

การเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนสำหรับระบบปรับอากาศ โดยใช้ของไหลนาโน TiO_2 เป็นสารทำงาน

Improving thermal performance of heat pipe for air conditioning system

by using TiO_2 nanofluid as working fluid

สรณพงศ์ จันทนาคอม¹ และ สุรชัย สนิทใจ²

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

โทรศัพท์: 02-470-9109, โทรสาร: 02-470-9109, Email: niyonb@hotmail.com¹ และ surachai.san@kmutt.ac.th²

Satanapong Chantanakom¹ and Surachai Sanitjai²

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,

King Mongkut's University of Technology Thonburi

126 Prachauthit Road, Bangmod, Thung Khru District, Bangkok, 10140, Thailand.

Tel: 02-470-9109, Fax: 02-470-9109, Email: niyonb@hotmail.com¹ and surachai.san@kmutt.ac.th²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่มีสารทำงานเป็นของไหลนาโน ที่ผลิตมาจากสารทำความเย็นชนิด R22 ที่มีการเติมอนุภาคของไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 21 นาโนเมตร ลงไปในสารทำความเย็น โดยศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของท่อความร้อนที่ใช้สารทำความเย็น R22 เพียงอย่างเดียวและใช้สารทำความเย็น R22 พร้อมอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 10 ppm, 50 ppm และ 400 ppm ซึ่งได้ทดสอบกับระบบปรับอากาศจำลอง โดยวางส่วนระเหย (evaporator section) ของท่อความร้อนไว้ด้านหน้าอีวาพอเรเตอร์ (evaporator) ของระบบปรับอากาศ และวางส่วนควบแน่น (condenser section) ของท่อความร้อนไว้หน้าคอนเดนเซอร์ (condenser) ของระบบปรับอากาศ จากผลการทดลองพบว่าเมื่อได้ติดตั้งท่อความร้อนที่ใช้สารทำความเย็น R22 อย่างเดียวจะช่วยประหยัดพลังงานของภาระการทำความเย็นในระบบปรับอากาศลงได้ 15.61% อย่างไรก็ตามเมื่อมีการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ลงไปในสารทำความเย็น R22 ของท่อความร้อนที่ความเข้มข้น 10 ppm 50 ppm และ 400 ppm จะช่วยประหยัดพลังงานของภาระการทำความเย็นลงได้ 19.54% 23.18% และ 18.88% ตามลำดับ ดังนั้นการเติมอนุภาคของนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ช่วยเพิ่มสมรรถนะของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนขึ้น 32.85% 49.72% และ 28.86% ตามลำดับ

คำสำคัญ : ท่อความร้อน, สมรรถนะทางความร้อน, ระบบปรับอากาศ, ของไหลนาโน

Abstract

This research study aims to improve thermal performance of thermosyphon heat pipe with nanofluid as a working fluid. This nanofluid is made of refrigerant R22 filling with titanium dioxide (TiO_2) particles of 21 nm mean diameter. The thermal performance of heat pipe using pure refrigerant R22 is compared with the thermal performance of heat pipes using R22 filling with TiO_2 nanoparticles at the concentrations of 10 ppm, 50 ppm and 400 ppm. The tests are performed in the model air conditioning system. The evaporator section of the heat pipe is placed in front of the evaporator of air conditioning system. The condenser section of the heat pipe is placed in front of the condenser of air conditioning system. The test results showed that when the heat pipe with pure refrigerant R22 as working fluid is used in the air conditioning system, the energy consumption can be reduced by 15.61%. However, when the nanoparticles of TiO_2 are added into refrigerant R22 of the heat pipe at the concentrations of 10 ppm 50 ppm and 400 ppm, the energy consumption of the air conditioning system can be reduced by 19.54% 23.18% and 18.88%, respectively. So, the addition of TiO_2 nanoparticles improves the thermal performance of the tested thermosyphon heat pipe by 32.85% 49.72% and 28.86%, respectively.

Key words: heat pipe, thermal performance, air conditioning system, nanofluid

1. บทนำ

ท่อความร้อนเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ที่มีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ แม้ในสภาพอุณหภูมิลดลงเพียงเล็กน้อย เมื่อสารทำงานในท่อความร้อนได้รับความร้อนจะระเหยกลายเป็นไอ แล้วไอจะเคลื่อนตัวไปสู่ปลายอีกด้านหนึ่งซึ่งจะระบายความร้อนออก ทำให้ไอกลายเป็นของเหลวเกาะที่ผิวภายในของท่อแล้วไหลกลับไปสู่ปลายท่อที่รับความร้อน เนื่องจากท่อความร้อนสามารถถ่ายเทความร้อนจากแหล่งให้ความร้อน (heat source) ไปสู่แหล่งรับความร้อน (heat sink) ได้อย่างมีประสิทธิภาพและไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานจากภายนอกในการทำงาน ท่อความร้อนจึงได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานหลายประเภท สำหรับในการปรับอากาศได้มีการนำท่อความร้อนไปประกอบกับอีวาพอเรเตอร์ในเครื่องปรับอากาศ โดยให้ส่วนการระเหย (evaporator section) ของท่อความร้อนอยู่หน้าอีวาพอเรเตอร์เพื่อทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าคอยล์ให้ลดลง (pre-cooling) และส่วนการควบแน่น (condenser section) ของท่อความร้อนวางอยู่หลังอีวาพอเรเตอร์ซึ่งจะทำหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิของอากาศหลังอีวาพอเรเตอร์ให้สูงกลับขึ้นมาเท่ากับที่ลดลงไป ผลที่ได้คือ อีวาพอเรเตอร์จะลดความชื้นออกจากอากาศได้มากขึ้น และอากาศที่ผ่านอีวาพอเรเตอร์จะแห้งมากขึ้น ดังนั้นการใช้ท่อความร้อนในระบบปรับอากาศจะช่วยสามารถประหยัดพลังงานในการทำความเย็นและทำความร้อนซ้ำได้ ซึ่งระบบปรับอากาศที่ต้องควบคุมความชื้นและไม่ได้ใช้ท่อความร้อนจะต้องติดตั้งฮีตเตอร์ไฟฟ้าไว้หลังอีวาพอเรเตอร์แทน

ถึงแม้ว่าท่อความร้อนจะทำงานได้อย่างดีก็ตาม การเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนให้สูงขึ้นก็ช่วยประหยัดพลังงานได้มากยิ่งขึ้น ในงานวิจัยนี้ได้นำเอาเทคโนโลยีระดับนาโนมาช่วยเพิ่มสมรรถนะของท่อความร้อน โดยใช้นุภาคนาโนผสมกับสารทำงานที่อยู่ในท่อความร้อนที่ความเข้มข้นที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อน โดยมุ่งเน้นศึกษาถึงอิทธิพลของความเข้มข้นของอนุภาคนาโนที่ผสมกับสารทำงานต่อสมรรถนะของท่อความร้อนและความสามารถในการประหยัดพลังงานให้แก่ระบบปรับอากาศ สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

Kang และคณะ [1] ได้ศึกษาการใช้ของไหลนาโนกับท่อความร้อนแบบมีร่องทั่วไป โดยใช้นุภาคนาโนขนาด 35 nm ที่ความเข้มข้น 1 mg/l ถึง 100 mg/l เติมน้ำ DI โดยพบว่าค่าความต้านทานทางความร้อน (thermal resistance) ลดลง 10-80% เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำ DI ที่อัตราการระบายความร้อน 30-60W นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความต้านทานทางความร้อนของท่อความร้อนลดลงเมื่อความเข้มข้นของของไหลนาโนเพิ่มขึ้น

Xuan และ Li [2] ทำการทดลองเพื่อศึกษาถึงค่าการนำความร้อนของของไหลนาโนซึ่งประกอบด้วยอนุภาคทองแดงผสมกับน้ำ จากผลการทดลองพบว่าขนาดอนุภาคนาโนของทองแดงสามารถเพิ่มค่าการนำความร้อนของของเหลวพื้นฐานได้ ซึ่งค่าการนำความร้อนของของไหลนาโนเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนโดยปริมาตรของอนุภาคนาโน ผลการทดลองพบว่าสัดส่วนค่าการนำความร้อนของของไหลนาโน (Cu-water) ต่อของเหลวพื้นฐานเพิ่มขึ้นจาก 1.24 เป็น 1.78 เมื่อสัดส่วนโดยปริมาตรของอนุภาคนาโนเพิ่มจาก 2.5% ถึง 7.5%

Yu และคณะ [3] ได้ทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนที่ทำงานที่อุณหภูมิของน้ำเย็นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.4 mm และเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 3 mm ยาว 170 mm ชนิดสั้น โดยมีของไหลนาโนของอนุภาคเงินผสมน้ำ โดยอนุภาคเงินมีขนาด 20 nm ที่ความเข้มข้น 100 ppm และ 400 ppm และมีอัตราส่วนปริมาตรของของไหลนาโนต่อปริมาตรส่วนระเหย 20% - 80% ตามลำดับ โดยทดสอบที่อัตราความร้อนที่ป้อนให้ในส่วนอีวาพอเรเตอร์ 5W - 85W ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนปริมาตรของของไหลนาโนที่ความเข้มข้น 100 ppm จะมีสมรรถนะทางความร้อนดีที่สุด ส่วนของไหลนาโนที่ความเข้มข้น 450 ppm จะมีสมรรถนะทางความร้อนต่ำที่สุด

Maezawa และคณะ [4] ทำการวิจัยเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่ระบายความร้อนจากอากาศสู่อากาศ โดยใช้ท่อทองแดงแบบไร้ริ้วกั้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อเท่ากับ 2 mm สารทำงานเป็นสารทำความเย็น R134b และท่อทองแดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ 5.34 mm สำหรับสารทำงานเป็นน้ำ ค่าความร้อนที่ให้กับท่อทองแดงตั้งแต่ 0 - 1200 W จากผลการทดลองพบว่าการใช้สารทำความเย็นชนิด R134b จะมีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนดีกว่าการใช้น้ำเป็นสารตัวกลาง

สำหรับการประยุกต์ใช้ท่อความร้อนในระบบปรับอากาศนั้น ได้มีการศึกษาโดย Wan และคณะ [5] ได้ประยุกต์ใช้ท่อความร้อนกับอากาศนำกลับ (return air) สำหรับอาคารสำนักงาน โดยพบว่าท่อความร้อนสามารถประหยัดพลังงานในการทำความเย็นและทำความร้อนซ้ำได้สำหรับช่วงอุณหภูมิ 22-26 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 50% อัตราการประหยัดพลังงาน (rate of energy saving) มีค่าเท่ากับ 23.5-25.7% สำหรับภาระการทำความเย็น (cooling load) และ 38.1-40.9% สำหรับการใช้พลังงานโดยรวมของระบบ

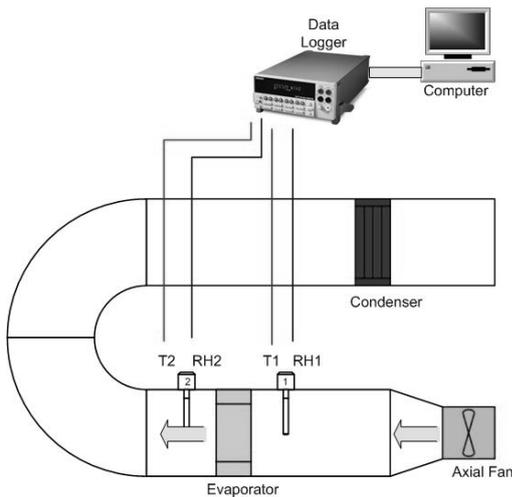
Xiao และคณะ [6] ได้ทำการทดลองเพื่อควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ในระบบปรับอากาศให้มีค่าไม่เกินกว่า 70 % โดยทดสอบระบบปรับอากาศที่ไม่ได้ใช้ท่อความร้อนเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศที่ใช้ท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอนรวม โดยท่อความร้อนมีสารทำงานคือ R22 โดยมีสัดส่วนปริมาตรเท่ากับ 60% ของปริมาตรส่วนระเหย (evaporator section) จากผลการทดลองสรุปได้ว่า เมื่อใส่ท่อความร้อนจะสามารถเพิ่มภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศได้ถึง 20-32% และในส่วนการควบแน่น (condenser section) ของท่อความร้อนสามารถทำความร้อนซ้ำ (reheat) ได้ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ที่ผ่านท่อความร้อนส่วนการควบแน่นมีค่าลดลงอยู่ในช่วง 70-74% จาก 92-100% ซึ่งการทำความร้อนซ้ำนี้สามารถนำมาแทนที่เครื่องทำความร้อน ดังนั้นเมื่อใส่ท่อความร้อนในระบบปรับอากาศจะทำให้ประหยัดพลังงานได้ในส่วนการเพิ่มภาระการทำความเย็น และการทำความร้อนซ้ำโดยไม่ต้องการพลังงานจากภายนอก

ดังนั้นการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศสามารถทำได้โดยการประยุกต์ใช้ท่อความร้อน แต่การเพิ่มประสิทธิภาพของท่อความร้อนที่ใช้นุภาคนาโนที่ผสมกับสารทำงานนั้นอาจจะเป็นแนวทางหนึ่งที่ทำให้เกิดการประหยัดพลังงานเพิ่มขึ้น โดยของไหลนาโนได้จากการผสมกันระหว่างอนุภาคของไทเทเนียมไดออกไซด์ กับสารทำความเย็น โดยนำข้อดีของของไหลนาโนที่สามารถพาความร้อนได้สูงมาประยุกต์ใช้กับ

ท่อความร้อนเพื่อให้ท่อความร้อนมีความสามารถในการระบายความร้อนเพิ่มขึ้น

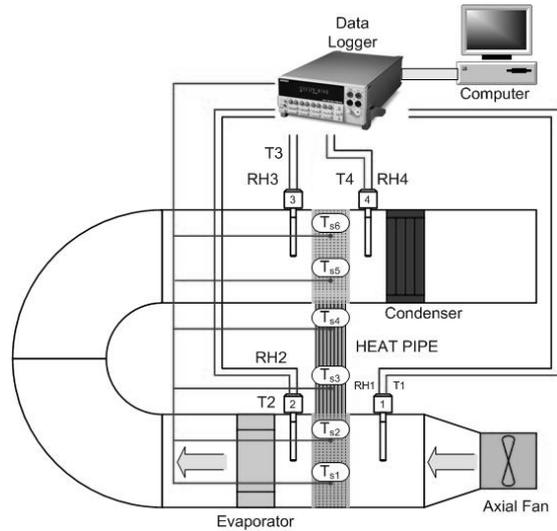
2. อุปกรณ์ทดลองและวิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่มีสารทำงานเป็นสารทำความเย็นผสมอนุภาคของไหลนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) ซึ่งท่อความร้อนในส่วนควบแน่นจะมีการถ่ายเทเข้าแก่อากาศเป็นขบวนการ reheat ซึ่งขบวนการนี้มักจะใช้ในงานปรับอากาศที่มีความต้องการค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่มีค่าไม่สูงมากนัก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงค่า อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศโดยได้ทดสอบกับระบบปรับอากาศจำลองที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อนดังรูปที่ 1 และเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศจำลองที่ติดตั้งท่อความร้อนดังรูปที่ 2 เพื่อทดสอบค่าสมรรถนะของระบบปรับอากาศสำหรับการประหยัดพลังงานของท่อความร้อน โดยมีการวางส่วนระเหย (evaporator section) ของท่อความร้อนไว้ด้านหน้า อีวาพอเรเตอร์ (evaporator) ของระบบปรับอากาศ และวางส่วนควบแน่น (condenser section) ของท่อความร้อนไว้หน้าคอนเดนเซอร์ (condenser) ของระบบปรับอากาศ



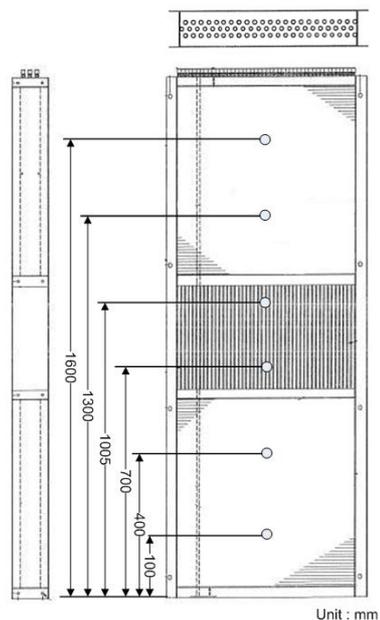
รูปที่ 1 ระบบปรับอากาศจำลองที่ไม่มีการติดตั้งท่อความร้อน

ท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่ใช้ทดสอบเป็นท่อความร้อนที่ทำจากทองแดง เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 9.525 mm ยาว 1.70 m ดังรูปที่ 3 ภายในท่อความร้อนบรรจุด้วยสารทำงานที่มีอนุภาคของไทเทเนียมไดออกไซด์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 21 นาโนเมตร ที่ความเข้มข้นต่างๆ คือ 10 ppm, 50 ppm และ 400 ppm ตามลำดับ ผสมกับสารทำความเย็นชนิด R22 และสารทำงานที่เป็นสารทำความเย็นชนิด R22 เพียงอย่างเดียว โดยอัตราส่วนการเติมของสารทำงานเท่ากับ 60% ของปริมาตรของส่วนการระเหยของท่อความร้อน



รูปที่ 2 ระบบปรับอากาศจำลองที่มีการติดตั้งท่อความร้อน

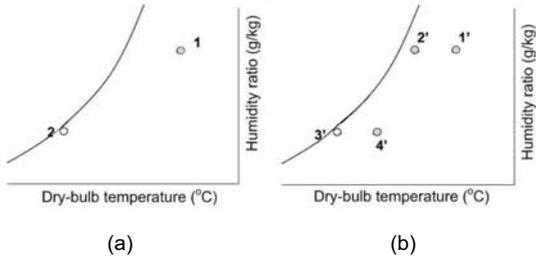
การทดสอบระบบปรับอากาศจำลองทำโดยการเป่าอากาศด้วยพัดลมชนิดไหลตามแนวแกน (axial fan) ที่อัตราการไหลเชิงมวล 0.7260 kg/s ซึ่งทำการคำนวณจากการวัดความเร็วลมโดยใช้เครื่องวัดความเร็วลม (hot wire anemometer) โดยอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าระบบทดสอบมีค่าอยู่ในช่วง 26-28 °C ทดสอบระบบปรับอากาศที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อน และระบบที่ได้ติดตั้งท่อความร้อนที่ไม่ได้ผสมอนุภาคนาโน และผสมอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้นต่างๆ ข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆ จะถูกบันทึกด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (humidity/temperature transmitter) สำหรับการทดสอบสมรรถนะของท่อความร้อนนั้นทำโดยการวัดอุณหภูมิผิวตามแนวแกนของท่อความร้อนโดยใช้ Thermocouple ชนิด T จำนวน 6 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 3 และทำการบันทึกข้อมูลโดยใช้ Data logger เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 3 ท่อความร้อนและตำแหน่งการติดตั้ง Thermocouple ที่ผิวท่อความร้อน

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการวัดจะถูกนำมาคำนวณหาค่าต่างๆ โดยแบ่งการคำนวณได้ 2 แบบ คือแบบที่ระบบปรับอากาศไม่มีการติดตั้งท่อความร้อนและแบบระบบปรับอากาศที่มีการติดตั้งท่อความร้อน โดยมีรูปแบบของ Psychrometric chart ของ 2 ระบบแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 Psychrometric chart ของ

- (a) ระบบปรับอากาศที่ไม่มีการติดตั้งท่อความร้อน
(b) ระบบปรับอากาศที่มีการติดตั้งท่อความร้อน

ภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศที่ไม่มีการติดตั้งท่อความร้อน สามารถคำนวณได้จากสมการ (1)

$$Q_{ac} = m_a(h_1 - h_2) \quad (1)$$

เมื่อ

- Q_{ac} คือ ภาระการทำความเย็น (kW)
 m_a คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (kg/s)
 h_1 คือ เอนทัลปีของอากาศก่อนผ่านอีวาพอเรเตอร์ (kJ/kg)
 h_2 คือ เอนทัลปีของอากาศหลังผ่านอีวาพอเรเตอร์ (kJ/kg)

ภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศที่มีการติดตั้งท่อความร้อน สามารถคำนวณได้จากผลรวมของ ขบวนการ 1'-2' และขบวนการ 2'-3' ซึ่ง ขบวนการ 1'-2' คือ pre-cooling คำนวณได้จากสมการ (2)

$$Q_{hpc} = m_a(h_1 - h_2) \quad (2)$$

ขบวนการ 2'-3' คือ air conditioning active cooling คำนวณได้จากสมการ (3)

$$Q_{ac} = m_a(h_2 - h_3) \quad (3)$$

ดังนั้นภาระการทำความเย็นโดยรวมของระบบปรับอากาศทั้งหมด คำนวณได้จากสมการ (4)

$$Q_{hac} = m_a(h_1 - h_2) + m_a(h_2 - h_3) \\ = m_a(h_1 - h_3) \quad (4)$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนในขบวนการจาก 3'-4' คือ reheat คำนวณได้จากสมการ (5)

$$Q_{hpr} = m_a(h_3 - h_4) \quad (5)$$

เมื่อ

- h_1 คือ เอนทัลปีของอากาศก่อนผ่านส่วนระเหยของท่อความร้อน (kJ/kg)

h_2 คือ เอนทัลปีของอากาศหลังผ่านส่วนระเหยของท่อความร้อน (kJ/kg)

h_3 คือ เอนทัลปีของอากาศหลังผ่านอีวาพอเรเตอร์ (kJ/kg)

h_4 คือ เอนทัลปีของอากาศหลังผ่านส่วนการควบแน่นของท่อความร้อน (kJ/kg)

Q_{ac} คือ ภาระการทำความเย็นของอีวาพอเรเตอร์ (kW)

Q_{hac} คือ ภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศทั้งหมด (kW)

Q_{hpc} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนในช่วง pre-cooling (kW)

Q_{hpr} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนในช่วง reheat (kW)

เมื่อพิจารณาภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ ระบบที่มีการติดตั้งท่อความร้อนจะสามารถประหยัดพลังงานในส่วนการทำความเย็นที่ได้จากท่อความร้อนส่วนการระเหยซึ่งจะลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าอีวาพอเรเตอร์เรียกขบวนการนี้ว่า pre-cooling ทำให้ระบบปรับอากาศมีภาระการทำความเย็นโดยรวมเพิ่มขึ้นโดยไม่ใช้พลังงานจากภายนอก

ดังนั้นสัดส่วนการประหยัดพลังงานสำหรับภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ (E_{s1}) สามารถคำนวณได้จากสมการ (6) ที่แสดงถึงพลังงานที่ได้จากขบวนการ pre-cooling เทียบกับภาระการทำความเย็นโดยรวมของระบบปรับอากาศ

$$E_{s1} = \frac{m_a(h_1 - h_2)}{m_a(h_1 - h_2) + m_a(h_2 - h_3)} \times 100\% \quad (6)$$

เมื่อพิจารณาการประหยัดพลังงานโดยรวมของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งท่อความร้อน ระบบจะสามารถประหยัดพลังงานได้ 2 ส่วนคือ ส่วนการทำความเย็น (pre-cooling) และส่วนการทำความร้อนซ้ำ (reheat) ดังนั้น สัดส่วนการประหยัดพลังงานโดยรวมของระบบปรับอากาศ (E_{s2}) คือ พลังงานที่ได้จากขบวนการ pre-cooling และขบวนการ reheat เปรียบเทียบกับพลังงานทั้งหมดของระบบปรับอากาศสามารถคำนวณได้จากสมการ (7)

$$E_{s2} = \frac{m_a(h_1 - h_2) + m_a(h_3 - h_4)}{m_a(h_1 - h_2) + m_a(h_2 - h_3) + m_a(h_3 - h_4)} \times 100\% \quad (7)$$

สำหรับสมรรถนะทางความร้อนนั้นจะได้อาจการคำนวณค่าความต้านทานทางความร้อนของท่อความร้อน ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (8)

$$R = \frac{T_e - T_c}{(Q_{hpc} + Q_{hpr})/2} \quad (8)$$

เมื่อ

E_s คือ สัดส่วนการประหยัดพลังงาน (%)

R คือ ค่าความต้านทานทางความร้อนของท่อความร้อน ($^{\circ}C/kW$)

T_e คือ อุณหภูมิผิวของท่อความร้อนในส่วนการระเหย ($^{\circ}C$)

T_c คือ อุณหภูมิผิวของท่อความร้อนในส่วนการควบแน่น ($^{\circ}C$)

ค่าสัดส่วนการลดความชื้นสัมบูรณ์ (DF) คือค่าที่บ่งบอกการลดความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศหลังจากผ่านอีวาพอเรเตอร์เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความชื้นสัมบูรณ์ก่อนผ่านอีวาพอเรเตอร์ คำนวณได้จากสมการ (9)

$$DF = \frac{\omega_i - \omega_o}{\omega_i} \times 100\% \quad (9)$$

เมื่อ

DF คือ สัดส่วนการลดความชื้นสัมบูรณ์ (%)

ω_i คือ ความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศก่อนผ่านอีวาพอเรเตอร์ (g/kg)

ω_o คือ ความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศหลังจากผ่านอีวาพอเรเตอร์ (g/kg)

ค่าประสิทธิผลของท่อความร้อน (effectiveness) เป็นค่าที่บ่งบอกความสามารถในการถ่ายเทความร้อนคืออัตราการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจริงต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดสามารถคำนวณได้จากสมการ (10)

$$\mathcal{E} = \frac{Q_{hpc,act}}{Q_{hpc,max}} = \frac{T_{hpc,in} - T_{hpc,out}}{T_{hpc,in} - T_{hpr,in}} \quad (10)$$

เมื่อ

\mathcal{E} คือ ค่าประสิทธิผลของท่อความร้อน

$Q_{hpc,act}$ คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนในช่วง pre-cooling ที่เกิดขึ้นจริง (kW)

$Q_{hpc,max}$ คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนในช่วง pre-cooling สูงสุด (kW)

$T_{hpc,in}$ คือ อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าความร้อนของท่อความร้อนในช่วง pre-cooling ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{hpc,out}$ คือ อุณหภูมิอากาศหลังจากผ่านความร้อนของท่อความร้อนในช่วง pre-cooling ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{hpr,in}$ คือ อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าความร้อนของท่อความร้อนในช่วง reheat ($^{\circ}\text{C}$)

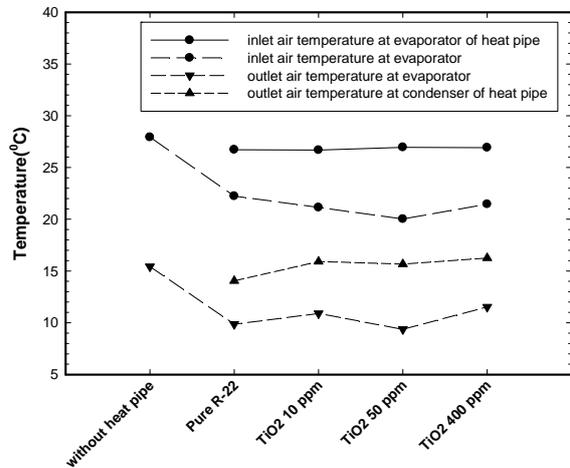
4. ผลการทดลอง

ผลการทดลองในงานวิจัยนี้สามารถแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ

4.1 อุณหภูมิและความชื้นสัมบูรณ์ในระบบปรับอากาศ

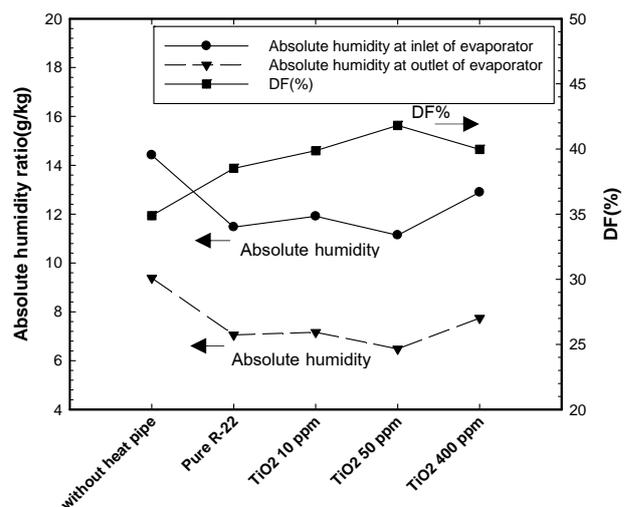
ผลการทดสอบระบบปรับอากาศแสดงในรูปที่ 5 เมื่อมีการติดตั้งท่อความร้อน ส่วนการระเหยของท่อความร้อน (evaporator section) จะลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าอีวาพอเรเตอร์ เมื่ออุณหภูมิอากาศก่อนเข้าอีวาพอเรเตอร์มีค่าลดลง อีวาพอเรเตอร์จะสามารถลดอุณหภูมิอากาศได้มากขึ้น โดยพบว่าการผสมอนุภาคนาโน TiO_2 ที่ความเข้มข้นต่างๆในท่อความร้อนที่ใช้สารทำงานเป็นสารทำความเย็น R22 จะทำให้ส่วนการระเหยของท่อความร้อนสามารถลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าอีวาพอเรเตอร์ได้มากกว่าท่อความร้อนที่ใช้สารทำความเย็น R22 เพียงอย่างเดียว การที่ท่อความร้อนลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าอีวาพอเร

เตอร์ได้มากขึ้น ส่งผลให้อีวาพอเรเตอร์สามารถลดความชื้นสัมบูรณ์ได้มากขึ้น



รูปที่ 5 อุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งต่างๆของระบบปรับอากาศที่ไม่มีและมีการติดตั้งท่อความร้อน

เมื่อพิจารณาค่าความชื้นสัมบูรณ์ก่อนและหลังจากผ่านอีวาพอเรเตอร์และค่าสัดส่วนการลดความชื้นสัมบูรณ์ พบว่าความชื้นสัมบูรณ์มีแนวโน้มลดลงเมื่อระบบปรับอากาศมีการติดตั้งท่อความร้อน และจะมีค่าลดลงมากขึ้นเมื่อมีการเติมอนุภาคนาโนลงในท่อความร้อน ค่าสัดส่วนการลดความชื้นสัมบูรณ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแสดงถึงอีวาพอเรเตอร์สามารถเพิ่มการลดความชื้นได้มากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 6 จากการทดลองท่อความร้อนที่ใช้สารทำความเย็น R22 พร้อมอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 50 ppm สามารถลดความชื้นสัมบูรณ์ได้สูงที่สุด



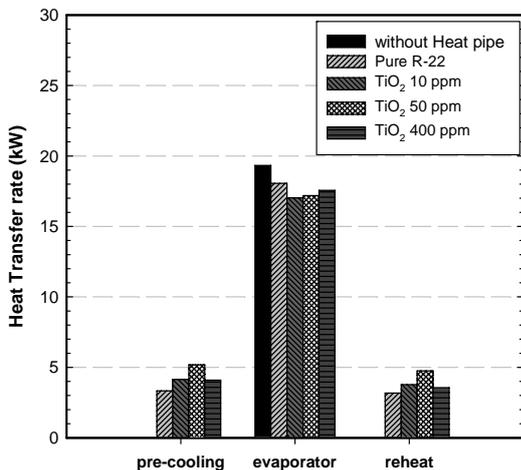
รูปที่ 6 ความชื้นสัมบูรณ์ในระบบปรับอากาศที่ไม่มีและมีการติดตั้งท่อความร้อน

4.2 การประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ

ผลการทดลองเมื่อติดตั้งท่อความร้อน พบว่าท่อความร้อนจะมีการถ่ายเทความร้อนให้แก่ระบบปรับอากาศอยู่ 2 ขบวนการคือ 1) การทำความเย็น (pre-cooling) ส่วนการระเหยของท่อความร้อนจะลดอุณหภูมิอากาศของก่อนเข้าอีวาพอเรเตอร์ลงทำให้อีวาพอเรเตอร์มีภาระการทำความเย็นน้อยลง เมื่อนำค่าพลังงานจากขบวนการทำความเย็น (pre-cooling) ของท่อความร้อน รวมกับภาระการทำความเย็นของอีวาพอเรเตอร์ จะได้ค่าภาระการทำความเย็นโดยรวมของระบบปรับอากาศ ซึ่งระบบปรับอากาศที่ติดตั้งท่อความร้อนจะมีค่าภาระการทำความเย็นสูงขึ้น 2) การทำความร้อนซ้ำ (reheat) ในส่วนการควบแน่นของท่อความร้อนจะถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศหลังจากผ่านอีวาพอเรเตอร์ คือ ขบวนการให้ความร้อนกับอากาศ ทำให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีค่าลดลง ขบวนการทำความร้อนซ้ำนี้ก็มีใช้ในระบบปรับอากาศที่ต้องการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ ระบบปรับอากาศที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อนจะใช้เครื่องทำความร้อนทำความร้อนซ้ำในขบวนการนี้แทน

เมื่อเติมอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้นต่างๆในท่อความร้อนส่งผลให้ท่อความร้อนมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น ค่าภาระการทำความเย็นโดยรวมของระบบปรับอากาศมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 7 ทั้งนี้เนื่องจาก ท่อความร้อนที่ผสมอนุภาคนาโนสามารถทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนในส่วนการระเหยและส่วนการควบแน่นเพิ่มขึ้น

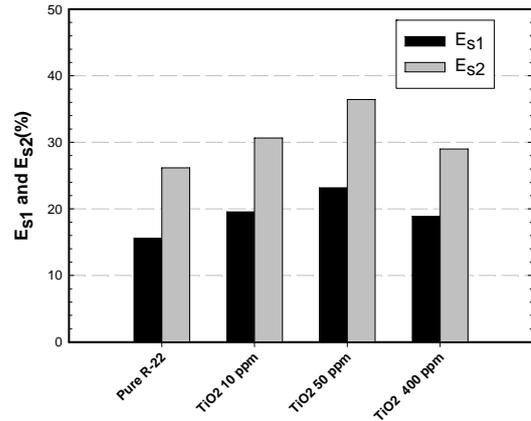
ดังนั้นสัดส่วนการประหยัดพลังงานสำหรับภาระการทำความเย็น (E_{s1}) และสัดส่วนการประหยัดพลังงานโดยรวมของระบบปรับอากาศ (E_{s2}) จะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเติมอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้นต่างๆในท่อความร้อนดังแสดงในรูปที่ 8



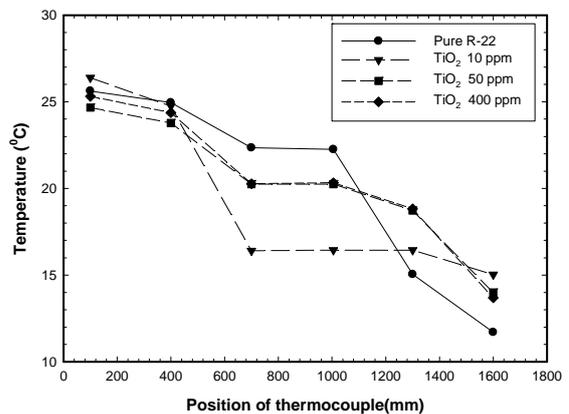
รูปที่ 7 อัตราการถ่ายเทความร้อนในขบวนการต่างๆของระบบปรับอากาศที่ไม่มีและมีการติดตั้งท่อความร้อน

4.3 ความต้านความร้อนของท่อความร้อน

ผลการวัดอุณหภูมิผิวที่ตำแหน่งต่างๆตามแนวแกนของท่อความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 9 พบว่าเมื่อผสมอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้นต่างๆ ทำให้ผลต่างของอุณหภูมิที่ผิวของท่อความร้อนระหว่างส่วนการระเหยและส่วนควบแน่น ($T_e - T_c$) มีค่าลดลง ดังแสดงในรูปที่ 10

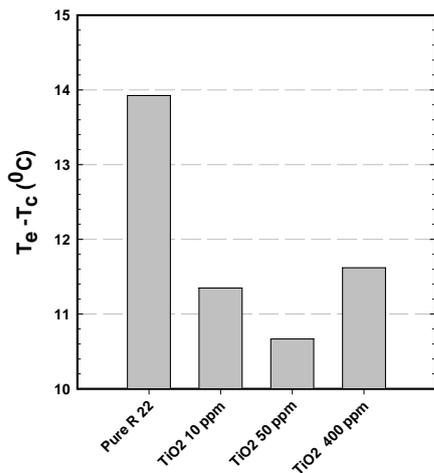


รูปที่ 8 สัดส่วนการประหยัดพลังงานสำหรับภาระการทำความเย็น (E_{s1}) และสัดส่วนการประหยัดพลังงานโดยรวมของระบบปรับอากาศ (E_{s2})

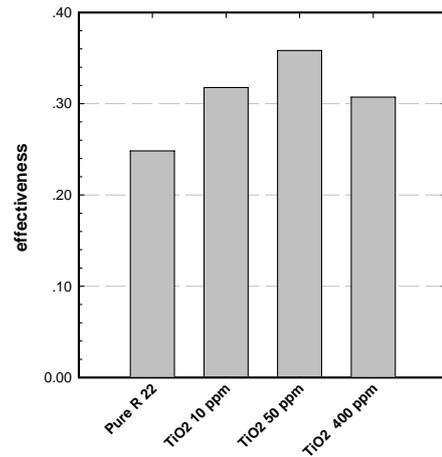


รูปที่ 9 อุณหภูมิที่ผิวของท่อความร้อน

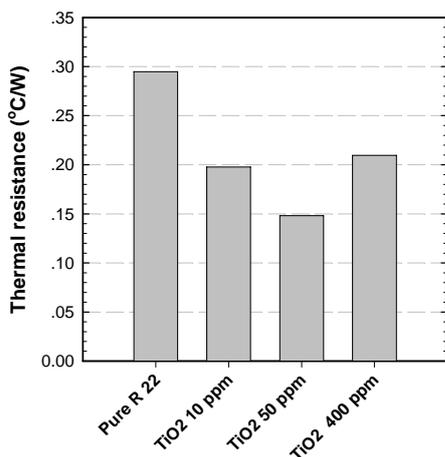
ส่งผลให้ค่าความต้านทานทางความร้อนของท่อความร้อนท่อความร้อนมีค่าลดลงเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 11 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความต้านทานทางความร้อนของท่อความร้อนที่ใช้สารทำความเย็น R22 เพียงอย่างเดียว จากการทดลองท่อความร้อนที่ใช้สารทำความเย็น R22 พร้อมอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 50 ppm จะมีค่าผลต่างของอุณหภูมิเท่ากับ 10.67°C และมีค่าความต้านทานทางความร้อนเท่ากับ 0.1484°C/W ซึ่งเป็นค่าต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับท่อความร้อนที่ใช้สารทำความเย็น R22 เพียงอย่างเดียว เนื่องจากการเติมอนุภาคนาโนจะช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนได้มากขึ้นและเมื่อเติมความเข้มข้นอนุภาคนาโนในอัตราส่วนที่เหมาะสมกับสภาวะการใช้งานและเหมาะสมกับขนาดของท่อความร้อนก็จะช่วยให้เพิ่มความสามารถการถ่ายความร้อนได้ดีขึ้น แต่การเพิ่มความเข้มข้นของอนุภาคนาโนที่มากเกินไปจะทำให้เพิ่มความหนืดให้กับสารทำงาน ทำให้ความสามารถของการถ่ายเทความร้อนลดลง



รูปที่ 10 ผลต่างของอุณหภูมิที่ผิวของท่อความร้อนที่ส่วนการระเหย และ ส่วนควบแน่น ($T_e - T_c$) ของท่อความร้อน



รูปที่ 12 ค่าประสิทธิผลของท่อความร้อนที่ผสมอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้นต่างๆ



รูปที่ 11 ค่าความต้านทานทางความร้อนของท่อความร้อนที่ผสมอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้นต่างๆ

4.4 ค่าประสิทธิผลของท่อความร้อน

เมื่อพิจารณาให้ท่อความร้อนเปรียบเสมือนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ค่าประสิทธิผล (effectiveness) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถของอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน จากผลการทดลองเมื่อมีการเติมอนุภาคนาโนให้แก่ท่อความร้อนทำให้ท่อความร้อนมีการถ่ายเทความร้อนดีขึ้นซึ่งพิจารณาได้จากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิก่อนและหลังผ่านท่อความร้อนผลซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าประสิทธิผลก็มีแนวโน้มสูงขึ้นตาม ดังแสดงในรูปที่ 12

5. สรุป

จากการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนสำหรับระบบปรับอากาศโดยใช้ของไหลนาโน TiO_2 เป็นสารทำงานสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 การติดตั้งท่อความร้อนที่เติมของไหลนาโนสามารถลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าอีวาพอเรเตอร์ให้มีค่าต่ำลง ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศหลังผ่านอีวาพอเรเตอร์จะมีค่าต่ำกว่าระบบปรับอากาศที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อน ดังนั้นท่อความร้อนที่เติมอนุภาคนาโน สามารถลดความชื้นสัมบูรณ์ได้มากกว่าระบบปรับอากาศที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อน และท่อความร้อนที่ไม่ได้เติมของไหลนาโน

5.2 เมื่อเติมของไหลนาโนที่ความเข้มข้น 50 ppm ในท่อความร้อน จะมีค่าสัดส่วนการประหยัดพลังงานได้สูงสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 23.18% ในส่วนการทำความเย็นโดยรวม และ 36.64% ในส่วนพลังงานโดยรวมของระบบปรับอากาศ

5.3 ความเข้มข้นของของไหลนาโนในท่อความร้อนมีผลต่อความต้านทานทางความร้อน คือ ท่อความร้อนที่ใช้ของไหลนาโนจะมีค่าความต้านทานทางความร้อนต่ำลง เนื่องจากอนุภาคนาโนจะเพิ่มสมรรถนะให้ท่อความร้อนมีคุณสมบัติการพาความร้อนและการนำความร้อนเพิ่มขึ้น โดยค่าความต้านทานทางความร้อนของท่อความร้อนที่ผสมอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 50 ppm จะให้ความต้านทานทางความร้อนต่ำสุด และสามารถลดค่าความต้านทานทางความร้อนได้ถึง 49.72% เมื่อเปรียบเทียบกับท่อความร้อนที่ใช้สารทำความเย็น R22 เพียงอย่างเดียว

5.4 ท่อความร้อนสามารถประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศได้เพียงเล็กน้อย แต่จะเป็นการประหยัดพลังงานในส่วนการทำความร้อนเป็นส่วนใหญ่ แต่เมื่อพิจารณาทั้งระบบแล้วท่อความร้อนสามารถได้ประหยัดค่าใช้จ่ายได้เมื่อเทียบกับระบบปรับอากาศที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อน

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากสำนักงาน
คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

เอกสารอ้างอิง

1. Kang S.W., Wei W.C., Tsai S.H. and Yang S.Y., 2006, "Experimental investigation of silver nano-fluid on heat pipe thermal performance", Applied Thermal Engineering, Vol. 26, pp. 2377-2382.
2. Xuan Y., and Li Q., 2000, "Heat transfer enhancement of nanofluids", International Journal of Heat and Fluid Flow, Vol. 21, pp.58-64.
3. Yu H.L., Shung W.K., and Hui L.C., 2008, "Effect of silver nano-fluid on pulsating heat pipe thermal performance", Applied Thermal Engineering, Vol. 28, pp. 1312-1317.
4. Maezawa S., Gi K.Y., Minimisawa A., and Akachi H., 1996, "Thermal performance of capillary Tube Thermosyphon", In: Proceeding of the 9th International Heat Pipe Conference, Vol. 2, pp. 791-795.
5. Wan J.W., Zhang J.L., and Zhang W.M., 2007, "The effect of heat-pipe air-handling coil on energy consumption in central air-conditioning system", Energy and Buildings, Vol. 39, pp. 1035-1040.
6. Xiao P.W., Peter J., and Aliakbar A., 1997, "Application of heat pipe heat exchangers to humidity control in air-conditioning system", Applied Thermal Engineering, Vol.17, pp. 561- 568.