

การศึกษาผลของการลดความชื้นในฟลูอิดไชน์เบดและเบดบรรจุ เพื่อการออกแบบเครื่องผลิตอากาศแห้งแบบต่อเนื่อง

Effect of Dehumidification in Fluidized Bed and Packed Bed for Designing Continuous Dehumidifier

ศิริพันธ์ มุรธาชัยลักษณ์* นัชนพล ไม้ขุน* ธนทัต ศิริสุวรรณโชติ*

*ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

E-mail: siripan.mu@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

การลดความชื้นในอากาศด้วยเครื่องผลิตอากาศแห้งแบบต่อเนื่องเป็นกระบวนการดูดซับแบบสลับอุณหภูมิ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบเครื่องผลิตอากาศแห้งแบบต่อเนื่องขับเคลื่อนด้วยความร้อนเหลือทิ้ง ตัวดูดซับที่เลือกใช้คือ ซิลิกาเจล โดยได้ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการดูดซับและคายซับความชื้น ได้แก่ ความสูงของซิลิกาเจลในกระบวนการดูดซับ ความเร็วของอากาศในกระบวนการดูดซับ-คายซับ และอุณหภูมิของอากาศร้อนในกระบวนการคายซับ โดยเปรียบเทียบการออกแบบหอดูดซับและคายซับแบบสภาวะฟลูอิดไชน์เบดและสภาวะเบดบรรจุ จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการดูดซับความชื้น คือ สภาวะฟลูอิดไชน์เบดที่ความเร็วของอากาศและความสูงของซิลิกาเจลมีค่ามาก เนื่องจากการดูดซับที่สภาวะฟลูอิดไชน์เบดมีค่าความดันตกคร่อมและอุณหภูมิของอากาศขาออกที่ต่ำกว่าที่สภาวะเบดบรรจุ สภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการคายซับความชื้น คือ อุณหภูมิ 70 - 80 องศาเซลเซียส ความเร็วของอากาศร้อนมีค่าสูงแต่ไม่เกิน 0.86 เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นค่าความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไชน์

คำสำคัญ : ลดความชื้น, สารดูดความชื้นชนิดของแข็ง, ซิลิกาเจล

Abstract

Dehumidification with continuous dehumidifier is the temperature swing adsorption process. The objective of this study is to evaluate the optimal condition to design continuous dehumidifier driven by waste heat. The adsorbent was silica gel. This experiment studied parameters that affect the efficiency of adsorption process and desorption process. The parameters were height of silica gel in adsorption process, velocity of air in adsorption - desorption process and temperature of hot air in desorption process. This study compared between fluidized bed and packed bed. The results showed that the optimal condition for adsorption process is fluidized bed at high air velocity and high height of silica gel. As a result, the pressure drop and exit air temperature of fluidized bed are lower than of packed bed. The optimal condition for the desorption process is 70-80 °C with high velocity, which does not exceed minimum fluidization velocity of 0.86 m/s

Keywords : dehumidification, solid desiccant, silica gel

1. บทนำ

สำหรับอุตสาหกรรมที่ต้องการเก็บรักษาคุณภาพของวัตถุดิบหรือสินค้าให้มีอายุการใช้งานได้ยาวนาน จำเป็นจะต้องมีการควบคุมระดับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่เหมาะสม การลดความชื้นของอากาศในปัจจุบันที่นิยมใช้งานมีอยู่ 2 ระบบ [1] คือ ระบบทำความเย็นเชิงกล (Mechanical Refrigeration) ซึ่งเหมาะสมสำหรับการลดความชื้นในอากาศที่มีความชื้นและอุณหภูมิสูง และระบบลดความชื้นโดยใช้สารดูดความชื้น (Desiccant Dehumidification) ซึ่งเหมาะสมสำหรับการลดความชื้นในอากาศที่มีความชื้นและอุณหภูมิต่ำ หากมีการใช้ระบบทำความเย็นเชิงกลเพื่อลดความชื้นในอากาศให้ต่ำกว่า 40% ความชื้นสัมพัทธ์ จะทำให้เกิดน้ำแข็งบนคอยล์เย็น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดความชื้นลดลง ดังนั้น หากใช้ระบบนี้ควรมีช่วงของการไล่น้ำแข็งออกจากคอยล์เย็น (Defrost Cycle) หรือวิธีอื่นๆ ซึ่งทำให้ระบบซับซ้อนและมีราคาแพง ดังนั้นการใช้ระบบลดความชื้นโดยใช้สารดูดความชื้นสำหรับการลดความชื้นในอากาศที่มีความชื้นและอุณหภูมิต่ำจะให้ประสิทธิภาพสูงกว่า นอกจากนี้ การนำระบบลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นมาใช้ร่วมกับระบบปรับอากาศ [2] ซึ่งทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าระบบปรับอากาศด้วยวิธีอัดไอ แต่ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์นั้น ระบบปรับอากาศด้วยวิธีลดความชื้นยังไม่เป็นที่นิยมมากนัก เพราะมีต้นทุนสูง และระยะเวลาการคืนทุนที่นาน

ระบบลดความชื้นโดยใช้สารดูดความชื้น ได้แก่ ระบบลดความชื้นโดยใช้สารดูดความชื้นชนิดของแข็ง และระบบลดความชื้นโดยใช้สารดูดความชื้นชนิดของเหลว ซึ่งมีจุดเด่นและจุดด้อยของแต่ละระบบดังแสดงในตารางที่ 1 ระบบลดความชื้นโดยใช้สารดูดความชื้นชนิดของแข็งที่นิยมใช้กันมาก คือ วงล้อดูดความชื้น (Desiccant Wheel) มีส่วนประกอบหลัก คือ ชุดวงล้อบรรจุสารดูดความชื้นขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ และฮีตเตอร์ในการให้ความร้อนแก่อากาศเพื่อใช้ในการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้น ทำให้ต้องใช้พลังงานสูงมากและผลที่ตามมา คือ อากาศแห้งที่ได้จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นมาก โดย

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติของระบบลดความชื้นโดยใช้สารดูดความชื้นชนิดของแข็งและของเหลว [3]

คุณสมบัติ	ชนิดของระบบลดความชื้น	
	สารดูดความชื้นชนิดของแข็ง	สารดูดความชื้นชนิดของเหลว
กลไกการลดความชื้น	การดูดซับ	การดูดซึม
ความดันตกคร่อมของระบบ	สูง	ต่ำ
ความร้อนในการฟื้นฟูสารดูดซับ	สูง	ต่ำ
ความซับซ้อนของระบบ	ไม่ซับซ้อน	ซับซ้อน
การกัดกร่อน	ไม่กัดกร่อน	บางชนิดกัดกร่อน
การปนเปื้อนของสารดูดความชื้นในอากาศแห้ง	ไม่ปนเปื้อน	อาจจะปนเปื้อน
ตัวอย่างสารดูดความชื้น	ซิลิกาเจล โมเลกุลาร์ซีฟ แคลเซียมซัลเฟต	สารละลาย ลิเทียมคลอไรด์ ไตรเอทิลีน-ไกลคอล

เพิ่มขึ้นประมาณ 10-25 องศาเซลเซียสจากอุณหภูมิห้อง [4] อีกทั้งการบรรจุสารดูดความชื้นในวงล้อดูดความชื้นมีลักษณะเป็นเบดบรรจุ (packed bed) ทำให้มีค่าความดันตกคร่อมสูง การนำฟลูอิดไคซ์เบด (fluidized bed) มาใช้แทนเบดบรรจุ เป็นแนวทางหนึ่งในการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบลดความชื้น [5]

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการดูดซับและคายความชื้นเพื่อนำผลที่ได้จากการทดลองมาใช้สำหรับการออกแบบเครื่องผลิตอากาศแห้งแบบต่อเนื่องขับเคลื่อนด้วยความร้อนเหลือทิ้ง ตัวดูดซับที่นำมาใช้คือซิลิกาเจล เนื่องจากเป็นตัวดูดซับที่มีราคาถูก มีความสามารถในการดูดซับความชื้นได้ประมาณ 35-50% และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยการคายความชื้นออกด้วยการให้ความร้อน การทดลองได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการดูดซับและคายสำหรับสภาวะฟลูอิดไคซ์เบดและสภาวะเบดบรรจุ ตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่ ความสูงของตัวดูดซับ ความเร็วของอากาศในกระบวนการดูดซับและคาย อุณหภูมิของอากาศร้อนที่ใช้ในการคาย ซึ่งเมื่ออุณหภูมิของอากาศร้อนสูงขึ้น อัตราการคาย

จะเพิ่มขึ้นด้วย [6] การใช้อุณหภูมิสำหรับการคายซับที่ไม่สูงเกินไป ทำให้สามารถออกแบบระบบให้มีการใช้ความร้อนเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต เช่น ความร้อนจากคอนเดนเสทมาใช้ในการคายซับความชื้นได้ ทั้งนี้เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานและเกิดประโยชน์ต่อภาคอุตสาหกรรมที่มีความร้อนเหลือทิ้งและมีความต้องการระบบการควบคุมความชื้น ทำให้สามารถเกิดการต่อยอดในเชิงพาณิชย์ในอนาคตต่อไป

2. ทฤษฎี

เมื่อมีของไหลเคลื่อนที่เข้าทางด้านล่างของคอลัมน์ที่ภายในมีอนุภาคของแข็งบรรจุอยู่ หากใช้ความเร็วของของไหลต่ำ อนุภาคจะอยู่กับที่เรียกว่าเบดบรรจุ และเมื่อเพิ่มความเร็วของของไหลขึ้นไปเรื่อยๆ ถึงจุดหนึ่งที่อนุภาคเริ่มเคลื่อนไหวนไหว ความเร็วของของไหลในสภาวะนี้เรียกว่า ความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดไรซ์ (u_{mf}) [7] สำหรับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 มิลลิเมตร

$$u_{mf} = \left(\frac{\varepsilon_{mf}^3 \varphi_s d_p}{1.75 \rho_g} (\rho_s - \rho_g) g \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

ค่าความดันตกคร่อมสำหรับสภาวะเบดบรรจุและฟลูอิดไรซ์เบดหาได้จากสมการที่ (2) และ (3) ตามลำดับ [8]

$$\frac{\Delta P}{H} = 150 \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \frac{\mu U}{(\varphi_s d_p)^2} + 1.75 \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon^3} \frac{\rho_f U^2}{\varphi_s d_p} \quad (2)$$

$$\frac{\Delta P}{L_{mf}} = (1 - \varepsilon_{mf})(\rho_p - \rho_f)g \quad (3)$$

เมื่อทราบปริมาณความชื้นในอากาศที่ทางเข้าและออกของเบดจะทำให้สามารถคำนวณหาค่าปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับได้จากสมการที่ (4) และ (5)

$$m_{ad} = AU(\rho_a Y_a - \rho_b Y_b) \quad (4)$$

$$M_{ad} = \int_0^t m_{ad} dt \quad (5)$$

เมื่อ M_{ad} คือ ค่าปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับ A คือ พื้นที่หน้าตัดของคอลัมน์ U คือ ความเร็วของอากาศ ρ_a, ρ_b คือ ความหนาแน่นของอากาศขาเข้าและขาออกตามลำดับ

Y_a, Y_b คือ ค่าปริมาณความชื้นในอากาศขาเข้าและขาออกตามลำดับ โดยการหาค่าปริมาณความชื้นในอากาศคำนวณได้จากสมการที่ (6)

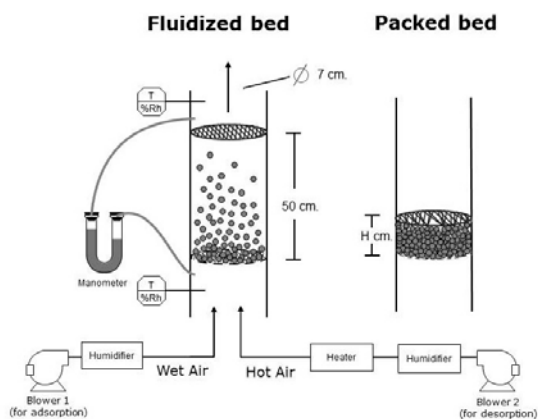
$$Y = 0.622 RH \cdot P_v / (P - RH \cdot P_v) \quad (6)$$

เมื่อ Y คือ ความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศ (กิโลกรัมไอน้ำ/กิโลกรัมอากาศแห้ง) RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (สัดส่วน) P_v คือ ความดันไอของน้ำ (ปาสคาล)

3. วิธีดำเนินงาน

ใช้ท่ออะคริลิกใสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 เซนติเมตร สำหรับบรรจุซิลิกาเจล (ขนาดเฉลี่ย 3.5 มิลลิเมตร ความหนาแน่น 0.68 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร) โดยที่ทางเข้าและทางออกของท่อมีตะแกรงละเอียดติดตั้งไว้ ระยะห่างของตะแกรงสำหรับการทดลองในสภาวะฟลูอิดไรซ์เบด คือ 50 เซนติเมตร และระยะห่างของตะแกรงสำหรับสภาวะเบดบรรจุ คือ ค่าความสูงของซิลิกาเจล (H) ทำให้เมื่อความเร็วอากาศเพิ่มขึ้น ซิลิกาเจลในเบดบรรจุจึงไม่ประพัตต์แบบฟลูอิดไรซ์ อุณหภูมิและความชื้นของอากาศที่ใช้ในการทดลองถูกควบคุมให้มีค่าประมาณ 33 องศาเซลเซียส และ 20 กรัม/น้ำต่อกิโลกรัมอากาศแห้งตามลำดับ ทำการติดตั้งமானอมิเตอร์รูปตัวยูเพื่อใช้ในการวัดค่าความดันตกคร่อม ใช้ฮีทเตอร์สำหรับเพิ่มอุณหภูมิของอากาศสำหรับกระบวนการคายซับ อุปกรณ์สำหรับวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศถูกติดตั้งไว้ที่ทางเข้าและทางออกของชุดทดลอง ความเร็วลมของอากาศถูกปรับด้วยอินเวอร์เตอร์ที่ต่ออยู่กับเครื่องเป่าลม ชุดอุปกรณ์สำหรับทดลอง แสดงดังรูปที่ 1 โดยก่อนทำการทดลอง ซิลิกาเจลถูกนำไปอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงและทิ้งไว้ให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง

ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับความชื้นในอากาศด้วยซิลิกาเจลสำหรับสภาวะฟลูอิดไรซ์เบดและสภาวะเบดบรรจุ ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ ความสูงของซิลิกาเจลที่ 5 – 12.5 เซนติเมตร และความเร็วของอากาศที่ 0.5 – 2 เมตรต่อวินาที โดยทำการดูดซับความชื้นที่สภาวะต่างๆ



รูปที่ 1 ชุดการทดลองการดูดซับและคายซับสำหรับสภาวะฟลูอิด์เบดและสภาวะเบดบรรจุ

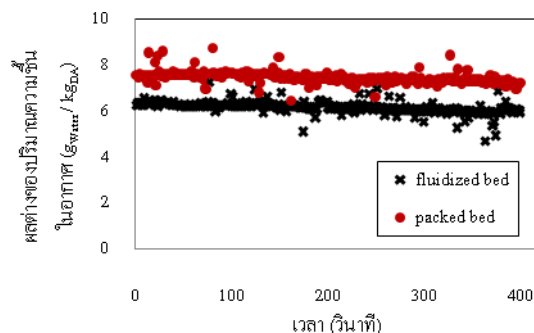
เป็นเวลา 5 นาที ประสิทธิภาพของการดูดซับความชื้นแสดงในรูปของปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับด้วยซิลิกาเจล (มวลของซิลิกาเจลที่เพิ่มขึ้นภายหลังการดูดซับ) ค่าความดันตกคร่อม และปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเครื่องเป่าอากาศ

ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการคายซับความชื้น ได้แก่ ผลของความเร็วและอุณหภูมิของอากาศร้อนโดยทำการทดลองดูดซับความชื้นในอากาศที่ความเร็วอากาศ 1.5 เมตรต่อวินาที ความสูงของซิลิกาเจล 10 เซนติเมตร ในสภาวะฟลูอิด์เบด เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นจึงทำการคายซับที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส และความเร็วลมร้อนที่ 0.25 - 1.00 เมตรต่อวินาทีเป็นเวลา 5 นาที ประสิทธิภาพของการคายซับความชื้นแสดงในรูปของอัตราส่วนระหว่างปริมาณความชื้นที่ถูกคายซับออกจากซิลิกาเจล (มวลของซิลิกาเจลที่ลดลงภายหลังการคายซับ) ต่อค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า

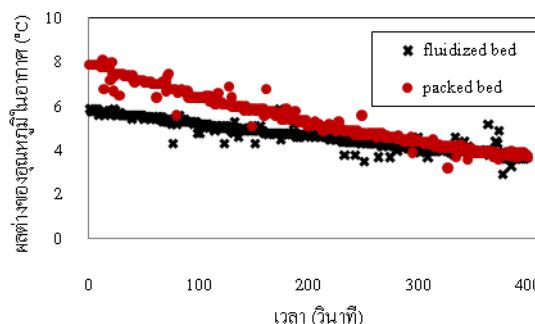
4. ผลการศึกษา/การทดลอง

4.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับความชื้นของซิลิกาเจล

จากการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับความชื้นด้วยซิลิกาเจล เมื่อทำการวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่บริเวณทางเข้าและออกจากส่วนการดูดซับ พบว่าการดูดซับความชื้นที่สภาวะฟลูอิด์เบด มีค่าผลต่างของปริมาณความชื้นในอากาศ



รูปที่ 2 ผลต่างของปริมาณความชื้นในอากาศก่อนและหลังการดูดซับ



รูปที่ 3 ผลต่างของอุณหภูมิอากาศก่อนและหลังการดูดซับ

ก่อนและหลังการดูดซับต่ำกว่าการดูดซับที่สภาวะเบดบรรจุ ดังแสดงผลในรูปที่ 2 ดังนั้นปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับในสภาวะฟลูอิด์เบดมีปริมาณที่ต่ำกว่าในสภาวะเบดบรรจุ และเนื่องจากการดูดซับความชื้นด้วยซิลิกาเจลเป็นปฏิกิริยาการคายความร้อน ส่งผลให้ค่าความร้อนที่ได้จากการดูดซับความชื้นด้วยการดูดซับแบบฟลูอิด์เบดมีค่าต่ำกว่าแบบเบดบรรจุ ทำให้ผลต่างของอุณหภูมิอากาศก่อนและหลังการดูดซับสำหรับการดูดซับความชื้นด้วยสภาวะฟลูอิด์เบดมีค่าต่ำกว่าสภาวะเบดบรรจุ ดังแสดงในรูปที่ 3

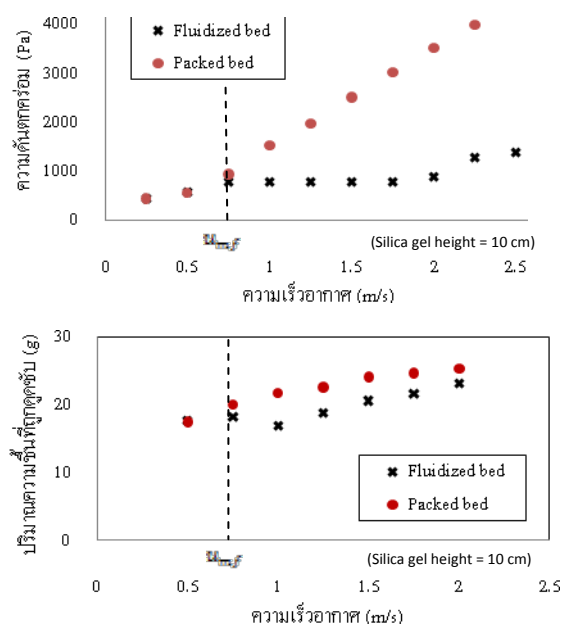
จากรูปที่ 4 พบว่าเมื่อความเร็วอากาศเพิ่มขึ้นที่สภาวะเบดบรรจุค่าความดันตกคร่อมมีค่าสูงขึ้นอย่างมาก แต่ที่สภาวะฟลูอิด์เบดค่าความดันตกคร่อมมีค่าสูงขึ้นในช่วงแรกและเริ่มคงที่เมื่อความเร็วอากาศมีค่าสูงกว่าความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิด์เบด จนกระทั่งที่ความเร็วอากาศที่สูงมากพอ ทำให้เม็ดซิลิกาเจลขึ้นไปติดที่บริเวณตะแกรงด้านบนในลักษณะเบดบรรจุส่งผลให้ค่าความดันตกคร่อมมีค่าสูงขึ้นอีกครั้ง ที่ค่าความเร็วอากาศเท่ากันการดูดซับในสภาวะฟลูอิด์เบดมีความดันตกคร่อมต่ำกว่า

สภาวะเบคบรรจ และเมื่อพิจารณาความเร็วอากาศขึ้นที่ส่งผลต่อปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับ พบว่าเมื่อความเร็วอากาศขึ้นมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับของทั้งสองสภาวะเพิ่มขึ้นด้วย แต่ที่ความเร็วอากาศเท่ากัน ปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับในสภาวะเบคบรรจุมีค่าสูงกว่าสภาวะฟลูอิด์เบค

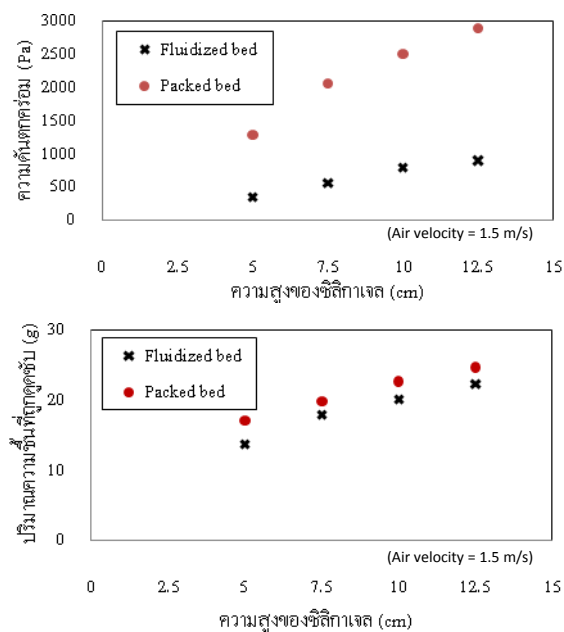
จากรูปที่ 5 พบว่าการเพิ่มความสูงของซิลิกาเจลที่ใช้ในการดูดซับทำให้ปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับของสภาวะฟลูอิด์เบคและสภาวะเบคบรรจุมีค่าสูงขึ้น เมื่อพิจารณาค่าความดันตกคร่อมของระบบ พบว่าเมื่อเพิ่มความสูงของซิลิกาเจล ค่าความดันตกคร่อมในสภาวะเบคบรรจุจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมาก แต่ในสภาวะ ฟลูอิด์เบคค่าความดันตกคร่อมที่ใช้ในการดูดซับสามารถเพิ่มปริมาณการดูดซับความชื้นได้แต่จะส่งผลให้ค่าความดันตกคร่อมของระบบมีค่าเพิ่มขึ้น แม้ว่าที่ความสูงของซิลิกาเจลเท่ากันการดูดซับในสภาวะฟลูอิด์เบคจะดูดซับความชื้นได้น้อยกว่าในสภาวะเบคบรรจุ แต่จากการทดลองพบว่า การเพิ่มความสูงของซิลิกาเจล ในสภาวะฟลูอิด์เบคให้มากขึ้นทำให้

ปริมาณการดูดซับความชื้นมีค่าสูงกว่าการดูดซับความชื้นที่สภาวะเบคบรรจุที่ความสูงของซิลิกาเจลน้อย ดังจะเห็นได้จากผลการทดลองเพื่อหาปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับของสภาวะฟลูอิด์เบคที่ความสูงของซิลิกาเจล 12.5 เซนติเมตร กับสภาวะเบคบรรจุที่ความสูงของซิลิกาเจล 5 เซนติเมตร มีค่า 22.2 และ 17.0 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ค่าความดันตกคร่อมของสภาวะทั้งสองเท่ากับ 892 และ 1,285 ปาสคาล ตามลำดับ ดังนั้นการเพิ่มความสูงของซิลิกาเจลในสภาวะฟลูอิด์เบค ไม่ทำให้ค่าความดันตกคร่อมของระบบสูงกว่าในสภาวะเบคบรรจุ

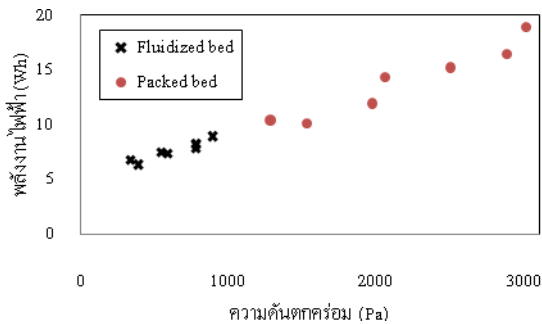
จากรูปที่ 6 พบว่าการดูดซับความชื้นของสภาวะฟลูอิด์เบคและสภาวะเบคบรรจุมีค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเครื่องเป่าอากาศสูงขึ้นตามความดันตกคร่อมที่เพิ่มขึ้น โดยการดูดซับความชื้นที่สภาวะฟลูอิด์เบคจะสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าการดูดซับความชื้นที่สภาวะเบคบรรจุ เนื่องจากการดูดซับความชื้นที่สภาวะฟลูอิด์เบคจะมีค่าความดันตกคร่อมต่ำกว่าที่สภาวะเบคบรรจุมาก



รูปที่ 4 ผลของความเร็วของอากาศต่อความดันตกคร่อมและปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับ



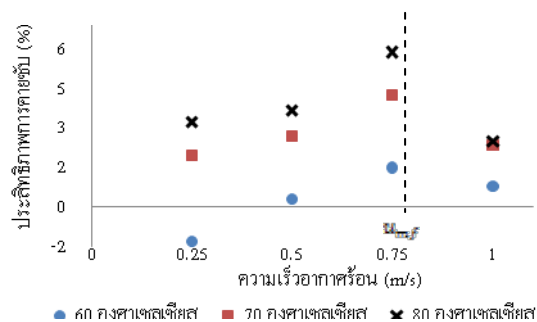
รูปที่ 5 ผลของความสูงของซิลิกาเจลต่อความดันตกคร่อมและปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับ



รูปที่ 6 ผลของค่าความดันตกคร่อมต่อพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเครื่องเป่าอากาศ

ตารางที่ 2 ผลของความเร็วและอุณหภูมิของอากาศร้อนต่อประสิทธิภาพการคายซับความชื้นของซิลิกาเจล

ความเร็ว อากาศร้อน (m/s)	อุณหภูมิ การคายซับ (°C)	ปริมาณความชื้น ที่ถูกคายซับ (g _{H2O})	พลังงาน ที่ใช้ (Wh)
0.25	60	- 0.61	47.09
0.5	60	0.2	63.30
0.75	60	1.11	73.92
1	60	0.65	81.4
0.25	70	1.05	53.42
0.5	70	1.87	69.30
0.75	70	3.54	83.43
1	70	2.28	96.2
0.25	80	2.57	79.29
0.5	80	3.47	94.29
0.75	80	5.73	97.49
1	80	2.62	104.7



รูปที่ 7 ประสิทธิภาพการคายซับความชื้นที่สภาวะต่างๆ

4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการคายซับความชื้นของซิลิกาเจล

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการคายซับความชื้นของซิลิกาเจล โดยนำซิลิกาเจลไปทำการดูดซับที่สภาวะฟลูอิดไซ์เบด จากนั้นทำการคายซับที่สภาวะต่างๆ โดยทำการทดลองที่ความเร็วของอากาศร้อนในช่วง 0.25 ถึง 1 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิที่ใช้ในการคายซับ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพในการคายความชื้นของซิลิกาเจลถูกแสดงในรูปของอัตราส่วนระหว่างปริมาณความชื้นที่ถูกคายซับต่อผลรวมของค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเครื่องเป่าและฮีตเตอร์ ดังแสดงผลในตารางที่ 2 และ รูปที่ 7 เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ใช้ในการคายซับพบว่าอุณหภูมิของอากาศร้อนที่สูงขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการคายซับความชื้นมีค่าสูงขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วของอากาศร้อนต่ำ ซิลิกาเจลไม่สามารถคายซับความชื้นได้และคายซับความชื้นได้น้อยที่ความเร็วอากาศร้อนสูงขึ้น เมื่อพิจารณาผลของความเร็วอากาศร้อนที่ใช้ในการคายซับ พบว่าปริมาณการคายซับความชื้นมีค่าสูงขึ้นเมื่อความเร็วอากาศร้อนสูงขึ้น และลดลงเมื่อความเร็วของอากาศร้อนสูงเกินค่าความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไซ์ ในขณะที่ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้มีค่าสูงขึ้นเมื่อความเร็วของอากาศร้อนสูงขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการคายซับความชื้นมีค่าสูงขึ้นเมื่อความเร็วของอากาศร้อนสูงขึ้น แต่เมื่อความเร็วของอากาศร้อนสูงมากเกินไปทำให้เกิดสภาวะฟลูอิดไซ์ ประสิทธิภาพการคายซับความชื้นของซิลิกาเจลจะลดลง

5. สรุปและการอภิปรายผล

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับความชื้นในอากาศด้วยซิลิกาเจลสำหรับสภาวะฟลูอิดไซ์เบดและสภาวะเบดบรรจุพบว่า ที่ความเร็วอากาศขึ้นหรือความสูงของซิลิกาเจลเท่ากัน ปริมาณการดูดซับความชื้นในสภาวะเบดบรรจุมีค่าสูงกว่าสภาวะฟลูอิดไซ์เบด แต่จะให้ค่าอุณหภูมิของอากาศแห้งที่ได้และค่าความดันตกคร่อมมีค่าสูงกว่าการลดความชื้นด้วยสภาวะฟลูอิดไซ์เบด ส่งผลให้ที่สภาวะเบดบรรจุมีการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องเป่าอากาศสูงกว่าที่สภาวะฟลูอิดไซ์เบด จากการทดลองแม้ว่าปริมาณการดูดซับความชื้นด้วยสภาวะฟลูอิด-

ไคซ์เบคจะมีค่าต่ำกว่าสภาวะเบคบรรจุ แต่เมื่อมีการเพิ่มความเร็วกของอากาศขึ้นหรือเพิ่มความสูงของซิลิกาเจลจะทำให้ปริมาณการดูดซับความชื้นสำหรับสภาวะฟลูอิดไคซ์เบคมีค่าสูงขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้ประสิทธิภาพการลดความชื้นในอากาศสูงขึ้นโดยไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความดันตกคร่อมมากนัก ดังนั้นเมื่อคำนึงถึงเรื่องของการประหยัดพลังงาน สภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการดูดซับความชื้น คือ สภาวะ ฟลูอิดไคซ์เบคที่ความเร็วของอากาศและความสูงของซิลิกาเจลมีค่ามาก

การศึกษาผลของความเร็วอากาศร้อนและอุณหภูมิที่ใช้ในการคายซับความชื้นของซิลิกาเจล พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการคายซับคือ อุณหภูมิ 70 ถึง 80 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วของอากาศสูงแต่มีค่าต่ำกว่าค่าความเร็วอากาศต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไคซ์ เนื่องจากที่สภาวะดังกล่าวค่าประสิทธิภาพการคายซับมีค่าสูงที่สุด

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณเงินสนับสนุนงานวิจัยปีงบประมาณ 2558 จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Pesaran, "A review of desiccant dehumidification technology," NREL/TP-472-7010, 1993.
- [2] M. Sultan, I. EI-Sharkawy, T. Miyazaki, B. Saha and S. Koyama, "An overview of solid desiccant dehumidification and air conditioning system," Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.46, pp.16-29, 2015.
- [3] S. Misha, S.Mat, M.H.Ruslan and K.Sopian, "Review of solid / liquid desiccant in the drying applications and its regeneration methods," Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.16, pp.4686-4707, 2012.
- [4] A.Yadav and V.Bajpai, "Optimization of operating parameters of desiccant wheel for rotation speed," International Journal of Advanced Science and Technology, Vol.32, pp.109-116, 2011.
- [5] A. M. Hamed, W. R. Abd El Rahman and S.H. El-Emam, "Experimental study of the transient adsorption/desorption characteristics of silica gel particles in fluidized bed," Energy, Vol.35, pp.2468-2483, 2010.
- [6] A.E. Kabeel, "Adsorption-desorption operation of multilayer desiccant packed bed for dehumidification applications," Renewable Energy, Vol.34, pp.255-265, 2009.
- [7] R. Surbkar, T. Wongsiriamnuay and S. Surbkar, "Foundation of the Ergun equation for the calculation of minimum fluidizing velocity of solid particles," Journal of the Thai Society of Agricultural Engineering, Vol.8, No.1, pp.24-33, 2012.
- [8] C.H.Chen, G.Schmid, C.T.Chan, Y.C.Chiang and S.L.Chen, "Application of silica gel fluidized bed for air-conditioning systems," Applied Thermal Engineering, Vol.89, pp.229-238, 2015.