การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ โดยใช้ท่อความร้อนที่ใช้นาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ร่วมกับ R-134a

Efficiency Enhancement of Air Conditioner by Using the Heat Pipe that Using the Nano Titanium Dioxide with R-134a

อภิเดช บุญเจือ[1]*, สาธิต ทูลไธสง[1] ,ชญานนท์ แสงมณี[2]

[1] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา 744 ถนน สุรนารายน์ ตำบล ในเมือง อำเภอเมือง จังหวัด นครราชสีมา รหัสไปรษณีย์ 30000
*ติดต่อ: E-mail airteam95@gmail.com, เบอร์โทรศัพท์ 064-4484-287
[2]มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี 64 ถนน ทหาร ตำบล หมากแข้ง อำเภอเมืองอุดรธานี อุดรธานี 41000
ติดต่อ: E-mail chayarnon@gmail.com, เบอร์โทรศัพท์ 042-211-040

บทคัดย่อ

การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ โดยใช้ท่อความร้อนที่ใช้สารทำงานนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (Tio_2) ร่วมกับ R-134a ติดตั้งท่อความร้อนที่ทางออกของคอมเพรสเซอร์และทางเข้าของคอมเพรสเซอร์ เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนของสารทำความเย็นในระบบเครื่องปรับอากาศขนาด 12,000 Btu/hr วัสดุที่สร้างท่อความร้อนใช้ท่อทองแดงที่มีปริมาตร 365.14 cm^3 โดยเติมสารทำงาน R-134a และสาร Tio_2 ร่วมกับ R-134a ด้วยอัตราส่วน 1:1 ในท่อความร้อนด้วยปริมาณ 50%, 60% และ 70% ของปริมาตรท่อความร้อนการทดลองได้ศึกษาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ การทำความเย็น และประสิทธิภาพการทำความเย็นมาเปรียบเทียบกับเครื่องปรับอากาศที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อน พบว่าการเติมสารทำงาน R-134a ที่ 60% ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นเพิ่มขึ้น 13.67% ส่วนค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นเพิ่มขึ้น 7.24% เมื่อเติมสารทำงาน Tio_2 ร่วมกับ R-134a ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นเพิ่มขึ้น 3.74% ค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นเพิ่มขึ้น 1.30% เมื่อเติมสารทำงาน Tio_2 ร่วมกับ R-134a จะเห็นได้ว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศได้

คำหลัก: การเพิ่มประสิทธิภาพ,ท่อความร้อน, นาโนไทเทเนียมไดออกไซด์

Abstract

This project investigated the efficiency enhancement of air conditioner by using the heat pipe that using the nano titanium dioxide (Tio_2) and R-134a as working fluid. The heat pipe was installed in the 12,000 Btu/ hr air conditioner at the inlet and outlet of the compressor to heat and cool the refrigerant that entering and exiting respectively. The copper was used as the material to make the heat pipe that having 365 cm^3 of volume. The working fluid tested were the R-134a and R-134a cooperating with Tio_2. The various working fluid of 50%, 60% and 70% by heat pipe volume were studied. The mass ratio of working fluid (Tio_2: R-134a) as 1:1. The coefficient of performance (COP) and energy efficiency ratio (EER) of the conventional air conditioner and enhancement air conditioner were compared. From the experimental result found that the increasing of COP (13.67%) and EER (7.24%) were observed, respectively when using R-134a of 60% by heat pipe volume. When using the Tio_2 and R-134a as working fluid, the increasing of COP and EER as 3.74% and 1.3%, respectively, were found. The increasing of COP and EER when using the Tio_2 and R-134a as working fluid

Keywords: Efficiency Enhancement, Heat pipe, Nano titanium dioxide

1. บทนำ

ผลกระทบจากสภาวะเรือนกระจกทำให้อุณหภูมิบนโลกเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลโดยตรงต่อประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนใกล้เส้นศูนย์สูตรทำให้ภูมิอากาศของประเทศมีลักษณะเป็นแบบร้อนชื้น ส่งผลกระทบต่อการใช้ชีวิตประจำวันรวมถึงการทำงาน เครื่องปรับอากาศจึงมีความจำเป็นในการอำนวยความสะดวกสบาย ในที่พักอาศัย สำนักงาน อาคาร รวมถึงงานอุตสาหกรรม โดยพบว่าอัตราการผลิตเครื่องปรับอากาศเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 2.9 ในปีพ.ศ. 2558 และเพิ่มขึ้นอีกคิดเป็นร้อยละ 18.2 ในปี พ.ศ. 2559 [1] อนาคตอาจจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ และเครื่องปรับอากาศใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารสำนักงาน ที่พักอาศัยรวมถึงโรงงานอุตสาหกรรมคิดเป็นร้อยละ 60 ของการใช้ไฟฟ้า และมีแนวโน้มใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นประมาณร้อยละ 10 ต่อปี [2] ในปัจจุบันได้มีการคิดค้นหาวิธีในการประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศ ด้วยวิธีการเพิ่มความดันก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์เพื่อเป็นการลดภาระการทำงานของคอมเพรสเซอร์ทำให้ประหยัดพลังงาน โดยนำท่อความร้อน มาเป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อน การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น การเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนสำหรับระบบปรับอากาศ โดยใช้ของไหลนาโน TiO_2 เป็นสารทำงาน ศึกษาโดยเปรียบเทียบระหว่างท่อความร้อนที่ใช้ R-22 เพียงอย่างเดียวกับท่อความร้อนที่ใช้ R-22 ผสมกับของไหลนาโน TiO_2 ผลที่ได้คือท่อความร้อนที่ใช้ R-22 เพียงอย่างเดียวช่วยลดภาระลงได้ 15.61% และท่อความร้อนที่ใช้ R-22 กับของไหลนาโนช่วยลดภาระลงได้ 19.54% [3] ในการเพิ่มประสิทธิภาพ และลดพลังงานเครื่องปรับอากาศโดยวิธีใช้ท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนมาแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงานมีหลักการทำงาน ของสารทำงานในท่อความร้อนได้รับความร้อนจะระเหยกลายเป็นไอแล้วไอจะเคลื่อนตัวไปสู่ปลายอีกด้านหนึ่งทำงาน โดยอาศัยสารทำงานที่สามารถเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ และเปลี่ยนเป็นของเหลวได้ ซึ่งจะระบายความร้อนออก ทำให้ไอกลายเป็นของเหลวที่ผิวภายในของท่อแล้วไหลกลับไปสู่ปลายท่อที่รับความร้อนสามารถนำหลักการการทำงานมาใช้ประกอบในระบบเครื่องปรับอากาศ โดยการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างท่อความเย็นก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์กับท่อสารทำความเย็นหลังออกจากคอมเพรสเซอร์จะมีผลทำให้อุณหภูมิของสารทำความเย็นเปลี่ยนไปทั้งสองส่วน คือส่วนที่เข้าคอมเพรสเซอร์จะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้สารทำความเย็นก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์เป็นไอร้อนยวดยิ่งที่มีค่าสูงขึ้น และอุณหภูมิของสารทำความเย็นหลังออกจากคอมเพรสเซอร์จะมีอุณหภูมิต่ำลง ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้นำเอาเทคโนโลยีระดับนาโนมาช่วยเพิ่มสมรรถนะของท่อความร้อน โดยใช้อนุภาคนาโนผสมกับสารทำงานที่อยู่ภายในท่อความร้อนที่ความเข้มข้นที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อน โดยมุ่งเน้นในการศึกษาความสามารถในการประหยัดพลังงานแก่ระบบปรับอากาศ

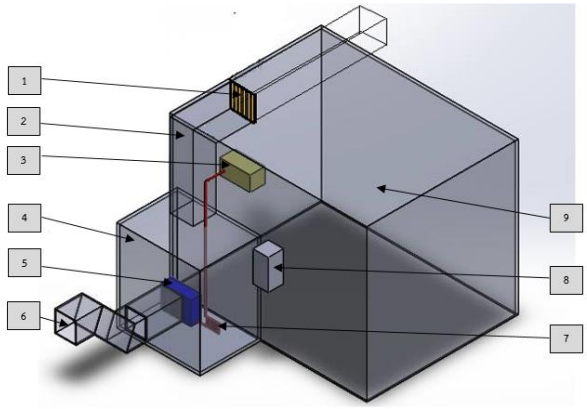
2. อุปกรณ์การทดลอง

เครื่องปรับอากาศที่ทำการทดลองขนาด 12000 Btu/hr โดยระบบเครื่องปรับอากาศใช้สารทำความเย็น R-32 ในการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ ใช้ท่อความร้อน ที่สร้างจากท่อท่องแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 22 mm และภายใน 16 mm มีความยาว 69 cm จำนวน 6 ชุด ดังรูปที่ 1 เชื่อมขึ้นรูปปิดหัวท้าย ทำสุญญากาศในแต่ละชุด ซึ่งในแต่ละชุดเติมสารทำความเย็น R-134a เป็นสารทำงาน 50%, 60% และ 70% และเติมสาร TiO_2 ร่วมกับ R-134a ด้วยอัตราส่วน 1:1 ในท่อความร้อนด้วยปริมาณ 50%, 60% และ 70% ของปริมาตรท่อความ นำมาเชื่อมต่อเข้าระบบท่อด้านส่งและดูดของเครื่องปรับอากาศ พร้อมติดตั้งชุดวัดความดันแบบอิเล็กทรอนิกส์ และชุดวัดอุณหภูมิ type K ดังรูปที่ 2

รูปที่ 1 ท่อทองแดงสำหรับท่อความร้อน

รูปที่ 2 เครื่องปรับอากาศและชุดเครื่องมือวัด

การวิจัยได้สร้างห้องควบคุมอุณหภูมิทั้งภายในและภายนอกห้องวิจัย โดยควบคุมอุณหภูมิก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ 35±2 °C 50-60 %RH ภายในห้องควบคุมอุณหภูมิ 25±2 °C ดังรูปที่ 2,3 และตารางที่ 1 ใช้หลอดไฟ ขนาด 500 W จำนวน 6 หลอด เพื่อสร้างโหลดเทียม



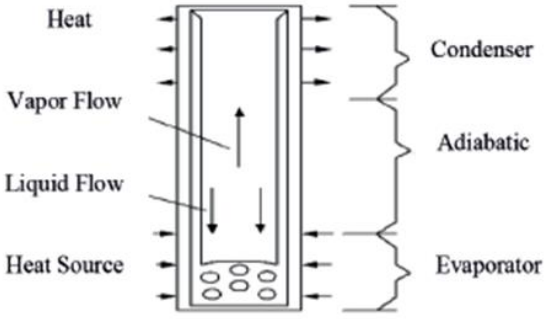
รูปที่ 3 ห้องควบคุมอุณหภูมิ

ตารางที่ 1 คำกำกับหมายเลข

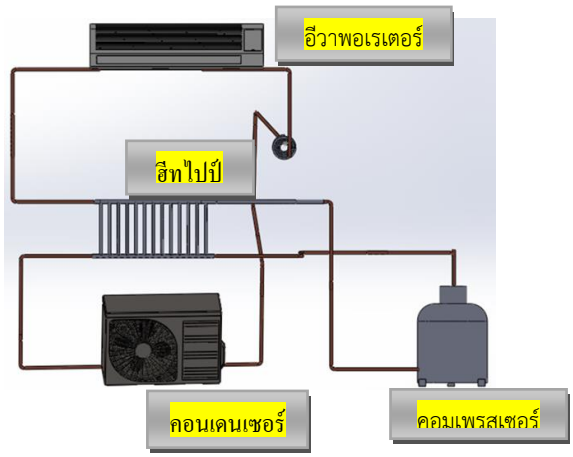
หมายเลข	คำอธิบาย
1	ฮีตเตอร์หลอดแก้ว
2	ท่อลมเข้าห้องควบคุมอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์
3	อีวาพอเรเตอร์เครื่องปรับอากาศ
4	ห้องควบคุมอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์
5	คอนเดนเซอร์เครื่องปรับอากาศ
6	ท่อส่งลมร้อนคอนเดนเซอร์เครื่องปรับอากาศ
7	ชุดท่อความร้อน
8	ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า
9	ห้องควบคุมอุณหภูมิอากาศของอีวาพอเรเตอร์

3 หลักการทำงาน

ท่อความร้อนแบบธรรมดาหรือท่อความร้อนแบบเทอร์ไซฟอน (Thermosyphon) เป็นอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนโดยใช้หลักการส่งถ่ายความร้อนจากความร้อนแฝงของสารทำงานภายในท่อลักษณะของท่อความร้อนเป็นท่อปลายปิดทั้งสองด้าน ภายในเป็นสุญญากาศ ซึ่งจะบรรจุสารทำงานไว้ทำงานจะอยู่ในรูปของเหลวโดยท่อความร้อนจะประกอบด้วยส่วนทำระเหย (Evaporator Section) และส่วนควบแน่น (Condenser Section) แต่บางกรณีอาจมีส่วนกันความร้อน (Adiabatic Section) แหล่งให้ความร้อน และแหล่งรับความร้อนอยู่ห่างกันมาก [4] โดยอาศัยหลักการถ่ายเทความร้อน โดยการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารที่บรรจุอยู่ภายในท่อซึ่งไม่ต้องอาศัยพลังงานจากภายนอกมีลักษณะเป็นท่อปลายปิดทั้ง 2 ข้างโดยท่อที่ใช้จะเป็น ทองแดง แยกเป็น 3 ส่วนหลักคือ ส่วนระเหย ส่วนควบแน่น ในบริเวณผนังผิวในท่อดังรูปที่ 4 การทำงานของไหลที่อยู่ภายในท่อเมื่อได้รับความร้อนจากท่อด้านอัดเครื่องปรับอากาศ ระเหยกลายเป็นไอจากส่วนทำระเหย และนำเอาความร้อนนั้นส่งถ่ายจากส่วนแรกไปถ่ายเทยังส่วนที่อุณหภูมิต่ำที่ท่อด้านดูด ดังรูปที่ 5 กลายเป็นของเหลวอีกครั้ง และไหลกับสู่ปลายท่อที่ร้อนส่วนทำระเหยด้วยแรงโน้มถ่วงอีกครั้งเป็นวัฏจักร และค่าความร้อนแฝงของการระเหยของของไหลมีค่าที่สูงมาก ดังนั้นท่อความร้อนจะสามารถส่งผ่านความร้อนปริมาณมากจากปรายหนึ่งไปสู่อีกปรายหนึ่งโดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิไม่มาก



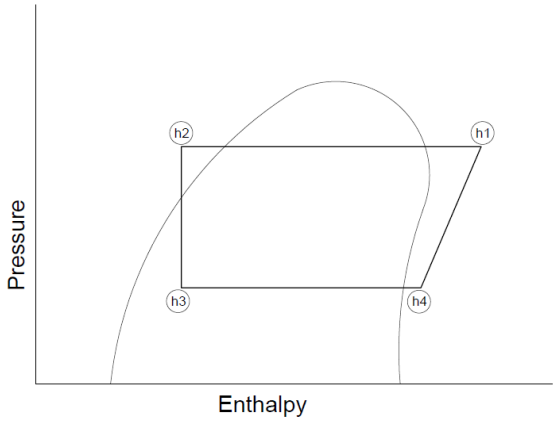
รูปที่ 4 การทำงานท่อความร้อน



รูปที่ 5 ติดตั้งท่อความร้อนกับเครื่องปรับอากาศ

3.1 การคำนวณวิเคราะห์

จากการวิจัย ได้คำนวณเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สมรรถนะเครื่องปรับอากาศและอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานเมื่อติดตั้งท่อความร้อน



รูปที่ 7 ตำแหน่งค่าเอนธาลปี[5]

การออกแบบท่อความร้อนที่ใช้ในการศึกษาอัตราการถ่ายเทความร้อนนี้หาจากกฎการเย็นตัว ส่วนค่าอุณหภูมิแตกต่างอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามตำแหน่งต่าง ๆ ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ดังสมการที่ 1[6]

$$\dot{Q} = UA_s\Delta T_m \qquad (1)$$

ในสมการที่ (1) หาพื้นที่ของการถ่ายเทความร้อนหาได้ ดังสมการที่ 2

$$A_s = \frac{\dot{Q}}{U\Delta T_{lm}} \qquad (2)$$

จาก (2) เป็นการหาความยาวท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะหาได้ ดังสมการที่ 3

$$A_s = \pi DL \; ; \; L = \frac{A_s}{\pi D} \qquad (3)$$

อัตราการทำความเย็น พิจารณาจากอุณหภูมิและอัตราการไหลสารความเย็นคอยล์เย็น โดยใช้ค่าเอนธาลปี ดังรูปที่ 7[7]

$$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}_r(h_3 - h_4) \qquad (4)$$

ปริมาณความร้อนที่ระบายออกจากคอยล์ร้อนได้จากสมการ

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{m}_r(h_1 - h_3) \qquad (5)$$

กำลังงานที่เกิดจากคอมเพรสเซอร์ พิจารณาจากอุณหภูมิและอัตราการไหลสารความเย็น

$$\dot{W}_{comp} = \dot{m}_r(h_1 - h_4) \qquad (6)$$

สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น

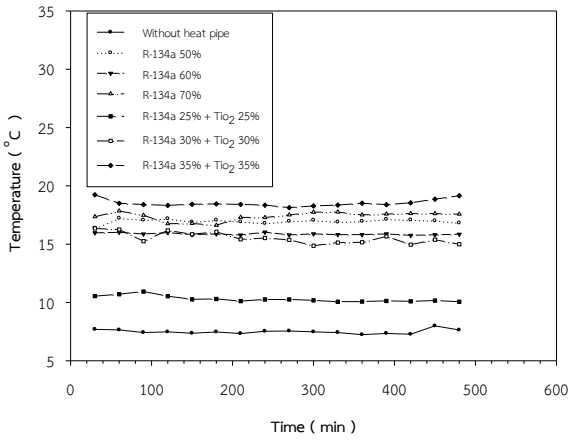
$$COP = \frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{Q}_{comp}} \qquad (4)$$

อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน

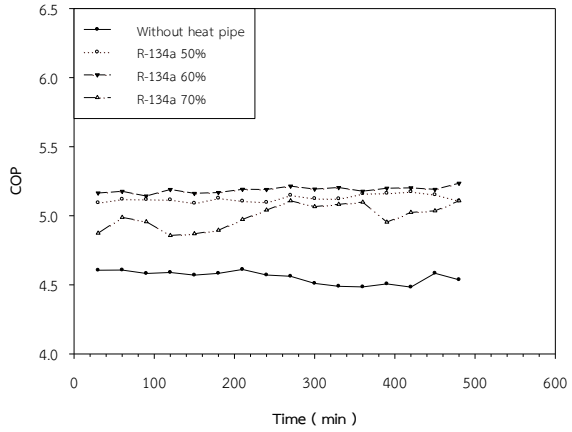
$$EER = \frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{W}_{comp}} \qquad (5)$$

4. ผลการทดลองและวิเคราะห์

จากผลการวิจัยพบว่าระบบปรับอากาศที่ไม่ติดตั้งและติดตั้งท่อความร้อน มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิด้านความดันต่ำ (Suction Line) ระบบปรับอากาศที่ติดตั้งท่อความร้อนที่ตำแหน่งควบแน่นของท่อความร้อนก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์อุณหภูมิจะสูงขึ้น เมื่อเทียบกับระบบปรับอากาศที่ไม่ติดตั้งท่อความร้อน ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นเพิ่มขึ้น ระบบปรับอากาศที่ไม่ติดตั้งท่อความร้อน มีอุณหภูมิ 7.99°C เมื่อติดตั้งท่อความร้อนที่เติมสารทำงานชนิด R-134a ที่ 50%, 60% และ 70% ของปริมาตรท่อความร้อน มีอุณหภูมิสูงขึ้น 17.22°C, 16.03°C และ 17.84°C ตามลำดับ เมื่อเติมสารทำงานชนิด R-134a ร่วมกับอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ในอัตราส่วน 1:1 ของปริมาตรท่อความร้อน มีอุณหภูมิสูงขึ้น 10.93°C, 16.34°C และ 19.23°C ดังแสดงในรูปที่ 8

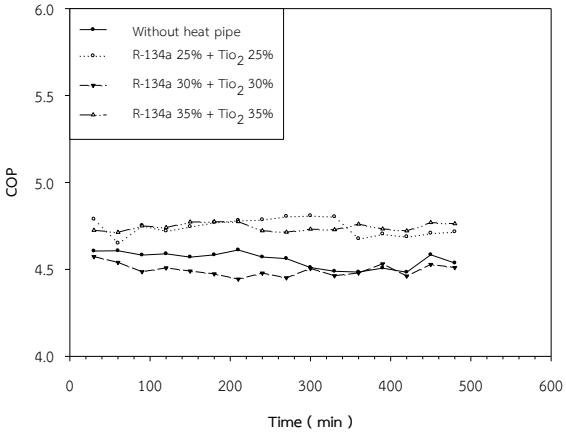


รูปที่ 8 อุณหภูมิก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์

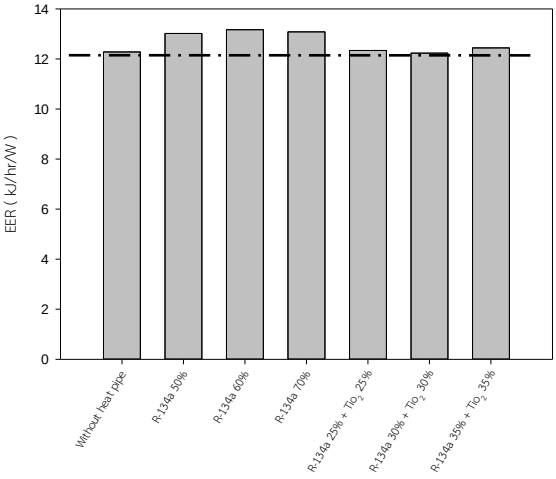


รูปที่ 9 ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ ติดตั้งท่อความร้อน เติมสารทำงาน R-134a

ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ การทำความเย็นเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับระบบปรับอากาศที่ไม่ติดตั้งท่อความร้อน โดยระบบปรับอากาศที่ไม่ติดตั้งท่อความร้อน มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น เท่ากับ 4.61 เมื่อติดตั้งท่อความร้อนที่เติมสารทำงานชนิด R-134a ที่ 50%, 60% และ 70% ของปริมาตรท่อความร้อนมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นเท่ากับ 5.17, 5.24 และ 5.11 ตามลำดับ สามารถเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น เพิ่มขึ้นจากเดิม 12.15%, 13.67% และ 10.85% เมื่อเทียบกับระบบปรับอากาศที่ไม่ติดตั้งท่อความร้อน ดังรูปที่ 9 เมื่อเติมสารทำงานชนิด R-134a ร่วมกับอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ในอัตราส่วน 1:1 ของปริมาตรท่อความร้อน มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น เท่ากับ 4.81, 4.57 และ 4.77 ตามลำดับ ที่ 50% และ 70% ของปริมาตรท่อความร้อน สามารถเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น เพิ่มขึ้นจากเดิม 4.43% และ 3.47% เมื่อเทียบกับระบบปรับอากาศที่ไม่ติดตั้งท่อความร้อน ดังรูปที่ 10 จะเห็นได้ว่าการเติมสาร Tio_2 ร่วมกับสารทำความเย็น R-134a ค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศไม่ได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากสารทำความเย็น R-134a ที่เติมร่วมกับสาร TiO_2 มีปริมาณน้อยและไม่เพียงพอต่อการที่จะหมุนเวียนของสาร TiO_2 ทำให้ไม่มีการถ่ายเทความร้อน ระหว่างสารตัวกลางและสารทำงาน



รูปที่ 10 ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ ติดตั้งท่อความร้อน เติมสารทำงาน TiO_2 ร่วมกับ R-134a



รูปที่ 11 ค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น

5. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ โดยใช้ท่อความร้อนที่ใช้ R-134a และ

นาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ร่วมกับ R-134a สามารถลดอุณหภูมิของสารทำความเย็นก่อนไประบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ ท่อความร้อนจะลดอุณหภูมิสารทำความเย็นที่สูงจากคอมเพรสเซอร์ให้ลดต่ำลงเป็นการลดภาระการทำงานของคอนเดนเซอร์ลง และเพิ่มอุณหภูมิก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น เป็นการลดภาระการทำงานของคอมเพรสเซอร์ลงโดยท่อความร้อนที่เติมสารทำงานชนิด R-134a ที่ 60% ของปริมาตรท่อความร้อนมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น เพิ่มขึ้น 13.67% และมีค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นเพิ่มขึ้น 8.14% เปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศที่ไม่ติดตั้งท่อความร้อน การเติมสารทำงาน 60% ของปริมาตรท่อความร้อนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพท่อความร้อนได้ดีที่สุด เมื่อเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ภายในท่อความร้อน มีผลต่อการแลกเปลี่ยนความร้อน คือ ท่อความร้อนที่ใช้อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์จะมีค่าความต้านทานความร้อนต่ำลงเนื่องจากอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์จะเพิ่มสมรรถนะให้ท่อความร้อนมีคุณสมบัติการพาความร้อน และการนำความร้อนเพิ่มขึ้น โดยเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่ 50% ของปริมาตรท่อความร้อน สามารถเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น เท่ากับ 4.34% เมื่อเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศที่ไม่ติดตั้งท่อความร้อน

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนบทความขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานนครราชสีมา ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย รวมถึงสาขาวิชาวิศวกรรมการทำความเย็นและการปรับอากาศที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ใช้สถานที่ในงานวิจัย และได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานประจำปี 2561 จนทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. (2560). การส่งออกเครื่องปรับอากาศ. [ระบบออนไลน์],แหล่งที่มา: www.kasikornresearch.com,เข้าดูเมื่อวันที่23/08/61

[2] ศิลปชัย ทับทิมทอง. *การวิเคราะห์การประหยัดพลังงานในเครื่องปรับอากาศบ้านพักอาศัย.* ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, (2553).

[3] สธนพงศ์ จันทนาคม. *การเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนสำหรับระบบปรับอากาศ โดยใช้ของไหลนาโน TiO2 เป็นสารทำงาน*. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, (2552).

[4] ประดิษฐ์ เทิดทูล.(2536) *ท่อความร้อน.* หาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[5] ชูชัย ต.ศิริวัฒนา.(2558) การทำความเย็นและการปรับอากาศ, กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท

[6].Yumus A. Cengel and Afshin J.Ghajar.(2015) Heat and Mass Transfer, Mcgraw-hill International Enterprises

[7] วารุเวช วงษ์ใสย์ และ วีระ ฟ้าเฟื่องวิทยากุล.(2554) อิทธิพลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ สัดส่วนการเติมและชนิดของสารทำงานต่อสมรรถนะทางความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ. *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25.*