

## อิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาเข้าต่อการถ่ายโอนความร้อน ของระบบปรับอากาศ

ธีระชัย ท่องวงศ์สกุล<sup>1</sup>, ปุริมพัฒน์ สุจ้านงค์โตกุล<sup>1</sup>, สมนึก ธีระกุลพิศุทธิ์<sup>1</sup>, พัทยากร ปาลสาร<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

### บทคัดย่อ

การเข้าใจถึงพฤติกรรมของการถ่ายโอนความร้อนของคอยล์ทำความเย็น (cooling coil) หรืออีวาपोเรเตอร์ (evaporator) ในงานระบบปรับอากาศเป็นสิ่งที่จะต้องคำนึงต่อการออกแบบระบบปรับอากาศ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาเข้าต่อการเปลี่ยนแปลงของการถ่ายโอนความร้อนแบบสัมผัส (sensible heat transfer) โดยที่คอยล์ทำความเย็นของระบบปรับอากาศที่ใช้ทดสอบเป็นแบบท่อติดครีบ อุปกรณ์การทดลองได้ถูกสร้างขึ้นตามมาตรฐาน ASHRAE การทดสอบคอยล์ทำความเย็นทดลองภายใต้สภาวะอากาศขาเข้าซึ่งอุณหภูมิกระเปาะแห้งมีค่า 27 °C ถึง 40 °C ความชื้นสัมพัทธ์มีค่า 50%-100% ซึ่งเป็นลักษณะของอากาศในวันที่มีความชื้นสูง เช่น วันที่ร้อนอบอ้าว และพื้นที่ตามชายฝั่งทะเลและตามเกาะต่าง ๆ ในประเทศไทย ความเร็วของอากาศหน้าคอยล์เย็นมีค่าระหว่าง 1m/s ถึง 3 m/s จากผลการทดลองพบว่า การถ่ายโอนความร้อนสัมผัสมีค่าลดลงเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาเข้ามีค่าเพิ่มขึ้นดังแสดงเป็นกราฟของอัตราการถ่ายโอนความร้อน (heat transfer rate) โดยพฤติกรรมดังกล่าวปรากฏให้เห็นในทุกอุณหภูมิและทุกความเร็วของอากาศขาเข้า

**คำสำคัญ :** การถ่ายโอนความร้อน, ความชื้นสัมพัทธ์, ระบบปรับอากาศ

## **Effect of inlet air relative humidity on heat transfer in air conditioning system**

**Teerachai Howongsakun<sup>1</sup>, Purimpat Sujumnongtokul<sup>1</sup>,**

**Somnuk Theerakulpisut<sup>1</sup>, Pattayagorn Palasan<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University

### **Abstract**

To understand the behavior of heat transfer of cooling coil or the evaporator of air conditioning system is very essential. This research is aiming to study on the effect of inlet air relative humidity on the sensible heat transfer rate. The tested coil of the air conditioning system is fined tube type. The experimental rig was set up followed the international ASHRAE standards. The cooling coil was tested under the inlet air conditions with dry-bulb temperature from 27 °C to 40 °C, relative humidity from 50% to 100%, and frontal air velocity from 1 m/s to 3m/s; in conclusion, it was found that the sensible heat transfer was decreased when the relative humidity of the inlet air increased. The results show in graphs from can be used to the air-condition design.

**Keywords :** heat transfer, relative humidity, air conditioning system

## บทนำ

ระบบปรับอากาศมีใช้กันอย่างมากในหลายสถานที่ อาทิเช่น ที่พักอาศัย ห้างสรรพสินค้า อาคารสำนักงาน ตามพื้นที่ร้อนชื้นอบอ้าว เช่น ตามเมืองตามชายฝั่งทะเลและเมืองที่อยู่ตามเกาะต่าง ๆ เป็นต้น หน้าที่หลักของระบบปรับอากาศคือการลดอุณหภูมิของอากาศ นอกจากนี้จะต้องมีการหมุนเวียนอากาศภายนอก (fresh air) ซึ่งมีลักษณะร้อนชื้นเข้ามาภายในระบบปรับอากาศอีกด้วย

กระบวนการการถ่ายโอนความร้อนในระบบปรับอากาศประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก คือ การถ่ายโอนความร้อนสัมผัสและการถ่ายโอนความแฝง การลดลงของอุณหภูมิของอากาศเกิดจากกระบวนการการถ่ายโอนความร้อนสัมผัส อย่างไรก็ตาม การลดอุณหภูมิในงานระบบปรับอากาศจะใช้วิธีโดยให้อากาศไหลผ่านพื้นผิวที่มีความเย็น เช่น คอยล์ทำความเย็น หรืออีวาโปเรเตอร์ (evaporator) วิธีการดังกล่าวนี้ ถ้าอากาศที่ไหลผ่านนั้นมีอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (dew-point temperature) ที่สูงกว่าอุณหภูมิของพื้นผิวที่มีความเย็น ไอน้ำของอากาศจะเกิดการควบแน่น ผลที่ได้คือเกิดกระบวนการการถ่ายโอนความร้อนแฝงขึ้น ซึ่งการถ่ายโอนความร้อนแฝงนี้อาจส่งผลต่อความสามารถในการลดอุณหภูมิของอากาศที่ไหลผ่านเครื่องปรับอากาศ

สภาวะของอากาศจากกลับเข้าเครื่องปรับอากาศ (return air) นั้นโดยปกติทั่วไปจะอยู่ที่ประมาณ 25-27 °C กับความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 50% อย่างไรก็ตามมีบางกรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศนั้นมีค่าสูง เช่น ในวันที่ฝนตกความชื้นสัมพัทธ์อาจขึ้นสูงไปถึง 80-90% หรือการนำเครื่องปรับอากาศไปใช้ในพื้นที่ที่เป็นเกาะ ตลอดจนการใช้เครื่องปรับอากาศในเขตที่มีอากาศร้อนชื้น ซึ่งปัจจัยที่กล่าวมานั้นนำไปสู่

การควบแน่นของไอน้ำที่มากขึ้นซึ่งอาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของการถ่ายโอนความร้อนสัมผัส

ในระยะเวลาที่ผ่านมา การศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนในเครื่องปรับอากาศมุ่งเน้นศึกษาในเรื่องของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อน อาทิเช่น งานวิจัยของ Halici et al. (2001; 2006) Ma et al. (2007a; 2007b; 2009) และงานวิจัยของ Phan et al. (2011) อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่กล่าวถึงเรื่องของอัตราการถ่ายโอนความร้อนยังมีพบเห็นได้ไม่มากนักและยังไม่ครอบคลุมสภาพอากาศที่ทางเข้าของคอยล์เย็นอย่างทั่วถึง

ดังนั้นเพื่อให้เข้าใจถึงพฤติกรรมที่กล่าวมาในข้างต้น งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงอิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาเข้าว่าส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของการถ่ายโอนความร้อนแบบสัมผัสอย่างไร และงานวิจัยของผู้เขียนครั้งนี้สามารถครอบคลุมสภาพอากาศได้ตามรายละเอียดข้างล่าง

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาเข้าที่มีต่ออัตราการถ่ายโอนความร้อนสัมผัสของระบบปรับอากาศ

## ระเบียบวิธีวิจัย

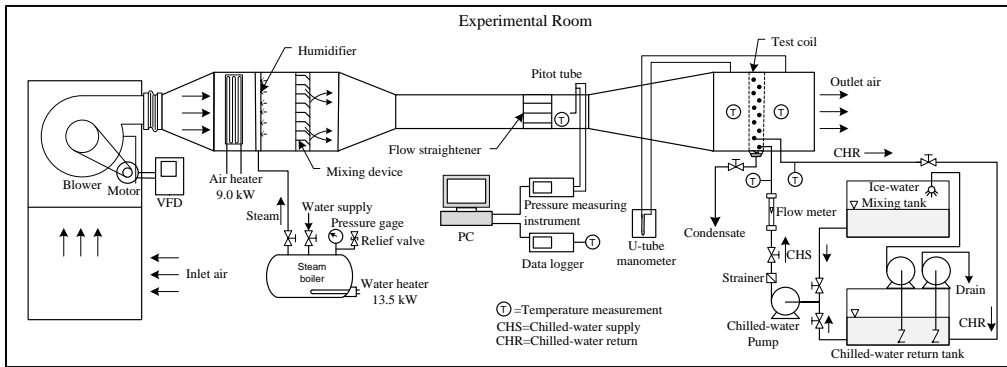
### 1. การรวบรวมข้อมูล

#### 1.1 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองแสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งประกอบด้วยเครื่องเป่าอากาศ (Air-blower) ขดลวดความร้อนเพื่อเพิ่มความร้อนให้อากาศ (Air heater) ซึ่งมีขนาด 9.0-kW เครื่องเพิ่มความชื้นให้อากาศ (Humidifier) โดยใช้ไอน้ำจากหม้อไอน้ำซึ่งมีขนาด 13.5-kW อุปกรณ์ผสมอากาศ (Mixing device) ซึ่งติดตั้ง

ตามมาตรฐาน ASHRAE41.2 (ASHRAE, 1987) นอกจากนี้ยังติดตั้งอุปกรณ์ลดการหมุนวนของอากาศ (Flow straightener) ซึ่งมีลักษณะตามมาตรฐาน ISO5167-2 (ISO, 2003)

การวัดความเร็วของอากาศใช้ Pitot tube ซึ่งมีตำแหน่งการวัดและการคำนวณความเร็วเฉลี่ยตามมาตรฐาน ASHRAE41.2 (ASHRAE, 1987)



ภาพที่ 1 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

การอ่านค่าความดันใช้เครื่องวัดความดันรุ่น Testo 435-4 ซึ่งมีความแม่นยำเท่ากับ  $\pm 2\text{Pa}$  การวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกที่ตำแหน่งทางเข้า และทางออกของคอยล์เย็นใช้เทอร์โมคัปเปิล T-type ซึ่งมีความแม่นยำเท่ากับ  $\pm 0.2^\circ\text{C}$  การอ่านค่าอุณหภูมิใช้เครื่องบันทึกข้อมูลยี่ห้อ Agilent 34972A สำหรับตำแหน่งการวัดอุณหภูมิติดตั้งตามมาตรฐาน ASHRAE41.1 (ASHRAE, 1986)

ในส่วนของวงจรรน้ำเย็นประกอบด้วยปั้มน้ำเย็น (Chilled-water pump) มาตรวัดอัตราการไหลของน้ำเย็นแบบโรตารีเมตรซึ่งมีความแม่นยำ  $\pm 50\text{ L/h}$

1.2 สภาวะอากาศและน้ำเย็นขาเข้าที่ใช้ในการทดสอบคอยล์ทำความเย็น

สภาวะของอากาศและน้ำเย็นขาเข้าที่ใช้ทดสอบคอยล์ทำความเย็นแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สภาวะขาเข้าที่ใช้ทดสอบคอยล์เย็น

พารามิเตอร์	สภาวะขาเข้า
อุณหภูมิอากาศ	27, 30, 35, 40 °C
ความชื้นสัมพัทธ์	50, 60, 70, 80, 90, 100%
ความเร็วอากาศ	1, 2, 3 m/s
อุณหภูมิน้ำเย็น	7 °C
อัตราการไหลของน้ำเย็น	800 L/h (0.2232 kg/s)

1.3 ลักษณะของคอยล์ทำความเย็นที่ใช้ทดสอบ

คอยล์ทำความเย็นที่ใช้ทดสอบเป็นแบบท่อทองแดงติดครีบอลูมิเนียมซึ่งรายละเอียดแสดงในตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** ข้อมูลเฉพาะของคอยล์ทำความเย็น

รายการ	ข้อมูลเฉพาะ
ความกว้างของหน้าคอยล์	545 mm
ความสูงของคอยล์	204 mm
ความลึกของคอยล์	57 mm
จำนวนแถวของท่อ	3
จำนวนของท่อในแถว	8
การจัดเรียงตัวของกลุ่มท่อ	Staggered
ระยะห่างของท่อในแนวตั้ง	25.40 mm
ระยะห่างของท่อในแนวนอน	19.00 mm
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ	9.70 mm
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ	8.40 mm
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเมื่อติดครีป	10.09 mm
ความหนาของครีป	0.15 mm
ระยะห่างของครีป	2.09 mm
จำนวนของครีป	259 fins
ความยาวคดโค้งของครีป	9.00 mm
ความสูงยอดคดโค้งของครีป	0.60 mm

**2. การวิเคราะห์ข้อมูล**

อัตราการถ่ายโอนความร้อนสัมผัสทางด้านอากาศ ( $\dot{Q}_s$ ) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\dot{Q}_s = \dot{m}_a c_{pa} (t_{ao} - t_{ai}) \quad (1)$$

โดยที่  $t_{ao}$  คือ อุณหภูมิของอากาศขาออก (°C)

$t_{ai}$  คือ ค่าผลต่างเฉลี่ยเชิงลอการิทึมของอุณหภูมิ (°C)

$\dot{m}_a$  คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (kg/s)

$c_{pa}$  คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ (kJ/kg·°C)

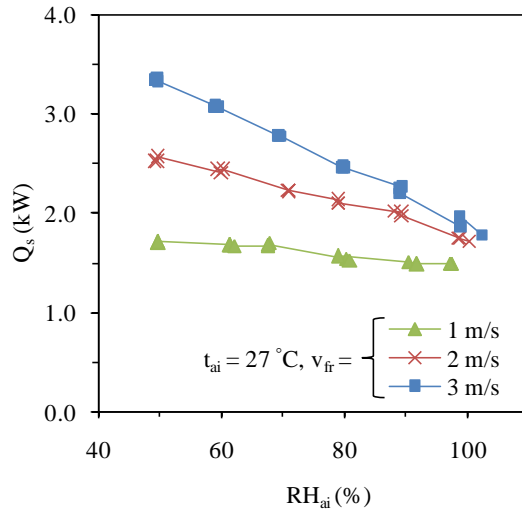
**ผลการวิจัย**

พิจารณาภาพที่ 2 ซึ่งแสดงถึงอิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์อากาศขาเข้าต่ออัตราการถ่ายโอนความร้อนสัมผัสที่อุณหภูมิของอากาศขาเข้าเท่ากับ 27 °C จะพบว่า เมื่อความเร็วอากาศหน้าคอยล์เท่ากับ 1 m/s ความชื้นสัมพัทธ์ส่งผลกระทบต่ออัตราการถ่ายโอนความร้อนแบบสัมผัสเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อความเร็วของอากาศหน้าคอยล์มีค่าเท่ากับ 2 และ 3 m/s การเพิ่มขึ้นของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาเข้าจะส่งผลให้อัตราการถ่ายโอนความร้อนสัมผัสมีค่าลดลง

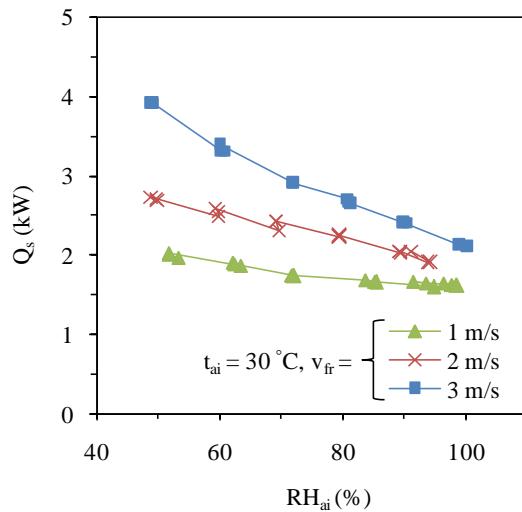
เมื่ออุณหภูมิของอากาศขาเข้าเพิ่มสูงขึ้นเป็น 30 35 และ 40 °C ดังภาพที่ 3 ภาพที่ 4 และภาพที่ 5 ตามลำดับ อัตราการถ่ายโอนความร้อนสัมผัสยังคงมีค่าลดลงเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาเข้ามีค่าเพิ่มขึ้นในทุกความเร็วของอากาศขาเข้า นอกจากนี้การลดลงของอัตราการถ่ายโอนความร้อนสัมผัสที่ความเร็วของอากาศ 1 m/s ปรากฏให้เห็นชัดเจนมากขึ้น

**สรุปและอภิปรายผล**

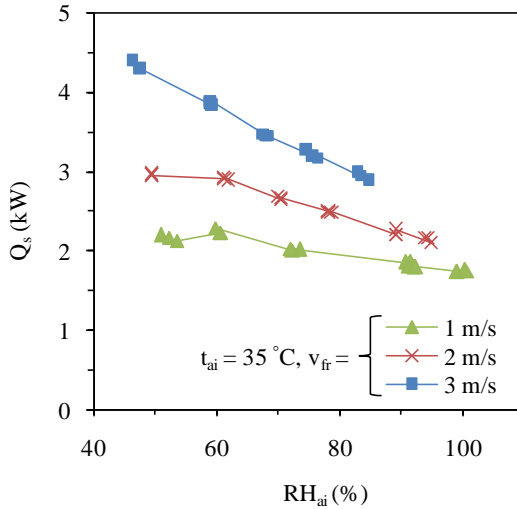
จากผลการทดลองสรุปได้ว่า การเพิ่มขึ้นของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาเข้าในทุกอุณหภูมิ และความเร็วของอากาศหน้าคอยล์ส่งผลให้การถ่ายโอนความร้อนสัมผัสมีค่าลดลงเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาเข้าจะส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มขึ้นของการถ่ายโอนความร้อนแฝง ซึ่งนำไปสู่การลดลงของการถ่ายโอนความร้อนแบบสัมผัส



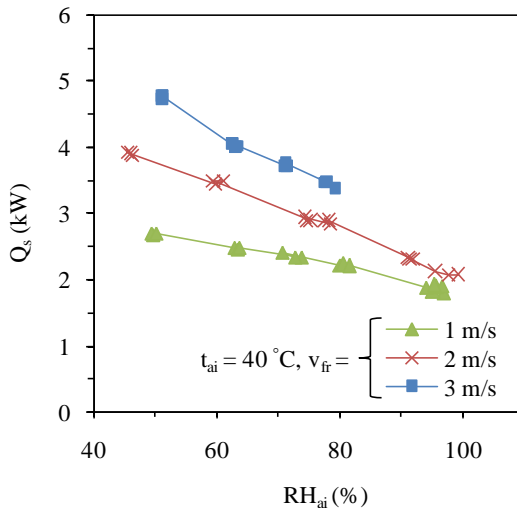
ภาพที่ 2 อิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาเข้าต่ออัตราการถ่ายโอนความร้อนสัมผัสที่  $t_{ai} = 27\text{ }^{\circ}\text{C}$



ภาพที่ 3 อิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาเข้าต่ออัตราการถ่ายโอนความร้อนสัมผัสที่  $t_{ai} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$



ภาพที่ 4 อิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาเข้าต่ออัตราการถ่ายโอนความร้อนสัมผัสที่  $t_{ai} = 35^\circ\text{C}$



ภาพที่ 5 อิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาเข้าต่ออัตราการถ่ายโอนความร้อนสัมผัสที่  $t_{ai} = 40^\circ\text{C}$

#### ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้เข้าถึงลักษณะการถ่ายโอนความร้อนได้มากยิ่งขึ้น ในการศึกษารั้งต่อไปควรที่จะเปลี่ยนลักษณะของคอยล์ทำความเย็นที่ใช้ในการทดสอบและนอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มความเร็วของอากาศที่ทางเข้าให้เพิ่มมากขึ้นได้อีกด้วย

#### References

ASHRAE. (1986). **Standard 41.1 method for temperature measurement.** Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

- ASHRAE. (1987). **Standard 41.2 methods for Laboratory Airflow measurement**. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- Fethi Halici and Imdat Taymaz. (2006). Experimental study of the airside performance of tube row spacing in finned tube heat exchangers. **Heat Mass Transfer**, 42, 817-822.
- Fethi Halici, Imdat Taymaz, and Mehmet Gu'ndu'z. (2001). The effect of the number of tube rows on heat, mass and momentum transfer in flat-plate finned tube heat exchangers. **Energy**, 26, 963-972.
- ISO. (2003). **standard 5167-2 measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular-cross section conduits running full-Part 2: Orifice plate**. Switzerland: International Organization for Standardization.
- Thanh-Long Phan, Keun Sun Chang, Young Chul Kwon, and Jeong-Tae Kwon. (2011). Experimental study on heat and mass transfer characteristics of louvered fin-tube heat exchangers under wet condition. **International Communications in Heat and Mass Transfer**, 38, 893-833.
- Xiaokui Ma, Guoliang Ding, Yuanming Zhang, and Kaijian Wang. (2007). Airside heat transfer and friction characteristics for enhanced fin-and-tube heat exchanger with hydrophilic coating under wet conditions. **International Journal of Refrigeration**, 30, 1153-1167.
- Xiaokui Ma, Guoliang Ding, Yuanming Zhang, and Kaijian Wang. (2007). Effects of hydrophilic coating on air side heat transfer and friction characteristics of wavy fin and tube heat exchangers under dehumidifying conditions. **Energy Conversion and Management**, 48, 2525-2532.
- Xiaokui Ma, Guoliang Ding, Yuanming Zhang, and Kaijian Wang. (2009). Airside characteristics of heat, mass transfer and pressure drop for heat exchangers of tube-in hydrophilic coating wavy fin under dehumidifying conditions. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, 52, 4358-4370.