

การปรับปรุงแบบจำลองในการทำนายประสิทธิผลของกระบวนการลดความชื้นอากาศ Improvement of Models to Predict Dehumidification Process Effectiveness

ศุภมาศ วิชัยสินธุ์^{1,*}, ทศพล เขตเจนการ¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
6 ถนนราชชมรรคาใน ตำบลพระปฐมเจดีย์ อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000
* ติดต่อ: ha_meowja@hotmail.com, 034-259-025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมการทำนายประสิทธิผลของกระบวนการลดความชื้นอากาศที่ใช้สารดูดความชื้นชนิดเหลว และเครื่องลดความชื้นชนิดแพ็คเบต สมการทำนายประสิทธิผลของกระบวนการลดความชื้นมีความสำคัญต่อการหาอัตราการลดความชื้นซึ่งเป็นสมรรถนะหลักของกระบวนการที่จะเปลี่ยนไปตามตัวแปรต้น ดังนั้น จึงไม่ควรที่จะสมมติให้ค่าประสิทธิผลเป็นค่าคงที่ในการคำนวณ งานวิจัยของ Chung (1994) และ Martin and Goswami (2000) ได้สร้างสมการทำนายประสิทธิผลของกระบวนการลดความชื้นซึ่งครอบคลุมอิทธิพลของตัวแปรต้น ได้แก่ อัตราการไหลและอุณหภูมิของอากาศ และอัตราการไหล อุณหภูมิ และความเข้มข้นของสารดูดความชื้น โดยงานวิจัยของ Chung ใช้สารละลายลิเทียมคลอไรด์และไตรเอทิลีนไกลคอลเป็นสารดูดความชื้น ส่วนงานของ Martin and Goswami ใช้ไตรเอทิลีนไกลคอลเป็นสารดูดความชื้น ทั้งสองงานใช้ช่วงของค่าอัตราการไหลของสารดูดความชื้นต่ออัตราการไหลของอากาศ (L/G Ratio) ระหว่าง 3.5 ถึง 15.4

การศึกษาครั้งนี้ได้นำแบบจำลองของ Chung และ Martin and Goswami มาทดลองทำนายอัตราการลดความชื้นเทียบกับการทดลองจริงซึ่งใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 40% เป็นสารดูดความชื้น ใช้แพ็คกิ้งแบบพอลริซขนาด 25 มิลลิเมตร และทำงานที่ช่วง L/G Ratio 0.277 ถึง 2.771 โดยในงานวิจัยนี้ได้แยกพิจารณาออกเป็น 3 กรณี คือ กรณีที่ 1 ใช้ค่าประสิทธิผลคงที่ กรณีที่ 2 ใช้ค่าประสิทธิผลที่ได้จากแบบจำลองก่อนปรับปรุงชุดค่าคงที่ และกรณีที่ 3 ใช้ค่าประสิทธิผลที่ได้จากแบบจำลองหลังปรับปรุงชุดค่าคงที่ที่เหมาะสมกับชนิดของสารดูดความชื้นและสภาวะการทำงานจริง ผลลัพธ์จากกรณีแรกพบว่า ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 0.1158 mg/s และค่าความคลาดเคลื่อนเอนเอียงเฉลี่ย (MBD) เท่ากับ 259.6 mg/s กรณีที่ 2 พบว่า ค่า RMSE จากแบบจำลองของ Chung เท่ากับ 0.0434 mg/s และค่า RMSE จากแบบจำลองของ Martin and Goswami เท่ากับ 0.0845 และ mg/s ตามลำดับ และกรณีสุดท้ายพบว่า ค่า RMSE จากแบบจำลองของ Chung เท่ากับ 0.0349 mg/s และค่า RMSE จากแบบจำลองของ Martin and Goswami เท่ากับ 0.0339 mg/s ตามลำดับ ซึ่งจากผลลัพธ์จะเห็นได้ว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์จะลดลงตามลำดับจากกรณีที่ 1 ถึงกรณีที่ 3

จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า ในการคำนวณหาค่าสมรรถนะของกระบวนการลดความชื้นไม่ควรให้ค่าประสิทธิผลเป็นค่าคงที่ เนื่องจากจะทำให้ผลลัพธ์มีความคลาดเคลื่อนสูง และการนำแบบจำลองที่ใช้ทำนายค่าประสิทธิผลมาใช้ควรมีการปรับปรุงชุดค่าคงที่ที่เหมาะสมกับชนิดของสารดูดความชื้นและสภาวะการทำงานของกระบวนการเสียก่อน ซึ่งสังเกตได้จากผลลัพธ์ในกรณีที่ 3 ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าผลลัพธ์ในกรณีที่ 2 โดยในงานวิจัยนี้ได้เสนอชุดค่าคงที่ที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลองของ Chung และแบบจำลองของ Martin and Goswami เพื่อใช้กับกระบวนการลดความชื้นแบบแพ็คเบต ที่ใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์เป็นสารดูดความชื้น และมีค่า L/G Ratio อยู่ในช่วง 0.277 ถึง 2.771

คำหลัก: แบบจำลองในการทำนายประสิทธิผลของกระบวนการลดความชื้นอากาศ, กระบวนการลดความชื้นอากาศ, สมรรถนะของกระบวนการลดความชื้น, สารดูดความชื้นชนิดเหลว



Abstract

This research aims to study the models that are used to predict the effectiveness of packed bed liquid desiccant dehumidification systems. Such models are important for assessing the moisture removal rate which is a key performance that would vary with input parameters. In turn, the effectiveness should not be assumed constant in the calculation. Chung (1994) and Martin and Goswami (2000) have proposed equations to predict the dehumidification process effectiveness covering the influence of flow rate and temperature of the process air, and flow rate, temperature, and concentration of the liquid desiccant. Lithium chloride and triethylene glycol solutions were used as the liquid desiccant in the work of Chung while Martin and Goswami used triethylene glycol. Operating condition in terms of the ratio of the desiccant flow rate to the air flow rate (L/G ratio) in both works was in the range of 3.5 to 15.4.

This study used the models of Chung and Martin and Goswami to predict the moisture removal rate and then compared with the results from an actual experiment that used 40% concentration calcium chloride solution as the liquid desiccant, used 25-mm Pall ring packings, and operated at the L/G ratio between 0.277 and 2.771. The study was considered in 3 cases: case 1 was that the effectiveness was assumed constant, case 2 was that the models were applied without adjusting the coefficients in the models, and case 3 was that the models were applied after the coefficients in the models were adjusted corresponding to the type of the desiccant and the operating condition. For case 1, it was found that the root mean square error (RMSE) of the results was 0.1158 mg/. For case 2, it was found that the RMSE from Chung's model were 0.0434 mg/s whereas the RMSE from Martin and Goswami's model were 0.0845 mg/s, respectively. For the last case, it was found that the RMSE from Chung's model were 0.0349 mg/s while the RMSE from Martin and Goswami's model were 0.0339 mg/s, respectively. It can be seen that the errors are being reduced from case 1 to case 3.

From the results, it can be concluded that the effectiveness value should not be assumed constant when calculating the system performance since it would make the results deviated from the actual values. The next point is that the set of constants or coefficients in the models should be adjusted to correspond to the desiccant type and the working condition of the system before use as it can be noticed from the accuracy improvement in case 3 compared with case 2. This study has proposed sets of coefficients for Chung's and Martin and Goswami's models suitable for packed bed dehumidification processes that use calcium chloride solution as the liquid desiccant and operate at the L/G ratio within the range of 0.277 to 2.771.

Keywords: Dehumidification effectiveness models, Dehumidification process, Performance of dehumidification process, Liquid desiccant.

1. บทนำ

สภาพอากาศของประเทศไทยเป็นแบบร้อนชื้น [1] ฉะนั้นระบบปรับอากาศจึงมีความจำเป็นมากในการทำให้เกิดภาวะสบาย (Thermal Comfort) สมาคมวิศวกรทำความร้อน ทำความเย็น และปรับอากาศแห่งอเมริกา (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, ASHRAE) ได้ประเมินภาวะความรู้สึกรับสบายของมนุษย์อยู่ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 20 ถึง 27°C และช่วงความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 30 ถึง 60% [2] ระบบปรับอากาศที่ใช้ส่วนใหญ่มักเป็นระบบอัดไอ (Vapor Compression) โดยให้คอยล์เย็นควบคุมอุณหภูมิและความชื้น โดยคอยล์เย็นจะทำหน้าที่ดูดความร้อนออกจากอากาศ เป็นผลให้อุณหภูมิอากาศนั้นลดต่ำลงจนถึงจุดน้ำค้าง เมื่อทำความเย็นต่อไป ไอน้ำในอากาศบริเวณรอบคอยล์เย็นจะเกิดการควบแน่น ทำให้ความชื้นลดลงพร้อมกับที่อุณหภูมิมียังคงลดต่ำลง ซึ่งตามปกติ การทำงานของระบบทำความเย็นแบบอัดไอจะหยุดทำงานเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงจนถึงค่าที่ตั้งไว้ที่เทอร์โมสแตท โดยไม่สนใจหรือไม่รับรู้ว่าความชื้นในอากาศจะมีมากหรือน้อย ซึ่งความชื้นส่วนนี้อาจเป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาความรู้สึกรับสบายของมนุษย์ นอกจากนี้ อาจทำให้วัสดุภายในพื้นที่ปรับอากาศเสื่อมคุณภาพ เกิดเชื้อรา หรือเกิดปัญหาอื่นๆ ตามมา [3]

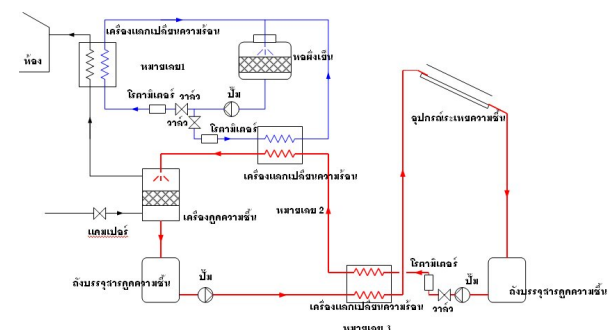
สำหรับงานที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นพร้อมกัน เช่น ห้องสะอาดในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ หรือห้องปฏิบัติการในอุตสาหกรรมยา [3] การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นพร้อมกันสามารถทำได้โดยระบบปรับอากาศจะต้องทำความเย็นให้ต่ำกว่าระดับอุณหภูมิที่กำหนดเพื่อดึงความชื้นออกให้ได้ตามต้องการก่อน แล้วจึงให้ความร้อนกลับแก่อากาศเพื่อให้ได้ระดับอุณหภูมิตามที่ต้องการ หรือที่เรียกว่ากระบวนการ Overcool and Reheat กระบวนการดังกล่าวทำให้ต้องใช้ระบบปรับอากาศที่มีขนาดใหญ่ รวมทั้งต้องเสียพลังงานให้แก่เครื่องทำความร้อนอีก ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานเป็นอย่างมาก [4] วิธีการหนึ่งที่เป็นทางเลือกที่น่าสนใจ คือ การแยกการควบคุมความชื้นและอุณหภูมิออกจากกัน โดยให้การควบคุมความชื้นเป็นหน้าที่ของระบบดูดความชื้น (Dehumidification System) ส่วนการลดอุณหภูมิยังคงให้เป็นหน้าที่ของระบบปรับอากาศ [5,6]

ภาระของระบบปรับอากาศประกอบด้วย ภาระความร้อนสัมผัส (Sensible Load) และภาระความร้อนแฝง (Latent Load) หรือภาระทางความชื้น ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากอากาศระบาย (Ventilation Air) [7] เพราะฉะนั้นการลดความชื้นในอากาศระบายก่อนนำเข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศจึงเป็นสิ่งที่เหมาะสมและช่วยลดภาระของระบบปรับอากาศ โดยเมื่อภาระของระบบปรับอากาศลดลงจะทำให้สามารถใช้เครื่องปรับอากาศที่มีขนาดเล็กลงได้ถึงกว่าครึ่ง และจะทำให้ใช้พลังงานไฟฟ้า น้อยลงด้วย [8,9]

สำหรับระบบดูดความชื้นอากาศ อัตราการดูดความชื้น (Moisture Removal Rate) ถือเป็นสมรรถนะหลักของกระบวนการ การทำนายอัตราการดูดความชื้นวิธีหนึ่งที่ได้มีการศึกษา คือ การทำนายผ่านทางประสิทธิภาพของกระบวนการดูดความชื้น (Moisture Removal Effectives) การมีแบบจำลองที่สามารถทำนายค่าประสิทธิภาพของกระบวนการดูดความชื้นได้แม่นยำจึงเป็นสิ่งสำคัญ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอผลการศึกษาเพื่อหาชุดค่าคงที่ที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลอง 2 แบบจำลอง จากงานวิจัยที่ผ่านมาเพื่อใช้สำหรับทำนายประสิทธิภาพและอัตราการดูดความชื้นของระบบดูดความชื้นอากาศที่มีอยู่ รวมทั้งแสดงการเปรียบเทียบผลการทำนายอัตราการดูดความชื้นอากาศระหว่างกรณีที่ใช้ค่าประสิทธิภาพที่คำนวณจากแบบจำลองก่อนปรับปรุงชุดค่าคงที่ และกรณีที่ใช้ค่าประสิทธิภาพที่คำนวณจากแบบจำลองหลังปรับปรุงชุดค่าคงที่ กับอัตราการดูดความชื้นที่ได้จากการทดลองจริง

2. ระบบที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 1 แผนผังของระบบดูดความชื้นอากาศ [10]

ระบบดูดความชื้นอากาศในงานนี้ใช้สารดูดความชื้นชนิดเหลว โดยสารดูดความชื้นที่เลือกใช้ คือ สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ระบบที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะดังรูปที่ 1 โดยจะประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่

ส่วนของเครื่องดูดความชื้น ส่วนของเครื่องระเหยน้ำ และส่วนของการหล่อเย็น

เครื่องดูดความชื้นที่ใช้เป็นแบบแพ็คเบต โดยอากาศจะถูกป้อนเข้าทางด้านล่างของเครื่องดูดความชื้นด้วยพัดลม และสามารถควบคุมอัตราการไหลของอากาศด้วยแอมป์เปอร์ สารดูดความชื้นจะถูกพ่นลงมาจากด้านบนของเครื่องดูดความชื้น ทำให้อากาศที่ถูกป้อนเข้าเครื่องดูดความชื้นสัมผัสกับสารดูดความชื้นแบบสวนทางกัน อากาศที่ออกจากเครื่องดูดความชื้นจะถูกส่งไปผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิด้วยน้ำหล่อเย็นก่อนที่จะถูกส่งต่อไปยังพื้นที่ปรับอากาศ ส่วนสารละลายที่สัมผัสกับอากาศแล้วจะออกจากเครื่องดูดความชื้นทางด้านล่าง ซึ่งสารละลายนี้จะเจือจางลง สารดูดความชื้นที่เจือจางจะถูกส่งไประเหยน้ำออกที่เครื่องระเหยน้ำซึ่งจะทำให้สารดูดความชื้นกลับมา มีความเข้มข้นสูงขึ้น แต่ก็จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นด้วย จึงจำเป็นต้องมีการลดอุณหภูมิสารดูดความชื้นก่อนที่จะนำกลับไปดูดความชื้นอีกโดยการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำหล่อเย็นที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

การระเหยน้ำออกจากสารดูดความชื้นจะใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ โดยเครื่องระเหยที่ใช้เป็นแผงรับรังสีอาทิตย์แบบพาราโบลิกทรีฟท์ที่ไม่มีระบบหมุนเพื่อติดตามดวงอาทิตย์

น้ำหล่อเย็นที่ใช้ในระบบผลิตมาจากห่อฝังเย็นแบบไหลสวนทางกันขนาด 10 ตัน [10]

3. ขั้นตอนการศึกษา

การทดลองที่ใช้ในการศึกษานี้ [10] ใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 40% โดยมีมวลเป็นสารดูดความชื้น ควบคุมอัตราการไหลของอากาศภายในท่อของเครื่องระเหยน้ำไว้ที่ 0.0028 kg/s มีการแปรค่าอัตราการไหลของอากาศที่ต้องการดูดความชื้น 3 ค่า คือ 0.04, 0.06 และ 0.08 kg/s และมีการแปรค่าอัตราการไหลของสารดูดความชื้น 3 ค่า คือ 0.02, 0.07 และ 0.12 kg/s ค่าอัตราการไหลของสารดูดความชื้นต่ออัตราการไหลของอากาศ (L/G Ratio) อยู่ในช่วง 0.277 ถึง 2.77 การทดลองได้ทำในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคม 2554 โดยเก็บข้อมูลสถานะการทำงานที่จุดต่างๆ ในช่วงเวลา 8:00-17:00 น.

ประสิทธิภาพของกระบวนการดูดความชื้นสามารถหาได้จากอัตราส่วนของความสามารถในการดูดความชื้นจริง เทียบกับความสามารถในการดูดความชื้นทางทฤษฎีสูงสุดของเครื่องดูดความชื้น ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อ

อัตราส่วนความชื้นของอากาศที่ทางออกสมดุลกับสถานะของสารดูดความชื้นที่เข้าเครื่องดูดความชื้นดังสมการที่ 1

$$\alpha_{ab} = \frac{W_{a,in} - W_{a,out}}{W_{a,in} - W_{s,in}} \quad (1)$$

โดย $W_{a,in}$ = อัตราส่วนความชื้นของอากาศที่เข้าสู่เครื่องดูดความชื้น (kg_w/kg_{da})

$W_{a,out}$ = อัตราส่วนความชื้นของอากาศที่ออกจากเครื่องดูดความชื้น (kg_w/kg_{da})

$W_{s,in}$ = อัตราส่วนความชื้นอากาศที่สมดุลกับสถานะของสารดูดความชื้นที่เข้าเครื่องดูดความชื้น (kg_w/kg_{da})

Chung (1994) [11,12] ได้ศึกษาระบบดูดความชื้นที่ใช้สารดูดความชื้นชนิดเหลว โดยใช้สารละลายลิเทียมคลอไรด์และไตรเอทิลีนไกลคอลเป็นสารดูดความชื้น สำหรับเครื่องดูดความชื้นที่ใช้เป็นแบบแพ็คเบต โดยได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของกระบวนการดูดความชื้น และตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่างๆ ได้แก่ อัตราการไหลของอากาศและสารดูดความชื้น อุณหภูมิของอากาศและสารดูดความชื้นที่ทางเข้าของเครื่องดูดความชื้น ชนิดและขนาดของแพ็คเกจ และคุณสมบัติของสารดูดความชื้น โดยได้สร้างสมการทำนายประสิทธิภาพของกระบวนการดูดความชื้นดังสมการที่ 2

$$\alpha_{ab} = \left\{ 1 - \frac{0.205 \left(\frac{G_{a,in}}{G_{s,in}} \right)^{0.174} \exp \left[0.985 \left(\frac{T_{a,in}}{T_{s,in}} \right) \right]}{aZ^{0.184} \times 1.680} \right\} \left\{ 1 - \frac{0.152 \exp \left[0.686 \left(\frac{T_{a,in}}{T_{s,in}} \right) \right]}{x^{3.388}} \right\} \quad (2)$$

โดย $G_{a,in}$ = อัตราการไหลของอากาศขาเข้าของเครื่องดูดความชื้น (kg/s)

$G_{s,in}$ = อัตราการไหลของสารดูดความชื้นขาเข้าของเครื่องดูดความชื้น (kg/s)

$T_{a,in}$ = อุณหภูมิของอากาศขาเข้าของเครื่องดูดความชื้น ($^{\circ}C$)

$T_{s,in}$ = อุณหภูมิของสารดูดความชื้นขาเข้าของเครื่องดูดความชื้น ($^{\circ}C$)

a = อัตราส่วนพื้นที่ต่อปริมาตรของแพ็คเกจ (m^2/m^3)

X = สัดส่วนความดันไอลดของสารดูดความชื้น
ต่อน้ำบริสุทธิ์ (Fraction of Vapor Pressure
Depression of Desiccant Solution to Vapor
Pressure of Pure Water)

Martin and Goswami (2000) [13] ได้ศึกษา
ระบบดูดความชื้นที่ใช้สารดูดความชื้นชนิดเหลว โดย
เครื่องดูดความชื้นที่ใช้เป็นแบบแพ็คเบด และใช้
สารละลายไตรเอทิลีนไกลคอลเป็นสารดูดความชื้น
โดยได้ศึกษาถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อ
ประสิทธิภาพของกระบวนการดูดความชื้นและสร้าง
แบบจำลองไว้ดังสมการที่ 3

$$\alpha_{ab} = 1 - C_1 \left(\frac{G_{s,in}}{G_{a,in}} \right)^x \left(\frac{h_{a,in}}{h_{s,in}} \right)^y (aZ)^z \quad (3)$$

$$x = k_1 \frac{Y_s}{Y_0} + m_1$$

$$z = k_2 \frac{Y_s}{Y_0} + m_2$$

โดยค่าคงที่ต่างๆ ในสมการ คือ

$$C_1 = 48.3 \quad y = -0.751$$

$$k_1 = 0.396 \quad m_1 = -1.57$$

$$k_2 = 0.0331 \quad m_2 = -0.906$$

โดยที่ $h_{a,in}$ = เอนทัลปีของอากาศขาเข้าของเครื่องดูด
ความชื้น (kJ/kg)

$h_{s,in}$ = เอนทัลปีของสารดูดความชื้นขาเข้าของ
เครื่องดูดความชื้น (kJ/kg)

ทั้งนี้ ในการทดลองของ Chung (1994) และ
Martin and Goswami (2000) มีอัตราการไหลของสาร
ดูดความชื้นต่ออัตราการไหลของอากาศ (L/G ratio) อยู่
ในช่วง 3.5 ถึง 15.4

เมื่อนำผลการทดลองที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มา
ทำการวิเคราะห์เพื่อหาชุดค่าคงที่ในแบบจำลองของ
Chung (1994) และ Martin and Goswami (2000) ที่
เหมาะสมสำหรับสภาวะการทดลองด้วยการวิเคราะห์
แบบถดถอย (Regression Analysis) จะได้ผลดังสมการ
ที่ 4 และ 5 ตามลำดับ

$$\alpha_{ab} = \left\{ 1 - \frac{4.49 \left(\frac{G_{a,in}}{G_{s,in}} \right)^{0.055} \exp \left[0.832 \left(\frac{T_{a,in}}{T_{s,in}} \right) \right]}{aZ^{0.838} X^{0.733}} \right\} \left\{ 1 - \frac{0.215 \exp \left[0.868 \left(\frac{T_{a,in}}{T_{s,in}} \right) \right]}{X^{0.326}} \right\} \quad (4)$$

$$\alpha_{ab} = 1 - C_1 \left(\frac{G_{s,in}}{G_{a,in}} \right)^x \left(\frac{h_{a,in}}{h_{s,in}} \right)^y (aZ)^z \quad (5)$$

โดยที่

$$x = k_1 \frac{Y_s}{Y_0} + m_1$$

$$z = k_2 \frac{Y_s}{Y_0} + m_2$$

โดยค่าคงที่ต่างๆ ในสมการ คือ

$$C_1 = 5716.96 \quad y = -0.4822$$

$$k_1 = 1.0034 \quad m_1 = -1.647$$

$$k_2 = 3.9943 \quad m_2 = 3.2062$$

เมื่อหาค่าประสิทธิภาพของกระบวนการดูด
ความชื้นได้แล้ว สามารถนำมาใช้ทำนายค่าอัตราการดูด
ความชื้นได้ดังสมการที่ 6

$$\dot{m}_{w,ab} = \dot{m}_a \alpha_{ab} (W_{a,in} - W_{s,in}) \quad (6)$$

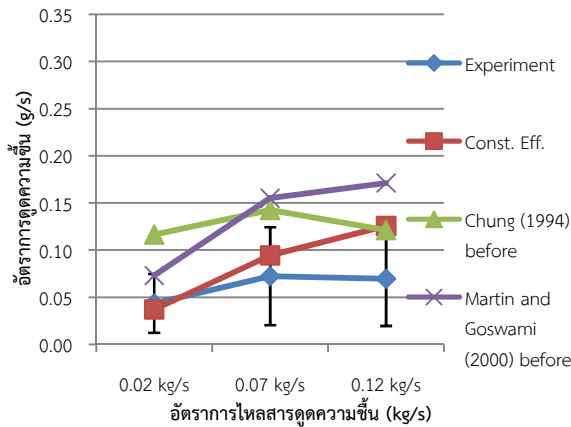
ในการศึกษานี้จะนำเสนอการเปรียบเทียบผล
การทำนายค่าอัตราการดูดความชื้น 3 กรณี ได้แก่ กรณี
ที่ 1 เมื่อกำหนดให้ค่าประสิทธิภาพของกระบวนการดูด
ความชื้นคงที่ กรณีที่ 2 เมื่อใช้แบบจำลองของ Chung
(1994) และ Martin and Goswami (2000) ก่อน
ปรับปรุงชุดค่าคงที่ที่เหมาะสมกับชนิดของสารดูด
ความชื้นและสภาวะการทำงานจริง และกรณีที่ 3 เมื่อใช้
แบบจำลองของ Chung (1994) และ Martin and
Goswami (2000) หลังปรับปรุงชุดค่าคงที่เทียบกับ
อัตราการดูดความชื้นจากผลการทดลองจริง

4. ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผลการศึกษา

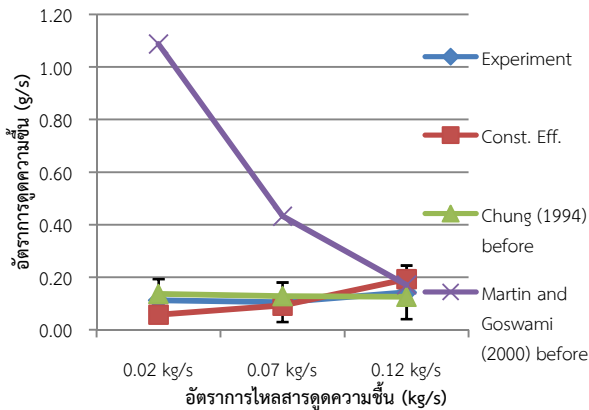
รูปที่ 2 ถึง 4 แสดงผลการทำนายอัตราการดูด
ความชื้นเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ 1 และ 2 และผล
การทดลองจริงซึ่งได้แสดงค่าความคลาดเคลื่อน (Error
Bar) เอาไว้ด้วย โดยมีการแปรค่าอัตราการไหลของสาร
ดูดความชื้นที่ 0.02, 0.07 และ 0.12 kg/s และแปรค่า
อัตราการไหลของอากาศที่ 0.04, 0.06 และ 0.08 kg/s
จากรูปจะเห็นได้ว่า ในกรณีแรกที่ใช้ค่าประสิทธิภาพเป็น
ค่าคงที่มีค่าที่อยู่ในช่วงความคลาดเคลื่อนของการวัด



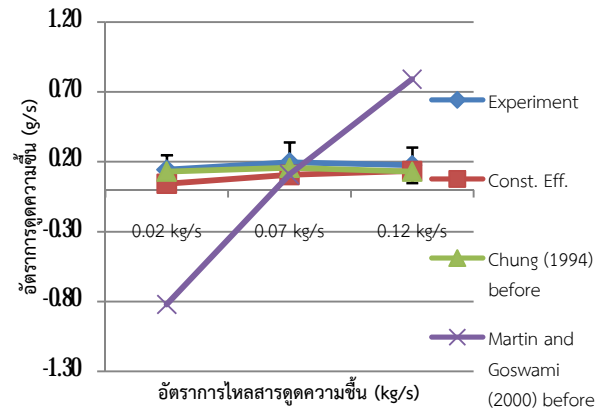
เนื่องจากค่าประสิทธิภาพที่ใช้เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองจริง ในกรณีที่ใช้แบบจำลองของ Chung (1994) ได้ผลลัพธ์ที่มีค่าอยู่ในช่วงความคลาดเคลื่อนจากการวัด เฉพาะที่อัตราการไหลของอากาศสูงเท่านั้นดังรูปที่ 3 และ 4 ส่วนในกรณีที่ใช้แบบจำลองของ Martin and Goswami (2000) การทำนายอัตราการดูดความชื้นไม่เข้าใกล้ค่าที่วัดได้จริงเลย แสดงให้เห็นถึงความไม่เหมาะสมของชุดค่าคงที่ที่ใช้



รูปที่ 2 อัตราการดูดความชื้นกรณีก่อนปรับปรุงชุดค่าคงที่ ที่อัตราการไหลอากาศ 0.04 kg/s

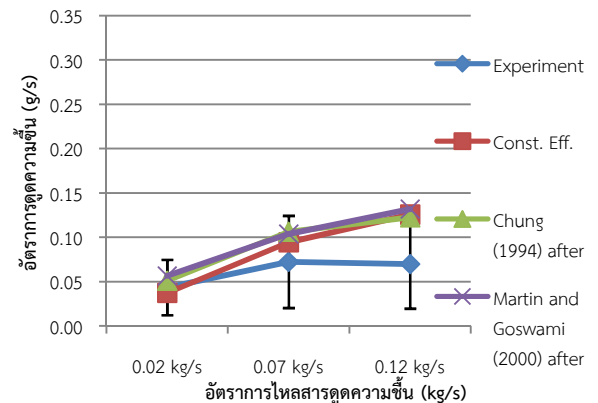


รูปที่ 3 อัตราการดูดความชื้นกรณีก่อนปรับปรุงชุดค่าคงที่ ที่อัตราการไหลอากาศ 0.06 kg/s

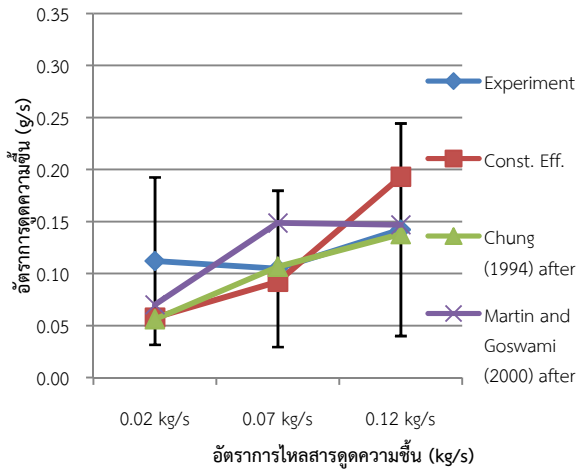


รูปที่ 4 อัตราการดูดความชื้นกรณีก่อนปรับปรุงชุดค่าคงที่ ที่อัตราการไหลอากาศ 0.08 kg/s

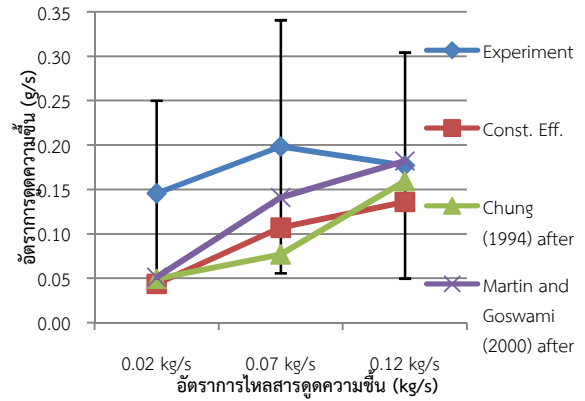
ตารางที่ 1 แสดงค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของผลต่างระหว่างอัตราการดูดความชื้นที่ได้จากแบบจำลองต่างๆ ก่อนปรับปรุงชุดค่าคงที่กับค่าจากการทดลองจริง โดยหากค่า RMSE มีค่าน้อยและไม่เกินค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดในผลการทดลองจริง สามารถถือได้ว่าแบบจำลองทำนายค่าได้แม่นยำใกล้เคียงกับผลจริง



รูปที่ 5 อัตราการดูดความชื้นกรณีหลังปรับปรุงชุดค่าคงที่ ที่อัตราการไหลอากาศ 0.04 kg/s



รูปที่ 6 อัตราการดูดความชื้นกรณีหลังปรับปรุงชุดค่าคงที่ ที่อัตราการไหลอากาศ 0.06 kg/s



รูปที่ 7 อัตราการดูดความชื้นกรณีหลังปรับปรุงชุดค่าคงที่ ที่อัตราการไหลอากาศ 0.08 kg/s

ตารางที่ 1 ค่า RMSE ของการทำนายอัตราการดูดความชื้นก่อนปรับปรุงชุดค่าคงที่ในแบบจำลอง

Air flow rate \ Desiccant flow rate	Constant effectiveness			Chung (1994) before			Martin and Goswami (2000) before		
	0.04 kg/s	0.06 kg/s	0.08 kg/s	0.04 kg/s	0.06 kg/s	0.08 kg/s	0.04 kg/s	0.06 kg/s	0.08 kg/s
0.02 kg/s	0.040	2.970	10.395	5.308	3.170	9.230	0.878	951.130	933.001
0.07 kg/s	0.486	0.159	8.338	4.924	0.003	14.801	6.839	107.125	1.007
0.12 kg/s	3.124	2.571	1.690	2.649	0.018	0.316	10.298	0.800	378.202

ตารางที่ 2 ค่า RMSE ของการทำนายอัตราการดูดความชื้นหลังปรับปรุงชุดค่าคงที่ในแบบจำลอง

Air flow rate \ Desiccant flow rate	Constant effectiveness			Chung (1994) after (g/s)			Martin and Goswami (2000) after		
	0.04 kg/s	0.06 kg/s	0.08 kg/s	0.04 kg/s	0.06 kg/s	0.08 kg/s	0.04 kg/s	0.06 kg/s	0.08 kg/s
0.02 kg/s	0.040	2.970	10.395	0.056	0.595	0.247	0.169	1.777	8.923
0.07 kg/s	0.486	0.159	8.338	1.153	0.264	0.167	0.988	1.325	0.020
0.12 kg/s	3.124	2.571	1.690	2.791	0.169	0.215	3.867	1.206	1.330

รูปที่ 5 ถึง 7 แสดงผลการทำนายอัตราการดูดความชื้น เปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ 1 และ 3 และผลการทดลองจริง โดยจะเห็นได้ว่าค่าอัตราการดูดความชื้นที่ทำนายได้เมื่อใช้แบบจำลองของ Chung (1994) และ Martin and Goswami (2000) ที่ได้รับการปรับปรุงชุดค่าคงที่ที่เหมาะสมกับสภาวะการทำงานแล้วมีค่าอยู่ในช่วงความคลาดเคลื่อนจากการวัดทุกกรณี ดังนั้นการปรับปรุงชุดค่าคงที่ที่เหมาะสมกับสภาวะการทำงานทำให้การทำนายอัตราการดูดความชื้นมีความแม่นยำมากขึ้น

ตารางที่ 2 แสดงค่า RMSE ของผลต่างระหว่างอัตราการดูดความชื้นที่ได้จากแบบจำลองต่างๆ หลัง

ปรับปรุงชุดค่าคงที่กับค่าจากการทดลองจริง จะเห็นได้ว่าค่า RMSE มีค่าลดลงมาก เพราะฉะนั้นการปรับปรุงชุดค่าคงที่ที่เหมาะสมกับสภาวะการทำงานจึงมีความสำคัญและจะทำให้สามารถทำนายอัตราการดูดความชื้นได้แม่นยำมากขึ้น

5. สรุป

จากการศึกษาการทำนายอัตราการดูดความชื้นของกระบวนการดูดความชื้นอากาศที่ใช้สารดูดความชื้นชนิดเหลวและเครื่องดูดความชื้นแบบแพ็คเบด โดยใช้แบบจำลองทำนายประสิทธิภาพของกระบวนการดูดความชื้นจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า เมื่อกำหนดให้ประสิทธิภาพของกระบวนการดูดความชื้นเป็นค่าคงที่

ค่าที่ได้จะอยู่ในช่วงของค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดก็ต่อเมื่อค่าประสิทธิภาพที่นำมาใช้นั้นต้องเป็นค่าที่เหมาะสม เช่น ค่าเฉลี่ยจากการทดลองจริง ส่วนกรณีที่ใช้แบบจำลองที่มีการปรับปรุงชุดค่าคงที่ให้เหมาะสมกับชนิดของสารดูดความชื้นและสภาวะการทำงานพบว่าค่าอัตราการดูดความชื้นที่ทำนายได้มีความแม่นยำกว่าแบบจำลองก่อนปรับปรุงมากพอสมควร ดังนั้นการปรับปรุงชุดค่าคงที่ในแบบจำลองจึงมีความสำคัญ โดยในงานนี้ได้เสนอชุดค่าคงที่ในแบบจำลองทำนายประสิทธิภาพของกระบวนการดูดความชื้นของ Chung (1994) (สมการที่ 4) และ Martin and Goswami (2000) (สมการที่ 5) ที่เหมาะสมกับกระบวนการที่ใช้เครื่องดูดความชื้นแบบแพ็คเบด ใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 40% โดยมีมวลเป็นสารดูดความชื้น อัตราการไหลอากาศอยู่ในช่วง 0.04 ถึง 0.08 kg/s และอัตราการไหลของสารดูดความชื้นอยู่ในช่วง 0.02 ถึง 0.12 kg/s ซึ่งคิดเป็นค่า L/G Ratio ในช่วง 0.277 ถึง 2.77

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่เป็นผู้ให้ทุนในการพัฒนาระบบและดำเนินการวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Chirarattananon, S. (2005). *Building for Energy Efficiency*, Asian Institute of Technology & Energy Policy and Planning Office, Bangkok, Thailand.
- [2] ASHRAE (2004). *ANSI/ASHRAE Standard 55-2004: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA.
- [3] Katejanekarn, T. and Kumar, S. (2008). Performance of a solar-regenerated liquid desiccant ventilation pre-conditioning system, *Energy and Buildings*, vol. 40(7), July 2008, pp. 1252 – 1267.
- [4] Katejanekarn, T. (2008). *A Liquid Desiccant Air Conditioning System for Buildings in Hot and Climate*, Doctoral Dissertation, Energy

Technology, School of Environment, Resources and Development, Asian Institute of Technology, Pathumthani, Thailand.

- [5] จักรพันธ์ กันชนะ และ ชาญณรงค์ เปราปรามอทย (2553). การทดสอบสมรรถนะของกระบวนการดูดความชื้นอากาศที่ใช้สารดูดความชื้นชนิดเหลว, นครปฐม: ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [6] ธนาวิทย์ สีนอก และ สมฤทัย น้อมชอบ (2554). การทดสอบสมรรถนะของกระบวนการดูดความชื้นและกระบวนการระเหยน้ำของระบบดูดความชื้นอากาศที่ใช้สารดูดความชื้นชนิดเหลว, นครปฐม: ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [7] Brandemuehl, M.J. and Katejanekarn, T. (2004). Dehumidification characteristics of commercial building applications. *ASHRAE Transactions*, vol. 110(Part 2), pp. 65 – 76.
- [8] ทสพล เขตเจนการ (2554). สมรรถนะของระบบดูดความชื้นอากาศด้วยสารดูดความชื้นชนิดเหลวที่ใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์, *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25*, โรงแรมอ่าวนางวิลล่า รีสอร์ท, จังหวัดกระบี่
- [9] บรรจบพร ไชยนคร, กรวิทย์ ต่วนป้องค้าย และประสิทธิ์ชัย กาญจนสวัสดิ์ (2552). การออกแบบ สร้าง และศึกษาสมรรถนะของเครื่องระเหยน้ำแบบพาราโบลิคสำหรับใช้กับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์, นครปฐม: ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [10] ภรณ์ ทวีภักย์, ภาณุพงศ์ ทศศรี และอรษา สุขลิ้ม (2552). การออกแบบ สร้าง และศึกษาสมรรถนะของเครื่องดูดความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์, นครปฐม: ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [11] Chung, T.W. (1994). Predictions of the moisture removal efficiencies for packed-bed dehumidification systems, *Gas Separation & Purification*, vol. 8(4), pp. 265 – 268.

[12] 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.

[13] Martin, V. and Goswami, D.Y. (2000). Effectiveness of heat and mass transfer processes in a packed bed liquid desiccant dehumidifier/regenerator. *HVAC&R Research*, vol. 6(1), January 2000, pp. 21 – 39.