



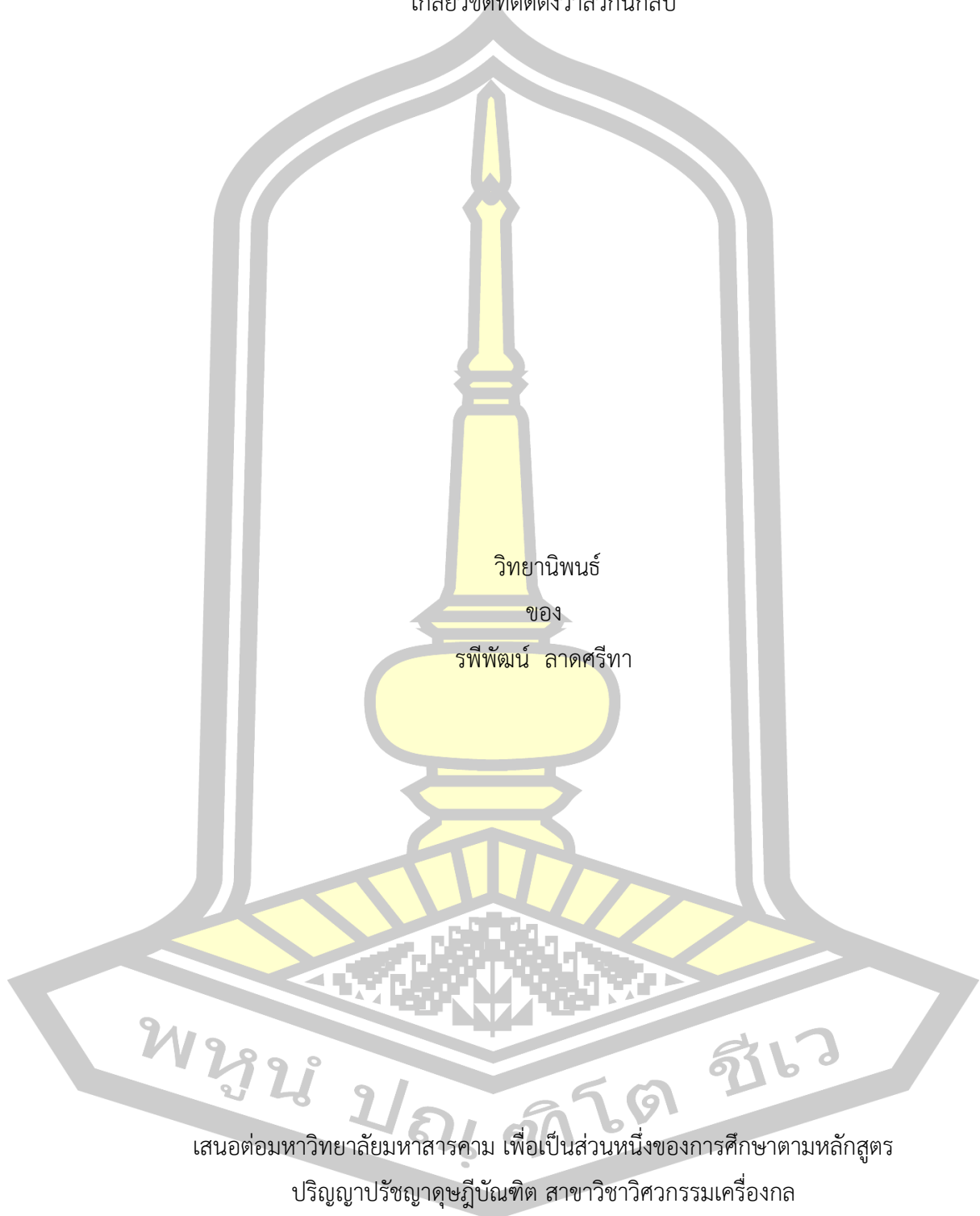
ลักษณะการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบชนิด
เกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ

วิทยานิพนธ์
ของ
รพีพัฒน์ ลาดศรีทา

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
พฤษภาคม 2563

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ลักษณะการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบชนิด
เกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ

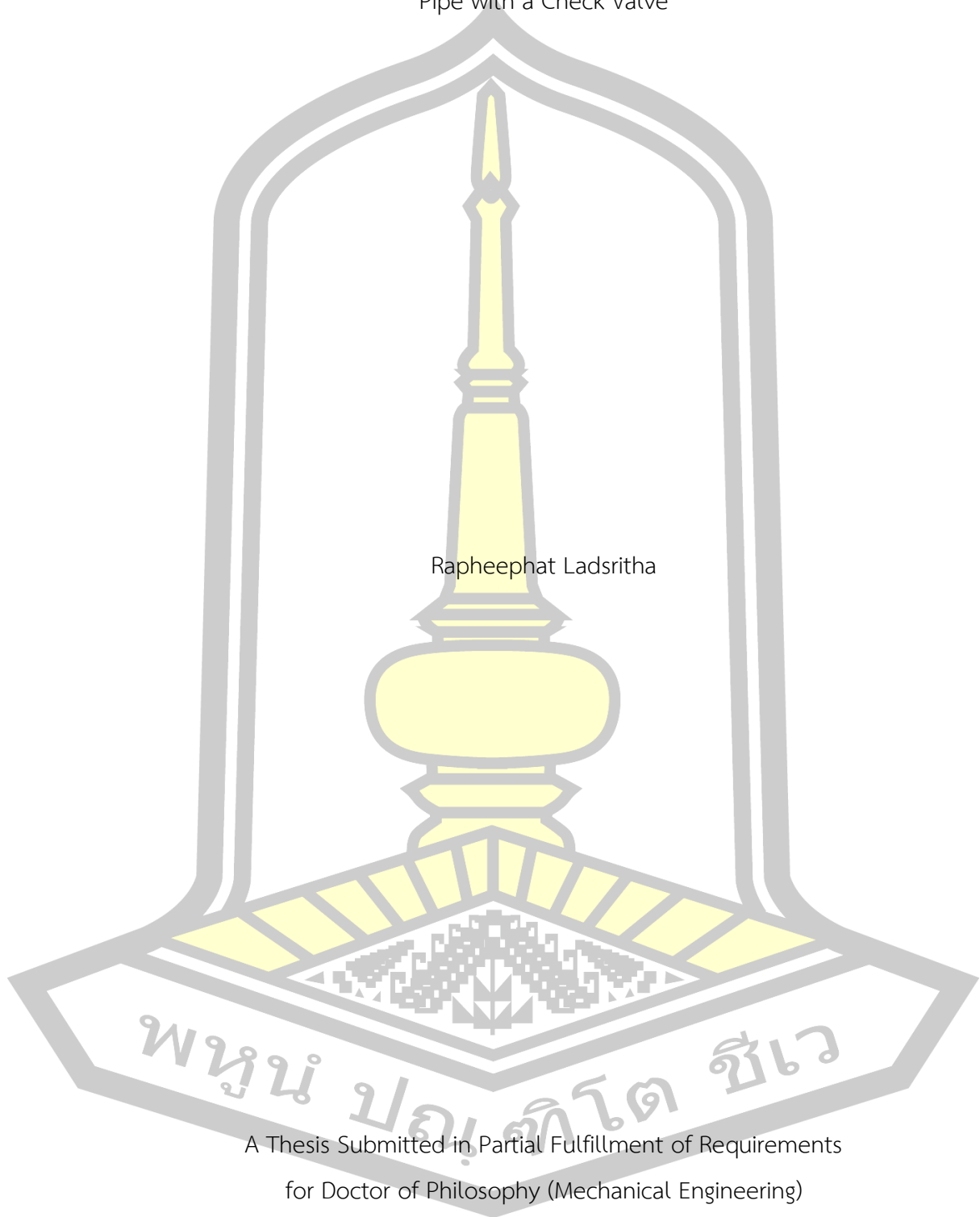


เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

พฤษภาคม 2563

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Heat Transfer Characteristics and Flow Pattern Behaviors of a Helical Oscillating Heat
Pipe with a Check Valve



Rapheephat Ladsritha

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Doctor of Philosophy (Mechanical Engineering)

May 2020

Copyright of Maharakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายรพีพัฒน์ ลาดศรีทา แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รศ. ดร. ธัญญา ประเมษฐานววัฒน์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผศ. ดร. อธิพัฒน์ ชมภูคำ)

.....กรรมการ

(รศ. ดร. บพิตร บุปผาโชติ)

.....กรรมการ

(ผศ. ดร. เกียรติสิน กาญจนวนิชกุล)

.....กรรมการ

(ผศ. ดร. ธวัฒน์ชัย คุณะโคตร)

มหาวิทยาลัยขอนแก่นให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ปริญญา ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

..... (รศ. ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

..... (รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

พูน ปณฺทิต ชีวะ

ชื่อเรื่อง	ลักษณะการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ		
ผู้วิจัย	รพีพัฒน์ ลาดศรีทา		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธีรพัฒน์ ชมภูคำ		
ปริญญา	ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต	สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2563

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันอุปกรณ์สำหรับประหยัดพลังงานเป็นที่ต้องการในหลายอุตสาหกรรม ท่อความร้อนเป็นหนึ่งในอุปกรณ์ที่สามารถนำความร้อนเหลือทิ้งกลับมาใช้ใหม่ ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบชนิดเกลียวขดเป็นท่อความร้อนแบบใหม่ที่ช่วยให้ประหยัดพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ วาล์วกันกลับที่ติดตั้งบนท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบช่วยให้ท่อความร้อนมีประสิทธิภาพสูงขึ้น แต่การศึกษาท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับมีน้อย จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับดังกล่าว ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ใช้สารทำงาน R-11 เอทานอล และน้ำ ท่อความร้อนทำจากทองแดงและแก้วทนความร้อน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.8 2.4 และ 3.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียวเท่ากันที่ขนาด 600 800 และ 1000 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขดคงที่ 50 mm ระยะพิทซ์คงที่ 10 mm ทำการทดสอบท่อความร้อนที่มุมเอียง 30 60 และ 90 องศาให้ความร้อนกับส่วนทำระเหย 30 60 และ 90 °C ระบายความร้อนด้วยน้ำที่ส่วนควบแน่นคงที่ที่อุณหภูมิ 25 °C ด้วยอัตราการไหลคงที่ 20 ลิตร/ชั่วโมง ความยาวส่วนกันความร้อนคงที่ 100 mm ขนาดของบอลวาล์วกันกลับ 0.255 0.44 และ 1.036 g ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหยและด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น ทำการวัดอุณหภูมิทางเข้าและทางออกส่วนควบแน่นด้วยเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K จากนั้นบันทึกข้อมูลด้วยเครื่องบันทึกข้อมูลและบันทึกภาพเคลื่อนไหวหลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ จากการศึกษพบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุดคือ 12.82 kW/m² ของท่อความร้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3.4 mm ความยาวท่อของส่วนทำระเหยกับส่วน

ควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm สารทำงาน R-11 ท่อความร้อนทำมุมเอียง 90 องศา ขนาด
บอลวาล์วกันกลับ 0.255 g ติดตั้งวาล์วกันกลับตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และให้ความร้อน
ส่วนทำระเหย 90 °C และสร้างแผนภูมิรูปแบบการไหล โดยแบ่งออกได้เป็น 3 พื้นที่ ได้แก่ แบบ
Annular flow and Stratified wavy flow (AF/SWF) แบบ Annular flow and Slug flow (AF/SF)
และแบบ Annular flow Stratified wavy flow Slug flow and Bubble flow (AF/SWF/SF/BF)

คำสำคัญ : การถ่ายเทความร้อน, ท่อความร้อน, วาล์วกันกลับ, การถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่,
รูปแบบการไหล



TITLE Heat Transfer Characteristics and Flow Pattern Behaviors of a Helical Oscillating Heat Pipe with a Check Valve

AUTHOR Rapheephat Ladsritha

ADVISORS Assistant Professor Teerapat Chompookham , D.Eng.

DEGREE Doctor of Philosophy **MAJOR** Mechanical Engineering

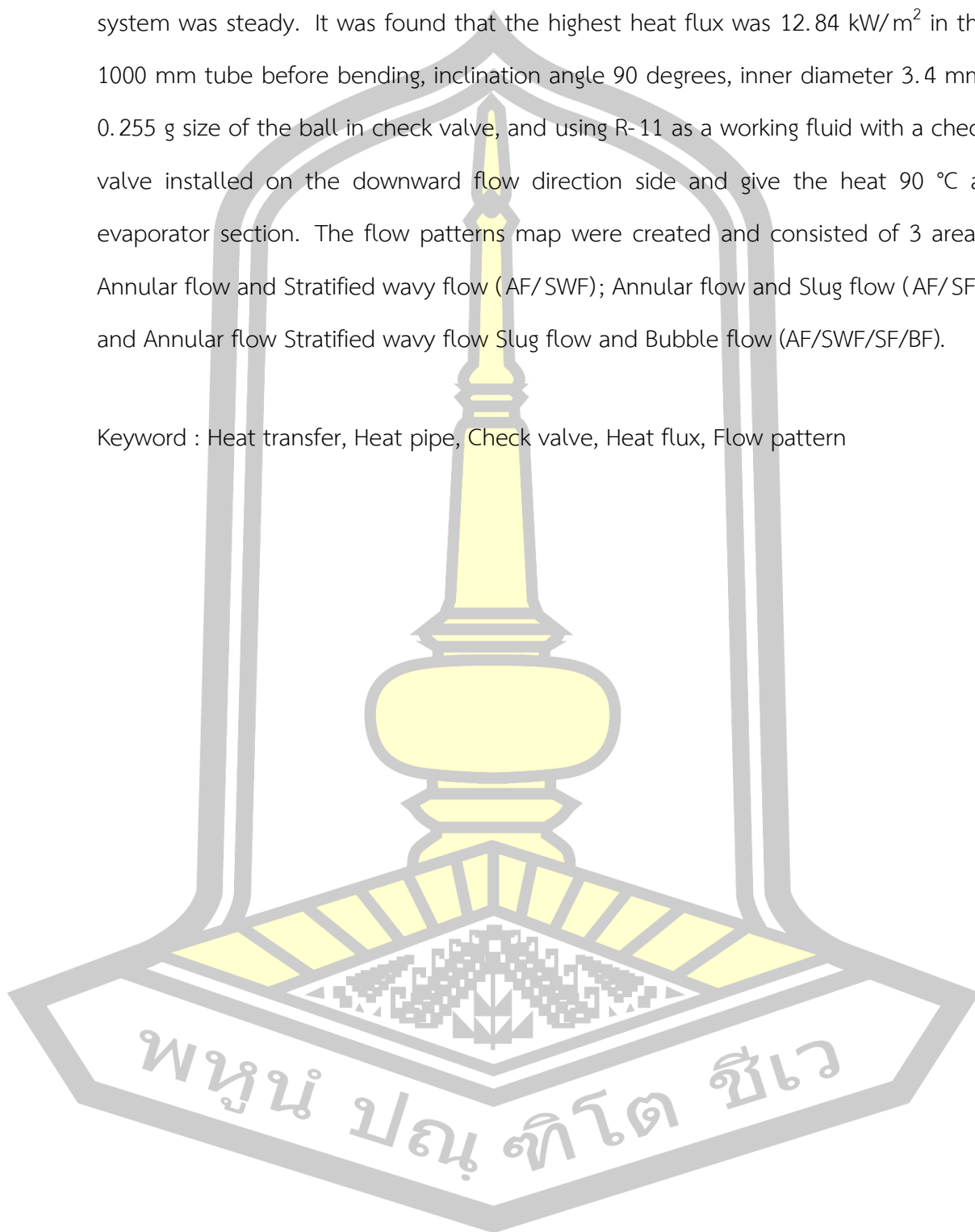
UNIVERSITY Mahasarakham **YEAR** 2020
University

ABSTRACT

At present energy-saving devices are required in many industries. Heat pipes have the ability to reuse wasted energy. The helical oscillating heat pipe (HOHP) is a new and unique energy-saving device with high performance. A check valve made the oscillating heat pipe perform better, but literature in the area of the paucity of the helical oscillating heat pipe with a check valve (HOHP/CV) needs research on the heat transfer characteristics and flow pattern behaviors of the HOHP/CV. This research aimed to study the heat transfer characteristics and flow pattern behaviors of the HOHP/CV with various working fluids, including R-11 ethanol and DI water. The HOHP/CV was made from copper and glass tubes with an inner diameter of 1.8 2.4 and 3.4 mm. The condenser and the evaporator were equal lengths, this parameter was divided into three lengths, 600 800 and 1000 mm of the straight tube before bending to a helical shape. The coil diameter was fixed at 50 mm, and the pitch was fixed at 10 mm. The HOHP/CV was tested in three angles of inclination, 30 60 and 90 degrees with the heat source temperatures of 30 60 and 90 °C. The cooling water temperature at the condenser section was fixed at 25 °C with a fixed flow rate of 20 liters/hr. The adiabatic section length of HOHP/CV was fixed at 100 mm. Used 0.255 0.44 and 1.036 g size of the ball in check valve and installed positions were upward and downward flow direction side. The inlet and outlet water temperature on the condenser section was

monitored by thermocouple type-K, and data logged and recording video after the system was steady. It was found that the highest heat flux was 12.84 kW/m^2 in the 1000 mm tube before bending, inclination angle 90 degrees, inner diameter 3.4 mm, 0.255 g size of the ball in check valve, and using R-11 as a working fluid with a check valve installed on the downward flow direction side and give the heat $90 \text{ }^\circ\text{C}$ at evaporator section. The flow patterns map were created and consisted of 3 areas; Annular flow and Stratified wavy flow (AF/SWF); Annular flow and Slug flow (AF/SF); and Annular flow Stratified wavy flow Slug flow and Bubble flow (AF/SWF/SF/BF).

Keyword : Heat transfer, Heat pipe, Check valve, Heat flux, Flow pattern



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วย ความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรพัฒน์ ชมภูคำ อาจารย์ที่ปรึกษา จึงขอกราบขอบพระคุณ เป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ธัญญา ประเมษฐา นุวัฒน์ ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร.บพิศ บุปผโชติ กรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกียรติ สีน กาญจนวนิชกุล กรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธวัฒน์ชัย คุณะโคตร กรรมการ ที่ได้คำแนะนำในการแก้ไขปรับปรุงวิทยานิพนธ์นี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอกราบขอบพระคุณครูพลศักดิ์ ลาดศรีทา และครูสุวรรณา ลาดศรีทา ผู้เป็นทั้งบิดามารดา และ ครูคนแรกในชีวิตของผู้วิจัย ผู้สร้างแรงบันดาลใจในการศึกษา อีกทั้งยังคอยช่วยเหลือด้านทุนการศึกษาจนผู้วิจัยประสบผลสำเร็จ

ขอขอบคุณอาจารย์ ดร.สุรเชษฐ์ สีขำนาญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุธนา ศรีอุดม อาจารย์ ดร.อนุรักษ์ รอดบำรุง อาจารย์ ดร.สุพัตรา บุโธสง อาจารย์ ดร.นรินทร์ ศิริวรรณ อาจารย์ สุริย์พันธ์ สมศรี และพี่น้องที่รักยิ่งในหน่วยวิจัยท่อความร้อนและออกแบบเครื่องมือทางความร้อน (Heat Pipe and Thermal Tools Design Research Unit, HTDR) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่คอยช่วยเหลือในเรื่องการเรียนและการทำวิจัย

ท้ายสุดนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ ดร.วิลาวัลย์ ซาดา คู่คิดคู่ชีวิต ที่ได้ให้กำลังใจ เข้าใจและเคียงข้างผู้วิจัยเสมอมา

รพีพัฒน์ ลาดศรีทา

พนุน ปณ ทิโต ชีเว

สารบัญ

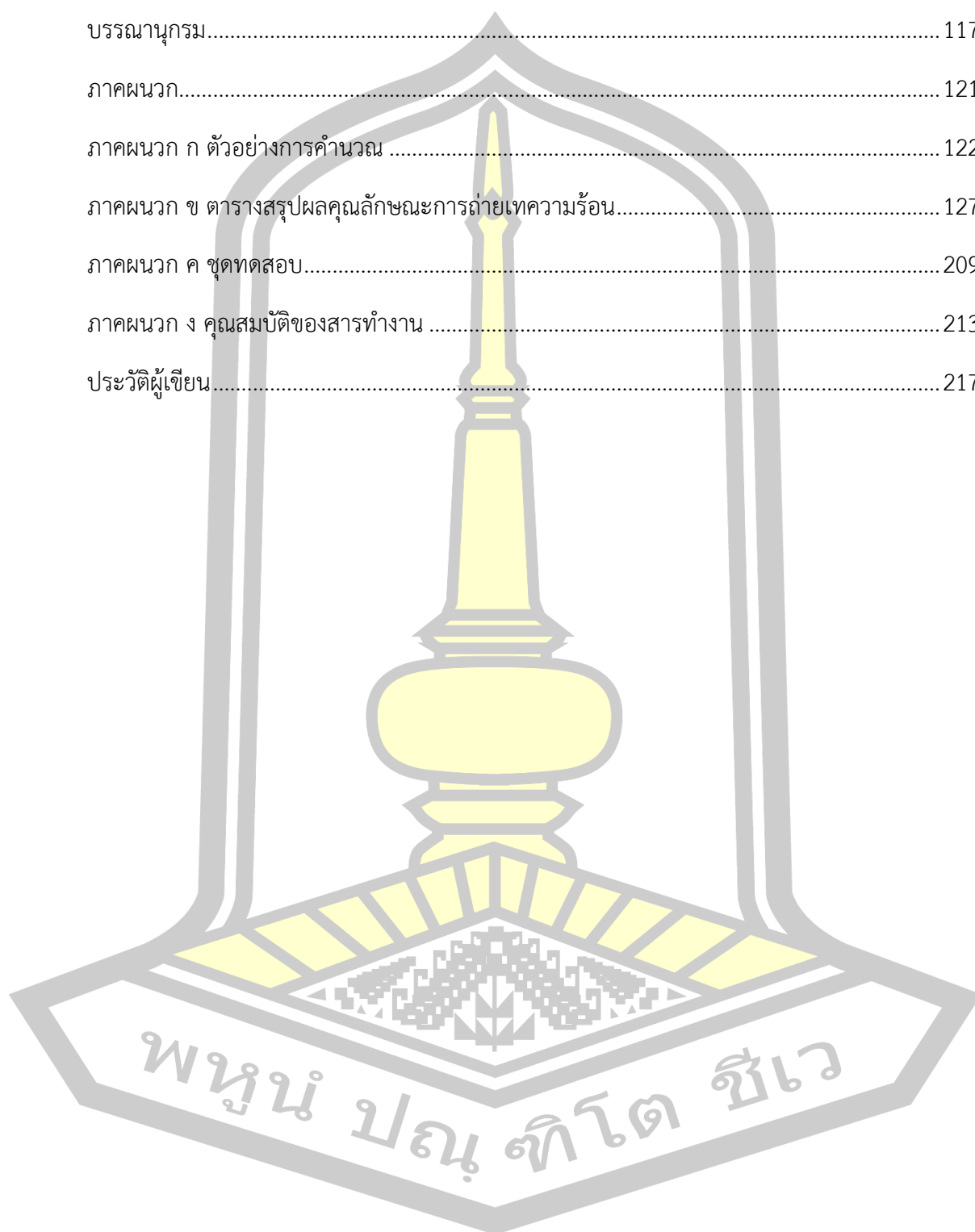
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ณ
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญรูปภาพ.....	ต
สารบัญคำย่อ.....	ถ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ภูมิหลัง.....	1
1.2 ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.3.1 ตัวแปรต้น.....	3
1.3.2 ตัวแปรตาม.....	4
1.3.3 ตัวแปรควบคุม.....	4
1.4 ความสำคัญของงานวิจัย.....	4
บทที่ 2 ปรัชญาเอกสารข้อมูล.....	6
2.1 ท่อความร้อน.....	6
2.1.1 ประวัติความเป็นมาของท่อความร้อน.....	6
2.1.2 โครงสร้างและส่วนประกอบของท่อความร้อน.....	8
2.1.2.1 โครงสร้างของท่อความร้อน.....	8
2.1.2.2 ส่วนประกอบของท่อความร้อน.....	10

2.2 ท่อความร้อนแบบสั้น	11
2.2.1 ลักษณะโดยทั่วไปของท่อความร้อนแบบสั้น	11
2.2.2 ชนิดและลักษณะการทำงานของท่อความร้อนแบบสั้น	12
2.2.2.1 ท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิด.....	13
2.2.2.2 ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ	13
2.2.2.3 ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ	14
2.2.2.4 ลักษณะการทำงานของท่อความร้อนแบบสั้น	14
2.3 ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบชนิดเกลียวขด.....	15
2.3.1 ความเป็นมาของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบชนิดเกลียวขด	15
2.3.2 ลักษณะการทำงานของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบชนิดเกลียวขด	16
2.4 วาล์วกันกลับ.....	16
2.5 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน	18
2.6 รูปแบบการไหลและแผนภูมิการไหล	19
2.6.1 รูปแบบการไหล	19
2.6.1.1 รูปแบบการไหลสองสถานะในแนวตั้ง	19
2.6.1.2 รูปแบบการไหลสองสถานะในแนวนอน	20
2.6.2 แผนภูมिरูปแบบการไหล	22
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	67
3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	67
3.1.1 ตัวแปรต้น.....	67
3.1.2 ตัวแปรตาม.....	68
3.1.3 ตัวแปรควบคุม.....	68
3.2 ชุดทดลอง	69

3.2.1	ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบชนิดเกลียวขด	69
3.2.2	ชุดให้ความร้อนส่วนทำระเหยและชุดระบายความร้อนส่วนควบแน่น.....	71
3.3	วิธีการติดตั้งชุดทดลอง	72
3.4	อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง	74
3.4.1	เครื่องบันทึกข้อมูล.....	74
3.4.2	เทอร์โมคัปเปิล.....	74
3.4.3	ชุดการเติมสารทำงาน.....	75
3.4.4	เครื่องมือวัดอัตราการไหล.....	75
3.4.5	เครื่องทำสุญญากาศ	76
3.4.6	กล้องถ่ายภาพดิจิทัล.....	76
3.4.7	คอมพิวเตอร์เน็ตบุ๊ก.....	77
3.5	ขั้นตอนการทดลอง	77
3.6	การวิเคราะห์ผลการทดลอง	78
บทที่ 4	ผลและการอภิปรายผลการวิจัย	84
4.1	ลักษณะการถ่ายเทความร้อน	84
4.1.1	ผลของสารทำงานต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่	84
4.1.2	ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่.....	85
4.1.3	ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหยต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่	85
4.1.4	ผลของมุมเอียงต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่.....	86
4.1.5	ผลของความยาวท่อต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่	87
4.1.6	ผลของขนาดบอลวาล์วกันกลับต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่	88
4.1.7	ผลของตำแหน่งวาล์วกันกลับต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่	89

4.2	พฤติกรรมรูปแบบการไหล.....	90
4.2.1	พฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 3.4 mm.....	91
4.2.2	พฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 2.4 mm.....	93
4.2.3	พฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 1.8 mm.....	96
4.2.4	พฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงานเอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 3.4 mm	98
4.2.5	พฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงานเอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 2.4 mm.....	101
4.2.6	พฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงานเอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 1.8 mm.....	103
4.2.7	พฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 3.4 mm.....	106
4.2.8	พฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 2.4 mm.....	108
4.2.9	พฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 1.8 mm.....	111
4.3	แผนภูมิรูปแบบการไหล	113
4.3.1	พื้นที่รูปแบบการไหลแบบ Annular flow and Stratified wavy flow (AF/SWF)	113
4.3.2	พื้นที่รูปแบบการไหลแบบ Annular flow and Slug flow (AF/SF).....	114
4.3.3	พื้นที่รูปแบบการไหลแบบ Annular flow Stratified wavy flow Slug flow and Bubble flow (AF/SWF/SF/BF).....	114
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	115
5.1	สรุปผลการวิจัย	115

5.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัย	116
บรรณานุกรม.....	117
ภาคผนวก.....	121
ภาคผนวก ก ตัวอย่างการคำนวณ	122
ภาคผนวก ข ตารางสรุปผลคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อน.....	127
ภาคผนวก ค ชุดทดสอบ.....	209
ภาคผนวก ง คุณสมบัติของสารทำงาน	213
ประวัติผู้เขียน.....	217



สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 สรุปการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	44
ตาราง 2 การจัดกลุ่มและจัดแบ่งรูปแบบการไหล	82
ตาราง 3 พฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 3.4 mm	92
ตาราง 4 พฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 2.4 mm	94
ตาราง 5 พฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 1.8 mm	97
ตาราง 6 พฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงาน เอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 3.4 mm.....	99
ตาราง 7 พฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงาน เอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 2.4 mm.....	102
ตาราง 8 พฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงาน เอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 1.8 mm.....	104
ตาราง 9 พฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงาน น้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 3.4 mm.....	107
ตาราง 10 พฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 2.4 mm.....	109
ตาราง 11 พฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 1.8 mm.....	112

สารบัญรูปลูกภาพ

	หน้า
รูปภาพ 1 ท่อเพอร์กินส์ในหม้อไอน้ำ (Perkins, 1936).....	7
รูปภาพ 2 ท่อความร้อน (Gaugler, 1944).....	7
รูปภาพ 3 Grover ขณะทำการทดลองท่อความร้อน (Grover, 1966).....	8
รูปภาพ 4 ท่อความร้อน.....	9
รูปภาพ 5 วัสดุพอรูน.....	9
รูปภาพ 6 สารทำความเย็น R-11 ที่ใช้เป็นสารทำงานของท่อความร้อน.....	10
รูปภาพ 7 ส่วนประกอบของท่อความร้อน.....	11
รูปภาพ 8 ท่อความร้อนแบบสั้น (a) ท่อความร้อนแบบสั้นที่ทำจากท่อทองแดง (b) แผนภาพท่อความร้อนแบบสั้น (Yoon et al., 2012).....	12
รูปภาพ 9 ท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิด (สัณหวัจน์ ทองแดง, 2555).....	13
รูปภาพ 10 ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ (สัณหวัจน์ ทองแดง, 2555).....	13
รูปภาพ 11 ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (สัณหวัจน์ ทองแดง, 2555).....	14
รูปภาพ 12 ท่อความร้อนแบบวงรอบที่มีส่วนทำระเหยเป็นเกลียวขด (Yi et al., 2003).....	15
รูปภาพ 13 ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบชนิดเกลียวขด (ยุธนา ศรีอุดม, 2558).....	16
รูปภาพ 14 วาล์วกันกลับแบบเทสลา (Tesla, 1920).....	17
รูปภาพ 15 วาล์วกันกลับแบบบอล (Bhuwakietkumjohn & Rittidech, 2010).....	18
รูปภาพ 16 รูปแบบการไหลสองสถานะในแนวตั้ง (Weisman & Kang, 1981).....	20
รูปภาพ 17 รูปแบบการไหลสองสถานะในแนวนอน (Weisman et al., 1979).....	21
รูปภาพ 18 แผนภูมิรูปแบบการไหล (Hewitt & Roberts, 1969).....	25
รูปภาพ 19 ภาพที่ได้จากการใช้เทคนิคยิงรังสีนิวตรอนของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่อัตราการเติมสารทำงาน (a) 20% (b) 40% (c) 60% (Sugimoto et al., 2009).....	26

รูปภาพ 20 ภาพถ่ายต่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดแผ่นเรียบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับแบบเทสลา (a) จากกล้องนิวตรอน (b) ที่ตกแต่งเพื่อให้เห็นรายละเอียดชัดเจน (Thompson et al., 2011)	27
รูปภาพ 21 ภาพถ่ายจากเทคนิครังสีนิวตรอนแสดงเส้นสำหรับใช้ในการคำนวณสัดส่วนของสถานะในการไหล (Yoon et al., 2012)	28
รูปภาพ 22 ภาพถ่ายจากกล้องอินฟราเรดแสดงอุณหภูมิที่จุดต่างๆบนต่อความร้อนแบบสั่นวงรอบตามเวลาที่ผ่านไป เมื่อให้ความร้อน 100 W ที่ส่วนทำระเหย (Karthikeyan et al., 2014).....	29
รูปภาพ 23 รูปแบบการไหลจากวิธี CFD (a) แบบฟอง (b) แบบแท่ง (Kuang et al., 2015).....	30
รูปภาพ 24 รูปแบบการไหลของสารทำงานเอทานอลที่เปลี่ยนไปเมื่อให้อุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น (Bhuwakietkumjohn & Rittidech, 2010)	31
รูปภาพ 25 แผนภูมิรูปแบบการไหลของต่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ใช้สารทำงานเอทานอล (Bhuwakietkumjohn & Rittidech, 2010).....	31
รูปภาพ 26 แผนภูมิรูปแบบการไหลของต่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ใช้สารทำงานเอทานอลผสมผงเงินนาโน (Bhuwakietkumjohn & Rittidech, 2010).....	32
รูปภาพ 27 รูปแบบการไหลภายในของ THMCLOHP/CV ที่ใช้สารทำงาน R141b ความยาวส่วนทำระเหย 50 mm มุมเอียง -90 องศา อุณหภูมิส่วนทำระเหย 85 105 และ 125 °C และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.4 mm (สัณห์วัจน์ ทองแดง, 2555).....	33
รูปภาพ 28 แผนภูมิรูปแบบการไหลของ THMCLOHP/CV เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์พลิกซ์ของสถานะไอและของเหลว (สัณห์วัจน์ ทองแดง, 2555).....	34
รูปภาพ 29 รูปแบบการไหลแบบฉืด (Qu et al., 2012).....	35
รูปภาพ 30 ตำแหน่งของการไหลแบบฟองที่มีขนาดใหญ่เท่ากับต่อเมื่อเวลาผ่านไป (Senjaya & Inoue, 2013).....	36
รูปภาพ 31 แผนภูมิแสดงตำแหน่งของการไหลแบบฟองที่มีขนาดใหญ่เท่ากับต่อเมื่อเวลาผ่านไป (Senjaya & Inoue, 2013).....	36
รูปภาพ 32 รูปแบบการไหลแบบแท่งยาวเมื่อเคลื่อนที่ผ่านส่วนโค้งจะกระจายออกเป็นแบบแท่งที่มีขนาดสั้นลง (Xue et al., 2013).....	37
รูปภาพ 33 รูปแบบการไหล (a) และ (b) แบบฟอง (c) แบบก้อนไอ (d) แบบกึ่งวงแหวน และ (e) แบบวงแหวน (Xian et al., 2014).....	39

รูปภาพ 34 รูปแบบการไหลในส่วนทำระเหยของ IC-FP-CLPHP (Ebrahimi et al., 2015).....	40
รูปภาพ 35 แผนภูมิแสดงรูปร่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานความร้อน อัตราส่วนการเติมสารทำงาน และการให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยของ IC-FP-CLPHP (Ebrahimi et al., 2015)....	40
รูปภาพ 36 รูปแบบการไหลที่พบบนส่วนทำระเหยแบบเกลียวขด (a) แบบพอง (b) แบบแท่ง (c) แบบแยกชั้น (d) แบบแยกชั้นไม่คงที่ (Yi et al., 2003).....	42
รูปภาพ 37 แผนภูมิรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียวขดเปรียบเทียบกับความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์พลิกซ์ของสถานะไอและโมเมนต์พลิกซ์ของสถานะของเหลว (ยูธนา ศรีอุดม, 2558).....	43
รูปภาพ 38 กรอบแนวคิดในการวิจัย	69
รูปภาพ 39 ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับให้มีทิศทางการไหลลงส่วนทำระเหย.....	70
รูปภาพ 40 ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับให้มีทิศทางการไหลขึ้นส่วนควบแน่น.....	70
รูปภาพ 41 ส่วนประกอบของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ	71
รูปภาพ 42 ส่วนทำระเหยทำจากท่อแก้วทนความร้อน.....	71
รูปภาพ 43 ลักษณะการติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียวขดเข้ากับชุดให้และระบายความร้อน.....	72
รูปภาพ 44 แผนภาพชุดทดลอง.....	73
รูปภาพ 45 ชุดทดลองจริง.....	73
รูปภาพ 46 เครื่องบันทึกข้อมูล.....	74
รูปภาพ 47 เทอร์โมคัปเปิล.....	74
รูปภาพ 48 ชุดการเติมสารทำงาน.....	75
รูปภาพ 49 เครื่องมือวัดอัตราการไหล.....	75
รูปภาพ 50 เครื่องทำสุญญากาศ	76
รูปภาพ 51 กล้องถ่ายภาพดิจิทัล.....	76
รูปภาพ 52 คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก.....	77

รูปภาพ 53 ผลของสารทำงาน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ และอุณหภูมิส่วนทำระเหย ต่อ
ลักษณะการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่..... 84

รูปภาพ 54 ผลของมุมเอียงต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่..... 86

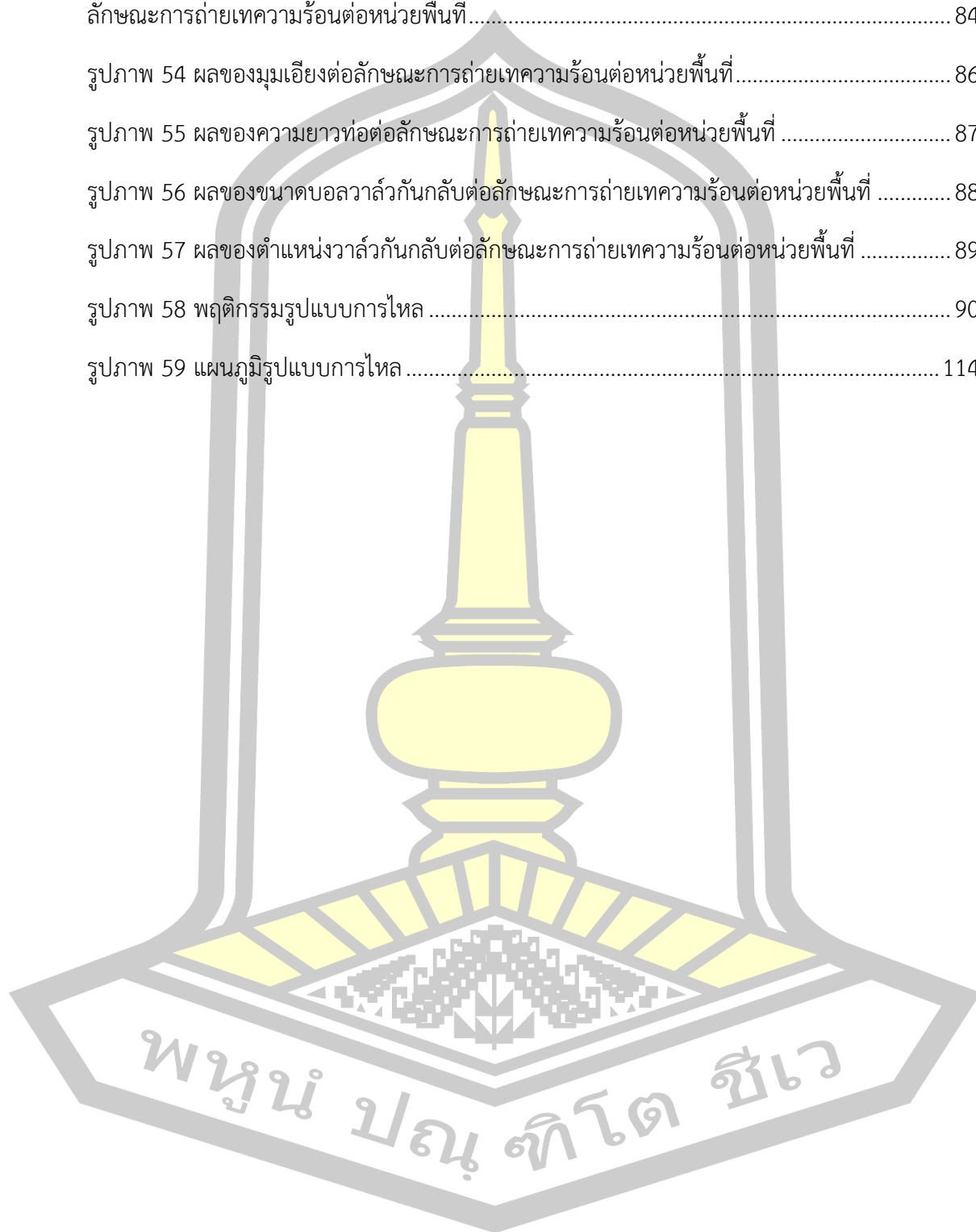
รูปภาพ 55 ผลของความยาวท่อต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 87

รูปภาพ 56 ผลของขนาดบอลวาล์วกันกลับต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 88

รูปภาพ 57 ผลของตำแหน่งวาล์วกันกลับต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 89

รูปภาพ 58 พฤติกรรมรูปแบบการไหล 90

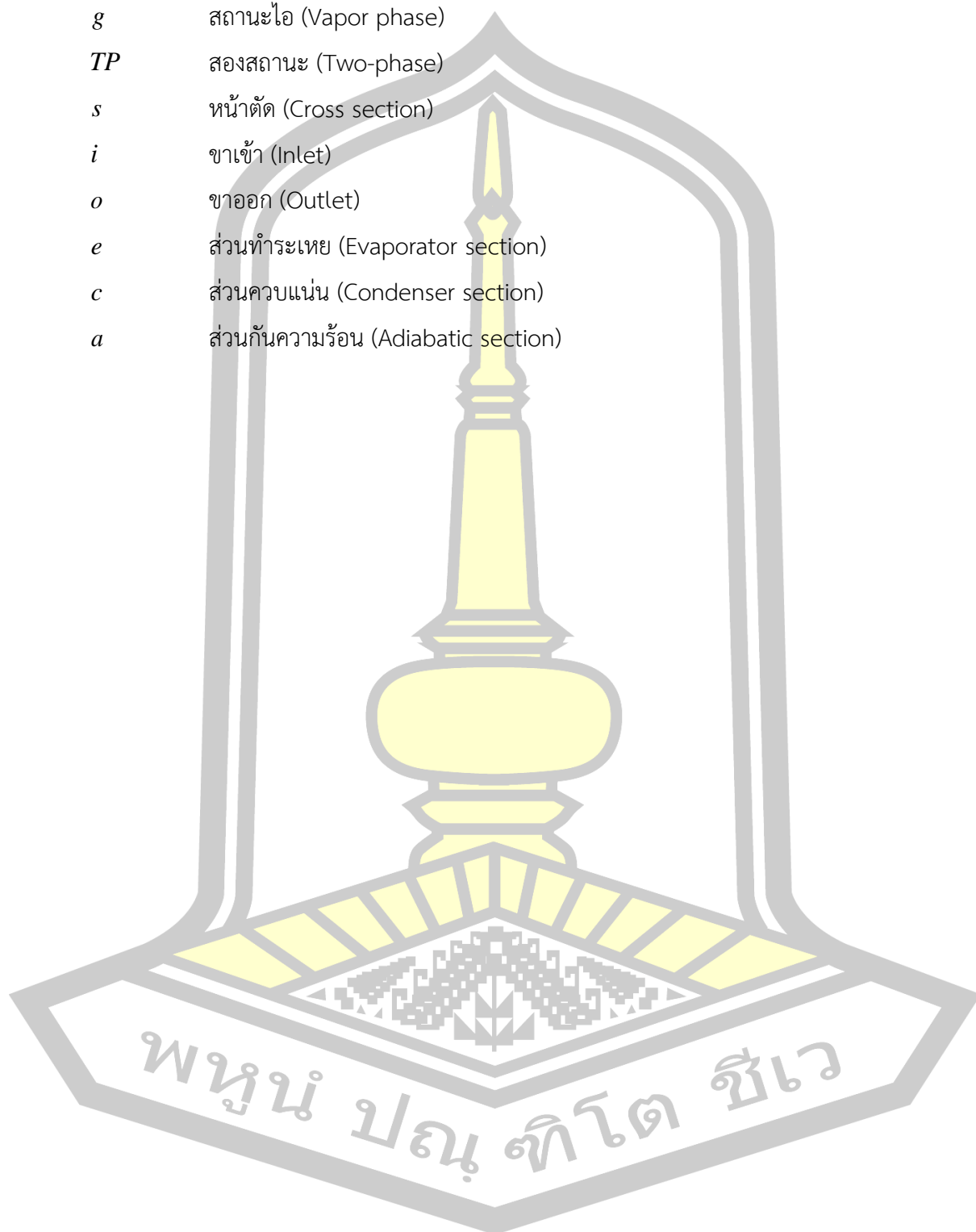
รูปภาพ 59 แผนภูมิรูปแบบการไหล..... 114



สารบัญคำย่อ

<i>HP</i>	ท่อความร้อน (Heat pipe)
<i>LHP</i>	ท่อความร้อนแบบวงรอบ (Loop heat pipe)
<i>OHP</i>	ท่อความร้อนแบบสั่น (Oscillating heat pipe)
<i>PHP</i>	ท่อความร้อนแบบสั่น (Pulsating heat pipe)
<i>CEOHP</i>	ท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด (Closed ends oscillating heat pipe)
<i>CLOHP</i>	ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ (Closed loop oscillating heat pipe)
<i>HOHP</i>	ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียวขด (Helical oscillating heat pipe)
<i>CV</i>	วาล์วกันกลับ (Check valve)
<i>BF</i>	การไหลแบบฟอง (Bubble flow)
<i>SF</i>	การไหลแบบแท่ง (Slug flow)
<i>AF</i>	การไหลแบบวงแหวน (Annular flow)
<i>SWF</i>	การไหลแบบแยกชั้นผิวคลื่น (Stratified wavy flow)
<i>Q</i>	การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer), W
<i>m</i>	อัตราการไหลเชิงมวล (Mass flow rate), kg/s
<i>c_p</i>	ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ (Specific heat at constant pressure), kJ/kg °C
<i>T</i>	อุณหภูมิ (Temperature), °C
<i>q</i>	การถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ (Heat flux), W/m ²
<i>A</i>	พื้นที่ผิว (Surface area), m ²
<i>D</i>	เส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter), m
<i>L</i>	ความยาว (Length), m
<i>G</i>	ฟลักซ์มวล (Mass flux), kg/m ² s
<i>x</i>	คุณภาพไอ (Vapor quality)
<i>u</i>	ความเร็ว (Velocity), m/s
<i>ρ</i>	ความหนาแน่น (Density), kg/m ³
<i>Ṁ</i>	อัตราการไหลเชิงปริมาตร (Volumetric flow rate), m ³ /s
<i>V</i>	ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume), m ³ /kg
<i>σ</i>	แรงตึงผิว (Surface tension), N/m
<i>g</i>	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravitational acceleration), m/s ²

<i>l</i>	สถานะของเหลว (Liquid phase)
<i>g</i>	สถานะไอ (Vapor phase)
<i>TP</i>	สองสถานะ (Two-phase)
<i>s</i>	หน้าตัด (Cross section)
<i>i</i>	ขาเข้า (Inlet)
<i>o</i>	ขาออก (Outlet)
<i>e</i>	ส่วนทำระเหย (Evaporator section)
<i>c</i>	ส่วนควบแน่น (Condenser section)
<i>a</i>	ส่วนกันความร้อน (Adiabatic section)



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ภูมิหลัง

ท่อความร้อน (Heat pipe, HP) เป็นอุปกรณ์ทางความร้อนชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้โดยไม่ต้องอาศัยแหล่งพลังงานอื่นจากภายนอกเข้ามาช่วย (Silverstein, 1992) หรือกล่าวได้ว่าสามารถทำงานได้ด้วยตัวเองนั่นเอง ทั้งนี้เป็นเพราะท่อความร้อนอาศัยความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Heat of vaporization) ของสารทำงาน (Working fluid) ที่อยู่ภายในท่อความร้อน และความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างจุดสองจุด ทำให้ท่อความร้อนสามารถถ่ายเทพลังงานความร้อนได้ ด้วยข้อได้เปรียบดังกล่าว ท่อความร้อนจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย (สัมพันธ ฤทธิเดช, 2554) เช่น ในอุตสาหกรรมการบินและอวกาศ ท่อความร้อนจะถูกนำมาใช้ลดอุณหภูมิบนผิวอากาศยาน โดยเฉพาะบริเวณส่วนปีก ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ท่อความร้อนจะถูกติดตั้งเพื่อลดความร้อนบนตัววงจรรวม หรือชิป (Chip) โดยเฉพาะตัวประมวลผลกลางของคอมพิวเตอร์ (CPU) และตัวประมวลผลกลางของการ์ดแสดงผล (GPU) นอกจากนี้ยังพบอยู่ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ อีก โดยจะเป็นการนำท่อความร้อนมาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) ซึ่งเป็นการนำความร้อนหรือพลังงานกลับมาใช้ซ้ำ เป็นต้น

ท่อความร้อนแบบสั่น (Oscillating heat pipe, OHP หรือ Pulsating heat pipe, PHP) ถูกคิดค้นโดย Akachi (1990) โดยท่อความร้อนแบบสั่นมีจุดเด่นคือ ไม่มีโครงสร้างของวัสดุพรม (Wick) และมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่าท่อความร้อนแบบปกติ ท่อความร้อนแบบสั่นยังสามารถแยกย่อยออกไปได้อีก 3 ชนิดคือท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด (Closed ends oscillating heat pipe, CEOHP) ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ (Closed loop oscillating heat pipe, CLOHP) และท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (Closed loop oscillating heat pipe with check valve, CLOHP/CV) โดยที่ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับจะมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนดีกว่าแบบที่เหลือ (Miyazaki et al., 2000)

การไหลแบบสองสถานะเป็นการไหลที่จะต้องพิจารณาสถานะภายในของไหลว่ามีการกระจายตัวอย่างไร เนื่องจากส่งผลต่อมวล (Mass) โมเมนตัม (Momentum) และการถ่ายเทพลังงาน (Energy transfer) แตกต่างกันไปในแต่ละรูปแบบการไหล (Flow patterns) หรือระบบการไหล

(Flow regime) วิธีหนึ่งที่จะใช้อธิบายรูปแบบการไหลให้สามารถเข้าใจได้ง่ายขึ้นคือการสร้างแผนภูมิการไหล (Flow patterns map) ที่ผ่านมามีการวิจัยเกี่ยวกับลักษณะการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั้นในหลายวิธี เช่นการใช้เทคนิคยิงรังสีนิวตรอนไปที่ท่อความร้อนแบบสั้นที่ทำจากโลหะโดยตรงของ Sugimoto et al. (2009) ของ Thompson et al. (2011) และของ Yoon et al. (2012) ซึ่งสามารถที่จะอธิบายคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนได้เป็นอย่างดีแต่ก็ไม่สามารถอธิบายรูปแบบการไหลได้ดีนัก เนื่องจากรูปถ่ายที่ได้จากเทคนิคนี้ไม่สามารถแยกขนาดของฟองไอได้อย่างชัดเจน เห็นเพียงแนวการเคลื่อนที่ของสารทำงานเท่านั้น เช่นเดียวกับกับเทคนิคการตรวจสอบด้วยรังสีอินฟราเรดของ Karthikeyan et al. (2014) ก็ไม่สามารถเห็นฟองไอได้ชัดเจนเช่นกัน หรือจะเป็นการวิจัยของ Kuang et al. (2015) ที่ใช้เทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational fluid dynamics, CFD) ในการวิเคราะห์รูปแบบการไหลของท่อความร้อนนั้นก็ไม่สามารถเป็นตัวแทนของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบได้ดีนัก เนื่องจากเป็นการวิเคราะห์เฉพาะบางส่วนของท่อ หรือส่วนท่อตรงเท่านั้น ดังนั้นเทคนิคการศึกษารูปแบบการไหลโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั้นที่ทำจากท่อแก้ว หรือแผ่นแก้วจึงยังคงให้ผลการวิเคราะห์ที่ชัดเจนกว่า เนื่องจากทดสอบในสภาพการทำงานจริงที่เห็นได้ด้วยตาเปล่า เช่นในงานวิจัยของ Bhuwakietkumjohn & Rittidech (2010) ของ (สัณหวัจน์ ทองแดง, 2555) ของ Qu et al. (2012) ของ Senjaya & Inoue (2013) ของ Xue et al. (2013) ของ Xian et al. (2014) และของ Ebrahimi et al. (2015)

ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบชนิดเกลียวขด (Helical oscillating heat pipe, HOHP) เป็นท่อความร้อนแบบสั้นชนิดใหม่ ถูกนำเสนอแนวความคิดครั้งแรกโดย Yi et al. (2003) โดยยังคงเป็นท่อเกลียวขดเฉพาะ 1 ใน 3 ส่วนหลักของท่อความร้อนซึ่งก็คือ ส่วนทำระเหย (Evaporator section) ส่วนอีก 2 ส่วนคือส่วนกันความร้อน (Adiabatic section) และส่วนควบแน่น (Condenser section) ยังเป็นแบบวงรอบ (Loop) อยู่ ซึ่งท่อเกลียวขดมีข้อดีคือ มีพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนมากกว่าท่อความร้อนแบบเดิมเมื่อใช้พื้นที่ในการติดตั้งเท่ากัน และต่อมา ยุธนา ศรีอุดม (2558) ได้ศึกษาคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นเป็นท่อเกลียวขดทั้งคู่ โดยเฉพาะส่วนทำระเหยนั้นทำจากท่อแก้ว ซึ่งทำให้สามารถศึกษารูปแบบการไหลของสารทำงานภายในท่อได้เป็นอย่างดี และพบว่าท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบชนิดเกลียวขดมีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ (Heat flux) ที่ดีกว่าท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบชนิดอื่น

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การติดตั้งวาล์วกันกลับจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนของท่อความร้อน แต่การติดตั้งวาล์วกันกลับกับท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบชนิดเกลียวขดยังไม่ค่อยพบมาก่อน และการศึกษาคุนลักษณะการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับนั้นยังมีไม่มากนัก ดังนั้นการติดตั้ง

วาล์วกันกลับเข้าไปในท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียวขดจึงน่าสนใจว่าจะเกิดคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมรูปแบบการไหลอย่างไร ซึ่งพฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนนั้นสัมพันธ์กับลักษณะทางกายภาพของท่อความร้อน สารทำงานแต่ละชนิด และส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนด้วย อีกทั้งลักษณะการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมรูปแบบการไหลยังเป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบท่อความร้อน และการเลือกใช้สารทำงานในท่อความร้อนต่อไป ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการสร้างและประยุกต์ใช้ท่อความร้อนชนิดนี้ต่อไป

1.2 ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาถึงผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน สารทำงาน อุณหภูมิส่วนทำระเหย ความยาวส่วนทำระเหย มุมเอียง ขนาดของบอลวาล์วกันกลับ และตำแหน่งในการติดตั้งวาล์วกันกลับ ที่มีผลต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อน และรูปแบบการไหลภายในของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ
2. เพื่อสร้างแผนภูมิรูปแบบการไหล (Flow patterns map) ของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ตัวแปรต้น

1. ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับทำจากท่อแก้วและท่อทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.8 2.4 และ 3.4 mm (มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 3.2 3.8 และ 4.8 ตามลำดับ)
2. สารทำงานคือ น้ำ เอทานอล และ R-11
3. อุณหภูมิส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C
4. ความยาวส่วนทำระเหยเท่ากันกับส่วนควบแน่น มีความยาวก่อนขดเท่ากับ 600 800 และ 1000 mm
5. มุมเอียง 30° 60° และ 90° จากแนวระดับ
6. ขนาดของบอลวาล์วกันกลับ 0.255 0.44 และ 1.036 g

7. ติดตั้งวาล์วกันกลับด้านสารทำงานไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น และด้านไหลลงมาส่วนทำ
ระเหย

1.3.2 ตัวแปรตาม

1. ความยาวเฉลี่ยของฟองไอ
2. ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ
3. รูปแบบการไหลภายในของสารทำงาน ภายในท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียวขด
ที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ
4. ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง
วาล์วกันกลับ
5. แผนภูมิรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกัน
กลับ

1.3.3 ตัวแปรควบคุม

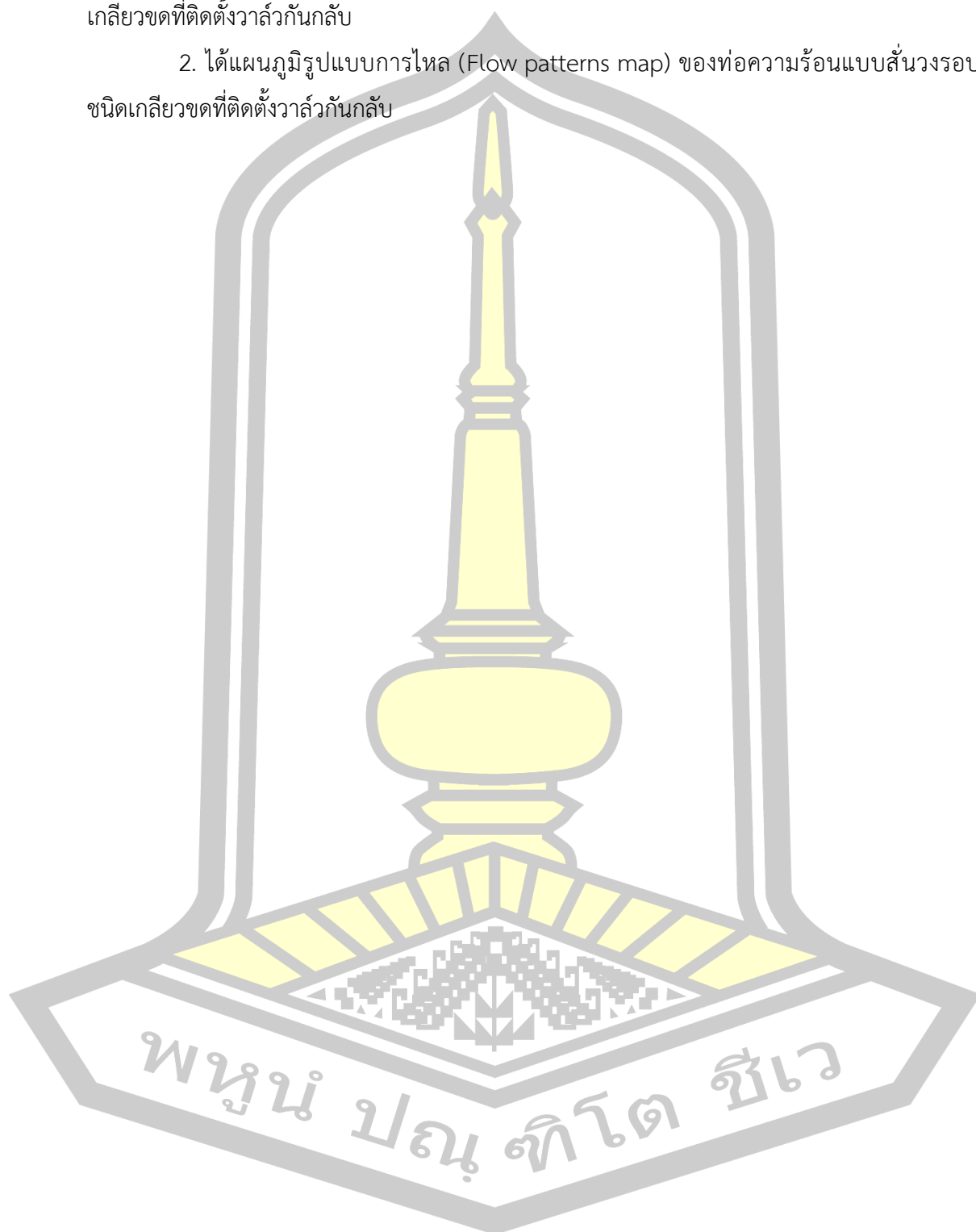
1. เส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียวขด 50 mm
2. ระยะพิทช์ 10 mm
3. อุณหภูมิส่วนควบแน่น 25 °C
4. อัตราการไหลของน้ำขาเข้าที่ส่วนควบแน่น 0.0058 kg/s (20 Liters/hr)
5. อัตราการเติมสารทำงาน 80% โดยปริมาตรทั้งหมดภายในท่อ
6. ระยะเวลาในการเริ่มเก็บข้อมูล 30 นาที หลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงที่
7. วัดอุณหภูมิของสารทำงานภายในท่อที่ส่วนกันความร้อน 2 จุด
8. ส่วนทำระเหยอยู่ด้านล่างส่วนควบแน่น
9. ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm
10. ติดตั้งวาล์วกันกลับ 1 วาล์วต่อท่อความร้อน
11. ติดตั้งวาล์วกันกลับให้สารทำงานมีทิศทางไหลทวนเข็มนาฬิกา

1.4 ความสำคัญของงานวิจัย

1. ทราบถึงผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน สารทำงาน อุณหภูมิส่วนทำระเหย ความ
ยาวส่วนทำระเหย มุมเอียง ขนาดของบอลวาล์วกันกลับ และตำแหน่งในการติดตั้งวาล์วกันกลับ ที่มี

ผลต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อน และรูปแบบการไหลภายในของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ

2. ได้แผนภูมิรูปแบบการไหล (Flow patterns map) ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ



บทที่ 2

ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

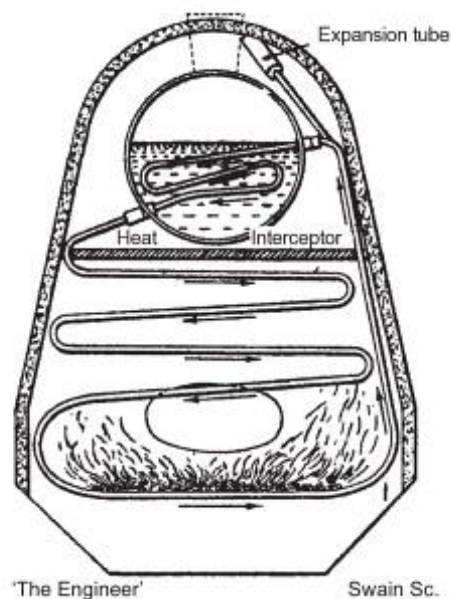
ในการศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ จะต้องอาศัยความรู้พื้นฐาน รวมไปถึงศึกษา งานวิจัยที่ผ่านมาดังหัวข้อต่อไปนี้

1. ท่อความร้อน
2. ท่อความร้อนแบบสั้น
3. ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบชนิดเกลียวขด
4. วาล์วกันกลับ
5. ลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน
6. รูปแบบการไหลและแผนภูมิการไหล
7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ท่อความร้อน

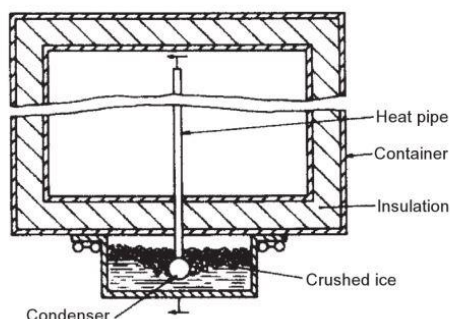
2.1.1 ประวัติความเป็นมาของท่อความร้อน

ท่อความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ถูกพัฒนาต่อมาจากท่อเพอร์กินส์ (Perkins tube) ดังแสดงในรูปภาพ 1 สร้างขึ้นในราวปี ค.ศ.1827 ซึ่งเป็นปีที่ Angier March Perkins และลูกชาย Jacob Perkins วิศวกรชาวสหรัฐอเมริกาได้ย้ายไปอาศัยอยู่ที่ประเทศอังกฤษ โดยท่อเพอร์กินส์เป็นอุปกรณ์ที่มีการไหลทั้งแบบสถานะเดียว (Single-phase flow) และแบบสองสถานะ (Two-phase flow) ซึ่งในการไหลแบบสองสถานะนั้นมีพื้นฐานการทำงานเช่นเดียวกันกับท่อความร้อน ท่อเพอร์กินส์ที่มีการไหลแบบสองสถานะได้ถูกจดสิทธิบัตรในปี ค.ศ.1836 โดยเป็นท่อที่ทำงานร่วมกับหม้อไอน้ำ (Boiler) (Perkins, 1936) ท่อเพอร์กินส์มีการพัฒนาและประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์อื่น ๆ เรื่อยมา



รูปภาพ 1 ท่อเพอร์กินส์ในหม้อไอน้ำ (Perkins, 1936)

ต่อมา Gaugler (1944) วิศวกรของบริษัทเจเนรัลมอเตอร์ จึงได้คิดค้นและจดสิทธิบัตร อุปกรณ์ที่มีการไหลแบบสองสถานะเรียกว่าท่อความร้อน ใช้ในระบบทำความเย็นขึ้น ดังแสดงใน รูปภาพ 2 โดยมีสิ่งสำคัญคือคำอธิบายความหมายของท่อความร้อนที่ว่า “คืออุปกรณ์ที่ เมื่อดูดซับ ความร้อน หรือมีการระเหยของเหลวไปถึงจุดที่สามารถกลั่นตัว หรือจุดที่ความร้อนถูกพาออกไป จะไม่อาศัยแหล่งพลังงานอื่นเพิ่มเติมในการทำให้ของเหลวระเหยขึ้นไปจนถึงจุดกลั่นตัวนั้น” แต่ตัว Gaugler เองเมื่อจดสิทธิบัตรเสร็จก็ไม่ได้พัฒนาท่อความร้อนนี้ต่อ



รูปภาพ 2 ท่อความร้อน (Gaugler, 1944)

จนกระทั่ง Grover (1966) ซึ่งทำงานให้คณะกรรมการพลังงานอะตอมของสหรัฐอเมริกาได้จดสิทธิบัตรท่อความร้อนที่พัฒนาต่อยอดมาจากท่อความร้อนของ Gaugler ให้สามารถใช้งานได้ดังแสดงในรูปภาพ 3 โดยท่อความร้อนนี้ประกอบไปด้วยตัวท่อ (Wall) และวัสดุพรุน (Wick) ที่ทำจากโลหะ และใช้สารทำงาน (Working fluid) คือ โซเดียม ลิเทียม และเงิน ซึ่งทั้ง 3 ส่วนนี้ถือเป็นโครงสร้างหลักของท่อความร้อน และท่อความร้อนนี้ได้ถูกพัฒนาและประยุกต์ใช้ต่อมาจนเกิดเป็นท่อความร้อนรูปแบบต่างๆมากมายในปัจจุบัน



รูปภาพ 3 Grover ขณะทำการทดลองท่อความร้อน (Grover, 1966)

2.1.2 โครงสร้างและส่วนประกอบของท่อความร้อน

2.1.2.1 โครงสร้างของท่อความร้อน

ท่อความร้อนโดยทั่วไปมี โครงสร้างหลักประกอบไปด้วย

1. ตัวท่อ หรือผนังท่อความร้อน (Wall) ส่วนใหญ่ทำจากโลหะหรือโลหะผสม เช่น ทองแดง สแตนเลส เป็นต้น เพราะต้องทำหน้าที่รับเอาความร้อนเข้ามา หรือถ่ายเทความร้อนออกจากท่อความร้อน จึงต้องนำความร้อนได้ดีในขณะเดียวกันก็ต้องแข็งแรงทนทานพอที่จะไม่บอบสลายเมื่อเจอความร้อนขณะใช้งาน โดยจะเป็นโลหะหรือโลหะผสมชนิดใดนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิการใช้งาน ตัวท่ออาจมีหน้าตัดกลม รี สี่เหลี่ยม หรือแบน สั้นหรือยาวก็ได้ ขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งาน ดังรูปภาพ 4



รูปภาพ 4 ท่อความร้อน

2. วัสดุพอรุน (Wick) ส่วนใหญ่ทำจากโลหะหรือโลหะผสม โดยจะเป็นโลหะหรือโลหะผสมชนิดใดนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิการใช้งานเช่นเดียวกันกับตัวท่อความร้อน โดยส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นตาข่าย (Screen mesh) ช่อง (Grooved) หรืออาจใช้กรรมวิธีพ่นผงโลหะไปบนผิวด้านในของท่อโดยตรง (Sintered powder) เป็นต้น วัสดุพอรุนทำหน้าที่ให้สารทำงานที่ควบแน่นเป็นของเหลว หลังจากระบายความร้อนออกจากท่อไปยังสิ่งแวดล้อมโดยผ่านผิวท่อแล้วให้เหลวนย้อนกลับมาเพื่อรับความร้อนอีกครั้งได้ โดยแม้จะเป็นการไหลสวนทางกับแรงโน้มถ่วงของโลกก็ตาม การเกิดกระบวนการดังกล่าวอาศัยแรงที่เรียกว่า แรงคาปิลลารี (Capillary force) ตัวอย่างของวัสดุพอรุนแสดงดังรูปภาพ 5



รูปภาพ 5 วัสดุพอรุน

3. สารทำงาน (Working fluid) สารทำงานเป็นของเหลวในสภาวะสูญญากาศในท่อ ความร้อน มีหลายชนิด เช่น น้ำ (Water) โซเดียม (Sodium) สารทำความเย็น (Refrigerant) ต่าง ๆ เป็นต้น ดังแสดงในรูปภาพ 6 โดยจะเป็นสารชนิดใดนั้นขึ้นอยู่กับช่วงอุณหภูมิการใช้งาน สารทำงานมีหน้าที่เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน โดยรับเอาพลังงานความร้อนจากปลายด้านหนึ่งของท่อ ความร้อนมาสะสมไว้จนเดือดและกลายเป็นไอบางส่วนทำให้สารทำงานเกิดการเคลื่อนที่ไประบาย พลังงานความร้อนออกที่ปลายอีกด้านหนึ่งของท่อความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า จากนั้นควบแน่นเป็น ของเหลวก่อนไหลวนย้อนกลับมาโดยผ่านวัสดุพรุนดังที่ได้กล่าวมาแล้ว



รูปภาพ 6 สารทำความเย็น R-11 ที่ใช้เป็นสารทำงานของท่อความร้อน

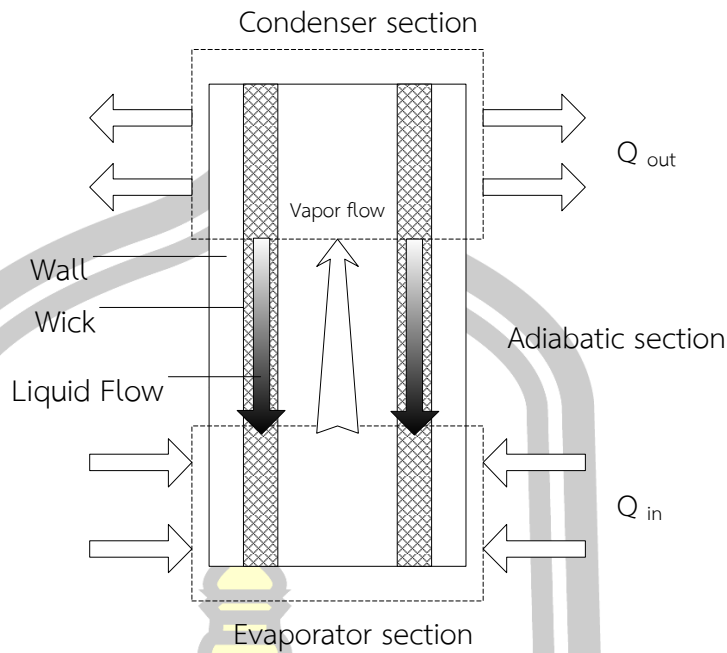
2.1.2.2 ส่วนประกอบของท่อความร้อน

โดยทั่วไปท่อความร้อนประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักๆคือ

1. ส่วนทำระเหย (Evaporator section) เป็นส่วนที่รับความร้อนจากภายนอกท่อ ความร้อนเข้ามาให้สารทำงาน อยู่ติดกันกับส่วนกันความร้อน

2. ส่วนกันความร้อน (Adiabatic section) เป็นส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนเข้า หรือออกสู่ภายนอกท่อความร้อน แต่จะเป็นส่วนที่สารทำงานพาพลังงานความร้อนเคลื่อนที่ต่อไปยัง ส่วนควบแน่น อยู่ตรงกลางระหว่างส่วนทำระเหยกับส่วนควบแน่น

3. ส่วนควบแน่น (Condenser section) เป็นส่วนที่ใช้ถ่ายเทความร้อนจาก สารทำงานออกไปนอกท่อความร้อน อยู่ด้านตรงกันข้ามกับส่วนทำระเหยส่วนประกอบของท่อ ความร้อน ดังรูปภาพ 7



รูปภาพ 7 ส่วนประกอบของท่อความร้อน

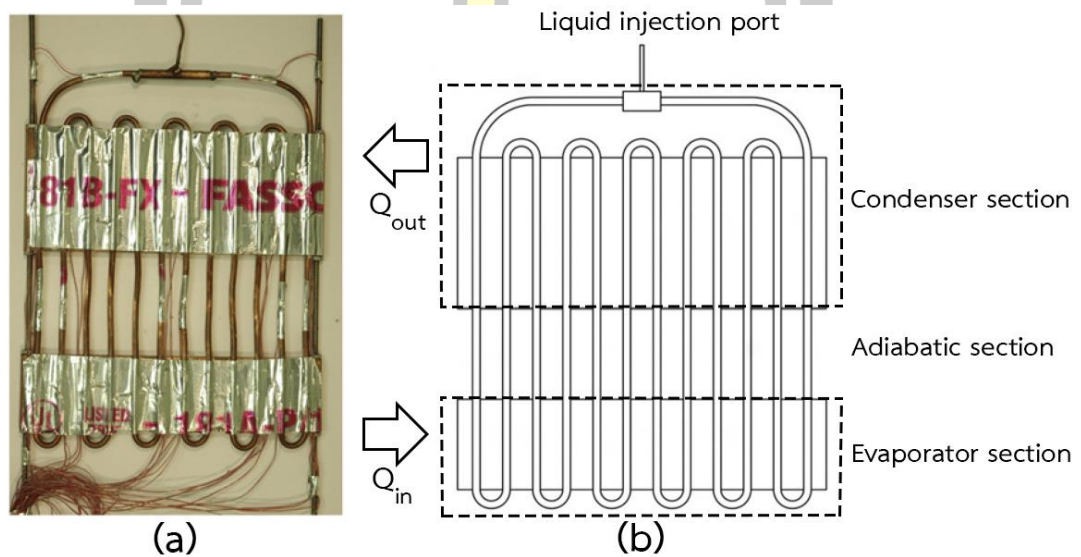
2.2 ท่อความร้อนแบบสั่น

2.2.1 ลักษณะโดยทั่วไปของท่อความร้อนแบบสั่น

ท่อความร้อนแบบสั่น (Oscillating heat pipe, OHP หรือ Pulsating heat pipe, PHP) แสดงดังรูปภาพ 8 เป็นท่อความร้อนชนิดพิเศษถูกคิดค้นโดย Akachi (1990) มีลักษณะเป็นท่อโลหะยาวที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กๆเรียกว่าท่อคาปิลลารี (Capillary tube) ขดขึ้นลงไปมาสลับกัน มีส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่นอยู่ตลอดแนวท่อนั้น ท่อความร้อนแบบสั่นไม่มีวัสดุพรุนอยู่ภายใน และสารทำงานที่อยู่ภายในท่อความร้อนแบบสั่นนี้จะแยกตัวออกเป็น 2 ส่วนสลับกันไปมา คือส่วนก้อนของเหลว (Liquid slug) กับฟองไอ (Vapor bubble) ท่อความร้อนแบบสั่นมีประสิทธิภาพทางความร้อนสูง ทำงานได้ทั้งแนวตั้งและแนวระดับ สร้างขึ้นง่าย สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย โดยเกณฑ์การพิจารณาว่าท่อความร้อนนั้นเป็นท่อความร้อนแบบสั่นหรือไม่ จะใช้สมการของ Maezawa et al. (1995) พิจารณาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อความร้อนว่าจะต้องมีขนาดไม่เกินเท่าไร ดังนี้

$$D_i \leq 2 \sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_l - \rho_g)}} \quad (1)$$

- เมื่อ D_i คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อความร้อนแบบสั่น (Inner diameter) (m)
- σ คือ ค่าแรงตึงผิวของสารทำงาน (Working fluid surface tension) (N/m)
- g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravitational acceleration) (m/s²)
- ρ_l คือ ค่าความหนาแน่นของสารทำงานในสถานะของเหลว (Liquid density) (kg/m³)
- ρ_g คือ ค่าความหนาแน่นของสารทำงานในสถานะไอ (Vapor density) (kg/m³)



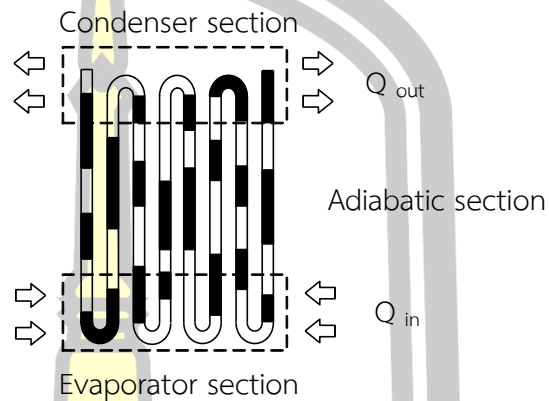
รูปภาพ 8 ท่อความร้อนแบบสั่น (a) ท่อความร้อนแบบสั่นที่ทำจากท่อทองแดง (b) แผนภาพท่อความร้อนแบบสั่น (Yoon et al., 2012)

2.2.2 ชนิดและลักษณะการทำงานของท่อความร้อนแบบสั่น

ท่อความร้อนแบบสั่นแบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือ ท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด (Closed ends oscillating heat pipe, CEOHP) ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ (Closed loop oscillating heat pipe, CLOHP) และท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (Closed loop oscillating heat pipe with check valve, CLOHP/CV) โดยที่ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับจะมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนดีกว่าแบบที่เหลือ (Miyazaki et al., 2000) โดยแต่ละชนิดมีลักษณะดังนี้

2.2.2.1 ท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิด

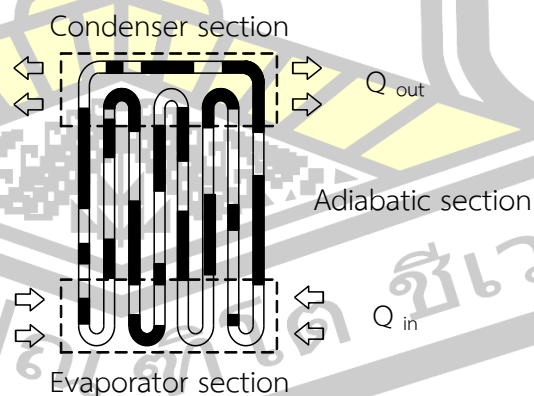
ท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิด (Closed end oscillating heat pipe, CEOHP) มีลักษณะเป็นท่อโลหะขนาดเล็กขดกลับไปกลับมาปลายท่อทั้งสองด้านไม่เชื่อมต่อกัน ดังรูปภาพ 9



รูปภาพ 9 ท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิด (สัณหวัจน์ ทองแดง, 2555)

2.2.2.2 ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ

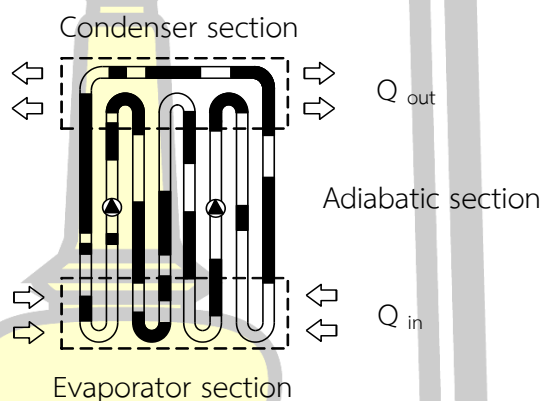
ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ (Closed loop oscillating heat pipe, CLOHP) มีลักษณะเป็นท่อโลหะขนาดเล็กขดกลับไปกลับมาปลายท่อทั้งสองด้านเชื่อมต่อกันเป็นวงรอบ ดังรูปภาพ 10



รูปภาพ 10 ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ (สัณหวัจน์ ทองแดง, 2555)

2.2.2.3 ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ

ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (Closed loop oscillating heat pipe with check valves, CLOHP/CV) โดยมีลักษณะเป็นท่อโลหะขนาดเล็ก ขดกลับไปกลับมา ปลายท่อทั้งสองด้านเชื่อมต่อกันเป็นวงรอบและติดตั้งวาล์วกันกลับ (Check valve) ไว้ตรงตำแหน่งส่วนกันความร้อน ดังรูปภาพ 11 เพื่อควบคุมทิศทางการไหลของสารทำงานภายในท่อขณะท่อทำงานให้มีทิศทางการไหลไปในทิศทางเดียวกัน และเหตุผลในการติดตั้งวาล์วกันกลับไว้ตรงตำแหน่งส่วนกันความร้อนนั้นเพราะส่วนกันความร้อนเป็นส่วนที่มีการเคลื่อนที่และถ่ายเทความร้อนของสารทำงานภายในท่อเป็นหลัก เมื่อเทียบกับส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นที่เป็นส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารทำงานมากกว่าการเคลื่อนที่



รูปภาพ 11 ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (ลิ้นหว่าญ์ ทองแดง, 2555)

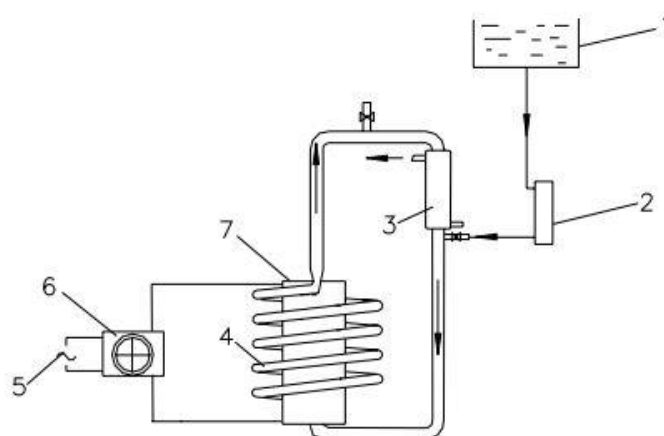
2.2.2.4 ลักษณะการทำงานของท่อความร้อนแบบสั่น

เมื่อท่อความร้อนแบบสั่นทั้ง 3 ชนิดได้รับความร้อนจากแหล่งความร้อน โดยพื้นที่การรับความร้อนทั้งหมดของท่อความร้อนแบบสั่นคือส่วนทำระเหย สารทำงานที่บรรจุอยู่ภายในท่อเกิดการเดือด และเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นภายในท่อในรูปแบบการสั่น (Oscillating) สารทำงานจะเกิดการเปลี่ยนแปลงจากก้อนของเหลวเป็นฟองไอเคลื่อนที่พาความร้อนจากส่วนทำระเหยผ่านส่วนกันความร้อนไปยังส่วนควบแน่นและถ่ายเทความร้อนออกนอกผิวท่อ จากนั้นฟองไอของสารทำงานภายในท่อจะเกิดการควบแน่นและเปลี่ยนสถานะกลายเป็นของเหลวจะไหลวนกลับมายังส่วนทำระเหยอีกครั้งด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity force)

2.3 ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียวขด

2.3.1 ความเป็นมาของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียวขด

ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียวขด (Helical oscillating heat pipe, HOHP) เป็นท่อความร้อนแบบสั่นชนิดใหม่ โดยเริ่มต้นนั้นถูกนำเสนอเป็นแนวคิดครั้งแรกโดย Yi et al. (2003) ที่ท่อความร้อนยังคงเป็นท่อเกลียวขดเฉพาะ 1 ใน 3 ส่วนหลักของท่อความร้อนซึ่งก็คือส่วนทำระเหย ส่วนอีก 2 ส่วนคือส่วนกันความร้อนและส่วนควบแน่นยังเป็นแบบวงรอบ (Loop) อยู่ ดังแสดงดังรูปภาพ 12 ท่อเกลียวขดมีข้อดีคือ มีพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนมากกว่าท่อความร้อนแบบเดิมเมื่อใช้พื้นที่ในการติดตั้งเท่ากัน



1- Tank; 2- Flow meter; 3- Condenser; 4- Evaporator using small coiled pipe; 5- Power input; 6 - Transformer; 7- Electrical heater

รูปภาพ 12 ท่อความร้อนแบบวงรอบที่มีส่วนทำระเหยเป็นเกลียวขด (Yi et al., 2003)

ยุธนา ศรีอุดม (2558) ได้ศึกษาคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียวขด ที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นเป็นท่อเกลียวขดทั้งคู่ ดังแสดงในรูปภาพ 13 โดยมีส่วนทำระเหยทำจากท่อแก้ว ซึ่งทำให้สามารถศึกษารูปแบบการไหลของสารทำงานภายในท่อได้เป็นอย่างดี และพบว่าท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียวขดมีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ (Heat flux) ที่ดีกว่าท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดอื่น



รูปภาพ 13 ท่อความร้อนแบบสัณวงรอบชนิดเกลียวขด (ยุธนา ศรีอุดม, 2558)

2.3.2 ลักษณะการทำงานของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบชนิดเกลียวขด

เมื่อท่อความร้อนแบบสัณวงรอบชนิดเกลียวขดได้รับความร้อนจากแหล่งความร้อน โดยพื้นที่การรับความร้อนทั้งหมดของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบชนิดเกลียวขดคือส่วนทำระเหย สารทำงานที่บรรจุอยู่ภายในท่อจะเกิดการเดือด และเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นภายในท่อในรูปแบบการสั่น สารทำงานจะเกิดการเปลี่ยนแปลงจากก้อนของเหลวเป็นฟองไอเคลื่อนที่พาความร้อนจากส่วนทำระเหย ผ่านส่วนกันความร้อนไปยังส่วนควบแน่นและถ่ายเทความร้อนออกนอกผิวท่อ จากนั้นฟองไอของสารทำงานภายในท่อจะเกิดการควบแน่นและเปลี่ยนสถานะกลายเป็นของเหลว และไหลวนกลับมายังส่วนทำระเหยอีกครั้งด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกเช่นเดียวกับท่อความร้อนแบบสัณวงรอบชนิดอื่น

2.4 วาล์วกันกลับ

วาล์วกันกลับ (Check valve, CV) เป็นอุปกรณ์บังคับทิศทางการไหลของของไหลให้ไหลไปในทิศทางเดียว หรือทำให้ของไหลไม่สามารถไหลย้อนกลับไปในทิศทางเดิมได้ วาล์วกันกลับมีด้วยกันหลายแบบ แต่แบบที่ใช้กับท่อความร้อนจะมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบคือ วาล์วกันกลับแบบบอลวาล์ว (Ball check valve) และวาล์วกันกลับแบบเทสล่า (Tesla valve) โดยวาล์วกันกลับแบบเทสล่านั้นถูกคิดค้นขึ้นในปี ค.ศ.1916 โดย Nikola Tesla มีลักษณะเป็นท่อแยก 2 ทาง โดยที่ทางหนึ่งโค้งกลับมาหาอีกทาง ซ้อนกันเป็นวงๆ (Tesla, 1920) ดังรูปภาพ 14 วาล์วกันกลับแบบเทสล่ามีหลักการทำงานคือ เมื่อลำของของไหลถูกแยกเป็น 2 ทาง ทางที่ไปยังส่วนโค้งจะถูกเร่งให้มีความเร็วมากกว่าอีกทาง และจะไหลโค้งกลับมาปิดกั้นการไหลจากอีกทาง ทำให้การไหลโดยรวมมีความเร็วลดลงเรื่อย ๆ ตามจำนวนวงของวาล์ว จนท้ายที่สุดความเร็วของของไหลเหลือศูนย์หรือไม่สามารถเคลื่อนที่ต่อไปได้

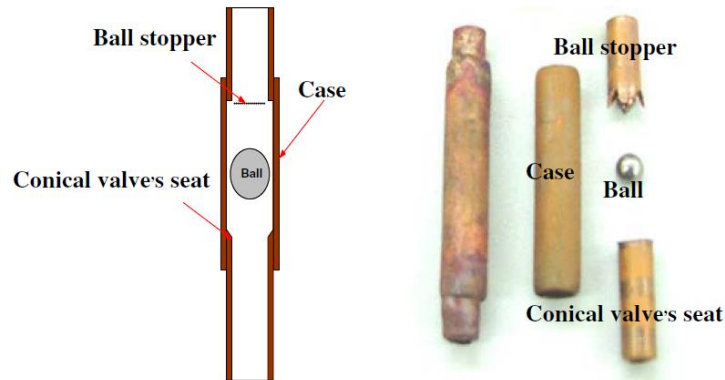
นั่นเอง กลับกันหากของไหลไหลมาจากอีกด้าน ของไหลจะไม่ถูกแยกออกจากกันแต่จะไหลผ่านไปได้ โดยสะดวก ตัวอย่างการใช้วาล์วกันกลับแบบเทสลาที่ทนต่อความร้อนคืองานวิจัยของ Thompson et al. (2011) เป็นต้น



รูปภาพ 14 วาล์วกันกลับแบบเทสลา (Tesla, 1920)

อย่างไรก็ตามวาล์วกันกลับแบบเทสลา มีข้อด้อยหลักอยู่ 2 ประการคือ ประการแรกวาล์วกันกลับแบบเทสลาเหมาะกับระบบท่อเล็ก ๆ หรือความเร็วของไหลไม่มาก เพราะหากท่อใหญ่ หรือไหลเร็ว จะทำให้ต้องเพิ่มจำนวนวงซ้อนกันของวาล์วมากขึ้น ส่งผลให้ขนาดของวาล์วใหญ่หรือยาวมากขึ้น และอีกประการคือ วาล์วกันกลับแบบเทสลาจะต้องสร้างโค้งที่ได้ขนาดและองศาที่ถูกต้อง ดังนั้นในการสร้างจำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่มีความแม่นยำสูง ซึ่งหมายถึงต้นทุนสูงไปด้วย เช่น ใช้เครื่อง CNC เป็นต้น ซึ่งตรงกันข้ามวาล์วกันกลับแบบบอล ที่สามารถสร้างให้มีขนาดเล็ก ไม่ซับซ้อน และต้นทุนต่ำ เพราะวาล์วกันกลับแบบบอลมีโครงสร้างแค่ เบ้ารองบอลวาล์ว (Conical valve seat) ปลอกวาล์ว (Case) บอลวาล์ว (Ball) และตัวกันบอลวาล์ว (Ball stopper) เท่านั้น ดังแสดงในรูปภาพ 15 โดยทั้งหมดสามารถจัดหา และประกอบขึ้นได้ง่ายโดยอาศัยเพียงเครื่องมือช่างพื้นฐาน ด้วยเหตุผลข้างต้น วาล์วกันกลับจึงนิยมใช้ในงานท่อความร้อนมากกว่า ตัวอย่างการใช้วาล์วกันกลับแบบบอลคืองานวิจัยของ Bhuwakietkumjohn & Rittidech (2010) เป็นต้น ทั้งนี้ทิศทางการไหลของของไหลที่สามารถไหลผ่านวาล์วกันกลับแบบบอลได้คือ ทิศทางการไหลจากด้านเบ้ารองบอลวาล์ว ไปยังด้านตัวกันบอลวาล์ว เพราะมีช่องให้ของไหลไหลผ่านไปได้ ตรงกันข้ามกับด้านเบ้ารองบอลวาล์วที่ของไหลไม่สามารถไหลผ่านไปได้เนื่องจากบอลวาล์วจะไหลมาปิดขวาง

พหุ ประ โท ชีเว



รูปภาพ 15 วาล์วกันกลับแบบบอล (Bhuwaketkumjohn & Rittidech, 2010)

2.5 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน

ท่อความร้อนแบบสั้นสามารถหาค่าการถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) ได้จากสมการ

$$Q = \dot{m} c_p (T_{co} - T_{ci}) \quad (2)$$

เมื่อ	Q	คือ ค่าการถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) (W)
	\dot{m}	คือ ค่าอัตราการไหลเชิงมวล (Mass flow rate) (kg/s)
	c_p	คือ ค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ (Specific heat at constant pressure) (kJ/kg °C)
	T_{co}	คือ อุณหภูมิขาออกหลังผ่านส่วนควบแน่น (Condenser outlet temperature) (°C)
	T_{ci}	คือ อุณหภูมิขาเข้าก่อนผ่านส่วนควบแน่น (Condenser inlet temperature) (°C)

จากสมการ (2) สามารถหาค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ (Heat flux) ได้จากสมการ

$$q = \frac{Q}{A_c} = \frac{Q}{\pi D_o L_c} \quad (3)$$

เมื่อ q คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ (Heat flux) (W/m²)

A_c คือ พื้นที่ผิวทั้งหมดของท่อความร้อนส่วนควบแน่น (Condenser surface area) (m^2)

D_o คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อความร้อน (Outer diameter) (m)

L_c คือ ความยาวของท่อความร้อนส่วนควบแน่น (Condenser length) (m)

2.6 รูปแบบการไหลและแผนภูมิการไหล

2.6.1 รูปแบบการไหล

การไหลสามารถแบ่งออกได้ตามสถานะ (Phase) คำว่าสถานะนี้ หมายถึงสถานะของสสารที่ไหล เช่น สถานะที่เป็นของเหลว (Liquid) สถานะที่เป็นไอ (Gas) เป็นต้น ดังนั้นการไหลจึงมีได้ทั้งแบบสถานะเดียว (Single-phase) สองสถานะ (Two-phase) หรือหลายสถานะ (Multi-phase) โดยในท่อความร้อนสสารที่ไหลก็คือสารทำงานและเป็นการไหลแบบสองสถานะ หรือก็คือสถานะที่เป็นก้อนของเหลวและก้อนไอสลับกันไปมา

การไหลสถานะเดียวสามารถที่จะจำแนกตามรูปทรงภายนอกของของไหล หรือลักษณะการไหลก็ได้ เช่น การไหลแบบราบเรียบ (Laminar) แบบปั่นป่วน (Turbulent) เป็นต้น แต่ในการไหลแบบสองสถานะจำเป็นต้องพิจารณาสถานะภายในของไหลด้วยว่ามีการกระจายตัวอย่างไร โดยจะมีลักษณะแตกต่างกันไป เรียกว่ารูปแบบการไหล (Flow pattern) หรือระบบการไหล (Flow regime) รูปแบบการไหลแต่ละรูปแบบจะส่งผลต่อมวล (Mass) โมเมนตัม (Momentum) และการถ่ายเทพลังงาน (Energy transfer) ของการไหลที่แตกต่างกัน รูปแบบการไหลสองสถานะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือการไหลในแนวตั้ง (Vertical flow) (Weisman & Kang, 1981) และการไหลในแนวนอน (Horizontal flow) (Weisman et al., 1979) ดังนี้

2.6.1.1 รูปแบบการไหลสองสถานะในแนวตั้ง

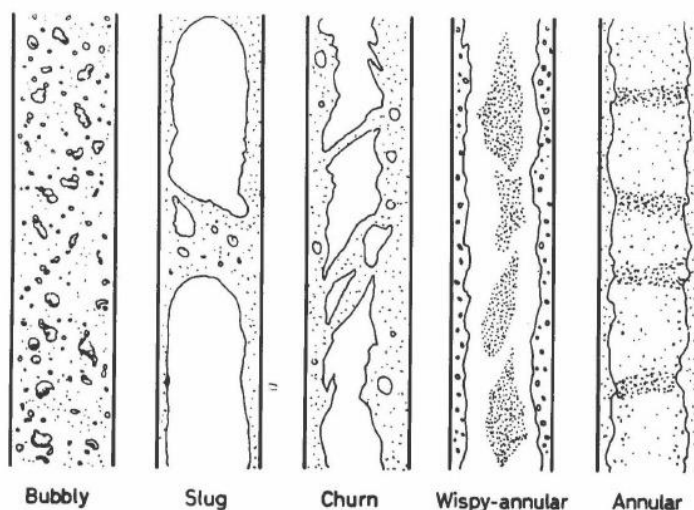
การไหลแบบแนวตั้งแสดงดังรูปภาพ 16 ประกอบไปด้วย

1. การไหลแบบฟอง (Bubble flow) มีรูปแบบการไหลเป็นฟองไอขนาดเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ อยู่กระจัดกระจายภายในส่วนที่เป็นสถานะของของเหลว
2. การไหลแบบแท่งหรือก้อน (Slug or plug flow) มีรูปแบบเป็นแท่ง หรือเป็นก้อนไอ ขนาดใหญ่กว่าฟองไอ หรือใกล้เคียงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ มีส่วนหัวคล้ายหัวกระสุนปืน ส่วนท้ายตัดตรง เกิดจากการเชื่อมกันของฟองไอ
3. การไหลแบบโพรง (Churn flow) เมื่อมีการไหลเร็วขึ้น การไหลจะไม่เสถียร แรงโน้มถ่วง (Gravity force) และแรงเฉือน (Shear force) จะมีทิศทางตรงข้ามกับการไหล และเกิดการ

สั้นขึ้นลงทำให้เกิดการไหลแบบโพรงขึ้น เป็นรูปแบบที่อยู่ระหว่างการไหลแบบแท่งและการไหลแบบวงแหวน

4. การไหลแบบวงแหวนแทรก (Wispy annular flow) เมื่อการไหลแบบวงแหวนไหลเร็วขึ้น หยดของไหลในแกนกลางจะมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นจนรวมตัวเป็นกลุ่มเมฆ (Cloud) หรือกลุ่มกระแสด (Wisp) ของของเหลวแทรกอยู่ในแกนกลาง

5. การไหลแบบวงแหวน (Annular flow) ส่วนของเหลวจะไหลเป็นลักษณะแผ่นฟิล์มรอบๆผนังท่อ แกนกลางจะเป็นการไหลของก๊าซ ที่รอยต่อมีลักษณะเป็นคลื่น (Wave) หรือเป็นระลอก (Ripple) ในแกนกลางอาจมีหยดของเหลวอยู่ภายในเล็กน้อย



รูปภาพ 16 รูปแบบการไหลสองสถานะในแนวตั้ง (Weisman & Kang, 1981)

2.6.1.2 รูปแบบการไหลสองสถานะในแนวนอน

การไหลแบบแนวนอนแสดงดังรูปภาพ 17 ประกอบไปด้วย

1. การไหลแบบฟอง หรือแบบฟองฟุ้ง (Bubble flow or dispersed bubble flow) มีฟองอากาศเกิดขึ้น และฟองอากาศมีแนวโน้มที่จะไหลอยู่ด้านบนของท่อเนื่องจากแรงลอยตัว (Buoyancy force)

2. การไหลแบบแยกชั้น (Stratified flow) เกิดขึ้นเมื่อทั้งส่วนของเหลวและไอมีความเร็วในการไหลไม่มาก เกิดการไหลแยกชั้นระหว่างกันเนื่องจากแรงโน้มถ่วง รอยต่อระหว่างชั้นไม่ถูกรบกวน

3. การไหลแบบแยกชั้นผิวคลื่น (Stratified wavy flow or wavy flow) เมื่อส่วนที่เป็นไอในการไหลแบบแยกชั้นไหลเร็วขึ้น จะทำให้เกิดคลื่นที่ผิวของรอยต่อระหว่างชั้น เกิดเป็นการไหลแบบแยกชั้นผิวคลื่นขึ้น

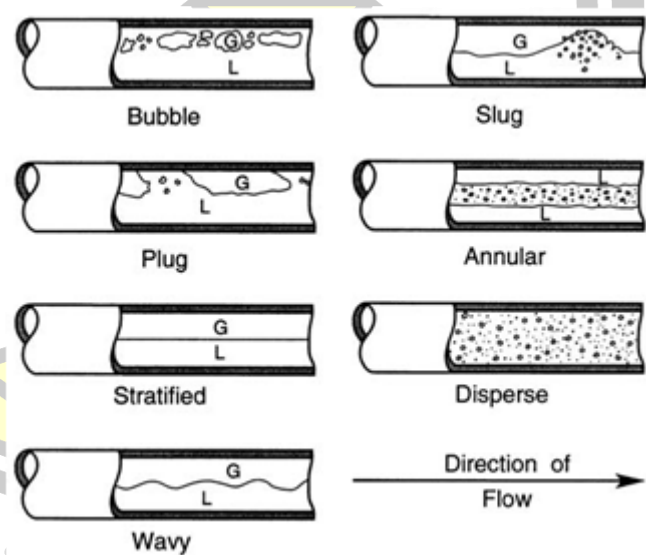
4. การไหลแบบเป็นช่วง (Intermittent flow) เกิดขึ้นเมื่อส่วนที่เป็นไอไหลเร็วขึ้น เกิดเป็นคลื่นขนาดใหญ่โดยที่ด้านบนของท่อยังเปียกอยู่ แบ่งออกได้อีก 2 ชนิดได้แก่

4.1 การไหลแบบก้อน (Plug flow) หรือเรียกอีกอย่างว่าแบบฟองยาว (Elongated bubble flow) การไหลแบบนี้ส่วนของเหลวจะไหลอย่างต่อเนื่องที่ด้านล่างท่อ

4.2 การไหลแบบแท่ง (Slug flow) มีลักษณะเป็นแท่งของเหลวคั้นด้วยฟองยาว เป็นคลื่นขนาดใหญ่

5. การไหลแบบวงแหวน หรือวงแหวนฟุ้ง (Annular flow or annular-dispersed flow) เกิดขึ้นเมื่อส่วนที่เป็นไอไหลเร็วขึ้นจนทะเลาะของเหลวเป็นช่อง มีลักษณะแกนกลางเป็นก๊าซ และเป็นฟิล์มของเหลรรอบๆ โดยด้านล่างท่อจะเป็นฟิล์มหนากว่าด้านบน

6. การไหลแบบฟุ้ง (Disperse flow) ส่วนที่เป็นของเหลวทั้งหมดจะหลุดออกมาจากผนังท่อ และกลายหยดของเหลวเข้าไปในส่วนแกนกลางที่เป็นไอ



รูปภาพ 17 รูปแบบการไหลสองสถานะในแนวนอน (Weisman et al., 1979)

2.6.2 แผนภูมิรูปแบบการไหล

รูปแบบการไหลมักจะถูกแสดงอยู่ในรูปแบบของแผนภูมิรูปแบบการไหล (Flow patterns map) ที่ค่อนข้างมีมาตรฐานอยู่บ้าง (Brennen, 2005) โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Flow rate) ฟลักซ์ (Flux) สัดส่วน (Fraction) และคุณสมบัติของของไหล เช่น ความหนาแน่น (Density) ความหนืด (Viscosity) และความตึงผิว (Surface tension) เป็นต้น ในการวิเคราะห์การไหลสถานะเดียวจำเป็นต้องมีการทำนาย (Predict) ได้ว่าเมื่อใดจะเป็นการไหลราบเรียบ หรือปั่นป่วน เพราะจะนำไปสู่การออกแบบ หรือใช้ประโยชน์อื่นๆต่อไปได้ ในทำนองเดียวกัน การไหลแบบสองสถานะก็มีการทำนายเช่นกัน แต่ในการไหลสองสถานะจะเป็นการทำนายว่าสถานะของของไหลจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร หรือเมื่อใด และนี่คือวัตถุประสงค์ของการสร้างแผนภูมิรูปแบบการไหล โดยแผนภูมิของ Hewitt & Roberts (1969) ดังแสดงในรูปภาพ 18 เป็นแผนภูมิที่มักถูกนำมาอ้างอิง โดยได้จากการทำการทดลองการไหลสองสถานะภายในท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 cm ของอากาศกับน้ำที่ความดันปกติ และไอน้ำกับน้ำที่ความดันสูง แผนภูมินี้เป็นแผนภูมิที่แสดงรูปแบบการไหลสัมพันธ์กับโมเมนตัมฟลักซ์สถานะไอ (Gas momentum flux) และโมเมนตัมฟลักซ์สถานะของเหลว (Liquid momentum flux) อย่างไรก็ตาม โดยโมเมนตัมฟลักซ์ หมายถึงอัตราการส่งผ่านโมเมนตัมต่อพื้นที่ และหาค่าได้จากสมการดังต่อไปนี้

สมการสำหรับคำนวณค่าโมเมนตัมฟลักซ์ในสถานะของเหลว (Liquid momentum flux)

คือ

$$\rho_l u_l^2 = \frac{[G(1-x)]^2}{\rho_l} \quad (4)$$

สมการสำหรับคำนวณค่าโมเมนตัมฟลักซ์ในสถานะไอ (Gas momentum flux) คือ

$$\rho_g u_g^2 = \frac{[Gx]^2}{\rho_g} \quad (5)$$

เมื่อ G คือ ค่าฟลักซ์มวล (Mass flux) ($\text{kg/m}^2\text{s}$)

x คือ ค่าคุณภาพไอ (Vapor quality)

u_l คือ ค่าความเร็วของสารทำงานในสถานะของเหลว (Superficial liquid velocity) (m/s)

u_g คือ ค่าความเร็วของสารทำงานในสถานะไอ (Superficial gas velocity) (m/s)

ρ_l คือ ค่าความหนาแน่นของสารทำงานในสถานะของของเหลว (Density of the working fluid in a liquid phase) (kg/m^3)

ρ_g คือ ค่าความหนาแน่นของสารทำงานในสถานะไอ (Density of the working fluid in a gas phase) (kg/m^3)

สมการสำหรับหาค่าฟลักซ์มวลของการไหลสองสถานะ (Mass flux) คือ มวลที่ไหลผ่านพื้นที่ต่อหน่วยเวลา คือ

$$G = G_g + G_l \quad (6)$$

สมการสำหรับหาค่าฟลักซ์มวลของของเหลว (Liquid mass flux) หรือผลคูณระหว่างความหนาแน่นของของเหลวกับความเร็วของสารทำงานในสถานะของของเหลว (Superficial liquid velocity) คือ

$$G_l = \rho_l u_l \quad (7)$$

สมการสำหรับหาค่าฟลักซ์มวลของไอ (Vapor mass flux) หรือผลคูณระหว่างความหนาแน่นของไอกับความเร็วของสารทำงานในสถานะไอ (Superficial gas velocity) คือ

$$G_g = \rho_g u_g \quad (8)$$

เมื่อ G_l คือ ค่าฟลักซ์มวลของของเหลว (Liquid mass flux) ($\text{kg/m}^2\text{s}$)

G_g คือ ค่าฟลักซ์มวลของไอ (Vapor mass flux) ($\text{kg/m}^2\text{s}$)

สมการสำหรับหาค่าความเร็วของสารทำงานในสถานะของของเหลว (Superficial liquid velocity) คือ

$$u_l = \frac{\dot{V}_l}{A_s} = \frac{u_l A_s}{A_s} \quad (9)$$

สมการสำหรับหาค่าความเร็วของสารทำงานในสถานะไอ (Superficial gas velocity) คือ

$$u_g = \frac{\dot{V}_g}{A_s} = \frac{u_l A_s}{A_s} \quad (10)$$

เมื่อ u_l คือ ค่าความเร็วของสารทำงานในสถานะของเหลว (Velocity of the working fluid in a liquid phase) (m/s)

u_g คือ ค่าความเร็วของสารทำงานในสถานะไอ (Velocity of the working fluid in a gas phase) (m/s)

\dot{V}_l คือ ค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรของสารทำงานในสถานะของเหลว (Volumetric flow rate of the working fluid in a liquid phase) (m³/s)

\dot{V}_g คือ ค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรของสารทำงานในสถานะไอ (Volumetric flow rate of the working fluid in a gas phase) (m³/s)

A_s คือ ค่าพื้นที่หน้าตัดการไหลของสารทำงาน (Cross section area of the working fluid) (m²)

สมการในการหาค่าคุณภาพไอ (Vapor quality) ค่าคุณภาพไอเป็นส่วนสัดส่วนของการไหลทั้งหมด ซึ่งมักจะคิดในสถานะไอเป็นส่วนใหญ่ คือ

$$x = \frac{G_g}{G} = \frac{G_g}{G_g + G_l} \quad (11)$$

สำหรับการสมดุลทางอุณหพลศาสตร์ ค่าคุณภาพไอจะสามารถคำนวณได้จากค่าเอนทาลปีหรือปริมาตรจำเพาะของสองสถานะและค่าเอนทาลปีหรือปริมาตรจำเพาะของของเหลวอิ่มตัวและสถานะไอ ดังแสดงในสมการ

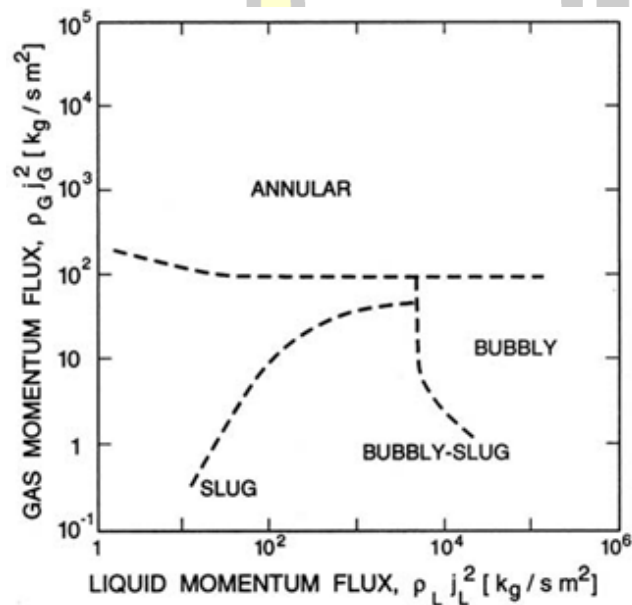
$$x = \frac{h_{TP} - h_l}{h_g - h_l} \quad (12)$$

หรือ

$$x = \frac{V_{TP} - V_l}{V_g - V_l} \quad (13)$$

เมื่อ h_{TP} คือ ค่าเอนทาลปีของสองสถานะ (Two-phase enthalpy) (J/kg)

- h_l คือ ค่าเอนทาลปีในสถานะของเหลว (Enthalpy of a liquid phase) (J/kg)
- h_g คือ ค่าเอนทาลปีในสถานะไอ (Enthalpy of a gas phase) (J/kg)
- V_{TP} คือ ค่าปริมาตรจำเพาะของสองสถานะ (Specific volume of a two-phase) (m³/kg)
- V_l คือ ค่าปริมาตรจำเพาะในสถานะของเหลว (Specific volume of a liquid phase) (m³/kg)
- V_g คือ ค่าปริมาตรจำเพาะในสถานะไอของเหลว (Specific volume of a gas phase) (m³/kg)

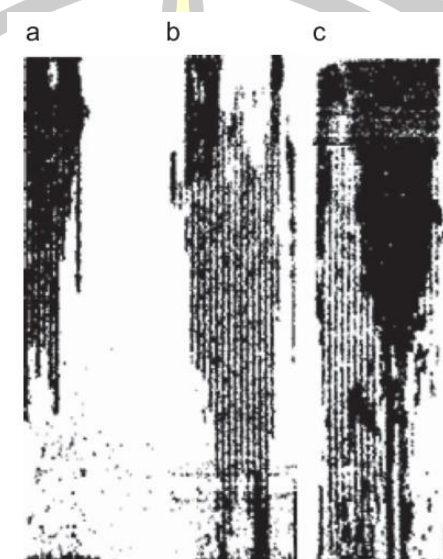


รูปภาพ 18 แผนภูมิรูปแบบการไหล (Hewitt & Roberts, 1969)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Sugimoto et al. (2009) ได้ศึกษารูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิดโดยอาศัยเทคนิคการยิงรังสีนิวตรอน (Neutron radiography) เพื่อดูรูปแบบการไหลของสารทำงานดังแสดงในรูปภาพ 19 ในท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิดที่ทำจากอลูมิเนียมขนาดสูง 200 mm กว้าง 50 mm หนา 2 mm จำนวน 41 โค้งเหลี่ยม โดยมีช่องกว้างและลึก 1 mm ใช้สารทำงานบิวเทน (C₄H₁₀) ที่อัตราการเติม 20 ถึง 60% ส่วนทำระเหยอยู่ด้านล่าง ให้ความร้อนด้วยเครื่องทำความร้อน ระบายความร้อนที่ส่วนควบแน่นโดยใช้ฟลูออคาร์บอนซึ่งเป็นสารที่รังสีนิวตรอนทะลุผ่านได้ ถ่ายภาพด้วยความถี่ 200 fps จากผลการทดลองพบว่า เทคนิคนี้สามารถมองเห็นการถ่ายเทความร้อน

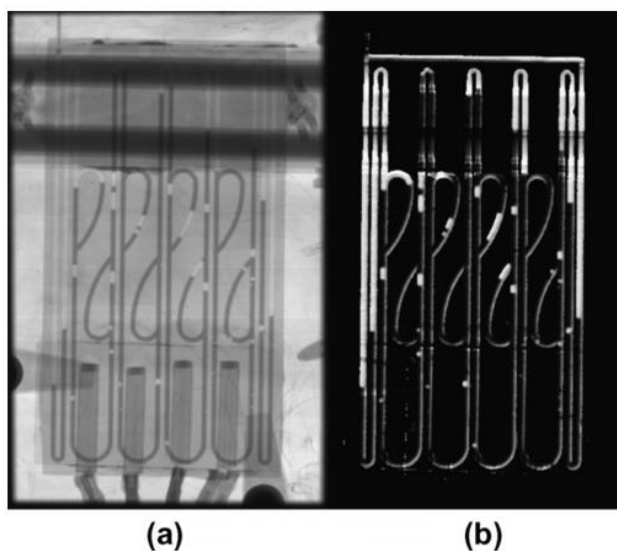
โดยสารทำงานจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนความแน่นได้ดี สามารถมองเห็นการสั่นของสารทำงาน และพบว่าการสั่นเกิดขึ้นมากในตำแหน่งที่ใกล้กับส่วนควบแน่น อีกทั้งยังสามารถทำนายการสั่นได้ด้วย โมเดลมวล-สปริง (Mass-spring model)



รูปภาพ 19 ภาพที่ได้จากการใช้เทคนิคยิงรังสีนิวตรอนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่อัตราการเติมสารทำงาน (a) 20% (b) 40% (c) 60% (Sugimoto et al., 2009)

Thompson et al. (2011) ได้ใช้เทคนิคการยิงรังสีนิวตรอนเพื่อวิเคราะห์รูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดแผ่นเรียบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับแบบเทสล่า (Flat plate oscillating heat pipe with tesla type check valve, TV FP-OHP) ดังแสดงในรูปภาพ 20 โดยท่อความร้อนทำจากทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 mm จำนวน 6 โค้งเลี้ยว โดยที่มี 4 โค้งเลี้ยวมีรัศมีโค้งใหญ่กว่าอีก 2 โค้งเลี้ยว ขนาดโดยรวมกว้าง 136 mm สูง 74.5 mm ปริมาตร 2.75 mm³ ติดตั้งวาล์วแบบเทสล่าจำนวน 8 วง ให้สารทำงานมีทิศทางการไหลแบบทวนเข็มนาฬิกา ใช้สารทำงานน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง อัตราการเติม 70% และเปรียบเทียบกับท่อความร้อนชนิดและขนาดเดียวกันแต่ไม่ติดตั้งวาล์วแบบเทสล่า โดยให้ส่วนทำระเหยอยู่ด้านล่าง และให้ความร้อน 0 ถึง 250 W ด้วยเครื่องทำความร้อนผ่านแผ่นอลูมิเนียม ระบายความร้อนที่ส่วนควบแน่นด้วยน้ำมวลหนัก (Heavy water, D₂O) อุณหภูมิคงที่ 35 และ 55 °C ผ่านแผ่นอลูมิเนียมเช่นกัน วัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิด T จำนวน 11 จุด และถ่ายภาพด้วยกล้องนิวตรอนด้วยความเร็ว 30 fps และนำมาตกแต่ง (Process) ด้วยโปรแกรม Matlab เพื่อให้แยกรายละเอียดระหว่างสถานะของเหลว และสถานะไอได้ชัดเจนขึ้น จากผลการศึกษาพบว่าวาล์วกันกลับแบบเทสล่าทำให้สารทำงานไหลไปในทิศทางเดียวมาก

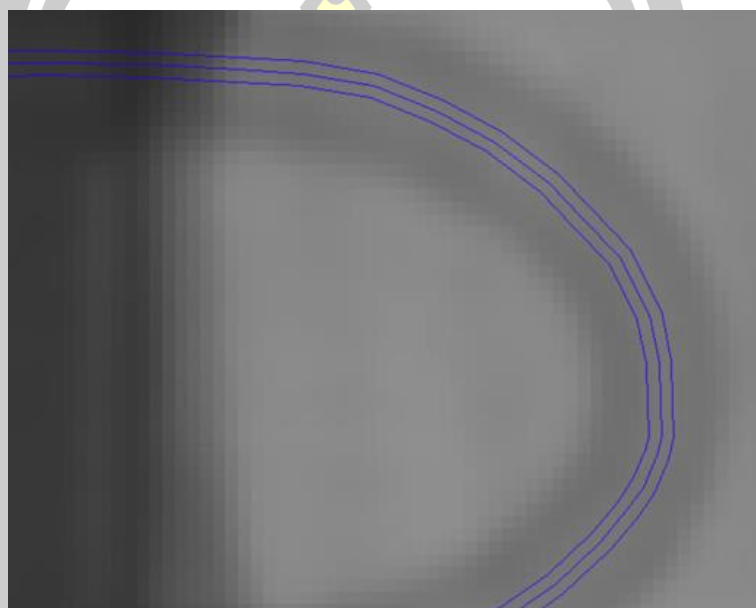
ขึ้นเมื่อให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยมากขึ้น และท่อความร้อนที่ติดตั้งวาล์วกันกลับแบบเทสล่ามีค่าความต้านทานความร้อน (Thermal resistance) ที่ต่ำกว่าท่อความร้อนที่ไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับแบบเทสล่าราว 15-25% ตามการให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหย



รูปภาพ 20 ภาพถ่ายท่อความร้อนแบบสัณวงรอบชนิดแผ่นเรียบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับแบบเทสล่า (a) จากกล้องนิวตรอน (b) ที่ตกแต่งเพื่อให้เห็นรายละเอียดชัดเจน (Thompson et al., 2011)

Yoon et al. (2012) ได้ทดสอบการถ่ายภาพท่อความร้อนแบบสัณวงรอบด้วยรังสีนิวตรอน (Neutron imaging) แสดงดังรูปภาพ 8 และรูปภาพ 21 โดยเป็นท่อความร้อนแบบสัณวงรอบ 6 โค้ง เลี้ยว ทำจากท่อทองแดงเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 3.18 mm เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.65 mm ขนาดโดยรวมสูง 196 mm รัศมีโค้งเลี้ยว 13 mm สารทำงานน้ำ อัตราการเติม 51% ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหยผ่านแผ่นทองแดงด้วยเครื่องทำความร้อนขนาด 500 W ระบายความที่ส่วนควบแน่นผ่านแผ่นอลูมิเนียมด้วยน้ำมวลหนัก อุณหภูมิ 20 °C วัดอุณหภูมิท่อความร้อนด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิด T จำนวน 24 จุด ใช้กล้องนิวตรอนถ่ายภาพที่ความเร็ว 30 fps และวิเคราะห์การไหลด้วยการติดตามความเข้มที่ปรากฏบนภาพถ่าย จากผลการทดสอบพบว่าเมื่อไม่ให้ความร้อน ส่วนที่เป็นของเหลวจะกระจายอยู่ในส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่นเท่า ๆ กัน แต่เมื่อเริ่มให้ความร้อน สัดส่วนจะเริ่มไม่คงที่ โดยสัดส่วนของของเหลวในส่วนทำระเหยจะมีน้อยกว่า 2.5% แต่ในส่วนควบแน่นของเหลวจะมีสัดส่วนมากถึง 80% เมื่อให้ความร้อนสูงขึ้นจะส่งผลให้ส่วนของเหลวเคลื่อนที่จากส่วนทำระเหยขึ้นไปยังส่วนกันความร้อนและส่วนควบแน่น เมื่อให้ความร้อนต่ำ (50 W) ส่วนของเหลวจะเคลื่อนที่สลับกับหยุด ระหว่างการเคลื่อนที่เข้าออกส่วนทำระเหยจะพบการหยุดเคลื่อนที่

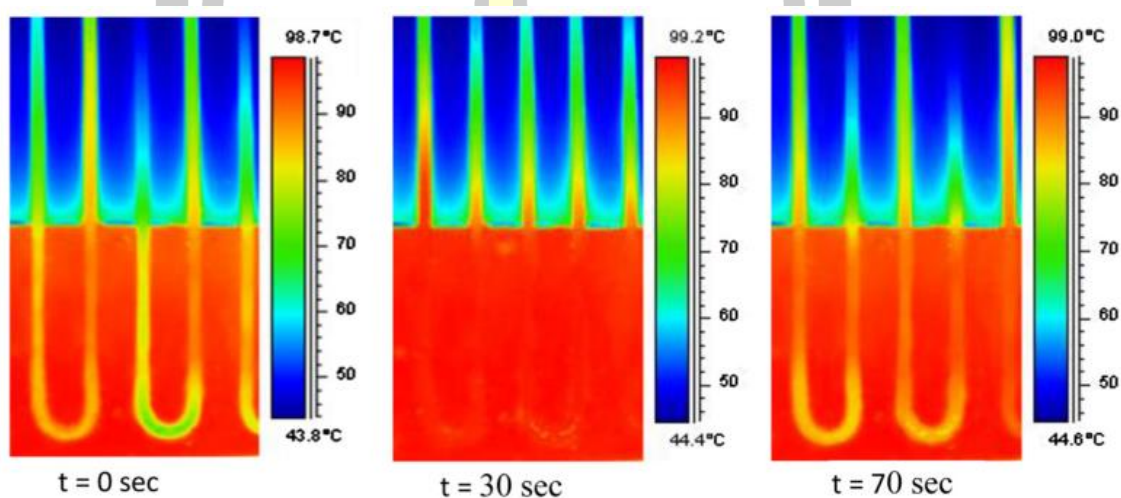
เล็กน้อย เกิดจากแท่งของเหลวเคลื่อนที่เข้าและไหลกลับในทิศทางตรงกันข้ามอย่างรวดเร็ว ส่วนตรงโค้งเล็กจะมีของเหลวไหลวนอยู่เล็กน้อยเมื่อให้ความร้อนต่ำ เช่นเดียวกันเมื่อให้ความร้อนสูงขึ้นการเคลื่อนที่ และการไหลวนก็จะเพิ่มมากขึ้นโดยวัดจากการหยุดของการไหลซึ่งลดลง และวัดจากแท่งของเหลวที่เข้าสู่ส่วนโค้งในส่วนทำระเหย และยังพบว่า การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมีความสัมพันธ์สอดคล้องกันกับการเปลี่ยนแปลงระหว่างสถานะของของเหลวกับไอ



รูปภาพ 21 ภาพถ่ายจากเทคนิครังสีนิวตรอนแสดงเส้นสำหรับใช้ในการคำนวณสัดส่วนของสถานะในการไหล (Yoon et al., 2012)

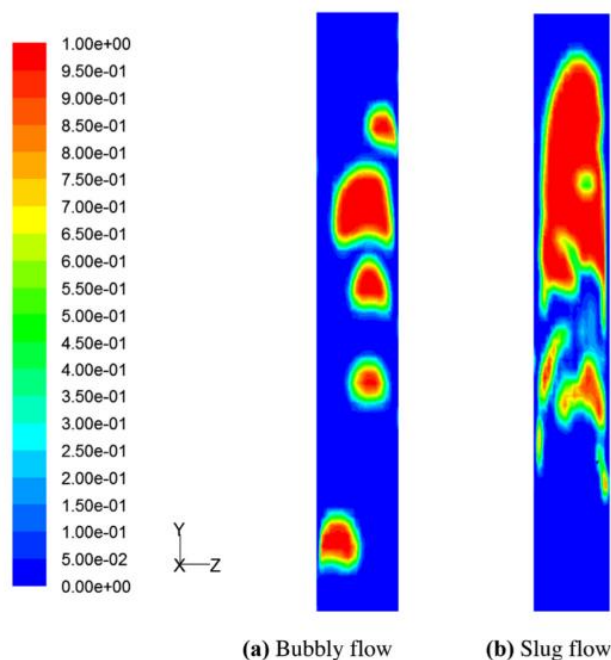
Karthikeyan et al. (2014) ได้ใช้เทคนิคการถ่ายภาพด้วยรังสีอินฟราเรด (Infrared thermography) ในการศึกษากระบวนการไหลของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ ดังแสดงในรูปภาพ 22 โดยเป็นท่อทำจากทองแดงเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2 mm เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 3 mm จำนวน 8 โค้งเล็ก รัศมีโค้งเล็กภายใน 6 mm ท่อมีความยาวก่อนขดทั้งสิ้น 3,942 mm ปริมาตรทั้งหมด 12.5 ml ใช้น้ำปราศจากไอออน (DI water) เป็นสารทำงานที่อัตราการเติมสารทำงาน 60% ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบมีขนาดโดยรวมสูง 245 mm ยาว 185 mm ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหยผ่านแผ่นอลูมิเนียมขนาดกว้าง 220 mm สูง 60 mm หนา 4 mm ที่ติดตั้งเครื่องทำความร้อนให้ความร้อน 20 ถึง 500 W ที่ด้านหลัง ส่วนควบแน่นระบายความร้อนผ่านแผ่นอลูมิเนียมขนาดเท่ากัน โดยมีชุดน้ำระบายความร้อนที่ด้านหลัง ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลชนิด K จำนวน 4 จุดบนส่วนทำระเหย และอีก 1 จุด กลางส่วนโค้งของส่วนทำระเหย ใช้กล้องอินฟราเรด 30 Hz ในการถ่ายภาพเคลื่อนไหว

จากผลการศึกษาพบว่ารังสีอินฟราเรดช่วยให้เห็นอุณหภูมิและพฤติกรรมการไหลของสารทำงานที่แตกต่างกัน เช่น ไม่มีการไหล (No-flow) ไหลแบบสั้นไม่สม่ำเสมอ (Intermittent oscillatory flow) ไหลแบบสั้นเป็นวงรอบ (Oscillatory flow with bulk circulation) โดยที่แต่ละรูปแบบมีประสิทธิภาพทางความร้อนที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่าท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบมีค่าความต้านทานความร้อนลดลงจาก 1.90 เป็น 0.24 K/W เมื่อเพิ่มความร้อนให้กับส่วนทำระเหยจาก 30 ถึง 500 W



รูปภาพ 22 ภาพถ่ายจากกล้องอินฟราเรดแสดงอุณหภูมิที่จุดต่างๆบนท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบตามเวลาที่ผ่านไป เมื่อให้ความร้อน 100 W ที่ส่วนทำระเหย (Karthikeyan et al., 2014)

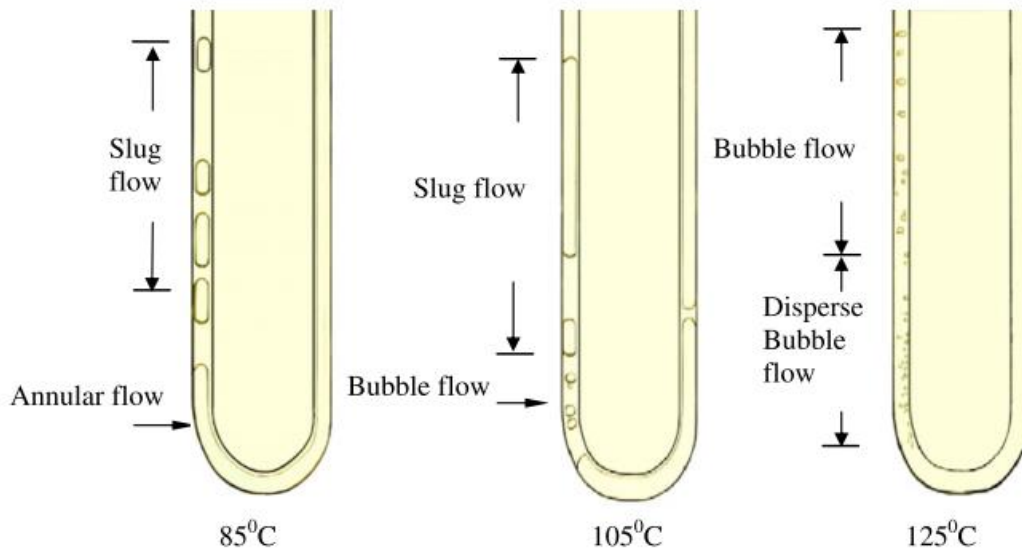
Kuang et al. (2015) ได้ใช้เทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational fluid dynamics, CFD) ในการจำลอง (Simulation) รูปแบบการไหลสองสถานะของส่วนทำระเหยของท่อความร้อนที่มีฟลักซ์ความร้อนหรือการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำ (Low heat flux) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 65 mm ดังแสดงในรูปภาพ 23 ใช้สารทำงานคือแอมโมเนีย และใช้การวิเคราะห์ของไหลแบบปริมาตร (Volume of fluid method, VOF) เทียบกับผลการทดลองจริงของ Gungor & Winterton (1986) และใช้กริดจำนวน 315,000 mesh ผลจากการวิเคราะห์พบการไหลแบบพองแบบแท่ง และแบบโพรง นอกจากนี้ยังพบว่าฟลักซ์มวล (Mass flux) ฟลักซ์ความร้อน และการเดือดส่งผลต่อรูปแบบการไหล และฟลักซ์มวลไม่ส่งผลต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer coefficient)



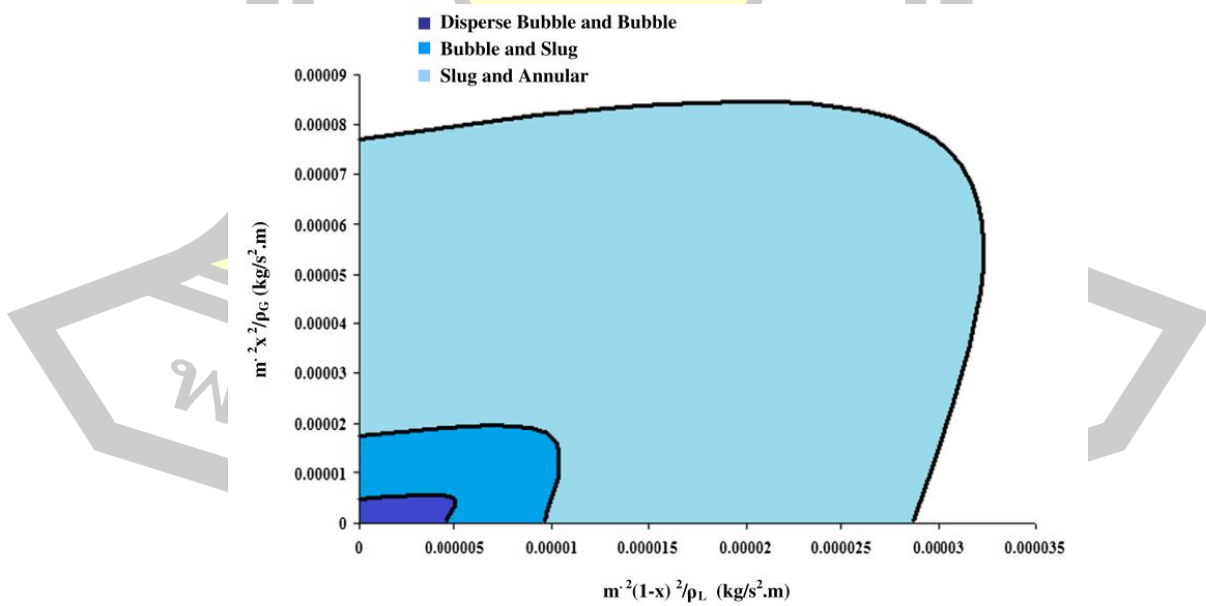
รูปภาพ 23 รูปแบบการไหลจากวิธี CFD (a) แบบฟอง (b) แบบแท่ง (Kuang et al., 2015)

Bhuwakietkumjohn & Rittidech (2010) ได้ศึกษารูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ แสดงดังรูปภาพ 24 จำนวน 10 โค้งเลี้ยว โดยมีส่วนทำระเหยส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่นเท่ากันที่ 50 และ 100 mm ทำจากท่อแก้วทนความร้อน (Pyrex glass tube) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.4 mm ติดตั้งวาล์วกันกลับจำนวน 2 วาล์ว ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหยผ่านแผ่นอลูมิเนียมด้วยเครื่องทำความร้อน และระบายความร้อนที่ส่วนควบแน่นด้วยน้ำเย็นจากเครื่องทำน้ำเย็น และใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K จำนวน 4 จุด วัดอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของส่วนควบแน่นเพื่อหาค่าการถ่ายเทความร้อน ติดตั้งจุดวัดอุณหภูมิ 4 จุดบนแผ่นอลูมิเนียม และอีก 1 จุด สำหรับวัดอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเพื่อคำนวณหาความร้อนสูญเสีย (Heat loss) นอกจากนี้ยังติดตั้งอีก 2 จุด บริเวณตรงกลางของท่อความร้อน ท่อความร้อนทำมุมเอียง 90 องศา บันทึกภาพและภาพเคลื่อนไหวของรูปแบบการไหลของสารทำงาน เอทานอล และ เอทานอลผสมผงเงินนาโน (Silver-nano fluid) โดยให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหย 85 105 และ 125 °C จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อใช้สารทำงานเอทานอลผสมผงเงินนาโน ท่อความร้อนจะมีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าสารทำงานเอทานอลเพียงอย่างเดียว และเมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้น นอกจากนี้อุณหภูมิส่วนทำระเหยยังมีผลต่อรูปแบบการไหล คือเมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นจาก 85 เป็น 105 และ 125 °C จะพบรูปแบบการไหลเป็นแบบวงแหวนกับแบบแท่ง แบบแท่งกับแบบฟอง และแบบกลุ่มฟองกับแบบฟองตามลำดับ ดังแสดงในรูปภาพ 24

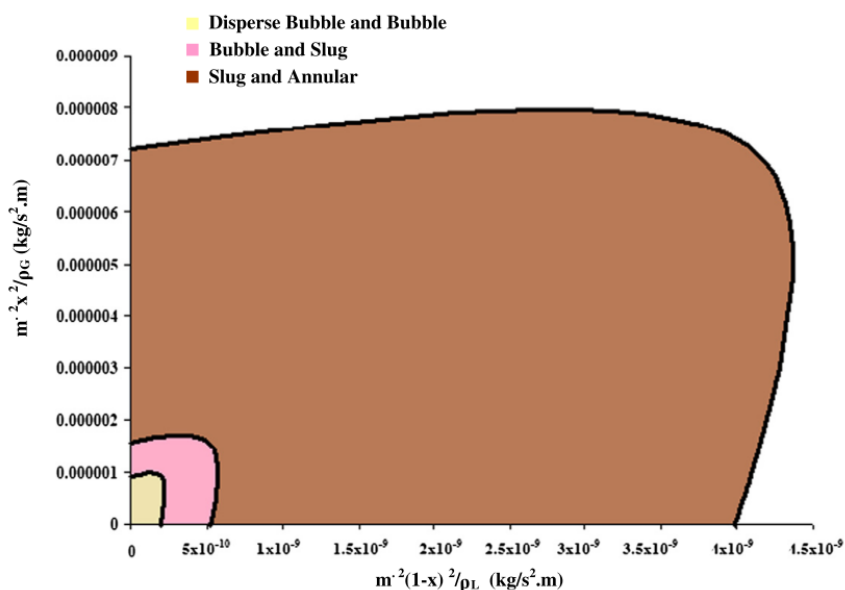
ซึ่งรูปแบบการไหลของสารทำงานทั้ง 2 สารทำงานจะเหมือนกัน และได้แผนภาพรูปแบบการไหลภายในของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับโดยใช้สารทำงานเอทานอล และเอทานอลผสมผงเงินนาโน ดังแสดงในรูปภาพ 25 และรูปภาพ 26



รูปภาพ 24 รูปแบบการไหลของสารทำงานเอทานอลที่เปลี่ยนไปเมื่อให้อุณหภูมิส่วนทำระเหยสูงขึ้น (Bhuwakietkumjohn & Rittidech, 2010)



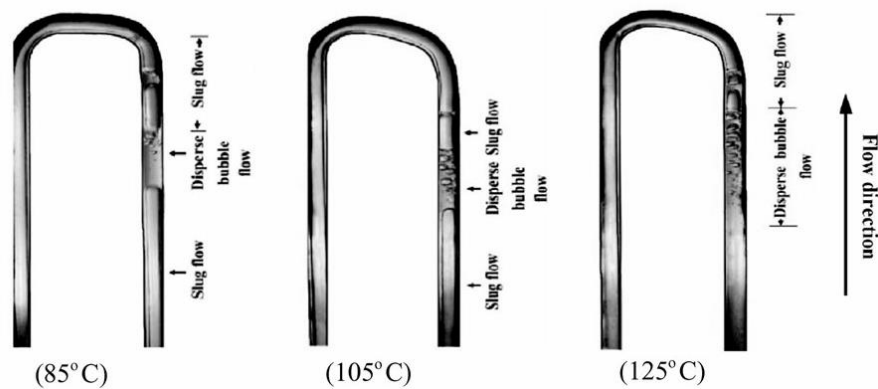
รูปภาพ 25 แผนภูมิรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ใช้สารทำงานเอทานอล (Bhuwakietkumjohn & Rittidech, 2010)



รูปภาพ 26 แผนภูมิรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ใช้สารทำงานเอทานอลผสมผงเงินนาโน (Bhuwakietkumjohn & Rittidech, 2010)

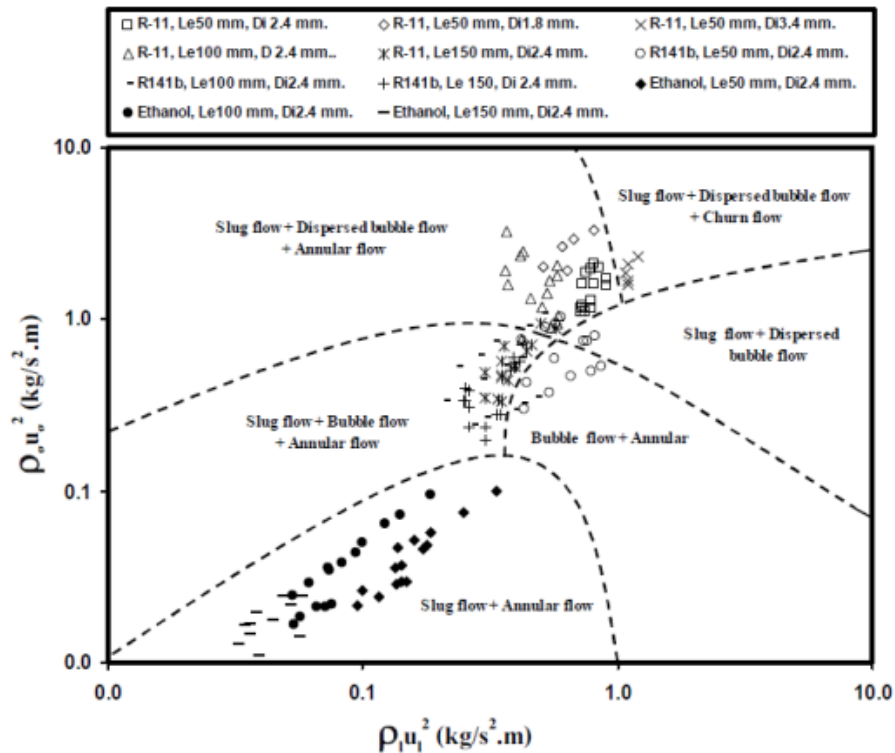
สัณหวัจน์ ทองแดง (2555) ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อรูปแบบการไหลภายในและคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่โหมดความร้อนอยู่ตำแหน่งด้านบน (Top heat mode closed loop oscillating heat pipe with check valves, THMCLOHP/CV) โดยทำจากท่อแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.8 2.4 และ 3.4 mm จำนวน 10 โค้งเลี้ยว วาล์วกันกลับ 2 วาล์ว ความยาวส่วนทำระเหย 50 100 และ 150 mm สารทำงานเอทานอล R-141b และ R-11 ที่อัตราการเติมสารทำงาน 50 % ให้อุณหภูมิส่วนทำระเหย 85 105 และ 125 °C ท่อความร้อนทำมุมเอียง -90 -80 -60 -40 และ -20 องศา ถ่ายภาพและภาพเคลื่อนไหวรูปแบบการไหลของท่อความร้อน และวัดอุณหภูมิขาเข้าและขาออกส่วนควบแน่นและอุณหภูมิสารทำงานภายในท่อด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิด K จากการทดลองพบว่า กลไกการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน THMCLOHP/CV ประกอบด้วยการสะสมของพลังงานจากการเดือดและการขยายตัวของฟองไอ การไหลเวียนของสารทำงานด้วยแรงขับ (Driving force) สำหรับถ่ายเทความร้อนจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่นและการไหลย้อนกลับของสารทำงานจากแรงย้อนกลับ (Restoring force) ซึ่งกลไกดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นวัฏจักร สำหรับค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเกิดที่มุมเอียง -90 องศา อุณหภูมิส่วนทำระเหย 125 °C สารทำงาน R-11 ความยาวส่วนทำระเหย 50 mm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.8 mm ซึ่งมีรูปแบบการไหลแบบแท่ง/แบบ

ฟองฟุ้ง/แบบวงแหวน ดังแสดงในรูปภาพ 27 สำหรับแผนภูมิรูปแบบการไหล ที่เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์พลิกซ์และความเร็วที่ผิวหน้าในสถานะไอและของเหลว ดังแสดงในรูปภาพ 28 มีรูปแบบการไหลคือ แบบแท่ง/แบบฟองฟุ้ง/แบบวงแหวน, แบบแท่ง/แบบฟองฟุ้ง/แบบโพรง, แบบแท่ง/แบบฟอง/แบบวงแหวน, แบบแท่ง/แบบฟองฟุ้ง, แบบฟอง/แบบวงแหวน และ แบบแท่ง/แบบวงแหวน โดยพบว่าโมเมนต์พลิกซ์ในสถานะไอจะเป็นตัวกำหนดถึงความสามารถในการถ่ายเทความร้อนโดยตรง เมื่อโมเมนต์พลิกซ์ในสถานะไอมีความเร็วที่สูงขึ้นจะส่งผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูงขึ้นตามไปด้วย ค่าโมเมนต์พลิกซ์และความเร็วที่ผิวหน้าในสถานะไอสูงที่สุดเกิดรูปแบบการไหลภายในแบบ แบบแท่ง/แบบฟองฟุ้ง/แบบวงแหวน



รูปภาพ 27 รูปแบบการไหลภายในของ THMCLOHP/CV ที่ใช้สารทำงาน R141b ความยาวส่วนทำระเหย 50 mm มุมเอียง -90 องศา อุณหภูมิส่วนทำระเหย 85 105 และ 125 °C และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.4 mm (สิณหวัจน์ ทองแดง, 2555)

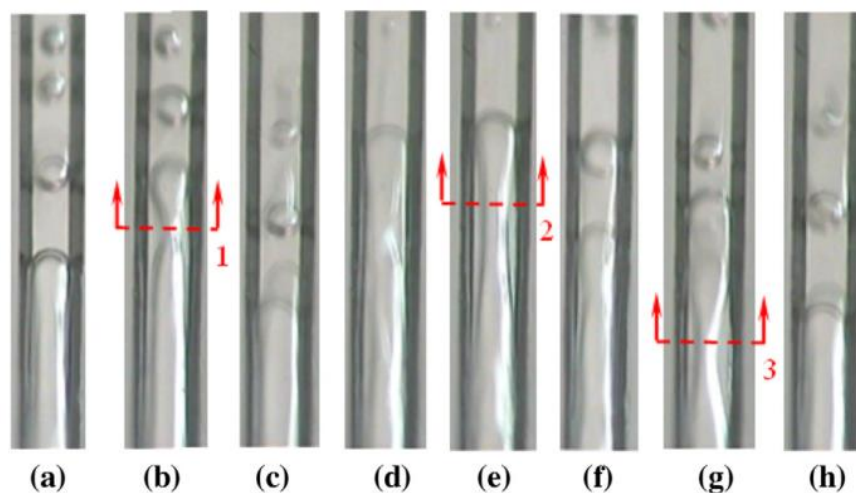
พหุ ประถมศึกษา



รูปภาพ 28 แผนภูมิรูปแบบการไหลของ THMCLOHP/CV เปรียบเทียบความล้มพันระหว่าง ไมเมนตัมพลักซ์ของสถานะไอและของเหลว (ลัษหวัจน์ ทองแดง, 2555)

Qu et al. (2012) ได้ศึกษาสถานะเริ่มต้น การถ่ายเทความร้อน พฤติกรรมการไหลของท่อ ความร้อนแบบเส้นขนาดไมโครที่ทำด้วยซิลิกอน (Silicon based micro pulsating heat pipe, Silicon base MPHP) โดยนำซิลิกอนหนา 0.5 mm มาเจาะเป็นร่องจำนวน 5 โค้งเลี้ยว และใช้แก้ว ทนความร้อนหนา 0.525 mm ประกบปิด แบ่งเป็น 3 ขนาด 251 352 และ 394 μm โดยใช้สาร ทำงานคือ น้ำ เอทานอล FC-72 และ R-113 อัตราการเติม 0 ถึง 73% ท่อความร้อนทำมุมเอียง 0 ถึง 90 องศา ให้ความร้อนกับส่วนทำระเหยด้วยเครื่องทำความร้อนแบบแผ่นฟิล์ม และระบายความร้อนที่ ส่วนควบแน่นด้วยน้ำเย็น พร้อมกับวัดอุณหภูมิที่ผ่านเข้าออกด้วยเทอร์คัปเปิลชนิด T และติดตั้งอีก 6 จุดเพื่อวัดอุณหภูมิที่ผิวของของความร้อนประกอบไปด้วย 1 จุดที่ส่วนทำระเหย 2 จุดที่ส่วนควบแน่น และที่เหลืออีก 3 จุดที่ส่วนกันความร้อน ใช้กล้อง CCD ในการถ่ายภาพ จากผลการศึกษาพบว่าสาร ทำงานที่มีอัตราส่วนความดันต่ออุณหภูมิสูง ความหนืดพลวัตต่ำ แรงตึงผิวต่ำ และความร้อนแฝงต่ำ (สารทำงาน FC-72 และ R-113) จะทำให้ท่อความร้อนมีสถานะเริ่มต้น หรือทำงานได้ แต่หากสาร ทำงานที่มีอัตราส่วนความดันต่ออุณหภูมิต่ำ ความหนืดพลวัตสูง แรงตึงผิวสูง และความร้อนแฝงสูง ท่อความร้อนจะไม่ทำงาน และท่อความร้อนแบบเส้นขนาดไมโครที่ทำด้วยซิลิกอนนี้จะมีหัวเวลาของ

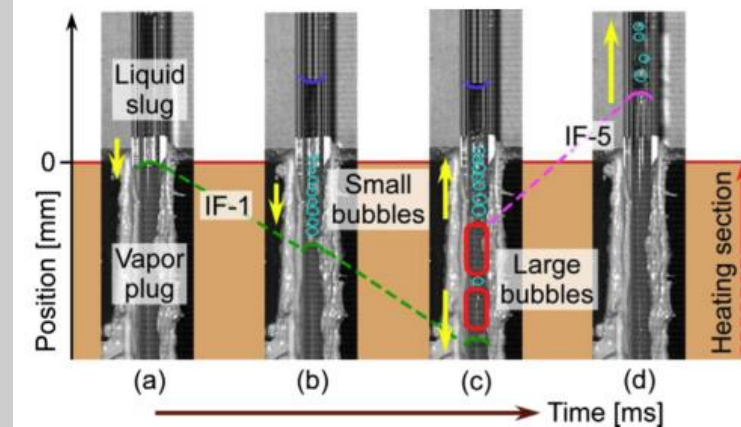
สภาวะเริ่มต้น 200 วินาที สารทำงาน อัตราการเติมสารทำงาน และมุมเอียงของท่อความร้อนต่างก็ส่งผลต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อน โดยเมื่อให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหยไม่มากท่อความร้อนที่เติมสารทำงาน R-113 จะมีค่าความต้านทานความร้อนต่ำกว่าท่อความร้อนที่เติมสารทำงาน FC-72 แต่เมื่อให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยสูง ท่อความร้อนจะเกิดภาวะแห้งเหือด (Dry-out) โดยอัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ให้ประสิทธิภาพทางความร้อนที่ดีที่สุดคือ 52 55 และ 47% ตามลำดับ สำหรับท่อความร้อนขนาด 251 μm สารทำงาน R-113 ท่อความร้อนขนาด 352 μm สารทำงาน FC-72 และท่อความร้อนขนาด 394 μm สารทำงาน FC-72 ตามลำดับ และประสิทธิภาพทางความร้อนของท่อความร้อนที่ตั้งในแนวตั้งจะสูงกว่าท่อความร้อนที่ตั้งแนวนอนเพราะท่อความร้อนในแนวนอนค่าต้านทานความร้อนจะมีแนวโน้มสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบรูปแบบการไหลที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะในท่อความร้อนขนาด 394 μm พบรูปแบบการไหลแบบฟอง และการไหลวน แต่กลับไม่พบรูปแบบการไหลดังกล่าวในท่อความร้อนขนาด 251 μm และ 352 μm นอกจากนี้ยังพบการไหลแบบฉีด (Injection flow) ซึ่งไม่เคยพบบนท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบมาก่อน แสดงดังรูปภาพ 29



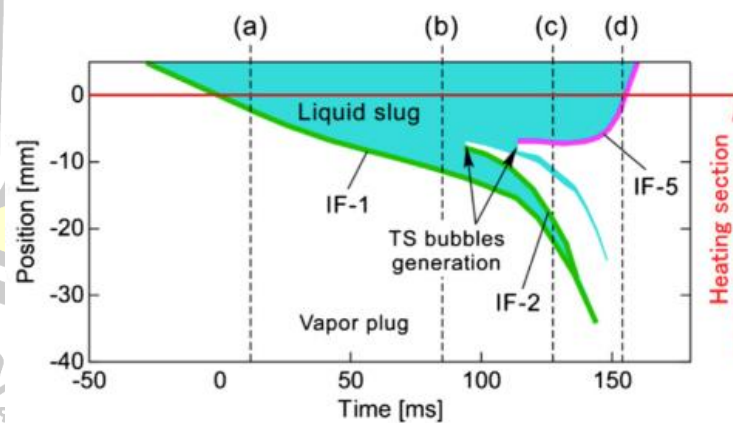
รูปภาพ 29 รูปแบบการไหลแบบฉีด (Qu et al., 2012)

Senjaya & Inoue (2013) ได้ทำการศึกษากระบวนการเกิดฟองของสารทำงานในท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ทำจากท่อแก้วทนความร้อน เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.4 mm เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 4 mm ปริมาตรทั้งหมด 15.8 ml ระบายความร้อนที่ส่วนควบแน่นด้วยน้ำเย็น 10 $^{\circ}\text{C}$ ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหยผ่านแผ่นทองแดงด้วยเครื่องทำความร้อนที่ 60 และ 80 W และใช้เอทานอลเป็นสารทำงานที่อัตราการเติม 60% ของปริมาตรทั้งหมด ถ่ายภาพด้วยกล้องความเร็วสูง 1000 fps จากศึกษาพบรูปแบบการเกิดและการขยายของฟอง 3 รูปแบบ คือ แบบฟองที่มีขนาดใหญ่

เท่ากับท่อ (Tube size bubble) แบบก้อนไอ (Vapor plug) และแบบฟองขนาดเล็ก (Small bubble) แสดงดังรูปภาพ 30 ทั้งนี้แบบฟองที่มีขนาดใหญ่เท่ากับท่อจะเกิดขึ้นเมื่อแท่งของเหลวภายในท่อมีความเร็วต่ำกว่า 0.2 m/s และแบบฟองขนาดเล็กมีแรงขับเคลื่อน นอกจากนี้ยังได้สร้างแผนภูมิตำแหน่งและเวลาของการขยายตัวของรูปแบบฟองแต่ละแบบ แสดงดังรูปภาพ 31 และแบบจำลองสำหรับทำนายการเกิดฟอง โดยตัดรูปแบบฟองขนาดเล็กออกไป

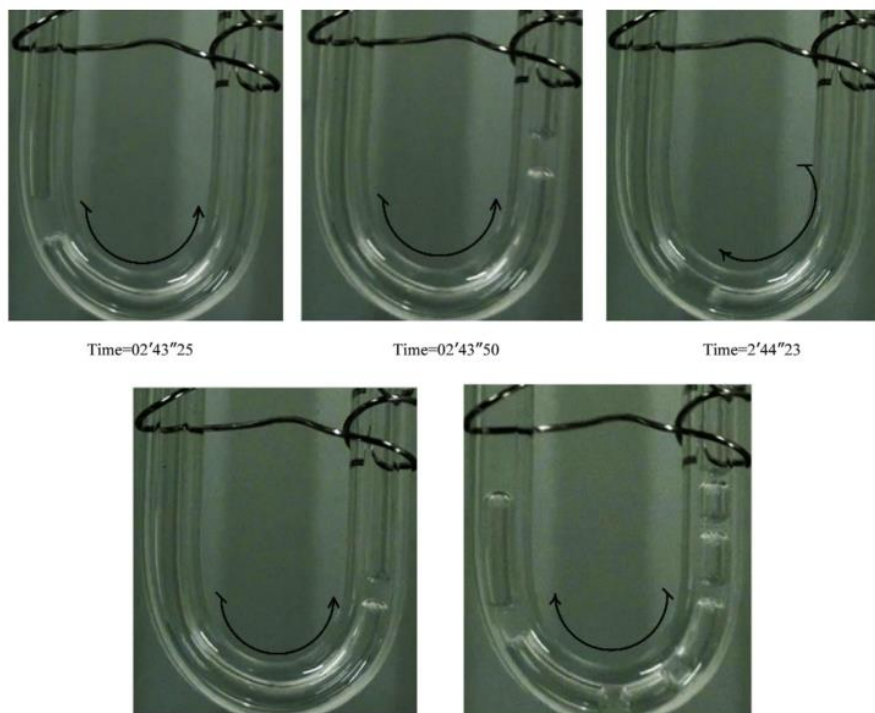


รูปภาพ 30 ตำแหน่งของการไหลแบบฟองที่มีขนาดใหญ่เท่ากับท่อเมื่อเวลาผ่านไป (Senjaya & Inoue, 2013)



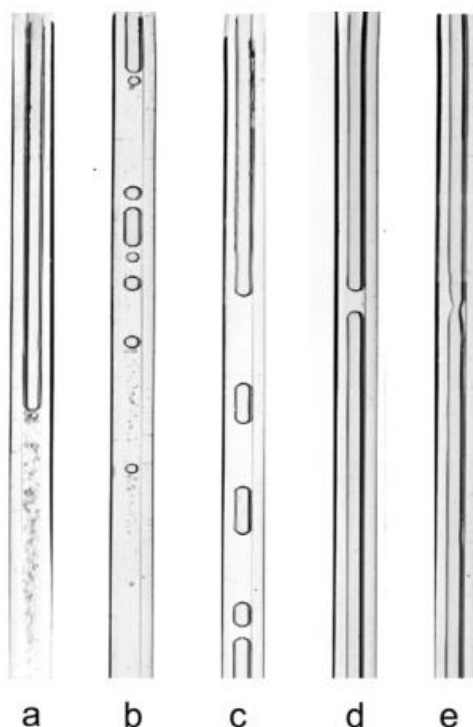
รูปภาพ 31 แผนภูมิแสดงตำแหน่งของการไหลแบบฟองที่มีขนาดใหญ่เท่ากับท่อเมื่อเวลาผ่านไป (Senjaya & Inoue, 2013)

Xue et al. (2013) ได้วิเคราะห์รูปแบบการไหลและสถานะเริ่มต้นของท่อความร้อนแบบ สั้นวงรอบที่ใช้แอมโมเนียเป็นสารทำงาน อัตราการเติมสาร 70% ท่อความร้อนมีโค้งเลี้ยว 6 โค้งเลี้ยว ใช้ท่อแก้วควอร์ทซเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอก 2 และ 6 mm ตามลำดับ ให้ความร้อนด้วย ลวดความร้อนขนาดความต้านทาน 4.86 Ω/m ส่วนทำระเหย 100 mm ความสูงทั้งหมดของท่อ ความร้อน 320 mm ส่วนควบแน่น 120 mm ระบายความร้อนด้วยน้ำ ถ่ายภาพนิ่งและ ภาพเคลื่อนไหวด้วยกล้อง CCD วัดอุณหภูมิที่ส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่น ด้วย เทอร์โมคัปเปิลรวมทั้งหมด 9 จุด โดยชุดท่อความร้อนทั้งหมดจะวางอยู่บนแท่นรองที่สามารถปรับ ความเอียงได้ ทำการทดสอบที่มุม 60 $^{\circ}$ และ -30° องศา โดยให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าแก่เส้น ลวดความร้อน 5 10 20 30 และ 40V ผลจากการทดลองพบว่า เมื่อให้ความร้อนแก่ท่อความร้อนที่ทำ มุมเอียง 60 องศา ท่อความร้อนจะเริ่มมีสถานะเริ่มต้นได้ตั้งแต่อุณหภูมิส่วนทำระเหยและส่วน ควบแน่นต่างกันเพียง 4 $^{\circ}C$ ในขณะที่มุม 0 องศาจะต้องมีอุณหภูมิที่ต่างกันมากกว่า และมุม -30° องศา ท่อความร้อนจะไม่ทำงาน นอกจากนี้ยังพบว่าท่อที่ทำมุมเอียง 60 องศาประกอบไปด้วยรูปแบบ การไหลแบบฟองขนาดเล็ก และแบบแท่ง ส่วนที่มุม 0 องศา พบรูปแบบการไหลแบบแท่งยาว และ เมื่อเคลื่อนที่ผ่านส่วนโค้งจะกระจายออกเป็นแบบแท่งที่มีขนาดสั้นลง แสดงดังรูปภาพ 32



รูปภาพ 32 รูปแบบการไหลแบบแท่งยาวเมื่อเคลื่อนที่ผ่านส่วนโค้งจะกระจายออกเป็นแบบแท่งที่มี ขนาดสั้นลง (Xue et al., 2013)

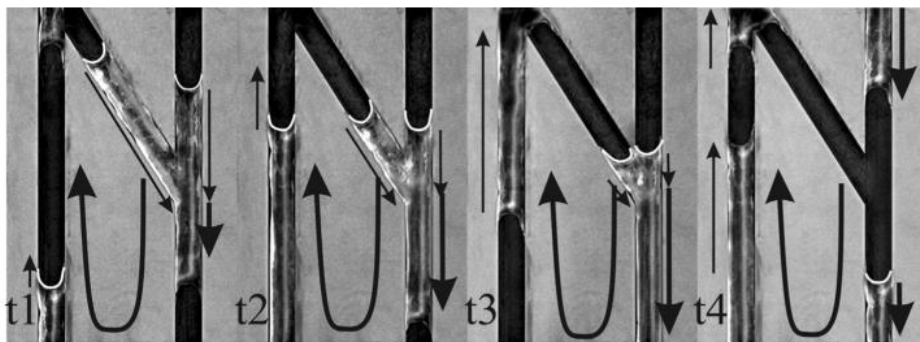
Xian et al. (2014) ได้ทำการทดลองหาลักษณะการถ่ายเทความร้อนและรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ให้ความร้อนแบบพัลส์ (Pulse heating) หรือเป็นจังหวะ โดยทำจากท่อแก้วทนความร้อนเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอก 2 และ 6 mm ตามลำดับ ขนาดโดยรวมสูง 194 mm ขนาดส่วนทำระเหย 60 mm ขนาดส่วนควบแน่น 134 mm มี 5 โค้งเลี้ยว รัศมีภายในและภายนอกโค้งเลี้ยว 7 และ 13 mm ตามลำดับ ใช้น้ำความบริสุทธิ์สูงเป็นสารทำงาน ที่อัตราการเติมสาร 49% ใช้เครื่องทำความร้อนแบบแผ่นฟิล์มความต้านทานไฟฟ้า 141.1 Ω ในการให้ความร้อนโดยให้แรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 0V ถึง 220V ส่วนควบแน่นระบายความร้อนด้วยอากาศโดยใช้พัดลมขนาดเล็กคงอุณหภูมิที่ 27 °C ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลชนิด T ทั้งที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น ถ่ายภาพรูปแบบการไหลด้วยกล้องถ่ายภาพความเร็ว 500 fps จากผลการทดลองพบว่า เมื่อให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยต่ำ (40 หรือ 50 W) ความร้อนแบบพัลส์เล็กๆจะทำให้เกิดการสั่นภายในท่อความร้อนโดยที่อุณหภูมิที่แตกต่างกันของส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นไม่มาก แต่เมื่อให้ความร้อนสูงขึ้น (60 70 หรือ 80 W) การให้ความร้อนแบบพัลส์โดยระยะเวลาของพัลส์สั้นๆจะไปทำให้อุณหภูมิผันผวนมากขึ้น และส่งผลให้อุณหภูมิที่แตกต่างกันของส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นโดยรวมมีค่าต่ำกว่ากรณีที่ให้ความร้อนแบบต่อเนื่องแก่ท่อความร้อน เมื่อให้ความร้อนแบบพัลส์ที่เท่ากับหรือมากกว่า 90 W นอกจากจะไม่ทำให้สารทำงานเปลี่ยนสถานะอย่างต่อเนื่องแล้วยังส่งผลให้ของเหลวมีภาวะย้อนกลับ (Reflux liquid) ดังนั้นในกรณีนี้อุณหภูมิที่แตกต่างกันของส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นโดยรวมก็ยังมีค่าต่ำกว่ากรณีที่ให้ความร้อนแบบต่อเนื่องแก่ท่อความร้อนเช่นกัน นอกจากนี้เมื่อให้ความร้อนแบบพัลส์ ระยะเวลาของพัลส์และช่วงเวลาของพัลส์จะส่งผลอย่างมากต่ออุณหภูมิที่ขึ้นลงในส่วนทำระเหย แสดงให้เห็นว่าการให้ความร้อนแบบพัลส์จะส่งผลต่ออุณหภูมิของท่อความร้อนอย่างรวดเร็วมากกว่าการให้ความร้อนแบบต่อเนื่อง กรณีที่ให้ความร้อนแบบพัลส์ 90 W ระยะเวลาของพัลส์จะเป็น 900 ms จะไปทำให้อุณหภูมิของส่วนทำระเหยต่ำกว่าอุณหภูมิของส่วนควบแน่น และยังพบว่า การให้ความร้อนแบบพัลส์ส่งผลต่ออุณหภูมิของส่วนควบแน่นด้วย การให้ความร้อนแบบพัลส์กับท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบจะพบรูปแบบการไหลหลักๆคือ แบบฟอง แบบก้อนไอ แบบกิ่งวงแหวน และแบบวงแหวน แสดงดังรูปภาพ 33 เมื่อให้ความร้อนแบบพัลส์ 40 W ระยะเวลาของพัลส์มากๆ จะไปทำให้การสั่นไม่มากพอนำไปสู่การถ่ายเทความร้อนลดลง แต่ถ้าให้ความร้อนแบบพัลส์ 40 หรือ 50 W ที่มีระยะเวลาของพัลส์สั้นๆจะเกิดสภาวะ ฉีด-หดตัว (Injection-contraction) เกิดขึ้น จะส่งผลให้ท่อความร้อนมีความดันแตกต่างกันมาก ทำให้เกิดการไหลแบบก้อนไอ หรือแบบฟองบนส่วนโค้ง และยังพบว่า การให้ความร้อนแบบพัลส์จะช่วยลดการเกิดภาวะแห้งเหือด (Dry-out) ได้อีกด้วย



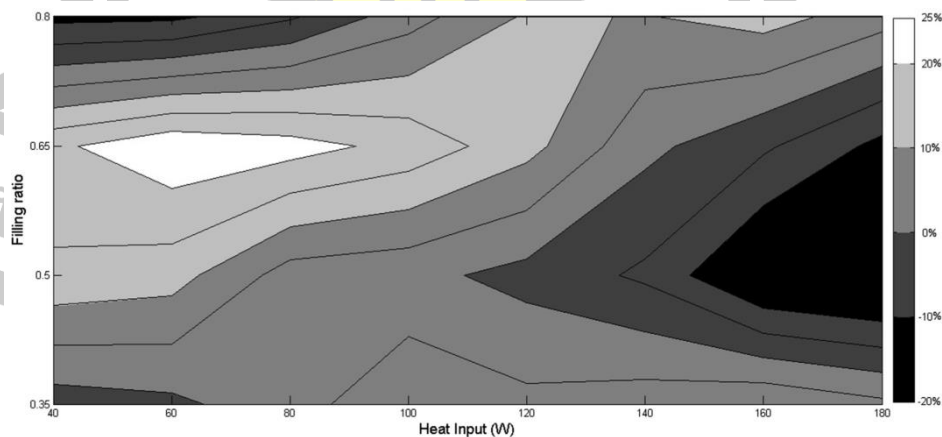
รูปภาพ 33 รูปแบบการไหล (a) และ (b) แบบฟอง (c) แบบก้อนไอ (d) แบบกิ่งวงแหวน และ (e) แบบวงแหวน (Xian et al., 2014)

Ebrahimi et al. (2015) ได้ทำการศึกษาเชิงทดลองต่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดแผ่นเรียบที่มีช่องทางเชื่อมถึงกัน (Interconnecting channels flat plate closed loop pulsating heat pipe, IC-FP-CLPHP) เพื่อบังคับให้สารทำงานไหลทิศทางเดียว โดยเป็นทำจากแผ่นอลูมิเนียมขนาดโดยรวมสูง 320 mm กว้าง 220 mm หนา 5 mm มากัดเป็นร่องกว้าง 2.8 mm ลึก 2 mm ให้มีจำนวน 5 โค้งเลี้ยว ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นขนาดเท่ากันที่ 107 mm ส่วนกันความร้อนขนาด 106 mm โดยให้มีช่องทางเชื่อมถึงกัน 12 ช่องที่ส่วนทำระเหย และอีก 12 ช่องที่ส่วนควบแน่น โดยทำมุม 37 องศาต่อความร้อน ช่วยบังคับทิศทางการไหลให้ไปตามเข็มนาฬิกา จากนั้นปิดด้านบนด้วยแผ่นแก้ว ให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยด้วยเครื่องทำความร้อนแบบแผ่นที่ 40 ถึง 180 W โดยเพิ่มทีละ 20 W ระบายความร้อนด้วยน้ำเย็นอุณหภูมิคงที่ 22 °C ที่ส่วนควบแน่น เติมสารทำงานเอทานอลที่อัตราการเติมสาร 35 50 65 และ 80% วัดอุณหภูมิตลอดต่อความร้อนด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิด K บันทึกภาพถ่ายรูปแบบการไหลด้วยกล้อง CCD ผลการทดลองพบว่า ช่องทางเชื่อมถึงกันมีแนวโน้มทำให้การไหลของสารทำงานเป็นไปในทิศทางเดียวเนื่องจากช่องทางเชื่อมถึงกันทำให้เกิดความดันที่ต่างกันระหว่างการไหลตามเข็มนาฬิกา นอกจากนี้สารทำงานจากช่องการ

ไหลหลักและช่องทางเชื่อมจะเข้ารวมกันทำให้ชั้นของเหลวตลอดช่องทางหลักบางลงส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนดีขึ้น แสดงดังรูปภาพ 34 และช่องทางเชื่อมยังกลายเป็นทางลัดของการไหลให้สารทำงานส่งผลให้การสูญเสียความดันลดลง การถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น ผลของการให้ความร้อนและอัตราการเติมสารทำงาน พบว่าท่อความร้อนที่ติดตั้งช่องทางเชื่อมจะมีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนดีกว่าท่อความร้อนที่ไม่ติดตั้งประมาณ 24% ยกเว้นเมื่อให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหยสูงๆ เนื่องจากในช่องทางเชื่อมจะเต็มไปด้วยไอร้อน ทำให้ช่องทางหลักมีอุณหภูมิสูงขึ้นและทำให้การพาความร้อนของท่อความร้อนลดลง ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดของท่อความร้อนที่ติดตั้งช่องทางเชื่อมจะเกิดขึ้นเมื่อให้อัตราส่วนการเติมสารทำงานไม่มาก และให้ความร้อนกับส่วนทำระเหยต่ำหรือปานกลางมากกว่าที่จะเติมสารทำงานมาก หรือให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยสูง นอกจากนี้ยังได้แผนภูมิแสดงรูปร่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานความร้อน อัตราส่วนการเติมสารทำงาน และการให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหย แสดงดังรูปภาพ 35

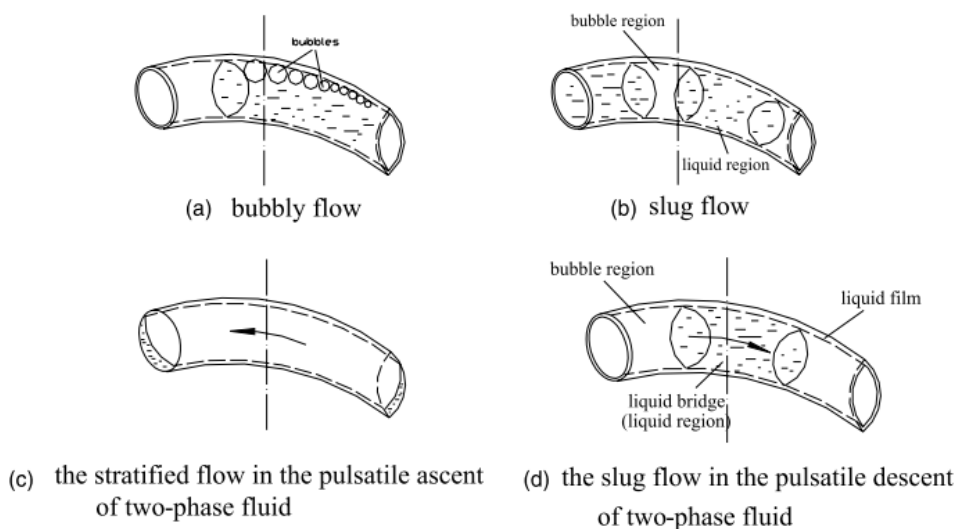


รูปภาพ 34 รูปแบบการไหลในส่วนทำระเหยของ IC-FP-CLPHP (Ebrahimi et al., 2015)



รูปภาพ 35 แผนภูมิแสดงรูปร่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานความร้อน อัตราส่วนการเติมสารทำงาน และการให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยของ IC-FP-CLPHP (Ebrahimi et al., 2015)

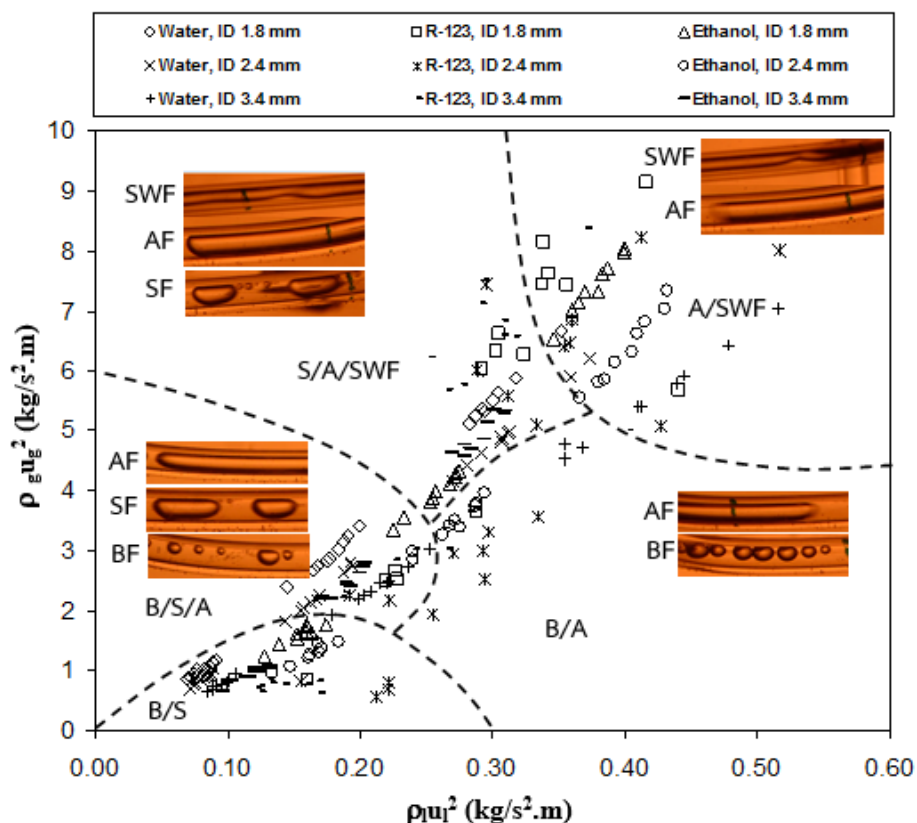
Yi et al. (2003) ได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบที่มีส่วนทำ ระบายเป็นเกลียวขด โดยทำการสร้างท่อความร้อน 2 แบบ แบบที่เป็นท่อแก้วเพื่อศึกษารูปแบบการ ไหล และแบบสแตนเลสเพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อน แบบที่เป็นท่อแก้วทำจากแก้วโบโรซิลิเกตเส้น ผ่านศูนย์กลางภายใน 4 mm ปริมาตรรวม 56 cm³ ขดเป็นเกลียว 4 รอบครึ่ง เส้นผ่านศูนย์กลาง เกลียวขด 100 mm แต่ละเกลียวอยู่ห่างกัน 2 mm ให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยนี้ด้วยเครื่องทำ ความร้อนแบบแท่ง ระบายความร้อนที่ส่วนควบแน่นด้วยน้ำเย็น แสดงดังรูปภาพ 12 เติมสารทำงาน น้ำที่เจือสีแดงเล็กน้อยเพื่อให้เห็นรูปแบบการไหลที่ชัดเจนที่อัตราการเติมสาร 20 30 40 และ 50% โดยปริมาตรทั้งหมดของท่อความร้อน ถ่ายภาพรูปแบบการไหลด้วยกล้องถ่ายภาพ ส่วนแบบสแตน เลสเป็นแบบเกลียวขดซ้อนกัน 3 เกลียวขด แต่ละเกลียวอยู่ห่างกัน 2 mm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ภายในท่อ 4 mm ท่อยาว 4 เมตร ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลบนผิวท่อเกลียวขด 18 จุด ติดตั้งอีก 2 จุด เพื่อวัดอุณหภูมิเข้าและออกส่วนทำระเหยที่ให้ความร้อนด้วยก๊าซร้อน (Flue gas) อุณหภูมิ 300 ถึง 500 °C และอีก 2 จุดเพื่อวัดอุณหภูมิเข้าและออกส่วนควบแน่นที่ระบายความร้อนด้วยน้ำเย็น และ ติดตั้งเกจวัดความดันเพื่อวัดความดันในส่วนทำระเหย ใช้สารทำงานน้ำที่อัตราการเติมสาร 11 13 16 และ 18% จากการศึกษาพบว่า ท่อเกลียวขดมีรูปแบบการไหลคือ แบบฟอง แบบแท่ง แบบแยกชั้น แบบแยกชั้นไม่คงที่ แสดงดังรูปภาพ 36 โดยมีกรไหลแบบแท่งมากที่สุด และไม่พบการไหลแบบวง แหวน และการระเหยของฟิล์มของเหลวเกิดจากการรบกวนของการสั่นและการไหลรองภายในท่อ เกลียวขด ซึ่งไม่ได้เพิ่มการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย แต่จะไปเพิ่มค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤติ (Critical heat flux, CHF) แทน นอกจากนี้สัมประสิทธิ์การถ่ายความร้อนยังส่งผลต่อการสั่นของสารทำงาน ของท่อความร้อนแม้ว่าจะเข้าสู่ภาวะแห้งเหือดแล้วก็ตาม และยังได้ทำการสร้างสมการสหสัมพันธ์เพื่อ ใช้ในการทำนายค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในสองช่วงฟลักซ์ความร้อน คือ ก่อนและหลังฟ ลักซ์ความร้อนวิกฤติ ตามลำดับ



รูปภาพ 36 รูปแบบการไหลที่พบบนส่วนทำระเหยแบบเกลียวขด (a) แบบฟอง (b) แบบแท่ง (c) แบบแยกชั้น (d) แบบแยกชั้นไม่คงที่ (Yi et al., 2003)

ยูธนา ศรีอุดม (2558) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียวขด แสดงดังรูปภาพ 13 โดยส่วนควบแน่นทำจากท่อทองแดง ส่วนทำระเหยทำจากท่อแก้วทนความร้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.8 2.4 และ 3.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นเท่ากันที่ 510 680 และ 850 mm เดิมสารทำงานคือ น้ำ เอทานอล และ R-123 ที่อัตราการเดินสารทำงาน 80% โดยปริมาตรทั้งหมดภายในท่อ ให้ความร้อนส่วนทำระเหยผ่านน้ำด้วยเครื่องทำความร้อนอุณหภูมิ 60 75 และ 90 °C ระบายความร้อนด้วยอากาศผ่านพัดลมขนาดเล็กโดยให้อุณหภูมิคงที่ที่ 25 °C ท่อความร้อนทำมุมเอียง 0 30 60 และ 90 องศา กับแนวระดับ มีระยะพิทช์ที่ 10 15 และ 20 mm บันทึกรูปแบบการไหลของท่อความร้อนโดยกล้องถ่ายภาพ และกล้องถ่ายภาพเคลื่อนไหว วัดอุณหภูมิขาเข้าและขาออกส่วนควบแน่น และอุณหภูมิสารทำงานภายในท่อด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิด K จากการศึกษาพบว่า กลไกการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียวขด ประกอบด้วย การสะสมของพลังงาน จากการเดือดและการขยายตัวและการรวมตัวของฟองไอ โดยการไหลเวียนของสารทำงานจะเกิดการแรงขับ (Driving force) ส่วนการถ่ายเทความร้อนจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่นและการไหลย้อนกลับของสารทำงานจะเกิดจากแรงย้อนกลับ (Restoring force) ซึ่งกลไกดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นวัฏจักรไป โดยค่าอัตราการถ่ายโอนความร้อนจะเกิดขึ้นสูงสุดเมื่อใช้ R-123 เป็นสารทำงาน ที่มุมเอียง 90 องศา ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.8 mm ระยะพิทช์ 10 mm อุณหภูมิทำงาน 90 °C และความยาวส่วนทำระเหย 850 mm และเมื่อมุมทำงานเพิ่มขึ้นจาก 0 ไปหา 90 องศา จะส่งผลให้สารทำงานภายในท่อ

ความร้อนไหลย้อนกลับจากส่วนควบแน่นมายังส่วนทำระเหยได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากน้ำหนักของสารทำงานที่เกิดจากการควบแน่นในส่วนควบแน่นเอาชนะความดันไอภายในส่วนทำระเหยและไหลย้อนกลับมายังส่วนทำระเหย และยังพบรูปแบบการท่วมและแถบการแห้งในส่วนทำระเหยที่มุมเอียง 30 และ 60 องศา ซึ่งแถบการแห้งจะลดลงเมื่อมุมเอียงมีค่าเพิ่มขึ้น โดยในมุม 0 องศา จะเกิดแถบการแห้งตลอดความยาวท่อในส่วนทำระเหยส่งผลให้ท่อความร้อนหยุดการทำงาน สำหรับแผนภูมิรูปแบบการไหลที่เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์พลิกซ์ของสถานะไอและโมเมนต์พลิกซ์ของสถานะของเหลว จะพบรูปแบบการไหล 5 แบบ ประกอบไปด้วยรูปแบบการไหลแบบฟอง/แบบแห้ง, แบบฟอง/แบบวงแหวน, แบบแห้ง/แบบวงแหวน, แบบแห้ง/แบบวงแหวน/แบบแยกชั้นผิวคลื่น และแบบวงแหวน/แบบแยกชั้นผิวคลื่น ซึ่งรูปแบบการไหลแบบวงแหวน/แบบแยกชั้นผิวคลื่น จะให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงที่สุด และรูปแบบการไหลแบบฟอง/แบบแห้ง จะให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำที่สุด แสดงดังรูปภาพ 37



รูปภาพ 37 แผนภูมิรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบชนิดเกลียววดเปรียบเทียบกับความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์พลิกซ์ของสถานะไอและโมเมนต์พลิกซ์ของสถานะของเหลว (ยูธนา ศรีอุดม, 2558)

ทั้งนี้สามารถสรุปการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้ดังตาราง 1

ตาราง 1 สรุปการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ที่	งานวิจัย	ขอบเขตการวิจัย	ผลการวิจัย	การเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้
1	ผู้วิจัย Sugimoto et al. (2009) งานวิจัย Flow visualization of refrigerant in a self-vibration heat pipe by neutron radiography	ขอบเขตการวิจัย 1) ท่อความร้อนแบบสันทำ จากแผ่นอลูมิเนียมขนาดสูง 200 mm กว้าง 50 มม หนา 2 mm 2) ท่อความร้อนแบบสันมี ขนาด 41 โค้งเหลี่ยม ร่องกว้าง และลึก 1 mm 3) ใช้สารทำงานบิวเทน (C ₄ H ₁₀) อัตราเติมสารทำงาน 20 25 40 50 และ 60% 4) ระบายความร้อนที่ส่วน ควบแน่นด้วยสารฟลูออโร คาร์บอน 5) ให้ความร้อนที่ส่วนทำ ระเหย 20 40 60 80 และ 100W 6) บันทึกภาพเคลื่อนไหวจาก รังสีนิวตรอนด้วยกล้อง วัดอุปสงค์ของการวิจัย ศึกษาพฤติกรรมของสาร ทำงานในท่อความร้อน	1) ความร้อนถูกส่งถ่าย โดยสารทำงานที่เคลื่อนที่ แบบสันจากส่วนทำระเหย ไปยังส่วนควบแน่น 2) การถ่ายภาพรังสี นิวตรอนสามารถอธิบาย การสันของสารทำงานได้ดี เมื่อทำเป็นภาพขาวดำ และจัดเรียงภาพตามเวลา 3) การไหลการ สันสะท้อนมีมากขึ้นใน ส่วนควบแน่น และทำนาย การสันของสารทำงานได้ ด้วยโมเดลมวล-สปริง 4) รูปแบบการไหลที่พบ คือแบบแท่ง (Slug flow)	สิ่งที่คล้ายคลึงกัน 1) ศึกษาพฤติกรรม ของสารทำงานในท่อ ความร้อนแบบสัน เหมือนกัน สิ่งที่แตกต่างกัน 1) ใช้สารทำงาน แตกต่างกัน 2) ท่อความร้อนไม่ได้ ติดตั้งวาล์วกันกลับ 3) มีรูปแบบการไหล ที่แตกต่างกัน 4) ใช้เทคนิคการ ถ่ายภาพแตกต่างกัน
2	ผู้วิจัย Thompson et al. (2011) งานวิจัย Investigation of a flat-plate oscillating heat pipe with	ขอบเขตของการวิจัย 1) ท่อความร้อนแบบสัน วงรอบทำจากแผ่นทองแดง กว้าง 136mm สูง 5.74mm ปริมาตร 75.2mm ³ 2) ท่อความร้อนมีขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง 5.1mm 3) ท่อความร้อนแบบสัน วงรอบมีจำนวน โค้งเหลี่ยม 6	1) ท่อความร้อนที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับแบบเทสล่า ทำให้สารทำงานไหลไปใน ทิศทางเดียวมากขึ้นเมื่อให้ ความร้อนแก่ส่วนทำ ระเหยมากขึ้น 2) ท่อความร้อนที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับแบบเทสล่ามี ค่าความต้านทานความ	สิ่งที่คล้ายคลึงกัน 1) ศึกษาพฤติกรรม ของสารทำงานในท่อ ความร้อนแบบสัน วงรอบที่ติดตั้งวาล์ว กันกลับเหมือนกัน 2) ศึกษาลักษณะการ ถ่ายเทความร้อนของ ท่อความร้อนแบบสัน

ที่	งานวิจัย	ขอบเขตการวิจัย	ผลการวิจัย	การเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้
	Tesla-type check valves	<p>โค้งเหลี่ยมรัศมีโค้ง 4 โดยที่มีโค้งเหลี่ยม 2 ใหญ่กว่าอีก</p> <p>4) ท่อความร้อนติดตั้งวาล์วกันกลับแบบเทสลาจำนวน วง 8</p> <p>5) ใช้สารทำงานน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง อัตราการเติม %70</p> <p>6) ให้สารทำงานมีทิศทางการไหลแบบทวนเข็มนาฬิกา</p> <p>7) เปรียบเทียบกับท่อความร้อนชนิดและขนาดเดียวกันแต่ไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับแบบเทสลา</p> <p>8) ให้ความร้อน 250 ถึง 0W ด้วยเครื่องทำความร้อนผ่านแผ่นอลูมิเนียม</p> <p>9) ระบายความร้อนที่ส่วนควบแน่นด้วยน้ำมวลหนัก (Heavy water, D₂O) อุณหภูมิคงที่ 55 และ 35°C</p> <p>10) วัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิด T จำนวน 11 จุด</p> <p>11) ถ่ายภาพด้วยกล้องนิวตรอน</p> <p>วัตถุประสงค์ของการวิจัย</p> <p>1) เปรียบเทียบพฤติกรรมการไหลของสารทำงานในท่อความร้อนที่ติดตั้งและไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับแบบเทสลา</p> <p>2) เปรียบเทียบประสิทธิภาพทางความร้อนของท่อความ</p>	<p>ร้อน (Thermal resistance) ที่ต่ำกว่าท่อความร้อนที่ไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับแบบเทสลา</p> <p>ตามการให้ความ %25-15 ร้อนแก่ส่วนทำระเหย</p> <p>3) รูปแบบการไหลที่พบคือแบบแท่ง (Slug flow)</p>	<p>วงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับเหมือนกัน</p> <p>3) ใช้สารทำงานน้ำเหมือนกัน</p> <p>4) ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกัน</p> <p>สิ่งที่แตกต่างกัน</p> <p>1) ใช้วาล์วกันกลับต่างชนิดกัน</p> <p>2) มีรูปแบบการไหลที่แตกต่างกัน</p> <p>3) ใช้เทคนิคการถ่ายภาพแตกต่างกัน</p>

ที่	งานวิจัย	ขอบเขตการวิจัย	ผลการวิจัย	การเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้
		ร้อนที่ติดตั้งและไม่ติดตั้งวาล์วกันกลับแบบทูล่า		
3	<p>ผู้วิจัย Yoon et al. (2012) งานวิจัย Neutron phase volumetry and temperature observations in an oscillating heat pipe</p>	<p>ขอบเขตของการวิจัย</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) ท่อความร้อนแบบสั้น วงรอบ 6 โค้งเล็ก 2) ท่อความร้อนทำจากท่อทองแดงเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 3.18 mm เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.65 mm 3) ท่อความร้อนมีขนาดโดยรวมสูง 196 mm รัศมีโค้งเล็ก 13 mm 4) ใช้สารทำงานน้ำ อัตราการเติม 51% 5) ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหยผ่านแผ่นทองแดงด้วยเครื่องทำความร้อนขนาด 500 W 6) ระบายความที่ส่วนควบแน่นผ่านแผ่นอลูมิเนียมด้วยน้ำมวลหนัก อุณหภูมิ 20 °C 7) วัดอุณหภูมิท่อความร้อนด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิด T จำนวน 24 จุด 8) ใช้กล้องนิวตรอนถ่ายภาพวัตถุประสงค์ของการวิจัย <ol style="list-style-type: none"> 1) ศึกษาพฤติกรรมการไหลของสารทำงานในท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ 2) ศึกษาประสิทธิภาพทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ 	<ol style="list-style-type: none"> 1) เมื่อไม่ให้ความร้อน สารทำงานส่วนที่เป็นของเหลวจะกระจายอยู่ในส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่นเท่า ๆ กัน 2) เมื่อเริ่มให้ความร้อน สัดส่วนจะเริ่มไม่คงที่ โดยสัดส่วนของของเหลวในส่วนทำระเหยจะมีน้อยกว่า 2.5% แต่ในส่วนควบแน่นของเหลวจะมีสัดส่วนมากถึง 80% 3) เมื่อให้ความร้อนสูงขึ้น จะส่งผลให้ส่วนของเหลวเคลื่อนที่จากส่วนทำระเหยขึ้นไปยังส่วนกันความร้อนและส่วนควบแน่น 4) เมื่อให้ความร้อนต่ำ (50 W) ส่วนของของเหลวจะเคลื่อนที่สลับกับหยุดระหว่างการเคลื่อนเข้าออกส่วนทำระเหย และพบการหยุดเคลื่อนที่เล็กน้อย ซึ่งเกิดจากก้อนไอของสารทำงานเคลื่อนที่เข้าและไหลกลับในทิศทางตรงกันข้ามอย่างรวดเร็ว 5) ส่วนตรงโค้งเล็กจะมีส่วนของของเหลวไหลวน 	<p>สิ่งที่คล้ายคลึงกัน</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) ศึกษาพฤติกรรม (1) ของสารทำงานในท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบเหมือนกัน 2) ศึกษาลักษณะการ (2) ถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบเหมือนกัน 3) ใช้สารทำงานน้ำเหมือนกัน 4) ประสิทธิภาพใน (4) การถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกัน <p>สิ่งที่แตกต่างกัน</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) ท่อความร้อนไม่ได้ติดตั้งวาล์วกันกลับ 2) รูปแบบการไหลแตกต่างกัน 3) ใช้เทคนิคการถ่ายภาพแตกต่างกัน

ที่	งานวิจัย	ขอบเขตการวิจัย	ผลการวิจัย	การเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้
			<p>อยู่เล็กน้อยเมื่อให้ความร้อนต่ำ</p> <p>6) เมื่อให้ความร้อนสูงขึ้น การเคลื่อนที่ และการไหลวนก็จะเพิ่มมากขึ้น โดยวัดจากการหยุดของการไหลซึ่งลดลง และวัดจากก้อนไอของสารทำงานที่เข้าสู่ส่วนโค้งในส่วนทำระเหย</p> <p>7) ค่าความต้านทานความร้อน (Thermal resistance) ของท่อความร้อนมีแนวโน้มลดลง เมื่อให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยของท่อความร้อนมากขึ้น</p> <p>8) รูปแบบการไหลที่พบคือแบบแท่ง (Slug flow)</p>	
4	<p>ผู้วิจัย Karthikeyan et al. (2014) งานวิจัย Infrared thermography of a pulsating heat pipe: Flow regimes and multiple steady states</p>	<p>ขอบเขตของการวิจัย</p> <p>1) ท่อความร้อนแบบเส้นวงรอบทำจากทองแดงเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2mm เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 3 mm 2) ท่อความร้อนมีจำนวนโค้งเลี้ยว รัศมีโค้งเลี้ยว 8 6 ภายในmm</p> <p>3) ท่อความร้อนมีความยาวก่อนขดทั้งสิ้น 3, 942mm ปริมาตรทั้งหมด 5.12ml</p> <p>4) ใช้สารทำงานน้ำปราศจากไอออน (DI water) อัตราการเติมสารทำงาน %605) ท่อ</p>	<p>1) ริงส์อินฟราเรดช่วยให้เห็นอุณหภูมิและพฤติกรรมการไหลของสารทำงานที่แตกต่างกัน เช่น ไม่มีการไหล (No-flow) ไหลแบบสั่นไม่สม่ำเสมอ (Intermittent oscillatory flow) ไหลแบบสั่นเป็นวงรอบ (Oscillatory flow with bulk circulation) โดยที่แต่ละรูปแบบมีประสิทธิภาพทางความร้อนที่แตกต่างกัน</p>	<p>สิ่งที่คล้ายคลึงกัน</p> <p>1) ศึกษาพฤติกรรมของสารทำงานในท่อความร้อนแบบเส้นวงรอบเหมือนกัน</p> <p>2) ศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบเส้นวงรอบเหมือนกัน</p> <p>3) ใช้สารทำงานน้ำเหมือนกัน</p> <p>4) ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน</p>

ที่	งานวิจัย	ขอบเขตการวิจัย	ผลการวิจัย	การเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้
		<p>ความร้อนแบบสั่นวงรอบมีขนาดโดยรวมสูง 245mm ยาว 185mm</p> <p>6) ให้ความร้อนส่วนทำระเหยผ่านแผ่นอลูมิเนียมขนาดกว้าง 220mm สูง 60mm หนา 4mm โดยติดตั้งเครื่องทำความร้อนให้ความร้อน 20 500 ถึงW ที่ด้านหลัง</p> <p>7) ระบายความร้อนส่วนควบแน่นผ่านแผ่นอลูมิเนียมขนาดเท่ากันโดยมีชุดน้ำระบายความร้อนที่ด้านหลัง</p> <p>8) ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลชนิด K จำนวน จุดบนส่วนทำ 4 จุด กลาง 1 ระเหย และอีกส่วนโค้งของส่วนทำระเหย</p> <p>9) ใช้กล้องอินฟราเรดในการถ่ายภาพเคลื่อนไหว</p> <p>วัตถุประสงค์ของการวิจัย (1ศึกษาพฤติกรรมการไหลของสารทำงานในท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ</p> <p>ศึกษาอุณหภูมิของสาร (2ทำงานภายในและการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบขณะทำงาน</p>	<p>2) พบว่าท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบมีค่าความต้านทานความร้อนลดลงจาก 1.90 เป็น 0.24 K/W เมื่อเพิ่มความร้อนให้กับส่วนทำระเหยจาก 30 ถึง 500 W</p>	<p>มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกัน</p> <p>สิ่งที่แตกต่างกัน</p> <p>1) ท่อความร้อนไม่ได้ติดตั้งวาล์วกันกลับ</p> <p>2) รูปแบบการไหลแตกต่างกัน</p> <p>3) ใช้เทคนิคการถ่ายภาพแตกต่างกัน</p>
5	<p>ผู้วิจัย Kuang et al. (2015) งานวิจัย Simulation of boiling flow in</p>	<p>ขอบเขตของการวิจัย</p> <p>1) ใช้เทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational fluid dynamics, CFD) ในการจำลอง (Simulation) รูปแบบ</p>	<p>1) พบรูปแบบการไหลแบบฟอง แบบแท่ง และแบบโพรง</p> <p>2) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสองสถานะเพิ่มขึ้นตามความยาวท่อที่</p>	<p>สิ่งที่คล้ายคลึงกัน</p> <p>ศึกษาพฤติกรรม (1ของสารทำงานในท่อความร้อนเหมือนกัน</p>

ที่	งานวิจัย	ขอบเขตการวิจัย	ผลการวิจัย	การเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้
	evaporator of separate type heat pipe with low heat flux	<p>การไหลสองสถานะของส่วนทำระเหยของท่อความร้อนที่มีฟลักซ์ความร้อนหรือการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำ (Low heat flux)</p> <p>2) จำลองท่อความร้อนความยาวท่อ 6.7m ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 65mm และ 32 mm</p> <p>3) ใช้สารทำงานแอมโมเนีย</p> <p>4) ใช้การวิเคราะห์ของไหลแบบปริมาตร (Volume of fluid method, VOF) เทียบกับผลการทดลองจริงของ Gungor & Winterton (1986)</p> <p>5) ใช้กริดจำนวน 315,000 mesh</p> <p>วัตถุประสงค์ของการวิจัย</p> <p>1) ศึกษาพฤติกรรมการไหลของสารทำงานในท่อความร้อน</p> <p>2) ศึกษาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน</p>	<p>บริเวณส่วนทำระเหย จากนั้นจะค่าเกือบจะคงที่</p> <p>3) ท่อความร้อนที่มีสภาวะมวลต่ำและมีฟลักซ์ความร้อน การเดือดแบบนิวเคลียสเป็นกลไกที่สำคัญ โดยค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนส่งผลต่อค่าฟลักซ์มวลน้อย</p>	<p>2) ศึกษาการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนเหมือนกัน สิ่งที่แตกต่างกัน</p> <p>1) ไม่ใช่ท่อความร้อนแบบสัน</p> <p>2) รูปแบบการไหลแตกต่างกัน</p> <p>3) เป็นการจำลอง (Simulation) ไม่ใช่ภาพถ่ายจริง</p>
6	ผู้วิจัย Bhuwaketkumj ohn & Rittidech ((2010 งานวิจัย Internal flow patterns on heat transfer	<p>ขอบเขตของการวิจัย</p> <p>1) ท่อความร้อนแบบสันวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับจำนวน 10 โค้งเหลี่ยม</p> <p>2) ท่อความร้อนมีส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่นเท่ากันที่ 50 และ 100 mm</p>	<p>1) เมื่อใช้สารทำงานเอทานอลผสมผงเงินนาโน ท่อความร้อนจะมีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าสารทำงานเอทานอลเพียงอย่างเดียว</p> <p>2) เมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นค่าอัตราการ</p>	<p>สิ่งที่คล้ายคลึงกัน</p> <p>1) ศึกษารูปแบบการไหลท่อความร้อนแบบสันวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับเหมือนกัน</p>

ที่	งานวิจัย	ขอบเขตการวิจัย	ผลการวิจัย	การเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้
	characteristics of a closed-loop oscillating heat-pipe with check valves using ethanol and a silver nano-ethanol mixture	<p>3) ท่อความร้อนทำจากท่อแก้วทนความร้อน (Pyrex glass tube) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.4 mm</p> <p>3) ติดตั้งวาล์วกันกลับจำนวน 2 วาล์ว</p> <p>4) ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหยผ่านแผ่นอลูมิเนียมด้วยเครื่องทำความร้อนที่ 85 105 และ 125 °C</p> <p>5) ระบายความร้อนที่ส่วนควบแน่นด้วยน้ำเย็นจากเครื่องทำน้ำเย็น</p> <p>6) ท่อความร้อนทำมุมเอียง 90 องศา</p> <p>7) ใช้สารทำงานเอทานอลและเอทานอลผสมผงเงินนาโน (Silver-nano fluid)</p> <p>8) บันทึกภาพและภาพเคลื่อนไหวด้วยกล้องวิดีโอประสงค์ของการวิจัย</p> <p>1) ศึกษาการไหลของท่อความร้อนแบบเส้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ</p>	<p>ถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้น</p> <p>3) อุณหภูมิส่วนทำระเหยยังมีผลต่อรูปแบบการไหลคือเมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นจาก 85 125 และ 105 เป็น°C จะพบรูปแบบการไหลเป็นแบบวงแหวนกับแบบแท่งแบบแท่งกับแบบฟองและแบบกลุ่มฟองกับแบบฟองตามลำดับ</p>	<p>3) ใช้สารทำงานเหมือนกันคือเอทานอล</p> <p>4) ใช้ท่อแก้วทนความร้อนมาทำท่อความร้อนเหมือนกัน</p> <p>5) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเหมือนกันคือ 2.4 mm</p> <p>6) ท่อความร้อนติดตั้งวาล์วกันกลับเหมือนกัน</p> <p>7) ใช้กล้องบันทึกภาพจริงเหมือนกัน</p> <p>สิ่งที่แตกต่างกัน</p> <p>1) ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหยที่อุณหภูมิต่างกัน</p> <p>2) ใช้สารทำงานที่ผสมผงเงินนาโน</p> <p>3) มีรูปแบบการไหลและแผนภูมิรูปแบบการไหลต่างกัน</p>
7	ผู้วิจัย สัณห์รัตน์ ทองแดง ((2555 งานวิจัย ปัจจัยที่มีผลต่อ รูปแบบการไหล ภายในและ	<p>ขอบเขตของการวิจัย</p> <p>1) ท่อความร้อนแบบเส้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับทำจากท่อแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4.2 8.1 4.3 และ mm จำนวน โค้ง 10 เลี้ยว</p>	<p>1) กลไกการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนของท่อความร้อนแบบเส้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ไหลความร้อนอยู่ตำแหน่งด้านบนประกอบด้วย</p>	<p>สิ่งที่คล้ายคลึงกัน</p> <p>ศึกษาพฤติกรรม (1) ของสารทำงานในท่อความร้อนเหมือนกัน</p>

ที่	งานวิจัย	ขอบเขตการวิจัย	ผลการวิจัย	การเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้
	<p>คุณลักษณะการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่โหนดความร้อนอยู่ตำแหน่งด้านบน</p>	<p>2) ติดตั้งวาล์วกันกลับ วาล์ว 2 3) ความยาวส่วนทำระเหย 150 และ 100 50mm 4) ใช้สารทำงานเอทานอล R-141b และ R-ที่อัตราการ 11 % 50 เติมสารทำงาน 5) ให้อุณหภูมิส่วนทำระเหย 125 และ 105 85°C 6) ท่อความร้อนทำมุมเอียง - 20- และ 40- 60- 80- 90 องศา 7) ถ่ายภาพและภาพเคลื่อนไหวรูปแบบการไหลของท่อความร้อนด้วยกล้อง 8) วัดอุณหภูมิขาเข้าและขาออกส่วนควบแน่น และอุณหภูมิสารทำงานภายในท่อด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิด K วัตถุประสงค์ของการวิจัย 1) ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อรูปแบบการไหลภายในของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่โหนดความร้อนอยู่ตำแหน่งด้านบน 2) ศึกษาคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่โหนดความร้อนอยู่ตำแหน่งด้านบน</p>	<p>ของพลังงานจากการเดือดและการขยายตัวของฟองไอ การไหลเวียนของสารทำงานด้วยแรงขับ (Driving force) 2) สำหรับถ่ายเทความร้อนจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่นและการไหลย้อนกลับของสารทำงานจากแรงย้อนกลับ (Restoring force) ซึ่งกลไกดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นวัฏจักร 3) สำหรับค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเกิดที่มุมเอียง - องศา 90 องศา อุณหภูมิส่วนทำระเหย 125°C สารทำงาน R- 11 ความยาวส่วนทำระเหย 50mm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8.1 mm ซึ่งมีรูปแบบการไหลแบบแท่ง/แบบฟองฟุ้ง/แบบวงแหวน 4) สำหรับแผนภูมิรูปแบบการไหล ที่เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์พลิกซ์และความเร็วที่ผิวหน้าในสถานะไอและของเหลว มีรูปแบบการไหลคือ แบบแท่ง/แบบฟองฟุ้ง/แบบวงแหวน, แบบแท่ง/แบบ</p>	<p>ศึกษาการถ่ายเท (2 ความร้อนของท่อความร้อนเหมือนกัน 3) ใช้ท่อแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.8 2.4 และ 3.4 mm เหมือนกัน 4) ใช้สารทำงานเหมือนกันคือ เอทานอล และ R-11 5) ใช้กล้องบันทึกภาพจริงเหมือนกัน สิ่งที่แตกต่างกัน 1) วางท่อให้ส่วนทำระเหยอยู่ด้านบนต่างกัน 2) วางท่อทำมุมเอียงต่างกัน 3) ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหยที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 4) มีรูปแบบการไหลและแผนภูมิรูปแบบการไหลต่างกัน</p>

ที่	งานวิจัย	ขอบเขตการวิจัย	ผลการวิจัย	การเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้
			<p>ฟองฟุ้ง/แบบโพรง, แบบแท่ง/แบบฟอง/แบบวงแหวน, แบบแท่ง/แบบฟองฟุ้ง, แบบฟอง/แบบวงแหวน และ แบบแท่ง/แบบวงแหวน</p> <p>5) โมเมนต์พลิกซีในสถานะไอจะเป็นตัวกำหนดถึงความสามารถในการถ่ายเทความร้อนโดยตรงเมื่อโมเมนต์พลิกซีในสถานะไอมีความเร็วที่สูงขึ้นจะส่งผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูงขึ้นตามไปด้วย</p> <p>6) ค่าโมเมนต์พลิกซีและความเร็วที่ผิวหน้าในสถานะไอสูงสุดเกิดรูปแบบการไหลภายในแบบ แบบแท่ง/แบบฟองฟุ้ง/แบบวงแหวน</p>	
8	<p>ผู้วิจัย</p> <p>Qu et al. ((2012) งานวิจัย Start-up, heat transfer and flow characteristics of silicon-based micro pulsating heat pipes</p>	<p>ขอบเขตของการวิจัย</p> <p>1) ท่อความร้อนแบบเส้นวงรอบขนาดไมโครทำจากซิลิกอนหนา 5.0mm เซาะเป็นร่องจำนวน โค้งเลี้ยว 5 และใช้แก้วทนความร้อนหนา 525.0mm ประกบปิด</p> <p>2) ท่อความร้อนมี ขนาด 3 394 และ 352 251 คือ μm</p>	<p>1) สารทำงานที่มีอัตราส่วนความดันต่ออุณหภูมิสูง ความหนืดพลวัตต่ำ แรงตึงผิวต่ำ และความร้อนแฝงต่ำ (สารทำงาน FC- และ 72R- จะทำให้ท่อความร้อนมีสภาวะเริ่มต้น หรือทำงานได้ แต่หากสารทำงานที่มีอัตราส่วนความดันต่ออุณหภูมิต่ำ ความ</p>	<p>สิ่งที่คล้ายคลึงกัน</p> <p>1) ศึกษาพฤติกรรมของสารทำงานในท่อความร้อนแบบเส้นวงรอบเหมือนกัน</p> <p>2) ศึกษาการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบเส้นวงรอบเหมือนกัน</p>

ที่	งานวิจัย	ขอบเขตการวิจัย	ผลการวิจัย	การเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้
		<p>3) ใช้สารทำงานคือ น้ำ เอทานอล FC- และ 72R- 113 %73 ถึง 0 อัตราการเติม</p> <p>4) ท่อความร้อนทำมุมเอียง 0 10 20 30 45 70 และ 90 องศา</p> <p>5) ให้ความร้อนกับส่วนทำระเหยด้วยเครื่องทำความร้อนแบบแผ่นฟิล์ม 5.10 ถึง 4.2 W</p> <p>6) ระบายความร้อนที่ส่วนควบแน่นด้วยน้ำเย็น วัดอุณหภูมิที่ผ่านเข้าออกด้วยเทอร์คัปเปิลชนิด T</p> <p>7) ใช้กล้องบันทึกถ่ายภาพวัดอุณหภูมิจากการวิจัยศึกษาพฤติกรรมการไหล (1) ของสารทำงานในท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบขนาดไมโครที่ทำด้วยซิลิกอน</p> <p>ศึกษาความต้านทานความ (2) ร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบขนาดไมโครที่ทำด้วยซิลิกอน</p>	<p>หนึ่งดพลวัตสูง แรงตึงผิวสูง และความร้อนแฝงสูง</p> <p>2) ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบขนาดไมโครที่ทำด้วยซิลิกอนนี้จะมีห้วงเวลาของสภาวะเริ่มต้นวินาที 200</p> <p>3) สารทำงาน อัตราการเติมสารทำงาน และมุมเอียงของท่อความร้อนต่างก็ส่งผลต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อน โดยเมื่อให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหยไม่มากท่อความร้อนที่เติมสารทำงาน R- 113 จะมีค่าความต้านทานความร้อนต่ำกว่าท่อความร้อนที่เติมสารทำงานFC- แต่เมื่อให้ความร้อนแก่ 72 ส่วนทำระเหยสูง ท่อความร้อนจะเกิดภาวะแห้ง () เดือดDry-out) โดยอัตราส่วนการเติมสารทำงานที่ให้ประสิทธิภาพทางความร้อนที่ดีที่สุดคือ %47 และ 55 52</p> <p>ตามลำดับ ของท่อความร้อนขนาดμm สารทำงาน R-ท่อความร้อน 113 352 ร้อนขนาดμm สารทำงาน FC-และท่อ 72 394 ความร้อนขนาดμm</p>	<p>3) ใช้สารทำงานเหมือนกันคือน้ำ และเอทานอล</p> <p>4) ท่อความร้อนทำมุมเอียงเหมือนกันคือ 30 และ 90 องศา</p> <p>5) ใช้กล้องบันทึกภาพเหมือนกัน</p> <p>6) การถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน</p> <p>สิ่งที่แตกต่างกัน</p> <p>1) ไม่ได้ติดตั้งวาล์วกันกลับ</p> <p>2) มีรูปแบบการไหลที่แตกต่างกัน</p>

ที่	งานวิจัย	ขอบเขตการวิจัย	ผลการวิจัย	การเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้
			<p>สารทำงาน FC- 72 ตามลำดับ4)</p> <p>ประสิทธิภาพทางความร้อนของท่อความร้อนที่ตั้งในแนวดิ่งจะสูงกว่าท่อความร้อนที่ตั้งแนวนอน เพราะท่อความร้อนในแนวนอนค่าต้านทานความร้อนจะมีแนวโน้มสูงขึ้น</p> <p>5) พบรูปแบบการไหลที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะในท่อความร้อนขนาด 394 μm พบรูปแบบการไหลแบบฟอง และการไหลวน แต่กลับไม่พบรูปแบบการไหลดังกล่าวในท่อความร้อนขนาด 251μm และ 352μm นอกจากนี้ยังพบการไหลแบบฉีด (Injection flow) ซึ่งไม่เคยพบบนท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบมาก่อน</p>	
9	<p>ผู้วิจัย Senjaya & Inoue (2013) งานวิจัย Bubble generation in oscillating heat pipe</p>	<p>ขอบเขตของการวิจัย</p> <p>1) ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ทำจากท่อแก้วทนความร้อน</p> <p>2) ท่อความร้อนมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.4 mm เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 4 mm ปริมาตรทั้งหมด 15.8 ml</p> <p>3) ระบายความร้อนที่ส่วนควบแน่นด้วยน้ำเย็น 10 °C</p>	<p>1) พบรูปแบบการเกิดและการขยายของฟอง 3 รูปแบบ คือ แบบฟองที่มีขนาดใหญ่เท่ากับท่อ (Tube size bubble) แบบก้อนไอ (Vapor plug) และแบบฟองขนาดเล็ก (Small bubble) ทั้งนี้แบบฟองที่มีขนาดใหญ่เท่ากับท่อจะเกิดขึ้นเมื่อแท่งของเหลวภายใน</p>	<p>สิ่งที่คล้ายคลึงกัน</p> <p>ศึกษาพฤติกรรม (1) ของสารทำงานในท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบเหมือนกัน</p> <p>2) ใช้สารทำงานเหมือนกันคือ เอทานอล</p> <p>3) ใช้กล้องบันทึกภาพรูปแบบการไหลเหมือนกัน</p>

ที่	งานวิจัย	ขอบเขตการวิจัย	ผลการวิจัย	การเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้
		<p>4) ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหยผ่านแผ่นทองแดงด้วยเครื่องทำความร้อนที่ 60 และ 80 W</p> <p>5) ใช้เอทานอลเป็นสารทำงานที่อัตราการเติม 60% ของปริมาตรทั้งหมด</p> <p>6) ถ่ายภาพรูปแบบการไหลด้วยกล้องวิดีโอประสงค์ของการวิจัย</p> <p>1) ศึกษากระบวนการเกิดฟองของสารทำงานในท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ</p> <p>2) สร้างโมเดลทำนายการเกิดฟองของสารทำงานในท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ</p>	<p>ท่อมีความเร็วต่ำกว่า 2.0 m/s และแบบฟองขนาดเล็กมีแรงขับต่ำ</p> <p>2) ได้สร้างแผนภูมิตำแหน่งและเวลาของการขยายตัวของรูปแบบฟองแต่ละแบบ และแบบจำลองสำหรับทำนายการเกิดฟอง โดยตัดรูปแบบฟองขนาดเล็กออกไป</p>	<p>สิ่งที่แตกต่างกัน</p> <p>ไม่ได้ติดตั้งวาล์ว (1) กันกลับ</p> <p>มีรูปแบบการไหล (2) ที่แตกต่างกัน</p>
10	<p>ผู้วิจัย</p> <p>Xue et al. (2013)</p> <p>งานวิจัย</p> <p>Full visualization and startup performance of an ammonia pulsating heat pipe</p>	<p>ขอบเขตของการวิจัย</p> <p>1) ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ใช้แอมโมเนียเป็นสารทำงาน อัตราการเติมสาร 70%</p> <p>2) ท่อความร้อนมีโค้งเดี่ยว 6 โค้งเดี่ยว ใช้ท่อแก้วควอร์ทซเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอก 2 และ 6 mm ตามลำดับ</p> <p>3) ให้ความร้อนด้วยลวดความร้อนขนาดความต้านทาน 4.86 Ω/m</p> <p>4) ส่วนทำระเหย 100 mm ความสูงทั้งหมดของท่อความร้อน 320 mm ส่วนควมแน่น 120 mm</p>	<p>1) เมื่อให้ความร้อนแก่ท่อความร้อนที่ทำมุมเอียง 60 องศา ท่อความร้อนจะเริ่มมีสถานะเริ่มต้นได้ตั้งแต่อุณหภูมิส่วนทำระเหยและส่วนควมแน่นต่างกันเพียง 4 $^{\circ}C$ ในขณะที่มุม 0 องศาจะต้องมีอุณหภูมิที่ต่างกันมากกว่า และมุม -30 องศา ท่อความร้อนจะไม่ทำงาน</p> <p>2) ท่อที่ทำมุมเอียง 60 องศาประกอบไปด้วยรูปแบบการไหลแบบฟองขนาดเล็ก และแบบแท่ง ส่วนที่มุม 0 องศา พบรูปแบบการไหลแบบแท่ง</p>	<p>สิ่งที่คล้ายคลึงกัน</p> <p>ศึกษาพฤติกรรม (1) ของสารทำงานในท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบเหมือนกัน</p> <p>2) ท่อความร้อนทำมุมเอียงเหมือนกันคือ 30 และ 60 องศา</p> <p>3) ใช้กล้องบันทึกภาพรูปแบบการไหลเหมือนกัน</p> <p>สิ่งที่แตกต่างกัน (1) ไม่ได้ติดตั้งวาล์วกันกลับ</p> <p>มีรูปแบบการไหล (2) ที่แตกต่างกัน</p>

ที่	งานวิจัย	ขอบเขตการวิจัย	ผลการวิจัย	การเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้
		5) ระบายความร้อนด้วยน้ำ 6) ถ่ายภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหวด้วยกล้อง 7) ท่อความร้อนทำมุมเอียง 60 0 และ -30 องศา 8) ให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าแก่เส้นลวดความร้อน 5 10 20 30 และ 40V วัตถุประสงค์ของการวิจัย 1) ศึกษาพฤติกรรมการไหลของสารทำงานในท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ	ยาว และเมื่อเคลื่อนที่ผ่านส่วนโค้งจะกระจายออกเป็นแบบแท่งที่มีขนาดสั้นลง	
11	ผู้วิจัย Xian et al. ((2014 งานวิจัย Thermal characteristics and flow patterns of oscillating heat pipe with pulse heating	ขอบเขตของการวิจัย 1) ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ให้ความร้อนแบบพัลส์ (Pulse heating) หรือเป็นจังหวะทำจากท่อแก้วทึบความร้อนเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอก และ 2 6mm ตามลำดับ 2) ท่อความร้อนมีขนาดโดยรวมสูง 194mm ขนาดส่วนทำระเหย 60mm ขนาดส่วนควบแน่น 134mm มี 5 โค้งเลี้ยว รัศมีภายในและ 13 และ 7 ภายนอกโค้งเลี้ยว mm ตามลำดับ 3) ใช้ค่าความบริสุทธิ์สูงเป็นสารทำงาน ที่อัตราการเติมสาร %49 4) ใช้เครื่องทำความร้อนแบบแผ่นฟิล์มความต้านทานไฟฟ้า ในการให้ความร้อน 1.141	1) เมื่อให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยต่ำ (40 50 หรือW) ความร้อนแบบพัลส์เล็กๆจะทำให้เกิดการสั่นภายในท่อ ความร้อนโดยที่อุณหภูมิที่แตกต่างกันของส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น ไม่มาก 2) เมื่อให้ความร้อนสูงขึ้น (80 หรือ 70 60W) การให้ความร้อนแบบพัลส์โดยระยะเวลาของพัลส์สั้นๆ จะไปทำให้อุณหภูมิผันผวนมากขึ้น และส่งผลให้อุณหภูมิที่แตกต่างกันของส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นโดยรวมมีค่าต่ำกว่ากรณีที่ให้ความร้อนแบบต่อเนื่องแก่ท่อความร้อน	สิ่งที่คล้ายคลึงกัน ศึกษาพฤติกรรมการไหลของสารทำงานในท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ เหมือนกัน ใช้สารทำงาน (2 เหมือนกันคือ น้ำใช้กล้อง (3 บันทึกภาพรูปแบบการไหลเหมือนกัน สิ่งที่แตกต่างกัน ไม่ได้ติดตั้งวาล์ว (1 กันกลับ 2) ไม่ได้ให้ความร้อนแบบพัลส์ 3) มีรูปแบบการไหลที่แตกต่างกัน

ที่	งานวิจัย	ขอบเขตการวิจัย	ผลการวิจัย	การเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้
		<p>0 โดยให้แรงดันไฟฟ้าตั้งแต่V ถึง 220V</p> <p>5) ส่วนควบแน่นระบายความร้อนด้วยอากาศโดยใช้พัดลมขนาดเล็กคงอุณหภูมิที่ 27°C</p> <p>6) ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลชนิด T ทั้งที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น</p> <p>7) ถ่ายภาพรูปแบบการไหลด้วยกล้อง</p> <p>วัตถุประสงค์ของการวิจัย</p> <p>1) ศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณฐานรูปที่ให้ความร้อนแบบพัลส์</p> <p>2) ศึกษารูปแบบการไหลของสารทำงานในท่อความร้อนแบบสัณฐานรูปที่ให้ความร้อนแบบพัลส์</p>	<p>3) เมื่อให้ความร้อนแบบพัลส์ที่เท่ากับหรือมากกว่า 90W นอกจากจะไม่ทำให้อุณหภูมิของเหลวมีภาวะย้อนกลับ (Reflux liquid) ดังนั้นในกรณีนี้อุณหภูมิที่แตกต่างกันของส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นโดยรวมก็ยังมีค่าต่ำกว่ากรณีที่ให้ความร้อนแบบต่อเนื่องแก่ท่อความร้อนเช่นกัน</p> <p>4) เมื่อให้ความร้อนแบบพัลส์ ระยะเวลาของพัลส์และช่วงเวลาของพัลส์จะส่งผลอย่างมากต่ออุณหภูมิที่ขึ้นลงในส่วนทำระเหย แสดงให้เห็นว่าการให้ความร้อนแบบพัลส์จะส่งผลต่ออุณหภูมิของท่อความร้อนอย่างรวดเร็วมากกว่าการให้ความร้อนแบบต่อเนื่อง</p> <p>5) กรณีที่ให้ความร้อนแบบพัลส์ 90W ระยะเวลาของพัลส์จะเป็น 900ms จะไปทำให้อุณหภูมิของส่วนทำระเหยต่ำกว่าอุณหภูมิของส่วนควบแน่น และยังพบว่า การให้ความร้อนแบบพัลส์</p>	

ที่	งานวิจัย	ขอบเขตการวิจัย	ผลการวิจัย	การเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้
			<p>ส่งผลต่ออุณหภูมิของส่วนควบแน่นด้วย</p> <p>6) การให้ความร้อนแบบพัลส์กับท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบจะพบรูปแบบการไหลหลักๆคือ แบบฟอง แบบก้อนไอ แบบกิ่งวงแหวน และแบบวงแหวน เมื่อให้ความร้อนแบบพัลส์ 40W ระยะเวลาของพัลส์มากๆ จะไปทำให้การสั้นไม่มากพอนำไปสู่การถ่ายเทความร้อนลดลง แต่ถ้าให้ความร้อนแบบพัลส์ หรือ 40-50W ที่มีระยะเวลาของพัลส์สั้นๆจะเกิดสภาวะฉีด-หดตัว (Injection-contraction) เกิดขึ้น จะส่งผลให้ท่อความร้อนมีความดันแตกต่างกันมาก ทำให้เกิดการไหลแบบก้อนไอ หรือแบบฟองบนส่วนโค้ง</p> <p>7) การให้ความร้อนแบบพัลส์จะช่วยลดการเกิดภาวะแห้งเหือด (Dry-out) ได้อีกด้วย</p>	
12	<p>ผู้วิจัย Ebrahimi et al. (2015) งานวิจัย</p>	<p>ขอบเขตของการวิจัย</p> <p>1) ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบชนิดแผ่นเรียบที่มีช่องทางเชื่อมถึงกัน เพื่อบังคับให้สารทำงานไหลทิศทางเดียว</p>	<p>1) ช่องทางเชื่อมถึงกันมีแนวโน้มทำให้การไหลของสารทำงานเป็นไปในทิศทางเดียวเนื่องจากช่องทางเชื่อมถึงกันทำให้</p>	<p>สิ่งที่คล้ายคลึงกัน</p> <p>สิ่งที่คล้ายคลึงกัน</p> <p>ศึกษาพฤติกรรม (1) ของสารทำงานในท่อ</p>

ที่	งานวิจัย	ขอบเขตการวิจัย	ผลการวิจัย	การเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้
	Experimental investigation of the thermal management of flat-plate closed-loop pulsating heat pipes with interconnecting channels	<p>โดยเป็นทำจากแผ่นอลูมิเนียมขนาดโดยรวมสูง 320 mm กว้าง 220 mmหนา 5 mm มากัดเป็นร่องกว้าง 2.8 mm ลึก 2 mm ให้มีจำนวน 5 โค้ง เลี้ยว</p> <p>2) ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นขนาดเท่ากันที่ 107 mm ส่วนกันความร้อนขนาด 106 mm โดยทำให้มีช่องทางเชื่อมถึงกัน 12 ช่องที่ส่วนทำระเหย และอีก 12 ช่องที่ส่วนควบแน่น โดยทำมุม 37 องศา กับท่อความร้อน ช่วยบังคับทิศทางการไหลให้ไปตามเข็มนาฬิกา</p> <p>3) ท่อความร้อนถูกปิดด้านบนด้วยแผ่นแก้ว</p> <p>4) ให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยด้วยเครื่องทำความร้อนแบบแผ่นที่ 40 ถึง 180 W โดยเพิ่มทีละ 20 W</p> <p>5) ระบายความร้อนด้วยน้ำเย็นอุณหภูมิคงที่ 22 °C ที่ส่วนควบแน่น</p> <p>6) ใช้สารทำงานเอทานอลที่อัตราการเติมสาร 35 50 65 และ 80%</p> <p>7) วัดอุณหภูมิตลอดท่อความร้อนด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิด K</p> <p>8) บันทึกภาพถ่ายรูปแบบการไหลด้วยกล้อง</p> <p>วัตถุประสงค์ของการวิจัย</p>	<p>เกิดความดันที่ต่างกันระหว่างการไหลตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา</p> <p>นอกจากนี้สารทำงานจากช่องการไหลหลักและช่องทางเชื่อมจะเข้ารวมกันทำให้ชั้นของเหลวตลอดช่องทางหลักบางลงส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนดีขึ้น และช่องทางเชื่อมยังคงกลายเป็นทางลัดของการไหลให้สารทำงานส่งผลให้การสูญเสียความดันลดลง การถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น</p> <p>2) ผลของการให้ความร้อนและอัตราการเติมสารทำงาน พบว่าท่อความร้อนที่ติดตั้งช่องทางเชื่อมจะมีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนดีกว่าท่อความร้อนที่ไม่ติดตั้งประมาณ ยกเว้นเมื่อ %24 ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหยสูงๆเนื่องจากในช่องทางเชื่อมจะเต็มไปด้วยไอร้อน ทำให้ช่องหลักมีอุณหภูมิสูงขึ้นและทำให้การการพาความร้อนของท่อความร้อนลดลง</p> <p>3) ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดของท่อความร้อนที่ติดตั้งช่องทางเชื่อมจะเกิดขึ้น</p>	<p>ความร้อนแบบสั้นวงรอบเหมือนกัน</p> <p>ใช้สารทำงาน (2 เหมือนกันคือ เอทานอล</p> <p>3) ไม่ได้ติดตั้งวาล์วกันกลับแต่เป็นช่องทางเชื่อมถึงกันแต่จุดประสงค์เป็นการบังคับให้สารทำงานไหลไปทิศทางเดียวเหมือนกัน</p> <p>4) การถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน</p> <p>4) ใช้กล้องบันทึกภาพรูปแบบการไหลเหมือนกันสิ่งที่แตกต่างกัน</p> <p>1) มีรูปแบบการไหลที่แตกต่างกัน</p>

ที่	งานวิจัย	ขอบเขตการวิจัย	ผลการวิจัย	การเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้
		1) ศึกษาพฤติกรรมการไหลของสารทำงานในท่อความร้อนแบบสัณฐานวงรอบชนิดแผ่นเรียบที่มีช่องทางเชื่อมถึงกัน 2)) ศึกษาความต้านทานความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณฐานวงรอบชนิดแผ่นเรียบที่มีช่องทางเชื่อมถึงกัน	เมื่อให้อัตราส่วนการเติมสารทำงานไม่มาก และให้ความร้อนกับส่วนทำระเหยต่ำหรือปานกลางมากกว่าที่จะเติมสารทำงานมาก หรือให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยสูง 4) ได้สร้างแผนภูมิแสดงรูปร่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานความร้อน อัตราส่วนการเติมสาร และการให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหย	
13	ผู้วิจัย Yi et al. (2003) งานวิจัย Heat transfer characteristics of the evaporator section using small helical coiled pipes in a looped heat pipe	ขอบเขตของการวิจัย 1) ท่อความร้อนแบบวงรอบที่มีส่วนทำระเหยเป็นเกลียวชนิดแบบ คือ แบบที่เป็นท่อแก้ว 2 เพื่อศึกษารูปแบบการไหลและแบบสแตนด์เลสเพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อน 1) ท่อความร้อนแบบวงรอบมีส่วนทำระเหยเป็นเกลียวชนิดแบบที่เป็นท่อแก้วทำจากแก้วโบโรซิลิเกตเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4mm ปริมาตรรวม 56cm ³ ชุดเป็นเกลียว รอบ 4 ครั้ง เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว 100 ชุดmm แต่ละเกลียวอยู่ห่างกัน 2mm 3) ให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยด้วยเครื่องทำความร้อนแบบแห้ง	1) ท่อเกลียวชนิดมีรูปแบบการไหลคือ แบบพองแบบแห้ง แบบแยกชั้นแบบแยกชั้นไม่คงที่ โดยพบรูปแบบการไหลแบบแห้งมากที่สุด และไม่พบการไหลแบบวงแหวน 2) การระเหยของฟิล์มของเหลวเกิดจากการรบกวนของการสั่นและการไหลรองภายในท่อเกลียวชนิด ซึ่งไม่ได้เพิ่มการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย แต่จะไปเพิ่มค่าฟลักซ์ความร้อนวิกฤติ (Critical heat flux, CHF) แทน 3) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนส่งผลต่อการสั่นของสารทำงานของท่อ	สิ่งที่คล้ายคลึงกัน 1) ศึกษาพฤติกรรมการไหลของสารทำงานในท่อความร้อนแบบสัณฐานวงรอบที่มีเกลียวชนิดเหมือนกัน 2) ศึกษาการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณฐานวงรอบที่มีเกลียวชนิดเหมือนกัน 3) ใช้ท่อความร้อนที่ทำจากแก้วเหมือนกัน 4) บันทึกภาพด้วยกล้องเหมือนกัน 5) ใช้สารทำงานเหมือนกันคือ น้ำ สิ่งที่แตกต่างกัน

ที่	งานวิจัย	ขอบเขตการวิจัย	ผลการวิจัย	การเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้
		<p>4) ระบายความร้อนที่ส่วนควบแน่นด้วยน้ำเย็น</p> <p>5) ใช้สารทำงานน้ำที่เจือสีแดงเล็กน้อยเพื่อให้เห็นรูปแบบการไหลที่ชัดเจนด้วยอัตราการเติมสาร และ 40 30 20 ของปริมาตรทั้งหมด %50</p> <p>6) ถ่ายภาพรูปแบบการไหลด้วยกล้อง</p> <p>7) ท่อความร้อนแบบวงรอบมีส่วนทำระเหยเป็นเกลียวขาดแบบสแตนเลสเป็นแบบเกลียวขาดซ้อนกัน เกลียวขาด แต่ละ 3 2 เกลียวอยู่ห่างกันmm</p> <p>8) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 4mm ท่อยาวทั้งหมด 4m</p> <p>9) ให้ความร้อนด้วยก๊าซร้อน (Flue gas) อุณหภูมิ ถึง 300 500°C</p> <p>10) ระบายความร้อนด้วยน้ำเย็น</p> <p>11) ติดตั้งเกจวัดความดันเพื่อวัดความดันในส่วนทำระเหย</p> <p>12) ใช้สารทำงานน้ำที่อัตราการเติมสาร และ 16 13 11 %18</p> <p>วัตถุประสงค์ของการวิจัย</p> <p>1) ศึกษาพฤติกรรมรูปแบบการไหลของสารทำงานในท่อความร้อนแบบวงรอบที่มีส่วนทำระเหยเป็นเกลียวขาด</p>	<p>ความร้อนแม้ว่าจะเข้าสู่ภาวะแห้งเหือดแล้วก็ตาม</p> <p>4) สร้างสมการสหสัมพันธ์เพื่อใช้ในการทำนายค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในสองช่วงฟลักซ์ความร้อน คือ ก่อนและหลังฟลักซ์ความร้อนวิกฤติ ตามลำดับ</p>	<p>ไม่ได้ติดตั้งวาล์ว (1) กันกลับ</p> <p>ส่วนควบแน่นไม่ได้ (2) เป็นเกลียวขาด</p> <p>มีรูปแบบการไหล (3) ที่แตกต่างกัน</p>

ที่	งานวิจัย	ขอบเขตการวิจัย	ผลการวิจัย	การเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้
		2) ศึกษาการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบวงรอบที่มีส่วนทำระเหยเป็นเกลียวขด		
14	ผู้วิจัย ยุธนา ศรีอุดม (2558) งานวิจัย รูปแบบการไหล และการถ่ายเท ความร้อนของท่อ ความร้อนแบบเส้น วงรอบที่ชนิด เกลียวขด	ขอบเขตของการวิจัย 1) ท่อความร้อนแบบเส้น วงรอบชนิดเกลียวขด ส่วน ควบแน่นทำจากท่อทองแดง ส่วนทำระเหยทำจากท่อแก้ว ทนความร้อน 2) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ภายใน 4.3 และ 4.2 8.1mm 3) ความยาวส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นเท่ากันที่ 850 และ 680 510mm 4) ใช้สารทำงานคือ น้ำ เอ ทานอล และ R-ที่อัด 123รา การเติมสารทำงาน โดย %80 ปริมาตรทั้งหมดภายในท่อ 5) ให้ความร้อนส่วนทำระเหย ผ่านน้ำด้วยเครื่องทำความ ร้อนอุณหภูมิ 90 และ 75 60 °C 6) ระบายความร้อนด้วย อากาศผ่านพัดลมขนาดเล็ก โดยให้อุณหภูมิคงที่ที่ 25°C 7) ท่อความร้อนทำมุมเอียง 0 องศาถึงแนว 90 และ 60 30 ระดับ 8) ระยะพิทช์ที่ และ 15 10 20mm 9) บันทึกรูปแบบการไหลของ ท่อความร้อนโดยกล้องถ่าย	1) กลไกการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบเส้นวงรอบชนิดเกลียวขด ประกอบด้วย การสะสมของพลังงาน จากการเดือดและการขยายตัวและการรวมตัวของฟองไอน้ำ โดยการไหลเวียนของสารทำงานจะเกิดการแรงขับ (Driving force) ส่วนการถ่ายเทความร้อนจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่นและการไหลย้อนกลับของสารทำงาน จะเกิดจากแรงย้อนกลับ (Restoring force) ซึ่งกลไกดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นวัฏจักร 2) ค่าอัตราการถ่ายโอนความร้อนจะเกิดขึ้นสูงสุดเมื่อใช้ R-เป็นสาร 123 90 ทำงาน ที่มุมเอียงองศา ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8.1 ศูนย์กลางภายใน mm ระยะพิทช์ 10mm อุณหภูมิทำงาน 90°C และความยาวส่วนทำระเหย 850mm	สิ่งที่คล้ายคลึงกัน 1) ศึกษาพฤติกรรมรูปแบบการไหลของสารทำงานในท่อความร้อนแบบเส้นวงรอบชนิดเกลียวขดเหมือนกัน 2) ศึกษาการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบเส้นวงรอบชนิดเกลียวขดเหมือนกัน 3) สร้างแผนภูมิรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบเส้นวงรอบชนิดเกลียวขดเหมือนกัน 4) ใช้ท่อความร้อนทำจากแก้วและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเหมือนกันคือ 1.8 2.4 และ 3.4 mm 5) ใช้สารทำงานเหมือนกันคือ น้ำและเอทานอล 6) ให้ความร้อนส่วนทำระเหยที่อุณหภูมิ

ที่	งานวิจัย	ขอบเขตการวิจัย	ผลการวิจัย	การเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้
		<p>10) วัดอุณหภูมิขาเข้าและขาออกส่วนควบแน่น และอุณหภูมิสารทำงานภายในท่อด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิด K</p> <p>วัตถุประสงค์ของการวิจัย</p> <p>ศึกษาพฤติกรรมรูปแบบ (1) การไหลของสารทำงานในท่อความร้อนแบบสันวงรอบชนิดเกลียวขด</p> <p>ศึกษาการถ่ายเทความร้อน (2) ของท่อความร้อนแบบสันวงรอบชนิดเกลียวขด</p> <p>3) สร้างแผนภูมิรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสันวงรอบชนิดเกลียวขด</p>	<p>3) เมื่อมุมทำงานเพิ่มขึ้นจาก องศา จะ 90 ไปหา 0 ส่งผลให้สารทำงานภายในท่อความร้อนไหลย้อนกลับจากส่วนควบแน่นมายังส่วนทำระเหยได้ดียิ่งขึ้น</p> <p>เนื่องจากน้ำหนักของสารทำงานที่เกิดจากการควบแน่นในส่วนควบแน่นเอาชนะความดันไอภายในส่วนทำระเหยและไหลย้อนกลับมายังส่วนทำระเหย</p> <p>4) พบรูปแบบการท่วมและแถบการแห้งในส่วนทำระเหยที่มุมเอียง 30 องศา ซึ่งแถบ 60 และการแห้งจะลดลงเมื่อมุมเอียงมีค่าเพิ่มขึ้น โดยในองศา จะเกิดแถบ 0 มุมการแห้งตลอดความยาวท่อในส่วนทำระเหย</p> <p>ส่งผลให้ท่อความร้อนหยุดการทำงาน</p> <p>5) แผนภูมิรูปแบบการไหลที่เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์พลิกซ์ของสถานะไอและโมเมนต์พลิกซ์ของสถานะของเหลว จะพบรูปแบบการไหล 5 แบบ ประกอบไปด้วยรูปแบบการไหลแบบฟอง/</p>	<p>เหมือนกันคือ 75 60 90 และ°C</p> <p>7) วางท่อท่อความร้อนทำมุมเอียงเหมือนกันคือ 30 60 และ 90 องศา กับแนวระดับ</p> <p>8) บันทึกภาพด้วยกล้องเหมือนกัน</p> <p>สิ่งที่แตกต่างกันไม่ได้ติดตั้งวาล์ว (1) กันกลับ</p> <p>2) มีรูปแบบการไหลที่แตกต่างกัน</p> <p>3) มีแผนภูมิรูปแบบการไหลแตกต่างกัน</p>

ที่	งานวิจัย	ขอบเขตการวิจัย	ผลการวิจัย	การเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้
			<p>แบบแท่ง, แบบฟอง/แบบวงแหวน, แบบแท่ง/แบบวงแหวน, แบบแท่ง/แบบวงแหวน/แบบแยกชั้นผิวคลื่น และ แบบวงแหวน/แบบแยกชั้นผิวคลื่น</p> <p>6) รูปแบบการไหลแบบวงแหวน/แบบแยกชั้นผิวคลื่น จะให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงที่สุด และรูปแบบการไหลแบบฟอง/แบบแท่ง จะให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำที่สุด</p>	

จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าการใช้ท่อความร้อนหรือส่วนประกอบของท่อความร้อนที่ทำด้วยแก้วยังคงเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุดในการศึกษาพฤติกรรมรูปแบบการไหล เนื่องจากทำให้มองเห็นรูปแบบการไหลที่ชัดเจน ประหยัด และสะดวก กว่า การใช้เทคนิครังสีนิวตรอน หรืออินฟราเรด ที่นอกจากจะให้ภาพที่ไม่ชัดแล้วยังต้องแต่งเติม (Process) รูปภาพหลังถ่ายภาพด้วย อีกทั้งยังไม่สะดวกที่ต้องเลือกวัสดุของท่อความร้อนและสารทำงานที่เหมาะสมกับการใช้เทคนิคดังกล่าวให้สามารถทะลุผ่านหรือไม่ทะลุผ่านของรังสี และยังคงใช้อุปกรณ์ที่มีราคาสูง รวมไปถึงต้องการเตรียมการทดสอบที่ค่อนข้างซับซ้อนหลายขั้นตอนอีกด้วย ส่วนขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อความร้อนนั้นเพื่อให้สอดคล้องกับสมการของ Maezawa et al. (1995) ที่ใช้กำหนดขนาดของท่อความร้อนร้อนแบบสั้น และขนาดมาตรฐานของท่อที่วางจำหน่ายในท้องตลาด จึงได้กำหนดให้เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อความร้อนมีขนาด 1.8 2.4 และ 3.4 mm ตามลำดับ (มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 3.2 3.8 และ 4.8 ตามลำดับ) ทางด้านสารทำงานจะเห็นได้ว่างานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการใช้น้ำ เอทานอล และสารทำความเย็นต่างๆ ด้วยเหตุนี้จึงเลือกใช้สาร R-11 เนื่องจากหาได้ง่าย ราคาถูก และสะดวกในการเติมสารทำงานเข้าไปในท่อความร้อน นอกจากนี้การใช้น้ำ เอทานอล และ R-11 ยังสอดคล้องกับอุณหภูมิช่วงการใช้งานทั่วไปของท่อความร้อนอีกด้วย จากช่วงอุณหภูมิใช้งานนี้เองจึงได้กำหนดให้

อุณหภูมิที่จะให้แก่ส่วนทำระเหยของท่อความร้อนเป็น 60 75 และ 90 °C ซึ่งไม่ต่ำจนเกินไปจนท่อความร้อนไม่สามารถทำงานได้ และไม่สูงเกินไปจนท่อความร้อนเกิดสภาวะแห้งเหือดจนไม่สามารถทำงานได้อีกเช่นกัน ด้านความยาวของท่อความร้อนนั้น เนื่องจากลักษณะทางกายภาพเป็นเกลียวขด ทำให้หากขดเป็นเกลียวที่มากเกินไป ท่อความร้อนจะไม่สามารถทำงานได้ เนื่องจากการที่สารทำงานจะสามารถไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่นจะสูญเสียพลังงานมากขึ้นหากเพิ่มเกลียวขด ดังนั้นจึงได้กำหนดความยาวท่อความร้อนก่อนขดเป็นเกลียว 600 800 และ 1000 mm ซึ่งจะได้เกลียวขด 3.5 4.5 และ 5.5 รอบ ตามลำดับ โดยที่ 5.5 รอบนี้เอง คือจำนวนเกลียวขดที่มากที่สุดที่ท่อความร้อนจะสามารถทำงานได้เมื่อใช้สารทำงานน้ำ และให้อุณหภูมิส่วนทำระเหย 60 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดในการทดสอบ ในการทำมุมเอียงของท่อความร้อนนั้นเริ่มที่วางในแนวตั้งตรงตามปกติคือ 90° และค่อยๆ เอียงลงมาที่ 60° และ 30° ตามลำดับ แต่มุม 0° นั้นท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียวขดจะไม่ทำงาน เช่นเดียวกับกับโหมดความร้อนอยู่ด้านบน จึงไม่ทำการทดสอบ และจากงานวิจัยที่ผ่านมาของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียวขด ยังไม่มีการติดตั้งวาล์วกันกลับซึ่งน่าจะเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนให้แก่ท่อความร้อนได้ ในการทดสอบนี้จึงทำการติดตั้งวาล์วกันกลับเข้าไปในท่อความร้อน แต่การติดตั้งท่อความร้อนหากติดตั้งจำนวนมากเกินไปจะไปขวางการไหลของสารทำงานมากขึ้น ซึ่งแทนที่จะเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนกลับลดประสิทธิภาพทางความร้อนลง และด้วยลักษณะทางกายภาพของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียวขดนี้เองที่มีส่วนกันความร้อนที่เชื่อมส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นอยู่เพียงแค่ 2 ด้าน จึงควรติดตั้งวาล์วกันกลับเพียง 1 วาล์วต่อ 1 ท่อความร้อน โดยทดสอบติดตั้งทั้งทางด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น และด้านไหลลงมายังส่วนทำระเหย เพื่อเปรียบเทียบกัน ด้านขนาดของบอลวาล์วกันกลับ ได้ทำการเลือกตามขนาดมาตรฐานที่มีขายในท้องตลาด และสามารถใส่เข้าไปในวาล์วกันกลับตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อความร้อนในการทดสอบได้ คือขนาด 0.255 0.44 และ 1.036 g ตามลำดับ ส่วนการกำหนดระยะพิตช์ จากงานวิจัยที่ผ่านมาของ ยุธนา ศรีอุดม (2558) ที่พบว่าท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียวขดมีประสิทธิภาพทางความร้อนที่ดีที่สุดมีระยะพิตช์ 10 mm จึงได้กำหนดให้การทดสอบนี้ใช้ระยะพิตช์ 10 mm เช่นเดียวกัน และหากจะใช้ระยะที่สั้นกว่านี้จะทำให้น้ำร้อนที่ให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหย และน้ำเย็นที่ระบายความร้อนที่ส่วนควบแน่น ไหลผ่านท่อเกลียวขดได้ยากเนื่องจากถูกเกลียวขดที่อยู่ชิดกันเกินไปขวางการไหลของน้ำทำให้ท่อความร้อนไม่สามารถทำงานได้ นอกจากนี้จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นว่าพฤติกรรมการไหลและแผนภูมิรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแต่ละแบบแต่ละชนิด รวมไปถึงลักษณะทางกายภาพต่างๆของท่อความร้อน ส่งผลให้พบรูปแบบการไหลของสารทำงานในท่อความร้อนแต่ละงานวิจัยที่ไม่เหมือนกัน และส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนที่แตกต่างกัน ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมการไหลของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์ว

กันกลับ โดยผู้วิจัยคาดว่า การติดตั้งวาล์วกันกันกลับจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายความร้อนของท่อ ความร้อนแบบสั้นวงรอบชนิดเกลียวขด แต่จะเกิดคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรม รูปแบบการไหลอย่างไรนั้น จะต้องอธิบายถึงองค์ประกอบที่ส่งผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อน และพฤติกรรมรูปแบบการไหล ทั้งสร้างแผนภูมิรูปแบบการไหลขึ้นมา เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการสร้าง และประยุกต์ใช้ท่อความร้อนชนิดนี้ต่อไป



บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

เพื่อให้การดำเนินการวิจัยเป็นไปอย่างถูกต้องและประสบผลสำเร็จ จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทราบถึงตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง วิธีการติดตั้งชุดทดลอง ขั้นตอนการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลองเป็นอย่างดี โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง
2. ชุดทดลอง
3. วิธีการติดตั้งชุดทดลอง
4. อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง
5. ขั้นตอนการทดลอง
6. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 ตัวแปรต้น

1. ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับทำจากท่อแก้ว และท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.8 2.4 และ 3.4 mm (มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 3.2 3.8 และ 4.8 ตามลำดับ)

2. สารทำงานคือ น้ำ เอทานอล และ R-11

3. อุณหภูมิส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C

4. ความยาวส่วนทำระเหยเท่ากับส่วนควบแน่น มีความยาวก่อนขดเท่ากับ 600 800 และ 1000 mm

5. มุมเอียง 30° 60° และ 90° จากแนวระดับ

6. ขนาดของบอลวาล์วกันกลับ 0.255 0.44 และ 1.036 g

7. ติดตั้งวาล์วกันกลับด้านสารทำงานไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น และด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย

3.1.2 ตัวแปรตาม

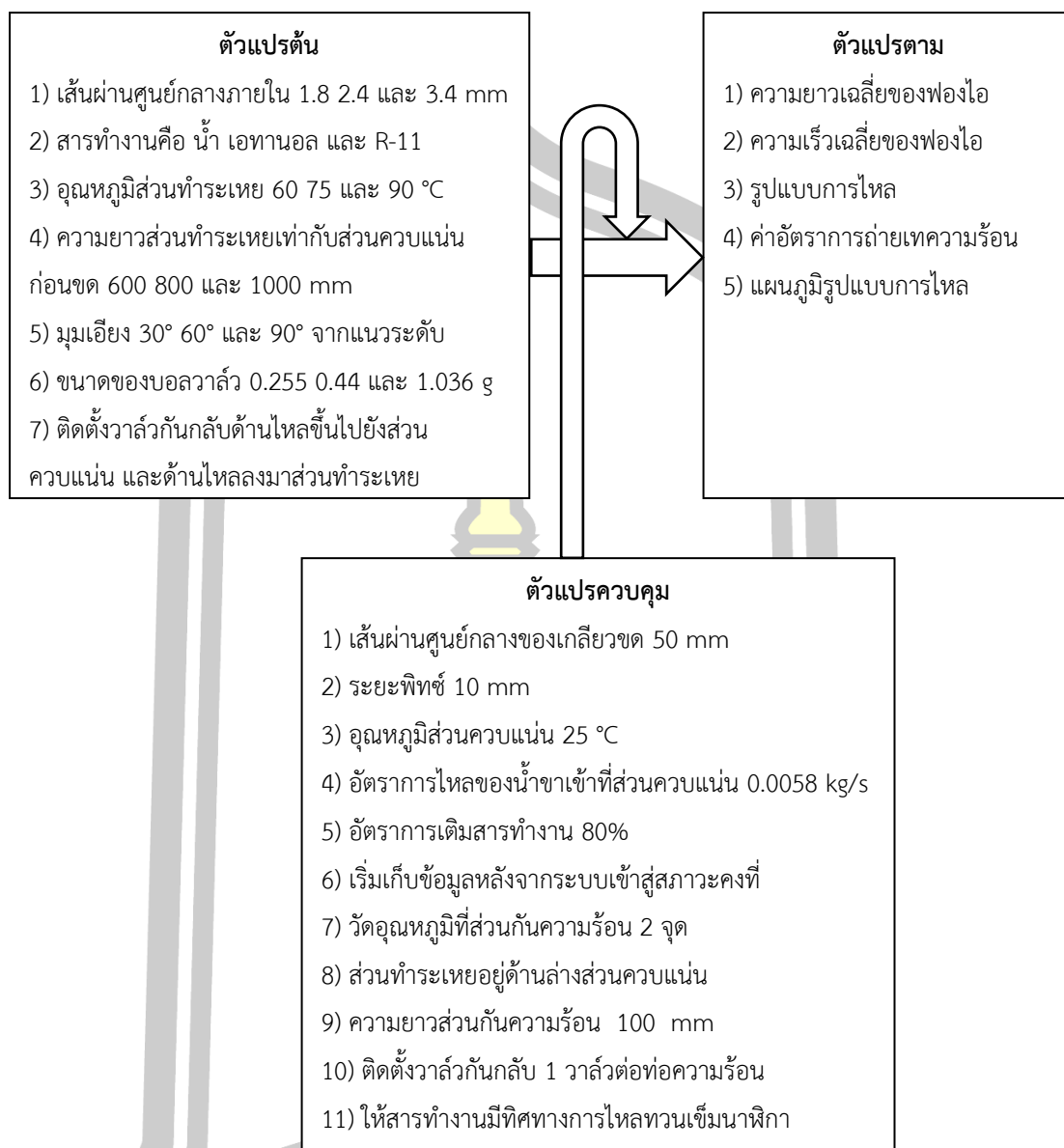
1. ความยาวเฉลี่ยของฟองไอ
2. ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ
3. รูปแบบการไหลภายในของสารทำงาน ภายในท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียววดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ
4. ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียววดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ
5. แผนภูมิรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียววดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ

3.1.3 ตัวแปรควบคุม

1. เส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียววด 50 mm
2. ระยะพิทช์ 10 mm
3. อุณหภูมิส่วนควบแน่น 25 °C
4. อัตราการไหลของน้ำขาเข้าที่ส่วนควบแน่น 0.0058 kg/s (20 Liter/hr)
5. อัตราการเติมสารทำงาน 80% โดยปริมาตรทั้งหมดภายในท่อ
6. ระยะเวลาในการเริ่มเก็บข้อมูล 30 นาที หลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงที่
7. วัดอุณหภูมิของสารทำงานภายในท่อที่ส่วนกันความร้อน 2 จุด
8. ส่วนทำระเหยอยู่ด้านล่างส่วนควบแน่น
9. ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm
10. ติดตั้งวาล์วกันกลับ 1 วาล์วต่อท่อความร้อน
11. ติดตั้งวาล์วกันกลับให้สารทำงานมีทิศทางไหลทวนเข็มนาฬิกา

โดยสามารถสรุปเป็นกรอบแนวคิดในการวิจัยได้แสดงดังรูปภาพ 38

พหุ ประสิทธิภาพ



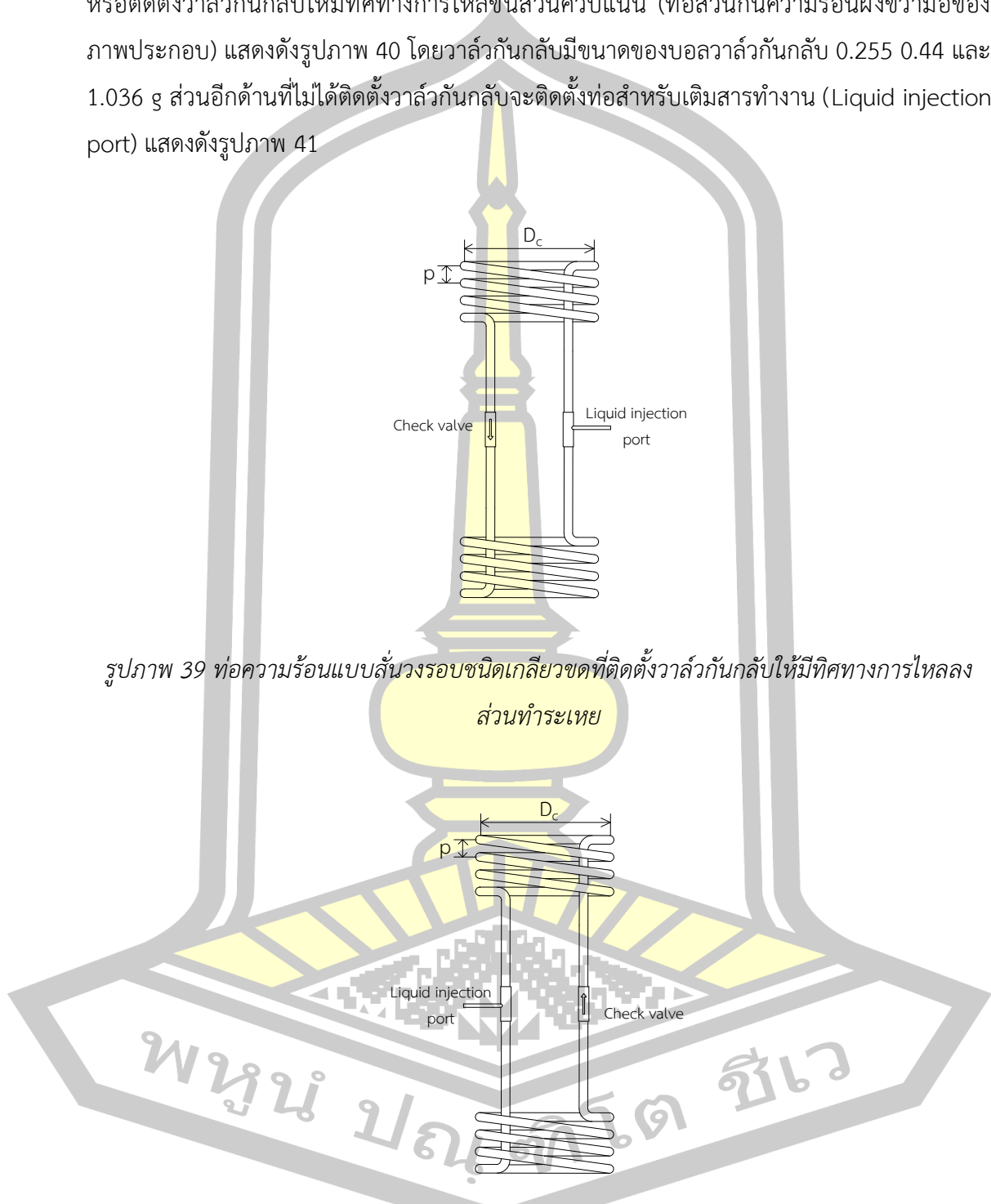
รูปภาพ 38 กรอบแนวคิดในการวิจัย

3.2 ชุดทดลอง

3.2.1 ท่อความร้อนแบบสั่นงอรอบชนิดเกลียวขด

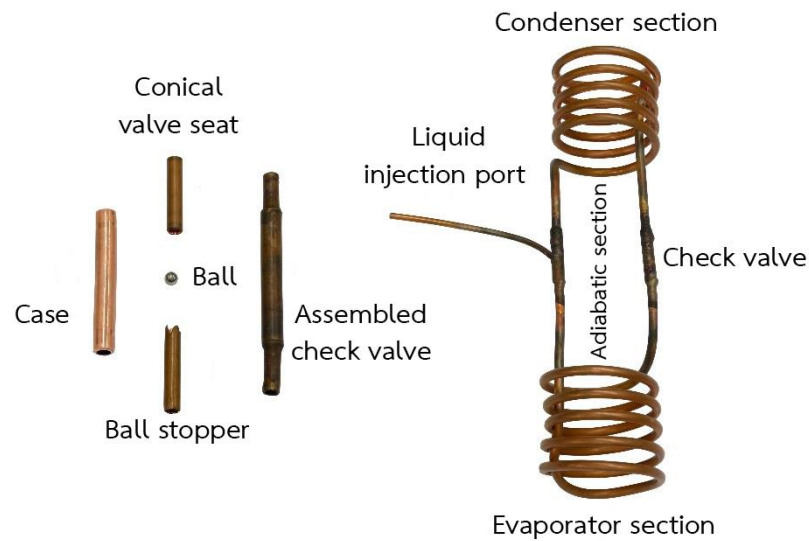
ท่อความร้อนแบบสั่นงอรอบชนิดเกลียวขดทำจากท่อทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.8 2.4 และ 3.4 mm นำมาขดเป็นเกลียวมีระยะพิทช์ 10 mm แสดงดังรูปภาพ 39 และรูปภาพ 40 แต่ละแบบมีความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นเท่ากันโดยมีความยาวก่อนขดเท่ากับ 600 800 และ 1000 mm มีส่วนกันความร้อนยาว 100 mm ติดตั้งวาล์วกันกลับให้มีทิศ

ทางการไหลลงส่วนทำระเหย (ท่อส่วนกันความร้อนฝั่งซ้ายมือของภาพประกอบ) แสดงดังรูปภาพ 39 หรือติดตั้งวาล์วกันกลับให้มีทิศทางการไหลขึ้นส่วนควบแน่น (ท่อส่วนกันความร้อนฝั่งขวามือของภาพประกอบ) แสดงดังรูปภาพ 40 โดยวาล์วกันกลับมีขนาดของบอลวาล์วกันกลับ 0.255 0.44 และ 1.036 g ส่วนอีกด้านที่ไม่ได้ติดตั้งวาล์วกันกลับจะติดตั้งท่อสำหรับเติมสารทำงาน (Liquid injection port) แสดงดังรูปภาพ 41



รูปภาพ 39 ท่อความร้อนแบบล้นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับให้มีทิศทางการไหลลง ส่วนทำระเหย

รูปภาพ 40 ท่อความร้อนแบบล้นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับให้มีทิศทางการไหลขึ้น ส่วนควบแน่น



รูปภาพ 41 ส่วนประกอบของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ

โดยทำการทดสอบชุดท่อความร้อนที่กล่าวมาทั้งหมดก่อนเพื่อหาชุดท่อความร้อนที่มีประสิทธิภาพทางความร้อนที่ดีที่สุด จากนั้นจึงสร้างชุดท่อความร้อนดังกล่าวให้มีขนาดเดียวกัน แต่มีส่วนทำระเหยทำจากท่อแก้วทนความร้อน แสดงดังรูปภาพ 42 เพื่อศึกษาพฤติกรรมรูปแบบการไหลและสร้างแผนภูมิรูปแบบการไหลต่อไป

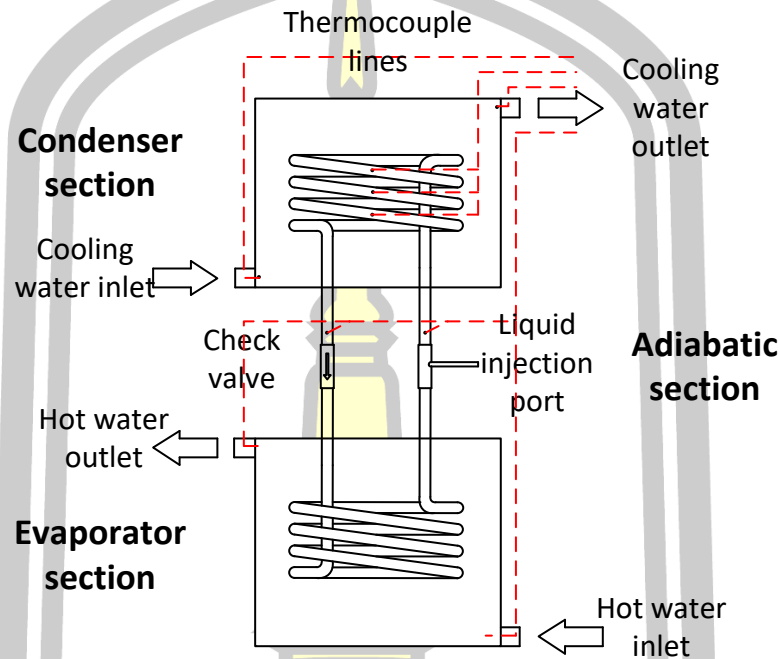


รูปภาพ 42 ส่วนทำระเหยทำจากท่อแก้วทนความร้อน

3.2.2 ชุดให้ความร้อนส่วนทำระเหยและชุดระบายความร้อนส่วนควบแน่น

ชุดให้ความร้อนส่วนทำระเหยและชุดระบายความร้อนส่วนควบแน่นทำจากอะคริลิกใสมาประกอบเป็นกล่อง โดยให้น้ำร้อนและน้ำเย็นไหลเข้าทางด้านล่างของกล่องแต่ละชุด และไหลออกด้านบนของกล่องแต่ละชุด และให้ตำแหน่งของกล่องชุดให้ความร้อนส่วนทำระเหยอยู่ด้านล่างกล่องชุดระบายความร้อนส่วนควบแน่นเสมอ พร้อมทั้งติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลชนิด K สำหรับวัดอุณหภูมิผิว

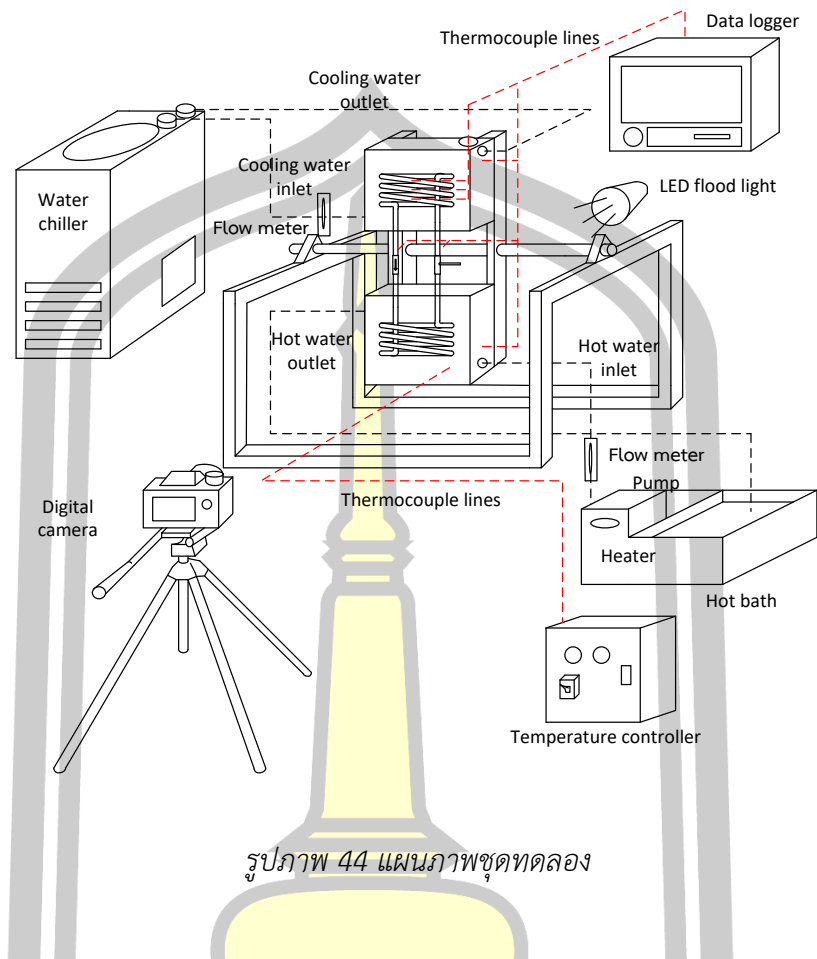
ท่อความร้อนส่วนควบแน่น 3 จุด ส่วนกันความร้อน 2 จุด น้ำเย็นขาเข้าและขาออกส่วนควบแน่น 2 จุด น้ำร้อนขาเข้าและขาออกส่วนทำระเหย 2 จุด แสดงดังรูปภาพ 43 ผิดพลาด! ไม่พบแหล่งการอ้างอิง



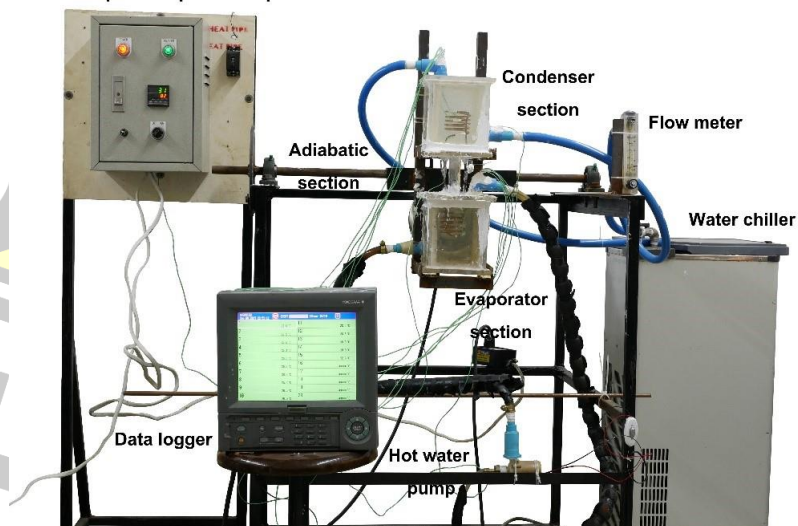
รูปภาพ 43 ลักษณะการติดตั้งท่อความร้อนแบบล้นวงรอบชนิดเกลียวขดเข้ากับชุดให้และระบายความร้อน

3.3 วิธีการติดตั้งชุดทดลอง

นำชุดให้และระบายความร้อนที่ติดตั้งท่อความร้อนและสายเทอร์โมคัปเปิลแล้ว มาติดตั้งบนแท่นที่สามารถปรับมุมเอียงของชุดให้และระบายความร้อนได้ โดยต่อชุดให้ความร้อนส่วนทำระเหยเข้ากับปั้มน้ำร้อนที่ได้จากเครื่องทำความร้อนที่ถูกควบคุมอุณหภูมิโดยชุดควบคุมอุณหภูมิอีกทีที่ผ่านสายยางที่หุ้มฉนวนแล้ว ทั้งนี้ติดตั้งเครื่องวัดอัตราการไหลทางด้านขาเข้า ต่อชุดระบายความร้อนส่วนควบแน่นเข้ากับเครื่องทำน้ำเย็น (Water chiller) ผ่านสายยางที่หุ้มฉนวนแล้วเช่นกัน พร้อมทั้งติดตั้งเครื่องวัดอัตราการไหลทางด้านขาเข้าด้วย และต่อสายเทอร์โมคัปเปิลทั้งหมดเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล ตั้งกล้องถ่ายภาพดิจิทัลทางด้านหน้าตรงตำแหน่งส่วนทำระเหย และติดตั้งไฟสปอร์ตไลท์แบบแอลอีดี ที่ด้านหลังเพื่อช่วยให้ภาพถ่ายชัดเจนยิ่งขึ้น แสดงตำแหน่งการติดตั้งชุดทดลองดังรูปภาพ 44 และรูปภาพ 45



Electrical power input & Temp. controller



รูปภาพ 45 ชุดทดลองจริง

3.4 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง

3.4.1 เครื่องบันทึกข้อมูล

ใช้เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น DX220-1-2 ขนาด 20 ช่องสัญญาณ เมื่อใช้ร่วมกับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะมีช่วงการวัดอุณหภูมิ -200 ถึง 1,370 °C มีความละเอียดในการวัด ± 0.7 °C แสดงดังรูปภาพ 46



รูปภาพ 46 เครื่องบันทึกข้อมูล

3.4.2 เทอร์โมคัปเปิล

ใช้เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ยี่ห้อ OMEGA แบบ type-K ช่วงการวัดอุณหภูมิ -200 ถึง 1,150 °C มีความละเอียด ± 2.2 °C ใช้ร่วมกับเครื่องบันทึกข้อมูลสำหรับวัดอุณหภูมิของอากาศที่ทางออกและทางเข้าในส่วนควบแน่น อุณหภูมิบนผิวท่อส่วนควบแน่นและส่วนกันความร้อน และอุณหภูมิในส่วนทำระเหย แสดงดังรูปภาพ 47



รูปภาพ 47 เทอร์โมคัปเปิล

3.4.3 ชุดการเติมสารทำงาน

ใช้ชุดการเติมสารทำงาน (Working fluids charger) เป็นชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการเติมสารทำงานเข้าสู่ท่อความร้อน ประกอบด้วย ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) เกจวัดความดัน (Pressure gauge) และท่อแก้ว (Glass tube) สำหรับวัดปริมาณการเติมสารทำงาน แสดงดังรูปภาพ 48



รูปภาพ 48 ชุดการเติมสารทำงาน

3.4.4 เครื่องมือวัดอัตราการไหล

ใช้เครื่องมือวัดอัตราการไหล (Flow meter) ยี่ห้อ LZT รุ่น M-15 มีค่าความแม่นยำ (Accuracy) 4% ใช้ในการวัดอัตราการไหลของน้ำที่ทางเข้าของส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น แสดงดังรูปภาพ 49



รูปภาพ 49 เครื่องมือวัดอัตราการไหล

3.4.5 เครื่องทำสุญญากาศ

ใช้เครื่องทำสุญญากาศ (Vacuum pump) ยี่ห้อ DAIKAWA รุ่น 2 stage vacuum pump (2VP-180L) ทำสุญญากาศได้ 0.5 Pa โดยเครื่องทำสุญญากาศใช้สำหรับทำสุญญากาศภายในห้องก่อนทำการเติมสารทำงาน แสดงดังรูปภาพ 50



รูปภาพ 50 เครื่องทำสุญญากาศ

3.4.6 กล้องถ่ายภาพดิจิทัล

ใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัล (Digital camera) ถ่ายภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหว ยี่ห้อ Panasonic รุ่น LUMIX DMC-GX85 ความละเอียด 16 ล้านพิกเซล ถ่ายภาพเคลื่อนไหวความละเอียดสูงแบบ 4K (3840x2160p) ที่ 30 fps พร้อมทั้งมีฟังก์ชัน 4K Photo สำหรับใช้ดึงภาพนิ่งความละเอียด 8 ล้านพิกเซล มาใช้งานสูงสุดที่ 30 fps ได้ กล้องใช้ร่วมกับเลนส์ ยี่ห้อ Panasonic รุ่น Leica DG Summilux 25mm f1.4 ASPH ระยะโฟกัสของเลนส์ 25mm (50mm เมื่อเทียบกับกล้องขนาด 35mm) ขนาดรูรับแสง f1.4-16 แสดงดังรูปภาพ 51



รูปภาพ 51 กล้องถ่ายภาพดิจิทัล

3.4.7 คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก

ใช้คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก (Notebook computer) ยี่ห้อ Sony รุ่น Vaio VGN-SZ55SN หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) Intel Core 2 Duo T7250 2.0 GHz ขนาดหน่วยความจำชั่วคราว (Ram) 2 GB ฮาร์ดดิสก์ WD Blue ขนาด 500 GB ความเร็ว 5400 rpm การ์ดจอ NVidia GeForce 8400M GS และขนาดจอภาพ 13.3 นิ้ว แบบ LCD ความละเอียด WXGA เพื่อใช้ในการศึกษารูปแบบการไหลภายในของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ แสดงดังรูปภาพ 52



รูปภาพ 52 คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก

3.5 ขั้นตอนการทดลอง

1. ประกอบท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับเข้ากับชุดให้และระบายความร้อน และติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลเป็นชุดทดลอง
2. ทำสัญญาภาคและเติมสารทำงานเข้าไปในท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่อยู่ในชุดทดลอง
3. ติดตั้งชุดทดลองเข้ากับอุปกรณ์และเครื่องมือวัดในการทดลอง (ตามหัวข้อ 3.3)
4. เปิดสวิตช์ชุดหลอดไฟสปอร์ตไลท์แอลอีดี เพื่อช่วยในการมองเห็นภาพรูปแบบการไหลภายใต้อย่างชัดเจน
5. เปิดสวิตช์เครื่องทำความร้อนที่ชุดให้ความร้อนส่วนทำระเหย ปรับอุณหภูมิที่ชุดควบคุมอุณหภูมิขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ และปรับอัตราการไหลที่เครื่องมือวัดอัตราการไหลตามที่ต้องการ
6. เปิดสวิตช์เครื่องทำน้ำเย็นเพื่อระบายความร้อนส่วนควบแน่น และปรับอัตราการไหลที่เครื่องมือวัดอัตราการไหลตามที่ต้องการ
7. เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ให้บันทึกภาพเคลื่อนไหวและภาพนิ่งด้วยกล้องดิจิทัล

8. บันทึกค่าอุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างน้ำเข้าและขาออกที่ส่วนควบแน่น ด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิ

9. ทำการทดลองจากขั้นตอนแรกจนถึงขั้นตอนสุดท้าย โดยเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน สารทำงาน อุณหภูมิส่วนทำระเหย ความยาวส่วนทำระเหย มุมเอียง ขนาดของบอลวาล์วกันกลับ และตำแหน่งในการติดตั้งวาล์วกันกลับตามขอบเขตที่ได้กำหนดไว้ และทดลองจนครบทุกตัวแปรการทดลอง

3.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ จะนำเทคนิคและทฤษฎีต่าง ๆ มาใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองดังนี้

1. นำผลการทดลองที่ได้จากการสังเกตภาพเคลื่อนไหวและภาพนิ่งไปเปรียบเทียบกับทฤษฎีรูปแบบการไหลสองสถานะที่เกิดขึ้นภายในท่อในแนวตั้งและแนวนอน เพื่อสรุปผลถึงรูปแบบการไหลภายในที่เกิดขึ้นของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ

2. ความยาวเฉลี่ยของฟองไอ (L_g) จะทำการวิเคราะห์ความยาวเฉลี่ยของฟองไอจากภาพถ่ายที่ได้จากกล้องดิจิทัล โดยจะวัดขนาดความยาวของฟองไอในแนวแกนของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยความยาวของฟองไอ

3. ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ (u_g) จะทำการวิเคราะห์ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอจากภาพการเคลื่อนไหวที่ได้จากกล้องดิจิทัล โดยใช้โปรแกรมในเครื่องคอมพิวเตอร์วิเคราะห์รูปแบบการไหลภายในที่เกิดขึ้น โดยโปรแกรมนี้สามารถตัดต่อ หรือเลือกดูเฟรมภาพในแต่ละเฟรมได้ จึงทำให้สามารถคำนวณความเร็วในการเคลื่อนที่ของฟองไอได้ โดยรูปแบบการไหลภายใน จะเริ่มทำการวัดตั้งแต่เริ่มเกิดฟองไอในส่วนทำระเหยจนกระทั่งฟองไอหายไป

4. วิเคราะห์ข้อมูลค่าการถ่ายเทความร้อน โดยทำการคำนวณจากวิธี calorimeter ดังสมการ

$$Q = \dot{m}c_p(T_{co} - T_{ci}) \quad (14)$$

เมื่อ Q คือ ค่าการถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) (W)

\dot{m} คือ ค่าอัตราการไหลเชิงมวล (Mass flow rate) (kg/s)

c_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ (Specific heat at constant pressure) (kJ/kg °C)

T_{co} คือ อุณหภูมิขาออกหลังจากผ่านส่วนควบแน่น (Condenser outlet temperature) (°C)

T_{ci} คือ อุณหภูมิขาเข้าก่อนผ่านส่วนควบแน่น (Condenser inlet temperature) (°C)

5. วิเคราะห์ข้อมูลค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ (Heat flux) ได้จากสมการ

$$q = \frac{Q}{A_c} = \frac{Q}{\pi D_o L_c} \quad (15)$$

เมื่อ q คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ (Heat flux) (W/m²)

A_c คือ พื้นที่ผิวทั้งหมดของท่อความร้อนส่วนควบแน่น (Condenser surface area) (m²)

D_o คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อความร้อน (Outer diameter) (m)

L_c คือ ความยาวของท่อความร้อนส่วนควบแน่น (Condenser length) (m)

6. นำข้อมูลจากผลการทดลองไปใช้สำหรับสร้างแผนภูมิรูปแบบการไหล (Flow patterns map) เพื่อใช้ในการทำนายพฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ และจัดกลุ่มรูปแบบการไหลสัมพันธ์กับโมเมนต์ตัมฟลักซ์ในสถานะไอ และโมเมนต์ตัมฟลักซ์ในสถานะของเหลว จากสมการดังต่อไปนี้

สมการสำหรับคำนวณค่าโมเมนต์ตัมฟลักซ์ในสถานะของเหลว (Liquid momentum flux)

คือ

$$\rho_l u_l^2 = \frac{[G(1-x)]^2}{\rho_l} \quad (16)$$

สมการสำหรับคำนวณค่าโมเมนต์ตัมฟลักซ์ในสถานะไอ (Gas momentum flux) คือ

$$\rho_g u_g^2 = \frac{[G(1-x)]^2}{\rho_g} \quad (17)$$

เมื่อ G คือ ค่าฟลักซ์มวล (Mass flux) (kg/m²s)

x คือ ค่าคุณภาพไอ (Vapor quality)

u_l คือ ค่าความเร็วของสารทำงานในสถานะของเหลว (Superficial liquid velocity) (m/s)

u_g คือ ค่าความเร็วของสารทำงานในสถานะไอ (Superficial gas velocity) (m/s)

ρ_l คือ ค่าความหนาแน่นของสารทำงานในสถานะของเหลว (Density of the working fluid in a liquid phase) (kg/m³)

ρ_g คือ ค่าความหนาแน่นของสารทำงานในสถานะไอ (Density of the working fluid in a gas phase) (kg/m³)

สมการสำหรับหาค่าฟลักซ์มวลของการไหลสองสถานะ (Mass flux) คือ มวลที่ไหลผ่านพื้นที่ต่อหน่วยเวลา คือ

$$G = G_g + G_l \quad (18)$$

สมการสำหรับหาค่าฟลักซ์มวลของของเหลว (Liquid mass flux) หรือผลคูณระหว่างความหนาแน่นของของเหลวกับความเร็วของสารทำงานในสถานะของของเหลว (Superficial liquid velocity) คือ

$$G_l = \rho_l u_l \quad (19)$$

สมการสำหรับหาค่าฟลักซ์มวลของไอ (Vapor mass flux) หรือผลคูณระหว่างความหนาแน่นของไอกับความเร็วของสารทำงานในสถานะไอ (Superficial gas velocity) คือ

$$G_g = \rho_g u_g \quad (20)$$

เมื่อ G_l คือ ค่าฟลักซ์มวลของของเหลว (Liquid mass flux) (kg/m²s)

G_g คือ ค่าฟลักซ์มวลของไอ (Vapor mass flux) (kg/m²s)

สมการสำหรับหาค่าความเร็วของสารทำงานในสถานะของของเหลว (Superficial liquid velocity) คือ

$$u_l = \frac{\dot{V}_l}{A_s} = \frac{u_l A_s}{A_s} \quad (21)$$

สมการสำหรับหาค่าความเร็วของสารทำงานในสถานะไอ (Superficial gas velocity) คือ

$$u_g = \frac{\dot{V}_g}{A_s} = \frac{u_l A_s}{A_s} \quad (22)$$

เมื่อ u_l คือ ค่าความเร็วของสารทำงานในสถานะของของเหลว (Velocity of the working fluid in a liquid phase) (m/s)

u_g คือ ค่าความเร็วของสารทำงานในสถานะไอ (Velocity of the working fluid in a gas phase) (m/s)

\dot{V}_l คือ ค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรของสารทำงานในสถานะของของเหลว (Volumetric flow rate of the working fluid in a liquid phase) (m³/s)

\dot{V}_g คือ ค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรของสารทำงานในสถานะไอ (Volumetric flow rate of the working fluid in a gas phase) (m³/s)

A_s คือ ค่าพื้นที่หน้าตัดการไหลของสารทำงาน (Cross section area of the working fluid) (m²)

สมการในการหาค่าคุณภาพไอ (Vapor quality) ค่าคุณภาพไอเป็นส่วนสัดของการไหลทั้งหมด ซึ่งมักจะคิดในสถานะไอเป็นส่วนใหญ่ คือ

$$x = \frac{G_g}{G} = \frac{G_g}{G_g + G_l} \quad (23)$$

สำหรับการสมดุลทางอุณหพลศาสตร์ ค่าคุณภาพไอจะสามารถคำนวณได้จากค่าเอนทัลปีหรือปริมาตรจำเพาะของสองสถานะและค่าเอนทัลปีหรือปริมาตรจำเพาะของของเหลวอิ่มตัวและสถานะไอ ดังแสดงในสมการ

$$x = \frac{h_{TP} - h_l}{h_g - h_l} \quad (24)$$

หรือ

$$x = \frac{V_{TP} - V_l}{V_g - V_l} \quad (25)$$

เมื่อ	h_{TP}	คือ ค่าเอนทาลปีของสองสถานะ (Two-phase enthalpy) (J/kg)
	h_l	คือ ค่าเอนทาลปีในสถานะของของเหลว (Enthalpy of a liquid phase) (J/kg)
	h_g	คือ ค่าเอนทาลปีในสถานะไอ (Enthalpy of a gas phase) (J/kg)
	V_{TP}	คือ ค่าปริมาตรจำเพาะของสองสถานะ (Specific volume of a two-phase) (m ³ /kg)
	V_l	คือ ค่าปริมาตรจำเพาะในสถานะของของเหลว (Specific volume of a liquid phase) (m ³ /kg)
	V_g	คือ ค่าปริมาตรจำเพาะในสถานะไอของเหลว (Specific volume of a gas phase) (m ³ /kg)

ทั้งนี้สามารถดูตัวอย่างการคำนวณหาค่าโมเมนต์พลิกซีได้ในภาคผนวก ก

7. การจัดกลุ่มและจัดแบ่งรูปแบบการไหล จะทำการจัดแบ่งกลุ่มตามขนาดความยาวของฟองไอที่จัดทำโดย ยุธนา ศรีอุดม (2558) ร่วมกับการสังเกตจากภาพถ่ายเพื่อดูจุดกำเนิดและรูปร่างว่าเป็นไปตามทฤษฎีรูปแบบการไหลสองสถานะในดิ่งและแนวนอนหรือไม่ แสดงดังตาราง 2

ตาราง 2 การจัดกลุ่มและจัดแบ่งรูปแบบการไหล

รูปแบบการไหล	ขนาด*	จุดกำเนิดและรูปร่าง
แบบฟอง (Bubble flow, BF)	$L_g < 1.3D_i$	เริ่มเกิดขึ้นจากสารทำงานที่สถานะของเหลวเปลี่ยนสถานะเป็นไอ จากฟองขนาดเล็กจนขยายขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ มีลักษณะรูปร่างเป็นฟองไอทรงกลม
แบบแท่ง (Slug flow, SF)	$1.3D_i < L_g < 7.5D_i$	เกิดจากการรวมตัวของรูปแบบการไหลแบบฟองที่มาเชื่อมต่อกัน หรือฟองขยายตัวยาวขึ้น มีลักษณะเป็นสารทำงานสถานะไอรูปร่างเป็นทรงรียาว หรือเป็นรูปหัวกระสุนเมื่อตอนเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว ระหว่างแท่งไอมีสารทำงานสถานะของเหลวช่วงสั้นๆคั่นอยู่

รูปแบบการไหล	ขนาด*	จุดกำเนิดและรูปทรง
แบบวงแหวน (Annular flow, AF)	$L_g > 7.5D_i$	เกิดจากการรวมตัวของรูปแบบการไหลแบบแท่งที่มาเชื่อมต่อกัน หรือแท่งขยายตัวยาวขึ้นเต็มท่อจนมีลักษณะเป็นสารทำงานสถานะของเหลวไหลเป็นชั้นฟิล์มวงแหวนรอบผนังท่อ โดยความหนาของชั้นฟิล์มด้านล่างมักจะมากกว่าด้านบน ตรงกลางเป็นสารทำงานสถานะไอ
แบบแยกชั้นผิวคลื่น (Stratified wavy flow, SWF)	$L_g > 7.5D_i$	เกิดขึ้นต่อเนื่อง หรือพร้อมกับรูปแบบการไหลแบบวงแหวน มีลักษณะเป็นสารทำงานสถานะของเหลวและไอแยกชั้นกัน โดยสารทำงานสถานะไอจะอยู่ด้านบนของเหลวจะอยู่ด้านล่าง โดยไอด้านบนจะมีความเร็วมากกว่าของเหลวด้านล่าง ไอจึงไปรบกวนผิวหน้าของของเหลวทำให้รอยต่อระหว่างสองสถานะเกิดเป็นคลื่นขึ้น

*หมายเหตุ: เมื่อ L_g คือ ความยาวเฉลี่ยของฟองไอ และ D_i คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อความร้อน

นอกจากนี้หากพบการไหลรูปแบบอื่นนอกเหนือจากรูปแบบข้างต้น จะพิจารณารูปแบบการไหลตามทฤษฎีรูปแบบการไหลสองสถานะในดิ่งและแนวนอน ในหัวข้อ 2.6 เพิ่มเติม

8. การวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนของการถ่ายเทความร้อน (Paramatthanuwat et al., 2010) หาได้จากสมการ

$$WQ = \left[\left(\frac{\partial Q}{\partial \dot{m}} \times W\dot{m} \right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial T_{co}} \times WT_{co} \right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial T_{ci}} \times WT_{ci} \right)^2 \right]^{0.5} \quad (26)$$

บทที่ 4

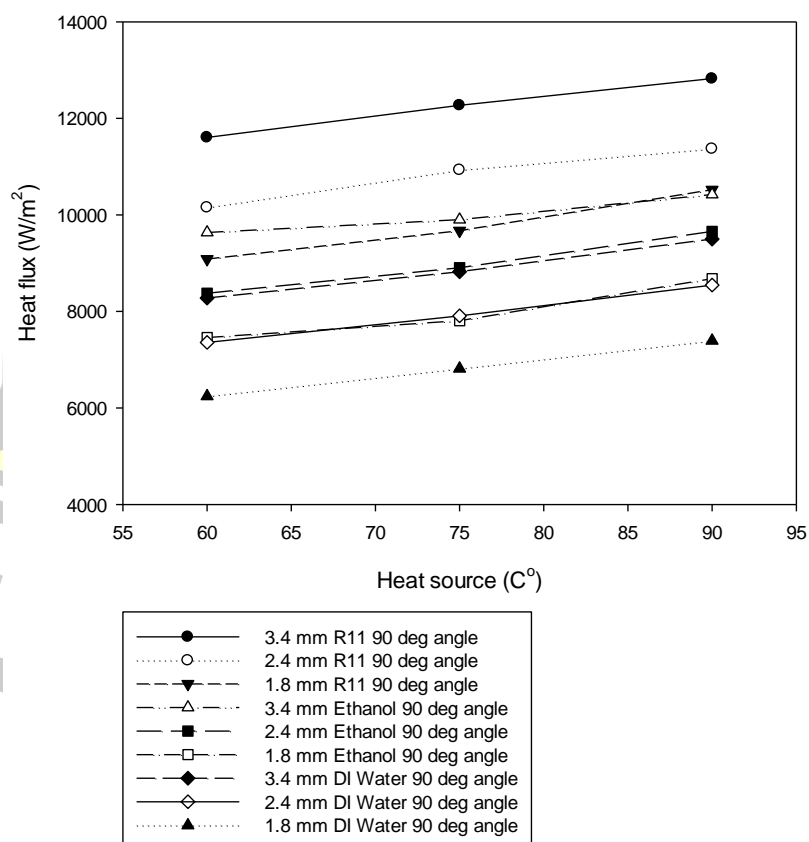
ผลและการอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน สารทำงาน อุณหภูมิส่วนทำระเหย ความยาวส่วนทำระเหย มุมเอียง ขนาดของบอลวาล์วกันกลับ และตำแหน่งในการติดตั้งวาล์วกันกลับ ที่มีผลต่อรูปแบบการไหลภายใน และลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับได้ผลดังนี้

4.1 ลักษณะการถ่ายเทความร้อน

4.1.1 ผลของสารทำงานต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่

สารทำงานที่ใช้ในการศึกษานี้ได้แก่ น้ำ (Water) เอทานอล (Ethanol) และสารทำความเย็น R-11 (R-11)



รูปภาพ 53 ผลของสารทำงาน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ และอุณหภูมิส่วนทำระเหย ต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่

จากผลการทดลองที่ได้แสดงในรูปภาพ 53 พบว่าท่อความร้อนที่เติมสารทำงาน R-11 มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่าท่อความร้อนที่เติมสารทำงานน้ำและเอทานอลตามลำดับ เนื่องจากสารทำงาน R-11 มีจุดเดือดต่ำทำให้ท่อความร้อนเริ่มทำงานได้เร็วและดีกว่าในทุกช่วงอุณหภูมิที่ทำการทดสอบในขณะที่ท่อความร้อนที่เติมสารทำงานน้ำและเอทานอลมีจุดเดือดที่สูงกว่าทำให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ไม่มากนักเมื่อให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหยด้วยอุณหภูมิต่ำ เพราะต้องรอการสะสมความร้อนให้ถึงจุดที่สารทำงานจะไหลขึ้นสู่ส่วนควบแน่นเป็นระยะ หรือกล่าวได้อีกอย่างว่าหากสารทำงานสามารถเดือดได้เร็วกว่านี้ก็จะใช้เวลาในการสะสมความร้อนสั้นกว่า สารทำงานก็จะไหลขึ้นสู่ส่วนควบได้เร็วและต่อเนื่องนั่นเอง อย่างไรก็ตามค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อให้อุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยมากขึ้น

ค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุดคือ 12.82 kW/m^2 ของท่อความร้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3.4 mm ความยาวท่อของส่วนทำระเหยกับส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm สารทำงาน R-11 ท่อทำมุมเอียง 90° กับแนวระดับ ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.255 g ติดตั้งวาล์วกันกลับตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และให้ความร้อนส่วนทำระเหย 90° C

4.1.2 ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่

ท่อความร้อนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ทำจากทองแดงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.8 2.4 และ 3.4 mm

จากผลการทดลองที่ได้แสดงในรูปภาพ 53 พบว่าท่อความร้อนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3.4 mm มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่าท่อความร้อนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.4 และ 1.8 mm ตามลำดับ เพราะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่กว่าทำให้สารทำงานไหลขึ้นสู่ด้านบนได้ดีกว่าเนื่องจากสามารถรับและระบายความร้อนได้ในปริมาณมากในแต่ละรอบการไหล เนื่องจากขนาดพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใหญ่กว่า ทำให้สารทำงานที่ได้รับความร้อนจากส่วนทำระเหยสามารถเคลื่อนที่ขึ้นสู่ส่วนควบแน่นได้ในความเร็วที่มากขึ้น

4.1.3 ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหยต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่

อุณหภูมิส่วนทำระเหยที่ให้กับท่อความร้อนในการศึกษาครั้งนี้ได้แก่ 60 75 และ 90° C

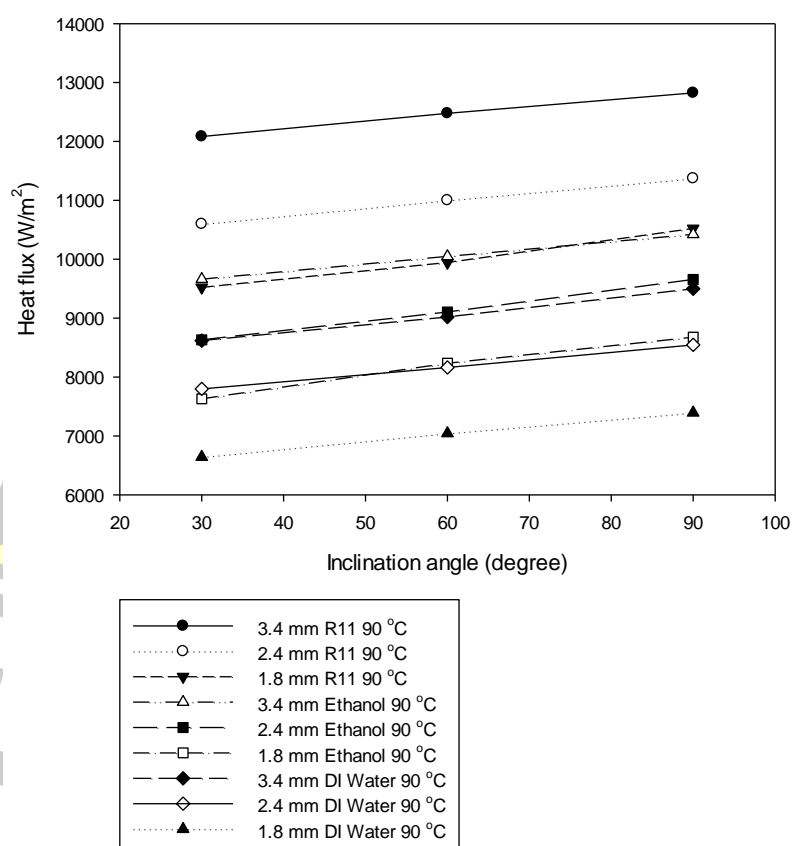
จากผลการทดลองที่ได้แสดงในรูปภาพ 53 พบว่าท่อความร้อนที่ให้อุณหภูมิส่วนทำระเหย 90° C มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่าท่อความร้อนที่ให้อุณหภูมิส่วนทำระเหย 75

และ 60 °C ตามลำดับ เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นสารทำงานจะเดือดมากขึ้น มีไอน้ำมากและเคลื่อนที่เร็วขึ้น ทำให้สารทำงานไหลไปยังส่วนควบแน่นได้มากกว่าการให้อุณหภูมิส่วนทำระเหยต่ำ

4.1.4 ผลของมุมเอียงต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่

มุมเอียงของท่อความร้อนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้แก่ 30° 60° และ 90° กับแนวระดับตามลำดับ

จากผลการทดลองที่ได้แสดงในรูปภาพ 54 พบว่าท่อความร้อนที่ทำมุมเอียง 90° กับแนวระดับมีค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่าท่อความร้อนที่ทำมุมเอียง 60° และ 30° ตามลำดับ เนื่องจากที่มุมเอียง 60° และ 30° กับแนวระดับเกลียวของท่อความร้อนจะทำมุมชันมากขึ้นในแต่ละรอบเกลียว ทำให้สารทำงานไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่นเป็นไปได้น้อยกว่าท่อความร้อนที่ทำมุม 90° กับแนวระดับ

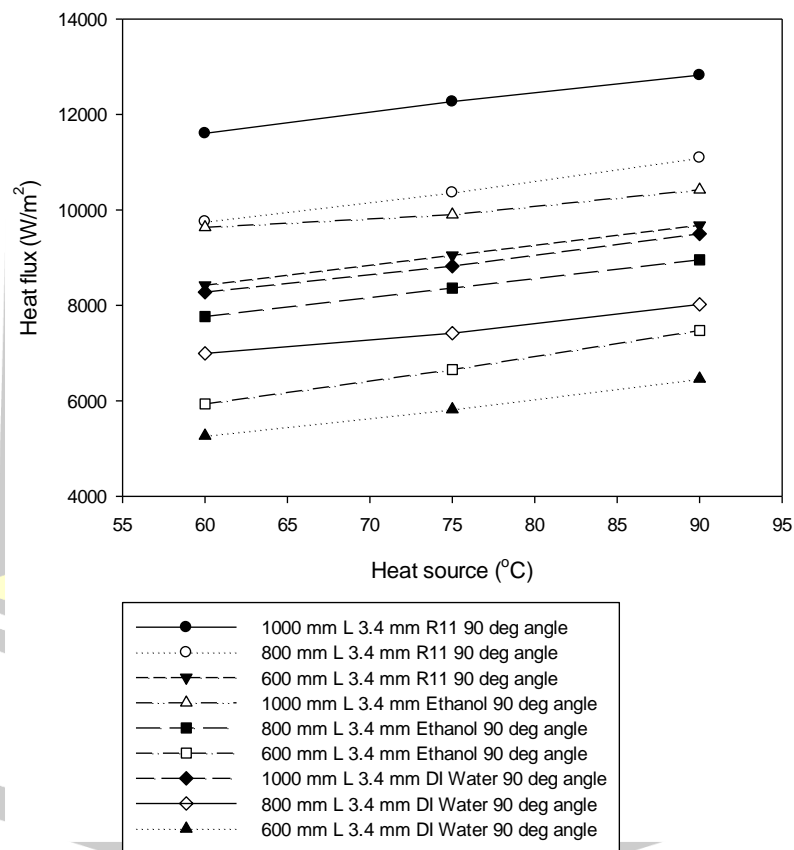


รูปภาพ 54 ผลของมุมเอียงต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่

4.1.5 ผลของความยาวท่อต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่

ความยาวก่อนขดเป็นเกลียวของส่วนทำระเหยกับส่วนควบแน่นในแต่ละท่อความร้อนมีขนาดเท่ากัน และในการศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดไว้ที่ความยาว 600 800 และ 1000 mm ตามลำดับ

จากผลการทดลองที่ได้แสดงในรูปภาพ 55 พบว่าท่อความร้อนที่มีความยาวก่อนขดเป็นเกลียวของส่วนทำระเหยกับส่วนควบแน่น 1000 mm มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่มากกว่าท่อความร้อนที่มีความยาวก่อนขดเป็นเกลียวของส่วนทำระเหยกับส่วนควบแน่น 800 และ 600 mm ตามลำดับ เนื่องจากท่อความร้อนที่มีความยาวก่อนขดเป็นเกลียวของส่วนทำระเหยกับส่วนควบแน่น 1000 mm มีพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนรวมไปถึงปริมาณของสารทำงานที่มากกว่าท่อความร้อนที่มีความยาวก่อนขดเป็นเกลียวของส่วนทำระเหยกับส่วนควบแน่น 800 และ 600 mm ทำให้มีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่า

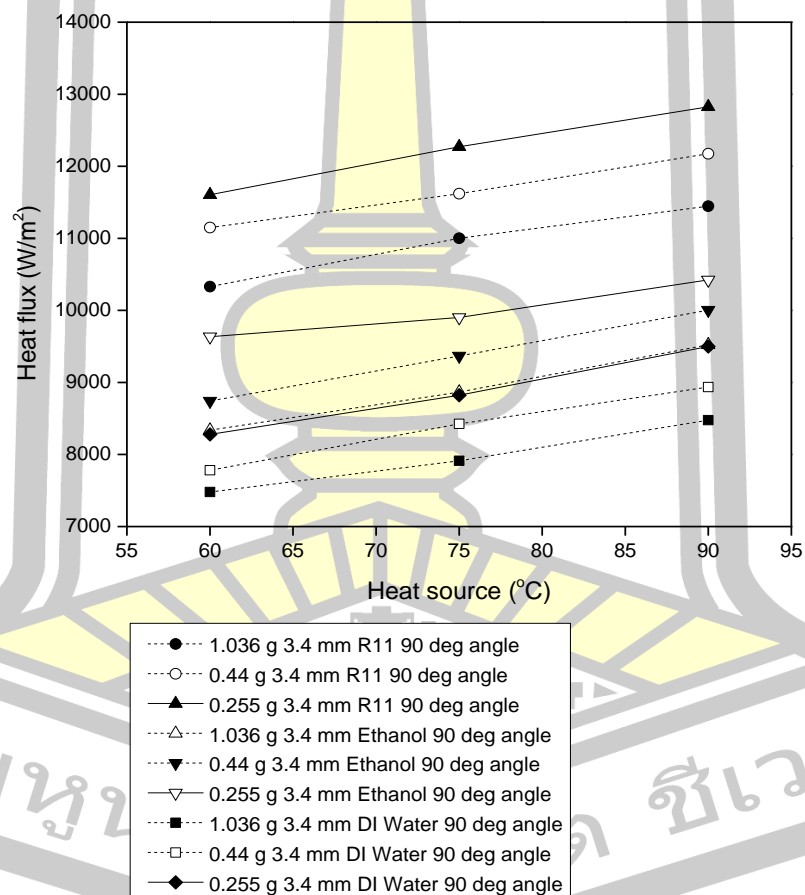


รูปภาพ 55 ผลของความยาวท่อต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่

4.1.6 ผลของขนาดบอลวาล์วกันกลับต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่

บอลวาล์วกันกลับของท่อความร้อนในการศึกษาครั้งนี้มีขนาด 0.255 0.44 และ 1.036 g ตามลำดับ

จากผลการทดลองที่ได้แสดงในรูปภาพ 56 พบว่าท่อความร้อนที่มีขนาดของบอลวาล์วกันกลับ 0.255 g มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ที่สูงกว่าท่อความร้อนที่มีขนาดของบอลวาล์วกันกลับ 0.44 และ 1.036 g ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากน้ำหนักที่มากขึ้นของบอลวาล์วกันกลับ เพราะเมื่อสารทำงานไหลในทิศทางที่ต้องเจอกับบอลวาล์วกันกลับ น้ำหนักของบอลวาล์วจะเป็นตัวแปรโดยตรงที่สารทำงานจะต้องเอาชนะและไหลผ่านไปให้ได้ รวมไปถึงการที่บอลวาล์วกันกลับที่มีน้ำหนักน้อยจะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าบอลวาล์วกันกลับที่มีน้ำหนักมาก ทำให้สารทำงานไปผ่านไปได้ดีกว่า

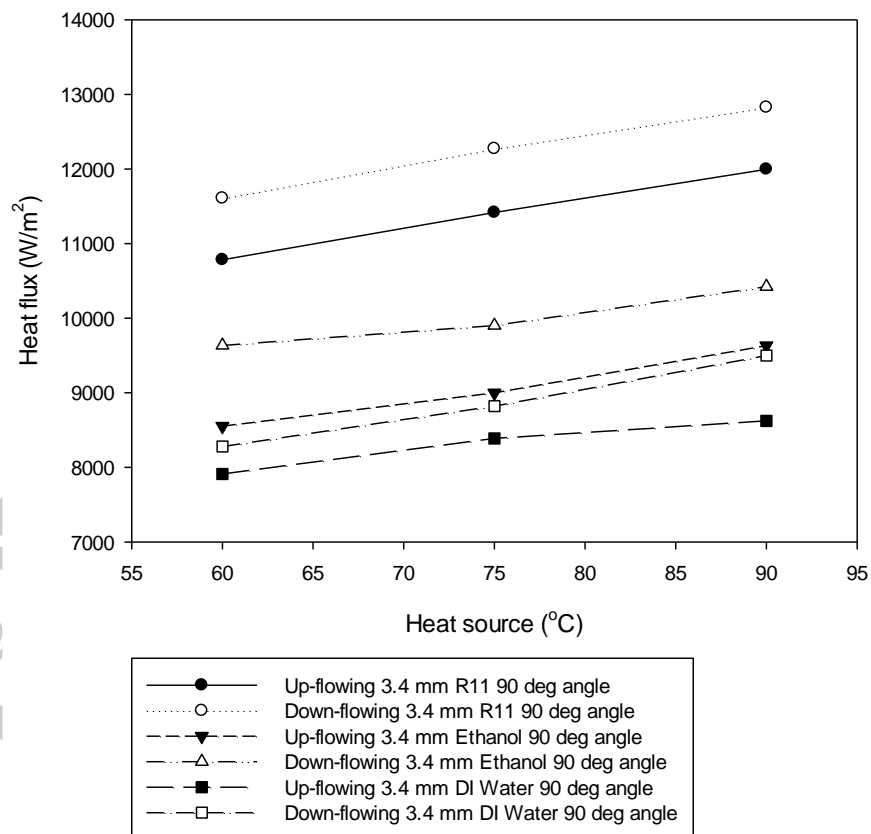


รูปภาพ 56 ผลของขนาดบอลวาล์วกันกลับต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่

4.1.7 ผลของตำแหน่งวาล์วกันกลับต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่

ตำแหน่งในการติดตั้งวาล์วกันกลับของท่อความร้อนในการศึกษาครั้งนี้คือ ด้านไหลลงมา ส่วนทำระเหย (Down-flowing) และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น (Up-flowing)

จากผลการทดลองที่ได้แสดงในรูปภาพ 57 พบว่าท่อความร้อนที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหยมีค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่มากกว่าท่อความร้อนที่ติดตั้งวาล์วกันกลับตำแหน่งด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น เนื่องจากตำแหน่งด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น น้ำหนักของบอลวาล์วกับทิศทางการไหลของสารทำงานนั้นสวนทางกัน ทำให้สารทำงานที่จะไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่นนั้นจะต้องเอาชนะน้ำหนักของบอลวาล์วก่อน กลับกันวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งทางด้านไหลลงมาส่วนทำระเหยน้ำหนักของบอลวาล์วกับทิศทางการไหลของสารทำงานนั้นไปในทิศทางเดียวกัน สารทำงานที่ไหลลงมายังส่วนทำระเหยจึงสามารถไหลลงมาได้เลยทันทีจึงมีความต่อเนื่องในการไหลมากกว่าการถ่ายเทความร้อนจึงดีกว่านั่นเอง

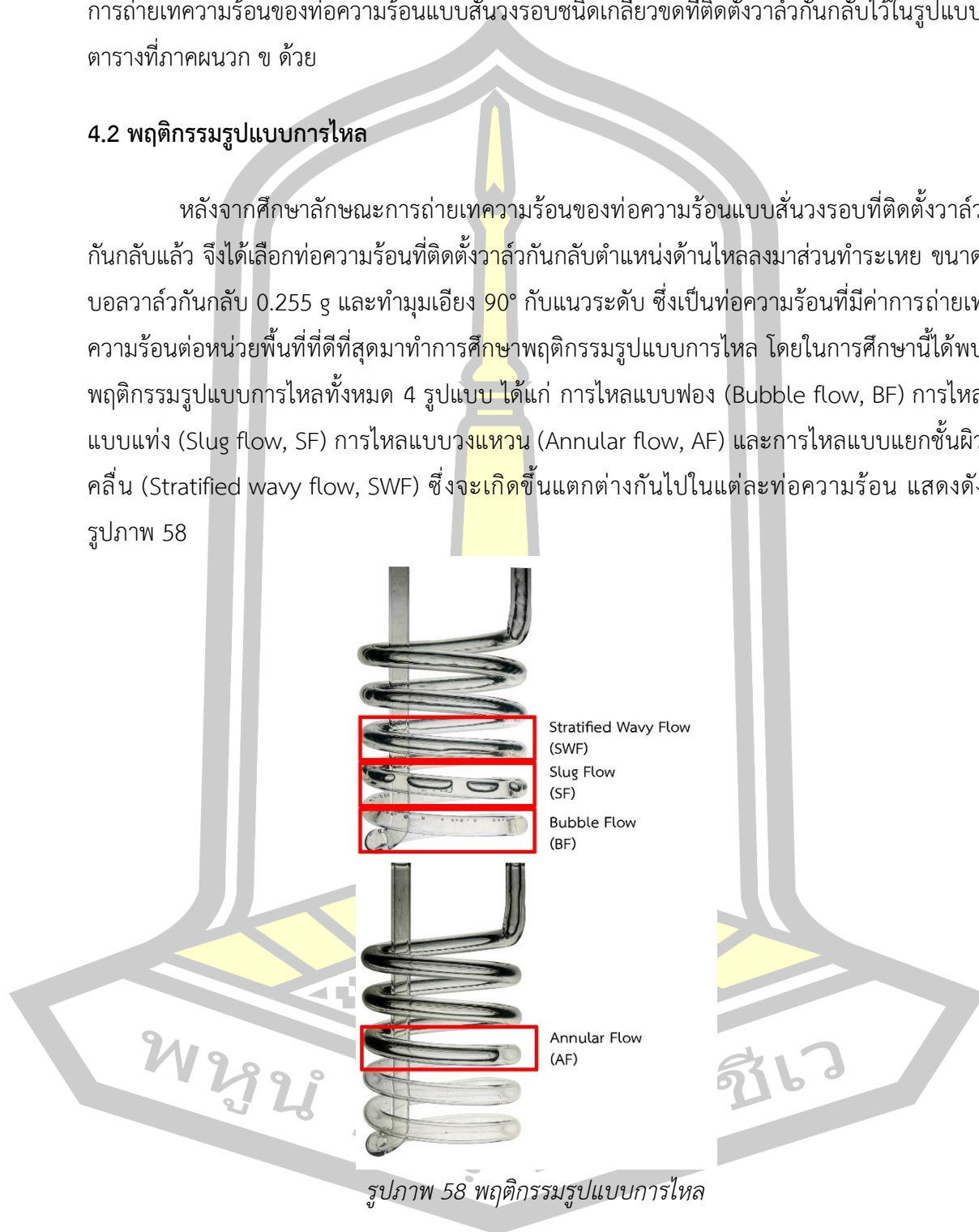


รูปภาพ 57 ผลของตำแหน่งวาล์วกันกลับต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่

อย่างไรก็ตามเนื่องจากข้อมูลการทดลองมีเป็นจำนวนมาก ผู้วิจัยจึงได้สรุปผลคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณฐานวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับไว้ในรูปแบบตารางที่ภาคผนวก ข ด้วย

4.2 พฤติกรรมรูปแบบการไหล

หลังจากศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณฐานวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับแล้ว จึงได้เลือกท่อความร้อนที่ติดตั้งวาล์วกันกลับตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.255 g และทำมุมเอียง 90° กับแนวระดับ ซึ่งเป็นท่อความร้อนที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ที่ดีที่สุดมาทำการศึกษาพฤติกรรมรูปแบบการไหล โดยในการศึกษานี้ได้พบพฤติกรรมรูปแบบการไหลทั้งหมด 4 รูปแบบ ได้แก่ การไหลแบบฟอง (Bubble flow, BF) การไหลแบบแท่ง (Slug flow, SF) การไหลแบบวงแหวน (Annular flow, AF) และการไหลแบบแยกชั้นผิวคลื่น (Stratified wavy flow, SWF) ซึ่งจะเกิดขึ้นแตกต่างกันไปในแต่ละท่อความร้อน แสดงดังรูปภาพ 58














รูปภาพ 58 พฤติกรรมรูปแบบการไหล

4.2.1 พฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 3.4 mm

พฤติกรรมรูปแบบการไหลที่พบแสดงดังตาราง 3 โดยพบรูปแบบการไหลแบบวงแหวน (Annular flow, AF) มากที่สุด รองลงมาคือรูปแบบการไหลแบบแยกชั้นผิวคลื่น (Stratified wavy flow, SWF) รูปแบบการไหลแบบแท่ง (Slug flow, SF) และรูปแบบการไหลแบบฟอง (Bubble flow, BF) ตามลำดับ โดยรูปแบบการไหลแบบวงแหวนที่พบมากที่สุด 41.725 % เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 90 °C ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm มีความยาวเฉลี่ยของฟองไออยู่ที่ 1.252 mm ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ 0.688 mm และค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 10.497 kW/m² โดยพฤติกรรมรูปแบบการไหลจะเริ่มขึ้นจากเมื่อให้ความร้อนแก่สารทำงาน R-11 จะทำให้เกิดการเดือด และเกิดฟองเป็นรูปแบบการไหลแบบฟอง (Bubble flow, BF) ขึ้นอย่างรวดเร็วและรวมตัวขยายจนมีขนาดใหญ่และยาวมากขึ้นเป็นรูปแบบการไหลแบบแท่ง (Slug flow, SF) พร้อมกับเคลื่อนที่ไปด้านบน ซึ่งเมื่อแท่งไอมีความเร็วมากๆ จะมีลักษณะหัวแหลมท้ายตัดคล้ายลูกปัด เมื่อแท่งไอขยายตัวต่อไป หรือแท่งไอเชื่อมต่อกันตรงกลาง สารทำงานสถานะของเหลวจะถูกผลักให้ไหลเป็นชั้นฟิล์มวงแหวนรอบผนังท่อ โดยความหนาของชั้นฟิล์มของเหลวด้านล่างมักจะมากกว่าด้านบน เรียกว่ารูปแบบการไหลแบบวงแหวน (Annular flow, AF) ต่อจากนั้น เมื่อสารทำงานสถานะไอจะขยายและยกตัวขึ้นสู่ด้านบนและผลักสารทำงานสถานะของเหลวลงมาด้านล่างทั้งหมด ทำให้เกิดเป็นชั้นของไอและของเหลวแยกจากกัน แต่เนื่องจากไอมีความเร็วมากกว่าของเหลวมาก ไอจึงไปรบกวนผิวหน้าของของเหลวทำให้รอยต่อระหว่างสองสถานะเกิดเป็นคลื่นขึ้น กลายเป็นรูปแบบการไหลแบบแยกชั้นผิวคลื่นคลื่น (Stratified wavy flow, SWF) เกิดขึ้น รูปแบบการไหลแต่ละรูปแบบจะเกิดขึ้นต่อเนื่องและตลอดเวลา เนื่องจากสารทำงาน R-11 มีจุดเดือดและแรงตึงผิวต่ำ ทำให้สามารถเริ่มต้นการทำงานได้อย่างรวดเร็วในแต่ระรอบการไหล จึงพบรูปแบบการไหลเกิดขึ้นแต่ละรูปแบบพร้อมๆกันไป และผลักดันให้สารทำงานเคลื่อนที่ไปยังส่วนควบแน่นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องในแต่ละรอบการไหล หลังจากนั้นเมื่อสารทำงานสถานะไอเจอความเย็นที่ส่วนควบแน่น ความร้อนถูกดึงออกไป สารทำงานก็เปลี่ยนสถานะกลับมาเป็นของเหลว รวมตัวกันจนมีน้ำหนักที่มากพอและไหลย้อนกลับมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกเพื่อรับความร้อนที่ส่วนทำระเหยต่อไป นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหยของท่อความร้อนมากขึ้น ความเร็วในการไหลของสารทำงานก็จะเพิ่มมากขึ้น รูปแบบการไหลแบบวงแหวน (Annular flow, AF) และรูปแบบการไหลแบบแยกชั้นผิวคลื่น (Stratified wavy flow, SWF) ที่เป็นรูปแบบการไหลที่มีความเร็วของฟองไอมากก็พบมากขึ้นเช่นกัน สอดคล้องกับลักษณะการถ่ายความร้อนที่มากขึ้น

ตาราง 3 พฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 3.4 mm

L_e (mm)	T_e (°C)	Flow patterns	% Flow patterns	L_g (mm)	u_g (m/s)	q (kW/m ²)	
600	60	BF		19.653	0.906	0.575	6.899
		SF		20.922			
		AF		38.789			
		SWF		20.636			
	75	BF		18.905	1.041	0.595	7.330
		SF		20.342			
		AF		40.032			
		SWF		20.721			
	90	BF		20.86	1.101	0.606	7.929
		SF		17.448			
		AF		40.374			
		SWF		21.318			
800	60	BF		21.173	0.946	0.567	7.827
		SF		18.368			
		AF		39.558			
		SWF		20.901			
	75	BF		21.058	1.061	0.574	8.362
		SF		17.581			
		AF		40.334			
		SWF		21.027			
	90	BF		18.374	1.153	0.663	8.967
		SF		19.282			
		AF		40.896			
		SWF		21.448			
1000	60	BF		18.892	0.945	0.583	9.366

L_e (mm)	T_e (°C)	Flow patterns		% Flow patterns	L_g (mm)	u_g (m/s)	q (kW/m ²)	
75	75	SF		20.627	1.134	0.603	9.992	
		AF		39.694				
		SWF		20.787				
	75	75	BF					20.249
	75	75	SF					17.245
	75	75	AF					41.244
	75	75	SWF					21.262
	90	90	BF					19.052
	90	90	SF					17.482
	90	90	AF					41.725
	90	90	SWF					21.741

4.2.2 พฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 2.4 mm

พฤติกรรมการไหลที่พบแสดงดังตาราง 4 โดยพบรูปแบบการไหลแบบวงแหวน (Annular flow, AF) มากที่สุด รองลงมาคือรูปแบบการไหลแบบแยกชั้นผิวคลื่น (Stratified wavy flow, SWF) รูปแบบการไหลแบบแท่ง (Slug flow, SF) และรูปแบบการไหลแบบฟอง (Bubble flow, BF) ตามลำดับ โดยรูปแบบการไหลแบบวงแหวนที่พบมากที่สุด 41.633 % เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 90 °C ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm มีความยาวเฉลี่ยของฟองไออยู่ที่ 1.175 mm ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ 0.632 mm และค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 9.199 kW/m² โดยพฤติกรรมการไหลจะเริ่มขึ้นจากเมื่อให้ความร้อนแก่สารทำงาน R-11 จะทำให้เกิดการเดือด และเกิดฟองเป็นรูปแบบการไหลแบบฟอง (Bubble flow, BF) ขึ้นอย่างรวดเร็วและรวมตัวขยายจนมีขนาดใหญ่และยาวมากขึ้นเป็นรูปแบบการไหลแบบแท่ง (Slug flow, SF) พร้อมกับเคลื่อนที่ไปด้านบน ซึ่งเมื่อแท่งไอมีความเร็วมากๆ จะมีลักษณะหัวแหลมท้ายตัดคล้ายลูกปัด เมื่อแท่งไอขยายตัวต่อไป หรือแท่งไอเชื่อมต่อกันตรงกลาง สารทำงานสถานะของเหลวจะถูกผลักให้ไหลเป็นชั้นฟิล์มวงแหวนรอบผนังท่อ โดยความหนาของชั้นฟิล์มของเหลวด้านล่างมักจะมากกว่าด้านบน เรียกว่ารูปแบบการไหลแบบวงแหวน (Annular flow, AF) ต่อจากนั้น เมื่อสารทำงานสถานะไอจะขยายและยกตัวขึ้นสู่ด้านบนและผลักสารทำงานสถานะของเหลวลงด้านล่าง

ทั้งหมด ทำให้เกิดเป็นชั้นของไอและของเหลวแยกจากกัน แต่เนื่องจากไอมีความเร็วมากกว่าของเหลวมาก ไอจึงไปรบกวนผิวหน้าของของเหลวทำให้ออยต่อระหว่างสองสถานะเกิดเป็นคลื่นขึ้น กลายเป็นรูปแบบการไหลแบบแยกชั้นผิวคลื่นคลื่น (Stratified wavy flow, SWF) เกิดขึ้น รูปแบบการไหลแต่ละรูปแบบจะเกิดขึ้นต่อเนื่องและตลอดเวลา เนื่องจากสารทำงาน R-11 มีจุดเดือดและแรงตึงผิวต่ำ ทำให้สามารถเริ่มต้นการทำงานได้อย่างรวดเร็วในแต่ระรอบการไหล จึงพบรูปแบบการไหลเกิดขึ้นแต่ละรูปแบบพร้อมๆกันไป และผลักดันให้สารทำงานเคลื่อนที่ไปยังส่วนควบแน่นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องในแต่ละรอบการไหล หลังจากนั้นเมื่อสารทำงานสถานะไอเจอความเย็นที่ส่วนควบแน่น ความร้อนถูกดึงออกไป สารทำงานก็เปลี่ยนสถานะกลับมาเป็นของเหลว รวมตัวกันจนมีน้ำหนักรวมมากพอและไหลย้อนกลับมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกเพื่อรับความร้อนที่ส่วนทำระเหยต่อไป นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหยของท่อความร้อนมากขึ้น ความเร็วในการไหลของสารทำงานก็จะเพิ่มมากขึ้น รูปแบบการไหลแบบวงแหวน (Annular flow, AF) และรูปแบบการไหลแบบแยกชั้นผิวคลื่น(Stratified wavy flow, SWF) ที่เป็นรูปแบบการไหลที่มีความเร็วของฟองไอมากก็พบมากขึ้นเช่นกัน สอดคล้องกับลักษณะการถ่ายความร้อนที่มากขึ้น

ตาราง 4 พฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 2.4 mm

L_e (mm)	T_e (°C)	Flow patterns		% Flow patterns	L_g (mm)	u_g (m/s)	q (kW/m ²)
60	60	BF		21.938	0.939	0.525	6.059
		SF		20.529			
		AF		38.544			
		SWF		18.989			
600	75	BF		20.757	1.078	0.537	6.315
		SF		19.655			
		AF		39.884			
		SWF		19.704			
90	90	BF		20.086	1.145	0.608	6.976
		SF		19.908			
		AF		40.195			
		SWF		19.811			








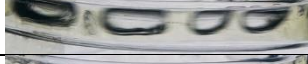


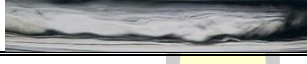
L_e (mm)	T_e (°C)	Flow patterns		% Flow patterns	L_g (mm)	u_g (m/s)	q (kW/m ²)
800	60	BF		20.622	0.977	0.527	7.062
		SF		21.112			
		AF		38.939			
		SWF		19.327			
	75	BF		18.441	1.143	0.543	7.519
		SF		21.618			
		AF		40.199			
		SWF		19.742			
	90	BF		19.334	1.158	0.611	8.071
		SF		20.141			
		AF		40.476			
		SWF		20.049			
1000	60	BF		23.131	0.929	0.532	8.211
		SF		17.631			
		AF		39.107			
		SWF		20.131			
	75	BF		19.981	1.105	0.554	8.781
		SF		18.256			
		AF		41.197			
		SWF		20.566			
	90	BF		16.587	1.175	0.632	9.199
		SF		20.905			
		AF		41.633			
		SWF		20.875			

4.2.3 พฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 1.8 mm

พฤติกรรมการไหลที่พบแสดงดังตาราง 5 โดยพบรูปแบบการไหลแบบวงแหวน (Annular flow, AF) มากที่สุด รองลงมาคือรูปแบบการไหลแบบแยกชั้นผิวคลื่น (Stratified wavy flow, SWF) รูปแบบการไหลแบบแท่ง (Slug flow, SF) และรูปแบบการไหลแบบฟอง (Bubble flow, BF) ตามลำดับ โดยรูปแบบการไหลแบบวงแหวนที่พบมากที่สุด 41.585 % เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 90 °C ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm มีความยาวเฉลี่ยของฟองไออยู่ที่ 1.158 mm ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ 0.584 m/s และค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 8.392 kW/m² โดยพฤติกรรมการไหลจะเริ่มขึ้นจากเมื่อให้ความร้อนแก่สารทำงาน R-11 จะทำให้เกิดการเดือด และเกิดฟองเป็นรูปแบบการไหลแบบฟอง (Bubble flow, BF) ขึ้นอย่างรวดเร็วและรวมตัวขยายจนมีขนาดใหญ่และยาวมากขึ้นเป็นรูปแบบการไหลแบบแท่ง (Slug flow, SF) พร้อมกับเคลื่อนที่ไปด้านบน ซึ่งเมื่อแท่งไอมีความเร็วมากๆ จะมีลักษณะหัวแหลมท้ายตัดคล้ายลูกปัด เมื่อแท่งไอขยายตัวต่อไป หรือแท่งไอเชื่อมต่อกันตรงกลาง สารทำงานสถานะของเหลวจะถูกผลักให้ไหลเป็นชั้นฟิล์มวงแหวนรอบผนังท่อ โดยความหนาของชั้นฟิล์มของเหลวด้านล่างมักจะมากกว่าด้านบน เรียกว่ารูปแบบการไหลแบบวงแหวน (Annular flow, AF) ต่อจากนั้น เมื่อสารทำงานสถานะไอจะขยายและยกตัวขึ้นสู่ด้านบนและผลักสารทำงานสถานะของเหลวลงมาด้านล่างทั้งหมด ทำให้เกิดเป็นชั้นของไอและของเหลวแยกจากกัน แต่เนื่องจากไอมีความเร็วมากกว่าของเหลวมาก ไอจึงไปรบกวนผิวหน้าของของเหลวทำให้รอยต่อระหว่างสองสถานะเกิดเป็นคลื่นขึ้น กลายเป็นรูปแบบการไหลแบบแยกชั้นผิวคลื่นคลื่น (Stratified wavy flow, SWF) เกิดขึ้น รูปแบบการไหลแต่ละรูปแบบจะเกิดขึ้นต่อเนื่องและตลอดเวลา เนื่องจากสารทำงาน R-11 มีจุดเดือดและแรงตึงผิวต่ำ ทำให้สามารถเริ่มต้นการทำงานได้อย่างรวดเร็วในแต่ละรอบการไหล จึงพบรูปแบบการไหลเกิดขึ้นแต่ละรูปแบบพร้อมๆ กันไป และผลักดันให้สารทำงานเคลื่อนที่ไปยังส่วนควบแน่นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องในแต่ละรอบการไหล หลังจากนั้นเมื่อสารทำงานสถานะไอเจอความเย็นที่ส่วนควบแน่น ความร้อนถูกดึงออกไป สารทำงานก็เปลี่ยนสถานะกลับมาเป็นของเหลว รวมตัวกันจนมีน้ำหนักที่มากพอและไหลย้อนกลับมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกเพื่อรับความร้อนที่ส่วนทำระเหยต่อไป นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหยของท่อความร้อนมากขึ้น ความเร็วในการไหลของสารทำงานก็จะเพิ่มมากขึ้น รูปแบบการไหลแบบวงแหวน (Annular flow, AF) และรูปแบบการไหลแบบแยกชั้นผิวคลื่น (Stratified wavy flow, SWF) ที่เป็นรูปแบบการไหลที่มีความเร็วของฟองไอมากก็พบมากขึ้นเช่นกัน สอดคล้องกับลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่มากขึ้น

ตาราง 5 พฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 1.8 mm

L_e (mm)	T_e (°C)	Flow patterns	% Flow patterns	L_g (mm)	u_g (m/s)	q (kW/m ²)	
600	60	BF		19.348	0.926	0.518	4.990
		SF		23.011			
		AF		38.146			
		SWF		19.495			
	75	BF		18.897	1.019	0.535	5.403
		SF		21.785			
		AF		39.557			
		SWF		19.761			
	90	BF		20.852	1.116	0.549	5.965
		SF		19.056			
		AF		39.811			
		SWF		20.281			
800	60	BF		18.481	0.973	0.527	6.266
		SF		23.092			
		AF		38.579			
		SWF		19.848			
	75	BF		19.685	1.004	0.532	6.665
		SF		20.545			
		AF		39.845			
		SWF		19.925			
	90	BF		21.693	1.137	0.573	7.298
		SF		17.839			
		AF		40.103			
		SWF		20.365			
1000	60	BF		19.349	0.986	0.546	7.240

L_e (mm)	T_e (°C)	Flow patterns		% Flow patterns	L_g (mm)	u_g (m/s)	q (kW/m ²)			
		SF		21.695	1.019	0.578	7.818			
		AF		39.059						
		SWF		19.897						
	75	BF		18.381						
		SF		20.511						
		AF		41.134						
		SWF		19.974						
	90	BF		19.062				1.158	0.584	8.392
		SF		18.602						
		AF		41.585						
		SWF		20.751						

4.2.4 พฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั่นงอกรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงานเอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 3.4 mm

พฤติกรรมการไหลที่พบแสดงดังตาราง 6 โดยพบรูปแบบการไหลแบบวงแหวน (Annular flow, AF) มากที่สุด รองลงมาคือ รูปแบบการไหลแบบแท่ง (Slug flow, SF) รูปแบบการไหลแบบแยกชั้นผิวคลื่น (Stratified wavy flow, SWF) และรูปแบบการไหลแบบฟอง (Bubble flow, BF) ตามลำดับ โดยรูปแบบการไหลแบบวงแหวนที่พบมากที่สุด 42.914 % เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 90 °C ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm มีความยาวเฉลี่ยของฟองไออยู่ที่ 1.353 mm ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ 0.611 mm และค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 8.475 kW/m² โดยพฤติกรรมการไหลจะเริ่มขึ้นจากเมื่อให้ความร้อนแก่สารทำงาน เอทานอล จะทำให้เกิดการเดือด และเกิดฟองเป็นรูปแบบการไหลแบบฟอง (Bubble flow, BF) ขึ้นอย่างรวดเร็วและรวมตัวขยายจนมีขนาดใหญ่และยาวมากขึ้นเป็นรูปแบบการไหลแบบแท่ง (Slug flow, SF) พร้อมกับเคลื่อนที่ไปด้านบน ซึ่งเมื่อแท่งไอมีความเร็วมากๆ จะมีลักษณะหัวแหลมท้ายตัดคล้ายลูกปัด เมื่อแท่งไอขยายตัวต่อไป หรือแท่งไอเชื่อมต่อกันตรงกลาง สารทำงานสถานะของเหลวจะถูกผลักให้ไหลเป็นชั้นฟิล์มวงแหวนรอบผนังท่อ โดยความหนาของชั้นฟิล์มของเหลวด้านล่างมักจะมากกว่าด้านบน เรียกว่ารูปแบบการไหลแบบวงแหวน (Annular flow, AF) ต่อจากนั้น เมื่อสารทำงานสถานะไอจะขยายและยกตัวขึ้นสู่ด้านบนและผลักสารทำงานสถานะของเหลวลงมาด้านล่าง

ทั้งหมด ทำให้เกิดเป็นชั้นของไอและของเหลวแยกจากกัน แต่เนื่องจากไอมีความเร็วมากกว่าของเหลวมาก ไอจึงไปรบกวนผิวหน้าของของเหลวทำให้รอยต่อระหว่างสองสถานะเกิดเป็นคลื่นขึ้น กลายเป็นรูปแบบการไหลแบบแยกชั้นผิวคลื่นคลื่น (Stratified wavy flow, SWF) เกิดขึ้น รูปแบบการไหลแต่ละรูปแบบจะเกิดขึ้นต่อเนื่องและตลอดเวลา แต่เนื่องจากสารทำงาน เอทานอล มีจุดเดือดและแรงตึงผิวที่มากกว่า R-11 ทำให้การเริ่มต้นการทำงานทั้งระยะเวลาเล็กน้อยในแต่ละรอบการไหล เพราะต้องสะสมแรงขับที่มากขึ้นในการเคลื่อนที่ไปยังส่วนควบแน่น ทำให้สารทำงานที่จะเคลื่อนที่ไปยังส่วนควบแน่นต้องรอเวลาเล็กน้อยในแต่ละรอบการไหล หลังจากนั้นเมื่อสารทำงานสถานะไอเจอความเย็นที่ส่วนควบแน่น ความร้อนถูกดึงออกไป สารทำงานก็เปลี่ยนสถานะกลับมาเป็นของเหลวรวมตัวกันจนมีน้ำหนักที่มากพอและไหลย้อนกลับมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกเพื่อรับความร้อนที่ส่วนทำระเหยต่อไป นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหยของท่อความร้อนมากขึ้น ความเร็วในการไหลของสารทำงานก็จะเพิ่มมากขึ้นสอดคล้องกับลักษณะการถ่ายความร้อนที่มากขึ้น แต่เนื่องจากรอบการไหลของสารทำงานเอทานอลนั้นทั้งระยะเวลาเล็กน้อยทำให้พบรูปแบบการไหลแบบแท่ง (Slug flow, SF) และรูปแบบการไหลแบบวงแหวน (Annular flow, AF) มาก เนื่องจากเป็นรูปแบบการไหลที่เกิดจากการรวมตัวและขยายตัวของฟองไวก่อนหน้า

ตาราง 6 พฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบล้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงานเอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 3.4 mm

L_e (mm)	T_e (°C)	Flow patterns		% Flow patterns	L_g (mm)	u_g (m/s)	q (kW/m ²)
600	60	BF		11.335	0.905	0.421	4.703
		SF		41.386			
		AF		38.714			
		SWF		8.565			
600	75	BF		9.296	1.011	0.536	5.322
		SF		41.773			
		AF		40.019			
		SWF		8.912			
600	90	BF		11.412	1.073	0.581	6.083
		SF		37.445			
		AF		40.876			












L_e (mm)	T_e (°C)	Flow patterns		% Flow patterns	L_g (mm)	u_g (m/s)	q (kW/m ²)
		SWF		10.267			
800	60	BF		11.233	0.884	0.465	6.248
		SF		41.525			
		AF		38.223			
		SWF		9.019			
	75	BF		10.583	1.153	0.552	6.757
		SF		38.955			
		AF		39.863			
		SWF		10.599			
	90	BF		9.987	1.244	0.608	7.055
		SF		38.753			
		AF		40.302			
		SWF		10.958			
1000	60	BF		9.802	0.866	0.483	7.557
		SF		42.067			
		AF		39.235			
		SWF		8.896			
	75	BF		8.465	1.153	0.564	7.727
		SF		38.379			
		AF		41.821			
		SWF		11.335			
	90	BF		12.892	1.353	0.611	8.475
		SF		31.298			
		AF		42.914			
		SWF		12.896			

4.2.5 พฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงานเอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 2.4 mm

พฤติกรรมรูปแบบการไหลที่พบแสดงดังตาราง 7 โดยพบรูปแบบการไหลแบบวงแหวน (Annular flow, AF) มากที่สุด รองลงมาคือ รูปแบบการไหลแบบแท่ง (Slug flow, SF) รูปแบบการไหลแบบแยกชั้นผิวคลื่น (Stratified wavy flow, SWF) และรูปแบบการไหลแบบฟอง (Bubble flow, BF) ตามลำดับ โดยรูปแบบการไหลแบบวงแหวนที่พบมากที่สุด 42.349 % เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 90 °C ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm มีความยาวเฉลี่ยของฟองไออยู่ที่ 1.345 mm ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ 0.596 mm และค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 7.454 kW/m² โดยพฤติกรรมรูปแบบการไหลจะเริ่มขึ้นจากเมื่อให้ความร้อนแก่สารทำงาน เอทานอล จะทำให้เกิดการเดือด และเกิดฟองเป็นรูปแบบการไหลแบบฟอง (Bubble flow, BF) ขึ้นอย่างรวดเร็วและรวมตัวขยายจนมีขนาดใหญ่และยาวมากขึ้นเป็นรูปแบบการไหลแบบแท่ง (Slug flow, SF) พร้อมกับเคลื่อนที่ไปด้านบน ซึ่งเมื่อแท่งไอมีความเร็วมากๆ จะมีลักษณะหัวแหลมท้ายตัดคล้ายลูกปิง เมื่อแท่งไอขยายตัวต่อไป หรือแท่งไอเชื่อมต่อกันตรงกลาง สารทำงานสถานะของเหลวจะถูกผลักให้ไหลเป็นชั้นฟิล์มวงแหวนรอบผนังท่อ โดยความหนาของชั้นฟิล์มของเหลวด้านล่างมักจะมากกว่าด้านบน เรียกว่ารูปแบบการไหลแบบวงแหวน (Annular flow, AF) ต่อจากนั้น เมื่อสารทำงานสถานะไอจะขยายและยกตัวขึ้นสู่ด้านบนและผลึกสารทำงานสถานะของเหลวลงมาด้านล่างทั้งหมด ทำให้เกิดเป็นชั้นของไอและของเหลวแยกจากกัน แต่เนื่องจากไอมีความเร็วมากกว่าของเหลวมาก ไอจึงไปรบกวนผิวหน้าของของเหลวทำให้รอยต่อระหว่างสองสถานะเกิดเป็นคลื่นขึ้น กลายเป็นรูปแบบการไหลแบบแยกชั้นผิวคลื่นคลื่น (Stratified wavy flow, SWF) เกิดขึ้น รูปแบบการไหลแต่ละรูปแบบจะเกิดขึ้นต่อเนื่องและตลอดเวลา แต่เนื่องจากสารทำงาน เอทานอล มีจุดเดือดและแรงตึงผิวที่มากกว่า R-11 ทำให้การเริ่มต้นการทำงานทั้งระยะเวลาเล็กน้อยในแต่ละรอบการไหล เพราะต้องสะสมแรงขับที่มากขึ้นในการเคลื่อนที่ไปยังส่วนควบแน่น ทำให้สารทำงานที่จะเคลื่อนที่ไปยังส่วนควบแน่นต้องรอเวลาเล็กน้อยในแต่ละรอบการไหล หลังจากนั้นเมื่อสารทำงานสถานะไอเจอความเย็นที่ส่วนควบแน่น ความร้อนถูกดึงออกไป สารทำงานก็เปลี่ยนสถานะกลับมาเป็นของเหลวรวมตัวกันจนมีน้ำหนักรวมที่มากพอและไหลย้อนกลับมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกเพื่อรับความร้อนที่ส่วนทำระเหยต่อไป นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหยของท่อความร้อนมากขึ้น ความเร็วในการไหลของสารทำงานก็จะเพิ่มมากขึ้นสอดคล้องกับลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่มากขึ้น แต่เนื่องจากรอบการไหลของสารทำงานเอทานอลนั้นทั้งระยะเวลาเล็กน้อยทำให้พบรูปแบบการไหลแบบแท่ง (Slug flow, SF) และรูปแบบการไหลแบบวงแหวน (Annular flow, AF) มาก เนื่องจากเป็นรูปแบบการไหลที่เกิดจากการรวมตัวและขยายตัวของฟองไวก่อนหน้า

ตาราง 7 พฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบล้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงาน
เอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 2.4 mm

L_e (mm)	T_e (°C)	Flow patterns	% Flow patterns	L_g (mm)	u_g (m/s)	q (kW/m ²)	
600	60	BF		11.341	0.858	0.416	4.513
		SF		42.065			
		AF		38.689			
		SWF		7.905			
	75	BF		9.163	1.057	0.513	4.831
		SF		42.174			
		AF		39.815			
		SWF		8.848			
	90	BF		11.637	1.166	0.577	5.143
		SF		37.061			
		AF		40.825			
		SWF		10.477			
800	60	BF		9.154	0.994	0.458	5.810
		SF		43.388			
		AF		39.315			
		SWF		8.143			
	75	BF		9.851	1.145	0.544	6.012
		SF		40.612			
		AF		39.342			
		SWF		10.195			
	90	BF		10.545	1.178	0.575	6.234
		SF		38.148			
		AF		40.383			
		SWF		10.924			
1000	60	BF		9.191	0.996	0.469	6.812

L_e (mm)	T_e (°C)	Flow patterns		% Flow patterns	L_g (mm)	u_g (m/s)	q (kW/m ²)				
75	75	SF		42.091	1.184	0.556	7.098				
		AF		40.567							
		SWF		8.151							
	75	75	BF					8.596			
	75	75	SF					39.028			
	75	75	AF					41.211			
	75	75	SWF					11.165			
	90	90	BF					10.506	1.345	0.596	7.454
	90	90	SF					34.471			
	90	90	AF					42.349			
	90	90	SWF					12.674			

























4.2.6 พฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงานเอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 1.8 mm

พฤติกรรมรูปแบบการไหลที่พบแสดงดังตาราง 8 โดยพบรูปแบบการไหลแบบวงแหวน (Annular flow, AF) มากที่สุด รองลงมาคือ รูปแบบการไหลแบบแท่ง (Slug flow, SF) รูปแบบการไหลแบบแยกชั้นผิวคลื่น (Stratified wavy flow, SWF) และรูปแบบการไหลแบบฟอง (Bubble flow, BF) ตามลำดับ โดยรูปแบบการไหลแบบวงแหวนที่พบมากที่สุด 41.345 % เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 90 °C ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm มีความยาวเฉลี่ยของฟองไออยู่ที่ 1.292 mm ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ 0.574 mm และค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 6.999 kW/m² โดยพฤติกรรมรูปแบบการไหลจะเริ่มขึ้นจากเมื่อให้ความร้อนแก่สารทำงาน เอทานอล จะทำให้เกิดการเดือด และเกิดฟองเป็นรูปแบบการไหลแบบฟอง (Bubble flow, BF) ขึ้นอย่างรวดเร็วและรวมตัวขยายจนมีขนาดใหญ่และยาวมากขึ้นเป็นรูปแบบการไหลแบบแท่ง (Slug flow, SF) พร้อมกับเคลื่อนที่ไปด้านบน ซึ่งเมื่อแท่งไอมีความเร็วมากๆ จะมีลักษณะหัวแหลมท้ายตัดคล้ายลูกปัด เมื่อแท่งไอขยายตัวต่อไป หรือแท่งไอเชื่อมต่อกันตรงกลาง สารทำงานสถานะของเหลวจะถูกผลักให้ไหลเป็นชั้นฟิล์มวงแหวนรอบผนังท่อ โดยความหนาของชั้นฟิล์มของเหลวด้านล่างมักจะมากกว่าด้านบน เรียกว่ารูปแบบการไหลแบบวงแหวน (Annular flow, AF) ต่อจากนั้น เมื่อสารทำงานสถานะไอจะขยายและยกตัวขึ้นสู่ด้านบนและผลักสารทำงานสถานะของเหลวลงมาด้านล่าง

ทั้งหมด ทำให้เกิดเป็นชั้นของไอและของเหลวแยกจากกัน แต่เนื่องจากไอมีความเร็วมากกว่าของเหลวมาก ไอจึงไปรบกวนผิวหน้าของของเหลวทำให้รอยต่อระหว่างสองสถานะเกิดเป็นคลื่นขึ้น กลายเป็นรูปแบบการไหลแบบแยกชั้นผิวคลื่นคลื่น (Stratified wavy flow, SWF) เกิดขึ้น รูปแบบการไหลแต่ละรูปแบบจะเกิดขึ้นต่อเนื่องและตลอดเวลา เนื่องจากสารทำงาน เอทานอล มีจุดเดือดและแรงตึงผิวที่มากกว่า R-11 ทำให้การเริ่มต้นการทำงานทั้งระยะเวลาเล็กน้อยในแต่ละรอบการไหล เพราะต้องสะสมแรงขับที่มากขึ้นในการเคลื่อนที่ไปยังส่วนควบแน่น ทำให้สารทำงานที่จะเคลื่อนที่ไปยังส่วนควบแน่นต้องรอเวลาเล็กน้อยในแต่ละรอบการไหล หลังจากนั้นเมื่อสารทำงานสถานะไอเจอความเย็นที่ส่วนควบแน่น ความร้อนถูกดึงออกไป สารทำงานก็เปลี่ยนสถานะกลับมาเป็นของเหลว รวมตัวกันจนมีน้ำหนักที่มากพอและไหลย้อนกลับมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกเพื่อรับความร้อนที่ส่วนทำระเหยต่อไป นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหยของท่อความร้อนมากขึ้น ความเร็วในการไหลของสารทำงานก็จะเพิ่มมากขึ้นสอดคล้องกับลักษณะการถ่ายความร้อนที่มากขึ้น แต่เนื่องจากรอบการไหลของสารทำงานเอทานอลนั้นทั้งระยะเวลาเล็กน้อยทำให้พบรูปแบบการไหลแบบแท่ง (Slug flow, SF) และรูปแบบการไหลแบบวงแหวน (Annular flow, AF) มาก เนื่องจากเป็นรูปแบบการไหลที่เกิดจากการรวมตัวและขยายตัวของฟองไวก่อนหน้า

ตาราง 8 พฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบล้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงานเอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 1.8 mm

L_e (mm)	T_e (°C)	Flow patterns		% Flow patterns	L_g (mm)	u_g (m/s)	q (kW/m ²)
60	60	BF		12.498	0.828	0.407	3.437
		SF		41.111			
		AF		38.572			
		SWF		7.819			
600	75	BF		10.514	0.987	0.464	3.967
		SF		41.23			
		AF		39.498			
		SWF		8.758			
90	90	BF		12.165	1.074	0.482	4.188
		SF		38.245			
		AF		39.639			
		SWF		9.951			




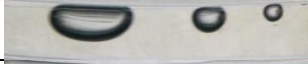







L_e (mm)	T_e (°C)	Flow patterns		% Flow patterns	L_g (mm)	u_g (m/s)	q (kW/m ²)
800	60	BF		9.078	0.948	0.454	4.509
		SF		41.059			
		AF		39.576			
		SWF		10.287			
	75	BF		9.024	1.003	0.513	4.973
		SF		41.136			
		AF		39.746			
		SWF		10.094			
	90	BF		12.524	1.125	0.549	5.666
		SF		36.058			
		AF		40.581			
		SWF		10.837			
1000	60	BF		8.835	0.976	0.45	6.078
		SF		43.028			
		AF		40.101			
		SWF		8.036			
	75	BF		9.871	1.011	0.52	6.151
		SF		38.361			
		AF		40.735			
		SWF		11.033			
	90	BF		10.801	1.292	0.574	6.999
		SF		35.275			
		AF		41.345			
		SWF		12.579			

4.2.7 พฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 3.4 mm

พฤติกรรมการไหลที่พบแสดงดังตาราง 9 โดยพบรูปแบบการไหลแบบวงแหวน (Annular flow, AF) มากที่สุด รองลงมาคือรูปแบบการไหลแบบแยกชั้นผิวคลื่น (Stratified wavy flow, SWF) รูปแบบการไหลแบบฟอง (Bubble flow, BF) และรูปแบบการไหลแบบแท่ง (Slug flow, SF) ตามลำดับ โดยรูปแบบการไหลแบบวงแหวนที่พบมากที่สุด 42.686 % เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 90 °C ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm มีความยาวเฉลี่ยของฟองไออยู่ที่ 1.277 mm ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ 0.539 m/s และค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 7.559 kW/m² โดยพฤติกรรมการไหลจะเริ่มขึ้นจากเมื่อให้ความร้อนแก่สารทำงาน น้ำ จะทำให้เกิดการเดือด และเกิดฟองเป็นรูปแบบการไหลแบบฟอง (Bubble flow, BF) ขึ้นอย่างรวดเร็วและรวมตัวขยายจนมีขนาดใหญ่และยาวมากขึ้นเป็นรูปแบบการไหลแบบแท่ง (Slug flow, SF) พร้อมกับเคลื่อนที่ไปด้านบน ซึ่งเมื่อแท่งไอมีความเร็วมากๆ จะมีลักษณะหัวแหลมท้ายตัดคล้ายลูกปัด เมื่อแท่งไอขยายตัวต่อไป หรือแท่งไอเชื่อมต่อกันตรงกลาง สารทำงานสถานะของเหลวจะถูกผลักให้ไหลเป็นชั้นฟิล์มวงแหวนรอบผนังท่อ โดยความหนาของชั้นฟิล์มของเหลวด้านล่างมักจะมากกว่าด้านบน เรียกว่ารูปแบบการไหลแบบวงแหวน (Annular flow, AF) ต่อจากนั้น เมื่อสารทำงานสถานะไอจะขยายและยกตัวขึ้นสู่ด้านบนและผลักสารทำงานสถานะของเหลวลงมาด้านล่างทั้งหมด ทำให้เกิดเป็นชั้นของไอและของเหลวแยกจากกัน แต่เนื่องจากไอมีความเร็วมากกว่าของเหลวมาก ไอจึงไปรบกวนผิวหน้าของของเหลวทำให้รอยต่อระหว่างสองสถานะเกิดเป็นคลื่นขึ้น กลายเป็นรูปแบบการไหลแบบแยกชั้นผิวคลื่นคลื่น (Stratified wavy flow, SWF) เกิดขึ้น รูปแบบการไหลแต่ละรูปแบบจะเกิดขึ้นต่อเนื่องและตลอดเวลา แต่เนื่องจากสารทำงาน น้ำ มีจุดเดือดและแรงตึงผิวที่มากกว่า เอทานอล และ R-11 ทำให้การเริ่มต้นการทำงานทั้งระยะเวลานานในแต่ละรอบการไหล เพราะต้องสะสมแรงขับที่มากขึ้นในการเคลื่อนที่ไปยังส่วนควบแน่น ทำให้สารทำงานที่จะเคลื่อนที่ไปยังส่วนควบแน่นต้องรอเวลาสักพักในแต่ละรอบการไหล หลังจากนั้นเมื่อสารทำงานสถานะไอเจอความเย็นที่ส่วนควบแน่น ความร้อนถูกดึงออกไป สารทำงานก็เปลี่ยนสถานะกลับมาเป็นของเหลว รวมตัวกันจนมีน้ำหนักรวมที่มากพอและไหลย้อนกลับมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกเพื่อรับความร้อนที่ส่วนทำระเหยต่อไป นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหยของท่อความร้อนมากขึ้น ความเร็วในการไหลของสารทำงานก็จะเพิ่มมากขึ้นสอดคล้องกับลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่มากขึ้น แต่เนื่องจากรอบการไหลของสารทำงานน้ำนั้นทั้งระยะพอประมาณทำให้ต้องรอการเกิดขึ้นของรูปแบบการไหลแบบฟอง (Bubble flow, BF) และรูปแบบการไหลแบบแท่ง (Slug flow, SF) สักพักจนทำให้พบรูปแบบการไหลแบบวงแหวน (Annular flow, AF) และรูปแบบการไหลแบบแยกชั้นผิวคลื่นคลื่น (Stratified wavy flow, SWF) คงระดับอยู่นานและเป็นรูปแบบที่พบบ่อยกว่าตามมา

ตาราง 9 พฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงาน น้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 3.4 mm

L_e (mm)	T_e (°C)	Flow patterns	% Flow patterns	L_g (mm)	u_g (m/s)	q (kW/m ²)
600	60	BF	14.339	0.927	0.415	4.260
		SF	9.179			
		AF	38.295			
		SWF	38.187			
	75	BF	12.787	1.023	0.436	4.636
		SF	8.579			
		AF	39.536			
		SWF	39.098			
	90	BF	8.987	1.081	0.518	5.282
		SF	10.343			
		AF	40.801			
		SWF	39.869			
800	60	BF	13.553	0.977	0.425	5.689
		SF	8.668			
		AF	38.907			
		SWF	38.872			
	75	BF	7.936	1.092	0.49	6.047
		SF	11.314			
		AF	40.912			
		SWF	39.838			
	90	BF	5.937	1.199	0.526	6.432
		SF	11.648			
		AF	41.714			
		SWF	40.701			
1000	60	BF	11.823	0.964	0.476	6.629

L_e (mm)	T_e (°C)	Flow patterns		% Flow patterns	L_g (mm)	u_g (m/s)	q (kW/m ²)				
		SF		10.663	1.065	0.495	7.103				
		AF		39.205							
		SWF		38.309							
	75	BF		8.004							
		SF		10.311							
		AF		41.589							
	90	SWF		40.096							
		BF		5.876							
		SF		9.689							
		AF		42.686							
			SWF					41.749	1.277	0.539	7.559

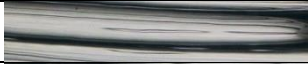

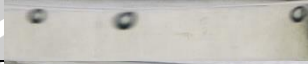




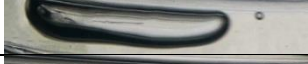







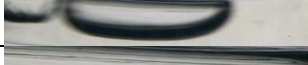






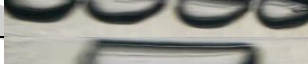
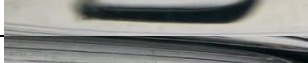

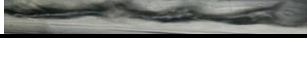


4.2.8 พฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 2.4 mm

พฤติกรรมการไหลที่พบแสดงดังตาราง 10 โดยพบรูปแบบการไหลแบบวงแหวน (Annular flow, AF) มากที่สุด รองลงมาคือรูปแบบการไหลแบบแยกชั้นผิวคลื่น (Stratified wavy flow, SWF) รูปแบบการไหลแบบฟอง (Bubble flow, BF) และรูปแบบการไหลแบบแท่ง (Slug flow, SF) ตามลำดับ โดยรูปแบบการไหลแบบวงแหวนที่พบมากที่สุด 41.484 % เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 90 °C ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm มีความยาวเฉลี่ยของฟองไออยู่ที่ 1.182 mm ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ 0.527 m/s และค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 6.974 kW/m² โดยพฤติกรรมการไหลจะเริ่มขึ้นจากเมื่อให้ความร้อนแก่สารทำงาน น้ำ จะทำให้เกิดการเดือด และเกิดฟองเป็นรูปแบบการไหลแบบฟอง (Bubble flow, BF) ขึ้นอย่างรวดเร็วและรวมตัวขยายจนมีขนาดใหญ่และยาวมากขึ้นเป็นรูปแบบการไหลแบบแท่ง (Slug flow, SF) พร้อมกับเคลื่อนที่ไปด้านบน ซึ่งเมื่อแท่งไอมีความเร็วมากๆ จะมีลักษณะหัวแหลมท้ายตัดคล้ายลูกปัด เมื่อแท่งไอขยายตัวต่อไป หรือแท่งไอเชื่อมต่อกันตรงกลาง สารทำงานสถานะของเหลวจะถูกผลักให้ไหลเป็นชั้นฟิล์มวงแหวนรอบผนังท่อ โดยความหนาของชั้นฟิล์มของเหลวด้านล่างมักจะมากกว่าด้านบน เรียกว่ารูปแบบการไหลแบบวงแหวน (Annular flow, AF) ต่อจากนั้น เมื่อสารทำงานสถานะไอจะขยายและยกตัวขึ้นสู่ด้านบนและผลักสารทำงานสถานะของเหลวลงด้านล่าง

ทั้งหมด ทำให้เกิดเป็นชั้นของไอและของเหลวแยกจากกัน แต่เนื่องจากไอมีความเร็วมากกว่าของเหลวมาก ไอจึงไปรบกวนผิวหน้าของของเหลวทำให้รอยต่อระหว่างสองสถานะเกิดเป็นคลื่นขึ้น กลายเป็นรูปแบบการไหลแบบแยกชั้นผิวคลื่นคลื่น (Stratified wavy flow, SWF) เกิดขึ้น รูปแบบการไหลแต่ละรูปแบบจะเกิดขึ้นต่อเนื่องและตลอดเวลา แต่เนื่องจากสารทำงาน น้ำ มีจุดเดือดและแรงตึงผิวที่มากกว่า เอทานอล และ R-11 ทำให้การเริ่มต้นการทำงานทั้งระยะเวลานานในแต่ละรอบการไหล เพราะต้องสะสมแรงขับที่มากขึ้นในการเคลื่อนที่ไปยังส่วนควบแน่น ทำให้สารทำงานที่จะเคลื่อนที่ไปยังส่วนควบแน่นต้องรอเวลาสักพักในแต่ละรอบการไหล หลังจากนั้นเมื่อสารทำงานสถานะไอเจอความเย็นที่ส่วนควบแน่น ความร้อนถูกดึงออกไป สารทำงานก็เปลี่ยนสถานะกลับมาเป็นของเหลว รวมตัวกันจนมีน้ำหนักที่มากพอและไหลย้อนกลับมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกเพื่อรับความร้อนที่ส่วนทำระเหยต่อไป นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหยของท่อความร้อนมากขึ้น ความเร็วในการไหลของสารทำงานก็จะเพิ่มมากขึ้นสอดคล้องกับลักษณะการถ่ายความร้อนที่มากขึ้น แต่เนื่องจากรอบการไหลของสารทำงานน้ำนั้นทั้งระยะพอประมาณทำให้ต้องรอการเกิดขึ้นของรูปแบบการไหลแบบฟอง (Bubble flow, BF) และรูปแบบการไหลแบบแท่ง (Slug flow, SF) สักพักจนทำให้พบรูปแบบการไหลแบบวงแหวน (Annular flow, AF) และรูปแบบการไหลแบบแยกชั้นผิวคลื่นคลื่น (Stratified wavy flow, SWF) คงระดับอยู่นานและเป็นรูปแบบที่พบมากกว่าตามมา

ตาราง 10 พฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 2.4 mm

L_e (mm)	T_e (°C)	Flow patterns		% Flow patterns	L_g (mm)	u_g (m/s)	q (kW/m ²)
600	60	BF		16.218	0.916	0.398	3.426
		SF		7.816			
		AF		38.17			
		SWF		37.796			
	75	BF		12.024	0.993	0.419	3.916
		SF		10.556			
		AF		39.166			
		SWF		38.254			
90	BF		7.321	1.032	0.507	4.306	
	SF		12.354				

L_e (mm)	T_e (°C)	Flow patterns		% Flow patterns	L_g (mm)	u_g (m/s)	q (kW/m ²)
800	60	AF		40.518	0.956	0.408	4.867
		SWF		39.807			
		BF		11.029			
		SF		10.67			
	75	AF		39.286			
		SWF		39.015			
		BF		10.802			
		SF		9.359			
90	AF		40.773				
	SWF		39.066				
	BF		6.786				
	SF		11.243				
1000	60	AF		41.589	0.998	0.458	5.981
		SWF		40.382			
		SF		10.045			
		BF		11.567			
	75	AF		40.84	1.112	0.493	6.267
		SWF		40.84			
		SF		9.453			
		BF		8.624			
	90	AF		41.083	1.182	0.527	6.974
		SWF		40.84			
		SF		10.932			
		BF		6.576			
		AF		41.484			
		SWF		41.008			
		SF		10.932			
		BF		6.576			

4.2.9 พฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 1.8 mm

พฤติกรรมการไหลที่พบแสดงดังตาราง 11 โดยพบรูปแบบการไหลแบบวงแหวน (Annular flow, AF) มากที่สุด รองลงมาคือรูปแบบการไหลแบบแยกชั้นผิวคลื่น (Stratified wavy flow, SWF) รูปแบบการไหลแบบฟอง (Bubble flow, BF) และรูปแบบการไหลแบบแท่ง (Slug flow, SF) ตามลำดับ โดยรูปแบบการไหลแบบวงแหวนที่พบมากที่สุด 41.331 % เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 90 °C ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm มีความยาวเฉลี่ยของฟองไออยู่ที่ 1.108 mm ความเร็วเฉลี่ยของฟองไอ 0.498 mm และค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ 6.010 kW/m² โดยพฤติกรรมการไหลจะเริ่มขึ้นจากเมื่อให้ความร้อนแก่สารทำงาน น้ำ จะทำให้เกิดการเดือด และเกิดฟองเป็นรูปแบบการไหลแบบฟอง (Bubble flow, BF) ขึ้นอย่างรวดเร็วและรวมตัวขยายจนมีขนาดใหญ่และยาวมากขึ้นเป็นรูปแบบการไหลแบบแท่ง (Slug flow, SF) พร้อมกับเคลื่อนที่ไปด้านบน ซึ่งเมื่อแท่งไอมีความเร็วมากๆ จะมีลักษณะหัวแหลมท้ายตัดคล้ายลูกปัด เมื่อแท่งไอขยายตัวต่อไป หรือแท่งไอเชื่อมต่อกันตรงกลาง สารทำงานสถานะของเหลวจะถูกผลักให้ไหลเป็นชั้นฟิล์มวงแหวนรอบผนังท่อ โดยความหนาของชั้นฟิล์มของเหลวด้านล่างมักจะมากกว่าด้านบน เรียกว่ารูปแบบการไหลแบบวงแหวน (Annular flow, AF) ต่อจากนั้น เมื่อสารทำงานสถานะไอจะขยายและยกตัวขึ้นสู่ด้านบนและผลักสารทำงานสถานะของเหลวลงมาด้านล่างทั้งหมด ทำให้เกิดเป็นชั้นของไอและของเหลวแยกจากกัน แต่เนื่องจากไอมีความเร็วมากกว่าของเหลวมาก ไอจึงไปรบกวนผิวหน้าของของเหลวทำให้รอยต่อระหว่างสองสถานะเกิดเป็นคลื่นขึ้น กลายเป็นรูปแบบการไหลแบบแยกชั้นผิวคลื่นคลื่น (Stratified wavy flow, SWF) เกิดขึ้น รูปแบบการไหลแต่ละรูปแบบจะเกิดขึ้นต่อเนื่องและตลอดเวลา แต่เนื่องจากสารทำงาน น้ำ มีจุดเดือดและแรงตึงผิวที่มากกว่า เอทานอล และ R-11 ทำให้การเริ่มต้นการทำงานทั้งระยะเวลานานในแต่ละรอบการไหล เพราะต้องสะสมแรงขับที่มากขึ้นในการเคลื่อนที่ไปยังส่วนควบแน่น ทำให้สารทำงานที่จะเคลื่อนที่ไปยังส่วนควบแน่นต้องรอเวลาสักพักในแต่ละรอบการไหล หลังจากนั้นเมื่อสารทำงานสถานะไอเจอความเย็นที่ส่วนควบแน่น ความร้อนถูกดึงออกไป สารทำงานก็เปลี่ยนสถานะกลับมาเป็นของเหลว รวมตัวกันจนมีน้ำหนักที่มากพอและไหลย้อนกลับมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกเพื่อรับความร้อนที่ส่วนทำระเหยต่อไป นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหยของท่อความร้อนมากขึ้น ความเร็วในการไหลของสารทำงานก็จะเพิ่มมากขึ้นสอดคล้องกับลักษณะการถ่ายความร้อนที่มากขึ้น แต่เนื่องจากรอบการไหลของสารทำงานน้ำนั้นทั้งระยะพอประมาณทำให้ต้องรอการเกิดขึ้นของรูปแบบการไหลแบบฟอง (Bubble flow, BF) และรูปแบบการไหลแบบแท่ง (Slug flow, SF) สักพักจนทำให้พบรูปแบบการไหลแบบวงแหวน (Annular flow, AF) และรูปแบบการไหลแบบแยกชั้นผิวคลื่นคลื่น (Stratified wavy flow, SWF) คงระดับอยู่นานและเป็นรูปแบบที่พบมากกว่าตามมา

ตาราง 11 พฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ 1.8 mm

L_e (mm)	T_e (°C)	Flow patterns	% Flow patterns	L_g (mm)	u_g (m/s)	q (kW/m ²)
600	60	BF	16.357	0.862	0.349	2.702
		SF	7.89			
		AF	38.086			
		SWF	37.667			
	75	BF	13.916	0.915	0.399	3.250
		SF	8.428			
		AF	38.952			
		SWF	38.704			
	90	BF	9.284	1.016	0.452	3.635
		SF	10.53			
		AF	40.388			
		SWF	39.798			
800	60	BF	12.099	0.855	0.39	3.823
		SF	9.952			
		AF	39.221			
		SWF	38.728			
	75	BF	10.393	0.909	0.478	4.337
		SF	9.501			
		AF	40.267			
		SWF	39.839			
	90	BF	7.101	1.105	0.498	4.806
		SF	11.099			
		AF	41.071			
		SWF	40.729			
1000	60	BF	13.324	0.877	0.394	4.983

L_e (mm)	T_e (°C)	Flow patterns	% Flow patterns	L_g (mm)	u_g (m/s)	q (kW/m ²)
75	60	SF	8.714	1.01	0.483	5.567
		AF	39.01			
		SWF	38.952			
	75	BF	8.941			
		SF	9.152			
		AF	41.011			
		SWF	40.896			
90	90	BF	5.783	1.108	0.498	6.010
		SF	11.982			
		AF	41.331			
		SWF	40.904			

4.3 แผนภูมิรูปแบบการไหล

จากการศึกษาพฤติกรรมรูปแบบการไหลของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงานน้ำ เอทานอล และ R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 1.8 2.4 และ 3.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 600 800 และ 1000 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิทช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.255 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย สามารถสร้างแผนภูมิรูปแบบการไหลได้ แสดงดังรูปภาพ 59 ซึ่งแผนภูมิรูปแบบการไหลเป็นความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์สัมพัทธ์ในสถานะไอและโมเมนต์สัมพัทธ์ในสถานะของเหลว และสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 พื้นที่ ได้แก่ แบบ Annular flow and Stratified wavy flow (AF/SWF) แบบ Annular flow and Slug flow (AF/SF) และแบบ Annular flow Stratified wavy flow Slug flow and Bubble flow (AF/SWF/SF/BF) จำแนกแต่ละพื้นที่ด้วยเส้นแบ่งขอบเขตระหว่างรูปแบบการไหลที่ต่างกันโดยประมาณ ซึ่งหากสารทำงานมีการไหลด้วยความเร็วที่สามารถข้ามเส้นแบ่งดังกล่าว รูปแบบการไหลที่พบจะเปลี่ยนแปลงไปเป็นอีกรูปแบบหนึ่ง

4.3.1 พื้นที่รูปแบบการไหลแบบ Annular flow and Stratified wavy flow (AF/SWF)

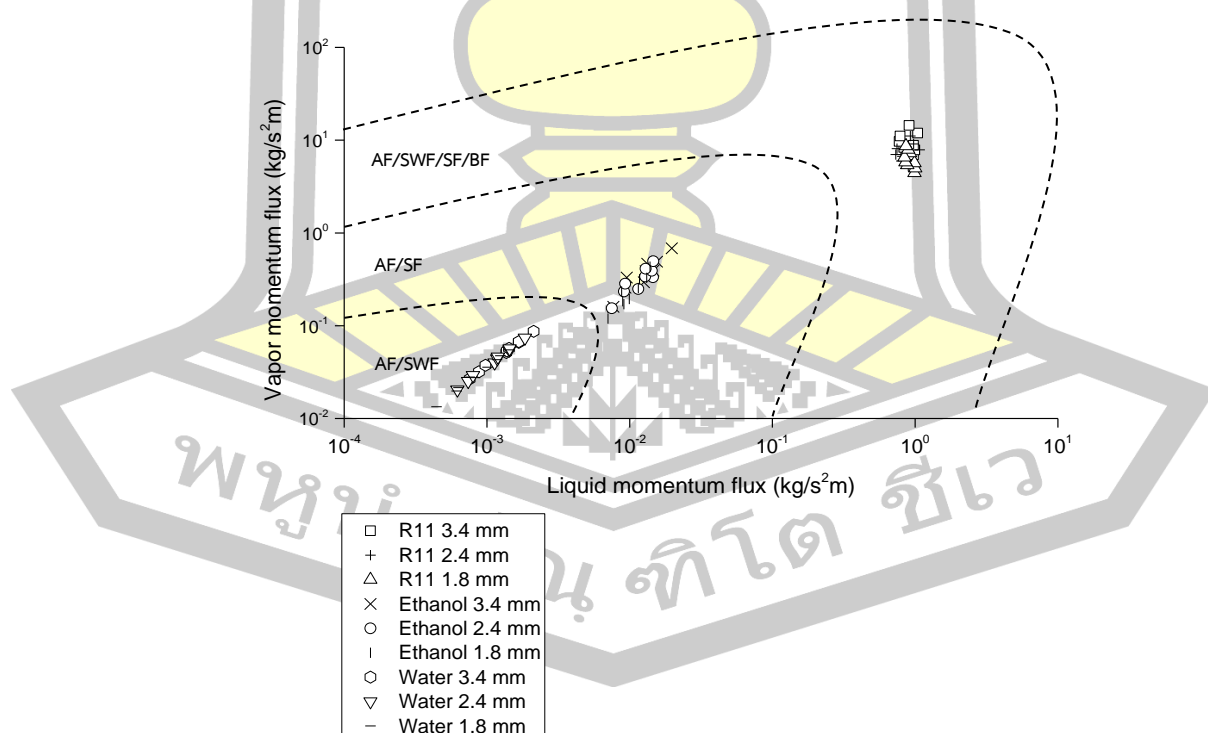
โดยพบว่าเกิดขึ้นกับท่อความร้อนที่ใช้สารทำงานน้ำ เนื่องจากเป็นสารทำงานที่ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุด จึงมักพบวอร์บการไหลเกิดขึ้นช้า แต่พอเกิดขึ้นจะคงสถานะรูปแบบการไหลแบบวงแหวนและแบบแยกชั้นผิวคลื่นอยู่ระยะเวลาหนึ่ง ก่อนจะเกิดการสะสมความร้อนรอบใหม่

4.3.2 พื้นที่รูปแบบการไหลแบบ Annular flow and Slug flow (AF/SF)

โดยพบว่าเกิดขึ้นกับท่อความร้อนที่ใช้สารทำงานเอทานอล แม้ว่าจะมีค่าการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่าสารทำงานน้ำ แต่การไหลก็เป็นไปได้ช้าเนื่องจากสารทำงานมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกัน แต่จะแตกต่างกันเล็กน้อยที่พฤติกรรมการไหลจะเกิดรูปแบบการไหลแบบต่อเนื่องไปเป็นรูปแบบการไหลแบบวงแหวนยาวตลอดจนขึ้นไปยังส่วนควบแน่นโดยที่เกิดรูปการไหลแบบแยกชั้นผิวคลื่นเป็นระยะสั้นๆ

4.3.3 พื้นที่รูปแบบการไหลแบบ Annular flow Stratified wavy flow Slug flow and Bubble flow (AF/SWF/SF/BF)

โดยพบว่าเกิดขึ้นกับท่อความร้อนที่ใช้สารทำงาน R-11 เนื่องจากเป็นสารทำงานที่มีจุดเดือดต่ำ ทำให้สามารถเริ่มต้นการทำงานได้อย่างรวดเร็วในแต่ระรอบการไหล จึงมักพบรูปแบบการไหลหลายรูปแบบเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องพร้อมกันไป และมีโมเมนตัมพลิกซ์ที่สูงเป็นไปในทิศทางเดียวกับการถ่ายเทความร้อนที่สูง



รูปภาพ 59 แผนภูมิรูปแบบการไหล

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงานน้ำ เอทานอล และ R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 1.8 2.4 และ 3.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 600 800 และ 1000 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิทช์ 10 mm ขนาดบอลลวาล์วกันกลับ 0.255 0.44 และ 1.036 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น สามารถสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะได้ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. ทางเข้าและทางออกของส่วนควบแน่นของท่อความร้อนชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ไม่เติมสารทำงานมีอุณหภูมิแตกต่างกันเล็กน้อย
2. ท่อความร้อนที่ใช้สารทำงาน R-11 จะมีการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าท่อความร้อนที่ใช้สารทำงานเอทานอล และน้ำตามลำดับ
3. ท่อความร้อนที่มีอุณหภูมิส่วนทำระเหย 90 °C จะมีการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ดีกว่าท่อความร้อนที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 75 °C และ 60 °C ตามลำดับ
4. ท่อความร้อนที่มีมุมเอียง 90 องศา กับแนวระดับ จะมีการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าท่อความร้อนที่มีมุมเอียง 60 องศา กับแนวระดับ และ 30 องศา กับแนวระดับตามลำดับ
5. ท่อความร้อนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางท่อขนาด 3.4 mm จะมีการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าท่อความร้อนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางท่อขนาด 2.4 mm และ 1.8 mm ตามลำดับ
6. ท่อความร้อนที่มีความยาวก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm จะมีการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าท่อความร้อนที่มีความยาวก่อนขดเป็นเกลียว 800 mm และ 600 mm ตามลำดับ
7. ท่อความร้อนที่มีขนาดของบอลลวาล์วกันกลับ 0.255 g จะมีการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าท่อความร้อนที่มีขนาดของบอลลวาล์วกันกลับ 0.44 g และ 1.036 g ตามลำดับ
8. ท่อความร้อนที่ติดตั้งวาล์วกันกลับในทิศทางขาลง จะมีการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าท่อความร้อนที่ติดตั้งวาล์วกันกลับในทิศทางขาขึ้น
9. ค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงสุดคือ 12.82 kW/m² เกิดขึ้นในท่อความร้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3.4 mm ความยาวท่อของส่วนทำระเหยกับส่วนควบแน่นก่อนขดเป็น

เกลียว 1000 mm สารทำงาน R-11 ท่อทำมุมเอียง 90° กับแนวระดับ ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.255 g ติดตั้งวาล์วกันกลับตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และให้ความร้อนส่วนทำระเหย 90°C

10. พฤติกรรมรูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับจะมีอยู่ 4 รูปแบบ คือ การไหลแบบฟอง (Bubble flow, BF) การไหลแบบแท่ง (Slug flow, SF) การไหลแบบวงแหวน (Annular flow, AF) และการไหลแบบแยกชั้นผิวคลื่น (Stratified wavy flow, SWF)

11. รูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่พบมากที่สุดคือ การไหลแบบวงแหวน (Annular flow, AF)

12. แผนภูมิรูปแบบการไหลเป็นความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์พลิกซ์ในสถานะไอและโมเมนต์พลิกซ์ในสถานะของเหลว และสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 พื้นที่ ได้แก่ แบบ Annular flow and Stratified wavy flow (AF/SWF) แบบ Annular flow and Slug flow (AF/SF) และแบบ Annular flow Stratified wavy flow Slug flow and Bubble flow (AF/SWF/SF/BF)

5.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัย

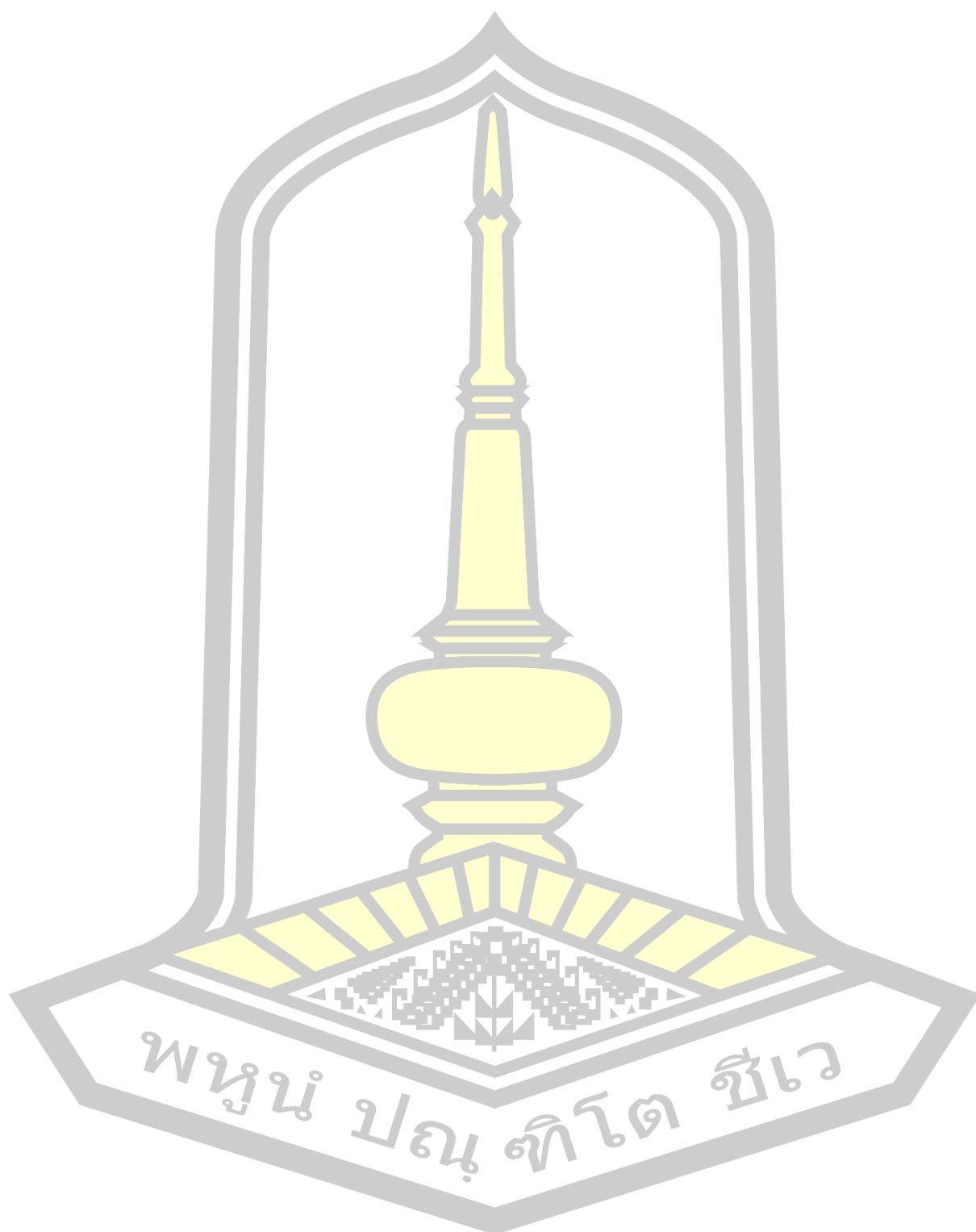
1. ควรศึกษาท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ใช้สารทำงานอื่นเพิ่มเติมต่อไป เพราะสารทำงานมีอิทธิพลต่อค่าการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมรูปแบบการไหลเป็นอย่างมาก

2. ควรศึกษาพฤติกรรมรูปแบบการไหลตรงวาล์วกันกลับและหลังจากนั้น เพื่อแสดงให้เห็นถึงความสำคัญและประโยชน์ของวาล์วกันกลับที่สามารถเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนให้ท่อความร้อนได้เป็นอย่างดีนั้นเกิดพฤติกรรมการไหลแบบใด รวมไปถึงพฤติกรรมการไหลกลับมารับความร้อนของสารทำงานว่าเป็นอย่างไรด้วย

3. ควรศึกษาการติดตั้งวาล์วกันกลับชนิดอื่นๆบนท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียวขด เช่น วาล์วกันกลับแบบทาสล่า ว่ามีอิทธิพลต่อค่าการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมรูปแบบการไหลอย่างไร เมื่อเทียบกับวาล์วกันกลับแบบบอลวาล์ว

พหุ ปรณ ทิโต ชีเว

บรรณานุกรม

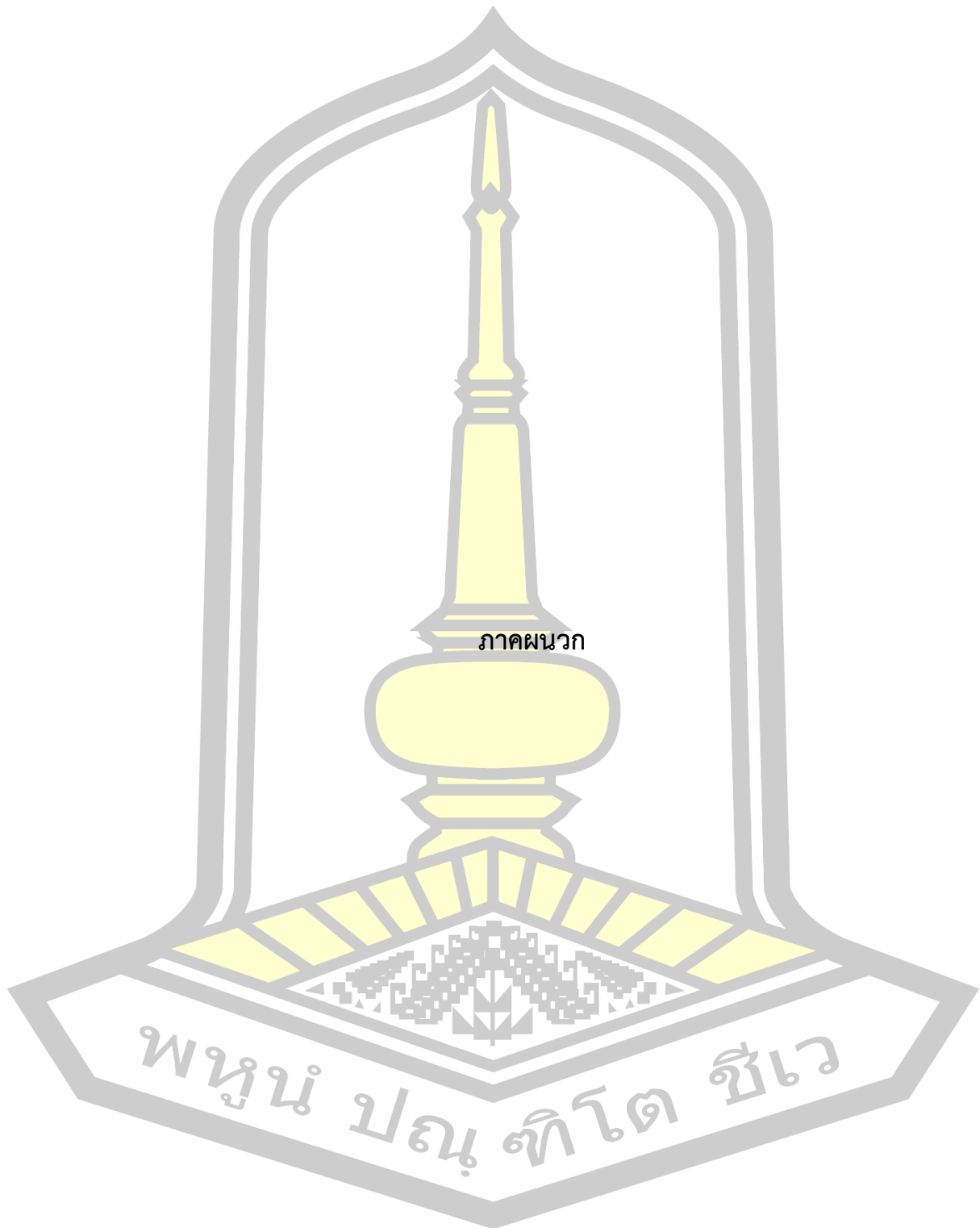


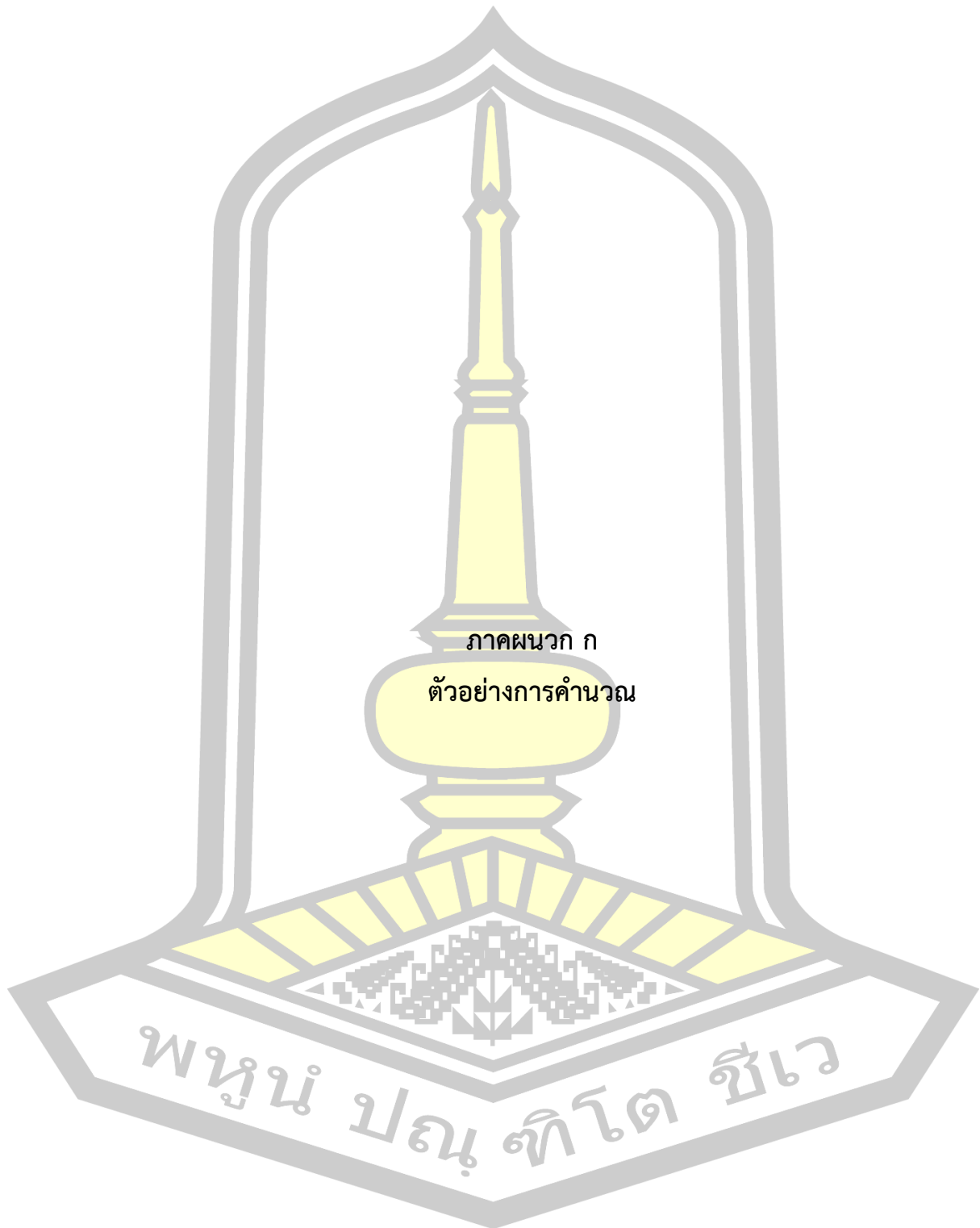
- ยุธนา ศรีอุดม. (2558). รูปแบบการไหลและการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ชนิดเกลียวขด. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- สัณหวัจน์ ทองแดง. (2555). ปัจจัยที่มีผลต่อรูปแบบการไหลภายในและคุณลักษณะการถ่ายโอนความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับที่หมดความร้อนอยู่ตำแหน่งด้านบน. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- สัมพันธ์ ฤทธิเดช. (2554). เทคโนโลยีท่อความร้อน. มหาสารคาม: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- Akachi, H. (1990). *Structure of a Heat Pipe*. US Patent No. 4921041.
- Bhuwakietkumjohn, N., & Rittidech, S. (2010). Internal flow patterns on heat transfer characteristics of a closed-loop oscillating heat-pipe with check valves using ethanol and a silver nano-ethanol mixture. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 34(8), 1000–1007.
- Brennen, C. E. (2005). Fundamentals of Multiphase Flow. In *Fundamentals of Multiphase Flow*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ebrahimi, M., Shafii, M. B., & Bijarchi, M. A. (2015). Experimental investigation of the thermal management of flat-plate closed-loop pulsating heat pipes with interconnecting channels. *Applied Thermal Engineering*, 90, 838–847.
- Gaugler, R. S. (1944). *Heat Transfer Device*. US Patent No. 2350348.
- Grover, G. M. (1966). *Evaporation-Condensation Heat Transfer Device*. US Patent No. 3229759.
- Gungor, K. E., & Winterton, R. H. S. (1986). A general correlation for flow boiling in tubes and annuli. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 29(3), 351–358.
- Hewitt, G. F., & Roberts, D. N. (1969). *Studies of two-phase flow patterns by simultaneous x-ray and fast photography*. Technical Report of Atomic Energy

Research Establishment, Harwell, United Kingdom.

- Karthikeyan, V. K., Khandekar, S., Pillai, B. C., & Sharma, P. K. (2014). Infrared thermography of a pulsating heat pipe: Flow regimes and multiple steady states. *Applied Thermal Engineering*, 62(2), 470–480.
- Kuang, Y. W., Wang, W., Zhuan, R., & Yi, C. C. (2015). Simulation of boiling flow in evaporator of separate type heat pipe with low heat flux. *Annals of Nuclear Energy*, 75, 158–167.
- Maezawa, S., Gi, K. Y., Minamisawa, A., & Akachi, H. (1995). Thermal Performance of Capillary Tube Thermosyphon. *Proceedings of the 9th International Heat Pipe Conference, 1-5 May 1995, Albuquerque, Mexico*. pp. 791–795.
- Miyazaki, Y., Polasek, S., & Akachi, H. (2000). Oscillating heat pipe with check valves. *Proceedings of the 6th International Heat Pipe Symposium, 5-9 November 2000, Chiang Mai, Thailand*. pp. 389–393.
- Paramatthanuwat, T., Boothaisong, S., Rittidech, S., & Booddachan, K. (2010). Heat transfer characteristics of a two-phase closed thermosyphon using de ionized water mixed with silver nano. *Heat and Mass Transfer*, 46(3), 281–285.
- Perkins, J. (1936). *Perkins Tube*. UK Patent No. 7059.
- Qu, J., Wu, H., & Cheng, P. (2012). Start-up, heat transfer and flow characteristics of silicon-based micro pulsating heat pipes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55(21–22), 6109–6120.
- Senjaya, R., & Inoue, T. (2013). Bubble generation in oscillating heat pipe. *Applied Thermal Engineering*, 60(1–2), 251–255.
- Silverstein, C. C. (1992). *Design and technology of heat pipes for cooling and heat exchange*. Florida: CRC Press.
- Sugimoto, K., Kamata, Y., Yoshida, T., Asano, H., Murakawa, H., Takenaka, N., & Mochiki, K. (2009). Flow visualization of refrigerant in a self-vibration heat pipe by neutron

- radiography. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 605(1–2), 200–203.
- Tesla, N. (1920). *Valvular Conduit*. US Patent No. 1329559.
- Thompson, S. M., Ma, H. B., & Wilson, C. (2011). Investigation of a flat-plate oscillating heat pipe with Tesla-type check valves. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 35(7), 1265–1273.
- Weisman, J., Duncan, D., Gibson, J., & Crawford, T. (1979). Effects of fluid properties and pipe diameter on two-phase flow patterns in horizontal lines. *International Journal of Multiphase Flow*, 5, 437–462.
- Weisman, J., & Kang, S. Y. (1981). Flow pattern transitions in vertical and upwardly inclined lines. *International Journal of Multiphase Flow*, 7, 271–291.
- Xian, H., Xu, W., Zhang, Y., Du, X., & Yang, Y. (2014). Thermal characteristics and flow patterns of oscillating heat pipe with pulse heating. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 79, 332–341.
- Xue, Z., Qu, W., & Xie, M. (2013). Full visualization and startup performance of an ammonia pulsating heat pipe. *Propulsion and Power Research*, 2(4), 263–268.
- Yi, J., Liu, Z. H., & Wang, J. (2003). Heat transfer characteristics of the evaporator section using small helical coiled pipes in a looped heat pipe. *Applied Thermal Engineering*, 23(1), 89–99.
- Yoon, I., Wilson, C., Borgmeyer, B., Winholtz, R. A., Ma, H. B., Jacobson, D. L., & Hussey, D. S. (2012). Neutron phase volumetry and temperature observations in an oscillating heat pipe. *International Journal of Thermal Sciences*, 60, 52–60.





ตัวอย่างการคำนวณการถ่ายเทความร้อน

จากสมการการถ่ายเทความร้อน

$$Q = \dot{m}c_p(T_{co} - T_{ci}) \quad (ก1)$$

- เมื่อ Q คือ ค่าการถ่ายเทความร้อน (heat transfer) (W)
 \dot{m} คือ ค่าอัตราการไหลเชิงมวล (mass flow rate) (kg/s)
 c_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ (specific heat at constant pressure) (kJ/kg °C)
 T_{co} คือ อุณหภูมิขาออกหลังจากผ่านส่วนควบแน่น (condenser outlet temperature) (°C)
 T_{ci} คือ อุณหภูมิขาเข้าก่อนผ่านส่วนควบแน่น (condenser inlet temperature) (°C)

ถ้า

$$T_{co} = 29.9 \text{ °C}$$

$$T_{ci} = 25.5 \text{ °C}$$

$$\dot{m} = 0.0058 \text{ kg/s}$$

$$c_p = 4.178 \text{ kJ/kg °C (สำหรับสารทำงานน้ำ)}$$

แทนค่าในสมการ (ก.1) จะได้

$$Q = 0.08636 \text{ kJ/s หรือ } 86.36 \text{ W}$$

ตัวอย่างการคำนวณการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่

จากสมการการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่

$$q = \frac{Q}{A_c} = \frac{Q}{\pi D_o L_c} \quad (ก2)$$

- เมื่อ q คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ (heat flux) (W/m²)
 A_c คือ พื้นที่ผิวทั้งหมดของท่อความร้อนส่วนควบแน่น (condenser surface area) (m²)
 D_o คือ เส้นผ่านศูนย์กลางกลางภายนอกของท่อความร้อน (outer diameter) (m)
 L_c คือ ความยาวของท่อความร้อนส่วนควบแน่น (condenser length) (m)

ถ้า

$$Q = 86.36 \text{ W}$$

$$D_o = 4.78 \text{ mm หรือ } 0.00478 \text{ m (ท่อความร้อนเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3.4 mm)}$$

$$L_c = 1000 \text{ mm หรือ } 1 \text{ m}$$

แทนค่าในสมการ (ก.2) จะได้

$$q = 5.75 \text{ kW/m}^2$$

ตัวอย่างการคำนวณค่าโมเมนต์แฝง

จากสมการค่าคุณภาพไอ (Vapor quality)

$$x = \frac{h_{TP} - h_l}{h_g - h_l} \quad (\text{ก3})$$

เมื่อ h_{TP} คือ ค่าเอนทาลปีของสองสถานะ (two-phase enthalpy) (J/kg)

h_l คือ ค่าเอนทาลปีในสถานะของเหลว (enthalpy in a liquid phase) (J/kg)

h_g คือ ค่าเอนทาลปีในสถานะไอ (enthalpy in a vapor phase) (J/kg)

แต่

$$h_{TP} = h_l + c_p (T_{working} - T_{ambient}) \quad (\text{ก4})$$

$$T_{working} = \frac{(T_{surface,Evaporator} - T_{surface,Condenser})}{2} = \frac{(90 - 68.19)}{2} = 79.095 \quad (\text{ก5})$$

เมื่อ

$$T_{ambient} = 25.0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_l @ 79.095 \text{ }^\circ\text{C} = 331.12 \text{ kJ/kg}$$

$$h_g @ 79.095 \text{ }^\circ\text{C} = 2641.56 \text{ kJ/kg}$$

$$c_p @ 79.095 \text{ }^\circ\text{C} = 4.19 \text{ kJ/kg }^\circ\text{C (สำหรับสารทำงานน้ำ)}$$

แทนค่าในสมการ (ก.4) จะได้

$$h_{TP} = 557.95 \text{ kJ/kg}$$

และแทนค่าในสมการ (ก.3) จะได้

$$x = 0.098178$$

จากสมการค่าฟลักซ์มวลของไอ (Mass flux of vapor)

$$G_g = \rho_g u_g \quad (ก6)$$

เมื่อ u_g คือ ค่าความเร็วของสารทำงานในสถานะไอ (superficial vapor velocity) (m/s)
 ρ_g คือ ค่าความหนาแน่นของสารทำงานในสถานะไอ (density of the working fluid in a vapor phase) (kg/m³)

แทนค่า

$$\rho_g @ 79.095 \text{ } ^\circ\text{C} = 0.284 \text{ kg/m}^3$$

$$u_g = 0.121 \text{ m/s}$$

ในสมการ (ก.6) จะได้

$$G_g = 0.03437 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

จากสมการค่าฟลักซ์มวลสองสถานะ (Mass flux of two-phase)

$$x = \frac{G_g}{G} = \frac{G_g}{G_g + G_l} \quad (ก7)$$

เมื่อ G_l คือ ค่าฟลักซ์มวลของของเหลว (liquid mass flux) (kg/m²s)

G_g คือ ค่าฟลักซ์มวลของไอ (vapor mass flux) (kg/m²s)

แทนค่า

$$x = 0.098178$$

$$G_g = 0.03437 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

ในสมการ (ก.7) จะได้

$$G = 0.35 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

จากสมการสำหรับคำนวณค่าโมเมนตัมฟลักซ์ในสถานะไอ (vapor momentum flux)

$$\rho_g u_g^2 = \frac{[G(1-x)]^2}{\rho_g} \quad (ก8)$$

แทนค่า

$$x = 0.098178$$

$$G = 0.35 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

$$\rho_g @ 79.095 \text{ }^\circ\text{C} = 0.284 \text{ kg/m}^3$$

ในสมการ (ก.8) จะได้

$$\rho_g u_g^2 = 0.004159 \text{ kg/s}^2\text{m}$$

จากสมการค่าโมเมนตัมฟลักซ์ในสถานะของเหลว (liquid momentum flux)

$$\rho_l u_l^2 = \frac{[G(1-x)]^2}{\rho_l} \quad (ก9)$$

เมื่อ u_l คือ ค่าความเร็วของสารทำงานในสถานะของเหลว (superficial liquid velocity) (m/s)

ρ_l คือ ค่าความหนาแน่นของสารทำงานในสถานะของเหลว (density of the working fluid in a liquid phase) (kg/m³)

แทนค่า

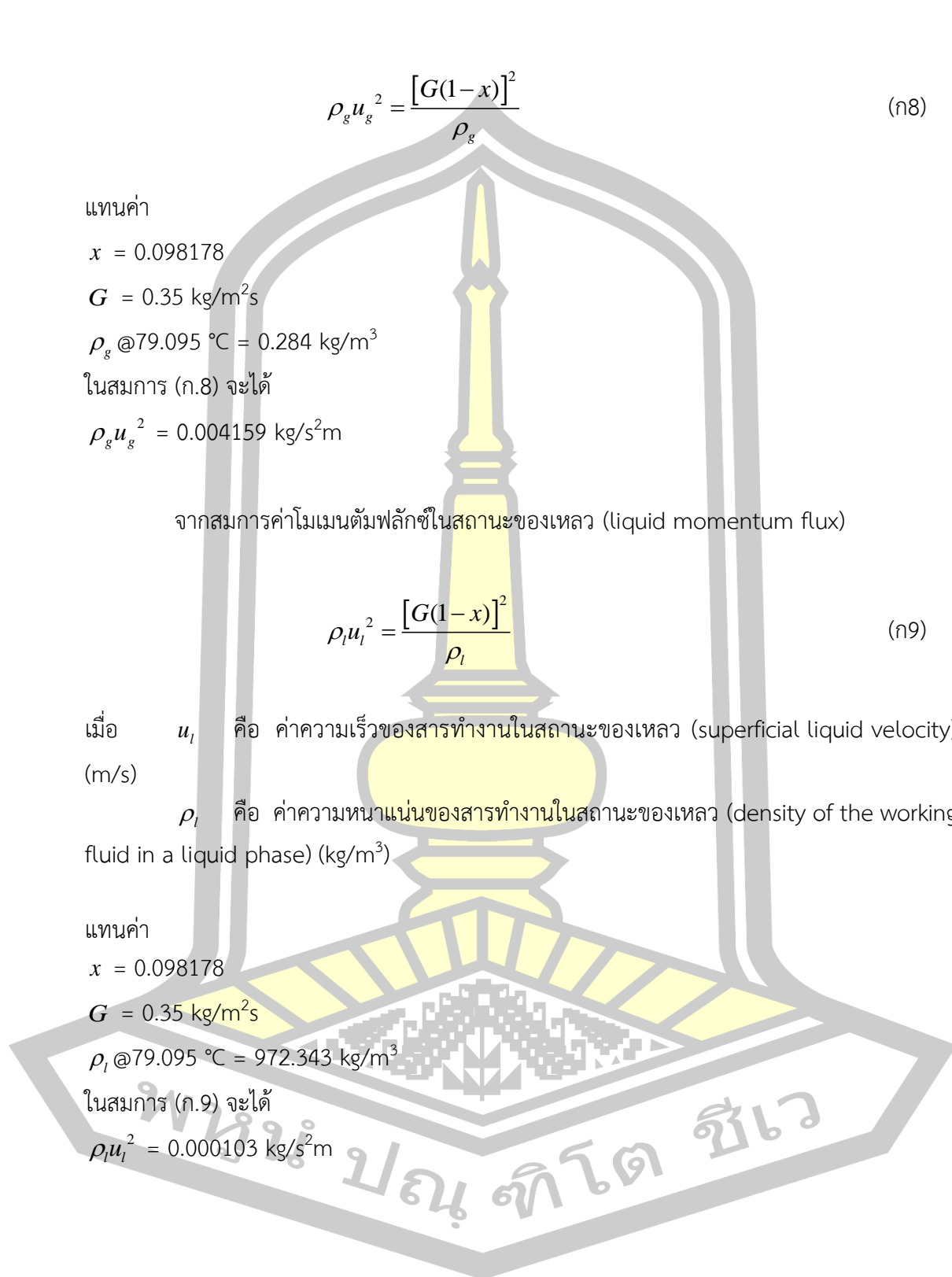
$$x = 0.098178$$

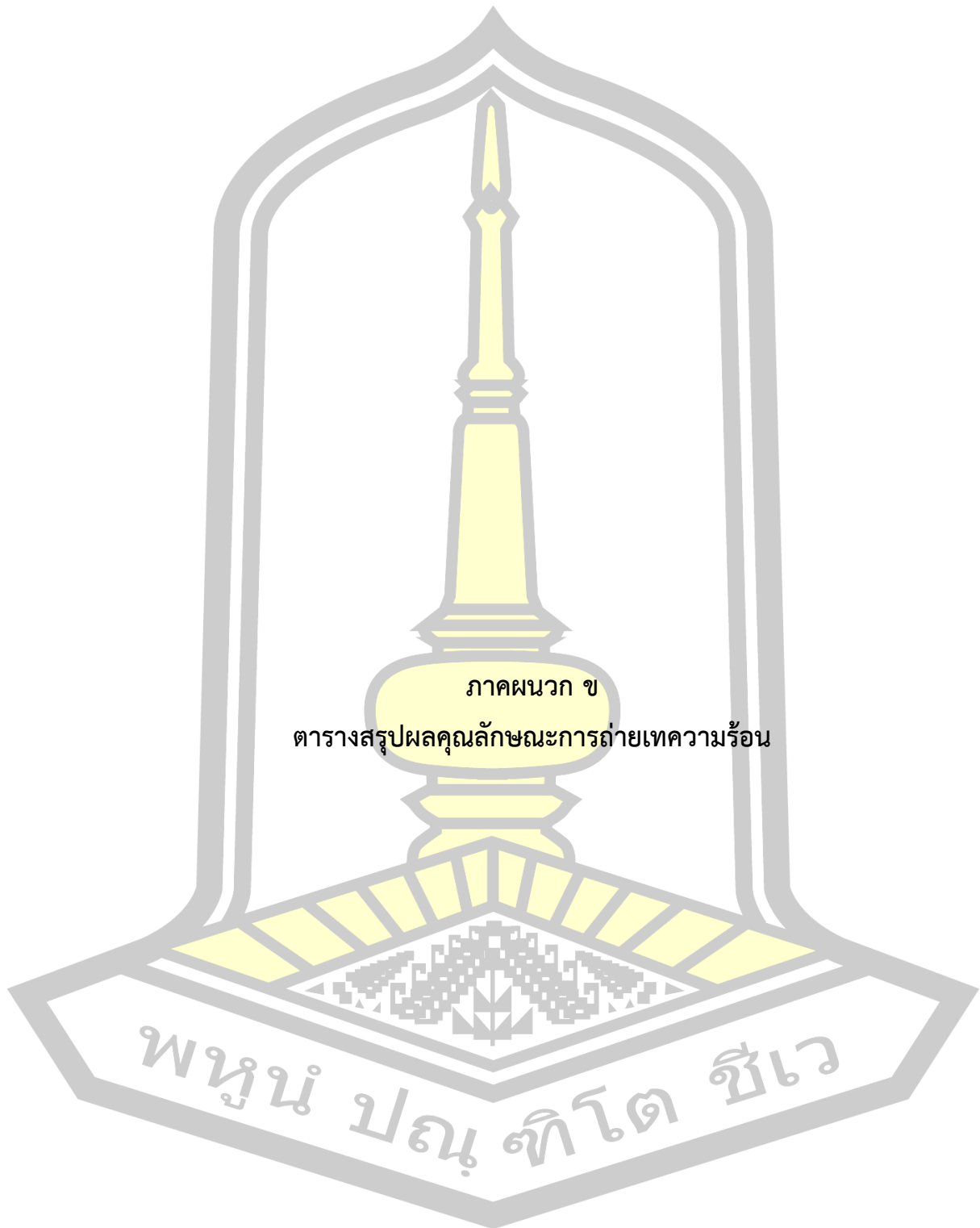
$$G = 0.35 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

$$\rho_l @ 79.095 \text{ }^\circ\text{C} = 972.343 \text{ kg/m}^3$$

ในสมการ (ก.9) จะได้

$$\rho_l u_l^2 = 0.000103 \text{ kg/s}^2\text{m}$$





ตาราง ข1 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบล้นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 3.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและ ส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 600 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลาง เกลียวขด 50 mm ระยะพิทช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.255 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำ ระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์ว กันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.2	27.9	2.7	62.69	6957.60
Up	60	60	25.8	28.7	2.9	66.28	7355.78
Up	60	90	25.3	28.3	3.1	71.65	7951.86
Up	75	30	25.7	28.6	2.9	66.52	7382.33
Up	75	60	25.8	28.8	3.0	69.37	7699.35
Up	75	90	25.1	28.3	3.2	74.21	8235.90
Up	90	30	25.2	28.3	3.1	71.70	7958.12
Up	90	60	25.7	29.0	3.2	74.81	8302.63
Up	90	90	25.3	28.7	3.4	78.49	8711.72
Down	60	30	25.9	28.8	2.9	68.03	7549.99
Down	60	60	25.3	28.5	3.1	72.86	8086.18
Down	60	90	25.8	29.1	3.3	75.87	8420.60
Down	75	30	25.7	28.9	3.2	74.24	8239.29
Down	75	60	25.1	28.5	3.4	78.39	8699.97
Down	75	90	25.6	29.1	3.5	81.52	9048.10
Down	90	30	25.3	28.7	3.4	78.62	8725.36
Down	90	60	25.6	29.2	3.6	83.52	9269.63
Down	90	90	25.4	29.2	3.8	87.19	9677.17

ตาราง ข2 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบล้นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 3.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและ ส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 600 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลาง เกลียวขด 50 mm ระยะพิทช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.44 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับ ที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.4	28.0	2.6	59.82	6639.14
Up	60	60	25.9	28.6	2.7	63.48	7045.00
Up	60	90	25.8	28.7	2.9	66.92	7426.80
Up	75	30	25.4	28.2	2.8	64.94	7207.69
Up	75	60	25.4	28.3	2.9	66.95	7430.51
Up	75	90	25.2	28.4	3.2	73.83	8193.97
Up	90	30	25.7	28.7	3.0	70.14	7784.52
Up	90	60	25.3	28.4	3.2	73.41	8147.56
Up	90	90	25.2	28.5	3.3	75.88	8421.95
Down	60	30	25.3	28.0	2.7	62.67	6955.03
Down	60	60	25.6	28.5	2.8	65.91	7315.68
Down	60	90	25.1	28.2	3.1	71.21	7903.37
Down	75	30	25.5	28.5	3.0	68.56	7609.20
Down	75	60	25.1	28.3	3.2	75.03	8326.99
Down	75	90	25.9	29.3	3.4	79.12	8781.24
Down	90	30	25.7	28.9	3.2	75.06	8331.02
Down	90	60	25.5	29.0	3.4	79.89	8866.69
Down	90	90	25.2	28.8	3.6	82.47	9153.10

ตาราง ข3 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบล้นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 3.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและ ส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 600 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลาง เกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 1.036 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำ ระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์ว กันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.6	28.0	2.4	54.59	6059.02
Up	60	60	25.8	28.3	2.5	58.03	6441.04
Up	60	90	25.7	28.4	2.7	62.10	6891.98
Up	75	30	25.1	27.7	2.6	59.75	6631.37
Up	75	60	25.3	28.1	2.8	64.41	7148.20
Up	75	90	25.3	28.3	3.0	69.01	7659.28
Up	90	30	25.2	28.1	2.9	66.77	7411.07
Up	90	60	25.8	28.8	3.0	68.83	7639.10
Up	90	90	25.7	28.9	3.1	72.45	8040.61
Down	60	30	25.1	27.7	2.5	58.75	6520.17
Down	60	60	25.2	27.9	2.7	62.82	6972.22
Down	60	90	25.3	28.1	2.8	64.52	7160.60
Down	75	30	25.8	28.6	2.7	63.54	7052.59
Down	75	60	25.5	28.4	2.9	67.42	7482.44
Down	75	90	25.6	28.7	3.1	72.76	8074.92
Down	90	30	25.1	28.2	3.0	70.04	7773.17
Down	90	60	25.5	28.7	3.2	74.32	8248.16
Down	90	90	25.4	28.8	3.4	79.25	8795.24

ตาราง ข4 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบล้นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 3.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและ ส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 800 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลาง เกลียวขด 50 mm ระยะพิทช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.255 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำ ระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์ว กันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_e (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.3	29.7	4.4	101.81	8475.00
Up	60	60	25.7	30.3	4.5	105.26	8762.25
Up	60	90	25.7	30.3	4.7	108.27	9012.37
Up	75	30	25.2	29.8	4.6	106.06	8828.02
Up	75	60	25.4	30.2	4.8	111.00	9240.03
Up	75	90	25.9	30.8	4.9	113.74	9468.09
Up	90	30	25.7	30.4	4.7	110.10	9164.51
Up	90	60	25.1	30.1	5.0	115.24	9592.56
Up	90	90	25.3	30.4	5.2	119.71	9964.42
Down	60	30	25.7	30.4	4.6	107.86	8978.28
Down	60	60	25.3	30.1	4.8	110.31	9182.44
Down	60	90	25.4	30.5	5.0	117.21	9756.50
Down	75	30	25.5	30.4	4.9	113.91	9481.75
Down	75	60	25.6	30.6	5.1	117.34	9767.78
Down	75	90	25.8	31.2	5.4	124.54	10366.43
Down	90	30	25.6	31.0	5.3	123.86	10310.52
Down	90	60	25.2	30.7	5.5	128.17	10668.85
Down	90	90	25.6	31.4	5.7	133.29	11095.28

ตาราง ข5 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบล้นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 3.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและ ส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 800 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลาง เกลียวขด 50 mm ระยะพิทช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.44 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับ ที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_e (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.4	29.6	4.2	96.81	8058.21
Up	60	60	25.1	29.4	4.3	100.26	8345.94
Up	60	90	25.1	29.6	4.5	103.33	8601.26
Up	75	30	25.6	30.0	4.4	102.24	8510.32
Up	75	60	25.5	30.0	4.6	105.71	8799.04
Up	75	90	25.3	30.1	4.8	111.77	9304.12
Up	90	30	25.8	30.6	4.7	109.70	9131.66
Up	90	60	25.6	30.6	4.9	113.89	9480.12
Up	90	90	25.1	30.2	5.1	118.64	9875.24
Down	60	30	25.5	29.9	4.4	101.76	8470.46
Down	60	60	25.8	30.5	4.7	108.38	9021.81
Down	60	90	25.3	30.2	4.9	114.45	9527.02
Down	75	30	25.6	30.4	4.8	110.32	9183.37
Down	75	60	25.7	30.7	5.0	115.68	9628.95
Down	75	90	25.9	31.2	5.3	123.04	10241.60
Down	90	30	25.7	30.9	5.2	120.46	10027.18
Down	90	60	25.8	31.1	5.3	124.10	10329.68
Down	90	90	25.9	31.3	5.5	126.97	10569.03

ตาราง ข6 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบล้นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 3.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและ ส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 800 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลาง เกลียวขด 50 mm ระยะพิทช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 1.036 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำ ระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์ว กันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_e (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.2	29.1	3.9	90.58	7540.26
Up	60	60	25.3	29.4	4.0	93.32	7768.04
Up	60	90	25.1	29.5	4.3	100.21	8341.17
Up	75	30	25.5	29.6	4.0	93.47	7780.84
Up	75	60	25.7	30.0	4.2	98.66	8212.51
Up	75	90	25.8	30.4	4.5	105.35	8769.74
Up	90	30	25.1	29.5	4.4	101.53	8451.34
Up	90	60	25.4	29.9	4.6	105.69	8797.56
Up	90	90	25.1	29.9	4.8	111.54	9284.32
Down	60	30	25.2	29.4	4.2	97.31	8100.09
Down	60	60	25.3	29.7	4.4	102.29	8514.90
Down	60	90	25.2	29.8	4.6	107.77	8970.48
Down	75	30	25.3	29.7	4.4	103.26	8595.26
Down	75	60	25.4	30.1	4.7	108.88	9062.99
Down	75	90	25.2	30.1	4.9	114.57	9536.59
Down	90	30	25.3	30.1	4.8	111.64	9292.91
Down	90	60	25.7	30.7	5.0	115.94	9650.87
Down	90	90	25.8	31.1	5.3	123.78	10303.21

ตาราง ข7 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 3.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและ ส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิทช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.255 g ให้ความร้อนที่ ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_e (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.7	32.2	6.5	149.97	9987.04
Up	60	60	25.6	32.4	6.7	156.54	10424.02
Up	60	90	25.1	32.1	7.0	161.91	10781.67
Up	75	30	25.8	32.7	6.9	160.07	10659.43
Up	75	60	25.5	32.7	7.2	166.77	11105.87
Up	75	90	25.4	32.8	7.4	171.45	11416.92
Up	90	30	25.2	32.5	7.3	170.34	11343.40
Up	90	60	25.7	33.2	7.5	174.46	11617.69
Up	90	90	25.9	33.6	7.8	180.13	11994.97
Down	60	30	25.9	32.8	6.9	161.10	10728.24
Down	60	60	25.5	32.8	7.3	168.38	11212.63
Down	60	90	25.2	32.7	7.5	174.28	11605.65
Down	75	30	25.1	32.4	7.3	169.48	11286.03
Down	75	60	25.4	33.1	7.7	177.67	11831.63
Down	75	90	25.6	33.6	7.9	184.26	12270.31
Down	90	30	25.6	33.4	7.8	181.46	12084.06
Down	90	60	25.5	33.6	8.1	187.36	12476.46
Down	90	90	25.7	34.0	8.3	192.58	12824.61

ตาราง ข8 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 3.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและ ส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.44 g ให้ความร้อนที่ส่วน ทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้ง วาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_e (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.4	31.6	6.1	142.69	9501.85
Up	60	60	25.7	32.1	6.4	147.73	9837.56
Up	60	90	25.5	32.0	6.6	152.70	10168.45
Up	75	30	25.6	32.1	6.5	150.11	9995.98
Up	75	60	25.3	32.1	6.8	158.06	10525.53
Up	75	90	25.1	32.1	7.0	162.61	10828.49
Up	90	30	25.2	32.1	6.9	159.91	10649.04
Up	90	60	25.3	32.5	7.2	166.93	11115.91
Up	90	90	25.3	32.7	7.4	170.76	11371.12
Down	60	30	25.6	32.1	6.5	151.20	10068.59
Down	60	60	25.7	32.5	6.8	158.49	10553.96
Down	60	90	25.2	32.4	7.2	167.44	11150.21
Down	75	30	25.9	33.0	7.1	164.82	10975.57
Down	75	60	25.8	33.1	7.3	169.57	11292.22
Down	75	90	25.7	33.2	7.5	174.50	11620.53
Down	90	30	25.4	32.9	7.4	172.72	11502.06
Down	90	60	25.6	33.2	7.7	178.35	11876.81
Down	90	90	25.7	33.6	7.9	182.83	12174.89

ตาราง ข9 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 3.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและ ส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิทช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 1.036 g ให้ความร้อนที่ ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_e (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.4	31.2	5.8	134.47	8954.86
Up	60	60	25.3	31.3	6.0	138.50	9222.71
Up	60	90	25.4	31.6	6.2	143.50	9556.28
Up	75	30	25.2	31.2	6.0	138.40	9216.26
Up	75	60	25.7	32.0	6.3	145.22	9670.28
Up	75	90	25.2	31.7	6.5	150.16	9999.61
Up	90	30	25.2	31.6	6.4	147.48	9820.73
Up	90	60	25.4	32.0	6.6	154.24	10271.38
Up	90	90	25.9	32.7	6.9	159.75	10638.12
Down	60	30	25.6	31.7	6.1	142.29	9475.55
Down	60	60	25.8	32.2	6.4	149.47	9953.37
Down	60	90	25.8	32.5	6.7	155.11	10328.94
Down	75	30	25.7	32.2	6.5	150.75	10038.58
Down	75	60	25.8	32.6	6.8	157.91	10515.67
Down	75	90	25.5	32.6	7.1	165.19	11000.60
Down	90	30	25.8	32.8	7.0	162.64	10830.30
Down	90	60	25.6	32.9	7.3	169.68	11299.65
Down	90	90	25.7	33.1	7.4	171.87	11445.15

ตาราง ข10 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและ ส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 600 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลาง เกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.255 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำ ระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์ว กันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.2	27.0	1.8	41.53	5987.02
Up	60	60	25.5	27.4	1.9	44.19	6371.24
Up	60	90	25.4	27.4	2.1	47.66	6870.43
Up	75	30	25.8	27.8	1.9	44.66	6438.70
Up	75	60	25.4	27.4	2.0	46.22	6663.19
Up	75	90	25.3	27.4	2.1	48.83	7038.91
Up	90	30	25.2	27.2	2.0	46.30	6674.78
Up	90	60	25.7	27.8	2.2	50.23	7241.36
Up	90	90	25.2	27.5	2.3	53.24	7674.93
Down	60	30	25.3	27.2	2.0	45.34	6536.57
Down	60	60	25.4	27.5	2.1	48.14	6939.49
Down	60	90	25.7	27.9	2.2	51.78	7464.61
Down	75	30	25.5	27.6	2.1	47.98	6916.67
Down	75	60	25.6	27.8	2.2	50.00	7207.62
Down	75	90	25.4	27.7	2.3	54.41	7844.04
Down	90	30	25.7	28.0	2.3	52.57	7578.82
Down	90	60	25.6	28.0	2.4	55.50	8001.50
Down	90	90	25.2	27.8	2.6	59.76	8615.44

ตาราง ข11 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและ ส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 600 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลาง เกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.44 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับ ที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.6	27.2	1.6	37.81	5450.30
Up	60	60	25.9	27.6	1.7	40.53	5843.22
Up	60	90	25.9	27.8	1.9	44.17	6366.93
Up	75	30	25.2	27.1	1.8	42.14	6075.56
Up	75	60	25.4	27.3	1.9	44.36	6394.49
Up	75	90	25.7	27.6	2.0	45.77	6597.95
Up	90	30	25.4	27.3	1.9	44.73	6448.04
Up	90	60	25.4	27.4	2.0	46.52	6706.17
Up	90	90	25.9	28.1	2.2	49.93	7197.66
Down	60	30	25.7	27.5	1.8	41.95	6048.19
Down	60	60	25.6	27.5	1.9	45.07	6498.07
Down	60	90	25.9	27.9	2.0	46.71	6733.63
Down	75	30	25.6	27.6	1.9	44.62	6431.87
Down	75	60	25.3	27.4	2.1	48.67	7015.90
Down	75	90	25.6	27.8	2.2	51.63	7443.12
Down	90	30	25.5	27.6	2.1	48.78	7032.94
Down	90	60	25.2	27.5	2.3	52.75	7604.63
Down	90	90	25.8	28.2	2.4	56.48	8141.74

ตาราง ข12 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและ ส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 600 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลาง เกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 1.036 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำ ระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์ว กันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.7	27.2	1.5	34.09	4914.73
Up	60	60	25.3	26.8	1.6	36.37	5243.64
Up	60	90	25.8	27.5	1.7	39.76	5731.68
Up	75	30	25.4	27.1	1.6	37.83	5453.11
Up	75	60	25.6	27.3	1.7	38.55	5557.28
Up	75	90	25.1	26.9	1.8	41.07	5920.34
Up	90	30	25.3	27.0	1.7	39.35	5673.06
Up	90	60	25.5	27.3	1.8	41.14	5931.03
Up	90	90	25.2	27.1	1.9	44.12	6359.78
Down	60	30	25.3	26.9	1.6	37.80	5449.24
Down	60	60	25.8	27.5	1.7	40.08	5778.34
Down	60	90	25.2	27.0	1.8	41.62	5999.78
Down	75	30	25.8	27.6	1.7	40.21	5797.25
Down	75	60	25.2	27.0	1.9	42.99	6197.48
Down	75	90	25.2	27.2	2.1	47.91	6906.14
Down	90	30	25.6	27.5	1.9	43.58	6283.23
Down	90	60	25.4	27.5	2.1	49.19	7091.83
Down	90	90	25.7	27.9	2.2	52.09	7508.73

ตาราง ข13 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและ ส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 800 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลาง เกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.255 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำ ระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์ว กันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_e (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.3	28.2	3.0	68.70	7428.20
Up	60	60	25.6	28.7	3.1	72.38	7826.00
Up	60	90	25.3	28.6	3.3	76.15	8233.31
Up	75	30	25.6	28.7	3.1	73.05	7897.76
Up	75	60	25.8	29.1	3.3	77.51	8380.01
Up	75	90	25.7	29.1	3.4	78.80	8519.52
Up	90	30	25.6	28.9	3.3	76.97	8322.08
Up	90	60	25.8	29.3	3.5	80.98	8755.27
Up	90	90	25.3	28.9	3.6	84.64	9151.30
Down	60	30	25.7	28.9	3.2	75.33	8144.44
Down	60	60	25.8	29.1	3.3	77.73	8404.12
Down	60	90	25.6	29.1	3.5	80.22	8673.92
Down	75	30	25.2	28.4	3.3	76.09	8226.44
Down	75	60	25.4	28.9	3.5	81.69	8832.42
Down	75	90	25.7	29.4	3.7	85.61	9256.65
Down	90	30	25.5	29.1	3.6	83.47	9025.26
Down	90	60	25.5	29.3	3.8	87.62	9473.77
Down	90	90	25.2	29.2	4.0	92.98	10052.68

ตาราง ข14 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและ ส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 800 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลาง เกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.44 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับ ที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.4	28.1	2.8	64.08	6928.24
Up	60	60	25.3	28.2	2.9	66.92	7236.03
Up	60	90	25.5	28.6	3.1	72.50	7839.12
Up	75	30	25.4	28.4	3.0	70.08	7577.37
Up	75	60	25.3	28.4	3.1	71.31	7710.31
Up	75	90	25.7	28.9	3.2	74.71	8077.47
Up	90	30	25.5	28.5	3.0	69.83	7549.94
Up	90	60	25.4	28.7	3.2	75.03	8111.97
Up	90	90	25.2	28.6	3.4	78.54	8491.84
Down	60	30	25.5	28.5	3.0	69.46	7510.33
Down	60	60	25.1	28.2	3.1	71.48	7728.73
Down	60	90	25.3	28.6	3.3	76.37	8257.29
Down	75	30	25.4	28.6	3.2	74.80	8087.33
Down	75	60	25.1	28.5	3.3	77.50	8379.73
Down	75	90	25.3	28.8	3.5	80.64	8718.59
Down	90	30	25.7	29.0	3.4	78.48	8485.54
Down	90	60	25.4	29.0	3.6	83.15	8990.37
Down	90	90	25.3	29.0	3.8	87.85	9498.33

ตาราง ข15 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและ ส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 800 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลาง เกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 1.036 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำ ระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์ว กันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.7	28.3	2.6	59.49	6431.96
Up	60	60	25.1	27.9	2.7	63.77	6894.46
Up	60	90	25.4	28.3	2.9	66.73	7214.94
Up	75	30	25.5	28.3	2.8	65.24	7054.31
Up	75	60	25.3	28.3	3.0	70.30	7601.17
Up	75	90	25.3	28.4	3.1	72.58	7847.10
Up	90	30	25.8	28.7	2.9	68.08	7361.33
Up	90	60	25.7	28.9	3.2	73.34	7929.65
Up	90	90	25.7	29.0	3.3	76.21	8239.75
Down	60	30	25.2	28.0	2.8	64.98	7025.34
Down	60	60	25.8	28.7	2.9	66.49	7189.45
Down	60	90	25.2	28.3	3.0	69.75	7541.05
Down	75	30	25.4	28.3	2.9	68.27	7381.45
Down	75	60	25.7	28.8	3.1	71.82	7764.93
Down	75	90	25.3	28.7	3.4	77.85	8417.33
Down	90	30	25.1	28.4	3.2	75.38	8150.44
Down	90	60	25.1	28.6	3.4	79.90	8639.09
Down	90	90	25.7	29.3	3.6	83.63	9041.77

ตาราง ข16 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและ ส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.255 g ให้ความร้อนที่ ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.7	30.2	4.5	103.91	8987.79
Up	60	60	25.6	30.2	4.6	107.74	9318.83
Up	60	90	25.5	30.2	4.7	110.26	9537.43
Up	75	30	25.1	29.7	4.6	107.70	9315.63
Up	75	60	25.2	30.0	4.8	111.83	9673.09
Up	75	90	25.6	30.5	4.9	113.91	9852.84
Up	90	30	25.8	30.6	4.8	112.26	9710.29
Up	90	60	25.5	30.5	5.0	116.07	10039.68
Up	90	90	25.6	30.8	5.2	120.53	10425.16
Down	60	30	25.7	30.4	4.7	109.61	9480.57
Down	60	60	25.7	30.5	4.8	111.70	9661.45
Down	60	90	25.8	30.9	5.1	117.39	10154.29
Down	75	30	25.2	30.1	4.9	113.73	9837.25
Down	75	60	25.2	30.4	5.2	120.50	10422.90
Down	75	90	25.9	31.3	5.4	126.38	10931.31
Down	90	30	25.7	30.9	5.3	122.52	10597.27
Down	90	60	25.4	30.9	5.5	127.18	11001.13
Down	90	90	25.7	31.3	5.7	131.47	11371.84

ตาราง ข17 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและ ส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.44 g ให้ความร้อนที่ส่วน ทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้ง วาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_e (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.3	29.4	4.2	97.27	8413.34
Up	60	60	25.4	29.7	4.3	99.91	8642.03
Up	60	90	25.8	30.2	4.4	101.95	8818.71
Up	75	30	25.4	29.7	4.3	99.14	8574.91
Up	75	60	25.2	29.8	4.5	105.47	9122.81
Up	75	90	25.5	30.1	4.6	107.34	9284.25
Up	90	30	25.6	30.1	4.5	104.64	9050.90
Up	90	60	25.8	30.5	4.7	110.20	9532.01
Up	90	90	25.8	30.7	4.9	113.54	9821.20
Down	60	30	25.5	29.9	4.5	103.33	8937.71
Down	60	60	25.1	29.7	4.6	106.21	9187.14
Down	60	90	25.5	30.2	4.8	111.29	9626.27
Down	75	30	25.2	29.9	4.7	109.29	9453.21
Down	75	60	25.7	30.6	4.9	113.17	9788.77
Down	75	90	25.3	30.4	5.1	117.25	10141.40
Down	90	30	25.7	30.7	5.0	115.35	9977.39
Down	90	60	25.8	31.2	5.3	123.56	10687.90
Down	90	90	25.8	31.3	5.5	127.42	11021.72

ตาราง ข18 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและ ส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิทช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 1.036 g ให้ความร้อนที่ ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.1	29.1	4.0	92.92	8037.47
Up	60	60	25.6	29.7	4.1	95.54	8263.72
Up	60	90	25.3	29.6	4.3	100.75	8714.17
Up	75	30	25.3	29.6	4.2	98.26	8498.90
Up	75	60	25.6	30.0	4.4	101.31	8762.89
Up	75	90	25.8	30.3	4.5	105.22	9101.33
Up	90	30	25.1	29.5	4.4	101.50	8779.14
Up	90	60	25.7	30.3	4.6	106.94	9249.96
Up	90	90	25.3	30.1	4.8	110.76	9580.57
Down	60	30	25.8	30.0	4.2	97.65	8446.68
Down	60	60	25.6	30.0	4.4	102.12	8833.32
Down	60	90	25.2	29.8	4.6	107.07	9260.92
Down	75	30	25.3	29.7	4.5	103.57	8958.27
Down	75	60	25.2	30.0	4.7	110.11	9523.97
Down	75	90	25.4	30.3	4.9	113.01	9775.02
Down	90	30	25.6	30.4	4.8	112.17	9702.07
Down	90	60	25.8	30.8	5.0	115.39	9980.58
Down	90	90	25.5	30.7	5.2	121.65	10522.81

ตาราง ข19 คุณสมบัติของการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณฐานรูปวงรีชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 1.8 mm ความยาวส่วนทำระเหยและ ส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 600 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลาง เกลียวขด 50 mm ระยะพิทช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.255 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำ ระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์ว กันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.8	27.1	1.3	30.06	5015.46
Up	60	60	25.5	26.9	1.4	31.87	5316.61
Up	60	90	25.9	27.4	1.5	34.23	5710.46
Up	75	30	25.2	26.6	1.4	32.13	5360.43
Up	75	60	25.6	27.1	1.5	34.40	5738.16
Up	75	90	25.4	27.0	1.6	37.35	6230.51
Up	90	30	25.7	27.1	1.5	33.97	5666.77
Up	90	60	25.9	27.6	1.6	37.57	6267.24
Up	90	90	25.9	27.5	1.7	38.40	6405.54
Down	60	30	25.5	26.9	1.4	32.61	5440.88
Down	60	60	25.8	27.3	1.5	35.59	5937.53
Down	60	90	25.1	26.7	1.6	36.88	6152.00
Down	75	30	25.9	27.4	1.5	35.59	5937.39
Down	75	60	25.2	26.8	1.6	38.26	6382.85
Down	75	90	25.2	27.0	1.8	40.68	6786.57
Down	90	30	25.8	27.5	1.7	38.68	6452.87
Down	90	60	25.9	27.8	1.8	41.87	6984.87
Down	90	90	25.6	27.5	1.9	45.07	7518.66

ตาราง ข20 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 1.8 mm ความยาวส่วนทำระเหยและ ส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 600 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลาง เกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.44 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับ ที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.6	26.8	1.2	27.37	4565.65
Up	60	60	25.6	26.8	1.2	28.17	4699.06
Up	60	90	25.5	26.7	1.3	29.90	4987.51
Up	75	30	25.1	26.4	1.2	28.78	4801.02
Up	75	60	25.6	26.9	1.3	30.01	5006.62
Up	75	90	25.8	27.1	1.4	31.77	5300.45
Up	90	30	25.4	26.7	1.3	29.95	4995.93
Up	90	60	25.3	26.7	1.4	32.22	5374.60
Up	90	90	25.2	26.8	1.5	35.68	5951.86
Down	60	30	25.7	27.0	1.3	30.32	5057.49
Down	60	60	25.5	26.9	1.4	31.58	5268.31
Down	60	90	25.6	27.1	1.4	33.41	5572.98
Down	75	30	25.7	27.0	1.3	30.98	5168.04
Down	75	60	25.3	26.8	1.5	34.01	5674.12
Down	75	90	25.4	27.0	1.6	37.60	6272.35
Down	90	30	25.5	27.1	1.6	36.35	6064.52
Down	90	60	25.3	26.9	1.7	38.81	6474.94
Down	90	90	25.8	27.6	1.8	41.53	6929.06

ตาราง ข21 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 1.8 mm ความยาวส่วนทำระเหยและ ส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 600 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลาง เกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 1.036 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำ ระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์ว กันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.4	26.5	1.0	23.61	3939.57
Up	60	60	25.2	26.3	1.1	24.81	4139.66
Up	60	90	25.8	27.0	1.2	27.18	4535.20
Up	75	30	25.6	26.7	1.1	25.36	4231.23
Up	75	60	25.5	26.7	1.2	28.26	4714.46
Up	75	90	25.4	26.7	1.3	29.12	4857.39
Up	90	30	25.6	26.8	1.2	28.18	4701.17
Up	90	60	25.8	27.2	1.3	30.27	5049.97
Up	90	90	25.2	26.6	1.4	32.39	5402.86
Down	60	30	25.6	26.8	1.2	27.49	4586.16
Down	60	60	25.6	26.9	1.3	30.30	5054.18
Down	60	90	25.4	26.7	1.3	31.23	5209.67
Down	75	30	25.3	26.6	1.3	30.49	5085.94
Down	75	60	25.3	26.7	1.4	31.96	5332.14
Down	75	90	25.8	27.3	1.5	34.39	5737.58
Down	90	30	25.7	27.1	1.4	33.47	5584.03
Down	90	60	25.9	27.4	1.5	35.53	5927.72
Down	90	90	25.8	27.5	1.7	38.99	6504.32

ตาราง ข22 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 1.8 mm ความยาวส่วนทำระเหยและ ส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 800 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลาง เกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.255 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำ ระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์ว กันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.6	27.8	2.2	51.57	6451.98
Up	60	60	25.1	27.5	2.3	54.23	6785.19
Up	60	90	26.0	28.4	2.4	55.53	6948.05
Up	75	30	25.1	27.4	2.3	52.93	6622.53
Up	75	60	25.3	27.8	2.5	58.09	7268.70
Up	75	90	25.5	28.1	2.6	59.58	7454.61
Up	90	30	25.9	28.4	2.5	58.02	7259.61
Up	90	60	25.1	27.9	2.7	63.52	7948.35
Up	90	90	25.3	28.2	2.8	65.31	8172.28
Down	60	30	25.2	27.6	2.4	55.89	6993.31
Down	60	60	25.5	28.1	2.6	60.29	7543.78
Down	60	90	25.6	28.3	2.7	62.25	7788.64
Down	75	30	25.7	28.3	2.6	60.80	7607.88
Down	75	60	25.4	28.2	2.8	65.26	8165.45
Down	75	90	25.5	28.4	2.9	67.37	8429.57
Down	90	30	25.5	28.3	2.8	66.00	8257.98
Down	90	60	25.1	28.1	3.0	69.25	8664.21
Down	90	90	25.7	28.8	3.1	72.07	9017.87

ตาราง ข23 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 1.8 mm ความยาวส่วนทำระเหยและ ส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 800 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลาง เกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.44 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับ ที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.2	27.2	2.1	47.66	5962.73
Up	60	60	26.0	28.2	2.2	51.38	6428.19
Up	60	90	25.9	28.2	2.3	52.58	6579.39
Up	75	30	25.2	27.3	2.1	48.97	6127.16
Up	75	60	25.7	28.1	2.3	53.74	6724.65
Up	75	90	25.5	27.9	2.4	55.68	6966.63
Up	90	30	25.6	27.9	2.3	53.11	6645.04
Up	90	60	25.9	28.3	2.5	57.60	7206.66
Up	90	90	25.3	27.9	2.6	60.44	7562.50
Down	60	30	26.0	28.2	2.2	51.78	6478.42
Down	60	60	25.4	27.7	2.3	53.85	6737.54
Down	60	90	25.9	28.5	2.5	58.71	7346.31
Down	75	30	25.3	27.7	2.4	56.31	7045.28
Down	75	60	25.3	27.9	2.6	59.89	7493.20
Down	75	90	25.8	28.5	2.7	61.92	7747.67
Down	90	30	25.3	27.9	2.6	60.74	7600.26
Down	90	60	25.6	28.4	2.8	65.41	8183.80
Down	90	90	25.6	28.6	3.0	68.53	8574.15

ตาราง ข24 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณฐานวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 1.8 mm ความยาวส่วนทำระเหยและ ส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 800 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลาง เกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 1.036 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำ ระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์ว กันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.6	27.5	1.9	43.41	5431.62
Up	60	60	25.1	27.1	2.0	46.15	5774.78
Up	60	90	25.8	27.8	2.1	47.65	5962.10
Up	75	30	25.7	27.7	1.9	45.26	5663.37
Up	75	60	25.8	27.8	2.1	47.65	5962.32
Up	75	90	25.2	27.5	2.2	51.65	6462.93
Up	90	30	25.5	27.5	2.1	47.75	5974.08
Up	90	60	25.4	27.6	2.3	52.73	6598.08
Up	90	90	25.7	28.1	2.4	55.76	6976.86
Down	60	30	25.4	27.4	2.1	47.64	5960.78
Down	60	60	25.5	27.7	2.2	50.41	6307.26
Down	60	90	25.3	27.6	2.3	54.34	6798.53
Down	75	30	25.3	27.5	2.2	50.99	6379.66
Down	75	60	25.5	27.9	2.4	54.79	6855.24
Down	75	90	25.6	28.2	2.5	59.03	7385.79
Down	90	30	25.5	27.8	2.4	55.20	6906.43
Down	90	60	25.8	28.4	2.6	60.71	7596.16
Down	90	90	25.5	28.3	2.8	64.07	8016.45

ตาราง ข25 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส้นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 1.8 mm ความยาวส่วนทำระเหยและ ส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิทช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.255 g ให้ความร้อนที่ ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.4	28.8	3.5	80.57	8065.02
Up	60	60	25.1	28.7	3.6	83.93	8401.07
Up	60	90	25.9	29.6	3.7	85.34	8542.00
Up	75	30	25.6	29.2	3.5	82.40	8248.33
Up	75	60	25.6	29.3	3.6	84.62	8470.49
Up	75	90	25.7	29.5	3.8	88.92	8900.63
Up	90	30	25.3	29.0	3.7	86.73	8681.69
Up	90	60	25.5	29.4	3.9	89.54	8962.25
Up	90	90	25.8	29.9	4.1	94.54	9463.10
Down	60	30	25.5	29.2	3.6	84.24	8432.65
Down	60	60	25.8	29.5	3.7	85.84	8592.22
Down	60	90	25.7	29.6	3.9	90.76	9084.67
Down	75	30	25.5	29.3	3.8	89.36	8944.80
Down	75	60	25.3	29.3	4.0	93.64	9373.62
Down	75	90	25.4	29.5	4.2	96.61	9670.50
Down	90	30	25.3	29.4	4.1	95.13	9522.22
Down	90	60	25.1	29.4	4.3	99.34	9943.88
Down	90	90	25.2	29.7	4.5	105.11	10520.75

ตาราง ข26 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 1.8 mm ความยาวส่วนทำระเหยและ ส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.44 g ให้ความร้อนที่ส่วน ทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้ง วาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.7	28.9	3.2	74.47	7454.20
Up	60	60	25.3	28.6	3.3	76.21	7628.38
Up	60	90	25.3	28.8	3.5	81.68	8175.68
Up	75	30	25.3	28.7	3.4	77.82	7789.24
Up	75	60	25.9	29.5	3.6	82.52	8260.46
Up	75	90	25.7	29.5	3.8	88.33	8841.65
Up	90	30	25.5	29.1	3.6	84.39	8447.48
Up	90	60	25.5	29.3	3.7	86.91	8699.32
Up	90	90	25.3	29.3	3.9	91.35	9144.14
Down	60	30	25.7	29.1	3.5	80.31	8039.07
Down	60	60	25.8	29.4	3.6	83.92	8400.15
Down	60	90	25.2	29.0	3.8	87.70	8779.03
Down	75	30	25.6	29.2	3.7	85.35	8543.63
Down	75	60	25.9	29.7	3.8	88.19	8827.79
Down	75	90	25.4	29.4	4.0	92.78	9287.38
Down	90	30	25.2	29.1	3.9	91.15	9123.45
Down	90	60	25.5	29.6	4.1	95.39	9548.15
Down	90	90	25.8	30.1	4.3	99.62	9971.52

ตาราง ข27 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงาน R-11 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 1.8 mm ความยาวส่วนทำระเหยและ ส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 1.036 g ให้ความร้อนที่ ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.5	28.5	3.0	69.75	6981.60
Up	60	60	25.6	28.8	3.2	73.90	7397.43
Up	60	90	25.2	28.5	3.3	75.63	7570.14
Up	75	30	25.6	28.7	3.1	72.25	7232.11
Up	75	60	25.2	28.5	3.3	76.50	7657.57
Up	75	90	25.5	29.0	3.5	82.04	8212.33
Up	90	30	25.5	29.0	3.4	79.97	8005.13
Up	90	60	25.5	29.1	3.6	83.89	8396.85
Up	90	90	25.4	29.2	3.7	86.85	8693.02
Down	60	30	25.6	28.8	3.3	75.52	7558.88
Down	60	60	25.8	29.1	3.4	78.10	7817.43
Down	60	90	25.6	29.2	3.6	84.29	8437.61
Down	75	30	25.8	29.4	3.5	82.10	8218.02
Down	75	60	25.2	28.9	3.7	85.05	8512.87
Down	75	90	25.8	29.6	3.8	88.00	8809.02
Down	90	30	25.7	29.4	3.7	85.04	8512.35
Down	90	60	25.6	29.4	3.9	89.58	8966.45
Down	90	90	25.8	30.0	4.1	95.52	9561.61

ตาราง ข28 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานเอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 3.4 mm ความยาวส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 600 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิทช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.255 g ให้ความร้อนที่ ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.2	27.1	1.9	44.93	4986.27
Up	60	60	25.4	27.4	2.0	46.16	5122.62
Up	60	90	25.5	27.6	2.1	48.84	5420.66
Up	75	30	25.7	27.7	2.0	47.10	5228.00
Up	75	60	25.6	27.7	2.1	49.19	5459.48
Up	75	90	25.7	28.0	2.3	53.60	5948.66
Up	90	30	25.2	27.3	2.2	50.40	5594.18
Up	90	60	25.3	27.6	2.4	54.72	6072.69
Up	90	90	25.6	28.0	2.5	57.48	6379.44
Down	60	30	25.3	27.4	2.1	48.78	5413.65
Down	60	60	25.2	27.4	2.2	51.29	5692.15
Down	60	90	25.7	28.0	2.3	53.48	5935.57
Down	75	30	25.2	27.4	2.2	51.19	5681.71
Down	75	60	25.5	27.9	2.4	55.96	6210.70
Down	75	90	25.1	27.7	2.6	59.95	6654.13
Down	90	30	25.7	28.2	2.5	58.88	6535.25
Down	90	60	25.4	28.0	2.7	62.20	6903.20
Down	90	90	25.6	28.5	2.9	67.34	7474.23

ตาราง ข29 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณฐานรูปวงรีชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงานเอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 3.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 600 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.44 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.1	26.9	1.7	40.20	4461.16
Up	60	60	25.9	27.7	1.8	42.11	4673.54
Up	60	90	25.4	27.4	2.0	45.49	5048.99
Up	75	30	25.1	27.0	1.8	42.89	4759.77
Up	75	60	25.4	27.5	2.0	46.78	5191.84
Up	75	90	25.6	27.8	2.2	50.14	5564.99
Up	90	30	25.4	27.4	2.0	47.00	5216.04
Up	90	60	25.1	27.3	2.2	51.78	5746.39
Up	90	90	25.5	27.9	2.4	55.37	6145.13
Down	60	30	25.0	27.0	2.0	46.19	5126.62
Down	60	60	25.2	27.3	2.1	48.87	5424.21
Down	60	90	25.6	27.8	2.2	51.48	5713.56
Down	75	30	25.1	27.2	2.1	49.07	5446.29
Down	75	60	25.6	27.9	2.3	54.48	6046.76
Down	75	90	25.0	27.5	2.5	57.79	6413.69
Down	90	30	25.4	27.8	2.4	56.28	6246.07
Down	90	60	25.4	28.0	2.6	59.88	6646.26
Down	90	90	25.5	28.2	2.7	63.49	7046.81

ตาราง ข30 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานเอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 3.4 mm ความยาวส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 600 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 1.036 g ให้ความร้อนที่ ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.2	26.7	1.6	36.04	4000.03
Up	60	60	25.2	26.8	1.7	38.53	4276.83
Up	60	90	25.4	27.2	1.8	41.07	4558.06
Up	75	30	25.8	27.5	1.7	40.47	4491.82
Up	75	60	25.2	27.1	1.9	43.30	4806.24
Up	75	90	25.3	27.3	2.1	48.10	5338.32
Up	90	30	25.4	27.4	2.0	45.89	5092.77
Up	90	60	25.8	27.9	2.1	49.81	5528.68
Up	90	90	25.9	28.1	2.2	51.84	5753.73
Down	60	30	25.2	27.0	1.8	42.38	4703.68
Down	60	60	25.6	27.5	2.0	45.36	5034.53
Down	60	90	25.3	27.5	2.2	50.32	5585.18
Down	75	30	25.1	27.1	2.1	48.06	5333.89
Down	75	60	25.5	27.7	2.2	51.75	5743.59
Down	75	90	25.4	27.7	2.3	54.45	6042.80
Down	90	30	25.6	27.9	2.3	52.64	5842.56
Down	90	60	25.5	27.9	2.4	56.51	6271.80
Down	90	90	25.6	28.2	2.5	58.92	6539.07

ตาราง ข31 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณฐานรูปวงรีชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานเอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 3.4 mm ความยาวส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 800 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิทช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.255 g ให้ความร้อนที่ ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_e (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.6	29.0	3.4	78.28	6515.84
Up	60	60	25.4	28.9	3.5	82.04	6829.28
Up	60	90	25.4	29.1	3.7	85.42	7110.12
Up	75	30	25.5	29.0	3.5	81.27	6764.55
Up	75	60	25.6	29.3	3.7	85.93	7152.45
Up	75	90	26.0	29.9	3.9	90.74	7552.91
Up	90	30	25.1	28.9	3.8	89.02	7409.90
Up	90	60	25.2	29.1	3.9	91.36	7604.87
Up	90	90	25.8	30.0	4.2	96.78	8055.56
Down	60	30	25.8	29.4	3.6	83.61	6959.54
Down	60	60	25.3	29.0	3.7	86.62	7210.21
Down	60	90	25.2	29.2	4.0	93.29	7765.39
Down	75	30	25.3	29.1	3.8	88.14	7336.37
Down	75	60	25.0	29.0	4.0	92.61	7708.67
Down	75	90	25.2	29.5	4.3	100.47	8363.41
Down	90	30	25.1	29.2	4.1	95.45	7945.13
Down	90	60	25.3	29.7	4.4	101.79	8473.08
Down	90	90	25.3	29.9	4.6	107.59	8956.05

ตาราง ข32 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานเอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 3.4 mm ความยาวส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 800 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.44 g ให้ความร้อนที่ส่วน ทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้ง วาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_e (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.5	28.6	3.1	72.75	6055.69
Up	60	60	25.4	28.7	3.3	76.46	6364.37
Up	60	90	25.7	29.1	3.4	78.19	6508.54
Up	75	30	25.1	28.3	3.3	76.18	6341.06
Up	75	60	25.2	28.6	3.4	79.22	6594.42
Up	75	90	25.2	28.8	3.6	82.76	6888.72
Up	90	30	25.2	28.6	3.4	78.94	6571.26
Up	90	60	25.4	29.1	3.7	85.25	7096.17
Up	90	90	25.9	29.8	3.8	89.36	7438.00
Down	60	30	25.1	28.5	3.4	79.15	6588.53
Down	60	60	25.7	29.2	3.5	80.54	6703.91
Down	60	90	25.4	29.1	3.7	85.06	7080.79
Down	75	30	25.7	29.2	3.6	82.66	6880.85
Down	75	60	25.5	29.3	3.8	87.65	7295.82
Down	75	90	25.7	29.8	4.1	94.59	7873.62
Down	90	30	25.3	29.2	3.9	90.89	7565.82
Down	90	60	25.8	30.1	4.2	98.14	8169.20
Down	90	90	25.1	29.5	4.4	101.14	8419.03

ตาราง ข33 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานเอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 3.4 mm ความยาวส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 800 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 1.036 g ให้ความร้อนที่ ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.9	28.8	2.9	66.80	5560.50
Up	60	60	25.3	28.3	3.0	68.90	5735.43
Up	60	90	25.3	28.6	3.3	76.37	6357.19
Up	75	30	25.7	28.8	3.0	70.16	5840.29
Up	75	60	25.6	28.9	3.3	76.19	6341.65
Up	75	90	25.2	28.7	3.4	79.63	6628.07
Up	90	30	25.1	28.4	3.3	77.60	6459.66
Up	90	60	25.4	29.0	3.6	82.69	6883.17
Up	90	90	25.5	29.3	3.8	87.67	7297.26
Down	60	30	25.2	28.4	3.1	72.55	6039.24
Down	60	60	25.2	28.6	3.3	77.17	6423.91
Down	60	90	25.2	28.7	3.5	80.79	6725.02
Down	75	30	25.3	28.7	3.4	79.14	6587.89
Down	75	60	25.2	28.9	3.7	85.58	7123.39
Down	75	90	25.9	29.8	3.9	89.99	7491.15
Down	90	30	25.5	29.3	3.8	88.33	7352.18
Down	90	60	25.4	29.4	4.0	92.45	7695.85
Down	90	90	25.4	29.6	4.2	97.18	8089.38

ตาราง ข34 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานเอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 3.4 mm ความยาวส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิทช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.255 g ให้ความร้อนที่ ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_e (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.2	30.4	5.2	119.99	7990.41
Up	60	60	25.5	30.8	5.3	123.90	8250.66
Up	60	90	25.5	31.0	5.5	128.42	8551.71
Up	75	30	25.5	31.0	5.4	126.51	8424.80
Up	75	60	25.6	31.1	5.6	129.11	8597.47
Up	75	90	25.5	31.4	5.8	135.12	8997.97
Up	90	30	25.5	31.2	5.7	133.03	8858.81
Up	90	60	25.5	31.4	6.0	138.25	9206.33
Up	90	90	25.6	31.8	6.2	144.62	9630.28
Down	60	30	25.9	31.4	5.6	128.86	8580.97
Down	60	60	25.8	31.6	5.8	135.16	9000.44
Down	60	90	25.5	31.7	6.2	144.69	9635.15
Down	75	30	25.1	31.2	6.1	140.47	9353.93
Down	75	60	25.2	31.4	6.2	144.70	9635.88
Down	75	90	25.4	31.8	6.4	148.69	9901.74
Down	90	30	25.3	31.6	6.2	145.07	9660.24
Down	90	60	25.1	31.6	6.5	150.89	10047.81
Down	90	90	25.2	31.9	6.7	156.51	10422.43

ตาราง ข35 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานเอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 3.4 mm ความยาวส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.44 g ให้ความร้อนที่ส่วน ทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้ง วาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_e (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.1	30.0	4.9	113.83	7580.24
Up	60	60	25.8	30.9	5.1	118.93	7919.70
Up	60	90	25.1	30.5	5.3	124.17	8268.51
Up	75	30	25.7	30.9	5.1	119.19	7937.39
Up	75	60	25.1	30.5	5.4	125.52	8358.86
Up	75	90	25.7	31.3	5.6	129.86	8647.50
Up	90	30	25.4	30.8	5.4	126.27	8408.60
Up	90	60	25.5	31.1	5.7	131.57	8761.47
Up	90	90	25.2	31.1	5.9	137.20	9136.70
Down	60	30	25.6	30.8	5.2	119.87	7982.19
Down	60	60	25.2	30.6	5.4	124.82	8311.73
Down	60	90	25.2	30.9	5.7	131.27	8741.56
Down	75	30	25.7	31.4	5.6	130.42	8685.22
Down	75	60	25.6	31.5	5.9	136.83	9112.09
Down	75	90	25.5	31.5	6.1	140.66	9366.96
Down	90	30	25.3	31.2	5.9	136.75	9106.79
Down	90	60	25.9	32.1	6.2	143.92	9584.24
Down	90	90	25.8	32.3	6.5	150.24	10004.49

ตาราง ข36 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณฐานรูปวงรีชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานเอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 3.4 mm ความยาวส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิทช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 1.036 g ให้ความร้อนที่ ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_e (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.1	29.6	4.5	105.28	7010.82
Up	60	60	25.8	30.5	4.7	108.95	7255.14
Up	60	90	26.0	30.9	4.9	114.66	7635.35
Up	75	30	25.9	30.7	4.8	112.01	7459.03
Up	75	60	25.7	30.7	5.0	117.00	7791.50
Up	75	90	25.4	30.5	5.1	119.18	7936.55
Up	90	30	25.8	30.8	5.0	116.16	7735.12
Up	90	60	26.0	31.2	5.2	121.57	8095.91
Up	90	90	25.8	31.3	5.5	128.68	8568.97
Down	60	30	25.8	30.7	4.9	112.76	7508.67
Down	60	60	25.3	30.3	5.1	117.31	7812.16
Down	60	90	25.6	31.0	5.4	125.21	8338.06
Down	75	30	25.4	30.7	5.2	121.31	8078.39
Down	75	60	25.6	31.2	5.5	127.85	8514.01
Down	75	90	25.7	31.4	5.7	133.13	8865.72
Down	90	30	25.1	30.7	5.5	127.75	8507.31
Down	90	60	25.7	31.6	5.9	136.05	9059.78
Down	90	90	25.3	31.4	6.2	143.01	9523.58

ตาราง ข37 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานเอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2.4 mm ความยาวส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 600 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิทช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.255 g ให้ความร้อนที่ ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.1	26.3	1.2	28.41	4095.66
Up	60	60	25.3	26.7	1.3	30.86	4449.35
Up	60	90	25.4	26.9	1.5	34.14	4921.47
Up	75	30	25.6	27.0	1.4	31.92	4600.94
Up	75	60	25.3	26.7	1.5	33.71	4859.15
Up	75	90	25.7	27.2	1.6	36.39	5246.38
Up	90	30	25.7	27.2	1.5	35.88	5172.53
Up	90	60	25.5	27.1	1.6	37.95	5471.13
Up	90	90	25.5	27.2	1.7	39.09	5635.17
Down	60	30	25.6	27.0	1.4	33.20	4786.67
Down	60	60	25.5	27.0	1.5	35.75	5153.67
Down	60	90	25.5	27.2	1.7	39.31	5666.83
Down	75	30	25.6	27.1	1.6	36.47	5257.24
Down	75	60	25.6	27.3	1.7	39.42	5683.43
Down	75	90	25.4	27.2	1.8	41.10	5924.79
Down	90	30	25.5	27.2	1.7	39.46	5688.23
Down	90	60	25.3	27.2	1.8	42.73	6159.52
Down	90	90	25.7	27.6	2.0	46.05	6638.70

ตาราง ข38 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานเอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2.4 mm ความยาวส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 600 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.44 g ให้ความร้อนที่ส่วน ทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้ง วาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.3	26.4	1.1	25.49	3674.05
Up	60	60	25.2	26.4	1.2	27.85	4015.47
Up	60	90	25.5	26.8	1.3	29.87	4305.44
Up	75	30	25.7	26.9	1.2	28.29	4077.76
Up	75	60	25.6	26.9	1.3	30.21	4355.77
Up	75	90	25.4	26.7	1.4	32.16	4636.49
Up	90	30	25.4	26.8	1.4	31.50	4540.75
Up	90	60	25.5	26.9	1.5	34.04	4907.10
Up	90	90	25.2	26.8	1.6	36.05	5197.46
Down	60	30	25.1	26.4	1.2	28.37	4089.91
Down	60	60	25.3	26.6	1.3	30.45	4389.54
Down	60	90	25.4	26.9	1.4	33.47	4824.46
Down	75	30	25.5	26.9	1.4	32.93	4747.37
Down	75	60	25.3	26.9	1.5	35.50	5117.57
Down	75	90	25.3	26.9	1.6	38.02	5480.82
Down	90	30	25.2	26.8	1.6	36.49	5260.38
Down	90	60	25.2	26.9	1.7	39.09	5635.95
Down	90	90	25.4	27.2	1.8	42.20	6083.06

ตาราง ข39 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานเอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2.4 mm ความยาวส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 600 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 1.036 g ให้ความร้อนที่ ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.1	26.0	0.9	20.90	3012.51
Up	60	60	25.8	26.9	1.0	23.54	3393.04
Up	60	90	25.6	26.7	1.1	25.43	3665.57
Up	75	30	25.8	26.9	1.1	24.70	3560.48
Up	75	60	25.2	26.3	1.2	26.83	3868.21
Up	75	90	25.4	26.6	1.2	28.81	4152.93
Up	90	30	25.1	26.3	1.2	27.30	3935.45
Up	90	60	25.5	26.8	1.3	29.29	4222.50
Up	90	90	25.4	26.7	1.4	31.90	4598.79
Down	60	30	25.5	26.6	1.1	25.02	3607.44
Down	60	60	25.6	26.8	1.2	27.32	3939.11
Down	60	90	25.6	26.9	1.3	30.36	4376.97
Down	75	30	25.7	26.9	1.2	28.42	4097.28
Down	75	60	25.3	26.7	1.4	31.82	4587.29
Down	75	90	25.1	26.6	1.5	33.68	4855.66
Down	90	30	25.3	26.6	1.4	32.19	4640.55
Down	90	60	25.3	26.8	1.5	35.36	5096.91
Down	90	90	25.7	27.4	1.6	37.61	5421.84

ตาราง ข40 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานเอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2.4 mm ความยาวส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 800 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิทช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.255 g ให้ความร้อนที่ ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.2	27.4	2.2	51.28	5544.75
Up	60	60	25.3	27.6	2.4	54.96	5942.21
Up	60	90	25.1	27.6	2.5	57.45	6211.09
Up	75	30	25.6	28.1	2.4	56.40	6098.13
Up	75	60	25.4	28.0	2.6	60.13	6501.52
Up	75	90	25.2	27.9	2.7	63.21	6833.98
Up	90	30	25.2	27.8	2.7	61.57	6656.84
Up	90	60	25.4	28.1	2.8	64.47	6971.08
Up	90	90	25.6	28.5	2.9	67.66	7315.84
Down	60	30	25.4	27.9	2.5	57.62	6229.85
Down	60	60	25.7	28.3	2.6	60.16	6504.18
Down	60	90	25.5	28.3	2.8	65.74	7108.27
Down	75	30	25.7	28.4	2.8	64.21	6942.61
Down	75	60	25.3	28.3	2.9	67.89	7340.14
Down	75	90	25.7	28.7	3.0	69.49	7513.79
Down	90	30	25.7	28.6	2.9	68.09	7362.05
Down	90	60	25.6	28.7	3.1	71.60	7742.02
Down	90	90	25.8	29.0	3.2	73.99	7999.44

ตาราง ข41 การถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ สารทำงานเอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น ก่อนขดเป็นเกลียว 800 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิทช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.44 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่ง ด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.4	27.4	2.0	46.17	4992.45
Up	60	60	25.6	27.8	2.2	50.67	5478.31
Up	60	90	25.6	27.9	2.3	53.59	5794.55
Up	75	30	25.1	27.4	2.2	52.21	5644.93
Up	75	60	25.3	27.7	2.4	56.60	6119.32
Up	75	90	25.3	27.9	2.6	59.39	6420.88
Up	90	30	25.2	27.7	2.5	57.42	6208.42
Up	90	60	25.3	28.0	2.6	61.03	6598.32
Up	90	90	25.2	27.9	2.7	63.66	6883.39
Down	60	30	25.1	27.3	2.2	51.36	5553.32
Down	60	60	25.5	27.9	2.4	55.58	6008.91
Down	60	90	25.2	27.8	2.6	61.33	6630.99
Down	75	30	25.1	27.7	2.5	59.05	6385.05
Down	75	60	25.1	27.8	2.7	62.45	6751.98
Down	75	90	25.3	28.1	2.8	64.42	6964.92
Down	90	30	25.3	28.0	2.7	62.69	6777.81
Down	90	60	25.5	28.4	2.9	66.31	7170.01
Down	90	90	25.7	28.7	3.0	68.50	7406.48

ตาราง ข42 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานเอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2.4 mm ความยาวส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 800 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิทช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 1.036 g ให้ความร้อนที่ ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.5	27.3	1.8	42.86	4634.10
Up	60	60	25.3	27.3	1.9	44.60	4821.93
Up	60	90	25.5	27.5	2.0	47.51	5136.55
Up	75	30	25.6	27.6	2.0	45.89	4962.00
Up	75	60	25.1	27.2	2.1	49.88	5393.38
Up	75	90	25.1	27.4	2.2	51.62	5581.23
Up	90	30	25.4	27.5	2.1	49.32	5332.51
Up	90	60	25.5	27.8	2.3	54.25	5865.34
Up	90	90	25.3	27.8	2.5	57.77	6245.93
Down	60	30	25.2	27.2	2.1	47.66	5153.25
Down	60	60	25.3	27.4	2.2	50.75	5486.84
Down	60	90	25.3	27.6	2.3	54.36	5877.38
Down	75	30	25.1	27.3	2.2	50.20	5427.49
Down	75	60	25.1	27.6	2.4	55.77	6030.33
Down	75	90	25.2	27.8	2.5	58.29	6302.04
Down	90	30	25.3	27.7	2.4	56.07	6061.89
Down	90	60	25.4	28.0	2.6	60.64	6556.32
Down	90	90	25.2	28.0	2.8	65.23	7052.56

ตาราง ข43 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณฐานรูปวงรีชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานเอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2.4 mm ความยาวส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิทช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.255 g ให้ความร้อนที่ ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_e (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.2	28.7	3.5	81.95	7088.76
Up	60	60	25.2	28.9	3.7	85.59	7403.56
Up	60	90	25.2	28.9	3.8	88.06	7617.06
Up	75	30	25.2	28.9	3.7	86.11	7447.97
Up	75	60	25.3	29.1	3.9	89.82	7769.46
Up	75	90	25.3	29.3	4.0	91.83	7942.79
Up	90	30	25.4	29.2	3.9	89.68	7757.20
Up	90	60	25.3	29.4	4.1	94.56	8179.38
Up	90	90	25.2	29.4	4.3	99.10	8571.48
Down	60	30	25.2	28.9	3.8	87.41	7560.77
Down	60	60	25.6	29.5	3.9	91.07	7876.94
Down	60	90	25.8	29.9	4.2	96.84	8376.80
Down	75	30	25.3	29.4	4.1	94.48	8172.38
Down	75	60	25.7	29.9	4.3	98.82	8548.09
Down	75	90	25.2	29.7	4.4	102.94	8904.31
Down	90	30	25.4	29.7	4.3	99.80	8632.49
Down	90	60	25.7	30.2	4.5	105.25	9103.71
Down	90	90	25.7	30.5	4.8	111.65	9657.77

ตาราง ข44 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานเอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2.4 mm ความยาวส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.44 g ให้ความร้อนที่ส่วน ทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้ง วาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_e (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.4	28.6	3.3	75.66	6544.39
Up	60	60	25.5	28.9	3.4	78.23	6767.02
Up	60	90	25.6	29.1	3.5	81.95	7088.42
Up	75	30	25.4	28.8	3.5	80.14	6931.97
Up	75	60	25.3	29.0	3.7	86.02	7440.63
Up	75	90	25.5	29.3	3.8	88.04	7615.03
Up	90	30	25.5	29.2	3.7	86.34	7468.28
Up	90	60	25.4	29.4	4.0	92.15	7970.59
Up	90	90	25.6	29.8	4.1	95.75	8282.46
Down	60	30	25.2	28.8	3.5	81.61	7058.69
Down	60	60	25.3	29.0	3.7	86.96	7521.39
Down	60	90	25.5	29.4	3.9	91.65	7927.77
Down	75	30	25.4	29.2	3.8	87.21	7543.17
Down	75	60	25.8	29.8	4.0	92.82	8028.58
Down	75	90	25.4	29.6	4.2	97.57	8439.73
Down	90	30	25.1	29.2	4.1	95.61	8270.07
Down	90	60	25.6	29.9	4.3	100.22	8669.06
Down	90	90	25.8	30.3	4.5	105.63	9136.56

ตาราง ข45 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานเอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2.4 mm ความยาวส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิทช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 1.036 g ให้ความร้อนที่ ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.1	28.0	2.9	68.38	5914.83
Up	60	60	25.3	28.4	3.1	72.65	6283.88
Up	60	90	25.3	28.6	3.3	77.17	6674.78
Up	75	30	25.5	28.7	3.2	74.58	6450.72
Up	75	60	25.4	28.8	3.4	79.56	6881.39
Up	75	90	25.5	29.1	3.6	83.50	7222.25
Up	90	30	25.7	29.1	3.5	80.45	6958.64
Up	90	60	25.5	29.2	3.6	84.64	7321.19
Up	90	90	25.4	29.2	3.8	88.93	7692.32
Down	60	30	25.6	28.9	3.3	76.44	6611.55
Down	60	60	25.7	29.2	3.5	80.31	6946.62
Down	60	90	25.5	29.1	3.6	83.48	7220.66
Down	75	30	25.7	29.3	3.6	82.60	7144.97
Down	75	60	25.6	29.3	3.8	87.60	7577.29
Down	75	90	25.3	29.3	4.0	91.99	7956.72
Down	90	30	25.6	29.5	3.9	89.48	7739.35
Down	90	60	25.5	29.6	4.1	95.47	8257.97
Down	90	90	25.6	29.9	4.3	99.35	8593.67

ตาราง ข46 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณฐานวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานเอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 1.8 mm ความยาวส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 600 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิทช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.255 g ให้ความร้อนที่ ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.2	26.0	0.8	18.19	3034.68
Up	60	60	25.3	26.2	0.9	20.03	3341.37
Up	60	90	25.4	26.3	0.9	21.63	3609.07
Up	75	30	25.3	26.2	0.9	20.65	3445.44
Up	75	60	25.6	26.6	1.0	22.53	3759.44
Up	75	90	25.4	26.4	1.1	24.43	4075.36
Up	90	30	25.8	26.8	1.0	23.28	3884.59
Up	90	60	25.7	26.8	1.1	25.67	4282.38
Up	90	90	25.2	26.4	1.2	27.61	4605.87
Down	60	30	25.4	26.3	0.9	20.54	3427.01
Down	60	60	25.4	26.4	1.0	23.19	3869.25
Down	60	90	25.8	26.9	1.1	25.34	4226.73
Down	75	30	25.6	26.6	1.1	24.47	4082.34
Down	75	60	25.7	26.9	1.2	27.50	4587.08
Down	75	90	25.3	26.6	1.3	29.29	4886.74
Down	90	30	25.2	26.4	1.2	28.06	4680.94
Down	90	60	25.3	26.6	1.3	30.04	5011.63
Down	90	90	25.5	26.9	1.4	32.47	5416.98

ตาราง ข47 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณฐานวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานเอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 1.8 mm ความยาวส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 600 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.44 g ให้ความร้อนที่ส่วน ทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้ง วาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.1	25.8	0.7	15.42	2573.23
Up	60	60	25.4	26.2	0.8	17.88	2982.55
Up	60	90	25.4	26.2	0.9	19.96	3329.52
Up	75	30	25.6	26.4	0.8	18.77	3130.81
Up	75	60	25.7	26.5	0.9	19.89	3318.83
Up	75	90	25.4	26.4	0.9	21.97	3664.44
Up	90	30	25.6	26.5	0.8	19.67	3281.32
Up	90	60	25.4	26.3	1.0	22.55	3762.24
Up	90	90	25.6	26.7	1.1	25.05	4178.31
Down	60	30	25.6	26.3	0.8	18.28	3049.04
Down	60	60	25.5	26.3	0.9	19.90	3319.30
Down	60	90	25.3	26.2	1.0	22.24	3709.61
Down	75	30	25.5	26.4	0.9	21.39	3568.79
Down	75	60	25.6	26.6	1.0	23.89	3985.18
Down	75	90	25.6	26.8	1.2	26.91	4489.67
Down	90	30	25.2	26.3	1.1	25.96	4330.46
Down	90	60	25.6	26.8	1.2	27.63	4609.66
Down	90	90	25.5	26.8	1.3	29.40	4905.37

ตาราง ข48 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานเอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 1.8 mm ความยาวส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 600 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิทช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 1.036 g ให้ความร้อนที่ ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.6	26.1	0.5	12.30	2051.60
Up	60	60	25.7	26.3	0.6	13.99	2333.33
Up	60	90	25.8	26.5	0.7	15.54	2592.31
Up	75	30	25.4	26.1	0.6	14.72	2455.25
Up	75	60	25.6	26.3	0.7	15.88	2648.71
Up	75	90	25.7	26.5	0.8	17.93	2991.52
Up	90	30	25.4	26.1	0.7	16.52	2755.38
Up	90	60	25.6	26.4	0.8	18.83	3141.65
Up	90	90	25.7	26.6	0.9	20.92	3489.85
Down	60	30	25.7	26.4	0.7	15.27	2547.23
Down	60	60	25.8	26.5	0.7	16.48	2748.84
Down	60	90	25.8	26.6	0.8	18.99	3168.87
Down	75	30	25.3	26.0	0.7	17.03	2841.54
Down	75	60	25.2	26.0	0.9	19.96	3330.42
Down	75	90	25.2	26.2	1.0	22.67	3781.61
Down	90	30	25.6	26.5	0.9	21.18	3532.69
Down	90	60	25.7	26.8	1.0	23.98	4000.69
Down	90	90	25.8	26.9	1.1	26.13	4359.71

ตาราง ข49 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานเอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 1.8 mm ความยาวส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 800 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.255 g ให้ความร้อนที่ ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.5	27.1	1.5	35.89	4490.20
Up	60	60	25.4	27.1	1.7	40.62	5082.44
Up	60	90	25.4	27.3	1.9	43.29	5416.68
Up	75	30	25.6	27.5	1.8	42.33	5295.84
Up	75	60	25.8	27.7	1.9	44.11	5519.09
Up	75	90	25.6	27.7	2.0	47.58	5953.06
Up	90	30	25.7	27.6	2.0	46.29	5791.65
Up	90	60	25.7	27.7	2.0	47.48	5941.16
Up	90	90	25.5	27.7	2.2	50.25	6287.59
Down	60	30	25.8	27.5	1.7	40.47	5063.49
Down	60	60	25.3	27.2	1.9	43.76	5475.53
Down	60	90	25.6	27.6	2.0	46.66	5838.66
Down	75	30	25.2	27.2	1.9	45.17	5651.78
Down	75	60	25.5	27.6	2.1	48.11	6019.67
Down	75	90	25.3	27.5	2.2	51.39	6430.43
Down	90	30	25.4	27.5	2.1	48.87	6114.38
Down	90	60	25.4	27.7	2.3	52.73	6597.27
Down	90	90	25.2	27.6	2.4	56.30	7044.49

ตาราง ข50 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานเอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 1.8 mm ความยาวส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 800 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.44 g ให้ความร้อนที่ส่วน ทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้ง วาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.3	26.6	1.4	31.71	3967.94
Up	60	60	25.4	26.9	1.5	35.62	4457.38
Up	60	90	25.1	26.8	1.7	39.91	4993.30
Up	75	30	25.4	27.1	1.6	38.00	4754.70
Up	75	60	25.3	27.1	1.7	40.49	5066.60
Up	75	90	25.7	27.5	1.8	42.76	5350.66
Up	90	30	25.6	27.3	1.8	40.65	5086.42
Up	90	60	25.4	27.3	1.9	44.65	5587.21
Up	90	90	25.6	27.6	2.0	46.46	5812.66
Down	60	30	25.2	26.8	1.6	36.28	4539.31
Down	60	60	25.3	27.1	1.7	40.57	5075.67
Down	60	90	25.2	27.2	2.0	45.43	5684.45
Down	75	30	25.4	27.2	1.8	42.45	5311.69
Down	75	60	25.2	27.2	2.0	46.26	5788.61
Down	75	90	25.5	27.6	2.1	48.99	6129.47
Down	90	30	25.7	27.7	2.0	46.59	5829.10
Down	90	60	25.7	27.9	2.2	50.55	6325.38
Down	90	90	25.7	28.0	2.3	52.47	6565.61

ตาราง ข51 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานเอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 1.8 mm ความยาวส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 800 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 1.036 g ให้ความร้อนที่ ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.2	26.4	1.2	27.94	3496.09
Up	60	60	25.2	26.6	1.3	31.32	3918.89
Up	60	90	25.5	27.1	1.6	36.33	4545.81
Up	75	30	25.7	27.1	1.4	33.25	4160.37
Up	75	60	25.1	26.6	1.5	34.60	4329.16
Up	75	90	25.7	27.3	1.6	37.17	4650.30
Up	90	30	25.6	27.1	1.5	35.65	4460.66
Up	90	60	25.4	27.1	1.7	38.58	4826.62
Up	90	90	25.5	27.3	1.8	41.08	5140.61
Down	60	30	25.1	26.5	1.4	32.27	4038.15
Down	60	60	25.5	27.0	1.5	35.22	4406.35
Down	60	90	25.4	27.1	1.7	38.61	4830.76
Down	75	30	25.4	27.0	1.6	37.14	4647.60
Down	75	60	25.7	27.4	1.7	39.93	4995.90
Down	75	90	25.6	27.5	1.9	44.51	5569.48
Down	90	30	25.7	27.5	1.8	42.46	5312.17
Down	90	60	25.7	27.7	2.0	45.77	5727.35
Down	90	90	25.8	27.9	2.1	48.35	6050.16

ตาราง ข52 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานเอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 1.8 mm ความยาวส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิทช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.255 g ให้ความร้อนที่ ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.8	28.3	2.6	59.56	5961.89
Up	60	60	25.6	28.4	2.8	64.92	6498.58
Up	60	90	25.2	28.1	2.9	68.14	6820.39
Up	75	30	25.6	28.4	2.8	65.64	6570.39
Up	75	60	25.4	28.4	3.0	69.73	6979.32
Up	75	90	25.4	28.5	3.2	73.28	7335.63
Up	90	30	25.2	28.3	3.1	71.81	7187.82
Up	90	60	25.1	28.4	3.2	75.07	7514.03
Up	90	90	25.4	28.7	3.3	77.56	7763.10
Down	60	30	25.8	28.6	2.8	64.48	6454.54
Down	60	60	25.8	28.7	2.9	67.99	6805.68
Down	60	90	25.1	28.3	3.2	74.53	7460.15
Down	75	30	25.5	28.6	3.1	71.16	7122.88
Down	75	60	25.5	28.8	3.3	76.09	7616.07
Down	75	90	25.4	28.8	3.4	77.98	7805.33
Down	90	30	25.3	28.6	3.3	76.22	7629.68
Down	90	60	25.8	29.4	3.5	82.27	8234.97
Down	90	90	25.4	29.2	3.7	86.68	8676.83

ตาราง ข53 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณฐานรูปวงรีชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานเอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 1.8 mm ความยาวส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.44 g ให้ความร้อนที่ส่วน ทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้ง วาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.3	27.8	2.4	56.21	5626.96
Up	60	60	25.4	28.0	2.6	60.06	6012.33
Up	60	90	25.4	28.2	2.8	63.86	6391.76
Up	75	30	25.5	28.1	2.7	62.64	6270.35
Up	75	60	25.5	28.3	2.8	65.14	6520.77
Up	75	90	25.6	28.5	2.9	67.48	6754.27
Up	90	30	25.7	28.5	2.8	66.11	6617.36
Up	90	60	25.5	28.5	3.0	69.00	6906.88
Up	90	90	25.5	28.6	3.1	72.12	7219.25
Down	60	30	25.6	28.2	2.6	61.00	6105.58
Down	60	60	25.4	28.2	2.8	65.54	6560.29
Down	60	90	25.5	28.5	3.0	69.85	6991.43
Down	75	30	25.7	28.7	2.9	67.81	6787.71
Down	75	60	25.3	28.4	3.1	71.36	7143.23
Down	75	90	25.8	28.9	3.2	73.62	7369.53
Down	90	30	25.6	28.6	3.1	71.22	7128.44
Down	90	60	25.6	28.9	3.3	76.01	7608.71
Down	90	90	25.4	28.9	3.4	80.03	8011.25

ตาราง ข54 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานเอทานอล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 1.8 mm ความยาวส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 1.036 g ให้ความร้อนที่ ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.4	27.5	2.1	49.22	4927.04
Up	60	60	25.2	27.4	2.2	51.50	5155.17
Up	60	90	25.3	27.6	2.3	54.02	5406.81
Up	75	30	25.4	27.6	2.3	52.46	5250.92
Up	75	60	25.4	27.8	2.4	55.61	5566.01
Up	75	90	25.4	27.9	2.6	59.49	5954.99
Up	90	30	25.5	27.9	2.4	55.89	5594.12
Up	90	60	25.5	28.1	2.6	61.23	6129.22
Up	90	90	25.4	28.1	2.8	64.24	6430.36
Down	60	30	25.3	27.6	2.4	54.66	5471.77
Down	60	60	25.4	27.9	2.5	58.07	5812.70
Down	60	90	25.4	28.1	2.7	62.13	6219.51
Down	75	30	25.8	28.5	2.6	61.11	6117.35
Down	75	60	25.8	28.6	2.7	63.85	6390.81
Down	75	90	25.2	28.1	2.9	66.88	6694.79
Down	90	30	25.9	28.6	2.8	64.39	6445.74
Down	90	60	25.6	28.6	3.0	69.73	6979.55
Down	90	90	25.3	28.5	3.2	74.83	7490.00

ตาราง ข55 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วก้นกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 3.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 600 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วก้นกลับ 0.255 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วก้นกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.9	27.4	1.6	36.43	4042.91
Up	60	60	25.6	27.3	1.7	39.53	4387.59
Up	60	90	25.5	27.4	1.8	42.66	4735.04
Up	75	30	25.4	27.2	1.7	39.93	4432.09
Up	75	60	25.7	27.6	1.8	42.70	4738.61
Up	75	90	25.9	27.8	2.0	45.38	5036.54
Up	90	30	25.8	27.7	1.9	43.23	4797.57
Up	90	60	25.2	27.1	2.0	45.97	5102.33
Up	90	90	25.1	27.3	2.1	49.77	5524.18
Down	60	30	25.7	27.4	1.7	40.07	4447.62
Down	60	60	25.6	27.5	1.9	43.09	4782.86
Down	60	90	25.3	27.3	2.0	47.47	5268.27
Down	75	30	25.7	27.7	2.0	46.78	5192.20
Down	75	60	25.7	27.9	2.1	49.52	5495.62
Down	75	90	25.6	27.8	2.3	52.46	5822.64
Down	90	30	25.7	27.9	2.2	50.86	5644.36
Down	90	60	25.2	27.5	2.3	54.18	6013.51
Down	90	90	25.7	28.2	2.5	58.22	6461.30

ตาราง ข56 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 3.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 600 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิทช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.44 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.7	27.0	1.3	30.95	3434.72
Up	60	60	25.8	27.3	1.5	34.53	3832.58
Up	60	90	25.7	27.4	1.7	38.45	4267.78
Up	75	30	25.3	26.9	1.6	36.75	4078.98
Up	75	60	25.3	27.0	1.7	39.58	4393.34
Up	75	90	25.2	27.1	1.9	43.71	4851.18
Up	90	30	25.6	27.3	1.7	40.54	4498.85
Up	90	60	25.1	26.9	1.9	43.30	4805.31
Up	90	90	25.8	27.8	2.0	46.11	5117.24
Down	60	30	25.2	26.8	1.6	36.90	4095.29
Down	60	60	25.5	27.3	1.7	40.33	4476.28
Down	60	90	25.8	27.7	1.9	43.58	4836.60
Down	75	30	25.4	27.2	1.8	41.91	4651.26
Down	75	60	25.2	27.2	2.0	45.63	5064.27
Down	75	90	25.3	27.4	2.1	48.68	5402.66
Down	90	30	25.6	27.6	2.0	46.81	5195.55
Down	90	60	25.2	27.4	2.2	50.64	5620.35
Down	90	90	25.4	27.7	2.3	54.50	6049.10

ตาราง ข57 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 3.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 600 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิทช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 1.036 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.2	26.4	1.2	27.48	3050.47
Up	60	60	25.1	26.5	1.3	30.84	3422.68
Up	60	90	25.4	26.9	1.5	34.34	3811.42
Up	75	30	25.4	26.8	1.4	32.70	3629.58
Up	75	60	25.3	26.9	1.5	35.84	3977.68
Up	75	90	25.6	27.2	1.6	37.66	4179.44
Up	90	30	25.6	27.1	1.6	36.11	4007.30
Up	90	60	25.5	27.1	1.7	38.89	4316.60
Up	90	90	25.3	27.1	1.8	41.69	4627.59
Down	60	30	25.5	26.9	1.4	32.41	3596.57
Down	60	60	25.3	26.9	1.5	35.17	3903.59
Down	60	90	25.1	26.8	1.7	39.03	4331.84
Down	75	30	25.3	26.9	1.6	37.49	4160.99
Down	75	60	25.4	27.2	1.8	41.07	4557.68
Down	75	90	25.4	27.3	1.9	44.48	4937.21
Down	90	30	25.3	27.1	1.8	42.84	4754.65
Down	90	60	25.5	27.5	2.0	46.19	5126.46
Down	90	90	25.2	27.3	2.2	50.28	5580.64

ตาราง ข58 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณฐานวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 3.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 800 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิทช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.255 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.4	28.2	2.8	65.66	5465.36
Up	60	60	25.2	28.2	3.0	68.73	5721.28
Up	60	90	25.3	28.5	3.2	73.88	6150.14
Up	75	30	25.5	28.5	3.1	71.79	5976.05
Up	75	60	25.6	28.8	3.2	74.51	6202.39
Up	75	90	25.3	28.7	3.4	79.50	6617.26
Up	90	30	25.2	28.6	3.4	79.20	6592.70
Up	90	60	25.2	28.7	3.5	82.28	6849.22
Up	90	90	25.2	28.9	3.7	86.25	7179.80
Down	60	30	25.2	28.3	3.1	72.47	6032.01
Down	60	60	25.1	28.5	3.4	79.26	6597.98
Down	60	90	25.6	29.2	3.6	84.00	6992.28
Down	75	30	25.1	28.6	3.5	81.20	6758.83
Down	75	60	25.3	29.0	3.7	85.64	7128.55
Down	75	90	25.5	29.3	3.8	89.11	7417.43
Down	90	30	25.3	29.1	3.8	87.29	7266.41
Down	90	60	25.3	29.2	3.9	90.26	7513.64
Down	90	90	25.5	29.7	4.2	96.37	8021.62

ตาราง ข59 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 3.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 800 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิทช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.44 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.2	27.9	2.6	61.24	5097.72
Up	60	60	25.3	28.0	2.7	63.79	5309.74
Up	60	90	25.7	28.5	2.9	66.34	5522.49
Up	75	30	25.2	27.9	2.8	63.88	5317.60
Up	75	60	25.3	28.2	2.9	67.76	5640.53
Up	75	90	25.3	28.3	3.0	69.81	5810.90
Up	90	30	25.8	28.7	3.0	68.69	5718.08
Up	90	60	25.3	28.4	3.1	71.94	5988.55
Up	90	90	25.5	28.8	3.3	77.28	6432.74
Down	60	30	25.1	28.0	2.9	66.99	5576.58
Down	60	60	25.1	28.2	3.0	70.56	5873.79
Down	60	90	25.5	28.6	3.2	73.39	6108.76
Down	75	30	25.4	28.4	3.1	71.07	5915.45
Down	75	60	25.5	28.9	3.4	77.98	6491.03
Down	75	90	25.6	29.1	3.5	82.22	6843.72
Down	90	30	25.2	28.7	3.4	80.08	6665.58
Down	90	60	25.3	29.0	3.7	85.50	7117.25
Down	90	90	25.9	29.8	3.9	89.80	7474.67

ตาราง ข60 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 3.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 800 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 1.036 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.3	27.6	2.3	53.66	4466.75
Up	60	60	25.1	27.6	2.5	57.55	4790.44
Up	60	90	25.7	28.4	2.7	62.12	5170.70
Up	75	30	26.0	28.5	2.5	57.98	4826.47
Up	75	60	25.9	28.6	2.7	63.62	5296.14
Up	75	90	25.9	28.7	2.8	66.08	5500.18
Up	90	30	25.6	28.4	2.8	63.90	5318.72
Up	90	60	25.6	28.6	3.0	68.99	5742.92
Up	90	90	25.3	28.5	3.2	73.43	6112.49
Down	60	30	25.3	27.9	2.6	59.84	4980.80
Down	60	60	25.8	28.6	2.8	64.73	5387.91
Down	60	90	25.9	28.8	3.0	68.53	5704.09
Down	75	30	25.8	28.6	2.8	65.72	5470.43
Down	75	60	25.7	28.9	3.1	72.53	6037.08
Down	75	90	25.3	28.6	3.3	77.58	6458.06
Down	90	30	25.1	28.3	3.2	73.65	6130.41
Down	90	60	25.5	28.9	3.4	78.24	6513.03
Down	90	90	25.8	29.4	3.6	83.25	6930.10

ตาราง ข61 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 3.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.255 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_e (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.4	30.1	4.6	107.68	7170.92
Up	60	60	25.2	30.2	5.0	115.11	7665.36
Up	60	90	25.3	30.4	5.1	118.82	7912.49
Up	75	30	25.2	30.3	5.0	117.05	7794.29
Up	75	60	25.6	30.7	5.2	120.25	8007.78
Up	75	90	25.2	30.6	5.4	125.97	8388.74
Up	90	30	25.1	30.3	5.3	122.12	8132.54
Up	90	60	25.2	30.6	5.4	126.46	8421.16
Up	90	90	25.4	31.0	5.6	129.48	8622.59
Down	60	30	25.6	30.4	4.9	112.71	7505.32
Down	60	60	25.2	30.3	5.1	118.02	7858.96
Down	60	90	25.6	30.9	5.4	124.32	8278.80
Down	75	30	25.4	30.6	5.2	120.99	8056.71
Down	75	60	25.4	31.0	5.5	127.78	8509.27
Down	75	90	25.2	30.9	5.7	132.47	8821.56
Down	90	30	25.1	30.7	5.6	129.42	8618.33
Down	90	60	25.5	31.3	5.8	135.45	9020.06
Down	90	90	25.1	31.2	6.1	142.64	9498.41

ตาราง ข62 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 3.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.44 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_e (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.7	29.9	4.2	96.96	6456.71
Up	60	60	25.4	30.0	4.6	105.77	7043.68
Up	60	90	25.3	30.2	4.9	113.42	7553.12
Up	75	30	25.4	30.1	4.7	108.82	7246.69
Up	75	60	25.7	30.5	4.9	113.07	7529.71
Up	75	90	25.4	30.4	5.0	116.75	7774.32
Up	90	30	25.4	30.3	4.9	113.75	7574.99
Up	90	60	25.5	30.6	5.1	118.58	7896.48
Up	90	90	25.4	30.7	5.3	123.93	8252.54
Down	60	30	25.9	30.4	4.6	105.65	7035.16
Down	60	60	25.6	30.4	4.8	110.75	7374.89
Down	60	90	25.4	30.4	5.0	116.85	7780.97
Down	75	30	25.1	30.0	4.9	114.71	7639.09
Down	75	60	25.5	30.6	5.2	120.47	8022.49
Down	75	90	25.3	30.7	5.5	126.53	8425.93
Down	90	30	25.1	30.4	5.3	123.37	8215.46
Down	90	60	25.3	30.9	5.6	129.92	8651.48
Down	90	90	25.3	31.1	5.8	134.19	8936.14

ตาราง ข63 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 3.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 1.036 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_e (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.6	29.5	3.9	90.80	6046.73
Up	60	60	25.4	29.5	4.1	94.11	6267.27
Up	60	90	25.5	29.7	4.2	98.53	6561.47
Up	75	30	25.5	29.6	4.1	95.35	6349.55
Up	75	60	25.3	29.7	4.3	100.29	6678.49
Up	75	90	25.6	30.1	4.5	104.33	6947.56
Up	90	30	25.3	29.6	4.3	100.80	6712.63
Up	90	60	25.7	30.3	4.6	106.93	7120.96
Up	90	90	25.7	30.6	4.9	114.78	7643.25
Down	60	30	25.8	30.1	4.3	99.44	6621.88
Down	60	60	25.8	30.3	4.5	104.11	6933.13
Down	60	90	25.7	30.5	4.8	112.31	7479.12
Down	75	30	25.6	30.3	4.7	108.52	7226.86
Down	75	60	25.5	30.4	4.9	113.99	7591.14
Down	75	90	25.5	30.6	5.1	118.83	7912.97
Down	90	30	25.5	30.4	5.0	115.35	7681.59
Down	90	60	25.6	30.8	5.2	121.49	8090.55
Down	90	90	25.2	30.7	5.5	127.29	8476.65

ตาราง ข64 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 600 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิทช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.255 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.2	26.1	0.9	20.80	2999.15
Up	60	60	25.5	26.5	1.0	22.56	3251.82
Up	60	90	25.7	26.8	1.1	24.68	3557.73
Up	75	30	25.4	26.4	1.0	23.30	3358.57
Up	75	60	25.3	26.4	1.1	25.55	3683.15
Up	75	90	25.7	26.9	1.2	27.14	3912.94
Up	90	30	25.2	26.3	1.1	26.30	3791.95
Up	90	60	25.2	26.5	1.3	29.60	4266.62
Up	90	90	25.5	26.9	1.4	31.85	4591.25
Down	60	30	25.7	26.7	1.0	23.84	3437.13
Down	60	60	25.1	26.3	1.1	26.43	3810.83
Down	60	90	25.9	27.1	1.3	29.58	4264.18
Down	75	30	25.7	26.9	1.2	27.75	4000.73
Down	75	60	25.7	27.0	1.3	30.96	4463.03
Down	75	90	25.7	27.1	1.4	33.36	4809.53
Down	90	30	25.8	27.1	1.4	32.33	4660.60
Down	90	60	25.7	27.3	1.6	36.00	5190.26
Down	90	90	25.9	27.6	1.6	37.70	5434.25

ตาราง ข65 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 600 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.44 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.3	26.0	0.8	17.69	2550.75
Up	60	60	25.4	26.2	0.8	19.29	2780.85
Up	60	90	25.3	26.3	0.9	22.00	3171.66
Up	75	30	25.2	26.1	0.9	20.79	2996.97
Up	75	60	25.7	26.7	1.0	23.62	3404.85
Up	75	90	25.4	26.5	1.1	25.32	3650.31
Up	90	30	25.4	26.4	1.0	23.45	3380.29
Up	90	60	25.2	26.4	1.1	25.91	3735.68
Up	90	90	25.3	26.5	1.2	28.19	4063.38
Down	60	30	25.9	26.8	0.9	20.55	2962.13
Down	60	60	25.7	26.7	1.0	23.18	3341.96
Down	60	90	25.1	26.2	1.1	25.16	3627.52
Down	75	30	25.4	26.4	1.0	23.81	3432.31
Down	75	60	25.7	26.9	1.2	26.92	3880.26
Down	75	90	25.2	26.6	1.3	30.58	4408.76
Down	90	30	25.5	26.7	1.3	29.09	4194.28
Down	90	60	25.5	26.9	1.4	31.94	4604.56
Down	90	90	25.4	26.9	1.5	35.25	5081.79

ตาราง ข6 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วก้นกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 600 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วก้นกลับ 1.036 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วก้นกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.7	26.3	0.6	13.41	1932.75
Up	60	60	25.5	26.2	0.7	16.36	2358.34
Up	60	90	25.3	26.1	0.8	17.70	2551.65
Up	75	30	25.4	26.2	0.7	16.98	2447.84
Up	75	60	25.4	26.2	0.8	18.31	2640.03
Up	75	90	25.3	26.1	0.9	20.37	2937.12
Up	90	30	25.3	26.1	0.8	19.26	2775.86
Up	90	60	25.2	26.1	0.9	21.53	3103.60
Up	90	90	25.6	26.7	1.0	24.02	3462.43
Down	60	30	25.7	26.4	0.7	17.21	2480.50
Down	60	60	25.3	26.2	0.8	19.57	2820.85
Down	60	90	25.7	26.6	0.9	21.80	3142.40
Down	75	30	25.4	26.3	0.9	20.77	2994.02
Down	75	60	25.1	26.1	1.0	23.33	3362.77
Down	75	90	25.3	26.4	1.1	25.60	3689.88
Down	90	30	25.7	26.7	1.0	24.12	3477.79
Down	90	60	25.6	26.7	1.2	27.04	3898.02
Down	90	90	25.4	26.7	1.3	30.42	4385.21

ตาราง ข67 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณฐานวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 800 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิทช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.255 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.8	27.6	1.8	40.91	4422.83
Up	60	60	25.3	27.2	1.9	44.04	4761.78
Up	60	90	25.4	27.4	2.0	46.41	5018.07
Up	75	30	25.8	27.7	1.9	43.30	4682.18
Up	75	60	25.6	27.7	2.1	47.88	5177.27
Up	75	90	25.1	27.3	2.2	50.70	5481.76
Up	90	30	25.4	27.5	2.1	49.35	5336.08
Up	90	60	25.2	27.5	2.3	52.75	5703.84
Up	90	90	25.0	27.5	2.4	56.57	6116.43
Down	60	30	25.2	27.2	2.0	46.56	5034.51
Down	60	60	25.3	27.5	2.2	51.09	5523.89
Down	60	90	25.6	28.0	2.4	55.91	6045.35
Down	75	30	25.1	27.3	2.3	52.96	5726.60
Down	75	60	25.3	27.7	2.4	55.24	5972.66
Down	75	90	25.4	27.9	2.6	59.49	6431.71
Down	90	30	25.2	27.7	2.5	56.97	6159.80
Down	90	60	25.8	28.4	2.6	60.23	6512.40
Down	90	90	25.6	28.3	2.8	64.18	6938.84

ตาราง ข68 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 800 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิทช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.44 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.0	26.6	1.6	36.95	3994.58
Up	60	60	25.5	27.2	1.7	40.09	4335.01
Up	60	90	25.4	27.3	1.8	42.84	4632.08
Up	75	30	25.4	27.2	1.8	41.43	4479.72
Up	75	60	25.4	27.3	1.9	44.34	4793.82
Up	75	90	25.8	27.9	2.0	46.96	5077.89
Up	90	30	25.5	27.4	1.9	45.03	4868.70
Up	90	60	25.5	27.6	2.1	48.32	5224.29
Up	90	90	25.3	27.5	2.2	51.55	5574.09
Down	60	30	25.8	27.6	1.8	41.91	4531.07
Down	60	60	25.9	27.8	2.0	45.72	4943.59
Down	60	90	25.3	27.4	2.1	49.83	5388.20
Down	75	30	25.2	27.3	2.1	48.42	5235.14
Down	75	60	25.4	27.6	2.2	51.09	5523.97
Down	75	90	25.3	27.6	2.3	54.53	5896.02
Down	90	30	25.7	27.9	2.2	52.18	5641.69
Down	90	60	25.4	27.8	2.4	56.28	6085.55
Down	90	90	25.3	27.8	2.6	59.75	6460.74

ตาราง ข69 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วก้นกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 800 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วก้นกลับ 1.036 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วก้นกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.7	27.1	1.4	32.11	3471.27
Up	60	60	25.8	27.3	1.5	35.10	3795.56
Up	60	90	25.5	27.1	1.6	38.24	4134.27
Up	75	30	25.8	27.4	1.6	36.37	3932.71
Up	75	60	25.4	27.2	1.7	40.37	4364.35
Up	75	90	25.3	27.1	1.8	42.95	4643.50
Up	90	30	25.5	27.2	1.8	41.06	4438.99
Up	90	60	25.8	27.8	1.9	44.94	4859.18
Up	90	90	25.3	27.4	2.1	47.78	5165.87
Down	60	30	25.8	27.4	1.6	37.35	4038.85
Down	60	60	25.4	27.2	1.8	40.87	4419.19
Down	60	90	25.4	27.3	1.9	43.98	4755.47
Down	75	30	25.8	27.6	1.8	42.85	4633.44
Down	75	60	25.5	27.5	2.0	45.87	4959.83
Down	75	90	25.6	27.8	2.2	49.92	5397.90
Down	90	30	25.7	27.8	2.1	48.57	5251.56
Down	90	60	25.5	27.8	2.3	52.39	5664.75
Down	90	90	25.2	27.6	2.4	55.34	5983.21

ตาราง ข70 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.255 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.3	28.4	3.0	70.29	6080.14
Up	60	60	25.4	28.5	3.1	72.04	6231.19
Up	60	90	25.6	28.8	3.2	75.39	6520.96
Up	75	30	25.2	28.3	3.1	72.80	6297.43
Up	75	60	25.5	28.9	3.3	77.49	6702.32
Up	75	90	25.2	28.8	3.5	82.29	7118.21
Up	90	30	25.4	28.9	3.4	79.32	6861.00
Up	90	60	25.3	28.9	3.6	83.69	7239.35
Up	90	90	25.5	29.3	3.8	88.60	7663.56
Down	60	30	25.5	28.7	3.2	74.01	6402.04
Down	60	60	25.3	28.7	3.4	79.50	6876.77
Down	60	90	25.2	28.8	3.7	85.07	7358.66
Down	75	30	25.7	29.3	3.5	82.28	7116.83
Down	75	60	25.7	29.5	3.8	87.46	7565.11
Down	75	90	25.4	29.3	3.9	91.41	7906.79
Down	90	30	25.3	29.1	3.9	90.17	7799.30
Down	90	60	25.2	29.3	4.1	94.35	8161.21
Down	90	90	25.4	29.6	4.3	98.80	8546.28

ตาราง ข71 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณฐานรูปวงรีชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิทช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.44 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.5	28.3	2.8	64.56	5584.61
Up	60	60	25.6	28.6	2.9	67.98	5879.99
Up	60	90	25.8	28.8	3.1	71.74	6205.28
Up	75	30	25.4	28.5	3.0	70.32	6082.85
Up	75	60	25.2	28.4	3.2	73.36	6345.29
Up	75	90	25.5	28.8	3.3	76.84	6646.62
Up	90	30	25.4	28.7	3.2	74.86	6475.37
Up	90	60	25.6	29.0	3.4	78.17	6761.86
Up	90	90	25.3	28.8	3.5	81.49	7048.84
Down	60	30	25.8	28.8	3.0	69.50	6011.36
Down	60	60	25.6	28.8	3.2	73.42	6350.29
Down	60	90	25.7	29.1	3.4	79.45	6871.78
Down	75	30	25.5	28.8	3.3	76.35	6604.44
Down	75	60	25.7	29.2	3.5	81.44	7044.30
Down	75	90	25.1	28.7	3.7	85.14	7364.00
Down	90	30	25.2	28.7	3.6	82.70	7153.50
Down	90	60	25.2	29.0	3.8	88.17	7626.65
Down	90	90	25.8	29.8	4.0	92.79	8026.10

ตาราง ข72 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณฐานวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 2.4 mm ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 1.036 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.4	27.9	2.5	57.50	4973.95
Up	60	60	25.3	28.0	2.7	61.73	5339.31
Up	60	90	25.1	27.9	2.8	64.28	5560.11
Up	75	30	25.3	27.9	2.7	61.61	5328.87
Up	75	60	25.6	28.4	2.8	65.60	5674.50
Up	75	90	25.2	28.2	3.0	70.23	6074.53
Up	90	30	25.2	28.1	2.9	68.07	5888.22
Up	90	60	25.5	28.7	3.1	72.60	6279.46
Up	90	90	25.2	28.5	3.3	77.17	6674.59
Down	60	30	25.8	28.6	2.8	64.19	5552.26
Down	60	60	25.4	28.3	3.0	68.64	5936.89
Down	60	90	25.5	28.6	3.1	73.03	6317.00
Down	75	30	25.6	28.7	3.1	70.94	6136.42
Down	75	60	25.2	28.5	3.3	75.76	6553.03
Down	75	90	25.4	28.8	3.5	80.40	6954.38
Down	90	30	25.5	28.9	3.3	77.67	6718.35
Down	90	60	25.4	29.0	3.6	83.07	7185.70
Down	90	90	25.6	29.3	3.8	87.45	7564.27

ตาราง ข73 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วก้นกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 1.8 mm ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 600 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วก้นกลับ 0.255 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วก้นกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.8	26.3	0.5	11.67	1946.62
Up	60	60	25.8	26.4	0.6	14.27	2379.98
Up	60	90	25.5	26.2	0.7	16.65	2778.22
Up	75	30	25.7	26.3	0.6	14.65	2443.36
Up	75	60	25.6	26.3	0.7	16.66	2779.48
Up	75	90	25.4	26.2	0.8	18.42	3072.75
Up	90	30	25.4	26.2	0.7	17.03	2841.11
Up	90	60	25.5	26.3	0.8	19.48	3250.57
Up	90	90	25.3	26.2	1.0	22.53	3758.34
Down	60	30	25.8	26.4	0.6	14.90	2485.35
Down	60	60	25.8	26.5	0.7	17.04	2842.87
Down	60	90	25.3	26.2	0.9	20.12	3356.28
Down	75	30	25.5	26.3	0.8	19.09	3184.48
Down	75	60	25.2	26.2	0.9	21.71	3621.20
Down	75	90	25.7	26.7	1.0	23.85	3979.65
Down	90	30	25.2	26.2	1.0	22.39	3735.37
Down	90	60	25.2	26.3	1.1	24.71	4122.04
Down	90	90	25.3	26.5	1.2	27.41	4573.21

ตาราง ข74 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณฐานรูปวงรีชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 1.8 mm ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 600 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิทช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.44 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.1	25.5	0.4	8.64	1441.68
Up	60	60	25.5	26.0	0.4	10.27	1713.85
Up	60	90	25.2	25.8	0.6	13.00	2168.48
Up	75	30	25.4	25.9	0.5	11.43	1907.27
Up	75	60	25.7	26.3	0.6	14.15	2360.24
Up	75	90	25.4	26.1	0.7	16.34	2725.68
Up	90	30	25.6	26.2	0.7	15.16	2529.11
Up	90	60	25.8	26.6	0.7	17.28	2882.74
Up	90	90	25.9	26.8	0.8	19.46	3246.92
Down	60	30	25.3	25.9	0.5	12.75	2126.57
Down	60	60	25.1	25.7	0.7	15.32	2555.49
Down	60	90	25.2	25.9	0.7	16.78	2798.73
Down	75	30	25.8	26.5	0.7	15.94	2660.07
Down	75	60	25.8	26.6	0.8	18.73	3125.49
Down	75	90	25.3	26.2	0.9	20.86	3479.24
Down	90	30	25.2	26.1	0.8	19.18	3200.35
Down	90	60	25.2	26.1	1.0	22.11	3689.35
Down	90	90	25.7	26.8	1.0	23.52	3924.20

ตาราง ข75 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 1.8 mm ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 600 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิทช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 1.036 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.3	25.6	0.3	6.22	1038.12
Up	60	60	25.6	26.0	0.4	8.56	1428.42
Up	60	90	25.2	25.7	0.5	11.18	1864.68
Up	75	30	25.3	25.8	0.4	10.14	1692.39
Up	75	60	25.4	25.9	0.5	11.59	1933.09
Up	75	90	25.7	26.3	0.6	13.71	2287.56
Up	90	30	25.7	26.2	0.5	12.51	2086.97
Up	90	60	25.5	26.1	0.6	13.67	2281.32
Up	90	90	25.5	26.2	0.7	15.36	2563.08
Down	60	30	25.5	25.9	0.4	9.07	1513.25
Down	60	60	25.1	25.5	0.5	10.81	1803.19
Down	60	90	25.6	26.1	0.6	13.10	2185.92
Down	75	30	25.4	25.9	0.5	12.31	2053.41
Down	75	60	25.4	26.1	0.6	14.90	2485.72
Down	75	90	25.2	26.0	0.7	17.00	2836.53
Down	90	30	25.6	26.3	0.7	15.21	2537.09
Down	90	60	25.7	26.5	0.8	17.95	2994.74
Down	90	90	25.6	26.5	0.9	20.80	3469.85

ตาราง ข76 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 1.8 mm ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 800 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.255 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.2	26.4	1.2	28.20	3528.83
Up	60	60	25.3	26.5	1.3	29.76	3723.83
Up	60	90	25.1	26.5	1.4	31.89	3990.73
Up	75	30	25.2	26.5	1.3	29.92	3744.02
Up	75	60	25.1	26.6	1.4	32.94	4121.66
Up	75	90	25.3	26.9	1.6	36.28	4538.97
Up	90	30	25.4	26.9	1.5	34.91	4367.82
Up	90	60	25.3	26.9	1.6	37.09	4641.16
Up	90	90	25.1	26.8	1.7	39.94	4997.44
Down	60	30	25.3	26.7	1.4	31.66	3960.73
Down	60	60	25.4	26.9	1.5	34.51	4318.53
Down	60	90	25.2	26.8	1.6	37.90	4742.13
Down	75	30	25.3	26.8	1.6	36.20	4529.83
Down	75	60	25.1	26.8	1.7	39.39	4927.97
Down	75	90	25.5	27.3	1.8	42.88	5365.62
Down	90	30	25.2	27.0	1.8	42.29	5290.99
Down	90	60	25.2	27.2	1.9	45.07	5639.58
Down	90	90	25.8	27.8	2.1	47.89	5992.27

ตาราง ข77 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 1.8 mm ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 800 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.44 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.5	26.5	1.0	23.59	2951.31
Up	60	60	25.6	26.7	1.1	26.04	3257.59
Up	60	90	25.4	26.6	1.2	27.99	3501.81
Up	75	30	25.2	26.4	1.1	26.50	3316.06
Up	75	60	25.5	26.7	1.3	29.35	3672.67
Up	75	90	25.3	26.7	1.4	31.93	3995.05
Up	90	30	25.3	26.6	1.3	31.07	3888.14
Up	90	60	25.3	26.7	1.4	32.87	4112.88
Up	90	90	25.1	26.7	1.6	36.12	4519.31
Down	60	30	25.2	26.4	1.2	28.07	3512.57
Down	60	60	25.3	26.6	1.3	30.72	3843.45
Down	60	90	25.3	26.8	1.4	33.12	4143.84
Down	75	30	25.7	27.1	1.4	31.76	3973.28
Down	75	60	25.4	27.0	1.5	35.49	4440.17
Down	75	90	25.2	26.8	1.6	38.18	4777.23
Down	90	30	25.4	27.0	1.6	36.55	4572.96
Down	90	60	25.3	27.0	1.8	41.26	5163.10
Down	90	90	25.5	27.3	1.9	43.69	5466.60

ตาราง ข78 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 1.8 mm ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 800 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 1.036 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.6	26.4	0.8	19.59	2451.73
Up	60	60	25.3	26.2	0.9	21.36	2672.05
Up	60	90	25.3	26.3	1.0	22.96	2872.39
Up	75	30	25.5	26.4	0.9	21.78	2724.55
Up	75	60	25.2	26.3	1.1	25.19	3151.43
Up	75	90	25.4	26.6	1.2	27.26	3410.81
Up	90	30	25.6	26.7	1.1	25.89	3238.94
Up	90	60	25.4	26.7	1.2	28.87	3612.59
Up	90	90	25.6	27.0	1.4	31.53	3944.64
Down	60	30	25.3	26.3	1.0	23.76	2973.12
Down	60	60	25.2	26.3	1.1	25.88	3237.81
Down	60	90	25.1	26.3	1.2	28.72	3593.74
Down	75	30	25.1	26.3	1.2	27.60	3453.15
Down	75	60	25.2	26.5	1.3	30.65	3835.55
Down	75	90	25.5	27.0	1.5	34.00	4254.21
Down	90	30	25.6	27.0	1.4	32.08	4013.48
Down	90	60	25.5	27.1	1.5	35.84	4484.00
Down	90	90	25.7	27.4	1.7	39.55	4948.32

ตาราง ข79 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณฐานวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 1.8 mm ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.255 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

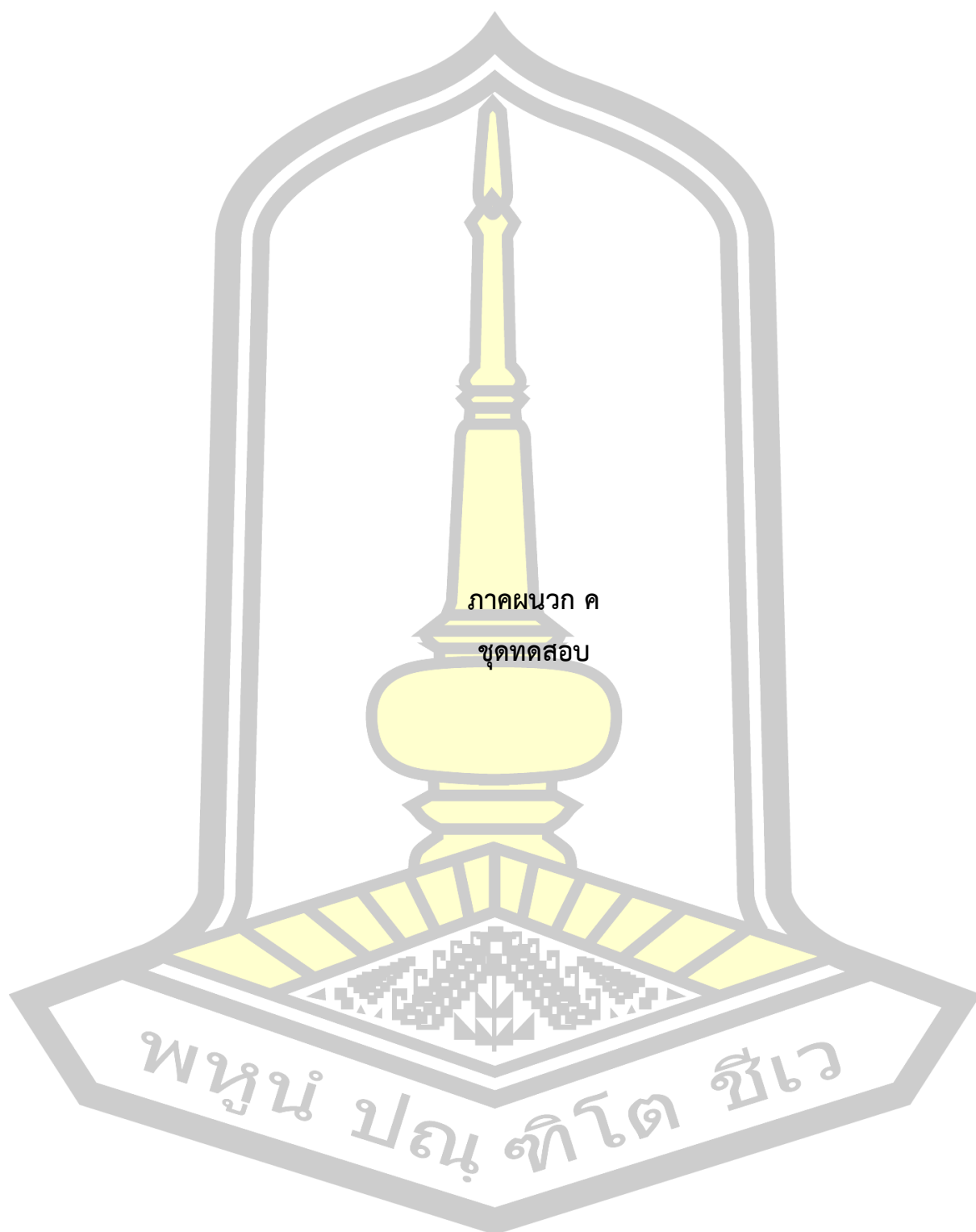
Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.7	27.9	2.2	50.70	5075.11
Up	60	60	25.6	27.9	2.4	54.66	5471.63
Up	60	90	25.9	28.5	2.5	58.72	5877.93
Up	75	30	25.6	28.0	2.4	55.86	5591.50
Up	75	60	25.5	28.1	2.6	59.56	5961.47
Up	75	90	25.9	28.5	2.7	62.44	6250.51
Up	90	30	25.5	28.1	2.6	60.37	6043.26
Up	90	60	25.6	28.3	2.7	62.08	6214.00
Up	90	90	25.9	28.7	2.8	65.68	6574.53
Down	60	30	25.6	28.0	2.4	54.73	5478.47
Down	60	60	25.5	28.0	2.5	58.37	5842.63
Down	60	90	25.6	28.3	2.7	62.35	6241.47
Down	75	30	25.3	27.9	2.6	60.42	6047.82
Down	75	60	25.5	28.3	2.8	64.06	6412.69
Down	75	90	25.5	28.5	2.9	68.07	6814.12
Down	90	30	25.4	28.3	2.9	66.35	6641.44
Down	90	60	25.3	28.3	3.0	70.38	7044.92
Down	90	90	25.5	28.7	3.2	73.86	7393.63

ตาราง ข80 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 1.8 mm ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิตช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 0.44 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.2	27.2	1.9	45.25	4529.03
Up	60	60	25.4	27.4	2.0	46.96	4700.94
Up	60	90	25.5	27.7	2.2	51.38	5142.80
Up	75	30	25.7	27.7	2.1	48.12	4816.52
Up	75	60	25.8	28.0	2.2	51.44	5148.69
Up	75	90	25.5	27.9	2.4	55.66	5571.04
Up	90	30	25.1	27.4	2.3	53.50	5355.01
Up	90	60	25.5	28.0	2.5	57.98	5803.92
Up	90	90	25.3	28.0	2.7	61.97	6202.63
Down	60	30	25.7	27.9	2.2	50.36	5041.08
Down	60	60	25.6	28.0	2.4	54.70	5475.14
Down	60	90	25.9	28.4	2.5	59.13	5918.84
Down	75	30	25.8	28.3	2.5	57.80	5785.19
Down	75	60	25.4	28.1	2.6	60.94	6100.26
Down	75	90	25.5	28.3	2.8	64.68	6474.45
Down	90	30	25.6	28.4	2.7	63.18	6324.09
Down	90	60	25.1	27.9	2.9	66.69	6675.87
Down	90	90	25.3	28.3	3.0	70.08	7015.18

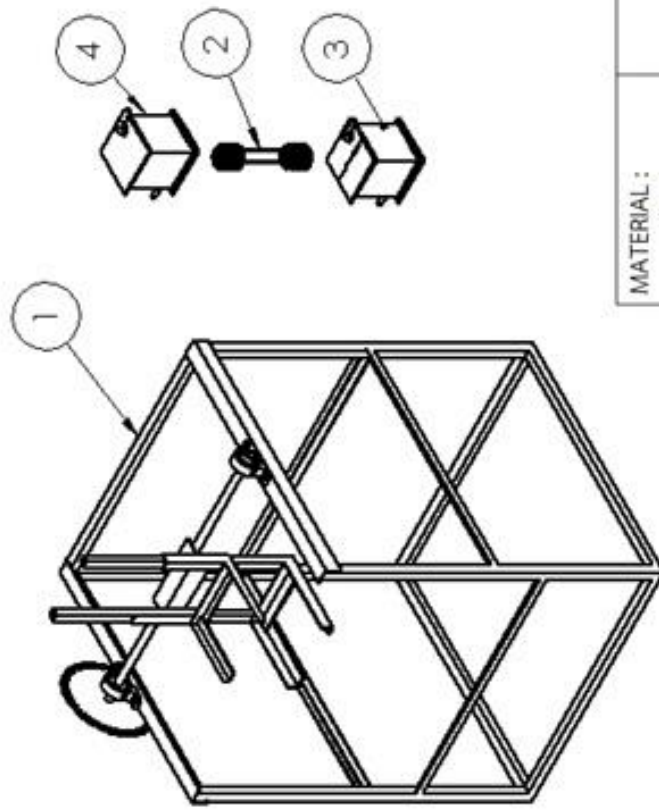
ตาราง ข81 คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสัณฐานวงรอบชนิดเกลียวขดที่ติดตั้ง วาล์วกันกลับ สารทำงานน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 1.8 mm ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก่อนขดเป็นเกลียว 1000 mm ความยาวส่วนกันความร้อน 100 mm เส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวขด 50 mm ระยะพิทช์ 10 mm ขนาดบอลวาล์วกันกลับ 1.036 g ให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหย 60 75 และ 90 °C วางท่อความร้อนทำมุมเอียง 30° 60° และ 90° กับแนวระดับ ติดตั้งวาล์วกันกลับที่ตำแหน่งด้านไหลลงมาส่วนทำระเหย และด้านไหลขึ้นไปยังส่วนควบแน่น

Position of CV	T_c (°C)	Inclination of angle (degree)	$T_{c,i}$ (°C)	$T_{c,o}$ (°C)	ΔT_c (°C)	Q (W)	q (W/m ²)
Up	60	30	25.2	26.8	1.7	38.55	3858.76
Up	60	60	25.5	27.3	1.8	42.48	4252.31
Up	60	90	25.9	27.8	1.9	45.18	4522.09
Up	75	30	25.3	27.1	1.9	43.22	4326.09
Up	75	60	25.4	27.4	2.0	46.14	4618.04
Up	75	90	25.8	27.9	2.1	49.03	4907.81
Up	90	30	25.2	27.3	2.1	48.01	4805.39
Up	90	60	25.4	27.6	2.2	52.12	5217.05
Up	90	90	25.5	27.8	2.4	54.92	5497.23
Down	60	30	25.7	27.6	1.9	43.92	4396.40
Down	60	60	25.7	27.8	2.0	46.90	4695.06
Down	60	90	25.8	28.0	2.2	51.72	5176.84
Down	75	30	25.6	27.7	2.1	48.83	4887.33
Down	75	60	25.3	27.6	2.3	53.62	5366.76
Down	75	90	25.3	27.8	2.5	57.54	5759.13
Down	90	30	25.5	27.8	2.4	55.35	5540.88
Down	90	60	25.3	27.8	2.6	59.77	5982.34
Down	90	90	25.2	28.0	2.7	63.70	6376.30



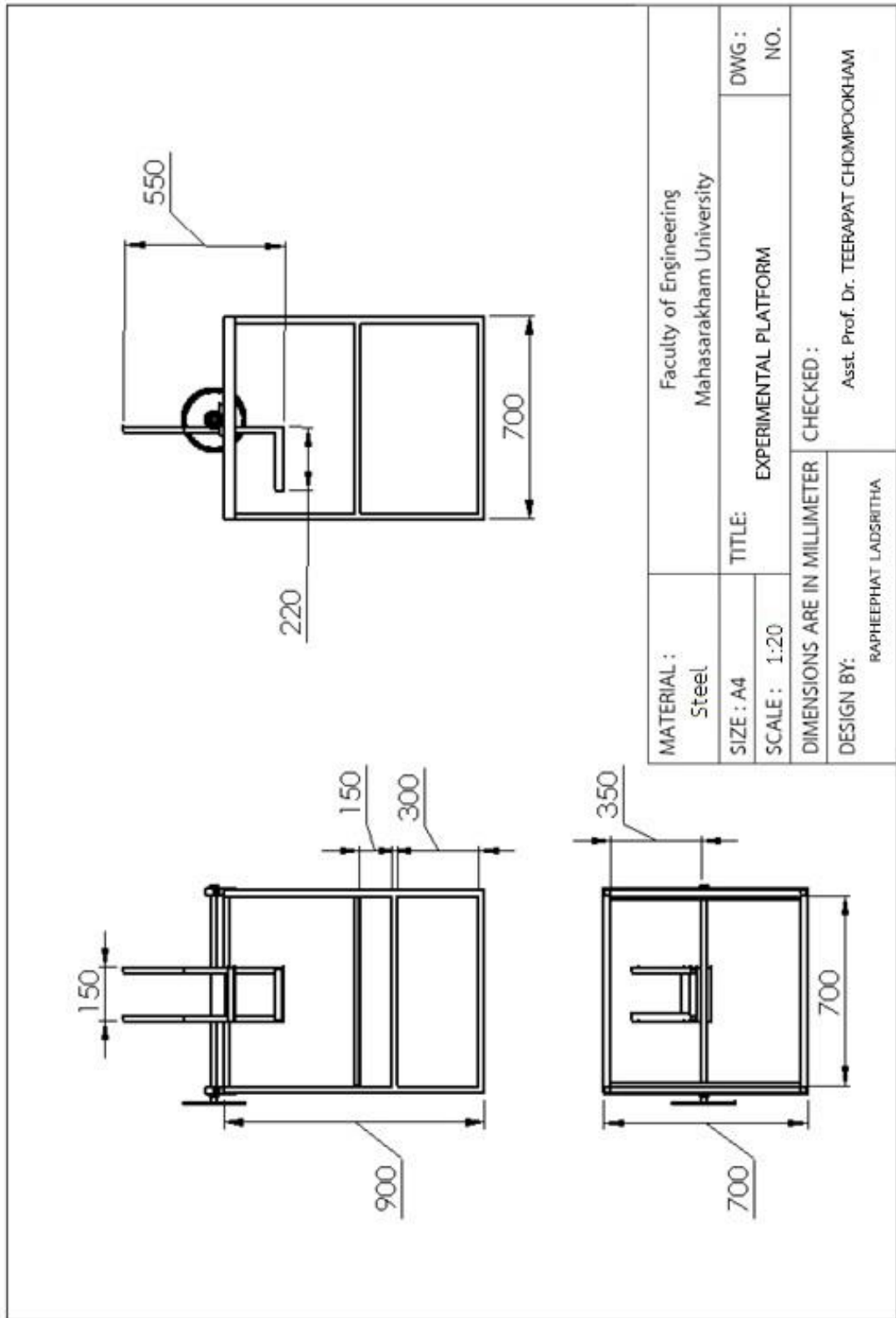
ภาคผนวก ค
ชุดทดสอบ

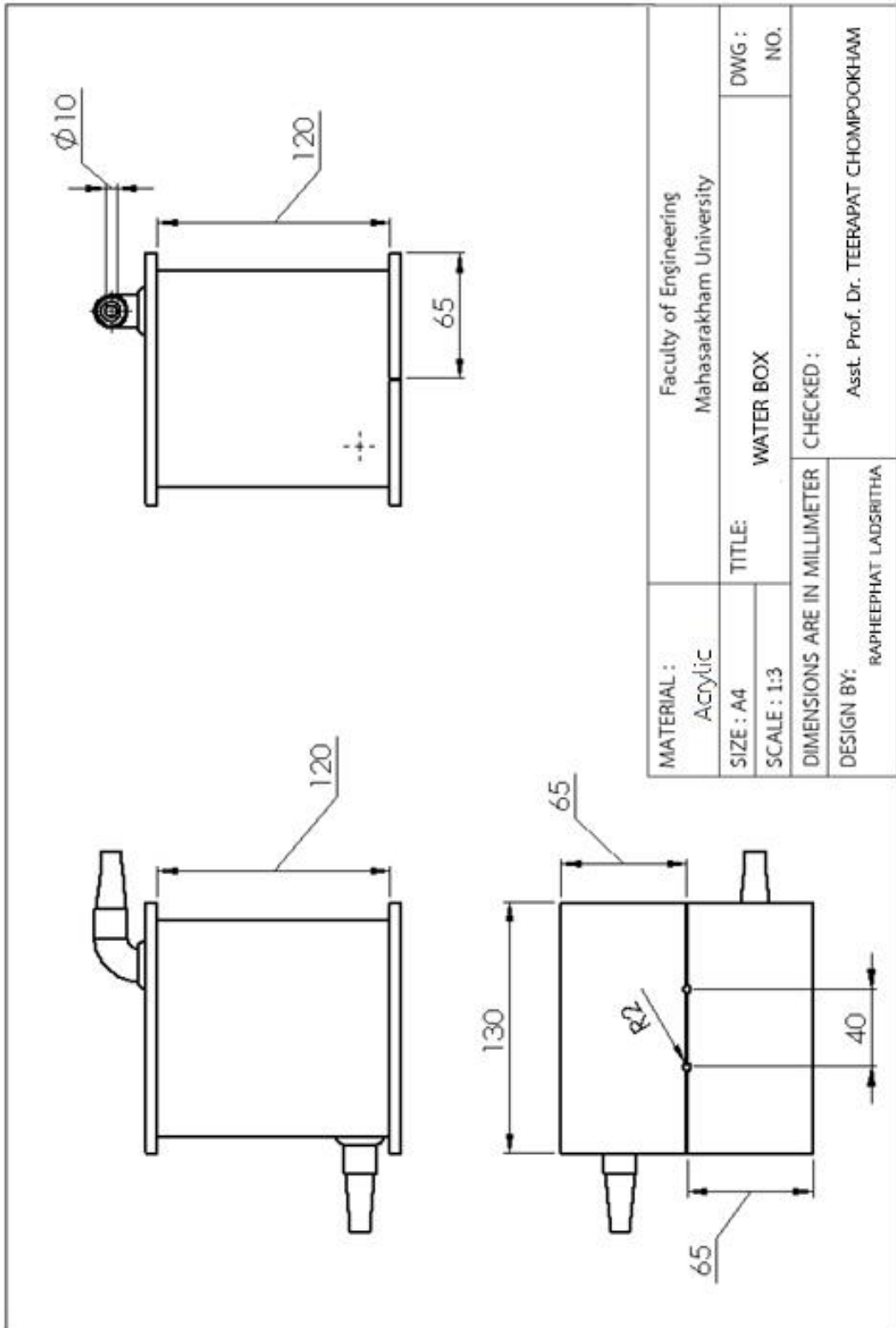
พหุ ประดิษฐ์ ชัยเว

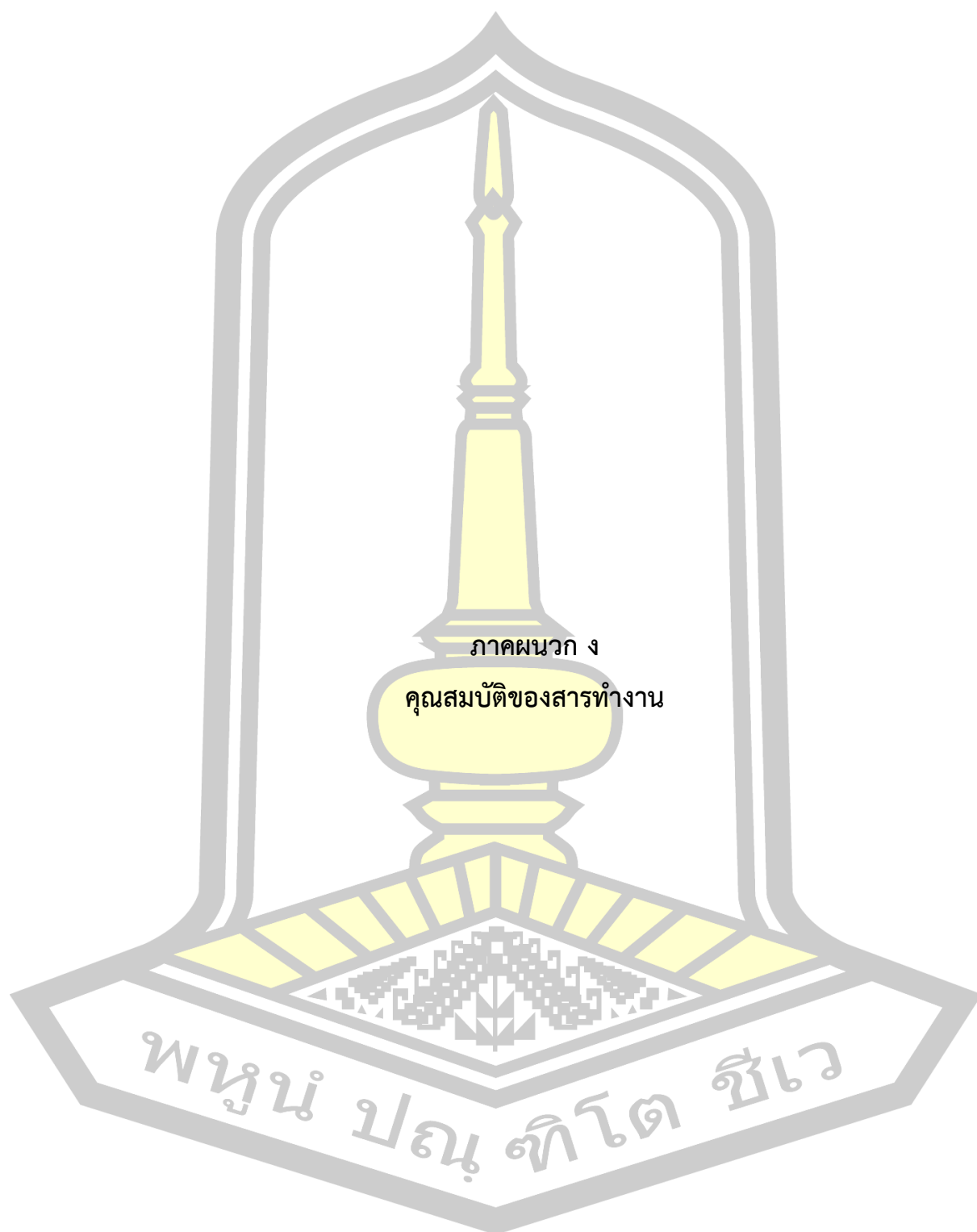


NO.	PART NUMBER
1	Experimental Platform
2	Helical Oscillating Heat Pipe
3	Hot Water Box
4	Cool Water Box

MATERIAL : NO.		Faculty of Engineering Mahasarakham University	
SIZE : A4	SCALE : 1:15	TITLE: HOHP/CV TEST SET	DWG : NO.
DESIGN BY: RAPHEEPHAT LADSRITHA		CHECKED : Asst. Prof. Dr. TEERAPAT CHOMPOOKHAM	





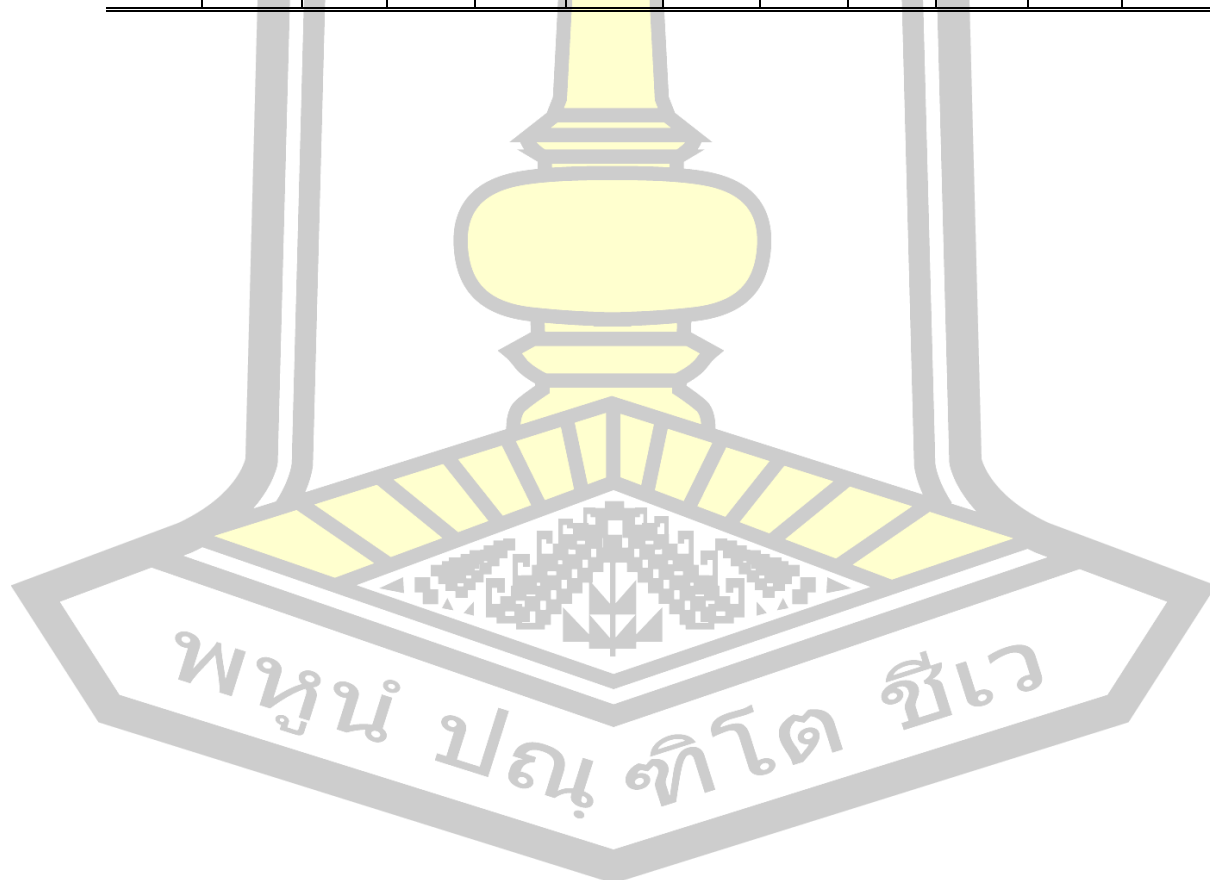


ตาราง ค1 คุณสมบัติของสารทำงานน้ำ

Temp. °C	Pressure MPa	Density	Volume	Enthalpy		Viscosity		Specific Heat		Thermal C.		Surface Tension mN/m
		Kg/m ³	m ³ /kg	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	
0.01	0.00061	999.8	205.98	0.0	2500.5	1792.4	9.22	4.229	1.868	561.0	17.07	75.65
5.00	0.00087	999.9	147.02	21.0	2509.7	1519.1	9.34	4.200	1.871	570.5	17.34	74.95
10.00	0.00123	999.7	106.32	42.0	2518.9	1306.6	9.46	4.188	1.874	580.0	17.62	74.22
15.00	0.00171	999.1	77.900	62.9	2528.0	1138.2	9.59	4.184	1.878	589.3	17.92	73.49
20.00	0.00234	998.2	57.777	83.8	2537.2	1002.1	9.73	4.183	1.882	598.4	18.23	72.74
25.00	0.00317	997.0	43.356	104.8	2546.3	890.5	9.87	4.183	1.887	607.1	18.55	71.98
30.00	0.00425	995.6	32.896	125.7	2555.3	797.7	10.01	4.183	1.892	615.4	18.88	71.20
35.00	0.00563	994.0	25.221	146.6	2564.4	719.6	10.16	4.183	1.898	623.2	19.23	70.41
40.00	0.00738	992.2	19.528	167.5	2573.4	653.2	10.31	4.182	1.905	630.5	19.60	69.60
45.00	0.00959	990.2	15.263	188.4	2582.3	596.3	10.46	4.182	1.912	637.3	19.97	68.78
50.00	0.01234	989.0	12.037	209.3	2591.2	547.0	10.62	4.182	1.919	643.5	20.36	67.95
55.00	0.01575	985.6	9.5730	230.2	2600.0	504.1	10.77	4.182	1.928	649.2	20.77	67.10
60.00	0.01993	983.2	7.6746	251.2	2608.8	466.5	10.93	4.183	1.937	654.3	21.18	66.24
65.00	0.02502	980.5	6.1996	272.1	2617.5	433.4	11.10	4.184	1.947	658.9	21.62	65.37
70.00	0.03118	977.8	5.0447	293.0	2626.1	404.0	11.26	4.187	1.958	663.1	22.07	64.49
75.00	0.03856	974.8	4.1333	314.0	2634.6	377.8	11.42	4.190	1.970	666.7	22.53	63.59
80.00	0.04737	971.8	3.4088	334.9	2643.1	354.5	11.59	4.194	1.983	670.0	23.01	62.68
85.00	0.05781	968.6	2.8289	355.9	2651.4	333.4	11.76	4.199	1.996	672.8	23.50	61.76
90.00	0.07012	965.3	2.3617	376.9	2659.6	314.5	11.93	4.204	2.011	675.3	24.02	60.82
95.00	0.08453	961.9	1.9828	398.0	2667.7	297.4	12.10	4.210	2.027	677.4	24.55	59.88
100.00	0.10132	958.4	1.6736	419.1	2675.7	281.8	12.27	4.217	2.044	679.1	25.09	58.92
105.00	0.12079	954.8	1.4200	440.2	2683.6	267.7	12.44	4.224	2.062	680.6	25.66	57.95
110.00	0.14324	951.0	1.2106	461.3	2691.3	254.8	12.61	4.232	2.082	681.7	26.24	56.97
115.00	0.16902	947.1	1.0370	482.5	2698.8	243.0	12.78	4.240	2.103	682.6	26.84	55.98
120.00	0.19848	943.2	0.89222	503.8	2706.2	232.1	12.96	4.249	2.126	683.2	27.46	54.97
125.00	0.23201	939.1	0.77089	525.1	2713.4	222.2	13.13	4.258	2.150	683.6	28.10	53.96
130.00	0.27002	934.9	0.66872	546.4	2720.4	213.0	13.30	4.268	2.176	683.7	28.76	52.94
135.00	0.31293	930.6	0.58234	567.8	2727.2	204.5	13.47	4.278	2.203	683.6	29.44	51.91
140.00	0.36119	926.2	0.50898	589.2	2733.8	196.6	13.65	4.288	2.233	683.3	30.13	50.86
145.00	0.41529	921.7	0.44643	610.8	2740.2	189.3	13.82	4.300	2.265	682.8	30.85	49.81
150.00	0.47572	917.1	0.39287	632.3	2746.4	182.5	13.99	4.312	2.299	682.1	31.59	48.75
155.00	0.54299	912.3	0.34681	654.0	2752.3	176.2	14.16	4.325	2.335	681.1	32.35	47.68
160.00	0.61766	907.5	0.30709	675.6	2758.0	170.3	14.34	4.338	2.374	680.0	33.12	46.60
165.00	0.70029	902.6	0.27270	697.4	2763.3	164.8	14.51	4.353	2.415	678.6	33.92	45.51
170.00	0.79147	897.5	0.24283	719.3	2768.5	159.6	14.68	4.369	2.460	677.1	34.74	44.41
175.00	0.89180	892.3	0.21679	741.2	2773.3	154.7	14.85	4.386	2.507	675.3	35.58	43.31
180.00	1.0019	887.1	0.19403	763.2	2777.8	150.2	15.02	4.403	2.558	673.4	36.44	42.20
185.00	1.1225	881.7	0.17406	785.4	2782.0	145.9	15.20	4.423	2.612	671.2	37.32	41.08
190.00	1.2542	876.1	0.15650	807.6	2785.8	141.8	15.37	4.443	2.670	668.8	38.23	39.95
195.00	1.3976	870.5	0.14102	829.9	2789.4	138.0	25.54	4.465	2.731	666.2	39.15	38.82
200.00	1.5536	864.7	0.12732	852.4	2792.5	134.4	15.71	4.489	2.797	663.4	40.10	37.68

ตาราง ค2 คุณสมบัติของสารทำงานเอทานอล

Temp. °C	Pressure MPa	h_{fg} Latent kJ/kg	Density Liquid 10^3 kg/m ³	Density Vapor kg/m ³	Viscosity Liquid 10^{-3} N·s/m ²	Viscosity Vapor 10^{-5} N·s/m ²	K_l Liquid W/m·K	K_v Vapor W/m·K	Surface Tension Liquid 10^{-3} N/m	$C_{p,l}$ Liquid kJ/kg·K	$C_{p,v}$ Vapor kJ/kg·K
0	0.012	1048.4	0.901	0.036	1.7990	0.774	0.183	0.0117	24.4	0.541	1.34
20	0.058	1030.0	0.800	0.085	1.1980	0.835	0.179	0.0139	22.8	0.574	1.40
40	0.180	1011.9	0.789	0.316	0.8190	0.900	0.175	0.160	21.0	0.615	1.48
60	0.472	988.9	0.770	0.748	0.5880	0.959	0.171	0.0179	19.2	0.665	1.54
80	1.086	960.0	0.757	1.430	0.4320	1.030	0.169	0.0199	17.3	0.723	1.61
100	2.260	927.0	0.730	3.410	0.3180	1.092	0.167	0.0219	15.5	0.789	1.68
120	4.290	885.5	0.710	6.010	0.2430	1.157	0.165	0.0238	13.4	0.863	1.75
140	7.530	834.0	0.680	10.670	0.1900	1.219	0.163	0.0256	11.2	0.945	-
160	12.756	772.9	0.650	17.450	0.1500	1.293	0.161	0.0272	9.0	-	-
180	19.600	698.8	0.610	27.650	0.1200	1.369	0.159	0.0288	6.7	-	-
200	29.400	598.3	0.564	44.480	0.0950	1.464	0.157	0.0395	4.3	-	-
220	42.800	468.5	0.510	74.350	0.0725	1.618	0.155	0.0321	2.2	-	-
240	60.200	280.5	0.415	135.500	0.0488	1.948	0.153	-	0.1	-	-



ตาราง ค3 คุณสมบัติของสารทำงาน R-11

Temp. °C	Pressure MPa	Density kg/m ³	Volume m ³ /kg	Enthalpy kJ/kg		Entropy kJ/(kg·K)		Specific Heat, C _p kJ/(kg·K)	
		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor
0	0.04020	1534.1	0.40328	200.00	389.77	1.0000	1.6947	0.859	0.576
10	0.06068	1511.3	0.27518	208.64	394.92	1.0310	1.6889	0.867	0.589
20	0.08868	1488.1	0.19342	217.36	400.08	1.0612	1.6845	0.876	0.603
30	0.12596	1464.3	0.13950	226.19	405.21	1.0907	1.6813	0.886	0.617
40	0.17443	1440.0	0.10290	235.11	410.30	1.1196	1.6790	0.896	0.631
50	0.23614	1414.9	0.07741	244.15	415.32	1.1479	1.6776	0.908	0.646
60	0.31329	1389.1	0.05924	253.32	420.25	1.1756	1.6767	0.921	0.662
70	0.40818	1362.4	0.04601	262.62	425.08	1.2030	1.6764	0.935	0.679
80	0.52323	1334.7	0.03620	272.08	429.76	1.2299	1.6764	0.951	0.698
90	0.66094	1305.8	0.02879	281.70	434.27	1.2564	1.6766	0.969	0.719
100	0.82390	1275.6	0.02312	291.50	438.57	1.2827	1.6769	0.989	0.744
110	1.0148	1243.8	0.01870	301.51	442.63	1.3088	1.6771	1.013	0.773
120	1.2364	1210.1	0.01522	311.75	446.40	1.3347	1.6772	1.041	0.807
130	1.4916	1174.1	0.01244	322.27	449.82	1.3606	1.6770	1.075	0.851
140	1.7834	1135.2	0.01019	333.10	452.81	1.3865	1.6763	1.119	0.907
150	2.1151	1092.5	0.00835	344.33	455.26	1.4127	1.6748	1.178	0.985
160	2.4903	1044.5	0.00681	356.08	456.99	1.4393	1.6722	1.266	1.100
170	2.9131	988.7	0.00550	368.57	457.68	1.4668	1.6679	1.412	1.294
180	3.3888	919.3	0.00435	382.27	456.71	1.4963	1.6605	1.715	1.695
190	3.9250	820.6	0.00325	398.49	452.24	1.5303	1.6464	2.705	3.060



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	รพีพัฒน์ ลาดศรีทา
วันเกิด	21 สิงหาคม 2530
สถานที่เกิด	มหาสารคาม
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	60 หมู่ 19 ตำบลท่าสองคอน อำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44000
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	ครูผู้ช่วย
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	โรงเรียนโดมประดิษฐ์วิทยา
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2551 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยขอนแก่น พ.ศ. 2554 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยขอนแก่น พ.ศ. 2561 ปริญญานิติศาสตรบัณฑิต (น.บ.) สาขาวิชานิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช พ.ศ. 2562 ปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต (ค.ม.) สาขาวิชาหลักสูตรและการ เรียนการสอน มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม พ.ศ. 2563 ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (ปร.ด.) สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

พูน ปณ ทิโต ชีเว