



การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะของการลดความชื้น
ชนิดซิลิกาเจลและโมเลกุลาร์ซีฟ
PARAMETRIC STUDIES ON DEHUMIDIFICATION PERFORMANCE
FOR SILICA GEL AND MOLECULAR SIEVE

ชาร์ิฟ บินร่อหิม

CHARIF BINROHIM

ณัฐสิทธิ์ ด้วงหวัง

NATTASIT DUANGWUANG

สิทธิพันธ์ วัฒนเคน

SITTIPHUN WATTHANAKHEN

ศศิธร ศิริยงค์

SASITORN SIRIYONG

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกลและวิศวกรรมพลังงาน
ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะของการลดความชื้น
ชนิดซิลิกาเจลและโมเลกุลสารซีฟ
PARAMETRIC STUDIES ON DEHUMIDIFICATION PERFORMANCE
FOR SILICA GEL AND MOLECULAR SIEVE



ชาร์ิฟ บินร่อหิม

CHARIF BINROHIM

ณัฐสิทธิ์ ด้วงหวัง

NATTASIT DUANGWUANG

สิทธิพันธ์ วัฒนเคน

SITTIPHUN WATTHANAKHEN

ศศิธร ศิริยงค์

SASITORN SIRIYONG

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกลและวิศวกรรมพลังงาน

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์


สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PARAMETRIC STUDIES ON DEHUMIDIFICATION PERFORMANCE
FOR SILICA GEL AND MOLECULAR SIEVE



CHARIF BINROHIM
NATTASIT DUANGWUANG
SITTIPHUN WATTHANAKHEN
SASITORN SIRIYONG

A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
AND ENERGY ENGINEERING
DEPARTMENT OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
PRINCE OF CHUMPHON CAMPUS CHUMPHON PROVINCE

2021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะของการลดความชื้นชนิดซิลิกาเจล
และโมเลกุลลาร์ซีฟ




PROJECT TITLE PARAMETRIC STUDIES ON DEHUMIDIFICATION PERFORMANCE
FOR SILICA GEL AND MOLECULAR SIEVE

ชื่อนักศึกษา นายซารีฟ บินร่อหีม รหัสประจำตัว 61512034
นายณัฐสิทธิ์ ด้วงหวัง รหัสประจำตัว 61512040
นายสิทธิพันธ์ วัฒนเคน รหัสประจำตัว 61512076
นางสาวศศิธร ศิริยงค์ รหัสประจำตัว 61514018

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกลและวิศวกรรมพลังงาน

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.วิสิทธิ์ เอกวานิช

ปริญญาปริญญาานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์			ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ปัญญา	แดงวิไลลักษณ์	กรรมการ	
ผศ.ดร.นารัตระพี	นาคะวัจนะ	กรรมการ	
ผศ.ดร.ปราโมทย์	กุศล	กรรมการ	
ดร.วิสิทธิ์	เอกวานิช	อาจารย์ที่ปรึกษา	วิสิทธิ์ เอกวานิช

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 11 กรกฎาคม 2565 เวลา 13.00 – 16.00 น.

สถานที่สอบ สอบแบบออนไลน์

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ กุศล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 11 กรกฎาคม พ.ศ. 2565

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะของการลดความชื้นชนิดซิลิกาเจลและโมเลกุลลาร์ซีฟ		
ชื่อนักศึกษา	นายชาธิฟ	บินร่อหิม	รหัสนักศึกษา 61512034
	นายณัฐสิทธิ์	ด้วงห้วง	รหัสนักศึกษา 61512040
	นายสิทธิพันธ์	วัฒนเคน	รหัสนักศึกษา 61512076
	นางสาวศศิธร	ศิริยงค์	รหัสนักศึกษา 61514018
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกลและวิศวกรรมพลังงาน		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.วิสิทธิ์ เอกวานิช		
ปริญญานิพนธ์			

บทคัดย่อ

กระบวนการลดความชื้นด้วยใช้สารดูดซับเป็นกระบวนการสำคัญที่มีการใช้งานหลากหลาย ยกตัวอย่างเช่น การลดปริมาณความชื้นในแก๊ส การรักษาสรรยากาศแห้งในพื้นที่หรือภาชนะปิด การควบคุมความชื้นในคลังสินค้า หรือกระบวนการทำให้ก๊าซแห้งในโรงงานอุตสาหกรรม โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาผลของตัวแปรที่มีต่อสมรรถนะของการลดความชื้นชนิดซิลิกาเจลและโมเลกุลลาร์ซีฟ ชุดลดความชื้นเป็นลักษณะทรงบอกลูกซึ่งทำจากท่ออะคริลิกใสที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 94 มิลลิเมตร ยาว 88 มิลลิเมตร ภายในบรรจุสารดูดซับปริมาณ 500 กรัม การออกแบบการทดลองด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology, RSM) แบบ central composite design (CCD) สำหรับศึกษาผลของตัวแปรอุณหภูมิของอากาศที่ 25 28 33 37 และ 40 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้นที่ 10 12 15 18 และ 20 กรัมอากาศเปียกน้ำต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหลของอากาศที่ 60 72 90 108 และ 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิและอัตราส่วนความชื้นของอากาศเป็นตัวแปรหลักที่มีผลต่ออัตราการดูดซับความชื้นของซิลิกาเจล ดังนั้น สารดูดซับชนิดซิลิกาเจลจึงเหมาะกับการใช้งานในช่วงอุณหภูมิต่ำ และโมเลกุลลาร์ซีฟเหมาะกับการใช้งานในช่วงอุณหภูมิสูง ส่วนอัตราการไหลของอากาศเป็นตัวแปรหลักที่มีผลต่อความดันลดทั้งซิลิกาเจลและโมเลกุลลาร์ซีฟ จากการทดลองที่สภาวะอุณหภูมิของอากาศที่ 33 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้น 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหลของอากาศ 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง พบว่าสำหรับชุดลดความชื้นที่ใช้สารดูดซับชนิดซิลิกาเจลจะมีความดันลดและอัตราการดูดซับเฉลี่ย 4.24 กิโลปาสกาล และ 194.54 กรัมต่อชั่วโมง ส่วนชุดลดความชื้นที่ใช้สารดูดซับชนิดโมเลกุลลาร์ซีฟจะมีความดันลดและอัตราการดูดซับเฉลี่ย 4.48 กิโลปาสกาล และ 144.13 กรัมต่อชั่วโมง

คำสำคัญ: กระบวนการลดความชื้นด้วยใช้สารดูดซับ, ซิลิกาเจล, โมเลกุลลาร์ซีฟ

Project Title	PARAMETRIC STUDIES ON DEHUMIDIFICATION PERFORMANCE FOR SILICA GEL AND MOLECULAR SIEVE	
Student	Mr. Charif Binrohim	Student ID 61512034
	Mr. Nattasit Duangwang	Student ID 61512040
	Mr. Sittiphun Watthanakhen	Student ID 61512076
	Miss Sasitorn Siriyong	Student ID 61514018
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Mechanical Engineering	
Project Advisor	Dr. Wisit Ekwanich	

ABSTRACT

Desiccant dehumidification processes are important operation in various applications such as drying gases, maintaining a dry atmosphere in a closed space or container, controlling humidity in warehouses, or drying process and industrial gases. This research aims to study parametric effects on dehumidification performance for silica gel and molecular sieve. The dehumidifiers were cylindrical packed bed (an acrylic tube), with a diameter of 94 mm, a length of 88 mm, and containing 500 g of adsorbent material. The response surface methodology (RSM) with central composite design (CCD) was employed to study the effects of operating parameter. The temperatures were kept around 25, 28, 33, 37, and 40°C, when the humidity ratios are 10, 12, 15, 18, and 20 g_w/kg_{da}. Moreover, the flow rates of supply air were controlled around 60, 72, 90, 108, 120 kg/h. The results shown that the temperature and humidity ratio were main effects on the adsorption rate for silica gel. Therefore, the silica gel was suitable for low-temperature applications and molecular sieves was suitable for high-temperature applications. Moreover, the flow rates were main effects on the pressure drop for silica gel and molecular sieves. In short, the average operating parameters of the air temperature, the humidity ratio and the mass flow rate were 33°C, 15 g_w/kg_{da}, and 90 kg/h, respectively. For the silica gel bed dehumidifier, the average pressure drop and the adsorption rate were 4.24 kPa and 194.54 g_w/h, respectively. In other hand, for the molecular sieves bed dehumidifier, the pressure drop and the adsorption rate are 4.48 kPa and 144.13 g_w/h.

Keywords: Desiccant dehumidification processes, silica gel, molecular sieve

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ขอขอบพระคุณ ดร.วิสิทธิ์ เอกวานิช อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้และแนะนำข้อมูลทำให้เป็นประโยชน์ต่อการทำงาน นอกจากนี้คณะผู้จัดทำปริญญาานิพนธ์ต้องขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ทุกท่านที่คอยให้คำปรึกษาแนวคิด ความรู้ต่างๆ ตลอดจนขั้นตอนและวิธีการในการทำปริญญาานิพนธ์

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมเกษตรและวิศวกรรมพลังงานทุกท่าน ที่ให้การช่วยเหลือสมาชิกในกลุ่มในทุกๆด้านที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้บุคคลที่ขาดไม่ได้คือ บิดา มารดา ผู้มีพระคุณและเป็นທີ່เคารพรัก ที่คอยให้การสนับสนุนและกำลังใจแก่คณะผู้จัดทำเสมอคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งและขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ นักศึกษาที่คอยช่วยเหลือแนะนำและสนับสนุนในทุกๆ ด้าน รวมถึงกำลังใจซึ่งทำให้การจัดทำปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วง คณะผู้จัดทำหวังว่าปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จะมีประโยชน์ไม่มิก็น้อยต่อผู้ที่สนใจศึกษาเกี่ยวกับการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะของชุดลดความชื้นแบบใช้สารดูดซับ

ชาریف บินร่อหีม
ณัฐสิทธิ์ ด้วงห้วง
สิทธิพันธ์ วัฒนเคน
ศศิธร ศิริยงค์
กรกฎาคม 2565

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.6 สถานที่ดำเนินงาน	4
1.7 แผนการดำเนินงาน	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 กระบวนการลดความชื้นโดยใช้สารดูดซับความชื้น	5
2.2 สารดูดซับ	7
2.2.1 ซิลิกาเจล	7
2.2.2 โมเลกุลลาร์ซีฟ	8
2.3 ระบบลดความชื้นด้วยสารดูดซับแบบเบด	8
2.4 ความดันตกคร่อม	9
2.5 อัตราการดูดซับความชื้น	9
2.6 ความร้อนของการดูดซับ	10
2.7 อัตราการไหลของอากาศ	10
2.8 อัตราส่วนความชื้น	10
2.8.1 ความชื้นสัมพัทธ์	10
2.8.2 แผนภูมิไฮโครเมทริก	11

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.9 วิธีนำสารดูดซับกลับมาใช้ใหม่	11
2.9.1 ระบบดูดซับแบบแปรอุณหภูมิ	11
2.9.2 ระบบดูดซับแบบสลับความดัน	12
2.10 วิธีการออกแบบการทดลองแบบวิธีการของพื้นผิวการตอบสนอง	12
2.10.1 การออกแบบส่วนประสมกลาง	14
2.11 บทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	18
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	18
3.2 วิธีการดำเนินงาน	25
3.3 วิธีออกแบบตารางการทดลอง	26
3.4 กระบวนการเตรียมสารดูดซับ	28
3.5 กระบวนการทดสอบอัตราการดูดซับและความดันตกคร่อม	30
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผล	34
4.1 ผลการทดสอบอัตราการดูดซับความชื้นและความดันตกคร่อมของซิลิกาเจล	34
4.1.1 ผลของตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการดูดซับของซิลิกาเจล	35
4.1.2 ผลของตัวแปรที่ส่งผลต่อความดันตกคร่อมของซิลิกาเจล	41
4.2 ผลการทดสอบอัตราการดูดซับความชื้นและความดันตกคร่อมของ โมเลกุลลาร์ซีฟ	45
4.2.1 ผลของตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการดูดซับของโมเลกุลลาร์ซีฟ	46
4.2.2 ผลของตัวแปรที่ส่งผลต่อความดันตกคร่อมของโมเลกุลลาร์ซีฟ	52
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	56
5.1 สรุปผลจากการทดลอง	56
5.2 ข้อเสนอแนะ	57

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	58
ภาคผนวก	60
ภาคผนวก ก แบบชุดทดลองการลดความชื้นด้วยสารดูดซับ	61
ภาคผนวก ข ผลการทดลอง	71
ประวัติผู้เขียน	108



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงานการออกแบบและสร้างชุดลดความชื้น	4
3.1 ตารางการกำหนดค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	26
3.2 ตารางการทดลองอัตราส่วนการดูดซับความชื้นและความดันตกคร่อมของซิลิกาเจลและ โมเลกุลลาร์ซีฟ	27
4.1 ตารางผลการทดสอบอัตราการดูดซับความชื้นและความดันตกคร่อมของสารดูดซับ ชนิดซิลิกาเจล	34
4.2 ตารางผลการทดสอบอัตราการดูดซับความชื้นและความดันตกคร่อมของสารดูดซับ ชนิดซิลิกาเจลในการทดลองครั้งที่ 9 และ10	35
4.3 ตารางผลการทดสอบอัตราการดูดซับความชื้นและความดันตกคร่อมของสารดูดซับ ชนิดซิลิกาเจลในการทดลองครั้งที่ 11 และ12	36
4.4 ตารางผลการทดสอบอัตราการดูดซับความชื้นและความดันตกคร่อมของสารดูดซับ ชนิดซิลิกาเจลในการทดลองครั้งที่ 13 และ14	37
4.5 ตารางค่าความแม่นยำและเที่ยงตรงของสมการที่ได้จากการทดลองในการคำนวณ อัตราการดูดซับของซิลิกาเจล	40
4.6 ตารางค่า P-Value ของสมการที่ได้จากการทดลองในการคำนวณอัตราการดูดซับ ของซิลิกาเจล	40
4.7 ตารางค่าความแม่นยำและเที่ยงตรงของสมการที่ได้จากการทดลองในการคำนวณ ความดันตกคร่อมของซิลิกาเจล	44
4.8 ตารางค่า P-Value ของสมการที่ได้จากการทดลองการคำนวณความดันตกคร่อม ของซิลิกาเจล	44
4.9 ตารางผลการทดสอบอัตราการดูดซับความชื้นและความดันตกคร่อม ของโมเลกุลลาร์ซีฟ	45
4.10 ตารางผลการทดสอบอัตราการดูดซับความชื้นและความดันตกคร่อมของ โมเลกุลลาร์ซีฟในการทดลองครั้งที่ 11 และ12	46
4.11 ตารางผลการทดสอบอัตราการดูดซับความชื้นและความดันตกคร่อมของ โมเลกุลลาร์ซีฟในการทดลองครั้งที่ 9 และ10	46
4.12 ตารางผลการทดสอบอัตราการดูดซับความชื้นและความดันตกคร่อมของ โมเลกุลลาร์ซีฟในการทดลองครั้งที่ 9 และ10	48

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.13 ตารางค่าความแม่นยำและเที่ยงตรงของสมการที่ได้จากการทดลองในการคำนวณอัตราของโมเลกุลลาร์ซีฟ	51
4.14 ตารางค่า P-Value ของสมการที่ได้จากการทดลองในการคำนวณอัตราการดูดซับของโมเลกุลลาร์ซีฟ	51
4.15 ตารางค่าความแม่นยำและเที่ยงตรงของสมการที่ได้จากการทดลองในการคำนวณความดันตกรวมของโมเลกุลลาร์ซีฟ	55
4.16 ตารางค่า P-Value ของสมการที่ได้จากการทดลองในการคำนวณความดันตกรวมของโมเลกุลลาร์ซีฟ	55



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แผนผังการดำเนินงานของการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะของชุดลดความชื้นแบบใช้สารดูดซับ	3
2.1 ความสัมพันธ์ของความดันไอน้ำที่พื้นผิวต่อความชื้นปริมาณความชื้นของสารดูดซับ	5
2.2 ความสัมพันธ์ของความดันไอน้ำที่พื้นผิวต่อความชื้นปริมาณความชื้นและอุณหภูมิของสารดูดซับ	6
2.3 วัฏจักรการทำงานของสารดูดความชื้น	6
2.4 สารดูดความชื้นซิลิกาเจล	7
2.5 สารดูดความชื้นโมเลกุลลาร์ซีฟ	8
2.6 แผนภูมิไซโครเมทริก	11
2.7 ตัวอย่างกราฟพื้นผิวตอบสนอง	13
2.8 โครงร่างของพื้นผิวตอบสนอง	13
2.9 แสดงการออกแบบการทดลองแบบ CCD สำหรับ 2 ปัจจัย และ 3 ปัจจัย	14
3.1 ซิลิกาเจล	18
3.2 โมเลกุลลาร์ซีฟ	18
3.3 พัดลมเป่าอากาศ	19
3.4 บอลวาล์ว	19
3.5 ถังทำความชื้น	19
3.6 ชุดพ่นละอองน้ำ	20
3.7 เครื่องควบคุมความชื้น	20
3.8 ชุดเพิ่มอุณหภูมิอากาศ a) ถังใส่ขดลวดทำความร้อนแบบรังผึ้ง b) ขดลวดทำความร้อนแบบรังผึ้ง	21
3.9 ท่อบรรจุสาร	21
3.10 ฉนวนกันความร้อน	22
3.11 กรวยใส่สาร	22
3.12 โทลแก้ว	22
3.13 ถาดแอสตันเลส	23
3.14 ตู้อบลมร้อน	23
3.15 เครื่องชั่งดิจิตอล	23
3.16 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น	24

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.17 เครื่องวัดความเร็วลม	24
3.18 เครื่องวัดความดันตกคร่อม	24
3.19 แผนผังแสดงขั้นตอนการทดลอง	25
3.20 การเตรียมสารดูดซับความชื้นเข้าเครื่องอบ	28
3.21 นำสารดูดความชื้นเข้าเครื่องอบ	28
3.22 ตั้งอุณหภูมิและเวลาในการอบสารดูดซับ	28
3.23 นำสารดูดซับที่อบเสร็จแล้วออกจากเตาอบ	29
3.24 นำสารดูดซับชนิดซิลิกาเจลบรรจุลงขวดโหลแก้ว	29
3.25 นำสารดูดซับชนิดโมเลกุลาร์ซีฟบรรจุลงขวดโหลแก้ว	30
3.26 สารดูดซับ 500 กรัม บรรจุอยู่ในกระบอกใส่สาร	30
3.27 ปรับค่าชุดควบคุมแรงดัน	31
3.28 ดูค่าอัตราการไหล	31
3.29 เซ็นเซอร์ตัวควบคุมความชื้น	31
3.30 กล้องเพิ่มความชื้นด้วยหัวฟ่นละอองน้ำ	32
3.31 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ	32
3.32 เครื่องมือวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์และค่าอุณหภูมิก่อนทางเข้าสารดูดซับ	32
3.33 เครื่องมือวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์และค่าอุณหภูมิทางออกสารดูดซับ	33
3.34 เครื่องมือวัดค่าความดันขณะทดลอง	33
4.1 กราฟความสัมพันธ์ที่แสดงผลระหว่างอัตราการดูดซับเทียบกับอุณหภูมิ และอัตราส่วน ความชื้น ที่ค่าอัตราการไหล 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง	37
4.2 กราฟความสัมพันธ์ที่แสดงผลระหว่างอัตราการดูดซับเทียบกับอุณหภูมิ และอัตราการไหล ที่ ค่าอัตราส่วนความชื้น 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง	38
4.3 กราฟความสัมพันธ์ที่แสดงผลระหว่างอัตราการดูดซับเทียบกับ อัตราส่วนความชื้นและอัตรา การไหล ที่ค่าอุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส	39
4.4 กราฟความสัมพันธ์ที่แสดงผลระหว่างความดันตกคร่อมเทียบกับ อุณหภูมิของอากาศและ อัตราส่วนความชื้น ที่ค่าอัตราการไหล 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง	41
4.5 กราฟความสัมพันธ์ที่แสดงผลระหว่างความดันตกคร่อมเทียบกับอุณหภูมิ และอัตราการไหล ที่ค่าอัตราส่วนความชื้น 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง	42

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 กราฟความสัมพันธ์ที่แสดงผลระหว่างความดันตกคร่อมเทียบกับอัตราส่วน ความชื้นและอัตราการไหล ที่ค่าอุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส	43
4.7 กราฟความสัมพันธ์ที่แสดงผลระหว่างอัตราการดูดซับเทียบกับอุณหภูมิ และอัตราส่วน ความชื้น ที่ค่าอัตราการไหล 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง	48
4.8 กราฟความสัมพันธ์ที่แสดงผลระหว่างอัตราการดูดซับเทียบกับอุณหภูมิของอากาศ และอัตราการไหล ที่ค่าอัตราส่วนความชื้น 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง	49
4.9 กราฟความสัมพันธ์ที่แสดงผลระหว่างอัตราการดูดซับเทียบกับ อัตราส่วนความชื้นและอัตรา การไหล ที่ค่าอุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส	50
4.10 กราฟความสัมพันธ์ที่แสดงผลระหว่างความดันตกคร่อมเทียบกับ อุณหภูมิและอัตราส่วน ความชื้น ที่ค่าอัตราการไหล 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง	52
4.11 กราฟความสัมพันธ์ที่แสดงผลระหว่างความดันตกคร่อมเทียบกับอุณหภูมิ และอัตราการไหล ที่ค่าอัตราส่วนความชื้น 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง	53
4.12 กราฟความสัมพันธ์ที่แสดงผลระหว่างความดันตกคร่อมเทียบกับอัตราส่วนความชื้น และอัตราการไหล ที่ค่าอุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส	54

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีสภาพอากาศแบบร้อนชื้น ในด้านการผลิตทางอุตสาหกรรม ความชื้นในระดับสูงอาจส่งผลให้คุณภาพในอากาศภายในอาคารลดลงทำให้เกิดเชื้อรา และมีส่วนต่อการเสื่อมสภาพของวัสดุและอุปกรณ์ต่าง ๆ การลดความชื้นในอากาศเป็นสิ่งสำคัญในการรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากต้องการอากาศที่มีความชื้นต่ำในการปรับปรุงกระบวนการผลิต หรือปรับปรุงสภาวะอากาศในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่น การผลิตอาหาร การผลิตยา การผลิตสารเคมีทางอุตสาหกรรม เป็นต้น นอกจากนี้ยังจำเป็นสำหรับการจัดเก็บสินค้า ห้องบรรจุภัณฑ์ พืชอินทรีย์ ผลิตภัณฑ์อินทรีย์ และการจัดเก็บวัตถุดิบดูดความชื้น [1]

วิธีการลดความชื้นในอากาศโดยส่วนใหญ่สามารถทำได้ 2 วิธี คือ การลดความชื้นแบบควบแน่นและการลดความชื้นแบบใช้สารดูดความชื้น ในการลดความชื้นแบบควบแน่นนั้นจะทำให้อากาศเย็นลงกว่าจุดน้ำค้างและความชื้นจะถูกควบแน่นออกจากอากาศ เช่น เครื่องปรับอากาศ ในการลดความชื้นแบบดูดความชื้นนั้นจะใช้สารดูดความชื้นมาช่วยในการลดความชื้นโดยอาศัยหลักของความแตกต่างระหว่างความดันไอของไอน้ำในอากาศกับสารดูดความชื้น ไอน้ำจะถูกสารดูดซับความชื้นดูดซับไว้โดยผ่านพื้นที่ผิวของสารดูดซับที่สัมผัสกับอากาศชื้นนั้น [2] สารดูดความชื้นได้ถูกนำมาใช้ในการผลิตอากาศที่มีความชื้นต่ำเนื่องจากมีการใช้พลังงานที่น้อย อากาศที่ผ่านการลดความชื้นจากสารดูดความชื้นจะเป็นอากาศที่มีอุณหภูมิสูง และความชื้นต่ำ สามารถเอาไปประยุกต์ใช้ได้ในการบวนการอบแห้ง ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง [3,4] นอกจากนี้ยังมีการนำระบบลดความชื้นแบบใช้สารดูดความชื้นมาเป็นทางเลือกในการนำมาใช้แทนระบบลดความชื้นแบบควบแน่นในสภาพอากาศร้อนชื้น ระบบลดความชื้นแบบควบแน่นมีข้อเสียคือการเพิ่มระดับของคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFC) ในสิ่งแวดล้อมมีส่วนสำคัญทำให้ชั้นโอโซนหมดลง [4] ระบบปรับอากาศแบบใช้สารดูดความชื้นมีข้อดีหลายประการเช่น การควบคุมความชื้นที่มีประสิทธิภาพสูง ไม่มีการใช้สารหล่อเย็นที่ทำลายชั้นบรรยากาศ เมื่อเทียบกับระบบปรับอากาศแบบอัดไอทั่วไป ด้วยเหตุนี้จึงได้รับความสนใจจากงานวิจัยมากขึ้น [5]

ทางคณะผู้จัดทำได้ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะการลดความชื้นของชุดลดความชื้นด้วยสารดูดซับ สารดูดซับที่ใช้ในการทดลองมีซิลิกาเจล และโมเลกุลาร์ซีฟ โดยการสร้างชุดทดลองในการ

ลดความชื้นด้วยสารดูดซับแบบเบด และทำการศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ ความชื้นของสารดูดซับที่ทางคณะผู้จัดทำได้เลือกมาศึกษา ตัวแปรที่ศึกษาคือ อุณหภูมิ อัตราส่วน ความชื้น และอัตราการไหลของอากาศ ทำการทดลองเพื่อหาอัตราการดูดซับ และความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้น โดยการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการของพื้นที่การตอบสนอง (Response Surface Methodology) เพื่อให้ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากการทดลอง และกราฟพื้นผิวตอบสนอง ในการวิเคราะห์ผลของตัวแปรที่ศึกษา

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาการลดความชื้นแบบใช้สารดูดซับ

1.2.2 เพื่อศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่ออัตราการดูดซับความชื้นของสารดูดซับซิลิกาเจล และโมเลกุลลาร์ซีฟ

1.2.3 เพื่อศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อความดันตกคร่อมของสารดูดซับซิลิกาเจล และโมเลกุลลาร์ซีฟ

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 สารดูดซับความชื้นซิลิกาเจล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร จำนวน 500 กรัม

1.3.2 สารดูดซับความชื้นโมเลกุลลาร์ซีฟ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร จำนวน 500 กรัม

1.3.3 ช่วงอุณหภูมิทดลองที่ 25 ถึง 40 องศาเซลเซียส

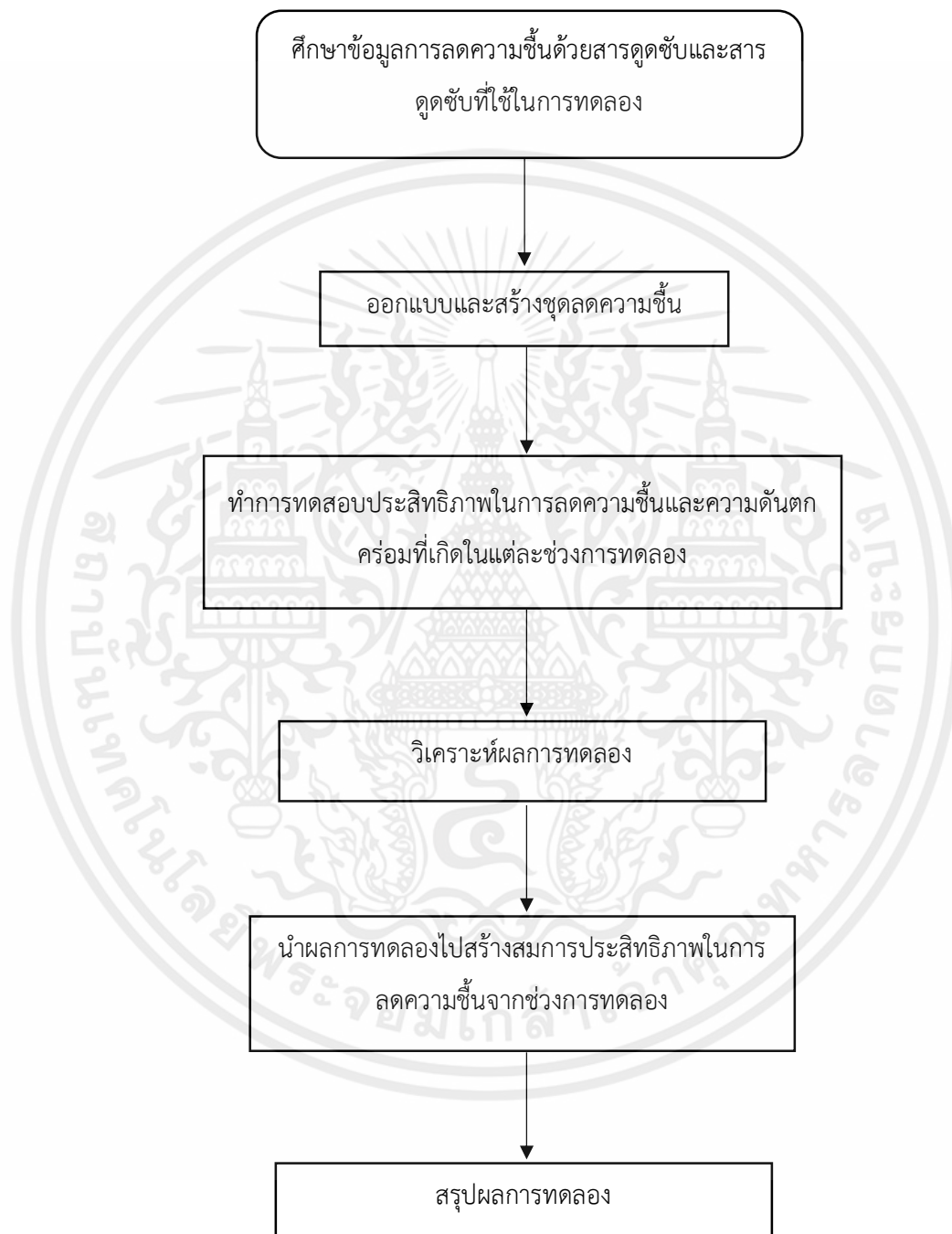
1.3.4 ช่วงความชื้นจำเพาะที่ 10 ถึง 20 กรัมอากาศเปียก ต่อ กิโลกรัมอากาศแห้ง

1.3.5 ช่วงอัตราการไหลของอากาศที่ 60 ถึง 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถนำข้อมูลและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากผลทดลองไปใช้ในการออกแบบชุดลดความชื้นด้วยสารดูดซับ

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 1.1 แผนผังการดำเนินงานของการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะของชุดลดความชันแบบใช้สารดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 สถานที่ดำเนินงาน

อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเกษตร และอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

1.7 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานการออกแบบและสร้างชุดลดความชื้น

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินงาน									
	2564					2565				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1.ศึกษาและรวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้อง	→									
2.ออกแบบและสร้างชุดทดลอง						→				
3.ทดสอบและรวบรวมข้อมูล						→				
4.วิเคราะห์และสรุปผล						→				
5.ทำเล่มปริญญานิพนธ์						→				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

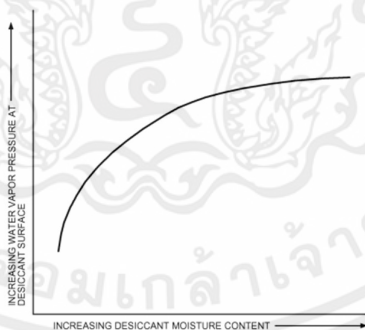
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทที่ 2 นี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย และพื้นฐานของระบบการดูดซับความชื้นแบบใช้สารดูดซับ ซึ่งเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึง ระบบลดความชื้นด้วยสารดูดซับแบบเบด คุณสมบัติของการดูดซับของซิลิกาเจลและโมเลกุลสาร์ซีฟ และวิธีการออกแบบการทดลองแบบวิธีการของพื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology)

2.1 กระบวนการลดความชื้นโดยใช้สารดูดซับความชื้น [6]

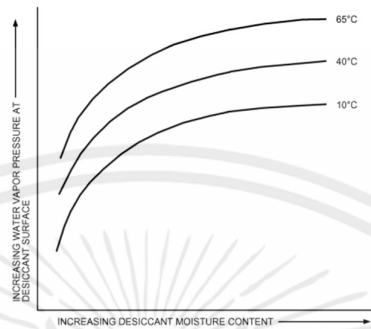
ในทางปฏิบัติสารดูดซับความชื้นจะทำงานในลักษณะเดียวกัน โดยจะมีหลักการทำงาน คือ การถ่ายเทความชื้นที่เกิดจากความแตกต่างระหว่างแรงดันไอน้ำที่พื้นผิวของสารดูดซับและของอากาศโดยรอบ เมื่อความดันไอน้ำที่พื้นผิวของสารดูดซับความชื้นต่ำกว่าความดันของอากาศ สารดูดซับความชื้นจะดูดความชื้นจากอากาศ ในทางตรงกันข้ามเมื่อความดันไอน้ำของพื้นผิวสารดูดซับความชื้นสูงกว่าอากาศโดยรอบ สารดูดซับความชื้นก็จะคายความชื้นออก



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของความดันไอน้ำที่พื้นผิวต่อความชื้นปริมาณความชื้นของสารดูดซับ

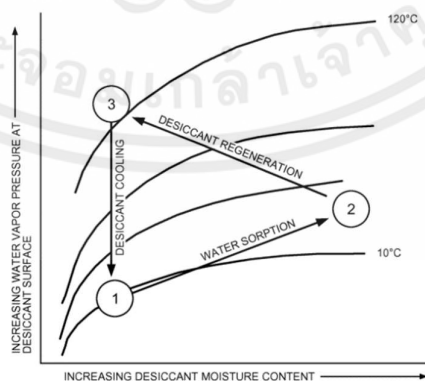
จากรูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้นและความดันไอน้ำที่พื้นผิวของสารดูดซับความชื้น เมื่อความชื้นของสารดูดซับความชื้นเพิ่มขึ้น ความดันไอน้ำก็จะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ในบางจุดแสดงให้เห็นความดันไอน้ำของพื้นผิวสารดูดซับความชื้นจะเท่ากับความดันของอากาศซึ่งอยู่ในสภาวะ

สมดุล จากนั้นความชื้นจะไม่สามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งได้จนกว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของความดันไอที่สารดูดซับความชื้นหรือในอากาศ



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของความดันไอน้ำที่พื้นผิวต่อความชื้นปริมาณความชื้นและอุณหภูมิของดูดซับ

รูปที่ 2.2 แสดงผลของอุณหภูมิต่อความดันไอน้ำที่พื้นผิวสารดูดซับความชื้น จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นและความชื้นที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความดันไอน้ำที่พื้นผิวของสารดูดซับเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อความดันไอน้ำที่พื้นผิวของสารดูดซับสูงกว่าอากาศโดยรอบ ความชื้นจะออกจากสารดูดซับ หลังจากสารดูดความชื้นคายความชื้นออกด้วยความร้อน ความดันไอของสารดูดความชื้นจะยังคงสูง จึงมีความสามารถในการดูดซับความชื้นที่น้อยมาก ดังนั้นก่อนการนำสารดูดซับความชื้นมาใช้ใหม่ต้องลดความดันไอน้ำของพื้นผิว โดยการทำให้สารดูดซับความชื้นเย็นตัวลงก่อน จึงจะสามารถใช้งานสารดูดซับความชื้นได้เต็มประสิทธิภาพ วัฏจักรการทำงานของสารดูดซับความชื้นแสดงได้ในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 วัฏจักรการทำงานของสารดูดความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สารดูดซับ [7]

เพื่อให้สามารถดูดซับความชื้นได้ในปริมาณมาก สารดูดซับที่นำมาใช้จำเป็นต้องมีพื้นที่ผิวจำเพาะที่สูง กล่าวคือต้องเป็นวัสดุที่มีความพรุนสูง และประกอบด้วยรูพรุนขนาดเล็กเป็นจำนวนมาก ความสามารถในการดูดซับของสารนอกจากจะขึ้นกับโครงสร้างของรูพรุนก็จะขึ้นอยู่กับขนาด และการกระจายขนาดของรูพรุนแล้ว ยังขึ้นกับเคมีพื้นผิวของสารดูดซับอีกด้วย ซึ่งรวมถึงสมบัติความเป็นขี้ว และหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ (Surface functionality) ที่ปรากฏบนพื้นผิว สารดูดซับที่ใช้ประโยชน์ในงานด้านต่างๆ

2.2.1 ซิลิกาเจล เป็นสารดูดความชื้นที่นิยมใช้กันมากที่สุดเนื่องจากสามารถดูดซับน้ำได้มาก โดยจะมีความสามารถในการดูดซับประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีพื้นที่ผิวสัมผัส 750 ถึง 850 ตารางเมตรต่อกรัม ซิลิกาเจลเป็นตัวดูดซับที่เหมาะสมสำหรับน้ำ แอลกอฮอล์ ฟีนอล เอมีน และอื่น ๆ ซึ่งทำได้โดยผ่านพันธะไฮโดรเจน ความสามารถในการดูดซับของซิลิกาเจลที่อุณหภูมิต่ำกว่าสูงกว่าของอลูมินา และซีโอไลต์ แต่ถ้าความชื้นต่ำความสามารถในการดูดซับจะน้อยกว่าซีโอไลต์ สามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้ง่ายโดยวิธีให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส คุณลักษณะที่สำคัญที่ถูกลำไ้ไปใช้งานมากที่สุดคือความสามารถในการดูดความชื้น เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำ ซึ่งซิลิกาเจลมีค่าที่ต่ำทำให้สามารถไล่น้ำออกจากโครงสร้าง และนำกลับมาใช้ใหม่ได้ค่อนข้างง่าย และยังมีขนาดรูพรุนเฉลี่ยใหญ่กว่า 20 อังสตรอม



รูปที่ 2.4 สารดูดความชื้นซิลิกาเจล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 โมเลกุลาร์ซีฟ หรือ ซีโอไลต์สังเคราะห์ คือ ผลึกอลูมิโนซิลิเกต ผลิตขึ้นจากกระบวนการทางความร้อน และมีการผสมส่วนประกอบจากวัสดุอื่น ๆ ที่ช่วยเพิ่มโครงสร้าง และคุณสมบัติของพื้นผิวของสารดูดซับความชื้น ทำให้มีคุณสมบัติในการลดความชื้นมากกว่าซีโอไลต์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ สามารถนำมาใช้ดูดซับความชื้นได้ดีในสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำ และอุณหภูมิสูง มีความสามารถในการดูดซับประมาณ 22 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีพื้นที่ผิวสัมผัส 700 ถึง 800 ตารางเมตรต่อกรัม



รูปที่ 2.5 สารดูดความชื้นโมเลกุลาร์ซีฟ

2.3 ระบบลดความชื้นด้วยสารดูดซับแบบเบต [8]

ระบบลดความชื้นแบบเบตมีลักษณะเป็นทรงกระบอกแนวตั้งภายในกระบอกจะบรรจุสารดูดซับจนเต็มกระบอก สามารถผลิตได้ง่าย เป็นระบบที่มีการออกแบบและมีการนำไปใช้งานมาอย่างยาวนาน จึงเป็นระบบที่มีความน่าสนใจสำหรับกระบวนการดูดซับ ความชื้นจะถูกดูดซับในบริเวณต้นทางเข้าของกระบอกก่อน อากาศที่ผ่านการลดความชื้นจากต้นกระบอกแล้วจะไหลผ่านสารดูดซับที่เหลือในกระบอก ส่งผลให้สารดูดซับที่อยู่ใกล้ทางเข้าของอากาศชื้นจะอิ่มตัวก่อน และจะค่อย ๆ อิ่มตัวเข้าสู่ด้านในจนสารดูดซับอิ่มตัวทั้งหมด ระบบลดความชื้นด้วยสารดูดซับแบบเบตมีสามารถลดความชื้นได้มาก แต่ต้องใช้กระบอกบรรจุสารขนาดใหญ่ในการใส่สารดูดซับจำนวนมากเพื่อให้สามารถใช้งานได้นาน ส่งผลให้เกิดแรงดันตกคร่อมสูง ทำให้ต้องมีการออกแบบระบบให้มีความเหมาะสมที่สุดต่อการใช้งาน

2.4 ความดันตกคร่อม [9]

ระบบลดความชื้นด้วยสารดูดซับแบบเบด สารดูดซับความชื้นที่บรรจุในกระบอกใส่สารจะเต็มกระบอก เมื่อกระแสอากาศไหลผ่านสารดูดซับจะทำให้เกิดการไหลวนของกระแสอากาศเนื่องจากกระแสอากาศไม่สามารถไหลผ่านสารดูดซับได้อย่างเต็มที่ ทำให้เกิดความต้านทานของของไหลในบริเวณกระบอกใส่สารดูดซับเรียกว่าความดันตกคร่อม ปัจจัยที่มีผลต่อความดันตกคร่อม คือ ความยาวของกระบอกใส่สารดูดซับ ขนาดของสารดูดซับ ความพรุนภายในของสารดูดซับ ความหนืดของอากาศ และความเร็วในการไหลของอากาศ

2.5 อัตราการดูดซับความชื้น [10]

อัตราการดูดซับความชื้น คือ มวลของไอน้ำของอากาศที่ผ่านการดูดซับจากสารดูดซับต่อหนึ่งหน่วยเวลา คำนวณได้จากการนำค่าของมวลไอน้ำของอากาศก่อนผ่านการดูดซับลบกับมวลของไอน้ำของอากาศหลังผ่านการดูดซับต่อหน่วยเวลาที่ใช้ในการทดลอง โดยทั่วไปอัตราการดูดซับของสารดูดซับจะสูงในช่วงแรก ๆ ของกระบวนการดูดซับ เมื่อสารดูดซับมีค่าการดูดซับจนถึงค่าสูงสุดแล้ว อัตราการดูดซับก็จะลดลงเรื่อย ๆ จนสารดูดซับอิ่มตัว ซึ่งสังเกตได้จากมวลไอน้ำของอากาศก่อนผ่านสารดูดซับจะเท่ากับมวลไอน้ำของอากาศหลังจากผ่านสารดูดซับ อัตราการดูดซับความชื้นสามารถหาได้จากสมการ 2.1

$$\text{Adsorption rate} = (W_{in} - W_{out}) \times M \quad (2.1)$$

โดยที่ Adsorption rate = อัตราการดูดซับความชื้น หน่วย กรัมต่อชั่วโมง

W_{in} = อัตราส่วนความชื้นก่อนทำการดูดซับ หน่วย กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง

W_{out} = อัตราส่วนความชื้นหลังจากการดูดซับ หน่วย กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง

M = อัตราการไหลของอากาศ หน่วย กิโลกรัมต่อชั่วโมง

2.6 ความร้อนของการดูดซับ [6]

ในกระบวนการดูดซับความชื้นของสารดูดซับทางกายภาพสารดูดซับจะมีความร้อนเกิดขึ้น การคายความร้อนจากการดูดซับทำให้สารดูดซับมีอุณหภูมิสูงขึ้น ในระบบลดความชื้นแบบใช้สารดูดซับที่เป็นของแข็ง ความร้อนของการดูดซับจะเพิ่มอุณหภูมิของอากาศที่ผ่านการดูดซับความชื้นซึ่งเป็นการลดความสามารถในการดูดซับ ความร้อนที่เกิดขึ้นจากสารดูดซับเรียกว่าความร้อนสัมผัสซึ่งจะเท่ากับความร้อนแฝงจากไอน้ำรวมกับความร้อนที่เกิดขึ้นจากการดูดซับซึ่งแปรผัน 5 ถึง 25 เปอร์เซ็นต์ ของความร้อนแฝงจากไอน้ำ

2.7 อัตราการไหลของอากาศ

ในการกำหนดปริมาณของอากาศที่ใช้ในการดูดซับความชื้น จะกำหนดเป็นอัตราการไหลของอากาศเป็นอัตราไหลเชิงมวล ซึ่งเป็นมวลของอากาศที่ไหลผ่านช่องทางการไหลในหนึ่งหน่วยเวลา สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$M = \rho \times v \times A \quad (2.2)$$

โดยที่ M = อัตรามวลไหลของอากาศ หน่วย กิโลกรัมต่อวินาที
 ρ = ความหนาแน่นของอากาศ กำหนดให้เป็นค่าคงที่ 1.2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร
 V = ความเร็วในการไหลของอากาศ หน่วย เมตรต่อวินาที
 A = พื้นที่หน้าตัดของท่อ หน่วย ลูกบาศก์เมตร

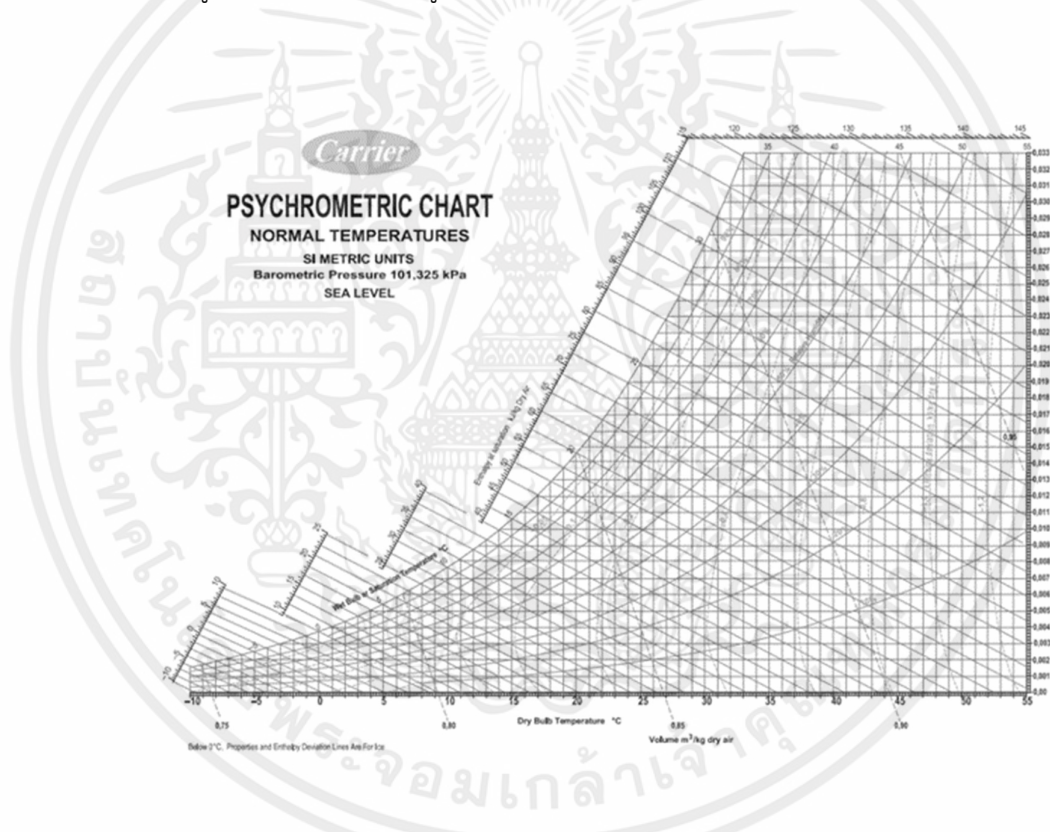
2.8 อัตราส่วนความชื้น

อัตราส่วนความชื้นคือมวลของไอน้ำต่อหน่วยมวลของอากาศแห้งหรือน้ำหนักของไอน้ำที่อยู่ในอากาศชื้นต่อน้ำหนักหนึ่งหน่วยของอากาศแห้งหน่วยของอัตราส่วนความชื้น คือ กิโลกรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง การใช้ฐานหนึ่งกิโลกรัมของอากาศแห้ง เนื่องจากเป็นค่าคงที่ไม่ว่าสถานะจะเปลี่ยนไปอย่างไรทำให้ง่ายต่อการคำนวณ

2.8.1 ความชื้นสัมพัทธ์ หมายถึง อัตราส่วนของปริมาณไอน้ำที่มีในอากาศ ณ ขณะนั้น เทียบกับปริมาณไอน้ำที่อากาศจะรองรับได้ หากระดับไอน้ำ ณ ขณะนั้นมากเกินไป (> 100 เปอร์เซ็นต์) ความสามารถของอากาศ จะรองรับได้ ไอน้ำจะควบแน่น (Condensation) และกลายเป็นหยดน้ำในที่สุด แรงดันไอน้ำ และความสามารถในการรองรับปริมาณไอน้ำ ณ อุณหภูมิที่สูงกว่า จะมีมากกว่าแรงดันไอน้ำ และ ความสามารถในการรองรับปริมาณไอน้ำ ณ อุณหภูมิที่ต่ำกว่า

โดยเหตุนี้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะมีผลโดยตรงต่อแรงดันไอน้ำ และความสามารถดังกล่าว ระดับอุณหภูมิที่ทำให้ไอน้ำเกิดการอิ่มตัว (Saturation) และควบแน่น เรียกว่า จุดน้ำค้าง (Dew Point)

2.8.2 แผนภูมิไซโครเมตริก คือ กราฟที่แสดงค่าของอุณหภูมิในสภาวะปกติ เพื่อทำการคำนวณค่าเกี่ยวกับอุณหภูมิ เช่น ระบบการควบคุมอุณหภูมิหรือการควบคุมความชื้นเป็นต้น ซึ่งแผนภูมิไซโครเมตริกได้มีการสร้างขึ้นโดยหลายหน่วยงาน แต่ที่นิยมใช้คือ แผนภูมิของ The American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineering หรือ ASHRAE และแผนภูมิของแครร์เรีย (Carrier) ซึ่งในแผนภูมิอาจจะมีรายละเอียดปลีกย่อยแตกต่างกัน ในการทดลองผู้จัดทำได้เลือกใช้แผนภูมิของแครร์เรีย



รูปที่ 2.6 แผนภูมิไซโครเมตริก

2.9 วิธีนำสารดูดซับกลับมาใช้ใหม่ [7]

2.9.1 ระบบดูดซับแบบแปรอุณหภูมิ ในระบบนี้เป็นการนำสารดูดซับที่อิ่มตัวแล้วกลับมาใช้ใหม่ จะทำโดยการให้ความร้อนกับระบบดูดซับ เพื่อไล่ความชื้นให้ไหลปนออกมาที่ตัวกลางให้ความ

ร้อน วิธีการนี้ใช้ได้กับระบบดูดซับที่ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับอยู่ในระดับต่ำ เนื่องจากการให้ความร้อนจะช่วยให้การไล่สารในปริมาณน้อยเกิดได้อย่างรวดเร็ว

2.9.2 ระบบดูดซับแบบสลับความดัน ระบบนี้จะใช้วิธีลดความดันของระบบเพื่อไล่ความชื้นออกจากสารดูดซับที่ใช้งานจนอิ่มตัวแล้ว เป็นวิธีที่สามารถใช้ระบบดูดซับที่มีอัตราไหลสูงได้ดี เนื่องจากมีความรวดเร็ว และคล่องตัวของวงจรการทำงาน ซึ่งประกอบด้วยวงจรการดูดซับ และวงจรการนำความชื้นออกจากสารดูดซับ ซึ่งทำงานสลับกัน

2.10 วิธีการออกแบบการทดลองแบบวิธีการของพื้นผิวการตอบสนอง

วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology) พัฒนาโดย Box และ Wilson ในต้นปี 1950 เป็นวิธีที่รวบรวมเทคนิคทางสถิติและคณิตศาสตร์ที่เป็นประโยชน์ในการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ปัญหา กล่าวอีกนัยหนึ่งวิธีการพื้นผิวตอบสนองเป็นเทคนิคในการกำหนด และแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุ ของผลกระทบระหว่างการตอบสนองที่แท้จริง และตัวแปรที่กำหนดที่มีผลต่อการตอบสนองเป็นพื้นผิวตอบสนอง 2 หรือ 3 มิติ วัตถุประสงค์หลักของวิธีการพื้นผิวตอบสนองคือการตรวจสอบผลของตัวแปรอิสระ วิธีประมาณค่าของตัวแปรอิสระ (x_1, x_2, \dots, x_k) ที่ให้ผลดีที่สุด (y) เมื่อทำการตรวจสอบผลการตอบสนอง y ที่ขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระ จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.3

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k) + e \quad (2.3)$$

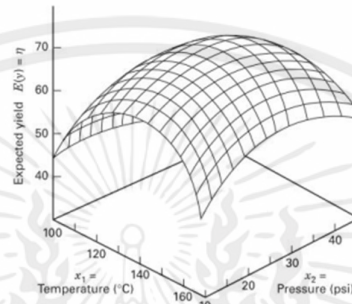
โดยที่ e คือค่าความผิดพลาดของตัวแปรอิสระที่มีผลตอบสนองต่อ y กำหนดให้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และความแปรปรวน σ^2 จะได้

$$E(y) = E[f(x_1, x_2, \dots, x_k)] + e = f(x_1, x_2, \dots, x_k) \quad (2.4)$$

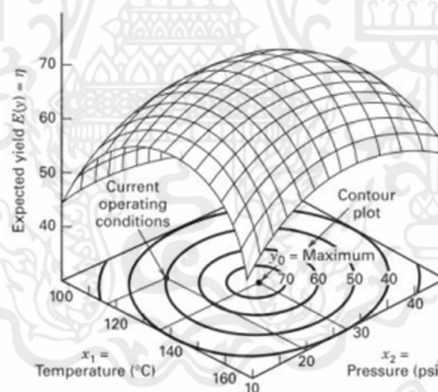
ดังนั้นจะสามารถเขียนสมการพื้นผิวตอบสนองได้ดังนี้

$$\eta = f(x_1, x_2, \dots, x_k) \quad (2.5)$$

พื้นผิวตอบสนองจะแสดงในรูปแบบกราฟ 3 มิติ ที่แสดงในรูปที่ 2.7 โดยที่ผลการทดลอง η จะเทียบกับตัวแปร x_1 และ x_2 เพื่อช่วยให้เห็นรูปร่างของพื้นผิวตอบสนอง โครงร่างของพื้นผิวตอบสนองในรูปที่ 2.8 เส้นความชันของการตอบสนองคงที่จะอยู่ในแกนของตัวแปร x_1 และ x_2 รูปร่างแต่ละส่วนจะสอดคล้องกับความสูงเฉพาะของพื้นผิวการตอบสนอง



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างกราฟพื้นผิวตอบสนอง



รูปที่ 2.8 โครงร่างของพื้นผิวตอบสนอง

ปัญหาส่วนใหญ่ของวิธีการตอบสนองพื้นผิวคือไม่ทราบรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองและตัวแปรอิสระ ในขั้นตอนแรกของวิธีการตอบสนองพื้นผิวคือการหาค่าประมาณที่เหมาะสมของความสัมพันธ์เชิงฟังก์ชันที่แท้จริงระหว่างผลตอบสนอง y และตัวแปรต่าง ๆ จะได้ฟังก์ชันที่ใช้เป็นแบบจำลองกำลังหนึ่ง ดังสมการที่ 2.6

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + e \quad (2.6)$$

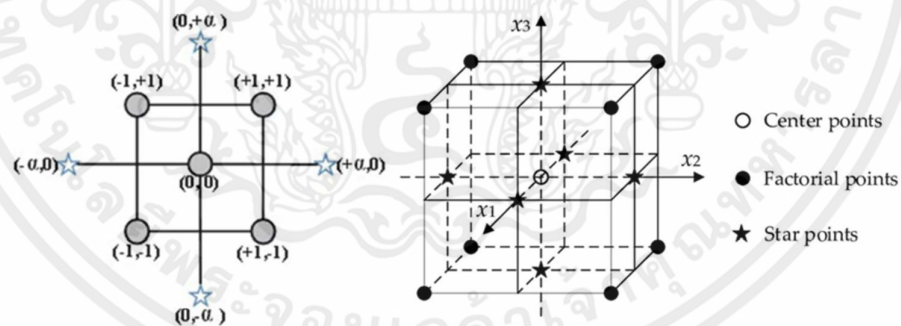
หากมีความโค้งเกิดขึ้นในระบบต้องใช้ฟังก์ชันพหุนามที่มีกำลังสูงกว่าหนึ่ง ดังสมการ 2.7

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + e \quad (2.7)$$

2.10.1 การออกแบบส่วนประสมกลาง (Central composite designs ; CCD) เป็นการออกแบบการทดลองโดยวิธีพื้นผิวตอบสนองที่นิยมใช้ที่สุด [17] โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางใช้สำหรับการศึกษาตัวแปรที่อาจมีความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้ง แต่มีจำนวนการทดลองที่ไม่มากนัก โดยจำนวนการทดลองจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่กำหนดสามารถคำนวณการทดลองได้จาก สมการที่ 2.8

$$\text{จำนวนการทดลอง} = 2^k + 2k + \text{ค่าที่ต้องการทำซ้ำ} \quad (2.8)$$

โดยที่ k คือ จำนวนของตัวแปรที่ต้องการศึกษา
ค่าที่ต้องการทำซ้ำ คือ 4 ครั้ง



รูปที่ 2.9 แสดงการออกแบบการทดลองแบบ CCD สำหรับ 2 ปัจจัย และ 3 ปัจจัย

จากรูปที่ 2.9 แสดงการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางโดยที่ α คือค่าที่มากกว่าขอบเขตคำนวณได้จาก สมการที่ 2.9

$$\alpha = \sqrt[4]{2^k} \quad (2.9)$$

โดยที่ k = จำนวนของตัวแปรที่ต้องการศึกษา

2.11 บทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

M.M. Awad และคณะ [11] ศึกษาการตรวจสอบทางทฤษฎีและการทดลองเกี่ยวกับการไหลในแนวรัศมี โดยชุดลดความชื้นแบบเบตโดยใช้อนุภาคทรงกลมของซิลิกาเจลที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 3 มิลลิเมตร เป็นสารดูดความชื้นในการทำงานของเครื่องลดความชื้น ทฤษฎีของการศึกษานี้ได้มีการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับข้อมูลการทดลอง ผลการวิจัยพบว่าเพื่อการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพของชุดลดความชื้นแบบเบตบรรจุทรงกระบอกกลางระยะเวลาลดความชื้นถูกกำหนดไว้ที่ 15 นาที สำหรับอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.2 มิลลิเมตร ระยะเวลาลดความชื้นจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการไหลของอากาศและอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกใส่สารที่ลดลง การเพิ่มขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางจะเพิ่มแรงดันตกคร่อมภายในกระบอกใส่สารและเพิ่มความสามารถในการดูดซับแบบเบตสำหรับการใช้งานในระยะเวลาที่สั้น การวิเคราะห์นี้ช่วยในการระบุและหาปริมาณการสูญเสียพลังงานในระบบเป่าลม และความสามารถในการดูดซับความชื้นของระบบลดความชื้นแบบเบต

M. Fatouh และคณะ [12] ศึกษาประสิทธิภาพการทดลองของระบบปรับอากาศไฮบริดที่ใช้สารดูดความชื้นที่เป็นของแข็งแบบเบต ซึ่งรวมเข้ากับระบบทำความเย็นแบบอัดไอแบบธรรมดา R407C ทำการทดลองการลดความชื้นของการทำงานต่าง ๆ เช่น มวลสารดูดความชื้นบนชั้นวาง 5 10 และ 15 กิโลกรัม อัตราการไหลของมวลอากาศ 7.4 และ 10.2 กิโลกรัมต่อวินาที และช่วงชั้นวางสามค่า 7 14 และ 28 เซนติเมตร ที่เงื่อนไขช่วงอากาศเข้า 28 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 66 เปอร์เซ็นต์ อัตราการไหลของปริมาตรอากาศเข้าของเครื่องควบแน่น 850 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จากการศึกษาพบว่าค่าประสิทธิภาพของระบบโดยเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้น 6.2 เปอร์เซ็นต์ และ 1.61 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมวลสารดูดความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 5 เป็น 10 กิโลกรัม และจาก 10 เป็น 15 กิโลกรัม ตามลำดับ การเพิ่มประสิทธิภาพของการทำงานคือ 6.2 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการเพิ่มอัตราการไหลของมวลอากาศจาก 7.4 เป็น 10.2 กิโลกรัมต่อวินาที การเพิ่มทั้งจำนวนชั้นวาง และช่วงระยะเวลาทำให้อัตราการดูดซับลดลง อัตราการไหลของอากาศมีผลอย่างมาก

ต่อกระบวนการดูดซับ ด้วยการเพิ่มอัตราการไหลของมวลของอากาศจาก 7.4 เป็น 10.2 กิโลกรัมต่อนาทีทำให้เวลาลดลง 87.5 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มอัตราการดูดซับ 16 เปอร์เซ็นต์ หลังจาก 10 นาที

A.E. Kabeel [9] ศึกษาการออกแบบการดูดซับของซิลิกาเจลที่มีผลต่อประสิทธิภาพของแบบหลายชั้น การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของชั้นต่าง ๆ ของเบตโดยใช้ซิลิกาเจลเป็นสารดูดความชื้น ทดสอบกระบวนการดูดซับสำหรับเบตหลายชั้นในสภาวะต่าง ๆ คือ อัตราการไหล และความชื้นจำเพาะ เป็นค่าการทดลองที่ใช้ในการศึกษานี้ ผลการวิจัยพบว่าอัตราการคายน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิขาเข้า ถึงค่าสูงสุดหลังจาก 1 ชั่วโมง ที่อัตราการไหล 3.9 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และ 60 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ ผลการวิจัยยังแสดงให้เห็นว่าน้ำที่ดูดซับสะสมขึ้นอยู่ด้วยความเร็วลมเข้า และความชื้นเป็นหลัก ผลการทดลองแสดงให้เห็นด้วยว่าความแตกต่างของความชื้นระหว่างอากาศแวดล้อม และอากาศที่ออกจากแต่ละชั้นลดลงจากชั้นแรกถึงชั้นสุดท้ายขึ้นอยู่กับการสภาพอากาศสำหรับแต่ละชั้นเบตที่อัดแน่น จากผลการทดลอง สามารถแนะนำหาความยาวที่เหมาะสมของเบตได้ตามเวลาใช้งานและแรงดันตกคร่อมที่เกิดในกระบวนการสามารถนำไปคำนวณหาค่ากำลังของพัดลมเป่าอากาศให้เพียงพอกับการใช้งานได้

A. Ramzy [13] ศึกษาการหาประสิทธิภาพของระบบลดความชื้นแบบเบตที่มีการกระจายขนาดอนุภาคที่แตกต่างกันไปตามกระบอกบรรจุการเคลื่อนที่ของมวลในกระบอกบรรจุสารดูดความชื้นที่มีการกระจายขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคที่แตกต่างกันออกไปตามแนวแกน ผลลัพธ์ของข้อมูลการทดลองมีข้อผิดพลาด 2 ถึง 3 เปอร์เซ็นต์ สำหรับอัตราส่วนอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ นอกจากนี้แรงดันตกคร่อมของเบตยังคำนวณโดยใช้สมการของ Ergun สำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคและความเร็วของการไหลของอากาศที่แตกต่างกัน เส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคต่อประสิทธิภาพของเบต (ความสามารถในการดูดซับ และแรงดันตกคร่อม) จากการทดสอบพบว่าการใช้เส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคสารดูดความชื้นที่มีขนาดเล็กจะเพิ่มความสามารถในการดูดซับ โดยมวลน้ำที่ดูดซับทั้งหมดเพิ่มขึ้นจาก 125 กรัม เป็น 245 กรัม เมื่อมวลที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ถูกแทนที่ด้วยมวลที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นที่สำคัญคือที่ความเร็วการไหลของอากาศที่น้อยกว่า 0.25 เมตรต่อวินาที

V Sureshkannan และคณะ [14] ได้ทำการศึกษาโดยมุ่งเน้นไปที่การเพิ่มประสิทธิภาพของพารามิเตอร์ของระบบดูดซับความชื้นในอากาศแบบเบตด้วยแรงดันด้วยวิธี Taguchi และวิธีเชิงพันธุกรรม ผลของพารามิเตอร์ในการทำงาน ได้แก่ ความดันอากาศป้อนสัมบูรณ์ ความเร็วเชิงเส้นของอากาศป้อนและเปอร์เซ็นต์อัตราการไหลของอากาศต่ออัตราการดูดซับของสารดูดซับความชื้นโมเลกุลลาร์ซีฟ ชนิด 13 X จากการศึกษาพบว่า ความดันอากาศป้อนสัมบูรณ์ และอัตราการไหลของอากาศเป็นปัจจัยที่ทำให้อัตราการดูดซับดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

Ali Alahmer และคณะ [15] ได้ทำการศึกษาผลของพารามิเตอร์ต่อความสามารถในการลดความชื้นในระบบทำความเย็นแบบใช้สารดูดซับความชื้น ทำการศึกษาผลของอัตราส่วนความชื้นที่ทางเข้าของกระบวนการ อัตราการไหลของปริมาตรอากาศ โดยใช้สารดูดซับความชื้นซิลิกาเจล และโมเลกุลาร์ซีฟ ผลของการศึกษาพบว่า การเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของปริมาตรทางเข้าของกระบวนการจะทำให้ความชื้นถูกดูดซับมากขึ้น ผลของอัตราส่วนความชื้นพบว่าควรใช้ซิลิกาเจล เมื่อต้องการลดความชื้นในสภาวะที่อากาศทางเข้ากระบวนการมีความชื้นสัมพัทธ์สูง และโมเลกุลาร์ซีฟ จะทำงานได้ดีเมื่อต้องการลดความชื้นในสภาวะอากาศทางเข้าที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ

Boutheina Zallama และคณะ [16] ได้ทำการวิเคราะห์เชิงทดลองเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของเบตดูดความชื้นแบบใหม่ โดยใช้ซิลิกาเจลที่เสริมประสิทธิภาพด้วยวัสดุเปลี่ยนเฟส เป็นสารดูดความชื้น และใช้สภาพอากาศที่แปรผันได้ ทำการทดสอบเพื่อประเมินผลกระทบของเบตใหม่ต่อความสามารถในการลดความชื้น โดยการประเมินการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความชื้นสัมบูรณ์ที่ผ่านการดูดซับ อากาศที่ทางเข้าเบตดูดความชื้นสามารถปรับอัตราการไหล อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ได้จากชุดทดลอง

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

ในบทที่ 3 นี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงาน ซึ่งเนื้อหาจะประกอบไปด้วยการออกแบบการทดลอง อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง การเตรียมสารดูดซับ และวิธีการทดลอง

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1 ซิลิกาเจล เป็นสารดูดซับทางพาณิชย์ที่มีคุณสมบัติในการดูดซับความชื้นที่สูง สามารถดูดซับความชื้นได้ประมาณ 40% ต่อน้ำหนักตัว



รูปที่ 3.1 ซิลิกาเจล

3.1.2 โมเลกุลาร์ซีฟ เป็นสารดูดซับทางพาณิชย์ที่มีคุณสมบัติในการดูดซับความชื้นที่สูง สามารถดูดซับความชื้นได้ประมาณ 22 เปอร์เซ็นต์ ต่อน้ำหนักตัว



รูปที่ 3.2 โมเลกุลาร์ซีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3.1.3 พัดลมเป่าอากาศ พัดลมเป่าอากาศแรงดันสูง รุ่น JQT750 220 V ขนาด 1 HP
ผลิตในประเทศจีน**



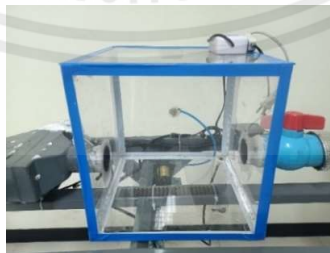
รูปที่ 3.3 พัดลมเป่าอากาศ

3.1.4 บอลวาล์ว ใช้สำหรับช่วยปรับอัตราการไหลของอากาศ



รูปที่ 3.4 บอลวาล์ว

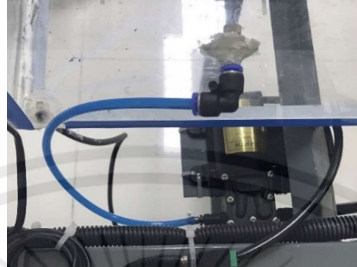
3.1.5 ถังอะคริลิก ใช้เป็นถังสำหรับเพิ่มความชื้นในอากาศ



รูปที่ 3.5 ถังทำความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.6 ชุดพ่นละอองน้ำ ใช้สำหรับพ่นละอองน้ำในการทำความชื้นประกอบด้วยหัวพ่นละอองน้ำ และปั๊มดูดน้ำ ยี่ห้อ EARTH รุ่น 2203-2 ผลิตในประเทศไทย



รูปที่ 3.6 ชุดพ่นละอองน้ำ

3.1.7 เครื่องควบคุมความชื้น ใช้สำหรับควบคุมความชื้นในกล่องทำความ มีค่าความแม่นยำอยู่ที่ 0.1% RH ยี่ห้อ XK รุ่น W2008 ผลิตในประเทศไทย



รูปที่ 3.7 เครื่องควบคุมความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.8 ชุดเพิ่มอุณหภูมิอากาศ ใช้สำหรับเพิ่มอุณหภูมิของอากาศที่ใช้ทดลองประกอบด้วย
 กล่องใส่ชุดลวดทำความร้อน และชุดลวดทำความร้อนแบบรังผึ้ง ขนาด 17 x 7.8 เซนติเมตร
 แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ กำลังไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์



รูปที่ 3.8 ชุดเพิ่มอุณหภูมิอากาศ a) กล่องใส่ชุดลวดทำความร้อนแบบรังผึ้ง b) ชุดลวดทำความร้อนแบบรังผึ้ง

3.1.9 ท่อบรรจุสาร ใช้สำหรับบรรจุสารดูดซับความชื้น



รูปที่ 3.9 ท่อบรรจุสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.10 ฉนวนกันความร้อน ใช้สำหรับรักษาอุณหภูมิ



รูปที่ 3.10 ฉนวนกันความร้อน(โพลีเอทิลีน)

3.1.11 กรวย ใช้สำหรับลำเลียงสารดูดซับเข้ากระบอกใส่สาร



รูปที่ 3.11 กรวยใส่สาร

3.1.12 โหลแก้ว ใช้สำหรับเก็บสารดูดซับที่ผ่านการอบไล่ความชื้นแล้ว



รูปที่ 3.12 โหลแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.13 ถาดสแตนเลส ใช้สำหรับใส่สารในการอบไล่ความชื้นโดยตู้อบความชื้น



รูปที่ 3.13 ถาดสแตนเลส

3.1.14 ตู้อบลมร้อน ใช้สำหรับการอบไล่ความชื้นในสารดูดซับ ยี่ห้อ MEMMERT รุ่น UN55 ผลิตในประเทศเยอรมันนี



รูปที่ 3.14 ตู้อบแบบอากาศหมุนเวียน

3.1.15 เครื่องชั่งดิจิตอลสองตำแหน่ง ใช้สำหรับชั่งน้ำหนักสารดูดซับ ยี่ห้อ OHAUS



รูปที่ 3.15 เครื่องชั่งดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.16 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้น มีช่วงวัดอุณหภูมิอยู่ที่ $-10\text{ }^{\circ}\text{C} - 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$) ช่วงวัดความชื้นอยู่ที่ $0-100\%RH$ ($\pm 0.1\%RH$) ยี่ห้อ UNI-T รุ่น UT333S ผลิตในประเทศจีน



รูปที่ 3.16 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น

3.1.17 เครื่องวัดความเร็วลม ใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของอากาศ ช่วงวัดความเร็วลมอยู่ที่ $0-30\text{ m/s}$ ($\pm 1.5\text{ m/s}$) ยี่ห้อ UNI-T รุ่น UT363 ผลิตในประเทศจีน



รูปที่ 3.17 เครื่องวัดความเร็วลม

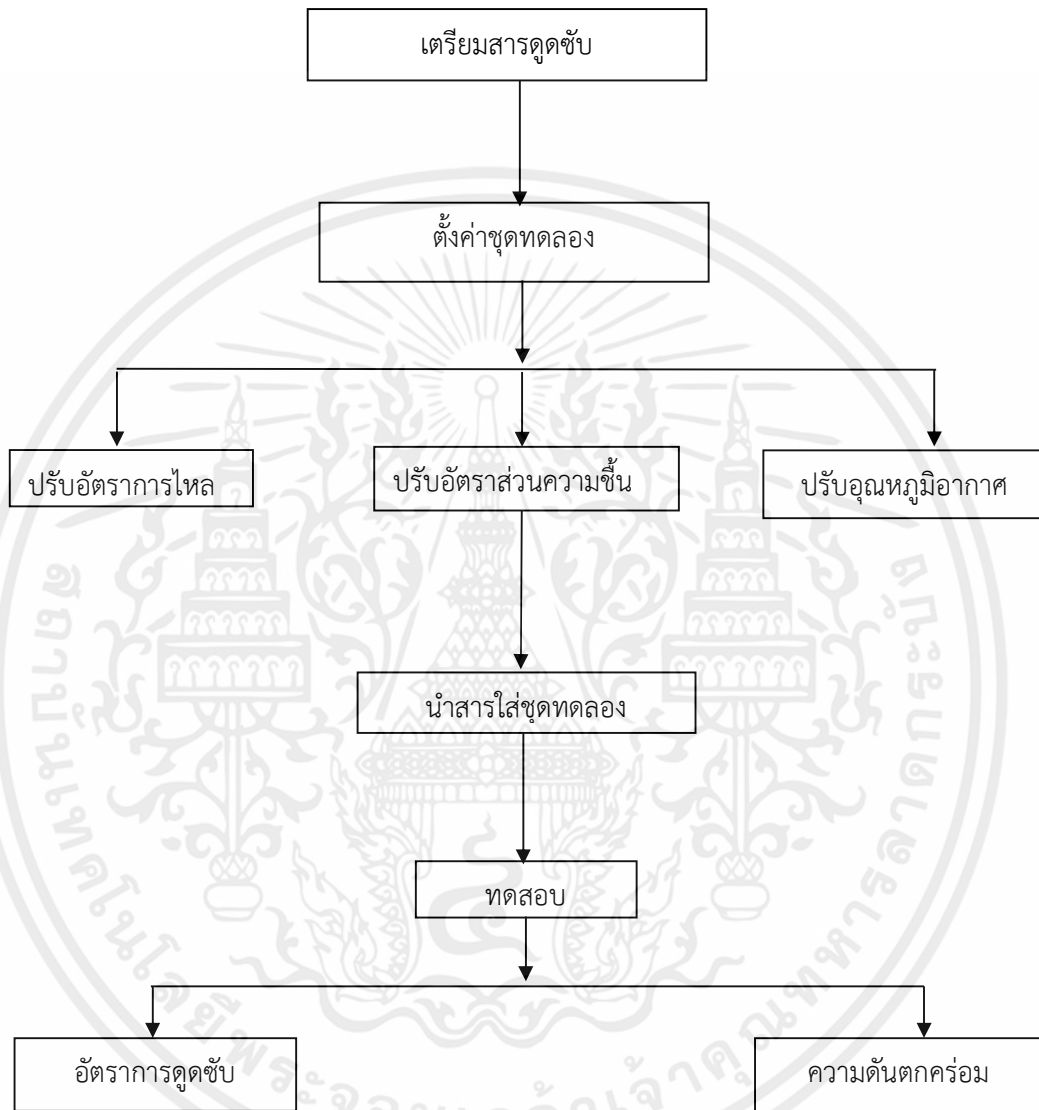
3.1.18 เครื่องวัดความดันตกคร่อม ใช้สำหรับวัดความดันตกคร่อมของกระบอกใส่สาร ช่วงวัดความดันอยู่ที่ $\pm 10\text{ KPa}$ ($\pm 0.3\% FSO$) ยี่ห้อ BENETECH รุ่น GM510 ผลิตในประเทศจีน



รูปที่ 3.18 เครื่องวัดความดันตกคร่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิธีการดำเนินงาน



รูปที่ 3.19 แผนผังแสดงขั้นตอนการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีออกแบบตารางการทดลอง

การกำหนดค่าตัวแปรต้นที่มีผลต่ออัตราการดูดซับและความดันตกคร่อมของซิลิกาเจล และ โม่เลกุลาร์ซีฟ ได้แก่

X_1 = อุณหภูมิ หน่วย องศาเซลเซียส

X_2 = อัตราส่วนความชื้น หน่วย กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง

X_3 = อัตราการไหล หน่วย กิโลกรัมต่อชั่วโมง

ผลตอบสนองหรือตัวแปรตามที่ต้องการศึกษา ได้แก่

y_1 = อัตราการดูดซับ หน่วย กรัมอากาศเปียกต่อชั่วโมง

y_2 = ความดันตกคร่อม หน่วย กิโลปาสกาล

ค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การกำหนดค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

Parameters	Rangers and levels				
	-1.682	Low (-1)	0	High (+1)	1.682
Air					
temperature (°C)	25	28	33	37	40
Humidity ratio (g _w /kg _{da})	10	12	15	18	20
Air flow rate (kg/h)	60	72	90	108	120

จากตัวแปรที่กำหนดสามารถนำค่าไปสร้างตารางการทดลองได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ตารางการทดลองอัตราส่วนการดูดซับความชื้นและความดันตกคร่อมของซิลิกาเจล และโมเลกุลาร์ซีฟ

Exp #	X ₁ (-)	X ₂ (-)	X ₃ (-)	Y ₁ (kPa)	Y ₂ (g _w /h)
1	-1	-1	-1		
2	1	-1	-1		
3	-1	1	-1		
4	1	1	-1		
5	-1	-1	1		
6	1	-1	1		
7	-1	1	1		
8	1	1	1		
9	-1.682	0	0		
10	1.682	0	0		
11	0	-1.682	0		
12	0	1.682	0		
13	0	0	-1.682		
14	0	0	1.682		
15	0	0	0		
16	0	0	0		
17	0	0	0		
18	0	0	0		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 กระบวนการเตรียมสารดูดซับ

ในการทดลองได้ใช้สารดูดซับทางพาณิชย์ 2 ชนิด คือ ซิลิกาเจลและโมเลกุลลาร์ซีฟ โดยมีวิธีการเตรียมสารดูดซับก่อนนำไปทดสอบที่เหมือนกันมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.4.1 เตรียมสารดูดซับความชื้นใส่ถาดสแตนเลสเพื่อนำไปอบไล่ความชื้น



รูปที่ 3.20 การเตรียมสารดูดซับความชื้นเข้าเครื่องอบ

3.4.2 นำสารดูดซับความชื้นเข้าเตาอบโดยตั้งอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง



รูปที่ 3.21 นำสารดูดความชื้นเข้าเครื่องอบ



รูปที่ 3.22 ตั้งอุณหภูมิและเวลาในการอบสารดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 เมื่ออบสารดูดซับเสร็จ นำสารดูดซับมาชั่งใส่ขวดโหลแก้วปริมาณ 500 กรัม แล้วนำไปตั้งให้อยู่ในอุณหภูมิห้อง



รูปที่ 3.23 นำสารดูดซับที่อบเสร็จแล้วออกจากเตาอบ



รูปที่ 3.24 นำสารดูดซับชนิดซิลิกาเจลบรรจุลงขวดโหลแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 นำสารดูดซับชนิดโมเลกุลาร์ซีฟบรรจุลงขวดโหลแก้ว

3.5 กระบวนการทดสอบอัตราการดูดซับและความดันตกคร่อม

การทดสอบอัตราการดูดซับและความดันตกคร่อมของซิลิกาเจล และโมเลกุลาร์ซีฟมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

3.5.1 นำสารดูดซับ 500 กรัม ที่ผ่านการใช้งานใส่กระบอกลำไส้สารเพื่อปรับค่าในสภาวะที่ต้องการทดลอง



รูปที่ 3.26 สารดูดซับ 500 กรัม บรรจุอยู่ในกระบอกลำไส้สาร

3.5.2 ปรับอัตราการไหลโดยการใช้ชุดควบคุมแรงดันและวัดค่าอัตราการไหลที่ปลายท่อของชุดทดลอง



รูปที่ 3.27 ปรับค่าชุดควบคุมแรงดัน



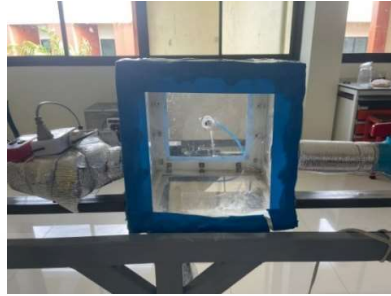
รูปที่ 3.28 วัดค่าอัตราการไหล

3.5.3 ควบคุมอัตราส่วนความชื้นภายในห้องทดลองให้มีค่าที่ใกล้เคียงกับอัตราส่วนความชื้นที่จะทดลองโดยการปรับแอร์ จากนั้นตั้งค่าชุดเพิ่มความชื้นให้ได้ค่าที่ทดลอง



รูปที่ 3.29 เซ็นเซอร์ตัวควบคุมความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.30 กล้องเพิ่มความชื้นด้วยหัวพ่นละอองน้ำ

3.5.4 ปรับอุณหภูมิที่อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ



รูปที่ 3.31 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ

3.5.5 เมื่อปรับค่าต่าง ๆ ที่จะทดลองได้ตามที่กำหนดแล้วก็ทำการเปลี่ยนสารดูดซับที่ผ่านการอบไล่ความชื้นแล้วมาใส่ในกระบอกใส่สาร

3.5.6 เมื่อใส่สารดูดซับแล้วทำการเช็คสถานะการทดลองอีกครั้ง เมื่อได้สถานะการทดลองที่กำหนดแล้วเริ่มเก็บผลโดยบันทึกค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ก่อนทางเข้าสารดูดซับ



รูปที่ 3.32 เครื่องมือวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์และค่าอุณหภูมิก่อนทางเข้าสารดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.7 เมื่อเริ่มการทดลองจะเก็บผลทุก ๆ 2 นาที จนครบ 30 นาที โดยจะเก็บค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ก่อนทางเข้าสารดูดซับกับทางออกสารดูดซับ และค่าความดันของสารดูดซับ



รูปที่ 3.33 เครื่องมือวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์และค่าอุณหภูมิทางออกสารดูดซับ



รูปที่ 3.34 เครื่องมือวัดค่าความดันขณะทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผล

ในการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการดูดซับและความดันตกคร่อมของสารดูดความชื้นซิลิกาเจลและโมเลกุลลาร์ซีฟ ตัวแปรที่ศึกษาคืออุณหภูมิของอากาศในช่วง 25 – 40 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้นในช่วง 10 – 20 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหลในช่วง 60 – 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีการตอบสนองพินผิว ซึ่งจะได้กราฟพื้นผิวตอบสนอง และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการช่วยวิเคราะห์ผลของตัวแปรที่ศึกษา

4.1 ผลการทดสอบอัตราการดูดซับความชื้นและความดันตกคร่อมของซิลิกาเจล

ผลการทดสอบอัตราการดูดซับความชื้นและความดันตกคร่อมของซิลิกาเจล แสดงได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบอัตราการดูดซับความชื้นและความดันตกคร่อมของสารดูดซับชนิดซิลิกาเจล

Exp #	Air temperature (°C)	Humidity ratio (g _w /kg _{da})	Air flow rate (kg/h)	Pressure drop (kPa)	Adsorption rate (g _w /h)
1	28	12	72	2.69	159.9
2	37	12	72	2.66	98.5
3	28	18	72	2.42	209.0
4	37	18	72	2.78	150.8
5	28	12	108	5.12	231.9
6	37	12	108	5.20	141.7
7	28	18	108	5.17	281.9
8	37	18	108	5.46	237.3
9	25	15	90	4.14	254.9
10	40	15	90	3.85	126.9
11	33	10	90	4.20	139.7
12	33	20	90	4.03	205.9

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบอัตราการดูดซับความชื้นและความดันตกคร่อมของสารดูดซับชนิดซิลิกาเจล (ต่อ)

Exp #	Air temperature (°C)	Humidity ratio (g _w /kg _{da})	Air flow rate (kg/h)	Pressure drop (kPa)	Adsorption rate (g _w /h)
13	33	15	60	1.67	85.7
14	33	15	120	6.38	263.1
15	33	15	90	4.35	192.7
16	33	15	90	4.16	191.5
17	33	15	90	4.14	195.7
18	33	15	90	4.32	198.2

4.1.1 ผลของตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการดูดซับ

จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิมีผลต่ออัตราการดูดซับความชื้นของซิลิกาเจลมาก ในช่วงอุณหภูมิที่ต่ำจะมีอัตราการดูดซับที่มากกว่าช่วงอุณหภูมิสูง สังเกตได้จากการทดลองทดลองครั้งที่ 9 กับครั้งที่ 10 ที่ทดลองในช่วงอัตราส่วนความชื้นและอัตราการไหลเท่ากัน แต่ทดลองอุณหภูมิของอากาศในช่วงต่ำสุดและสูงสุด ผลการทดลองแสดงได้ ดังในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบอัตราการดูดซับความชื้นและความดันตกคร่อมของสารดูดซับชนิดซิลิกาเจลในการทดลองครั้งที่ 9 และ 10

Exp #	Air temperature (°C)	Humidity ratio (g _w /kg _{da})	Air flow rate (kg/h)	Pressure drop (kPa)	Adsorption rate (g _w /h)
9	25	15	90	4.14	254.9
10	40	15	90	3.85	126.9

ในการทดลองครั้งที่ 9 จะทดสอบอุณหภูมิของอากาศที่ 25 องศาเซลเซียส จะได้ผลของอัตราการดูดซับอยู่ที่ 254.9 กรัมเปียกต่อชั่วโมง แต่ในการทดสอบครั้งที่ 10 ทดสอบอุณหภูมิของอากาศที่ 40 องศาเซลเซียส อัตราการดูดซับจะลดลงมาอยู่ที่ 126.9 กรัมต่อชั่วโมง

อัตราส่วนความชื้นก็มีผลต่ออัตราการดูดซับแต่น้อยกว่าอุณหภูมิของอากาศสังเกตได้จากการทดลองครั้งที่ 11 และ 12 ที่ทดลองในช่วงอัตราการไหล 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และอุณหภูมิของอากาศ 33 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 4.3

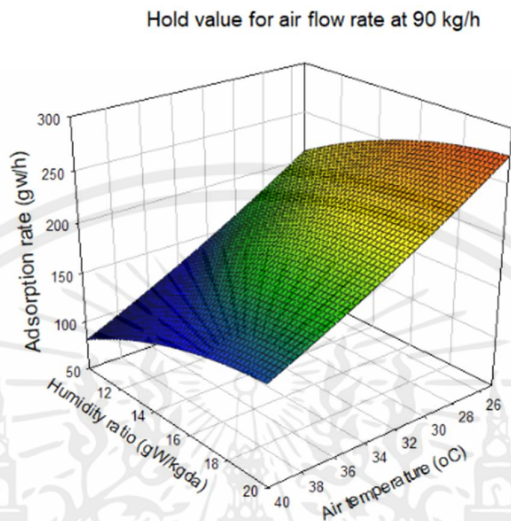
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบอัตราการดูดซับความชื้นและความดันตกคร่อมของสารดูดซับชนิดซิลิกาเจลในการทดลองครั้งที่ 11 และ 12

Exp #	Air temperature (°C)	Humidity ratio (g _w /kg _{da})	Air flow rate (kg/h)	Pressure drop (kPa)	Adsorption rate (g _w /h)
11	33	10	90	4.20	139.7
12	33	20	90	4.03	205.9

ในการทดลองครั้งที่ 11 จะทดลองอัตราส่วนความชื้นที่ 10 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง จะได้ผลของอัตราการดูดซับอยู่ที่ 139.7 กรัมต่อชั่วโมง ในการทดลองครั้งที่ 12 ทดลองอัตราส่วนความชื้นที่ 20 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง จะได้ผลของอัตราการดูดซับเพิ่มขึ้นเป็น 205.9 กรัมต่อชั่วโมง จากการทดลองที่สภาวะอุณหภูมิของอากาศที่ 33 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้น 15 กรัมไอน้ำต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหลของอากาศ 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง พบว่าสำหรับชุดลดความชื้นที่ใช้สารดูดซับชนิดซิลิกาเจลจะมีความดันลดและอัตราการดูดซับเฉลี่ย 4.24 กิโลปาสกาล และ 194.54 กรัมต่อชั่วโมง

ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอากาศ และอัตราส่วนความชื้น ต่ออัตราการดูดซับ จะแสดงได้ในกราฟพื้นผิวตอบสนอง ที่กำหนดค่าอัตราการไหลที่ 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แสดงในรูปที่ 4.1 จากกราฟพื้นผิวตอบสนองอัตราส่วนความชื้นและอุณหภูมิของอากาศมีผลต่ออัตราการดูดซับ อัตราส่วนความชื้นมีผลต่ออัตราการดูดซับน้อยกว่าอุณหภูมิของอากาศสังเกตได้จาก ช่วงของอุณหภูมิของอากาศจะส่งผลต่ออัตราการดูดซับต่างกันมากเมื่อกำหนดค่าอัตราส่วนความชื้น 10 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง ที่อุณหภูมิของอากาศ 40 องศาเซลเซียสจะมีค่าอัตราการดูดซับประมาณ 75 กรัมต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิของอากาศ 25 องศาจะมีค่าอัตราการดูดซับประมาณ 200 กรัมต่อชั่วโมง ช่วงของอัตราส่วนความชื้นจะส่งผลต่ออัตราการดูดซับไม่ต่างกันมากเมื่อกำหนดค่าอุณหภูมิของอากาศ 33 องศาเซลเซียส ที่อัตราส่วนความชื้น 10 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง จะมีค่าอัตราการดูดซับประมาณ 200 กรัมต่อชั่วโมง และที่อัตราส่วนความชื้น 20 กรัมอากาศเปียกต่อ

กิโลกรัมอากาศแห้ง จะมีค่าอัตราการดูดซับประมาณ 275 กรัม ต่อชั่วโมง จะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิของอากาศส่งผลต่ออัตราการดูดซับความชื้นมากกว่าอัตราส่วนความชื้น



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ที่แสดงผลระหว่างอัตราการดูดซับเทียบกับอุณหภูมิและอัตราส่วนความชื้น ที่ค่าอัตราการไหล 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

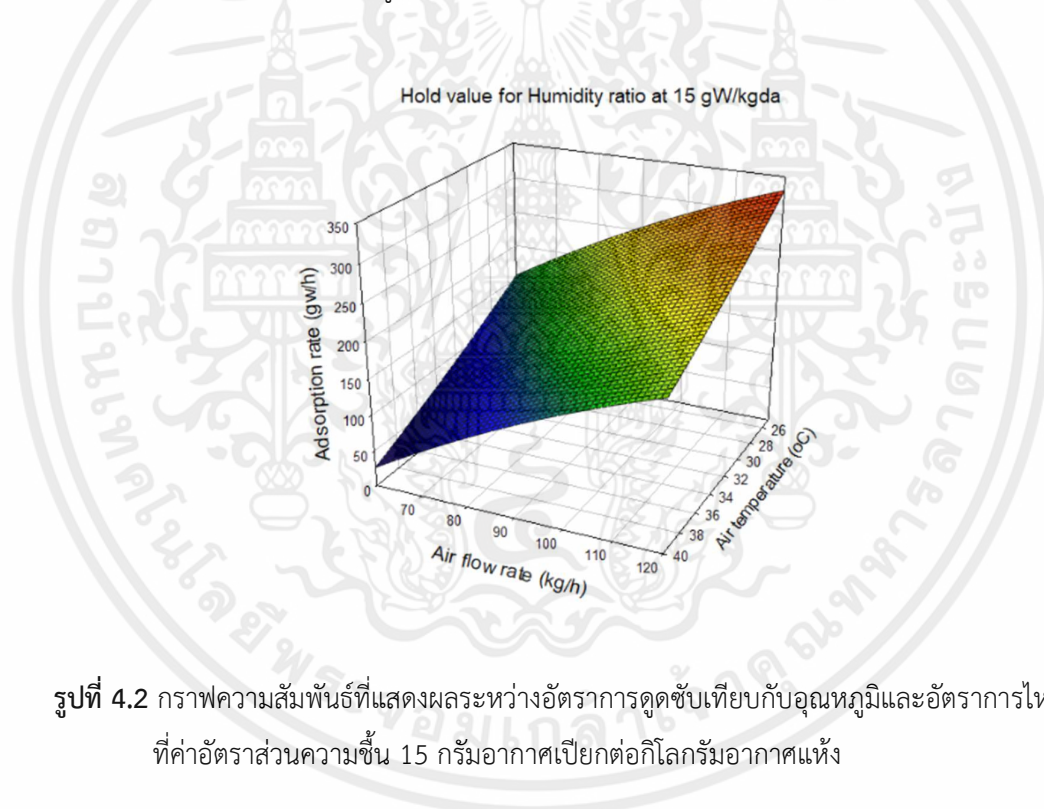
อัตราการไหลส่งผลต่ออัตราการดูดซับความชื้นมาก การเพิ่มช่วงของอัตราการไหลก็จะทำให้ได้อัตราการดูดซับมากขึ้นด้วยเช่นกัน สังเกตได้จากการทดลองครั้งที่ 13 และการทดลองครั้งที่ 14 ที่ทดลองในช่วงอุณหภูมิของอากาศ 33 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนความชื้น 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบอัตราการดูดซับความชื้นและความดันตกคร่อมของสารดูดซับชนิดซิลิกาเจลในการทดลองครั้งที่ 13 และ 14

Exp #	Air temperature (°C)	Humidity ratio (g _w /kg _{da})	Air flow rate (kg/h)	Pressure drop (kPa)	Adsorption rate (g _w /h)
13	33	15	60	1.67	85.7
14	33	15	120	6.38	263.1

ในการทดลองครั้งที่ 13 ทดลองที่อัตราการไหล 60 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะได้อัตราการดูดซับ 85.7 กรัมต่อชั่วโมง ในการทดลองครั้งที่ 14 เพิ่มอัตราการไหลเป็น 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะได้อัตราการดูดซับที่เพิ่มขึ้นมาก โดยอัตราการดูดซับจะอยู่ที่ 263.1 กรัมต่อชั่วโมง

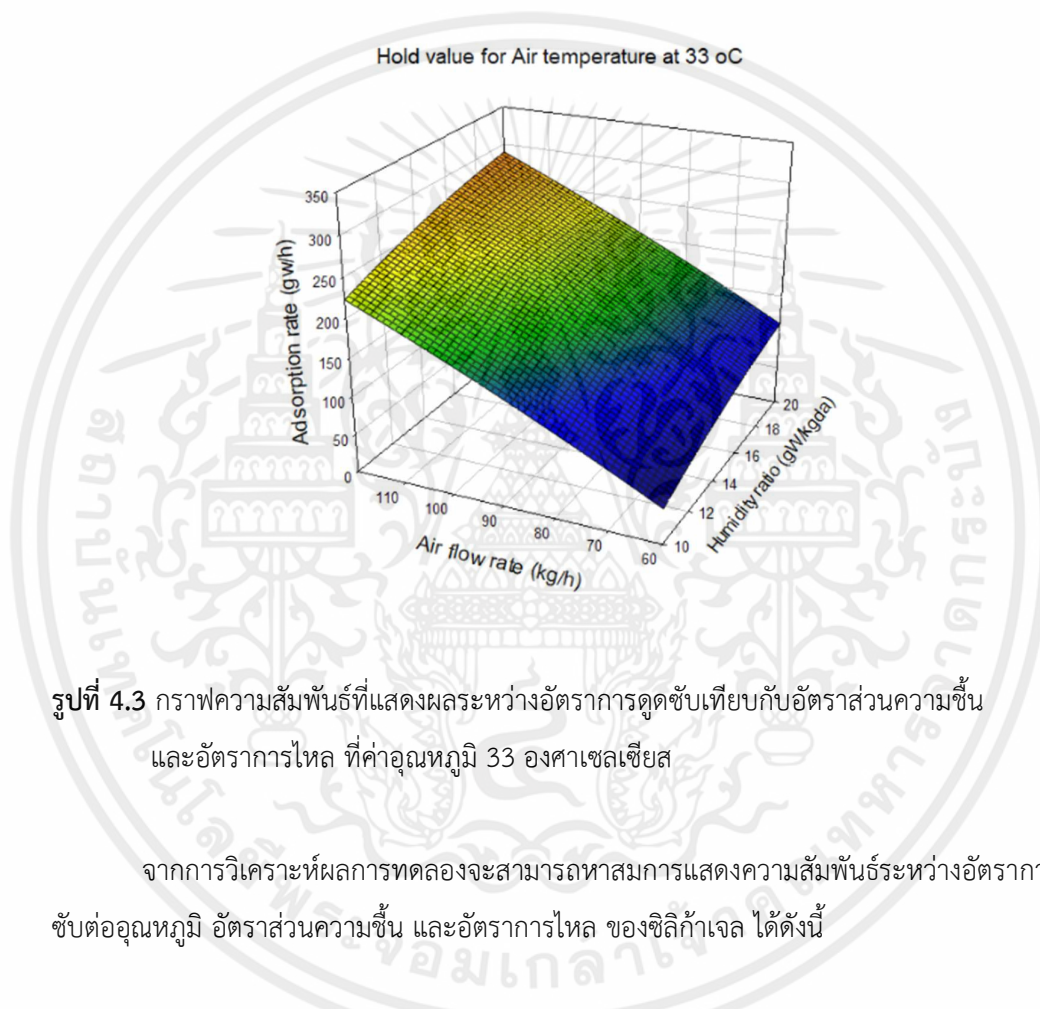
ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลและอุณหภูมิของอากาศต่ออัตราการดูดซับ แสดงได้ในกราฟพื้นผิวตอบสนองที่กำหนดค่าของอัตราส่วนความชื้น 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง ดังแสดงในรูปที่ 4.2 จากกราฟพื้นผิวตอบสนองจะเห็นได้ว่า อัตราการไหลและอุณหภูมิของอากาศมีผลต่ออัตราการดูดซับมาก อัตราการไหลในช่วงที่มากจะมีอัตราการดูดซับที่มากกว่าอัตราการไหลในช่วงที่น้อยกว่า สังเกตได้จากช่วงของอัตราการไหลที่อุณหภูมิของอากาศ 25 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหล 60 กิโลกรัมต่อชั่วโมงจะมีค่าอัตราการดูดซับประมาณ 150 กรัมต่อชั่วโมง ที่อัตราการไหล 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมงจะมีอัตราการดูดซับประมาณ 375 กรัมต่อชั่วโมง



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ที่แสดงผลระหว่างอัตราการดูดซับเทียบกับอุณหภูมิและอัตราการไหล ที่ค่าอัตราส่วนความชื้น 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง

ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของอากาศและอัตราส่วนความชื้น แสดงได้ในกราฟพื้นผิวตอบสนองที่กำหนดค่าของอุณหภูมิของอากาศ 33 องศาเซลเซียสดังแสดงในรูปที่ 4.3 จากกราฟพื้นผิวตอบสนองจะเห็นได้ว่า อัตราส่วนความชื้นจะส่งผลต่ออัตราการดูดซับน้อยกว่าอัตราการไหล สังเกตได้จาก ช่วงของอัตราส่วนความชื้นที่อัตราการไหลของอากาศ 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตราส่วนความชื้น 10 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง มีค่าอัตราการดูดซับประมาณ 225

กรัมต่อชั่วโมง อัตราส่วนความชื้น 20 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง มีค่าอัตราการดูดซับ ประมาณ 280 กรัมต่อชั่วโมง ในช่วงของอัตราการไหลของอากาศที่อัตราส่วนความชื้น 20 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง อัตราการไหลของอากาศที่ 60 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะมีค่าอัตราการดูดซับ ประมาณ 110 กรัมต่อชั่วโมง อัตราการไหลของอากาศที่ 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะมีค่าอัตราการดูดซับ ประมาณ 280 กรัมต่อชั่วโมง



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ที่แสดงผลระหว่างอัตราการดูดซับเทียบกับอัตราส่วนความชื้น และอัตราการไหล ที่ค่าอุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองจะสามารถหาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดซับต่ออุณหภูมิ อัตราส่วนความชื้น และอัตราการไหล ของซิลิกาเจล ได้ดังนี้

$$A = 267.1 - 7.667T - 0.178 W^2 + 0.156 WM$$

โดยที่ A = อัตราการดูดซับ หน่วย กรัมต่อชั่วโมง

T = อุณหภูมิของอากาศ หน่วย องศาเซลเซียส

W = อัตราส่วนความชื้น หน่วย กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง

M = อัตราการไหล หน่วย กิโลกรัมต่อชั่วโมง

ค่าความแม่นยำและเที่ยงตรงของสมการทางสถิติสามารถแสดงได้ดังในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าความแม่นยำและเที่ยงตรงของสมการที่ได้จากการทดลองในการคำนวณอัตราการดูดซับของซิลิกาเจล

Summary	
R	0.989
R ²	0.979
R ² adjusted	0.978
Standard Error	0.182
# Points	18
PRESS	0.66
R ² for Prediction	0.974
Durbin-Watson d	1.502
First Order Autocorrelation	0.176
Collinearity	1.000
Coefficient of Variation	4.500
Precision Index	87.266

สมการที่ได้จากการวิเคราะห์อัตราการดูดซับของซิลิกาเจล จะเห็นว่าตัวแปรทั้ง 3 ตัว มีนัยสำคัญต่อการดูดซับ โดยอุณหภูมิของอากาศ และอัตราการไหล จะมีผลมาก และอัตราส่วนความชื้นรองลงมา ซึ่งสามารถดูได้จาก ค่า P-value ดังแสดงในตารางที่ 4.6

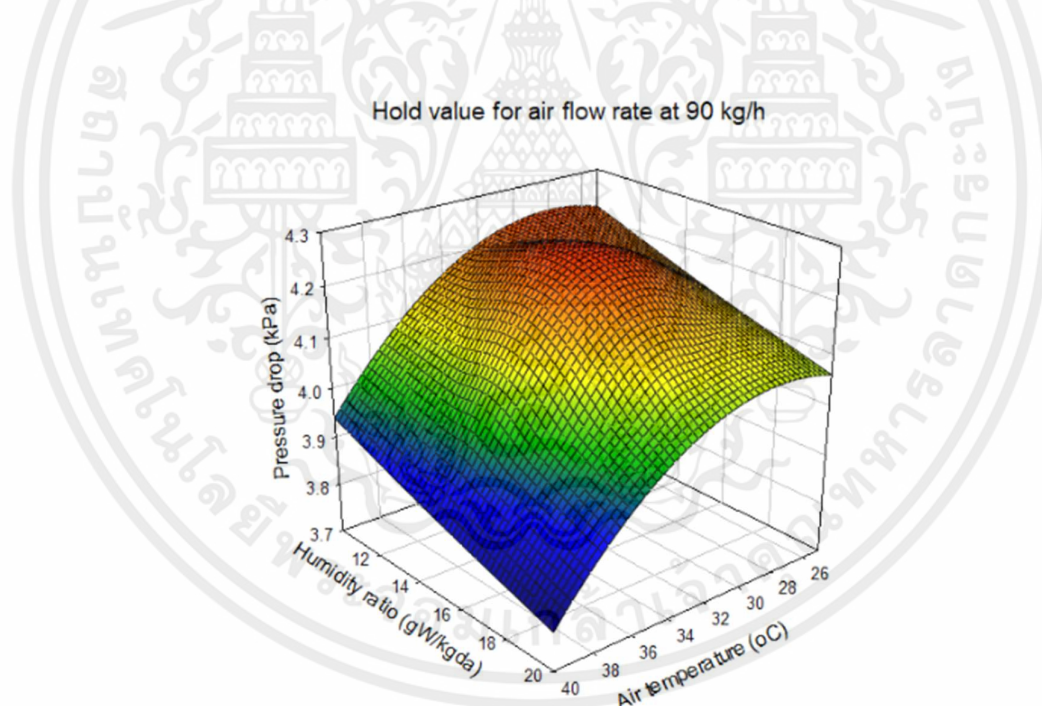
ตารางที่ 4.6 ค่า P-Value ของสมการที่ได้จากการทดลองในการคำนวณอัตราการดูดซับของซิลิกาเจล

	Coefficient	P- value
b0 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของค่าคงที่	267.10	1.25163E-06
b1 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิของอากาศ	-7.667	7.56954E-07
b2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราส่วนความชื้นกำลังสอง	-0.178	0.01412
b3 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราส่วนความชื้นและอัตราการไหล	0.156	5.56977E-08

4.1.2 ผลของตัวแปรที่ส่งผลต่อความดันตกคร่อม

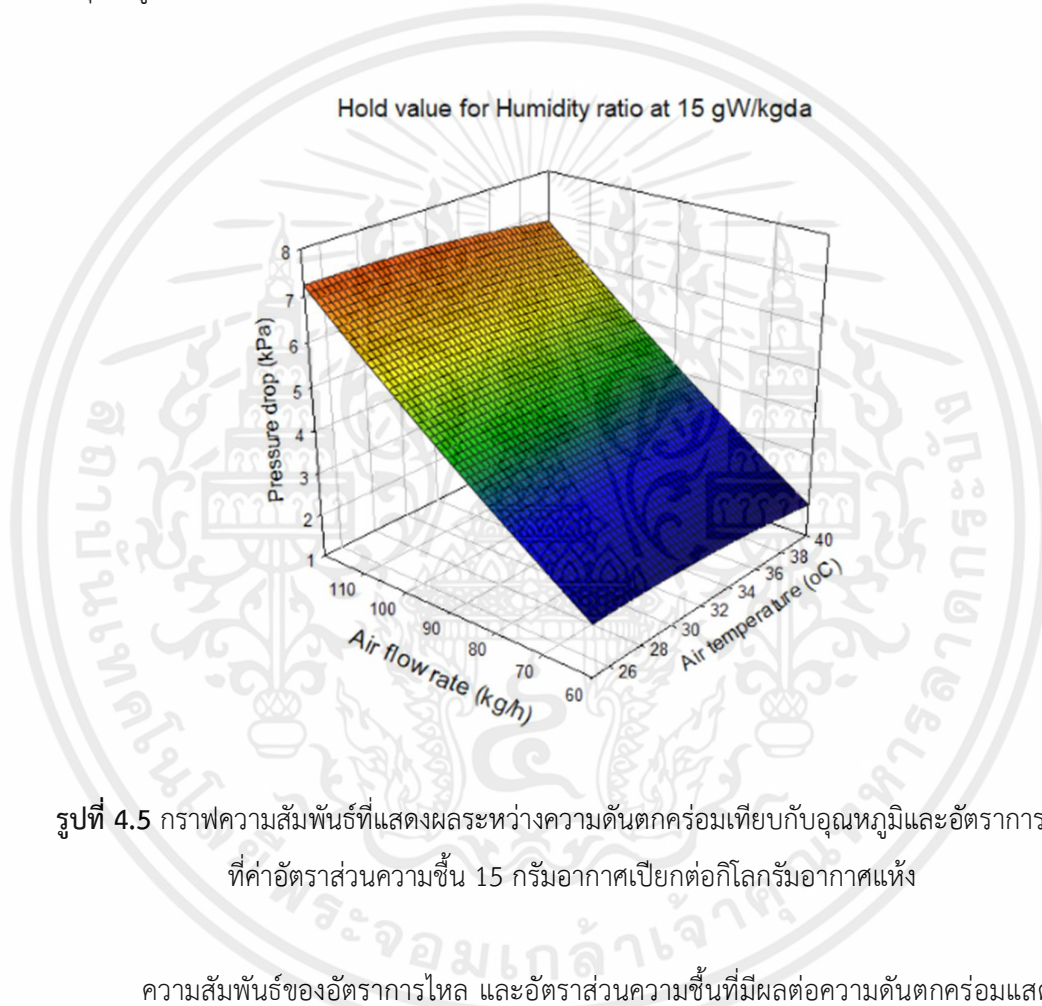
จากการทดลองพบว่าตัวแปรที่มีผลต่อความดันตกคร่อมคืออัตราการไหลของอากาศ จากตารางการทดลองที่ 4.1 จะสังเกตได้ว่าในช่วงการทดลองที่ใช้อัตราการไหลของอากาศเท่ากัน ความดันตกคร่อมจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน การเพิ่มอัตราการไหลของอากาศจะส่งผลให้ความดันตกคร่อมเพิ่มขึ้นไปด้วย โดยที่อัตราการไหลของอากาศ 60 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะมีค่าความดันตกคร่อม 1.67 กิโลปาสกาล ที่อัตราการไหลของอากาศ 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะมีค่าความดันตกคร่อม 6.38 กิโลปาสกาล อุณหภูมิของอากาศและอัตราส่วนความชื้นไม่ส่งผลต่ออัตราการไหล

โดยความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของอากาศ และอัตราส่วนความชื้นที่ส่งผลต่อความดันตกคร่อม แสดงได้ในกราฟพื้นผิวตอบสนองที่กำหนดค่าของอัตราการไหลของอากาศ 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมงดังแสดงในรูปที่ 4.4 จากกราฟพื้นผิวตอบสนองจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของอากาศและอัตราส่วนความชื้นไม่ค่อยส่งผลต่อความดันตกคร่อม สังเกตได้จากค่าความดันตกคร่อมที่ไม่ต่างกันมากจากกราฟ



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ที่แสดงผลระหว่างความดันตกคร่อมเทียบกับอุณหภูมิของอากาศและอัตราส่วนความชื้น ที่ค่าอัตราการไหล 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

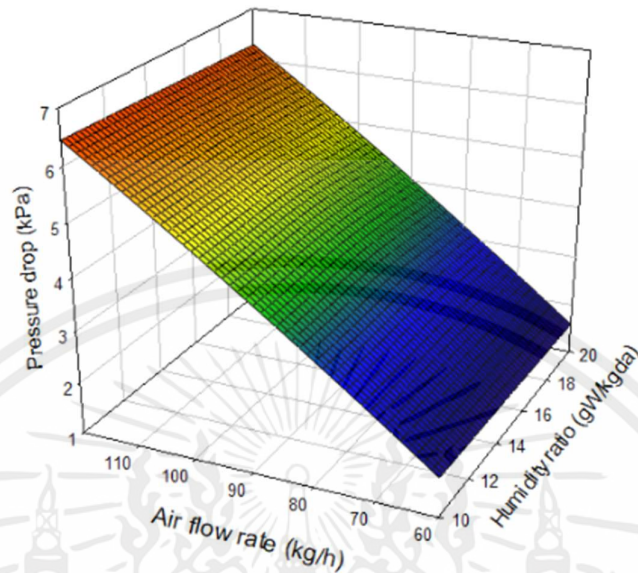
ความสัมพันธ์ของอัตราการไหล และอัตราส่วนความชื้นที่มีผลต่อความดันตกคร่อมแสดงได้ ในกราฟพื้นผิวตอบสนองที่กำหนดค่าของอัตราส่วนความชื้น 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง ดังแสดงในรูปที่ 4.5 จากกราฟพื้นผิวตอบสนองจะเห็นได้ว่า ความดันตกคร่อมจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอากาศสังเกตได้จากความชันของกราฟ ที่อัตราการไหลของอากาศ 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะเห็นได้ว่าช่วงของอุณหภูมิของอากาศจะมีค่าความดันตกคร่อมที่ใกล้เคียงกันมาก จึงสรุปได้ว่าอุณหภูมิของอากาศไม่ส่งผลต่อความดันตกคร่อม



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ที่แสดงผลระหว่างความดันตกคร่อมเทียบกับอุณหภูมิและอัตราการไหล ที่ค่าอัตราส่วนความชื้น 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง

ความสัมพันธ์ของอัตราการไหล และอัตราส่วนความชื้นที่มีผลต่อความดันตกคร่อมแสดงได้ ในกราฟพื้นผิวตอบสนองที่กำหนดค่าของอุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.6 จากกราฟพื้นผิวตอบสนองจะเห็นได้ว่า ความดันตกคร่อมจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอากาศสังเกตได้จากความชันของกราฟ ที่อัตราการไหลของอากาศ 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะเห็นได้ว่าช่วงของอัตราส่วนความชื้นจะมีค่าความดันตกคร่อมที่ใกล้เคียงกันมาก จึงสรุปได้ว่าอัตราส่วนความชื้นไม่ส่งผลต่อความดันตกคร่อม

Hold value for Air temperature at 33 oC



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ที่แสดงผลระหว่างความดันตกคร่อมเทียบกับอัตราส่วนความชื้นและอัตราการไหล ที่ค่าอุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองจะสามารถหาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกคร่อมต่ออัตราการไหล ของซิลิกาเจลได้ดังนี้

$$P = -0.269 + 0.07478 M$$

โดยที่ P = ความดันตกคร่อม หน่วย กิโลปาสกาล

M = อัตราการไหล หน่วย กิโลกรัมต่อชั่วโมง

ค่าความแม่นยำและเที่ยงตรงของสมการทางสถิติสามารถแสดงดังในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าความแม่นยำและเที่ยงตรงของสมการที่ได้จากการทดลองในการคำนวณความดันตกคร่อมของซิลิกาเจล

Summary	
R	0.969
R ²	0.940
R ² adjusted	0.927
Standard Error	15.10
# Points	18
PRESS	5955.39
R ² for Prediction	0.888
Durbin-Watson d	1.190
First Order Autocorrelation	0.389
Collinearity	0.511
Coefficient of Variation	8.075
Precision Index	142.764

สมการที่ได้จากการวิเคราะห์ แบบRSM ของซิลิกาเจล จากค่า P-Value ที่แสดงในตารางที่ 4.7 พบว่าอัตราการไหลมีนัยสำคัญต่อความดันตกคร่อมมาก อัตราส่วนความชื้น และอุณหภูมิของอากาศไม่มีผลต่อความดันตกคร่อม ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่า P-Value ของสมการที่ได้จากการทดลองการคำนวณความดันตกคร่อมของซิลิกาเจล

	Coefficient	P value
b0 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของค่าคงที่	-2.690	1.01807E-08
b1 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหล	0.07478	7.736E-15

4.2 ผลการทดสอบอัตราการดูดซับความชื้นและความดันตกคร่อมของโมเลกุลลาร์ซีฟ

จากการทดลองตัวแปรที่ส่งผลต่ออัตราการดูดซับความชื้น และความดันตกคร่อมของโมเลกุลลาร์ซีฟ ผลการทดสอบจะแสดงได้ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบอัตราการดูดซับความชื้นและความดันตกคร่อมของโมเลกุลลาร์ซีฟ

Exp.	Air temperature (°C)	Humidity ratio (g _w /kg _{da})	Air flow rate (kg/h)	Pressure drop (kPa)	Adsorption rate (g _w /h)
1	28	12	72	3.16	115.4
2	37	12	72	3.07	114.8
3	28	18	72	3.09	82.2
4	37	18	72	2.73	78.2
5	28	12	108	6.05	180
6	37	12	108	6.05	196
7	28	18	108	6.04	170.7
8	37	18	108	6.13	181.3
9	25	15	90	4.59	130.7
10	40	15	90	4.16	142.1
11	33	10	90	4.74	141.8
12	33	20	90	4.78	116
13	33	15	60	2.11	59.6
14	33	15	120	7.14	220.2
15	33	15	90	4.36	137.7
16	33	15	90	4.47	148.8
17	33	15	90	4.53	155.4
18	33	15	90	4.58	134.6

4.2.1 ผลของตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการดูดซับ

จากตารางการทดลองพบว่าอัตราส่วนความชื้นที่ต่ำจะมีอัตราการดูดซับที่สูงกว่าอัตราส่วนความชื้นที่สูง ในการทดลองครั้งที่ 11 และ 12 ที่ทดลองในอุณหภูมิของอากาศที่ 33 องศาเซลเซียส และอัตราการไหลของอากาศ 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบอัตราการดูดซับความชื้นและความดันตกคร่อมของโมเลกุลลาร์ซีพีในการทดลองครั้งที่ 11 และ 12

Exp.	Air temperature (°C)	Humidity ratio (g _w /kg _{da})	Air flow rate (kg/h)	Pressure drop (kPa)	Adsorption rate (g _w /h)
11	33	10	90	4.74	141.8
12	33	20	90	4.78	116

การทดลองครั้งที่ 11 ทดลองค่าอัตราส่วนความชื้น 10 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง มีค่าอัตราการดูดซับ 141.8 กรัมต่อชั่วโมง การทดลองครั้งที่ 12 ทดลองค่าอัตราส่วนความชื้น 20 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง มีค่าอัตราการดูดซับ 116 กรัมต่อชั่วโมง ผลของอุณหภูมิอากาศส่งผลต่ออัตราการดูดซับน้อยกว่าอัตราส่วนความชื้น

จากการทดลองครั้งที่ 9 และ 10 ที่ทดลองในช่วงอัตราส่วนความชื้นและอัตราการไหลเท่ากัน ดังแสดงในตารางที่ 4.11

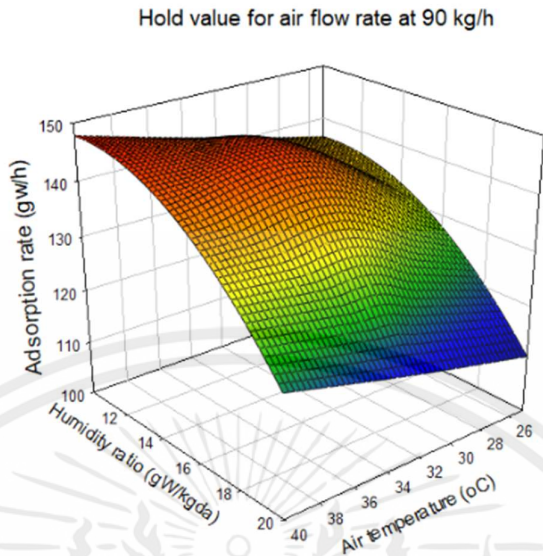
ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบอัตราการดูดซับความชื้นและความดันตกคร่อมของโมเลกุลลาร์ซีพีในการทดลองครั้งที่ 9 และ 10

Exp.	Air temperature (°C)	Humidity ratio (g _w /kg _{da})	Air flow rate (kg/h)	Pressure drop (kPa)	Adsorption rate (g _w /h)
9	25	15	90	4.59	130.7
10	40	15	90	4.16	142.1

การทดลองครั้งที่ 9 ทดลองที่อุณหภูมิของอากาศ 25 องศาเซลเซียส จะมีค่าอัตราการดูดซับ 130.7 กรัมต่อชั่วโมง การทดลองครั้งที่ 10 ทดลองที่อุณหภูมิของอากาศ 40 องศาเซลเซียส จะมีค่าอัตราการดูดซับ 142.1 กรัมต่อชั่วโมง อัตราการไหลของอากาศจะส่งผลต่ออัตราการดูดซับมาก

จากการทดลองที่สภาวะอุณหภูมิของอากาศที่ 33 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้น 15 กรัมเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหลของอากาศ 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง พบว่าชุดลดความชื้นที่ใช้สารดูดซับชนิดโมเลกุลลาร์ซีฟจะมีความดันลดและอัตราการดูดซับเฉลี่ย 4.24 กิโลปาสกาล และ 194.54 กรัมต่อชั่วโมง

ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอากาศ และอัตราส่วนความชื้น ต่ออัตราการดูดซับ จะแสดงได้ในกราฟพื้นผิวตอบสนอง ที่กำหนดค่าอัตราการไหลที่ 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แสดงในรูปที่ 4.7 จากกราฟพื้นผิวตอบสนองอัตราส่วนความชื้นและอุณหภูมิของอากาศมีผลต่ออัตราการดูดซับ อัตราส่วนความชื้นมีผลต่ออัตราการดูดซับมากกว่าอุณหภูมิของอากาศสังเกตได้จาก ช่วงของอัตราส่วนความชื้นจะส่งผลต่ออัตราการดูดซับเมื่อกำหนดค่าอุณหภูมิของอากาศ 25 องศาเซลเซียส ที่อัตราส่วนความชื้น 10 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง จะมีค่าอัตราการดูดซับประมาณ 135 กรัมต่อชั่วโมง ที่อัตราส่วนความชื้น 20 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง จะมีค่าอัตราการดูดซับประมาณ 110 กรัมต่อชั่วโมง ช่วงของอุณหภูมิของอากาศจะส่งผลต่ออัตราการดูดซับน้อยกว่าอัตราส่วนความชื้น เมื่อกำหนดค่าอัตราส่วนความชื้น 10 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง ที่อุณหภูมิของอากาศ 25 องศาเซลเซียส จะมีค่าอัตราการดูดซับประมาณ 136 กรัมต่อชั่วโมง และที่อุณหภูมิของอากาศ 40 องศาเซลเซียส จะมีค่าอัตราการดูดซับประมาณ 148 กรัม ต่อชั่วโมง จะเห็นได้ว่าค่าของอุณหภูมิอากาศส่งผลต่ออัตราการดูดซับความชื้นน้อยกว่าอัตราส่วนความชื้น



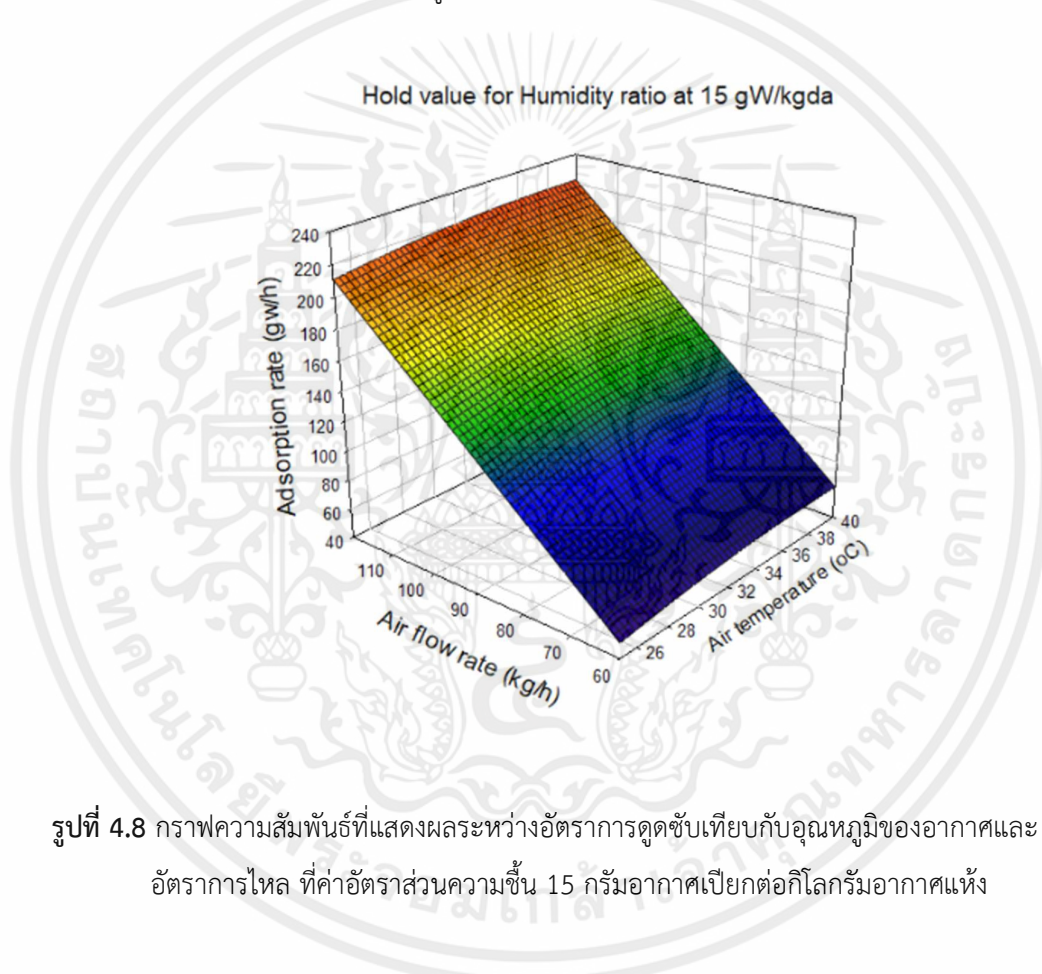
รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ที่แสดงผลระหว่างอัตราการดูดซับเทียบกับอุณหภูมิและอัตราส่วนความชื้น ที่ค่าอัตราการไหล 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

อัตราการไหลส่งผลต่ออัตราการดูดซับความชื้นมาก การเพิ่มช่วงของอัตราการไหลก็จะทำให้ได้อัตราการดูดซับมากขึ้นด้วยเช่นกัน สังเกตได้จากการทดลองครั้งที่ 13 และการทดลองครั้งที่ 14 ที่ทดลองในช่วงอุณหภูมิของอากาศ 33 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนความชื้น 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง ในการทดลองครั้งที่ 13 ทดลองที่อัตราการไหล 60 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะได้อัตราการดูดซับ 59.6 กรัมต่อชั่วโมง ในการทดลองครั้งที่ 14 เพิ่มอัตราการไหลเป็น 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะได้อัตราการดูดซับที่เพิ่มขึ้นมาก โดยอัตราการดูดซับจะอยู่ที่ 220.2 กรัมต่อชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบอัตราการดูดซับความชื้นและความดันตกคร่อมของ โมเลกุลาร์ซีฟในการทดลองครั้งที่ 9 และ10

Exp.	Air temperature (°C)	Humidity ratio (g _w /kg _{da})	Air flow rate (kg/h)	Pressure drop (kPa)	Adsorption rate (g _w /h)
13	33	15	60	2.11	59.6
14	33	15	120	7.14	220.2

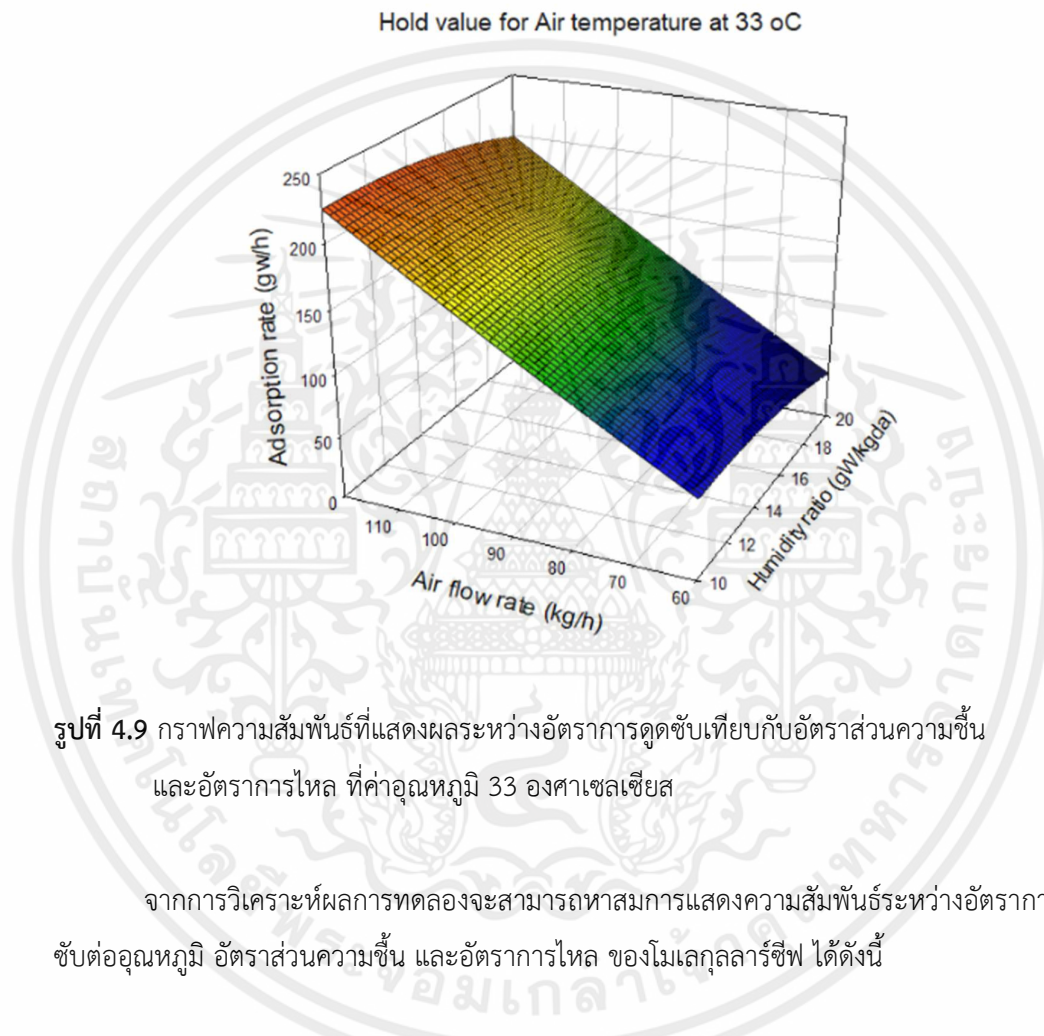
ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลและอุณหภูมิของอากาศต่ออัตราการดูดซับ แสดงได้ในกราฟพื้นผิวตอบสนองที่กำหนดค่าของอัตราส่วนความชื้น 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง ดังแสดงในรูปที่ 4.8 จากกราฟพื้นผิวตอบสนองจะเห็นได้ว่า อัตราการไหลมีผลต่ออัตราการดูดซับมากกว่าอุณหภูมิของอากาศ อัตราการไหลในช่วงที่มากจะมีอัตราการดูดซับที่มากกว่าอัตราการไหลในช่วงที่น้อยกว่า สังเกตได้จากช่วงของอัตราการไหลที่อุณหภูมิของอากาศ 25 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหล 60 กิโลกรัมต่อชั่วโมงจะมีค่าอัตราการดูดซับประมาณ 50 กรัมต่อชั่วโมง ที่อัตราการไหล 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมงจะมีอัตราการดูดซับประมาณ 210 กรัมต่อชั่วโมง



รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ที่แสดงผลระหว่างอัตราการดูดซับเทียบกับอุณหภูมิของอากาศและอัตราการไหล ที่ค่าอัตราส่วนความชื้น 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง

ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของอากาศและอัตราส่วนความชื้น แสดงได้ในกราฟพื้นผิวตอบสนองที่กำหนดค่าของอุณหภูมิของอากาศ 33 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.9 จากกราฟพื้นผิวตอบสนองจะเห็นได้ว่า อัตราส่วนความชื้นจะส่งผลต่ออัตราการดูดซับน้อยกว่าอัตราการไหล สังเกตได้จาก ช่วงของอัตราส่วนความชื้นที่อัตราการไหลของอากาศ 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตราส่วนความชื้น 10 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง มีค่าอัตราการดูดซับประมาณ 225 กรัมต่อชั่วโมง อัตราส่วนความชื้น 20 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง มีค่าอัตราการดูดซับ

ประมาณ 200 กรัมต่อชั่วโมง ในช่วงของอัตราการไหลของอากาศที่อัตราส่วนความชื้น 20 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง อัตราการไหลของอากาศที่ 60 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะมีค่าอัตราการดูดซับประมาณ 48 กรัมต่อชั่วโมง อัตราการไหลของอากาศที่ 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะมีค่าอัตราการดูดซับประมาณ 200 กรัมต่อชั่วโมง



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ที่แสดงผลระหว่างอัตราการดูดซับเทียบกับอัตราส่วนความชื้นและอัตราการไหล ที่ค่าอุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองจะสามารถหาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดซับต่ออุณหภูมิ อัตราส่วนความชื้น และอัตราการไหล ของโมเลกุลคาร์ซีฟ ได้ดังนี้

$$\text{Adsorption rate} = 43.09 + 0.00958TM - 0.541W^2 + 0.143WM$$

โดยที่ Adsorption rate = อัตราการดูดซับ หน่วย กรัมต่อชั่วโมง

T = อุณหภูมิ หน่วย องศาเซลเซียส

W = อัตราส่วนความชื้น หน่วย กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง

M = อัตราการไหลของอากาศ หน่วย กิโลกรัมต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความแม่นยำและเที่ยงตรงของสมการทางสถิติสามารถแสดงได้ ดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ค่าความแม่นยำและเที่ยงตรงของสมการที่ได้จากการทดลองในการคำนวณอัตราการดูดซับของโมเลกุลลาร์ซีฟ

Summary	
R	0.988
R ²	0.976
R ² adjusted	0.971
Standard Error	7.172
# Points	18
PRESS	1132.86
R ² for Prediction	0.962
Durbin-Watson d	2.068
First Order Autocorrelation	-0.116
Collinearity	0.179
Coefficient of Variation	5.153
Precision Index	32.364

สมการที่ได้จากการวิเคราะห์ แบบRSM ของโมเลกุลลาร์ซีฟ จะเห็นว่าตัวแปรทั้ง 3 ตัว มีนัยสำคัญต่อการดูดซับ โดยอัตราส่วนความชื้น และอัตราการไหลจะมีผลมาก และอุณหภูมิรองลงมา ซึ่งสามารถดูได้จาก ค่า P-value ดังแสดงในตารางที่ 4.14

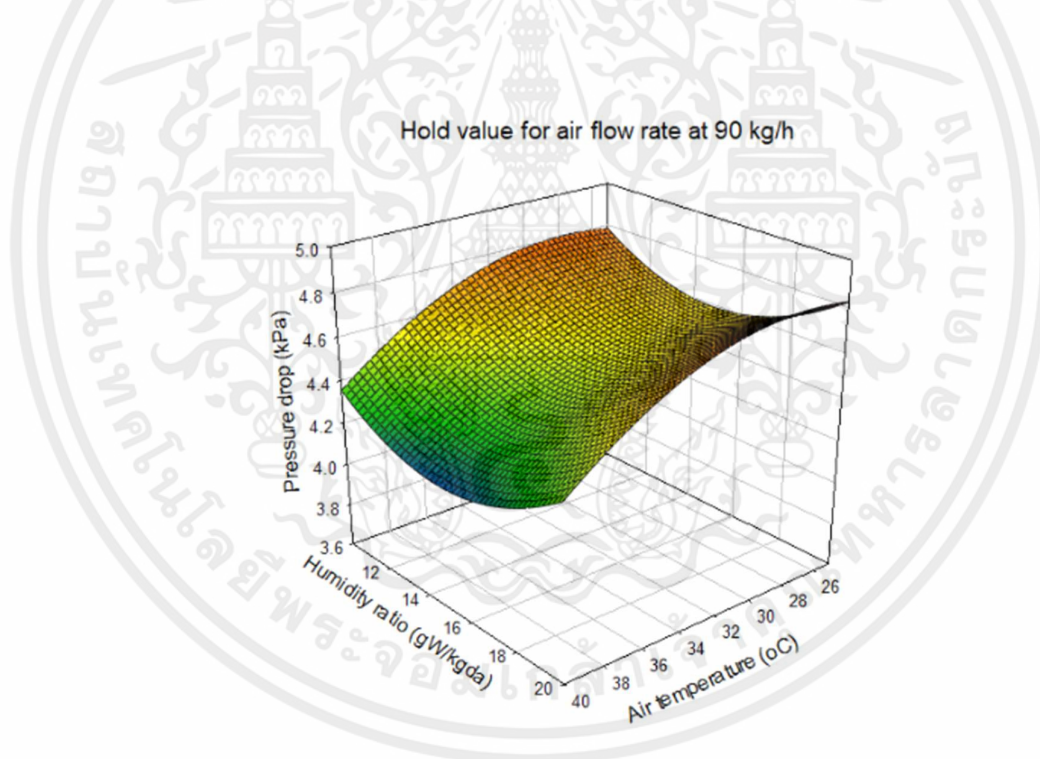
ตารางที่ 4.14 ค่า P-Value ของสมการที่ได้จากการทดลองในการคำนวณอัตราการดูดซับของโมเลกุลลาร์ซีฟ

	Coefficient	P value
b0 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของค่าคงที่	43.09	0.000720
b1 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิและอัตราการไหล	0.00958	0.05629
b2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราส่วนความชื้นกำลังสอง	-0.541	3.32723E-09
b3 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราส่วนความชื้นและอัตราการไหล	0.143	9.79409E-09

4.2.2 ผลของตัวแปรที่ส่งผลต่อความดันตกคร่อม

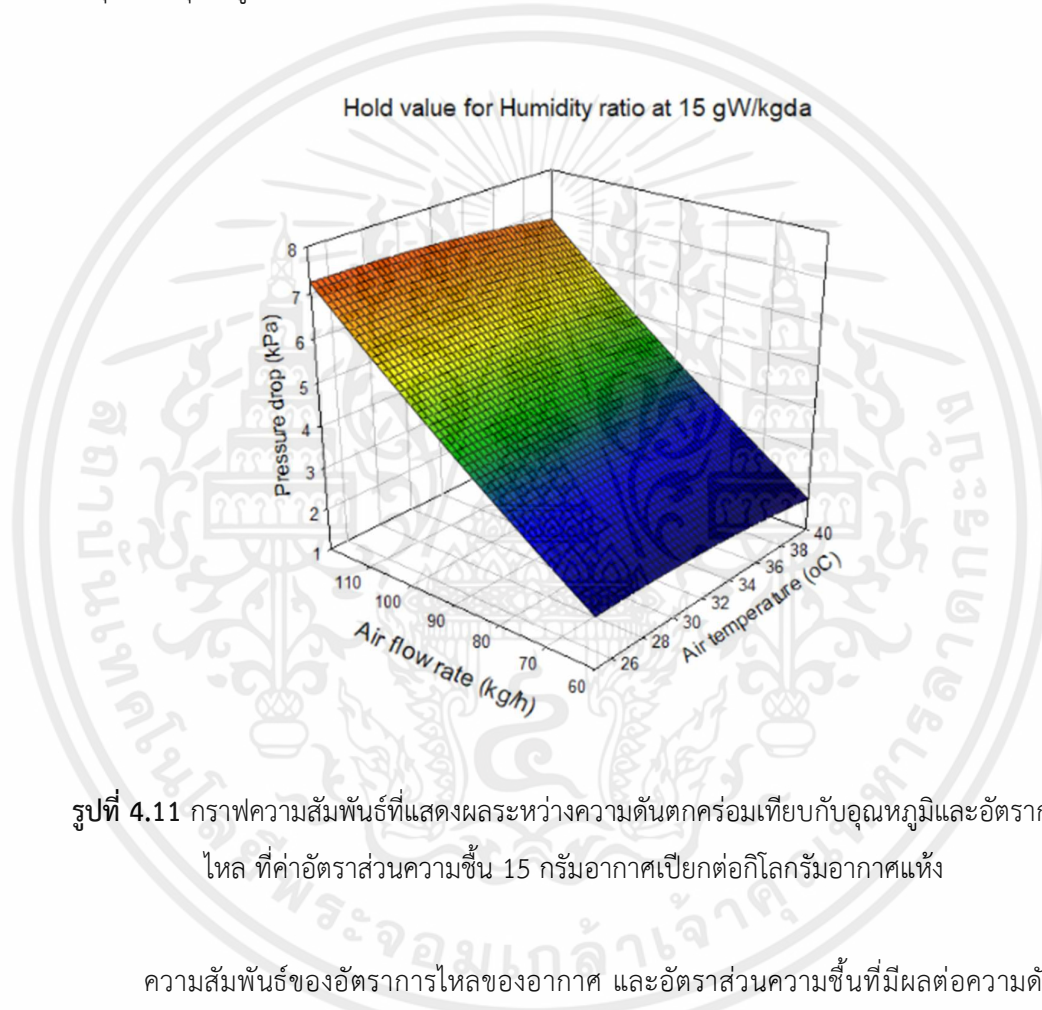
จากการทดลองพบว่าตัวแปรที่มีผลต่อความดันตกคร่อมคืออัตราการไหลของอากาศ จากตารางการทดลองที่ 4.2 จะสังเกตได้ว่าในช่วงการทดลองที่ใช้อัตราการไหลของอากาศเท่ากัน ความดันตกคร่อมจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน การเพิ่มอัตราการไหลของอากาศจะส่งผลให้ความดันตกคร่อมเพิ่มขึ้นไปด้วย โดยที่อัตราการไหลของอากาศ 60 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะมีค่าความดันตกคร่อม 2.11 กิโลปาสกาล ที่อัตราการไหลของอากาศ 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะมีค่าความดันตกคร่อม 7.14 กิโลปาสกาล อุณหภูมิของอากาศและอัตราส่วนความชื้นไม่ส่งผลต่ออัตราการไหล

ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของอากาศ และอัตราส่วนความชื้นที่ส่งผลต่อความดันตกคร่อม แสดงได้ในกราฟพื้นผิวตอบสนองที่กำหนดค่าของอัตราการไหลของอากาศ 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมงดังแสดงในรูปที่ 4.10 จากกราฟพื้นผิวตอบสนองจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของอากาศและอัตราส่วนความชื้นไม่ค่อยส่งผลต่อความดันตกคร่อม สังเกตได้จากค่าความดันตกคร่อมที่ไม่ต่างกันมากจากกราฟ



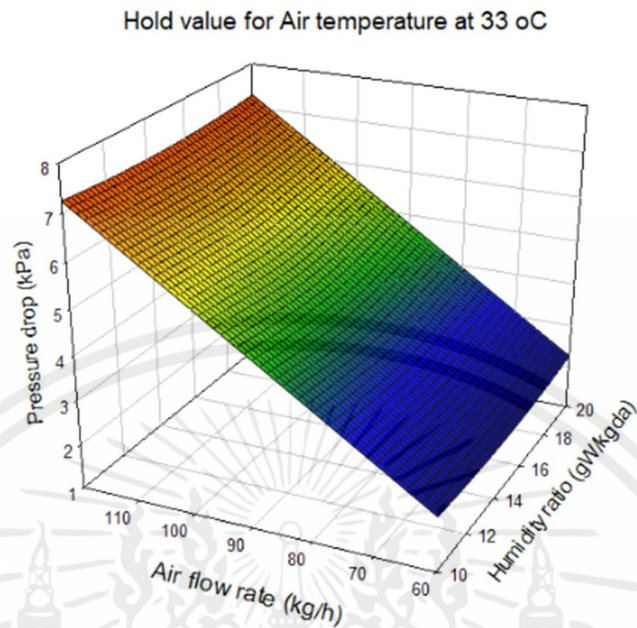
รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ที่แสดงผลระหว่างความดันตกคร่อมเทียบกับอุณหภูมิและอัตราส่วนความชื้น ที่ค่าอัตราการไหล 90 kg/h

ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของอากาศ และอัตราส่วนความชื้นที่มีผลต่อความดันตกคร่อมแสดงได้ในกราฟพื้นผิวตอบสนองที่กำหนดค่าของอัตราส่วนความชื้น 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง ดังแสดงในรูปที่ 4.11 จากกราฟพื้นผิวตอบสนองจะเห็นได้ว่า ความดันตกคร่อมจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอากาศสังเกตได้จากความชันของกราฟ ที่อัตราการไหลของอากาศ 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะเห็นได้ว่าช่วงของอุณหภูมิของอากาศจะมีค่าความดันตกคร่อมที่ใกล้เคียงกันมาก จึงสรุปได้ว่าอุณหภูมิของอากาศไม่ส่งผลต่อความดันตกคร่อม



รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ที่แสดงผลระหว่างความดันตกคร่อมเทียบกับอุณหภูมิและอัตราการไหล ที่ค่าอัตราส่วนความชื้น 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง

ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของอากาศ และอัตราส่วนความชื้นที่มีผลต่อความดันตกคร่อมแสดงได้ในกราฟพื้นผิวตอบสนองที่กำหนดค่าของอุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.6 จากกราฟพื้นผิวตอบสนองจะเห็นได้ว่า ความดันตกคร่อมจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอากาศสังเกตได้จากความชันของกราฟ ที่อัตราการไหลของอากาศ 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะเห็นได้ว่าช่วงของอัตราส่วนความชื้นจะมีค่าความดันตกคร่อมที่ใกล้เคียงกันมาก จึงสรุปได้ว่าอัตราส่วนความชื้นไม่ส่งผลต่อความดันตกคร่อม



รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ที่แสดงผลระหว่างความดันตกคร่อมเทียบกับอัตราส่วนความชื้นและอัตราการไหลของอากาศ ที่ค่าอุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส

ทดลองจะสามารถหาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกคร่อมต่ออัตราการไหลของโมเลกุลาร์ซีฟ ได้ดังนี้

$$P = -3.061 + 0.08449M$$

โดยที่ P = ความดันตกคร่อม หน่วย KPa

M = อัตราการไหล หน่วย Kg/h

ค่าความแม่นยำและเที่ยงตรงของสมการทางสถิติสามารถแสดงได้ ดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ค่าความแม่นยำและเที่ยงตรงของสมการที่ได้จากการทดลองในการคำนวณความดันตกคร่อมของโมเลกุลลาร์ซีฟ

Summary	
R	0.993
R ²	0.987
R ² adjusted	0.986
Standard Error	0.161
# Points	18
PRESS	0.50
R ² for Prediction	0.984
Durbin-Watson d	2.034
First Order Autocorrelation	-0.041
Collinearity	1.000
Coefficient of Variation	3.541
Precision Index	87.036

สมการที่ได้จากการวิเคราะห์ แบบRSM ของโมเลกุลลาร์ซีฟ จากค่า P-Value ที่แสดงในตารางที่ 4.15 พบว่าอัตราการไหลมีนัยสำคัญต่อความดันตกคร่อมมาก อัตราส่วนความชื้น และอุณหภูมิของอากาศไม่มีผลต่อความดันตกคร่อม ดังแสดงในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ค่า P-Value ของสมการที่ได้จากการทดลองในการคำนวณความดันตกคร่อมของโมเลกุลลาร์ซีฟ

		P value
b0 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของค่าคงที่	-3.061	2.6293E-10
b1 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหล	0.08449	1.64582E-16

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่ออัตราการดูดซับและความดันตกคร่อมของสารดูดความชื้น ซิลิกาเจล และโมเลกุลลาร์ซีฟ ตัวแปรที่ศึกษาคืออุณหภูมิของอากาศในช่วง 25 ถึง 40 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้นในช่วง 10 ถึง 20 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล ในช่วง 60 ถึง 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ได้ผลสรุปไว้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อการดูดซับความชื้นในอากาศ ที่อุณหภูมิ 25 ถึง 40 องศาเซลเซียส ความชื้น 10 ถึง 20 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และอัตราการไหล 60 ถึง 120 พบว่าในส่วนของซิลิกาเจล ตัวแปรที่มีผลต่อการดูดซับความชื้นมากที่สุดคือ อุณหภูมิของอากาศ และอัตราการไหล รองลงมาคืออัตราส่วนความชื้น ในตัวซิลิกาเจล จากการทดลองที่อุณหภูมิของอากาศ 25 และ 40 องศาเซลเซียส ทดลองที่อัตราส่วนความชื้น และอัตราการไหลของอากาศเท่ากัน ที่อุณหภูมิของอากาศ 25 องศาเซลเซียส จะมีค่าอัตราการดูดซับอยู่ที่ 254.9 กรัมต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิของอากาศ 40 องศาเซลเซียส จะมีอัตราการดูดซับอยู่ที่ 126.9 กรัมต่อชั่วโมง ซิลิกาเจลจะดูดซับได้ดีในช่วงอุณหภูมิต่ำ การเพิ่มอัตราการไหลจะส่งผลให้ดูดซับความชื้นได้มากขึ้นจากการทดลองที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนความชื้น 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง อัตราการไหลของอากาศ 60 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะมีอัตราการดูดซับอยู่ที่ 85.7 กรัมต่อชั่วโมง อัตราการไหลของอากาศ 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะมีอัตราการดูดซับอยู่ที่ 263.1 กรัมต่อชั่วโมง ส่วนของโมเลกุลลาร์ซีฟ ตัวแปรที่มีผลต่อการดูดซับความชื้นมากที่สุดคือ อัตราส่วนความชื้น และอัตราการไหล รองลงมาคืออุณหภูมิของอากาศ จากการทดลองที่อุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศเท่ากัน ที่อัตราส่วนความชื้น 10 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง จะมีอัตราการดูดซับอยู่ที่ 141.8 กรัมต่อชั่วโมง ที่อัตราส่วนความชื้น 20 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง จะมีอัตราการดูดซับอยู่ที่ 116 กรัมต่อชั่วโมง โมเลกุลลาร์ซีฟจะดูดความชื้นได้ดีในช่วงอัตราส่วนความชื้นต่ำ การเพิ่มอัตราการไหลจะส่งผลให้ดูดซับความชื้นได้มากขึ้น ส่วนอุณหภูมิของอากาศไม่ค่อยส่งผลต่ออัตราการดูดซับ จากที่ได้วิเคราะห์ผลของการทดลองแสดงให้เห็นว่าซิลิกาเจลเหมาะกับการใช้งานในช่วงอุณหภูมิต่ำ ๆ โมเลกุลลาร์ซีฟ เหมาะกับการใช้งานในช่วงอุณหภูมิสูง และอัตราส่วนความชื้นที่ต่ำ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การบันทึกผลการทดลอง ควรบันทึกผลให้มีช่วงของการบันทึกถี่ขึ้น เพื่อจะได้ผลที่ละเอียดและชัดเจนมากขึ้น

5.2.2 ควรปรับความชื้นภายนอกให้ใกล้เคียงกับความชื้นที่กำหนดไว้ เพื่อเวลาทำการทดลอง จะทำให้สามารถควบคุมความชื้นได้ง่ายขึ้น



เอกสารอ้างอิง

- [1] Muhammad Sultan, Ibrahim I El-Sharkawy, Takahiko Miyazaki, Takahiko Miyazaki, Bidyut Baran Saha. (2015). **An overview of solid desiccant dehumidification and air conditioning systems.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 46, 16-29.
- [2] Zhixiong Ding, Xiaojun Yu, Zhenxi Ma, Wei Wu., Lin Zhang, Denis Y.W. Yu, Don H.K. Cheng (2022). **On-site measurement and simulation investigation on condensation dehumidification and desiccant dehumidification in Hong Kong.** Energy and Buildings, 254, 111560.
- [3] S. Misha, S. Mat, M.H. Rus, K. Sopian. (2012). **Review of solid/liquid desiccant in the drying applications and its regeneration methods.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(7), 4686-4707.
- [4] Kishor S. Rambhad, Pramod V Walke, D.J. Tidke. (2016). **Solid desiccant dehumidification and regeneration methods—A review.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 59, 73-83.
- [5] D.C. Gao, Y. J Sun, Z. Ma, H. Ren. (2021). **A review on integration and design of desiccant air-conditioning systems for overall performance improvements.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 141, 110809.
- [6] Handbook-Fundamentals, ASHRAE. (2005). **Sorbents and desiccants.** Refrigeration and airconditioning engineers, inc. Atlanta, GA: American Society of Heating.
- [7] ชัยยศ ตั้งสถิตย์กุลชัย, (2554). **บทที่ 1 บทนำ.** กระบวนการสารดูดซับ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [8] SK.Yeboah, J. Darkwa. (2016). **A critical review of thermal enhancement of packed beds for water vapour adsorption.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 58, 1500-1520.
- [9] A.E. Kabeel. (2009). **Adsorption-desorption operations of multilayer desiccant packed bed for dehumidification applications.** Renewable Energy, 34(1), 255-265.

- [10] กำธร สุขทรัพย์. (2557). **เครื่องดูดความชื้นแบบเคลื่อนที่ได้สำหรับพิพิธภัณฑ์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [11] M.M. Awad, A. Ramzy K, A.M. Hamed, M.M. Bekheit. (2008). **Theoretical and experimental investigation on the radial flow desiccant dehumidification bed**. Applied Thermal Engineering, 28(1), 75-85.
- [12] M. Fatouh, Talaat Ibrahim, A. Mostafa. (2009). **Experimental investigation on a solid desiccant system integrated with a R407C compression air conditioner**. Energy conversion and management, 50(10), 2670-2679.
- [13] Ahmed Ramzy, Ravikiran Kadoli, Ashok Babu T.P. (2013). **Experimental and theoretical investigations on the cyclic operation of TSA cycle for air dehumidification using packed beds of silica gel particles**. Energy, 56, 8-24.
- [14] V Sureshkannan , T.V Arjunan , D Seenivasan, S.P. Anbuudayasankar, M Arulraj, (2021). **Parametric study on pressure-based packed bed adsorption system for air dehumidification**. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering, 235(5), 1351-1362.
- [15] Ali Alahmer , Sameh Alsaqoor , Gabriel Borowski , (2019). **Effect of parameters on moisture removal capacity in the desiccant cooling systems**. Case Studies in Thermal Engineering, 13, 100364.
- [16] Boutheina Zallama , Leila Zili Ghedira , Sassi Ben Nasrallah. (2020). **Performance of a new desiccant bed using phase change material**. In MATEC Web of Conferences (Vol. 330, p. 01015). EDP Sciences.
- [17] Sankha Bhattachary. (2021). **Central composite design for response surface methodology and its application in pharmacy**. In Response surface methodology in engineering science. IntechOpen.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

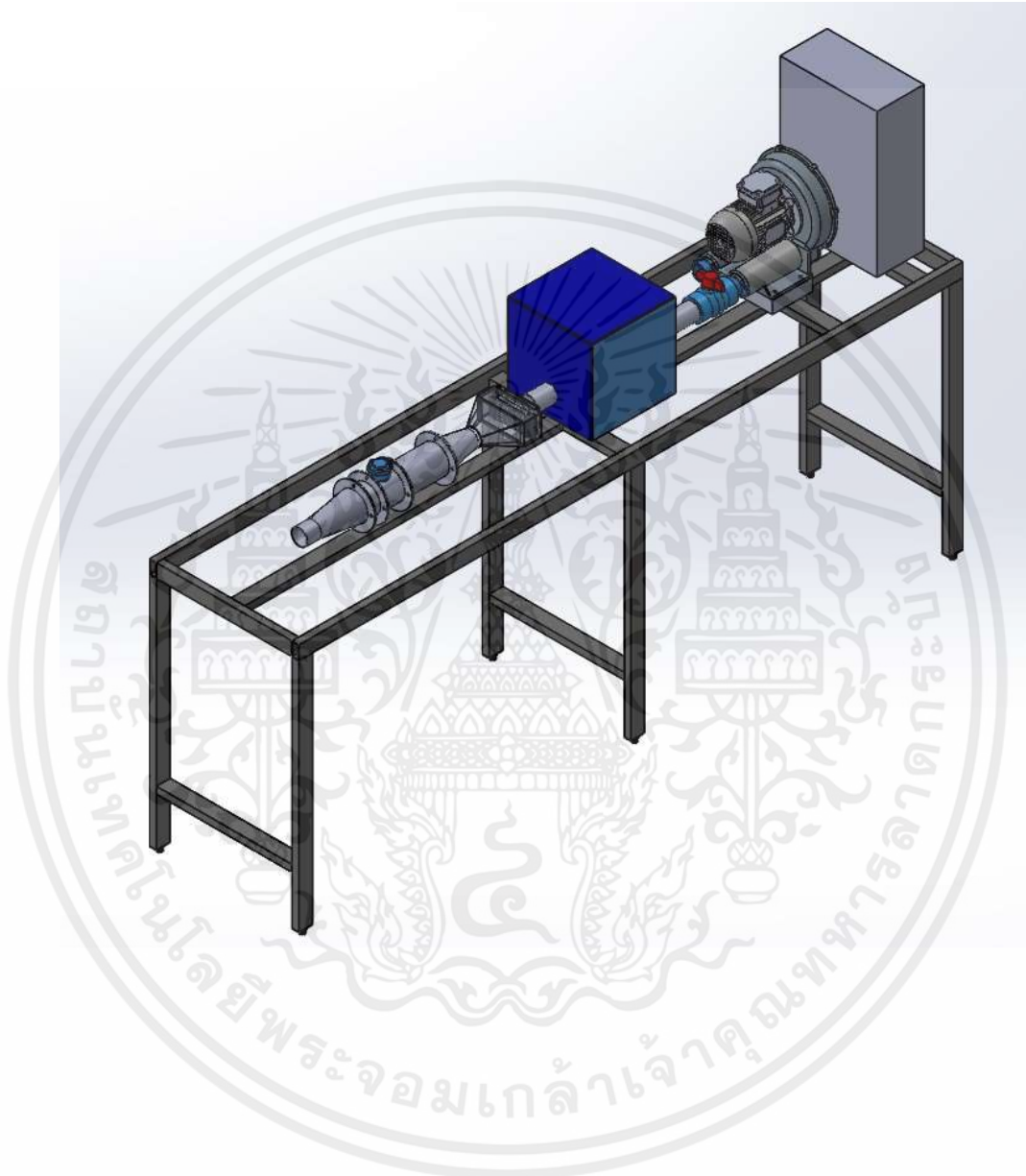


ภาคผนวก ก

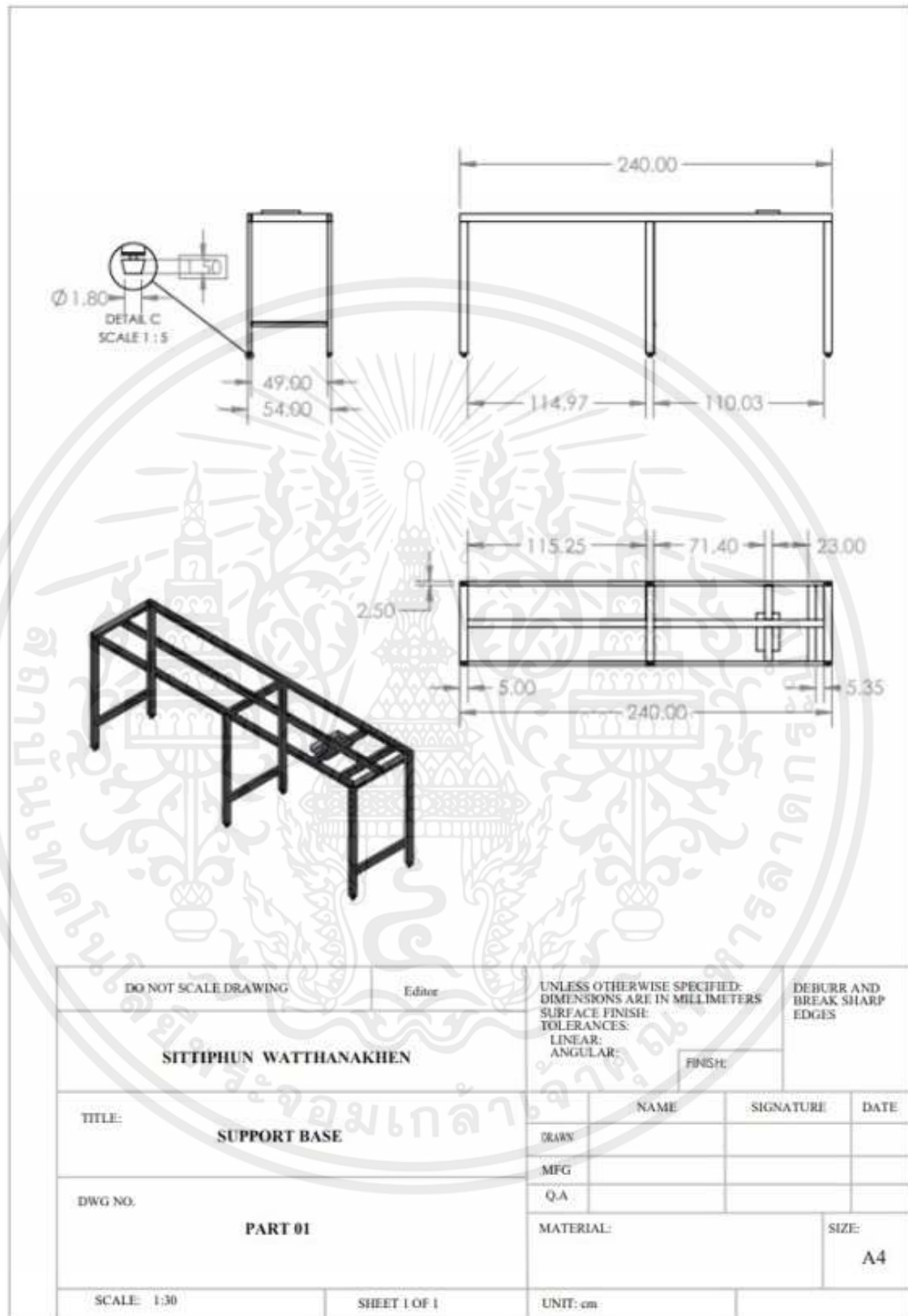
แบบขึ้นส่วนชุดทดลองการลดความชื้นด้วยสารดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

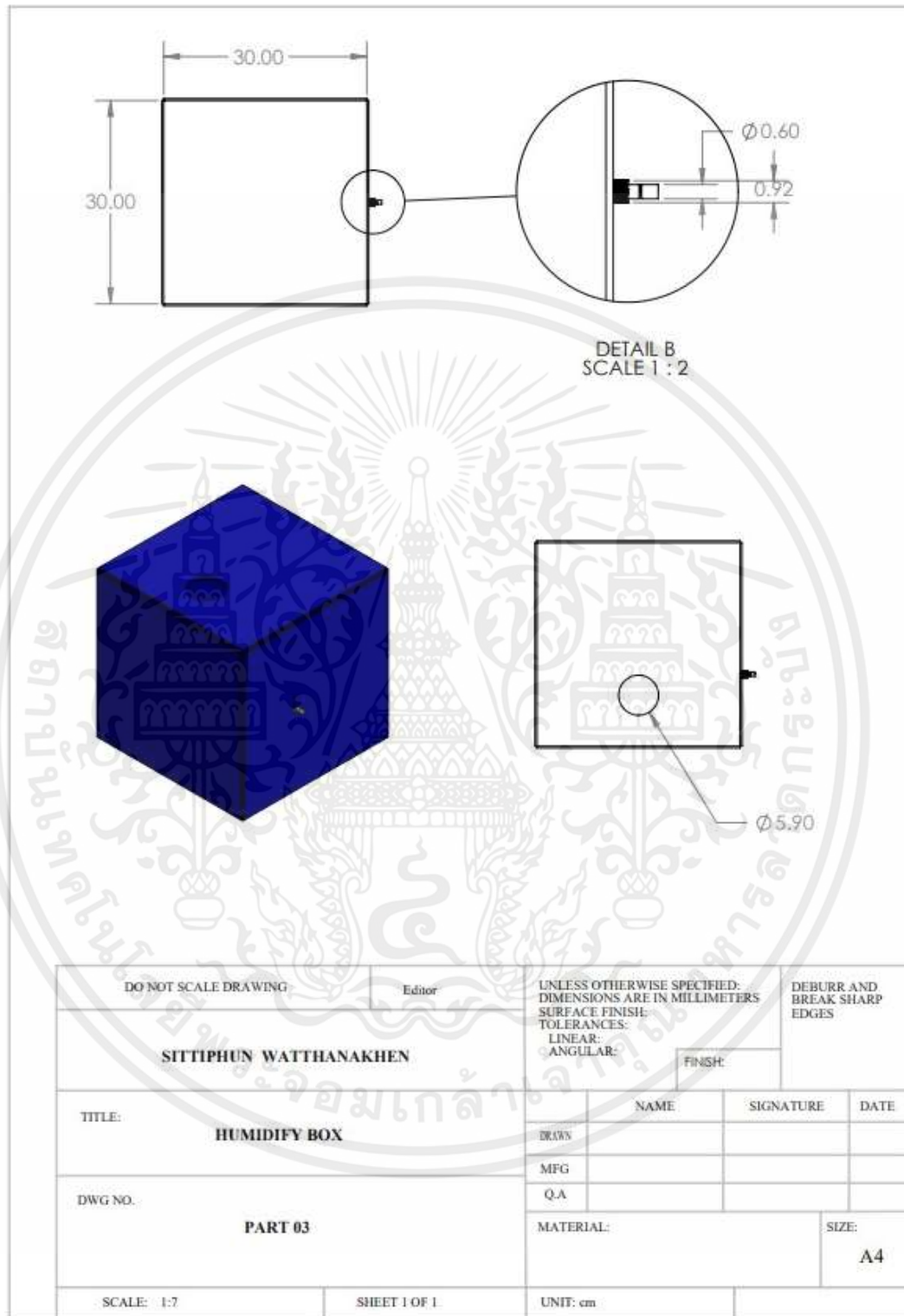
ชุดทดสอบลดความชื้นในอากาศ



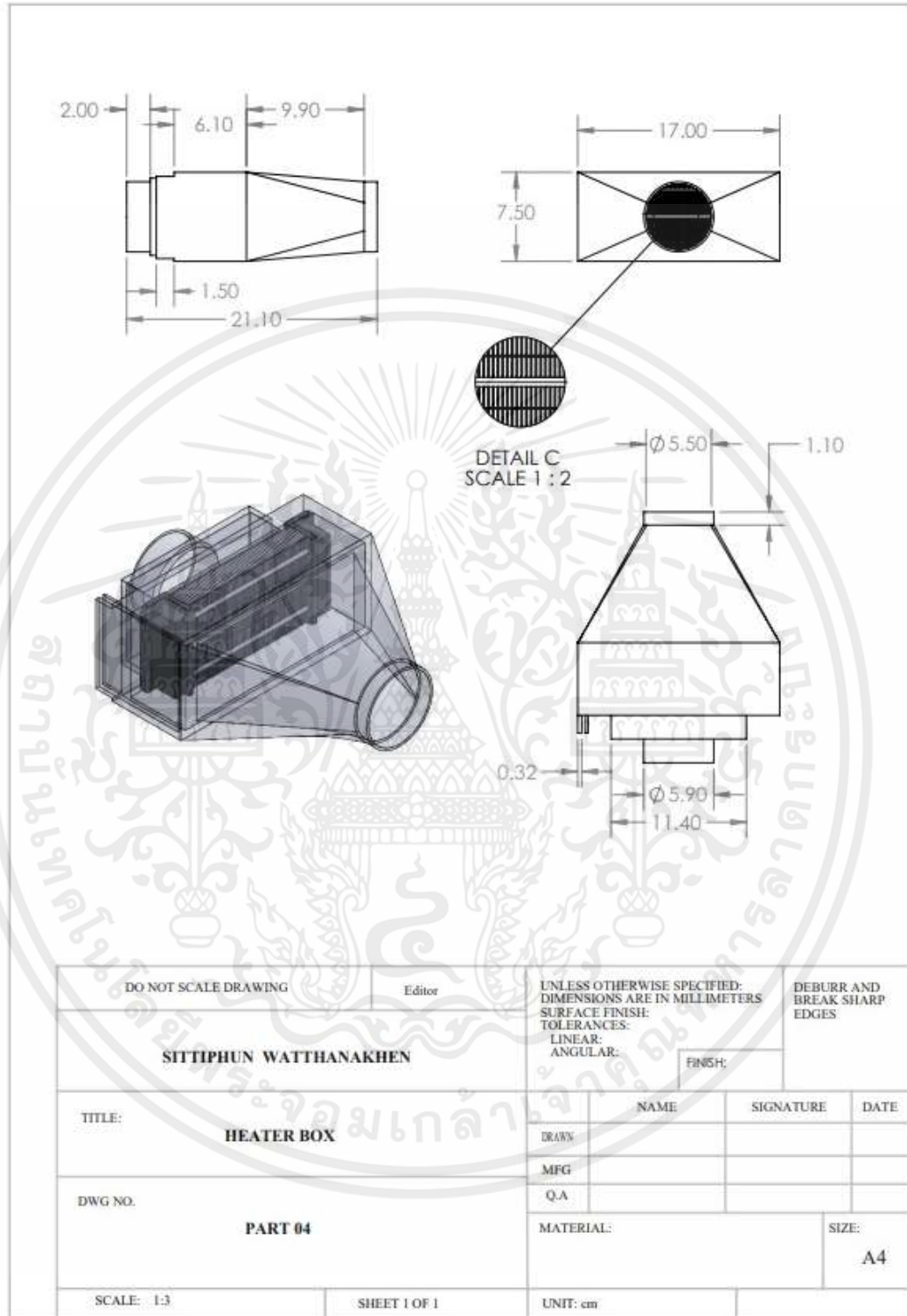
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



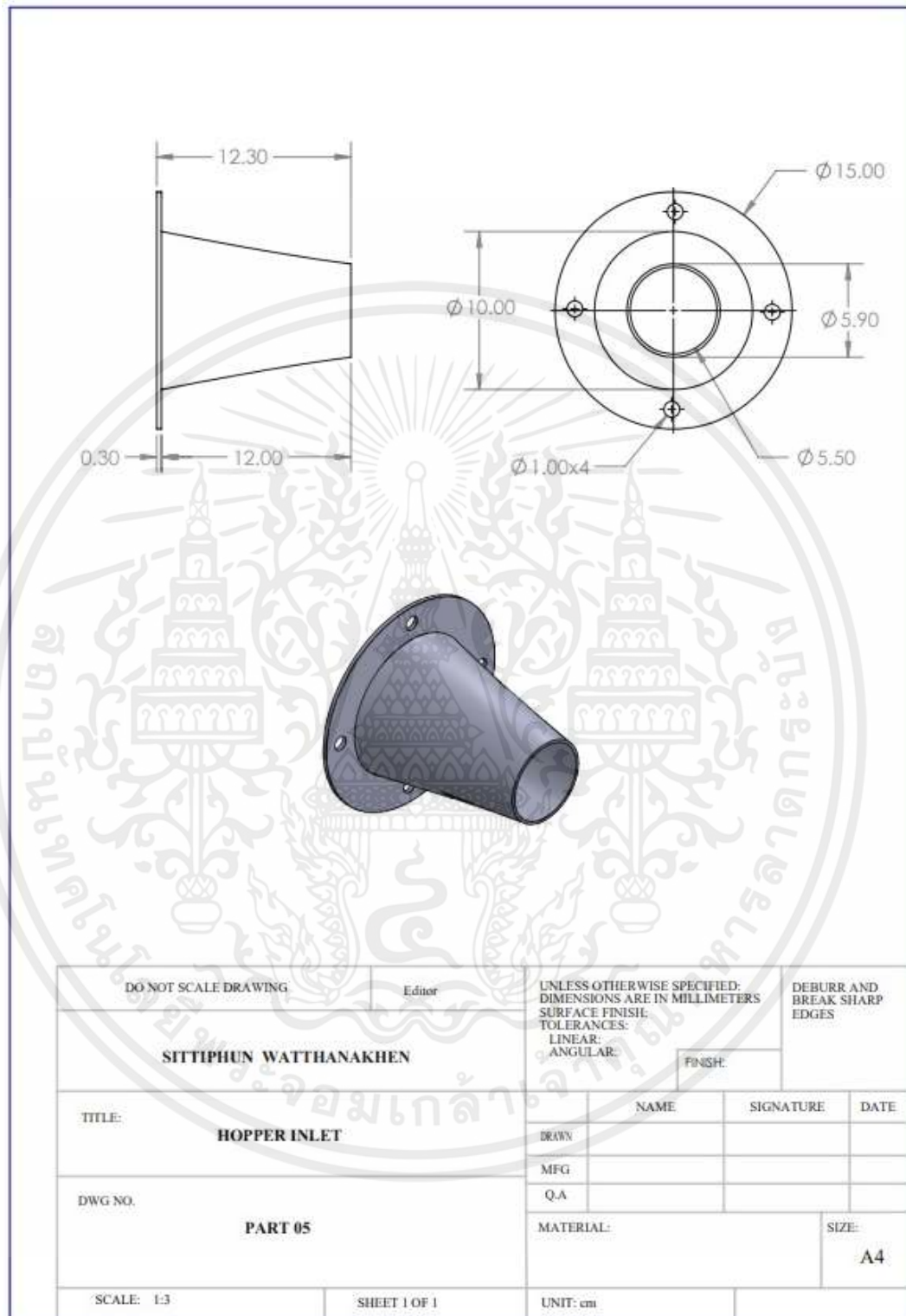
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



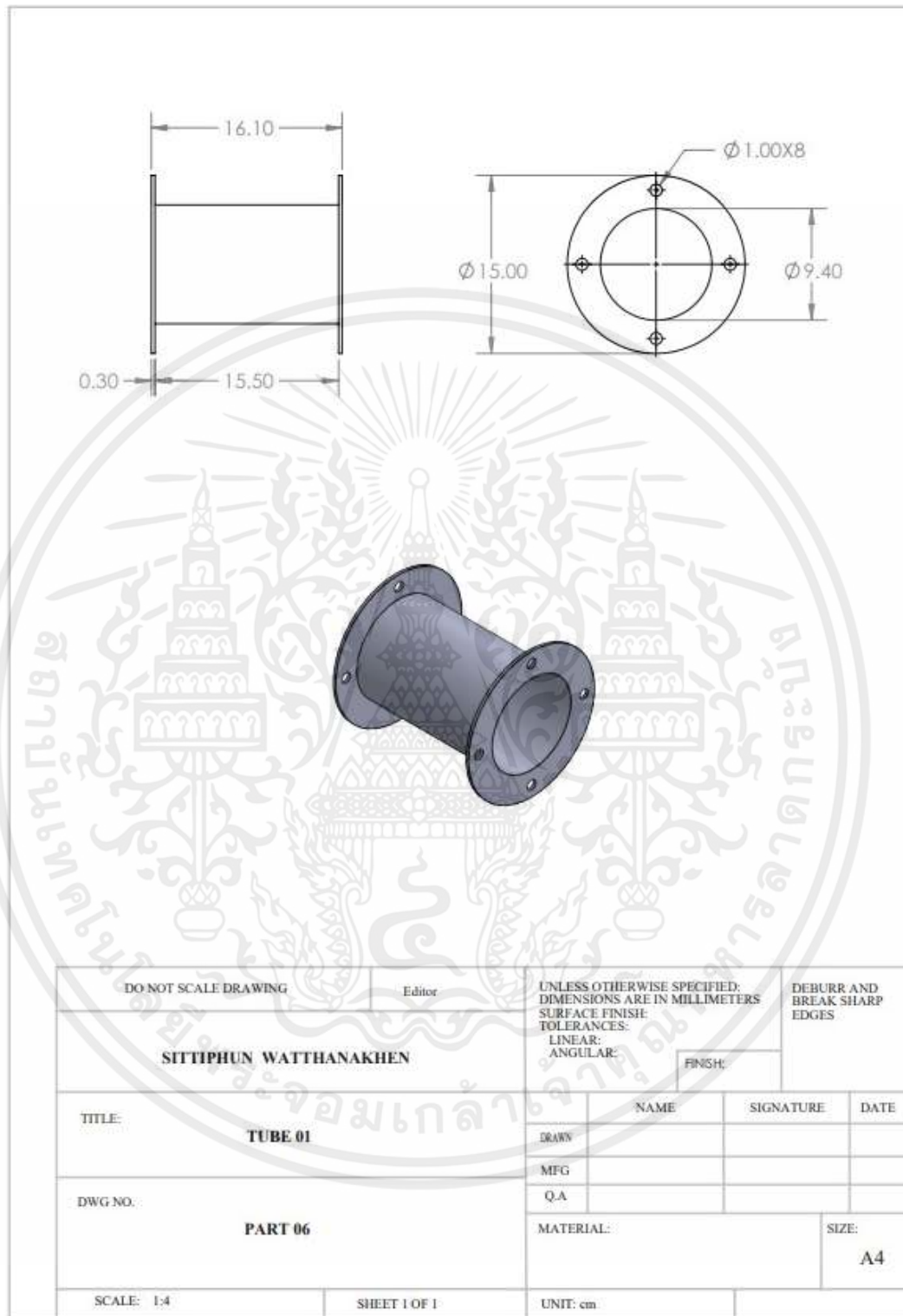
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



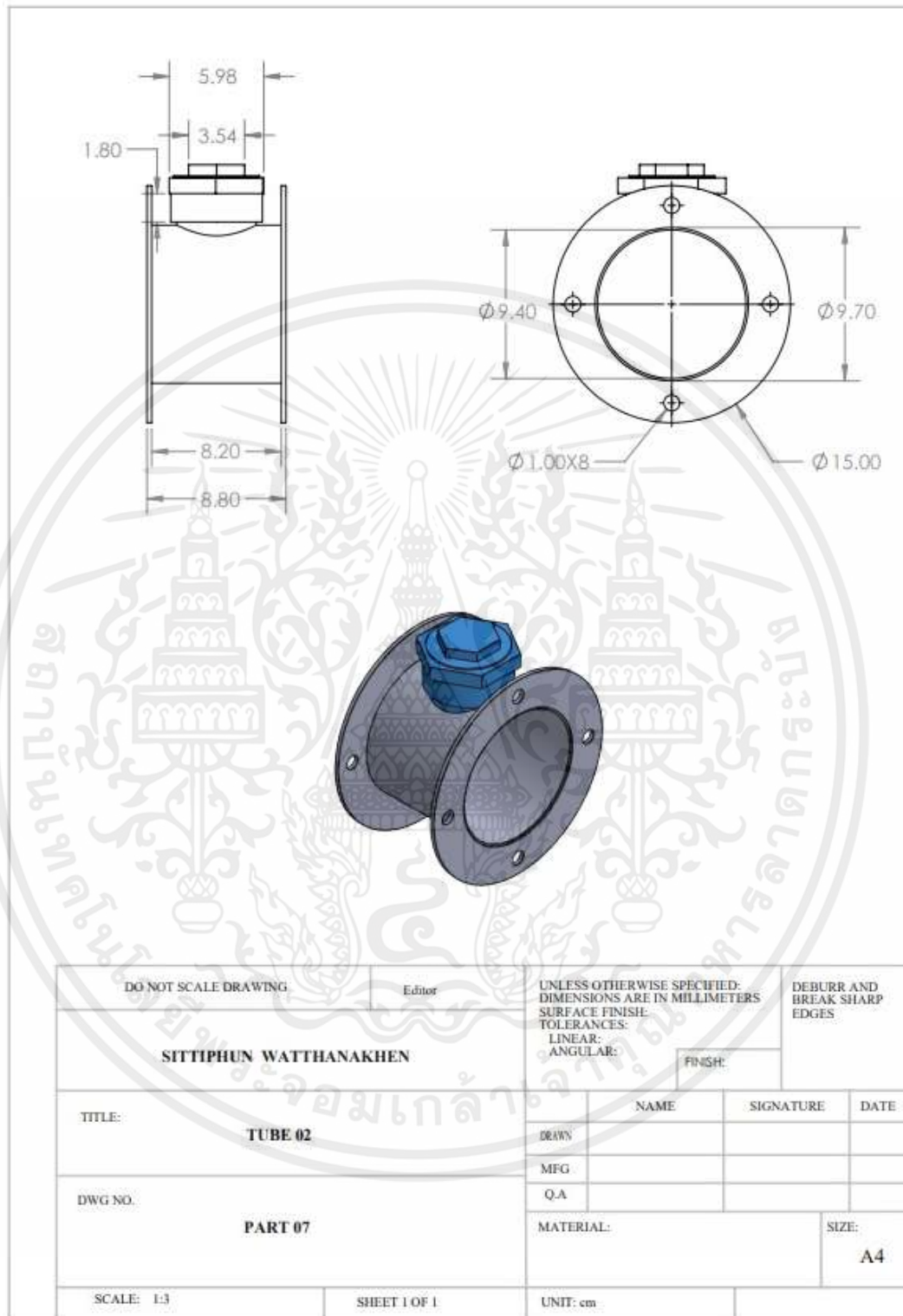
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



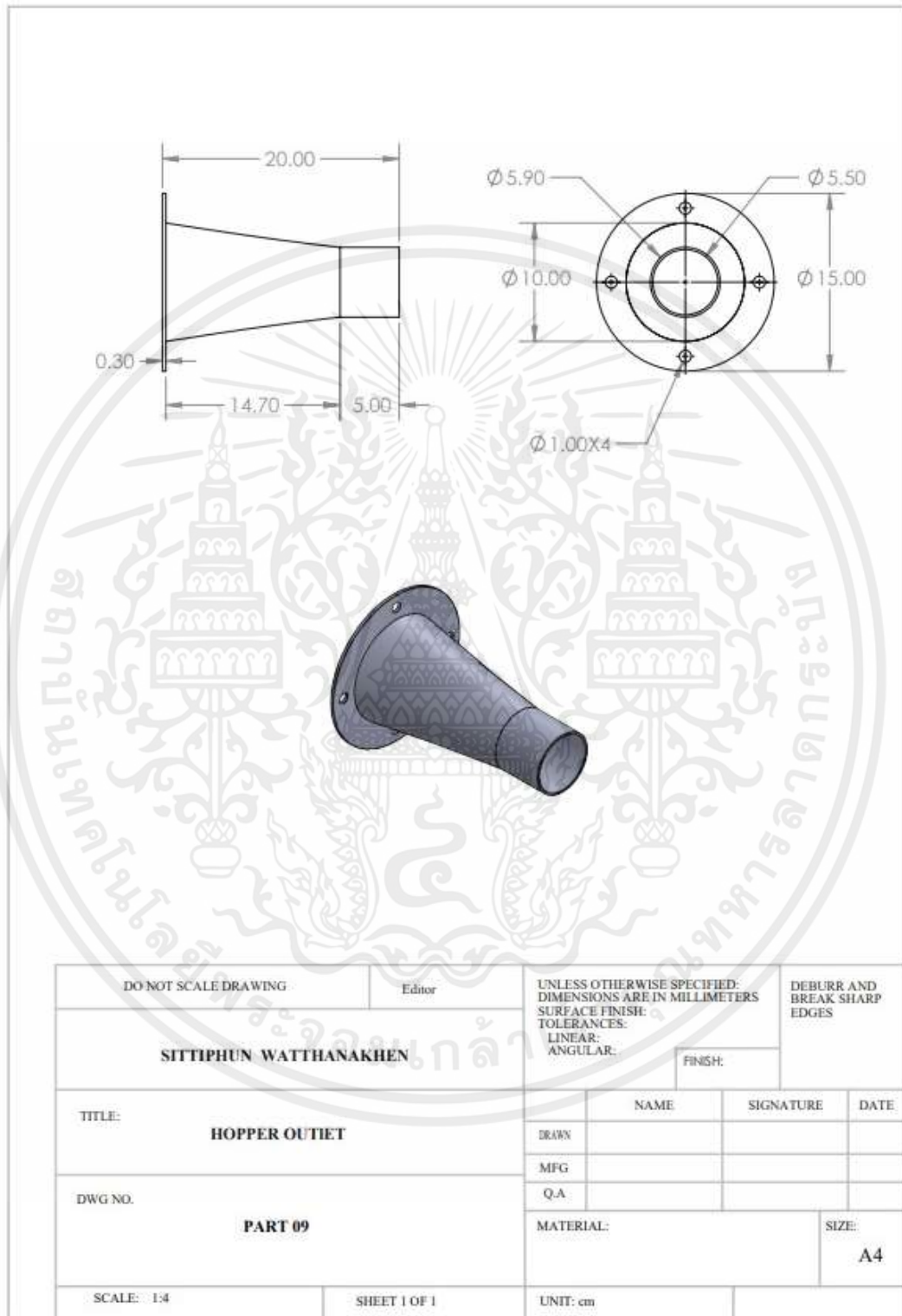
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



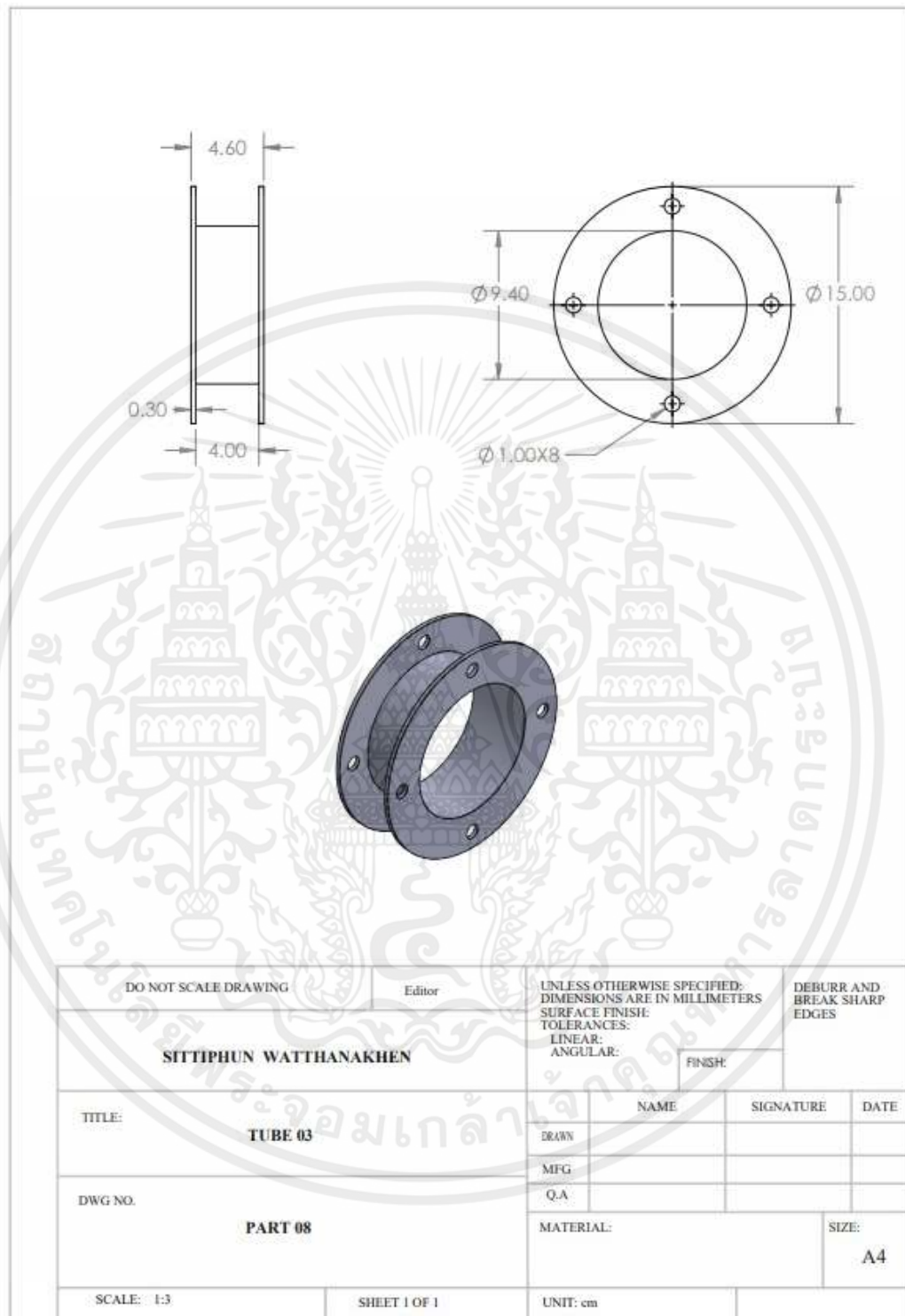
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 การทดลองที่ 1 ของซิลิกาเจล ทดลองที่ อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส อัตราส่วน ความชื้น 12 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 72 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No	T _{inlet} (°C)	Rh _{inlet} (%)	T _{outlet} (°C)	Rh _{outlet} (%)	P (Kpa)	ΔW (g _w /kg _{sda})	R _{adsorp} (g _w /h)	Tout/Tin (-)
1	27.5	52.2	48.1	12.3	2.86	3.40	244.8	1.75
2	27.7	52.3	44.5	15.4	2.9	3.20	230.4	1.61
3	27.9	51	42.4	17.7	2.88	2.76	198.5	1.52
4	27.8	52.3	40.5	19.8	2.9	2.88	207.6	1.46
5	28.1	51.3	39	22.3	2.37	2.48	178.9	1.39
6	28.1	51.2	38.5	23	2.42	2.42	174.3	1.37
7	27.8	52.4	37.5	24.3	2.52	2.48	178.8	1.35
8	27.5	52.1	37	25.6	2.47	1.94	140.0	1.35
9	27.7	52.4	36.4	26.8	2.6	2.03	145.9	1.31
10	27.8	51.7	35.5	28.6	2.69	1.77	127.4	1.28
11	27.8	52.4	35.1	29.6	2.7	1.81	130.1	1.26
12	28.4	51	34.6	30.4	2.71	1.92	137.9	1.22
13	27.8	52.1	34.2	31.8	2.75	1.50	108.0	1.23
14	27.9	51.5	33.7	33	2.7	1.33	95.7	1.21
15	28.5	51.5	33.2	35.1	2.83	1.39	100.2	1.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 การทดลองที่ 2 ของซิลิกาเจล ทดลองที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้น 12 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 72 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No	T _{inlet} (°C)	Rh _{inlet} (%)	T _{outlet} (°C)	Rh _{outlet} (%)	P (kPa)	ΔW (g _w /kg _{da})	R _{adsorp} (g _w /h)	T _{out} /T _{in} (-)
1	37.6	31	50.1	13.1	2.42	2.5	176.8	1.33
2	37.1	31.5	48.7	14.3	2.82	2.1	153.1	1.31
3	36.9	31.6	46.8	15.7	2.59	2.1	147.9	1.27
4	37.3	31.2	45.6	17.3	2.71	1.8	128.6	1.22
5	37.2	30.6	44.4	18.9	2.74	1.2	84.9	1.19
6	37.2	31.2	43.6	19.4	2.76	1.6	114.6	1.17
7	36.5	31.5	42.4	20.9	2.81	1.1	79.5	1.16
8	37.2	31.1	41.7	21.9	2.72	1.3	94.2	1.12
9	37.3	31.2	41.5	22.2	2.65	1.4	99.6	1.11
10	36.9	31.2	41.3	22.5	2.53	1.1	77.6	1.12
11	36.7	31.4	41.1	23.3	2.6	0.7	53.4	1.12
12	37.1	31.1	40.6	23.6	2.63	1.1	75.7	1.09
13	36.7	31.9	40.5	24.4	2.69	0.8	55.5	1.10
14	37.2	31.9	40.2	24.7	2.54	1.2	83.7	1.08
15	37.3	30.7	40	25	2.63	0.7	52.4	1.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 การทดลองที่ 3 ของซิลิกาเจล ทดลองที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้น 18 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 72 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No	T _{inlet} (°C)	Rh _{inlet} (%)	T _{outlet} (°C)	Rh _{outlet} (%)	P (kPa)	ΔW (g _w /kg _{da})	R _{adsorp} (g _w /h)	T _{out} /T _{in} (-)
1	28	76.1	53.3	15.6	2.32	4.0	285.3	1.90
2	28.1	76	52.4	17.3	2.49	3.2	226.9	1.86
3	28.4	73.6	49	19.7	2.37	3.5	248.8	1.73
4	28.4	72.9	46.6	22.2	2.57	3.3	237.7	1.64
5	28	76.2	44.9	25.3	2.34	3.0	217.8	1.60
6	28.4	76.7	43.7	26.1	2.43	4.1	292.7	1.54
7	28.4	76.3	42	28	2.44	4.2	305.4	1.48
8	29.2	70	41.7	29.7	2.39	2.8	204.4	1.43
9	27.7	77	40.9	31.5	2.33	2.7	196.7	1.48
10	27.7	77.2	40.1	32.5	2.33	3.0	212.8	1.45
11	27.8	77.1	39.6	35	2.36	2.3	164.5	1.42
12	28.3	78.2	39.2	38.5	2.53	1.9	134.0	1.39
13	28.5	78.4	38.4	39.4	2.51	2.5	179.2	1.35
14	27.4	78	37.7	40.8	2.44	1.2	87.1	1.38
15	28.1	76.7	36.5	42.8	2.46	2.0	141.1	1.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 การทดลองที่ 4 ของซิลิกาเจล ทดลองที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้น 18 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 72 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No	T _{inlet} (°C)	Rh _{inlet} (%)	T _{outlet} (°C)	Rh _{outlet} (%)	ΔP (kPa)	ΔW (g _w /kg _{da})	R _{adsorp} (g _w /h)	T _{out} /T _{in} (-)
1	36.7	46.2	54.5	14.7	2.52	3.8	275.8	1.49
2	37	45.3	54.5	15.9	2.72	2.6	185.9	1.47
3	37	45.2	50	19.8	2.79	2.5	183.5	1.35
4	37.1	45.7	50.5	19.8	2.74	2.5	177.0	1.36
5	37	46.3	49.2	20.8	2.79	2.8	205.0	1.33
6	36.9	46.5	47.7	22.6	2.8	2.7	194.6	1.29
7	36.5	46.6	46.4	24.4	2.79	2.2	155.5	1.27
8	36.9	45.2	45.6	24.5	2.82	2.6	186.2	1.24
9	37	45.5	45	26.7	2.78	1.9	138.3	1.22
10	37.1	45.3	44.1	27.7	2.84	2.1	151.2	1.19
11	36.9	45.5	43.9	28.8	2.79	1.5	108.3	1.19
12	36.9	45.5	43.2	29.8	2.8	1.5	111.0	1.17
13	36.7	46.4	43.4	31.5	2.83	0.6	39.8	1.18
14	37.1	45.5	42.7	32.1	2.86	0.9	65.6	1.15
15	36.7	46.6	42	32.9	2.81	1.2	83.7	1.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 การทดลองที่ 5 ของซิลิกาเจล ทดลองที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้น 12 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 108 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No	T _{inlet} (°C)	Rh _{inlet} (%)	T _{outlet} (°C)	Rh _{outlet} (%)	P (kPa)	ΔW (g _w /kg _{da})	R _{adsorp} (g _w /h)	Tout/Tin (-)
1	28.1	51	44.7	14.7	5.08	3.5	378.0	1.59
2	28	51.9	42	17.7	5.12	3.2	349.9	1.50
3	28.1	52.1	40.1	20.7	5.17	2.8	305.9	1.43
4	28.1	52.1	38.7	22.7	5.18	2.7	287.6	1.38
5	28.1	52.3	37.7	25.3	5.29	2.2	233.0	1.34
6	28.1	52.6	36.8	27.2	5.11	2.0	214.0	1.31
7	28.2	52.2	35.7	28.3	5.05	2.2	235.2	1.27
8	28.3	52.1	34.7	29.9	5.05	2.2	240.8	1.23
9	28	52.2	33.6	31.1	5.08	2.3	244.0	1.20
10	27.9	50.9	33.1	32.9	5.1	1.6	170.6	1.19
11	27.8	51.9	32.4	34.4	5.1	1.7	182.7	1.17
12	27.8	51.8	32.2	35.4	5.12	1.5	160.0	1.16
13	28	51.3	31.9	36.3	5.14	1.4	153.1	1.14
14	28.1	51	31.4	37.3	5.13	1.4	154.4	1.12
15	28	51.2	31.1	37.4	5.1	1.6	168.7	1.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 การทดลองที่ 6 ของซิลิกาเจล ทดลองที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้น 12 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 108 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No	T _{inlet} (°C)	Rh _{inlet} (%)	T _{outlet} (°C)	Rh _{outlet} (%)	P (kPa)	ΔW (g _w /kg _{da})	R _{adsorp} (g _w /h)	Tout/Tin (-)
1	36.5	32.2	47.5	14.1	4.77	2.7	296.3	1.30
2	36.6	32	45.3	16.5	4.98	2.3	246.7	1.24
3	37.2	31	45.1	18.1	5.18	1.4	153.5	1.21
4	37	31.2	44.3	19	5.21	1.3	138.7	1.20
5	37	31	43.2	19.8	5.29	1.4	149.0	1.17
6	37.3	31.6	42.6	21.1	5.32	1.5	158.5	1.14
7	36.9	31.1	41.7	21.5	5.33	1.3	141.4	1.13
8	36.7	32	41.2	22.1	5.14	1.5	163.9	1.12
9	37	31.2	40.5	24	5.24	0.9	96.3	1.09
10	37.4	31.1	40.5	23.7	5.16	1.3	137.2	1.08
11	36.8	31.8	40.5	24.5	5.26	0.8	81.2	1.10
12	37	31.1	40	24.8	5.3	0.8	84.2	1.08
13	36.8	32.1	39.6	25	5.3	1.2	129.1	1.08
14	37	31	39.5	26.1	5.33	0.5	48.8	1.07
15	36.7	32.3	39.3	26	5.13	0.9	101.0	1.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 การทดลองที่ 7 ของซิลิกาเจล ทดลองที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้น 18 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 108 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No	T _{inlet} (°C)	Rh _{inlet} (%)	T _{outlet} (°C)	Rh _{outlet} (%)	ΔP (kPa)	ΔW (g _w /kg _{da})	R _{adsorp} (g _w /h)	Tout/Tin (-)
1	28.2	73	48.4	20.4	4.97	3.0	326.1	1.72
2	28.5	73	46.8	22.7	5.09	2.9	317.9	1.64
3	29.8	68	43.8	26.4	5.11	3.1	331.1	1.47
4	29.7	68.6	42.4	27.8	5.13	3.4	372.0	1.43
5	29	70	40.8	30.1	5.08	3.1	339.7	1.41
6	28.8	70.6	39.8	33.4	5.13	2.3	249.7	1.38
7	28.2	75.3	39	34.9	5.23	2.8	306.8	1.38
8	28.1	75.8	37.7	36.9	5.21	3.1	332.8	1.34
9	27.8	77.2	36.8	39.4	5.2	2.8	306.4	1.32
10	28.2	76.6	35.8	41	5.22	3.4	363.4	1.27
11	27.6	78	35.2	43.7	5.25	2.6	276.6	1.28
12	28	76.3	34	47.9	5.24	2.2	235.0	1.21
13	28	76.1	33.3	50.9	5.22	1.8	190.7	1.19
14	28	76.1	32.4	56.4	5.24	0.9	93.4	1.16
15	28	76.3	30.8	58.9	5.28	1.7	187.6	1.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.8 การทดลองที่ 8 ของซิลิกาเจล ทดลองที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้น 18 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 108 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No	T _{inlet} (°C)	Rh _{inlet} (%)	T _{outlet} (°C)	Rh _{outlet} (%)	P (kPa)	ΔW (g _w /kg _{da})	R _{adsorp} (g _w /h)	Tout/Tin (-)
1	36.5	46.7	53.1	16.2	5.42	3.4	366.4	1.45
2	37.5	44.9	50.2	19.6	5.48	2.9	317.0	1.34
3	37.2	45.2	47.9	21.8	5.44	2.9	311.9	1.29
4	37.1	45.9	46.4	24.7	5.46	2.3	247.3	1.25
5	37	45	45.3	25.7	5.43	2.1	225.6	1.22
6	36.6	46.3	44	27.4	5.37	2.3	244.0	1.20
7	36.8	44.1	43.4	29.2	5.41	1.0	112.7	1.18
8	37	46	42.2	29.9	5.44	2.7	286.2	1.14
9	36.9	45.5	42	31.4	5.43	1.7	185.5	1.14
10	36.8	46.1	41	32.2	5.47	2.3	249.7	1.11
11	36.9	45.9	40.4	32.9	5.48	2.5	269.9	1.09
12	36.7	45.2	39.4	35	5.5	1.9	202.9	1.07
13	37	45.6	39.7	36.2	5.47	1.5	163.7	1.07
14	36.9	46.4	39.6	36.4	5.56	1.7	187.6	1.07
15	36.8	46.7	39.3	37	5.53	1.8	189.1	1.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.9 การทดลองที่ 9 ของซิลิกาเจล ทดลองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้น 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No	T _{inlet} (°C)	Rh _{inlet} (%)	T _{outlet} (°C)	Rh _{outlet} (%)	P (kPa)	ΔW (g _w /kg _{sda})	R _{adsorp} (g _w /h)	Tout/Tin (-)
1	25	75.3	49.5	15	3.89	3.7	333.8	1.98
2	25.4	73.2	45.1	18.4	4.08	3.8	346.4	1.78
3	24.8	76.5	42.3	21.4	4.08	3.9	352.1	1.71
4	24.5	77.5	40.7	24.2	4.35	3.4	305.1	1.66
5	24.8	76.8	38.7	27.2	4.03	3.4	306.7	1.56
6	24.8	77.3	37.9	29	4.04	3.3	293.1	1.53
7	24.6	77.3	37.2	30.4	4.17	3.0	266.3	1.51
8	24.8	77.2	36.2	33	4.16	2.8	250.3	1.46
9	24.9	76.7	35.1	35.6	4.14	2.6	232.0	1.41
10	24.6	77.6	34.3	36.5	4.17	2.7	245.5	1.39
11	24.6	77.4	33.7	38.9	4.16	2.3	207.0	1.37
12	24.6	77.4	32.6	40.7	4.19	2.5	226.1	1.33
13	25.2	73.4	32	44	4.22	1.7	150.3	1.27
14	24.7	76.5	30.9	46.7	4.2	1.9	169.7	1.25
15	24.7	76.3	30.3	49.4	4.17	1.5	139.4	1.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.10 การทดลองที่ 10 ของซิลิกาเจล ทดลองที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส อัตราส่วน ความชื้น 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No	T _{inlet} (°C)	Rh _{inlet} (%)	T _{outlet} (°C)	Rh _{outlet} (%)	P (kPa)	ΔW (g _w /kg _{da})	R _{adsorp} (g _w /h)	Tout/Tin (-)
1	40.3	33.2	52.3	14.8	3.89	2.9	256.6	1.30
2	40.1	32.1	51.3	15.8	3.86	1.9	174.5	1.28
3	40.2	32.5	49.4	17.3	3.93	2.3	203.2	1.23
4	39.6	32.3	48.2	18.8	3.94	1.4	122.6	1.22
5	40.1	32.3	47.3	20.3	3.97	1.3	120.2	1.18
6	39.9	32.9	46.5	20.7	3.85	1.7	157.3	1.17
7	39.4	32.4	46.2	21.9	3.88	0.5	47.8	1.17
8	39.6	33	45.5	22.3	3.92	1.2	110.0	1.15
9	40.2	32.5	44.8	22.9	3.86	1.6	145.2	1.11
10	40.2	32.2	44.4	23.9	3.74	1.2	104.1	1.10
11	40.2	32.7	43.9	24.1	3.77	1.6	148.1	1.09
12	40.2	32.2	43.7	24.8	3.82	1.1	103.2	1.09
13	39.7	32.6	43.4	25.2	3.83	0.9	82.9	1.09
14	40.1	32.2	43.3	25.6	3.76	0.9	81.6	1.08
15	40	32.1	43.2	26.2	3.77	0.5	46.4	1.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.11 การทดลองที่ 11 ของซิลิกาเจล ทดลองที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส อัตราส่วน ความชื้น 10 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No	T _{inlet} (°C)	Rh _{inlet} (%)	T _{outlet} (°C)	Rh _{outlet} (%)	P (kPa)	ΔW (g _w /kg _{da})	R _{adsorp} (g _w /h)	Tout/Tin (-)
1	33	34	45.4	12.2	4.25	3.3	294.0	1.38
2	32.4	33.2	44.4	14	3.99	2.0	178.4	1.37
3	32.7	32.5	40.9	16.6	4.15	2.0	183.7	1.25
4	32.8	33.2	40.4	18.2	4.22	1.8	159.4	1.23
5	32.7	33.4	39.8	19.1	4.28	1.6	147.0	1.22
6	32.8	33.2	39.2	21.3	4.15	0.9	83.2	1.20
7	32.9	34	38.3	21.3	4.14	1.7	151.9	1.16
8	32.9	33.9	38.1	22	4.2	1.5	131.3	1.16
9	32.9	34.1	37.7	22.6	4.15	1.5	132.6	1.15
10	32.8	34	37.3	23.3	4.18	1.3	116.9	1.14
11	32.8	33.9	36.9	24.3	4.22	1.1	96.7	1.13
12	32.7	34	36.3	24.8	4.28	1.2	104.8	1.11
13	32.9	34	36.2	25.1	4.3	1.2	110.1	1.10
14	32.9	34.1	35.7	25.5	4.27	1.4	122.9	1.09
15	32.8	34.1	35.6	26.7	4.19	0.9	82.4	1.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.12 การทดลองที่ 12 ของซิลิกาเจล ทดลองที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้น 20 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No	T _{inlet} (°C)	Rh _{inlet} (%)	T _{outlet} (°C)	Rh _{outlet} (%)	P (kPa)	ΔW (g _w /kg _{da})	R _{adsorp} (g _w /h)	Tout/Tin (-)
1	32.7	64.9	53.8	18.5	4.08	3.0	270.2	1.65
2	32.4	62.9	50.2	21.8	4.06	2.2	200.4	1.55
3	33.5	60.3	49.6	22.2	3.92	2.8	254.3	1.48
4	33.1	63.7	47.8	25.7	4.08	2.5	224.1	1.44
5	33.8	62.9	46.6	27.7	3.99	2.8	251.5	1.38
6	33.4	61.1	44.2	29.4	4.05	2.9	257.4	1.32
7	32.7	63.5	43.3	31.8	4.07	2.3	205.0	1.32
8	33.2	61.4	42.5	33.8	4.11	1.8	163.0	1.28
9	32.8	63.8	41.3	35.5	3.95	2.4	215.7	1.26
10	32.9	63.4	40.5	37.7	4.08	2.1	185.0	1.23
11	32.9	63.1	39.9	38.3	4.03	2.3	203.0	1.21
12	32.8	63.5	39	40.4	4.05	2.2	195.7	1.19
13	33.3	62.1	38.6	42.1	3.97	1.9	173.5	1.16
14	32.6	64.8	38.9	43	4.02	1.3	115.4	1.19
15	33.3	63	37.9	44.4	4.06	1.9	174.5	1.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.13 การทดลองที่ 13 ของซิลิกาเจล ทดลองที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้น 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 60 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No	T _{inlet} (°C)	Rh _{inlet} (%)	T _{outlet} (°C)	Rh _{outlet} (%)	P (kPa)	ΔW (g _w /kg _{da})	R _{adsorp} (g _w /h)	Tout/Tin (-)
1	33.4	48.2	51.8	14.5	1.71	3.4	202.0	1.55
2	33.1	48.2	50.7	15.3	1.65	3.1	186.3	1.53
3	33	48.4	48.8	17.4	1.66	2.6	158.8	1.48
4	33.1	47.8	47.2	18.5	1.68	2.8	167.2	1.43
5	32.9	47.9	45.5	20.3	1.63	2.6	153.9	1.38
6	32.9	48.1	44.4	21.6	1.67	2.6	153.5	1.35
7	33.1	47.3	41.6	24.7	1.59	2.6	157.6	1.26
8	32.8	47.6	42.2	25.2	1.63	1.8	107.6	1.29
9	32.9	47.4	41.3	25.3	1.69	2.4	142.9	1.26
10	33.5	46.4	41.4	25.9	1.7	2.2	131.9	1.24
11	32.8	47.8	41	27.4	1.73	1.6	94.8	1.25
12	32.7	48.5	40.7	29.8	1.74	0.8	45.2	1.24
13	32.7	49.7	40.5	30.2	1.65	1.1	65.8	1.24
14	32.7	48.4	39.4	30.9	1.67	1.2	71.9	1.20
15	33.3	46.9	38.9	31.3	1.69	1.4	85.7	1.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.14 การทดลองที่ 14 ของซิลิกาเจล ทดลองที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส อัตราส่วน ความชื้น 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No	T _{inlet} (°C)	Rh _{inlet} (%)	T _{outlet} (°C)	Rh _{outlet} (%)	P (kPa)	ΔW (g _w /kg _{da})	R _{adsorp} (g _w /h)	Tout/Tin (-)
1	32.8	46.3	47.5	16.8	6.27	3.0	364.0	1.45
2	32.9	47.4	45.6	20	6.3	2.5	303.3	1.39
3	33	47.6	44.1	22	6.28	2.4	293.7	1.34
4	33.7	46.4	41.7	24.6	6.32	2.8	340.1	1.24
5	33	48.4	40.7	25.7	6.38	3.0	359.5	1.23
6	32.8	47.8	40	27.8	6.4	2.1	251.7	1.22
7	32.8	47.4	39.2	29.5	6.39	1.7	210.0	1.20
8	33	47.4	38.2	31.1	6.4	1.9	232.2	1.16
9	33.1	48.4	37.9	32.5	6.42	2.0	236.6	1.15
10	32.8	48.1	37.2	33.4	6.41	1.8	210.9	1.13
11	33.3	48.4	36.8	34.9	6.43	2.0	238.9	1.11
12	33.2	48	36.6	36.1	6.41	1.4	173.8	1.10
13	33.1	48.7	36	36.8	6.39	1.8	213.9	1.09
14	33.2	48.3	35.9	38.2	6.42	1.3	154.3	1.08
15	33.1	48.6	33.5	38.4	6.41	3.0	363.7	1.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.15 การทดลองที่ 15 ของซิลิกาเจล ทดลองที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส อัตราส่วน ความชื้น 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No	T _{inlet} (°C)	Rh _{inlet} (%)	T _{outlet} (°C)	Rh _{outlet} (%)	P (kPa)	ΔW (g _w /kg _{da})	R _{adsorp} (g _w /h)	Tout/Tin (-)
1	32.9	50	54.2	14.5	4.32	2.0	176.1	1.65
2	32.8	49.8	49.2	16.6	4.39	3.3	294.0	1.50
3	33.1	51	46.9	20	4.48	3.0	270.8	1.42
4	33.4	50.4	45	21.4	4.33	3.5	313.6	1.35
5	33.4	47.3	42.8	23.4	4.39	2.8	249.7	1.28
6	33.2	47	41.8	25.4	4.11	2.1	190.5	1.26
7	33.1	47.9	41	26.3	4.35	2.4	217.9	1.24
8	32.6	49	40.1	27.6	4.38	2.3	209.8	1.23
9	33	47.1	38.6	30	4.24	2.0	182.6	1.17
10	33	50	39.8	31.9	4.24	1.2	108.3	1.21
11	33.1	48.6	38.6	31.1	4.38	2.1	191.0	1.17
12	33	47	37.9	32.4	4.4	1.5	132.4	1.15
13	32.8	47.8	37.5	33.9	4.39	1.2	110.8	1.14
14	32.5	49.2	36.7	35.3	4.39	1.5	131.3	1.13
15	32.8	48.2	36.5	36.1	4.39	1.2	111.7	1.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.16 การทดลองที่ 16 ของซิลิกาเจล ทดลองที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส อัตราส่วน ความชื้น 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No	T _{inlet} (°C)	Rh _{inlet} (%)	T _{outlet} (°C)	Rh _{outlet} (%)	P (kPa)	ΔW (g _w /kg _{da})	R _{adsorp} (g _w /h)	Tout/Tin (-)
1	33.3	46.9	50.1	15.1	4.14	3.4	303.9	1.50
2	32.4	46.9	47	17.9	4.17	2.4	219.4	1.45
3	33.4	48.6	45.8	20.4	4.19	3.0	267.8	1.37
4	32.8	48.3	43.7	22.9	4.15	2.2	202.3	1.33
5	32.8	47.4	41.6	23.6	4.19	3.0	266.8	1.27
6	32.5	47.3	40.4	26.3	4.16	2.1	191.2	1.24
7	32.5	48.4	40.1	27.4	4.16	2.1	193.5	1.23
8	32.9	47.5	39.5	28.5	4.15	2.1	190.0	1.20
9	32.9	47.7	39	29.7	4.17	2.0	178.7	1.19
10	33.1	48.1	38.3	30.7	4.16	2.4	211.5	1.16
11	32.9	47.6	38.1	32.3	4.19	1.5	132.6	1.16
12	32.5	48.6	37.5	33.6	4.12	1.4	121.5	1.15
13	32.8	48.1	37.1	34.1	4.15	1.5	139.3	1.13
14	32.7	47.2	36.4	35.3	4.17	1.2	110.2	1.11
15	32.8	48.1	36.1	35.9	4.16	1.6	143.3	1.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.17 การทดลองที่ 17 ของซิลิกาเจล ทดลองที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส อัตราส่วน ความชื้น 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No	T _{inlet} (°C)	Rh _{inlet} (%)	T _{outlet} (°C)	Rh _{outlet} (%)	P (kPa)	ΔW (g _w /kg _{da})	R _{adsorp} (g _w /h)	Tout/Tin (-)
1	33.2	47.8	51.3	14.4	4.16	3.4	309.9	1.55
2	32.7	47.5	47.3	17.1	4.12	3.2	291.9	1.45
3	32.8	47.6	45.2	19.6	4.1	3.0	270.9	1.38
4	33	48.7	44.8	21.3	4.11	2.8	248.0	1.36
5	33.1	48.8	43.7	22.6	4.07	2.8	256.2	1.32
6	32.6	47.5	41.9	25.3	4.16	1.7	157.3	1.29
7	33.1	47.9	40.8	27.3	4.19	2.1	186.0	1.23
8	33	47	39.7	28	4.19	2.1	191.4	1.20
9	32.7	47.2	39	28.9	4.18	2.0	181.1	1.19
10	32.7	47.6	37.9	30	4.11	2.4	217.8	1.16
11	32.8	47.2	37.8	31.6	4.14	1.8	159.8	1.15
12	32.8	47	37.7	32.9	4.16	1.2	111.6	1.15
13	32.7	47.5	37.4	33.9	4.12	1.1	101.3	1.14
14	32.8	47.7	37	34.8	4.09	1.2	109.1	1.13
15	32.7	48.5	36.4	35.4	4.18	1.6	144.0	1.11

ตารางที่ ข.18 การทดลองที่ 18 ของซิลิกาเจล ทดลองที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส อัตราส่วน ความชื้น 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No	T _{inlet} (°C)	Rh _{inlet} (%)	T _{outlet} (°C)	Rh _{outlet} (%)	P (kPa)	ΔW (g _w /kg _{da})	R _{adsorp} (g _w /h)	Tout/Tin (-)
1	33.1	48.7	49.8	15.7	4.09	3.5	315.0	1.50
2	33.1	49.2	48.9	17.6	4.25	2.8	250.4	1.48
3	33.4	48.3	46.7	19.3	4.23	3.0	270.0	1.40
4	32.9	48.7	44.3	21.7	4.39	2.8	248.4	1.35
5	33.2	48.6	42.2	25.4	4.43	2.4	212.5	1.27
6	33.1	49.4	41.4	26.1	4.23	2.7	246.0	1.25
7	33.3	47.2	40	27.5	4.47	2.5	223.0	1.20
8	33.4	49.6	41	28.3	4.1	2.3	202.8	1.23
9	32.9	48.7	39.3	29.3	4.39	2.3	204.7	1.19
10	33.1	49.5	39.4	31.7	4.3	1.5	138.7	1.19
11	32.9	51.1	38.7	32	4.35	2.3	205.3	1.18
12	33	48.1	37.4	33.2	4.34	1.9	167.9	1.13
13	33.1	49.1	37.3	36	4.35	1.2	108.6	1.13
14	33	48.9	36.8	36.9	4.45	1.1	98.1	1.12
15	33.2	48.8	36.9	37.5	4.41	0.9	82.3	1.11

ตารางที่ ข.19 การทดลองที่ 1 ของโมเลกุลาร์ซีฟ ทดลองที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้น 12 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 72 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No	T _{inlet} (°C)	Rh _{inlet} (%)	T _{outlet} (°C)	Rh _{outlet} (%)	P (kPa)	ΔW (g _w /kg _{da})	R _{adsorp} (g _w /h)	Tout/Tin (-)
1	28.2	51.4	46.4	14.8	3.02	2.8	202.1	1.65
2	28	51.2	41.9	18.9	3.11	2.5	180.0	1.50
3	28	51	41.1	19.6	3.09	2.5	180.6	1.47
4	27.7	51	39	23.2	3.03	1.7	124.4	1.41
5	28	51	36.8	25.9	3.16	2.0	146.4	1.31
6	27.9	51	36.8	25.9	3.21	2.0	141.3	1.32
7	28.1	51.2	35.2	30.1	3.23	1.5	107.7	1.25
8	28.1	50.9	34.4	31.3	3.13	1.5	106.6	1.22
9	28.2	50.7	34.1	32.9	3.15	1.1	81.9	1.21
10	28.4	50.1	34	34.2	3.19	0.8	54.5	1.20
11	28.1	50.2	33.3	34.4	3.21	0.9	68.1	1.19
12	28.5	50.1	32.8	35.3	3.23	1.2	88.8	1.15
13	28.4	50	32.3	36	3.22	1.2	88.6	1.14
14	28.2	50.3	32	36.7	3.21	1.1	81.8	1.13
15	27.8	51.7	31.6	37.9	3.19	1.1	77.8	1.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.20 การทดลองที่ 2 ของโมเลกุลาร์ซีฟ ทดลองที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส อัตราส่วน ความชื้น 12 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 72 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No	T _{inlet} (°C)	Rh _{inlet} (%)	T _{outlet} (°C)	Rh _{outlet} (%)	P (kPa)	ΔW (g _w /kg _{sda})	R _{adsorp} (g _w /h)	Tout/Tin (-)
1	36.5	32	53.7	10.6	3.11	2.5	177.0	1.47
2	37.8	30.9	52.7	12.3	2.85	1.9	134.2	1.39
3	36.6	31.7	49.3	14.1	2.97	1.7	122.0	1.35
4	37	30.7	48.2	14.7	3.01	1.7	123.2	1.30
5	36.7	31.3	46.4	16	3.17	1.8	130.6	1.26
6	37	30.7	45.5	16.8	3.19	1.7	125.8	1.23
7	36.5	31	45.2	17.1	3.06	1.5	108.6	1.24
8	36.6	31.3	44.2	18.4	2.95	1.5	105.2	1.21
9	37	30.5	43.9	18.5	3.18	1.5	109.4	1.19
10	36.9	30.5	43.4	19.3	3.21	1.3	92.0	1.18
11	36.8	30.8	43.1	19.8	3.2	1.2	88.0	1.17
12	36.4	31.3	42.4	20.1	2.93	1.4	99.7	1.16
13	37.6	29.9	42.5	20.1	3.12	1.6	113.0	1.13
14	36.9	30.8	42.6	20.4	3.08	1.2	89.9	1.15
15	37.1	30.5	42.1	20.6	3.06	1.4	103.8	1.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.21 การทดลองที่ 3 ของโมเลกุลาร์ซีฟ ทดลองที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้น 18 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 72 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No	T _{inlet} (°C)	Rh _{inlet} (%)	T _{outlet} (°C)	Rh _{outlet} (%)	P (kPa)	ΔW (g _w /kg _{da})	R _{adsorp} (g _w /h)	Tout/Tin (-)
1	27.5	77.5	55.5	16.2	2.99	1.5	108.3	2.02
2	27.5	77.6	46.2	25.4	2.94	1.7	121.1	1.68
3	27.6	77.6	42.7	30.5	2.92	1.8	126.2	1.55
4	28.4	73.4	39.9	33.8	3.08	2.3	167.4	1.40
5	28	75.3	38.4	40.4	3.12	0.7	51.6	1.37
6	27.8	77.5	36.5	43.1	3.2	1.7	122.9	1.31
7	28.4	73.4	35.4	44.1	3.1	2.0	141.9	1.25
8	28.2	72.6	35.3	48.7	3.09	-0.1	-4.0	1.25
9	28.3	73	34.3	50.4	3.19	0.5	37.9	1.21
10	28.6	74.1	33.5	51.6	3.08	1.5	107.8	1.17
11	28.5	73	33	53.8	3.09	0.9	62.6	1.16
12	28.5	73.4	32.5	55.4	3.1	0.9	68.4	1.14
13	27.8	74.9	31.7	57.9	3.13	0.6	42.6	1.14
14	27.7	76.4	31.2	60.4	3.12	0.6	43.4	1.13
15	27.6	76.8	30.5	63.2	3.15	0.5	35.6	1.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.22 การทดลองที่ 4 ของโมเลกุลาร์ซีฟ ทดลองที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้น 18 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 72 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No	T _{inlet} (°C)	Rh _{inlet} (%)	T _{outlet} (°C)	Rh _{outlet} (%)	ΔP (kPa)	ΔW (g _w /kg _{sda})	R _{adsorp} (g _w /h)	Tout/Tin (-)
1	36.5	46.5	59.2	14.2	2.75	0.7	52.9	1.62
2	36.9	45.5	54	17.6	2.67	1.3	92.8	1.46
3	37.2	45.1	49.3	21.9	2.72	1.6	117.5	1.33
4	36.8	46.7	47.1	24	2.85	2.2	158.0	1.28
5	36.7	46.6	46.2	25.7	2.75	1.7	120.4	1.26
6	37	45.6	45	27.7	2.67	1.3	96.6	1.22
7	36.7	46.3	43.7	30.2	2.73	1.0	71.0	1.19
8	36.6	46.4	43.3	31	2.66	0.8	59.8	1.18
9	36.8	46.2	42.8	31.1	2.49	1.4	97.3	1.16
10	36.9	45.5	42.4	33.1	2.66	0.4	31.7	1.15
11	36.9	46.4	41.7	34.2	2.77	0.9	63.3	1.13
12	37	45.5	41.4	35.2	2.78	0.4	27.4	1.12
13	37.2	44.5	40.8	35.2	2.75	0.7	53.1	1.10
14	37.2	44.6	40.5	35.6	2.75	0.9	61.9	1.09
15	36.8	46	40	36.7	2.89	1.0	69.2	1.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.23 การทดลองที่ 5 ของโมเลกุลาร์ซีฟ ทดลองที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้น 12 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 108 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No	T _{inlet} (°C)	Rh _{inlet} (%)	T _{outlet} (°C)	Rh _{outlet} (%)	P (kPa)	ΔW (g _w /kg _{da})	R _{adsorp} (g _w /h)	Tout/Tin (-)
1	28.5	50.5	42.8	17.8	5.89	2.8	303.9	1.50
2	28.4	50	38.5	23.6	6.03	2.1	225.1	1.36
3	28.6	50	36.4	26.6	6.03	2.2	234.5	1.27
4	28.6	50.1	34	30.5	6.05	2.2	232.5	1.19
5	27.5	52.2	33.2	31.6	6.03	2.0	212.0	1.21
6	27.4	52.2	32.5	34.1	6.05	1.5	163.0	1.19
7	28.3	50.2	32.4	33.9	6.09	1.8	193.8	1.14
8	28	50.1	32.1	34.7	6.07	1.5	160.9	1.15
9	28	51.1	31.8	35.7	6.08	1.6	173.9	1.14
10	28	50.9	31.7	36.7	6.1	1.3	143.1	1.13
11	28	50.7	31.4	37.6	6.08	1.2	129.4	1.12
12	28.1	51.1	31.2	38.5	6.09	1.2	132.9	1.11
13	27.7	52	31.1	39	6.09	1.1	116.4	1.12
14	28	51.3	30.6	39.7	6.07	1.2	134.6	1.09
15	27.7	52.3	30.2	40.4	6.04	1.3	143.4	1.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.24 การทดลองที่ 6 ของโมเลกุลาร์ซีฟ ทดลองที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส อัตราส่วน ความชื้น 12 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 108 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No	T _{inlet} (°C)	Rh _{inlet} (%)	T _{outlet} (°C)	Rh _{outlet} (%)	P (kPa)	ΔW (g _w /kg _{da})	R _{adsorp} (g _w /h)	T _{out} /T _{in} (-)
1	36.5	31.5	48.7	13.8	6.07	2.1	225.1	1.33
2	36.6	30.7	45.6	16.2	6.05	1.8	194.9	1.25
3	36.7	31.1	43.9	17.2	6.07	2.3	249.0	1.20
4	37.1	29.9	43.1	18.2	6.07	1.9	209.9	1.16
5	36.9	30.9	42.5	19.2	6.05	2.0	214.6	1.15
6	37.3	29.4	42	20.2	6.07	1.4	150.4	1.13
7	36.6	31.4	41	20.5	6.06	2.1	229.0	1.12
8	37	30.7	41	21.2	6.06	1.8	190.7	1.11
9	37.1	30.4	40.8	22.2	6.07	1.3	144.0	1.10
10	37.1	30.6	40.4	21.7	6.09	1.9	203.2	1.09
11	36.7	31.2	40.2	22	6.04	1.8	196.5	1.10
12	37	30.4	40	22.6	6.05	1.5	165.4	1.08
13	37	30.2	39.8	22.4	5.97	1.7	178.9	1.08
14	36.8	31.1	39.7	22.9	6.03	1.7	184.3	1.08
15	36.9	30.9	39.6	22.6	6.06	1.9	203.9	1.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.25 การทดลองที่ 7 ของโมเลกุลาร์ซีฟ ทดลองที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส อัตราส่วน ความชื้น 18 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 108 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No	T _{inlet} (°C)	Rh _{inlet} (%)	T _{outlet} (°C)	Rh _{outlet} (%)	P (kPa)	ΔW (g _w /kg _{da})	R _{adsorp} (g _w /h)	Tout/Tin (-)
1	27.7	77.6	42	30.5	6.03	2.5	266.3	1.52
2	27.5	76.7	39.2	36.2	6.02	1.7	179.5	1.43
3	27.8	76.5	37	41.1	6.03	1.8	194.9	1.33
4	28	75.6	35.2	44.5	6.08	2.1	228.9	1.26
5	27.9	76.3	33.9	48.3	6	2.0	218.3	1.22
6	27.6	76.7	33.2	51.1	6.05	1.5	162.7	1.20
7	27.8	76.5	32.7	53.3	6.01	1.4	155.1	1.18
8	28.2	74.7	31.9	54.9	6.01	1.7	182.5	1.13
9	27.9	76.7	31.2	57.5	6.09	1.7	188.6	1.12
10	27.7	76.9	30.9	59.5	6.07	1.3	138.8	1.12
11	28	75.6	30.7	60.1	6.06	1.3	142.3	1.10
12	28.2	73.8	30.2	61.8	6.02	1.1	118.8	1.07
13	27.9	76.7	29.7	62.9	6.07	1.7	181.4	1.06
14	27.7	76.7	29.6	65.3	6.06	0.9	98.8	1.07
15	27.9	75.9	29.4	66	6.02	1.0	102.8	1.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.26 การทดลองที่ 8 ของโมเลกุลาร์ซีฟ ทดลองที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้น 18 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 108 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No	T _{inlet} (°C)	Rh _{inlet} (%)	T _{outlet} (°C)	Rh _{outlet} (%)	P (kPa)	ΔW (g _w /kg _{sda})	R _{adsorp} (g _w /h)	Tout/Tin (-)
1	36.6	46	51.4	19.5	5.81	1.6	172.3	1.40
2	36.8	47.2	47.4	24.1	5.9	2.1	223.9	1.29
3	37	47.4	43.9	28.1	6.19	2.8	301.5	1.19
4	36.6	45.8	43	28.6	6.17	2.2	238.3	1.17
5	36.7	46.2	42	31.3	6.14	1.9	199.9	1.14
6	37.2	44.5	41.5	31.8	6.15	1.8	198.2	1.12
7	36.9	45.1	41.3	33.2	6.13	1.2	133.7	1.12
8	36.9	45.6	41.4	32.5	6.07	1.7	184.8	1.12
9	36.6	46.7	40.9	32.8	6.12	2.1	230.6	1.12
10	36.7	45.9	40.5	35.4	6.17	1.0	106.4	1.10
11	36.6	46.7	39.9	35.6	6.21	1.7	178.8	1.09
12	36.6	46.4	40	35.9	6.23	1.3	140.6	1.09
13	37	45.5	39.7	36	6.25	1.6	169.5	1.07
14	36.5	46.4	39.6	36.6	6.18	1.2	133.5	1.08
15	36.8	46.2	39.4	38	6.26	1.0	107.4	1.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.27 การทดลองที่ 9 ของโมเลกุลคาร์ซีฟ ทดลองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้น 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No	T _{inlet} (°C)	Rh _{inlet} (%)	T _{outlet} (°C)	Rh _{outlet} (%)	P (kPa)	ΔW (g _w /kg _{da})	R _{adsorp} (g _w /h)	Tout/Tin (-)
1	25	75.3	46.5	19.4	4.25	2.4	217.6	1.86
2	25	75.2	39.1	29.3	4.25	2.1	185.7	1.56
3	25.3	75.3	36.1	35.4	4.45	2.0	180.8	1.43
4	24.7	76.9	33.7	39.6	4.5	2.1	185.2	1.36
5	24.9	75.6	32.9	43.8	4.61	1.2	109.3	1.32
6	25.2	73.4	31.7	44.7	4.61	1.7	151.8	1.26
7	25.2	75.3	31.1	46.5	4.63	2.0	180.6	1.23
8	24.7	76.5	30.1	50.6	4.64	1.4	127.5	1.22
9	25.3	72.4	29.8	50.4	4.61	1.4	127.2	1.18
10	24.5	77.7	29.4	53.9	4.65	1.2	103.6	1.20
11	24.7	76.2	28.9	54.8	4.73	1.2	108.8	1.17
12	24.8	76.5	28.4	59.8	4.71	0.5	46.7	1.15
13	24.9	74.7	28.2	58.5	4.75	0.7	66.4	1.13
14	24.8	76.2	28.1	58.6	4.69	1.0	90.8	1.13
15	24.7	76.8	27.7	60.7	4.74	0.9	78.0	1.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.28 การทดลองที่ 10 ของโมเลกุลลาร์ซีฟ ทดลองที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้น 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No	T _{inlet} (°C)	Rh _{inlet} (%)	T _{outlet} (°C)	Rh _{outlet} (%)	P (kPa)	ΔW (g _w /kg _{da})	R _{adsorp} (g _w /h)	Tout/Tin (-)
1	40	32.4	57.9	11.9	4.16	1.5	138.9	1.45
2	40	32.9	53.4	15.1	4.18	1.5	130.8	1.34
3	40.5	32.5	50.7	17.1	4.11	1.8	160.9	1.25
4	40.4	32.5	49.1	18.1	4.15	2.0	181.5	1.22
5	40.2	32.5	48.3	19.5	4.19	1.4	123.3	1.20
6	39.6	33.7	47	20.7	4.16	1.5	136.8	1.19
7	39.8	33.2	46.7	20.5	4.16	1.8	162.0	1.17
8	40.2	32.7	45.8	21	4.18	2.2	197.3	1.14
9	39.9	33.2	45.5	21.9	4.15	1.8	163.5	1.14
10	40	32.4	45.3	22.4	4.14	1.3	121.4	1.13
11	40	32.5	45.6	22.2	4.11	1.3	117.6	1.14
12	40.1	32.5	45.2	22.9	4.15	1.2	111.6	1.13
13	40	32.2	44.4	23.2	4.16	1.4	126.9	1.11
14	40	32.4	44.5	23	4.2	1.6	139.8	1.11
15	39.6	33.1	44.4	23.5	4.19	1.3	119.4	1.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.29 การทดลองที่ 11 ของโมเลกุลลาร์ซีฟ ทดลองที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส อัตราส่วน ความชื้น 10 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No	T _{inlet} (°C)	Rh _{inlet} (%)	T _{outlet} (°C)	Rh _{outlet} (%)	P (kPa)	ΔW (g _w /kg _{da})	R _{adsorp} (g _w /h)	Tout/Tin (-)
1	32.8	34.1	45.1	13.6	4.39	2.4	219.8	1.38
2	33.1	33.6	43.1	16	4.66	2.0	176.6	1.30
3	32.8	33.8	41.3	17.5	4.7	1.9	169.9	1.26
4	33.2	33.3	40.2	19.1	4.79	1.7	153.9	1.21
5	32.6	34.2	39.2	20.1	4.78	1.7	149.0	1.20
6	32.6	34.2	38	21.4	4.67	1.7	150.6	1.17
7	32.8	33.7	37.6	22	4.73	1.6	142.4	1.15
8	32.8	33.8	37.6	22.7	4.88	1.3	119.4	1.15
9	33	33.6	36.8	23.4	4.75	1.5	135.5	1.12
10	32.8	33.9	36.5	23.8	4.83	1.5	132.8	1.11
11	32.7	33.9	36.4	24.3	4.79	1.3	114.6	1.11
12	32.8	33.7	36.1	24.6	4.78	1.3	117.8	1.10
13	32.9	33.7	36.1	24.7	4.8	1.3	119.8	1.10
14	32.8	33.5	35.8	25.1	4.75	1.2	109.1	1.09
15	32.9	33.6	35.7	25.3	4.73	1.3	115.3	1.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.30 การทดลองที่ 12 ของโมเลกุลคาร์ซีฟ ทดลองที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้น 20 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No	T _{inlet} (°C)	Rh _{inlet} (%)	T _{outlet} (°C)	Rh _{outlet} (%)	P (kPa)	ΔW (g _w /kg _{da})	R _{adsorp} (g _w /h)	Tout/Tin (-)
1	33.5	60.5	52.5	21.5	4.73	0.8	76.2	1.57
2	33.5	60.8	48.2	25.4	4.72	1.8	164.7	1.44
3	33.4	60.3	44.7	29.3	4.79	2.2	197.3	1.34
4	34	57.9	43	33.5	4.83	1.2	108.6	1.26
5	33	62	41.8	36.9	4.75	0.8	73.0	1.27
6	33.3	62.3	40.2	39.6	4.82	1.5	137.7	1.21
7	33.3	63	39.3	42.2	4.84	1.5	131.8	1.18
8	33.3	62.8	37.7	44.5	4.74	2.0	183.1	1.13
9	33.1	61.8	37.8	45.5	4.75	0.9	84.5	1.14
10	33.3	62.6	37.6	47.3	4.73	0.9	79.7	1.13
11	33.5	62.3	36.9	48.4	4.81	1.3	118.8	1.10
12	33.7	62.3	36.8	50.1	4.76	1.0	87.8	1.09
13	34	60.2	36.2	50.8	4.77	1.0	88.7	1.06
14	33.2	63	35.5	51.2	4.79	1.6	144.2	1.07
15	32.8	62.1	34.9	53.3	4.82	0.7	63.6	1.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.31 การทดลองที่ 13 ของโมเลกุลลาร์ซีฟ ทดลองที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้น 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 60 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No	T _{inlet} (°C)	Rh _{inlet} (%)	T _{outlet} (°C)	Rh _{outlet} (%)	P (kPa)	ΔW (g _w /kg _{da})	R _{adsorp} (g _w /h)	Tout/Tin (-)
1	32.1	55.5	54.8	14.3	2.07	2.7	163.9	1.71
2	33	47.7	48.7	18.5	1.89	1.7	100.2	1.48
3	32.7	47.3	45.9	21.1	2.05	1.4	85.4	1.40
4	32.8	48.6	43.1	24.5	2.15	1.9	111.5	1.31
5	33	48.1	42	26.7	2.15	1.5	88.7	1.27
6	32.9	47.6	39.9	29.6	2.18	1.3	80.6	1.21
7	32.7	47.9	39.7	30.5	2.1	1.0	59.7	1.21
8	32.9	48.4	39.1	31.7	2.11	1.2	74.2	1.19
9	33	47.6	38.4	33.1	2.19	1.0	59.2	1.16
10	33	47.6	37.7	34.5	2.09	0.9	56.1	1.14
11	32.9	47.6	37	35.8	2.12	0.9	51.8	1.12
12	32.9	48.2	36.5	37	2.08	1.0	58.5	1.11
13	33	47.9	36.1	38.1	2.16	0.9	51.5	1.09
14	33	48.1	35.7	39.1	2.16	0.9	51.9	1.08
15	33.2	48.1	35.3	40.1	2.14	1.0	59.6	1.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.32 การทดลองที่ 14 ของโมเลกุลลาร์ซีฟ ทดลองที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้น 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No	T _{inlet} (°C)	Rh _{inlet} (%)	T _{outlet} (°C)	Rh _{outlet} (%)	P (kPa)	ΔW (g _w /kg _{da})	R _{adsorp} (g _w /h)	Tout/Tin (-)
1	33	48.9	42.2	23.7	7.14	3.2	381.8	1.28
2	33.5	46.2	39.7	27.5	7.12	2.5	303.0	1.19
3	32.6	48.5	38.6	29.4	7.13	2.4	287.5	1.18
4	32.9	47.9	38.4	32.1	7.06	1.4	171.7	1.17
5	33.2	48.3	37.7	33	7.05	2.0	236.0	1.14
6	33.5	46.2	36.7	33.1	7.1	2.2	266.9	1.10
7	33	47.8	36.3	35.4	7.1	1.7	205.3	1.10
8	33	47.7	35.7	36.3	7.12	1.8	214.3	1.08
9	32.8	48.1	35.4	37.3	7.12	1.6	191.5	1.08
10	32.7	48	35.7	38.4	7.19	0.8	100.2	1.09
11	32.9	48.1	35.8	38.6	7.18	0.9	106.2	1.09
12	33.1	47.7	35.5	38	7.14	1.4	167.0	1.07
13	32.7	47.8	35.1	37.8	7.18	1.5	175.0	1.07
14	33.1	47.6	35.3	36.7	7.19	2.0	238.8	1.07
15	32.5	48.8	34.9	36.7	7.23	2.1	257.7	1.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.33 การทดลองที่ 15 ของโมเลกุลาร์ซีฟ ทดลองที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้น 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No	T _{inlet} (°C)	Rh _{inlet} (%)	T _{outlet} (°C)	Rh _{outlet} (%)	P (kPa)	ΔW (g _w /kg _{da})	R _{adsorp} (g _w /h)	Tout/Tin (-)
1	33.1	47.1	50.7	15.7	4.21	2.4	217.7	1.53
2	33.1	46.7	45.2	21.3	4.2	1.9	173.1	1.37
3	33.1	46.3	42.5	24.3	4.53	1.9	171.1	1.28
4	33	47.2	40.2	27.8	4.55	1.9	174.2	1.22
5	32.6	48.6	39.8	28.6	4.5	1.9	175.1	1.22
6	32.9	47.9	38.9	31.6	4.56	1.3	114.6	1.18
7	32.5	48.5	38.2	32	4.5	1.5	132.2	1.18
8	33.9	46.2	37.9	33	4.35	1.7	155.9	1.12
9	32.8	46.5	37.6	33.5	4.35	0.9	81.4	1.15
10	33	47.4	36.8	33.6	4.34	1.9	172.6	1.12
11	32.7	46.7	36.5	34.1	4.3	1.5	131.4	1.12
12	32.9	47.5	36.5	36.6	4.28	0.9	81.6	1.11
13	33.2	48.3	36.2	37.3	4.25	1.4	125.3	1.09
14	33.5	47.2	36.4	37.9	4.22	0.9	81.1	1.09
15	32.8	47.7	35.5	38.7	4.23	0.9	78.5	1.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.34 การทดลองที่ 16 ของโมเลกุลลาร์ซีฟ ทดลองที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้น 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No	T _{inlet} (°C)	Rh _{inlet} (%)	T _{outlet} (°C)	Rh _{outlet} (%)	P (kPa)	ΔW (g _w /kg _{da})	R _{adsorp} (g _w /h)	T _{out} /T _{in} (-)
1	32.9	50.1	49.2	17.8	4.22	2.5	228.9	1.50
2	33.1	47.2	44.7	21.8	4.38	2.1	190.8	1.35
3	32.6	47.6	42	24.8	4.28	2.0	177.5	1.29
4	33	47.6	40.2	27.8	4.44	2.1	185.9	1.22
5	33.1	47.1	39.9	30.1	4.54	1.1	100.6	1.21
6	33.1	48.2	39	31.3	4.5	1.6	144.4	1.18
7	33.6	46.8	38.4	32.5	4.56	1.5	135.6	1.14
8	33	47.6	38	32.4	4.53	1.6	143.2	1.15
9	33.1	47.8	37.7	32.6	4.5	1.9	169.4	1.14
10	32.9	47.4	37.2	35.3	4.53	0.8	76.0	1.13
11	33.1	47.4	36.5	35.1	4.56	1.6	147.1	1.10
12	32.9	47.8	36.1	36.1	4.45	1.5	135.5	1.10
13	33.3	47.2	35.8	36.4	4.48	1.8	159.3	1.08
14	32.9	47.8	35.6	37.1	4.55	1.5	135.7	1.08
15	32.9	48.4	35.6	38.6	4.5	1.1	102.7	1.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.35 การทดลองที่ 17 ของโมเลกุลลาร์ซีฟ ทดลองที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้น 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No	T _{inlet} (°C)	Rh _{inlet} (%)	T _{outlet} (°C)	Rh _{outlet} (%)	P (kPa)	ΔW (g _w /kg _{da})	R _{adsorp} (g _w /h)	T _{out} /T _{in} (-)
1	33.3	47.9	53.5	13.8	4.34	2.8	247.9	1.61
2	32.5	48.7	48.1	18.6	4.63	1.9	170.2	1.48
3	33	47.7	45	21.1	4.64	2.4	217.8	1.36
4	33.1	47.5	43	23.1	4.58	2.6	234.8	1.30
5	33.1	48.1	41.9	26	4.5	2.0	180.5	1.27
6	33	47.7	41	27.4	4.39	1.7	154.9	1.24
7	33	47.3	39.9	27.9	4.41	2.1	191.8	1.21
8	33	47.7	39.2	30.4	4.62	1.6	145.0	1.19
9	33.1	47.1	39	32.2	4.61	0.8	75.8	1.18
10	33.1	48.3	38.1	31.8	4.48	2.1	187.9	1.15
11	33.1	47.8	37.5	34.4	4.62	1.3	115.6	1.13
12	32.9	47.8	37.1	35.1	4.63	1.1	102.0	1.13
13	33.2	47.7	37	36.8	4.48	0.8	67.8	1.11
14	33.2	47.9	36.5	35.2	4.54	1.8	166.2	1.10
15	32.9	47.3	36.3	37.1	4.51	0.8	72.4	1.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.36 การทดลองที่ 18 ของโมเลกุลลาร์ซีฟ ทดลองที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้น 15 กรัมอากาศเปียกต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และอัตราการไหล 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

No	T _{inlet} (°C)	Rh _{inlet} (%)	T _{outlet} (°C)	Rh _{outlet} (%)	P (kPa)	ΔW (g _w /kg _{da})	R _{adsorp} (g _w /h)	Tout/Tin (-)
1	33	48.2	49.2	17.2	4.65	2.5	222.6	1.49
2	32.8	47.7	43.8	22.1	4.47	2.4	220.4	1.34
3	32.4	47.1	41.5	26.4	4.57	1.2	105.0	1.28
4	33.1	47.5	40.6	28.3	4.35	1.6	143.1	1.23
5	33.3	47.6	39	30	4.61	2.2	195.0	1.17
6	32.5	48.8	38.3	33.2	4.62	1.0	87.4	1.18
7	32.9	48.3	37.5	36.2	4.59	0.5	47.3	1.14
8	32.8	51.9	36.8	37	4.62	1.8	165.3	1.12
9	32.9	48.8	36.1	36.6	4.59	1.6	147.3	1.10
10	32.7	47.8	35.8	37.2	4.62	1.1	103.0	1.09
11	32.9	47.5	35.4	37.5	4.62	1.4	127.4	1.08
12	32.8	47.1	34.9	38.4	4.53	1.3	113.0	1.06
13	33.1	47.3	34.6	39.5	4.61	1.4	127.4	1.05
14	33.1	47.7	35.1	39.6	4.58	1.1	100.7	1.06
15	33.1	47.8	35	39.5	4.62	1.3	114.0	1.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-สกุล นายชาриф บินร่อหีม
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 14 มกราคม พ.ศ.2543
 ภูมิลำเนา จังหวัด ชุมพร
 ที่อยู่ 153/4 ถ.กรมหลวงชุมพร ตำบลท่าตะเภา
 อำเภอเมืองชุมพร จังหวัดชุมพร 86000
 E-mail 61512034@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา - สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา สายวิทย์-คณิต ปีการศึกษา 2561 จากโรงเรียนศรีวิทยาภัย จังหวัดชุมพร
 - สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2564 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม - ผ่านการฝึกงาน ในส่วนการแผนก Maintain จากบริษัททรอปิคอล แคนนิ่ง (ประเทศไทย) จำกัด จังหวัด สงขลา

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-สกุล	นายณัฐสิทธิ์ ด้วงหวัง
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 17 มีนาคม พ.ศ.2542
ภูมิลำเนา	จังหวัด พัทลุง
ที่อยู่	21 หมู่ที่ 9 ตำบลเขาปู่ อำเภอศรีบรรพต จังหวัด พัทลุง 93190
E-mail	61512040@kmitl.ac.th

- ประวัติการศึกษา
- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา สายวิทย์-คณิต ปีการศึกษา 2561 จากโรงเรียนสตรีพัทลุง จังหวัดพัทลุง
 - สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2564 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

- ผลงานและกิจกรรม
- ผ่านการฝึกงาน ในส่วนการแผนก Maintain จากบริษัท ผลิตภัณฑ์ปลากระป๋องสยาม จำกัด จังหวัด สตูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-สกุล นายสิทธิพันธ์ วัฒนเคน
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ.2542
 ภูมิลำเนา จังหวัด ชุมพร
 ที่อยู่ 30 หมู่ที่ 7 ตำบลสองพี่น้อง อำเภอท่าแซะ
 จังหวัด ชุมพร 86140
 E-mail 61512076@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา - สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา สายวิทย์-คณิต ปีการศึกษา 2561 จากโรงเรียนเทศบาล1บ้านท่าตะเภา จังหวัดชุมพร
 - สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2564 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม - ผ่านการฝึกงาน ในส่วนการแผนก Utility จากบริษัท อินโดรามา โพลีเอสเตอร์ อินดัสตรีส์ จำกัด (มหาชน) จังหวัด นครปฐม

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-สกุล	นางสาวศศิธร ศิริยงค์
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 9 กรกฎาคม พ.ศ.2542
ภูมิลำเนา	จังหวัด ชุมพร
ที่อยู่	19 หมู่ที่ 5 ตำบลตะโก อำเภอทุ่งตะโก จังหวัด ชุมพร 86220
E-mail	61514018@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา สายวิทย์-คณิต ปีการศึกษา 2561 จากโรงเรียนเมืองหลังสวน จังหวัดชุมพร
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ (วิศวกรรมพลังงาน) ปีการศึกษา 2564 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- ผ่านการฝึกงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี แผนกวิศวกรรมและการก่อสร้าง