เครื่องผลิตอากาศแห้งแบบต่อเนื่อง

Continuous Dehumiditor

ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์ [1] , อภินันท์ นัมคณิสรณ์[1]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 เขตลาดกระบัง กทม 10520 E-mail:kmsiripa@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

เครื่องผลิตอากาศแห้งแบบต่อเนื่อง สำหรับนำไปใช้ในระบบอบแห้งอุณหภูมิต่ำ เป็นเครื่องผลิตอากาศแห้งที่ใช้กระบวนการดูดซับแบบสลับอุณหภูมิ ซึ่งสารดูดซับที่เลือกใช้ในระบบคือซิลิกาเจล โดยบรรจุซิลิกาเจลเป็นแบบเบดนิ่งและมีการแบ่งบรรจุออกเป็นชั้นๆ จำนวนสามชั้น ชั้นละ 3 กิโลกรัม โดยในงานวิจัยได้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด เพื่อนำไปใช้ในการคายซับซิลิกาเจลของระบบเครื่องผลิตอากาศแห้งแบบต่อเนื่องจริง โดยศึกษาเพื่อเลือกลักษณะทิศทางการไหลของอากาศ ความเร็วอากาศ และอุณหภูมิที่ใช้ในการคายซับที่เหมาะสม กล่าวคือเป็นสภาวะที่ทำให้เวลาในการคายซับความชื้นน้อยกว่าเวลาในการดูดซับความชื้น และมีความสมเหตุสมผลในด้านของการประหยัดพลังงาน ซึ่งในการทดลองได้ทำการทดลองเปรียบเทียบ ทิศทางการไหลของอากาศในกระบวนการดูดซับและการคายซับ ระหว่างให้การไหลของอากาศไหลแบบทิศทางเดียว กัน และการไหลของอากาศไหลแบบทิศทาง ตรงข้ามกัน โดยทำการทดลองเปรียบเทียบผลของความเร็วอากาศและอุณหภูมิที่ใช้ในการคายซับ ที่ค่าแตกต่างกัน ดังนี้ 0.161 0.173 0.19 เมตรต่อวินาที และ 60 70 80 องศาเซียลเซียส พบว่า ทิศทางการไหลของอากาศในกระบวนการดูดซับและคายซับที่เหมาะสม คือ การไหลของอากาศไหลแบบทิศทางเดียวกัน สำหรับความเร็วอากาศและอุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการฟื้นฟูซิลิกา เจลที่เหมาะสมที่สุดทั้งในด้านประสิทธิภาพและพลังงาน คือ 0.19 เมตรต่อวินาที และ 70 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ: เครื่องลดความชื้น การอบแห้ง ซิลิกาเจล

Abstract

In the present reserch the continuous dehumiditor for low temperature dried system has been reported. A “packed bed dehumidifier” was used as study in the temperature swing adsorption process and silica gel was used as the adsorbent. The dehumidifier was separated in three shelves with three kilograms of silica gel in each shelf. In this study, the effect of bed-air velocity, current flow and regeneration air temperature were investigated. In order to find the optimum environment for silica gel regeneration process, which lead to more efficiency energy consumption and less time in regeneration process. Flow in the same direction and flow in the opposite direction in adsorption-desorption process were compared at three differences air velocity and temperature. The velocity was 0.161, 0.173 and 0.19 meter per second while the temperature was selected at 60, 70 and 80 degree Celsius. The optimum flow for adsorption-desorption process was found to be flow in the same direction and the value of flow rate and temperature in regeneration process were found to be at 70 degree Celsius and 0.19 meter per second of air velocity.

Keywords: dehumidifier, drying, silica gel

1. บทนำ

ในกระบวนการการอบแห้งผลิตภัณฑ์โดยใช้อากาศร้อนเป็นวิธีการที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายกับผลิตภัณฑ์ต่างๆ ซึ่งรวมถึงการอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นในผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เช่น สมุนไพร แต่วิธีการอบแห้งที่ใช้อยู่นั้นจะเป็นการอบโดยใช้ลมร้อนที่มีอุณหภูมิสูง อาจส่งผลทำให้สารสำคัญบางตัวเกิดการเสื่อมสภาพทางเคมีจากความร้อน ดังนั้นการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำจึงได้เข้ามามีบทบาทต่อการอบแห้งอาหาร และนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร โดยมุ่งเน้นจุดประสงค์ไปที่การรักษาคุณค่าของอาหารไว้ การใช้อากาศแห้งร่วมกับระบบอบแห้งทำให้สามารถอบแห้งได้ที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งยังช่วยลดระยะเวลาการอบแห้ง และช่วยให้สีของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีคล้ายผลิตภัณฑ์เดิมก่อนอบแห้งมากกว่าการใช้อากาศที่มีความชื้นสูงอบอีกด้วย แต่พลังงานที่ใช้ส่วยใหญ่จะมีผลเนื่องมาจากการใช้พลังงานในการคายซับความชื้นจากซิลิกาเจล [1] ดังนั้นการออกแบบหอดูดซับความชื้นและศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการคายซับความชื้นจะทำให้สามารถลดพลังงานที่ใช้สำหรับการคายซับ การบรรจุสารดูดความชื้นที่มีลักษณะหลายชั้นจะช่วยให้ประสิทธิภาพการคายซับมีค่าสูงขึ้น [2] ที่อุณหภูมิของอากาศร้อนที่สูงและอัตราการไหลที่สูงจะทำให้เกิดการคายซับความชื้นได้ดี [3] รวมถึงโครงสร้างของซิลิกาเจลก็มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้งาน โครงสร้างที่มีรูพรุนเป็นแบบ micropro จะทำให้การคายซับความชื้นจากซิลิการเจลทำได้ง่ายกว่าโครงสร้างแบบ mesopore [4] เครื่องผลิตอากาศแห้งแบบต่อเนื่องประกอบไปด้วยหอดูดซับที่บรรจุตัวดูดซับซึ่งคือซิลิกาเจลจำนวนสองหอโดยจะทำงานเป็นหอดูดซับสลับกับหอคายซับ โครงงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาออกแบบเครื่องและจัดทำเครื่องผลิตอากาศแห้งแบบต่อเนื่อง รวมไป

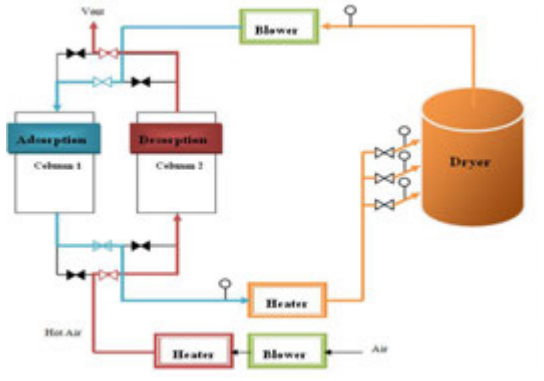
ถึงศึกษาเพื่อหาสภาวะของความเร็วอากาศและอุณหภูมิที่ใช้ในการคายซับสำหรับดำเนินการแบบต่อเนื่องที่ทำให้ได้สภาวะที่เหมาะสมและสามารถประหยัดพลังงาน

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาทิศทางการไหลของอากาศ อุณหภูมิ และอัตราการไหลของอากาศสำหรับการคายซับความชื้นจากตัวดูดซับความชื้นชนิดซิลิกาเจล
2. เพื่อออกแบบเครื่องผลิตอากาศแห้งแบบต่อเนื่องสำหรับเครื่องอบแห้งอุณหภูมิต่ำ ซึ่งใช้อากาศความชื้นต่ำและอุณหภูมิต่ำสำหรับการอบแห้ง

3. วิธีดำเนินงาน

ตัวแปรและปัจจัยที่มีผลต่อการคายซับของซิลิกาเจล ได้แก่ ทิศทางการไหลของอากาศในกระบวนการดูดซับและคายซับ ความเร็วและอุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการคายซับ โดยออกแบบเครื่องผลิตอากาศแห้งสำหรับกระบวนการอบแห้ง ดังแสดงในรูปที่ 1 ตัวแปรและปัจจัยที่ได้ทำการศึกษาในการออกแบบ ได้แก่ อัตราเร็วของอากาศ ค่าความดันลดและลักษณะรูปทรงของเครื่อง โดยออกแบบตู้บรรจุสารดูดซับความชื้น ซึ่งใช้หลักการทำงานของการดูดซับแบบสลับอุณหภูมิ (Temperature Swing Adsorption) สำหรับทิศทางการไหลของอากาศในกระบวนการดูดซับและคายซับได้ถูกเปรียบเทียบระหว่างการไหลของอากาศในระบบไหลแบบในทิศทางเดียวกันและทิศทางตรงข้ามกัน โดยทำการศึกษาความเร็วและอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ใช้ในการคายซับในช่วง 0.161 0.173 0.19 เมตรต่อวินาที และ 60 70 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

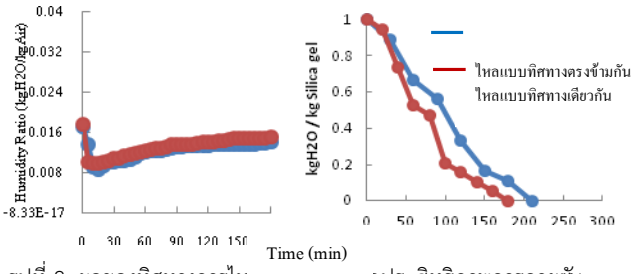


รูปที่ 1 เครื่องผลิตอากาศแห้งสำหรับกระบวนการอบแห้ง

4. ผลการศึกษา/การทดลอง

4.1 ผลของทิศทางการไหลของอากาศในกระบวนการดูดซับและคายซับ

ผลการทดลอง แสดงดังรูปที่ 2 พบว่าที่ทิศทางการไหลทั้งสองแบบจะให้ประสิทธิภาพในการดูดซับมีแนวโน้มเดิมใกล้เคียงกัน แต่การคายซับเมื่อใช้ทิศทางการไหลของอากาศเป็นการไหลแบบทิศทางเดียวกัน จะให้ค่า Moisture content (%db) ของซิลิกาเจลลดลงเร็วกว่า และใช้เวลาในการคายซับน้อยกว่าการไหลของอากาศไหลแบบทิศทางตรงข้ามกัน โดยเวลาที่ใช้ในการคายซับของการไหลอากาศไหลแบบทิศทางเดียวกันและไหลแบบทิศทางตรงข้ามกัน คือ 180 นาที และ 210 นาที ตามลำดับ

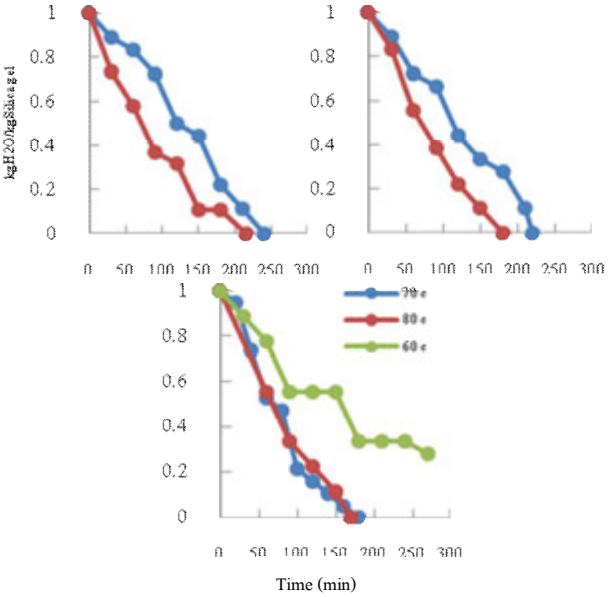


รูปที่ 2 ผลของทิศทางการไหลของอากาศต่อประสิทธิภาพการคายซับ

4.2 ผลของอุณหภูมิและความเร็วของอากาศร้อนที่ใช้ในการคายซับ

ผลการทดลอง แสดงดังรูปที่ 3 ที่ความเร็วอากาศเท่ากัน พบว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการคายซับมีค่าสูงขึ้น ปริมาณความชื้นที่คายซับออกมาจากซิลิกาเจลมีค่ามากกว่าที่อุณหภูมิที่ใช้ในการคายซับต่ำ และเวลาที่ใช้ในการคายซับจะมีค่าลดลงด้วย ดังนั้นที่อุณหภูมิในการคายซับที่ 80 องศาเซลเซียส จะให้ผลของกระบวนการคายซับดีกว่าที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส และผลของอุณหภูมิในการคายซับจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการคายซับมากขึ้นที่ความเร็วของอากาศร้อนที่ใช้ในการคายซับต่ำลง

เมื่อพิจารณาค่าพลังงานที่ใช้สำหรับการคายซับ ดังแสดงผลในตารางที่ 1 พบว่า การคายซับที่อุณหภูมิสูงทำให้ใช้เวลาในการคายซับต่ำแต่สิ้นเปลืองพลังงานมาก จากผลการทดลองสามารถทำการคายซับความชื้นได้ที่อุณหภูมิต่ำลงแต่ใช้ความเร็วลมที่สูงขึ้น โดยสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการคายซับ คือ ความเร็วลม 0.19 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3 ผลของอุณหภูมิและความเร็วของอากาศร้อนที่ใช้ในการคายซับ

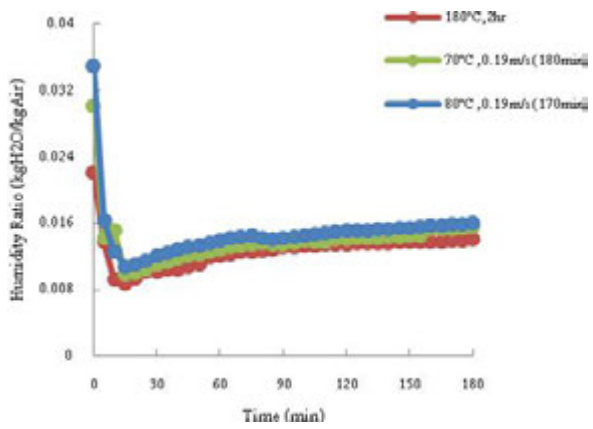
ตารางที่ 1 ค่าพลังงานและเวลาที่ใช้สำหรับการคายซับความชื้นจากซิลิกาเจล

velocity (m/s)	Temperature (^{o}C)	Regeneration time (min)	Total energy required (kWh)
0.161	80	215	8.15
0.161	70	240	8
0.173	80	180	7.7
0.173	70	220	7.95
0.19	100	150	9
0.19	80	170	7.8
0.19	70	180	7.4
0.19	60	>270	>8.8

4.3 การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับที่กระบวนการคายซับต่างๆ

การทดสอบประสิทธิภาพของการดูดซับ โดยเปรียบเทียบการดูดซับความชื้น โดยใช้ ซิลิกาเจลที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับซิลิกาเจลจากหอผลิตอากาศแห้งซึ่งผ่านกระบวนการคายซับที่อุณหภูมิ 70 80 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการคายซับ 180 170 นาที ตามลำดับ ดังแสดงผลในรูปที่ 4

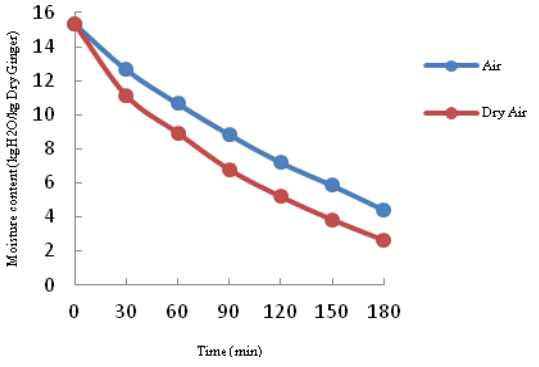
ซิลิกาเจลเมื่อทำการดูดซับเป็นเวลา 3 ชั่วโมงและนำไปทำการคายซับที่สภาวะต่างกัน เมื่อนำมาใช้ดูดซับใหม่พบว่าซิลิกาเจลมีประสิทธิภาพในการดูดซับใกล้เคียงจากเดิมโดยสังเกตได้จากกราฟการดูดซับทั้งสามเส้นที่มีแนวโน้มของกราฟใกล้เคียงกัน แต่มีความแตกต่างกันบ้างเนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศภายนอกขณะดูดซับมีค่าแตกต่างกันในแต่ละวันที่ทำการทดลอง โดยจากเส้นสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน จะมีค่า Humidity Ratio ของอากาศภายนอกเป็น 0.01896 0.0211 และ 0.02139 kgH2O/kgAir ตามลำดับ



รูปที่ 4 แสดงประสิทธิภาพของการดูดซับความชื้นของซิลิกาเจลโดยทำการคายซับที่สภาวะต่างๆ

4.4 การศึกษาประสิทธิภาพในการอบแห้ง

เมื่อนำระบบผลิตอากาศแห้งไปใช้กับระบบอบแห้งจริง และทำการเปรียบเทียบผลของการอบแห้งสำหรับการใช้อากาศร้อนและอากาศแห้งร้อน ในการอบแห้งขิงจำนวน 0.5 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศร้อนในตู้อบแห้ง 0.64 เมตรต่อวินาที พบว่าการอบแห้งโดยใช้อากาศแห้งร้อนทำให้ความชื้นที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ลดลงเร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งโดยใช้อากาศร้อน ดังแสดงผลในรูปที่ 5



รูปที่ 5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการอบขิงด้วยอากาศร้อนและอากาศแห้งร้อน

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษาผลของทิศทางการไหลของอากาศในกระบวนการดูดซับและกระบวนการคายซับของซิลิกาเจล พบว่าเมื่อกำหนดให้ระบบมีทิศทางการไหลของอากาศในกระบวนการดูดซับและคายซับเป็นการไหลแบบทิศทางเดียวกัน ทำให้การคายซับของระบบนั้นมีประสิทธิภาพดีกว่าไม่ว่าจะเป็นอัตราการลดลงของ moisture content ในซิลิกาเจล และเวลาที่ใช้ในการคายซับน้อยกว่าระบบที่มีทิศทางการไหลของอากาศในกระบวนการดูดซับและคายซับเป็นการไหลแบบทิศทางตรงข้ามกัน

การศึกษาผลของอุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการคายซับซิลิกาเจลในระบบเครื่องผลิตอากาศแห้งแบบต่อเนื่อง พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและความเร็วของอากาศที่ใช้ในการคายซับแล้วนั้นก็จะส่งผลให้ปริมาณ %moisture content ในซิลิกาเจลลดลงในอัตราที่เร็วมากยิ่งขึ้นและเวลาที่ใช้ในการคายซับลดลง ซึ่งการคายซับที่ใช้เวลาน้อยที่สุด คือ 150 นาที ซึ่งใช้ความเร็วและอุณหภูมิที่ใช้ในการคายซับที่ 0.19 เมตรต่อวินาทีและ 100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และเมื่อศึกษาพลังงานที่ใช้รวมของระบบการคายซับพบว่าที่ค่าอัตราการไหลและอุณหภูมิของอากาศที่ทำให้ระบบใช้พลังงานน้อยที่สุด คือ ความเร็วอากาศ 0.19 เมตรต่อวินาทีและอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้พลังงานในการคายซับ 7.4 กิโลวัตต์-ชั่วโมง และใช้เวลาในการคายซับ 180 นาที

การศึกษาประสิทธิภาพในการอบแห้งโดยใช้อากาศร้อนและอากาศแห้งร้อน พบว่าการอบแห้งโดยใช้อากาศแห้งร้อนทำให้ความชื้นที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ลดลงเร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งโดยใช้อากาศร้อน ดังนั้นในการผลิตอากาศแห้งเพื่อการอบแห้งจริง ซิลิกาเจลถูกใช้เป็นสารดูดซับความชื้นโดยแบ่งบรรจุเป็นชั้น จำนวน 3 ชั้น ชั้นละ 3 กิโลกรัม ซึ่งทำการดูดซับที่ความเร็วอากาศเป็น 0.335 เมตรต่อวินาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยกำหนดทิศทางการไหลของอากาศในกระบวนการดูดซับและกระบวนการคายซับให้เป็นการไหลแบบทิศทางเดียวกัน โดยทำการคายซับที่ความเร็วและอุณหภูมิของอากาศเป็น 0.19 เมตรต่อวินาที และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณเงินสนับสนุนงานวิจัยปีงบประมาณ 2555 จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

7. การอ้างอิง

[1] Thanid Madhiyanon,Prasan Sathitruangsak,Somchart Soponronnarit, Sermpong Adirekrut. **Integration of rotary desiccant wheel into a hot-air drying system: Drying performance and product quality studies.** Chemical Engineering and Processing 46 (2007) 282-290

[2] A.E. Kabeel. **Adsorption-desorption operation of multilayer desiccant packed bed for dehumidifier applications.** Renewable Energy 34(2009) 255-265

[3] Singh S, Singh PP. **Regeneration of silica gel in multi-shelf regeneration.** Renewable Energy 1998,13(1):105-109

[4] Kuei-Sen Chang, Hui-Chun Wang, Tsair-Wang Chung. **Effect of regeneration conditions on the adsorption dehumidification process in packed silica gel beds.** Applied Thermal Engineering 24 (2004)