



## การใช้พลังงานงานและน้ำของระบบทำความเย็นแบบใช้สารดูดความชื้น 3 รูปแบบ

### Format and Energy and water consumption of three different liquid-desiccant air-conditioning systems

ธนพัต พุกษาพันธ์รัตน์<sup>1\*</sup>, ฤทธิรงค์ สมสนุก<sup>2</sup>, ธนากร กมลแสน<sup>3</sup> และ อาทิตย์ คุณศรีสุข<sup>4</sup>

1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

\*ผู้ติดต่อ: thanaphat.ph@hotmail.com, เบอร์โทรศัพท์: 0-4422-4410, เบอร์โทรสาร: 0-4422-4411

#### **บทคัดย่อ**

ระบบปรับอากาศแบบใช้สารดูดความชื้นแบบของเหลวคือ ระบบปรับอากาศทางเลือก ลำดับแรกอากาศถูกดูดความชื้นโดยสารดูดความชื้นแบบของเหลว และจากนั้นอากาศถูกทำให้เย็นโดยใช้การระเหยของน้ำ ในการศึกษานี้จะทดลองระบบปรับอากาศแบบใช้สารดูดความชื้นแบบของเหลวเป็น 3 รูปแบบที่ต่างกัน แบบแรกประกอบด้วยตัวดูดความชื้นกับระบบทำความเย็นแบบการระเหยของน้ำแบบสัมผัสกันโดยตรง ระบบทำความเย็นแบบการระเหยของน้ำแบบที่สองคือ ระบบทำความเย็นแบบการระเหยของน้ำแบบไม่สัมผัสกันโดยตรง และระบบทำความเย็นแบบการระเหยของน้ำแบบสัมผัสกันโดยตรงตามด้วยแบบไม่สัมผัสกันโดยตรงเป็นระบบที่สาม ความสามารถในการทำงานของระบบกระเปาะเปียก การใช้พลังงานของระบบในการทำความเย็น และการใช้น้ำในแต่ละรูปแบบถูกเปรียบเทียบกันในช่วงอากาศขาเข้าที่หลากหลาย ผลปรากฏว่า ความสามารถในการทำงานของระบบกระเปาะเปียก ขึ้นอยู่กับสภาพของอากาศขาเข้า และรูปแบบของระบบแบบที่สองแสดงผลที่ดีที่สุด มันมีค่าอยู่ที่ประมาณ 116-127% การใช้พลังงานของระบบในการทำความเย็นได้ผลคือ รูปแบบของระบบแบบที่สามดีที่สุดของทั้งสามรูปแบบ ในขณะที่เดียวกันรูปแบบนี้ได้ใช้ปริมาณน้ำมากที่สุดเช่นกัน ผลการวิจัยพบว่าประสิทธิภาพการทำความเย็นและการใช้น้ำของรูปแบบที่สองมีค่าน้อยกว่ารูปแบบที่สาม ในขณะที่เดียวกันรูปแบบที่สองต้องการเวลาให้คงที่นานกว่ารูปแบบที่สาม

**คำหลัก:** ระบบทำความเย็นอากาศที่ใช้การระเหยของน้ำ พลังงานที่ใช้ในการทำความเย็น และน้ำที่ใช้ในการทำความเย็น

#### **Abstract**

The liquid-desiccant air-conditioning system (LDAC) is an alternative air-conditioning system that first dehumidifies air using a liquid desiccant and then cooled the dehumidified air using evaporative cooling. In this study, three different configurations of LDAC are investigated experimentally. The first one consists of a dehumidifier and a direct evaporative cooler (DEC). On the other hand, an evaporative cooler in the second configuration is the indirect type (IDEC), while it is a DEC type operated in tandem with an IDEC type in the third configuration. Wet-bulb effectiveness, energy efficiency ratio (EER), and water consumption of each configurations are compared over a wide range of inlet air conditions. It was found that the wet-bulb effectiveness obtained depends on the inlet air conditions, and the second configuration performs best as its values is 116-127%. Based on the EERs obtained, the third configuration is the best one, while it consumes the maximum amount of

water. The findings reveal that the cooling performance and water consumption of the second configuration is a little less than that of the third configuration, while the time it required to become steady is longer than that of the third configuration.

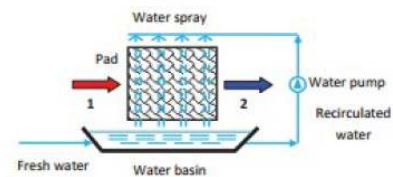
**Keywords:** evaporative cooler, energy efficiency ratio and water consumption

## 1. บทนำ

ระบบปรับอากาศในปัจจุบันที่นิยมใช้กันทั่วไปตามบ้านเรือนนั้น ที่รู้จักกันดีคือ Compressor based system ซึ่งระบบนี้จะต้องใช้ไฟฟ้ามากและนอกจากนี้ก็คือ ตัวสารทำความเย็นยังมี Global warming potential หรือว่าค่าศักยภาพที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนด้วยส่งผลต่อการเกิดภาวะเรือนกระจกและระยะเวลาการคงตัวอยู่ในชั้นบรรยากาศ โดยเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศในปัจจุบันที่นิยมใช้กันทั่วไปตามบ้านเรือนนั้น ที่รู้จักกันดีคือ Compressor based system ซึ่งระบบนี้จะต้องใช้ไฟฟ้ามากและนอกจากนี้ก็คือ ตัวสารทำความเย็น ยังมี Global warming potential หรือว่าค่าศักยภาพที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนด้วยส่งผลต่อการเกิดภาวะเรือนกระจกและระยะเวลาการคงตัวอยู่ในชั้นบรรยากาศ โดยเปรียบเทียบกับ

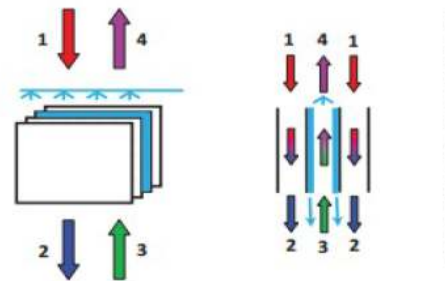
อีกระบบที่ได้รับความสนใจก็คือ Evaporative cooling system เป็นระบบทำความเย็นอากาศที่เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่สามารถทำให้อุณหภูมิที่จ่ายเข้าห้องต่ำและทำให้ dry-bulb temperature อยู่ในช่วงที่สบาย[2] หลักการพื้นฐานของระบบทำความเย็นนี้คือใช้พัดลมดูดอากาศอุ่นหรือร้อนผ่านน้ำที่เปียกอยู่บนแผ่นรอง จากนั้นน้ำในแผ่นรองระเหยออก [3] อากาศจะเย็นขึ้นและถูกผลักเข้าห้อง อุณหภูมิสามารถควบคุมได้โดยความเร็วอากาศของระบบความเย็น ระบบนี้ทำงานได้ดีในอากาศที่แห้งเช่น ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ เพราะจะทำให้การระเหยง่ายขึ้น ซึ่งระบบนี้มีอยู่ 2 ประเภทคือ แบบ Direct evaporative cooler (DEC) เมื่อน้ำระเหยอากาศถูกทำให้เย็นพร้อมกับทำให้ชื้นด้วยพร้อมกัน

หลักการทำงานพื้นฐานระบบดังรูปที่ 1 [4] เห็นว่าจากจุด 1 ไปจุด 2 อากาศผ่าน Pad โดยตรง



รูปที่ 1 กระบวนการทำงาน Direct evaporative cooling

แบบ Indirect evaporative cooler (IDEC) เมื่ออากาศถูกทำให้เย็นจะแยกออกจากกระบวนการระเหย ดังนั้น จะไม่มีความชื้นในขณะทำความเย็น โดยแยกการแลกเปลี่ยนความร้อนอากาศที่จ่ายเข้าห้องจากน้ำที่ใช้ในการระเหย และใช้ทางอากาศที่ 2 ในการทิ้งความร้อนจากกระบวนการระเหย เป็นดังรูปที่ 2 [4] จะเห็นว่าจากจุด 1 ไปจุด 2 เป็นช่องที่ไม่มีน้ำอยู่



รูปที่ 2 กระบวนการ Indirect evaporative cooling

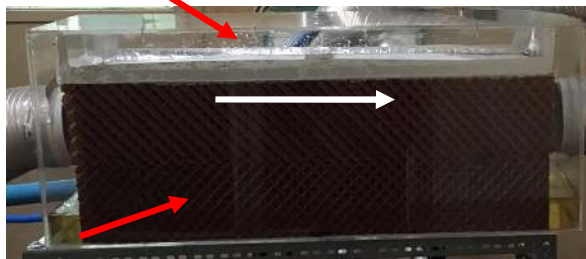
ในการเลือกใช้งานขึ้นอยู่กับสภาพอากาศและการใช้งาน การนำ IDEC และ DEC รวมกันบางครั้งอาจเหมาะสมกับการเพิ่ม Cooling capacity [5] และยังมีผู้ศึกษานำการลดความชื้นของอากาศก่อนเข้าระบบ Evaporative cooling โดยใช้สารดูดความชื้นแบบเหลว จากนั้นจึงส่งเข้าห้อง [6] มีผู้ศึกษาการนำระบบปรับ

อากาศแบบ Evaporative cooling แบบต่างๆ ทดสอบในสภาพแวดล้อมที่แห้ง เพื่อดูพลังงานและน้ำที่ใช้ในระบบ [7] และมีผู้ที่น่า Indirect/direct evaporative cooling system เพื่อศึกษาการทำงานของระบบในสภาพแวดล้อมตามเมืองต่างๆ ในประเทศอิหร่าน [8]

ในปัจจุบันประเทศเรามีปัญหาภัยแล้งอยู่บ่อยครั้ง งานวิจัยนี้จึงศึกษาปริมาณน้ำและไฟฟ้าของระบบทำความเย็นแบบ Evaporative cooling ดังกล่าว โดยมีการลดความชื้นด้วย

2. ชุดทดลอง

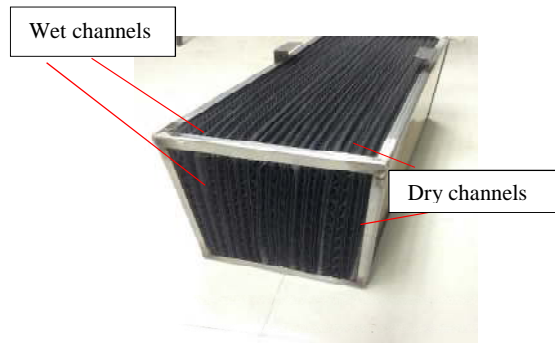
2.1 Cooling core ของ Direct evaporative cooler (DEC)



รูปที่ 3 Cooling core ของ Direct evaporative cooler

Cooling core ของ DEC ประกอบไปด้วย Pad เรียงต่อกันให้อากาศไหลผ่านได้ Pad ทำมาจากกระดาษ

2.2 Cooling core ของ Indirect evaporative cooler (IDEC)

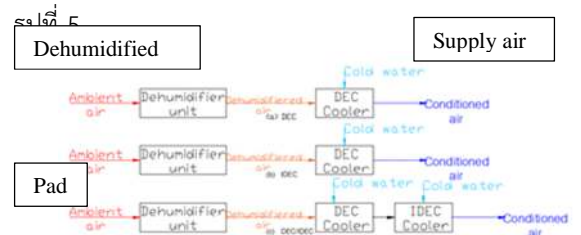


รูปที่ 4 Cooling core ของ Indirect evaporative cooler

Cooling core ประกอบด้วยแผ่น membrane นำมาเรียงต่อเป็นช่องให้อากาศไหลผ่านได้ ดังแสดงในรูปที่ 8 แผ่น membrane แต่ละแผ่นจะเว้นระยะห่างกัน 5 mm โดยแผ่น membrane ที่ใช้มี 2 ชนิด คือ ชนิดที่น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้กับชนิดที่น้ำซึมผ่านได้ การจัดเรียงจะเริ่มจากนำแผ่นที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ 2 แผ่นมาวางคู่กัน เรียกช่องที่เกิดขึ้นว่า dry channel ถัดไปจะเป็นอีก 2 แผ่นที่น้ำซึมผ่านได้ เรียกช่องที่เกิดขึ้นว่า wet channel แล้วจัดเรียงสลับ dry channel กับ wet channel ต่อไปเรื่อยๆ จน core มีขนาดตามที่ต้องการ คือ 20cm x 20cm x 80cm

Cooling core ระบบ

ในการทดลองนี้ระบบมาต่อกันเป็น 3 รูปแบบ ดัง



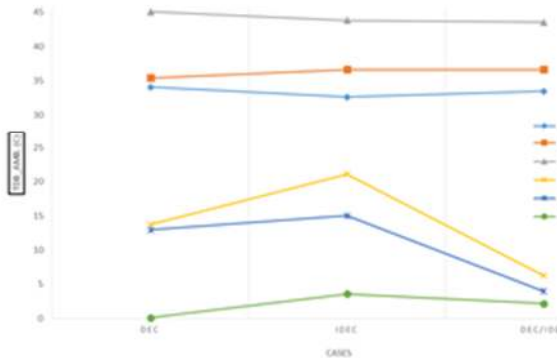
รูปที่ 5 Schematic diagram of system

จากรูปที่ 5 Ambient air เป็นอากาศขาเข้าระบบ Dehumidifier unit มีหน้าที่แค่ลดความชื้นให้อากาศก่อนเข้า ระบบทำความเย็น (Cooler unit) โดยใช้หลักการของสารดูดความชื้นแบบของเหลว จึงได้ Dehumidified air เป็นอากาศที่ถูกลดความชื้นแล้ว จากนั้นอากาศถูกดูดไปที่ระบบความเย็นแต่ละแบบ (a) DEC เป็นระบบแบบ Direct evaporative cooler (b) IDEC เป็นระบบแบบ Indirect evaporative cooler และ (c) DEC/IDEC เป็นการต่อแบบ multi stage cooler คือการต่อกันของ DEC ร่วมกับ IDEC โดยมีน้ำเย็นกระจายที่ (Cooling core) และตกลงด้านล่าง cooling core จะถูกปั๊มดูดไปจ่ายที่ด้านบนของ core แล้วไหลซึมผ่านผนังของ channels ลงมา อากาศที่ออกจาก channels จะถูกจ่ายเข้าห้องทดสอบต่อไป (supply air) กรณีที่มี IDECจะมีส่วน return air ที่ออกจากห้อง

เพื่อวนกลับเข้าไปที่ cooling core ของ IDEC ส่วน DEC return air จะถูกลดอุณหภูมิที่ตู้ปรับอากาศ

3. ผลการทดลอง

จากการทดลองนำผลมาพล็อตกราฟดังรูปที่ 6-9



รูปที่ 6 TDB\_AMB และ %RH

รูปที่ 6 TDB\_AMB แสดงอุณหภูมิอากาศขาเข้า ส่วน relative humidity (%RH) เป็นค่าที่อุณหภูมิขาเข้า จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้นค่า %RH มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 7 Wet-bulb effectiveness

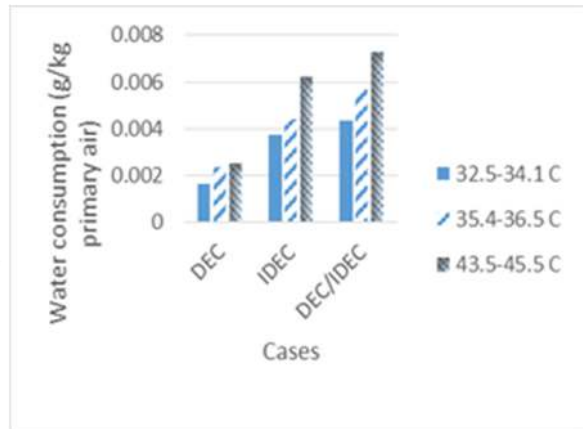
จากรูปที่ 7 จะเห็นว่าค่า wet-bulb effectiveness ของ DEC นั้นต่ำ เพราะความเร็วของอากาศที่จ่ายเข้าห้องของ DEC มาก ทำให้เวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับอากาศน้อย อุณหภูมิจึงลดได้น้อย เหตุผลที่ความเร็วแต่ละระบบไม่เท่ากันเพราะในพื้นที่ที่แลกเปลี่ยนความร้อนมี friction loss ต่างกัน กรณีที่ระบบ multi stage มี wet-bulb effectiveness ต่ำ เนื่องจาก Dec ทำให้ความชื้นเพิ่มขึ้นขณะที่ทำความเย็น จากนั้นอากาศบางส่วนถูกนำกลับไปใช้ที่ IDEC ส่งผลให้น้ำระเหยตัวน้อยลง กรณีที่ระบบ IDEC ที่อุณหภูมิ

43.5-45.5 องศา มีค่าต่ำกว่าช่วง 35.4-36.5 องศา นั้นเป็นเพราะว่าลดอุณหภูมิก่อนที่จะจ่ายเข้าห้องได้น้อยมาก



รูปที่ 8 energy efficiency ratio (EER)

จากรูปที่ 8 จะเห็นว่าระบบ DEC มีค่า EER สูง เพราะมีความเร็วอากาศที่ส่งเข้าห้องหรือ supply air สูง ส่งผลให้มี cooling capacity สูง จึงส่งผลให้อัตราส่วนด้านบนของ EER มีค่าสูง โดยเฉพาะกรณีที่อุณหภูมิสูง ส่วน IDEC กับ DEC/IDEC มีค่าใกล้เคียงกัน โดย IDEC ทำงานได้ดีกว่าในอุณหภูมิอากาศต่ำๆ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น IDEC ทำได้ดีกว่า เพราะเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความสามารถการลดอุณหภูมิ IDEC มากกว่า



รูปที่ 9 Water consumption

จากรูปที่ 9 จะเห็นว่า DEC ใช้น้ำในการทำความเย็นต่ำ เพราะมีความเร็วอากาศที่ส่งเข้าห้องสูง ทำให้การเหยไต้น้ำน้อย ส่งผลให้การลดอุณหภูมิอากาศก่อนที่จะส่งเข้าห้องทำได้น้อย ซึ่งต่างจาก IDEC ที่สามารถลดอุณหภูมิของอากาศที่จ่ายเข้าห้องได้สูงกว่า ส่งผลให้ IDEC ใช้น้ำมากกว่า ส่วนในแต่ละระบบทำความเย็นนั้น ในกรณีที่อุณหภูมิขาเข้าสูงขึ้นส่งผลให้ใช้น้ำมากขึ้น



#### 4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองและศึกษาระบบทำความเย็นแบบ evaporative cooler แบบ DEC IDEC และ DEC/IDEC โดยเปลี่ยนอุณหภูมิทางเข้าระบบ 3 กรณีนี้ ระบบ IDEC และ DEC/IDEC สามารถทำอุณหภูมิอากาศที่จ่ายให้กับห้องได้ประมาณ 25-26 องศา แต่ DEC ไม่สามารถทำได้ ส่วนการใช้ในระบบ DEC ใช้ใช้น้ำน้อยที่สุดประมาณ 0.001-0.0025 g/kg primary of air ส่วนระบบ IDEC และ DEC/IDEC ใช้น้ำใกล้เคียงกัน IDEC ใช้น้ำประมาณ 0.0038-0.0062 g/kg primary of air และ DEC/IDEC ใช้น้ำประมาณ 0.0043-0.0072 g/kg primary of air โดยแต่ละระบบจะใช้น้ำมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าสูงขึ้น

##### 4.1 หัวข้อหลัก

กำหนดให้ใช้ตัวอักษรขนาด 15 pt. ตัวหนา ในการพิมพ์หัวข้อหลัก และให้พิมพ์ไว้กลางคอลัมน์

##### 4.2 หัวข้อย่อยและหัวข้อย่อยรองลงมา

กำหนดให้ใช้ตัวอักษรขนาด 15 pt. ตัวหนา ในการพิมพ์หัวข้อย่อยและหัวข้อย่อยรองลงมา และให้พิมพ์ชิดริมซ้ายของคอลัมน์

#### 5. สมการคณิตศาสตร์

cooling effectiveness ของ DEC และ IDEC คำนวณจากสมการที่ (1)

$$\varepsilon = \frac{T_{d_i} - T_{d_o}}{T_{d_i} - T_{w_i}} \quad (1)$$

เมื่อ คือ ความสามารถในการทำงานกระเปาะเปียกของระบบ, %

คือ อุณหภูมิ dry bulb ขาเข้า,  $C^\circ$

คือ อุณหภูมิ dry bulb ขาออก,  $C^\circ$

คือ อุณหภูมิ wet bulb ขาเข้า,  $C^\circ$

สมการคำนวณอัตราส่วนประสิทธิภาพของเครื่อง Energy efficiency ratio (EER) หาได้จาก (2)

$$EER = \frac{Ec}{P} \quad (2)$$

เมื่อ EER คือ อัตราส่วนประสิทธิภาพของเครื่อง, Btu/wh

Ec คือ net cooling capacity ปริมาณความเย็นที่เครื่องทำได้, Btu/h

P คือ Power input พลังงานที่เครื่องใช้, watts

การหาปริมาณน้ำที่ใช้ในระบบเป็นดัง (3)

$$Waterconsumption = \frac{V}{Primaryair} \quad (3)$$

เมื่อ

Water consumption คือ ปริมาณ น้ำที่ใช้, g/kg primary air

V คือ ปริมาณน้ำที่ระบบใช้, g

Primary air คือ มวลอากาศที่จ่ายเข้าห้อง, kg primary air

#### 6. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ภายใต้ “โครงการร่วมสนับสนุนทุนวิจัยและพัฒนา กฟผ. – สกว.” ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ อนึ่ง ความเห็นในผลการวิจัยเป็นของผู้วิจัย สกว. และ กฟผ. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

#### 7. เอกสารอ้างอิง

##### 7.1 บทความจากวารสาร (Journal)

[1] B. O. Bolaji and Z. Huan(2013), “Ozone depletion and global warming: Case for the use of natural refrigerant - A review,” Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 18, pp. 49–54, 2013.

[2] C. M. Liao and K. H. Chiu(2002), “Wind tunnel modeling the system performance of alternative evaporative cooling pads in Taiwan



region,” *Build. Environ.*, vol. 37, no. 2, pp. 177–187, 2002.

[3] J. Xu, Y. Li, R. Z. Wang, W. Liu, and P. Zhou(2015), “Experimental performance of evaporative cooling pad systems in greenhouses in humid subtropical climates,” *Appl. Energy*, vol. 138, pp. 291–301, 2015.

[4] R. Mishra(2016), “Evaluation of Water consumption and savings achieved in Datacenters through Air side Economization,” 2016.

[5] P. Mazzei and A. Palombo(1999), “Economic evaluation of hybrid evaporative technology implementation in Italy,” *Build. Environ.*, vol. 34, no. 5, pp. 571–582, 1999.

[6] F. Zhang, Y. Yin, and X. Zhang(2017), “Performance analysis of a novel liquid desiccant evaporative cooling fresh air conditioning system with solution recirculation,” *Build. Environ.*, vol. 117, pp. 218–229, 2017.

[7] T. Pistochini and M. Modera(2011), “Water-use efficiency for alternative cooling technologies in arid climates,” *Energy Build.*, vol. 43, no. 2–3, pp. 631–638, 2011.

[8] G. Heidarinejad, M. Bozorgmehr, S. Delfani, and J. Esmaelian(2009), “Experimental investigation of two-stage indirect/direct evaporative cooling system in various climatic conditions,” *Build. Environ.*, vol. 44, no. 10, pp. 2073–2079, 2009.