

ผลของความสูงเบตของตัวดูดซับและอัตราการไหลของ อากาศขึ้นต่อประสิทธิภาพการดูดซับความชื้น ด้วยซิลิกาเจล

กนกปกรณ์ จันทศิริสกุล

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อัญชลีพร วาริหวัสต์ หล่อทองคำ

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของความสูงเบตของตัวดูดซับและอัตราการไหลของอากาศขึ้นต่อประสิทธิภาพการดูดซับความชื้นด้วยซิลิกาเจล โดยผ่านอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 85% เข้าหอดูดซับขนาดเล็กแบบเบตนิ่ง (fixed bed) ที่บรรจุตัวดูดซับคือ ซิลิกาเจล การทดลองจะดำเนินการภายใต้ความดันบรรยากาศ การศึกษาจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความสูงเบตของตัวดูดซับโดยการเปลี่ยนปริมาณตัวดูดซับ และอัตราการไหลของอากาศขึ้น ความสูงเบตที่ใช้คือ 1.50 3.00 7.50 และ 15.50 เซนติเมตร อัตราการไหลของอากาศขึ้นคือ 50 150 และ 250 ลิตรต่อชั่วโมง จากเส้นโค้งเบรคทพบพบว่า ที่ความสูงเบต 1.50 เซนติเมตร และอัตราการไหลของอากาศขึ้น 50 150 และ 250 ลิตรต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพการดูดซับเป็น 1.67 0.75 และ 0.00 นาที่ ตามลำดับ ที่ความสูงเบตเป็น 3.00 เซนติเมตร และอัตราการไหลของอากาศขึ้น 50 150 และ 250 ลิตรต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพการดูดซับเป็น 10.00 1.50 และ 1.00 นาที่ ตามลำดับ ที่ความสูงเบตเป็น 7.50 เซนติเมตร และอัตรา

การไหลของอากาศชั้น 50 150 และ 250 ลิตรต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพการดูดซับ เป็น 75.00 6.00 และ 3.60 นาที ตามลำดับ และที่ความสูงเบด 15.50 เซนติเมตร อัตราการไหลของอากาศชั้น 150 และ 250 ลิตรต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพการดูดซับเป็น 56.67 และ 14.30 นาที ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับความชื้นของซิลิกาเจลจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสูงเบดของตัวดูดซับ เพิ่มขึ้นและเมื่ออัตราการไหลของอากาศชั้นลดลง

Effects of bed length of adsorbent and humid air flow rate on adsorption efficiency of silica gel

Kanokpakorn Junsirisakul

Department of Chemical Engineering,

Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Anchaleeporn W. Lothongkum

Department of Chemical Engineering,

Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

The effects of bed length of adsorbent and humid air flow rate on adsorption efficiency of silica gel were studied. Humid air with 85% RH flowed through the fixed bed adsorption column packed with silica gel. The experiments were conducted at atmospheric pressure. The adsorption efficiency was studied by varying bed length of adsorbent by changing the amount of adsorbents, and humid air flow rate. The bed lengths of adsorbent were 1.50, 3.00, 7.50 และ 15.50 cm. Humid air flow rates were 50, 150 and 250 NL/h. From break through curve it was found that at the bed length of 1.50 cm with humid air flow rates of 50, 150 and 250 NL/h, the adsorption efficiencies were 1.67, 0.75 and 0.00 min, respectively. At the bed length of 3.00 cm with humid air flow rates of 50, 150 and 250 NL/h, the adsorption efficiencies were 10.00, 1.50 and 1.00 min, respectively. At the bed length of 7.50 cm with humid air flow rates

of 50 , 150 and 250 NL/h, the adsorption efficiencies were 75.00 6.00 and 3.60 min, respectively. At the bed length of 15.50 cm with humid air flow rates of 150 and 250 NL/h, the adsorption efficiencies were 56.67 and 14.30 min. From the experimental results the adsorption efficiency of silica gel increased when bed length of adsorbent increased and humid air flow rate decreased.

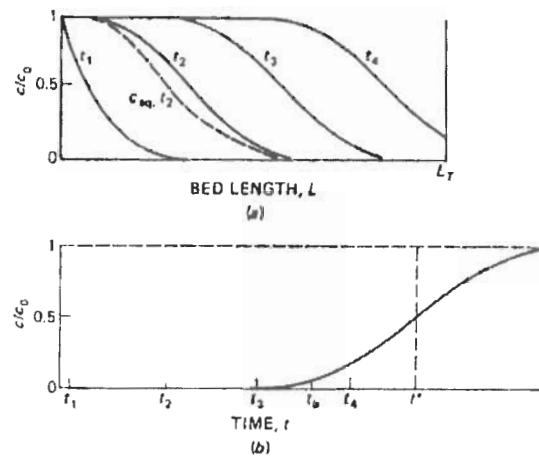
บทนำ

กระบวนการลดความชื้นมีความสำคัญในอุตสาหกรรมเช่น การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในการทำให้วัสดุแห้ง หรือในกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเพื่อป้องกันการอุดตันและการกัดกร่อนในท่อส่งก๊าซอื่นเนื่องมาจากการแข็งตัวของน้ำที่ปนอยู่ในก๊าซธรรมชาติ ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีที่มีการใช้ $AlCl_3$ และ HF ก็มีความจำเป็นต้องกำจัดความชื้นออกจากสารตั้งต้นก่อนเข้าทำปฏิกิริยาเพื่อไม่ให้เกิดปฏิกิริยาข้างเคียงกับความชื้น ซึ่งจะทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ลดลง[1] การลดความชื้นในกระบวนการต่างๆ ข้างต้น นิยมใช้ซิลิกาเจลและโมเลกุลาสีฟ (molecular sieves) แต่เนื่องจากโมเลกุลาสีฟมีราคาแพง การลดความชื้นจากสารตั้งต้นออกก่อนบางส่วนโดยผ่านซิลิกาเจลก่อนที่จะผ่านโมเลกุลาสีฟจึงเป็นวิธีหนึ่งที่จะยืดอายุการใช้งานโมเลกุลาสีฟ งานวิจัยนี้จึงเป็นการทดลองเบื้องต้น เพื่อดูดซับความชื้นจากอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 85% โดยทดลองในหอดูดซับขนาดเล็กเพื่อจะศึกษาผลของความสูงเบดของตัวดูดซับและอัตราการไหลอากาศขึ้นที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับของซิลิกาเจล เพื่อเป็นประโยชน์ในการออกแบบและใช้งานหอดูดซับความชื้นด้วยซิลิกาเจลให้เหมาะสมกับงานต่างๆ ต่อไป

ทฤษฎี

เมื่ออากาศชื้นหรือก๊าซผสมชื้นไหลผ่านหอดูดซับแบบเบดนิ่ง ความชื้นจะถูกดูดซับออกจากอากาศชื้นหรือก๊าซผสมชื้นอย่างต่อเนื่อง ตัวดูดซับที่บริเวณใกล้กับทางเข้าหอดูดซับจะดูดซับความชื้นจนอิ่มตัวด้วยความชื้นและบริเวณที่มีการดูดซับที่อิ่มตัวจะเคลื่อนที่ไปอย่างช้าๆ จนถึงปลายทางออกของหอดูดซับ เมื่อปริมาณความชื้นของอากาศหรือก๊าซผสมขาออกถึงค่าที่จำกัดค่าหนึ่งในช่วง 90 – 95% คือ ตำแหน่ง break point ก็จะหยุดทำการดูดซับและทำการฟื้นฟูสภาพ

ตัวดูดซับหรือทำการรีเจนเนอเรต (regeneration) แทน กราฟระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับขาออกกับขาเข้า หรือความชื้นขาออกกับขาเข้า (C/C_0) กับเวลาตั้งแต่เริ่มต้นการดูดซับจนเกิดการอิ่มตัวของตัวดูดซับเรียกว่า break through curve (รูปที่ 1) ลักษณะของ break through curve และตำแหน่งของ break point (t_b) จะขึ้นกับคุณสมบัติของตัวดูดซับ ตัวถูกดูดซับ ลักษณะของหอดูดซับ และสภาวะการดูดซับ[2]



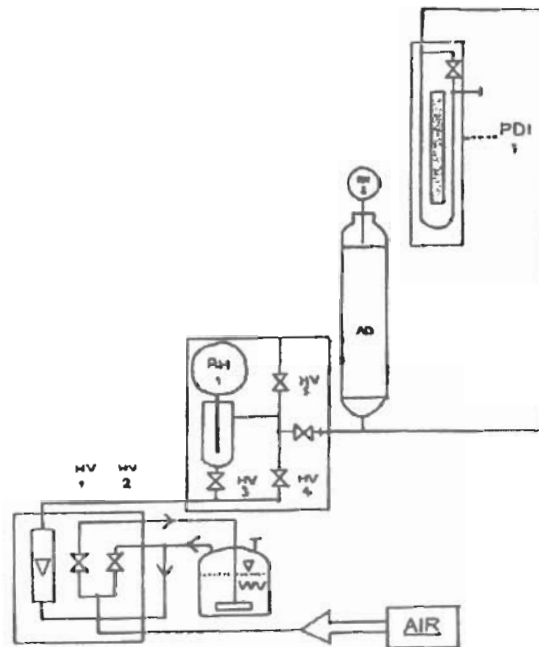
รูปที่ 1 เส้นโค้งเบรคทรูแบบอุดมคติ

การทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้

รูปที่ 2 จะแสดงรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง หอดูดซับ (AD) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.25 ซม. ทำการทดลองภายใต้ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิห้อง อากาศจะถูกปั๊มด้วยเครื่องปั๊มอากาศและปล่อยผ่านถังบรรจุน้ำ (VW) เพื่อทำให้เกิดอากาศชื้น ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ใช้ 85% ปรับอัตราการไหลของอากาศชื้นด้วยวาล์ว HV1 ปรับความชื้นทางเข้าหอดูดซับด้วยวาล์ว HV2 และวัดปริมาณความชื้นขาเข้าด้วยไฮโกรมิเตอร์ (RH1) เมื่อค่าความชื้นและอัตราการไหลคงที่แล้วจึงให้อากาศชื้นผ่านเข้าหอดูดซับ และวัดปริมาณความชื้นขาออกด้วยไฮโกรมิเตอร์ (RH2) ส่วน PDI1 คือ มานิเตอร์ที่ใช้วัดความ

ต้นตกร่อมในหลอดดูด สำหรับอัตราการไหลของอากาศชื้นเข้าหลอดดูดวัดด้วยโรตาริเตอร์ที่ติดตั้งก่อนวาล์ว HV3



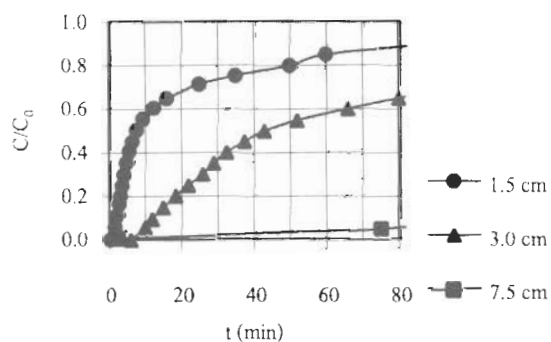
รูปที่ 2 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลอง

ในการทดลองจะปรับเปลี่ยนค่าความชื้นและความสูงเบดของตัวดูดซับดังต่อไปนี้ ที่อัตราการไหลของอากาศชื้น 50 ลิตรต่อชั่วโมง จะใช้ความสูงเบดของตัวดูดซับ 1.5, 3.0 และ 7.5 ซม. ที่อัตราการไหลของอากาศชื้น 150 และ 250 ลิตรต่อชั่วโมง จะใช้ความสูงเบดของตัวดูดซับ 1.5, 3.0, 7.5 และ 15.5 ซม. การเปลี่ยนความสูงเบดของตัวดูดซับทำโดยการเปลี่ยนปริมาณของซิลิกาเจลที่บรรจุในหลอดดูดซับ ในการทดลองแต่ละครั้งจะวัดปริมาณความชื้นขาเข้าและขาออกหลอดดูดซับที่เวลาต่างๆ และทำการทดลองจนกระทั่งซิลิกาเจลทั้งหมดเปลี่ยนเป็นสีชมพูจึงหยุดทำการดูดซับ แล้วรีเซ็ตเนอเรตตัวดูดซับและเริ่มทดลองการดูดซับครั้งต่อไป

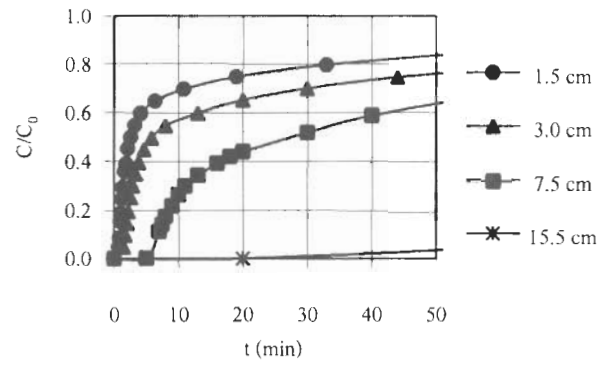
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

จากการทดลองเมื่อปริมาณการดูดซับมีค่าเท่ากับ 95% [3] จะคำนวณหาประสิทธิภาพการดูดซับ[4] คือ เวลาการดูดซับที่ $C/C_0 = 0.95$ ผลการทดลองที่อัตราการไหลของอากาศขึ้น 50 ลิตรต่อชั่วโมง (รูปที่ 3 และตารางที่ 1) พบว่าที่ความสูงเบตของตัวดูดซับ 7.5 ซม. ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงกว่าที่ความสูงเบต 3.0 และ 1.5 ซม. อย่างเห็นได้ชัด และที่อัตราการไหลของอากาศขึ้น 150 และ 250 ลิตรต่อชั่วโมงก็ให้ผลเช่นเดียวกันพบว่า ที่ความสูงเบตของตัวดูดซับ 15.5 ซม. ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงกว่าที่ความสูงเบตของตัวดูดซับ 7.5, 3.0 และ 1.5 ซม. ดังแสดงในรูปที่ 4 และ 5

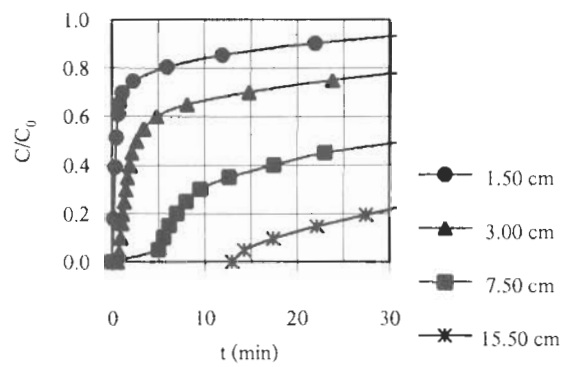
จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ความสูงเบตของตัวดูดซับและอัตราการไหลของอากาศขึ้นต่างก็มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับโดยที่ความสูงเบตของตัวดูดซับมากจะให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงขึ้นสำหรับทุกๆ อัตราการไหลของอากาศขึ้น แต่เมื่ออัตราการไหลของอากาศขึ้นสูงพบว่า ที่ความสูงเบตของตัวดูดซับที่เท่ากันประสิทธิภาพการดูดซับจะลดลง



รูปที่ 3 C/C_0 กับเวลาของการดูดซับความชื้นที่ความสูงเบตของตัวดูดซับต่างๆ
ที่อัตราการไหลของอากาศขึ้น 50 ลิตร/ชั่วโมง



รูปที่ 4 C/C_0 กับเวลาของการดูดซับความชื้นที่ความสูงเบดของตัวดูดซับต่างๆ
ที่อัตราการไหลของอากาศขึ้น 150 ลิตร/ชั่วโมง



รูปที่ 5 C/C_0 กับเวลาของการดูดซับความชื้นที่ความสูงเบดของตัวดูดซับต่างๆ
ที่อัตราการไหลของอากาศขึ้น 250 ลิตร/ชั่วโมง

ตารางที่ 1
ประสิทธิภาพการดูดซับที่ความสูงเบตของตัวดูดซับและอัตราการไหลของอากาศขึ้นต่าง ๆ

อัตราการไหลของอากาศขึ้น (ลิตรต่อชั่วโมง)	ความสูงเบตของตัวดูดซับ (ซม.)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (นาท)
50	1.50	1.67
	3.00	10.00
	7.50	75.00
150	1.50	0.75
	3.00	1.50
	7.50	6.00
	15.50	56.67
250	1.50	0.00
	3.00	1.00
	7.50	3.60
	15.50	14.30

หมายเหตุ ความสูงเบตของตัวดูดซับ 15.50 ซม. ที่อัตราการไหลของอากาศขึ้น 50 ลิตรต่อชั่วโมงใช้เวลาในการทำการทดลองนานมากจึงไม่เก็บข้อมูล

สรุปผลการทดลอง

การใช้ซิลิกาเจลเป็นตัวดูดซับเป็นวิธีหนึ่งในการลดความชื้นของอากาศขึ้นหรือก๊าซที่มีปริมาณความชื้นสูงออกไปบางส่วนก่อนเข้าสู่การลดความชื้นด้วยโมเลกุลซีฟ จากผลการทดลองสามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นที่จะเป็นประโยชน์ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล การกำหนดปริมาณของตัวดูดซับ ขนาดของหอดูดซับ และอัตราการไหลของอากาศขึ้นที่จะเข้าหอดูดซับ ในกระบวนการดูดซับความชื้นที่จำเป็นต้องควบคุมปริมาณความชื้น โดยทั่วไปเมื่อกล่าวถึง “ความชื้น” จะหมายถึง ปริมาณน้ำ แต่ในการปฏิบัติงานจริงในกระบวนการต่างๆ ทางอุตสาหกรรมพบว่า บางครั้งสิ่งที่ต้องการกำจัดหรือควบคุมปริมาณอาจไม่ใช่แค่เพียงอย่างเดียว แต่อาจ

เป็นน้ำกับตัวทำละลายอื่นเช่น เอทานอล แม้ว่างานวิจัยนี้จะเป็นการดูดซับความชื้นซึ่งคือน้ำเพียงอย่างเดียว แต่ก็พอจะเป็นแนวทางในการศึกษาสำหรับกรณีที่เป็นน้ำกับตัวทำละลายอื่นๆ ได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผศ.ดร. กอบบุญ หล่อทองคำ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับคำแนะนำและข้อเสนอแนะต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

- [1] C.L.Mantell, "Adsorption", 2nd ed., McGraw-Hill, New York, p.373, 1951.
- [2] พิเชษฐ อินทร์เอื้อ, "วิธีประเมินขนาดของหอดูดซับโดยอาศัยเส้นโค้งเบรทท์สำหรับน้ำเสียหองค์ประกอบที่ไม่ทราบชนิด", วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 9-11, 2540.
- [3] W.L McCabe, J.C. Smith and P. Harriott, Unit Operations of Chemical Engineering, 5th ed., McGraw-Hill, p.819, 1993.
- [4] อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์, กอบบุญ หล่อทองคำ, ไชยยันต์ ไชยยะ, ณัฐ งามเจตธรรมย์ และประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ. "การดูดซับสีย้อมผ้าในน้ำด้วยคาร์บอนกัมมันต์ประเภทต่างๆ" การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์ ครั้งที่ 7 ณ ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, หน้า 1-12, 23-25 ตุลาคม 2540.