapor slug) โดยความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอและลอยผ่านส่วนกันความร้อนไปส่วนควบแน่นซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่า ก้อนไอจะเกิดการควบแน่นและยุบตัวลงไปในที่สุด ดังนั้นสารทำงานที่เป็นก้อนไอจึงสามารถถ่ายเทความร้อนจาก

ปลายด้านหนึ่งไปสู่อีกปลายด้านหนึ่งได้ โดยในงานวิจัยนี้จะศึกษาเกี่ยวกับท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด (Helical Loop Heat Pipe; HLHP)

ท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด (Helical Loop Heat Pipe; HLHP) เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดหนึ่งโดยถูกพัฒนามาจากท่อความร้อนแบบส้นวงรอบที่สามารถนำมาใช้สำหรับการระบายความร้อนจากอุปกรณ์ที่ความร้อนสูง เช่น CPU ของคอมพิวเตอร์ หรือใช้กับระบบที่ต้องการให้มีการกระจายอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอ ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักเหมือนท่อแบบธรรมดาและท่อความร้อนแบบส้นวงรอบ คือ ส่วนทำระเหย (evaporator section) ส่วนกักความร้อน (adiabatic section) และส่วนควบแน่น (condenser section) ทำงานโดยอาศัยหลักการส่งถ่ายความร้อนจากความร้อนแฝงของสารทำงานภายในท่อส่งถ่ายความร้อนภายในท่อดูดซับความร้อนจากแหล่งความร้อนสูงเข้าสู่สารทำงานที่บรรจุภายในส่วนทำระเหย หากสารทำงานดังกล่าวได้รับความร้อนเพียงพอแล้วจะกลายเป็นไอ ซึ่งสารทำงานที่กลายเป็นไอก็จะลอยตัวขึ้นสู่ด้านบน (ส่วนระบายความร้อน) ไอของสารทำงานมีค่าสูงมากจึงสามารถถ่ายเทความร้อนจากปลายด้านหนึ่ง ไปสู่ปลายอีกด้านหนึ่งได้ โดยมีอุณหภูมิแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จากนั้นสารทำงานที่เป็นไอก็จะถูกถ่ายเทความร้อนออกไปยังแหล่งความร้อนต่ำที่นำมาระบายความร้อน เช่น น้ำหรืออากาศ สารทำงานดังกล่าวนี้จะเกิดการควบแน่นกลับเป็นของเหลวไหลกลับลงมาสู่ส่วนทำระเหยเพื่อรับความร้อนอีกครั้งท่อความร้อนแบบธรรมดานี้ก็ยังมีข้อจำกัดในการทำงานอยู่เช่นในกรณีที่ไอของสารทำงานไหลขึ้นไปหาส่วนควบแน่นอาจจะพาเอาหยดสารทำงานที่แตกตัวจากสารทำงานที่เป็นของเหลวในเวลาที่ไหลสวนทางกันขึ้นไปด้วยทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ไม่ดีเท่าที่ควร จากปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าว จึงมีการพัฒนาสร้างท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด (Helical Loop Heat Pipe; HLHP) เพื่อแก้ปัญหานี้ เพราะเส้นทางการไหลของไอสารทำงานและสารทำงานที่ควบแน่นแล้วไหลแยกทางกัน นอกจากนี้ยังได้ติดตั้งวาล์วกันกลับ (Non-Return valve หรือ Check valve) เข้ามาช่วยในการควบคุมทิศทางการไหลของไอ ซึ่งวาล์วกันกลับนี้ เป็นวาล์วทำหน้าที่บังคับให้การไหลเป็นไปในทิศทางเดียวไม่เกิดการไหลย้อนกลับเพื่อป้องกันปัญหาต่างๆ ของระบบที่อาจจะเกิดขึ้น จึงทำให้แก้ปัญหาที่เกิดจากการไหลสวนทางกัน อย่างไรก็ตามสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ยังขึ้นอยู่กับตัวแปรอีกหลายตัวแปร เช่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อไอ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อของเหลว สัดส่วนการเติมสารทำงาน และชนิดของสารทำงาน เป็นต้น ซึ่งตัวแปรเหล่านี้ยังไม่มีการศึกษาที่ชัดเจนจึงเป็นแนวทางในการศึกษาของงานวิจัยนี้

ดังนั้น ปริญญานิพนธ์นี้จึงมุ่งที่จะศึกษาถึง ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด (Helical Loop Heat Pipe; HLHP) และทำการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองที่มีการติดตั้งวาล์วกันกลับ (HLHP/CV) และชุดการทดลองที่ไม่ได้ติดตั้งวาล์วกันกลับ เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขดเพื่อใช้ในการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาถึงการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ และที่ไม่ได้ติดตั้งวาล์วกันกลับ

1.2.2 เพื่อศึกษาถึงผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ เส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียว อุณหภูมิทำงาน และระยะพิตช์ต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ตัวแปรต้น

1.3.1.1 ท่อความร้อนแบบ HPLP ทำจากท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.77, 2.03 มิลลิเมตร หนา 0.5 มิลลิเมตร

1.3.1.2 เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว 50, 70 และ 90 มิลลิเมตร

1.3.1.3 ระยะพิตช์ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร

1.3.1.4 สารทำงาน คือ R-11

1.3.1.5 อัตราการเติมสารทำงาน 70 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรรวม

1.3.2 ตัวแปรตาม

1.3.2.1 คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อน

1.3.3 ตัวแปรควบคุม

1.3.3.1 ความเร็วของอากาศเข้าส่วนควบแน่น 1 เมตรต่อวินาที

1.3.3.2 มุมเอียง 90 องศา

1.3.3.3 อุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 องศาเซลเซียส

1.3.3.4 ความยาวของท่อทองแดงในส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นยาวเท่ากันทั้งสองส่วนคือ 1,000 มิลลิเมตร

1.3.3.5 ความยาวส่วนกันความร้อน 100 มิลลิเมตร

1.3.3.6 ติดตั้งวาล์วกันกลับ 1 ตัว ต่อชุดท่อความร้อน HLHP

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ทราบถึงการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ และที่ไม่ได้ติดตั้งวาล์วกันกลับ

1.4.2 ได้ทราบถึงผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ เส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียว และระยะพิตช์ต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับและไม่ได้ติดตั้งวาล์วกันกลับ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับท่อความร้อน ดังต่อไปนี้

- 2.1 ทฤษฎีของท่อความร้อน
- 2.2 หลักการทำงานของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด
- 2.3 คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด
- 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีของท่อความร้อน

ท่อความร้อนคืออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดหนึ่งซึ่งส่งผ่านความร้อนจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิสูงไปยังแหล่งระบายความร้อนที่อุณหภูมิต่ำโดยใช้ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอและความร้อนสัมผัสของสารทำงานที่บรรจุอยู่ภายในท่อความร้อน ท่อความร้อนเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีสมรรถนะสูงและเป็นที่ยอมรับในงานทางวิศวกรรม เช่น การใช้เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในเครื่องดีเซลความร้อนกลับ การระบายความร้อนเฉพาะจุดและการระบายความร้อนในแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์

ท่อความร้อนแบบสั่น สร้างจากท่อคาปิลารีที่ดัดโค้งงอไปมาเมื่อเดิมสารทำงานที่เข้าไปในท่อความร้อน สารทำงานจะก่อตัวในรูปของแท่งของเหลว (Slugs) และฟองไอ (Vapor bubbles) การถ่ายเทความร้อนจะเกิดจากการเคลื่อนที่แบบสั่นของสารทำงานที่เกิดขึ้นด้วยการกระตุ้นด้วยตัวเอง (Self-excited oscillation) จากการเดือดและการกลั่นตัวของสารทำงาน ข้อดีของท่อความร้อนแบบสั่นคือ สร้างขึ้นได้โดยง่าย สมรรถนะทางความร้อนสูงรวดเร็วต่อการตอบสนองทางความร้อน สามารถทำงานได้ที่ผลต่างอุณหภูมิต่ำ และทำงานได้ในหลายๆตำแหน่ง ท่อความร้อนแบบสั่นนั้นแบ่งเป็น 3 แบบ นั่นคือ ท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด (Closed-end pulsating heat pipe หรือ CEPHP) ท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบ (Closed-loop pulsating heat pipe หรือ CLPHP) และท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (Closed-loop pulsating heat pipe with check valve หรือ CLPHP/CV) ซึ่งลักษณะการทำงานของสารทำงานภายในท่อความร้อนแบบสั่นแต่ละชนิดมีลักษณะการสั่นและการไหลเวียนแตกต่างกันไป โดยท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับจะมีการไหลเวียนของสารทำงานไปในทิศทางเดียวทำให้การส่งถ่ายความร้อนจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่นมีความต่อเนื่องจึงมีสมรรถนะทางความร้อนที่ดีกว่าท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิดและท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบที่สารทำงานภายในมีการไหลกลับไปกลับมาระหว่างส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นแต่การสร้างท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับนั้นมีความยุ่งยากทั้งในการ



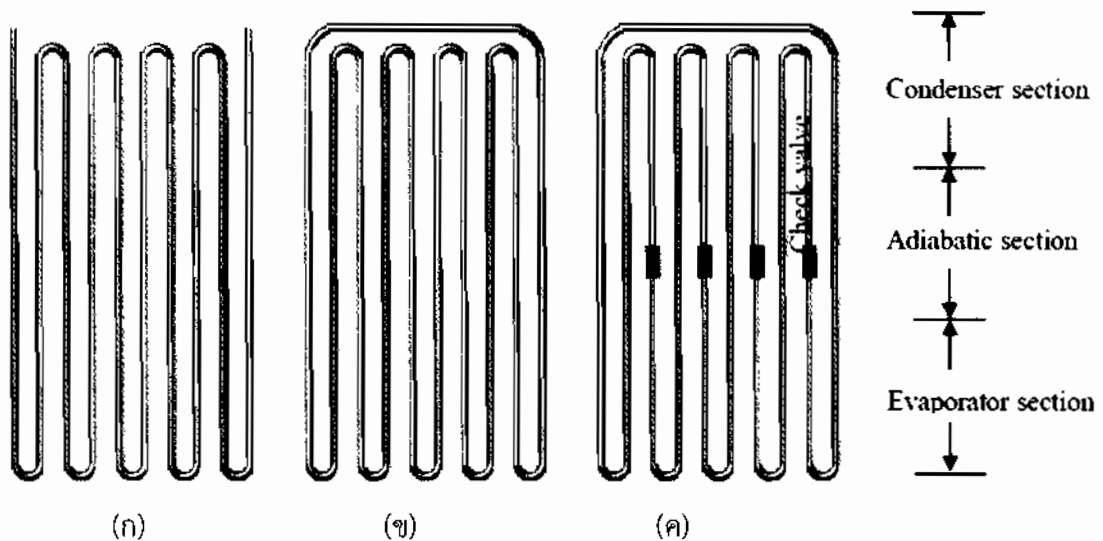
สร้างวาล์วกันกลับและการประกอบวาล์วกันกลับเข้าไปในท่อความร้อน ทำให้มีแนวความคิดที่จะปรับปรุงโครงสร้างของท่อความร้อนใหม่ให้สารทำงานไหลเวียนในทิศทางเดียวอย่างต่อเนื่องด้วยการสร้างท่อความร้อนแบบสั้นจากท่อคาปิลารีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่สม่ำเสมอ (Closed loop pulsating heat pipe with non-uniform diameter หรือ CLPHP/NUD) เพื่อใช้บังคับให้เกิดการไหลเวียนของสารทำงานไปในทิศทางเดียวและมีสมรรถนะทางความร้อนสูงขึ้นเช่นเดียวกับท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (พฤทธิ์ สกลช่างสังจะทัย, 2553)

ท่อความร้อนแบบสั้นเริ่มมีการศึกษาครั้งแรกในช่วงปี ค.ศ. 1990 โดย Akachi ได้จดสิทธิบัตรทะเบียนท่อความร้อนชนิดนี้ขึ้น ท่อความร้อนแบบสั้นสร้างจากท่อคาปิลารีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางวิกฤติ นำมาขดกลับไปกลับมา ท่อความร้อนแบบสั้นจัดเป็นอุปกรณ์ที่สามารถแลกเปลี่ยนความร้อนได้โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานจากภายนอกสามารถแบ่งโครงสร้างออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนทำระเหย (Evaporator section) ส่วนกันความร้อน (Adiabatic section) และส่วนควบแน่น (Condenser section) เมื่อเติมสารทำงานเข้าไปในท่อความร้อนแบบสั้นที่มีสภาพเป็นสุญญากาศ สารทำงานภายในท่อจะจัดเรียงเป็นฟองไอ (Vapor bubbles) และแท่งของเหลว (Liquid plugs) สลับกันอยู่ภายในท่อตามแนวยาวของท่อ เมื่อปลายโค้งเลี้ยวด้านหนึ่งได้รับความร้อน ก้อนของเหลวและฟองไอย่จะเกิดการเคลื่อนที่ตามแนวแกนด้วยการกระตุ้นการเคลื่อนที่ด้วยตัวมันเองโดยมีสาเหตุ มาจากการขับเคลื่อนของแรงดันฟองไอยู่ที่รุนแรงและรวดเร็ว เนื่องจากการเดือดแบบฟองและการระเหยของฟิล์มของเหลว แล้วนำความร้อนไปถ่ายเทยังปลายโค้งเลี้ยวอีกด้านหนึ่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ทำให้ฟองไอย่เกิดการควบแน่นแล้วไหลกลับส่วนทำระเหยและทำงานเป็นวัฏจักรดังกล่าวต่อไปท่อความร้อนแบบสั้นสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบได้ตามลักษณะรูปร่างดังนี้

ท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิด (Closed-end pulsating heat pipe) สร้างจากท่อคาปิลารีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กๆนำมาคดไปมาแล้วเชื่อมปิดปลายทั้งสองข้างแยกออกจากกัน ดังภาพประกอบ 2.1 (ก) ดังนั้นในกรณีนี้การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นจากการเดือดแบบฟอง (Nucleate boiling) ของสารทำงานมีทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวท่อ

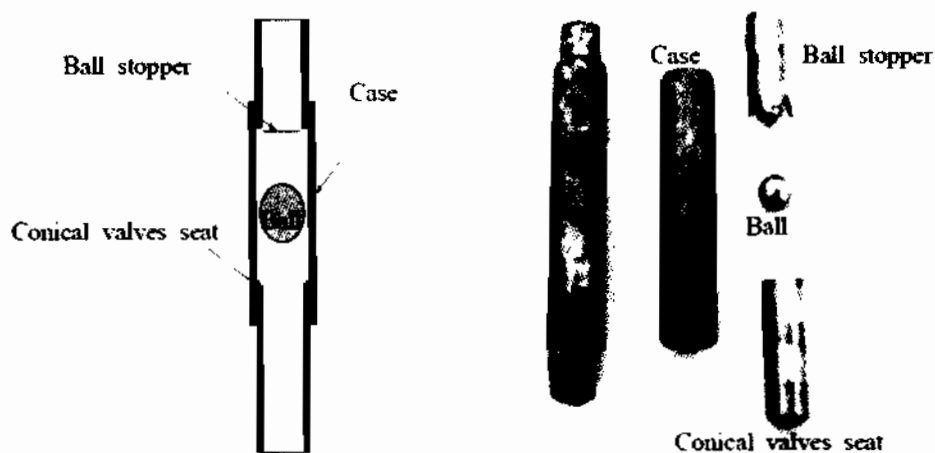
ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ (Closed-loop pulsating heat pipe) สร้างจากท่อคาปิลารีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กๆ นำมาขดไปมาแล้วเชื่อมปลายทั้งสองเข้าด้วยกันให้มีรูปร่างแบบวงรอบปิด เพื่อช่วยลดปัญหาการขัดขวางการเคลื่อนที่ที่บริเวณปลายปิด ดังภาพประกอบ 2.1 (ข) ดังนั้นในกรณีนี้การถ่ายเทความร้อนจะสูงกว่ากรณีแรกและเกิดจากการเคลื่อนไปมาของของไหลทำงานในแนวแกนของท่อสลับทิศทางไปมา จึงเป็นสาเหตุให้บางครั้งการไหลเวียนหยุดชั่วขณะ

ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่มีวาล์วกันกลับ (Closed-loop pulsating heat pipe with check valves) โดยมีการติดตั้งวาล์วกันกลับไว้ในท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบตั้งแต่ 1 ตัวขึ้นไป เพื่อให้ของไหลทำงานนำความร้อนไหลเวียนไปในทิศทางที่กำหนดได้อย่างง่ายขึ้น ดังภาพประกอบ 2.1 (ค) ซึ่งท่อความร้อนชนิดนี้มีค่าการส่งถ่ายความร้อนที่สูงที่สุด แต่เป็นการยากในการที่จะสร้างและติดตั้งวาล์วกันกลับขนาดเล็ก



ภาพประกอบ 2.1 ประเภทของท่อความร้อน (ก) ท่อความร้อนแบบส้นปลายปิด (ข) ท่อความร้อนแบบส้นวงรอบ (ค) ท่อความร้อนแบบส้นวงรอบที่มีวาล์วกันกลับ

วาล์วกันกลับ (Check valves) วาล์วกันกลับทำหน้าที่บังคับทิศทางการไหลของสารทำงานภายในท่อให้มีทิศทางการไหลไปในทิศทางเดียวกัน วาล์วกันกลับทำจากท่อทองแดงประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 4 ส่วน คือ ปลอกวาล์วกันกลับ (Case), Ball stopper, Conical valves seat และ Ball ซึ่งมีลักษณะการทำงาน คือ Ball ประกอบอยู่ภายในปลอกวาล์วกันกลับและปลอกวาล์วกันกลับถูกประกอบปิดที่ปลายทั้ง 2 ด้านด้วย Ball stopper และ Conical valves seat โดย Ball stopper ประกอบอยู่ที่ปลายส่วนด้านบนของปลอกวาล์วกันกลับทำหน้าที่หยุดการเคลื่อนที่ของ Ball และมีช่องว่างให้สารทำงานหรือฟองไอเคลื่อนที่ไหลผ่านได้ และ Conical valves seat ประกอบที่ปลายด้านล่างของปลอกวาล์วกันกลับมีลักษณะเป็นกรวยรองรับกับ Ball และทำหน้าที่ป้องกันการไหลย้อนกลับของสารทำงานซึ่งมีลักษณะดังแสดงในภาพประกอบ 2.2



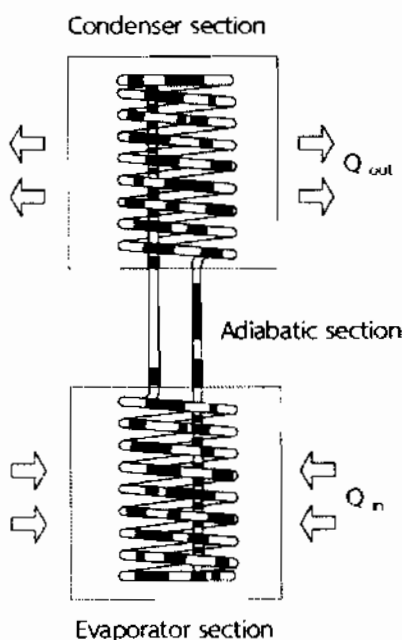
ภาพประกอบ 2.2 วาล์วกันกลับ (Check valves)

ท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด (Helical Loop Heat Pipe; HLHP) เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดหนึ่งโดยถูกพัฒนามาจากท่อความร้อนแบบส้นวงรอบที่สามารถนำมาใช้สำหรับการระบายความร้อนจากอุปกรณ์ที่ความร้อนสูงหรือใช้กับระบบที่ต้องการให้มีการกระจายอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอ โดยประกอบด้วย 3 ส่วนหลักเหมือนท่อแบบธรรมดาและท่อความร้อนแบบส้นวงรอบ คือ ส่วนทำระเหย (evaporator section) ส่วนกันความร้อน (adiabatic section) และส่วนควบแน่น (condenser section) ทั้งนี้ท่อความร้อนชนิดนี้ยังไม่มีผู้ศึกษาอย่างมาก

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้มีความสนใจที่จะศึกษาท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขดและตัวแปรต่างๆ เพื่อที่จะพัฒนาท่อความร้อนให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นโดยทำการออกแบบส่วนควบแน่นและส่วนทำระเหยใหม่ให้มีลักษณะเกลียวขดซึ่งรายละเอียดจะกล่าวถึงในบทถัดไป

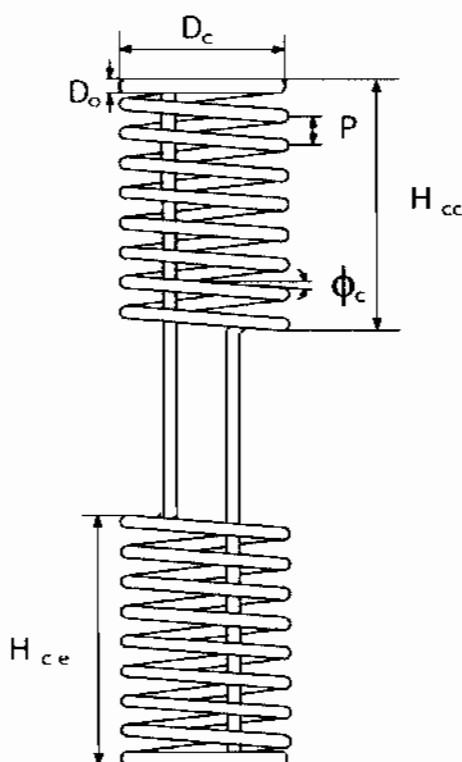
2.2 หลักการทำงานของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด (Helical Loop Heat Pipe : HLHP)

ท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด (HLHP) เป็นการประยุกต์มาจากท่อความร้อนวงรอบ โดยทำการออกแบบในส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นให้มีลักษณะเป็นท่อดัดโค้งเป็นขด โดยในส่วนกันความร้อนเพื่อช่วยเพิ่มขีดจำกัดในการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนท่อทั่วไปไม่ว่าจะเป็นขีดจำกัดการท่วม (Flooding limit) ขีดจำกัดการเดือด (Boiling limit) และวิธีการนี้มีข้อดีก็คือทำให้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีขนาดเล็กลงต้องการเนื้อที่ในการติดตั้งน้อย เมื่อของไหลที่เป็นสารทำงานไหลภายในท่อที่มีความโค้งด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ซึ่งจะช่วยเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนให้สูงขึ้นดังแสดงในภาพประกอบ 2.3



ภาพประกอบ 2.3 ท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด (Helical Loop Heat Pipe; HLHP)

ท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด (HLHP) ได้มีการกำหนดรายละเอียดในส่วนต่างๆ ดังนี้ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว (D_c) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ (D_o) ระยะพิตช์ของเกลียว (P) ความสูงของเกลียวที่ส่วนทำระเหย (H_{ce}) ความสูงของเกลียวที่ส่วนควบแน่น (H_{cc}) และมุมเกลียว (ϕ_c) ดังแสดงในภาพประกอบ 2.4



ภาพประกอบ 2.4 รูปทรงของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด (HLHP)

2.3 คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด (HLHP)

คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด (HLHP) เมื่อให้ความร้อนเข้าไปยังส่วนทำระเหย สารทำงานจะรับความร้อนจะเกิดการเดือดแบบฟองและก่อตัวเป็นก้อนไอและก้อนของเหลวเคลื่อนที่จากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าและเกิดการควบแน่นทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้น ในการหาค่าการถ่ายเทความร้อนไปยังส่วนควบแน่นคำนวณจากวิธีการ Calorimeter โดยการวัดค่าอุณหภูมิทั้งขาเข้าและขาออกของสารรับความร้อนที่ส่วนควบแน่นจากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณโดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$Q = \dot{m}C_p(T_{co} - T_{ci}) \quad (2.1)$$

โดย	Q	คือ ค่าการถ่ายเทความร้อน หน่วย (W)
	$\dot{m}$	คือ ค่าอัตราการไหลเชิงมวล หน่วย (kg/s)
	C_p	คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ หน่วย (J/kg·°C)
	T_{co}	คือ ค่าอุณหภูมิของอากาศขาออกส่วนควบแน่น หน่วย (°C)
	T_{ci}	คือ ค่าอุณหภูมิของอากาศขาเข้าส่วนควบแน่น หน่วย (°C)

โดยอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ หาได้จาก

$$q = \frac{Q}{A_c} = \frac{Q}{\pi D_o L_c} \quad (2.2)$$

โดย	q	คือ ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ หน่วย (W/m ²)
	Q	คือ ค่าการถ่ายเทความร้อน หน่วย (W)
	D_o	คือ ค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ หน่วย (m)
	A_c	คือ ค่าพื้นที่ผิวทั้งหมดในส่วนควบแน่น หน่วย (m ²)
	L_c	คือ ค่าความยาวในส่วนควบแน่น หน่วย (m)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กษิติศ ลาภเจริญเกียรติและเสาวณิต ภูคาม (2557) ได้ศึกษาเชิงทดลองผลของการใช้สารทำงานต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดคอยล์ขด โดยสารทำงานที่ได้ทำการศึกษาในการทดลองนี้ ประกอบด้วย สารทำงานทั้งหมด 3 ชนิดด้วยกัน คือ น้ำ, เอทานอล และ R-134a มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 3 ค่าเท่ากับ 2.03, 3.5 และ 4.5 มิลลิเมตร อุณหภูมิส่วนทำระเหย 3 ค่าเท่ากับ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส เส้นผ่านศูนย์กลางคอยล์ 3 ค่าเท่ากับ 50, 70 และ 90 มิลลิเมตร และระยะพิตช์ คือ 15 มิลลิเมตร ทำการทดลองที่มุมเอียง 90 องศา ความยาวส่วนควบแน่นเท่ากับ ความยาวส่วนทำระเหยที่ 1,500 มิลลิเมตร และความยาวส่วนกันความร้อนเท่ากับ 100 มิลลิเมตร น้ำเป็นของไหลทำงานในท่อด้วยอัตราการเติมสารทำงานร้อยละ 50 ของปริมาตรโดยรวมของส่วนทำระเหย ผลการทดลองพบว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนในสารทำงาน R-134a มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าสารทำงานเอทานอลและน้ำตาม ลำดับ โดยท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดคอยล์ขดที่ใช้ R-134a เป็นสารทำงาน เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 4.5 มิลลิเมตร อุณหภูมิส่วนทำระเหย 80 องศาเซลเซียส เส้นผ่านศูนย์กลางคอยล์ 90 มิลลิเมตร ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่ค่าเท่ากับ 83.80 วัตต์

ณัฐกฤตา จันดาโคตรและประภัทร์ ขจัดพาล (2557) การศึกษาผลของมุมเอียงต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน แบบวงรอบชนิดคอยล์ขด ตัวแปรทดสอบของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดคอยล์ขด ประกอบด้วยมุมเอียง 5 ค่าได้แก่ 0, 20, 40, 60, 80 และ 90 องศา เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (D) 3 ค่าได้แก่ 2.03, 3.5 และ 4.5 มิลลิเมตร อุณหภูมิส่วนทำระเหย (T_e) 3 ค่าได้แก่ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส และระยะพิตช์ (P) 3 ค่าได้แก่ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร ความยาวส่วนควบแน่น (H_{cc}) และความยาวส่วนทำระเหย (H_{ce}) คือ 1,500 มิลลิเมตร และความยาวส่วนกันความร้อน คือ 100 มิลลิเมตร โดยใช้ น้ำ เป็นของไหลทำงานในท่อด้วยอัตราการเติมสารทำงานร้อยละ 50 ของปริมาตรโดยรวมของส่วนทำระเหย ผลการทดลองพบว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนเมื่อมุมเอียงในช่วง 0-60 องศา ที่แต่ละสภาวะทดสอบให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนในค่าที่แตกต่างกัน และเมื่อค่ามุมเอียงในช่วง 60-90 องศาให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามมุมเอียงที่เพิ่มขึ้น และให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่มุมเอียงเท่ากับ 90 องศา ท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดคอยล์ขด ที่มุม 90 องศา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 4.5 มิลลิเมตร อุณหภูมิส่วนทำระเหยที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะพิตช์ 15 มิลลิเมตร จะให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด คือ 2,430.07 วัตต์ต่อตารางเมตร

วรวิมล สูงชัยและคณะ (2556) ได้ศึกษาผลของโครงสร้างต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดคอยล์ขด 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 และระยะพิตช์ 3 ค่าเท่ากับ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร ทำการทดลองที่มุมเอียง 90 องศา ความยาวส่วนควบแน่นเท่ากับความยาวส่วนทำระเหยที่ 1500 มิลลิเมตร และความยาวส่วนกันความร้อนเท่ากับ 100 มิลลิเมตร โดยใช้ น้ำ เป็นของไหลทำงานในท่อด้วยอัตราการเติมสารทำงานร้อยละ 30 ของปริมาตรโดยรวมของส่วนทำระเหย ผลการทดลองพบว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ อุณหภูมิส่วนทำระเหยเส้นผ่านศูนย์กลางคอยล์และระยะพิตช์ ท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดคอยล์ขดที่เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 4.5 มิลลิเมตร อุณหภูมิส่วนทำระเหย 80 องศาเซลเซียส เส้นผ่านศูนย์กลางคอยล์ 70 มิลลิเมตรและระยะพิตช์ 20 มิลลิเมตรให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่ค่าเท่ากับ 65.21 วัตต์

Meena et al. (2007 : 553-564) ได้ทำการออกแบบ สร้าง และทดสอบ เครื่องอุ่นอากาศที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับสำหรับลดความชื้นในระบบอบแห้ง ที่นำความร้อนกลับมาใช้ในระบบอบแห้ง อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับมีความยาวของท่อแดงทั้งหมด 3.58 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.002 เมตร ความยาวของส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นคือ 0.19 เมตร ส่วนกันความร้อนยาว 0.08 เมตร ในการทดลองจะใช้ความเร็วลมร้อน 3 ค่า คือ 0.5 0.75 และ 1 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิลมร้อน 3 ค่า คือ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์คือ 100 เปอร์เซ็นต์ สารทำงาน คือ R134a ที่อัตราการเติมสาร 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรรวม เมื่ออุณหภูมิลมร้อนที่ส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นจาก 50 ถึง 70 องศาเซลเซียส จะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อความเร็วลมร้อนเพิ่มขึ้นจาก 0.5 ถึง 1 เมตรต่อวินาที จะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลงเล็กน้อย และค่าประสิทธิภาพของเครื่องอุ่นอากาศจะลดลง ส่วนการเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนจาก 50 ถึง 70 องศาเซลเซียส ทำให้ค่าประสิทธิภาพของ

เครื่องอุ่นอากาศเพิ่มขึ้น ความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงในช่วง 54-72 เปอร์เซ็นต์ จาก 89-100 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเครื่องอุ่นอากาศที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับสามารถลดความชื้นสัมพัทธ์และประหยัดการใช้พลังงาน

Pipatpaiboon et al. (2012) ได้ทำการศึกษาความร้อนแบบสั่นชนิดใหม่ คือ ความร้อนแบบสั่นแบบขดสปริง (HOHP) โดยการนำท่อคาปิลารีมาขดเป็นสปริงแล้วเดินสารทำงานภายใน ของไหลจะถ่ายเทจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่นโดยการสั่นของท่อเหมือนกับท่อแบบสั่นทั่วไป (OHPs) แต่ลักษณะทางกายภาพของท่อความร้อนแบบ HOHP และ OHPs แตกต่างกันโดยสิ้นเชิงเพราะท่อแบบสั่นทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนเท่าๆกัน และตรงกันข้ามกันกับความร้อนแบบสั่นแบบขดสปริงที่มีส่วนที่เท่ากันที่มีมุ่งหมายให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่สูงและลดการสูญเสียความร้อน โดยศึกษาผลของอุณหภูมิการทำงานต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน HOHP ในงานวิจัยท่อความร้อนทำจากท่อทองแดงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4 มิลลิเมตร ความยาวรวมทั้งหมด 3.75 เมตร ประกอบด้วยส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นยาวเท่ากัน คือ 1.75 เมตร และส่วนกันความร้อนยาว 0.25 เมตร โดยใช้น้ำเป็นสารทำงานภายในที่อัตราการเดินสาร 50% โดยปริมาตรรวมทั้งหมด ส่วนทำระเหยได้รับความร้อนจากฮีตเตอร์และส่วนควบแน่นระบายความร้อนด้วยอากาศควบคุมความเร็วไว้ที่ 1 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิที่ส่วนกันความร้อน (อุณหภูมิทำงาน) คือ 50, 60, 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ทดลองที่มุมเอียง 20, 40, 60, 80 และ 90 องศา เทียบกับแนวระดับ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิการทำงานเพิ่มขึ้นฟลักซ์ความร้อนของท่อความร้อน HOHP ก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และฟลักซ์ความร้อนสูงสุดเกิดขึ้นที่อุณหภูมิทำงาน 70 องศาเซลเซียสที่มุมเอียง 60 องศา ได้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่หรือฟลักซ์ความร้อน คือ 3065.08 วัตต์ต่อตารางเมตร และท่อความร้อน HOHP ทำงานได้ดีที่มุมเอียงระหว่าง 60-90 องศา



บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษา

ในการดำเนินการทดสอบเพื่อที่จะทำให้การทดสอบเป็นไปอย่างถูกต้องและสำเร็จ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบถึง แผนการดำเนินการต่างๆ ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง วิธีการทดลองและการนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยจะอธิบายในรายละเอียดดังนี้

- 3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง
- 3.2 ชุดการทดลอง
- 3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง
- 3.4 ขั้นตอนการทดลอง
- 3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 ตัวแปรต้น

- 3.1.1.1 ท่อความร้อนแบบ HPLP ทำจากท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.77 และ 2.03 มิลลิเมตร หนา 0.5 มิลลิเมตร
- 3.1.1.2 เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว 50, 70 และ 90 มิลลิเมตร
- 3.1.1.3 ระยะพิตช์ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร
- 3.1.1.4 สารทำงาน คือ R-11
- 3.1.1.5 อัตราการเติมสารทำงาน 70 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรรวม

3.1.2 ตัวแปรตาม

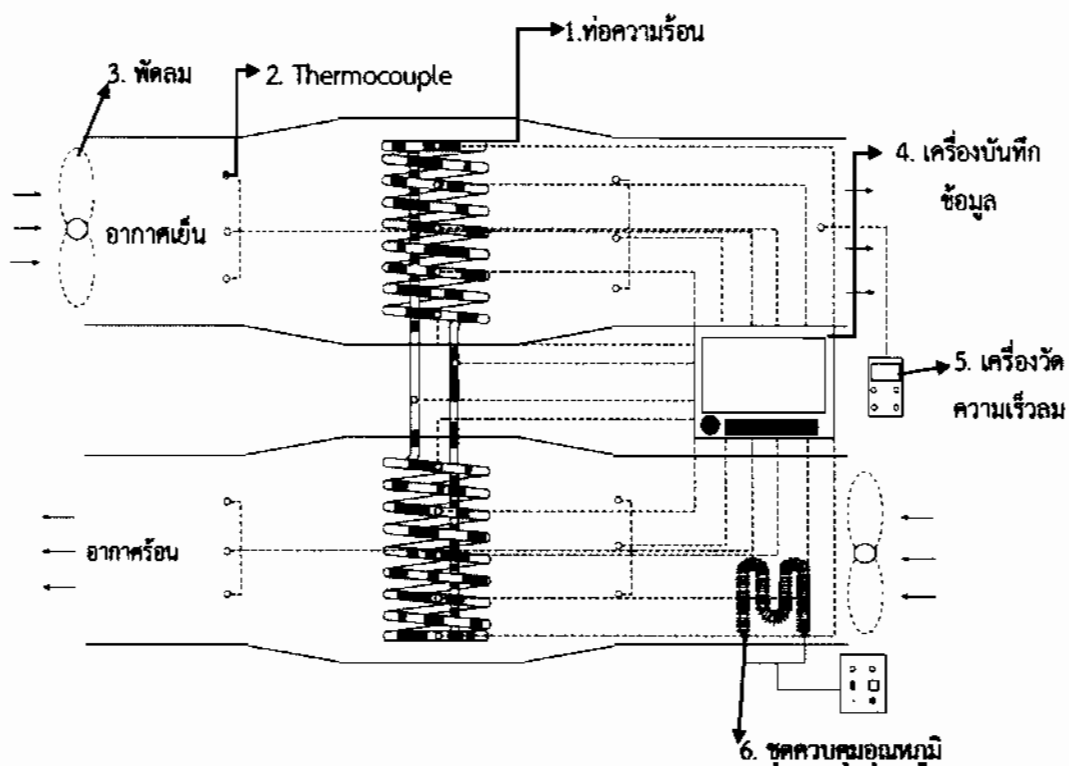
- 3.1.2.1 คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อน

3.1.3 ตัวแปรควบคุม

- 3.1.3.1 ความเร็วของอากาศขาเข้าส่วนควบแน่น 1 เมตรต่อวินาที
- 3.1.3.2 มุมเอียง 90 องศา
- 3.1.3.3 อุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 องศาเซลเซียส
- 3.1.3.4 ความยาวของท่อทองแดงในส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นยาวเท่ากันทั้งสองส่วนคือ 1,000 มิลลิเมตร
- 3.1.3.5 ความยาวส่วนกันความร้อน 100 มิลลิเมตร
- 3.1.3.6 ติดตั้งวาล์วกันกลับ 1 ตัว ต่อชุดท่อความร้อน HLHP

3.2 ชุดการทดลอง

การออกแบบชุดทดลอง HLHP จะใช้วงจรอากาศร้อน โดยในแต่ละวงจรเครื่องวัดความเร็วลม ก่อนที่จะไหลเข้าส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น ตามลำดับ ส่วนประกอบต่างๆในชุดทดสอบ ประกอบด้วยชุดอากาศ พัดลม และเครื่องบันทึกข้อมูล โดยมีรายละเอียดดังภาพประกอบ 3.1

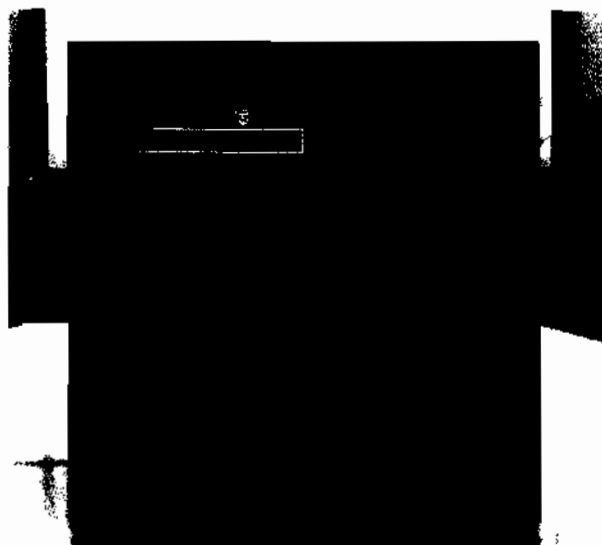


ภาพประกอบ 3.1 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

การทำการทดลองของ HLHP ดังแสดงในภาพประกอบ 3.1 จะทำการควบคุมอุณหภูมิของอากาศ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วของอากาศเข้าที่ส่วนควบแน่น 1 เมตรต่อวินาที เมื่ออากาศร้อนไหลผ่าน HLHP ในส่วนทำระเหยทำให้สารทำงานเดือดจึงเกิดการถ่ายเทความร้อนไปยังส่วนควบแน่นซึ่งมีอากาศเย็นไหลผ่าน แล้วทำการเก็บข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาค่าคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนต่อไป

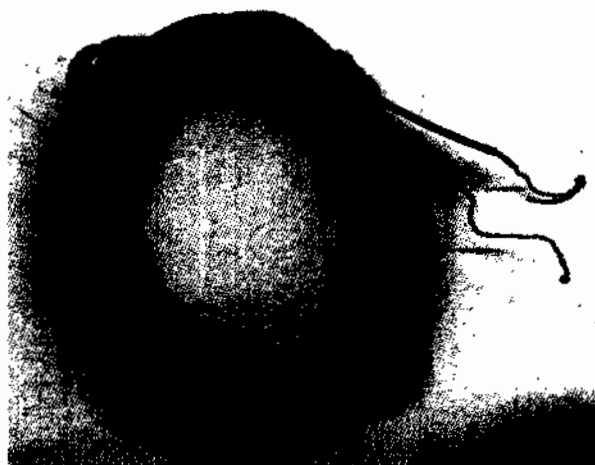
3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น DX200 ขนาด 20 ช่อง สัญญาณมีช่วงการวัดอุณหภูมิ -200 องศาเซลเซียส ถึง 1,100 องศาเซลเซียส มีความละเอียด ± 0.1 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพประกอบ 3.2



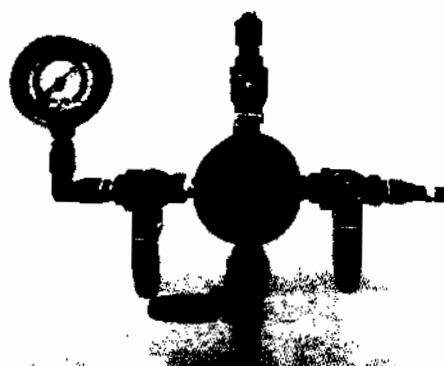
ภาพประกอบ 3.2 Data logger ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น DX200

3.3.2 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ยี่ห้อ OMEGA Type K ใช้ร่วมกับเครื่องบันทึกข้อมูล ใช้วัดอุณหภูมิของอากาศในส่วนอุณหภูมิอากาศที่ทางขาเข้าและอากาศขาออกของส่วนควบแน่น อุณหภูมิภายในท่อที่ส่วนกันความร้อน และอุณหภูมิส่วนทำระเหย ดังแสดงในภาพประกอบ 3.3



ภาพประกอบ 3.3 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ยี่ห้อ OMEGA Type K

3.3.3 ชุดการเติมสารทำงาน เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เติมสารทำงานเข้าสู่ท่อความร้อน HLHP/CV ซึ่งประกอบไปด้วย ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) วาล์วเกจวัดความดัน (Pressure gauge) และ Glass tube วัดปริมาณการเติมสารทำงาน ดังแสดงในภาพประกอบ 3.4



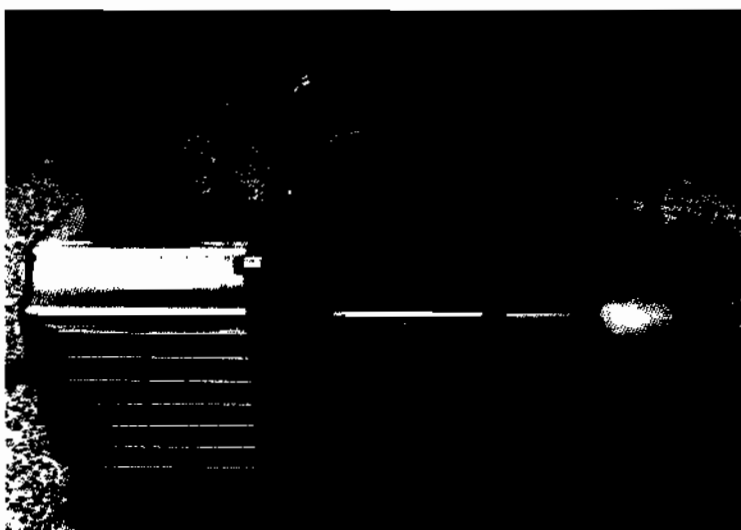
ภาพประกอบ 3.4 ชุดการเติมสารทำงาน

3.3.4 เครื่องวัดความเร็วลม โดยเครื่องวัดความเร็วลมที่ใช้เป็นแบบ pitot tube probes (0635.2045) ยี่ห้อ testo รุ่น 445 สามารถวัดความเร็วลมที่มีอุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ความแม่นยำ $\pm 0.05\%$ ดังแสดงในภาพประกอบ 3.5



ภาพประกอบ 3.5 เครื่องวัดความเร็วลม

3.3.5 เครื่องทำสุญญากาศ ใช้ทำให้ภายในท่อเป็นสุญญากาศก่อนเติมสารทำงานเข้าไปภายในท่อความร้อน HLHP/CV ดังแสดงในภาพประกอบ 3.6



ภาพประกอบ 3.6 เครื่องทำสุญญากาศ

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

ศึกษาถึงผลของเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว ระยะพิตช์ ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนแบบ HLHP และท่อ HLHP/CV โดยมีวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

1. เตรียมสารทำงานเข้าท่อความร้อนแบบ HLHP หรือ HLHP/CV
 2. ติดตั้งท่อความร้อน HLHP หรือท่อ HLHP/CV เข้ากับแท่นทดสอบ
 3. ติดตั้งส่วนทำระเหยของ HLHP หรือท่อ HLHP/CV กับชุดขดลวดความร้อน (ใช้อากาศเป็นตัวพาความร้อนและให้ตำแหน่งของส่วนทำระเหยอยู่ที่ด้านล่าง)
 4. ติดตั้งส่วนควบแน่นของ HLHP หรือท่อ HLHP/CV กับชุดระบายความร้อน (ใช้อากาศเป็นตัวระบายความร้อนและให้ตำแหน่งของส่วนควบแน่นอยู่ที่ด้านบน)
 5. ติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลที่ส่วนกันความร้อนทางขาเข้าและออกของส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น
 6. เดินเครื่องชุดขดลวดความร้อนพร้อมปล่อยอากาศร้อนเข้าสู่ส่วนทำระเหย โดยให้มีอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และปล่อยลมเย็นเข้าสู่ส่วนควบแน่น
 7. ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่เริ่มต้นที่อุณหภูมิที่ทางขาเข้าสู่ส่วนทำระเหยส่วนกันความร้อนและส่วนควบแน่น
 8. นำค่าอุณหภูมิที่แตกต่างกันทางขาเข้า และออกส่วนควบแน่นที่ได้ไปคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อ HLHP และท่อ HLHP/CV โดยสมการ (3.1)
 9. ทำการทดสอบอีกครั้งจากขั้นตอนแรกจนถึงขั้นตอนสุดท้าย โดยทำการเปลี่ยนสารทำงาน ระยะพิตช์ ขนาดท่อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว
- นำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อที่จะได้ทราบถึง ผลของเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน วาล์ว-กันกลับ ระยะพิตช์ ขนาดท่อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว และนำผลการทดลองที่ได้มาคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบ HLHP และท่อ HLHP/CV โดยแสดงผลเป็นความสัมพันธ์ในรูปแบบของกราฟที่แกนแนวนอนแทนตัวแปรต่างๆ ที่ทำการทดสอบและแกนแนวตั้งแทนค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลการถ่ายเทความร้อน สามารถหาได้จากการคำนวณโดยวิธี Calorimeter Method โดยสมการ

$$Q = \dot{m}C_p(T_{co} - T_{ci}) \quad (3.1)$$

เมื่อ	Q	คือ	ค่าการถ่ายเทความร้อน (W)
	$\dot{m}$	คือ	ค่าอัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)
	C_p	คือ	ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (J/kg.°C)
	T_{co}	คือ	ค่าอุณหภูมิของอากาศขาออกส่วนควบแน่น (°C)
	T_{ci}	คือ	ค่าอุณหภูมิของอากาศขาเข้าส่วนควบแน่น (°C)

3.5.2 การวิเคราะห์ข้อมูลของอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ คำนวณจาก

$$q = \frac{Q}{A_c} = \frac{Q}{\pi D_o L_c} \quad (3.2)$$

เมื่อ	q	คือ	ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ (W/m ²)
	Q	คือ	ค่าการถ่ายเทความร้อน (W)
	D_o	คือ	ค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ (m)
	A_c	คือ	ค่าพื้นที่ผิวทั้งหมดในส่วนควบแน่น (m ²)
	L_c	คือ	ค่าความยาวในส่วนควบแน่น (m)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์การทดลอง

จากการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด จากทดสอบสามารถแบ่งการวิเคราะห์ ตามลำดับ

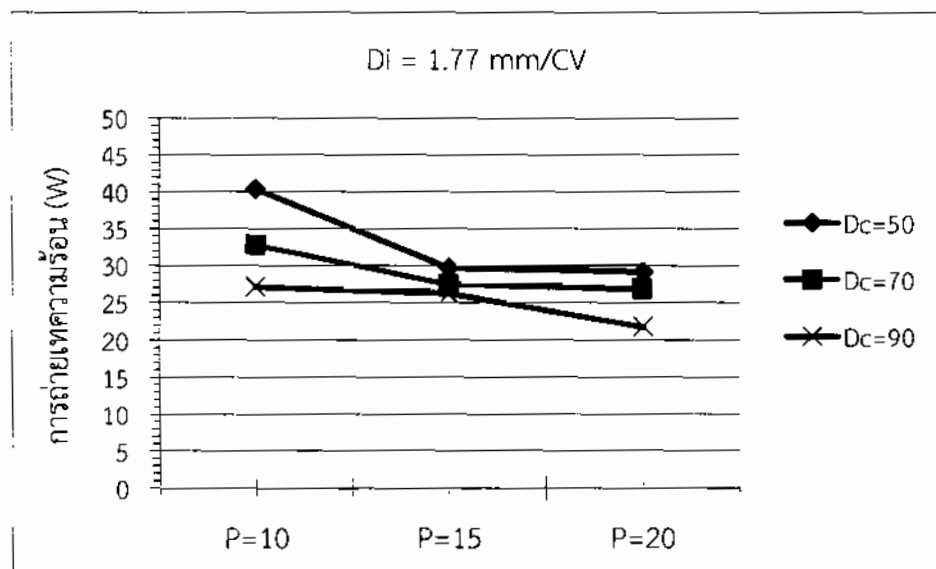
4.1 ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนและอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่

4.2 ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวท่อที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนและอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่

4.3 ผลของระยะพิตช์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนและอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่

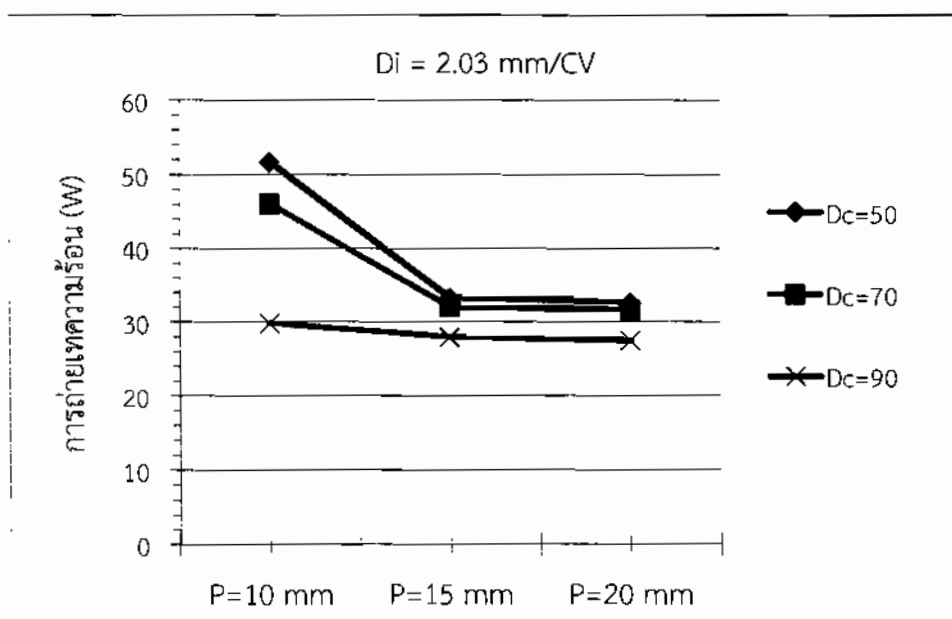
4.4 อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อที่มีการติดตั้งวาล์วก้นกลับและไม่มีการติดตั้งวาล์วก้นกลับ

4.1 ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อที่มีต่อการถ่ายเทความร้อน



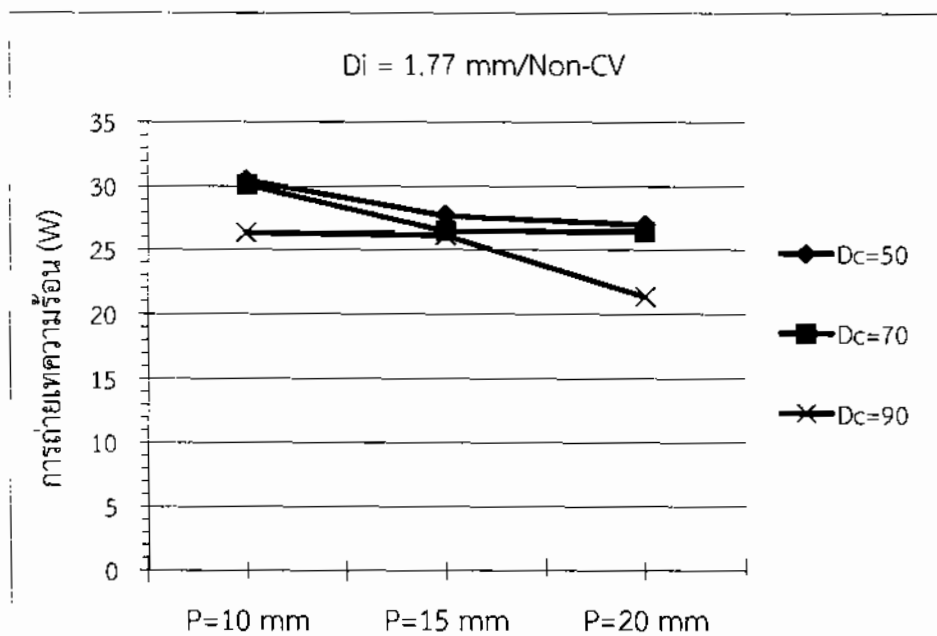
ภาพประกอบ 4.1 ความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.77 มิลลิเมตร ติดตั้งวาล์วก้นกลับ

จากภาพประกอบ 4.1 แสดงผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.77 มิลลิเมตร ติดตั้งวาล์วก้นกลับ ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 องศาเซลเซียส ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางเกลียว 50, 70 และ 90 มิลลิเมตร ที่ระยะพิทช์ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร ที่ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นยาวเท่ากัน คือ 1,000 มิลลิเมตร โดยท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่ 1.77 มิลลิเมตร ที่มีการติดตั้งวาล์วก้นกลับ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด คือ 40.33 W และน้อยสุดที่ 21.77 W



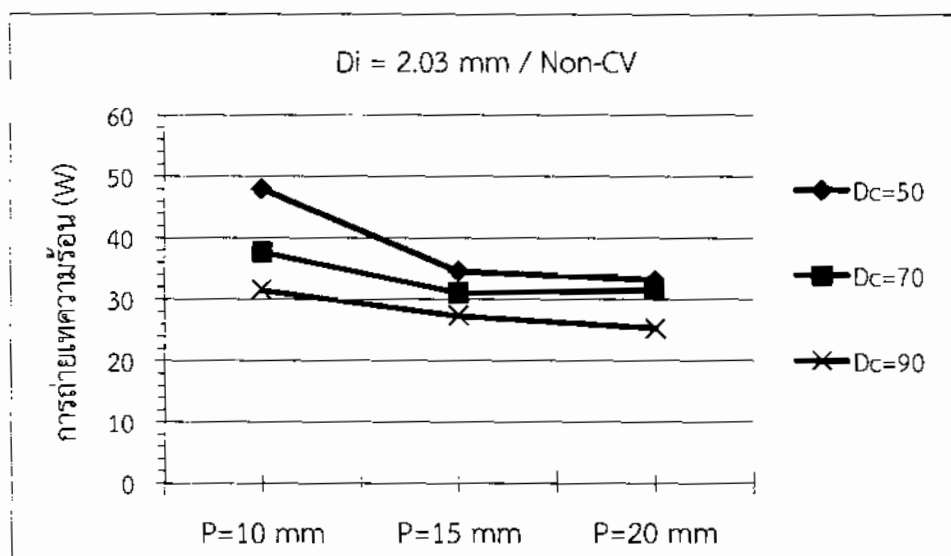
ภาพประกอบ 4.2 ความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.03 มิลลิเมตร ติดตั้งวาล์วก้นกลับ

จากภาพประกอบ 4.2 แสดงผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.03 มิลลิเมตร ติดตั้งวาล์วก้นกลับ ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 องศาเซลเซียส ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางเกลียว 50, 70 และ 90 มิลลิเมตร ที่ระยะพิทช์ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร ที่ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นยาวเท่ากัน คือ 1,000 มิลลิเมตร โดยท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่ 2.03 มิลลิเมตร ที่มีการติดตั้งวาล์วก้นกลับ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด คือ 51.71 W และน้อยสุดที่ 27.47 W



ภาพประกอบ 4.3 ความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.77 มิลลิเมตร ไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับ

จากภาพประกอบ 4.3 แสดงผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.77 มิลลิเมตร ไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับ ที่อุณหภูมิส่วนหัว 70 องศาเซลเซียส ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางเกลียว 50, 70 และ 90 มิลลิเมตร ที่ระยะพิทช์ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร ที่ความยาวส่วนหัวและส่วนควบแน่นยาวเท่ากัน คือ 1,000 มิลลิเมตร โดยท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่ 1.77 มิลลิเมตร ที่ไม่มีการติดตั้งวาล์วกันกลับ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด คือ 30.46 W และน้อยสุดที่ 21.35 W

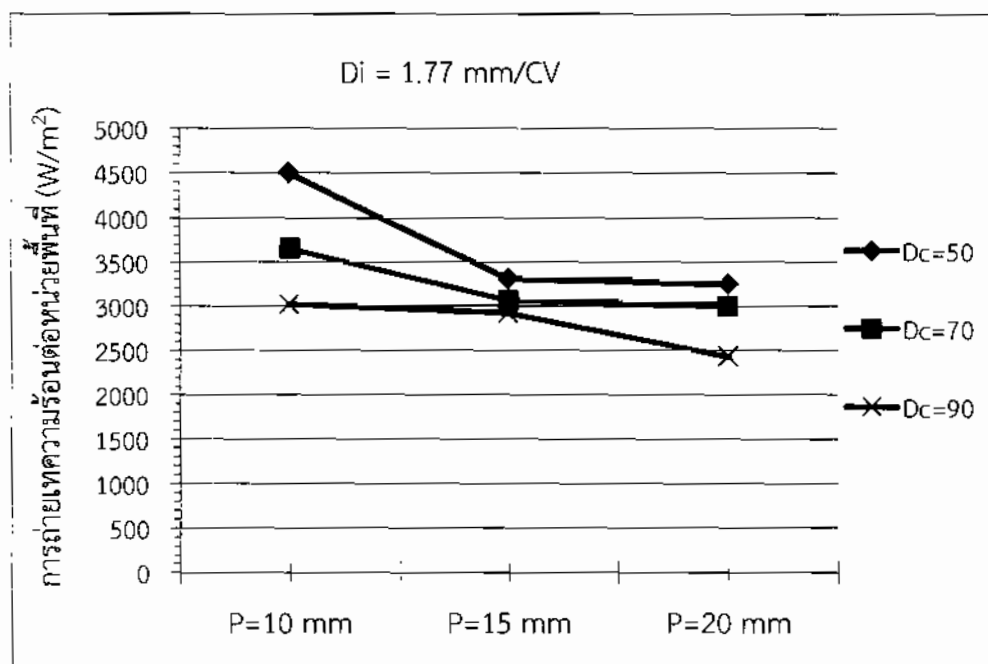


ภาพประกอบ 4.4 ความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.03 มิลลิเมตร ไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับ

จากภาพประกอบ 4.4 แสดงผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.03 มิลลิเมตร ไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับ ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 องศาเซลเซียส ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางเกลียว 50, 70 และ 90 มิลลิเมตร ที่ระยะพิทช์ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร ที่ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นยาวเท่ากัน คือ 1,000 มิลลิเมตร โดยท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่ 2.03 มิลลิเมตร ที่ไม่มีการติดตั้งวาล์วกันกลับ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด คือ 48.02 W และน้อยสุดที่ 25.26 W

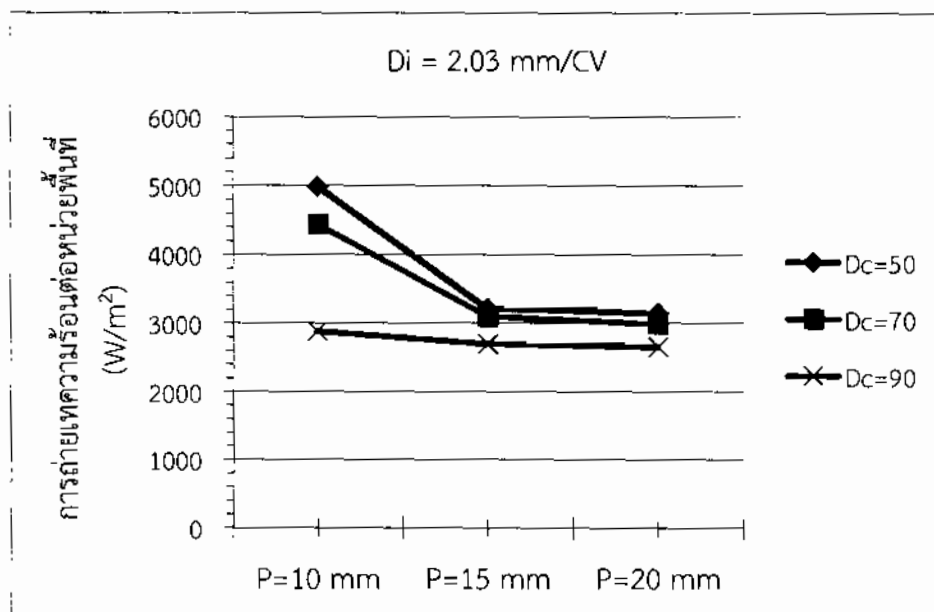
จากการศึกษาผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ ขนาด 1.77 มิลลิเมตร และ 2.03 มิลลิเมตร ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 องศาเซลเซียส ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางเกลียว 50, 70 และ 90 มิลลิเมตร ที่ระยะพิทช์ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร ที่ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นยาวเท่ากัน คือ 1,000 มิลลิเมตร ที่มีการติดตั้งวาล์วกันและไม่มีการติดตั้งวาล์วกัน พบว่า ท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อที่ใหญ่ จะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่าท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อที่มีขนาดเล็ก

4.2 ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่



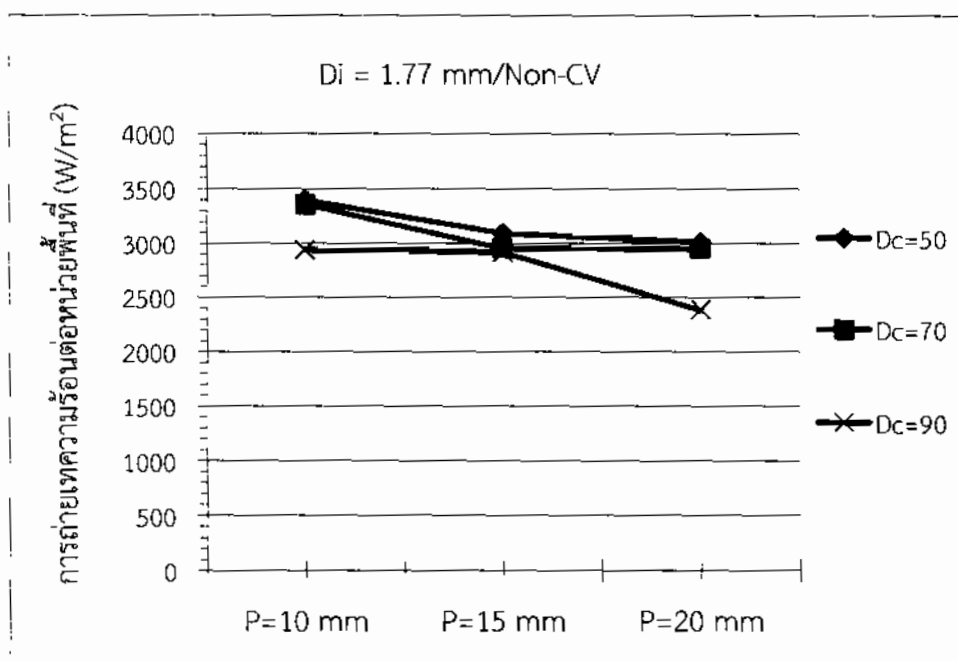
ภาพประกอบ 4.5 ความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.77 มิลลิเมตร ติดตั้งวาล์วกันกลับ

จากภาพประกอบ 4.5 แสดงผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 1.77 มิลลิเมตร ติดตั้งวาล์วกันกลับ ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 องศาเซลเซียส ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว 50, 70 และ 90 มิลลิเมตร ที่ระยะพิทช์ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร ที่ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นยาวเท่ากัน คือ 1,000 มิลลิเมตร โดยท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่ 2.03 มิลลิเมตร ที่มีการติดตั้งวาล์วกันกลับ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด คือ $4,504.73 \text{ W/m}^2$ และน้อยสุดที่ $2,431.43 \text{ W/m}^2$



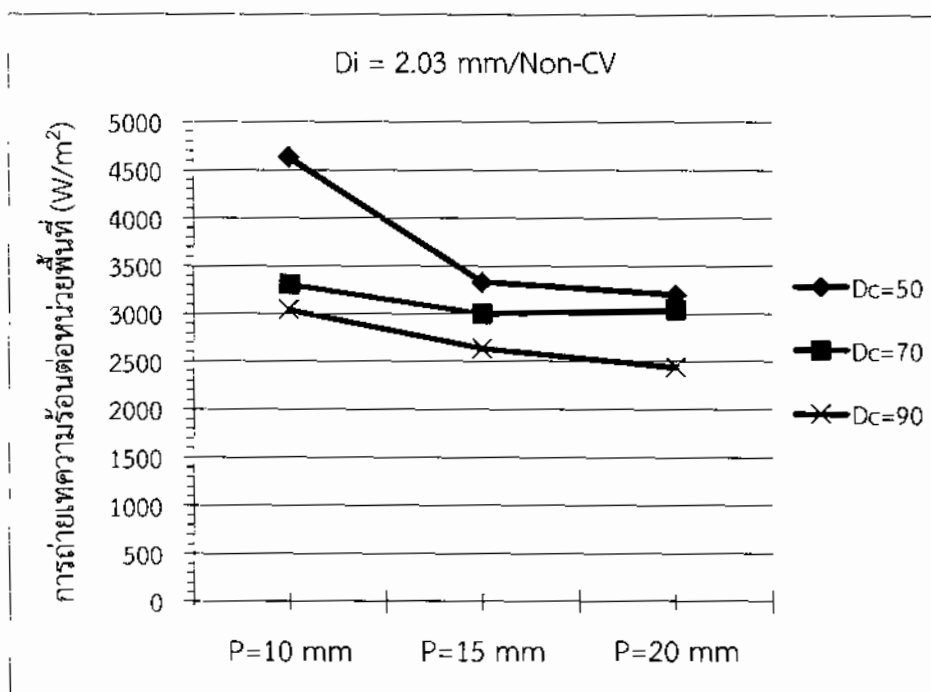
ภาพประกอบ 4.6 ความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.03 มิลลิเมตร ติดตั้งวาล์วก้นกลับ

จากภาพประกอบ 4.6 แสดงผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.03 มิลลิเมตร ติดตั้งวาล์วก้นกลับ ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 องศาเซลเซียส ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางเกลียว 50, 70 และ 90 มิลลิเมตร ที่ระยะพิทช์ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร ที่ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นยาวเท่ากัน คือ 1,000 มิลลิเมตร โดยท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่ 2.03 มิลลิเมตร ที่มีการติดตั้งวาล์วก้นกลับ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด คือ $4,992.32 \text{ W/m}^2$ และน้อยสุดที่ $2,650.32 \text{ W/m}^2$



ภาพประกอบ 4.7 ความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.77 มิลลิเมตร ไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับ

จากภาพประกอบ 4.7 แสดงผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.77 มิลลิเมตร ไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับ ที่อุณหภูมิส่วนหัวระเหย 70 องศาเซลเซียส ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางเกลียว 50, 70 และ 90 มิลลิเมตร ที่ระยะพิทช์ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร ที่ความยาวส่วนหัวระเหยและส่วนควบแน่นยาวเท่ากัน คือ 1,000 มิลลิเมตร โดยท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่ 2.03 มิลลิเมตร ที่ไม่มีการติดตั้งวาล์วกันกลับ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด คือ $3,402.34 \text{ W/m}^2$ และที่น้อยสุดที่ $2,385.27 \text{ W/m}^2$

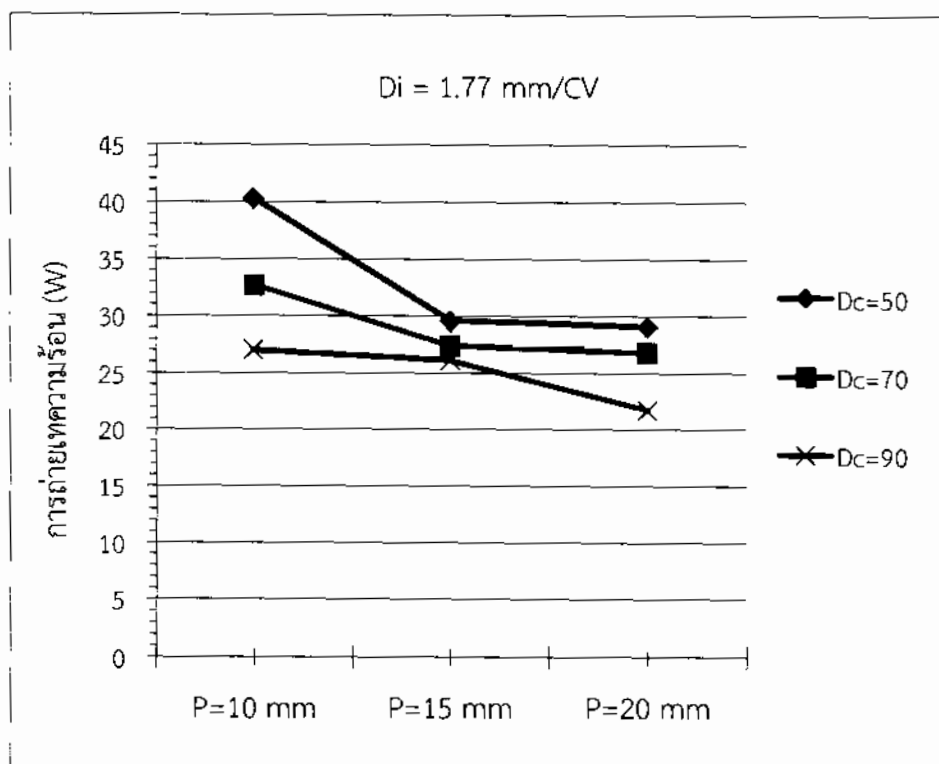


ภาพประกอบ 4.8 ความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.03 มิลลิเมตร ไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับ

จากภาพประกอบ 4.8 แสดงผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.03 มิลลิเมตร ไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับ ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 องศาเซลเซียส ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางเกลียว 50, 70 และ 90 มิลลิเมตร ที่ระยะพิตช์ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร ที่ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นยาวเท่ากัน คือ 1,000 มิลลิเมตร โดยท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่ 2.03 มิลลิเมตร ที่ไม่มีการติดตั้งวาล์วกันกลับ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด คือ $4,632.53 \text{ W/m}^2$ และที่น้อยสุดที่ $2,436.60 \text{ W/m}^2$

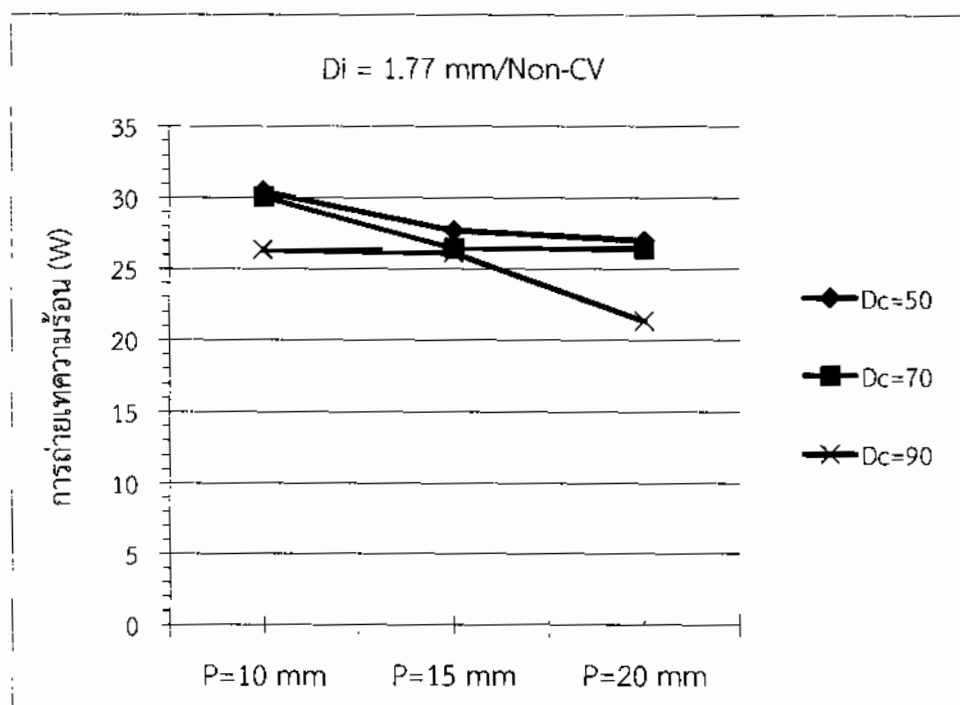
จากการศึกษาผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ ขนาด 1.77 มิลลิเมตร และ 2.03 มิลลิเมตร ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 องศาเซลเซียส ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางเกลียว 50, 70 และ 90 มิลลิเมตร ที่ระยะพิตช์ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร ที่ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นยาวเท่ากัน คือ 1,000 มิลลิเมตร ที่มีการติดตั้งวาล์วกันและไม่มี การติดตั้งวาล์วกัน พบว่า ท่อที่มีขนาดใหญ่ จะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่าท่อที่มีขนาดเล็ก

4.3 ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่



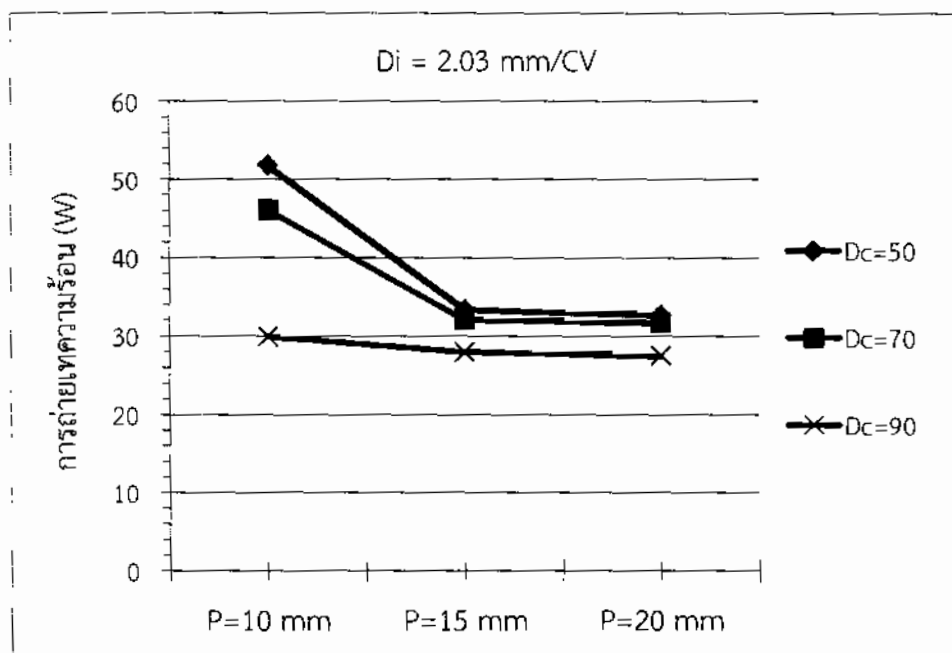
ภาพประกอบ 4.9 ความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.77 มิลลิเมตร ติดตั้งวาล์วก้นกลับ

จากภาพประกอบ 4.9 แสดงผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.77 มิลลิเมตร ติดตั้งวาล์วก้นกลับ ที่อุณหภูมิส่วนท่าระเหย 70 องศาเซลเซียส โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว 50, 70 และ 90 มิลลิเมตร ที่ระยะพิตช์ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร ที่ความยาวส่วนท่าระเหยและส่วนควบแน่นยาวเท่ากัน คือ 1,000 มิลลิเมตร โดยท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวที่ 50 มิลลิเมตร ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด คือ 40.33 W และท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวที่ 90 มิลลิเมตร น้อยสุดที่ 21.77 W



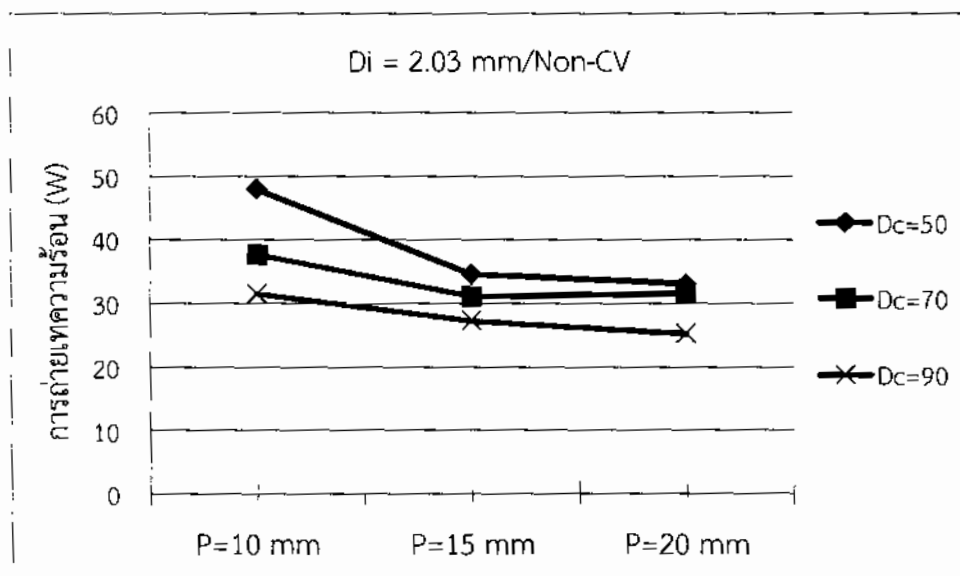
ภาพประกอบ 4.10 ความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.77 มิลลิเมตร ไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับ

จากภาพประกอบ 4.10 แสดงผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.77 มิลลิเมตร ไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับ ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 องศาเซลเซียส โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว 50, 70 และ 90 มิลลิเมตร ที่ระยะพิทช์ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร ที่ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นยาวเท่ากัน คือ 1,000 มิลลิเมตร โดยท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวที่ 50 มิลลิเมตร ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด คือ 30.46 W และท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวที่ 90 มิลลิเมตร น้อยสุดที่ 21.35 W



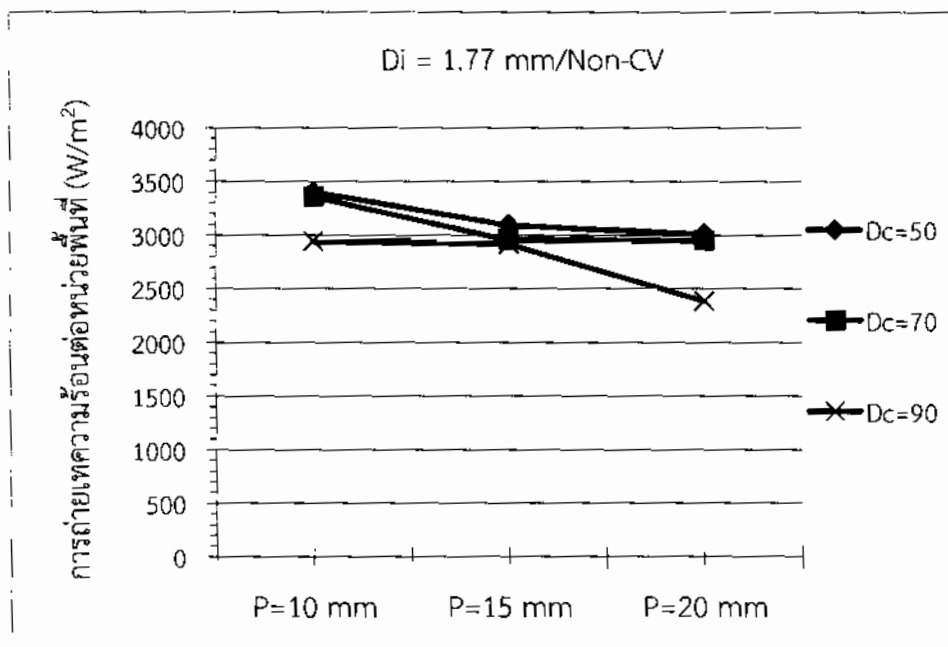
ภาพประกอบ 4.11 ความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.03 มิลลิเมตร ติดตั้งวาล์วกันกลับ

จากภาพประกอบ 4.11 แสดงผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.03 มิลลิเมตร ติดตั้งวาล์วกันกลับ ที่อุณหภูมิส่วนหัวระเหย 70 องศาเซลเซียส โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว 50, 70 และ 90 มิลลิเมตร ที่ระยะพิทช์ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร ที่ความยาวส่วนหัวระเหยและส่วนควบแน่นยาวเท่ากัน คือ 1,000 มิลลิเมตร โดยท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวที่ 50 มิลลิเมตร ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด คือ 51.76 W และท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวที่ 90 มิลลิเมตร น้อยสุดที่ 27.47 W



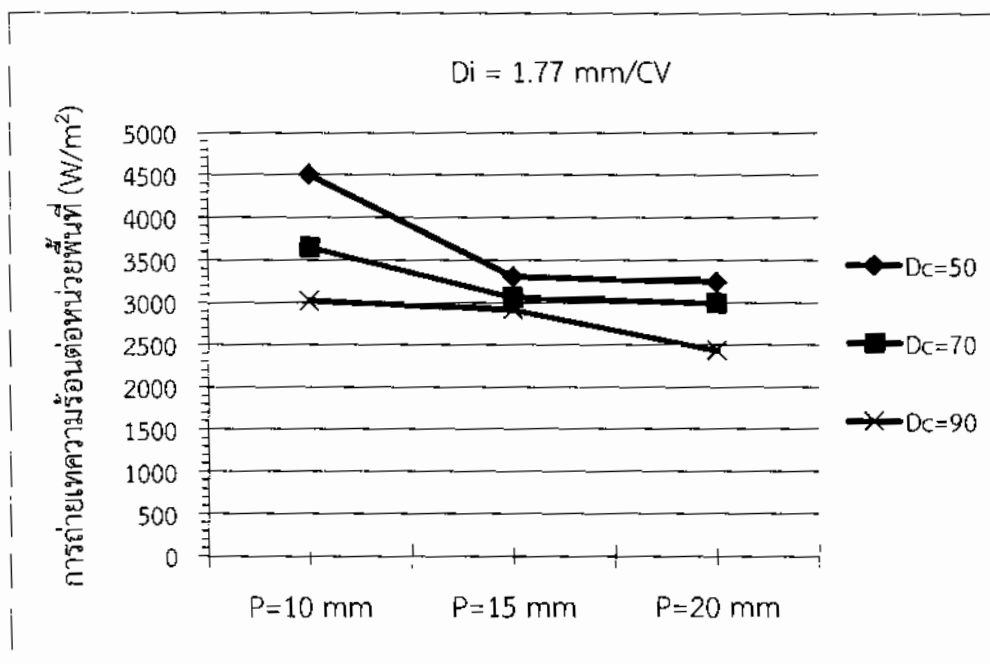
ภาพประกอบ 4.12 ความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.03 มิลลิเมตร ไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับ

จากภาพประกอบ 4.12 แสดงผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.03 มิลลิเมตร ไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับ ที่อุณหภูมิส่วนหัว 70 องศาเซลเซียส โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว 50, 70 และ 90 มิลลิเมตร ที่ระยะพิตช์ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร ที่ความยาวส่วนหัวและส่วนควมแน่นยาวเท่ากัน คือ 1,000 มิลลิเมตร โดยท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวที่ 50 มิลลิเมตร ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด คือ 48.02 W และท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวที่ 90 มิลลิเมตร น้อยสุดที่ 25.26 W



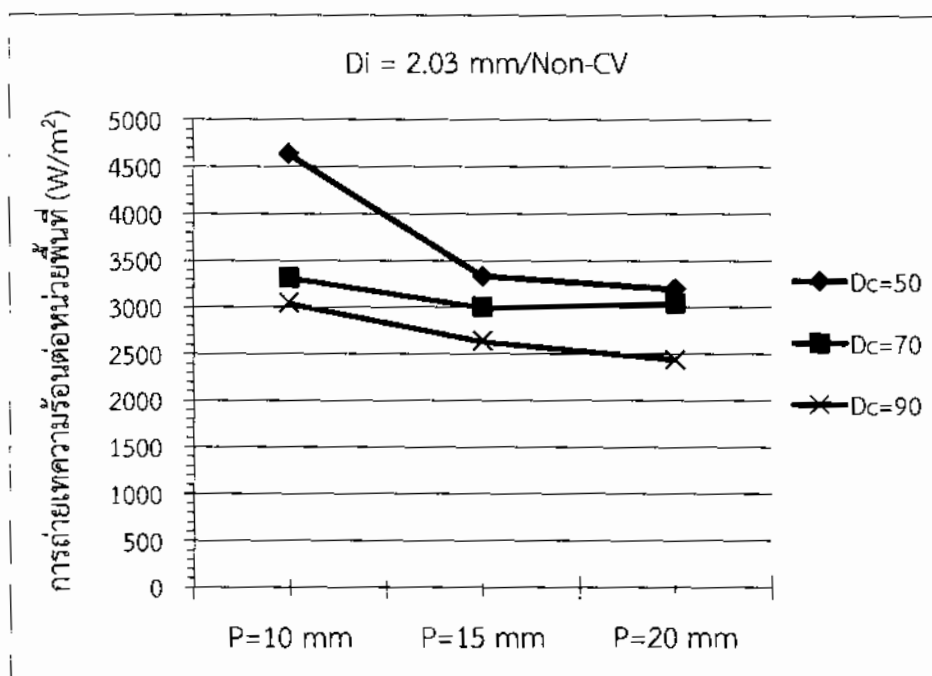
ภาพประกอบ 4.13 ความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.77 มิลลิเมตร ไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับ

จากภาพประกอบ 4.13 แสดงผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.77 มิลลิเมตร ไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับ ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 องศาเซลเซียส โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว 50, 70 และ 90 มิลลิเมตร ที่ระยะพิทช์ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร ที่ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นยาวเท่ากัน คือ 1,000 มิลลิเมตร โดยท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวที่ 50 มิลลิเมตร ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด คือ $3,402.34 \text{ W/m}^2$ และท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวที่ 90 มิลลิเมตร น้อยสุดที่ $2,385.27 \text{ W/m}^2$



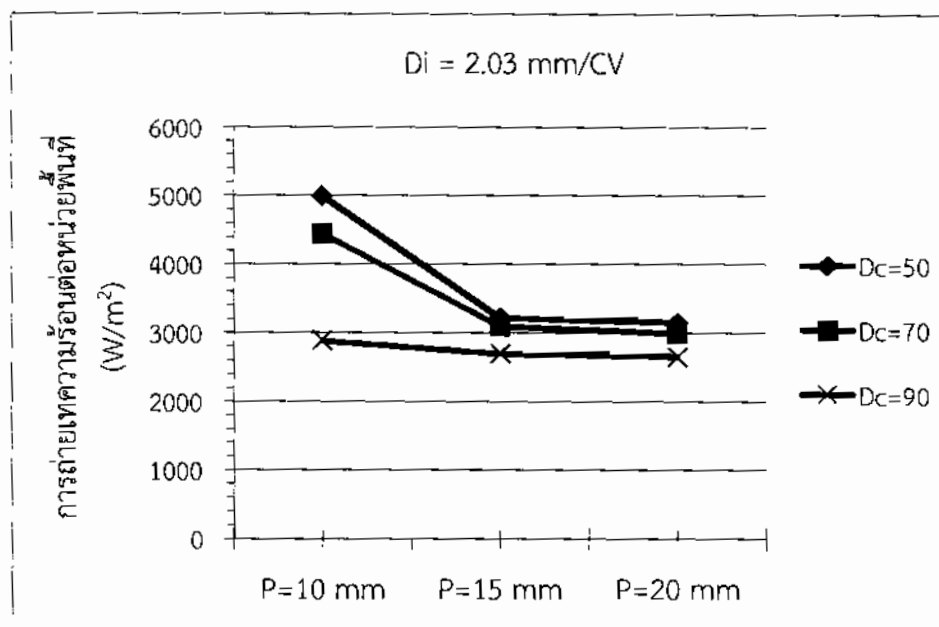
ภาพประกอบ 4.14 ความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.77 มิลลิเมตร ติดตั้งวาล์วกันกลับ

จากภาพประกอบ 4.14 แสดงผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.77 มิลลิเมตร ติดตั้งวาล์วกันกลับ ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 องศาเซลเซียส โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว 50, 70 และ 90 มิลลิเมตร ที่ระยะพิทช์ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร ที่ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นยาวเท่ากัน คือ 1,000 มิลลิเมตร โดยท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวที่ 50 มิลลิเมตร ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด คือ $3,018.91 \text{ W/m}^2$ และท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวที่ 90 มิลลิเมตร น้อยสุดที่ $2,431.43 \text{ W/m}^2$



ภาพประกอบ 4.15 ความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวชุด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.03 มิลลิเมตร ไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับ

จากภาพประกอบ 4.15 แสดงผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวชุด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.03 มิลลิเมตร ไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับ ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 องศาเซลเซียส โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว 50, 70 และ 90 มิลลิเมตร ที่ระยะพิตช์ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร ที่ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นยาวเท่ากัน คือ 1,000 มิลลิเมตร โดยท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวที่ 50 มิลลิเมตร ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด คือ $4,632.53 \text{ W/m}^2$ และท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวที่ 90 มิลลิเมตร น้อยสุดที่ $2,436.51 \text{ W/m}^2$

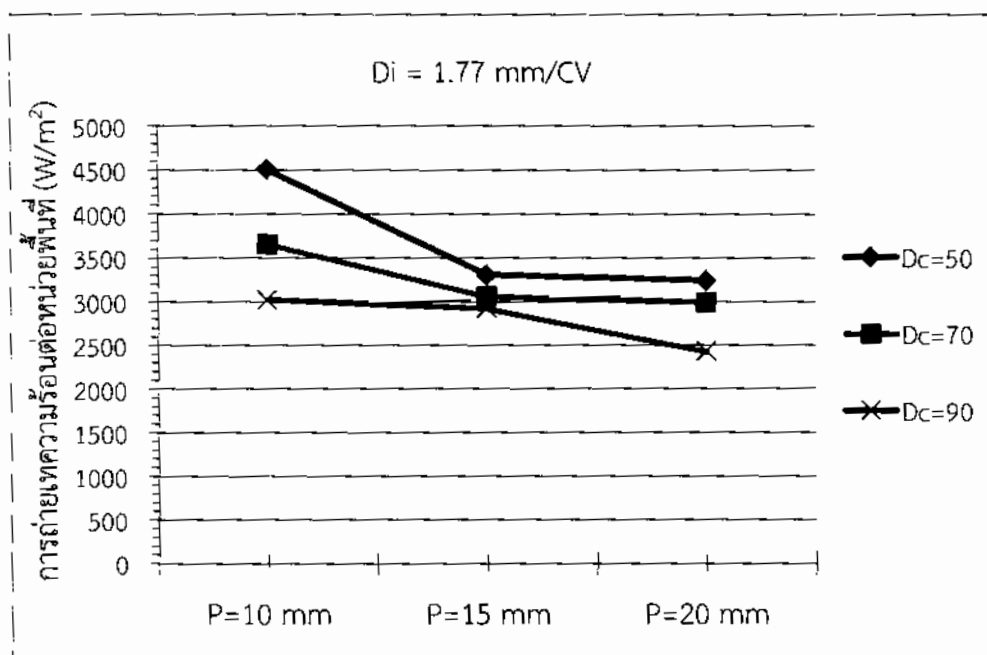


ภาพประกอบ 4.16 ความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.03 มิลลิเมตร ติดตั้งวาล์วกันกลับ

จากภาพประกอบ 4.16 แสดงผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.03 มิลลิเมตร ติดตั้งวาล์วกันกลับที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 องศาเซลเซียส โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว 50, 70 และ 90 มิลลิเมตร ที่ระยะพิทช์ 3 ค่า คือ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร ที่ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นยาวเท่ากัน คือ 1,000 มิลลิเมตร โดยท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวที่ 50 มิลลิเมตร ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด คือ $4,992.32 \text{ W/m}^2$ และท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวที่ 90 มิลลิเมตร น้อยสุดที่ $2,650.32 \text{ W/m}^2$

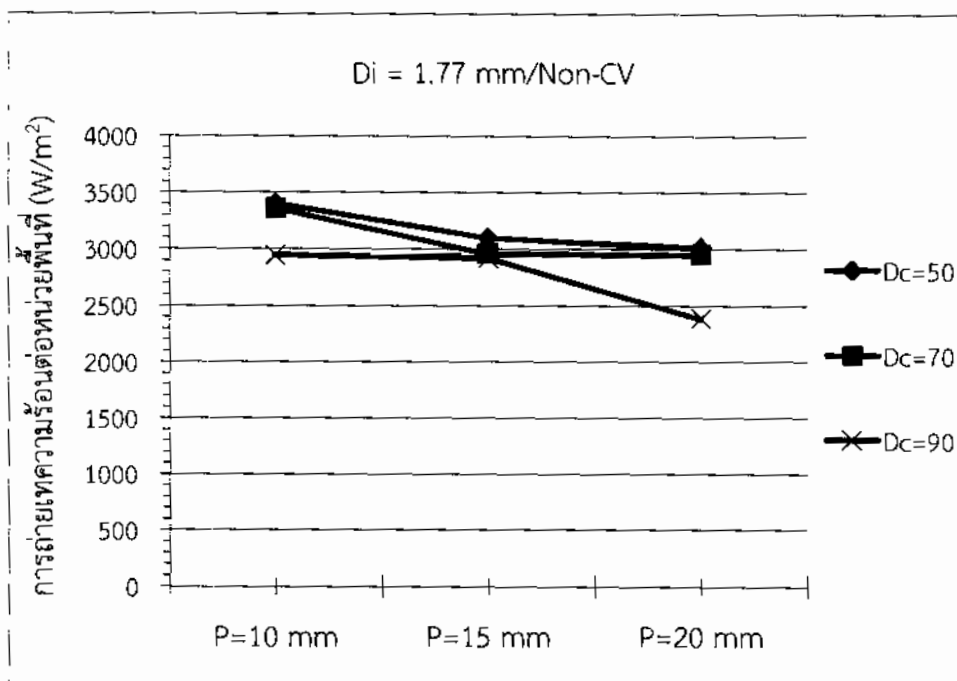
จากการศึกษาผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว ที่ขนาด 50, 70 และ 90 มิลลิเมตร ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อขนาด 1.77 และ 2.03 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 องศาเซลเซียส ที่ระยะพิทช์ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร ที่ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นยาวเท่ากัน คือ 1,000 มิลลิเมตร ที่มีการติดตั้งวาล์วกันและไม่มีติดตั้งวาล์วกัน ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ พบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว ขนาด 50 มิลลิเมตร ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุด ที่ 51.76 W และ $4,992.32 \text{ W/m}^2$ เนื่องจากสารทำงานภายในท่อสามารถเคลื่อนที่ด้วยแรงหนีศูนย์กลางได้ดีกว่าเกลียวขนาดอื่นๆ เพราะมีรัศมีของเกลียวที่เล็กกว่าขนาดอื่นๆ

4.4 ผลของระยะพิตช์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่



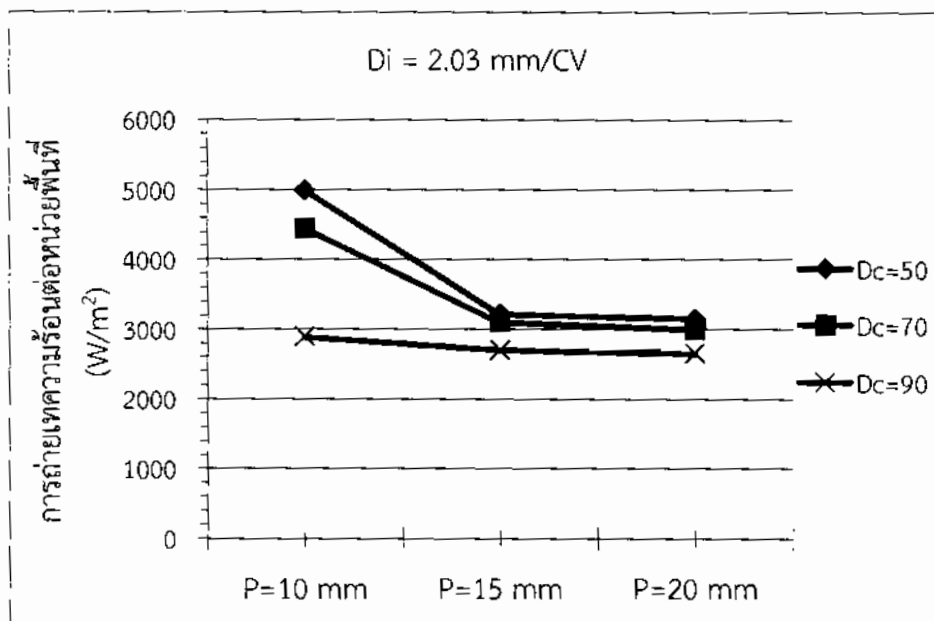
ภาพประกอบ 4.17 ความสัมพันธ์ของระยะพิตช์ต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.77 มิลลิเมตร ติดตั้งวาล์วกันกลับ

จากภาพประกอบ 4.17 แสดงผลของระยะพิตช์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.77 มิลลิเมตร ติดตั้งวาล์วกันกลับ ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 องศาเซลเซียส โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว 50, 70 และ 90 มิลลิเมตร ที่ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นยาวเท่ากัน คือ 1,000 มิลลิเมตร ที่ระยะพิตช์ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร โดยที่ระยะพิตช์ 10 มิลลิเมตร ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ ที่ดีที่สุด คือ 4,504.73 W/m² และที่ระยะพิตช์ ที่ 20 มิลลิเมตร น้อยสุดที่ 2,431.43 W/m²



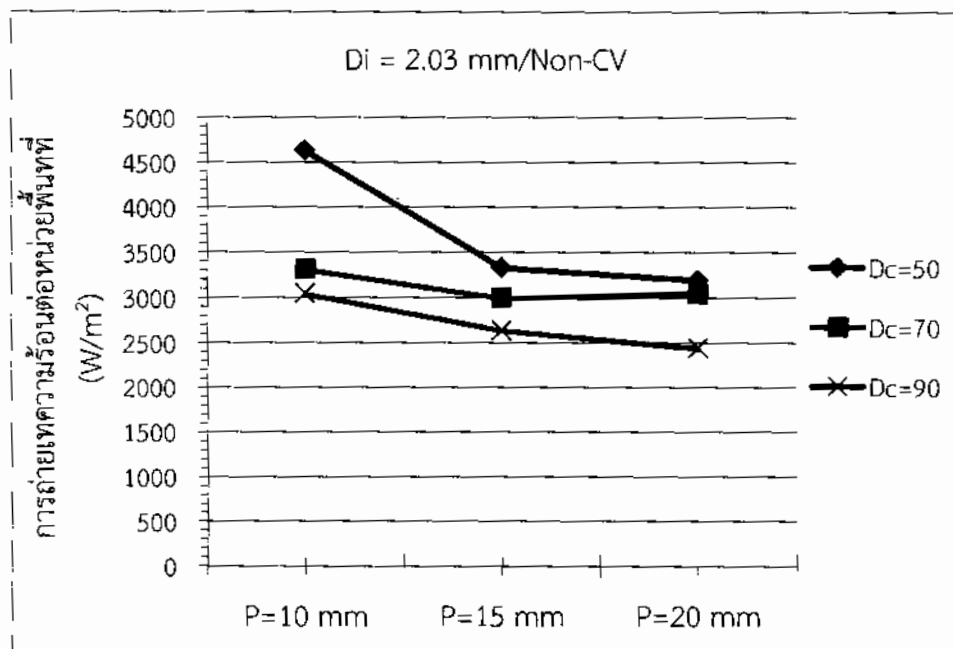
ภาพประกอบ 4.18 ความสัมพันธ์ของระยะพิตช์ต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.77 มิลลิเมตร ไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับ

จากภาพประกอบ 4.18 แสดงผลของระยะพิตช์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.77 มิลลิเมตร ไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับ ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 องศาเซลเซียส โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว 50, 70 และ 90 มิลลิเมตร ที่ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นยาวเท่ากัน คือ 1,000 มิลลิเมตร โดยที่ระยะพิตช์ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร ที่ระยะพิตช์ 10 มิลลิเมตร ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด คือ $3,402.34 \text{ W/m}^2$ และที่ระยะพิตช์ ที่ 20 มิลลิเมตร น้อยสุดที่ $2,385.27 \text{ W/m}^2$



ภาพประกอบ 4.19 ความสัมพันธ์ของระยะพิตช์ต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.03 มิลลิเมตร ติดตั้งวาล์วกันกลับ

จากภาพประกอบ 4.19 แสดงผลของระยะพิตช์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.03 มิลลิเมตร ติดตั้งวาล์วกันกลับ ที่อุณหภูมิส่วนหัวระเหย 70 องศาเซลเซียส โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว 50, 70 และ 90 มิลลิเมตร ที่ความยาวส่วนหัวระเหยและส่วนควบแน่นยาวเท่ากัน คือ 1,000 มิลลิเมตร ที่ระยะพิตช์ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร โดยที่ระยะพิตช์ 10 มิลลิเมตร ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด คือ 4,992.32 W/m² และที่ระยะพิตช์ 20 มิลลิเมตร น้อยสุดที่ 2,650.32 W/m²

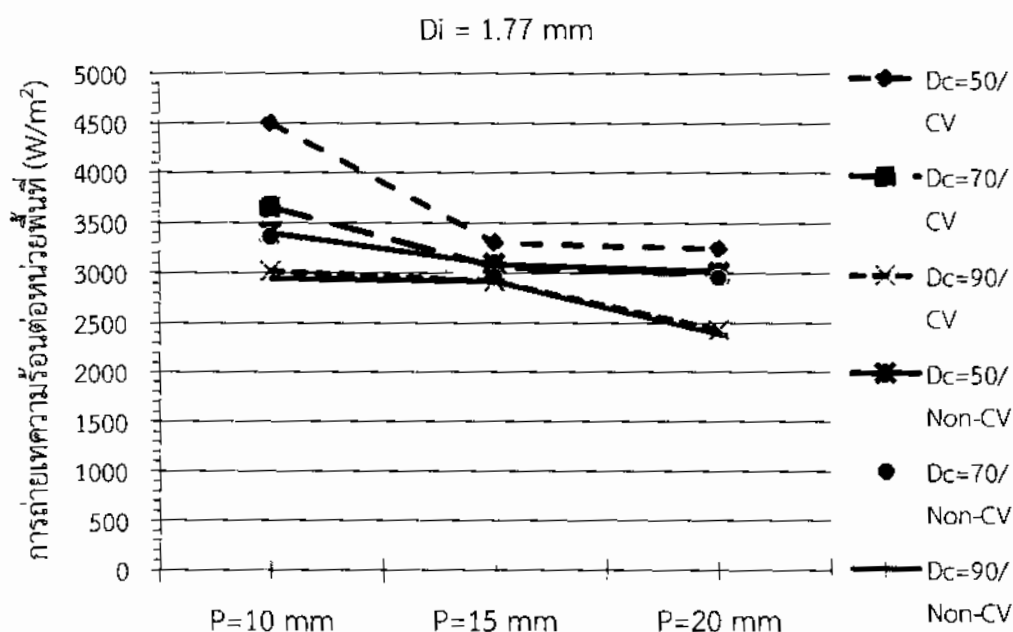


ภาพประกอบ 4.20 ความสัมพันธ์ของระยะพิตช์ต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.03 มิลลิเมตร ไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับ

จากภาพประกอบ 4.20 แสดงผลของระยะพิตช์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.03 มิลลิเมตร ไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับ ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 องศาเซลเซียส โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว 50, 70 และ 90 มิลลิเมตร ที่ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นยาวเท่ากัน คือ 1,000 มิลลิเมตร ที่ระยะพิตช์ 3 ค่า คือ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร โดยที่ระยะพิตช์ 10 มิลลิเมตร ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด คือ $3,402.34 \text{ W/m}^2$ และที่ระยะพิตช์ ที่ 20 มิลลิเมตร น้อยสุดที่ $2,385.27 \text{ W/m}^2$

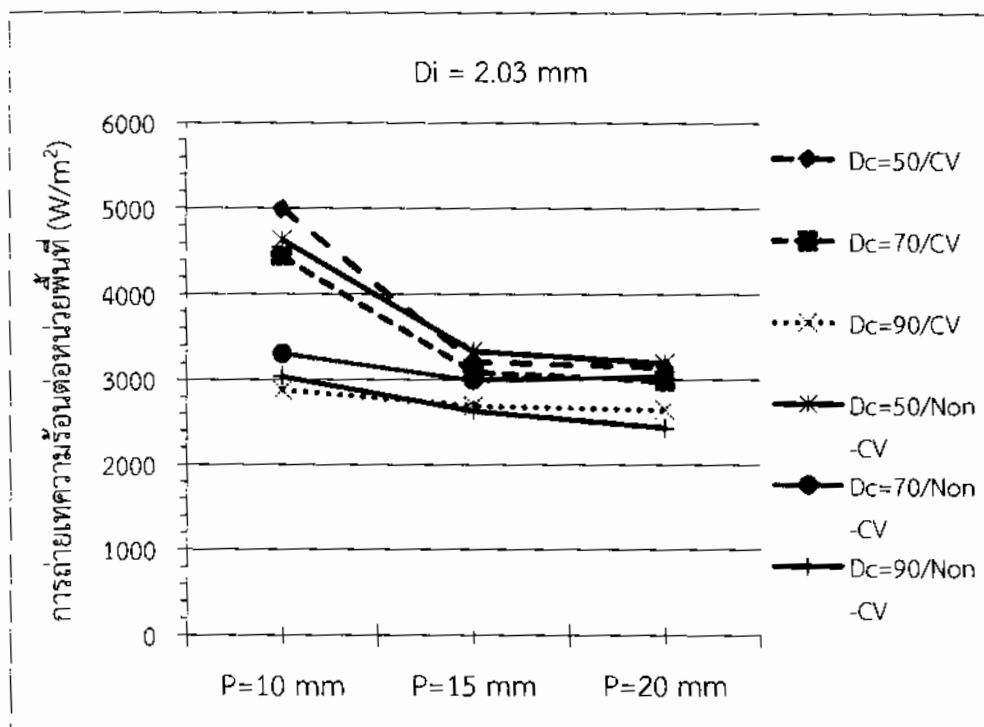
จากการศึกษาผลของที่ระยะพิตช์ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว ที่ขนาด 50, 70 และ 90 มิลลิเมตร ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อขนาด 1.77 และ 2.03 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 องศาเซลเซียส ที่ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นยาวเท่ากัน คือ 1,000 มิลลิเมตร ที่มีการติดตั้งวาล์วกันและไม่มีการติดตั้งวาล์วกัน ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ พบว่า ที่ระยะพิตช์ที่ 10 มิลลิเมตร ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ดีที่สุดที่ 51.76 W และ $4,992.32 \text{ W/m}^2$ เนื่องจากเมื่อระยะพิตช์มีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ความชันของท่อมีความชันเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้ก้อนไอและก้อนของเหลวเคลื่อนตัวขึ้นไปตามความชันของท่อได้ค่อนข้างยากเนื่องจากต้องใช้แรงขับ (Driving force) สูงขึ้นเพื่อเอาชนะแรงโน้มถ่วงของโลกและขับเคลื่อนไอและก้อนของเหลวเคลื่อนที่ไปยังส่วนทำระเหยเพื่อระบายความร้อน

4.5 การถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของท่อที่มีการติดตั้งวาล์วกันกลับและไม่มีการติดตั้งวาล์วกันกลับ



ภาพประกอบ 4.21 ความสัมพันธ์ของท่อ 1.77 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งวาล์วกันกลับและไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด

จากภาพประกอบ 4.21 แสดงผลของท่อ 1.77 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งวาล์วกันกลับและไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับต่อการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ โดยที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 องศาเซลเซียส โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว 50, 70 และ 90 มิลลิเมตร ที่ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นยาวเท่ากัน คือ 1,000 มิลลิเมตร ที่ระยะพิตช์ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร โดยท่อแบบติดตั้งวาล์วกันกลับให้การถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่มากที่สุด โดยให้การถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่คือ $4,504.73 \text{ W/m}^2$



ภาพประกอบ 4.22 ความสัมพันธ์ของท่อ 2.03 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งวาล์วกันกลับและไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับต่อการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวชุด

จากภาพประกอบ 4.22 แสดงผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 2.03 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งวาล์วกันกลับและไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับต่อการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ โดยที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 องศาเซลเซียส โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว 3 ค่า คือ 50, 70 และ 90 มิลลิเมตร ที่ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นยาวเท่ากัน คือ 1,000 มิลลิเมตร ที่ระยะพิตช์ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร โดยท่อแบบติดตั้งวาล์วกันกลับให้การถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่มากที่สุด โดยให้การถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ คือ $4,992.32 \text{ W/m}^2$

จากการศึกษาผลของท่อ 1.77 มิลลิเมตร และท่อ 2.03 มิลลิเมตร ที่ติดตั้งวาล์วกันกลับและไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับต่อการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวชุด ที่ระยะพิตช์ 3 ค่า คือ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว 50, 70 และ 90 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 องศาเซลเซียส ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นยาวเท่ากัน คือ 1,000 มิลลิเมตร พบว่า ที่ท่อ 1.77 มิลลิเมตร และท่อ 2.03 มิลลิเมตร ที่มีการติดตั้งวาล์วกันกลับ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุดจากทั้งสองกราฟ โดยให้ค่าที่ $4,504.73 \text{ W/m}^2$ และ $4,992.32 \text{ W/m}^2$ เนื่องจากวาล์วกันกลับ จะช่วยให้ทิศทางของการเคลื่อนที่ของสารทำงานเคลื่อนที่ไปทางเดียวกัน ซึ่งจะช่วยให้สารทำงานไหลวนแบบเป็นระบบ ซึ่งปกติสารทำงานจะเคลื่อนที่ไปข้างที่สามารถ

เคลื่อนที่ไปได้เร็วที่สุด และซึ่งบางครั้งสารทำงานเคลื่อนที่ขึ้นทั้งสองทางพร้อมกันทำให้มีการดันกัน
ซึ่งส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนที่ไม่ดี

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่มุมเอียง 90 องศา ใช้ R-11 เป็นสารทำงาน อุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 องศาเซลเซียส ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น 1,000 มิลลิเมตร ความยาวส่วนกันความร้อน 100 มิลลิเมตร อัตราการไหลของอากาศ 1 เมตรต่อวินาที อัตราการเติมสารทำงาน 70 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรรวม พบว่า

1. ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่อการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 1.77 และ 2.03 มิลลิเมตร โดยท่อที่ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ที่ดีที่สุด คือ ท่อขนาด 2.03 มิลลิเมตร

2. ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว 50, 70 และ 90 มิลลิเมตร พบว่า ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ให้การถ่ายเทความร้อนดีที่สุด

3. ผลของระยะพิทช์ ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด โดยที่ระยะพิทช์ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร ที่ระยะพิทช์ 10 มิลลิเมตร ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุด

4. ผลของท่อที่มีการติดตั้งวาล์วก้นกลับและไม่ติดตั้งวาล์วก้นกลับ พบว่า ท่อที่ติดตั้งวาล์วก้นกลับให้การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ดีกว่าท่อที่ไม่ติดตั้งวาล์วก้นกลับ

5. ท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว 50 มิลลิเมตร ที่ระยะพิทช์ 10 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 2.03 มิลลิเมตร ติดตั้งวาล์วก้นกลับ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อน และการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ ที่ดีที่สุด คือที่ 51.76 วัตต์ และ 4,992.32 วัตต์ต่อตารางเมตร

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการทดลองไปใช้

จากการทดลองในครั้งนี้เป็นการทดลองหาตัวแปรที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขดโดยมีมุม 90 องศาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 1.77 และ 2.03 มิลลิเมตร สารทำงาน คือ R-11 อุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ท่อความร้อนสามารถให้การถ่ายเทความร้อนได้ดี และสามารถนำเอาตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนไปศึกษาเพิ่มเติม และสามารถนำเอาผลการทดลองครั้งนี้ไปเป็นตัวอย่างในการทดลองและออกแบบการทดลองของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด

2. ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษารั้งต่อไป

2.1 ในการศึกษาครั้งต่อไป ควรศึกษา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด นอกเหนือจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อที่ขนาด 1.77 และ 2.03 มิลลิเมตร

2.2 ในการศึกษาครั้งต่อไป ควรศึกษาการทำงานนอกเหนือจาก R-11 หรืออาจเปลี่ยนการให้ความร้อนโดยใช้อากาศเป็นน้ำแทน เพราะการให้ความร้อนด้วยน้ำต่อความร้อนจะได้รับความร้อนอย่างเต็มที่เหมือนอากาศที่ควบคุมอุณหภูมิได้ยาก

2.3 ในการศึกษาครั้งต่อไป ควรศึกษาอุณหภูมิที่นอกเหนือจากอุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 องศาเซลเซียส หรือที่ความยาวของที่เพิ่มมากขึ้น



บรรณานุกรม



บรรณานุกรม

- กษิติศ ลาภเจริญเกียรติและเสาวณิต ฤคาม. อิทธิพลของการใช้สารทำงานต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดคอยล์ชุด. ปรินญานิพนธ์ วศ.บ. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2557.
- ณัฐกฤตา จันดาโคตรและประภัทร์ ขจัดพาล. ผลของมุมเอียงต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดคอยล์ชุด. ปรินญานิพนธ์ วศ.บ. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2557.
- พฤทธิ์ สกูลช่างสัจจะทัย. ลักษณะเฉพาะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2553.
- วรวิทย์ สูงชัย. กฤษณะ พลชะชัยและเอกพงษ์ พึ่งตน. พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดคอยล์ชุด. ปรินญานิพนธ์ วศ.บ. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2556.
- Meena, P, Rittidech, S. and Poomsa-ad, N. Closed-loop Oscillating Heat-pipe with Check Valves (CLOHP/CV) Air-preheater Reducing Relative Humidity in Drying Systems, AppliedEnergy. 84 : 363-373, 2007.
- Pipatpaiboon, N. 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.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด

การทดลองที่ใช้ R-11 เป็นสารทำงาน ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 70 องศาเซลเซียส มุมเอียง 90 องศา อัตราการเติมสารทำงาน 70 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรรวม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอยล์ 50 มิลลิเมตร ระยะพิตช์ 10 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 2.03 มิลลิเมตร ไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับ

อัตราการถ่ายเทความร้อน (Q)

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

เมื่อ $\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศในส่วนควบแน่น = 0.01183 kg/s
 C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศที่ = 1.005 kJ/kg
 ΔT_c คือ ผลต่างของอุณหภูมิอากาศขาเข้าและอุณหภูมิอากาศขาออกในส่วนควบแน่น

ดังนั้น ΔT_c เท่ากับ $27.93 - 23.85 = 4.07 \text{ } ^\circ\text{C}$

จากนั้นแทนค่าลงในสมการ (ก.1)

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad Q &= 0.01183 \times 1.005 \times 4.02 \\ &= 0.047794 \text{ kJ/s} \\ &= 47.39 \text{ W} \end{aligned}$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (q)

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

เมื่อ Q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)
 A_c คือ พื้นที่ผิวทั้งหมดในส่วนควบแน่น (m^2)
 D_o คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ (m)
 L_c คือ ความยาวในส่วนควบแน่น (m)

จากนั้นแทนค่าลงในสมการ (ก.2)

จะได้

$$q = \frac{47.39}{\pi(0.0033)(1)}$$
$$= 4,571.122 \quad \text{W/m}^2$$

ภาคผนวก ข
ตารางแสดงผลการทดลอง

ตาราง ข.1 อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 1.77 มิลลิเมตร ไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับ โดยใช้ R-11 เป็นสารทำงาน อัตราการเดินสารทำงาน 70 เปอร์เซ็นต์ ระยะพิตช์ 10 มิลลิเมตร

Dc (mm)	T _{co} (°C)	T _{ci} (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)	Q _{ave} (W)	q _{ave} (W/m ²)
50	25.81	23.18	2.63	31.34	3,500.20	30.46	3,402.34
	27.09	24.51	2.57	30.62	3,419.87		
	25.88	23.41	2.47	29.43	3,286.96		
70	28.63	26.07	2.56	30.27	3,380.78	30.07	3,358.44
	28.61	26.07	2.54	30.03	3,353.98		
	28.65	26.12	2.53	29.91	3,340.57		
90	27.75	25.55	2.20	26.05	2,909.46	26.32	2,940.36
	27.35	25.60	2.25	26.64	2,975.36		
	27.94	25.27	2.22	26.29	2,936.27		

ตาราง ข.2 อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียววด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 1.77 มิลลิเมตร ไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับ โดยใช้ R-11 เป็นสารทำงาน อัตราการเติมสารทำงาน 70 เปอร์เซ็นต์ ระยะพิตช์ 15 มิลลิเมตร

Dc (mm)	T_{co} (°C)	T_{ci} (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)	Q_{ave} (W)	q_{ave} (W/m ²)
50	26.88	24.53	2.35	27.94	3,120.55	27.70	3,094.12
	27.00	24.73	2.27	26.99	3,014.45		
	27.06	24.69	2.37	28.18	3,147.35		
70	26.62	24.43	2.19	26.07	2,911.69	26.46	2,955.62
	26.84	24.57	2.27	27.02	3,017.80		
	26.69	24.48	2.21	26.30	2,937.38		
90	25.57	23.51	2.07	24.69	2,757.56	26.12	2,917.27
	25.90	23.61	2.29	27.31	3,050.19		
	25.85	23.63	2.21	26.36	2,944.08		

ตาราง ข.3 อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 1.77 มิลลิเมตร ไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับ โดยใช้ R-11 เป็นสารทำงาน อัตราการเดินสารทำงาน 70 เปอร์เซ็นต์ ระยะพิตช์ 20 มิลลิเมตร

Dc (mm)	T _{co} (°C)	T _c (°C)	ΔT _c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)	Q _{ave} (W)	q _{ave} (W/m ²)
50	27.72	25.51	2.21	26.18	2,923.98	26.97	3,012.21
	27.93	25.53	2.39	28.31	3,161.87		
	27.77	25.55	2.23	26.42	2,950.78		
70	28.16	25.97	2.19	25.90	2,892.71	26.42	2,950.28
	28.21	25.97	2.23	26.38	2,946.32		
	28.25	25.97	2.28	26.97	3,012.21		
90	27.91	26.00	1.91	22.62	2,526.37	21.35	2,385.27
	27.73	26.03	1.70	20.13	2,248.27		
	27.85	25.97	1.80	21.32	2,381.18		

ตาราง ข.4 อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 1.77 มิลลิเมตร ติดตั้งวาล์วกันกลับ โดยใช้ R-11 เป็นสารทำงาน อัตราการเดินสารทำงาน 70 เปอร์เซ็นต์ ระยะพิตช์ 10 มิลลิเมตร

Dc (mm)	T _{co} (°C)	T _{ci} (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)	Q _{ave} (W)	q _{ave} (W/m ²)
50	27.08	23.75	3.33	39.62	4,425.06	40.33	4,504.73
	27.19	23.77	3.43	40.81	4,557.97		
	27.22	23.81	3.41	40.57	4,531.17		
70	28.97	26.20	2.77	32.73	3,655.57	32.71	3,653.31
	28.95	26.17	2.79	32.79	3,662.23		
	28.85	26.09	2.76	32.61	3,642.13		
90	28.11	25.72	2.39	28.29	3,159.64	27.03	3,018.91
	28.15	25.70	2.45	29.01	3,240.06		
	27.74	25.73	2.01	23.79	2,657.05		

ตาราง ข.5 อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 1.77 มิลลิเมตร ติดตั้งวาล์วกันกลับ โดยใช้ R-11 เป็นสารทำงาน อัตราการเดินสารทำงาน 70 เปอร์เซ็นต์ ระยะพิตช์ 15 มิลลิเมตร

Dc (mm)	T _{co} (°C)	T _{ci} (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)	Q _{ave} (W)	q _{ave} (W/m ²)
50	27.27	24.83	2.44	29.05	3,244.52	29.60	3,306.32
	26.31	23.79	2.52	30.00	3,350.63		
	25.97	23.47	2.50	29.76	3,323.82		
70	26.91	24.69	2.21	26.27	2,934.03	27.42	3,062.47
	27.17	24.79	2.38	28.29	3,159.64		
	26.43	24.10	2.33	27.70	3,093.74		
90	26.38	24.22	2.16	25.71	2,871.49	26.14	2,919.88
	26.43	24.25	2.18	25.94	2,897.17		
	26.33	24.09	2.25	26.78	2,990.99		

ตาราง ข.6 อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 1.77 มิลลิเมตร ติดตั้งวาล์วกันกลับ โดยใช้ R-11 เป็นสารทำงาน อัตราการเดินสารทำงาน 70 เปอร์เซ็นต์ ระยะพิทช์ 20 มิลลิเมตร

Dc (mm)	T _{co} (°C)	T _{ci} (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)	Q _{ave} (W)	q _{ave} (W/m ²)
50	24.75	22.38	2.37	28.26	3,194.26	29.08	3,247.50
	25.02	22.58	2.44	29.20	3,261.26		
	24.35	22.49	2.46	21.43	3,286.96		
70	25.66	23.45	2.21	26.38	2,946.32	26.81	2,995.08
	25.57	23.34	2.23	26.62	2,973.12		
	25.62	23.32	2.30	27.45	3,065.82		
90	26.44	24.62	1.82	21.65	2,418.03	21.77	2,431.43
	26.41	24.67	1.71	20.34	2,271.72		
	26.60	24.64	1.96	23.32	2,604.55		

ตาราง ข.7 อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 2.03 มิลลิเมตร ไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับ โดยใช้ R-11 เป็นสารทำงาน อัตราการเดินสารทำงาน 70 เปอร์เซ็นต์ ระยะพิตช์ 10 มิลลิเมตร

Dc (mm)	T _{co} (°C)	T _{ci} (°C)	ΔT _c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)	Q _{ave} (W)	q _{ave} (W/m ²)
50	27.93	23.85	4.07	48.38	4,666.61	48.02	4,632.53
	27.89	23.80	4.09	48.62	4,689.76		
	27.78	23.82	3.96	47.08	4,541.22		
70	27.29	24.39	2.89	34.38	3,316.21	37.63	3,308.81
	26.99	24.09	2.90	34.50	3,327.78		
	26.71	23.85	2.86	34.03	3,282.45		
90	25.94	23.33	2.61	31.65	3,004.65	31.50	3,039.05
	25.88	23.25	2.63	31.39	3,027.80		
	25.72	23.04	2.68	31.98	3,084.71		

ตาราง ข.8 อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวชุด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 2.03 มิลลิเมตร ไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับ โดยใช้ R-11 เป็นสารทำงาน อัตราการเดินสารทำงาน 70 เปอร์เซนต์ ระยะพิตช์ 15 มิลลิเมตร

Dc (mm)	T _{co} (°C)	T _{ci} (°C)	ΔT _c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)	Q _{ave} (W)	q _{ave} (W/m ²)
50	27.93	25.01	2.92	34.54	3,331.64	34.54	3,331.64
	28.67	25.79	2.88	34.07	3,286.30		
	29.64	26.68	2.96	35.01	3,376.97		
70	26.37	23.79	2.57	30.59	2,950.63	31.06	2,996.29
	26.29	23.68	2.61	31.06	2,995.97		
	26.25	25.59	2.65	31.54	3,042.27		
90	28.98	26.67	2.37	28.05	2,705.63	27.30	2,633.60
	28.82	26.54	2.28	26.99	2,603.38		
	26.77	24.50	2.27	26.87	2,591.81		

ตาราง ข.9 อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวววด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 2.03 มิลลิเมตร ไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับ โดยใช้ R-11 เป็นสารทำงาน อัตราการเติมสารทำงาน 70 เปอร์เซ็นต์ ระยะพิตช์ 20 มิลลิเมตร

Dc (mm)	T _{Co} (°C)	T _{Cl} (°C)	ΔT _C (°C)	Q (W)	q (W/m ²)	Q _{ave} (W)	q _{ave} (W/m ²)
50	27.37	24.55	2.81	33.36	3,217.82	33.12	3,195.31
	27.43	24.66	2.77	32.89	3,172.48		
	27.61	24.83	2.79	33.13	3,195.63		
70	25.73	23.09	2.65	31.63	3,050.95	31.51	3,039.37
	25.96	23.32	2.64	31.51	3,039.37		
	25.71	23.08	2.63	31.39	3,027.80		
90	25.15	23.06	2.09	24.89	2,409.50	25.26	2,436.51
	25.11	22.97	2.14	25.58	2,467.38		
	25.05	22.93	2.11	25.22	2,432.66		

ตาราง ข.10 อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 2.03 มิลลิเมตร ติดตั้งวาล์วกันกลับ โดยใช้ R-11 เป็นสารทำงาน อัตราการเดินสารทำงาน 70 เปอร์เซ็นต์ ระยะพิตช์ 10 มิลลิเมตร

Dc (mm)	T _{co} (°C)	T _{ci} (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)	Q _{ave} (W)	q _{ave} (W/m ²)
50	29.15	24.82	4.33	51.24	4,942.48	51.76	4,992.32
	29.14	24.71	4.43	52.43	5,057.26		
	29.71	25.35	4.36	51.60	4,977.21		
70	27.24	23.33	4.11	48.74	4,701.34	46.05	4,441.86
	28.45	24.70	3.75	44.47	4,289.46		
	29.37	25.58	3.75	44.94	4,334.80		
90	26.78	24.49	2.29	27.24	2,627.50	29.86	2,880.21
	27.51	24.99	2.52	29.98	2,891.79		
	25.71	24.93	2.72	32.36	3,121.36		

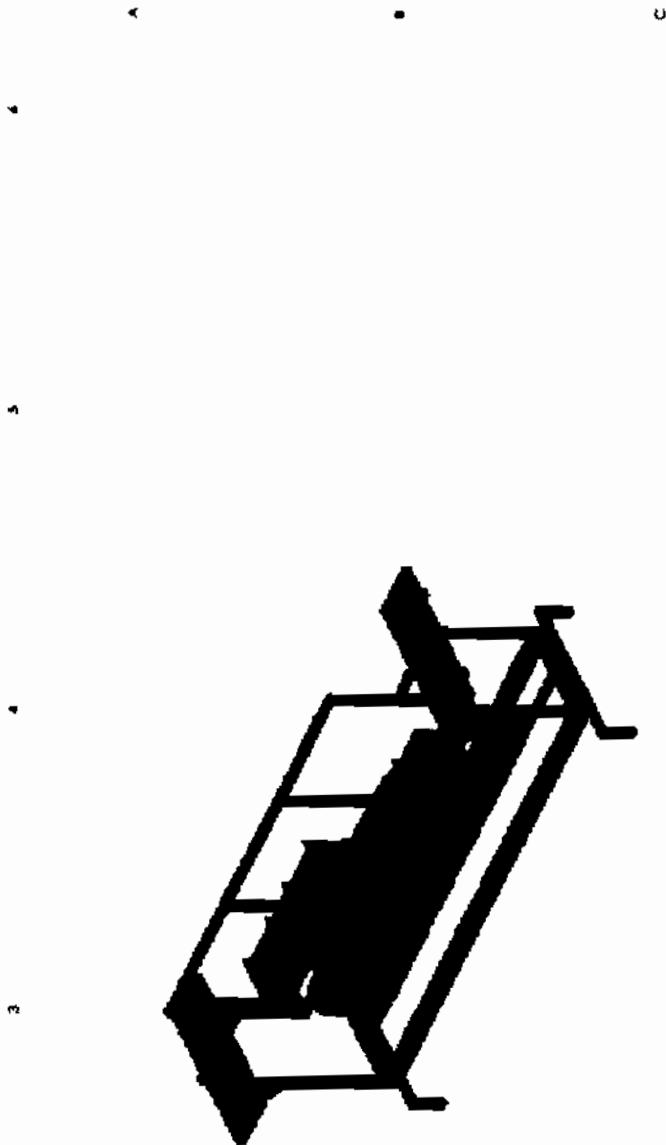
ตาราง ข.11 อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 2.03 มิลลิเมตร ติดตั้งวาล์วกันกลับ โดยใช้ R-11 เป็นสารทำงาน อัตราการเดินสารทำงาน 70 เปอร์เซนต์ ระยะพิตช์ 15 มิลลิเมตร

Dc (mm)	T _{co} (°C)	T _{ci} (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)	Q _{ave} (W)	q _{ave} (W/m ²)
50	26.35	23.48	2.87	34.23	3,301.74	33.32	3,213.64
	26.05	23.29	2.76	32.92	3,175.38		
	25.55	23.25	2.75	32.80	3,163.80		
70	27.24	24.52	2.72	32.31	3,116.54	32.07	3,093.71
	27.35	24.71	2.64	31.36	3,024.90		
	27.39	24.55	2.74	32.55	3,139.69		
90	25.75	23.41	2.34	27.92	2,693.09	27.92	2,693.09
	25.69	23.37	2.33	27.80	2,681.51		
	25.69	23.34	2.35	28.04	2,704.67		

ตาราง ข.12 อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 2.03 มิลลิเมตร ติดตั้งวาล์วกันกลับ โดยใช้ R-11 เป็นสารทำงาน อัตราการเดินสารทำงาน 70 เปอร์เซนต์ ระยะพิตช์ 20 มิลลิเมตร

Dc (mm)	T _{co} (°C)	T _{ci} (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)	Q _{ave} (W)	q _{ave} (W/m ²)
50	26.17	23.39	2.79	33.27	3,209.14	32.63	3,148.04
	26.09	23.37	2.73	32.56	3,140.65		
	25.99	23.30	2.69	32.08	3,094.35		
70	26.00	23.25	2.75	32.73	3,157.06	31.65	2,989.21
	26.93	24.40	2.53	30.11	2,904.33		
	27.13	24.43	2.70	32.13	2,906.26		
90	27.88	25.81	2.07	24.55	2,368.03	27.47	2,650.32
	27.87	25.42	2.45	29.06	2,803.05		
	26.87	24.44	2.43	28.82	2,779.90		

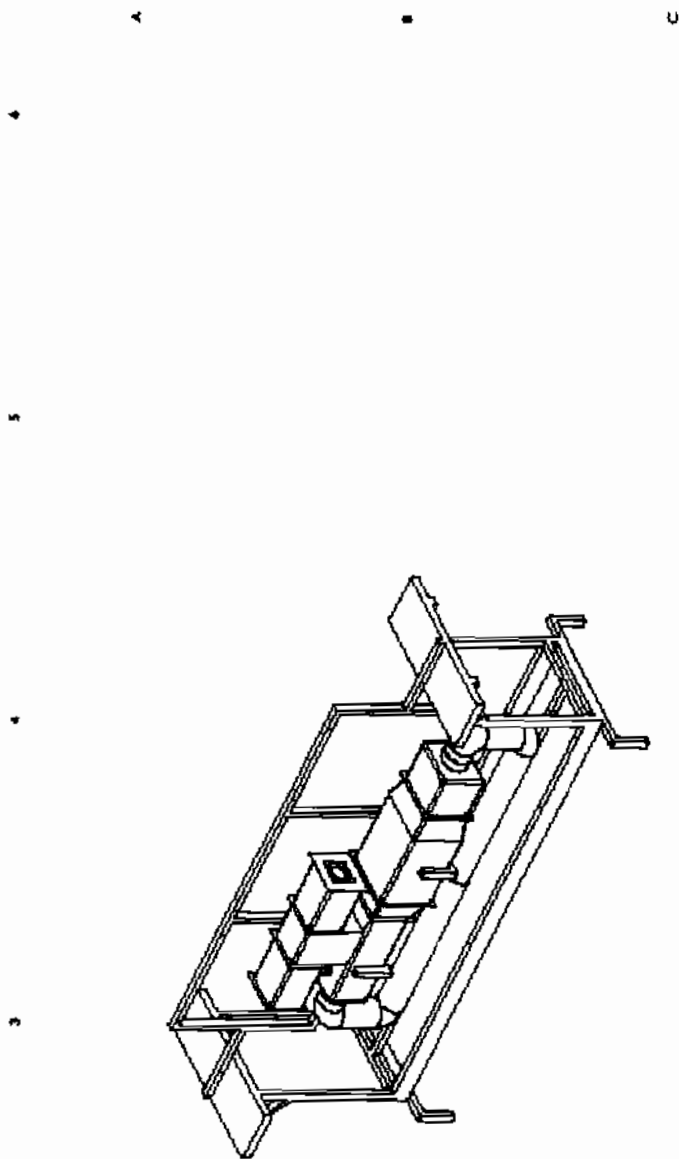
ภาคผนวก ค
รายละเอียดชุดทดลอง



Heat Pipe and Thermal Tools Design Research Unit, HTDR
Faculty of Engineering - Mahasarakham University

Title: Experiment
Scale 1:28
DWG. NO.
DATE:
SI metric
A4

CHECKED: Dr. Teerapat Chompoonkham



Heat Pipe and Thermal Tools Design Research Unit, HTDR

Faculty of Engineering - Mahasarakham University

Title: Experiment

Scale 1:28

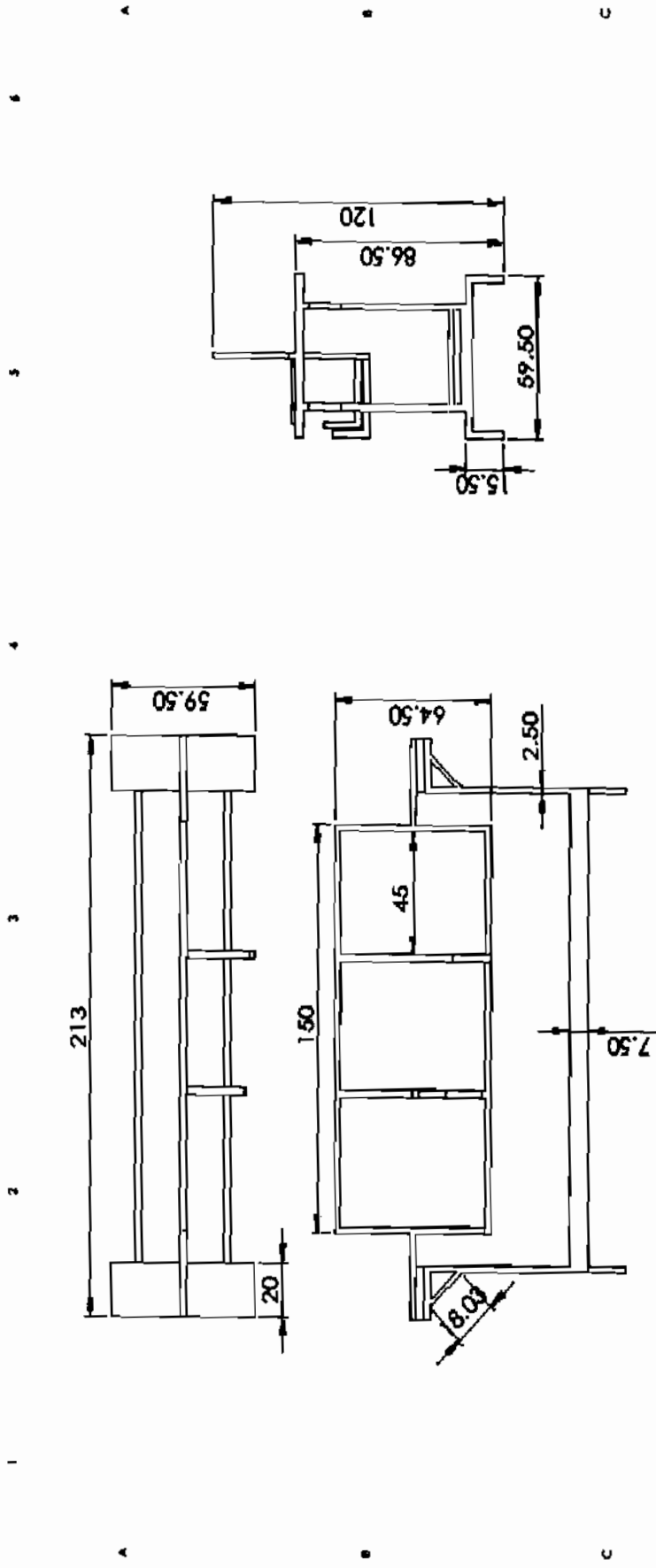
DWG. NO. 1:28

DATE: 1:28

SI metric

A4

CHECKED: Dr. Teerapat Chompookham



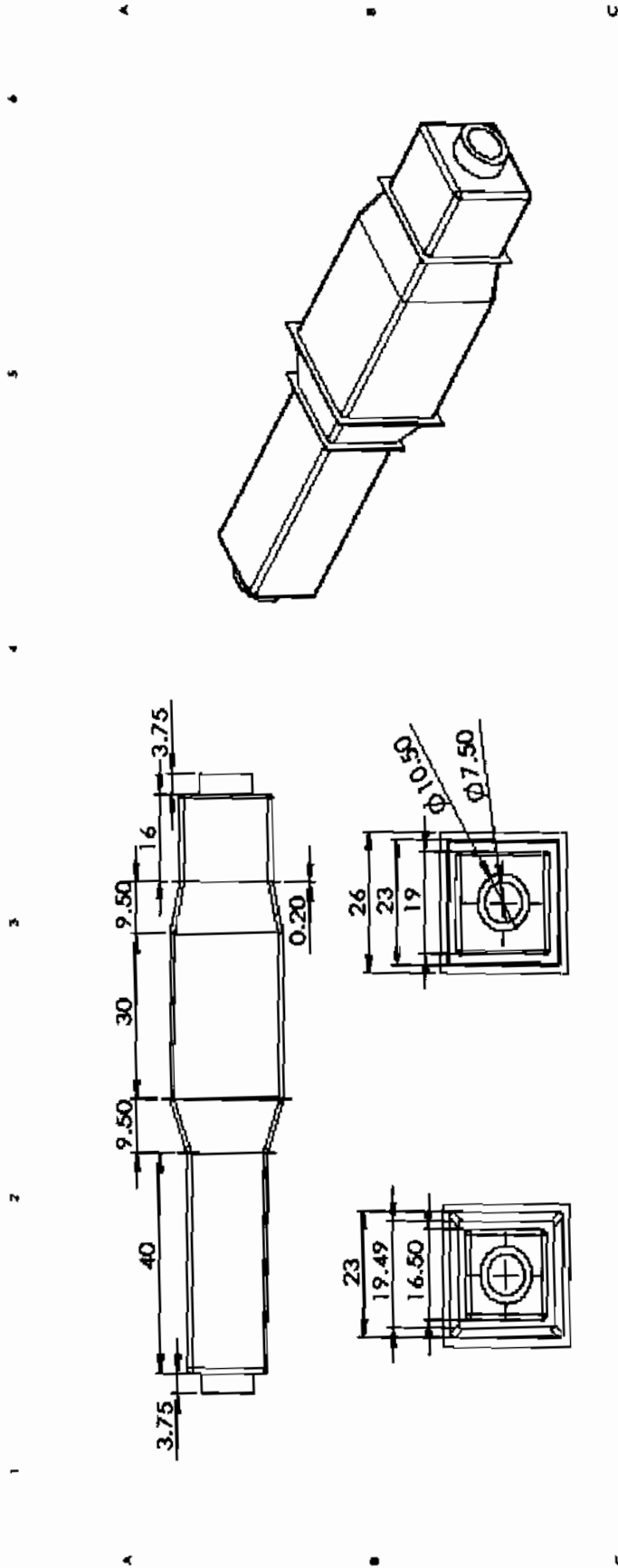
Heat Pipe and Thermal Tools Design Research Unit, HTDR

Faculty of Engineering - Mahasarakham University

Title: Experiment

Scale DWG. NO. 1:28 DATE: SI metric A4

CHECKED: Dr. Teerapat Chompookham

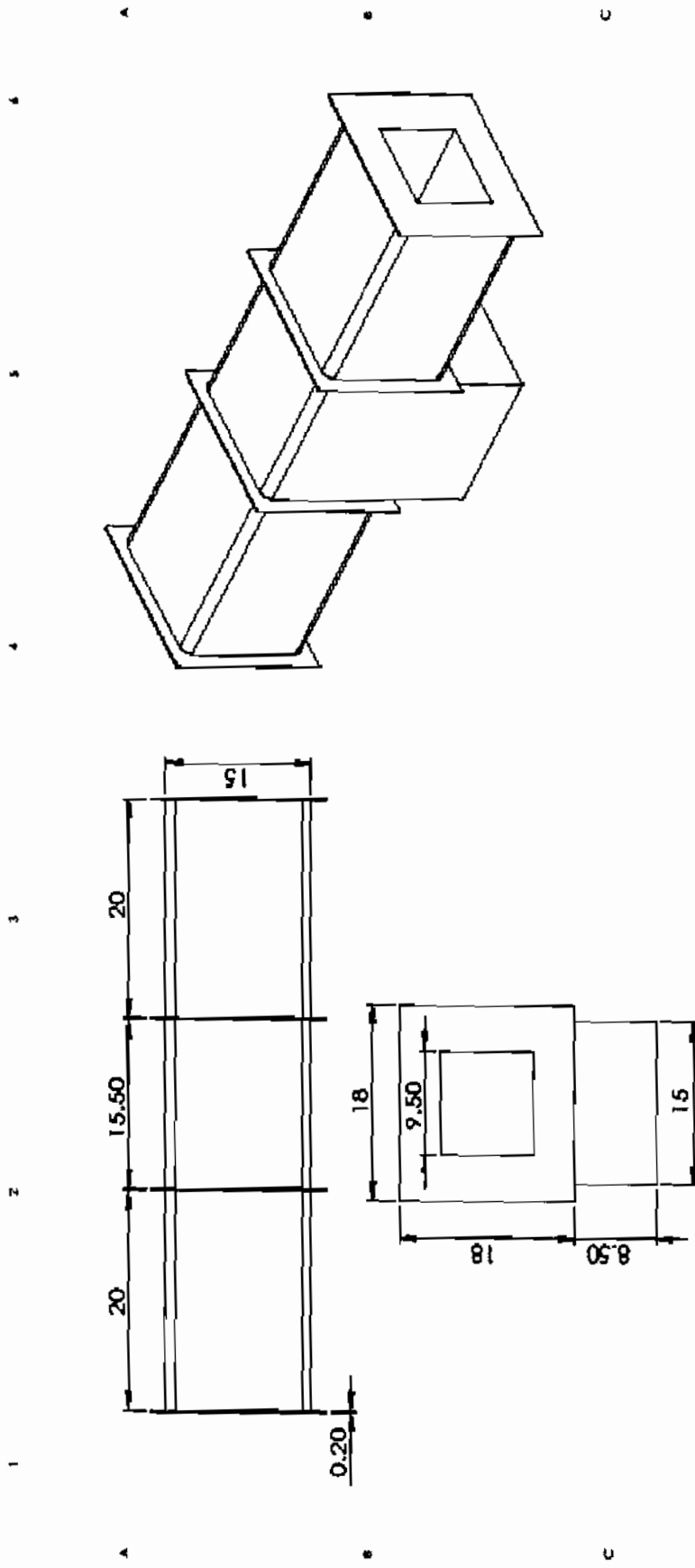


Heat Pipe and Thermal Tools Design Research Unit, HTDR Faculty of Engineering - Mahasarakham University

Title: Experiment

Scale 1:15
 DWG. NO. SI metric
 DATE: A4

CHECKED: Dr. Teerapat Chompookham

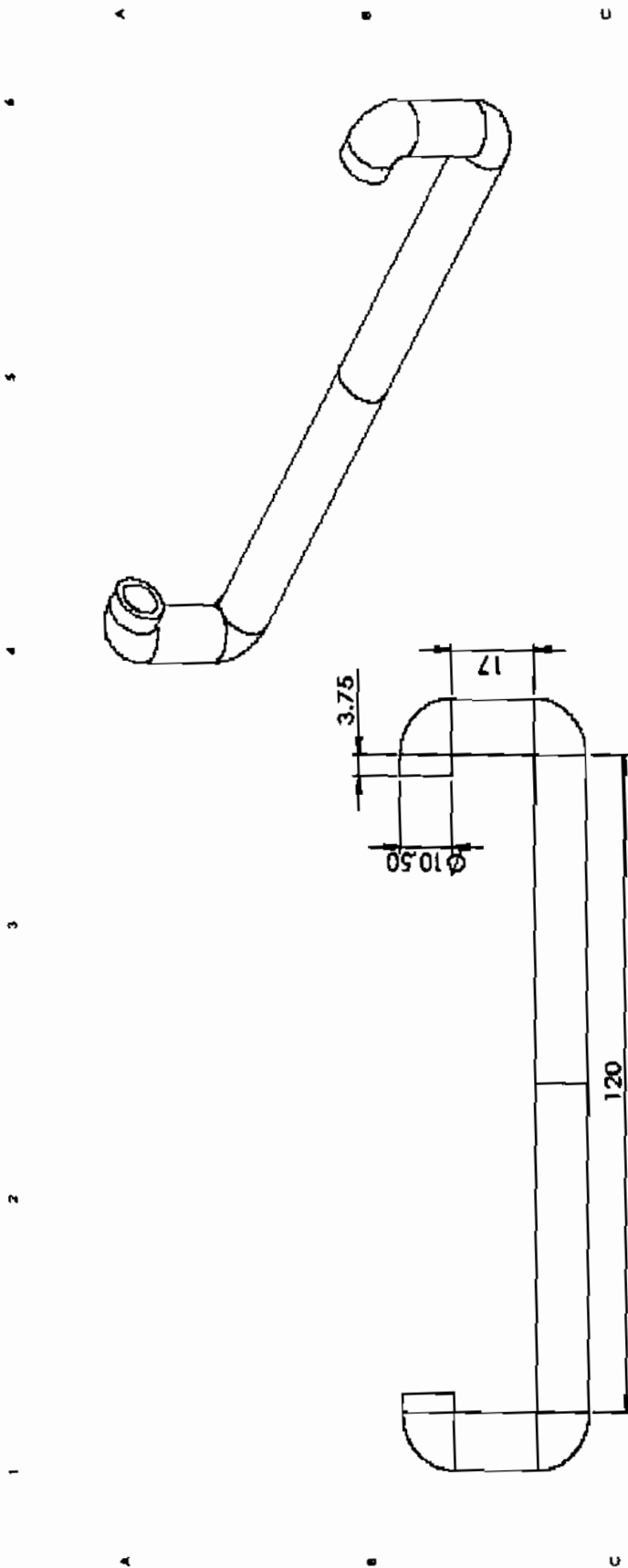


Heat Pipe and Thermal Tools Design Research Unit, HTDR **Faculty of Engineering - Mahasarakham University**

Title: Experiment

Scale 1:9
 DWG. NO.
 DATE:
 SI metric
 A4

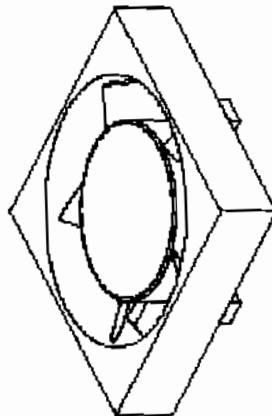
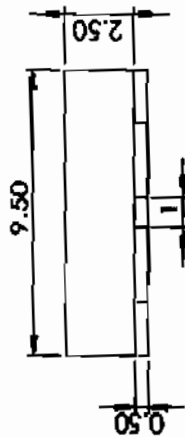
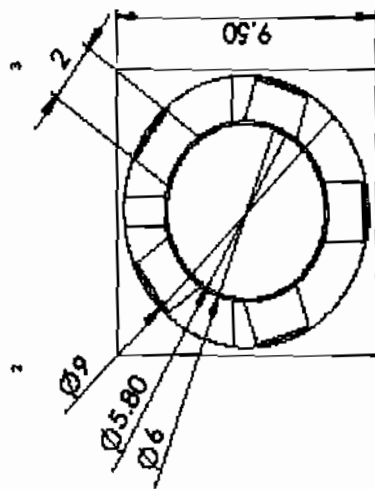
CHECKED: Dr. Teerapat Chompookham



Heat Pipe and Thermal Tools Design Research Unit, HTDR Faculty of Engineering - Mahasarakham University

Title: Experiment
 Scale: 1:14
 DWG. NO.:
 DATE:
 SI metric
 A4

CHECKED: Dr. Teerapat Chompoonkham



Heat Pipe and Thermal Tools Design Research Unit, HTDR **Faculty of Engineering - Mahasarakham University**

Title: Experiment

Scale 1:3
 DWG. NO. 13
 DATE: 13/05/2564
 CI metric A4

CHECKED: Dr. Teerapat Chompoonkham

ภาคผนวก ง
ตารางคุณสมบัติของสารทำงาน

ตาราง ง.1 คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสารทำงาน R-11

Refrigerant 11 (Trichlorofluoromethane) Properties of Saturated Liquid and Saturated Vapor

Temp.* °C	Absolute Pressure, MPa	Density, kg/m ³	Volume, m ³ /kg	Enthalpy, kJ/kg		Entropy, kJ/(kg·K)		Specific Heat <i>c_p</i> , kJ/(kg·K)			Velocity of Sound, m/s		Viscosity, μPa·s		Thermal Cond., mW/(m·K)		Surface Tension, mN/m	Temp.* °C
				Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor		
-110.47a	0.00001	1768.5	1512.65	108.17	336.88	0.5694	1.9753	—	0.421	1.168	—	107.	—	—	—	—	-110.47	
-110.00	0.00001	1767.6	1419.37	109.81	337.07	0.5795	1.9725	0.766	0.422	1.168	—	107.	—	—	—	—	-110.00	
-100.00	0.00003	1747.4	402.55	117.55	341.36	0.6255	1.9181	0.781	0.437	1.161	1202	110.	—	—	—	35.09	-100.00	
-90.00	0.00008	1726.9	133.79	125.42	345.77	0.6697	1.8728	0.794	0.451	1.156	1167.	113.	—	—	—	33.63	-90.00	
-80.00	0.00023	1706.2	50.774	133.41	350.31	0.7122	1.8351	0.804	0.465	1.151	1127	116.	—	—	—	32.17	-80.00	
-70.00	0.00057	1685.3	21.544	141.50	354.96	0.7530	1.8037	0.813	0.479	1.147	1086	119.	—	—	—	30.73	-70.00	
-60.00	0.00128	1664.3	10.055	149.66	359.71	0.7922	1.7777	0.820	0.493	1.144	1045.	121	—	—	—	29.30	-60.00	
-50.00	0.00265	1643.2	5.0875	157.89	364.56	0.8299	1.7561	0.826	0.507	1.141	1004	124	—	—	—	27.89	-50.00	
-40.00	0.00509	1621.8	2.7595	166.19	369.48	0.8663	1.7382	0.832	0.521	1.138	964	126.	—	—	—	26.49	-40.00	
-30.00	0.00919	1600.3	1.5892	174.54	374.48	0.9014	1.7236	0.838	0.535	1.137	926.	128.	789.6	—	—	25.10	-30.00	
-20.00	0.01573	1578.5	0.96383	182.96	379.53	0.9353	1.7118	0.845	0.548	1.136	888	131	710.7	9.48	100.7	23.73	-20.00	
-10.00	0.02567	1556.5	0.61141	191.44	384.64	0.9681	1.7023	0.852	0.562	1.135	852	132	636.1	9.82	98.2	22.38	-10.00	
0.00	0.04020	1534.1	0.40328	200.00	389.77	1.0000	1.6947	0.859	0.576	1.136	817	134.	567.5	10.16	95.8	21.04	0.00	
2.00	0.04377	1529.6	0.37264	201.72	390.80	1.0063	1.6935	0.861	0.578	1.136	810	135	554.5	10.23	95.3	20.77	2.00	
4.00	0.04759	1525.0	0.34479	203.44	391.83	1.0125	1.6922	0.862	0.581	1.136	803.	135.	541.8	10.30	94.8	20.51	4.00	
6.00	0.05167	1520.5	0.31943	205.17	392.86	1.0187	1.6911	0.864	0.584	1.136	796.	135.	529.3	10.37	94.3	20.25	6.00	
8.00	0.05603	1515.9	0.29630	206.90	393.89	1.0249	1.6900	0.865	0.586	1.137	789.	136.	517.2	10.44	93.8	20.00	8.00	
10.00	0.06068	1511.3	0.27518	208.64	394.92	1.0310	1.6889	0.867	0.589	1.137	782.	136	505.2	10.51	93.4	19.72	10.00	
12.00	0.06562	1506.7	0.25587	210.38	395.95	1.0371	1.6879	0.869	0.592	1.137	776	136.	493.6	10.58	92.9	19.46	12.00	
14.00	0.07088	1502.1	0.23819	212.12	396.99	1.0432	1.6870	0.871	0.595	1.138	769.	136	482.2	10.65	92.4	19.20	14.00	
16.00	0.07647	1497.4	0.22198	213.86	398.02	1.0492	1.6861	0.872	0.597	1.138	762	137.	471.0	10.71	91.9	18.93	16.00	
18.00	0.08240	1492.8	0.20710	215.61	399.05	1.0552	1.6853	0.874	0.600	1.138	755.	137	460.2	10.78	91.4	18.67	18.00	
20.00	0.08868	1488.1	0.19342	217.36	400.08	1.0612	1.6845	0.876	0.603	1.139	749.	137.	449.5	10.85	91.0	18.42	20.00	
22.00	0.09534	1483.4	0.18083	219.12	401.10	1.0672	1.6838	0.878	0.606	1.139	742	138	439.1	10.93	90.5	18.16	22.00	
23.71b	0.10132	1479.3	0.17086	220.62	401.98	1.0722	1.6832	0.880	0.608	1.140	736	138	430.5	10.99	90.1	17.94	23.71	
24.00	0.10238	1478.6	0.16922	220.88	402.13	1.0731	1.6831	0.880	0.608	1.140	735	138	429.0	11.00	90.0	17.90	24.00	
26.00	0.10982	1473.9	0.15852	222.64	403.16	1.0790	1.6824	0.882	0.611	1.141	729.	138	419.1	11.07	89.5	17.64	26.00	
28.00	0.11767	1469.1	0.14864	224.41	404.18	1.0849	1.6818	0.884	0.614	1.141	722	138	409.4	11.14	89.1	17.39	28.00	
30.00	0.12596	1464.3	0.13950	226.19	405.21	1.0907	1.6813	0.886	0.617	1.142	715	138	400.0	11.21	88.6	17.13	30.00	
32.00	0.13470	1459.5	0.13104	227.96	406.23	1.0965	1.6807	0.888	0.620	1.143	709.	139.	390.8	11.28	88.1	16.87	32.00	
34.00	0.14389	1454.7	0.12320	229.74	407.25	1.1023	1.6803	0.890	0.622	1.144	702.	139.	381.9	11.36	87.6	16.62	34.00	
36.00	0.15357	1449.8	0.11593	231.53	408.27	1.1081	1.6798	0.892	0.625	1.145	696.	139.	373.1	11.43	87.2	16.37	36.00	
38.00	0.16374	1444.9	0.10918	233.32	409.28	1.1139	1.6794	0.894	0.628	1.146	689	139	364.6	11.50	86.7	16.11	38.00	
40.00	0.17443	1440.0	0.10290	235.11	410.30	1.1196	1.6790	0.896	0.631	1.147	683	139.	356.3	11.58	86.2	15.86	40.00	
42.00	0.18564	1435.0	0.09706	236.91	411.31	1.1253	1.6787	0.899	0.634	1.148	676.	139.	348.2	11.65	85.8	15.61	42.00	
44.00	0.19740	1430.0	0.09162	238.71	412.31	1.1310	1.6784	0.901	0.637	1.149	670.	140	340.3	11.73	85.3	15.36	44.00	
46.00	0.20973	1425.0	0.08656	240.52	413.32	1.1366	1.6781	0.903	0.640	1.150	663	140	332.6	11.80	84.8	15.11	46.00	
48.00	0.22263	1420.0	0.08183	242.33	414.32	1.1423	1.6778	0.906	0.643	1.151	657	140.	325.1	11.88	84.3	14.86	48.00	
50.00	0.23614	1414.9	0.07741	244.15	415.32	1.1479	1.6776	0.908	0.646	1.152	650	140	317.8	11.96	83.9	14.62	50.00	
55.00	0.27264	1402.1	0.06758	248.72	417.80	1.1618	1.6771	0.914	0.654	1.156	634.	140	300.3	12.15	82.7	14.03	55.00	
60.00	0.31329	1389.1	0.05924	253.32	420.25	1.1756	1.6767	0.921	0.662	1.160	618	140	283.9	12.35	81.5	13.24	60.00	
65.00	0.35837	1375.9	0.05212	257.95	422.68	1.1893	1.6765	0.928	0.670	1.165	602	140.	268.6	12.56	80.4	12.46	65.00	
70.00	0.40818	1362.4	0.04601	262.62	425.08	1.2030	1.6764	0.935	0.679	1.170	586.	140	254.2	12.76	79.2	11.70	70.00	
75.00	0.46303	1348.7	0.04075	267.33	427.44	1.2165	1.6763	0.943	0.688	1.176	570.	140	240.7	12.98	78.0	10.94	75.00	
80.00	0.52323	1334.7	0.03630	272.08	429.76	1.2299	1.6764	0.951	0.698	1.183	554	139.	228.1	13.20	76.9	10.19	80.00	
85.00	0.58909	1320.4	0.03224	276.87	432.04	1.2432	1.6764	0.960	0.708	1.190	537	139.	216.2	13.42	75.7	9.45	85.00	
90.00	0.66094	1305.8	0.02879	281.70	434.27	1.2564	1.6766	0.969	0.719	1.199	521	139	205.1	13.65	74.6	8.72	90.00	
95.00	0.73910	1290.9	0.02577	286.58	436.45	1.2696	1.6767	0.979	0.731	1.209	505	138	194.7	13.89	73.4	8.00	95.00	
100.00	0.82390	1275.6	0.02312	291.50	438.57	1.2827	1.6769	0.989	0.744	1.219	489	137	185.0	14.14	72.3	7.28	100.00	
105.00	0.91568	1259.9	0.02078	296.48	440.63	1.2958	1.6770	1.001	0.758	1.232	472	137	175.8	14.39	71.1	6.54	105.00	
110.00	1.0148	1243.8	0.01870	301.51	442.63	1.3088	1.6771	1.013	0.773	1.246	456.	136	167.2	14.65	70.0	5.83	110.00	
115.00	1.1216	1227.2	0.01686	306.60	444.56	1.3218	1.6772	1.026	0.789	1.262	439	135	159.1	14.91	68.8	5.12	115.00	
120.00	1.2364	1210.1	0.01522	311.75	446.40	1.3347	1.6772	1.041	0.807	1.280	422	133	151.5	15.19	67.6	4.40	120.00	
125.00	1.3596	1192.4	0.01376	316.98	448.16	1.3477	1.6771	1.057	0.828	1.301	405.	132	144.4	15.47	66.5	3.68	125.00	
130.00	1.4916	1174.1	0.01244	322.27	449.82	1.3606	1.6770	1.075	0.851	1.325	387.	131.	137.7	15.77	65.3	2.96	130.00	
135.00	1.6327	115																

ภาคผนวก จ
อักษรย่อและสัญลักษณ์

อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A_c	พื้นที่ผิวทั้งหมดในส่วนควบแน่น	m^2
D_c	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว	m
D_i	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ	m
D_o	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ	m
C_p	ค่าความจุความร้อนจำเพาะ	J/ kg °C
H_{cc}	ความยาวส่วนควบแน่น	m
H_{ce}	ความสูงของเกลียวที่ส่วนทำระเหย	m
L_c	ความยาวในส่วนควบแน่น	m
L_e	ความยาวส่วนทำระเหย	m
P	ระยะพิตช์ของเกลียว	m
$\dot{m}$	อัตราการไหลเชิงมวล	kg/s
Q	ค่าการถ่ายเทความร้อน	W
q	อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่	W/m ²
T_e	อุณหภูมิส่วนทำระเหย	°C
T_{ci}	อุณหภูมิของอากาศขาเข้าส่วนควบแน่น	°C
T_{co}	อุณหภูมิของอากาศขาออกส่วนควบแน่น	°C
Φ_c	มุมเกลียว	°
α	มุมเอียงของท่อความร้อน	°

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล นายอนุวัฒน์ บรรณารักษ์
วันเกิด วันที่ 24 มีนาคม 2535
สถานที่เกิด เลขที่ 55 หมู่ 6 ตำบลวัดธาตุ อำเภอเมือง จังหวัดหนองคาย
 รหัสไปรษณีย์ 43000
สถานที่อยู่ปัจจุบัน เลขที่ 55 หมู่ 6 ตำบลวัดธาตุ อำเภอเมือง จังหวัดหนองคาย
 รหัสไปรษณีย์ 43000

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2550 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนปทุมเทพวิทยาคาร อำเภอเมือง
 จังหวัดหนองคาย
 พ.ศ. 2553 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนปทุมเทพวิทยาคาร อำเภอเมือง
 จังหวัดหนองคาย
 พ.ศ. 2557 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล	นายบดินทร์ กระจมุลวงศ์
วันเกิด	วันที่ 12 สิงหาคม 2535
สถานที่เกิด	เลขที่ 42 หมู่ 3 ตำบลโพธิ์ศรี อำเภอโพธิ์ชัย จังหวัดร้อยเอ็ด รหัสไปรษณีย์ 45230
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	เลขที่ 137 หมู่ 8 ตำบลเจ้าทอง อำเภอภักดีชุมพล จังหวัดชัยภูมิ รหัสไปรษณีย์ 36260
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2550	มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรวิทยาลัย อำเภอวังน้อย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
พ.ศ. 2553	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรวิทยาลัย อำเภอวังน้อย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
พ.ศ. 2557	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม