

ผลกระทบของตัวแปรต้นต่อสมรรถนะของกระบวนการดูดความชื้นอากาศ ที่ใช้สารดูดความชื้นชนิดเหลว

Influence of Input Parameters on the Performance of a Liquid Desiccant Dehumidification System

วัญญู พันธ์นวงศ์^{1,*}, ทสพล เขตเจนการ¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
6 ถนนราชมรรคาใน ตำบลพระปฐมเจดีย์ อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

* ติดต่อ: the_mankinds@hotmail.com, 034-259-025

บทคัดย่อ

การดูดความชื้นอากาศระบายก่อนที่จะป้อนเข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศด้วยสารดูดความชื้นชนิดเหลวเป็นวิธีการหนึ่งในการลดภาระการปรับอากาศ ทำให้สามารถลดขนาดของระบบปรับอากาศและพลังงานที่ใช้ได้ สมรรถนะหลักของกระบวนการดูดความชื้น คือ อัตราการดูดความชื้น และประสิทธิผลของกระบวนการดูดความชื้น ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวแปรหลัก 2 กลุ่ม คือ ตัวแปรด้านกายภาพ (เช่น ขนาดของแพ็คกิ้ง ขนาดของแพ็คเบ็ด) และตัวแปรด้านสภาวะการทำงาน ซึ่งมีอยู่ 6 ตัว ได้แก่ อัตราการไหล อุณหภูมิ และความชื้นของอากาศ และอัตราการไหล อุณหภูมิ และความเข้มข้นของสารดูดความชื้น โดยในบทความนี้จะกล่าวถึงผลกระทบของตัวแปรในกลุ่มหลังที่มีต่อสมรรถนะของกระบวนการดูดความชื้น จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า อัตราการดูดความชื้นจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของอากาศ อัตราการไหลของสารดูดความชื้น อัตราส่วนความชื้นของอากาศ และความเข้มข้นของสารดูดความชื้นเพิ่มขึ้น และเมื่อค่าอุณหภูมิของอากาศและสารดูดความชื้นลดลง ส่วนประสิทธิผลของกระบวนการดูดความชื้นจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนความชื้นของอากาศ และอัตราการไหล อุณหภูมิ และความเข้มข้นของสารดูดความชื้นเพิ่มขึ้น และเมื่ออัตราการไหลและอุณหภูมิของอากาศลดลง

ในการทดลองจริงได้ทำโดยใช้เครื่องดูดความชื้นแบบแพ็คเบ็ดและใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นประมาณ 40% โดยมีมวลเป็นสารดูดความชื้น โดยมีการแปรค่าอัตราการไหลของอากาศที่ต้องการดูดความชื้น 3 ค่า คือ 0.04, 0.06 และ 0.08 kg/s และอัตราการไหลของสารดูดความชื้น 3 ค่า คือ 0.02, 0.07 และ 0.12 kg/s ส่วนอุณหภูมิและความชื้นของอากาศเป็นสภาพอากาศจริงที่ไม่ได้ควบคุม และอุณหภูมิของสารดูดความชื้นขึ้นอยู่กับสภาพอากาศจริงเช่นกันเนื่องจากใช้น้ำหล่อเย็นที่มาจากหอผึ่งเย็น ผลลัพธ์ที่ได้ คือ การแปรค่าเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของอากาศส่งผลต่ออัตราการดูดความชื้นและประสิทธิผลไม่ชัดเจน ในขณะที่เมื่ออัตราการไหลของสารดูดความชื้นเพิ่มจะส่งผลให้สมรรถนะทั้งสองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา จากการศึกษาจึงสรุปได้ว่า หากต้องการให้กระบวนการดูดความชื้นอากาศระบายทำงานได้ดี ควรให้ระบบทำงานที่อัตราการไหลและความเข้มข้นของสารดูดความชื้นสูง และอุณหภูมิของสารดูดความชื้นต่ำ ในขณะที่อัตราการไหลของอากาศจะขึ้นอยู่กับอัตราการระบายอากาศที่ต้องการ ส่วนอุณหภูมิและความชื้นของอากาศจะขึ้นอยู่กับสภาพอากาศจริง

คำหลัก: กระบวนการดูดความชื้นอากาศ, สมรรถนะของกระบวนการดูดความชื้น, สารดูดความชื้นชนิดเหลว, ผลกระทบของตัวแปรต้น

Abstract

Dehumidification of ventilation air before entering an air conditioned space using liquid desiccant is a method to reduce cooling load, size, and energy consumption of the air conditioning system. Key performance parameters of the dehumidification process are moisture removal rate and dehumidification effectiveness which depend on 2 groups of input parameters. The first one is

physical parameters (e.g., size of packing and pack bed) and the second one is operating parameters comprising flow rate, temperature, and humidity of the air, and flow rate, temperature, and concentration of the liquid desiccant. This article discusses the influence of the second group of input parameters on the performance of the dehumidification process. From the past researches, it was found that the moisture removal rate increases with the increase of air flow rate, desiccant flow rate, air humidity ratio, and desiccant concentration and with the decrease of air and desiccant temperature. The dehumidification effectiveness was found to increase with the increase of humidity ratio of the air and flow rate, temperature, and concentration of the desiccant, and with the decrease of flow rate and temperature of the air.

A set of actual experiments was conducted using a packed bed dehumidifier and 40% concentration (by mass) calcium chloride solution as the desiccant. The air flow rate was varied at 0.04, 0.06, and 0.08 kg/s and the desiccant flow rate was varied at 0.02, 0.07, and 0.12 kg/s. The temperature and humidity of the air was uncontrolled since the system dehumidified the ambient air. The temperature of the desiccant was also uncontrolled and depending on the ambient condition too because it was cooled by a cooling tower. The results showed that the influence of increasing the air flow rate on the performance was not obvious while increasing the desiccant flow rate increased the performance corresponding to the past researches. From this study, it can be concluded that the performance of the ventilation dehumidification system will be high if the desiccant flow rate and concentration are high while the desiccant temperature should be low. Whereas, the air flow rate will depend on the required ventilation rate and the temperature and humidity of the air will depend on the ambient condition.

Keywords: Dehumidification process, Performance of dehumidification process, Liquid desiccant, Influence of input parameters.

1. บทนำ

ในสภาวะภูมิอากาศร้อนชื้นแบบประเทศไทย สิ่งที่ไม่ได้คือการสร้างภาวะสบาย (Thermal Comfort) ให้แก่คนในพื้นที่ปรับอากาศ ซึ่งภาวะปรับอากาศนี้ประกอบด้วยภาระจากความร้อนสัมผัส (Sensible Load) และภาระอันเนื่องมาจากความร้อนแฝง (Latent Load) โดยภาระความร้อนแฝงในพื้นที่ปรับอากาศมีที่มาจากอากาศระบายเป็นส่วนใหญ่ โดยปกติแล้ว เราสามารถกำจัดภาระความร้อนได้ด้วยระบบปรับอากาศประเภทต่างๆ เช่น ระบบอัดไอ ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม เป็นต้น ซึ่งระบบปรับอากาศนั้นโดยส่วนใหญ่จะควบคุมที่อุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมสแตท ซึ่งเมื่ออุณหภูมิลดลงต่ำกว่าจุดที่ทำการตั้งอุณหภูมิปรับอากาศ ระบบก็จะหยุดทำงานโดยไม่สนใจความชื้นส่วนเกินภายในพื้นที่ปรับอากาศ จึงอาจก่อให้เกิดความรู้สึกไม่สบายตัวอันเนื่องมาจากภาระความร้อนแฝงหรือความชื้น วิธีการแก้ปัญหานี้จะใช้วิธีการที่เรียกว่า Overcool and Reheat ซึ่งเป็นการลด

อุณหภูมิของระบบปรับอากาศให้ต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ เพื่อให้ความชื้นกลั่นตัวเป็นหยดน้ำจนถึงระดับที่ต้องการ แล้วค่อยสร้างภาวะความร้อนเทียมเพื่อเพิ่มอุณหภูมิกลับขึ้นมาอย่างค่าที่ตั้งไว้ ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองพลังงานเป็นอย่างมาก [1,2]

เพื่อแก้ปัญหานี้จึงได้มีการวิจัยเกี่ยวกับระบบดูดความชื้นอากาศระบาย ซึ่งสารดูดความชื้นชนิดเหลวเป็นทางเลือกหนึ่งที่ศึกษากันมาเป็นเวลานานหลายสิบปี ทั้งในอเมริกาและเอเชีย สารดูดความชื้นชนิดเหลวเป็นสารที่นิยมใช้เนื่องจากมีความยืดหยุ่นและมีช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการระเหยน้ำทั้งต่ำกว่า ($40-80^{\circ}\text{C}$ เทียบกับ $80-120^{\circ}\text{C}$ สำหรับสารดูดความชื้นชนิดแข็ง) [3,4] โดยชนิดของสารที่นิยมใช้ เช่น ไตรเอทิลีนไกลคอล, แคลเซียมคลอไรด์, ลิเทียมคลอไรด์, ลิเทียมโบรไมด์ ฯลฯ รูปร่างของระบบมีหลายรูปแบบ เช่น สเปร์รี่แชนเบอร์, สเปร์รี่คอล์, แบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น และแบบแพ็คเบ็ด รูปทรงอาจจะเป็นทรงสี่เหลี่ยมหรือทรงกระบอก ภายใน

รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์

G	= อัตราการไหลของไหล, kg/s
h	= เอนทาลปี, kJ/kg _{da}
m	= อัตราการดูดความชื้น, kg/s
T	= อุณหภูมิ, °C
W	= อัตราส่วนความชื้นของอากาศ, kg _w /kg _{da}
α	= ประสิทธิภาพของกระบวนการดูดความชื้น
β	= ประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อน
ε	= ประสิทธิภาพเอนทาลปี
γ_0	= ความตึงผิววิกฤตของวัสดุที่ใช้ทำแพ็คกิ้ง, N/m
γ_s	= ความตึงผิวของสารดูดความชื้น, N/m
ξ	= ความเข้มข้นของสารดูดความชื้น, % โดยมวล

ตัวกำกับล่าง

a	= อากาศ
ab	= การดูดความชื้น
in	= ทางเข้า
out	= ทางออก
s	= สารดูดความชื้น

อาจบรรจุแพ็คกิ้งแบบพอลริง, เป็นแบบแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน หรือเป็นแบบกบฏ้อ ฯลฯ โดยเมื่ออากาศระบายสัมผัสกับสารดูดความชื้น กระบวนการดูดความชื้นซึ่งเป็นกระบวนการถ่ายเทมวลและความร้อนพร้อมๆ กัน จะเกิดขึ้น ส่งผลให้ปริมาณความชื้นในอากาศระบายต่ำลง

สมรรถนะหลักของกระบวนการดูดความชื้น คือ อัตราการดูดความชื้น และประสิทธิภาพของกระบวนการดูดความชื้น ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวแปรหลัก 2 กลุ่ม คือ ตัวแปรด้านกายภาพ เช่น ขนาดของแพ็คกิ้ง ขนาดของเครื่องดูดความชื้น และตัวแปรด้านสภาวะการทำงาน ซึ่งมีอยู่ 6 ตัว ได้แก่ อัตราการไหล อุณหภูมิ และความชื้นของอากาศ และอัตราการไหล อุณหภูมิ และความเข้มข้นของสารดูดความชื้น

บทความนี้จะนำเสนอผลการศึกษานวโน้มของผลกระทบของตัวแปรต้นด้านสภาวะการทำงานที่ส่งผลต่อสมรรถนะของกระบวนการดูดความชื้น 2 ตัว คือ อัตราการดูดความชื้น และประสิทธิภาพของกระบวนการดูดความชื้น โดยนำเสนอผลการศึกษามาจากงานวิจัยที่ผ่านมา

มา รวมทั้งทำการเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริง โดยบทความนี้จะพิจารณาเฉพาะกระบวนการดูดความชื้นที่ใช้เครื่องดูดความชื้นแบบแพ็คเบ็ด และใช้สารดูดความชื้นชนิดเหลว

2. กระบวนการดูดความชื้น

กระบวนการดูดความชื้นที่กล่าวถึงในบทความนี้เป็นกระบวนการที่ใช้สารดูดความชื้นชนิดเหลวที่ออกแบบเพื่อใช้ดูดความชื้นจากอากาศระบายก่อนเข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศโดยการนำอากาศมาพัดผ่านสารดูดความชื้นชนิดเหลว ซึ่งอาจจะมีหลายลักษณะของการไหล เช่น การไหลตัดกัน สวนทาง หรือขนานกัน กระบวนการดูดความชื้นเป็นปฏิกิริยาการถ่ายเทความร้อนและมวลไปพร้อมๆ กัน เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการ อากาศจะมีความชื้นต่ำลง ในขณะที่เดียวกันสารดูดความชื้นก็จะมี ความเข้มข้นต่ำลงด้วย โดยการจะบอกว่ากระบวนการนี้เกิดขึ้นได้ดีหรือไม่นั้นบอกด้วยสมรรถนะหลักของระบบดูดความชื้นซึ่งได้แก่ อัตราการดูดความชื้น และ ประสิทธิภาพของกระบวนการดูดความชื้น

3. ผลการศึกษาผลกระทบของตัวแปรต้นที่มีต่อสมรรถนะของกระบวนการดูดความชื้นจากงานวิจัยที่ผ่านมา

3.1 อัตราการดูดความชื้น

ถือเป็นค่าที่บอกสมรรถนะของกระบวนการโดยตรง คือ บอกถึงอัตราหรือปริมาณไอน้ำในอากาศที่ถูกดูดโดยสารดูดความชื้น โดยอัตราการดูดความชื้นสามารถหาได้จากความแตกต่างของอัตราส่วนความชื้นระหว่างทางเข้าและทางออกของเครื่องดูดความชื้น และอัตราการไหลของอากาศดังสมการที่ 1

$$m_{w,ab} = G_a(W_{a,in} - W_{a,out}) \quad (1)$$

นอกจากนั้น อาจหาได้จากความแตกต่างของความเข้มข้นของสารดูดความชื้นระหว่างทางเข้ากับทางออกของเครื่องดูดความชื้น และอัตราการไหลของสารดูดความชื้นดังสมการที่ 2

$$m_{w,ab} = \frac{G_s(\xi_{s,out} - \xi_{s,in})}{\xi_{s,out}} \quad (2)$$



3.2 ประสิทธิภาพของกระบวนการดูดความชื้น

ประสิทธิภาพของกระบวนการดูดความชื้นหาได้จาก อัตราส่วนของความสามารถในการดูดความชื้นจริงเทียบกับความสามารถในการดูดความชื้นทางทฤษฎี หรือความสามารถในการดูดความชื้นที่สามารถทำได้สูงสุด ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่ออัตราส่วนความชื้นของอากาศทางออก สมดุลกับอัตราส่วนความชื้นเทียบเท่าของอากาศที่อยู่ ที่สถานะสมดุลกับสารดูดความชื้นที่ทางเข้า ดังแสดงได้ด้วย สมการที่ 3

$$\alpha = \frac{W_{a,in} - W_{a,out}}{W_{a,in} - W_{s,in}} \quad (3)$$

เนื่องจากในระบบดูดความชื้นอากาศมีกระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน แต่สมการที่ 3 เป็นสมการที่บอกถึงการถ่ายเทมวลเพียงอย่างเดียว ทำให้ได้ข้อมูลไม่เพียงพอในการวิเคราะห์ซึ่งยัง จำเป็นที่จะต้องทราบประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อน หรือประสิทธิภาพเอนทาลปีอีกตัวหนึ่ง เพื่อให้ครอบคลุมการสื่อถึงการถ่ายเทความร้อนด้วย ดังแสดงใน สมการที่ 4 และ 5 ตามลำดับ

$$\beta_{ab} = \frac{T_{a,in} - T_{a,out}}{T_{a,in} - T_{s,in}} \quad (4)$$

$$\epsilon_{h,ab} = \frac{h_{a,in} - h_{a,out}}{h_{a,in} - h_{s,in}} \quad (5)$$

Chung (1994) [5] ได้ทำการศึกษาระบบดูดความชื้นอากาศที่ใช้สารดูดความชื้นชนิดเหลวโดยใช้สารละลายลิเทียมคลอไรด์และไตรเอทิลีนไกลคอลเป็นสารดูดความชื้น สำหรับเครื่องดูดความชื้นที่ใช้เป็นแบบ แฝกเข็บ โดยได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการดูดความชื้นในรูปของความสัมพันธ์กับอัตราการไหลของอากาศและสารดูดความชื้น อุณหภูมิของอากาศและสารดูดความชื้นที่ทางเข้าเครื่องดูดความชื้น ชนิดและขนาดของแพ็คคิง และคุณสมบัติของสารดูดความชื้น โดยได้ปรับปรุงสมการของ Ullah et al. (1988) [6] ซึ่งเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ทำนายประสิทธิภาพของกระบวนการดูดความชื้นดังแสดงในสมการที่ 6

$$\alpha_{ab} = \left\{ 1 - \frac{\left(\frac{G_{s,in}}{G_{a,in}} \right)^{0.174} \exp \left[0.985 \left(\frac{T_{a,in}}{T_{s,in}} \right) \right]}{a^{0.184} \times 1.680} \right\} \left\{ 1 - \frac{0.152 \exp \left[0.686 \left(\frac{T_{a,in}}{T_{s,in}} \right) \right]}{\chi^{3.388}} \right\} \quad (6)$$

สมการที่ 7 เป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพของกระบวนการดูดความชื้นกับตัวแปรต้นต่างๆ ที่ Martin and Goswami (2000) ได้พัฒนาขึ้นมา

$$\alpha_{ab} = 1 - C_1 \left(\frac{G_{s,in}}{G_{a,in}} \right)^x \left(\frac{h_{a,in}}{h_{s,in}} \right)^y (aZ)^z \quad (7)$$

โดย

$$x = k_1 \frac{\gamma_s}{\gamma_0} + m_1 \quad (8)$$

$$z = k_2 \frac{\gamma_s}{\gamma_0} + m_2 \quad (9)$$

และค่าคงที่ในสมการ คือ

$C_1 = 48.3$	$y = -0.751$
$k_1 = 0.396$	$m_1 = -1.57$
$k_2 = 0.0331$	$m_2 = -0.906$

เมื่อพิจารณาสมการที่ 6 และ 7 จะเห็นว่าภายในสมการมีตัวแปรที่สำคัญและสื่อถึงสถานะการทำงานของระบบ คือ ค่าสัดส่วนระหว่างอัตราการไหลของสารดูดความชื้นและอัตราการไหลของอากาศก่อนเข้าเครื่องดูดความชื้นหรือที่เรียกว่า L/G Ratio หรือ G_s/G_a และสัดส่วนของอุณหภูมิของอากาศขาเข้าต่ออุณหภูมิของสารดูดความชื้น (T_a/T_s หรือแสดงในรูป h_a/h_s แทนในสมการที่ 7) จากสมการทั้งสองจะสังเกตได้ว่า หากต้องการให้ ประสิทธิภาพของกระบวนการดูดความชื้นสูง อัตราส่วนความชื้นอากาศ และอัตราการไหลและความเข้มข้นของสารดูดความชื้นควรมีค่าสูง และอุณหภูมิของสารดูดความชื้น และอัตราการไหลและอุณหภูมิอากาศควรมีค่าต่ำ

ตารางที่ 1 แสดงผลการศึกษาลักษณะของตัวแปรต้นด้านสถานะการทำงานต่อสมรรถนะของกระบวนการดูดความชื้นที่ใช้สารดูดความชื้นชนิดเหลว จากงานวิจัยต่างๆ ที่ผ่านมา โดยจะพบว่า ระบบดูดความชื้นจะทำงานได้ดีขึ้น หรือมีอัตราการดูดความชื้นสูงขึ้น ก็ต่อเมื่ออัตราการไหลของอากาศ อัตราการไหลของสารดูดความชื้น อัตราส่วนความชื้นของอากาศ และความเข้มข้นของสารดูดความชื้นเพิ่มขึ้น และเมื่ออัตราการไหลและอุณหภูมิของอากาศและสารดูดความชื้นลดลง ส่วนประสิทธิภาพของกระบวนการดูดความชื้นจะ

เพิ่มขึ้น ก็ต่อเมื่ออัตราส่วนความชื้นของอากาศ และการไหล อุดหนุน และความเข้มข้นของสารดูดความชื้น

เพิ่มขึ้น และเมื่ออัตราการไหลและอุณหภูมิของอากาศ ลดลง

ตารางที่ 1 ผลกระทบของตัวแปรต้นด้านสภาวะการทำงานต่อสมรรถนะของกระบวนการดูดความชื้น

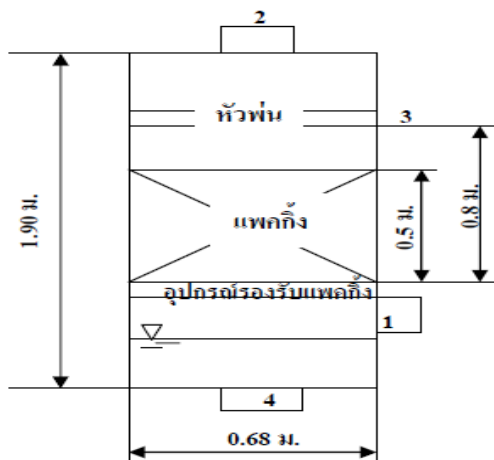
งานวิจัย	สารดูดความชื้น	ลักษณะของเครื่องดูดความชื้น	การทดลองหรือทฤษฎี	L/G ratio	ผลจากการศึกษา
Patnaik et al. (1988) [7]	LiBr	Packed bed	ทดลอง	0.90-1.00	อัตราการดูดความชื้นเพิ่มขึ้นก็ต่อเมื่อ อัตราการไหลของอากาศ เพิ่มขึ้น อุณหภูมิของอากาศ ลดลง อัตราส่วนความชื้นของอากาศ เพิ่มขึ้น อัตราการไหลของสารดูดความชื้น เพิ่มขึ้น อุณหภูมิของสารดูดความชื้น ลดลง ความเข้มข้นของสารดูดความชื้น เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพของการดูดความชื้นเพิ่มขึ้นก็ต่อเมื่อ อัตราการไหลของอากาศ ลดลง อุณหภูมิของอากาศ ลดลง อัตราส่วนความชื้นของอากาศ เพิ่มขึ้น อัตราการไหลของสารดูดความชื้น เพิ่มขึ้น อุณหภูมิของสารดูดความชื้น เพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของสารดูดความชื้น เพิ่มขึ้น
Chen et al. (1989) [8]	LiCl	Packed bed	ทดลอง	0.8573-1.321	
Kavasogullari et al. (1991) [9]	LiCl, CaCl ₂	Packed bed	ทดลอง	0.2259	
Chung et al. (1993) [10]	LiCl	Packed bed	ทดลอง	0.7536-8.10	
Radhwan et al. (1993) [11]	CaCl ₂	Packed bed	ทฤษฎี	-	
Oberg and Goswami (1998) [12]	TEG	Packed bed	ทดลอง	-	
Fumo and Goswami (2002) [13]	LiCl	Packed bed	ทดลอง	4.90-5.63	
Abdul-Wahab et al. (2004) [14]	TEG	Packed bed	ทดลอง	2.613-11.54	
Liu et al. (2006) [15]	LiBr	Packed bed	ทดลอง	-	
Katejanekarn et al. (2008) [16]	LiCl	Packed bed	ทดลอง	3.5-15.4	
Liu et al. (2008) [17]	LiCl, LiBr	Packed bed	ทฤษฎี	1.25	
Babakhani and Soleymani (2009) [18]	LiCl	Packed bed	ทฤษฎี	0.2359-2.359	
Zhang et al. (2010) [19]	LiCl	Packed bed	ทดลอง	0.122-0.8	
Ge et al. (2011) [20]	LiCl, CaCl ₂	Packed bed	ทดลอง	4.125-5.1812	

4. ผลการศึกษาผลกระทบของตัวแปรต้นที่มีต่อสมรรถนะของกระบวนการดูดความชื้นจากผลการทดลองจริง

ในส่วนนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของตัวแปรต้นที่มีต่อสมรรถนะของกระบวนการดูดความชื้นจากผลการทดลองจริง โดยลักษณะของชุดทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 1 อากาศจะถูกนำเข้ามาผ่านเครื่องดูดความชื้น (Dehumidifier) ในลักษณะของการไหลสวนทางกันกับสารดูดความชื้น ซึ่งเครื่องดูดความชื้นที่ใช้นั้นเป็นแบบแพ็คเบ็ด (Packed Bed) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.68

m สูง 1.90 m ภายนอกหุ้มด้วยฉนวนใยแก้วหนา 0.15 m ภายในบรรจุแพ็คกิ้งชนิดพอลริง (Pall Ring) ขนาด 25 mm ที่มีความสูงของชั้นแพ็คเบ็ดเท่ากับ 0.50 m เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความชื้น โดยที่อากาศที่แห้งจะถูกส่งต่อไปยังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีน้ำหล่อเย็นเพื่อลดอุณหภูมิก่อนนำไปใช้งาน

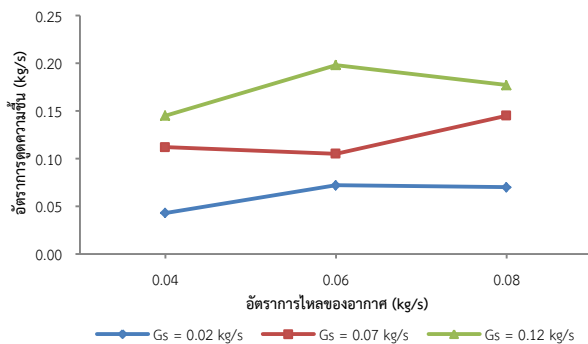
ในการทดลองได้ทำการควบคุมความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ไว้ที่ 40% โดยประมาณ จากนั้นแปรค่าอัตราการไหลของอากาศที่ต้องการดูดความชื้น 3 ค่า ได้แก่ 0.04, 0.06 และ 0.08 kg/s และแปรค่าอัตราการไหลของสารดูดความชื้น 3 ค่า ได้แก่ 0.02, 0.07 และ 0.12 kg/s ส่วนอุณหภูมิและความชื้นของอากาศเป็นสภาพอากาศจริงที่ไม่ได้ทำการควบคุมและอุณหภูมิของสารดูดความชื้นขึ้นอยู่กับสภาพอากาศจริงเช่นกันเนื่องจากใช้น้ำหล่อเย็นที่มาจากหอผึ่งเย็น (Cooling Tower) การทดลองชุดนี้ทำในช่วงเดือนกุมภาพันธ์และเดือนมีนาคมของปี 2554 [4] จากข้อมูลข้างต้นพบว่า การทดลองชุดนี้มีค่า L/G Ratio อยู่ในช่วง 0.277-2.77



รูปที่ 1 เครื่องดูดความชื้นที่ใช้ในการทดลอง [2]

4.1 ผลกระทบต่ออัตราการดูดความชื้น

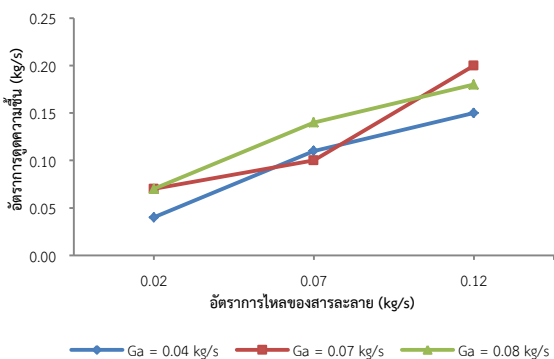
4.1.1 ผลกระทบจากการแปรค่าอัตราการไหลของอากาศ



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดความชื้นกับอัตราการไหลของอากาศ

จากรูปที่ 2 ที่แสดงถึงอิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศที่มีต่ออัตราการดูดความชื้น จะเห็นว่าที่อัตราการไหลของสารละลาย 0.02 และ 0.12 kg/s เมื่ออัตราการไหลของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้น อัตราการดูดความชื้นจะมีค่าสูงขึ้นด้วย จนกระทั่งถึงค่าๆ หนึ่ง อัตราการดูดความชื้นก็จะมีค่าค่อนข้างคงที่หรือลดลง ยกเว้นที่อัตราการไหลของสารละลาย 0.07 kg/s ที่มีแนวโน้มต่างออกไป ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าเมื่อทำการแปรค่าอัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น ยังไม่สามารถสรุปผลกระทบต่ออัตราการดูดความชื้นได้ชัดเจน

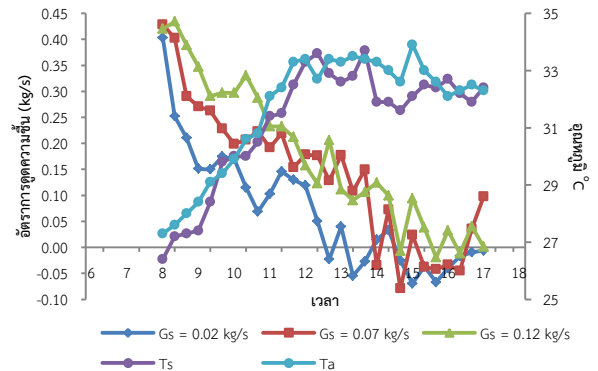
4.1.2 ผลกระทบจากการแปรค่าอัตราการไหลของสารละลาย



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดความชื้นกับอัตราการไหลของสารละลาย

เมื่อสังเกตรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าการแปรค่าอัตราการไหลของสารละลายเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้อัตราการดูดความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากปริมาณของสารละลายที่มากขึ้นในระบบ ทำให้การถ่ายเทความชื้นระหว่างอากาศกับสารละลายมีเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่กล่าวถึงในหัวข้อที่แล้ว

4.1.3 ผลกระทบจากอุณหภูมิอากาศและสารดูดความชื้น

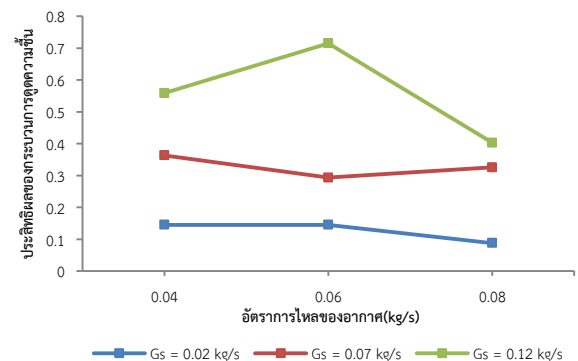


รูปที่ 4 อัตราการดูดความชื้นในรอบ 1 วัน เมื่ออัตราการไหลของอากาศคงที่และแปรค่าอัตราการไหลของสารละลาย

จากรูปที่ 4 เมื่อระบบทำงานไปในระหว่างวัน อุณหภูมิของอากาศโดยรอบกับสารละลายจะสูงขึ้นเรื่อยๆ จากช่วงเช้า 8:00 น. จนถึงช่วงเย็น 16:00 น. แต่จะเห็นว่าอัตราการดูดความชื้นลดลงเรื่อยๆ ดังนั้น จึงอาจสรุปได้ว่าอัตราการดูดความชื้นจะเพิ่มก็ต่อเมื่ออุณหภูมิของอากาศและสารละลายลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา

4.2 ผลกระทบต่อประสิทธิภาพของกระบวนการดูดความชื้น

4.2.1 ผลกระทบจากการแปรค่าอัตราการไหลของอากาศ

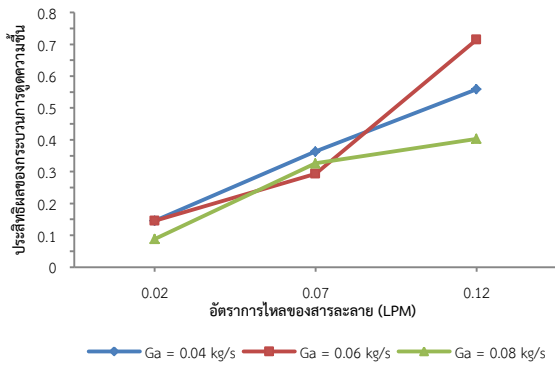


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของกระบวนการดูดความชื้นกับอัตราการไหลของอากาศ

รูปที่ 5 แสดงอิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศที่มีต่อประสิทธิภาพของกระบวนการดูดความชื้น โดยจะเห็นว่าที่อัตราการไหลของสารละลายเท่ากับ 0.02 และ 0.12 เมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นถึงค่าๆ หนึ่ง ประสิทธิภาพของกระบวนการดูดความชื้นจะมีค่าสูงขึ้นแล้วกลับลดต่ำลง เนื่องจากเวลาในการสัมผัสกันระหว่าง

สารละลายกับอากาศมีค่าน้อยลง ทำให้ประสิทธิภาพทางความชื้นกลับมีค่าลดลงด้วย ยกเว้นที่อัตราการไหลของสารละลาย 0.07 kg/s ที่มีแนวโน้มตรงกันข้าม ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า ยังไม่สามารถสรุปแนวโน้มของผลกระทบจากการแปรค่าอัตราการไหลของอากาศได้ชัดเจน

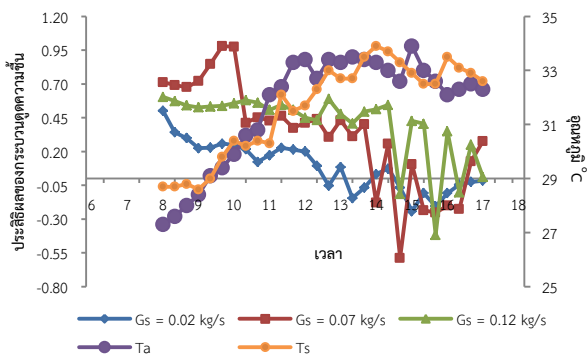
4.2.2 ผลกระทบจากการแปรค่าอัตราการไหลของสารดูดความชื้น



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของกระบวนการดูดความชื้นกับอัตราการไหลของสารละลาย

รูปที่ 6 แสดงอิทธิพลของอัตราการไหลของสารละลายที่มีต่อประสิทธิภาพของกระบวนการดูดความชื้น โดยจะเห็นว่าเมื่ออัตราการไหลของสารละลายเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพของกระบวนการดูดความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากอากาศได้มีการสัมผัสกับสารดูดความชื้นเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพจึงเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา

4.2.3 ผลกระทบจากอุณหภูมิอากาศและสารดูดความชื้น



รูปที่ 7 ประสิทธิภาพการดูดความชื้นในรอบ 1 วัน เมื่ออัตราการไหลของอากาศคงที่และแปรค่าอัตราการไหลของสารละลาย

จากรูปที่ 7 เมื่อระบบเดินไปในระหว่างวัน อุณหภูมิของอากาศกับของสารละลายจะสูงขึ้นเรื่อยๆ จากช่วงเช้า 8.00 น. จนถึงช่วงเย็น 16.00 น. แต่จะเห็น

ว่าประสิทธิภาพลดลงเรื่อยๆ จึงอาจสรุปได้ว่าประสิทธิภาพของกระบวนการดูดความชื้นจะเพิ่มก็ต่อเมื่ออุณหภูมิของอากาศและสารละลายลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

บทความนี้ได้นำเสนอผลการศึกษาระบบของตัวแปรต้นด้านสภาวะการทำงานที่มีต่อสมรรถนะของกระบวนการดูดความชื้น โดยได้ทำการรวบรวมผลจากงานวิจัยที่ผ่านมา ร่วมกับการพิจารณาจากผลการทดลองจริง

จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า อัตราการดูดความชื้นจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นก็ต่อเมื่อค่าของอัตราการไหลของอากาศ อัตราการไหลของสารดูดความชื้น อัตราส่วนความชื้นของอากาศ และความเข้มข้นของสารดูดความชื้นเพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิของอากาศและสารดูดความชื้นลดลง ส่วนประสิทธิภาพของกระบวนการดูดความชื้นจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนความชื้นของอากาศ และอัตราการไหล อุณหภูมิ และความเข้มข้นของสารเพิ่มขึ้น และเมื่ออัตราการไหลและอุณหภูมิอากาศลดลง

เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองจริง พบว่าแนวโน้มของผลกระทบของอัตราการไหลของอากาศต่ออัตราการดูดความชื้นและประสิทธิภาพไม่ชัดเจน ซึ่งยังสรุปไม่ได้ว่าสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาหรือไม่ ข้อเสนอแนะข้อหนึ่งคือ ค่าสัดส่วนระหว่างอัตราการไหลของสารละลายต่ออัตราการไหลของอากาศ (L/G Ratio) อาจมีผล ซึ่งจะได้ทำการศึกษาต่อไป ในขณะที่เมื่ออัตราการไหลของสารดูดความชื้นเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้สมรรถนะทั้งสองเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา

กล่าวโดยสรุป คือ หากต้องการให้กระบวนการดูดความชื้นทำงานได้ดีจะต้องทำงานที่สภาวะที่สารละลายมีอัตราการไหลสูง ความเข้มข้นสูง และอุณหภูมิต่ำ ในขณะที่อุณหภูมิอากาศและสารละลายควรมีค่าต่ำ ซึ่งอาจทำได้ด้วยการติดตั้งระบบหล่อเย็นเพิ่มเติม ส่วนอัตราการไหลของอากาศขึ้นอยู่กับอัตราการระบายอากาศที่ต้องการ และความชื้นของอากาศขึ้นอยู่กับสภาพอากาศจริง

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ และ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่เป็นผู้ให้ทุนในการพัฒนาระบบและดำเนินการงานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Katejanekarn, T. and Kumar, S. (2008). Performance of a solar-regenerated liquid desiccant ventilation pre-conditioning system, *Energy and Buildings*, vol. 40(7), December 2008, pp. 1252 - 1267.
- [2] ภรณ์ หว่ากอย ภาณุพงศ์ ทศศรี และ อรษา สุขลิ้ม (2552). การออกแบบ สร้าง และศึกษาสมรรถนะของเครื่องดูดความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์, นครปฐม: ปริญญาานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [3] กรวิทย์ ต่วนป้องค่าย บรรจบพร ไชยนคร และประสิทธิ์ชัย กาญจนสวัสดิ์ (2552). การออกแบบ สร้าง และศึกษาสมรรถนะของเครื่องระเหยน้ำแบบพาราโบลิทรีฟสำหรับใช้กับสารดูดความชื้นชนิดเหลว, นครปฐม: ปริญญาานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [4] จักรพันธ์ กันชนะ และชาญณรงค์ เปราปรามโทย์ (2553). การทดสอบสมรรถนะของระบบดูดความชื้นอากาศที่ใช้สารดูดความชื้นชนิดเหลว, นครปฐม: ปริญญาานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [5] Chung, T.W. (1994). Predictions of the moisture removal efficiencies for packed-bed dehumidification systems, *Gas Separation & Purification*, vol. 8(4), November 2001, pp. 265 - 268.
- [6] Ullah, M.R., Kettleborough, C.F., and Gandhidasan, P. (1988). Effectiveness of moisture removal for an adiabatic counterflow packed tower absorber operating with CaCl_2 -air contact system, *Solar Energy Engineering*, Transactions of the ASME, vol. 110, May 1988, pp. 98 - 101.
- [7] Patnaik, S., Lenz, T.G., and Lof, G.O.G. (1988). Solar open cycle liquid desiccant studies, In *the 10th Annual ASME Solar Energy Conference*, Denver, Colorado, USA, pp. 121 -125.
- [8] Chen, L.C., Kuo, C.L., and Shyu, R.J. (1989). The performance of a packed bed dehumidifier for solar liquid desiccant systems, In *the 11th Annual ASME Solar Energy Conference*, San Diego, California, USA, pp. 371 - 377.
- [9] Kavasogullari, S., Gandhidasan, P., Ertas, A., and Anderson, E. (1991). Performance of CaCl_2 and LiCl liquid desiccants in a dehumidifying packed tower, *ASME Emerging Technology*, vol. 36, pp. 45 - 49.
- [10] Chung, T.W., Ghosh, T.K., and Hines, A.L. (1993). Dehumidification of air by aqueous lithium chloride in a packed column, *Separation Science and Technology*, vol. 28(1-3), pp. 533 - 550.
- [11] Radhwan, A.M., Gari, H.N., and Elsayed, M.M. (1993). Parametric study of a packed bed dehumidifier/regenerator using CaCl_2 liquid desiccant, *Renewable Energy*, vol. 3(1), pp. 49 - 60.
- [12] Oberg, V. and Goswami, D.Y. (1998). Experimental study of the heat and mass transfer in a packed bed liquid desiccant air dehumidifier, *Journal of Solar Energy Engineering*, Transactions of the ASME, vol. 120, November 1998, pp. 289 - 297.
- [13] Fumo, N. and Goswami, D.Y. (2002). Study of an aqueous lithium chloride desiccant system: Air dehumidification and desiccant regeneration, *Solar Energy*, vol 72(4), April 2002, pp. 351 - 361.
- [14] Abdul-Wahab, S., Zurigat, Y.H., and Abu-Arabi, M.K. (2004). Prediction of moisture removal rate and dehumidification effectiveness for structured liquid desiccant air dehumidifier, *Energy*, vol. 29(1), January 2004, pp. 19 - 34.
- [15] Liu, X.H., Qu, K.Y., and Jiang, Y. (2006). Experimental study on mass transfer performances of cross flow dehumidifier using liquid desiccant, *Energy Conversion and Management*, vol. 47(15-16), September 2006, pp. 2682 - 2692.
- [16] Katejanekarn, T., Chirarattananon, S., and Kumar, S. (2009). An experimental study of a

solar-regenerated liquid desiccant ventilation pre-conditioning system, *Solar Energy*, vol. 83(6), June 2009, pp. 920 – 933.

[17] Liu, X.H., Jiang, Y., and Qu, K.Y. (2008). Analytical solution of combined heat and mass transfer performance in a cross-flow packed bed liquid desiccant air dehumidifier, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 51(17-18), August 2008, pp. 4563 – 4572.

[18] Babakhania, D. and Soleymani, M. (2009). An analytical solution for air dehumidification by liquid desiccant in a packed column, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 36(9), November 2009, pp. 969 – 977.

[19] Zhang, L., Hihara, E., Matsuoka, F., and Dang, C. (2010). Experimental analysis of mass transfer in adiabatic structured packing dehumidifier/regenerator with liquid desiccant, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 53(13-14), June 2010, pp. 2856 – 2863.

[20] Ge, G., Xiao, F., and Niu, X. (2011). Control strategies for a liquid desiccant air-conditioning system, *Energy and Buildings*, vol. 43(6), June 2011, pp. 1499 – 1507.