

เครื่องผลิตอากาศแห้งแบบต่อเนื่อง



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONTINUOUS DEHUMIDITOR



**THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2012**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง	เครื่องผลิตอากาศแห้งแบบต่อเนื่อง	
โดย	นางสาวชนากานต์	ชวลิตพิเชฐ
	นางสาวมณฑิภา	นักขัตตระ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ศิริพันธ์	มูรธาชัยกุลักษณ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.ดร. อภินันท์	นัมคณิศรณ
ปริญญาานิพนธ์	สาขาวิศวกรรมเคมี	คณะวิศวกรรมศาสตร์
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	

ปริญญาานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
คณะกรรมการตรวจสอบปริญญาานิพนธ์

.....
(อาจารย์ศิริพันธ์ มูรธาชัยกุลักษณ์)

.....กรรมการ
(ผศ.ดร. อภินันท์ นัมคณิศรณ)

.....กรรมการ
(รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	เครื่องผลิตอากาศแห้งแบบต่อเนื่อง	
โดย	นางสาวชนากานต์	ชวลิตพิเชฐ
	นางสาวมณฑิกา	นักข์ตระ
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี	
ปีการศึกษา	2555	
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ศิริพันธ์	มูรธาธัญลักษณ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.ดร. อภินันท์	นัมคณิสร์

บทคัดย่อ

เครื่องผลิตอากาศแห้งแบบต่อเนื่อง สำหรับนำไปใช้ในระบอบแห้งอุณหภูมิต่ำนั้น เป็นเครื่องผลิตอากาศแห้งที่ใช้กระบวนการดูดซับแบบสลับอุณหภูมิ ซึ่งสารดูดซับที่เลือกใช้ในระบบคือซิลิกาเจล โดยบรรจุซิลิกาเจลเป็นแบบเบดนิ่งและมีการแบ่งบรรจุออกเป็นชั้นๆ จำนวนสามชั้น ชั้นละ 3 กิโลกรัม โดยในงานวิจัยได้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด เพื่อนำไปใช้ในการคายซับซิลิกาเจลของระบบเครื่องผลิตอากาศแห้งแบบต่อเนื่องจริง โดยทำการศึกษาเพื่อเลือกลักษณะทิศทางการไหลของอากาศ ความเร็วอากาศ และอุณหภูมิที่ใช้ในการคายซับที่เหมาะสม กล่าวคือเป็นสภาวะที่ทำให้เวลาในการคายซับความชื้นน้อยกว่าเวลาในการดูดซับความชื้น และมีความเหมาะสมผลในด้านของการประหยัดพลังงาน ซึ่งในการทดลองได้ทำการทดลองเปรียบเทียบทิศทางการไหลของอากาศในกระบวนการดูดซับและการคายซับ ระหว่างให้การไหลของอากาศไหลแบบทิศทางเดียวกัน และทิศทางตรงข้ามกัน และทำการทดลองเปรียบเทียบผลของความเร็วอากาศและอุณหภูมิที่ใช้ในการคายซับ ที่ค่าแตกต่างกัน ดังนี้ 0.161 0.173 0.19 เมตรต่อวินาที และ 60 70 80 องศาเซลเซียส พบว่า ทิศทางการไหลของอากาศในกระบวนการดูดซับและคายซับที่เหมาะสม คือ การไหลของอากาศไหลแบบทิศทางเดียวกัน สำหรับความเร็วอากาศและอุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการฟื้นฟูซิลิกาเจลที่เหมาะสมที่สุดทั้งในด้านประสิทธิภาพและพลังงาน คือ 0.19 เมตรต่อวินาที และ 70 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title	Continuous Dehumiditor
By	Ms.Chanakan Chawalitphichet Ms.Monthipa Nakkhatara
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Chemical Engineering
Year	2012
Advisor	Mrs.Siripan Murathathunyaluk
Co -Advisor	Dr.Apinan Namkanisorn

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 secondwhile 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 for highest efficiency energy consumption were found to be at 70 degree celsius and 0.19 meter per second of air velocity.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สามารถสำเร็จบรรลุผลไปได้ด้วยดีถ้าหากขาดความช่วยเหลือจากคณาจารย์ และบุคคลหลายฝ่าย คณะผู้จัดทำขอขอบคุณ

อาจารย์ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ที่ได้มอบความรู้ พร้อมทั้งให้คำปรึกษาและให้การช่วยเหลือในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการร่วมช่วยแก้ปัญหาและให้แนวทางในการดำเนินงานจนสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผศ.ดร. อภินันท์ นัมคณิศรณ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ช่วยให้คำแนะนำพร้อมทั้งให้การสนับสนุนร่วมมือเป็นอย่างดี

รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยาอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำและชี้แนะข้อบกพร่องและให้แนวทางในการปรับปรุงแก้ไข

คณาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้

คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงาน รวมไปถึงการให้ความอนุเคราะห์ในการสร้างและติดตั้งอุปกรณ์บางส่วนที่เป็นส่วนสำคัญในงานวิจัยนี้

คุณพ่อ คุณแม่ พี่น้อง และเพื่อนๆ ของผู้จัดทำที่ให้การสนับสนุนการศึกษาและร่วมเป็นกำลังใจให้ตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์จากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน หากมีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้จัดทำต้องขออภัยและพร้อมน้อมรับไว้ ณ ที่นี้

ผู้จัดทำ

นางสาวชนากานต์ ชวลิตพิเชฐ

นางสาวมณฑิภา นักขัตตระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

C_0	ความเข้มข้นสารในสายขาเข้า
C_f	ความเข้มข้นสารในสายขาออก
D	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ
D_p	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของตัวดูดซับ
h_1	การสูญเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงเสียดทานของการไหลภายในท่อตรง
h_{je}	การสูญเสียที่เกิดขึ้นจากแรงเสียดทานการไหลจากท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดเล็กไปท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดใหญ่
h_{ff}	การสูญเสียจากแรงเสียดทานที่เกิดบริเวณข้อต่อข้องอต่างๆ
K_e	ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียที่เกิดขึ้นจากแรงเสียดทานการไหลจากท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดเล็กไปท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดใหญ่
K_f	ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียจากแรงเสียดทานที่เกิดบริเวณข้อต่อข้องอต่างๆ
L	ความยาวของท่อ
L_A	ความยาวเบด(สารดูดซับ)
L_B	ความยาวเบด ณ เวลาเบรกทฤษฎี
R	ค่าคงที่ของก๊าซ
T	อุณหภูมิ (เคลวิน)
t	เวลาที่ใช้ในการดูดซับ
t_B	เวลาเบรกทฤษฎี
V	ความเร็วของของไหลภายในท่อ
V_z	ความเร็วไหลขนานกับแกนดูดซับ
ΔP	ค่าความดันลด
Δt	ผลต่างของเวลาในการดูดซับ
ΔZ	ผลต่างของความสูงเบดตัวดูดซับ
ρ	ความหนาแน่นอากาศที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส, ความดัน 1 บรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ρ_b	ความหนาแน่นของตัวดูดซับ
ε_b	ช่องว่างของตัวดูดซับ
μ	ความหนืดของอากาศ
$\frac{\partial q}{\partial P}$	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะกับความดันไอ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สัญลักษณ์.....	IV
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 กระบวนการดูดซับ.....	4
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ.....	7
2.3 ตัวดูดซับ.....	9
2.4 ซิลิกาเจล.....	9
2.5 การคายซับ.....	12
2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการคายซับ.....	12
2.7 การดูดซับในเบดนิ่ง.....	14
2.8 การดูดซับแบบสลับอุณหภูมิ (Temperature Swing Adsorption).....	17
2.9 การออกแบบหน่วยดูดซับ.....	19
2.10 เครื่องลดความชื้นในอุตสาหกรรม.....	25
2.11 การประยุกต์ใช้งานกับระบบอบแห้ง.....	26
2.12 งานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

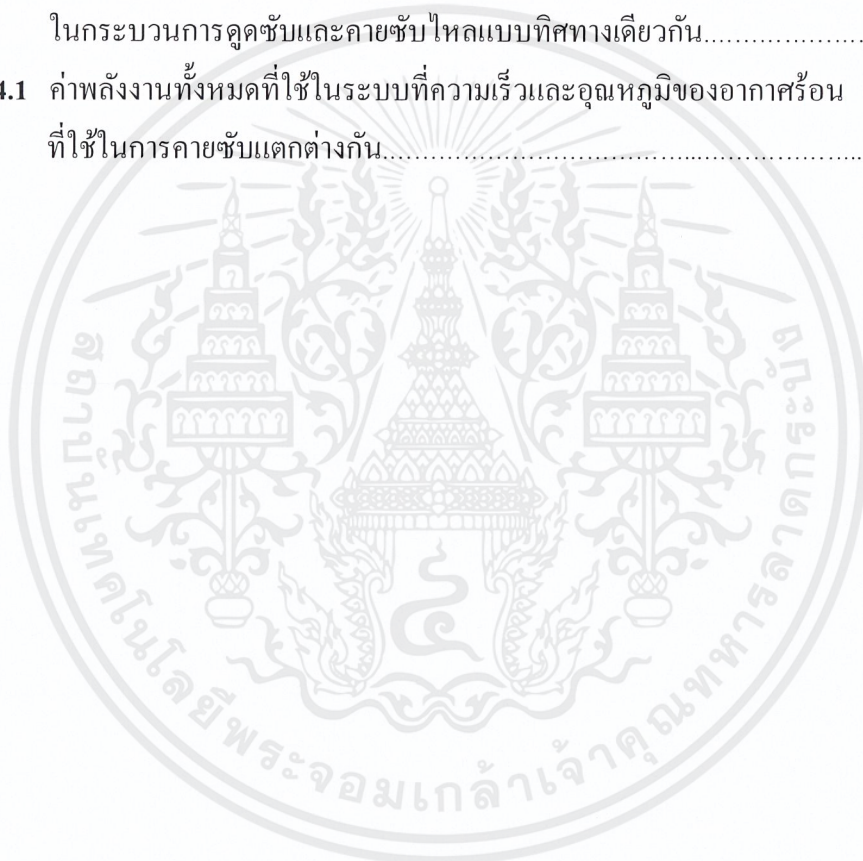
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	32
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	32
3.2 การดำเนินงาน.....	35
บทที่ 4 ผลการทดลอง	40
4.1 การศึกษาผลของทิศทางการไหลของอากาศในกระบวนการดูดซับและคายซับ.....	40
4.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศร้อนที่ใช้ในการคายซับ.....	41
4.3 การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับที่กระบวนการคายซับต่างๆ.....	43
4.4 การศึกษาประสิทธิภาพในการอบแห้ง.....	44
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	46
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	46
5.2 ปัญหาที่พบระหว่างการศึกษาวิจัย.....	47
เอกสารอ้างอิง	48
ภาคผนวก	50
ภาคผนวก ก วิธีการคำนวณ	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	แสดงค่า Loss coefficient for standard pipe fitting (K_p).....	24
ตารางที่ 3.1	แสดงการเปิดและปิดวาล์วของระบบสำหรับทิศทางการไหลของอากาศ ในกระบวนการดูดซับและคายซับไหลแบบทิศทางตรงข้ามกัน.....	36
ตารางที่ 3.2	แสดงการเปิดและปิดวาล์วของระบบสำหรับทิศทางการไหลของอากาศ ในกระบวนการดูดซับและคายซับไหลแบบทิศทางเดียวกัน.....	37
ตารางที่ 4.1	ค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในระบบที่ความเร็วและอุณหภูมิของอากาศร้อน ที่ใช้ในการคายซับแตกต่างกัน.....	43



สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	ขั้นตอนของการเกิดการดูดซับ.....	5
รูปที่ 2.2	แสดงสมดุลการดูดซับไอน้ำของซิติกาเจลเปรียบเทียบกับสารดูดความชื้นชนิดอื่น.....	10
รูปที่ 2.3	ลักษณะจำนวนหมู่ไฮดรอกไซด์ของซิติกาเจล.....	11
รูปที่ 2.4	การจับกันระหว่างระหว่างโมเลกุลของน้ำแบบ Multilayer.....	11
รูปที่ 2.5	การดูดซับ โมเลกุลของน้ำบนผิวหน้าของซิติกาเจล.....	11
รูปที่ 2.6	กราฟแสดงการกระจายความเข้มข้นของสารดูดซับภายในเบตหนึ่งเป็นเวลาต่างๆ.....	15
รูปที่ 2.7	กราฟเบรททรูสำหรับการดูดซับในเบตหนึ่ง และการกำหนดเวลาเบรททรู (t_B) และ เวลาเข้าสู่สมดุล(t_E).....	16
รูปที่ 2.8	หอดูดซับที่ใช้ในกระบวนการ ดูดซับแบบสลับอลูมิเนียม.....	17
รูปที่ 2.9	กราฟเบรททรูของการดูดซับแสดงสมรรถนะของหอดูดซับ.....	18
รูปที่ 2.10	ระบบการอบแห้งอากาศร้อนร่วมกับวงล้อหมุนสารดูดความชื้น.....	19
รูปที่ 2.11	ลักษณะหอฟื้นฟูแบบเบตบรรจุ.....	20
รูปที่ 2.12	ระบบการอบแห้งร่วมกับสารดูดความชื้น.....	21
รูปที่ 2.13	วงล้อสารดูดความชื้น.....	21
รูปที่ 2.14	สารดูดความชื้นไฮบริด PV/T ร่วมกับระบบการอบแห้งอินฟราเรด (HPIRD).....	22
รูปที่ 2.15	ระบบเครื่องเก็บอากาศ PVAC.....	22
รูปที่ 2.16	รูปร่างเบตบรรจุตัวดูดซับซิติกาเจล.....	22
รูปที่ 2.17	(ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะ กับ เปรอร์เซ็นความชื้น.....	25
	(ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะ กับ ความดันไอน้ำ.....	25
รูปที่ 2.18	ผลของความเร็วกาศขาเข้าต่ออัตราการดูดซับ.....	29
รูปที่ 2.19	ผลของความชื้นอากาศขาเข้าต่ออัตราการดูดซับ.....	29
รูปที่ 2.20	ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการคายซับ.....	30
รูปที่ 2.21	แสดงเส้น โค้งการดูดซับของซิติกาเจลที่ผ่านการคายซับที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน.....	30
รูปที่ 2.22	แสดงปริมาณการคายซับของซิติกาเจลที่ผ่านการคายซับที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน.....	31
รูปที่ 3.1	เครื่องผลิตอากาศแห้งแบบสลับอลูมิเนียมสำหรับกระบวนการอบแห้ง.....	32
รูปที่ 3.2	ลักษณะและรายละเอียดเครื่องผลิตอากาศแห้งสำหรับกระบวนการอบแห้ง.....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3	เครื่องผลิตอากาศแห้งแบบต่อเนื่อง.....	34
รูปที่ 3.4	แสดงการจัดอุปกรณ์สำหรับทดสอบผลของทิศทางการไหลของอากาศ ในกระบวนการดูดซับและคายซับไหลแบบทิศทางตรงข้ามกัน.....	35
รูปที่ 3.5	แสดงการจัดอุปกรณ์สำหรับทดสอบผลของทิศทางการไหลของอากาศ ในกระบวนการดูดซับและคายซับไหลแบบทิศทางเดียวกัน.....	36
รูปที่ 4.1	ผลของทิศทางการไหลของอากาศในกระบวนการดูดซับและคายซับต่อ ประสิทธิภาพการคายซับ.....	40
รูปที่ 4.2	ผลของลำดับชั้นที่บรรจุซิลิกาเจลที่มีผลต่อการลดลงของความชื้นในซิลิกาเจล กับเวลาในการคายซับ.....	41
รูปที่ 4.3	ผลของอุณหภูมิและความเร็วของอากาศร้อนที่ใช้การคายซับซิลิกาเจลที่มีผล ต่อปริมาณ Moisture content %db ในซิลิกาเจลกับเวลาในการคายซับ.....	42
รูปที่ 4.4	แสดงประสิทธิภาพของการดูดซับความชื้นของซิลิกาเจลโดยทำการคายซับ ที่สภาวะต่างๆ.....	44
รูปที่ 4.5	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการอบจิ้งด้วยอากาศร้อนและอากาศแห้งร้อน.....	45
รูปที่ ก.1	แสดงหน้าเว็บไซต์ที่ให้บริการ Psychrometric Calculator Online.....	50
รูปที่ ก.2	แสดงหน้าเว็บไซต์ที่ให้บริการ Psychrometric Calculator Online.....	51
รูปที่ ก.3	โปรแกรมคำนวณหาค่าสัดส่วนความชื้นในอากาศ.....	52

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในกระบวนการการอบแห้งผลิตภัณฑ์โดยใช้ความร้อนเป็นวิธีการที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายกับผลิตภัณฑ์ต่างๆ ซึ่งรวมถึงการอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นในผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เช่น สมุนไพร แต่วิธีการอบแห้งที่ใช้อยู่จะเป็นการอบโดยใช้ลมร้อนที่มีอุณหภูมิสูงและอาจส่งผลทำให้สารสำคัญบางตัวเกิดการเสื่อมสภาพทางเคมีจากความร้อน ดังนั้นการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำจึงได้เข้ามามีบทบาทต่อการอบแห้งอาหารและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร โดยมุ่งเน้นจุดประสงค์ไปที่ด้านการถนอมอาหารและรักษาคุณค่าของอาหารไว้หนทางหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาต่างๆดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นได้ คือการอบแห้งโดยใช้อากาศแห้งซึ่งอากาศแห้งนี้คืออากาศในบรรยากาศปกติที่ได้ผ่านกระบวนการที่ทำให้ความชื้นภายในอากาศลดลง โดยการใช้อากาศแห้งร่วมกับระบบอบแห้งช่วยให้ระบบอบแห้งสามารถอบแห้งในสถานะอุณหภูมิที่มีค่าต่ำลงมาได้ และช่วยให้สีของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีคล้ายผลิตภัณฑ์เดิมก่อนอบแห้งมากกว่าการใช้อากาศที่มีความชื้นสูงอบอีกด้วย เครื่องผลิตอากาศแห้งแบบต่อเนื่องประกอบไปด้วยหอดูดซับที่บรรจุตัวดูดซับซึ่งคือซิลิกาเจลจำนวนสองหอ โดยจะทำงานเป็นหอดูดซับสลับกับเป็นหอคายซับ โครงการวิจัยจะทำการศึกษาออกแบบเครื่องและจัดทำเครื่องผลิตอากาศแห้งแบบต่อเนื่องรวมถึงศึกษาเพื่อหาสถานะของความเร็วอากาศและอุณหภูมิที่ใช้ในการคายซับสำหรับดำเนินการแบบต่อเนื่องที่ทำให้ได้สถานะที่เหมาะสมและสามารถประหยัดพลังงาน

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบเครื่องผลิตอากาศแห้งสำหรับในเครื่องอบแห้งอุณหภูมิต่ำ
2. เพื่อศึกษาผลกระทบของทิศทางการไหลของอากาศในกระบวนการดูดซับและทิศทางการไหลของอากาศในกระบวนการคายซับที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบเครื่องผลิตอากาศแห้ง
3. เพื่อศึกษาสภาวะในการคายซับซิลิกาเจลที่เหมาะสมของเครื่องผลิตอากาศแห้ง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาการทดลองจากเครื่องผลิตอากาศแห้งขนาดเล็กเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องต่อไป
2. ศึกษาทิศทางการไหลของอากาศในกระบวนการดูดซับและในกระบวนการคายซับ ได้แก่ การไหลของอากาศไหลแบบทิศทางเดียวกัน (Adsorption desorption flow in the same direction) และ การไหลของอากาศไหลแบบทิศทางตรงข้ามกัน (Adsorption desorption flow in the opposite direction)
3. ศึกษาตัวแปรที่มีผลในกระบวนการคายซับของเครื่องผลิตอากาศแห้ง ได้แก่ ความเร็วอากาศและอุณหภูมิที่ใช้ในการคายซับ

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับการออกแบบหน่วยดูดซับ ลักษณะเครื่องผลิตอากาศแห้งและวิธีการบรรจุสารตัวดูดซับ
2. ออกแบบและผลิตเครื่องผลิตอากาศแห้งแบบต่อเนื่อง
3. ศึกษาตัวแปรและปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการดูดและคายซับความชื้นในระบบเครื่องผลิตอากาศแห้ง
4. ออกแบบและทำการทดลองเพื่อหาทิศทางการไหลของอากาศที่เหมาะสมและหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการคายซับของเครื่องผลิตอากาศแห้งแบบต่อเนื่อง

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. เข้าใจหลักการของกระบวนการดูดซับและกระบวนการคายซับความชื้น โดยมีตัวดูดซับเป็นซิลิกาเจล
2. ได้มีทักษะในออกแบบและจัดทำเครื่องผลิตอากาศแห้งแบบต่อเนื่องที่สามารถใช้กับระบบอบแห้งอุณหภูมิต่ำจริงได้
3. เรียนรู้การทำงานร่วมกัน การวางแผนและการหาแนวทางการแก้ไขปัญหาในระหว่างการทำงานวิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการดูดซับ [2], [21]

กระบวนการดูดซับเป็นการเกาะยึดสะสมของอะตอม โมเลกุลของก๊าซ ของเหลว ของแข็ง หรือสารประกอบอย่างน้อยหนึ่งชนิดบนพื้นผิวตัวดูดซับ โดยกระบวนการเกิดบริเวณผิวร่วมระหว่างภูมิภาคเช่น ผิวร่วมระหว่างภูมิภาคก๊าซกับภูมิภาคของเหลว ผิวร่วมระหว่างภูมิภาคของเหลวสองภูมิภาคที่แยกชั้นกันหรือ ผิวร่วมระหว่างภูมิภาคของก๊าซกับภูมิภาคของแข็ง เป็นต้น ซึ่งโดยส่วนใหญ่กระบวนการดูดซับที่ใ้ใช้มักใช้สารประกอบที่มีสถานะของแข็งเป็นตัวดูดซับ เนื่องจากของแข็งมีพื้นที่ผิวจำเพาะคงที่ทำให้สามารถกำหนดผิวร่วมระหว่างภูมิภาคได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้เมื่อเกิดการดูดซับสารประกอบชนิดหนึ่ง สารประกอบนั้นไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับโครงสร้างของตัวดูดซับ หรืออาจกล่าวได้ว่าการดูดซับคือปรากฏการณ์ของการยึดเกาะและสะสมของสารประกอบชนิดหนึ่งหรือหลายชนิดไว้บนผิวของแข็ง โดยไม่เปลี่ยนโครงสร้างของแข็งนั้น ซึ่งในกระบวนการมีส่วนประกอบหลักสำคัญ 2 ส่วน ส่วนแรกคือระบบของแข็งที่เก็บสารประกอบต่างๆไว้เรียกว่า “ตัวดูดซับ” และส่วนที่สองคือส่วนของสารประกอบต่างๆที่เราต้องการดูดซับ เรียกว่า “สารถูกดูดซับ”

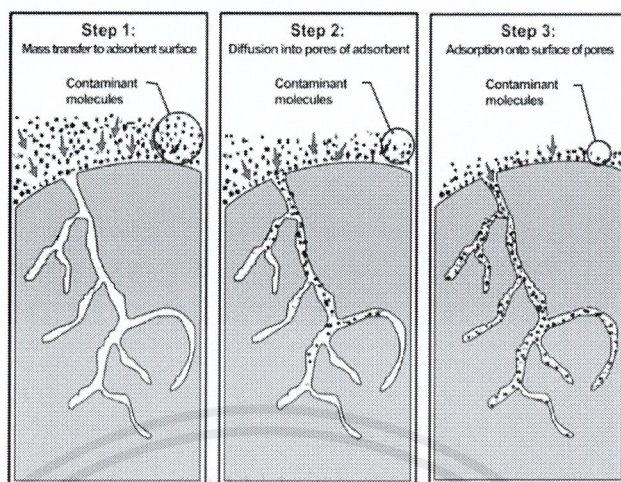
2.1.1 หลักการในการดูดซับ

กระบวนการดูดซับจะเกิดขึ้น 3 ขั้นตอนคือ

ขั้นที่ 1 สารถูกดูดซับมีการถ่ายโอนมวลจากภูมิภาคก๊าซมายังพื้นผิวของตัวดูดซับ

ขั้นที่ 2 โมเลกุลของสารถูกดูดซับมีการแพร่ตัวจากพื้นที่ผิวภายนอกของตัวดูดซับไปยังรูพรุนที่อยู่ภายในของตัวดูดซับ โดยการดูดซับส่วนใหญ่จะเกิดภายในรูพรุนของตัวดูดซับ

ขั้นที่ 3 โมเลกุลของสารถูกดูดซับถูกสะสมอยู่ภายในรูพรุนของตัวดูดซับ



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนของการเกิดการดูดซับ[21]

2.1.2 ความร้อนของการดูดซับ

การดูดซับเป็นปรากฏการณ์คายความร้อนมีผลทำให้อุณหภูมิของระบบดูดซับก๊าซหรือไอเพิ่มสูงขึ้นได้ซึ่งระบบดูดซับก๊าซหรือระบบดูดซับไอทั่วไป ก๊าซผสมและก๊าซผลิตภัณฑ์จะไหลผ่านชั้นตัวดูดซับอย่างต่อเนื่อง ความร้อนของการดูดซับส่วนหนึ่งระบายออกจากระบบดูดซับก๊าซหรือระบบดูดซับไอเหล่านั้น โดยการพาความร้อนด้วยก๊าซผสม และ ก๊าซผลิตภัณฑ์ดังกล่าว โดยมีผลให้อุณหภูมิของระบบดูดซับก๊าซหรือระบบดูดซับไอเหล่านั้นเพิ่มสูงขึ้นอุณหภูมิของระบบดูดซับดังกล่าวที่สูงขึ้น มีผลให้ปริมาณดูดซับจำเพาะของระบบดูดซับก๊าซลดลงบ้างเล็กน้อย นอกจากนี้ความร้อนของการดูดซับยังแปรผันตามปริมาณการดูดซับจำเพาะที่เกิดขึ้นด้วย

2.1.3 ประเภทของการดูดซับ

การดูดซับเกิดขึ้นด้วยแรงระหว่างโมเลกุลของสารถูกดูดซับกับผิวของตัวดูดซับ โดยจำแนกแรงดังกล่าวออกเป็น 2 ชนิด คือ แรงแบบกายภาพและแรงแบบเคมีลักษณะการดูดซับตามชนิดของแรงที่ดูดซับโมเลกุลของสารถูกดูดซับไว้บนผิวของตัวดูดซับมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก) การดูดซับแบบกายภาพ

การดูดซับแบบกายภาพ (Physisorption) คือ การดูดหรือดึงสารถูกดูดซับไว้บนผิวของตัวดูดซับด้วยแรงทางกายภาพชนิดใดชนิดหนึ่งหรือหลายชนิดร่วมกัน แรงทางกายภาพของการดูดซับประเภทนี้ ได้แก่

- 1) แรงดึงดูดระหว่างขั้วของสารถูกดูดซับกับขั้วบนผิวตัวดูดซับ เช่น การดูดซับความชื้นด้วยผลึกดูดความชื้น ซึ่งเป็นแรงดึงดูดระหว่างขั้วบวกของโมเลกุลไอน้ำกับขั้วลบบนผิวผลึกดูดความชื้นหรือแรงดึงดูดระหว่างขั้วลบของโมเลกุลไอน้ำกับขั้วบวกบนผิวผลึกดูดความชื้น เป็นต้น
- 2) แรงดึงดูดระหว่างประจุของสารถูกดูดซับชนิดไอออนกับประจุบนผิวตัวดูดซับ เช่น การดูดซับไอออนแคลเซียม (Ca^{2+}) และไอออนแมกนีเซียม (Mg^{2+}) ในน้ำกระด้าง ด้วยการแลกเปลี่ยนไอออนบนผิวตัวดูดซับชนิดพอลิเมอร์ เป็นต้น
- 3) แรงดึงดูดมวลระหว่างโมเลกุลสารถูกดูดซับกับผิวของตัวดูดซับ เช่น การดูดซับกลิ่นซึ่งมักเป็นไอระเหยของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดต่างๆ ด้วยถ่านดูดซับ หรือการดูดซับไอของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนด้วยถ่านดูดซับ เป็นต้น

ลักษณะสำคัญของการดูดซับประเภทนี้ คือ การดูดซับเกิดขึ้นดี ณ อุณหภูมิปกติ หรือ ณ อุณหภูมิบรรยากาศทั่วไป และเกิดได้ดีมากยิ่งขึ้น ณ อุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิจึงอากาศ เช่น การดูดซับกลิ่นอับต่างๆ ในตู้เย็นและในห้องโดยสารปรับอากาศ เป็นต้น สามารถเกิดขึ้นได้ที่ทั้งบนผิวของตัวดูดซับโดยตรง และเกิดขึ้นบนชั้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับที่สะสมบนผิวของตัวดูดซับแล้ว โดยไม่จำกัดจำนวน โมเลกุลของสารถูกดูดซับที่ซ้อนทับกัน จึงมักเรียกรวมการดูดซับลักษณะนี้ว่า “การดูดซับหลายชั้น”

ข) การดูดซับแบบเคมี

การดูดซับแบบเคมี (Chemisorptions) คือ การเกิดพันธะเคมีหรือการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันระหว่างโมเลกุลของสารถูกดูดซับกับผิวของตัวดูดซับ ในลักษณะเดียวกับการเกิดปฏิกิริยาเคมี การดูดซับประเภทนี้ จึงต้องการพลังงานกระตุ้น เช่นเดียวกับการเกิดปฏิกิริยาเคมีทั่วไป ดังนั้นการดูดซับจึงมักเกิดขึ้นได้ดีหรือเกิดขึ้นได้เร็ว ณ อุณหภูมิสูงๆ และการดูดซับจะเกิดขึ้นเฉพาะบนผิวของตัวดูดซับเท่านั้น กล่าวคือการดูดซับแบบเคมีจะไม่เกิดบนชั้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับที่สะสมบนผิวของตัวดูดซับเช่นเดียวกับการดูดซับ

แบบกายภาพ การดูดซับแบบเคมีจึงเกิดขึ้นได้เพียงชั้นเดียวเท่านั้นและเรียกการดูดซับประเภทนี้ว่า “ การดูดซับชั้นเดียว” ความร้อนของการดูดซับประเภทนี้ จึงมีค่าสูงกว่าค่าความร้อนของการดูดซับแบบกายภาพ หรือมีค่าสูงกว่าค่าความร้อนแฝงของการควบแน่น ไอสารถูกดูดซับชนิดนั้นๆ ไม่น้อยกว่า 3 เท่า

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ [3]

2.2.1 ลักษณะของตัวดูดซับ

คุณสมบัติของตัวดูดซับที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ พื้นที่ผิวของตัวดูดซับและโครงสร้างของรูพรุน โดยความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามพื้นที่ผิวของตัวดูดซับไม่เพียงพอที่จะอธิบายความสามารถในการดูดซับที่เพิ่มขึ้น ถ้าขนาดโมเลกุลของตัวถูกดูดซับไม่สามารถเข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับได้ ความสามารถในการดูดซับจะต่ำลง ดังนั้น ความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ สำหรับตัวดูดซับที่ไม่มีรูพรุนซึ่งมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นเมื่อลดขนาดของตัวดูดซับให้เล็กลงจึงมีอัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของตัวดูดซับและสำหรับตัวดูดซับที่มีรูพรุนมาก พื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดซับจะอยู่ในรูพรุนทำให้ขนาดของตัวดูดซับไม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับ หากอัตราการเคลื่อนที่ของตัวถูกดูดซับที่เข้าไปในรูพรุนถูกควบคุมจากความต้านทานภายนอกที่เรียกว่าการขนส่งชั้นฟิล์มทำให้อัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนกับขนาดของตัวดูดซับ แต่ในทางกลับกันหากการเคลื่อนที่ภายในอนุภาคเป็นตัวควบคุมอัตราการดูดซับก็จะทำให้การดูดซับเป็นอัตราผกผันกับขนาดของตัวดูดซับ

2.2.2 ความสามารถในการละลายของตัวดูดซับ

การดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายของตัวถูกดูดซับมีค่าลดลง เนื่องจากในการดูดซับตัวถูกละลายต้องแยกออกจากตัวทำละลายและไปเกาะติดที่ผิวของตัวดูดซับ เช่น ในกรณีที่สารละลายมีน้ำเป็นตัวทำละลาย ตัวถูกดูดซับที่ละลายน้ำได้ย่อมมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำได้ดี ซึ่งด้วยสาเหตุนี้จึงส่งผลทำให้เกิดการดูดซับได้ยากขึ้น ตัวถูกดูดซับที่

ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยมักสามารถเกาะติดบนผิวของตัวดูดซับได้ดี อย่างไรก็ตาม คำตอบข้างต้นไม่ได้ เป็นความจริงเสมอไป ทั้งนี้เพราะมีตัวถูกดูดซับที่ละลายน้ำได้น้อย หลายชนิดเกาะติดบนผิวของตัวดูดซับได้ยาก

2.2.3 ความมีขี้ของโมเลกุล

ความสามารถในการดูดซับจะลดลงเมื่อสภาพมีขี้เพิ่มขึ้นเพราะการเพิ่มสภาพมีขี้ทำให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น

2.2.4 อัตราเร่งการปั่นป่วน

อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นกับการขนส่งโมเลกุลของระบบ ซึ่งจัดว่าเป็นขั้นตอนที่จำกัด อัตราเร็วของการดูดซับ ขั้นตอนนี้ประกอบด้วย การแพร่ผ่านฟิล์ม โดยแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีการปั่นกววนต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบตัวดูดซับจะมีความหนามาก และเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าหาสารดูดซับ ทำให้การแพร่ผ่านฟิล์มเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงข้ามหากน้ำมีการปั่นกววนสูงทำให้ความหนาของชั้นฟิล์มลดลงทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่เข้าหาสารดูดซับเร็วขึ้น ดังนั้นการแพร่สู่รูพรุนจึงเป็นปัจจัยที่กำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

2.2.5 เวลาสัมผัส

เวลาสัมผัสเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับยกตัวอย่าง เช่น ในการบำบัดน้ำเสียเวลาสัมผัสที่ใช้ต้องเหมาะสมที่ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดดีที่สุด โดยทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ ซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมนั้นต้อง ทำการศึกษาในระดับปฏิบัติการก่อนนำไปประยุกต์ใช้งานจริง

2.2.6 อุณหภูมิ

ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราเร็วของการดูดซับจะเพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการดูดซับจะลดลง เนื่องจากการดูดซับส่วนใหญ่เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

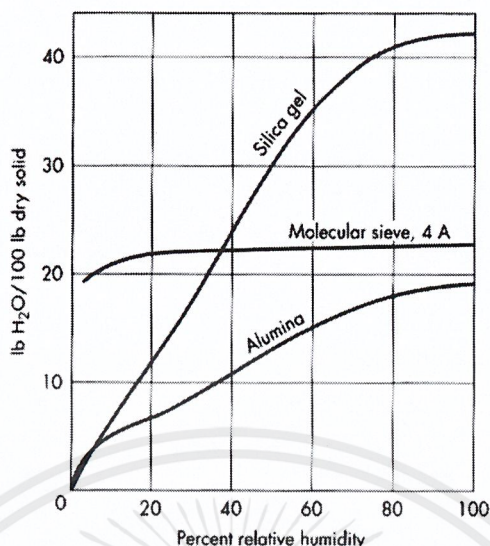
2.3 ตัวดูดซับ [2]

ในการคัดเลือกตัวดูดซับมาใช้งานจริงนอกจากจะต้องคำนึงถึงสมบัติทางกายภาพสมบัติการดูดซับสมบัติเชิงกลสมบัติทางเคมีแล้วยังต้องคำนึงถึงสมบัติทางเศรษฐศาสตร์ด้วยเนื่องจากตัวดูดซับที่ใช้ต้องมีความคุ้มค่าต่อการลงทุนในการผลิตเครื่อง โดยคุณสมบัติทางเศรษฐศาสตร์ของสารดูดซับมีดังนี้

- 1) ตัวดูดซับมีโพรงมากเพียงพอเพื่อให้สารประกอบที่ต้องการดูดซับที่อยู่ในสถานะก๊าซหรือไอสามารถแพร่ไปยังพื้นผิวภายในตัวดูดซับได้สะดวกและสะสมสารประกอบที่ต้องการดูดไว้ได้ในปริมาณมาก
- 2) ตัวดูดซับสามารถเลือกดูดซับสารประกอบที่ต้องการแยกออกจากของผสมได้มากหรือเร็วกว่าการดูดซับสารประกอบอื่นในของผสมนั้น
- 3) ตัวดูดซับจะต้องสามารถทนทานต่อการสึกกร่อนทางเคมีและทางกล ที่อุณหภูมิของการดูดซับรวมทั้งอุณหภูมิของการปรับสภาพตัวดูดซับ
- 4) ตัวดูดซับต้องไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีกับสารประกอบใดๆในของผสม ที่อุณหภูมิของการดูดซับรวมทั้งอุณหภูมิของการปรับสภาพตัวดูดซับ
- 5) ตัวดูดซับควรมีความหนาแน่นน้อย และมีความพรุนมาก แต่มีลักษณะแข็งไม่แตกเป็นผงโดยง่าย
- 6) ตัวดูดซับควรรหาได้ง่ายและราคาไม่แพง

2.4 ซิลิกาเจล [2], [22]

ซิลิกาเจลเป็นเม็ดแก้วมีรูพรุนของซิลิกอนไดออกไซด์สังเคราะห์จากโซเดียมซิลิเกต เป็นสารดูดความชื้นและสามารถสร้างพันธะที่แข็งแรงกับ โมเลกุลของน้ำ ซิลิกาเจลสามารถดูดซับน้ำได้เป็นจำนวนมาก เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำและซิลิกาเจลมีค่าทำให้สามารถ ไล่น้ำออกจากโครงสร้างและสามารถนำเอากลับมาใช้ใหม่ได้ค่อนข้างง่าย



รูปที่ 2.2 แสดงสมมูลการดูดซับไอน้ำของซิลิกาเจลเปรียบเทียบกับสารดูดความชื้นชนิดอื่น[3]

จากรูปที่ 2.2 สามารถชี้ให้เห็นว่าซิลิกาเจลสามารถดูดซับน้ำได้มาก ที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ และมีความจุสูงเมื่อเทียบกับสารดูดซับชนิดอื่น นอกจากนี้ซิลิกาเจลยังมีราคาถูกและสามารถฟื้นฟู นำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยการอบหรือเอาลมร้อนเป่าผ่านตัวซิลิกาเจลที่ใช้แล้ว ซิลิกาเจลไม่เป็นพิษ ไม่ติดไฟ ไม่ทำปฏิกิริยา และมีเสถียรภาพสูงในการใช้งาน แต่ฝุ่นจากซิลิกาเจลอาจก่อให้เกิดการ ระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ ทางเดินอาหาร และผิวหนัง และซิลิกาเจลยังมีการผสมด้วยตัว บ่งชี้ความชื้น เช่น โคบอลต์คลอไรด์ (II) ซึ่งเป็นพิษและสารก่อมะเร็ง โดยโคบอลต์คลอไรด์ (II) จะ มีสีน้ำเงินเข้มเมื่อแห้ง (คล้ายกับซิลิกาเจลปราศจากน้ำ) และมีสีชมพูเมื่อซิลิกาเจลชื้น กล่าวคือเป็น ตัวที่ชี้ให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของซิลิกาเจลเมื่อมีการดูดซับความชื้นไป

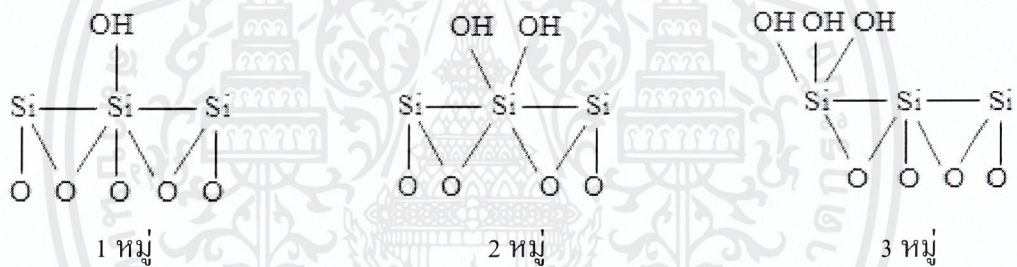
2.4.1 ข้อมูลทางกายภาพ[22]

ลักษณะภายนอก	: เป็นเม็ดมีลักษณะเป็นทรงกลม
ขนาดของรูพรุนเฉลี่ย	: 2.4 นาโนเมตร
พื้นที่ผิว	: 800 ตารางเมตร / กรัม
ความหนาแน่น	: 0.45 กรัมต่อมิลลิลิตร

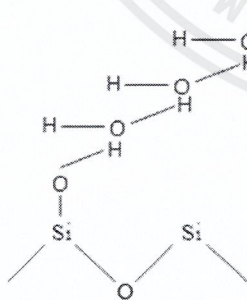
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 การดูดซับความชื้นของซิลิกาเจล

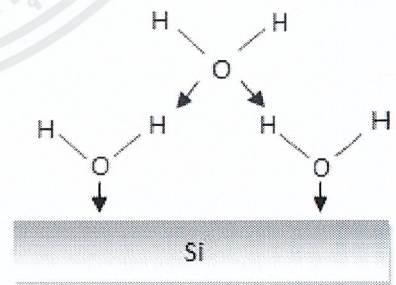
ในซิลิกาเจลจะประกอบไปด้วยผลึกความชื้นที่เป็นสารประกอบออกไซด์ ที่ไม่สมบูรณ์ของซิลิกอนซึ่งมีหมู่ไฮดรอกไซด์เหลืออยู่บนผลึก โดยอะตอมธาตุซิลิกอนในผลึกซิลิกาเจลนั้น จะมีหมู่ไฮดรอกไซด์ไม่เกิน 3 หมู่ โดยจะแสดงโครงสร้างดังรูปที่ 2.3 หมู่ไฮดรอกไซด์ เหล่านี้ทำให้เกิดโพรงในผลึกของซิลิกาเจล และยังช่วยเพิ่มสมบัติความเป็นขั้วบนผิวผลึกซิลิกาเจล ซึ่งการเกิดขั้วบนผลึกของซิลิกาเจลจะทำให้เกิดการดูดซับความชื้น โดยที่ความชื้นหรือไอน้ำในก๊าซจะเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างอะตอมออกซิเจนของโมเลกุลน้ำ กับอะตอมไฮโดรเจนของหมู่ไฮดรอกไซด์บนซิลิกาเจล หรือพันธะไฮโดรเจนระหว่างอะตอมไฮโดรเจนของโมเลกุลน้ำกับอะตอมออกซิเจนของหมู่ไฮดรอกไซด์บนซิลิกาเจล ดังแสดงในรูปที่ 2.4 และรูปที่ 2.5 โดยซิลิกาเจลเป็นตัวดูดซับสำคัญของกระบวนการลดความชื้นหรือไอน้ำที่ไม่สามารถควบแน่นได้ในอุณหภูมิบรรยากาศปกติและเหมาะสมที่จะดูดซับความชื้นสำหรับที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50%-80%



รูปที่ 2.3 ลักษณะจำนวนหมู่ไฮดรอกไซด์ของซิลิกาเจล[2]



รูปที่ 2.4 การจับกันระหว่างระหว่างโมเลกุลของน้ำแบบ Multilayer Adsorption[3]



รูปที่ 2.5 การดูดซับโมเลกุลของน้ำบนผิวหน้าของซิลิกาเจล[3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การคายซั้บ [6]

การคายซั้บเป็นปรากฏการณ์ที่สารถูกปล่อยออกจากพื้นผิวตัวดูดซั้บ ซึ่งเป็นกระบวนการตรงกันข้ามกับการดูดซั้บ คือ เป็นการฟื้นฟูตัวดูดซั้บเมื่อทำการดูดซั้บสารถูกดูดซั้บไปเป็นระยะเวลาหนึ่งพบว่าสารดูดซั้บอิ่มตัว ซึ่งสำหรับกระบวนการดูดซั้บความชื้นเมื่อซึลิกาเจลดูดซั้บความชื้นจนอิ่มตัว (ซึลิกาเจลเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเข้มเป็นสีม่วงอมชมพู) โดยทำการคายซั้บบแบบเพิ่มอุณหภูมิของอากาศที่ป้อนเข้าไป โดยให้อากาศร้อนไหลผ่านตัวดูดซั้บ ลมร้อนจะทำให้ความชื้นที่ซึลิกาเจลดูดซั้บไว้คายออกมาและมีสีน้ำเงินเข้มดั้งเดิมพร้อมนำกลับมาใช้งานใหม่

2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการคายซั้บ [6], [10], [18], [19]

2.6.1 ลักษณะการบรรจุสารดูดซั้บ

Sukhmeet Singh, Parm Pal Singh[19] ได้ทำการศึกษาการฟื้นฟูซึลิกาเจล โดยเริ่มต้นความชื้นที่ 42.8 % db ใช้ความเร็วลมและอุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการฟื้นฟูในช่วง 0.175 ถึง 0.55 เมตรต่อวินาที และ 42 ถึง 72 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการฟื้นฟูซึลิกาเจลจำนวน 300 นาที การทดลองเป็นการเปรียบเทียบระหว่างการบรรจุซึลิกาเจล 2 แบบ โดยแบบแรกคือบรรจุซึลิกาเจลทั้งหมด 3 กิโลกรัม โดยไม่แบ่งชั้นและแบบที่สองบรรจุซึลิกาเจล โดยแบ่งบรรจุซึลิกาเจล เป็น 2 3 และ 4 ส่วน เมื่อทำการทดลองพบว่าที่เวลา 300 นาที ความชื้นสุดท้ายในซึลิกาเจลที่บรรจุแบบแรก (บรรจุทั้งหมด 3 กิโลกรัม) มีค่าเป็น 14% db ซึ่งมีค่าความชื้นสุดท้าย มากกว่าแบบที่สอง (บรรจุแบบแบ่งเป็นชั้นๆ) ซึ่งแบบที่สองมีค่าประมาณ 7% db เห็นได้ว่าการแบ่งบรรจุซึลิกาเจลออกเป็นชั้นๆ ทำให้ประสิทธิภาพในการฟื้นฟูซึลิกาเจลดีกว่า ทั้งนี้อาจกล่าวได้ว่าลักษณะการบรรจุสารดูดซั้บที่แตกต่างกัน ส่งผลให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างตัวดูดซั้บและอากาศร้อนที่ใช้ในการฟื้นฟูมีค่ามากขึ้นแตกต่างกัน โดยการแบ่งบรรจุสารดูดซั้บออกเป็นชั้นๆ เปรียบเสมือนกับการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างสารดูดซั้บกับอากาศ ทำให้เกิดการถ่ายโอนมวลมากขึ้น

2.6.2 อัตราการไหลของอากาศ

Saito Y. [18] ได้มีการศึกษาลักษณะของการนำกลับมาใช้ใหม่ของสารดูดซับความชื้นชนิดซิลิกาเจล โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการคายซับจากซิลิกาเจลลักษณะของระบบนี้คือตัวดูดซับเป็นชั้นบางอยู่ในแผงรับรังสีจากแสงอาทิตย์ จากผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพของการคายซับขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอากาศ ซึ่งค่าที่เหมาะสมอยู่ในช่วง Reynolds number คือ 1.2 ถึง 1.7 ค่าอัตราการไหลของอากาศ 2-3 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศเป็นผลให้ประสิทธิภาพการคายซับสูงขึ้น นอกจากนี้ความสามารถในการดูดซับความชื้นของสารดูดซับขึ้นอยู่กับความชื้นเริ่มต้นของสารดูดซับด้วย

Sukhmeet Singh, Parm Pal Singh [19] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบของความเร็วอากาศต่อเวลาในการฟื้นฟูซิลิกาเจลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยการทดลองมีการกำหนดสถานะของความเร็วอากาศที่ใช้ในการฟื้นฟูซิลิกาเจลที่ต่างกัน 4 ค่า ได้แก่ 0.175 0.25 0.40 และ 0.55 เมตรต่อวินาที พบว่าเวลาที่ใช้การฟื้นฟูซิลิกาเจลโดยลดความชื้นจาก 42.8 % db ไป 15 % db จะลดลง เมื่อมีการเพิ่มความเร็วอากาศในทุกค่าของอุณหภูมิและจำนวนชั้นที่แบ่งสารดูดซับที่ใช้ในการทดลอง

2.6.3 อุณหภูมิที่ใช้ในการคายซับ

A.E. Kabeel[10] ได้มีการศึกษาถึงผลกระทบของอุณหภูมิอากาศขาเข้าในกระบวนการคายซับที่ระดับชั้นต่างกันของเบดบรรจุในช่วงเวลา 60 นาที ความเร็วอากาศขาเข้าคงที่ 3.9 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 42 และ 70 องศาเซลเซียส เห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้น อัตราการคายซับเพิ่มขึ้นและความแตกต่างในอัตราการคายซับระหว่างชั้นแรกและชั้นสุดท้ายเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ค่าอัตราการคายซับชั้นแรก หลังจาก 10 นาที มีค่า 0.8 และ 1.1 กรัมต่ออนาที ที่อุณหภูมิ 42 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์นั้นจึงสรุปได้ว่าอัตราการคายซับขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอากาศขาเข้า

Sukhmeet Singh, Parm Pal Singh [19] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ต่อเวลาฟื้นฟูซิลิกาเจลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยการทดลองได้มีการกำหนดสถานะอุณหภูมิที่ใช้ฟื้นฟูซิลิกาเจลที่ต่างกัน 4 ค่า ได้แก่ 42 52 62 และ 72 องศาเซลเซียส

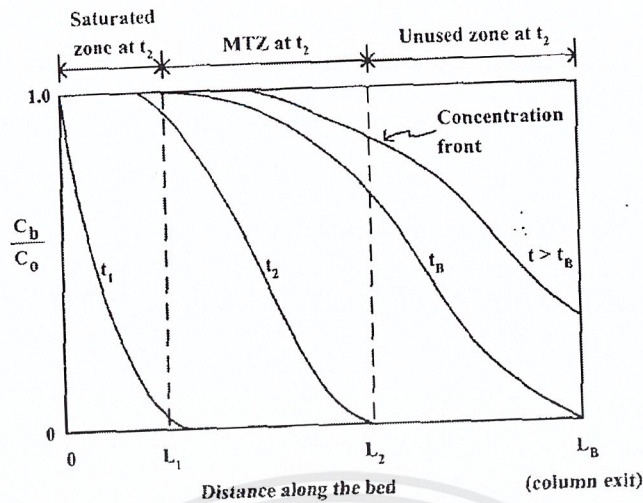
พบว่าเวลาที่ใช้ในการฟื้นฟูฟลูอิดิกาเจลโดยลดความชื้นจาก 42.8 % db ไปยัง 15 % db จะลดลง เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในทุกค่าของความเร็วอากาศและทุกค่าของจำนวนชั้นที่แบ่งสารดูดซับ ซึ่งเห็นได้ชัดในสถานะที่ใช้ความเร็วอากาศที่ค่าต่ำๆ

2.7 การดูดซับในเบดนิ่ง [1]

การประยุกต์ใช้กระบวนการดูดซับสารในทางอุตสาหกรรมสำหรับกระบวนการแยกสารและการทำให้สารบริสุทธิ์ส่วนใหญ่ มักจะใช้ระบบการดูดซับแบบเบดนิ่ง (Fixed bed adsorber) โดยระบบนี้จะนิยมมากสำหรับการแยกสารปนเปื้อนในก๊าซเฟส เนื่องจากเป็นระบบที่ไม่ซับซ้อน การทำงานของระบบดูดซับเบดนิ่งเริ่มจากการบรรจุสารดูดซับลงในหอดูดซับ และป้อนของไหลที่ประกอบไปด้วยสารดูดซับที่เราต้องการดูดซับออก โดยให้ของไหลสัมผัสกับชั้นอนุภาคหรือเบดของของแข็งอย่างต่อเนื่อง ซึ่งบริเวณนี้จะเกิดการดูดซับขึ้นและเมื่อเวลาผ่านไปเบดจะเริ่มเกิดการอิ่มตัว และขยายบริเวณกว้างขึ้น เนื่องจากดูดซับสารเข้าไป จนเบดจะเกิดสถานะอิ่มตัวทั่วทั้งหอดูดซับซึ่งเราจะสังเกตว่าเบดอิ่มตัวได้โดยดูความเข้มข้นของสารเจือปนที่ต้องการดูดซับออกซึ่งปนเปื้อนมาในสารป้อนขากว่าความเข้มข้นเกินที่กำหนดหรือไม่ ซึ่งเมื่อเบดของสารที่เป็นตัวดูดซับอิ่มตัวต้องทำการคืนสภาพให้ตัวดูดซับสามารถนำกลับมาดูดซับใหม่ได้อีกครั้ง

จากลักษณะการดูดซับของระบบดูดซับแบบเบดนิ่ง เห็นได้ว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารดูดซับขึ้นกับตำแหน่งและเวลา โดยที่การกระจายความเข้มข้นของสารถูกดูดซับขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ซึ่งได้แก่ ความต้านทานการถ่ายโอนมวล รูปร่างของไอโซเทิร์มการดูดซับ ความร้อนทั้งภายในและภายนอกของอนุภาค และการผสมตามแนวแกน เป็นต้น ดังนั้นสามารถทำนายข้อมูลความเข้มข้นของสารที่ต้องการดูดซับภายในเบด ตลอดจนการติดตามการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นที่บริเวณทางออกของหอดูดซับได้จากกราฟเบรกทูธ (Breakthrough curve) โดยในระบบดูดซับแบบเบดนิ่งจริงๆ นั้นมีอิทธิพลจากความต้านทานการถ่ายเทมวลทั้งภายในและภายนอกอนุภาค ตลอดจนผลของการผสมตามแนวแกน ซึ่งจะส่งผลทำให้การดูดซับไม่ถึงจุดสมดุลในทันทีที่ของไหลสัมผัสกับตัวดูดซับ ดังนั้นแนวความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับภายในเบดที่เวลาใดๆ แสดงลักษณะของแนวความเข้มข้นแบบกระจายตัว โดยความเข้มข้นนั้นลดลงตามระยะทางและแนวความเข้มข้นนี้จะเคลื่อนที่ไปตามแนวเบดจนถึงทางออกเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นแสดงดังรูปที่ 2.6

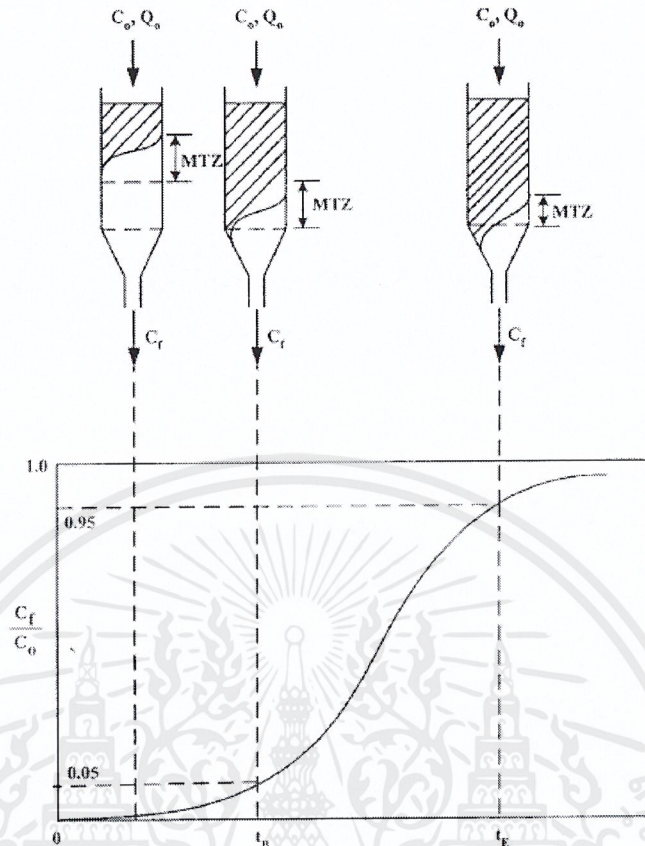
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 กราฟแสดงการกระจายความเข้มข้นของสารถูกดูดซับภายในเบดหนึ่งที่เวลาต่างๆ

(C_b = ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับภายในคอลัมน์, C_a = ความเข้มข้นในสายเข้า)[1]

จากรูปที่ 2.6 ที่เวลา t_1 การดูดซับยังคงดำเนินอยู่ตลอดช่วงความยาวของเบด L_1 โดยเบดของตัวดูดซับยังไม่เข้าสู่ภาวะอิ่มตัวในช่วงความยาวนี้แต่เมื่อเวลาผ่านไปอยู่ที่ t_2 ส่วนของเบดที่มีความยาว L_1 จะอยู่ในสภาวะอิ่มตัวจึงไม่สามารถเกิดการดูดซับได้อีก ในขณะที่ส่วนของเบดตั้งแต่ระยะ L_2 ถึง L_B จะไม่ถูกใช้งานสำหรับบริเวณตรงกลางของเบด ในช่วง L_1 ถึง L_2 เวลา t_2 นั้นเป็นบริเวณที่มีการดูดซับสารเกิดขึ้น จึงเรียกบริเวณนี้ว่า บริเวณถ่ายโอนมวล จากช่วงตั้งแต่ t_2 ถึง t_B แนวความเข้มข้นจะเคลื่อนไปตามความยาวของเบด จนกระทั่งที่เวลา t_B ส่วนปลายของกราฟความเข้มข้นเดินทางถึงตำแหน่งทางออก โดยเรียกเวลา ณ จุดนี้ว่า breakthrough time (t_B) เพราะฉะนั้นที่เวลามากกว่า t_B จะเริ่มตรวจพบระดับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับตรงทางออกของหอดูดซับ ซึ่งชี้ว่าขณะนี้ตัวดูดซับภายในเบดใกล้ถึงสภาวะอิ่มตัว และจำเป็นต้องหยุดการทำงาน ของระบบเพื่อทำการคืนสภาพให้กับสารดูดซับเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่



รูปที่ 2.7 กราฟเบรคทรูสำหรับการดูดซับในเบดนิ่ง และการกำหนดเวลาเบรคทรู (t_b) และเวลาเข้าสู่สมดุล (t_e) (C_0 = ความเข้มข้นขาเข้า, C_1 = ความเข้มข้นขาออก)[1]

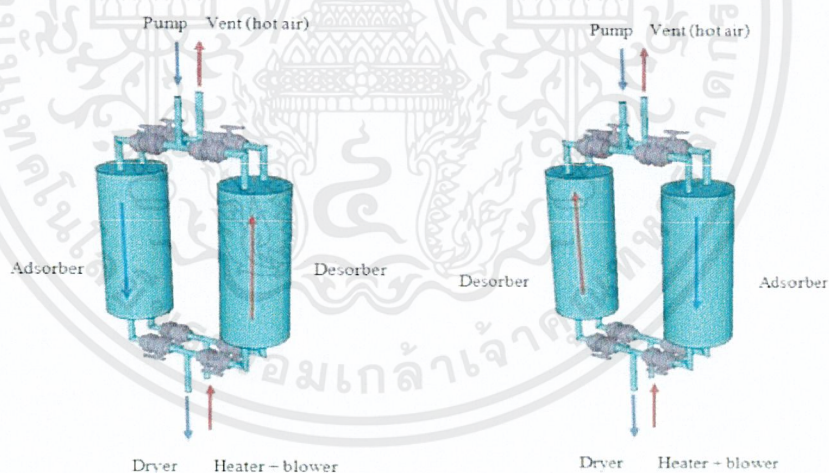
แสดงการติดตามความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับที่ตำแหน่งทางออกของหอดูดซับ โดยพลอต C_1/C_0 เทียบกับเวลาเมื่อ C_1 และ C_0 คือความเข้มข้นของสารที่ต้องการดูดซับในสายออกและสายเข้าตามลำดับ กราฟที่ได้จะเป็นรูปตัวเอส ซึ่งคือ กราฟ breakthrough curve ในทางปฏิบัติการกำหนดเวลาเบรคทรู (breakthrough time, t_b) พิจารณาที่ระดับความเข้มข้นสูงสุดในของไหลขาออกที่สามารถยอมรับได้ เช่น ถ้าเราพิจารณาเลือกความเข้มข้นสูงสุดขาออกเท่ากับ 5 % ของความเข้มข้นขาเข้า นั่นคือ $C_1/C_0 = 0.05$ เป็นต้น ดังนั้นระบบดูดซับจะสามารถทำงานได้ดีตั้งแต่เวลาที่เริ่มป้อนสารเข้าสู่หอดูดซับจนถึงเวลาเบรคทรู (breakthrough time, t_b) จากนั้นเราต้องทำการคืนสภาพให้กับตัวดูดซับ และถ้าปล่อยให้ระบบทำงานต่อไปที่เวลามากกว่า t_b ระดับความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับที่ตำแหน่งทางออก จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนมีค่าเข้าใกล้ความเข้มข้นของสายป้อนเข้า กล่าวคือตัวดูดซับทั้งหมดของเบดจะเข้าสู่สภาพอิ่มตัวและเวลาที่ระบบเข้าสู่สมดุลสุดท้ายนี้ จะเรียกว่า เวลาเข้าสู่สมดุลซึ่งเราสามารถหาได้จากกราฟเบรคทรู (breakthrough curve) ที่ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นใกล้เคียงกับ C_0 ซึ่งก็คือในจุดที่ C_f/C_0 เข้าใกล้ 1 โดยจากภาพจะแสดงตัวอย่างเป็นจุดที่ $C_f/C_0 = 0.95$ และเป็นสิ่งที่สังเกตว่าความชันของกราฟเบรกทรูจะเป็นตัวที่บ่งชี้ถึงสภาพความจุของชั้นเบด ตัวอย่างเช่น หากกราฟเบรกทรู(breakthrough curve) มีความชันมากแสดงว่าระบบดูดซับมีพฤติกรรมทางพลศาสตร์ที่เข้าใกล้สภาวะการดูดซับแบบอุดมคติจึงมีประสิทธิภาพในการดูดซับสูง ดังนั้นถ้าหอดูดซับมีขนาดคงที่ก็จะสามารถดูดซับสารได้ยาวนานมากขึ้น ก่อนที่จะไปทำการคืนสภาพให้ตัวดูดซับ

2.8 การดูดซับแบบสลับอุณหภูมิ (Temperature Swing Adsorption) [8]

การดูดซับแบบสลับอุณหภูมิ (Temperature Swing Adsorption) เป็นกระบวนการที่อาศัยกระบวนการทางเทอร์โมไดนามิกส์ในการดูดซับและคายซับ กล่าวคือ การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ และการคายซับจะเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิสูง โดยถึงหอดูดซับที่ใช้ต้องมีจำนวนอย่างน้อย 2 หอขึ้นไป ซึ่งภายในหอดูดซับจะบรรจุ ตัวดูดซับไว้ภายในของหอดูดซับทุกใบในระบบ โดยจะเห็นได้ดังรูปที่ 2.8



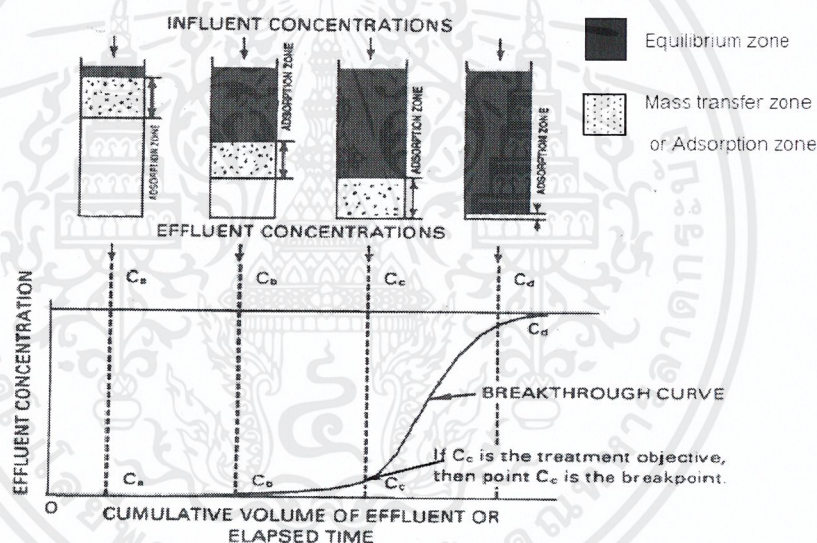
รูปที่ 2.8 หอดูดซับที่ใช้ในกระบวนการ ดูดซับแบบสลับอุณหภูมิ[6]

โดยหอดูดซับใบแรกจะถูกควบคุมไว้ที่อุณหภูมิต่ำและผ่านก๊าซที่ต้องการดูดซับเข้าไป เมื่อการดูดซับเต็มสมรรถนะของหอดูดซับแล้ว ระบบวาล์วจะเปลี่ยนให้ก๊าซไหลผ่านหอดูดซับใบที่ 2 แทน ซึ่งทำให้สามารถทำการดูดซับได้อย่างต่อเนื่อง และในขณะที่หอดูดซับใบที่ 2 ทำการดูดซับสารอยู่นั้น ถึงหอดูดซับใบแรก จะถูกให้ความร้อนเพื่อทำการคายซับสารที่ถูกดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อหอดูดซับใบที่ 2 ดูดซับเต็ม หอดูดซับใบที่ 1 ก็พร้อมที่จะดูดซับต่อโดยลดอุณหภูมิลง ทำเช่นนี้สลับกันไป ทำให้อุณหภูมิของหอดูดซับทั้งสองสูงต่ำสลับกันไป จึงเรียกกระบวนการนี้ว่า Temperature Swing Adsorption

ทั้งนี้ Capacity ของหอดูดซับสามารถพิจารณาได้จากกราฟเบรคทูร (Breakthrough Curve) ซึ่งจะแสดงสัดส่วนความเข้มข้นของสารที่ต้องการดูดซับในก๊าซขาออกจากหอดูดซับเทียบกับเวลา หรืออัตราการไหลของก๊าซที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการดูดซับ จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกจะไม่มีสารที่ต้องการดูดซับในก๊าซขาออกเลย เนื่องจากตัวดูดซับยังมี Capacity เพียงพอสำหรับการดูดซับ แต่เมื่อเวลาผ่านไปจะเริ่มมีสารหลุดออกจากหอดูดซับ และไม่เกิดการดูดซับต่อในที่สุด ซึ่งก็คือ ช่วงที่ตัวดูดซับอิ่มตัวเต็มไปด้วยสารที่ถูกดูดซับ



รูปที่ 2.9 กราฟเบรคทูรของการดูดซับแสดงสมรรถนะของหอดูดซับ[8]

โดยปกติจะไม่ปล่อยให้ตัวดูดซับอิ่มตัวมากเกินไป เพราะอาจมีสารที่ต้องการดูดซับปนเปื้อนออกมาด้วย โดยเมื่อตรวจสอบค่าความเข้มข้นของสารที่ต้องการดูดซับในก๊าซขาออกแล้วพบว่า มีปะปนออกมากับก๊าซ จะทำการเปลี่ยนสลับให้อีกหอทำหน้าที่เป็นหอดูดซับแทน ซึ่งเรียกเวลาหรือปริมาณสารที่สามารถป้อนเข้าไปในกระบวนการดูดซับนี้ว่า Break point ทั้งนี้ ค่า break point จะขึ้นอยู่กับขนาดของหอดูดซับ อัตราการป้อนก๊าซ ความเข้มข้นของสารที่

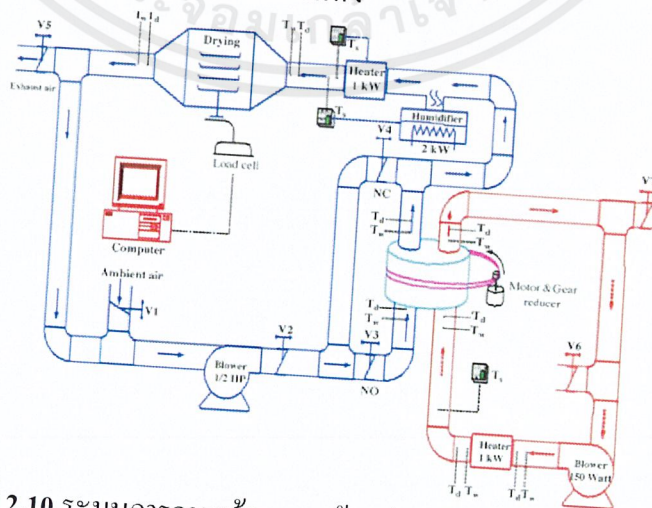
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการดูดซับ และค่าความเข้มข้นจำกัดที่กำหนดไว้ กระบวนการดูดซับแบบ Temperature Swing Adsorption ใช้ในการดูดซับสารที่มีความเสถียรต่อความร้อน เช่น น้ำ

2.9 การออกแบบหน่วยดูดซับ [11], [13], [14], [18], [19]

2.9.1 รูปแบบของเครื่องผลิตอากาศแห้ง

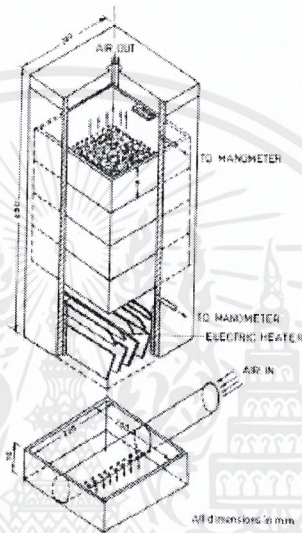
Madhiyanon et al.[19] พัฒนาระบบการอบแห้งอากาศร้อนร่วมกับวงล้อหมุน สารดูดความชื้นดังรูปที่ 2.10 เพื่ออบแห้งชิ้นมะพร้าวด้วยแบบหยาบ เครื่องอบแห้งประกอบด้วย 2 วงจรอากาศ วงจรอากาศแรกทำหน้าที่อบผลิตภัณฑ์ให้แห้งและทำงานในระบบปิดหรือระบบเปิดบางส่วน วงจรอากาศที่สองใช้ฟื้นฟูสารดูดความชื้น อากาศปกติต้องการกำจัดความชื้นผ่านหน่วยดูดความชื้นของวงล้อหมุนสารดูดความชื้น ขณะที่อากาศร้อนจากวงจรอากาศที่สองช่วยฟื้นฟูสารดูดความชื้นที่อิ่มตัวเพื่อกำจัดความชื้น เครื่องเป่ากำลัง 150 วัตต์ และ 0.5 แอมป์มาใช้เพื่อนำอากาศมาฟื้นฟูซิลิกาเจลและอบแห้งผลิตภัณฑ์ เครื่องทำความร้อนอิเล็กทรอนิกส์ 1 กิโลวัตต์ให้ความร้อนอากาศเพื่ออบแห้งและทำการฟื้นฟู เวลาการอบแห้งสำหรับระบบลดลงไป 25% เปรียบเทียบกับระบบอากาศร้อนบริสุทธิ์ เพราะว่าการลดลงของความชื้นของอากาศแห้ง อย่างไรก็ตามพลังงานที่ถูกใช้ในระบบผสมมีค่า 40% ถึง 80% สูงกว่าการใช้ระบบอากาศร้อนบริสุทธิ์ อัตราส่วนของพลังงานที่ต้องการในกระบวนการฟื้นฟูเท่ากับ 40% ของพลังงานทั้งหมด ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของการอบแห้งภายในมีผลโดยตรงกับสีของชิ้นมะพร้าวแห้ง



รูปที่ 2.10 ระบบการอบแห้งอากาศร้อนร่วมกับวงล้อหมุนสารดูดความชื้น[19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

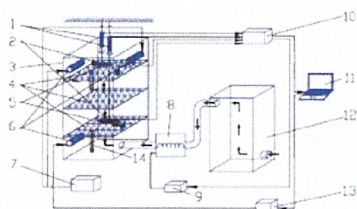
Sukhmeet Singh, Parm Pal Singh[19] ได้ทำการศึกษาการฟื้นฟูซัลฟิดิกเจล โดยเริ่มต้นความชื้นที่ 42.8 % db ใช้ความเร็วลมและอุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการฟื้นฟู ในช่วง 0.175 ถึง 0.55 เมตรต่อวินาที และ 42 ถึง 72 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการฟื้นฟู ซัลฟิดิกเจลจำนวน 300 นาที พบว่าการแบ่งบรรจุซัลฟิดิกเจลออกแบบชั้นๆดังรูปที่ 2.11ทำให้ ประสิทธิภาพในการฟื้นฟูซัลฟิดิกเจลดีกว่า



รูปที่ 2.11 ลักษณะห่อฟื้นฟูแบบเบดบรรจุ[18]

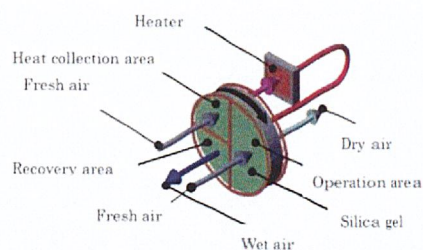
Nagaya et al.[14] ออกแบบและพัฒนาสารดูดความชื้นที่ระบบการอบแห้งอุณหภูมิ ต่ำดังรูปที่ 2.12 เพื่ออบแห้งผัก ระบบการอบแห้งถูกติดตั้งพร้อมกับตัวทำความร้อนและ เครื่องควบคุมการหมุนเวียนอากาศเพื่อรักษาอุณหภูมิให้คงที่ที่ 49 องศาเซลเซียส ผลการ ทดลองพบว่ากรอบแห้งผักโดยใช้เทคนิคนี้ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีและช่วยรักษาสีให้สด ใหม่ มีรูปร่างคงเดิม และมีวิตามินสูง อัตราการอบแห้งของระบบนี้เร็วกว่าการอบแห้งสาร ดูดความชื้นแบบธรรมดา 6 เท่าและเร็วกว่าการอบแห้งใช้แสงอาทิตย์ 12 เท่า เครื่องลด ความชื้นสารดูดความชื้นแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ดังรูปที่ 2.13 ในช่วงการทำงานที่ ซัลฟิดิกเจลดัก จับความชื้นจากอากาศ (ส่งอากาศแห้งเข้าสู่ห้องอบแห้ง) ช่วงการฟื้นคืนสู่สภาพปกติซึ่ง อากาศชื้นถูกให้ความร้อนและไล่ออกไปและช่วงการลดความร้อนสะสมในซัลฟิดิกเจลโดย ปลดปล่อยความร้อนออกสู่อากาศภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



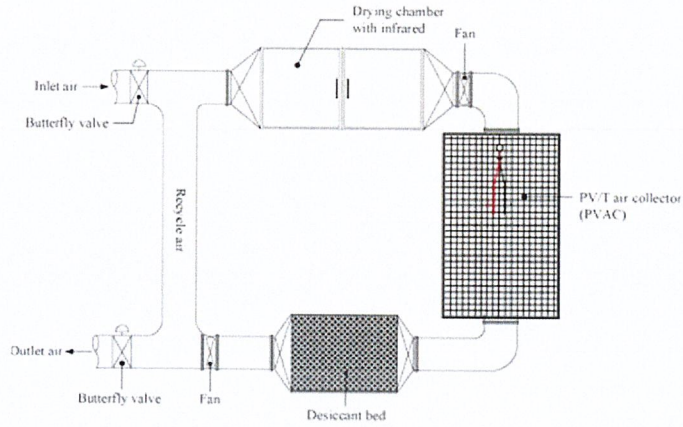
(1) Linear potentiometer, (2) Net for sample, (3) Drying chamber, (4) Rack with netting (5) Thermal transducer, (6) Fan (7) DC power supply, (8) Heater, (9) Control box (10) DSP, (11) Computer, (12) Dehumidifier (13) Amplifier, (14) Thermometer

รูปที่ 2.12 ระบบการอบแห้งร่วมกับสารดูดความชื้น[14]

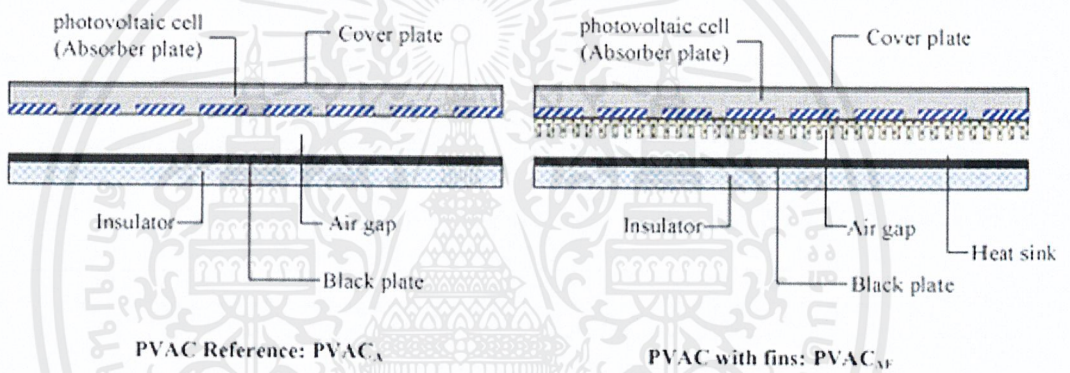


รูปที่ 2.13 วงล้อสารดูดความชื้น[14]

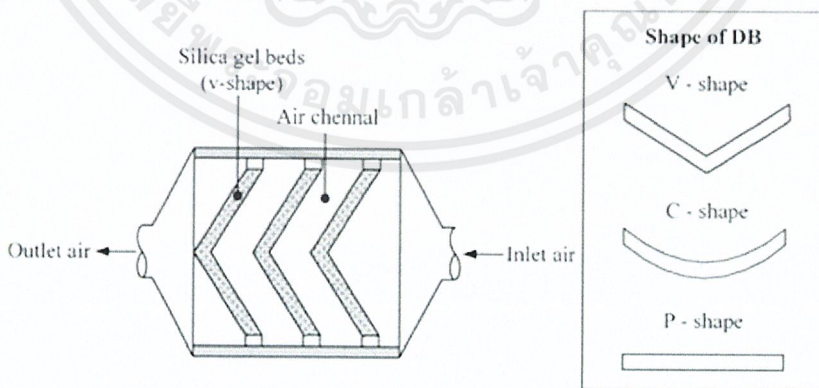
Punlek et al.[11] การศึกษา แบบจำลอง และการทดลองสารดูดความชื้นไฮบริดPV/T ร่วมกับระบบการอบแห้งอินฟราเรด HA-IR(HPIRD) ดังรูปที่ 2.14 ระบบประกอบด้วย ตัวเก็บ อากาศ PV(PVAC) เบดบรรจุซิลิกาเจล (DB) และห้องอบแห้งด้วยรังสี อินฟราเรด PVAC ใช้พลังงานจากไฟฟ้าและทำหน้าที่เหมือนที่สะสมความร้อน ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ การออกแบบ PVAC มีสองชนิด คือ ช่องอากาศผ่านทางเดียว (PVAC_A) และการออกแบบที่มีการปรับปรุงร่วมกับ rectangular fin(PVAC_{AF}) ดังรูปที่ 2.15 ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าระบบ PVAC_{AF} เพิ่มประสิทธิภาพความร้อนและประสิทธิภาพทางอิเล็กทรอนิกส์เมื่อเปรียบเทียบกับระบบ PVAC_A fins มีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนจากผนังช่องว่างไปยังอากาศที่ไหลในช่องผลกระทบต่อโครงสร้างของ DB 3 ตัว ในการดูดซับความชื้น ดังรูปที่ 2.16 แบบจำลองของอัตราการไหลของอากาศและความดันลดผ่าน โครงสร้าง DB ถูกทำขึ้นมาโดยใช้โปรแกรม CFX การทำนายและผลลัพธ์แสดง ให้เห็นว่า DBs ชนิด v-shape เป็นแบบจำลองที่ดีที่สุดสำหรับการทดสอบการอบแห้ง ห้องอบแห้งถูกออกแบบเพื่ออบแห้งผลิตภัณฑ์ทางเกษตรกรรมโดยใช้อากาศร้อนร่วมกับอินฟราเรด (HA-IR) เครื่องทำความร้อนเซรามิคดำ IR 800 วัตต์ ถูกใช้เป็นแหล่งความร้อนอินฟราเรดและเครื่องทำความร้อนอิเล็กทรอนิกส์ถูกใช้ให้ความร้อนแก่อากาศแห้ง ประสิทธิภาพของการทดสอบการอบแห้ง HPIRD ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และความเร็ว 0.6 เมตรต่อวินาที ลดเวลาการอบแห้งได้ 44% และใช้พลังงานน้อยกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อน 63% ระบบไฮบริดจะได้คุณภาพของผลิตภัณฑ์แห้งได้ดีกว่าการอบแห้งอินฟราเรดอากาศร้อน



รูปที่ 2.14 สารดูดความชื้นไฮบริด PV/T ร่วมกับระบบการอบแห้งอินฟราเรด (HPIRD)[11]



รูปที่ 2.15 ระบบเครื่องเก็บอากาศ PVAC [11]



รูปที่ 2.16 รูปร่างเบดบรรจุตัวดูดซับซิลิกาเจล [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chua และ Chou[13] ได้จัดให้การอบแห้งโดยใช้สารดูดความชื้นเป็นวิธีการอบแห้งที่มีต้นทุนต่ำ รวมทั้ง fluidized bed, spouted bed, แสงอาทิตย์, อินฟราเรด และการอบแห้งแบบพาร์ริงลี วิธีการถูกเลือกขึ้นโดยพิจารณา 1) ค่าต้นทุนเริ่มต้นต่ำ 2) ระบบง่ายต่อการก่อสร้างทำงาน และบำรุงรักษา 3) ความเร็วในการอบแห้งสูงและความสามารถในการผลิตดีกว่าคุณภาพผลิตภัณฑ์ของระบบการอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์แบบเปิด การใช้สารดูดความชื้นมีข้อดีคือ 1) สารดูดความชื้นอิมตัวสามารถนำมาฟื้นฟูโดยอากาศร้อน 2) ระบบง่ายต่อการออกแบบและการบำรุงรักษา 3) การใช้งานร่วมกันกับระบบการอบแห้งอื่นๆช่วยลดการใช้พลังงาน และ 4) การถอดเปลี่ยนสารดูดความชื้นหลังจากทำงานสามารถทำได้ง่าย

2.9.2 การคำนวณ [3], [6], [16]

ในการออกแบบเครื่องผลิตอากาศแห้งแบบต่อเนื่องจำเป็นต้องคำนึงถึงการคำนวณหาค่าความดันลดเพื่อนำไปเป็นข้อมูลเพื่อเลือกอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบในระบบ เช่น เครื่องเป่า

2.9.2.1 การสูญเสียจากการไหลภายในท่อโดยการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow)

1) การสูญเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงเสียดทานของการไหลภายในท่อตรง

$$h_f = (f)\left(\frac{L}{D}\right)\left(\frac{V^2}{2}\right) \quad (1)$$

2) การสูญเสียที่เกิดขึ้นจากแรงเสียดทานการไหลจากท่อที่ค้อยๆมีการลดขนาด

$$h_L = (K_L)\left(\frac{V^2}{2g}\right) \quad (2)$$

3) การสูญเสียจากแรงเสียดทานที่เกิดบริเวณข้อต่อข้อต่อต่างๆ

$$h_{f_f} = (K_f)\left(\frac{V^2}{2}\right) \quad (3)$$

4) การสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานรวม

$$h_f = h_{f_f} + h_{f_c} + h_{f_e} + h_i \quad (4)$$

ตารางที่ 2.1 แสดงค่า Loss coefficients for standard pipe fitting (K_f) [9]

Fitting	K_f
Elbow, standard	
45°	0.35
90°	0.75
Tee	
Straight through	0.4
Used as elbow	1.0
Valve	
Globe valve, wide open	6.0
Gate valve (Wide open)	0.17

2.9.2.2 ค่าความดันดลที่เกิดเนื่องจากการไหลเป็นแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow)

$$\Delta P = \frac{1.75 \rho v_2^2 \Delta L}{D_p} \left(\frac{1 - \varepsilon_b}{\varepsilon_b^3} \right) \quad (5)$$

2.9.2.3 ผลต่างของเวลาที่หอดูดซับใช้ในการดูดซับ

$$\Delta t = \frac{\left\{ 1 + \left(\frac{\rho_b}{\varepsilon_b} \right) \left(\frac{\partial q}{\partial P} \right) [RT] \right\}}{v_z} (\Delta Z) \quad (6)$$

ρ : ความหนาแน่นอากาศที่อุณหภูมิ 40°C, ความดัน 1 atm

μ : ความหนืดของอากาศ

D_p : เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของตัวดูดซับ

ε_b : ช่องว่างของตัวดูดซับ

ρ_b : ความหนาแน่นของตัวดูดซับ

$\frac{\partial q}{\partial P}$: ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะกับความดัน ไอ

R : ค่าคงที่ของก๊าซ

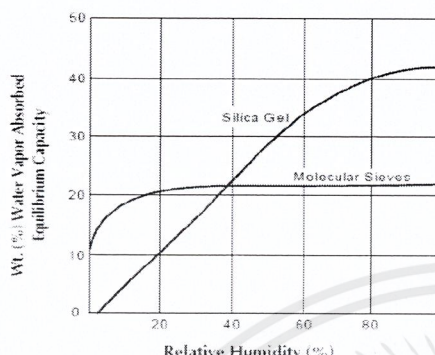
T : อุณหภูมิ (K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

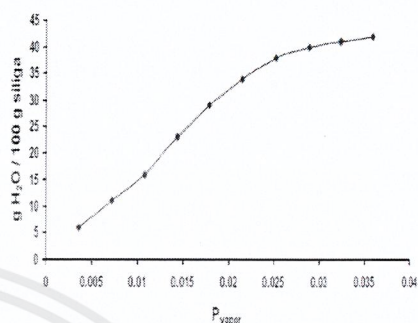
Δt : ผลต่างของเวลาในการดูดซับ

ΔZ : ผลต่างของความสูงเบดตัวดูดซับ

V_z : ความเร็วไหลขนานกับแกนดูดซับ



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.17 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะ กับ เปรอร์เซ็นความชื้น

(ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะ กับ ความดันไอน้ำ

2.10 เครื่องลดความชื้นในอุตสาหกรรม [6]

เนื่องจากในปัจจุบันมีหลายอุตสาหกรรมที่ต้องมีกระบวนการอบแห้งเข้ามาใช้ในระบบ ซึ่งกรณีที่ต้องการอากาศหรือก๊าซที่มีความชื้นต่ำในการอบแห้ง เราจะต้องทำการลดความชื้นในอากาศนั้นก่อนซึ่งวิธีการลดความชื้นของอากาศมีหลายวิธีสามารถแบ่งได้ตามหลักการทำงาน ดังนี้

1) วิธีลดความชื้นโดยวิธีการดูดซับ

วิธีนี้จะดูดซับน้ำออกจากความชื้น โดยการป้อนอากาศขึ้นผ่านชั้นบรรจุของสารดูดซับความชื้น หรือฟลูอิดไดซ์เบดของสารดูดความชื้นจำพวกซิลิกาเจล ถ่านกัมมันต์ อะลูมินากัมมันต์ ดินขาวฤทธิ์กรดเป็นต้น แต่มีความจำเป็นที่ต้องทำการฟื้นฟูสารดูดซับ

2) วิธีลดความชื้นโดยการดูดซึม

วิธีนี้จะใช้สารดูดกลืนความชื้นที่เป็นของแข็ง (เช่น แคลเซียมคลอไรด์ ปูนขาว ฟอสฟอรัส เพนตะออกไซด์) โดยใช้เป็นชั้นบรรจุสารหรือที่เป็นของเหลว (เช่น สารละลายของน้ำของ ลิเทียมคลอไรด์ ไดเอทิลีนไกลคอล กลีเซอริน) โดยจะใช้เป็นหอพ่นฝอย (สเปรย์) ซึ่งไม่ว่ากรณีใดก็ตามมีความจำเป็น ต้องฟื้นฟูสภาพสารดูดซึมเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) วิธีลดความชื้นโดยการอัดความดัน

วิธีนี้อาศัยหลักการที่ว่า เมื่อความดันรวมของก๊าซผสมมีค่าสูงขึ้น ความชื้นอิ่มตัวจะมีค่าน้อยลง เนื่องจากค่าใช้จ่ายทางด้านอุปกรณ์และค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานจะมีราคาสูงทั้งคู่ ดังนั้นใช้วิธีนี้เฉพาะในกรณีที่จำเป็นต้องใช้ก๊าซความชื้นต่ำที่ความดันสูง

4) วิธีลดความชื้นโดยการทำความเย็น

วิธีนี้ลดความชื้น โดยการสัมผัสอากาศโดยตรงกับผนังวัสดุ หรือผิวน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดน้ำค้างของอากาศนั้น ในกรณีแรกของเหลวที่ใช้หล่อเย็นนอกจากจะใช้น้ำแล้วยังมีรูปของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ สารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์ สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ เป็นต้น ในกรณีหลังยังแบ่งเป็นวิธีที่พ่นฝอยของเหลวเหล่านี้กับวิธีที่สัมผัสอากาศกับของเหลวโดยให้ไหลสวนทางกันในหอที่บรรจุแพคเกจจิง (Packing) โดยจะแบ่งออกเป็นพ่นฝอยในแนวระดับและแนวตั้ง

วิธีที่ 1 และ 2 จะได้อากาศที่มีความชื้นต่ำ โดยไม่ต้องทำให้เย็น วิธีที่ 3 จะให้อากาศความชื้นต่ำแต่ความดันสูง วิธีที่ 4 จะให้อากาศทั้งที่อุณหภูมิต่ำและความชื้นต่ำทั้งนี้วิธีการลดความชื้นของอากาศในแบบต่างๆจะมีข้อดี และข้อเสียแตกต่างกัน ดังนั้นจึงควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ และเงื่อนไข และความเหมาะสมเชิงเศรษฐศาสตร์

2.11 การประยุกต์ใช้งานกับระบบอบแห้ง [3], [5], [7], [9], [15], [17], [20]

ประทีป[5] ได้ศึกษาสมรรถนะการควบคุมความชื้นโดยซิลิกาเจลสำหรับระบบการอบแห้ง ซึ่งได้ศึกษาค่าตัวแปรที่เหมาะสมของส่วนควบคุมความชื้นของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งจะพิจารณาตัวแปร 3 ตัวแปรคือ รูปแบบของเบด อุณหภูมิของอากาศและอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสม โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบตู้ชนิดถาดอยู่กับที่ มีอากาศไหลขนานกับถาด และการศึกษาอีกส่วนหนึ่ง คือ การศึกษาเกี่ยวกับการฟื้นฟูซิลิกาเจลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าในการควบคุมความชื้นของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง โดยการนำซิลิกาเจลใส่ในตู้อบแห้ง จากนั้นทำการอบแห้งผ้าสาตี สามารถเพิ่มสมรรถนะการอบแห้งได้แต่ไม่สูงมากนัก และค่าตัวแปรที่เหมาะสมในการออกแบบส่วนของการควบคุมความชื้น โดยในการซิลิกาเจลสำหรับระบบการอบแห้งหมายถึงอากาศที่จะนำไปใช้ ในการอบแห้ง ต้องผ่านส่วนควบคุมความชื้น โดยซิลิกาเจลก่อนที่จะผ่านตัวทำความร้อนของเครื่องอบแห้ง โดยรูปแบบของส่วนควบคุมความชื้นที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการอบแห้ง คือ เบดที่มีลักษณะแบบราบและให้อากาศไหลผ่านผิวของซิลิกาเจลทั้ง

ด้านบนและด้านล่างได้ดี ทำให้มีพื้นที่ผิวของซิลิกาเจลสัมผัสกับอากาศมากที่สุดสามารถดูดซับความชื้นได้ดี และประหยัดพลังงานได้มากที่สุด ซึ่งความเร็วของอากาศที่ผ่านส่วนควบคุมความชื้นที่เหมาะสมจะมีค่าเท่ากับ 1.10 เมตรต่อวินาที และจากการศึกษาการฟื้นฟูซิลิกาเจลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ พบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการฟื้นฟูซิลิกาเจล แต่จำเป็นต้องใช้กล่องอบแห้งที่มีประสิทธิภาพสูง สำหรับช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมที่จะทำการการฟื้นฟูซิลิกาเจลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ คือ ช่วงเวลา 11.00 น. ถึง 15.00 น. เพราะว่ามีค่าพลังงานแสงอาทิตย์มากทำให้ประสิทธิภาพในการฟื้นฟูซิลิกาเจลสูงกว่าช่วงเวลาอื่นๆ ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์ผลทดลองทั้งหมด พบว่าการควบคุมความชื้นของอากาศโดยซิลิกาเจลสำหรับระบบการอบแห้งมีความเป็นไปได้ทางเทคนิคเพราะว่าเมื่อนำซิลิกาเจลมาควบคุมความชื้นในการอบแห้ง ทำให้สมรรถนะ ในการอบแห้งสูงขึ้น และการสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งลดลง รวมทั้งในการสร้างส่วนควบคุมความชื้นของอากาศไม่ยุ่งยากและใช้ต้นทุนในการสร้างต่ำ

Thoruwa et al.[20] สร้างเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบสารดูดความชื้นเพื่ออบแห้ง ข้าวโพด โดยใช้เครื่องทำความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นราบเป็นตัวเพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศแห้ง ซึ่งถูกเชื่อมต่อไปยังห้องอบแห้ง โดยสารดูดซับความชื้นที่ใช้เป็นดินเหนียวเบนโทไนต์และแคลเซียมคลอไรด์ถูกวางไว้บนเบดบรรจุข้าวโพด สารดูดความชื้นมีค่าการดูดซับความชื้น 45% (dwb) และสามารถฟื้นฟูได้ที่อุณหภูมิ 45°C กระบวนการอบแห้งใช้ช่วงเวลากลางวันผลิตอากาศร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ และเวลากลางคืนการอบแห้งจะเกิดขึ้นโดยการใช้อากาศหมุนเวียนภายในเบดบรรจุสารดูดซับความชื้น ซึ่งสารดูดซับความชื้นที่อิ่มตัวถูกฟื้นฟูโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ระหว่างกลางวัน เครื่องอบแห้งสามารถอบแห้งข้าวโพดสด 90 กิโลกรัมได้โดยจากความชื้นเริ่มต้น 38% ลดลงเหลือ 15%(dwb) ภายใน 24 ชั่วโมง

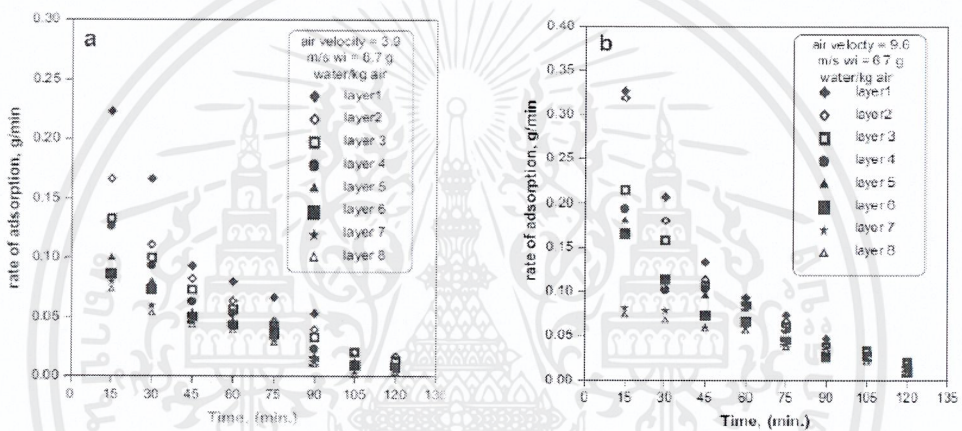
Ming and colleagues[7] ได้ทำการศึกษาการใช้สารดูดความชื้นเพื่อลดความชื้นของอากาศในกระบวนการอบแห้งใบชาเพื่อคงไว้ซึ่งกลิ่น และสีที่ดีของใบชา โดยได้ลดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเหลือ 1-30% และใช้อุณหภูมิในการอบแห้งระหว่าง 30-80 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่าคุณภาพ ของใบชาดีขึ้น และในขณะเดียวกันสามารถประหยัดพลังงานได้ 15% เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอบแห้งใบชาแบบปกติ ทั้งนี้เนื่องจากการลดความชื้นของอากาศส่งผลให้สามารถลดอุณหภูมิการอบแห้งลงได้ จาก 110 องศาเซลเซียส เป็น 80 องศาเซลเซียส

ศิรินทิพย์ หนองแสง และ สิงหนาท พวงจันทน์แดง [7] ได้ทำการทดลองอบแห้งจิงโดยการอบแห้งจากเครื่องอบแห้งแบบลดความชื้น โดยใช้เครื่องสูบลมเปรียบเทียบกับการอบแห้งโดยใช้ลมร้อน พบว่าการอบแห้งจากเครื่องอบแห้งแบบลดความชื้น โดยใช้เครื่องสูบลมใช้เวลาในการอบแห้งเร็วกว่าเครื่องอบแห้งแบบใช้ลมร้อน เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในเครื่องอบแห้งมีค่าน้อยกว่า ทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่าเครื่องอบแห้งแบบใช้ลมร้อน และเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้น จะทำให้ความชื้นของจิงลดลงมากขึ้น และนอกจากนี้การอบแห้งจิงด้วยเครื่องทำแห้ง แบบลดความชื้น โดยใช้เครื่องสูบลมมีค่าความแตกต่างของเอนทัลปีทั้งหมด (ΔE^*) ของจิงน้อยลงแต่มีอัตราการดูดน้ำกลับคืนและปริมาณ 6-gingerol มากกว่าการอบแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบใช้ลมร้อน โดยที่อุณหภูมิดำเนินการสูญเสียปริมาณ 6-gingerol น้อยกว่าที่อุณหภูมิสูงเนื่องจากอุณหภูมิสูงทำให้เกิดการระเหยของสารสำคัญและเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารอื่น

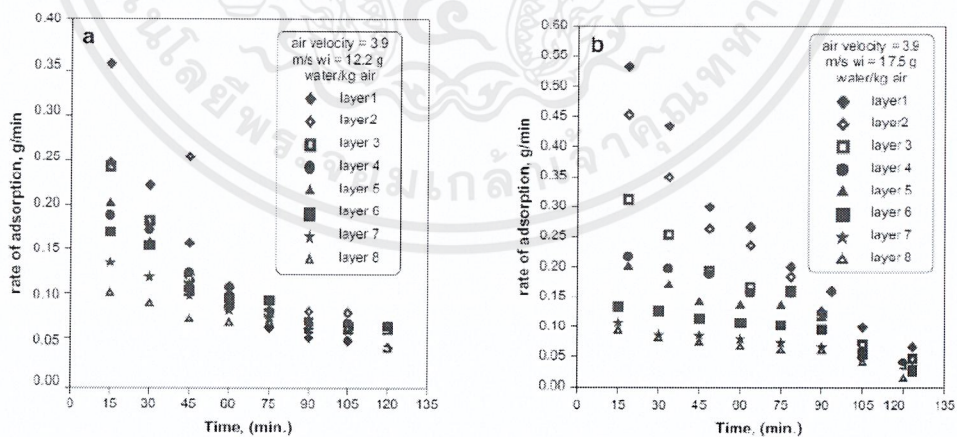
Atipoang et al [9] ได้ศึกษาการทดสอบสมรรถนะของชุดสารดูดความชื้นแบบถาดสำหรับกระบวนการอบแห้งลำไย โดยทำการลดความชื้นของอากาศก่อนเข้าห้องเผาไหม้ ซึ่งนอกจากจะช่วยประหยัดพลังงานเชื้อเพลิงในการอบแห้งแล้วยังสามารถช่วยลดระยะเวลาของการอบแห้งลงได้ โดยชุดสารดูดความชื้นมีลักษณะ เป็นชั้นบรรจุซิลิกาเจล ชั้นละ 3 กิโลกรัม ขนาด 49.5x49.5 x2.5 เซนติเมตร จำนวน 10 ชั้น วางซ้อนกันในแนวตั้งโดยมีระยะห่างระหว่างชั้น 2.5 เซนติเมตร ทดสอบสมรรถนะของชุดสารดูดความชื้นทั้งในกรณีของกระบวนการดูดความชื้นและกระบวนการอบไล่ความชื้นโดยนำชุดสารดูดความชื้นไปทดสอบสมรรถนะในอุโมงค์ลมและได้ศึกษาผลของพารามิเตอร์ต่างๆ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอุณหภูมิของอากาศเข้าสู่ชุดสารดูดความชื้น และเวลาที่ใช้ทดสอบโดยพบว่า อัตราการดูดความชื้นของสารดูดความชื้นจะเพิ่มสูงขึ้นในกรณีที่อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามอัตราการดูดความชื้นดังกล่าวจะลดลง ในกรณีที่อุณหภูมิอากาศเข้าสู่ชุดสารดูดความชื้นของอากาศเพิ่มขึ้นในกรณีของการอบไล่ความชื้นออกจากชุดสารดูดความชื้นพบว่า ปริมาณความชื้นที่ถูกขับออกมาจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ และอุณหภูมิอากาศของอากาศเพิ่มขึ้น ในขณะที่เดียวกันปริมาณความชื้นที่ถูกขับออกมาจะลดลงเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพิ่มขึ้น

2.12 งานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง [10], [15]

A.E. Kabeel[10] ได้มีการศึกษาถึงผลกระทบจากการออกแบบและค่าตัวแปรในการทดลองของเบดบรรจุสารดูดความชื้นหลายชั้น พบว่าอัตราการดูดซับขึ้นกับความเร็วอากาศขาเข้า และความชื้นของอากาศขาเข้า พิจารณาจากรูปที่ 2.18 เมื่อความเร็วอากาศขาเข้าสูง (9.6 เมตรต่อวินาที) จะมีอัตราการดูดซับสูงกว่าที่ความเร็วอากาศขาเข้าต่ำ (3.9 เมตรต่อวินาที) ทุกระดับชั้นเดียวกัน และจากรูปที่ 2.19 ความชื้นของอากาศขาเข้าสูงจะมีอัตราการดูดซับสูงเช่นเดียวกัน สำหรับกระบวนการคายซับ รูปที่ 2.20 พบว่าที่อุณหภูมิสูงจะมีอัตราในการคายซับสูงกว่าที่อุณหภูมิต่ำทุกระดับชั้นเดียวกัน

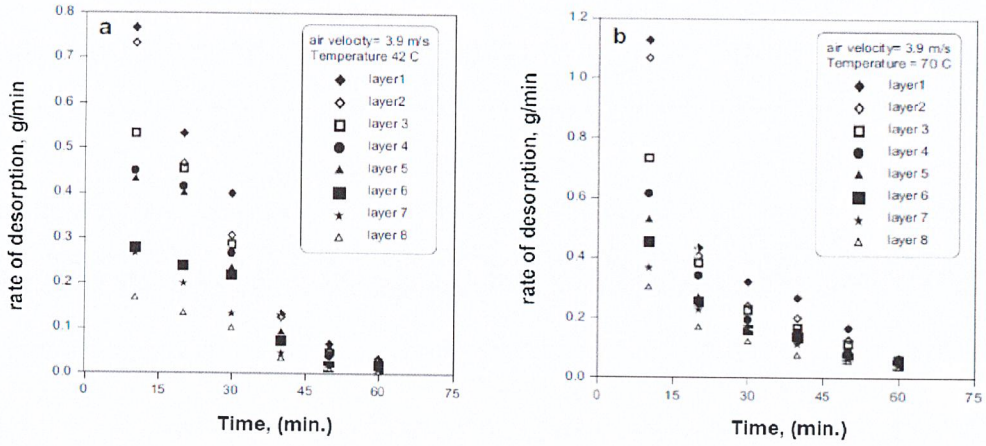


รูปที่ 2.18 ผลของความเร็วอากาศขาเข้าต่ออัตราการดูดซับ[10]



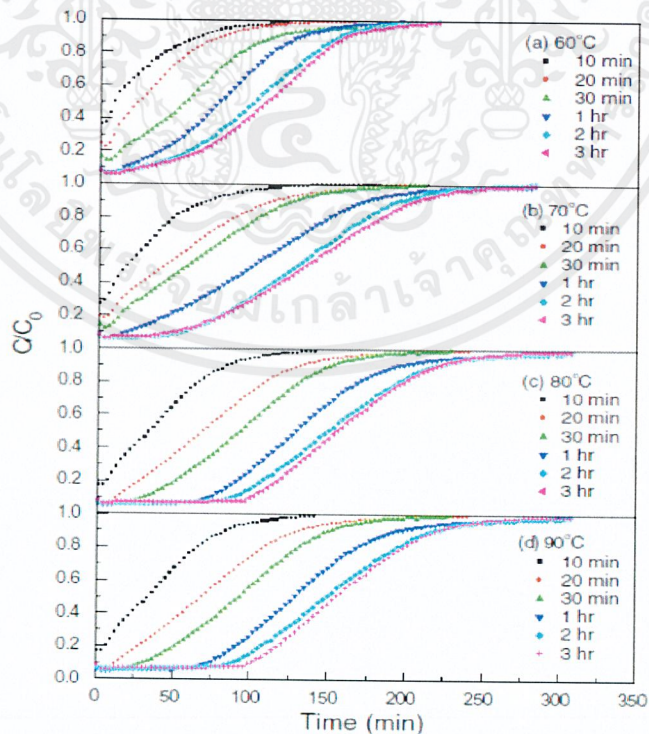
รูปที่ 2.19 ผลของความชื้นอากาศขาเข้าต่ออัตราการดูดซับ[10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



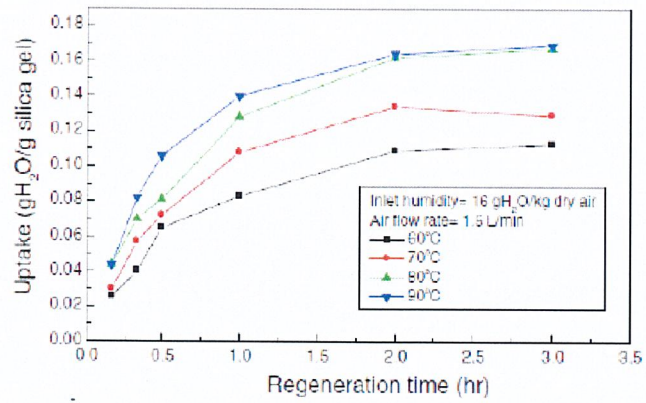
รูปที่ 2.20 ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการคายซับ[10]

Kuei-Sen Chang และคณะ [15] ได้ศึกษาถึงผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการคายซับ ซิลิกาเจลแบบแพคเกจที่ใช้ในการดูดซับความชื้น ปริมาณการดูดซับที่เกิดขึ้นใน ตัวดูดซับเป็นผล มาจากระดับการคายซับของตัวดูดซับ เส้นโค้งของการดูดซับ (Breakthrough Curve) จะเลื่อนไป ทางขวาโดยมีรูปแบบที่คงที่เมื่อเวลาหรืออุณหภูมิในการคายซับเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเวลาที่ใช้ในการ คายซับของซิลิกาเจลมากกว่า 2 ชั่วโมงและอุณหภูมิที่ใช้ในการคายซับถ้าสูงกว่า 80 องศาเซลเซียส จะมีผลต่อการดูดซับของซิลิกาเจลน้อย



รูปที่ 2.21 แสดงเส้นโค้งการดูดซับของซิลิกาเจลที่ผ่านการคายซับที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน[15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 แสดงปริมาณการคายชื้นของซิลิกาเจลที่ผ่านการคายชื้นที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน[15]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

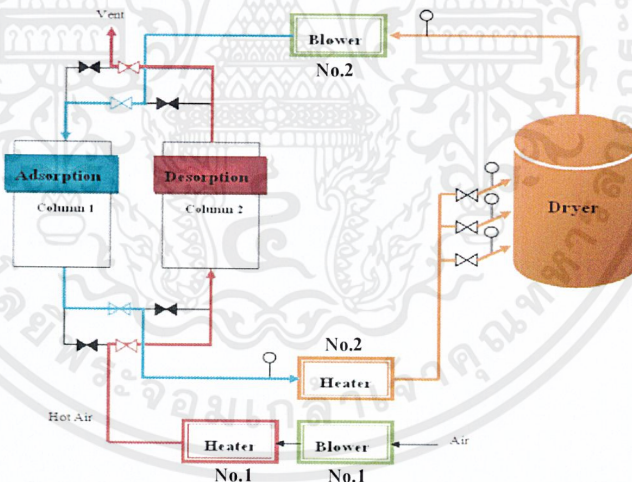
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 สารเคมี

- ซิลิกาเจล

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- 1) การออกแบบและจัดทำเครื่องผลิตอากาศแห้งสำหรับกระบวนการอบแห้ง ตัวแปรและปัจจัยที่ได้ทำการศึกษาในการออกแบบ ได้แก่ อัตราเร็วของอากาศค่าความดันลดและลักษณะรูปทรงของเครื่อง โดยเราจะใช้ถึงปฏิกรณ์ 2 ใบ ซึ่งมีสารดูดซับบรรจุไว้จนถึงทั้งสอง ซึ่งเป็นการผลิตอากาศแห้งด้วยกระบวนการดูดซับแบบสลับอุณหภูมิ (Temperature Swing Adsorption) ดังรูปที่ 3.1 (วิธีการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก ก.)



รูปที่ 3.1 เครื่องผลิตอากาศแห้งแบบสลับอุณหภูมิสำหรับกระบวนการอบแห้ง

- 2) เครื่องมือวัดสำหรับชุดการทดลองการคายซับและการดูดซับของซิลิกาเจลประกอบด้วย
 - Anemometer เครื่องมือวัดความเร็วลมแบบใบพัดยี่ห้อ DIGICON รุ่น DA-42 ช่วงการวัด 0.4-30 เมตรต่อวินาที
 - Hygrometer/Thermometer เครื่องมือวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศ ยี่ห้อ PROTROS รุ่น TH060H ช่วงการวัดค่าอุณหภูมิคือ -10 ถึง 60 องศาเซลเซียส และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

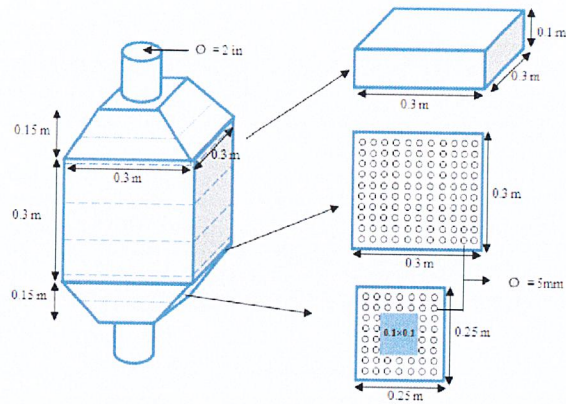
ช่วงค่า ความชื้นสัมพัทธ์ที่สามารถวัดได้ 10% ถึง 99% ใช้วัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ของ อากาศขาเข้า

- Temperature and humidity Data logger เครื่องวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิของอากาศ แบบดิจิทัล ยี่ห้อ EXTECH INSTRUMENTS รุ่น 42280 ช่วงอุณหภูมิ -20 ถึง 70 องศาเซลเซียส โดยช่วงค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้คือ 0 ถึง 100 % ใช้วัดและบันทึกค่า ความชื้นของอากาศขาออกจากระบวนการดูดซับและกระบวนการคายซับ
- Thermocouple ชนิด K ค่าอุณหภูมิช่วงที่วัดได้อยู่ในช่วง-180 – 1,350 องศาเซลเซียส เพื่อวัดค่าอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ออกจากเครื่องทำความร้อน เพื่อใช้ในการควบคุม ค่าอุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในกระบวนการคายซับซิลิกาเจล
- คาชังน้ำหนักแบบสปริงเพื่อใช้ในการบันทึกค่าการเปลี่ยนน้ำหนักของซิลิกาเจลหลัง ผ่านกระบวนการดูดซับและการคายซับ

3) เครื่องผลิตอากาศแห้งสำหรับทดสอบกระบวนการดูดซับและคายซับซึ่งประกอบด้วย ส่วนต่างๆดังนี้

3.1 หอดูดซับ

- 1) หอดูดซับเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม 2 หอ โดยแต่ละหอมีขนาด $0.3 \times 0.3 \times 0.3$ ลูกบาศก์เมตร
- 2) ภายในตู้มีขอบเพื่อวางถาดบรรจุจำนวน 3 ชั้น แต่ละชั้นสูง 10 เซนติเมตร ด้านล่างเป็นตะแกรง (บรรจุซิลิกาเจลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร)
- 3) ด้านบนและล่างเป็นทรงพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมหัวตัดเพื่อลดขนาดพื้นที่จาก ขนาด 0.3×0.3 ตารางเมตร เป็น 0.1×0.1 ตารางเมตร
- 4) ด้านบนและล่างมีแผ่นเจาะรูขนาด 5 มิลลิเมตร 2 ชั้น โดยชั้นแรกมีขนาด 0.3×0.3 ตารางเมตรและชั้นที่สองขนาด 0.25×0.25 ตารางเมตร โดยตรงกลาง เป็นแผ่นทึบขนาด 0.1×0.1 ตารางเมตร เพื่อกระจายการไหลของอากาศ
- 5) ด้านบนและล่างของเครื่องต่อกับท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2 นิ้ว โดยรายละเอียดทั้งหมดแสดง ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ลักษณะและรายละเอียดเครื่องผลิตอากาศแห้งสำหรับกระบวนการอบแห้ง

3.2 ชุดท่อ, ข้อต่อ และวาล์ว ประกอบด้วย

- 1) ชุดท่อและข้อต่อขนาด 2 นิ้ว ได้แก่ ท่อตรง, ข้องอ 90°, ข้องอ 45°, ข้อต่อตรง เกอียวนอก, ข้อต่อสาม, ทางฉากข้อต่อสามทางลด, ฝาครอบ, ท่อขดลวด อะลูมิเนียม
- 2) วาล์ว ได้แก่ บอลวาล์ว (Ball valve) ขนาด 2 นิ้ว
- 3) ฉนวนยาง 3/8 นิ้ว

3.3 Blower ตัวบน

3.4 Blower ตัวล่าง

3.5 Heater ขนาด 3000 kW

3.6 Watt hour meter ยี่ห้อ MITSUBISHI ELECTRIC รุ่น MF-63E 1Phase 2 wire 220V, 50Hz

โดยมีลักษณะเครื่องผลิตอากาศแห้ง ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เครื่องผลิตอากาศแห้งแบบต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การดำเนินงาน

ตัวแปรและปัจจัยที่มีผลต่อการคายชื้นของซิลิกาเจล ได้แก่ ทิศทางการไหลของอากาศในกระบวนการดูดซับและคายชื้น ความเร็วและอุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการคายชื้น

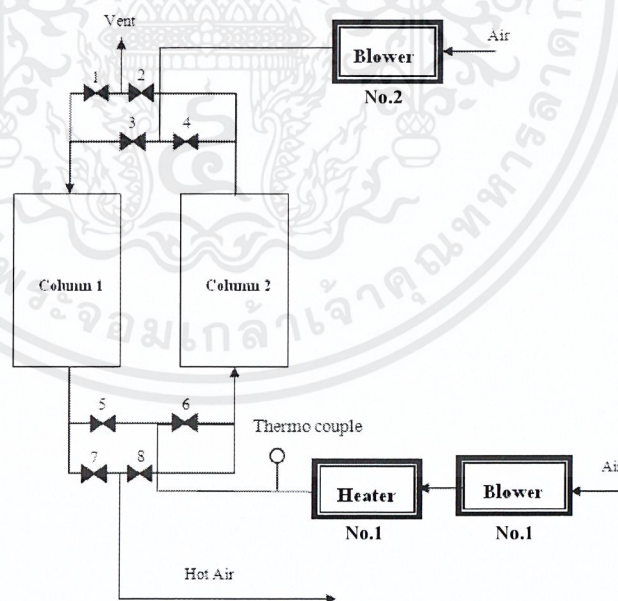
สำหรับทิศทางการไหลของอากาศในกระบวนการดูดซับและคายชื้น ได้ถูกเปรียบเทียบระหว่างการไหลของอากาศในระบบไหลแบบในทิศทางเดียวกันและการไหลของอากาศในระบบไหลแบบทิศทางตรงข้ามกัน โดยทำการศึกษาความเร็วและอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ใช้ในการคายชื้นในช่วง 0.161 0.173 0.19 เมตรต่อวินาที และ 60 70 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

3.2.1 การทดลองชุดที่ 1 ศึกษาผลของทิศทางการไหลของอากาศในกระบวนการดูดซับและคายชื้น

ทิศทางการไหลของอากาศเข้าของกระบวนการดูดซับและกระบวนการคายชื้นเป็นดังนี้

1. ให้ทิศทางการไหลของอากาศไหลแบบทิศทางเดียวกัน
2. ให้ทิศทางการไหลของอากาศไหลแบบทิศทางตรงข้ามกัน

โดยควบคุมให้สภาวะของการดูดซับสำหรับการทดลองทั้งสองเหมือนกัน และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการคายชื้น จากการเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหล โดยวัดปริมาณ Moisture content ในซิลิกาเจลที่ทดลองที่เวลาต่างๆกัน



รูปที่ 3.4 แสดงการจัดอุปกรณ์สำหรับทดสอบผลของทิศทางการไหลของอากาศในกระบวนการดูดซับและคายชื้นไหลแบบทิศทางตรงข้ามกัน

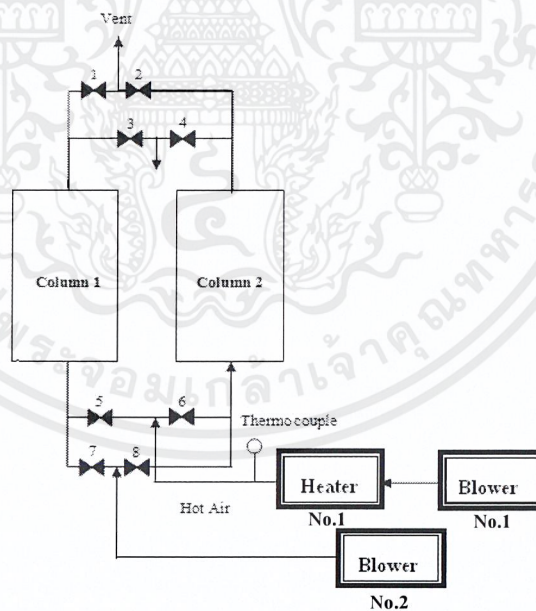
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงการเปิดและปิดวาล์วของระบบสำหรับทิศทางการไหลของอากาศ
ในกระบวนการดูดซับและคายซับไหลแบบทิศทางตรงข้ามกัน
ทดลองโดยใช้หอที่ 1

Function of colume	Valve position for valve number	
1st column	Open	Close
Adsorption	3,7	1,2,4,5,6,8
Desorption	1,5	2,3,4,6,7,8

ทดลองโดยใช้หอที่ 2

Function of column	Valve position for valve number	
2 nd column	Open	Close
Adsorption	4,8	1,2,3,5,6,7
Desorption	2,6	1,3,4,5,7,8



รูปที่ 3.5 แสดงการจัดอุปกรณ์สำหรับทดสอบผลของทิศทางการไหลของอากาศ
ในกระบวนการดูดซับและคายซับไหลแบบทิศทางเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงการเปิดและปิดวาล์วของระบบสำหรับทิศทางการไหลของอากาศ

ในกระบวนการดูดซับและคายซับไหลแบบทิศทางเดียวกัน

ทดลองโดยใช้หอคูดซับที่ 1

Function of column	Valve position for valve number	
1st column	Open	Close
Adsorption	3,7	1,2,4,5,6,8
Desorption	1,5	2,3,4,6,7,8

ทดลองโดยใช้หอคูดซับที่ 2

Function of column	Valve position for valve number	
2nd column	Open	Close
Adsorption	4,8	1,2,4,6,7,8
Desorption	2,6	1,3,4,5,7,8

3.2.1.1 ทดลองการดูดซับของซิลิกาเจล

ทดลองทำการดูดซับที่ความเร็วอากาศขาเข้าเป็น 0.335 เมตรต่อวินาที เป็นเวลาทั้งหมด 3 ชั่วโมง ตามขั้นตอนดังนี้

- 1) บรรจุซิลิกาเจลภายในเครื่องผลิตอากาศแห้งถาดละ 3 กิโลกรัม 3 ถาด (โดยซิลิกาเจลที่ใช้ นำไปอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง)
- 2) ชั่งและบันทึกผลน้ำหนักซิลิกาเจลแต่ละถาดก่อนทำการทดลอง
- 3) เปิดโบลเวอร์ (No.2) ปรับอินเวอร์เตอร์เพื่อให้ได้ความเร็วตามต้องการ
- 4) ทำการทดลองการดูดซับของหอคูดซับ โดยเปิดและปิดวาล์วของแต่ละหอที่จะทำการทดลองตามตารางที่ 3.1 สำหรับการทดลองผลของทิศทางการไหลของอากาศในกระบวนการดูดซับและคายซับแบบไหลสวนทางกัน และตามตารางที่ 3.2 สำหรับการทดลองผลของทิศทางการไหลของอากาศในกระบวนการดูดซับและคายซับแบบไหลทางเดียวกัน
- 5) บันทึกผลทุกๆ 5 นาที โดยทำการจดบันทึกเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศออกจากคอลัมน์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
- 6) ชั่งน้ำหนักซิลิกาเจลแต่ละถาดที่เวลา 3 ชั่วโมง

3.2.1.2 ทดลองการคายซั้บของซิลิกาเจล

นำซิลิกาเจลที่ผ่านการดูดซั้บจากการทดลองในข้อ 3.2.1.1 มาทำการคายซั้บ โดยกำหนดอุณหภูมิและความเร็วอากาศร้อนที่ใช้ในการคายซั้บให้มีค่าคงที่เป็น 70 องศาเซลเซียส และ 0.19 เมตรต่อวินาที ตามขั้นตอนดังนี้

- 1) เปิดโบลเวอร์(No.1)ปรับอินเวอร์เตอร์เพื่อให้ได้ความเร็วอากาศที่ตามต้องการ
- 2) เปิดฮีตเตอร์(No.1) ปรับค่า Set point ให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการในการคายซั้บ
- 3) ทำการทดลองการคายซั้บของหอดูดซั้บ ทีละคอลัมน์โดยเปิดและปิดวาล์วของแต่ละหอที่จะทำการทดลองตามตามตารางที่ 3.1 สำหรับการทดลองผลของทิศทาง การไหลของอากาศในกระบวนการดูดซั้บและคายซั้บแบบไหลสวนทางกัน และตารางที่ 3.2 สำหรับการทดลองผลของทิศทาง การไหลของอากาศในกระบวนการดูดซั้บและคายซั้บแบบไหลทางเดียวกัน
- 4) บันทึกผลทุกๆ 30 นาที จนกระทั่งน้ำหนักของซิลิกาเจลในทุกภาดเท่ากับน้ำหนักก่อนการดูดซั้บความชื้น โดยทำการจดบันทึกค่าความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิของอากาศขาออกจากคอลัมน์ น้ำหนักของซิลิกาเจลในแต่ละภาด และพลังงานที่ใช้

3.2.2 การทดลองชุดที่ 2 ศึกษาผลของอุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศร้อนที่ใช้ในการคายซั้บ

ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบเวลาและพลังงานที่ใช้ในการคายซั้บ ในช่วงความเร็วอากาศ 0.161 0.173 0.19 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิ 60 70 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยทำการทดลองการดูดซั้บและการคายซั้บ เช่นเดียวกับการทดลองชุดที่ 1 โดยกำหนดทิศทาง การไหลของอากาศที่ใช้ จากผลที่ให้ประสิทธิภาพในการดูดซั้บและการคายซั้บดีที่สุดในการทดลองชุดที่ 1

3.2.3 การทดลองชุดที่ 3 ศึกษาประสิทธิภาพของการอบแห้งโดยใช้อากาศแห้ง

ทำการทดลองโดยนำเอาระบบผลิตอากาศแห้งต่อเข้ากับเครื่องอบแห้งแบบถาดหมุน เพื่อทำการอบแห้งจึงจำนวน 0.5 กิโลกรัม โดยเปรียบเทียบระหว่างการอบแห้งโดยใช้อากาศร้อนและการอบแห้งโดยใช้อากาศแห้งร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ตามขั้นตอนดังนี้

3.2.3.1 การทดลองโดยใช้อากาศร้อนในการอบแห้งจึง

- 1) เปิดโบลเวอร์(No.2) ปรับอินเวอร์เตอร์เพื่อให้ได้ความเร็วอากาศในตู้อบแห้งเป็น 0.64 เมตรต่อวินาที ผ่านหอดูดซั้บที่ไม่บรรจุซิลิกาเจล

- 2) เปิดฮีตเตอร์(No.2) ปรับค่า Set point ให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการ
- 3) บันทึกค่าน้ำหนักขิงเริ่มต้นและระหว่างการอบแห้งทุกๆ 30 นาที

3.2.3.2 การทดลองโดยใช้อากาศแห้งร้อนในการอบแห้งขิง

- 1) เปิดโบลเวอร์(No.2) ปรับอินเวอร์เตอร์เพื่อให้ได้ความเร็วอากาศในตู้อบแห้งเป็น 0.64 เมตรต่อวินาที ผ่านหอดูดซับที่บรรจุซิลิกาเจล 3 ชั้น น้ำหนักซิลิกาเจลชั้นละ 3 กิโลกรัม
- 2) เปิดฮีตเตอร์(No.2) ปรับค่า Set point ให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการ
- 3) บันทึกค่าน้ำหนักขิงเริ่มต้นและระหว่างการอบแห้งทุกๆ 30 นาที



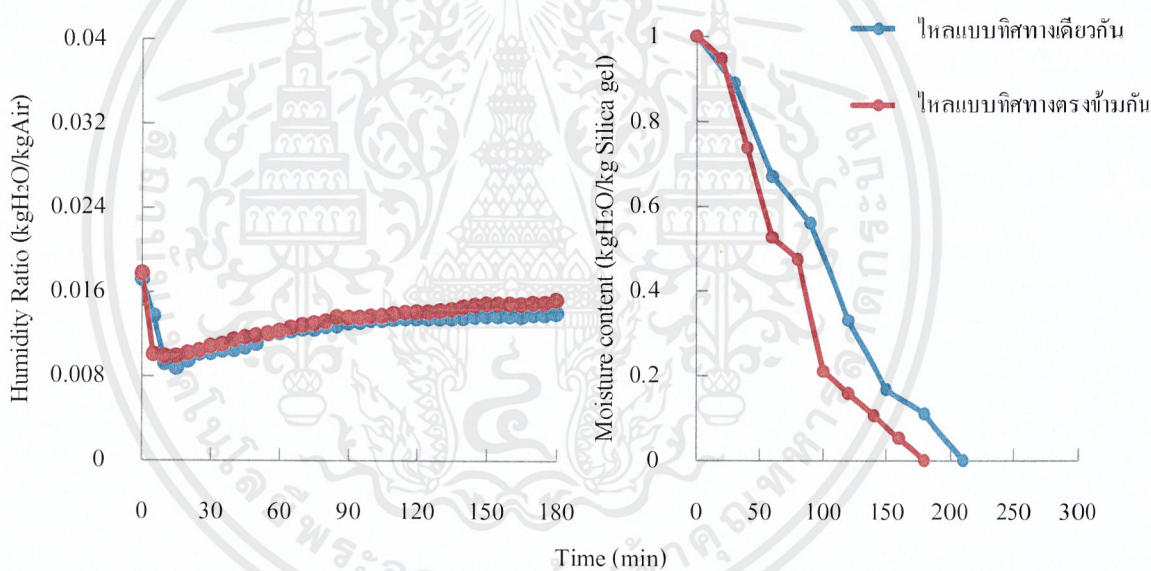
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาผลของทิศทางการไหลของอากาศในกระบวนการดูดซับและคายซับ

ในการทดลองจะควบคุมสถานะที่ใช้ในกระบวนการดูดซับและคายซับ โดยในส่วนของกระบวนการดูดซับกำหนดความเร็วอากาศ 0.335 เมตรต่อวินาที เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 3 ชั่วโมง และกระบวนการคายซับกำหนดความเร็วอากาศ 0.19 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยทำการทดลองเปรียบเทียบระหว่างทิศทางการไหลของอากาศในกระบวนการดูดซับและคายซับ ไหลแบบทิศทางเดียวกันและไหลแบบทิศทางตรงข้ามกัน ซึ่งได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.1



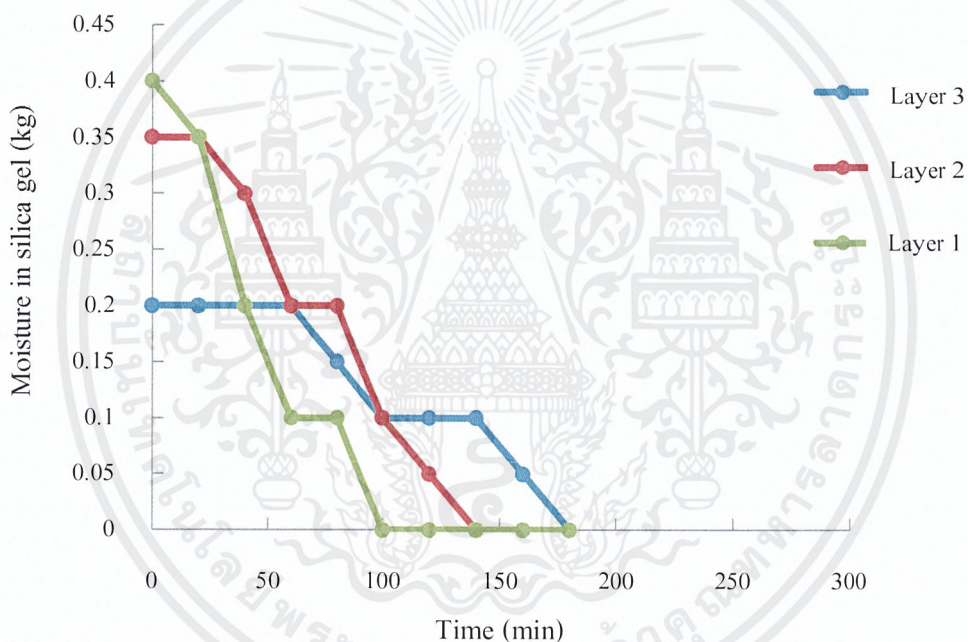
รูปที่ 4.1 ผลของทิศทางการไหลของอากาศในกระบวนการดูดซับและคายซับต่อ

ประสิทธิภาพการคายซับ

(ก) ปริมาณความชื้นของอากาศขาออกจากหอดูดซับกับเวลาในการดูดซับ

(ข) ปริมาณ Moisture content(%db) ในซิลิกาเจลกับเวลาในการคายซับ

จากรูปที่ 4.1 แสดงผลของทิศทางการไหลของอากาศในกระบวนการดูดซับและคายซับพบว่าผลการทดลอง ให้ประสิทธิภาพในการดูดซับมีแนวโน้มเดิมใกล้เคียงกัน โดยขณะทดลองการดูดซับเมื่อทิศทางการไหลของอากาศเป็นไหลแบบทิศทางเดียวกันและไหลแบบทิศทางตรงข้ามกัน มีค่าความชื้นในอากาศภายนอก 0.01853 และ 0.02056 kgH₂O/kgAir และสำหรับการคายซับเมื่อใช้ทิศทางการไหลของอากาศเป็นการไหลแบบทิศทางเดียวกัน จะให้ค่า Moisture content (%db) ของซิลิกาเจลลดลงเร็วกว่า และใช้เวลาในการคายซับน้อยกว่าการไหลของอากาศไหลแบบทิศทางตรงข้ามกัน โดยเวลาที่ใช้ในการคายซับของการไหลอากาศไหลแบบทิศทางเดียวกันและไหลแบบทิศทางตรงข้ามกัน คือ 180 นาที และ 210 นาที ตามลำดับ

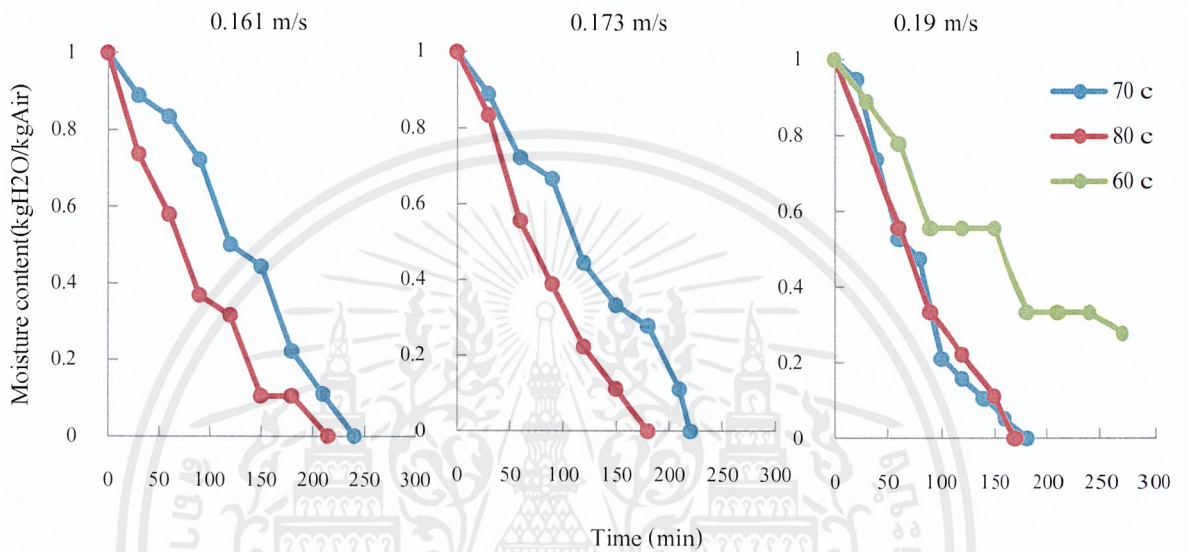


รูปที่ 4.2 ผลของลำดับชั้นที่บรรจุซิลิกาเจลที่มีผลต่อการลดลงของความชื้นในซิลิกาเจลกับเวลาในการคายซับ

จากรูปที่ 4.2 สำหรับการทดลองเมื่อทำการคายซับที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสและความเร็วของอากาศ 0.19 เมตรต่อวินาที พบว่าที่ชั้นล่างสุด (Layer 1) ปริมาณความชื้นในตัวซิลิกาเจลนั้นจะลดลงได้เร็วที่สุดและใช้เวลาในการคายซับน้อยที่สุด ตามมาด้วยชั้นกลาง (Layer 2) และชั้นบนสุด (Layer 3) ตามลำดับ

4.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิและความเร็วของอากาศร้อนที่ใช้ในการคายซั้บ

ในการทดลองจะควบคุมสภาวะที่ใช้ในกระบวนการดูดซั้บ โดยในส่วนของการควบคุมการดูดซั้บกำหนดความเร็วของอากาศ 0.335 เมตรต่อวินาที เวลาที่ใช้ในการดูดซั้บ 3 ชั่วโมง และทำการทดลองคายซั้บที่สภาวะที่แตกต่างกันของความเร็วและอุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการคายซั้บ ซึ่งได้ผลการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ผลของอุณหภูมิและความเร็วของอากาศร้อนที่ใช้การคายซั้บซิลิกาเจลที่มีผลต่อปริมาณ

Moisture content %db ในซิลิกาเจลกับเวลาในการคายซั้บ

จากรูป 4.3 ที่ความเร็วอากาศเท่ากัน พบว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการคายซั้บมีค่าสูงขึ้น ปริมาณความชื้นที่คายออกมาจากซิลิกาเจลมีค่ามากกว่าที่อุณหภูมิที่ใช้ในการคายซั้บต่ำ รวมถึงเวลาที่ใช้ในการคายซั้บจะมีค่าน้อยลงด้วย ดังนั้นที่อุณหภูมิในการคายซั้บที่ 80 องศาเซลเซียสจะให้ผลของกระบวนการคายซั้บดีกว่าที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส และผลของอุณหภูมิในการคายซั้บจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการคายซั้บมากขึ้นที่ความเร็วของอากาศร้อนที่ใช้ในการคายซั้บต่ำลง

ตารางที่ 4.1 ค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในระบบที่ความเร็วและอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ใช้ในการคาย
 ชับแตกต่างกัน

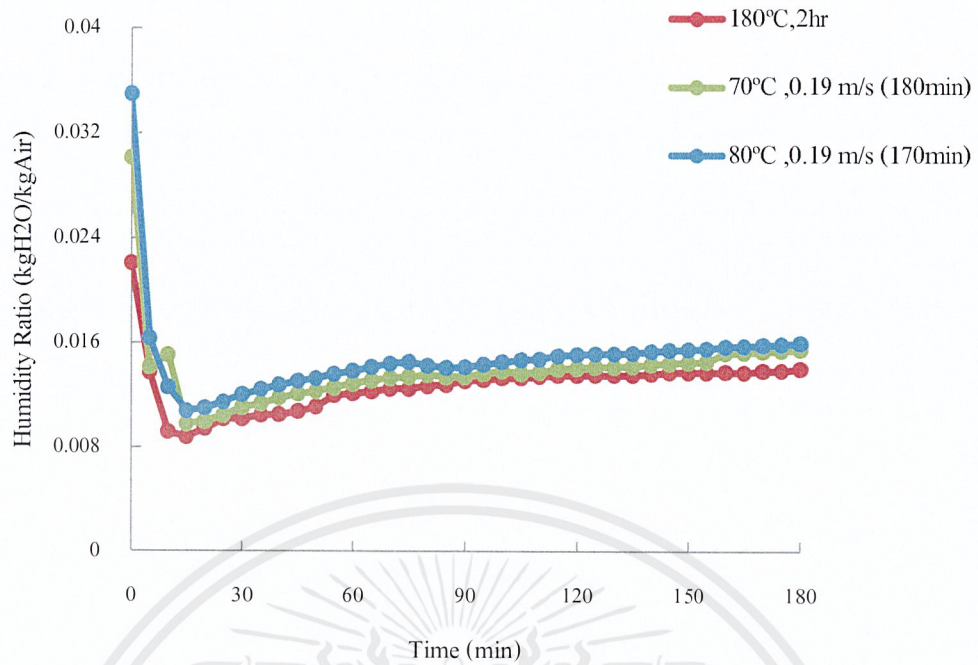
velocity (m/s)	Temperature (°C)	Regeneration time (min)	Total energy required (kWh)
0.161	80	215	8.15
0.161	70	240	8
0.173	80	180	7.7
0.173	70	220	7.95
0.19	100	150	9
0.19	80	170	7.8
0.19	70	180	7.4
0.19	60	>270	>8.8

จากตารางที่ 4.1 พบว่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการคายซับที่ความเร็วอากาศเป็น
 0.19 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิการคายซับที่ 70 องศาเซลเซียส จะสิ้นเปลืองพลังงานน้อยที่สุดคือ
 7.4 กิโลวัตต์-ชั่วโมงซึ่งใช้เวลาในการคายซับ 3 ชั่วโมง ที่ความเร็ว 0.19 เมตรต่อวินาทีและ
 อุณหภูมิการคายซับ 60 องศาเซลเซียส จะสิ้นเปลืองพลังงานมากซึ่งมากกว่า 8.8 กิโลวัตต์-ชั่วโมง
 และใช้เวลาในการคายซับมากกว่า 4 ชั่วโมงครึ่ง และที่ความเร็ว 0.19 เมตรต่อวินาทีและอุณหภูมิ
 การคายซับ 100 องศาเซลเซียสจะใช้เวลาในการคายซับน้อยที่สุดที่ 150 นาที แต่จะสิ้นเปลือง
 พลังงานมากถึง 9 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

4.3 การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับที่กระบวนการคายซับต่างๆ

การทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการดูดซับ โดยเปรียบเทียบการดูดซับความชื้นที่
 ความเร็วของอากาศ 0.335 เมตรต่อวินาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยใช้ซิลิกาเจลที่ผ่านการอบที่
 อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับซิลิกาเจลจากหอผลิตอากาศแห้งซึ่ง
 ผ่านกระบวนการคายซับที่อุณหภูมิ 70 80 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการคายซับ 180 170 นาที
 ตามลำดับ โดยความเร็วของอากาศร้อนที่ใช้ในการคายซับของหอผลิตอากาศแห้งเป็น 0.19 เมตรต่อ
 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

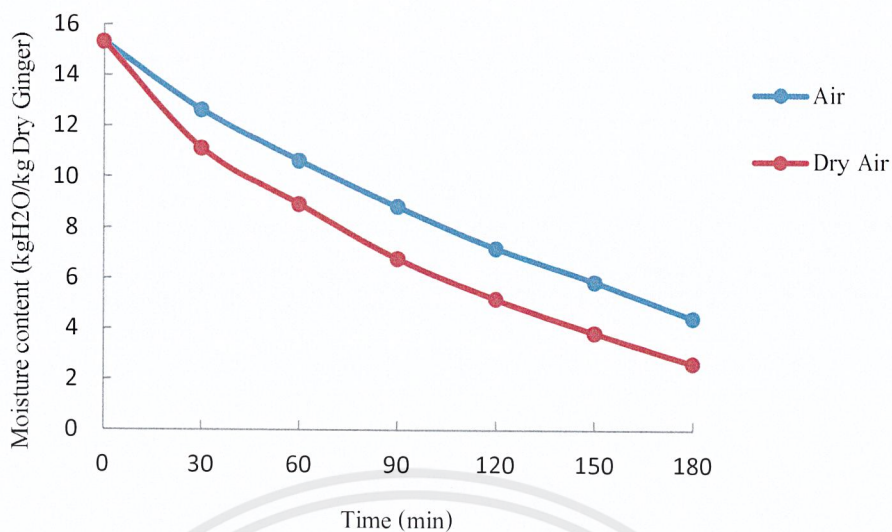


รูปที่ 4.4 แสดงประสิทธิภาพของการดูดซับความชื้นของซิลิกาเจล โดยทำการคายซับที่สภาวะต่างๆ

จากรูปที่ 4.4 พบว่าซิลิกาเจลเมื่อทำการดูดซับเป็นเวลา 3 ชั่วโมงและนำไปทำการคายซับที่สภาวะต่างกัน เมื่อนำมาใช้ดูดซับใหม่พบว่าซิลิกาเจลมีประสิทธิภาพในการดูดซับใกล้เคียงจากเดิม โดยสังเกตได้จากกราฟการดูดซับทั้งสามเส้นที่มีแนวโน้มของกราฟใกล้เคียงกัน แต่มีความแตกต่างกันบ้างเนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศภายนอกขณะดูดซับมีค่าแตกต่างกันในแต่ละวันที่ทำการทดลอง โดยจากเส้นสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน จะมีค่า Humidity Ratio ของอากาศภายนอกเป็น 0.01896 0.0211 และ 0.02139 kgH₂O/kgAir ตามลำดับ

4.4 การศึกษาประสิทธิภาพในการอบแห้ง

การทดลองนำระบบผลิตอากาศแห้งต่อเข้ากับระบบอบแห้งจริง โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการใช้อากาศร้อนและอากาศแห้งร้อนในการอบแห้งจึงจำนวน 0.5 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศร้อนในตู้อบแห้ง 0.64 เมตรต่อวินาที โดยทำการอบแห้งที่เวลาเท่ากัน คือ 180 นาที



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการอบแห้งด้วยอากาศร้อนและอากาศแห้งร้อน

จากรูปที่ 4.5 พบว่าการอบแห้งโดยใช้อากาศแห้งร้อนทำให้ความชื้นที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ลดลงเร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรอบแห้งโดยใช้อากาศร้อน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาผลของทิศทางการไหลของอากาศในกระบวนการดูดซับและกระบวนการคายซับของซิลิกาเจล พบว่าเมื่อกำหนดให้ระบบมีทิศทางการไหลของอากาศในกระบวนการดูดซับและคายซับเป็นการไหลแบบทิศทางเดียวกัน ทำให้การคายซับของระบบนั้นมีประสิทธิภาพดีกว่าไม่ว่าจะเป็นอัตราการลดลงของ moisture content ในซิลิกาเจล และเวลาที่ใช้ในการคายซับน้อยกว่าระบบที่มีทิศทางการไหลของอากาศในกระบวนการดูดซับและคายซับเป็นการไหลแบบทิศทางตรงข้ามกัน

การศึกษาผลของอุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการคายซับซิลิกาเจลในระบบเครื่องผลิตอากาศแห้งแบบต่อเนื่อง พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและความเร็วของอากาศที่ใช้ในการคายซับแล้วนั้นก็ส่งผลให้ปริมาณ %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 พบว่าการอบแห้งโดยใช้อากาศแห้งร้อนทำให้ความชื้นที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ลดลงเร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งโดยใช้อากาศร้อน

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

5.2 ปัญหาที่พบบ่อยระหว่างการศึกษาวิจัย

1. ปัญหาการเกิดความดันลดเพิ่มขึ้นในระบบ

สาเหตุ เนื่องจากในตอนที่ทำกำรคำนวณนั้นทราบเพียงแต่ขนาดของหอดูดซับและข้อต่อของอ็อบางส่วนเท่านั้นทำให้การคำนวณความดันลดยังไม่ได้คำนึงในส่วนที่เกิดจากการขยายขนาดและการลดขนาดของอากาศที่ไหลผ่านฮีตเตอร์ทำให้การเลือกใช้โบวล์เวอร์เกิดปัญหาคือโบวล์เวอร์ให้ค่าความเร็วอากาศขาออกหอดูดซับในบางค่าที่ต้องการไม่ได้แก้ไขโดยการปรับช่วงค่าความเร็วที่จะใช้ในการทดลองในแคบลงและเพิ่มขนาดท่อที่ต่อออกจากฮีตเตอร์เพื่อลดความดันลดในการเปลี่ยนขนาดพื้นที่หน้าตัดให้มีค่าน้อยลง

2. ปัญหาอุณหภูมิในการคายซ้บมีค่าไม่ตรงตามค่าที่กำหนด

สาเหตุ เนื่องจากในระบบเมื่ออากาศร้อนออกจากฮีตเตอร์มาต้องผ่านพวกท่อข้อต่อข้อต่อต่างๆทำให้อาจจะมีการถ่ายเทความร้อนหลุดออกไปยังสิ่งแวดล้อมภายนอก ส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศภายในหอดูดซับจะต่ำกว่าค่าอุณหภูมิที่เรากำหนดไว้แก้ไขโดยการหุ้มฉนวนท่อที่ส่งผ่านอากาศร้อน และตั้งค่าอุณหภูมิที่ Set point ไว้มากกว่าอุณหภูมิที่ต้องการใช้ในการคายซ้บภายในหอดูดซับประมาณ 3 องศาเซลเซียส

3. ปัญหาการรั่วไหลของอากาศออกจากหอดูดซับและคายซ้บ

สาเหตุ เนื่องจากหอดูดซับมีการออกแบบให้มีลักษณะประตูเปิดปิดได้ซึ่งรอยตรงบริเวณขอบประตูทำให้เกิดการรั่วไหลของอากาศได้ ซึ่งปัญหาในส่วนนี้จะส่งผลทำให้ความเร็วของอากาศที่ต้องการมีค่าลดลงแก้ไขโดยดูบริเวณที่มีอากาศรั่วไหลโดยใช้สติ๊กเกอร์ฟอโต้อะลูมิเนียมปิดกั้นรอยรั่ว

4. ข้อมูลการทดลองบางส่วนไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้

สาเหตุ เนื่องจากในการทดลองต้องมีการวัดค่าต่างๆที่จะนำมาวิเคราะห์เป็นจำนวนมาก เช่น อุณหภูมิอากาศเข้าและออก ความชื้นสัมพัทธ์อากาศเข้าและออก น้ำหนักของซิลิกาเจล ความเร็วอากาศ เพราะฉะนั้นอุปกรณ์การวัดค่าพวกนี้จึงเป็นสิ่งสำคัญแต่เนื่องจากอุปกรณ์การวัดบางตัวมีประสิทธิภาพในการวัดที่ค่อนข้างไม่เที่ยงตรงและอ่านค่าซ้ำทำให้ค่าที่ได้ออกมาไม่สามารถนำไปวิเคราะห์เป็นผลการทดลองได้แก้ไขโดยการเปลี่ยนอุปกรณ์การวัดโดยเปลี่ยนไปใช้อุปกรณ์การวัดค่าตัวใหม่แทน

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชัยยศ ตั้งสถิตกุลชัย. 2554. กระบวนการดูดซับสาร. นครราชสีมา : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มหาวิทยาลัยสุรนารี.
- [2] รศ.ดร.เดชา ฉัตรศิริเวช. 2552. กระบวนการดูดซับ. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพฯ
- [3] ตีรรัตน์ เขียมรัตน์ประทีป, รัตนาภรณ์ วัชรพลสกุล, ลดารัตน์ บัวเพชร. 2553. การลดความชื้นในอากาศด้วยตัวดูดซับชนิดซิลิกาเจล. ปรินญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [4] ดร.ธงชัย เมฆวันและคณะ. 2543. อุปกรณ์การผลิตในอุตสาหกรรมเคมี. สำนักพิมพ์ สส.ท : กรุงเทพฯ.
- [5] ประทีป โควินถมิตร. 2541. การศึกษาสมรรถนะการควบคุมความชื้นโดยซิลิกาเจลสำหรับระบบการอบแห้ง. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิทยาศาสตร์ (เทคโนโลยีพลังงาน) คณะพลังงานและวัสดุ , มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี
- [6] มยุรี มีวรรณ, วิชฎา ภิรมย์กิจ. 2554. การศึกษากระบวนการคายซับสำหรับเครื่องผลิตอากาศแห้ง. ปรินญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [7] ศิริทิพย์ หนองแสง, สิงหนาท พวงจันทน์แดง. (2551). การพัฒนากระบวนการทำแห้งจิง โดยการทำแห้งแบบใช้ลมร้อนและการทำแห้งแบบลดความชื้น โดยใช้เครื่องสูบ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 39 (3), 111-114.
- [8] ศุภกิจ เตียวเจริญ, ธัญชนก คงจรรยา, นางสาวมิลตรา พุยมูล. 2553. การใช้ซีโอไลต์เป็นตัวดูดซับ. สืบค้นเมื่อ 12 ธันวาคม 2555 จาก chem.flas.kps.ku.ac.th
- [9] Atipoang Nuntaphana, Tanongkiat Kiatsiriroatb and Natthawut Dussadeec. Performance Testing of Tray-type Desiccant Unit for Longan Drying Process. Naresuan University Journal 2005; 13(1): 25-36
- [10] A.E. Kabeel. Adsorption-desorption operation of multilayer desiccant packed bed for dehumidifier applications. Renewable Energy 34(2009) 255-265
- [11] Chantana Punlek, Rattanachai Pairintra, Sirinuch Chindaraksa, Somchai Maneewan. Simulation design and evaluation of hybrid PV/T assisted desiccant integrated HA-IR drying system (HPIRD). Food and Bioproducts Processing, 87 (2009), pp. 77–86.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] Ismail, M.Z., Angus, D.E. and Thorpe, G.R., 1991, "The Performance of A Solar-Regenerated Open-Cycle Desiccant Bed Grain Cooling System," Solar Energy. Vol.46, No.2, pp.63-70
- [13] K.J. Chua, S.K. Chou. Low-cost drying methods for developing countries. Trends in Food Science & Technology, 14 (2003), pp. 519–528.
- [14] Kosuke Nagaya, Ying Li, Zhehong Jin, Masahiro Fukumuro, Yoshinori Ando, Atsutoshi Akaishi. Low temperature desiccant-based food drying system with airflow and temperature control. Journal of Food Engineering, 75 (2006), pp. 71–77.
- [15] 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)
- [16] McCabe, Warren L., Smith, Julian C. and Harriott, Peter. 2005. Unit Operation of Chemical Engineering. 7th ed. Singapore; McGraw-Hill
- [17] Ming, F. Y., Zhang, H. J., & Chang, T. P. (1994, April). Agricultural applications of desiccant drying technology. Paper presented at the 5th ASEAN Conference on Energy Technology, Bangkok, Thailand
- [18] Singh S, Singh PP. Regeneration of silica gel in multi-shelf regeneration. Renewable Energy 1998,13(1):105-109
- [19] 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
- [20] Thoruwa TFN, Smith JE, Grant AD, Johnstone CM. Development in solar drying using forced ventilation and solar regenerated desiccant materials. WREC; 1996.
- [21] <http://en.wikipedia.org/wiki/Adsorption> (19 ก.ย. 2554 17:41:40 GMT)
- [22] http://en.wikipedia.org/wiki/Silica_gel (19 ก.ย. 2554 17:41:40 GMT)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. วิธีการคำนวณ

1. การคำนวณค่าสัดส่วนความชื้นในอากาศ (Humidity Ratio)

1.1 การคำนวณค่าสัดส่วนความชื้นในอากาศจากเว็บไซต์

ค่า Humidity Ratio (gH₂O/gAir) เป็นค่าที่แสดงปริมาณความชื้นของอากาศที่ออกจากคอลัมน์ที่นำมาวิเคราะห์ผลของการดูดซับและการคายซับของซิลิกาเจล สามารถหาค่าได้จากการเปิดแผนภาพ Psychrometric Chart โดยค่า Humidity Ratio จะสัมพันธ์กับค่าความชื้นในอากาศขณะนั้นและอุณหภูมิของอากาศขณะนั้น (Dry bulb Temperature) และสามารถใช้ Psychrometric Calculator online ในการหาค่า Humidity Ratio โดยแสดงตัวอย่างการคำนวณค่าสัดส่วนความชื้นในอากาศจากเว็บไซต์ที่ให้บริการ Psychrometric Calculator ตัวอย่างจากเว็บไซต์ <http://www.sugartech.co.za>

The screenshot shows the Psychrometric Calculator interface. It includes a navigation menu, a home message, and a section for Psychrometric Calculations. The main area is divided into 'Inputs' and 'Outputs' sections. The 'Inputs' section includes fields for Unit Chosen (SI or IP), Parameter Name, Value, and Unit. The 'Outputs' section includes fields for Atmospheric Press., Sat. Vapor Press., Partial Vapor Press., Humidity Ratio, Enthalpy, and Specific Volume. A 'Calculate' button is located below the input fields. The 'Expert Engineering Advice' section provides information on spray ponds and cooling towers. The right sidebar contains a 'Sugar Prices' table, a 'Featured Design' section, and a 'Sugar Books' section.

Inputs		Outputs	
Unit Chosen:	<input type="radio"/> SI <input type="radio"/> IP	Atmospheric Press.	1.013238759791 bar
Parameter Name	Value Unit	Sat. Vapor Press.	4.0 0027500363 mbar
Dry Bulb Temp.:	23 C	Partial Vapor Press.	28.5389156681 mbar
Wet Bulb Temp.:	24.7367330334 C	Humidity Ratio	0.01802702373 kg/kg
Relat. Humidity:	71.2 %	Enthalpy	75.1835104430 kJ/kg
Dew Point Temp	23.2616878265 C	Specific Volume	0.97976680166 m ³ /kg
Altitude	0.0 m		

รูปที่ ก.1 แสดงหน้าเว็บไซต์ที่ให้บริการ Psychrometric Calculator Online

<http://www.sugartech.co.za> (2013)

ขั้นตอนการหาค่าสัดส่วนความชื้นในอากาศจากเว็บไซต์ <http://www.sugartech.co.za>

- 1) เปิดหน้าเว็บไซต์ ที่ให้บริการ Psychrometric Calculator ขึ้นมา ดังรูป ก.1
- 2) เลือกโหมดการคำนวณ Relative Humidity

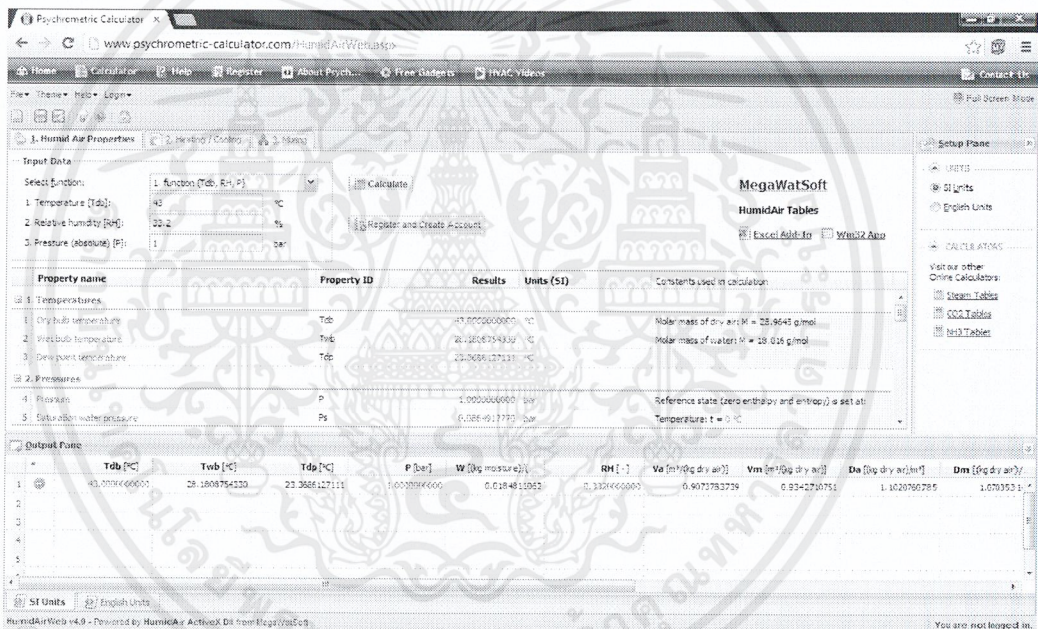
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) ใส่ค่าตัวแปรต้น (Inputs) คือ Dry Bulb Temp. (T_{out}) และ Relative Humidity ($\%RH_{out}$)
- 4) กดปุ่ม Calculate จะได้ค่า Outputs ออกมา ซึ่งค่าที่ต้องการคือ Humidity Ratio ซึ่งมีหน่วยเป็น (kg H₂O/kg Air)

ตัวอย่างในรูป ก.1 เมื่อค่า Relat.Humidity = 71.2% และ Dry Bulb Temp. = 29 °C จะคำนวณค่า Humidity Ratio = 0.018027 kgH₂O/kgAir

ตัวอย่างเว็บไซต์อื่นๆที่ให้บริการเครื่องคำนวณออนไลน์

- <http://www.psychrometric-calculator.com> (2013)



รูปที่ ก.2 แสดงหน้าเว็บไซต์ที่ให้บริการ Psychrometric Calculator Online

<http://www.psychrometric-calculator.com> (2013)

1.2 การคำนวณค่าสัดส่วนความชื้นในอากาศจากโปรแกรมสำเร็จรูป

ซึ่งสามารถใส่ค่าตัวแปรต้น (Inputs) คือ Dry Bulb Temp. (T_{in}) และ Relative Humidity (Air in) ก็จะทำให้ได้ค่าสัดส่วนความชื้นในอากาศ (Humidity Ratio) ที่ความดัน 1 บรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

System		
Pressure	1	atm
Air in		
T in	30	°C
Air in	68	%RH
$P_{A,in}$	0.0418	atm
$P_{A,in}$	0.0284	atm
Moisture in	18.24	gH ₂ O/kg dryair
density	1.166	kg/m ³
viscosity	1.87E-05	kg/m.s

รูปที่ ก.3 โปรแกรมคำนวณหาค่าสัดส่วนความชื้นในอากาศ (นายอำนาจ สุนทรชัชเวช และ นายอัครพงษ์ กระแส, 2555: ไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล)

2. การคำนวณออกแบบเครื่องผลิตอากาศแห้ง

2.1 เครื่องอบแห้งแบบถาดหมุน

นำเครื่องผลิตอากาศแห้งไปใช้กับเครื่องอบแห้งแบบถาดหมุนลักษณะทรงกระบอก โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.25 เมตรและมีแกนกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.05 เมตร โดยเครื่องอบแห้งต้องการความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านในช่วง 0.5–1.0 เมตรต่อวินาที

$$\begin{aligned}
 \text{พื้นที่หน้าตัดเครื่องอบแห้งแบบถาดหมุน (A}_1\text{)} &= \frac{\pi}{4} (R^2 - r^2) \\
 &= \frac{\pi}{4} (0.25^2 - 0.05^2) \\
 &= 0.0471 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

ดังนั้นพื้นที่หน้าตัดของเครื่องอบแห้งแบบถาดหมุนมีขนาด 0.0471 ตารางเมตร โดยความเร็วอากาศที่ไหลผ่านอยู่ในช่วง 0.5-1.0 เมตรต่อวินาทีนำไปหาค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ (Q)

$$Q = A_1 \times v$$

$$Q = (0.0471 \text{ m}^2) \left(0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) \left(\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}\right)$$

$$Q = 1.413 \text{ m}^3 / \text{min}$$

อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศที่ใช้ในการดูดซับอยู่ในช่วง 1.413-2.826 ลูกบาศก์เมตร ต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เครื่องผลิตอากาศแห้ง

เครื่องผลิตอากาศแห้งมีลักษณะเป็นเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม 2 เครื่อง โดยเครื่องมีขนาด $0.3 \times 0.3 \times 0.3$ ลูกบาศก์เมตรและต่อด้วยท่อขนาด 2 นิ้วเพื่อเข้าเครื่องอบแห้งแบบถาดหมุน พื้นที่หน้าตัดเครื่องผลิตอากาศแห้ง (A_2) = กว้าง \times ยาว = 0.3×0.3

$$= 0.09m^2$$

ดังนั้นพื้นที่หน้าตัดของเครื่องผลิตอากาศแห้งมีขนาด 0.09 ลูกบาศก์เมตรและต้องการอัตราการไหลเชิงปริมาตรมีค่าในช่วงอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านเข้าเครื่องอบแห้งแบบถาดหมุนซึ่งอยู่ในช่วง 1.413-2.826 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

3. การหาค่าความดันลด (Pressure drop) ภายในระบบ

ค่าต่างๆที่ใช้ในการคำนวณ

$$D_p = 0.0027m$$

$$\Delta L = 0.3m$$

$$R = 0.082 \frac{L \cdot atm}{mol \cdot K}$$

$$T = 313K$$

$$\rho = 1.13kg/m^3 \text{ (ที่อุณหภูมิ } 40^\circ C \text{ , ความดัน } 1 \text{ atm)}$$

$$\rho_b = 0.45g/cm^3$$

$$\mu = 1.91 \times 10^{-5} kg/(m \cdot s) \text{ (ที่อุณหภูมิ } 40^\circ C \text{ , ความดัน } 1 \text{ atm)}$$

$$\varepsilon_b = 0.3$$

$$\frac{\partial q}{\partial P} = 5.55 \frac{g H_2O / g silica \ gel}{atm}$$

หาค่าความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านหอผลิตอากาศแห้ง

พื้นที่หน้าตัดของเครื่องผลิตอากาศแห้งมีขนาด 0.09 ลูกบาศก์เมตรและต้องการอัตราการไหลเชิงปริมาตรมีค่าในช่วงอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านเข้าเครื่องอบแห้งแบบถาดหมุนซึ่งอยู่ในช่วง 1.413-2.826 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที หาค่าความเร็วอากาศที่ผ่านหอผลิตอากาศแห้ง (v)

$$v = Q / A_2$$

$$v = 1.413 \frac{m^3}{min} \times \frac{1}{0.09m^2} \times \frac{1 \text{ min}}{60s}$$

$$v = 0.262 \frac{m}{s}$$

ดังนั้นความเร็วอากาศที่ผ่านหอผลิตอากาศแห้งอยู่ในช่วง 0.262-0.523 เมตรต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่า Reynolds number

ซึ่งเป็นตัวแปรไร้มิติโดยต้องการทราบว่าในหอผลิตอากาศแห่งนี้พื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมมีการไหลของอากาศเป็นแบบใด จึงหาค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์(Re)

$$Re = \frac{\rho D_h v}{\mu}$$

โดยค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเสมือน(D_h)หาจาก

$$D_h = \frac{4 \times \text{cross section area of the duct}}{\text{perimeter of duct incontact with fluid}} = \frac{4A}{P}$$

$$D_h = \frac{4 \times 0.3m \times 0.3m}{0.3m \times 4} = 0.3m$$

$$Re = \frac{\rho D_h v}{\mu}$$

$$Re = \frac{1.13 \frac{kg}{m^3} \times 0.3m \times 0.262 \frac{m}{s}}{1.91 \times 10^{-5} kg/(m \cdot s)}$$

$$Re = 4650.157$$

จากการคำนวณค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ทำให้ทราบว่าช่วงความเร็วอากาศที่เราใช้ 0.262-0.523 m/s ทำให้ค่า Reynolds number มากกว่า 4,000 ทำให้ทราบว่า การไหลของอากาศที่ผ่านหอผลิตอากาศแห่งนี้เป็นการไหลแบบปั่นป่วน

3.1 การหาค่าความดันตกของการไหลแบบปั่นป่วนภายในหอผลิต

อากาศแห้งที่บรรจุซิลิกาเจล

$$\Delta P = \frac{1.75 \rho v^2 \Delta L}{D_p} \left(\frac{1 - \epsilon_b}{\epsilon_b^3} \right)$$

การหาค่าความดันตกที่ความเร็วอากาศในหอผลิตอากาศแห้ง 0.262 เมตรต่อวินาที

$$\Delta P = \frac{1.75(1.13 \frac{kg}{m^3})(0.262 \frac{m}{s})^2 (0.3m)}{0.0027m} \times \frac{1-0.3}{0.3^3}$$

$$\Delta P = 391.03 \frac{kg}{m \cdot s^2} = 391.03 \frac{N}{m^2} = 391.03 \frac{N}{m^2} \times \frac{0.0102cmH_2O}{1N/m^2}$$

$$\Delta P = 3.99cmH_2O$$

การหาค่าความดันตกที่ความเร็วอากาศในหอผลิตอากาศแห้ง 0.523 เมตรต่อวินาที

$$\Delta P = \frac{1.75(1.13 \frac{kg}{m^3})(0.523 \frac{m}{s})^2 (0.3m)}{0.0027m} \times \frac{1-0.3}{0.3^3}$$

$$\Delta P = 1558.16 \frac{kg}{m \cdot s^2} = 1558.16 \frac{N}{m^2} = 1558.16 \frac{N}{m^2} \times \frac{0.0102cmH_2O}{1N/m^2}$$

$$\Delta P = 15.89cmH_2O$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความดันลดในหอผลิตอากาศแห้งในช่วงความเร็วที่ต้องการในการอบแห้งมีค่าอยู่ในช่วง 3.99cmH₂O - 15.89cmH₂O

3.2 การสูญเสียจากการไหลของอากาศภายในท่อของระบบการดูดซับความชื้น

ได้ดำเนินการออกแบบและประกอบอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ท่อตรง ข้อต่อ ข้องอ ต่างๆ ที่ต้องใช้ในระบบการอบแห้งโดยใช้อากาศแห้ง ดังรูปที่ 3.4 ซึ่งในระบบได้ใช้ท่อขนาด 2 นิ้ว ในการต่อระบบการผลิตอากาศแห้งและระบบการอบแห้ง

- หาความเร็วของอากาศที่ผ่านท่อ 2 นิ้ว

อากาศผ่านท่อต่างๆของระบบโดยใช้ท่อขนาด 2 นิ้วและต้องการอัตราการไหลเชิงปริมาตรมีค่าในช่วยอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านเข้าเครื่องอบแห้งแบบถาดหมุนซึ่งอยู่ในช่วง 1.413-2.826 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที หาค่าความเร็วอากาศที่ผ่านท่อ 2 นิ้ว (v_1)

$$v_1 = Q / A_2$$

$$v_1 = 1.413 \frac{m^3}{min} \times \frac{1}{\pi(0.0254m)^2} \times \frac{1 min}{60s}$$

$$v_1 = 11.625 \frac{m}{s}$$

ดังนั้นความเร็วอากาศที่ผ่านหอผลิตอากาศแห้งอยู่ในช่วง 11.625-23.25 เมตรต่อวินาที

- การสูญเสียจากการไหลของอากาศภายในท่อหาได้จากสมการ

$$\frac{\Delta P}{\rho} = (4f \frac{L}{D} + K_c + K_e + K_f) \frac{v^2}{2}$$

ในลำดับแรกได้ทำการหาค่า minor loss coefficient โดยจากตารางที่ 2.1 นำค่ามาใช้ในการคำนวณ

$$\text{ค่า minor loss coefficient} = 4f \frac{L}{D} + K_c + K_e + K_f$$

$$= (4 \times 0.006 \times \frac{8m}{2in} \times \frac{1in}{0.0254m}) + 0.39 + 0.39 + [(0.17 \times 2) + 1.5$$

$$+ 0.35 + (0.75 \times 4) + (0.4 \times 5)]$$

$$= 11.75$$

การสูญเสียจากการไหลภายในท่อ 2 นิ้วที่ความเร็วของอากาศ 11.625 เมตรต่อวินาที

$$\Delta P = 11.75(1.13 \frac{kg}{m^3}) \frac{(11.64 \frac{m}{s})^2}{2}$$

$$\Delta P = 897.16 \frac{kg}{m \cdot s^2} = 897.16 \frac{N}{m^2} = 897.16 \frac{N}{m^2} \times \frac{0.0102 cmH_2O}{1 N/m^2}$$

$$\Delta P = 9.151 cmH_2O$$

การสูญเสียจากการไหลภายในท่อ 2 นิ้วที่ความเร็วของอากาศ 23.25 เมตรต่อวินาที

$$\Delta P = 11.75(1.13 \frac{kg}{m^3}) \frac{(23.25 \frac{m}{s})^2}{2}$$

$$\Delta P = 3588.66 \frac{kg}{m \cdot s^2} = 3588.66 \frac{N}{m^2} = 3588.66 \frac{N}{m^2} \times \frac{0.0102 cmH_2O}{1 N/m^2}$$

$$\Delta P = 36.60 cmH_2O$$

ค่าการสูญเสียจากการไหลของอากาศภายในท่อของระบบการดูดซับความชื้นในช่วงความเร็วที่ต้องการในการอบแห้งมีค่าอยู่ในช่วง 9.151 cmH₂O – 36.60 cmH₂O

4. การหาเวลาที่ใช้ในการดูดซับ

สำหรับการดูดซับ พบว่าผลต่างของเวลาการดูดซับ (Δt) มีความสัมพันธ์กับผลต่างของความสูงเบด (ΔL) ดังสมการ โดยสมการในที่นี้ใช้สำหรับการดูดซับในเบดทรงกระบอก ซึ่งเราได้นำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องผลิตอากาศทรงสี่เหลี่ยมเพื่อคำนวณหาเวลาที่ใช้ในการดูดซับ

$$\Delta t = \frac{1 + \left(\frac{\rho_b}{\varepsilon_b} \right) \left(\frac{\partial q}{\partial P} \right) (RT)}{v_2} \Delta L$$

4.1 การหาเวลาที่ใช้ในการดูดซับที่ความเร็วอากาศที่ผ่านหอผลิตอากาศแห้งมีค่า

0.262 เมตรต่อวินาที

$$\Delta t = \frac{\left\{ 1 + \left(\frac{0.45 \frac{g}{cm^3}}{0.3} \right) \left(5.55 \frac{g H_2O / g silica\ gel}{atm} \right) (0.082 \frac{L \cdot atm}{mol \cdot K}) (313K) \left(\frac{1000 cm^3}{1L} \right) \left(\frac{1 mol}{18 g H_2O} \right) \right\}}{0.262 m/s} \quad 0.3m$$

$$\Delta t = 13593.35s \approx 3hr 47 min$$

4.2 การหาเวลาที่ใช้ในการดูดซับที่ความเร็วอากาศที่ผ่านหอผลิตอากาศแห้งมีค่า

0.523 เมตรต่อวินาที

$$\Delta t = \frac{\left\{ 1 + \left(\frac{0.45 \frac{g}{cm^3}}{0.3} \right) \left(5.55 \frac{g H_2O / g silica\ gel}{atm} \right) (0.082 \frac{L \cdot atm}{mol \cdot K}) (313K) \left(\frac{1000 cm^3}{1L} \right) \left(\frac{1 mol}{18 g H_2O} \right) \right\}}{0.523 m/s} \quad 0.3m$$

$$\Delta t = 6809.67s \approx 1hr 53 min$$

เวลาที่ใช้ในการดูดซับในช่วงความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านหอผลิตอากาศแห้งที่ต้องการในการอบแห้งมีค่าอยู่ในช่วง 1 ชั่วโมง 53 นาที – 3 ชั่วโมง 47 นาที

4.3 การหาเวลาที่ใช้ในการดูดซับที่ความเร็วอากาศที่ผ่านหอผลิตอากาศแห้งมีค่า

0.335 เมตรต่อวินาทีตามที่ได้ทดลองจริง

$$\Delta t = \frac{\left\{ 1 + \left(\frac{0.45 \frac{g}{cm^3}}{0.3} \right) \left(5.55 \frac{g H_2O / g silica\ gel}{atm} \right) (0.082 \frac{L \cdot atm}{mol \cdot K}) (313K) \left(\frac{1000 cm^3}{1L} \right) \left(\frac{1 mol}{18 g H_2O} \right) \right\}}{0.335 m/s} \quad 0.3m$$

$$\Delta t = 10,631.22s \approx 2hr 57 min$$

- หาค่าอัตราการไหลของอากาศตามที่ได้ทดลองจริง

$$Q = Av$$

$$Q = (0.3 \times 0.3) m^2 \times 0.335 \frac{m}{s} \times \frac{60s}{1 min}$$

$$Q = 1.81 m^3 / min$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองใช้ความเร็วอากาศในการดูดซับที่ไหลผ่านหอผลิตอากาศแห้ง 0.335 เมตรต่อวินาที หรืออัตราการไหลเชิงปริมาตร 1.81 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ซึ่งใช้เวลาในการดูดซับ 2 ชั่วโมง 57 นาที



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้