

# การเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนของ Vapor chamber โดยติดตั้งท่อบนส่วนควบแน่น

## Enhancing Vapor Chamber Thermal Performance by Using Tube Condenser

วสันต์ ศรีเมือง\* และ ปรีชา ชันติโกมล

ห้องปฏิบัติการวิจัยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อน สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

ศูนย์กลางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เลขที่ 744 ถนนสุรนารายณ์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง

จังหวัดนครราชสีมา 30000, E-mail : wasan.sr@rmuti.ac.th\*

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนระหว่าง Vapor chamber แบบธรรมดา (VC-CC) กับ Vapor chamber ที่มีการติดตั้งท่อบนส่วนควบแน่น (VC-TC) ในขณะที่ทำการทดลองได้เปลี่ยนอุณหภูมิที่ให้ส่วนทำระเหย ( $T_j$ ) ในช่วง  $80 - 100^\circ\text{C}$  และเปลี่ยนความเร็วของอากาศที่ระบายความร้อนส่วนควบแน่น ( $V_{\text{air}}$ ) ในช่วง  $1.0 - 1.8 \text{ m/s}$  จากผลการทดลองพบว่า ทั้งกรณี VC-CC และ VC-TC ภายใต้เงื่อนไขการทดลอง  $T_j = 100^\circ\text{C}$  และ  $V_{\text{air}} = 1.8 \text{ m/s}$  ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ  $18.98$  และ  $77.50 \text{ W}$  ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของ VC-CC และ VC-TC เพิ่มขึ้นตาม  $T_j$  และ  $V_{\text{air}}$  ในการวิจัยนี้สรุปได้ว่าการนำท่อขนาดเล็กมาติดตั้งบนส่วนควบแน่นของ Vapor chamber สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนได้ถึง  $275\%$

**คำสำคัญ:** เวปเปอร์แชมเบอร์, ฮีตซิงค์, ลูปคอนเดนเซอร์

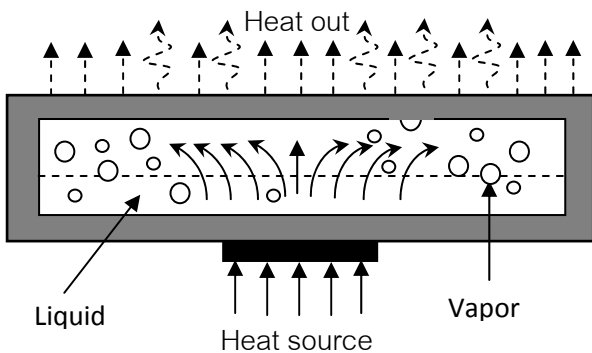
### Abstract

The objective of this research is to compare the heat transfer characteristics of a vapor chamber with conventional condenser (VC-CC) and against a vapor chamber with tube condenser (VC-TC). In the experiments,  $T_j$  was varied in the range of  $80 - 100^\circ\text{C}$ , and  $V_{\text{air}}$  was varied in the range of  $1.0 - 1.8 \text{ m/s}$ . The experimental results show that at condition  $T_j = 100^\circ\text{C}$  and  $V_{\text{air}} = 1.8 \text{ m/s}$ , the VC-CC and VC-TC vapor chambers gave maximum heat transfer rates at  $18.98$  and  $77.50 \text{ W}$  respectively. Moreover, as the  $T_j$  and  $V_{\text{air}}$  increase, the heat transfer rates of VC-CC and VC-TC also increase. Therefore, it can be conclude that the thermal performance of a vapor chamber can be improved up to  $275\%$  by using tube condenser.

**Key words:** Vapor chamber, heat sink, loop condenser

## 1. บทนำ

Vapor chamber เป็นอุปกรณ์ระบายความร้อนชนิดหนึ่งโดยไม่ต้องอาศัยพลังงานกลจากภายนอกมาช่วยในการทำงาน หลักการส่งถ่ายความร้อนใน Vapor chamber แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งมีหลักการส่งถ่ายความร้อนจากความร้อนแฝงของสารทำงานที่บรรจุอยู่ภายใน โดยสารทำงานจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอเมื่อได้รับความร้อนจากแหล่งความร้อนสูง จากนั้นสารทำงานดังกล่าวเคลื่อนที่ขึ้นไปส่วนบนของ Vapor chamber ซึ่งเรียกว่าส่วนควบแน่น โดยภายนอกของส่วนควบแน่นนี้จะมีอากาศอุณหภูมิห้องไหลผ่านเพื่อใช้ระบายความร้อนออก ดังนั้น สารทำงานที่มีสถานะเป็นไอจะกลั่นตัวกลายเป็นของเหลว แล้วไหลตกกลับมายังส่วนทำระเหยอีกครั้ง



รูปที่ 1 หลักการส่งถ่ายความร้อนใน Vapor chamber แบบธรรมดา

ปัจจุบัน Vapor chamber ได้ถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นตามลำดับ แต่จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง พบว่าสมรรถนะของ Vapor chamber ยังสามารถพัฒนาให้เพิ่มขึ้นได้อีก ในงานวิจัยนี้ได้ปรับปรุงรูปร่างของส่วนควบแน่นเพื่อ

เพิ่มพื้นที่ในการระบายความร้อน และเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ออกจาก Vapor chamber แบบธรรมดา

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนา Vapor chamber สรุปได้ดังนี้ R. Boukhanouf และคณะ [1] ได้ทำการศึกษาสมรรถนะของ Flat plate heat pipe (FPHP) หรือ Vapor chamber ที่ประยุกต์เป็นอุปกรณ์ระบายความร้อน CPU ของคอมพิวเตอร์ โดยการใช้กล้องอินฟราเรด (Infra red, IR) ถ่ายภาพการกระจายอุณหภูมิที่ผิวส่วนทำระเหยของ FPHP ทั้งในกรณีเต็มสารทำงานและไม่เต็มสารทำงาน ในขณะจ่ายฟลักซ์ความร้อน 4 ถึง 40 W/cm<sup>2</sup> ซึ่งได้เปรียบเทียบกับแบบแผ่นทองแดงสีเหลืองมาตรฐาน ผลการทดลองเขาพบว่าการกระจายอุณหภูมิของ FPHP ในกรณีเต็มสารทำงานจะมีการกระจายอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอตลอดพื้นที่ของผิวส่วนทำระเหย จุดที่อุณหภูมิสูงสุดต่างกับจุดอุณหภูมิต่ำสุดประมาณ 1 °C ซึ่งต่างจากกรณีไม่เต็มสารทำงาน โดยมีการกระจายอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอ สำหรับกรณีแบบแผ่นทองแดงสีเหลืองมาตรฐาน พบว่ามีการกระจายอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอ กล่าวคือจุดที่อุณหภูมิสูงสุดต่างกับจุดอุณหภูมิต่ำสุดประมาณ 50 °C จากการศึกษาพบว่าค่าความต้านทานความร้อนของ FPHP (กรณีเต็มสาร) มีค่าต่ำกว่าแบบแผ่นทองแดงสีเหลืองมาตรฐานถึง 40 เท่า นั้นหมายความว่า การใช้ FPHP จะช่วยให้ส่งถ่ายความร้อนได้ดีมาก งานวิจัยในลักษณะคล้ายกัน Te-En Tsai และคณะ [2] ได้ทำการศึกษาสมรรถนะของ Vapor chamber สำหรับระบายความร้อนระบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยศึกษาระดับค่าความ

ด้านทานความร้อน อัตราส่วนการเติมสารทำงานของ Vapor chamber ที่มีลักษณะพื้นผิวของส่วนทำระเหยต่างกัน นอกจากนี้ในงานของ [2] ยังได้ติดตั้งท่อเทอร์โมไซฟอนเข้าที่ส่วนบนของส่วนควบแน่นอีกด้วย จากการศึกษาเขาพบว่า การจ่ายไหลลดความร้อนเพิ่มขึ้น และการลดอัตราการเติมสารทำงานส่งผลให้ค่าความต้านทานความร้อนลดลง และยังพบว่า ลักษณะโครงสร้างของพื้นผิวส่วนทำระเหยมีผลต่อความต้านทานความร้อน เมื่อเปรียบเทียบกับแบบผิวเรียบธรรมดาพบว่า กรณีผิวแบบซินเตอร์ (sintered), แบบร่องเฉียง (grooved) และแบบร่องตรง (etched) สามารถลดค่าความต้านทานความร้อนได้ 56, 13 และ 42% ตามลำดับ ซึ่งสมรรถนะที่ดีที่สุดพบที่การใช้ผิวแบบซินเตอร์ในเงื่อนไขการทดลองที่จ่ายความร้อน 140 W และเติมสารทำงาน 20% ของปริมาตรภายใน ซึ่งมีความต้านทานความร้อนรวม ( $R_{\Sigma}$ ) คือ  $0.495 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$  อีกรงานวิจัยหนึ่งที่น่าสนใจ Shou-Shing Hsieh และคณะ [3] ได้ทำการศึกษาการกระจายความร้อนของ Flat Vapor Chamber (FVC) หรือเรียกว่า Vapor chamber สำหรับใช้ระบายความร้อนระบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยการศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ผิวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น ในการศึกษา [3] นี้ได้ใช้ขนาดพื้นที่ของฮีตเตอร์ต่างกัน ผลการทดลองนี้พบว่าขนาดพื้นที่ของฮีตเตอร์ต่างกันมีผลน้อยมากต่อการกระจายอุณหภูมิที่ผิวของส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น นอกจากนี้ยังพบว่า Vapor chamber สามารถในระบายความร้อนออกได้ถึง  $220 \text{ W/cm}^2$  และมีความต้านทานความร้อนประมาณ  $0.2 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$  สำหรับผลของการเปลี่ยนแปลงไหลลดความร้อนที่

จ่ายให้ส่วนทำระเหยพบว่า เมื่อไหลลดความร้อนเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความต้านทานความร้อนลดลงซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ [2] ที่ได้กล่าวมาข้างต้น Shuangfeng Wang และคณะ [4] ได้ศึกษาผลของความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นที่มีผลต่อสมรรถนะของ Flat plate heat pipe (FPHP) ซึ่ง FPHP มีความยาว 255 mm กว้าง 25 mm และใช้น้ำเป็นสารทำงาน ในการทดลองได้เปลี่ยนความยาวของส่วนทำระเหยด้วยการเปลี่ยนความยาวของฮีตเตอร์ 5 ค่า ได้แก่  $L_c = 20, 30, 40, 50$  และ 70 mm ตามลำดับ ในขณะที่เดียวกันความยาวของส่วนควบแน่นเปลี่ยนแปลงโดยความยาวของกล่องระบายความเย็น ซึ่งเปลี่ยน 5 ค่า ได้แก่  $L_c = 20, 40, 50, 60, 80$  และ 100 mm ตามลำดับ จากการศึกษาเขาพบว่า การเพิ่ม  $L_c$  เป็นผลให้ค่าความต้านทานความร้อนลดลงและยังทำให้ขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่ม  $L_c$  ทำให้เกิดปรากฏการณ์แห้งของ FPHP ได้ที่จ่ายไหลลดความร้อนต่ำ อย่างไรก็ตามมีประเด็นที่น่าสนใจจากงานของ [4] คือ กรณีความยาวของ  $L_c$  เท่ากัน  $L_c$  จะทำให้ FPHP มีสมรรถนะทางความร้อนที่ดี Shwin-Chung Wong และคณะ [5] ได้ทำการทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของ Vapor chamber ในกรณีที่ใช้สารทำงานต่างกัน 3 ชนิด กล่าวคือ น้ำ, methanol และ acetone จากการศึกษาเขาพบว่า Vapor chamber ที่ใช้น้ำเป็นสารทำงานมีความต้านทานความร้อนต่ำสุด ในขณะที่ใช้ acetone มีความต้านทานความร้อนสูงที่สุด นอกจากนี้ยังได้นำเสนอผลของขนาดแผ่นฮีตเตอร์ ( $1.21, 4.41$  และ  $9.61 \text{ cm}^2$ ) ที่มีต่อสมรรถนะทาง

ความร้อนของ Vapor chamber จากการทดลองพบว่า ค่าความต้านทานความร้อนลดลงเมื่อขนาดหน้าตัดฮีตเตอร์ใหญ่ขึ้น Stéphane Lips [6] และคณะ ได้ทำการทดลองหาสมรรถนะของ FPHP ที่มีหน้าตัดส่วนทำระเหยเป็นร่องสี่เหลี่ยมตรง ผลการทดลองเขาพบว่า อัตราการเติมสารทำงาน, ขนาดของไหลและความร้อน และความหนาของปริมาตรไอเหนือของเหลว จากการศึกษารูปได้ว่า อัตราการเติมสารทำงานที่เหมาะสมคือ 10-25% ซึ่งให้ค่าความต้านทานความร้อนอยู่ในช่วงต่ำสุด Shwin-Chung Wong และคณะ [7] ได้ศึกษาสมรรถนะของ Vapor chamber ที่มีร่องเอียงคู่ขนานกันบนพื้นผิวด้านในของแผ่นส่วนควบแน่น ซึ่งเขาได้ใช้ไส้ (ไส้ชนิดซินเตอร์หลายชั้น) ติดตั้งเฉพาะผิวส่วนทำระเหยขนาดยาวและกว้างของ Vapor chamber เป็น  $10\text{ cm} \times 8.9\text{ cm}$  ซึ่งมีขนาดของฮีตเตอร์ 2 ขนาด กล่าวคือ ขนาด  $2.1 \times 2.1\text{ cm}^2$  และ  $1.1 \times 1.1\text{ cm}^2$  โดยมีการให้ไหลความร้อนที่เพิ่มขึ้นจาก 80 ถึง 300 W ผลการศึกษพบว่า ทั้งความต้านทานความร้อนของส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นมีค่าลดลงเมื่อจ่ายไหลความร้อนเพิ่มขึ้น

จากการสืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังที่กล่าวข้างต้นพบว่า Vapor chamber เป็นอุปกรณ์ที่นักวิจัยหลายท่านให้ความสนใจเป็นอย่างมาก จึงสรุปได้ว่า ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของ Vapor chamber นั้น ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยด้วยกัน เช่น ขนาดของ Vapor chamber, ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำ Vapor chamber, ลักษณะการติดตั้ง, ชนิดของสารทำงาน, อัตราความเร็วอากาศที่ระบายความร้อน และอุณหภูมิของแหล่งความร้อน รวมทั้งลักษณะ

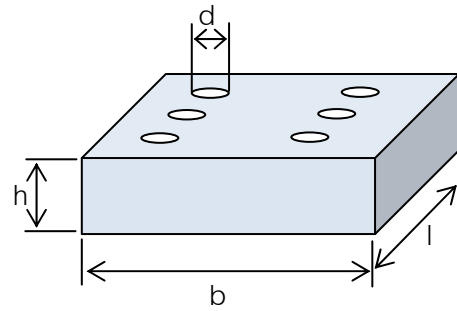
รูปร่างของส่วนควบแน่น ซึ่งในงานวิจัยนี้นำประเด็นลักษณะรูปร่างของส่วนควบแน่นมาพิจารณาเพื่อเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนของ Vapor chamber

ในปัจจุบันยังไม่พบรายงานการศึกษาสมรรถนะของ Vapor chamber ที่มีท่อขนาดเล็กติดตั้งบนส่วนควบแน่น ซึ่งการติดตั้งท่อขนาดเล็กบนแผ่นฝาครอบของส่วนควบแน่นนี้จะส่งเสริมกลไกให้มีการถ่ายเทความร้อนออกจากส่วนควบแน่นให้ดีขึ้นในสองเหตุผลหลักๆ ได้แก่ เหตุผลแรก การติดตั้งท่อขนาดเล็กบนส่วนควบแน่น จะทำให้พื้นที่ในการระบายความร้อนมีมากขึ้น เหตุผลที่สอง โอบางส่วนที่อยู่ภายใน Vapor chamber จะไหลเข้าไปในท่อขนาดเล็กที่ติดตั้งเพิ่มขึ้น เป็นผลให้ความร้อนที่อยู่ภายในไอล่าเยเทออกให้กับอากาศที่อยู่รอบนอกท่อขนาดเล็กได้ดีขึ้น จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ในงานวิจัยนี้จึงประสงค์ที่จะทราบความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของ Vapor chamber ที่เพิ่มขึ้นหลังจากที่ติดตั้งท่อขนาดเล็กบนส่วนควบแน่นว่ามีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นมากน้อยเพียงไร

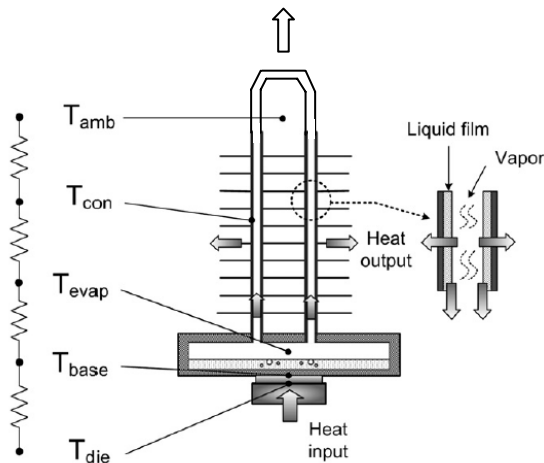
## 2. หลักการทำงานของ Vapor chamber ที่มีท่อขนาดเล็กติดบนส่วนควบแน่น

รูปที่ 2 แสดงส่วนประกอบและหลักการการทำงานของ Vapor chamber ที่มีท่อขนาดเล็กติดบนส่วนควบแน่น ซึ่งต่อไปจะเรียกว่า “Vapor chamber with tube condenser” หรือเรียกย่อว่า VC-TC สำหรับหลักการทำงาน เมื่อความร้อนถ่ายเทเข้าสู่ส่วนทำระเหย จะทำให้สารทำงานซึ่งมีสถานะเป็นของเหลวเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ ซึ่งไอดังกล่าวนี้

จะลอยขึ้นสู่ด้านบน และไหลไปยังท่อขนาดเล็กที่ติดอยู่บนส่วนควบแน่น ในขณะเดียวกันอุณหภูมิอากาศที่ใช้ระบายความร้อนซึ่งอยู่ด้านบนนอกท่อ มีค่าต่ำกว่า ดังนั้นไอน้ำในท่อจึงเกิดการควบแน่นกลายเป็นของเหลวและไหลตกลงสู่ส่วนทำระเหยด้วยแรงโน้มถ่วง ดังนั้นในขณะที่ Vapor chamber ทำงาน สารทำงานที่อยู่ภายในจะเกิดการเปลี่ยนสถานะกลับไปมาตลอดเวลา เป็นผลให้ความร้อนถูกถ่ายเทจากแหล่งความร้อนสูง (heat source) ไปสู่แหล่งรับความร้อน (heat sink) ได้อย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 3 ลักษณะของ Vapor chamber ก่อนติดตั้งท่อบนส่วนควบแน่น



รูปที่ 2 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนของ Vapor chamber ที่มีท่อขนาดเล็กติดบนส่วนควบแน่น

### 3. ทฤษฎีพื้นฐานในการคำนวณ

ลักษณะทางกายภาพของ Vapor chamber แสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งทั้ง VC-CC และ VC-TC จะมีขนาดเท่ากันดังนี้ ความกว้าง  $b = 140 \text{ mm}$ , ยาว  $l = 140 \text{ mm}$  และสูง  $h = 50 \text{ mm}$  แต่แตกต่างกันเฉพาะส่วนควบแน่น (ฝาด้านบน) กล่าวคือ กรณี VC-CC จะมีฝาเป็นแผ่นเรียบธรรมดา ซึ่ง VC-TC จะมีท่อขนาดเล็กติดตั้ง

สำหรับสมการที่ใช้คำนวณหาพื้นที่ของส่วนรับความร้อน, ปริมาตรสารเต็มสาร, พื้นที่ส่วนควบแน่นกรณีที่ไม่มีท่อและกรณีเพิ่มท่อ มีรายละเอียด ดังนี้

- การคำนวณหาพื้นที่ของส่วนรับความร้อน สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$A_e = b \times l \quad (1)$$

- การคำนวณหาปริมาตรสารทำงานที่เต็มลงใน Vapor chamber (กรณีเต็มสาร 50%) สามารถหาได้จากสมการ

$$V = \frac{b \times l \times h}{2} \quad (2)$$

โดยที่  $V$  คือ ปริมาตรสารทำงานที่เต็มลงใน Vapor chamber

- การคำนวณหาพื้นที่ส่วนควบแน่นในกรณีที่ไม่มีท่อขนาดเล็ก สามารถหาได้จากสมการ

$$A_{c,1} = b \times l \quad (3)$$

- การคำนวณหาพื้นที่ส่วนควบแน่นในกรณีที่มีท่อขนาดเล็กบนส่วนควบแน่น สามารถหาได้จากสมการ

$$A_{c,2} = (\pi d \times l \times n) + \left[ (b \times l) - \left( \frac{\pi}{4} d^2 n \right) \right] \quad (4)$$

เมื่อ n คือ จำนวนของท่อขนาดเล็ก

- ค่าพลังงานความร้อน ( $Q_{out}$ ) ที่ออกจาก Vapor chamber หาได้จากสมการ

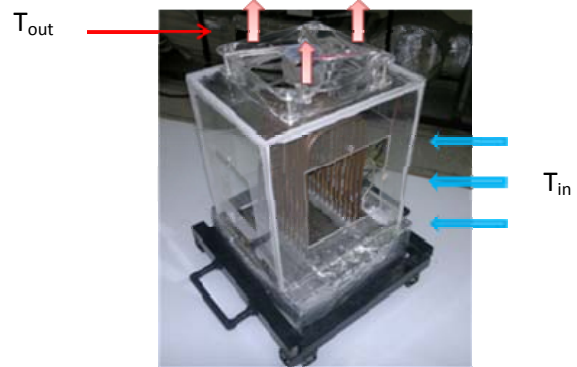
$$Q_{out} = \dot{m} C_p (T_{out} - T_{in}) \quad (5)$$

เมื่อ  $\dot{m}$  คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่ไหลผ่านส่วนควบแน่น (kg/s),  $C_p$  คือ ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ (kJ/kg °C),  $T_{out}$  คือ อุณหภูมิของอากาศที่ไหลออกจากส่วนควบแน่น (°C) และ  $T_{in}$  คือ อุณหภูมิของอากาศที่ไหลเข้าจากส่วนควบแน่น (°C)

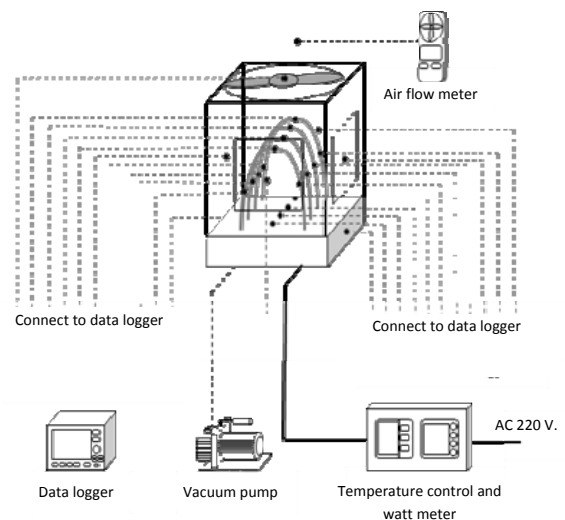
#### 4. ชุดทดลองและเครื่องมือวัด

รูปที่ 4 (ก) แสดง VC-TC ที่ถูกครอบด้วยกล่องพลาสติกใส ซึ่งด้านข้างกล่องได้ทำช่องให้อากาศไหลผ่าน รูปที่ 4 (ข) แสดงวงจรชุดทดสอบและอุปกรณ์ ซึ่งประกอบไปด้วย เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ยี่ห้อ OMEGA ชนิด K ไข่ร่วมกับเครื่องบันทึกข้อมูล (data logger) ยี่ห้อ Yokogawa รุ่น DX 200, ฮีตเตอร์ขนาด 400 W ซึ่งมีความต้านทาน 115  $\Omega$ , เครื่องวัดความเร็วอากาศ (Anemometer air velocity meter), ชุดควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Controller), เครื่องทำ

สุญญากาศ (Vacuum pump) แบบ single stage รุ่น SP-2 และพัดอากาศระบายความร้อน แบบ DC 12 V



(ก)



(ข)

รูปที่ 4 วงจรชุดทดสอบและอุปกรณ์

#### 5. ขั้นตอนการทดลอง

ก่อนเริ่มการทำงานได้ทำสุญญากาศภายใน Vapor chamber โดยใช้เครื่องทำสุญญากาศ จากนั้นเริ่มการทำงาน (ในสถานะของเหลว) ปริมาณ 50 % ของปริมาตรภายใน จากนั้นนำสาย

เทอร์โมคัปเปิลต่อเข้ากับผิวนอกของ Vapor chamber ณ จุดต่างๆ และอีกด้านหนึ่งของเทอร์โมคัปเปิลต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล

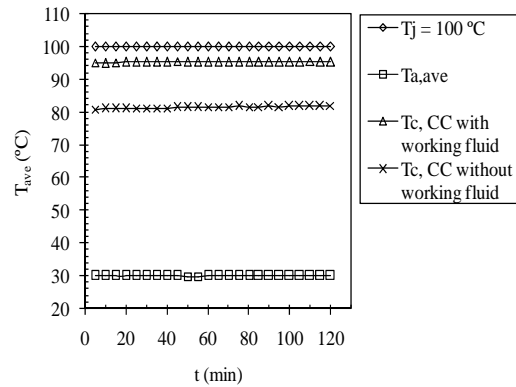
ในระหว่างการทดลองได้ทำการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิของฮีตเตอร์ 3 ค่า ได้แก่ 80, 90 และ 100 °C ร่วมกับปรับเปลี่ยนค่าความเร็วอากาศระบายความร้อนส่วนควบแน่นอีกสามค่าเช่นกัน ได้แก่ 1.0, 1.4 และ 1.8 m/s ตามลำดับ โดยที่ค่าความเร็วของอากาศระบายความร้อนทั้งสามค่านี้ใกล้เคียงกับสภาพการทำงานจริงของอากาศที่ใช้ระบายความร้อนของ CPU คอมพิวเตอร์

## 6. ผลการวิจัย

จากผลการทดลองหาคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของ Vapor chamber ผู้เขียนได้แบ่งการนำเสนอออกเป็น 3 ประเด็นดังนี้ (1) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่จุดต่างๆ ของ Vapor chamber (2) การเปลี่ยนแปลงค่าของ  $Q_{out}$  กรณีเต็มสารทำงานและไม่เต็มสารทำงานของ VC-CC และ VC-TC และสุดท้ายได้นำเสนอ (3) ผลของ  $V_{air}$  ที่มีต่อ  $Q_{out}$  ในกรณีที่  $T_j$  ต่างกัน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

### 6.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่จุดต่างๆ ของ Vapor chamber

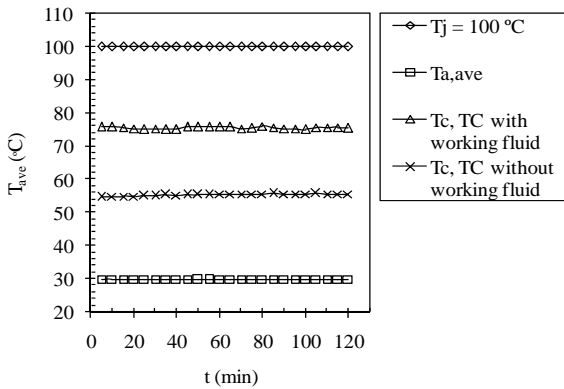
ในการทดลองนี้ได้กำหนดให้  $T_j = 100^\circ\text{C}$  และ  $V_{air} = 1.4 \text{ m/s}$  โดยอุณหภูมิของอากาศในห้องทดลอง  $T_a = 29.9^\circ\text{C}$  ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 อุณหภูมิที่จุดต่างๆ กรณีที่  $T_j = 100^\circ\text{C}$  แบบไม่มีท่อขนาดเล็กเป็นส่วนควบแน่น ณ  $V_{air} = 1.4 \text{ m/s}$

จากการทดลองพบว่า กรณีไม่เต็มสารทำงานและเต็มสารทำงานมี  $T_{c,ave} = 81.5$  และ  $95.4^\circ\text{C}$  ตามลำดับ ซึ่งสังเกตได้ว่าในกรณีที่เต็มสารทำงานมีอุณหภูมิสูงกว่ากรณีไม่เต็มสารทำงานประมาณ  $13.9^\circ\text{C}$  แสดงเห็นว่าสารทำงานสามารถพาความร้อนจากฮีตเตอร์เพื่อส่งผ่านไปยังส่วนควบแน่น และระบายออกสู่อากาศต่อไป

สำหรับกรณีที่ไม่มีท่อติดตั้งบนส่วนควบแน่น (Tube condenser, TC) ได้ทำการทดลองในเงื่อนไขเดียวกันกับที่กล่าวมาในขั้นต้น ซึ่งผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 6 ผลการทดลองพบว่า กรณีไม่เต็มสารทำงานและเต็มสารทำงานมี  $T_{c,ave} = 55.4$  และ  $75.5^\circ\text{C}$  ตามลำดับ ซึ่งสังเกตได้ว่าในกรณีที่เต็มสารทำงานมีอุณหภูมิสูงกว่าไม่เต็มสารทำงานเท่ากับ  $20.2^\circ\text{C}$  เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับกรณีที่ Vapor chamber ที่มีฝาแบบธรรมดา (Conventional condenser, CC) กรณีไม่เต็มสารทำงานค่า  $T_c$  ลดลง  $26.1^\circ\text{C}$  และในกรณีที่เต็มสารทำงาน  $T_c$  ลดลง  $20^\circ\text{C}$



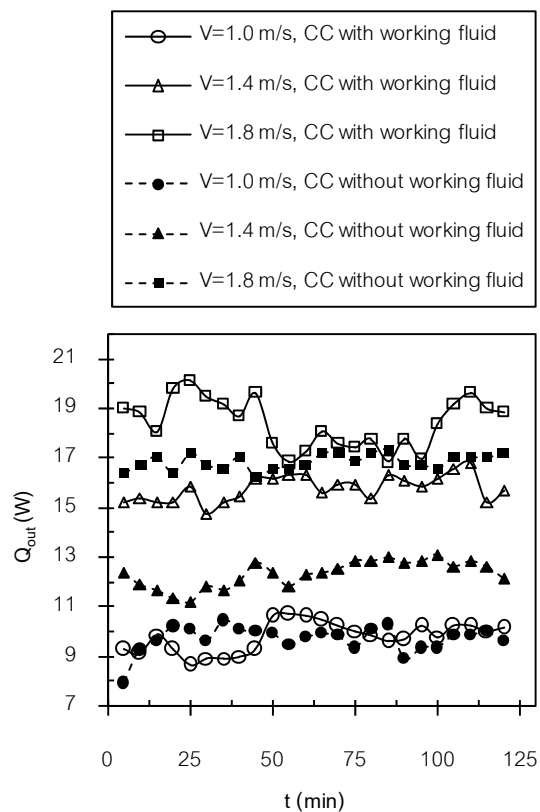
รูปที่ 6 อุณหภูมิที่จุดต่างๆ กรณีที่  $T_j = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$  แบบมีท่อขนาดเล็กเป็นส่วนควบแน่น ณ  $V_{\text{air}} = 1.4\text{ m/s}$

สาเหตุที่ลดลงของอุณหภูมิส่วนควบแน่นไม่เท่ากัน เนื่องจากการเติมสารทำงานจะมีผลต่อการพาความร้อนที่เกิดขึ้นภายใน Vapor chamber ซึ่งดีกว่ากรณีไม่เติมสารทำงาน ด้วยสาเหตุนี้เองจึงทำให้อุณหภูมิลดลงไม่เท่ากัน จากผลการทดลองอาจจะช่วยยืนยันได้ว่า สารทำงานที่เติมภายใน Vapor chamber จะมีการเคลื่อนที่และเปลี่ยนสถานะ

## 6.2 การเปลี่ยนแปลงของ $Q_{\text{out}}$ กรณีเติมสารทำงานและไม่เติมสารทำงาน

$Q_{\text{out}}$  ในที่นี้หมายถึง การถ่ายเทความร้อนที่ออกจากส่วนควบแน่น ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ  $Q_{\text{in}}$  ที่จ่ายให้กับส่วนทำระเหย (มีสมมติฐานว่าไม่มีความร้อนสูญเสียออกจากระบบ) ค่า  $Q_{\text{out}}$  จะได้มาจากการคำนวณโดยใช้สมการ (5) ซึ่งตัวแปรที่มีการเปลี่ยนแปลง คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ ( $\dot{m}$ ) และผลต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศที่เข้าและออกจากส่วนควบแน่น ( $\Delta T_{\text{air}}$ ) ซึ่งจากการทดลองพบว่าค่า  $\Delta T_{\text{air}}$  นี้จะเปลี่ยนไปตามค่าความร้อนที่ให้ส่วนทำระเหย ( $T_j$ ) รวมถึงการเปลี่ยนแปลง

ความเร็วอากาศที่ระบายความร้อนในส่วนควบแน่นด้วย ในการทดลองนี้ได้ควบคุมอุณหภูมิของส่วนทำระเหย  $T_j = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$  และเปลี่ยนแปลงความเร็วอากาศที่ไหลผ่านส่วนควบแน่นสามค่า คือ  $V_{\text{air}} = 1.0, 1.4$  และ  $1.8\text{ m/s}$  ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การเปลี่ยนแปลงของ  $Q_{\text{out}}$  กรณี Vapor chamber แบบ CC ที่  $T_j = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$  ในกรณีเติมและไม่เติมสารทำงาน

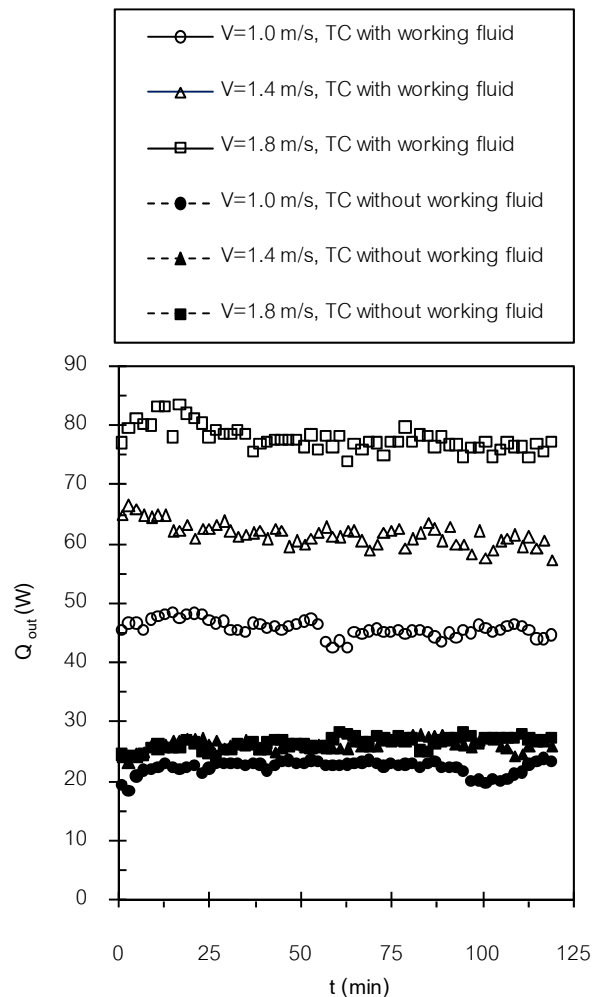
จากรูปที่ 7 จะพบว่า Vapor chamber แบบ CC ในกรณีที่ไม่มีเติมสารทำงาน หากเพิ่ม  $V_{\text{air}}$  จาก  $1.0\text{ m/s}$  เป็น  $1.8\text{ m/s}$  จะมีค่า  $Q_{\text{out}}$  เพิ่มขึ้นจาก  $9.5\text{ W}$  เป็น  $16.81\text{ W}$  สำหรับในกรณีที่เติมสารทำงานจะมีค่า  $Q_{\text{out}}$  เพิ่มขึ้นจาก  $9.71\text{ W}$  เป็น  $18.97\text{ W}$  ซึ่งสังเกตได้ว่าค่าของ  $Q_{\text{out}}$  ในกรณีที่เติมสารทำงานมีค่าเพิ่มขึ้น



มากกว่าในกรณีที่ไม่มีเติมสารทำงาน แต่อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ความเร็วของอากาศระบายความร้อนต่ำ ( $V = 1.0 \text{ m/s}$ ) พบว่า ค่า  $Q_{out}$  ในกรณีเติมและไม่เติมสารทำงาน มีค่าแตกต่างกันน้อยมาก ซึ่งอาจจะมีสาเหตุเนื่องจากความเร็วของอากาศระบายความร้อนไม่เพียงพอสำหรับดึงเอาความร้อนออกจากสารทำงาน นอกจากนี้ในรูปที่ 7 ยังสังเกตพบว่าค่าของ  $Q_{out}$  จะเปลี่ยนแปลงไปตามความเร็วอากาศที่ใช้ระบายความร้อนของส่วนควบแน่น โดยสรุปได้ว่าค่าของ  $Q_{out}$  ทั้งกรณีเติมสารทำงานและไม่เติมสารทำงาน จะเพิ่มขึ้นตามความเร็วอากาศที่ใช้ระบายความร้อนของส่วนควบแน่น

สำหรับกรณี Vapor chamber ที่มีท่อติดตั้งบนส่วนควบแน่น ซึ่งได้ทำการทดลองในเงื่อนไขเดียวกันกับ Vapor chamber แบบธรรมดา ที่กล่าวมาในขั้นต้น ซึ่งผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 8 ผลจากการพบว่าค่า  $Q_{out}$  ของ Vapor chamber แบบ TC กรณีที่ไม่มีเติมสารทำงานที่  $V_{air} = 1.0, 1.4$  และ  $1.8 \text{ m/s}$  จะมีค่า  $Q_{out} = 22.28, 26.20$  และ  $26.30 \text{ W}$  ตามลำดับ สำหรับในกรณีที่เติมสารทำงานจะมีค่า  $Q_{out} = 45.71, 61.51$  และ  $77.49 \text{ W}$  ตามลำดับ สรุปได้ว่าที่  $V_{air} = 1.8 \text{ m/s}$  ในกรณีเติมสารทำงานจะมีค่า  $Q_{out}$  มากที่สุดและที่  $V_{air} = 1.0 \text{ m/s}$  ในกรณีไม่เติมสารทำงานจะมีค่า  $Q_{out}$  ที่น้อยที่สุด โดยค่าของ  $Q_{out,ave}$  ที่  $V_{air} = 1.0, 1.4$  และ  $1.8 \text{ m/s}$  ระหว่างกรณีที่ไม่มีเติมสารทำงานจะมีค่าน้อยกว่ากรณีที่เติมสารทำงานประมาณ  $23.43, 35.31$  และ  $51.19 \text{ W}$  ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า ค่า  $Q_{out}$  ของ Vapor chamber แบบ TC จะเพิ่มตามความเร็วอากาศที่ระบายความร้อนส่วนควบแน่น ซึ่งมีลักษณะ

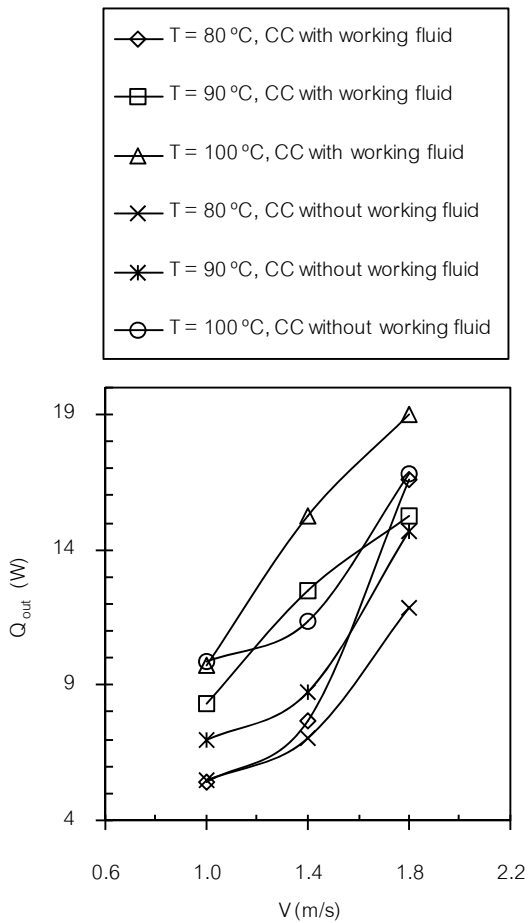
เช่นเดียวกันกับ Vapor chamber แบบ CC และถ้าหากเปรียบเทียบค่า  $Q_{out}$  ระหว่าง Vapor chamber แบบ CC กับ Vapor chamber แบบ TC จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า Vapor chamber แบบ TC ที่มีกรณีเติมสารทำงานจะมีความสามารถในการพาความร้อนได้มากกว่าแบบ CC ทั้งนี้อาจจะมีสาเหตุจาก Vapor chamber แบบ TC มีพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนได้มากกว่า CC เนื่องจากได้ติดตั้งท่อขนาดเล็กไว้บนส่วนควบแน่น



รูปที่ 8 การเปลี่ยนแปลงของ  $Q_{out}$  กรณี Vapor chamber แบบ TC ที่  $T_j = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$

### 6.3 ผลของ $V_{air}$ ที่มีต่อ $Q_{out}$ ในกรณีที่ $T_j$ ต่างกัน

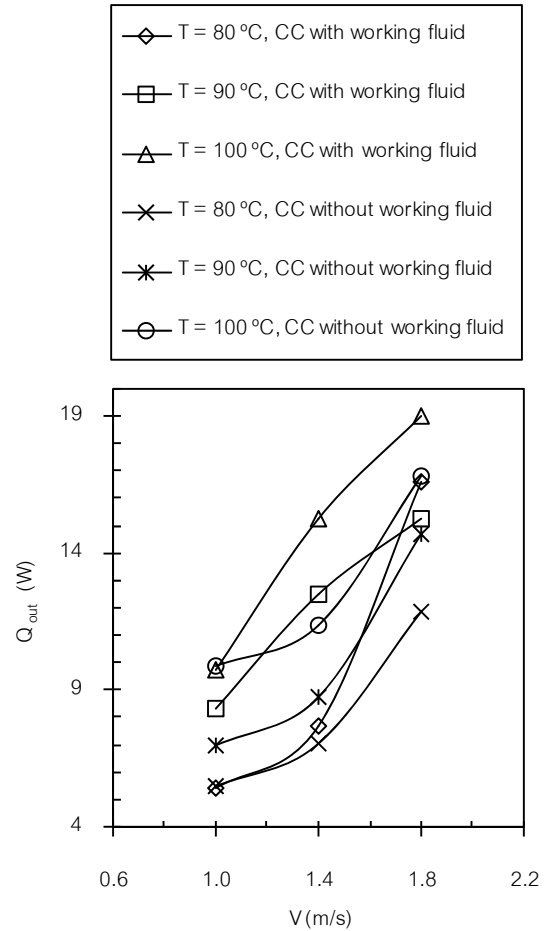
ในการศึกษาอิทธิพลของ  $V_{air}$  ที่มีต่อ  $Q_{out}$  ได้ทดลองในเงื่อนไขต่อไปนี้ อุณหภูมิในส่วนทำระเหย  $T_j = 80, 90$  และ  $100^\circ\text{C}$  ร่วมกับเปลี่ยนแปลงความเร็วอากาศที่ระบายความร้อนส่วนควบแน่นสามค่า คือ  $V_{air} = 1.0, 1.4$  และ  $1.8$  m/s ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ผลของ  $V_{air}$  ที่มีต่อ  $Q_{out}$  กรณี Vapor chamber แบบ CC ที่อุณหภูมิต่างๆ

ซึ่งพบว่า การปรับเปลี่ยนความเร็วอากาศที่ระบายความร้อนในส่วนควบแน่นมีผลอย่างยิ่งต่อค่าของ  $Q_{out}$  สำหรับที่  $T_j = 80^\circ\text{C}$  และ  $V_{air} = 1.0$  m/s กรณีที่

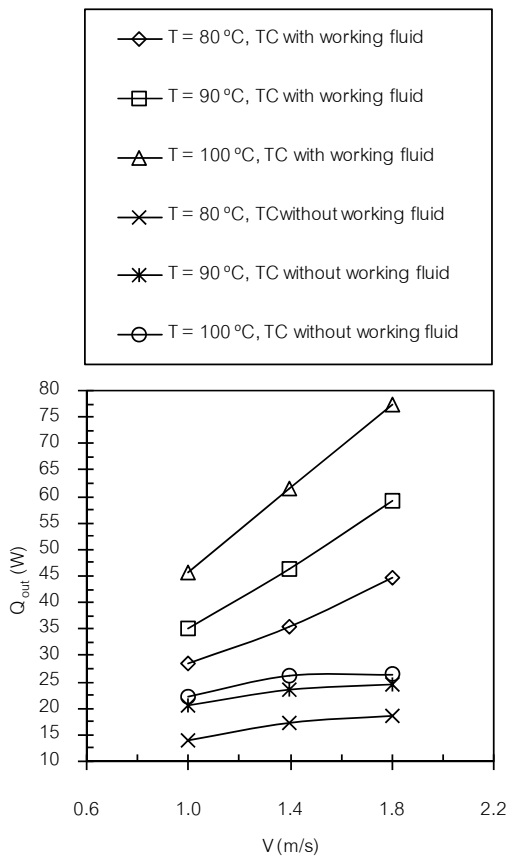
ไม่เติมสารทำงานและเติมสารทำงาน จะมีค่า  $Q_{out}$  ใกล้เคียงกัน (ประมาณ  $5.53$  W) และที่  $V_{air} = 1.8$  m/s กับ  $T_j = 100^\circ\text{C}$  ในกรณีที่เติมสารทำงานและไม่เติมสารทำงานจะมีค่า  $Q_{out} = 16.81$  และ  $18.98$  W ตามลำดับ



รูปที่ 9 ผลของ  $V_{air}$  ที่มีต่อ  $Q_{out}$  กรณี Vapor chamber แบบ CC ที่อุณหภูมิต่างๆ

สำหรับ Vapor chamber แบบ TC ซึ่งได้ทดลองในเงื่อนไขเดียวกันกับแบบ CC ดังที่กล่าวมาในขั้นตอนผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 10 ในเงื่อนไขการทดลองที่  $V_{air} = 1.0$  m/s และ  $T_j = 80^\circ\text{C}$  กรณีที่ไม่

เดิมสารทำงานและเดิมสารทำงาน จะมีค่า  $Q_{out,ave} = 14.00$  และ  $28.67$  W ตามลำดับ สำหรับในเงื่อนไขการทดลองที่  $V_{air} = 1.8$  m/s และ  $T_j = 100^\circ\text{C}$  ในกรณีที่ไม่มีเดิมสารทำงานและไม่เดิมสารทำงานจะมีค่า  $Q_{out,ave} = 26.37$  และ  $77.49$  W ตามลำดับ จากการศึกษาทดลองทั้ง Vapor chamber สองกรณีจะพบว่าค่า  $Q_{out}$  จะเพิ่มขึ้นตาม  $T_j$  และ  $V_{air}$



รูปที่ 10 ผลของ  $V_{air}$  ที่มีต่อ  $Q_{out}$  กรณี Vapor chamber แบบ TC ที่ อุณหภูมิต่างๆ

ถ้าหากเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่าง Vapor chamber แบบ CC และ Vapor chamber แบบ TC แล้ว จะพบว่า Vapor chamber แบบ TC ในกรณีที่เดิมสารทำงานจะมีค่า  $Q_{out}$

มากกว่า Vapor chamber แบบ CC เนื่องจากว่า Vapor chamber แบบ TC จะมีพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนได้มากกว่าแบบ CC และไอสารจะสามารถไหลเข้าสู่ท่อขนาดเล็กติดตั้งอยู่บนส่วนควบแน่น ซึ่งจะช่วยในการถ่ายเทความร้อนออกจากไอร้อนไปสู่อากาศระบายความร้อนซึ่งอยู่นอกท่อ

## 7. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของ Vapor chamber แบบ CC และ TC สรุปได้ดังนี้

- ทั้ง Vapor chamber แบบ CC และ TC ในกรณีที่เดิมสารทำงานมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่ากรณีที่ไม่มีเดิมสารทำงาน
- Vapor chamber แบบ TC ในกรณีที่มีการเดิมสารทำงานจะมีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่า Vapor chamber แบบ CC ประมาณ 58.51 W
- ในเงื่อนไขการทดลองที่ความเร็วของอากาศ  $V_{air} = 1.8$  m/s และอุณหภูมิส่วนทำระเหย  $T_j = 100^\circ\text{C}$  ให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด  $Q_{out} = 77.49$  W
- ค่าการถ่ายเทความร้อน  $Q_{out}$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของส่วนทำระเหย  $T_j$
- การเพิ่มความเร็วของอากาศ  $V_{air}$  ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อน  $Q_{out}$  เพิ่มขึ้น
- การติดตั้งท่อขนาดเล็กบนส่วนทำระเหยของ Vapor chamber เป็นการส่งเสริมกลไกการพาความร้อน ซึ่งส่งผลให้สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของ Vapor chamber มีค่าเพิ่มขึ้น

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้ทำวิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยนี้ รวมทั้งขอขอบคุณนายโรดม สายพันธ์ นายวินัย ผิวทอง และนายสมพร ลอแพ นักศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ช่วยในการเก็บข้อมูลในการทดลองของงานวิจัยนี้

## บรรณานุกรม

[1] R. Boukhanouf, A. Haddad, M.T. North, C. Buffone. **Experimental investigation of a plate heat pipe performance using IR thermal imaging camera**, Applied Thermal Engineering, 26 (2006) 2148-2156.

[2] Te-EN Tsai, Hsin-Hsuan Wu, Chih-Chung Chang and Sih-Li Chen. **Two-phase closed thermosyphon vapor-chamber system for electronic cooling**, International communications in Heat and Mass Transfer 37 (2010) 484-489.

[3] Shou-Shing Hsieh, Ron-Yu Lee, Jin-Cherng Shyu, Shao-Wen Chen. **Thermal performance of flat vapor chamber heat spreader**, Micro-System Technology Center, Energy Conservation and Management 49 (2008) 1774-1784.

[4] Shuangfeng Wang, Jinjian Chen, Yanxin Hu, Wei Zhang. **Effect of evaporation section and condensation section length on thermal performance of flat plate heat pipe**, Applied Thermal Engineering 31 (2011) 2367-2373.

[5] Shwin-Chung Wong, Siao-Fang Huang, Kuo-Chan Hsieh. **Performance tests on noval vapor chamber**, Thermal Engineering 31 (2011) 1757-1762.

[6] Stephane Lips, Frederic Lefevre, Jocelyn Bonjour. **Combined effects of the filling ratio and the vapour space thickness on the performance of a flat heat pipe**, International Journal of Heat and Mass Transfer 53 (2010) 694-702.

[7] Shwin-Chung Wong, Kuo-Chun Hsieh, Jia-Da Wu, Wei-Lun Han. **A novel vapor chamber and its performance**, International Journal of Heat and Mass Transfer 53 (2010) 2377-2384.