

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

จากสถานการณ์ในปัจจุบันเห็นได้ว่าเทคโนโลยีใหม่ๆที่เกิดขึ้นมักจะประกอบไปด้วยชิ้นส่วนทางอิเล็กทรอนิกส์ที่มีขนาดเล็กลงและมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดความร้อนสะสมขึ้นกับอุปกรณ์เหล่านี้มากขึ้นตามไปด้วย ในขณะที่วงก้นพื้นที่ระบายความร้อนของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีขนาดเล็กลง ด้วยข้อจำกัดของพื้นที่ระบายความร้อนที่มีขนาดเล็กลง และยังมีความร้อนที่สะสมเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงมีการนำท่อความร้อนแบบสันมาติดตั้งกับแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อระบายความร้อนแต่อย่างไรก็ดี มีรายงานว่าในบางกรณีท่อความร้อนชนิดนี้จะพบปัญหาเกี่ยวกับการไม่สามารถถ่ายเทความร้อนได้ตั้งแต่เริ่มต้นทำงาน Lee et al.(2000) และ Charoensawan et al.(2003) จึงทำให้เกิดความเสียหายขึ้นกับอุปกรณ์ต่างๆ เช่น มีอายุการใช้งานที่ลดลงและอุปกรณ์ดังกล่าวนี้เองมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ลดลงด้วย ดังนั้นเพื่อที่จะเพิ่มอายุการใช้งานและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้กับอุปกรณ์นั้นๆ จึงจำเป็นต้องทราบถึงสาเหตุ และปัจจัยที่ทำให้ท่อความร้อนไม่สามารถทำงานตั้งแต่เริ่มต้นได้



รูปที่ 1.1 แสดงการติดตั้งท่อความร้อนเพื่อระบายความร้อนให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

สำหรับเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับการเริ่มต้นทำงานได้ของท่อความร้อนแบบสัน ได้มีรายงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ทำการศึกษายู่บ้าง เช่น Lin et al. (2000) แสดงให้เห็นว่าสำหรับท่อความร้อนแบบสันชนิดปลายปิดที่ใช้สารทำงาน FC – 72 โดยใช้ท่อความร้อนที่มีความยาวรวม 446 มิลลิเมตร 40 โค้งเลี้ยว ไม่สามารถทำงานได้เมื่ออัตราส่วนการเติมมีค่าน้อยกว่า 32 % ของปริมาตร

Charoensawan et al. (2003) พบว่าจะมีจำนวนโค้งเลี้ยววิกฤติ(N_{crit}) ค่าหนึ่งต่ำกว่าที่หากว่าท่อความร้อนที่สร้างขึ้นมีจำนวนโค้งเลี้ยวน้อยกว่าค่าวิกฤตินี้แล้ว ท่อจะทำงานได้ดีในแนวตั้งหรือมุมที่ใกล้แนวตั้ง และในทางกลับกันหากว่าท่อความร้อนที่สร้างขึ้นมีจำนวนโค้งเลี้ยวมากกว่าค่าวิกฤตินี้แล้ว ท่อจะทำงานได้ในทุก ๆ มุมตั้งแต่ 0 - 90 องศาจากข้อมูลเหล่านี้อาจกล่าวได้ว่าเงื่อนไขการเริ่มต้นทำงานได้ของท่อความร้อนแบบสันชนิดวงรอบไม่ได้มีแค่เพียงจำนวนโค้งเลี้ยวแต่ยังมีปัจจัยอื่นๆอยู่อีกมาก และข้อมูลส่วนใหญ่มักเป็นผลพลอยได้จากการศึกษาถึง คุณลักษณะการส่งถ่ายความร้อนของท่อความร้อนแบบสัน แต่อย่างไรก็ดีได้มีการวางแนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับการเริ่มต้นทำงานของท่อ โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายการทำงานของท่อความร้อนแบบสันวงรอบขึ้นมาโดย Sophonpongpipat et al. (2008) พบว่าท่อความร้อนแบบสันวงรอบจะเริ่มทำงานได้เมื่อเกิดการไหลเวียนของสารทำงานแบบแทนที่ขึ้นภายใน โดยการไหลเวียนจะเกิดขึ้นได้เมื่ออัตราการควบแน่นของฟองไอทั้งหมดมีค่ามากกว่าอัตราการขยายตัวของก้อนฟองไอ และการยับยั้งการไหลเวียนแบบแทนที่จากการขยายตัวของก้อนฟองไอมิมากเกินจะนำไปสู่สภาวะการแห้งตั้งแต่เริ่มต้น และยังได้ทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ทำนายเงื่อนไขการเริ่มต้นทำงานได้ของท่อความร้อนแบบสันวงรอบอีกด้วย แต่การยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองยังมีข้อมูลเชิงการทดลองที่สนับสนุนแบบจำลองนี้น้อยมาก

ดังนั้นในรายงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาค้นคว้าทดลองเชิงปริมาณ เพื่อหาอุณหภูมิแตกต่างระหว่างส่วนทำระเหย และ ส่วนควบแน่นที่เหมาะสมที่สุด ที่จะทำให้สารทำงานภายในท่อความร้อนเกิดการไหลเวียนได้และเพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Sophonpongpipat et al. (2008) ที่ใช้ทำนายเงื่อนไขการเริ่มต้นทำงานของท่อความร้อนแบบสันชนิดวงรอบ

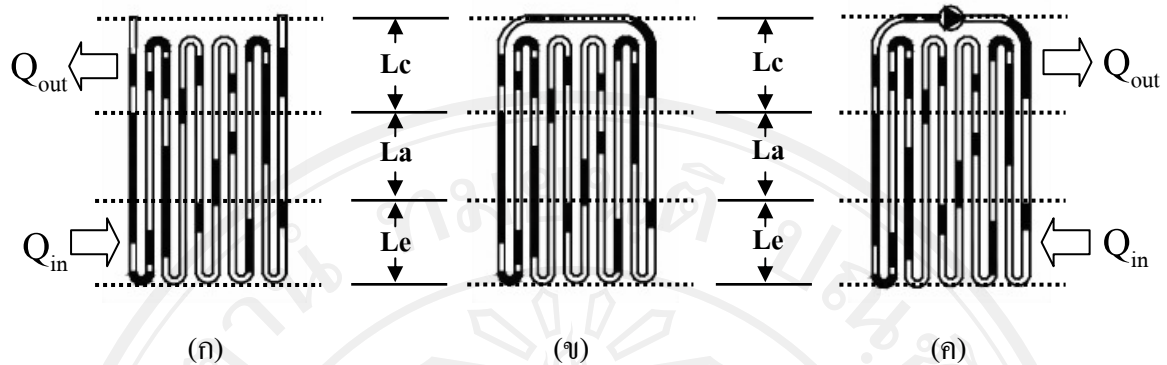
1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ดีในงานวิจัยที่จะทำการศึกษานี้ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องอธิบายเกี่ยวกับท่อความร้อนแบบสันโดยสังเขปถึง ชนิดของท่อความร้อนแบบสัน หลักการทำงาน ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย และข้อมูลการศึกษาในรายละเอียดถึงลักษณะของท่อความร้อนแบบสันแต่ละแบบทั้งในการศึกษาเชิงปริมาณ และการศึกษาเชิงทฤษฎี ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.2.1 ท่อความร้อนแบบสัน (Oscillating or pulsating heat pipe)

ท่อความร้อนแบบสันจัดเป็นอุปกรณ์ที่สามารถแลกเปลี่ยนความร้อน ได้โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานจากภายนอกเช่นเดียวกับท่อความร้อนแบบปกติ และท่อความร้อนแบบสันจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนทำระเหย (L_e) ส่วนกักความร้อน (L_a) และส่วนควบแน่น (L_c) ดังแสดงในรูปที่ 1.2

ลักษณะของท่อความร้อนแบบสั้นแต่ละแบบ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 (ก) ท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิด (ข) ท่อความร้อนแบบสั้นชนิดวงรอบ
(ค)ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่มีวาล์วกันกลับ

1.2.2 ชนิดของท่อความร้อนแบบสั้น

ท่อความร้อนแบบสั้นจะมีด้วยกัน 3 แบบ (Maezawa et. al., 2000) ดังรูปที่ 1.2 คือ

1.2.2.1 ท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิด (Closed-end oscillating heat pipe) ทำจากท่อคาปิลลารีที่ยาวโดยไม่มีการต่อปลายท่อทั้งสองข้างเข้าด้วยกัน กรณีนี้การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นจากการสั่นที่ถูกขับโดยคลื่นความดันที่แกว่งอย่างรวดเร็วซึ่งเกิดจากการเดือดแบบฟอง (Nuclear boiling) ในของไหลทำงาน แสดงในรูปที่ 1.2(ก)

1.2.2.2 ท่อความร้อนแบบสั้นชนิดวงรอบ (Closed - loop oscillating heat pipe) ทำจากท่อคาปิลลารีที่ยาวมาก และมีการต่อปลายท่อทั้งสองด้านเข้าด้วยกันเป็นวงรอบ ดังนั้นในกรณีนี้การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นจากการสั่นของของไหลทำงานในแนวแกนของท่อจึงเป็นสาเหตุให้เกิดการไหลเวียนที่ช้าลงในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง แสดงในรูปที่ 1.2(ข)

1.2.2.3 ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่มีวาล์วกันกลับ (Closed - loop oscillating heat pipe with check valves) ทำจากท่อคาปิลลารีที่มีความยาวมากๆ และมีการต่อปลายท่อทั้งสองเข้าด้วยกันเป็นวงรอบโดยมีการติดวาล์วกันกลับไว้ในวงจรตั้งแต่ 1 ตัวขึ้นไป เพื่อให้ของไหลทำงานนำความร้อนไหลเวียนไปในทิศทางที่กำหนดได้อย่างรวดเร็ว แสดงในรูปที่ 1.2(ค)

1.2.3 คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้น

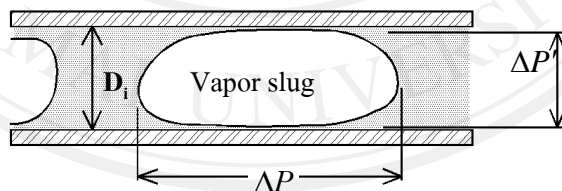
การศึกษาคุณลักษณะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้น หมายถึงการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นที่ทำงานได้ระดับขีดจำกัดการทำงาน ซึ่งตัวแปรต่างๆได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ความยาวส่วนทำระเหย จำนวนโค้งเลี้ยวชนิดของสารทำงานและมุมเอียงการทำงานของท่อความร้อนแบบสั้น หากจำแนกตามชนิดของท่อความร้อนแบบสั้นซึ่งได้อธิบายในตอนต้นแล้ว ก็จะสามารถอธิบายคุณลักษณะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นได้ดังนี้

1.2.3.1 กรณีของท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิด

- ผลของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิด

การที่ท่อความร้อนแบบสั้นจะสามารถทำงานได้นั้น สารทำงานที่อยู่ภายในท่อต้องมีลักษณะเป็นแบบฟองไอและก้อนของเหลวสลับกันตลอดช่วงความยาวท่อ อันเป็นผลเนื่องมาจากแรงตึงผิวของสารทำงาน โดยมีเงื่อนไขในการเกิดลักษณะดังกล่าวคือความดันไอตามแนวแกนของท่อต้องมากกว่าความดันไอตามแนวขวาง Maezawa et al.(1996) ดังแสดงในรูปที่ 1.3 สำหรับสารทำงานที่ทราบค่าความหนาแน่นและแรงตึงผิว สามารถหาเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดของท่อคาปิลลารีที่สามารถเกิดฟองไอสลับกับก้อนของเหลวตลอดความยาวของท่อ ได้ดังสมการ

$$D_{i,max} = 2\sqrt{\frac{\sigma}{\rho_l g}} \quad (1.1)$$



รูปที่ 1.3 การเกิดฟองไอสลับกับก้อนของเหลวในท่อคาปิลลารี Maezawa et al.(1996)

เส้นผ่านศูนย์กลางภายในนั้น มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิด โดยมีชนิดของสารทำงานเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่นในกรณีที่สารทำงานเป็น R123 เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อเพิ่มขึ้นจาก 0.66 mm ไปเป็น 2.03 mm พบว่าค่าความหนาแน่นความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 3631 W/m^2 ไปเป็น 7646 W/m^2 แต่ในกรณีที่สารทำงานเป็นเอทานอล เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นจาก 1.06 mm ไปเป็น 2.03 mm พบว่าค่าความหนาแน่นความร้อนลดลงจาก 7831 W/m^2 ไปเป็น 5793 W/m^2 Rittidech et al.(2003)

- ผลของความยาวส่วนทำระเหยของท่อความร้อนแบบสันปลายปิด

ความยาวส่วนทำระเหยคือความยาวของส่วนที่ได้รับความร้อนซึ่งวัดจากปลายสุดของกลุ่มท่อด้านส่วนทำระเหยไปยังรอยต่อระหว่างส่วนทำระเหยและส่วนกันความร้อน ความยาวส่วนทำระเหยนั้นมีผลต่อลักษณะเฉพาะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสันปลายปิด คือเมื่อความยาวส่วนทำระเหยมากขึ้น ค่าความหนาแน่นความร้อนที่สามารถถ่ายเทได้จะลดลง ดังเช่นในท่อความร้อนแบบสันปลายปิดที่ใช้สารทำงานเดียวกัน พบว่าหากเพิ่มความยาวส่วนทำระเหยจาก 50 mm ไปเป็น 150 mm ค่าความหนาแน่นความร้อนลดลงจาก 7646 W/m^2 ไปเป็น 4506 W/m^2 Rittidech et al. (2003)

- ผลของจำนวนโค้งเลี้ยวของท่อความร้อนแบบสันปลายปิด

จำนวนโค้งเลี้ยวคือจำนวนของท่อความร้อนที่ขดเป็นรูปตัวยูภายในส่วนทำระเหย ความหมายอีกนัยหนึ่งของจำนวนโค้งเลี้ยวคือความยาวรวม การเพิ่มจำนวนโค้งเลี้ยวเสมือนกับการเพิ่มความยาวรวม จำนวนโค้งเลี้ยวนี้มีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสันปลายปิด คือเมื่อจำนวนโค้งเลี้ยวหรือความยาวรวมมากขึ้น ค่าความหนาแน่นความร้อนที่สามารถถ่ายเทได้จะลดลง ดังในท่อความร้อนแบบสันปลายปิดพบว่าหากเพิ่มจำนวนโค้งเลี้ยวจาก 14 โค้งเลี้ยว เป็น 24 โค้งเลี้ยว ค่าความหนาแน่นความร้อนลดลงจาก 10172 W/m^2 ไปเป็น 7646 W/m^2 เมื่อสารทำงานเป็น R123 และจาก 11437 W/m^2 เป็น 5793 W/m^2 เมื่อใช้สารทำงานเป็นเอทานอล Rittidech et al.(2003)

- ผลของอัตราส่วนการเติมสารทำงานของท่อความร้อนแบบสันปลายปิด

อัตราส่วนการเติมสารทำงานคืออัตราส่วนของปริมาตรสารทำงานต่อปริมาตรภายในของท่อความร้อนทั้งหมด อัตราส่วนการเติมสารทำงานมีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสันปลายปิด โดยพบว่าที่อัตราการเติมสาร 50% จะทำให้ค่าความต้านทานความร้อนมีค่าต่ำกว่าที่อัตราการเติม 30% และ 70% Maezawa et al.(1996) และยังพบอีกว่าท่อความร้อนแบบสันปลายปิดที่ใช้สารทำงาน FC-72 ที่อัตราส่วนการเติมสาร 50% มีอัตราการส่งถ่ายความร้อนสูงสุดถึง 2040 W Lin et al.(2000)

- ผลของชนิดสารทำงานของท่อความร้อนแบบสันปลายปิด

สารทำงานหนึ่งๆ จะมีค่าคุณสมบัติจำเพาะอยู่หลายค่า แต่ค่าที่สำคัญที่สุดที่ใช้ในการจำแนกชนิดของสารทำงานคือค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (h_{fg}) ชนิดสารทำงานนั้นมีผลต่อลักษณะเฉพาะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสันปลายปิด คือเมื่อค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอมากขึ้น ค่าความหนาแน่นความร้อนที่สามารถถ่ายเทได้จะลดลง ดังเช่นในท่อความร้อนแบบสันปลายปิด เมื่อเปลี่ยนสารทำงานจาก R123 เป็น R141b หรือเสมือนกับเพิ่มค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอจาก 160 kJ/kg เป็น 213 kJ/kg

ค่าความหนาแน่นความร้อนลดลงจาก 18102 W/m^2 ไปเป็น 10840 W/m^2 จากผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิดดังกล่าวมา สามารถรวมความสัมพันธ์ของตัวแปรดังกล่าวให้เป็นสมการสหสัมพันธ์ที่ใช้ในการทำนายคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิดได้ในรูปของตัวแปรไร้มิติดังสมการ Rittidech et al.(2003)

$$Ku_0 = \frac{q_0}{\left(h_{fg} \rho_v \left[\sigma g \left(\frac{\rho_l - \rho_v}{\rho_v} \right) \right]^{0.25} \right)} = 0.0052 \left[\left(\frac{Di^{4.3} Lt^{0.1}}{Le^{4.4}} \right) n^{0.5} \left(\frac{\rho_v}{\rho_l} \right)^{-0.2} Pr_v^{-25} \right]^{0.116} \quad (1.2)$$

1.2.3.2 กรณีของท่อความร้อนแบบสั้นชนิดวงรอบ

- ผลของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อความร้อนแบบสั้นชนิดวงรอบ

เส้นผ่านศูนย์กลางภายในนั้นมีผลต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อ - ความร้อนแบบสั้นวงรอบ คือเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายในมากขึ้น ค่าความหนาแน่นความร้อนที่สามารถถ่ายเทได้จะมากขึ้น ดังเช่นในท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ใช้สารทำงานเดียวกันและมีความยาวส่วนทำระเหยเดียว กันคือ 100 mm Charoensawan et al.(2003)

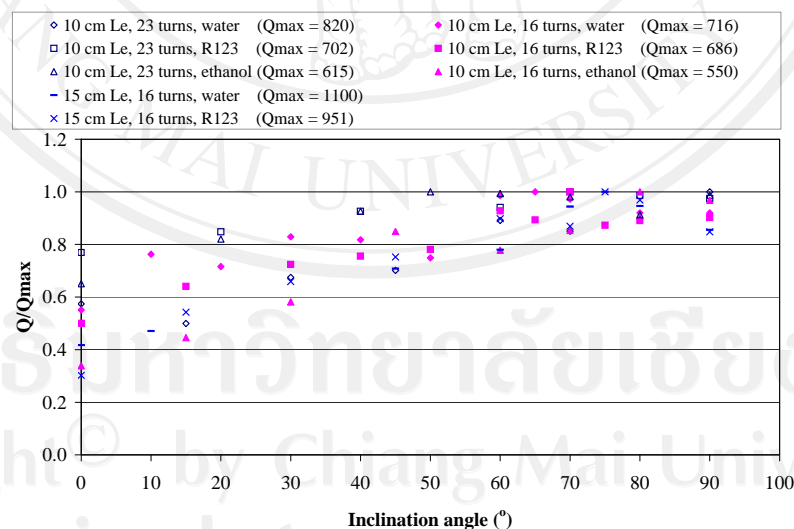
- ผลของจำนวนโค้งเลี้ยวของท่อความร้อนแบบสั้นชนิดวงรอบ

ดังที่กล่าวมาแล้วว่าความหมายอีกนัยหนึ่งของจำนวน โค้งเลี้ยวคือความยาวรวม การเพิ่มความยาวรวมก็เสมือนกับการเพิ่มจำนวน โค้งเลี้ยว ความยาวรวมนั้นมีผลต่อลักษณะเฉพาะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ คือเมื่อความยาวรวมมากขึ้น ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจะมากขึ้น ดังเช่นในท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ใช้สารทำงานเดียวกันพบว่าหากเพิ่มความยาวรวม จาก 5 m ไปเป็น 17.5 m ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 368 W ไปเป็น $1,114 \text{ W}$ ทั้งนี้เนื่องมาจากการที่ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบมีความยาวรวมมากขึ้น จึงทำให้มีพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนมากขึ้นนอก จากนี้ยังพบว่าจำนวน โค้งเลี้ยวมีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนระหว่างค่าความต้านทานความร้อนและค่าความต้านทานความร้อนสูงสุดดังสมการ Charoensawan et al.(2000)

$$R / R_{\max} = 15.775N^{-1.1042} \quad (1.3)$$

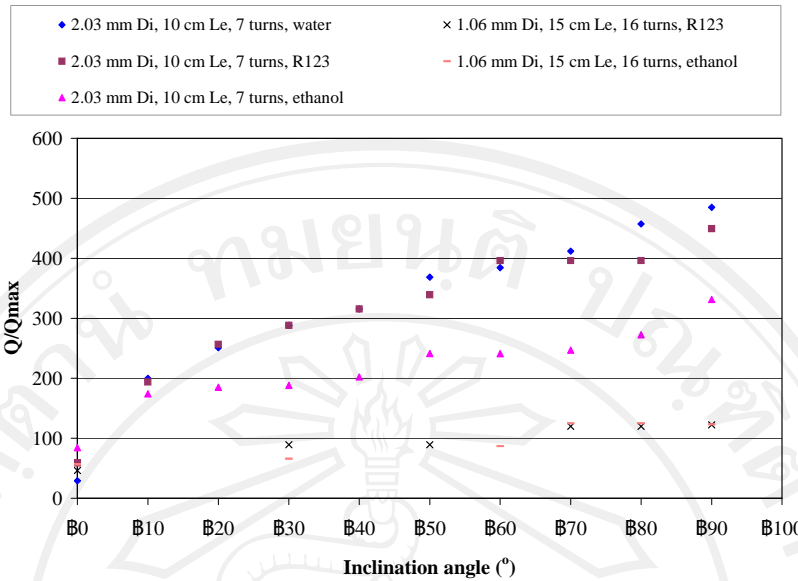
ต่อมา Charoensawan et al. (2003) ได้ทำการทดสอบท่อความร้อนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.00 และ 2.00 มม. อัตราส่วนการเติม 50% ใช้น้ำ เอทานอล และ R123 เป็นสารทำงานแปรค่าความยาวรวมของท่อเป็น 5 10 และ 15 เมตร ตามลำดับ ซึ่งเมื่อกำหนดความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นต่างๆกัน ก็จะได้จำนวนโค้งเลี้ยวของท่อต่างๆกัน โดยมีค่า 5 และ 7 สำหรับท่อที่มี

ความยาวรวม 5 เมตร และความยาวส่วนทำระเหยเท่ากับความยาวส่วนควบแน่น และส่วนกันความร้อน เท่ากับ 0.15 และ 0.10 เมตร และจำนวนโค้งเลี้ยวมีค่า 16 และ 11 สำหรับท่อที่มีความยาวรวม 10 เมตร และความยาวส่วนต่างๆ เท่ากับ 0.10 และ 0.15 เมตร และจำนวนโค้งเลี้ยวมีค่า 23 และ 16 สำหรับท่อที่มีความยาวรวม 15 เมตร และความยาวส่วนต่างๆ เท่ากับ 0.10 และ 0.15 เมตร จากการทดลองพบว่า จำนวนโค้งเลี้ยวมีผลต่อการทำงานของท่อความร้อนที่มุมเอียงต่างๆ โดย จะมีจำนวนโค้งเลี้ยววิกฤติ (N_{crit}) ค่าหนึ่งต่ำกว่าท่อความร้อนที่สร้างขึ้นมีจำนวนโค้งเลี้ยวน้อยกว่าค่าวิกฤตินี้แล้วท่อจะทำงานได้ดีเฉพาะในแนวตั้งหรือที่มุมใกล้เคียงแนวตั้งเท่านั้น และในทางกลับกันหากท่อความร้อนที่สร้างขึ้นมีจำนวนโค้งเลี้ยวมากกว่าค่าวิกฤตินี้แล้วท่อจะทำงานได้ในทุกๆ มุมตั้งแต่ 0 – 90 องศา แต่อย่างไรก็ตามที่มุมเอียง 60 องศาถัดจากแนวตั้งท่อความร้อนจะสามารถส่งผ่านความร้อนได้ดีที่สุด สำหรับการศึกษาของ Charoensawan et al.(2003) นั้นพบว่าสำหรับท่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.00 มม. ค่าจำนวนโค้งเลี้ยววิกฤติมีค่าประมาณ 16 โค้งเลี้ยว และสำหรับท่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.00 มม. ค่าจำนวนโค้งเลี้ยววิกฤติมีค่าประมาณ 23 โค้งเลี้ยว ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจำนวนโค้งเลี้ยววิกฤติ และ อัตราส่วนการส่งผ่านความร้อน ที่มุมเอียงใดๆต่อการส่งผ่านความร้อนสูงสุด (Q/Q_{max}) ซึ่งแสดงความสามารถในการส่งผ่านความร้อนของท่อความร้อนที่มุมเอียงต่างๆ แสดงไว้ในรูปที่ 1.4 สำหรับกรณี $N > N_{crit}$ และแสดงไว้ในรูปที่ 1.5 สำหรับกรณี $N < N_{crit}$



รูปที่ 1.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Q/Q_{max} และมุมเอียง เมื่อ $N > N_{crit}$

Charoensawan et al.(2000)



รูปที่ 1.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Q/Q_{max} และมุมเอียง เมื่อ $N < N_{crit}$

Charoensawan et al.(2003)

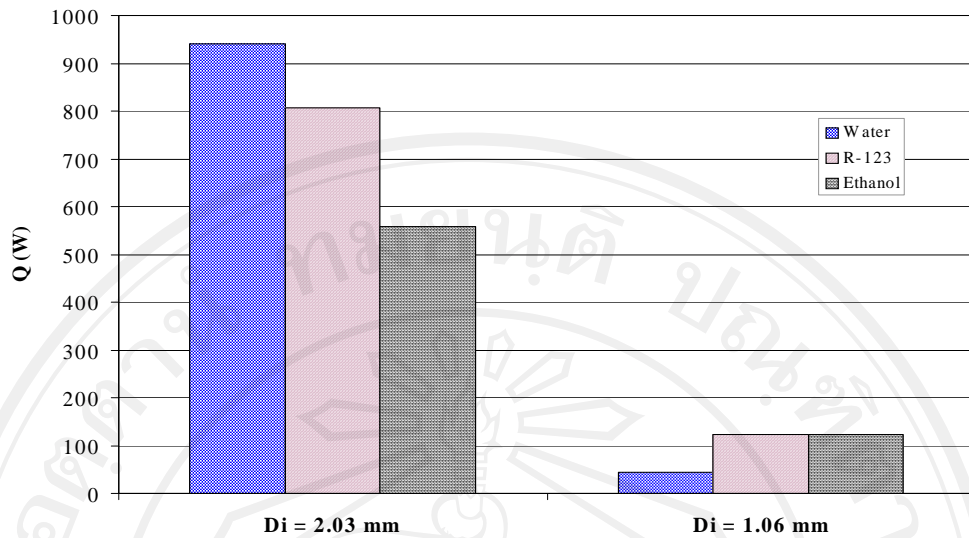
- ผลของมุมเอียงการทำงานของท่อความร้อนแบบสันชนิดวงรอบ

ผลของมุมเอียงการทำงานนั้นมีผลต่อลักษณะเฉพาะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสันวงรอบ คือเมื่อมุมเอียงการทำงานมากขึ้น ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง ดังเช่นในท่อความร้อนแบบสันวงรอบที่ใช้สารทำงานเดียวกัน พบว่า หากเพิ่มมุมเอียง จาก 0 ไปเป็น 90° ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจะแปรเปลี่ยนอยู่ในช่วงระหว่าง 825 W และ 1134 W โดยที่อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเกิดขึ้นที่มุมเอียง 20 องศา ส่วนที่มุมเอียง 90 องศา นั้นค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนคือ 856 W ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเมื่อมุมเอียงการทำงานมากขึ้น แรงโน้มถ่วงส่งผลกระทบต่อเคลื่อนที่ของฟองไอน้ำมากขึ้น ขณะที่ความแตกต่างความดันของฟองไอและก้อนของเหลวมีความสำคัญน้อยลง Charoensawan et al.(2000)

เมื่อส่วนทำระเหยของท่อความร้อนอยู่ต่ำกว่าส่วนควบแน่น (Bottom heat mode, BHM) อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ได้จะแปรผันตรงกับอุณหภูมิแตกต่างระหว่างส่วนทำระเหยและ ส่วนควบแน่น ซึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อนนี้จะเป็นแบบคงตัว (Steady state) ต่างจากในกรณีที่ส่วนทำระเหยของท่อความร้อนอยู่สูงกว่าส่วนควบแน่น (Top heat mode, THM) โดยอัตราการถ่ายเทความร้อนนั้นจะเป็นแบบไม่เป็นระเบียบ (Chaotic) Dobson et al.(2003)

- ผลของอัตราส่วนการเติมสารทำงานของท่อความร้อนแบบสันชนิดวงรอบ

อัตราส่วนการเติมสารทำงานมีผลต่อลักษณะเฉพาะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสันชนิดวงรอบ โดยพบว่าในช่วงอัตราการเติมสาร 30% ถึง 50% เมื่อเพิ่มอัตราการเติมสาร ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้น ช่วงอัตราการเติมสาร 50% ถึง 70% เป็นช่วงที่ทำให้เกิดค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดของทุกมุมเอียงการทำงาน และช่วงอัตราการเติมสารมากกว่า 70% ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจะลดลงอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องมาจากฟองไอและก้อนของเหลวมีขนาดเล็กเพียงพอที่จะเคลื่อนที่ได้ง่าย และมีปริมาณมากพอที่จะใช้ในการถ่ายเทความร้อน Charoensawan et al.(2000) ต่อมามีการตั้งสมมติฐานว่าอัตราส่วนการเติมมีผลต่อความเร็วในการไหลเวียนของสารทำงานภายในท่อความร้อนแบบสันชนิดวงรอบ ซึ่งความเร็วในการไหลของสารทำงานจะส่งผลกระทบต่อการส่งผ่านความร้อน ดังนั้นเพื่อที่จะทดสอบสมมติฐานนี้ Charoensawan et al. (2000) ทำการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนการเติมสารทำงานที่มีต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสันวงรอบ โดยใช้ท่อคาปิลลารีทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 3 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2 มิลลิเมตร ความยาวส่วนควมแน่น ส่วนทำระเหย และส่วนกันความร้อน เท่ากับ 50 มิลลิเมตร ความยาวท่อรวม 5 11.15 และ 17.5 เมตร การทดลองทำโดยปรับอัตราส่วนการเติมในช่วง 30 – 80% และทดสอบที่มุมเอียง 0 – 90 องศาจากแนวราบ จากการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนการเติม 50 - 70% จะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนของทุกๆ มุมเอียงจะมีค่ามากที่สุด โดยมีค่าการถ่ายเทความร้อน 526 408 และ 373 วัตต์ สำหรับมุมเอียง 90 70 และ 50 องศา ตามลำดับ เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในช่วงอัตราส่วนการเติมนี้ขนาดของแท่งของเหลว และฟองไอมิขนาดเล็กทำให้เคลื่อนที่ได้ง่าย และจำนวนของมันก็มีมากพอที่จะส่งผ่านความร้อนได้อย่างดี และต่อมาในปี 2003 Charoensawan et al. (2003) ยังทำการศึกษาผลของสารทำงานที่มีต่อคุณลักษณะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสันชนิดวงรอบ โดยเปรียบเทียบสารทำงาน 3 ชนิด คือ R123 เอทานอล และน้ำ พบว่าสำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อขนาด 2.0 มิลลิเมตร ที่การทำงานในแนวตั้ง น้ำให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุดเมื่อเทียบกับ R123 และเอทานอล แต่ในทางตรงข้าม R123 และเอทานอลให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าน้ำ ในกรณีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อมีขนาด 1.0 มิลลิเมตร ความสัมพันธ์ระหว่างสารทำงานและอัตราการถ่ายเทความร้อน ที่ความยาวส่วนทำระเหย 150 มิลลิเมตร จำนวนโค้งเลี้ยว 16 โค้งเลี้ยว มุม 90 องศาจากแนวระดับ งานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rittidech et al. (2003) ซึ่งได้ทำการศึกษาผลของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่มีต่อพลั๊กความร้อนที่ท่อความร้อนชนิดสันแบบปลายปิด ที่มุม 0 องศาจากแนวราบ โดยจะพบว่าการพิจารณาอิทธิพลของเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีต่อการส่งผ่านความร้อนนั้นต้องพิจารณารวมถึงสารทำงานที่ใช้ด้วย



รูปที่ 1.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของสารทำงานกับอัตราความร้อน

Charoensawan et al.(2003)

- ผลของชนิดสารทำงานของท่อความร้อนแบบสันชนิดวงรอบ

ชนิดสารทำงานนั้นมีผลต่อลักษณะเฉพาะการถ่ายเทความร้อน ของท่อความร้อนแบบสันปลายปิดดังนี้ เมื่อเปรียบเทียบสารทำงาน 3 ชนิด ได้แก่ R123 เอทานอล และน้ำ พบว่าน้ำ ให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุดเมื่อเทียบกับ R123 และเอทานอล สำหรับท่อความร้อนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.0 mm แต่ในทางตรงข้าม R123 และเอทานอลให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าน้ำ สำหรับท่อความร้อนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.0 mm ทั้งนี้เนื่องมาจากน้ำมีความตึงผิวสูง (dP/dT)_{sat} ต่ำ ความร้อนสัมผัส ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ และความหนืดจลน์สูงกว่าเมื่อเทียบกับ R123 Charoensawan et al.(2003)

ไม่เพียงแต่รูปร่างทางเรขาคณิต มุมเอียงการทำงานและชนิดสารทำงานที่มีผลต่อลักษณะเฉพาะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสันชนิดวงรอบ แต่การสั่นของความดันที่เกิดขึ้นภายในท่อความร้อนแบบสันชนิดวงรอบก็มีผลต่อลักษณะเฉพาะการถ่ายเทความร้อนด้วย ซึ่งพบว่าผลต่างของความดันระหว่างส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นแอมพลิจูด และความถี่ของการสั่นของความดันต่างก็มีผลต่อสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน หากความดันแตกต่างกันระหว่างส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นมีค่าลดลง แอมพลิจูดของการสั่นของความดันลดลง และความถี่ของการสั่นของความดันเพิ่มขึ้นแล้ว จะให้สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนดีขึ้น นอกจากนี้เมื่อมุมเอียงการทำงานน้อยลงยังเป็นผลให้ความดันแตกต่างกันระหว่างส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นมีค่าเพิ่มขึ้น และ พบอีกว่าหากค่าความหนาแน่นความร้อนเพิ่มขึ้น จะทำให้ความดันอิมพัลส์ภายในท่อความร้อนเพิ่มขึ้นด้วย Lee et al.(2000)

1.2.4 การศึกษาเชิงทัศน์ของท่อความร้อนแบบสั้น

จากการศึกษาทดลองเชิงปริมาณตามที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น ทำให้เรามีความเข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรมในการส่งผ่านความร้อนของท่อความร้อนแบบสั้นได้ดียิ่งขึ้นในระดับหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตามเพื่อให้เข้าใจพฤติกรรมการส่งผ่านความร้อนของท่อความร้อนยิ่งขึ้น จึงมีความจำเป็นต้องทำการศึกษาเชิงทัศน์ของท่อความร้อนเพื่อให้ทราบถึงรูปแบบการไหล และกลไกการส่งผ่านความร้อนที่เกิดขึ้นภายในท่อความร้อนแบบสั้น

1.2.4.1 กรณีของท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิด

- ผลของความยาวส่วนทำระเหยของท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิด

ความยาวส่วนทำระเหยมีผลต่อรูปแบบการไหลภายในของท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิด คือเมื่อความยาวส่วนทำระเหยมากขึ้น รูปแบบการไหลภายในจากที่เป็นแบบ Slug flow และ Bubble flow จะเปลี่ยนมาเป็นแบบ Slug flow และ Annular flow ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นความร้อนที่ถ่ายเทได้ลดลงด้วย ดังเช่นในท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิดที่ใช้สารทำงานเดียวกัน พบว่าหากเพิ่มความยาวส่วนทำระเหยจาก 50 mm ไปเป็น 150 mm รูปแบบการไหลจะสอดคล้องกับที่กล่าวมาข้างต้น และยังพบอีกว่าความยาวฟองไอเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ความเร็วฟองไอลดลงเล็กน้อย ความถี่ของการสั่นของอุณหภูมิภายในท่อความร้อนลดลงเล็กน้อย ในขณะที่แอมพลิจูดของการสั่นของอุณหภูมิภายในท่อความร้อนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและค่าความหนาแน่นความร้อนลดลงอย่างรวดเร็ว Rittidech et al. (2003)

- ผลของจำนวนโค้งเลี้ยวของท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิด

จำนวนโค้งเลี้ยวไม่มีผลต่อรูปแบบการไหลภายในของท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิด คือเมื่อจำนวนโค้งเลี้ยวมากขึ้น รูปแบบการไหลภายในยังคงเป็นแบบ Slug flow และ Bubble flow โดยตลอด ดังเช่นในท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิดที่ใช้สารทำงานเดียวกัน พบว่าหากเพิ่มจำนวนโค้งเลี้ยวจาก 10 เป็น 28 โค้งเลี้ยว รูปแบบการไหลจะสอดคล้องกับที่กล่าวมาข้างต้น และยังพบอีกว่าความยาวฟองไอเกือบจะคงที่ ความเร็วฟองไอเกือบจะคงที่ ความถี่ และแอมพลิจูดของการสั่นของอุณหภูมิภายในท่อความร้อนเกือบจะคงที่และค่าความหนาแน่นความร้อนเกือบคงที่เช่นเดียวกัน Rittidech et al.(2003)

- ผลของมุมเอียงการทำงานของท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิด

มุมเอียงการทำงานมีผลต่อรูปแบบการไหลภายในของท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิด คือเมื่อมุมเอียงการทำงานน้อย ความเร็วฟองไอในการเคลื่อนที่ไปยังส่วนควบแน่นมาก และเกิดการสั่นอย่างมาก หากมุมเอียงเท่ากับ 90 องศา จะไม่มีการเคลื่อนที่ของฟองไอ ซึ่งหมายถึงการควบแน่นและการสั่นลดลง ส่วนการสั่นที่ลดลงแล้วที่สุดเกิดขึ้นที่มุมเอียงการทำงาน 60 องศา และยังพบว่าท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิดจะไม่สามารถทำงานได้ที่มุม 0 องศา

Gi et al.(1999) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่ความร้อนแบบสั่นปลายปิดที่ใช้สารทำงานเดียวกัน พบว่า หากเพิ่มมุมเอียงจาก 0 เป็น 50 องศา จากรูปแบบการไหลหลักที่เป็นแบบ Slug flow เพียงอย่างเดียว จะเริ่มมีรูปแบบการไหลแบบ Bubble flow เกิดมากขึ้น ความยาวฟองไอลดลง ความถี่ของการสั่นของอุณหภูมิภายในท่อความร้อนมากขึ้น ในขณะที่แอมพลิจูดของการสั่นของอุณหภูมิภายในท่อความร้อนลดลง และค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนมากขึ้น แต่หากเพิ่มมุมเอียงจาก 50 องศา เป็น 90 องศา รูปแบบการไหลหลักยังคงเป็นแบบ Slug flow แต่มีการเกิด Annular flow มากขึ้น ความยาวฟองไอมากขึ้น ความถี่ของการสั่นของอุณหภูมิภายในท่อความร้อนเกือบจะคงที่ ในขณะที่แอมพลิจูดของการสั่นของอุณหภูมิภายในท่อความร้อนเพิ่มขึ้น และค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากที่มุมเอียงประมาณ 50 องศา ของเหลวควบแน่นสามารถไหลกลับไปยังส่วนที่ระเหยได้อย่างเพียงพอต่อการเดือดอย่างรวดเร็ว Srihajong et al.(2003)

- ผลของอัตราส่วนการเติมสารทำงานของท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด

อัตราส่วนการเติมสารทำงานมีผลต่อรูปแบบการไหลภายในของท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด คือเมื่ออัตราส่วนการเติมสารทำงานอยู่ระหว่าง 30% ถึง 50% พบว่าฟองไอและก้อนของเหลวกระจายตัวอยู่โดยทั่วทั้งท่อความร้อน ปริมาณและรูปแบบการไหลของฟองไอและก้อนของเหลวแทบไม่ต่างกัน ในขณะที่หากเพิ่มอัตราส่วนการเติมสารทำงานจนถึง 70% พบว่าฟองไอและก้อนของเหลวกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอ ในบางท่อจะไม่ปรากฏฟองไอแต่จะเต็มไปด้วยก้อนของเหลว และยังสามารถสังเกตเห็นการเคลื่อนที่ข้ามโค้งเลี้ยวอย่างรวดเร็วของฟองไออีกด้วย Gi et al.(1999)

- ผลของชนิดสารทำงานของท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด

ชนิดสารทำงานนั้นมีผลต่อรูปแบบการไหลภายในของท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด คือเมื่อค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอมากขึ้น รูปแบบการไหลภายในจากที่เป็นแบบ Slug flow และ Bubble flow จะเปลี่ยนมาเป็นแบบ Slug flow และ Annular flow ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นความร้อนที่ถ่ายเทได้ลดลงด้วย ดังเช่นในท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิดที่มีมิติเดียวกัน พบว่าหากเปลี่ยนสารทำงานจาก R123 เป็น R141b หรือเสมือนกับเพิ่มค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ จาก 160 kJ/kg เป็น 213 kJ/kg รูปแบบการไหลจะสอดคล้องกับที่กล่าวมาข้างต้น และยังพบอีกว่า ความยาวฟองไอเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ความเร็วฟองไอลดลงอย่างรวดเร็ว ความถี่ของการสั่นของอุณหภูมิภายในท่อความร้อนลดลงเล็กน้อยในขณะที่แอมพลิจูดของการสั่นของอุณหภูมิภายในท่อความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและค่าความหนาแน่นความร้อนลดลงอย่างรวดเร็ว Rittidech et al.(2003)

- ผลของอุณหภูมิการทำงานของท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด

อุณหภูมิการทำงานคืออุณหภูมิของไอภายในท่อความร้อนที่ทำการวัดในส่วนกันความร้อน ซึ่งสามารถอนุมานได้จากค่าเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น ดังนั้นในการเพิ่มอุณหภูมิการทำงาน สามารถทำได้โดยการควบคุมที่อุณหภูมิไอโดยตรง หรือโดยการเพิ่มอุณหภูมิแหล่งให้ความร้อน อุณหภูมิการทำงานมีผลต่อรูปแบบการไหลภายในของท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด คือเมื่ออุณหภูมิการทำงานมากขึ้น ฟองไอและก้อนของเหลวจะมีความยาวนานยลง และกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอมากขึ้น อีกทั้งความเร็วในการหมุนเวียนเพิ่มขึ้นด้วย Gi et al.(1999) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิดที่ใช้สารทำงานเดียวกัน พบว่าหากเพิ่มอุณหภูมิแหล่งให้ความร้อนจาก 60°C ไปเป็น 80°C รูปแบบการไหลหลักยังคงเป็นแบบ Slug flow แต่เกิดรูปแบบการไหลภายในเป็นแบบ Bubble flow มากขึ้น ความยาวฟองไอลดลง ความถี่ของการสั่นของอุณหภูมิภายในท่อความร้อนมากขึ้น ในขณะที่แอมพลิจูดของการสั่นของอุณหภูมิภายในท่อความร้อนลดลง และค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิแหล่งให้ความร้อนมากขึ้น ความดันที่ส่วนทำระเหยจะมากขึ้นตาม ความดันนี้จะดันให้ไอเคลื่อนที่อย่างรุนแรง ดังนั้นฟองไอก็แยกตัวออกเป็นฟองไอเล็กๆ ก่อนที่จะเคลื่อนที่ไปยังส่วนควบแน่น Srihajong et al.(2003)

1.2.4.2 กรณีของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

การไหลแบบสั่นของสารทำงานภายในท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบเกิดขึ้นจากการเดือดแบบฟองที่ส่วนทำระเหย การสั่นของฟองไอและการเคลื่อนที่จากไปของฟองไอที่ส่วนกันความร้อน รูปแบบการไหลที่ส่วนทำระเหยโดยทั่วไปคือ ในตอนเริ่มแรกรูปแบบการไหลเป็นแบบ Slug flow และอยู่ในสภาวะสมดุล จากนั้นหากมีการเพิ่มหรือลดความร้อนของระบบ การเดือดแบบฟองจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและไม่เป็นระเบียบที่ส่วนล่างของส่วนทำระเหย เนื่องจากการโตขึ้นของฟองอย่างไม่เป็นระบบ ฟองไอก็สามารถสั่นด้วยตัวเองในแนวแกนและแนวขวางของท่อและเคลื่อนที่สู่ส่วนควบแน่นต่อไป ส่วนของเหลวควบแน่นที่ไหลกลับมาจากส่วนควบแน่นนั้น จะไหลแบบ Stratified flow หรือแบบ Rivulet flow ส่วนรูปแบบการไหลที่ส่วนกันความร้อนโดยทั่วไปคือ ฟองไอที่เกิดขึ้นจากส่วนทำระเหยจะไหลผ่านไปยังส่วนควบแน่นอย่างรวดเร็ว กลุ่มก้อนไอที่มีการสั่นจะมีฟองไอเล็กๆ แยกตัวออกมา ซึ่งฟองไอเล็กๆนี้จะไหลไปยังส่วนควบแน่นและค่อยๆหายไปทีละจุด ในขณะที่ของเหลวควบแน่นที่ไหลกลับลงมาตามผนังท่อจะปะทะกับฟองไอที่ส่วนกันความร้อนนี้ จึงสามารถสังเกตเห็นการหอบซึ่งเกิดจากการชนกันนี้ และการท่วมซึ่งเกิดจากความเสียดทานของผิวสัมผัสระหว่างไอและของเหลว Lee et al.(1999)

รูปแบบการไหลภายในท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบไม่ได้เป็นเช่นนี้เสมอไป หากแต่ยังมีผลเนื่องจากตัวแปรอื่นๆ เข้ามาเกี่ยวข้องซึ่งจะทำให้รูปแบบการไหลเปลี่ยนไป ผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อรูปแบบการไหลภายในของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบมีดังต่อไปนี้

- ผลของความยาวส่วนทำระเหยของท่อความร้อนแบบสั้นชนิดวงรอบ

ความยาวส่วนทำระเหยมีผลต่อรูปแบบการไหลภายในของท่อความร้อนแบบสั้นชนิดวงรอบ คือเมื่อความยาวส่วนทำระเหยมากขึ้น รูปแบบการไหลภายในยังคงเป็นแบบ Slug flow ผสมกับแบบ Bubble flow อย่างเล็กน้อย แต่จะมีอัตราการเกิดการไหลแบบ Annular flow ลดลง ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นความร้อนที่ถ่ายเทได้ลดลงด้วย ดังเช่นในท่อความร้อนแบบสั้นชนิดวงรอบที่ใช้สารทำงานเดียวกัน พบว่าหากเพิ่มความยาวส่วนทำระเหยจาก 50 mm เป็น 150 mm รูปแบบการไหลจะสอดคล้องกับที่กล่าวมาข้างต้น และยังพบอีกว่าอัตราการหายไปของฟอง (Collapsing ratio) ลดลง ความยาวฟองไอเพิ่มขึ้น ความเร็วฟองไอเพิ่มขึ้น แอมพลิจูดของการสั่นของอุณหภูมิกายในท่อความร้อนเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความถี่ของการสั่นของอุณหภูมิกายในท่อความร้อนแทบจะคงที่ และค่าความหนาแน่นความร้อนลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อความยาวส่วนทำระเหยลดลงฟองไอสามารถเคลื่อนที่ไปยังส่วนควบแน่นได้ง่ายขึ้น อีกทั้งยังมีเวลาเพียงพอในการถ่ายเทความร้อนอีกด้วย Charoensawan et al.(2003)

- ผลของจำนวนโค้งเลี้ยวของท่อความร้อนแบบสั้นชนิดวงรอบ

จำนวนโค้งเลี้ยวมีผลต่อรูปแบบการไหลภายในของท่อความร้อนแบบสั้นชนิดวงรอบ คือเมื่อจำนวนโค้งเลี้ยวมากขึ้น รูปแบบการไหลภายในยังคงเป็นแบบ Slug flow ผสมกับแบบ Bubble flow อย่างเล็กน้อย แต่จะมีอัตราการเกิดการไหลแบบ Annular flow ลดลง ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นความร้อนที่ถ่ายเทได้ลดลงด้วย ดังเช่นในท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่ใช้สารทำงานเดียวกัน พบว่าหากเพิ่มจำนวนโค้งเลี้ยวจาก 10 โค้งเลี้ยว เป็น 28 โค้งเลี้ยว รูปแบบการไหลจะสอดคล้องกับที่กล่าวมาข้างต้น และยังพบอีกว่า อัตราการหายไปของฟอง (Collapsing ratio) ลดลง ความยาวฟองไอเพิ่มขึ้น ความเร็วฟองไอเพิ่มขึ้น แอมพลิจูดของการสั่นของอุณหภูมิกายในท่อความร้อนเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความถี่ของการสั่นของอุณหภูมิกายในท่อความร้อนแทบจะคงที่ และค่าความหนาแน่นความร้อนลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อจำนวนโค้งเลี้ยวลดลง ฟองไอสามารถเคลื่อนที่ไปยังส่วนควบแน่นได้ง่ายขึ้น อีกทั้งยังมีเวลาเพียงพอในการถ่ายเทความร้อนอีกด้วย Charoensawan et al.(2003)

- ผลของอัตราส่วนการเติมสารทำงานของท่อความร้อนแบบสั้นชนิดวงรอบ

อัตราส่วนการเติมสารทำงานมีผลต่อรูปแบบการไหลภายในของท่อความร้อนแบบสั้นชนิดวงรอบ คือเมื่ออัตราส่วนการเติมอยู่ในช่วง 40% ถึง 60% พบว่าการสั่นของสารทำงานภายในมีความคล่องแคล่วที่สุด ซึ่งหมายถึงท่อความร้อนสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุดที่อัตราการเติมสารทำงานในช่วงดังกล่าว Lee et al.(1999)

- ผลของชนิดสารทำงานของท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบ

ชนิดสารทำงานมีผลต่อรูปแบบการไหลภายในของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบคือเมื่อ เปลี่ยนสารทำงานจาก R123 ไปเป็น R141b ซึ่งเสมือนกับการเพิ่มค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ รูปแบบการไหลภายในยังคงเป็นแบบ Slug flow ผสมกับแบบ Bubble flow อย่างเล็กน้อย แต่จะมีอัตราการเกิดการไหลแบบ Annular flow ลดลงซึ่งจะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นความร้อนที่ถ่ายเทได้ลดลงด้วย ดังเช่นในท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีมิติขนาดเดียวกัน พบว่าหากเพิ่มค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไจาก 161 kJ/kg ไปเป็น 214 kJ/kg รูปแบบการไหลจะสอดคล้องกับที่กล่าวมาข้างต้น และยังพบอีกว่าอัตราการหายไปของฟอง (Collapsing ratio) ลดลงเล็กน้อย ความยาวฟองไอเพิ่มขึ้น ความเร็วฟองไอเพิ่มขึ้น แอมพลิจูดของการสั่นของอุณหภูมิกภายในท่อความร้อนเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความถี่ของการสั่นของอุณหภูมิกภายในท่อความร้อนแทบจะคงที่และค่าความหนาแน่นความร้อนลดลงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอลดลง ฟองไอสามารถเคลื่อนที่ไปยังส่วนควบแน่นได้ง่ายขึ้น อีกทั้งยังมีเวลาเพียงพอในการถ่ายเทความร้อนอีกด้วย Charoensawan et al.(2003)

1.2.5 การเริ่มต้นทำงานของท่อความร้อนแบบสั่น

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่ใหม่ โดยที่จะทำการศึกษาถึงการเริ่มต้นทำงานของท่อความร้อนแบบสั่น ดังนั้นจึงได้มีการคิดค้นทฤษฎี และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อนำมาวิเคราะห์เกี่ยวกับการเริ่มต้นทำงานของท่อความร้อนแบบสั่น ที่ผ่านมามีผลการศึกษาดังนี้

Qu et al.(2006) พบว่าเงื่อนไขของผิวที่ผนังความยาวส่วนที่ระเหย ความร้อนสูงสุด การโตขึ้นของฟองจะส่งผลต่อการเริ่มทำงาน ของการเคลื่อนที่ของการสั่นในท่อความร้อนเมื่อเริ่มทำงานการเคลื่อนที่การสั่นในท่อความร้อนและยังพบอีกว่าผิวภายในที่มีความขรุขระหรือไม่เรียบจะทำให้ท่อความร้อนแบบสั่นสามารถเริ่มทำงานได้เร็วขึ้นและสารทำงานมีความสำคัญต่อผลของลักษณะการเริ่มต้นทำงานของท่อความร้อนแบบสั่น

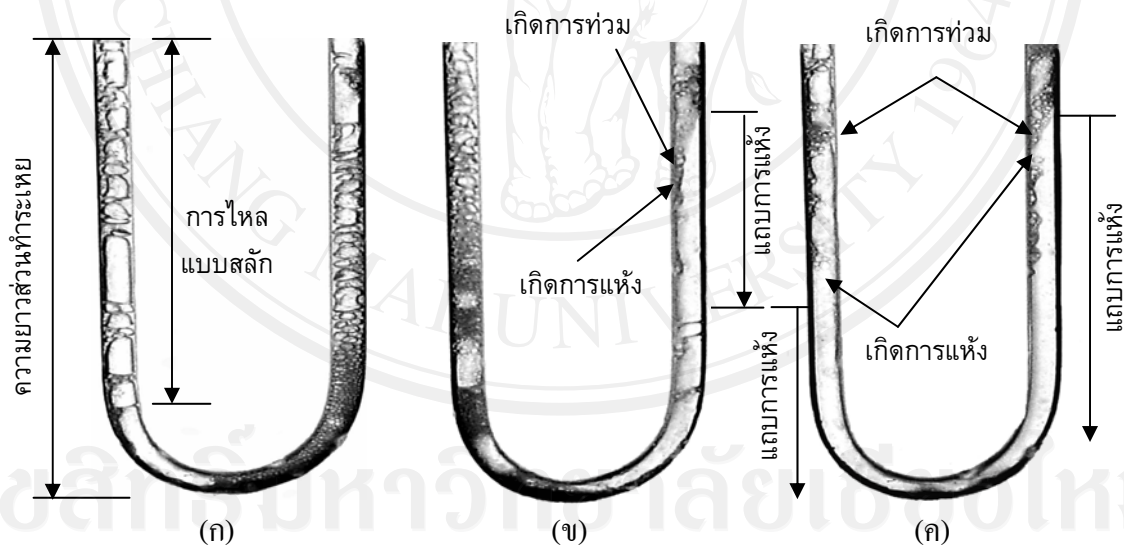
Soponpongpipat et al.(2008) ได้วางแนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับการเริ่มต้นทำงานได้โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายการทำงานของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบขึ้นมาโดยพบว่าท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบจะเริ่มทำงานได้เมื่อเกิดการไหลเวียนของสารทำงานแบบแทนที่ขึ้นภายใน โดยการไหลเวียนจะเกิดขึ้นได้เมื่ออัตราการควบแน่นของฟองไอทั้งหมดมีค่ามากกว่าอัตราการขยายตัวของก้อนฟองไอ และการยับยั้งการไหลเวียนแบบแทนที่จากการขยาย ตัวของก้อนฟองไอมีมากเกินไปจะนำไปสู่สภาวะการแห้งตั้งแต่เริ่มต้น และยังได้ทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ทำนายเงื่อนไขการเริ่มต้นทำงานได้ของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบอีกด้วย

1.2.6 ขีดจำกัดสมรรถนะของท่อความร้อนแบบสั้น

ขีดจำกัดสมรรถนะของท่อความร้อนแบบสั้น หรืออาจเรียกว่าขีดจำกัดการทำงานของท่อความร้อนแบบสั้น หมายถึง สภาวะที่ท่อความร้อนสามารถส่งถ่ายความร้อนได้สูงที่สุด ก่อนที่ท่อความร้อนจะหยุดการทำงาน ซึ่งสภาวะนี้เรียกว่าสภาวะวิกฤต (Critical state) และที่ผ่านมาได้มีการศึกษาเกี่ยวกับผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อขีดจำกัดสมรรถนะ หรือสภาวะวิกฤตของท่อความร้อนแบบสั้นดังต่อไปนี้

1.2.6.1 กรณีท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิด

ขั้นตอนการเกิดสภาวะวิกฤตของท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิด เกิดขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับส่วนทำระเหย จะมีการเดือดแบบฟองที่มีจุดกำเนิดอยู่ด้านล่างและมีจำนวนฟองเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 1.7 (ก) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับส่วนทำระเหยต่อไป พบว่าการเดือดมีความรุนแรงมากขึ้น ความเร็วไอน้ำค่าเพิ่มขึ้นเกิดการชนกันของฟองไอน้ำมากขึ้น บางจังหวะฟองไอน้ำรวมตัวกันและมีลักษณะบิดเบี้ยว ทำให้รูปแบบการไหลเป็นสลักที่มีฟองไอสั้นและเป็นโพรง ปริมาณของเหลวในส่วนทำระเหยลดลง ความดันไอน้ำค่าสูงขึ้นต้านการไหลกลับเกิดเป็นปรากฏการณ์การท่วมขึ้นและขยายตัวลงด้านล่างของส่วนทำระเหย

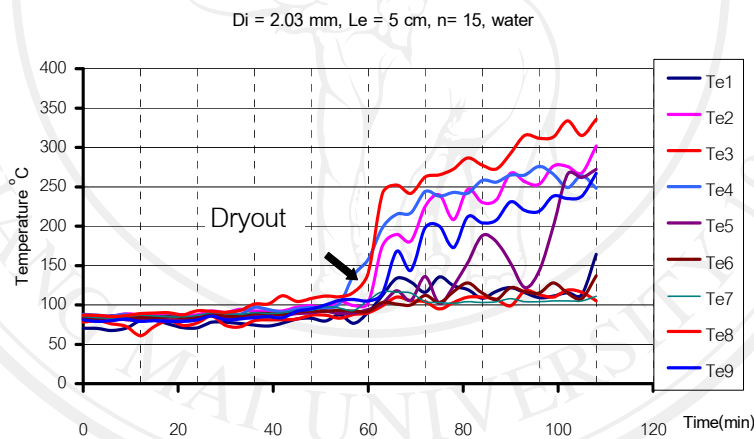


รูป	T_v ($^{\circ}\text{C}$)	รูปแบบการไหล	q (W/m^2)	V_{bubble} (m/s)	L_{bubble} (mm)
ก	92	ก้อน	3.24	0.177	29.9
ข	100	ก้อน+โพรง	3.60	0.375	18.7
ค	119	โพรง	2.88	-	-

รูปที่ 1.7 ขั้นตอนการเกิดสภาวะวิกฤตของท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิด (นำพร, 2547)

โดยการเกิดการแห้งนั้นจะเกิดขึ้นในท่อใดท่อหนึ่งก่อน และเกิดในตำแหน่งเดิม ดังแสดงในรูปที่ 1.7(ข) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับส่วนทำระเหยมากขึ้น การแห้งจะขยายตัวตลอดส่วนทำระเหยของท่อความร้อน โดยเกิดขึ้นทั้งสองท่อ โดยบริเวณของการแห้ง (Dry Patch) นั้นขยายตัวลงด้านล่างส่วนทำระเหยของท่อความร้อนแบบสันดังแสดงในรูปที่ 1.7 (ค) ฟิล์มจะเกิดการแห้ง และ เกิดสภาวะวิกฤติขึ้นเราสามารถสังเกตเห็นได้ว่าก่อนการเกิดสภาวะวิกฤติอัตราการถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิส่วนทำระเหย และหลังเกิดสภาวะวิกฤติไปแล้วอัตราการถ่ายเทความร้อนจะลดลง

ขณะเกิดสภาวะวิกฤติ อุณหภูมิของส่วนทำระเหยจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 1.8 ขณะเดียวกันอุณหภูมิของส่วนกันความร้อนจะลดลงด้วย ซึ่งหมายถึงท่อความร้อนไม่สามารถถ่ายเทความร้อนไปยังส่วนควบแน่นได้ อีกทั้งยังพบอีกว่าในกรณีของท่อความร้อนแบบสันปลายปิด ปรากฏการณ์การแห้งส่วนใหญ่มักจะเกิดขึ้นที่ส่วนทำระเหยที่นอกสุดทั้งสองข้างของท่อความร้อน ทั้งนี้เนื่องมาจากที่ส่วนข้างทั้งสองของส่วนทำระเหย จะเป็นบริเวณที่ฟองไอมาสะสมซึ่งก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของความดันอย่างต่อเนื่อง Katpradit et al.(2003)



รูปที่ 1.8 แสดงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิขณะเกิดสภาวะวิกฤติ Katpradit et al.(2003)

- ผลของจำนวนโค้งเลี้ยวของท่อความร้อนแบบสันปลายปิด

จำนวน โค้งเลี้ยว นั้นมีผลต่อขีดจำกัดสมรรถนะของท่อความร้อนแบบสันปลายปิด คือเมื่อจำนวนโค้งเลี้ยวมากขึ้น ค่าความหนาแน่นความร้อนวิกฤติจะเพิ่มขึ้น ดังเช่นในท่อความร้อนแบบสันปลายปิดที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน พบว่าหากเพิ่มจำนวนโค้งเลี้ยว จาก 5 โค้งเลี้ยว เป็น 15 โค้งเลี้ยว ค่าความหนาแน่นความร้อนวิกฤติจะเพิ่มขึ้นจาก 14.85 W/m^2 เป็น 23.95 W/m^2 ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อจำนวน โค้งเลี้ยวเพิ่มมากขึ้นสารทำงานจะเรียงตัวเป็นแบบฟองไอสลับกับก้อนของเหลวได้ง่าย

ด้วยเหตุนี้ฟองไอและก้อนของเหลวในท่อความร้อนที่มีจำนวน โคน์เกลียวมากจะสามารถลั่นด้วยตัวเองได้ โดยง่าย ดังนั้นของเหลวลั่นตัวจึงสามารถไหลกลับมายังส่วนทำระเหยได้ดีกว่ากรณีที่ท่อความร้อนมีจำนวน โคน์เกลียวน้อย Katpradit et al.(2003)

- ผลของชนิดสารทำงานของท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด

ชนิดสารทำงานนั้นมีผลต่อขีดจำกัดสมรรถนะของท่อความร้อนแบบสั่น-ปลายปิด คือเมื่อค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอน้ำมากขึ้นค่าความหนาแน่นความร้อนวิกฤตจะเพิ่มขึ้นด้วย ดังเช่นในท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิดเดียวกันพบว่าหากเพิ่มค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ จาก 156 kJ/kg เป็น 2356 kJ/kg ค่าความหนาแน่นความร้อนวิกฤตจะเพิ่มขึ้นจาก 17.98 W/m² เป็น 23.95 W/m² ทั้งนี้เนื่องมาจากสารทำงานที่มีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอน้ำ จะสามารถเกิดไอได้ง่าย อีกทั้งความดันไอที่ส่วนทำระเหยสูงทำให้เกิดการหน่วงการไหลกลับของของเหลวลั่นตัวจากส่วนควบแน่นมายังส่วนทำระเหยได้ง่ายขึ้น เป็นเหตุให้เกิดการแห้งขึ้นที่ส่วนทำระเหย Katpradit et al.(2003)

1.2.6.2 กรณีท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบ

- ผลของอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่สถานะวิกฤติ

ท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบซึ่งท่อความร้อนมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.03 มิลลิเมตร ความยาวส่วนทำระเหย 100 มิลลิเมตร มีจำนวน โคน์เกลียว 10 โคน์เกลียว และใช้ R123 เป็นสารทำงานพบว่าเมื่อค่อยๆเพิ่มความร้อนยังส่วนทำระเหยขึ้นทีละขั้นน้อยๆ อุณหภูมิส่วนทำระเหยจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ เนื่องจากสารทำงานสามารถถ่ายเทความร้อนได้ เมื่อเพิ่มความร้อนขึ้นจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่ โคน์เกลียวด้านนอกจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเมื่อความดันไอเพิ่ม การควบแน่นกลับจากส่วนควบแน่นจะช้าลงสารทำงานที่อยู่ในส่วนทำระเหยเกิดการแห้งขึ้นใน โคน์เกลียว ดังนั้นสถานะนี้จะนิยามว่าเป็นสถานะวิกฤติ Kammuang – lue et al. (2004)

- ผลของอุณหภูมิฟองไอที่มีผลต่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยและอุณหภูมิส่วนควบแน่น

จากการทดลองในกรณีของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง - กลางภายในของท่อความร้อน 2.03mm ความยาวส่วนทำระเหย 100mm จำนวน 10 โคน์เกลียวและใช้ R123 เป็นสารทำงานพบว่าเมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นจาก 56°C เป็น 62°C อุณหภูมิส่วนควบแน่นจะลดลงจาก 79°C เป็น 36°C .Kammuang – lue et al. (2004)

- ผลของสารทำงานที่มีผลต่ออัตราความร้อนวิกฤติ

ท่อความร้อนแบบสันชนิดวงรอบซึ่งท่อความร้อนมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.03 mm ความยาวส่วนทำระเหย 100 mm มีจำนวน 10 โค้งเดี่ยว ในการทดสอบใช้ R123 เอทานอล และน้ำเป็นสารทำงาน ค่าความร้อนแฝงเป็น 161kJ/kg เป็น 816 kJ/kg และ 2,382 kJ/kg และ เมื่อเพิ่มความร้อนแฝงขึ้นจะทำให้อัตราความร้อนวิกฤติเพิ่มขึ้นจาก 7.62 kw/m² เป็น 14.39 kw/m² และ 46.17kw/m². Kammuang – lue et al. (2004)

1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.3.1 เพื่อศึกษาผลของ เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ความยาวส่วนทำระเหย จำนวนโค้งเดี่ยว และ สารทำงานที่มีผลต่อการทำงานเริ่มต้นของท่อความร้อนแบบสันชนิดวงรอบ

1.3.2 เพื่อทำนายแนวโน้มของการทำงานเริ่มต้นของท่อความร้อนแบบสันชนิดวงรอบเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่างๆ

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา

1.4.1 ได้ทราบถึงผลของ เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ความยาวส่วนทำระเหย จำนวนโค้งเดี่ยวและ สารทำงานที่มีผลต่อการทำงานเริ่มต้นของท่อความร้อนแบบสันชนิดวงรอบ

1.4.2 ได้ทราบถึงกลไกของเงื่อนไขการทำงานเริ่มต้นของท่อความร้อนแบบสันชนิดวงรอบ

1.4.3 เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการค้นคว้าเกี่ยวกับการทำงานเริ่มต้น ของท่อความร้อนแบบสันชนิดอื่น ๆ ต่อไป

1.5 สมมติฐานการเริ่มต้นทำงานของท่อความร้อนแบบสัน

การเริ่มต้นทำงานของท่อความร้อน คือเงื่อนไขที่สารทำงานสามารถเกิดการไหลเวียนได้ ซึ่งเกิดจากการขยายตัวและหดตัวโดยระบบฟองไอต้องมีปริมาณการหดตัว ($C_{collapse,vapor}$) ที่มากกว่าการขยายตัว ($V_{expansion,vapor}$)

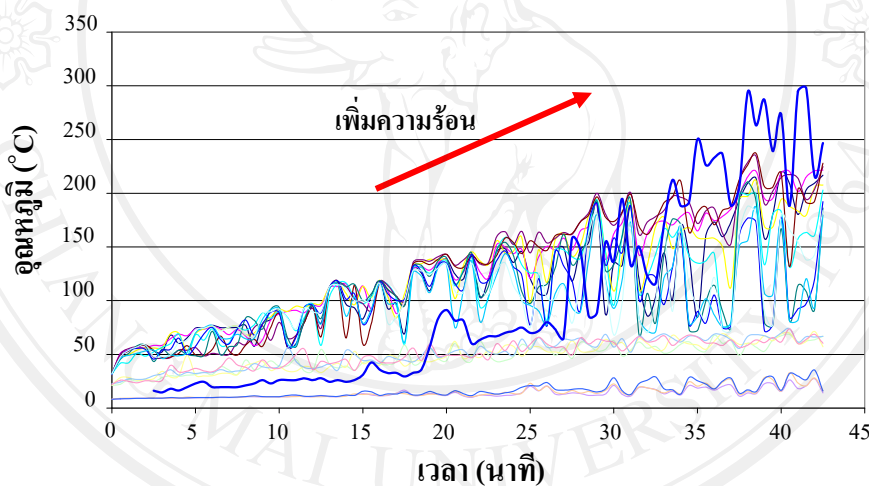
ในกรณีที่การหดตัวมีค่ามากกว่าการขยายตัว ก้อนไอในส่วนทำระเหยจะมีการเคลื่อนที่และขยายตัวไปพร้อมกัน เนื่องจากปริมาณการขยายตัวของก้อนฟองไอไม่เพียงพอที่จะทดแทนปริมาณการหดตัวของก้อนไอในส่วนควบแน่น ดังนั้นจึงต้องมีปริมาณของเหลวจำนวนหนึ่งไหลไปแทนที่ปริมาตรควบแน่นที่เหลือ เมื่อปริมาณของเหลวที่ต้องไหลไปเพื่อทดแทนปริมาตร การควบแน่นส่วนที่เหลือ ก้อนไอที่ขยายตัวก็จะถูกการไหลของของเหลวพาออกจากส่วนทำระเหยไปด้วย จากนั้นก็จะมีการดึงสารทำงานในส่วนถัดไปมาแทนที่ ซึ่งทำให้เกิดการไหลเวียนขึ้น และของเหลวที่เข้ามาใหม่ก็จะเกิดการ

เดือดและขยายตัวเกิดเป็นการขับเคลื่อนในรอบถัดไปต่อความร้อนก็จะเริ่มทำงานภายหลังการเริ่มทำงานได้แล้วก็จะเกิดกระบวนการแทนที่อย่างต่อเนื่อง และเกิดการส่งผ่านความร้อน

ในกรณีที่การขยายตัวมีค่ามากกว่าการหดตัว ก้อนไอในส่วนทำระเหยจะขยายตัวดันของเหลวไปยังส่วนควบแน่น เนื่องจากปริมาตรการขยายตัวของก้อนไอมิมากกว่าปริมาตรการหดตัวในส่วนควบแน่น จึงไม่มีการเคลื่อนที่ของของเหลว ดังนั้นจึงแทบจะกล่าวได้ว่าก้อนไอในส่วนทำระเหยไม่มีการเคลื่อนที่ ทำให้ของเหลวจากส่วนควบแน่นนั้นไม่สามารถเคลื่อนที่มารับความร้อนได้ การแทนที่และการไหลเวียนก็จะไม่สามารถเกิดขึ้นได้ เหตุการณ์หลังจากนั้นคือการระเหยเพิ่มขึ้นของของเหลวในส่วนทำระเหยจนหมดและเกิดการแห้งที่ส่วนนี้ ทำให้ท่อความร้อนไม่สามารถส่งผ่านความร้อนได้

วิธีการตรวจสอบการทำงานของท่อความร้อนแบบสัน

กรณีที่ท่อความร้อนทำงานได้

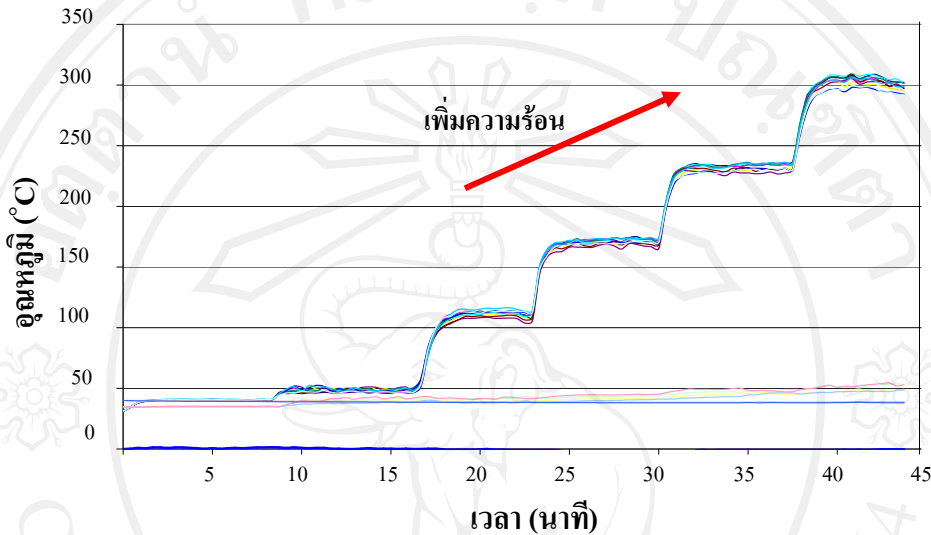


รูปที่ 1.9 การเริ่มต้นทำงานของท่อความร้อน

รูปที่ 1.9 แสดงการเริ่มต้นทำงานของท่อความร้อนแบบสัน เมื่อเริ่มให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหย (ในช่วงเวลา 0 - 3 นาที) จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่ส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่นจะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ยังไม่พบว่าท่อความร้อนเกิดการทำงานที่เป็นเช่นนี้เพราะเนื่องจากไม่พบการสั้นของอุณหภูมิที่ส่วนทำระเหย และเมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่ส่วนทำระเหยอีก (ในช่วงเวลา 3 - 5 นาที) จะพบว่าท่อความร้อนเริ่มจะมีการสั้นของอุณหภูมิที่ส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่น ดังนั้นแสดงว่าในช่วงนี้จะเป็นช่วงของการเริ่มต้นทำงานของท่อความร้อน และเมื่อทำการเพิ่มความร้อนให้กับส่วนทำระเหยอีกจะทำให้อุณหภูมิส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่นก็จะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามลำดับ เราจะเรียกลักษณะนี้ว่าท่อความร้อน “ ทำงานได้”

นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อท่อเริ่มทำงานค่าการถ่ายเทความร้อนจะมีค่าเพิ่มขึ้น หากเพิ่มความร้อนให้กับส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นอีก จะพบว่าช่วงของการสั้นของอุณหภูมิส่วนทำระเหยจะมีช่วงของการสั้นที่กว้างขึ้น และค่าการถ่ายเทความร้อนก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

กรณีที่ท่อความร้อนทำงานไม่ได้ จะเกิดการแห้งขึ้น



รูปที่ 1.10 แสดงให้เห็นถึงกรณีที่ท่อความร้อนแบบสันไม่สามารถทำงานได้

รูปที่ 1.10 แสดงกรณีที่ท่อความร้อนแบบสันไม่สามารถทำงานได้ เมื่อทำการเพิ่มความร้อนให้กับส่วนทำระเหย (ในช่วงเวลา 0 - 8 นาที) จะพบว่าไม่มีการสั้นของอุณหภูมิที่ส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่น เมื่อทำการเพิ่มความร้อนให้กับส่วนทำระเหยอีก (ในช่วงเวลา 8 - 16 นาที) จะพบว่าอุณหภูมิที่ส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่นจะเพิ่มขึ้น แต่ไม่พบการสั้นของอุณหภูมิต่างกันภายในท่อความร้อน เมื่อทำการเพิ่มความร้อนให้กับส่วนทำระเหยอีก (ในช่วงเวลา 16 - 28 นาที) จะพบว่าอุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเพราะเกิดการแห้งขึ้นที่ส่วนนี้ เนื่องจากของเหลวจากส่วนควบแน่นไม่สามารถเคลื่อนที่มารับความร้อนได้ ดังนั้นการแทนที่และการไหลเวียนก็จะไม่สามารถเกิดขึ้นได้ หลังจากนั้นการระเหยเพิ่มขึ้นทำให้ของเหลวในส่วนทำระเหยเกิดการระเหยจนหมดและเกิดการแห้งขึ้นที่ส่วนนี้ ทำให้อุณหภูมิจากส่วนทำระเหยมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความร้อนเข้าในระบบ และยังพบอีกว่าในกรณีที่ท่อความร้อนนี้ทำงานไม่ได้ การถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนจะไม่มีค่าเพิ่มขึ้น ในกรณีนี้เราจะเรียกว่าเกิดการแห้งตั้งแต่เริ่มต้น และทั้งสองกรณีที่กล่าวมาข้างต้นเป็นข้อมูลที่เกิดขึ้นจากการทดลองจริง ดังแสดงในภาคผนวก จ เราจะเรียกลักษณะนี้ว่าท่อความร้อน “ ทำงานไม่ได้ ”

1.6 ขอบเขตของงานวิจัย

1.6.1 ที่มุมเอียงการทำงาน 0 องศา วัสดุที่ใช้สำหรับทำชุดทดลองต่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ เป็นท่อทองแดงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.06 และ 2.03 มิลลิเมตร สารทำงานที่ใช้คือ R123 อาซิโตน และ น้ำ มีความยาวของส่วนทำระเหยเป็น 50 100 และ 150 มิลลิเมตร มีจำนวนโค้งงอ 5 10 และ 15 โค้งงอ สาเหตุที่ทำการเลือกค่าตัวแปรดังกล่าวเพราะว่า มีขายตามท้องตลาด และชุดตัวแปรดังกล่าวได้มีการทดสอบบ้างแล้วจากงานวิจัยที่ผ่านมา เพื่อที่ให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบผลการทดลอง

1.6.2 ที่มุมเอียงการทำงาน 90 องศา วัสดุที่ใช้สำหรับทำชุดทดลองต่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ เป็นท่อทองแดงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3.4 มิลลิเมตร สารทำงานที่ใช้คือ น้ำ มีความยาวของส่วนทำระเหยเป็น 50 มิลลิเมตร และมีจำนวนโค้งงอ 10 โค้งงอ สาเหตุที่ทำการเลือกค่าตัวแปรดังกล่าวเพราะว่าจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าชุดทดสอบที่มีความยาวของส่วนทำระเหยเป็น 50 มิลลิเมตร และมีจำนวนโค้งงอ 10 โค้งงอ และ น้ำ เป็นสารทำงาน จะให้อัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูงสุด ดังนั้นจึงทำการเลือกตัวแปรดังกล่าวนี้

และที่มุมเอียงการทำงาน 0 องศา และ 90 องศา มีอัตราส่วนการเติมสารทำงานประมาณ 50 % ของปริมาตรรวมทั้งหมดของท่อ และมีความยาวส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนความแน่น มีขนาดที่เท่ากัน

1.6.3 ทำการเปรียบเทียบผลจากการทดลอง กับ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่ใช้ในการทำนายเงื่อนไขการเริ่มต้นทำงานของต่อความร้อนแบบสั้นชนิดวงรอบ