

ระบบลดความชื้นด้วยวงล้อดูดความชื้น



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

# ระบบลดความชื้นด้วยวงล้อดูดความชื้น



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# DEHUMIDIFICATION SYSTEM WITH DESICCANT WHEEL



THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง ระบบลดความชื้นด้วยวงล้อดูดความชื้น  
โดย นางสาวภัทรธิตา บุญศรีวงศ์  
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์  
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญาานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญาานิพนธ์



.....ประธานกรรมการ  
( อาจารย์ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์ )



.....กรรมการ  
( รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา )



.....กรรมการ  
( ผศ.ดร. วลัยรัตน์ จันทระอัมพร )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	ระบบลดความชื้นด้วยวงล้อดูดความชื้น	
โดย	นางสาวภัทรธิดา	บุญศรีวงศ์
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี	
ปีการศึกษา	2559	
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ศิริพันธ์	มูรธาธัญลักษณ์

### บทคัดย่อ

ระบบลดความชื้นด้วยวงล้อดูดความชื้น ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนดูดซับและส่วนคายซับ ซึ่งในปริญญานิพนธ์นี้ได้ออกแบบและสร้างวงล้อดูดความชื้นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ความหนา 10 เซนติเมตร อัตราส่วนของพื้นที่ดูดซับต่อพื้นที่คายซับเป็น 1:1 โดยใช้ซิลิกาเจลเป็นสารดูดความชื้น และนำเทคนิคการออกแบบการทดลองแบบเชิงแฟคทอเรียล (Factorial design of experimental) มาช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลอง เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้น ได้แก่ ความเร็วของอากาศชื้นและอากาศร้อนที่ 0.4 และ 0.7 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าที่ 60 และ 80 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบการหมุนวงล้อที่ 60 และ 120 รอบต่อชั่วโมง เพื่อหาตัวแปรที่มีผลต่อการลดความชื้น โดยใช่วงล้อดูดความชื้น และหาสภาวะที่เหมาะสมในการลดความชื้นด้วยวงล้อดูดความชื้น โดยประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้นนิยามจากปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับและค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (DCOP) จากทดลองพบว่าวงล้อไม่สามารถลดความชื้นได้ เพราะเกิดการผสมกันของอากาศ เนื่องจากมีช่องว่างภายในชุดการทดลองวงล้อดูดความชื้น จึงทดลองเพื่อปรับปรุงวงล้อดูดความชื้นให้สามารถลดความชื้นได้ จากการทดลองพบว่าการถ่ายเทความร้อนระหว่างแอมป์เบอร์และความดันตกคร่อมของวงล้อมีผลต่อการผสมกันของอากาศชื้นและอากาศร้อนขาเข้า แต่ความดันตกคร่อมของวงล้อมีผลมากกว่า การติดแผ่นฉนวนในช่องว่างของชุดวงล้อดูดความชื้นสามารถป้องกันการผสมกันของอากาศชื้นและอากาศร้อนได้ เนื่องจากอุณหภูมิอากาศชื้นในแอมป์เบอร์มีค่าต่ำลง และวงล้อดูดความชื้นสามารถลดความชื้นได้ เมื่อใช้เครื่องเป่าอากาศดูดอากาศชื้นและอากาศร้อนให้ไหลในทิศทางเดียวกัน โดยชุดการทดลองวงล้อดูดความชื้นสามารถลดความชื้นได้ 0.6 กรัมน้ำต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title	Dehumidification system with desiccant wheel	
By	Ms. Phattaratita	Boonseewong
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Chemical Engineering	
Year	2016	
Advisor	Mrs. Siripan	Murathathunyaluk

## Abstract

Dehumidification system with desiccant wheel consists of adsorption and desorption. In This study, Desiccant wheel is designed with a diameter of 30 cm, thickness of 10 cm, regeneration to adsorption ratio area of 1:1 and adsorbent is silica gel. Efficiency of desiccant wheel is defined by moisture removal capacity and dehumidification coefficient of performance (DCOP). The research study the effect of the parameter such as process air velocity at 0.4 - 0.7 m/s, regeneration air velocity at 0.4 - 0.7 m/s, regeneration air temperature at 60 - 80°C and wheel speed at 30 - 60 rev/h. The purpose of this research is to study variables that effect on dehumidification with desiccant wheel and to find optimum condition for dehumidification. Design of experimental type factorial design is applied to design and analyze result's experiment. Experiment found that the air are mixed because desiccant wheel has gap. So, desiccant wheel can not reduce humidity. And then, Desiccant wheel is experimented to improve. Experiment found that heat transfer between chamber, adding insulator into the gap and wheel's pressure drop effect on mixing of air but wheel's pressure drop is the most effect. Desiccant wheel can reduce humidity when process air and regeneration air are drawn in co-current. Humidity are adsorbed by desiccant wheel are 0.6 g W/kg dry air.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จบรรลุผลไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์ และบุคคลหลายฝ่าย ผู้จัดทำขอขอบคุณ

อาจารย์ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ที่มอบความรู้ และให้คำแนะนำ คำปรึกษา พร้อมทั้งการช่วยเหลือในด้านต่างๆ อีกทั้งยังร่วมแก้ปัญหาและให้แนวทางในการดำเนินงานจนสามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษาในงานวิจัย

คณาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้

คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความร่วมมือในการดำเนินงาน และให้คำแนะนำ พร้อมทั้งอนุเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงาน

คุณพ่อ คุณแม่ พี่น้อง และเพื่อนๆ ของผู้จัดทำที่ให้การสนับสนุนการศึกษาและร่วมเป็นกำลังใจให้ตลอดมา

คุณค่าและคุณประโยชน์จากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำขอขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำต้องขออภัยและพร้อมน้อมรับ ณ ที่นี้

ผู้จัดทำ

นางสาวภัทรธิดา บุญศรีวงศ์

## สัญลักษณ์

$W_{pi}$	ความชื้นในอากาศชื้นขาเข้า (กรัมน้ำ/กิโลกรัมอากาศแห้ง)
$W_{po}$	ความชื้นในอากาศชื้นขาออก (กรัมน้ำ/กิโลกรัมอากาศแห้ง)
$W_{ri}$	ความชื้นในอากาศร้อนขาเข้า (กรัมน้ำ/กิโลกรัมอากาศแห้ง)
$W_{ro}$	ความชื้นในอากาศร้อนขาออก (กรัมน้ำ/กิโลกรัมอากาศแห้ง)
$T_{pi}$	อุณหภูมิของอากาศชื้นเข้าและ (องศาเซลเซียส)
$T_{po}$	อุณหภูมิอากาศชื้นขาออก (องศาเซลเซียส)
$T_{ri}$	อุณหภูมิของอากาศร้อนเข้า (องศาเซลเซียส)
$T_{ro}$	อุณหภูมิอากาศร้อนขาออก (องศาเซลเซียส)
$P_{vs}$	ความดันไอของน้ำ (ปาสคาล)
$T$	อุณหภูมิของอากาศ (เคลวิน)
$w$	ความชื้นในอากาศ (กิโลกรัมน้ำต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง)
$RH$	ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (สัดส่วน)
$P_{vs}$	ความดันไอของน้ำ (ปาสคาล)
$P$	ความดันอากาศ (ปาสคาล)
$M_{ad}$	ปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับ (กิโลกรัมน้ำต่อวินาที)
$A$	พื้นที่หน้าตัดของคอลัมน์ (ตารางเมตร)
$U$	ความเร็วของอากาศ (เมตรต่อวินาที)
$p_{pi}$	ความหนาแน่นของอากาศชื้นขาเข้า (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
$p_{po}$	ความหนาแน่นของอากาศชื้นขาออก (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
DCOP	ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ
$m_p$	อัตราการไหลของอากาศชื้น (กิโลกรัมต่อวินาที)
$m_r$	อัตราการไหลของอากาศร้อน (กิโลกรัมต่อวินาที)
$L$	ค่าความร้อนแฝงของไอน้ำ (จูลต่อกิโลกรัม)
$h_{ri}$	เอนทาลปีของอากาศร้อนขาเข้า (จูลต่อกิโลกรัม)
$h_{ro}$	เอนทาลปีของอากาศร้อนขาออก (จูลต่อกิโลกรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สัญลักษณ์.....	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>1</b>
2.1 ระบบลดความชื้นในอากาศ.....	1
2.2 ความชื้นในอากาศ.....	6
2.3 การดูดซับ.....	8
2.4 ตัวดูดซับ.....	11
2.5 การดูดซับในเบตนิ่ง.....	13
2.6 การออกแบบการทดลอง.....	14
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
<b>บทที่ 3 วิธีการทดลอง.....</b>	<b>22</b>
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	22
3.2 การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้น.....	23
3.3 การทดลองเพื่อปรับปรุงชุดการทดลองวงล้อดูดความชื้น.....	26

บทที่ 4 ผลการทดลอง .....	33
4.1 การศึกษาความดันตกคร่อมของท่อดูดซับและวงล้อดูดความชื้น.....	32
4.2 ผลการทดลองการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้น.....	33
4.3 ผลการทดลองเพื่อปรับปรุงชุดการทดลองวงล้อดูดความชื้น.....	34
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง .....	41
5.1 สรุปผลการทดลอง .....	41
5.2 ปัญหาที่พบบระหว่างการศึกษาวิจัยและแก้ไข .....	42
เอกสารอ้างอิง .....	43
ภาคผนวก.....	45
ภาคผนวก ก ข้อมูลดิบ.....	46
ภาคผนวก ข วิธีการคำนวณ.....	58



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของระบบลดความชื้นโดยใช้สารดูดความชื้นชนิดของแข็ง และของเหลว.....	3
ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกายภาพของตัวดูดซับ .....	12
ตารางที่ 2.3 อัตราส่วนช่องว่างและความหนาแน่นของวัสดุ.....	13
ตารางที่ 2.4 ค่าความเป็นทรงกลมของวัสดุ .....	14
ตารางที่ 2.5 ช่องว่างภายในเบด .....	14
ตารางที่ 2.6 สภาวะที่ทดลองและสภาวะที่เหมาะสมของแต่ละงานวิจัย .....	21
ตารางที่ 3.1 สภาวะที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้น .....	23
ตารางที่ 3.2 สภาวะที่ใช้ในการทดลองเพื่อปรับปรุงชุดการทดลองวงล้อดูดความชื้น .....	27
ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองเพื่อหาเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว .....	46
ตารางที่ ก.2 ผลคำนวณเพื่อหาเวลาที่ใช้ในการทดลองเพื่อหาเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว.....	46
ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองเมื่อปิดเครื่องทำความร้อน .....	47
ตารางที่ ก.4 ผลการทดลองเมื่อเปิดเครื่องทำความร้อน.....	47
ตารางที่ ก.5 ผลการทดลองเมื่อเปิดเครื่องทำความร้อน.....	47
ตารางที่ ก.6 ผลจากการทดลองและการคำนวณเมื่อติดแผ่นฉนวนในช่องว่างดังรูปที่ 3.4 (ก).....	48
ตารางที่ ก.7 ผลจากการทดลองและการคำนวณเมื่อติดแผ่นฉนวนในช่องว่างดังรูปที่ 3.4 (ข).....	49
ตารางที่ ก.8 ผลจากการทดลองและการคำนวณเมื่อติดแผ่นฉนวนในช่องว่างดังรูปที่ 3.4 (ค).....	50
ตารางที่ ก.9 ผลจากการทดลองและการคำนวณเมื่อติดแผ่นฉนวนในช่องว่างดังรูปที่ 3.4 (ง).....	51
ตารางที่ ก.10 ผลจากการทดลองและการคำนวณเมื่อติดแผ่นฉนวนในช่องว่างดังรูปที่ 3.4 (จ).....	52
ตารางที่ ก.11 ผลจากการทดลองและการคำนวณ เมื่อเครื่องเป่าอากาศทำงานแบบเป่าอากาศ .....	53
ตารางที่ ก.12 ผลจากการทดลองและการคำนวณ เมื่อเครื่องเป่าอากาศทำงานแบบดูดอากาศ .....	54
ตารางที่ ก.13 ผลจากการทดลองและการคำนวณเมื่ออากาศร้อนและอากาศชื้นไหลสวนทางกัน ...	55
ตารางที่ ก.14 ผลการทดลองเมื่อปิดวงล้อดูดความชื้น.....	56
ตารางที่ ก.15 ผลการทดลองเมื่อเปิดวงล้อดูดความชื้นเศษหนึ่งส่วนสี่รอบทุกๆ 20 นาที.....	57
ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองที่ใช้ในการคำนวณ.....	58
ตารางที่ ข.2 ค่า KL ของข้อต่อและวาล์ว.....	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 การผลิตอากาศแห้งด้วยกระบวนการดูดซับแบบสลับอุณหภูมิ .....	4
รูปที่ 2.2 เส้นโค้งการดูดซับ .....	5
รูปที่ 2.3 วงล้อดูดความชื้น .....	5
รูปที่ 2.4 กลไกการดูดซับ.....	9
รูปที่ 2.5 ไอโซเทอมของการดูดซับ .....	10
รูปที่ 2.6 ปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะของตัวดูดซับที่ความชื้นต่างๆ .....	12
รูปที่ 2.7 อัตราการดูดซับน้ำของตัวดูดซับชนิดต่างๆ.....	12
รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการหรือระบบที่สนใจ .....	15
รูปที่ 2.9 หลักการสำคัญในการออกแบบการทดลอง .....	15
รูปที่ 2.10 ชุดทดลองการดูดซับและคายซับ .....	18
รูปที่ 3.1 ชุดการทดลอง.....	22
รูปที่ 3.2 ชุดการทดลองการศึกษาผลของการถ่ายเทความร้อนระหว่างแอมป์เบอร์ต่ออุณหภูมิของอากาศชื้นขาเข้า.....	27
รูปที่ 3.3 ชุดการทดลองการศึกษาผลของความดันตกคร่อมของวงล้อดูดความชื้นต่ออุณหภูมิอากาศชื้นขาเข้า.....	28
รูปที่ 3.4 ชุดการทดลองการศึกษาผลของการติดฉนวนในช่องว่างของชุดการทดลองต่อความชื้นขาออกของอากาศชื้นและอากาศร้อน และอุณหภูมิขาเข้าของอากาศชื้น.....	29
รูปที่ 3.5 ชุดการทดลองการศึกษาผลของการทำงานของเครื่องเป่าอากาศต่อปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับ และอุณหภูมิอากาศชื้นขาเข้า .....	30
รูปที่ 3.6 ชุดการทดลองการศึกษาผลของทิศทางการไหลของอากาศร้อนและอากาศชื้นต่อปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับ และอุณหภูมิขาเข้าของวงล้อดูดความชื้น .....	31
รูปที่ 4.1 ผลของความเร็วต่อความดันตกคร่อมของหอดูดซับและวงล้อดูดความชื้น .....	32
รูปที่ 4.2 ผลการทดลองหาเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว .....	33
รูปที่ 4.3 การศึกษาผลของการถ่ายเทความร้อนระหว่างแอมป์เบอร์ต่ออุณหภูมิอากาศชื้นขาเข้า....	34
รูปที่ 4.4 ผลการศึกษาผลของความดันตกคร่อมของวงล้อดูดความชื้นต่ออุณหภูมิอากาศชื้นขาเข้า. 35	
รูปที่ 4.5 การศึกษาผลของการติดฉนวนในช่องว่างของชุดการทดลองต่อความชื้นขาออกของอากาศ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับและอากาศร้อน และอุณหภูมิขาเข้าของอากาศชื้นไม่อนุญาตให้แก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาตจาก 37 คำ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 ผลการศึกษาผลของตำแหน่งของเครื่องเป่าอากาศต่อปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับและ อุณหภูมิอากาศชื้นขาเข้า (ก) แบบเป่า (ข) แบบดูด.....	38
รูปที่ 4.7 ผลการศึกษาผลของทิศทางการไหลของอากาศร้อนและอากาศชื้นต่อปริมาณ ความชื้นที่ถูกดูดซับ และอุณหภูมิขาเข้าของวงล้อดูดความชื้น.....	39
รูปที่ 4.8 ผลการศึกษาผลของการหมุนของวงล้อต่อปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับ และอุณหภูมิอากาศ ชื้นขาเข้า (ก) ปิดวงล้อดูดความชื้น (ข) เปิดวงล้อดูดความชื้นเศษหนึ่งส่วนสี่รอบทุกๆ 20 นาที.....	40
รูปที่ ข.1 การผลิตอากาศแห้งด้วยกระบวนการดูดซับแบบสลับอุณหภูมิ.....	60
รูปที่ ข.2 มูดี้ ไดอะแกรม (Moody diagram) .....	61



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

เนื่องจากประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้นซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 30 – 35 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์สูงประมาณ 40 – 80% [1] ทำให้ระบบปรับอากาศต้องรับภาระค่อนข้างหนักในการปรับสภาพอากาศภายในอาคารให้เหมาะสมกับการดำรงชีวิตของมนุษย์ ซึ่งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม คือ 20 - 26 องศาเซลเซียส และ 50 – 60% ตามลำดับ [2] อากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า 60% จะทำเชื้อราเจริญเติบโตได้ดี [3] ส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์ทำให้เกิดการเจ็บป่วยและที่ความชื้นในอากาศสูงยังทำให้มนุษย์รู้สึกไม่สบายตัวอีกด้วย เนื่องจากการใช้ระบบปรับอากาศสำหรับอากาศที่มีความชื้นสูงจะต้องใช้พลังงานมาก การลดความชื้นในอากาศก่อนเข้าเครื่องปรับอากาศจึงเป็นแนวทางที่จะช่วยลดภาระในการทำงานของระบบปรับอากาศ นอกจากนี้ในภาคอุตสาหกรรมจำเป็นต้องมีการควบคุมความชื้นในอากาศด้วยเช่นกัน เช่น อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมยาและโรงเก็บสินค้า เป็นต้น

วงล้อดูดความชื้นเป็นอุปกรณ์ลดความชื้นในอากาศที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถลดความชื้นได้อย่างต่อเนื่อง วงล้อดูดความชื้นประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนดูดซับและส่วนคายซับ มีลักษณะการทำงาน คือ ปล่อยอากาศชื้นให้ไหลผ่านตัวดูดซับที่บรรจุอยู่ในวงล้อในส่วนดูดซับ ตัวดูดซับจะทำหน้าที่ดูดความชื้นไว้ หลังจากนั้นวงล้อจะหมุนไปถ่ายเทความชื้นที่เก็บไว้ให้กับอากาศร้อนในส่วนคายซับ เพื่อกำจัดความชื้นออกจากตัวดูดซับแล้ววนกลับไปดูดความชื้นต่อไป [4] พลังงานที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศเพื่อใช้ในส่วนคายซับ ได้มาจาก พลังงานไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานความร้อนเหลือทิ้ง เป็นต้น

การลดความชื้นในอากาศด้วยตัวดูดซับ อาศัยหลักการความแตกต่างของความดันไอของน้ำระหว่างอากาศกับผิวของตัวดูดซับ โดยความชื้นจะถูกถ่ายเทจากส่วนที่มีความดันไอสูงไปยังส่วนที่มีความดันไอต่ำ ซึ่งในส่วนดูดซับความดันไอของน้ำในอากาศสูงกว่าที่ผิวของตัวดูดซับ ความชื้นจึงถ่ายเทเข้าสู่ตัวดูดซับ และในส่วนคายซับความดันไอของน้ำที่ผิวตัวดูดซับสูงกว่าอากาศร้อนความชื้นจึงถ่ายเทเข้าสู่อากาศร้อน สำหรับความดันไอของน้ำที่ผิวของตัวดูดซับสามารถหาได้จากสมการไอโซเทอมของการดูดซับ

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างวงล้อดูดความชื้นที่ใช้ซิลิกาเจลเป็นตัวดูดซับความชื้นและศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการลดความชื้นโดยเลือกศึกษาความเร็วอากาศชื้น ความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศร้อน อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าและความเร็วรอบการหมุนวงล้อ โดยประสิทธิภาพของวงล้อ ดูดความชื้นนิยามจากปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับและค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (DCOP)

### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อออกแบบและสร้างวงล้อดูดความชื้น
- 2) เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการลดความชื้นโดยใช้วงล้อดูดความชื้น
- 3) เพื่อหาสภาวะของวงล้อดูดความชื้นที่เหมาะสมในการลดความชื้น

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ออกแบบและสร้างวงล้อดูดความชื้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ความหนา 10 เซนติเมตร โดยใช้ซิลิกาเจลเป็นสารดูดความชื้น
- 2) ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการลดความชื้น โดยเลือกศึกษาความเร็วของอากาศชื้นและอากาศร้อนที่ 0.4 และ 0.7 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าที่ 60 และ 80 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบการหมุนวงล้อที่ 30 และ 60 รอบต่อชั่วโมง

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถนำวงล้อดูดความชื้นไปใช้เพื่อเป็นเครื่องต้นแบบในการออกแบบและสร้างวงล้อดูดความชื้นที่ใช้ในอาคารและอุตสาหกรรมต่อไป
- 2) ทำให้ทราบตัวแปรที่มีผลต่อการลดความชื้นด้วยวงล้อดูดความชื้นและสภาวะที่เหมาะสมในการลดความชื้น

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ระบบลดความชื้นในอากาศ [5]

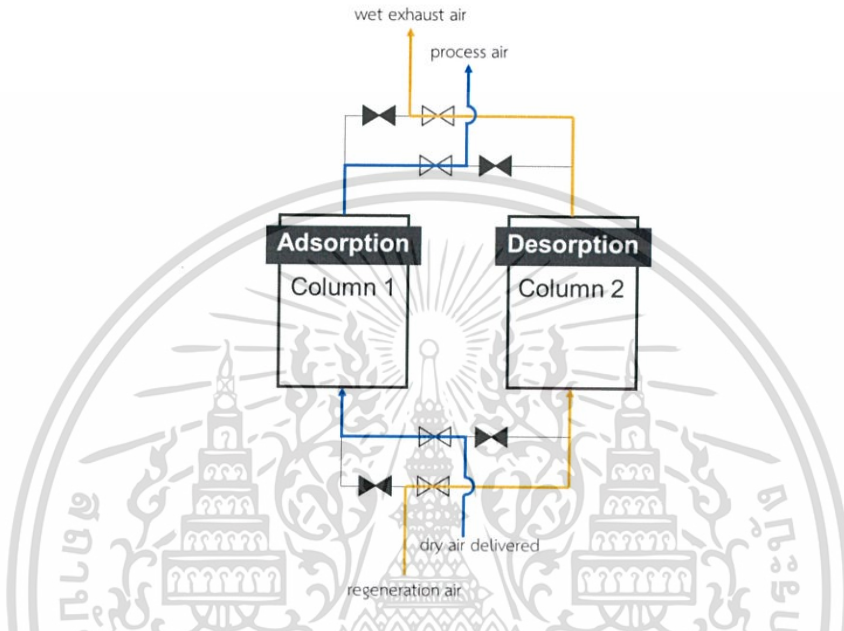
ในปัจจุบันที่นิยมใช้มีอยู่ 2 ระบบ คือ ระบบลดความชื้นเชิงกล และระบบลดความชื้นโดยใช้สารดูดความชื้น ซึ่งระบบลดความชื้นโดยใช้สารดูดความชื้น สามารถแบ่งได้ 3 ระบบ ได้แก่ ระบบลดความชื้นโดยใช้สารดูดความชื้นชนิดของแข็ง (Solid Desiccant Dehumidification System) ระบบลดความชื้นโดยใช้สารดูดความชื้นชนิดของเหลว (Liquid Desiccant Dehumidification System) และระบบลดความชื้นโดยใช้สารดูดความชื้นชนิดของแข็งและของเหลว (Hybrid Desiccant Dehumidification System)

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของระบบลดความชื้นโดยใช้สารดูดความชื้นชนิดของแข็ง และของเหลว [5]

คุณสมบัติ	ชนิดของระบบลดความชื้น	
	สารดูดความชื้นชนิดของแข็ง	สารดูดความชื้นชนิดของเหลว
กลไกการลดความชื้น	การดูดซับ	การดูดซึม
ความดันตกรวมของระบบ	สูง	ต่ำ
ความร้อนในการฟื้นฟูสารดูดซับ	สูง	ต่ำ
ความซับซ้อนของระบบ	ไม่ซับซ้อน	ซับซ้อน
การกัดกร่อน	ไม่กัดกร่อน	บางชนิดกัดกร่อน
การปนเปื้อนของสารดูดความชื้นที่ออกไปกับอากาศแห้ง	ไม่ปนเปื้อน	อาจจะปนเปื้อน
ตัวอย่างสารดูดความชื้น	ซิลิกาเจล โมเลกุลสารซีฟ แคลเซียมซัลเฟต	สารละลายลิเทียมคลอไรด์ ไตรเอทิลีนไกลคอล

### 2.1.1 กระบวนการผลิตอากาศแห้ง [5],[6]

การผลิตอากาศแห้งด้วยกระบวนการดูดซับแบบสลับอุณหภูมิ (Temperature Swing Adsorption) เป็นกระบวนการที่อาศัยหลักการทำงานทางเทอร์โมไดนามิกส์ ในการดูดซับและคายซับ กล่าวคือ การดูดซับจะเกิดได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ ขณะที่การคายซับจะเกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูง โดยจะใช้หอดูดซับอย่างน้อย 2 หอ ซึ่งมีตัวดูดซับบรรจุไว้ภายใน ดังรูปที่ 2.1

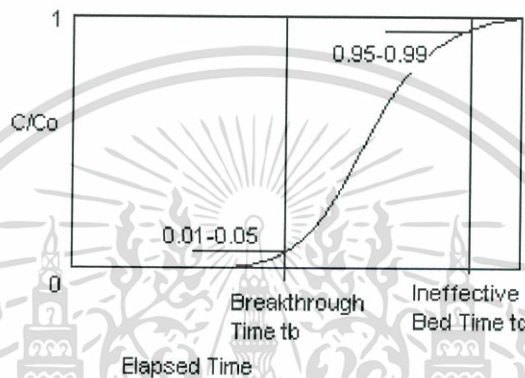


รูปที่ 2.1 การผลิตอากาศแห้งด้วยกระบวนการดูดซับแบบสลับอุณหภูมิ

โดยหอดูดซับที่ 1 จะถูกควบคุมไว้ที่อุณหภูมิต่ำและผ่านอากาศชื้นเข้าไป เมื่อหอดูดซับที่ 1 ดูดซับเต็มความจุแล้ว ระบบวาล์วจะเปลี่ยนให้อากาศไหลผ่านหอดูดซับที่ 2 แทน ซึ่งทำให้สามารถทำการดูดซับได้อย่างต่อเนื่อง และในขณะที่หอดูดซับที่ 2 ทำการดูดซับสารอยู่นั้นหอดูดซับที่ 1 จะถูกให้ความร้อนเพื่อทำการคายซับสารที่ถูกดูดซับไว้และเมื่อหอดูดซับที่ 2 ดูดซับจนเต็มความจุ หอดูดซับที่ 1 ก็พร้อมที่จะใช้ดูดซับต่อ โดยการลดอุณหภูมิลง ทำเช่นนี้สลับกันไป ทำให้อุณหภูมิของหอดูดซับทั้งสองสูง-ต่ำสลับกันไป เราจึงเรียกกระบวนการนี้ว่า กระบวนการดูดซับแบบสลับอุณหภูมิ (Temperature Swing Adsorption) นั่นเอง

ทั้งนี้ความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับในหอดูดซับสามารถพิจารณาได้จากเส้นโค้งการดูดซับ ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งแสดงความเข้มข้นของสารถูกดูดซับที่ตำแหน่งขาออกของหอดูดซับ โดยพล็อตระหว่างเวลา กับอัตราส่วนความเข้มข้นของสารถูกดูดซับในสายขาออกเทียบกับสายขาเข้า กราฟที่ได้จะเป็นรูปตัวเอส ในทางปฏิบัติการจะมีการกำหนดเวลาที่จุดยุติ โดยพิจารณาที่ระดับความเข้มข้นสูงสุดของตัวถูกดูดซับในสายขาออกที่สามารถยอมรับได้ ดังนั้นกระบวนการดูดซับจะสามารถทำงานได้ดีตั้งแต่เวลาที่เริ่มป้อนสารเข้าสู่หอดูดซับจนถึงเวลาที่จุดยุติ จากนั้นเราต้องทำการคืนสภาพให้กับตัวดูดซับ หากปล่อยให้ระบบทำงานต่อไปที่เวลามากกว่าที่จุดยุติ ระดับความเข้มข้นของสารที่ต่ำกว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

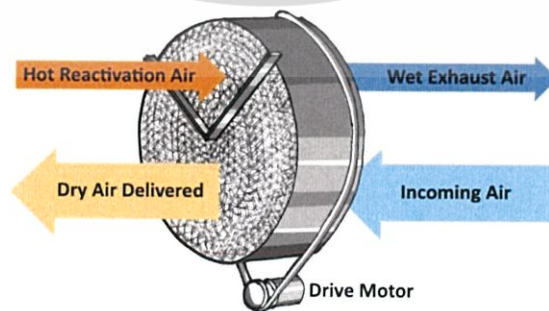
ถูกดูดซับในตำแหน่งขาออกจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนมีค่าเข้าใกล้ความเข้มข้นของสายขาเข้า กล่าวคือ ตัวดูดซับทั้งหมดของเบตจะเข้าสู่สภาพอิ่มตัว และเวลาที่ระบบเข้าสู่สมดุลสุดท้ายนี้ จะเรียกว่า เวลาเข้าสู่สมดุล ซึ่งเราสามารถหาได้จากกราฟเส้นโค้งการดูดซับที่ระดับความเข้มข้นเข้าใกล้ 1 โดยจากกราฟจะเป็นเวลาที่จุด Operating Limit โดยความชันของกราฟเส้นโค้งการดูดซับ จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการดูดซับ ตัวอย่างเช่น หากกราฟเส้นโค้งการดูดซับมีความชันมาก แสดงว่ากระบวนการดูดซับมีพฤติกรรมทางพลศาสตร์ที่เข้าใกล้สภาวะการดูดซับแบบอุดมคติ จึงมีประสิทธิภาพในการดูดซับสูง



รูปที่ 2.2 เส้นโค้งการดูดซับ (Breakthrough Curve) [7]

### 2.1.2 วงล้อดูดความชื้น

วงล้อดูดความชื้นเป็นอุปกรณ์ลดความชื้นในอากาศที่สามารถลดความชื้นได้อย่างต่อเนื่อง ภายในวงล้อดูดความชื้นประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนดูดซับและส่วนคายซับ อากาศชื้นจะไหลผ่านส่วนดูดซับ จากนั้นตัวดูดซับความชื้นที่บรรจุภายในวงล้อจะทำหน้าที่ดูดซับความชื้นไว้ เมื่อวงล้อหมุน ตัวดูดซับที่ดูดซับความชื้นไว้จะเข้าสู่ส่วนคายซับ อากาศร้อนจะไหลผ่านตัวดูดซับดังกล่าว ทำให้ความชื้นภายในตัวดูดซับลดลงและสามารถนำกลับไปใช้ดูดซับความชื้นได้ต่อไป



รูปที่ 2.3 วงล้อดูดความชื้น [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.3 การประยุกต์ใช้งานระบบลดความชื้นร่วมกับระบบปรับอากาศ [5],[6],[9]

ได้มีการนำระบบลดความชื้นมาใช้ร่วมกับระบบปรับอากาศเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ โดยจะช่วยลดภาระความร้อนแฝงในระบบปรับอากาศ สารลดความชื้นที่ใช้ คือ ซิลิกาเจล เนื่องจากซิลิกาเจลเป็นสารลดความชื้นที่สามารถคืนรูป (Regeneration) ได้ง่าย และไม่มีอันตรายต่อสุขภาพ เมื่อนำมาใช้ร่วมกับระบบปรับอากาศซึ่งมีหลักการดังนี้ คือ นำอากาศผ่านการ ลดความชื้น โดยซิลิกาเจลแล้วจึงให้อากาศไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิของอากาศ ก่อนเข้าสู่ระบบปรับอากาศ ระบบสารลดความชื้นประกอบด้วย

- Desiccant Dehumidifier
- Evaporative Cooler
- Air Heater

อากาศภายนอกจะถูกส่งเข้ามายัง Dehumidifier และถูกปล่อยออกเป็นอากาศร้อนและแห้ง เนื่องจากการดูดซับน้ำโดยตัวดูดซับเป็นการคายความร้อน จากนั้นอากาศไหลผ่านเข้าสู่ Evaporative Cooler อากาศเย็นถูกส่งไปยังห้องปรับอากาศ

สำหรับการคายซับตัวดูดความชื้นใน Dehumidifier อากาศภายนอกจะผ่านเข้าสู่ Air Heater ซึ่งจะให้อุณหภูมิของอากาศสูงขึ้นถึงค่าอุณหภูมิที่ตัวดูดซับสามารถเกิดการคายซับได้ อากาศที่ผ่านตัวดูดซับจากกระบวนการคายซับได้เป็นอากาศร้อนและชื้น

## 2.2 ความชื้นในอากาศ [10]

ความชื้นในอากาศ (Moisture Content) คือ ปริมาณไอน้ำในสถานะก๊าซที่มีอยู่ในอากาศ โดยความชื้นในอากาศนิยมวัด 3 รูปแบบ ได้แก่

1) ความชื้นสัมบูรณ์ (Absolute Humidity) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำในอากาศต่ออากาศหนึ่งหน่วยปริมาตร ณ อุณหภูมิเดียวกัน โดยความชื้นสัมบูรณ์จะขึ้นอยู่กับความดันของอากาศ มีหน่วยเป็นกิโลกรัม น้ำต่อลูกบาศก์เมตร

2) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาณไอน้ำในอากาศต่อปริมาณไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน โดยนิยมแสดงเป็นค่าร้อยละ

3) ความชื้นจำเพาะ (Specific Humidity) หมายถึง มวลของไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศแห้ง 1 กิโลกรัม มีหน่วยเป็นกิโลกรัม น้ำต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง

ปริมาณทางฟิสิกส์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดความชื้น ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ การแปลงค่าที่วัดได้เป็นค่าอื่นๆ ที่ใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้น สามารถคำนวณได้จากสมการความสัมพันธ์ [11] ดังนี้

$$\ln(P_{vs}) = \frac{C_1}{T} + C_2 + C_3T + C_4T^2 + C_5T^3 + C_6\ln(T) \quad (2.1)$$

เมื่อ	$C_1$	คือ $-5.8002 \times 10^3$
	$C_2$	คือ $-5.5162$
	$C_3$	คือ $-4.8640 \times 10^{-2}$
	$C_4$	คือ $4.1764 \times 10^{-5}$
	$C_5$	คือ $-1.4452 \times 10^{-8}$
	$C_6$	คือ $6.54$
	$P_{vs}$	คือ ความดันไอของน้ำ (ปาสคาล)
	$T$	คือ อุณหภูมิของอากาศ (เคลวิน)

$$w = \frac{0.622 \times RH \times P_{vs}}{P - (RH \times P_{vs})} \quad (2.2)$$

เมื่อ	$w$	คือ ความชื้นในอากาศ (กิโลกรัม น้ำต่อกิโลกรัม อากาศแห้ง)
	$RH$	คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (สัดส่วน)
	$P_{vs}$	คือ ความดันไอของน้ำ (ปาสคาล)
	$P$	คือ ความดันอากาศ (ปาสคาล)

$$M_{ad} = AU(\rho_{pi} w_{pi} - \rho_{po} w_{po}) \quad (2.3)$$

เมื่อ	$M_{ad}$	คือ ปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับ (กิโลกรัม น้ำต่อวินาที)
	$A$	คือ พื้นที่หน้าตัดของคอลัมน์ (ตารางเมตร)
	$U$	คือ ความเร็วของอากาศ (เมตรต่อวินาที)
	$\rho_{pi}, \rho_{po}$	คือ ความหนาแน่นของอากาศขาเข้าและความหนาแน่นของอากาศขาออกตามลำดับ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
	$w_{pi}, w_{po}$	คือ ความชื้นในอากาศขาเข้าและค่าปริมาณความชื้นในอากาศขาออกตามลำดับ (กิโลกรัม น้ำต่อกิโลกรัม อากาศแห้ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$DCOP = \frac{m_p L(w_{pi} - w_{po})}{m_r (h_{ri} - h_{ro})} \quad (2.4)$$

เมื่อ	DCOP	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ
	$m_p$	คือ	อัตราการไหลของอากาศขึ้น (กิโลกรัมต่อวินาที)
	$m_r$	คือ	อัตราการไหลของอากาศร้อน (กิโลกรัมต่อวินาที)
	$L$	คือ	ค่าความร้อนแฝงของไอน้ำ (จุลต่อกิโลกรัม)
	$w_{pi}$	คือ	ความชื้นในอากาศขาเข้า (กิโลกรัมน้ำต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง)
	$w_{po}$	คือ	ความชื้นในอากาศขาออก (กิโลกรัมน้ำต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง)
	$h_{ri}$	คือ	เอนทาลปีของอากาศร้อนขาเข้า (จุลต่อกิโลกรัม)
	$h_{ro}$	คือ	เอนทาลปีของอากาศร้อนขาออก (จุลต่อกิโลกรัม)

### 2.3 การดูดซับ [12] [13] [14] [15]

การดูดซับเป็นกระบวนการที่โมเลกุลของสารถูกดูดซับยึดเกาะกับผิวด้านในของตัวดูดซับ ตัวดูดซับมีลักษณะเป็นของแข็งที่มีรูพรุน เมื่อผิวของตัวดูดซับอิมตัวจะถูกคายซับด้วยความร้อนหรือวิธีอื่นๆ เพื่อนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่ ความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับขึ้นกับอุณหภูมิและความดัน โดยจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือความดันลดลง การนำความรู้ที่เกี่ยวกับกระบวนการดูดซับมาประยุกต์ใช้งานในภาคอุตสาหกรรม ได้แก่ การกำจัดสารประกอบอินทรีย์จากน้ำหรือสารละลาย การกำจัดสิ่งเจือปนออกจากสารละลายอินทรีย์ การกำจัดความชื้นออกจากก๊าซจำพวกไฮโดรคาร์บอน การกำจัดสารประกอบซัลเฟอร์ออกจากก๊าซธรรมชาติและการกำจัดความชื้นออกจากอากาศ เป็นต้น

การดูดซับแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

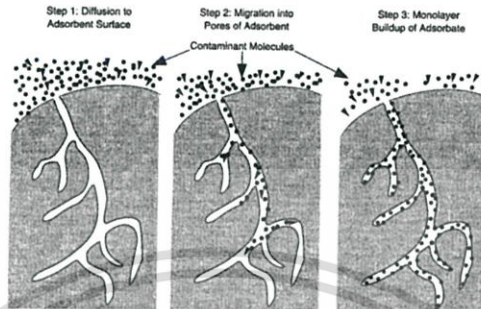
1) การดูดซับทางกายภาพ คือ การดูดซับที่เกิดจากแรงแวนเดอร์วาลส์ ซึ่งเกิดจากการรวมของแรงกระจายและแรงไฟฟ้าสถิตย์ การดูดซับด้วยแรงที่อ่อนทำให้การดูดซับประเภทนี้มีการคายพลังงานความร้อนค่อนข้างน้อย คือ ต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมลและสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่ายซึ่งทำให้คายซับได้ง่ายขึ้น สารถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่บนผิวของสารดูดซับโดยมีการเรียงตัวแบบหลายชั้น จำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณสารถูกดูดซับในสารละลาย

2) การดูดซับทางเคมี คือ การที่ตัวดูดซับกับสารถูกดูดซับทำปฏิกิริยากัน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารถูกดูดซับทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากพันธะทางเคมีเป็นพันธะที่แข็งแรงและมีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ความร้อนที่เกิดจากการดูดซับมีค่าสูงประมาณ 50 – 400 กิโลจูลต่อโมล ส่งผลให้คายซับได้ยากขึ้น และการดูดซับประเภทนี้จะเป็นการดูดซับแบบขั้นเดียวเท่านั้น

### 2.3.1 กลไกการดูดซับ [16]



รูปที่ 2.4 กลไกการดูดซับ [17]

กลไกการดูดซับสามารถแบ่งได้ 3 ขั้นตอน ดังนี้

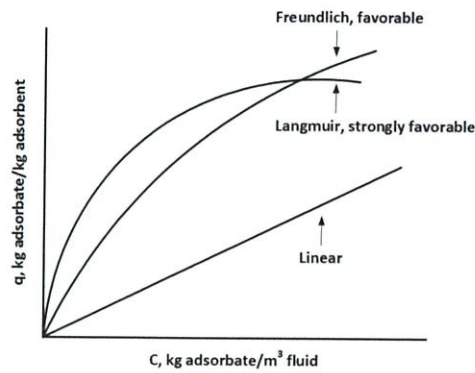
ขั้นตอนที่ 1 การแพร่ภายนอก (External diffusion) การแพร่ภายนอกเป็นกลไกที่โมเลกุลของสารถูกดูดซับเข้าถึงตัวดูดซับ ซึ่งพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีชั้นของเหลวห่อหุ้ม โดยโมเลกุลของสารถูกดูดซับจะแพร่ผ่านชั้นของเหลวหรือชั้นก๊าซเข้าถึงผิวหน้าของตัวดูดซับ

ขั้นตอนที่ 2 การแพร่ภายใน (Internal diffusion) เป็นกลไกที่โมเลกุลของสารถูกดูดซับแพร่กระจายเข้าสู่พื้นที่ผิวภายในโพรงตัวดูดซับเพื่อให้เกิดการดูดซับ

ขั้นตอนที่ 3 ปฏิกิริยาพื้นผิว (Surface reaction) ปฏิกิริยาพื้นผิวเป็นกลไกที่โมเลกุลสารถูกดูดซับเกาะติดที่ผิวของตัวดูดซับซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมากเมื่อเทียบกับกระบวนการแพร่

### 2.3.2 ความสัมพันธ์ของสมดุลการดูดซับ [14]

สมดุลการดูดซับเป็นสภาวะที่ตัวดูดซับอิ่มตัวไม่สามารถดูดซับสารถูกดูดซับได้อีก โดยสภาวะสมดุลจะเป็นตัวกำหนดปริมาณของสารถูกดูดซับที่ตัวดูดซับสามารถดูดซับไว้ได้ ตัวแปรที่สำคัญในการดูดซับซึ่งมีอิทธิพลต่อสภาวะสมดุล คือ อุณหภูมิและความดัน ความสัมพันธ์ของสมดุลการดูดซับระหว่างความเข้มข้นของสารถูกดูดซับในของไหลกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับในตัวดูดซับอธิบายได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ไอโซเทอมของการดูดซับ [1]

จากรูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างของไอโซเทอมของการดูดซับ อันได้แก่

ก) ไอโซเทอมแบบเส้นตรง (Linear isotherm) เป็นไอโซเทอมที่มีสมการคล้ายกับ Henry's law ดังนี้

$$q = Kc \quad (2.5)$$

เมื่อ  $K$  คือ ค่าคงที่จากการทดลองมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของตัวดูดซับ ซึ่งไอโซเทอมแบบเส้นตรงนี้สามารถใช้ได้กับระบบที่ที่เจือจางเท่านั้น

ข) ไอโซเทอมแบบฟรุนดิช (Freundlich isotherm) เป็นไอโซเทอมที่ได้จากการทดลอง ใช้สำหรับของเหลวเท่านั้น มีสมการดังนี้

$$q = Kc^n \quad (2.6)$$

เมื่อ  $K$  และ  $n$  คือ ค่าคงที่จากการทดลอง โดยที่  $n$  คือ ความชันของเส้นกราฟ เมื่อพลอตระหว่าง  $\log-c$  กับ  $\log-q$  ส่วนค่า  $K$  จะขึ้นอยู่กับค่า  $n$

ค) ไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm) เป็นไอโซเทอมที่ได้มาจากทางทฤษฎี มีสมการดังนี้

$$q = \frac{q_0 c}{K + c} \quad (2.7)$$

ค่า  $q_0$  และ  $K$  คือ ค่าคงที่จากการทดลอง โดยที่  $q_0$  มีหน่วยเป็นกิโลกรัมสารถูกดูดซับต่อกิโลกรัมของแข็งและ  $K$  มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

## 2.4 ตัวดูดซับ [12]

ตัวดูดซับที่ใช้ในการลดความชื้นมีทั้งชนิดของเหลวและของแข็ง ในส่วนของตัวดูดซับที่เป็นของแข็งความชื้นจะถูกดูดซับไว้ที่ผิวของตัวดูดซับ โดยอาศัยความแตกต่างของความดันไอน้ำในอากาศชั้นกับผิวของตัวดูดซับ โดยในกรณีที่ความดันไอน้ำที่ผิวของสารดูดความชื้นน้อยกว่าความดันไอน้ำในอากาศชั้นจะเป็นการดูดซับ (Adsorption) และหากความดันไอน้ำที่ผิวของตัวดูดซับมากกว่าความดันไอน้ำในอากาศชั้นจะเป็นการคายซับ (Desorption) สารดูดซับแต่ละชนิดมีลักษณะประจำตัวตามธรรมชาติทางเคมี เช่น ปริมาณของพื้นที่ผิว และลักษณะการกระจายของรูพรุน เป็นต้น ตัวดูดซับที่นิยมใช้กันทั่วไป ได้แก่

### 2.4.1 ถ่านกัมมันต์ (activated carbon)

ถ่านกัมมันต์ผลิตจากวัสดุต่างๆ ได้แก่ ไม้ ถ่าน และกะลามะพร้าว เป็นต้น ผิวของถ่านกัมมันต์เป็นชนิดไม่มีขี้ สามารถดูดซับสารละลายอินทรีย์ กลิ่น และสารพิษต่างๆ ได้ดี ถ่านกัมมันต์มีขนาดตั้งแต่ 4 x 6 เมสซ์ ถึง 4 x 20 เมสซ์ ความหนาแน่น 0.08 – 0.5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร พื้นที่ผิว 600 – 1600 ตารางเมตรต่อกรัม

### 2.4.2 ซิลิกาเจล (silica gel)

ซิลิกาเจลผลิตจากโซเดียม ซิลิเกต ผิวของซิลิกาเจลเป็นประเภทมีขี้ ใช้ดูดซับไอน้ำหรือความชื้นได้ดี มีพื้นที่ผิวประมาณ 700 ตารางเมตรต่อกรัม ซิลิกาเจลจะดูดซับความชื้นได้ดีหากอุณหภูมิสูงกว่า 260 องศาเซลเซียส

### 2.4.3 แอคทิเวทเต็ดอะลูมินา (activated alumina)

แอคทิเวทเต็ดอะลูมินา ผลิตโดยการเผาอะลูมิเนียมเพื่อให้กลายเป็นออกไซด์ของอะลูมิเนียมซึ่งมีลักษณะเป็นเม็ด ใช้ในการดูดซับความชื้นจากอากาศ พื้นที่ผิวประมาณ 200 – 300 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม ซึ่งค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับสารดูดความชื้นชนิดอื่นๆ

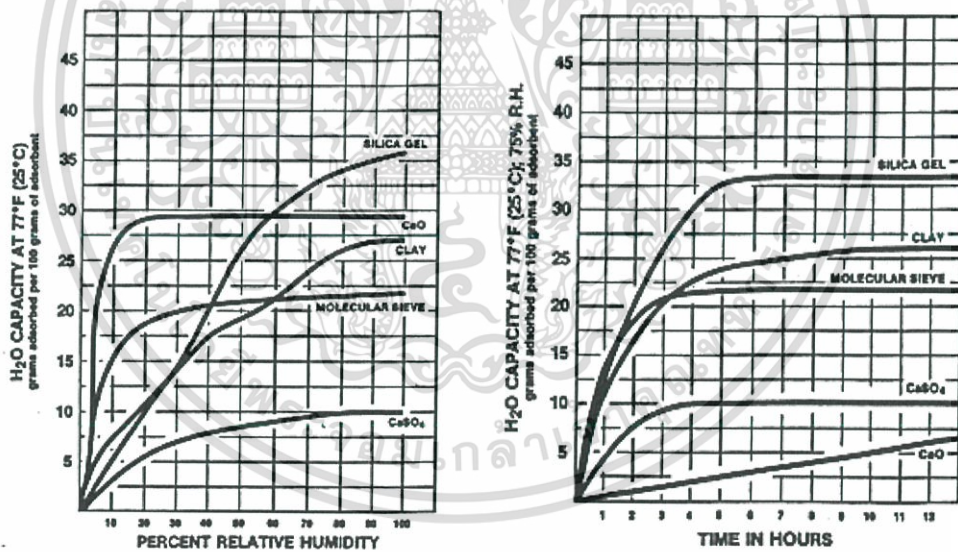
### 2.4.4 ซีโอไลต์ (zeolites)

ซีโอไลต์หรือโมเลกุลลาร์ซีฟส์ มีลักษณะเป็นผลึกจึงทำให้ขนาดของรูพรุนเท่ากันโดยตลอด ใช้ในการดูดซับความชื้นในกระแสดอากาศหรืออาจใช้ในการดูดซับพาราฟินในกระบวนการผลิตของโรงกลั่นน้ำมัน

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกายภาพของตัวดูดซับ [12]

ตัวดูดซับ	ความพรุน ภายใน (%)	พื้นที่ผิว (ตร.ม./กรัม)	ปริมาตรรูพรุน (ลบ.ซม./กรัม)	ความหนาแน่นเชิง ปริมาตรในสภาพที่แห้ง (กรัม/ลบ.ซม.)	เส้นผ่านศูนย์กลาง รูพรุนเฉลี่ย (นาโนเมตร)
แอคทีเวทเต็ด คาร์บอน	55 - 75	600 - 1600	0.80 - 1.20	0.35 - 0.50	150 - 200
แอคทีเวทเต็ด อะลูมินา	30 - 40	200 - 300	0.29 - 0.37	0.90 - 1.00	180 - 200
โมเลกุลลาร์ ซีฟส์	40 - 55	600 - 700	0.27 - 0.38	0.80	30 - 90
ซิลิกาเจล	70	750	0.40	0.70	220

จากรูปที่ 2.6 และ 2.7 จะเห็นว่าซิลิกาเจลสามารถดูดซับความชื้นได้ดีเมื่ออากาศมีความชื้นสูงและยังมีอัตราการดูดซับที่สูงเมื่อเทียบกับตัวดูดซับชนิดอื่นๆ



รูปที่ 2.6 ปริมาณสมดุลดูดซับจำเพาะของตัวดูดซับที่ความชื้นต่างๆ [18]

รูปที่ 2.7 อัตราการดูดซับน้ำของตัวดูดซับชนิดต่างๆ [18]

## 2.5 การดูดซับในเบตนิ่ง [14]

เมื่อมีการบรรจุตัวดูดซับในเบตนิ่ง ปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบอุปกรณ์ ได้แก่ อัตราส่วนช่องว่าง (void fraction) และความดันลด (pressure drop) ซึ่งมีข้อมูลที่ควรทราบดังนี้

2.5.1 อัตราส่วนช่องว่าง (void fraction) คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาตรช่องว่างในเบตต่อปริมาตรของเบตเปล่า โดยอัตราส่วนช่องว่างสำหรับวัสดุชนิดต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 อัตราส่วนช่องว่างและความหนาแน่นของวัสดุ [19]

Material	Density $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Void fraction $\epsilon_p$
Wall bricks	1360	0.49
Clinker bricks	2050	0.19
Lime sandstone	900	0.63
Pumice concrete	840	0.62
Wood fibre	300	0.81
Molecular sieve 4 Å	1100	0.45
Molecular sieve 10 Å	1180	0.57
Silica gel	1090	0.46
Activated carbon	760	0.56

2.5.2 ความดันลด (pressure drop) สามารถคำนวณได้จากสมการของ Ergun

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{150 \bar{V}_0 \mu (1-\epsilon)^2}{\Phi_s^2 D_p^2 \epsilon^3} + \frac{1.75 \rho \bar{V}_0^2 (1-\epsilon)}{\Phi_s D_p \epsilon^3} \quad (2.8)$$

เมื่อ $\Delta p$	คือ ความดันลด (ปาสคาล)
$L$	คือ ความสูงเบต (เมตร)
$\bar{V}_0$	คือ ความเร็วอากาศในเบตเปล่า (เมตรต่อวินาที)
$\mu$	คือ ความหนืดของอากาศ (กิโลกรัมต่อเมตรวินาที)
$D_p$	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวดูดซับ (เมตร)
$\Phi$	คือ ค่าความเป็นทรงกลม
$\epsilon$	คือ อัตราส่วนช่องว่าง (void fraction)
$\rho$	คือ ความหนาแน่นอากาศ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

จากสมการ (2.8) ค่าคงที่ต่างๆ สามารถหาได้จากตารางที่ 2.4 และตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.4 ค่าความเป็นทรงกลมของวัสดุ [20]

Material	Sphericity
<b>Sand</b>	
Round sand	0.86
Sharp sand	0.66
Crushed sandstone	0.8–0.9
<b>Coal</b>	
Pulverized coal	0.73
Crushed coal	0.63–0.75
Activated carbon	0.70–0.90
Mica flakes	0.28
Fischer–Tropsch catalyst	0.58
Common salt	0.84
Crushed glass	0.65
Silica gels	0.70–0.90
Tungsten powder	0.89
Sillimanite	0.75
Wheat	0.85

Source: Adapted from Geldart (1986).

ตารางที่ 2.5 ช่องว่างภายในเบด [20]

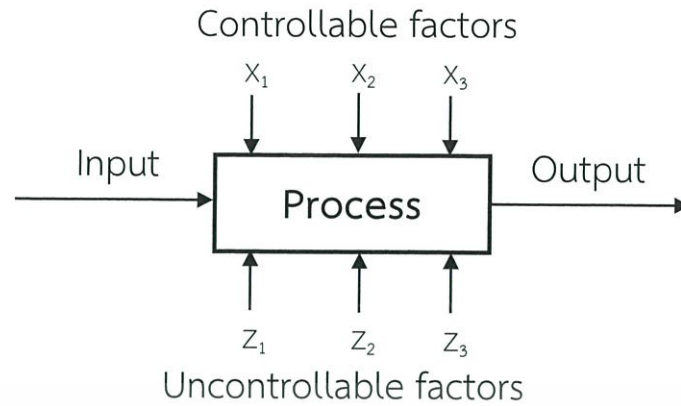
Sphericity	Voidage	
	Loose packing	Dense packing
0.25	0.85	0.80
0.30	0.80	0.75
0.35	0.75	0.70
0.40	0.72	0.67
0.45	0.68	0.63
0.50	0.64	0.59
0.55	0.61	0.55
0.60	0.58	0.51
0.65	0.55	0.48
0.70	0.53	0.45
0.75	0.51	0.42
0.80	0.49	0.40
0.85	0.47	0.38
0.90	0.45	0.36
0.95	0.43	0.34
1.00	0.41	0.32

Source: Adapted from Brown, 1966.

## 2.6 การออกแบบการทดลอง (Design of experimental) [21]

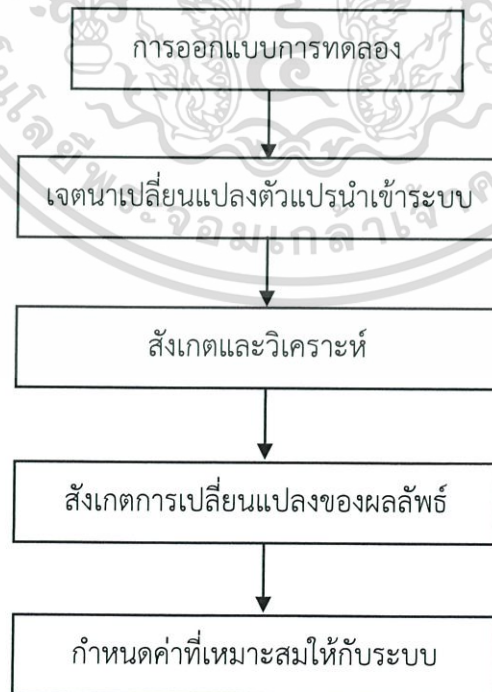
การออกแบบ (Design) หมายถึง การเลือกรูปแบบที่เหมาะสมในการศึกษาระบบที่สนใจ การทดลอง (Experiment) หมายถึง สิ่งที่ทำขึ้นเพื่อค้นหาองค์ความรู้หรือข้อมูลส่วนที่ยังขาดไปเกี่ยวกับกระบวนการหรือระบบที่สนใจโดยผู้ทำการศึกษาในสาขานั้นๆ

การออกแบบการทดลอง (Design of Experimental) คือ การทดสอบเพียงครั้งเดียวหรือต่อเนื่อง โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรนำเข้า (Input Variables) ในระบบหรือกระบวนการที่สนใจศึกษา เพื่อที่จะทำให้สามารถสังเกตและชี้ถึงสาเหตุต่างๆ ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่ได้ (Output or Responses) จากกระบวนการหรือระบบนั้น โดยตัวแปรนำเข้าจะถูกจัดแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ควบคุมได้ เรียกว่า ตัวแปรที่ควบคุมได้ (Controllable Variables) และกลุ่มที่ไม่สามารถควบคุมได้ เรียกว่า ตัวแปรที่รับกวนระบบ (Uncontrollable Variables) ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการหรือระบบที่สนใจ [21]

การกำหนดตัวแปรที่ควบคุมได้และตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ขึ้นอยู่กับระบบแต่ละระบบ ซึ่งโดยหลักการแล้วตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้มักจะเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมในธรรมชาติ เช่น ลม ฝุ่นละออง ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิภายนอก หรือส่วนของอุปกรณ์หรือระบบที่ยากแก่การควบคุม เนื่องจากในการควบคุมต้องใช้ความระมัดระวังสูง เพราะเมื่อชำรุดอาจส่งผลถึงต้นทุนค่าใช้จ่ายที่สูงมาก ส่วนตัวแปรที่ควบคุมได้ เช่น ที่มาของวัตถุดิบ เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต พนักงานที่ควบคุม อุณหภูมิที่ใช้ในการผลิต เป็นต้น ในทุกกระบวนการสามารถที่จะระบุและบันทึกไว้เพื่อเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์ต่อไปได้โดยสรุปในการออกแบบการทดลองมีหลักการสำคัญดังสรุปได้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 หลักการสำคัญในการออกแบบการทดลอง [21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นในภาพรวมการออกแบบการทดลองจึงมีส่วนสำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในส่วนของ การออกแบบกระบวนการ ในด้านการกำหนดค่าพารามิเตอร์ หรือค่าเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ใช้ในระบบหรือ กระบวนการ เช่น ในการผลิตน้ำอัดลม การกำหนดส่วนผสมเพื่อให้ได้รสชาติที่เหมาะสม กำหนด ความเร็วของสายพานเพื่อประโยชน์ในการบรรจุจะทำให้สูญเสียน้ำอัดลมน้อยที่สุด เป็นต้น ซึ่งในทาง วิศวกรรมจะเรียกขั้นตอนนี้ว่า “Parameter Design”

การออกแบบกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์ (Process or Product Design) แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

1. การออกแบบระบบ (System design) คือ การนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการ เพื่อออกแบบตัวแบบเริ่มต้น โดยตัวแบบนี้จะถูกกำหนดโดยการ กำหนดค่าเริ่มต้นของลักษณะของคุณภาพที่ต้องการของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการ

2. การออกแบบค่าพารามิเตอร์ (Parameter Design) คือ การศึกษาเพื่อกำหนดและระบุ ค่าที่ดีที่สุดและเหมาะสมภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่ต้องการให้กับกระบวนการ เช่น การตั้ง ค่าพารามิเตอร์ในการขับรถเพื่อให้เครื่องยนต์กินน้ำมันน้อยที่สุด หรือระยะทางต่อลิตรมากที่สุด การตัดบานกระจกต้องการให้มีขนาดพอดีกับที่ต้องการ เป็นต้น

3. การออกแบบค่าพิกัดเผื่อ (Tolerance Design) คือ วิธีการกำจัดช่วงหรือพิกัดเผื่อที่ เหมาะสมในกระบวนการผลิต ที่จะทำให้คุณภาพทางการผลิตสูง และค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน ต่ำที่สุด

#### 2.6.1 ระยะเวลาออกแบบแผนการทดลอง (Experimental Design Phase)

เนื่องจากการออกแบบแผนการทดลองมีความสำคัญในการประยุกต์ใช้ในการปรับปรุง ผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตและการเปลี่ยนแปลงในระบบ ทำให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงและตรงเป้าหมาย มากขึ้น แนวทางในการพัฒนาที่แน่นอนทำให้ช่วยลดเวลาในการพัฒนากระบวนการหรือระบบนั้นๆ และทำให้ค่าใช้จ่ายและเวลาโดยรวมในการพัฒนาต่ำลง ซึ่งเป็นไปตามหลักการควบคุมคุณภาพขณะ ปิดสายการผลิต ระยะเวลาออกแบบแผนการทดลอง สามารถแบ่งได้เป็น 4 ช่วงระยะเวลาในแต่ละระยะมี กิจกรรมที่ต้องทำดังนี้

##### 1. ระยะเวลาวางแผนการทดลอง (Planning Phase)

- จัดตั้งทีมผู้รับผิดชอบ
- กำหนดวัตถุประสงค์ในการทำการทดลอง
- ระบุตัวแปรตอบสนอง ตัวแปรปัจจัยที่ควบคุมได้และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้
- กำหนดวิธีการวัดค่า (เก็บรวบรวมข้อมูล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. ระยะการออกแบบการทดลอง (Designing Phase)

- เลือกรูปแบบการทดลองให้เหมาะสม
- กำหนดช่วง/ค่าเริ่มต้น สำหรับตัวแปรที่ควบคุมได้ในกรทดลอง

## 3. ระยะการทำการทดลอง (Conducting Phase)

- เตรียมการทดลอง
- ทำการทดลองตามแผนที่วางไว้โดยลำดับการทดลองอย่างสุ่ม
- ทำการทดสอบและตรวจสอบข้อมูลเพื่อความชัดเจนถูกต้อง

## 4. ระยะเวลาวิเคราะห์ผลการทดลอง (Analysis Phase)

- ใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนและการทดสอบสมมติฐาน
- ชี้แจงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าตอบสนอง
- กำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อปรับปรุงกระบวนการ
- ทำการทดลองเพื่อยืนยันผล เพื่อสนับสนุนค่าพารามิเตอร์ที่ถูกกำหนดไว้ว่า

เหมาะสมจริง เนื่องจากในการทำการทดลองยังมีอิทธิพลของกลุ่มปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ ซึ่งไม่ได้ถูกนำมาพิจารณากำหนดค่าด้วย

### 2.6.2 การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล

การทดลองแฟคทอเรียล คือ การทดลองที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการออกแบบแผนการทดลองเนื่องจากสามารถศึกษาปัจจัยได้หลายปัจจัยพร้อมกันโดยมีวัตถุประสงค์หลักคือ ศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหรือที่เรียกว่า “อันตรกิริยา” (Interactions) เช่น กรณีที่ศึกษา 3 ปัจจัย คือ ปัจจัย A B และ C ผลกระทบที่เกิดขึ้นสามารถจำแนกได้ 3 ประเภท คือ

1. ผลกระทบหลักหรือผลกระทบปัจจัยเดี่ยว (Main Effect) คือ ผลกระทบกรณีที่น่าสนใจพิจารณาปัจจัยเดี่ยว ได้แก่ ผลกระทบของปัจจัย A ผลกระทบของปัจจัย B และผลกระทบของปัจจัย C

2. ผลกระทบระหว่าง 2 ปัจจัย (Two-Factors or 2-ways Interaction) คือ ผลกระทบที่เกิดจากการพิจารณาปัจจัยพร้อมกันเป็นคู่ ได้แก่ ผลกระทบของปัจจัยร่วม (อันตรกิริยา) AB BC และ AC

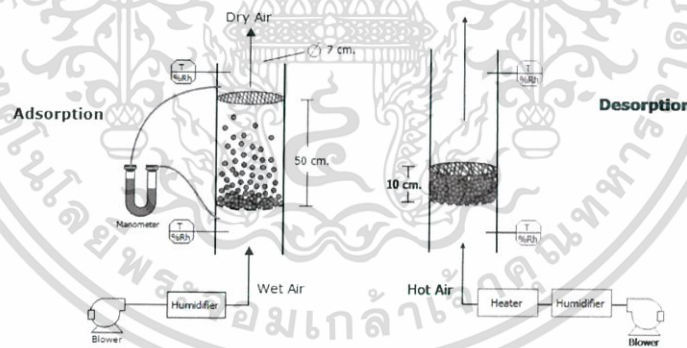
3. ผลกระทบร่วม 3 ปัจจัย (Three-Factors or 3-ways Interaction) คือ ผลกระทบที่เกิดจากการพิจารณาสามปัจจัยพร้อมกัน ในที่นี้ ได้แก่ ผลกระทบร่วม ABC

โดยทั่วไปผู้ทดลองจะให้ความสำคัญแก่การศึกษา ผลกระทบหลัก และผลกระทบร่วมของ 2 ปัจจัยเท่านั้น เนื่องจากผลกระทบร่วมตั้งแต่ 3 ปัจจัยขึ้นไป โดยทั่วไปจะมีค่าน้อยมากจึงไม่นิยมนำมาพิจารณา การทดลองแฟคทอเรียล แบ่งออกได้เป็น 2 กรณีหลัก คือ การทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบและการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน ในงานวิจัยนี้ในการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบสำหรับศึกษาปัจจัย 2 ระดับ ( $2^k$  Full Factorial)

### 2.6.2.1 การทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ

การทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ เป็นการทดลองที่ทำขึ้นเพื่อศึกษาผลกระทบระหว่างปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป โดยมีวัตถุประสงค์หลัก คือ ต้องการศึกษารวม ผู้ทดลองจะใช้จำนวนระดับของปัจจัยที่ระดับนั้นขึ้นกับความสำคัญของปัจจัย ปัจจัยที่ต้องการศึกษาละเอียดจะใช้จำนวนระดับปัจจัยที่มีค่ามาก ค่าจำนวนระดับปัจจัยที่ระบุจะต้องสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในการทดลอง เช่น กรณีศึกษา 2 ปัจจัย ( $2^k$  Full Factorial) วัตถุประสงค์ของการทดลองคือเพื่อคัดปัจจัยออกหรือทำเพื่อต้องการศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ในกรณีทำการศึกษาปัจจัยตั้งแต่ 3 ระดับขึ้นไป จะเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเส้นตรง

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ 2.10 ชุดทดลองการดูดซับและคายซับ

ณัชพล ไม้ซุน และคณะ [22] ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการประสิทธิผลการดูดซับและการคายซับของซิลิกาเจล ในการศึกษาผลของตัวแปรต่อประสิทธิภาพของการดูดซับได้ศึกษาตัวแปรทั้งในสภาวะเบตนิ่งและฟลูอิดไชเบตในช่วงต่างๆ ดังนี้ ความเร็วอากาศขึ้น 0.5 – 2.0 เมตรต่อวินาที ที่ความสูงซิลิกาเจล 10 เซนติเมตร และความสูงของซิลิกาเจล 5.0 – 12.5 เซนติเมตร ที่ความเร็วอากาศ 1.5 เมตรต่อวินาที ผลของตัวแปรต่อประสิทธิภาพการคายซับได้ศึกษาตัวแปรในช่วงต่างๆ ดังนี้ ความเร็วอากาศร้อน 0.25 – 1.00 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิอากาศร้อน 60 – 80 องศาเซลเซียส โดยทดลองในสภาวะเบตนิ่งที่มีความสูง 10 เซนติเมตร ประสิทธิภาพของการดูดซับและคายซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจค้า  
 ซึบนิยามจากปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับและปริมาณความชื้นที่ถูกคายซับต่อพลังงานไฟฟ้าที่ใช้  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าในสภาวะเบตนิ่งสามารถลดความชื้นได้มากกว่าสภาวะฟลูอิดไคซ์เบต แต่ความดันลดของสภาวะเบตนิ่งสูงขึ้นมากเมื่อเทียบกับสภาวะฟลูอิดไคซ์เบต เมื่อความสูงเบตนิ่งและความเร็วของอากาศเพิ่มขึ้น ในส่วนคายซับปริมาณความชื้นที่ถูกคายซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อปรับความเร็วของอากาศร้อนจนถึง 0.75 เมตรต่อวินาที และจะลดลงเมื่อปรับความเร็วของอากาศร้อนเป็น 1 เมตรต่อวินาที แต่พลังงานที่ใช้ในการคายซับยังคงเพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพของการคายซับลดลง ความเร็วอากาศร้อนและอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการคายซับ คือ 0.75 เมตรต่อวินาที และ 70 องศาเซลเซียสตามลำดับ

วิสิทธิ์ เอกวานิช และคณะ [23] ศึกษาและออกแบบระบบลดความชื้นของอากาศก่อนเข้าเครื่องปรับอากาศโดยใช้ตัวดูดความชื้นชนิดของแข็ง งานวิจัยศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการปรับอากาศและค่าการใช้พลังงานระหว่างระบบปรับอากาศทั่วไปและระบบทำความเย็นที่ติดตั้งระบบลดความชื้น ลักษณะวงล้อดูดความชื้นที่ใช้ในการทดลองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เมตร ความหนา 0.2 เมตร ปริมาณซิลิกาเจล 15 กิโลกรัม โดยแบ่งพื้นที่ส่วนดูดซับและส่วนคายซับเท่าๆกัน และได้ทำการศึกษาตัวแปรในช่วงต่างๆ ดังนี้ อัตราการไหลของอากาศชั้น 0.3 - 1.7 กิโลกรัมต่อวินาที อัตราการไหลของอากาศร้อน 1.0 - 2.5 กิโลกรัมต่อวินาที ความเร็วรอบของวงล้อ 1.0 - 4.0 รอบต่อวินาที อุณหภูมิอากาศชั้นขาเข้า 24.5 - 32.5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 45 - 65 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนความชื้นของอากาศชั้นขาเข้า 10 - 19 กรัม น้ำต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิของอากาศและอัตราการไหลของอากาศเป็นตัวแปรหลักที่ส่งผลต่ออัตราการลดความชื้นในอากาศ อัตราการคายความชื้นออกจากตัวดูดซับและค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของวงล้อดูดความชื้น (ปริมาณความร้อนจากการดูดซับต่อปริมาณความร้อนที่ใช้ในการคายซับ:DCOP) จากการทดลองที่สภาวะต่างๆ พบว่า วงล้อดูดความชื้นสามารถดูดซับความชื้นในอากาศอยู่ในช่วง 0.32 - 4.74 กรัมต่อวินาที และสามารถคายความชื้นออกจากตัวดูดซับอยู่ในช่วง 6.77 - 18.95 กรัมต่อวินาที โดยมีค่า DCOP อยู่ในช่วง 0.02 - 0.25 ซึ่งวงล้อดูดความชื้นที่มีค่า DCOP สูงจะมีประสิทธิภาพสูง จากการทดลอง ที่ 27.5 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้น 19 กรัม น้ำต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง อุณหภูมิอากาศร้อน 55 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบของวงล้อดูดความชื้น 2.5 รอบต่อวินาที พบว่าค่า DCOP เท่ากับ 0.02 ที่อัตราการไหลอากาศชั้นและอากาศร้อนเท่ากับ 0.3 และ 1.8 กิโลกรัมต่อวินาที และ DCOP เท่ากับ 0.25 ที่อัตราการไหลอากาศชั้นและอากาศร้อนเท่ากับ 1.0 กิโลกรัมต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H.M. Ahmed และคณะ [24] ศึกษาผลของตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบวงล้อดูดความชื้นต่อการลดความชื้นด้วยวงล้อดูดความชื้น โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ให้ความร้อนกับอากาศที่ใช้ในสวนค้ายับและหาสภาวะที่เหมาะสมในการลดความชื้นด้วยการคำนวณและการทดลอง โดยกำหนดประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้นจากปริมาณความชื้นที่ลดลง ลักษณะของวงล้อดูดความชื้นที่ใช้ในการทดลองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 เซนติเมตร ความหนา 20 เซนติเมตร ปริมาณซิลิกาเจล 30 กิโลกรัม และได้ทำการศึกษาดังนี้ ความหนาของวงล้อ ความเร็วรอบของวงล้อ อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ค้ายับกับพื้นที่ดูดซับ ความพรุนของวงล้อ อัตราการไหลของอากาศ อัตราส่วนความชื้นอากาศขาเข้าและอุณหภูมิของอากาศ ในการทดลองกำหนดให้อัตราการไหลของอากาศและความเร็วรอบของวงล้ออยู่ในช่วง 1.9 - 15.2 กิโลกรัมต่อนาที และ 15 - 60 รอบต่อชั่วโมง ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าผลของการคำนวณและผลจากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ที่อัตราการไหลของอากาศมีค่าต่ำและจากการคำนวณพบว่าสภาวะของตัวแปรที่เหมาะสม คือ ความหนาของวงล้อที่ 0.18 - 0.26 เมตร อัตราการไหลของอากาศ 1 - 5 กิโลกรัมต่อนาที อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ค้ายับกับพื้นที่ดูดซับ 0.3 - 0.8 และอัตราส่วนช่องว่าง 0.4 - 0.7 ที่อุณหภูมิอากาศร้อน 60 - 90 องศาเซลเซียส

Avadhesh Yadav และคณะ [25] ศึกษาความเร็วรอบที่เหมาะสมในการลดความชื้นด้วยวงล้อดูดความชื้น โดยการเปลี่ยนแปลงความเร็วของอากาศขึ้นและอากาศร้อนในช่วง 1.5 - 5.5 เมตรต่อวินาที ความเร็วรอบวงล้อดูดความชื้นในช่วง 10 - 40 รอบต่อนาที อุณหภูมิอากาศขึ้นขาเข้า 30 องศาเซลเซียสและอัตราส่วนความชื้นขาเข้า 17 กรัมต่อกิโลกรัม ลักษณะวงล้อที่ใช้ในการลดความชื้นเป็นแบบฮันนี่คอมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.55 เมตร ความหนา 0.2 เมตร โดยกำหนดประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้นจากปริมาณความชื้นที่ลดลง จากการทดลองพบว่าที่ความเร็วอากาศขึ้นขาเข้าต่ำๆ (1.5 - 2.5 เมตรต่อวินาที) ความเร็วรอบวงล้อที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 10 - 20 รอบต่อชั่วโมง และที่ความเร็วของอากาศขึ้นสูงๆ (>2.5 เมตรต่อวินาที) ความเร็วรอบวงล้อมีผลน้อยมาก ความเร็วรอบที่เหมาะสมสำหรับทุกช่วงความเร็วของอากาศขึ้น คือ 20 รอบต่อชั่วโมงและความเร็วของอากาศขึ้นที่เหมาะสม คือ 3.5 - 4.5 เมตรต่อวินาที

ตารางที่ 2.6 สภาวะที่ทดลองและสภาวะที่เหมาะสมของแต่ละงานวิจัย

ตัวแปร	วิธีที เอควานิซ และคณะ [23]		H.M. Ahmed และคณะ[24]		Avadhesh Yadav และคณะ [25]	
	สภาวะที่ทดลอง	สภาวะที่เหมาะสม	สภาวะที่ใช้คำนวณ	สภาวะที่เหมาะสม	สภาวะที่ทดลอง	สภาวะที่เหมาะสม
ความเร็วอากาศชั้น (m/s)	0.05 - 0.26	0.15	0.14 - 1.19	0.08 - 0.39	1.5 - 5.5	3.5 - 4.5
ความเร็วอากาศร้อน (m/s)	0.15 - 0.38	0.15	0.14 - 1.19	0.08 - 0.39	1.5 - 5.5	3.5 - 4.5
อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า ( C )	45 - 55 C	55	60 - 90 C	60 - 90 C	65	-
ความเร็วรอบการหมุนวงล้อ (RPH)	60 - 240	150	15 - 60	15 - 60	10 - 40	10 - 20
เส้นผ่านศูนย์กลางวงล้อ (m)	0.5	-	0.7	-	0.55	-
ความหนาวงล้อ (m)	0.2	-	0.2	0.18 - 0.26	0.2	-
ชนิดวงล้อ	เบตบรจุ	-	เบตบรจุ	-	ฮันนี่โคลม	-
น้ำหนักซิลิกาเจล (kg)	15	-	30	-	-	-
อัตราส่วนพื้นที่ส่วนคายซับต่อส่วนดูดซับ	1:1	-	1:1	0.3 - 0.8	1:1	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการทดลอง

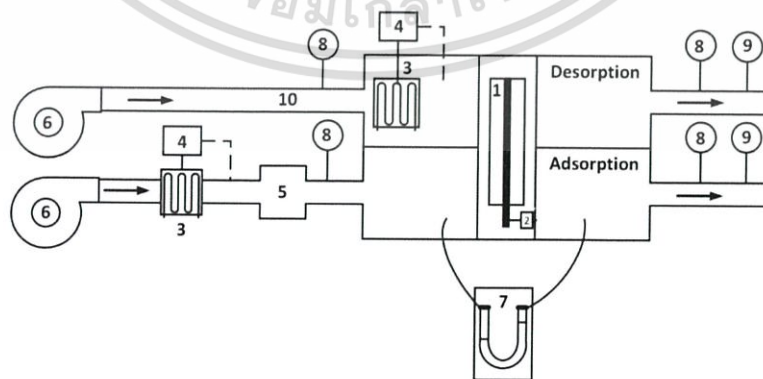
#### 3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

##### 3.1.1 สารเคมี

- 1) ซิลิกาเจล

##### 3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- 1) วงลวดดูดความชื้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ความหนา 10 เซนติเมตร
- 2) ชุดมอเตอร์ปรับความเร็วรอบของวงล้อ
- 3) เครื่องทำความร้อน (Heater)
- 4) ชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ
- 5) ชุดอุปกรณ์ควบคุมความชื้น
- 6) เครื่องเป่าอากาศ (Blower) ยี่ห้อ Kijeonsa รุ่น KJB3-750 กำลัง 0.75/0.85 kW พร้อมอินเวอร์เตอร์ ยี่ห้อ Schneider Electric รุ่น ATV12H075M2 สำหรับปรับค่าความเร็วอากาศ
- 7) มานอมิเตอร์รูปตัวยู
- 8) เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ
- 9) เครื่องวัดความเร็วลม hot-wire anemometer ยี่ห้อ Digicon รุ่น DA-45S
- 10) ท่อขนาด 2 นิ้ว



รูปที่ 3.1 ชุดการทดลอง (1) วงลวดดูดความชื้น (2) มอเตอร์ (3) เครื่องทำความร้อน (4) อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ (5) ชุดอุปกรณ์ควบคุมความชื้น (6) เครื่องเป่าอากาศ (7) มานอมิเตอร์ (8) เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ (9) เครื่องวัดความเร็วลม (10) ท่อขนาด 2 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้น

ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้น ได้แก่ ความเร็วอากาศชื้น ความเร็วอากาศร้อน อุณหภูมิอากาศร้อน และความเร็วรอบการหมุน โดยขอบเขตของงานวิจัยนี้ คือ ออกแบบและสร้างวงล้อดูดความชื้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ความหนา 10 เซนติเมตร โดยใช้ซิลิกาเจลเป็นสารดูดความชื้น และศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการลดความชื้น โดยเลือกศึกษาความเร็วของอากาศชื้นและอากาศร้อนที่ 0.4 และ 0.7 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าที่ 60 และ 80 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบการหมุนวงล้อที่ 30 และ 60 รอบต่อชั่วโมง

#### ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

ตัวแปรต้น	- ความเร็วอากาศชื้น	0.4 และ 0.7	เมตรต่อวินาที
	- ความเร็วอากาศร้อน	0.4 และ 0.7	เมตรต่อวินาที
	- อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า	60 และ 80	องศาเซลเซียส
	- ความเร็วรอบการหมุนวงล้อ	30 และ 60	รอบต่อชั่วโมง
ตัวแปรตาม	- อุณหภูมิของอากาศชื้นและอากาศร้อน ทั้งขาเข้าและขาออก		
	- ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศชื้นและอากาศร้อน ทั้งขาเข้าและขาออก		
ตัวแปรควบคุม	- ความชื้นในอากาศชื้นขาเข้า		

เนื่องจากได้นำการออกแบบเชิงแพคทอเรียลมาใช้ในการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยใช้โปรแกรมมินิแทบและแต่ละสภาวะการทดลองใช้การทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ทำให้สามารถออกแบบการทดลองได้เป็นดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สภาวะที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้น

การทดลองที่	ความเร็ว อากาศชื้น (เมตร/วินาที)	ความเร็ว อากาศร้อน (ลบ.ม./นาท)	อุณหภูมิอากาศ ร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	ความเร็วรอบ การหมุนวงล้อ (รอบต่อชั่วโมง)
1	0.4	0.4	60	60
2	0.7	0.7	80	30
3	0.7	0.7	80	60
4	0.4	0.4	80	30
5	0.4	0.7	80	60
6	0.7	0.4	60	60
7	0.4	0.4	60	60

การทดลองที่	ความเร็ว อากาศขึ้น (เมตร/วินาที)	ความเร็ว อากาศร้อน (ลบ.ม./นาที)	อุณหภูมิอากาศ ร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	ความเร็วรอบ การหมุนวงล้อ (รอบต่อชั่วโมง)
8	0.7	0.7	80	30
9	0.7	0.7	60	60
10	0.7	0.7	60	30
11	0.7	0.4	60	60
12	0.7	0.4	80	30
13	0.4	0.4	60	30
14	0.7	0.4	60	30
15	0.4	0.4	80	60
16	0.7	0.7	80	30
17	0.7	0.4	60	30
18	0.7	0.7	80	60
19	0.4	0.7	60	60
20	0.4	0.4	80	30
21	0.4	0.4	60	60
22	0.4	0.7	80	60
23	0.7	0.7	60	60
24	0.7	0.7	60	60
25	0.7	0.4	60	60
26	0.7	0.4	80	60
27	0.4	0.7	80	30
28	0.4	0.4	80	60
29	0.7	0.4	80	60
30	0.7	0.4	60	30
31	0.4	0.4	60	30
32	0.7	0.4	80	30
33	0.7	0.7	60	30
34	0.7	0.4	80	30
35	0.4	0.7	80	30
36	0.4	0.7	60	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปทำประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่	ความเร็ว อากาศขึ้น (เมตร/วินาที)	ความเร็ว อากาศร้อน (ลบ.ม./นาที)	อุณหภูมิอากาศ ร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	ความเร็วรอบ การหมุนวงล้อ (รอบต่อชั่วโมง)
37	0.4	0.7	60	30
38	0.4	0.7	60	60
39	0.7	0.7	60	30
40	0.4	0.4	80	60
41	0.4	0.4	80	30
42	0.4	0.7	80	30
43	0.4	0.4	60	30
44	0.7	0.7	80	60
45	0.4	0.7	80	60
46	0.4	0.7	60	30
47	0.4	0.7	60	30
48	0.7	0.4	80	60

ในหัวข้อที่ 3.2 ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง คือ การทดลองเพื่อหาเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว และการทดลองเพื่อศึกษาตัวแปรที่มีต่อประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้น

#### การทดลองที่ 3.2.1 หาเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

การทดลองเพื่อหาเวลาที่ระบบใช้ในการเข้าสู่สภาวะคงตัว โดยการปรับความเร็วอากาศขึ้น ความเร็วอากาศร้อน อุณหภูมิอากาศร้อน และความเร็วรอบการหมุนวงล้อ ตามการทดลองที่ 1 ซึ่งมีสภาวะการทดลองแสดงในตารางที่ 3.1 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อหาเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว จากนั้นเปลี่ยนสภาวะของการทดลองเป็นการทดลองที่ 2, 1, 3 และ 1 ตามลำดับ เพื่อพิสูจน์ว่าเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ได้จากการทดลอง สามารถนำไปใช้ในการทดลองอื่นๆ ได้ และเมื่อทำการทดลองซ้ำที่สภาวะการทดลองเดิม ผลการทดลองที่ได้ควรจะมีค่าเท่าเดิม จึงจะสามารถนำเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ได้จากการทดลองนี้ ไปใช้เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้น

### การทดลองที่ 3.2.2 การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้น

ศึกษาผลของความเร็วอากาศชื้น ความเร็วอากาศร้อน อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า และความเร็วรอบการหมุนวงล้อต่อปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับและค่า DCOP โดยทำการทดลองที่สภาวะต่างๆ ดังตารางที่ 3.1

#### ขั้นตอนการดำเนินการ

1. ปรับความเร็วอากาศชื้น ความเร็วอากาศร้อน อุณหภูมิอากาศร้อน และความเร็วรอบการหมุน ตามตารางที่ 3.1
2. เปิดเครื่องเป่าอากาศ เครื่องทำความร้อน และวงล้อดูดความชื้น แล้วเริ่มจับเวลา
3. บันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศชื้นและอากาศร้อนที่ทางเข้าและทางออก ตามเวลาที่ได้จากการทดลองที่ 3.2.1
4. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1 – 3 โดยปรับความเร็วอากาศชื้น ความเร็วอากาศร้อน อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าและความเร็วรอบการหมุนวงล้อตามการทดลองที่ 2 – 48 ในตารางที่ 3.1
5. คำนวณหาปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับและค่า DCOP จากสมการ (2.3) และ (2.4) ตามลำดับ

### 3.3 การทดลองเพื่อปรับปรุงชุดการทดลองวงล้อดูดความชื้น

จากการทดลองในหัวข้อ 3.2 พบว่าเมื่อทำการทดลองดูดซับและคายซับความชื้นด้วยวงล้อดูดความชื้น ความชื้นขาออกของอากาศชื้นและอากาศร้อนมีค่าเท่ากัน ซึ่งอาจเกิดจากการผสมกันของอากาศภายในชุดการทดลอง จึงทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำงานของวงล้อดูดความชื้น และทำการปรับปรุงให้วงล้อดูดความชื้นสามารถลดความชื้นได้ โดยแบ่งการทดลองออกเป็นดังนี้

การทดลองที่ 3.3.1 การศึกษาผลของการถ่ายเทความร้อนระหว่างแคมป์เบอร์ต่ออุณหภูมิของอากาศชื้นขาเข้า

การทดลองที่ 3.3.2 การศึกษาผลของความดันตกคร่อมของวงล้อดูดความชื้นต่ออุณหภูมิอากาศชื้นขาเข้า

การทดลองที่ 3.3.3 การศึกษาผลของการติดฉนวนในช่องว่างของชุดการทดลองต่อความชื้นขาออกของอากาศชื้นและอากาศร้อน และอุณหภูมิขาเข้าของอากาศชื้น

การทดลองที่ 3.3.4 การศึกษาผลของตำแหน่งของเครื่องเป่าอากาศต่อปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับ และอุณหภูมิอากาศชื้นขาเข้า

การทดลองที่ 3.3.5 การศึกษาผลของทิศทางไหลของอากาศร้อนและอากาศชื้นต่อปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับ และอุณหภูมิขาเข้าของวงล้อดูดความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

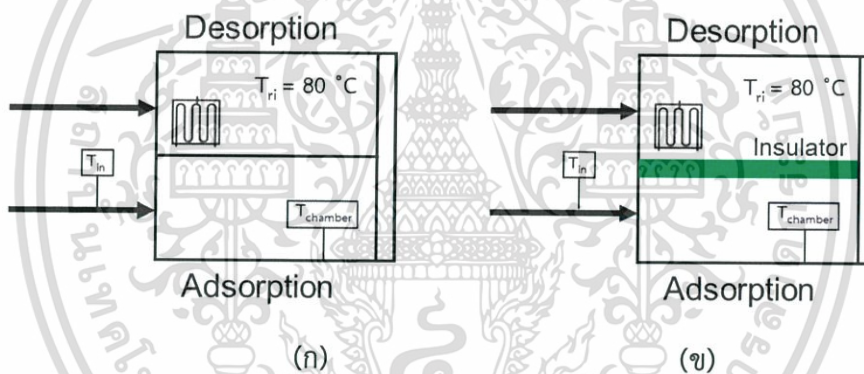
การทดลองที่ 3.3.6 การศึกษาผลของการหมุนของวงล้อต่อปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับ และ อุณหภูมิอากาศชั้นขาเข้า

โดยสภาวะที่ใช้ในการทดลองในหัวข้อ 3.3 เป็นดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สภาวะที่ใช้ในการทดลองเพื่อปรับปรุงชุดการทดลองวงล้อดูดความชื้น

ความเร็ว อากาศชั้น (เมตร/วินาที)	ความเร็ว อากาศร้อน (ลบ.ม./นาที่)	อุณหภูมิอากาศ ร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	ความเร็วรอบ การหมุนวงล้อ (รอบต่อชั่วโมง)
0.4	0.4	80	30

การทดลองที่ 3.3.1 การศึกษาผลของการถ่ายเทความร้อนระหว่างแคมป์เบอร์ต่ออุณหภูมิของอากาศชั้นขาเข้า



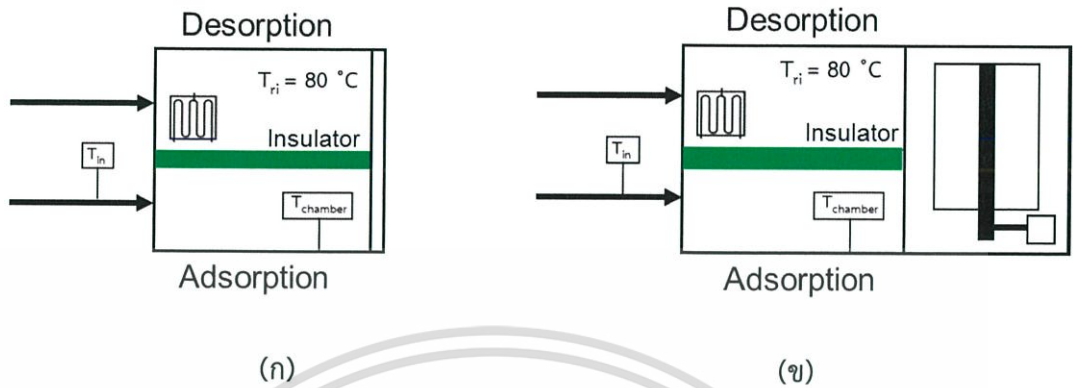
รูปที่ 3.2 ชุดการทดลองการศึกษามผลของการถ่ายเทความร้อนระหว่างแคมป์เบอร์ต่ออุณหภูมิของอากาศชั้นขาเข้า (ก) ไม่ติดฉนวน (ข) ติดฉนวน

ขั้นตอนการดำเนินการ

1. จัดชุดการทดลองตาม รูปที่ 3.2 (ก)
2. ปรับความเร็วอากาศชั้น ความเร็วอากาศร้อน และอุณหภูมิอากาศร้อน ตามตารางที่ 3.2
3. เปิดเครื่องเป่าอากาศ และเครื่องทำความร้อน แล้วเริ่มจับเวลา
4. บันทึกอุณหภูมิอากาศชั้นก่อนเข้าแคมป์เบอร์ และก่อนเข้าวงล้อดูดความชื้น ทุกๆ 5 นาที เป็นเวลา 20 นาที
5. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1 – 3 โดยจัดชุดการทดลองตามรูปที่ 3.2 (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 3.3.2 การศึกษาผลของความดันตกคร่อมของวงล้อยูดความชื้นต่ออุณหภูมิอากาศชื้นขาเข้า



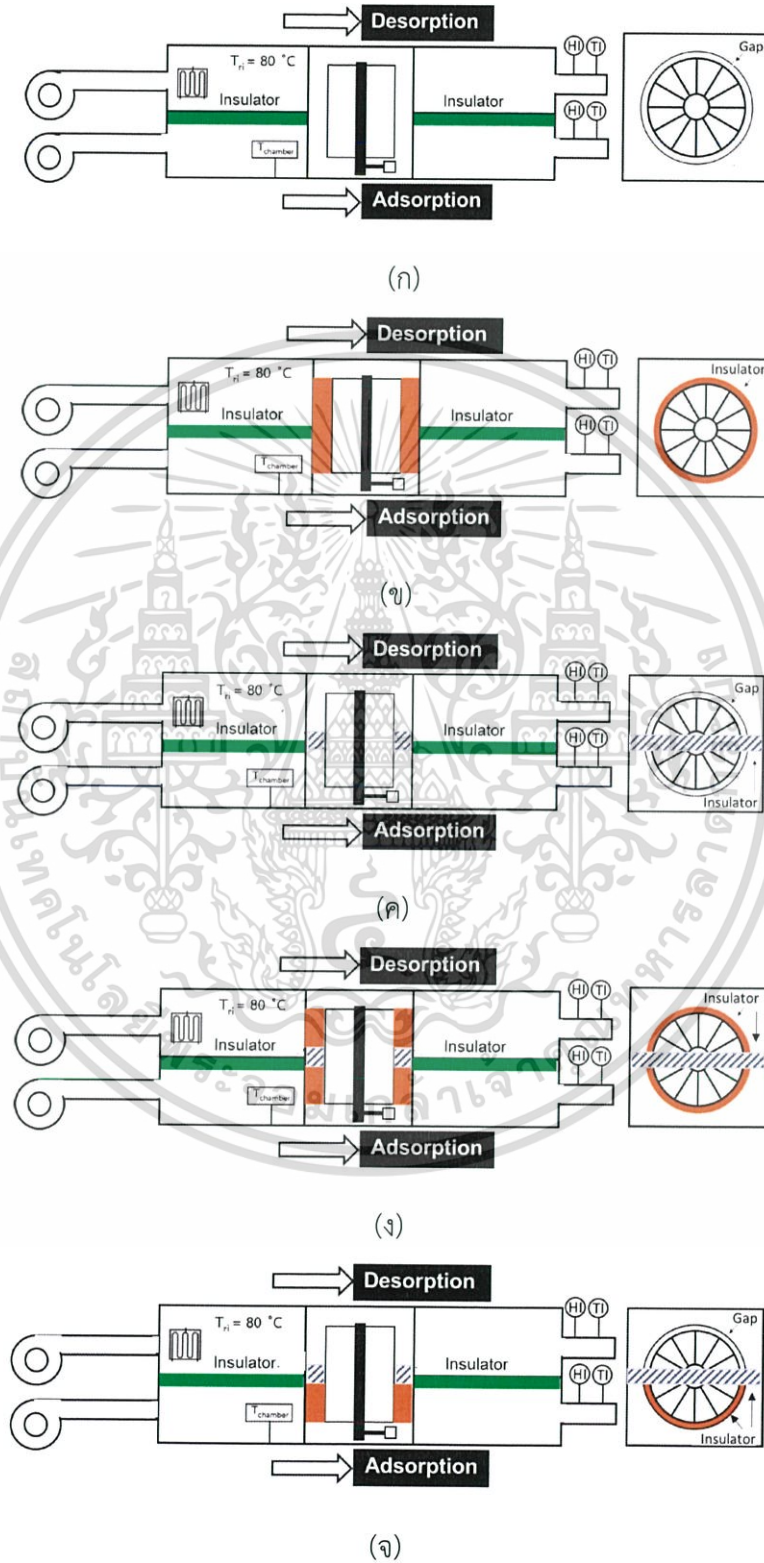
รูปที่ 3.3 ชุดการทดลองการศึกษาผลของความดันตกคร่อมของวงล้อยูดความชื้นต่ออุณหภูมิอากาศชื้นขาเข้า (ก) ใส่วงล้อย (ข) ไม่ใส่วงล้อย

ขั้นตอนการทดลอง

1. จัดชุดการทดลองตามรูปที่ 3.3
2. ปรับความเร็วอากาศชื้น ความเร็วอากาศร้อน อุณหภูมิอากาศร้อน และความเร็วรอบการหมุน ตามตารางที่ 3.2
3. เปิดเครื่องเป่าอากาศ เครื่องทำความร้อน และวงล้อยูดความชื้น แล้วเริ่มจับเวลา
4. บันทึกอุณหภูมิของอากาศชื้นก่อนเข้าแคมป์เบอร์ และก่อนเข้าวงล้อยูดความชื้น ทุก 5 นาที เป็นเวลา 20 นาที
5. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1 – 4 โดยจัดชุดการทดลองตามรูปที่ 3.3 (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 3.3 การศึกษาผลของการติดฉนวนในช่องว่างของชุดการทดลองต่อความชื้นขาออกของอากาศชื้นและอากาศร้อน และอุณหภูมิขาเข้าของอากาศชื้น



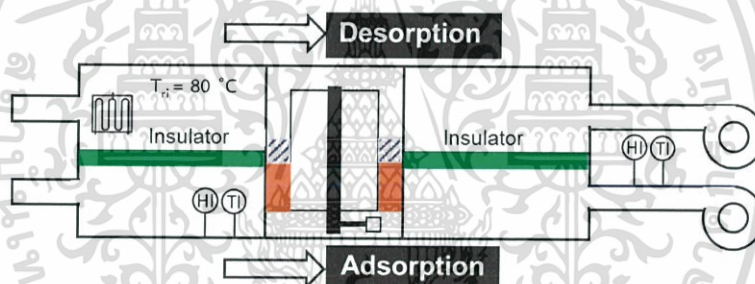
รูปที่ 3.4 ชุดการทดลองการศึกษาผลของการติดฉนวนในช่องว่างของชุดการทดลองต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต การคัดลอกหรือการนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย ผู้ที่ฝ่าฝืนจะถูกลงโทษตามกฎหมาย

### ขั้นตอนการทดลอง

1. จัดชุดการทดลองตามรูปที่ 3.4 (ก)
2. ปรับความเร็วอากาศชื้น ความเร็วอากาศร้อน อุณหภูมิอากาศร้อน และความเร็วรอบการหมุน ตามตารางที่ 3.2
3. เปิดเครื่องเป่าอากาศ เครื่องทำความร้อน และวงล้อดูดความชื้น แล้วเริ่มจับเวลา
4. บันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศชื้นและอากาศร้อนที่ทางออกของวงล้อดูดความชื้น ทุกๆ 2 นาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
5. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1 – 4 โดยจัดชุดการทดลองตามรูปที่ 3.4 (ข)-(ง)
6. คำนวณหาความชื้นขาออกของอากาศชื้นและอากาศร้อน จากสมการ (2.2)

การทดลองที่ 3.3.4 การศึกษาผลของตำแหน่งของเครื่องเป่าอากาศต่อปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับ และอุณหภูมิอากาศชื้นขาเข้า

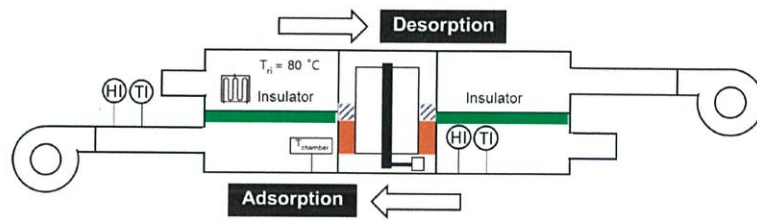


รูปที่ 3.5 ชุดการทดลองการศึกษามผลของการทำงานของเครื่องเป่าอากาศต่อปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับ และอุณหภูมิอากาศชื้นขาเข้า

### ขั้นตอนการทดลอง

จัดชุดการทดลองตามรูปที่ 3.5 และทำการทดลองตามขั้นตอนการทดลองในการทดลองที่ 3.3.3

การทดลองที่ 3.3.5 การศึกษาผลของทิศทางการไหลของอากาศร้อนและอากาศเย็นต่อ ปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับ และอุณหภูมิขาเข้าของวงล้อดูดความชื้น



รูปที่ 3.6 ชุดการทดลองการศึกษาผลของทิศทางการไหลของอากาศร้อนและอากาศเย็นต่อ ปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับ และอุณหภูมิขาเข้าของวงล้อดูดความชื้น

ขั้นตอนการทดลอง

จัดชุดการทดลองตามรูปที่ 3.6 และทำการทดลองตามขั้นตอนการทดลองในการทดลองที่ 3.3.3

การทดลองที่ 3.3.6 การศึกษาผลของการหมุนของวงล้อต่อปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับ และอุณหภูมิอากาศเย็นขาเข้า

ขั้นตอนการทดลอง

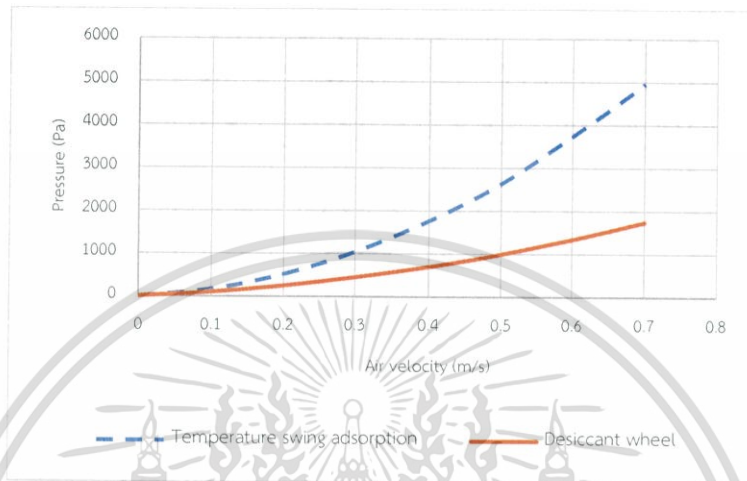
1. จัดชุดการทดลองตามรูปที่ 3.5
2. ปรับความเร็วอากาศเย็น ความเร็วอากาศร้อน อุณหภูมิอากาศร้อน และความเร็วรอบการหมุน ตามตารางที่ 3.2
3. เปิดเครื่องเป่าอากาศ เครื่องทำความร้อน แล้วเริ่มจับเวลา
4. บันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเย็นและอากาศร้อนที่ทางออกของวงล้อดูดความชื้น ทุกๆ 5 นาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
5. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1 – 4 โดยทดลองที่ค่าความเร็วอากาศเย็น ความเร็วอากาศร้อน อุณหภูมิอากาศร้อน และความเร็วรอบการหมุนวงล้อ มีค่าเท่าเดิม แต่ทำการปรับมอเตอร์ควบคุมการหมุนของวงล้อดูดความชื้นไม่ให้เกิดการหมุนต่อเนื่องแต่ให้วงล้อหมุนไปเศษหนึ่งส่วนสี่รอบ ทุกๆ 20 นาที
6. คำนวณหาความชื้นขาออกของอากาศเย็นและอากาศร้อน จากสมการ (2.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 การศึกษาความดันตกคร่อมของหอดูดซับและวงล้อดูดความชื้น

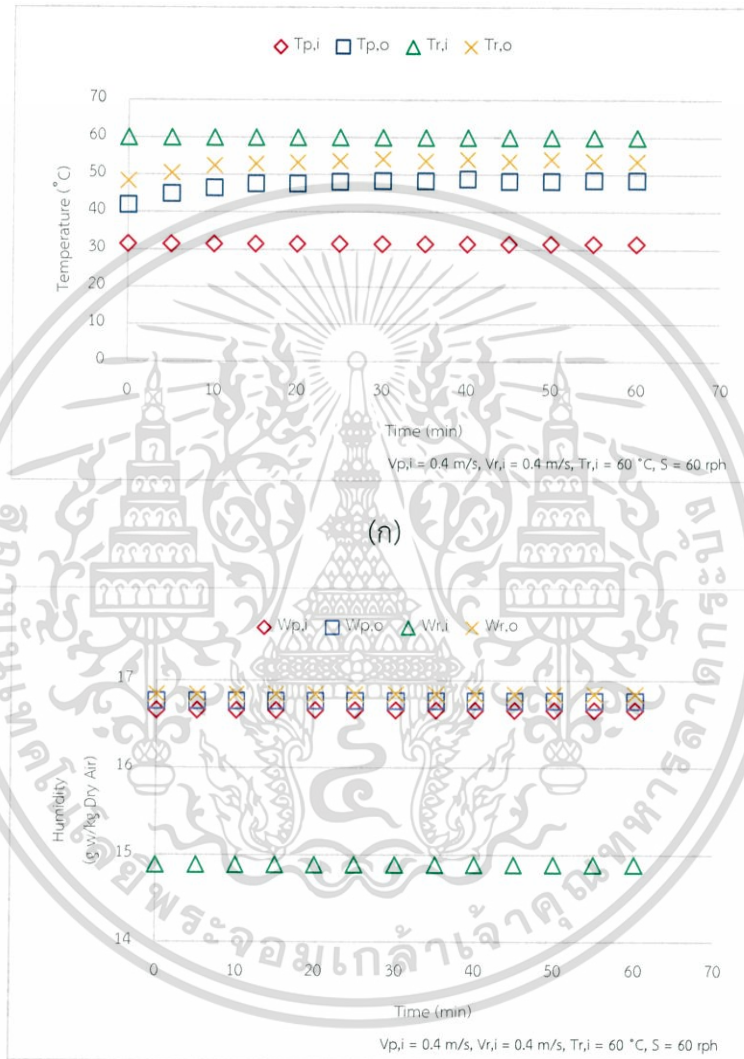


รูปที่ 4.1 ผลของความเร็วดูดความดันตกคร่อมของหอดูดซับและวงล้อดูดความชื้น

จากผลการคำนวณความดันตกคร่อมของหอดูดซับและวงล้อดูดความชื้น ดังแสดงผลดังรูปที่ 4.1 ซึ่งพบว่าเมื่อความเร็วของอากาศมากขึ้นจะทำให้ความดันตกเพิ่มขึ้น และที่ความเร็วของอากาศเท่ากัน ความดันตกคร่อมของระบบหอดูดซับและหอคายซับมีค่ามากกว่าวงล้อดูดความชื้น เนื่องจากระบบหอดูดซับและหอคายซับมีความดันตกคร่อมที่เพิ่มขึ้นจากส่วนในระบบท่อ

## 4.2 ผลการทดลองการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้น

จากการทดลองเพื่อหาเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว โดยทดลองที่ความเร็วอากาศชั้น 0.4 เมตรต่อวินาที ความเร็วอากาศร้อน 0.4 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิอากาศร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบการหมุนวงล้อ 60 รอบต่อชั่วโมง ได้ผลดังรูปที่ 4.2



(ข)

รูปที่ 4.2 ผลการทดลองหาเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

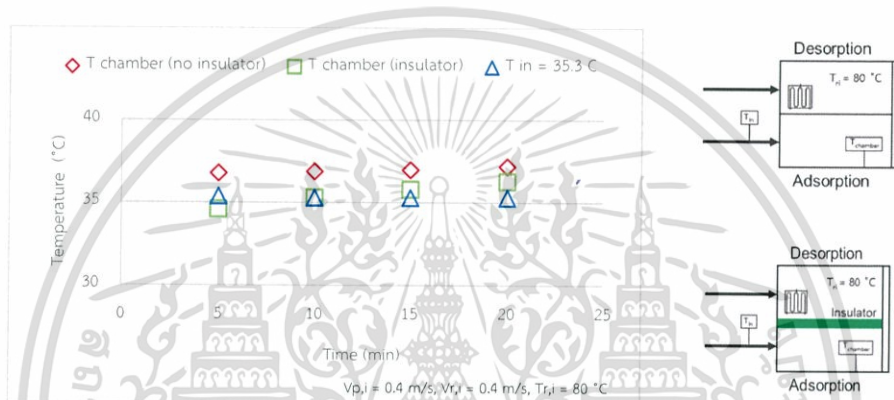
จากรูปที่ 4.2 พบว่าความชื้นขาออกของอากาศชั้นเท่ากับความชื้นขาออกของอากาศร้อน และใช้เวลาประมาณ 15 นาทีในการเข้าสู่สภาวะคงตัว จากผลการทดลองวงล้อดูดความชื้นไม่สามารถลดความชื้นได้ เนื่องจากความชื้นในอากาศชั้นขาออกมีค่ามากกว่าความชื้นในอากาศชั้นขาเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ผลการทดลองเพื่อปรับปรุงชุดการทดลองวงล้อดูดความชื้น

จากการทดลองเพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้น พบว่าวงล้อดูดความชื้นไม่สามารถลดความชื้นได้ จึงทดลองเพื่อปรับปรุงชุดการทดลองวงล้อดูดความชื้น โดยทดลองที่ความเร็วอากาศขึ้น 0.4 เมตรต่อวินาที ความเร็วอากาศร่อน 0.4 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิอากาศร่อน 80 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบการหมุนวงล้อ 30 รอบต่อชั่วโมง ได้ผลการทดลองดังนี้

#### 4.3.1 การศึกษาผลของการถ่ายเทความร้อนระหว่างแคมป์เบอร์ต่ออุณหภูมิของอากาศชื้นขาเข้า



รูปที่ 4.3 การศึกษาผลของการถ่ายเทความร้อนระหว่างแคมป์เบอร์ต่ออุณหภูมิอากาศชื้นขาเข้า

จากรูปที่ 4.3 พิจารณาผลของการถ่ายเทความร้อนระหว่างแคมป์เบอร์ โดยเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศชื้นในแคมป์เบอร์ เมื่อไม่ติดฉนวนกันความร้อนและติดฉนวนกันความร้อน จากการทดลองพบว่าเมื่อติดฉนวนกันความร้อนอุณหภูมิอากาศชื้นขาเข้าจะต่ำกว่าไม่ติดฉนวนการความร้อน

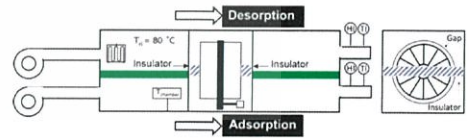
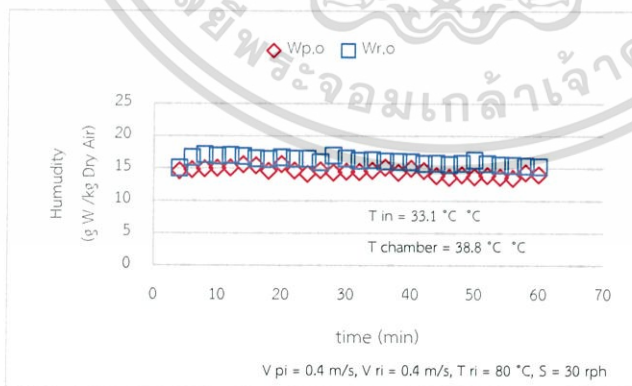
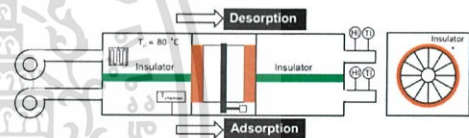
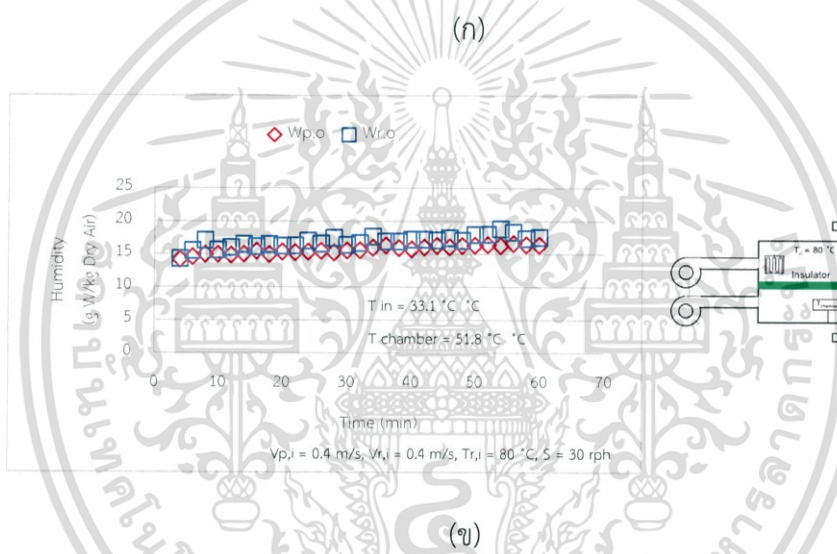
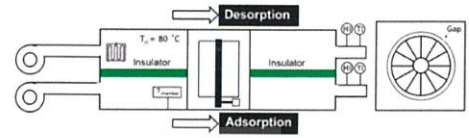
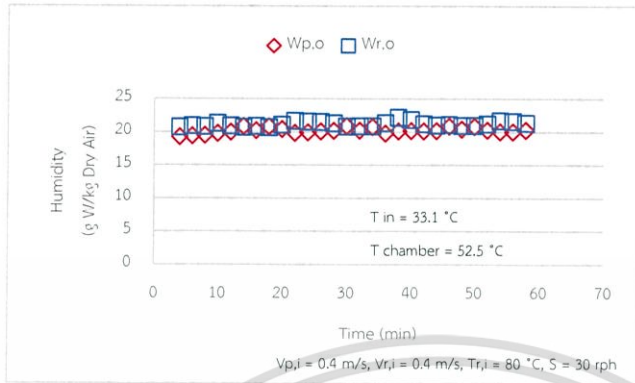
#### 4.3.2 การศึกษาผลของความดันตกคร่อมของวงล้อดูดความชื้นต่ออุณหภูมิอากาศชื้นขาเข้า



รูปที่ 4.4 ผลการศึกษาผลของความดันตกคร่อมของวงล้อดูดความชื้นต่ออุณหภูมิอากาศชื้นขาเข้า

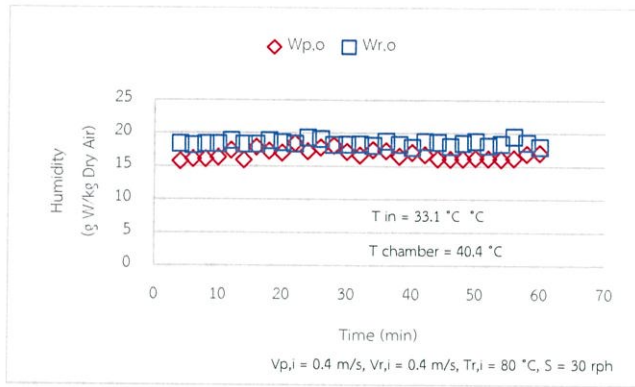
จากรูปที่ 4.4 พิจารณาผลของความดันตกคร่อมของวงล้อดูดความชื้นต่ออุณหภูมิอากาศชื้นขาเข้า เมื่อไม่ใส่วงล้อดูดความชื้นและใส่วงล้อดูดความชื้น จากผลการทดลองพบว่า เมื่อใส่วงล้อดูดความชื้นเข้าไปจะทำให้อุณหภูมิของอากาศชื้นขาเข้าสูงขึ้นมากเมื่อเปรียบเทียบกับไม่ใส่วงล้อ เนื่องจากวงล้อมีความดันตกคร่อมสูง จึงทำให้อากาศร้อนขาเข้าลงมาผสมกับอากาศชื้นขาเข้า อุณหภูมิของอากาศชื้นขาเข้าจึงสูงขึ้น

4.3.3 การศึกษาผลของการติดฉนวนในช่องว่างของชุดการทดลองต่อความชื้นขาออกของอากาศชื้นและอากาศร้อน และอุณหภูมิอากาศชื้น

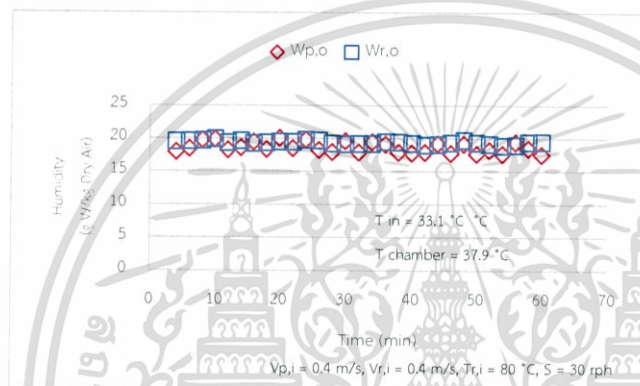
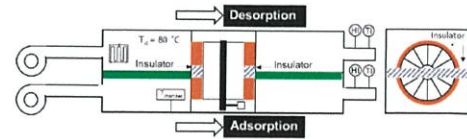


(ค)

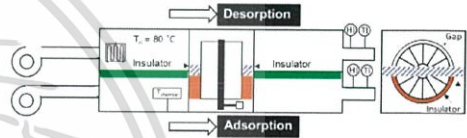
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ง)



(จ)

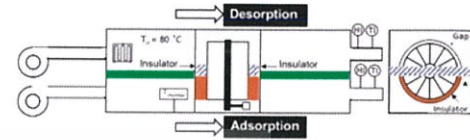
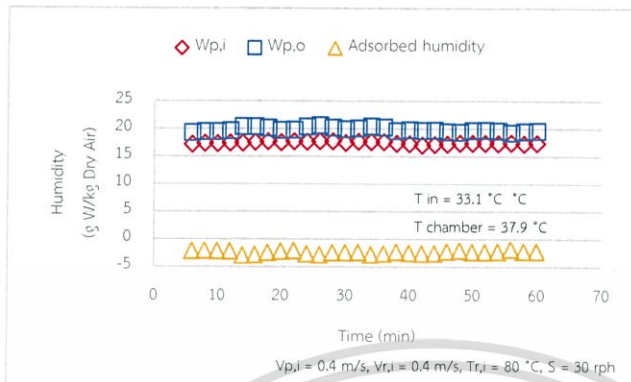


รูปที่ 4.5 การศึกษาผลของการติดฉนวนในช่องว่างของชุดการทดลองต่อความชื้นขาออกของอากาศชื้นและอากาศร้อน และอุณหภูมิขาเข้าของอากาศชื้น

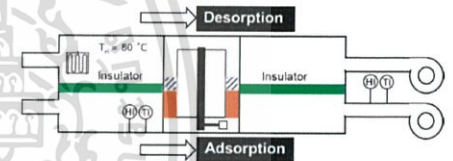
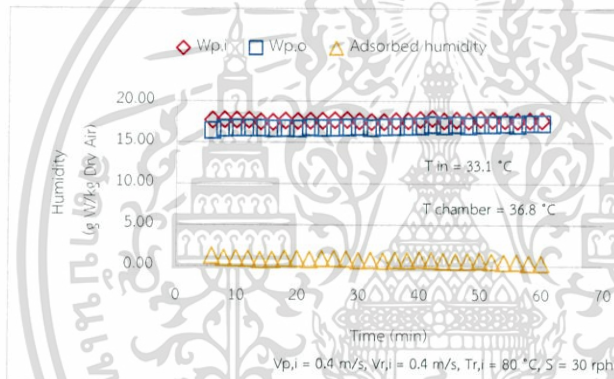
จากรูปที่ 4.5 (ก) – (ง) พบว่าการติดฉนวนสามารถป้องกันการผสมกันของอากาศร้อนในวงล้อดูดความชื้นได้ เนื่องจากความชื้นขาออกของอากาศชื้นกับอากาศร้อนมีค่าต่างกัน และอุณหภูมิของอากาศชื้นขาเข้าของแต่ละชุดการทดลองมีค่าเท่ากับ 52.5 51.8 38.8 40.4 และ 37.9 ตามลำดับ จะว่าการติดฉนวนกันความร้อนตามรูปที่ 3.4 (ง) สามารถป้องกันการผสมกันของอากาศชื้นและอากาศร้อนได้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.4 การศึกษาผลของตำแหน่งของเครื่องเป่าอากาศต่อปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับ และ อุณหภูมิอากาศชื้นขาเข้า



(ก)



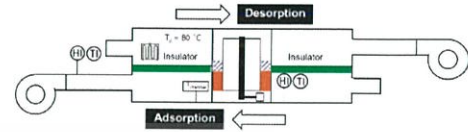
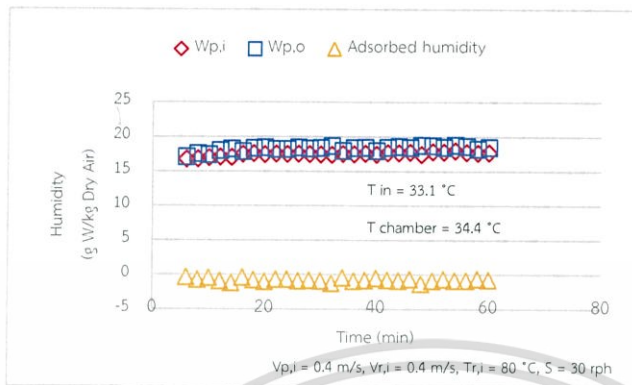
(ข)

รูปที่ 4.6 ผลการศึกษาผลของตำแหน่งของเครื่องเป่าอากาศต่อปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับ และอุณหภูมิอากาศชื้นขาเข้า (ก) แบบเป่า (ข) แบบดูด

จากรูปที่ 4.6 เมื่อเครื่องเป่าอากาศทำงานแบบเป่า พบว่าวงล้อดูดความชื้นไม่สามารถลดความชื้นได้ เนื่องจากความชื้นขาออกมีค่ามากกว่าความชื้นขาเข้า แต่เมื่อเครื่องเป่าอากาศทำงานแบบดูด พบว่าวงล้อดูดความชื้นสามารถลดความชื้นได้ เนื่องจากความชื้นขาออกของอากาศชื้นมีค่าต่ำกว่าความชื้นขาเข้า โดยปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับมีแนวโน้มลดลงและเริ่มคงที่ นอกจากนี้การทำงานของเครื่องเป่าอากาศแบบดูดยังช่วยลดการผสมกันของอากาศชื้นและอากาศร้อน เนื่องจากอุณหภูมิในแคมป์เบอร์ของการทำงานของเครื่องเป่าอากาศแบบดูดมีค่าต่ำกว่าการทำงานของเครื่องเป่าอากาศแบบเป่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

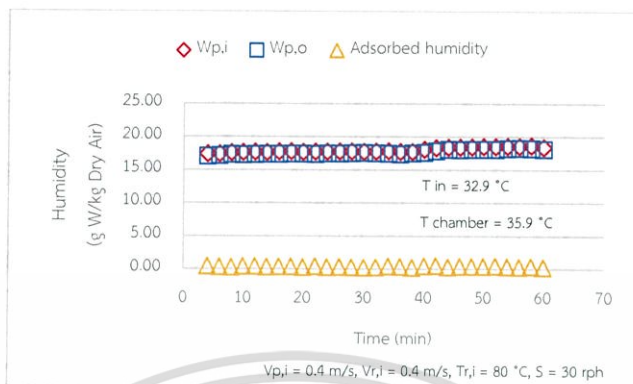
#### 4.3.5 การศึกษาผลของทิศทางการไหลของอากาศร้อนและอากาศชื้นต่อปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับ และอุณหภูมิขาเข้าของวงล้อดูดความชื้น



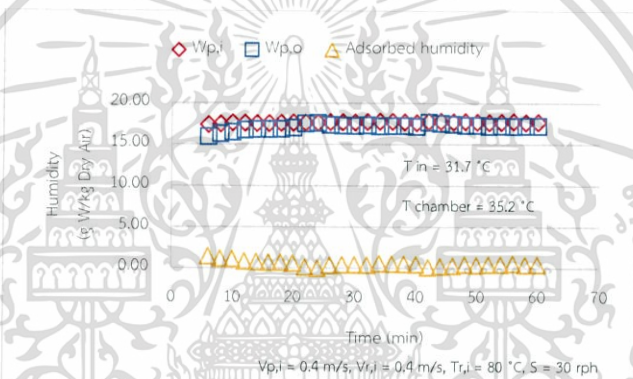
รูปที่ 4.7 ผลการศึกษาผลของทิศทางการไหลของอากาศร้อนและอากาศชื้นต่อปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับ และอุณหภูมิขาเข้าของวงล้อดูดความชื้น

จากรูปที่ 4.7 พบว่าเมื่ออากาศชื้นและอากาศร้อนไหลสวนทางกัน วงล้อดูดความชื้นไม่สามารถลดความชื้นได้ เนื่องจากความชื้นขาออกของอากาศชื้นมีค่ามากกว่าความชื้นขาเข้า โดยที่อุณหภูมิในแคมป์เบอร์มีค่าเท่ากับ 34.4 องศาเซลเซียส

#### 4.3.6 การศึกษาผลของการหมุนของวงล้อต่อปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับ และอุณหภูมิอากาศชั้นขาเข้า



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.8 ผลการศึกษาผลของการหมุนของวงล้อต่อปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับ และอุณหภูมิอากาศชั้นขาเข้า (ก) ปิดวงล้อดูดความชื้น (ข) เปิดวงล้อดูดความชื้นเศษหนึ่งส่วนสี่รอบทุกๆ 20 นาที

จากรูปที่ 4.8 เมื่อทดลองโดยการปิดวงล้อดูดความชื้น พบว่าวงล้อดูดความชื้นสามารถลดความชื้นได้ เนื่องจากความชื้นขาออกของอากาศชั้นนี้มีค่ามากกว่าขาเข้า จึงทดลองต่อด้วยการหมุนวงล้อดูดความชื้นเศษหนึ่งส่วนสี่รอบทุกๆ 20 นาที พบว่าวงล้อดูดความชื้นสามารถลดความชื้นได้เช่นกัน แต่การหมุนวงล้ออย่างต่อเนื่องระบบจะเข้าสู่สภาวะคงตัวได้เร็วกว่า

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาผลของความเร็วอากาศร้อน ความเร็วอากาศขึ้น อุณหภูมิอากาศร้อน และความเร็วรอบการหมุนวงล้อต่อประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้น พบว่าวงล้อไม่สามารถลดความชื้นได้ เพราะเกิดการผสมกันของอากาศ เนื่องจากมีช่องว่างระหว่างส่วนดูดซับและส่วนคายซับ จึงทดลองเพื่อปรับปรุงวงล้อดูดความชื้นให้สามารถลดความชื้นได้ จากการทดลองเพื่อศึกษาผลของการถ่ายเทความร้อนระหว่างแอมป์เบอร์และความดันตกคร่อมของวงล้อต่ออุณหภูมิอากาศร้อน พบว่าการถ่ายเทความร้อนระหว่างแอมป์เบอร์และความดันตกคร่อมของวงล้อมีผลต่อการผสมกันของอากาศร้อนและอากาศร้อนขาเข้า แต่ความดันตกคร่อมมีผลมากกว่า เนื่องจากทำให้อุณหภูมิของอากาศร้อนก่อนเข้าแอมป์เบอร์สูงขึ้นจาก 32.5 องศาเซลเซียส เป็น 51.3 องศาเซลเซียส จากการทดลองเพื่อศึกษาผลของการติดตั้งฉนวนในช่องว่างของวงล้อดูดความชื้นต่อความชื้นขาออกของอากาศร้อนและอากาศร้อน พบว่าการติดตั้งฉนวนในช่องว่าง ดังรูปที่ 3.4 (ง) สามารถป้องกันการผสมกันของอากาศร้อนและอากาศร้อนขาเข้าได้ดีที่สุด เนื่องจากอุณหภูมิอากาศร้อนมีค่าต่ำที่สุดและจากการศึกษาการทำงานของเครื่องเป่าอากาศและทิศทางการไหลของอากาศร้อนและอากาศขึ้น การใช้เครื่องเป่าอากาศดูดอากาศร้อนและอากาศร้อนในทิศทางเดียวกัน จะทำให้วงล้อดูดความชื้นสามารถลดความชื้นได้ โดยวงล้อดูดความชื้นสามารถลดความชื้นได้ 0.6 กรัมต่อชั่วโมง

## 5.2 ปัญหาที่พบบ่อยระหว่างการศึกษาวิจัยและแก้ไข

### 1) ปัญหาความแตกต่างของความชื้นในแต่ละการทดลอง

เนื่องจากความชื้นในอากาศในแต่ละวันไม่เท่ากัน ทำให้ความชื้นขาเข้าของอากาศชื้นในแต่ละการทดลองมีค่าไม่เท่ากัน ส่งผลให้ผลการทดลองมีความคลาดเคลื่อน จึงแก้ปัญหาโดยควบคุมความชื้นด้วยเครื่องพ่นหมอก

### 2) ปัญหาการผสมกันของอากาศชื้นและอากาศร้อนภายในวงล้อดูดความชื้น

เนื่องจากมีช่องว่างภายในชุดการทดลองวงล้อดูดความชื้น ทำให้อากาศร้อนและอากาศชื้นผสมกันก่อนเข้าวงล้อดูดความชื้นและภายในวงล้อดูดความชื้น ส่งผลให้วงล้อดูดความชื้นไม่สามารถลดความชื้นได้ จึงแก้ปัญหาโดยการติดตั้งแผ่นฉนวนที่ช่องว่างภายในชุดการทดลองวงล้อดูดความชื้น

### 3) ปัญหาอุณหภูมิขาเข้าของวงล้อเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเครื่องเป่าอากาศ

เมื่อใช้เครื่องเป่าอากาศเพิ่มความดันให้กับอากาศชื้นขาเข้า จะทำให้อากาศชื้นขาเข้ามีอุณหภูมิสูงขึ้น จึงแก้ปัญหาด้วยการใช้ท่อที่มีความยาวมากขึ้นเพื่อไม่ให้อุณหภูมิก่อนเข้าวงล้อมีอุณหภูมิสูงมากเกินไป

## เอกสารอ้างอิง

- [1] วิสิทธิ์ เอกวานิช, จันทรกานต์ ทวีกุล, ชูเกียรติ คุปตานนท์และปัญญารักษ์ งามศรีตระกูล. 2007. “การศึกษาสมรรถนะการทำงานของสารดูดความชื้นแข็งสำหรับระบบระบายอากาศในอาคาร.”
- [2] Juntakan Taweekun, Visit Akvanich. “The Experiment and Simulation of Solid Desiccant Dehumidification for Air-Conditioning System in a Tropical Humid Climate.” *Engineering* 5 (2013) 146-153
- [3] Ahmad A. Pesaran, A Review of Desiccant Dehumidification Technology, (1993).
- [4] “การลดความชื้นโดยใช้สารดูดความชื้น.” [Online] Available: [http://www2.dede.go.th/bhrd/old/web\\_display/websemple/Industrial\(PDF\)/Bay18%20Desiccant%20Dehumidification.pdf](http://www2.dede.go.th/bhrd/old/web_display/websemple/Industrial(PDF)/Bay18%20Desiccant%20Dehumidification.pdf). (2016).
- [5] ชนากานต์ ขวลิขิตพิเชฐ, มณฑิภา นักขัตตระ. เครื่องผลิตอากาศแห้งแบบต่อเนื่อง.ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, (2555).
- [6] มยุรี มีวรรณ, วิชญา ภิรมย์กิจ. การศึกษากระบวนการคายซับสำหรับเครื่องผลิตอากาศแห้ง. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, (2554).
- [7] “เส้นโค้งการดูดซับ.” [Online]. Available: <http://facstaff.cbu.edu/rprice/lectures/adsorb.html> (30/4/1017)
- [8] “Desiccant wheel.” [Online]. Available: <http://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/humidity-control>. (5/11/2016).
- [9] Muhammad Sultan, Ibrahim I. El-Sharkawy, Takahiko Miyazaki, Bidyut Baran Saha, Shigeru Koyama. An overview of solid desiccant dehumidification and air conditioning system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (2015).
- [10] “ความชื้นของอากาศ.” [Online]. Available: <https://www.gotoknow.org/posts/438663>. (5/11/2016).
- [11] C.X. Jia, Y.J. Dai, J.Y. Wu and R.Z. Wang. “Experimental comparison of two honeycombed desiccant wheels with silica gel and composite desiccant material.” *Energy Conversion and Management* 47 (2006) 2523-2534.

[12] “หลักการดูดซับ.” [Online]. Available: <http://www.safety-stou.com/UserFiles/File/54114-6.pdf>. (5/11/2016).

[13] P. Gandhidasan, Abdulghani A. Al-Farayedhi, Ali A. Al-Mubarak. “Dehydration of natural gas using solid Desiccant.” *Energy* **26** (2001) 855-868.

[14] Christie John Geankoplis. *Transport Processed & Separation Process Principles (Includes Unit Operation)*. 4. Harlow : United Kingdom. (2014).

[15] “Adsorption Process”. [Online]. Available:<https://pradthana.wordpress.com/2008/04/13/adsorption-process/>. (5/11/2016).

[16] “การดูดซับ”. [Online]. Available: [http://doi.nrct.go.th/ListDoi/Download/238780/db0cc282d4ad504e8857e94a832ebec6?Resolve\\_Doi=10.14457/TU.the.2008.554](http://doi.nrct.go.th/ListDoi/Download/238780/db0cc282d4ad504e8857e94a832ebec6?Resolve_Doi=10.14457/TU.the.2008.554). (5/11/2016).

[17] “กลไกการดูดซับ”. [Online]. Available:[http://www.pcd.go.th/info\\_serv/Datasmell/images/clip\\_image002\\_0004.gif](http://www.pcd.go.th/info_serv/Datasmell/images/clip_image002_0004.gif). (5/11/2016).

[18] “Type of Desiccant Packaging.” [Online]. Available:[http://www.tanapolvanich.com/drybag/html/Type\\_of\\_Desiccant\\_Packaging\\_th.html](http://www.tanapolvanich.com/drybag/html/Type_of_Desiccant_Packaging_th.html). (5/11/2016).

[19] Hans Dieter Baehr and Kari Stephan. *Heat and Mass Transfer*. 1. New York : Springer. (1998).

[20] Wen-Ching Yang. *Handbook of Fluidization and Fluid-Particle Systems*. 10. New York : Marcel Dekker, Inc. (2003).

[21] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา, พงศ์ชนัน เหลืองโพบูลย์. *การออกแบบและการวิเคราะห์การทดลอง*. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ท็อป. (2008).

[22] ณัชพล ไม้ขุน และธนทัต ศิริสุวรรณโชติ. “เครื่องผลิตอากาศแห้งแบบต่อเนื่องขับเคลื่อนด้วยความร้อนเหลือทิ้ง.” กรุงเทพมหานคร. (2016).

[23] วิสิทธิ์ เอกวานิช, จันทรกานต์ ทวีกุล, ชูเกียรติ คุปตานนท์และปัญญรักษ์ งามศรีตระกูล. “การประยุกต์ใช้สารดูดความชื้นเพื่อลดความชื้นของอากาศก่อนเข้าสู่ระบบปรับอากาศของอาคารที่อยู่อาศัย.” (2010).

[24] M.H. Ahmed and N.M. Kattab, M.Fouad. “Evaluation and optimization of solar desiccant.” *Renewable Energy* **30** (2005) 305-325.

[25] Avadhesh yadav and V.k.Bajpai. “Optimization operating Parameters of Desiccant Wheel for Rotation Speed.” (2011).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

## ข้อมูลดิบ

## 1. การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้น

จากการทดลองด้วยสภาวะของการทดลองที่ 1 โดยทดลองที่ความเร็วอากาศขึ้น 0.4 เมตรต่อวินาที ความเร็วอากาศร้อน 0.4 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิอากาศร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบการหมุนวงล้อ 60 รอบต่อชั่วโมง ได้ผลดังตารางที่ ก.1 และ ข.1

ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองเพื่อหาเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)				เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ (%)			
	$T_{pi}$	$T_{po}$	$T_{ri}$	$T_{ro}$	$\%RH_{pi}$	$\%RH_{po}$	$\%RH_{ri}$	$\%RH_{ro}$
0	65.4	36.2	53.2	26.2	31.2	41.9	32.8	48.4
5	57.7	31.3	52.8	23	32.7	44.9	33.2	50.5
10	58.3	29	51.6	21.6	32.5	46.5	33.5	52.5
15	60.5	28.1	51.8	21.1	32.2	47.6	33.4	52.9
20	62.5	27.7	51.9	20.2	31.9	47.6	33.5	53.3
25	56.6	26.6	50.8	19.9	33.2	48.1	34	53.7
30	59.3	26.6	50.1	19.7	31.7	48.4	33.9	54.2
35	65.3	27.1	49.1	19.7	30.8	48.4	34.4	53.7
40	58	25.8	49.3	19.3	31.7	48.9	33.9	54.1
45	60.2	26.1	49.6	19.5	31.7	48.3	33.9	53.6
50	56.6	25.5	49.6	18.7	32.3	48.3	34	54.1
55	61	26.1	49	19.2	31.3	48.5	34.1	53.7
60	60.4	25.6	49	19.3	32.1	48.5	34	53.6

ตารางที่ ก.2 ผลคำนวณเพื่อหาเวลาที่ใช้ในการทดลองเพื่อหาเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

เวลา (นาที)	ความชื้น (กรัม/น้ำ/กิโลกรัมอากาศแห้ง)				ปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับ (กรัม/กิโลกรัมอากาศแห้ง)	
	$W_{pi}$	$W_{po}$	$W_{ri}$	$W_{ro}$	$D_{ad}$	$D_{de}$
0	16.77	16.66	14.89	16.84	0.1072	0.0020
5	16.77	16.66	14.89	16.84	-0.0008	0.0013
10	16.77	16.66	14.89	16.84	-0.0009	0.0020
15	16.77	16.66	14.89	16.84	-0.0010	0.0019
20	16.77	16.66	14.89	16.84	-0.0004	0.0014
25	16.77	16.66	14.89	16.84	-0.0006	0.0014
30	16.77	16.66	14.89	16.84	-0.0015	0.0019
35	16.77	16.66	14.89	16.84	-0.0011	0.0014
40	16.77	16.66	14.89	16.84	-0.0017	0.0017
45	16.77	16.66	14.89	16.84	-0.0008	0.0014
50	16.77	16.66	14.89	16.84	-0.0009	0.0010
55	16.77	16.66	14.89	16.84	-0.0012	0.0013
60	16.77	16.66	14.89	16.84	-0.0002	0.0014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. การทดลองเพื่อปรับปรุงชุดการทดลองวงล้อดูดความชื้น

การทดลองที่ 3.3.1 การศึกษาผลของการถ่ายเทความร้อนระหว่างแคมป์เบอร์ต่ออุณหภูมิของอากาศชื้นขาเข้า

ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองเมื่อปิดเครื่องทำความร้อน

เวลา (นาที)	อุณหภูมิในท่อ ( $T_{in}$ ) (องศาเซลเซียส)		อุณหภูมิในแคมป์เบอร์ ( $T_{chamber}$ ) (องศาเซลเซียส)	
	ไม่ติดฉนวน	ติดฉนวน	ไม่ติดฉนวน	ติดฉนวน
5	35.3	35.3	34.7	34.7
10	35.3	35.3	34.5	34.5
15	35.3	35.3	34.4	34.4
20	35.3	35.3	34.4	34.4

ตารางที่ ก.4 ผลการทดลองเมื่อเปิดเครื่องทำความร้อน

เวลา (นาที)	อุณหภูมิในท่อ ( $T_{in}$ ) (องศาเซลเซียส)		อุณหภูมิในแคมป์เบอร์ ( $T_{chamber}$ ) (องศาเซลเซียส)	
	ไม่ติดฉนวน	ติดฉนวน	ไม่ติดฉนวน	ติดฉนวน
5	35.3	35.3	36.8	34.6
10	35.3	35.3	36.9	35.3
15	35.3	35.3	37	35.8
20	35.3	35.3	37.2	36.3

การทดลองที่ 3.3.2 การศึกษาผลของความดันตกคร่อมของวงล้อดูดความชื้นต่ออุณหภูมิอากาศชื้นขาเข้า

ตารางที่ ก.5 ผลการทดลองเมื่อเปิดเครื่องทำความร้อน

เวลา (นาที)	อุณหภูมิในท่อ ( $T_{in}$ ) (องศาเซลเซียส)		อุณหภูมิในแคมป์เบอร์ ( $T_{chamber}$ ) (องศาเซลเซียส)	
	ไม่ติดฉนวน	ติดฉนวน	ไม่ติดฉนวน	ติดฉนวน
5	35.3	35.3	50.1	47.3
10	35.3	35.3	51.7	48.8
15	35.3	35.3	53.1	49.2
20	35.3	35.3	53.3	51.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 3.3.3 การศึกษาผลของการติดฉนวนในช่องว่างของชุดการทดลองต่อความชื้น  
ขาออกของอากาศชื้นและอากาศร้อน และอุณหภูมิขาเข้าของอากาศชื้น

ตารางที่ ก.6 ผลจากการทดลองและการคำนวณเมื่อติดแผ่นฉนวนในช่องว่างดังรูปที่ 3.4 (ก)

เวลา (นาท)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ (%)		ความชื้น (กรัม/กิโลกรัมอากาศแห้ง)	
	$T_{pi}$	$T_{ri}$	$\%RH_{pi}$	$\%RH_{ri}$	$w_{po}$	$w_{ro}$
0	32.6	33.2	65.7	58.1	18.27826	16.67608
2	44	44.6	33.7	38.4	17.32587	20.46393
4	44.2	47	37	34.4	19.27911	20.7342
6	45	49.2	35.8	31.1	19.44448	20.9452
8	46.2	50.3	33.8	29.3	19.52386	20.83849
10	47.2	50.9	32.6	29.1	19.82114	21.33547
12	47.2	51.1	32.9	28.3	20.00941	20.94157
14	48	51.5	32.9	27.5	20.86153	20.74748
16	48.3	52	31.5	27	20.25832	20.8799
18	48.8	52.2	31.6	26.5	20.85793	20.68844
20	49.5	52.5	29.9	26.6	20.42385	21.08583
22	47.8	52.2	31.7	27.7	19.86843	21.6579
24	47.4	52.5	32.5	27.2	19.96575	21.57795
26	48.4	53	31.1	26.5	20.09667	21.53917
28	48.2	52.7	31.6	26.6	20.21957	21.29936
30	48.6	52.8	32	25.9	20.91326	20.82465
32	49.2	53.1	30.1	25.6	20.2498	20.88779
34	49.9	53	29.8	25.7	20.77585	20.86712
36	49.1	53.1	29.6	26.2	19.8004	21.39418
38	48	52.7	31.8	27.7	20.14145	22.21161
40	47.8	53.2	32.2	26.6	20.19199	21.84166
42	48.6	53.1	30.9	26	20.17105	21.2253
44	48.2	53	31.6	25.9	20.21957	21.035
46	49.1	53.1	31.2	25.9	20.90666	21.14089
48	49.5	53.1	29.9	25.7	20.42385	20.97213
50	49.9	53.2	29.9	25.6	20.8479	20.99284
52	50.3	53.1	28.6	26	20.32437	21.2253
54	48.7	53.3	30.6	26.3	20.07245	21.69538
56	48	53.3	31.7	26.2	20.07606	21.61003
58	48.6	53.8	31.1	25.3	20.30587	21.37086
60	48.1	53.8	31.4	25.4	19.98	21.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 ผลจากการทดลองและการคำนวณเมื่อติดแผ่นฉนวนในช่องว่างดังรูปที่ 3.4 (ข)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ (%)		ความชื้น (กรัมน้ำ/กิโลกรัมอากาศแห้ง)	
	$T_{pi}$	$T_{ri}$	$\%RH_{pi}$	$\%RH_{ri}$	$w_{po}$	$w_{ro}$
0	34.6	34.2	43.7	45.4	13.49363	13.71529
2	43.9	48.4	26.3	20.6	13.36824	13.16798
4	47.4	53.6	23.3	17.3	14.18501	14.31392
6	49.7	56.6	21.3	16.2	14.56084	15.50296
8	50.9	57.7	20.6	16.9	14.95363	17.07672
10	51.1	55.1	20.4	17.5	14.95513	15.59462
12	51.4	56	20	17.2	14.87803	16.01041
14	52.3	56.7	19.3	17.1	15.00736	16.46678
16	52.7	56.9	19.5	16.6	15.47277	16.12873
18	52.7	57.2	18.9	16.7	14.98521	16.46613
20	53	57.3	19.1	16.4	15.37578	16.24105
22	52.2	58	19.7	15.9	15.24956	16.27378
24	53.3	59.2	18.8	15.7	15.35575	17.0156
26	53.7	60.5	18.6	14.4	15.49279	16.56372
28	53.5	61.3	18.5	14.6	15.25543	17.44731
30	53.1	57.6	19.2	16.3	15.53542	16.37517
32	53.1	58	19.3	16.3	15.61836	16.69417
34	53.8	58.4	19.1	16.9	15.99903	17.6629
36	53.8	57.9	19.5	16.6	16.34289	16.92801
38	53.2	58.3	19.6	16.3	15.94665	16.93702
40	53.8	58.4	18.8	16.5	15.74137	17.23326
42	53.3	58.1	19.6	16.7	16.02602	17.19781
44	52.7	58.9	20.5	16	16.28702	17.10242
46	53.4	59.6	19.6	15.8	16.10589	17.45731
48	53.7	60.4	19.5	14.9	16.26204	17.07358
50	53.6	61	19.7	15.2	16.35187	17.92934
52	53.2	61.8	20.2	14.7	16.44756	17.98886
54	53.4	62.3	19.8	15	16.27454	18.80351
56	53.5	58.8	20.1	17.2	16.61005	18.33483
58	52.8	57.8	20.6	17.1	16.45053	17.36813
60	53	58	20.3	17.1	16.36721	17.53662

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8 ผลจากการทดลองและการคำนวณเมื่อติดแผ่นฉนวนในช่องว่างดังรูปที่ 3.4 (ค)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ (%)		ความชื้น (กรัม/น้ำ/กิโลกรัมอากาศแห้ง)	
	$T_{pi}$	$T_{ri}$	$\%RH_{pi}$	$\%RH_{ri}$	$w_{po}$	$w_{ro}$
0	34.1	33.7	47.5	48.6	14.28281	14.29146
2	40.5	49.9	33.6	22.1	14.30955	15.27575
4	41.5	52.9	32.5	18.8	14.60001	15.05328
6	43.3	55.1	30	18.7	14.81471	16.69267
8	42.8	56.2	31.1	18.2	14.96623	17.1332
10	43.8	55.2	29.7	18.9	15.05834	16.95921
12	45.2	56.7	27.7	17.7	15.09742	17.06041
14	47.6	56.9	25.3	17.4	15.59344	16.92717
16	46.5	57.3	26.5	16.7	15.44397	16.54605
18	46.7	57.3	24.9	16.6	14.64133	16.44435
20	47.2	57.6	25.9	16.6	15.64501	16.68463
22	44.3	57.4	28.2	16.6	14.66366	16.5241
24	44.6	57.8	26.9	16.3	14.19554	16.53399
26	46.1	58	25.8	15.6	14.7159	15.95885
28	44.5	58.5	27.4	16.2	14.38938	16.99286
30	45.2	57.2	26.7	16.8	14.53965	16.56736
32	46.4	57.8	25	16	14.47377	16.22175
34	48.6	57.8	22.7	16.1	14.69178	16.32579
36	48	57.9	24.1	15.8	15.14567	16.0911
38	47	58	24.1	15.7	14.38245	16.06379
40	48.7	58.2	23.1	15.5	15.03382	16.00716
42	45.6	58	26.4	15.4	14.67733	15.74907
44	44.8	58.2	26	15.3	13.85532	15.79537
46	45.5	58.7	24.7	14.8	13.63979	15.63685
48	45.5	58.8	25.4	14.9	14.03506	15.82072
50	44.9	59	25.6	15.2	13.70941	16.30279
52	45.4	57.5	25.3	15.8	13.90551	15.78369
54	46.5	58.2	23.5	15.1	13.65721	15.58372
56	48.2	58.1	21.4	15.1	13.55081	15.50903
58	48.8	58.1	22	15	14.3749	15.40378
60	47	58.3	23.6	14.8	14.0773	15.33995

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.9 ผลจากการทดลองและการคำนวณเมื่อติดตั้งแผ่นฉนวนในช่องว่างดังรูปที่ 3.4 (ง)

เวลา (นาท)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ (%)		ความชื้น (กรัมน้ำ/กิโลกรัมอากาศแห้ง)	
	$T_{pi}$	$T_{ri}$	$\%RH_{pi}$	$\%RH_{ri}$	$w_{po}$	$w_{ro}$
0	33.1	33	55.3	55.1	15.76106	15.61256
2	38.7	44.2	40.4	35.1	15.66002	18.26003
4	40.2	50.3	37.6	26	15.79648	18.42198
6	41	50.7	36.8	25.2	16.13969	18.20565
8	41.8	53.3	35.2	22.4	16.10273	18.38312
10	44.3	53.9	31.4	21.8	16.37142	18.41866
12	45	55.7	32.2	20.5	17.43436	18.89657
14	44.4	56.8	30.5	18.9	15.9746	18.34012
16	45	55.1	33.1	20.5	17.93571	18.34684
18	44.3	58.2	33.2	18.2	17.33606	18.88014
20	46.3	56.1	29.5	19.8	17.06137	18.59342
22	45.4	56.1	33.4	19.6	18.48981	18.40005
24	45.2	58.8	31.6	18.1	17.28211	19.32401
26	47.1	56.6	29.6	19.9	17.85126	19.15279
28	45.7	56.8	32.3	18.8	18.14803	18.24024
30	45.7	59.4	30.7	16.7	17.22416	18.30538
32	47.2	57.4	27.6	18.4	16.69947	18.36879
34	46.8	57.3	29.5	18.3	17.5131	18.17763
36	46.8	59.7	29.3	16.9	17.39105	18.79888
38	47.2	57.9	27.4	17.9	16.57524	18.29269
40	48	57.3	27.2	18	17.14758	17.87107
42	47.3	59.5	27.6	17	16.78647	18.7335
44	46.5	58.8	27.7	17.5	16.16149	18.66422
46	47.2	58.2	26.7	17.4	16.14079	18.02619
48	46.6	59	27.6	17.2	16.18586	18.51173
50	45.6	58.8	29.2	17.6	16.27475	18.77409
52	46.1	58.2	28.4	17.5	16.23761	18.13281
54	45.4	58.4	29.2	17.6	16.10454	18.41616
56	46	58.2	28.6	18.8	16.26954	19.5221
58	47.6	58.7	27.4	17.5	16.92297	18.5747
60	46	58.4	30	17.2	17.08783	17.9855

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.10 ผลจากการทดลองและการคำนวณเมื่อติดแผ่นฉนวนในช่องว่างดังรูปที่ 3.4 (จ)

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ (%)		ความชื้น (กรัมน้ำ/กิโลกรัมอากาศแห้ง)	
	$T_{pi}$	$T_{ri}$	$\%RH_{pi}$	$\%RH_{ri}$	$w_{po}$	$w_{ro}$
0	31.5	39.5	59	48.6	15.3543	19.79231
2	33.2	50.9	42	25.7	11.96609	18.76745
4	36	55.5	53.6	21.4	18.00675	19.55905
6	38.7	57.3	47.4	19.7	18.45389	19.61211
8	40.1	59.2	47.1	18.1	19.80626	19.69909
10	41.2	60.8	44.6	17	19.88461	19.93109
12	41.8	60.7	39.8	16.6	18.26887	19.35535
14	42.1	61	39.9	16.6	18.61594	19.63285
16	42.3	60.2	41.3	16.9	19.49924	19.25272
18	42.4	59.3	38.8	17.7	18.38312	19.34282
20	42.3	59.6	42.5	17.6	20.0841	19.5085
22	43.3	60.3	37.3	17	18.527	19.46269
24	43.7	62.1	39	15.9	19.81822	19.78095
26	44.5	63	34.6	15.2	18.28167	19.69758
28	44.1	61.5	34.8	15.9	18.00333	19.22926
30	44.4	61	37.3	16.2	19.64866	19.14521
32	43.8	60	35.2	17	17.92729	19.18635
34	44.6	60.4	36.6	16.7	19.47465	19.19983
36	45	62.5	35.3	15.4	19.16454	19.50277
38	45.4	62.7	32.4	15.2	17.92027	19.42289
40	44.7	61.8	33.4	15.7	17.81765	19.25046
42	44.9	60.7	33.3	16.3	17.95196	18.99488
44	44.5	59.8	36.4	17.1	19.26219	19.11929
46	45.5	61.9	32	15.7	17.78625	19.34137
48	46.1	63.2	33.4	15.1	19.18452	19.74765
50	46	62.2	31	15.5	17.67361	19.35871
52	45.6	62.4	32.7	15.2	18.28283	19.15159
54	45.2	60.1	32.3	16.7	17.67582	18.92752
56	46	60.7	34	16.3	19.43741	18.99488
58	46.4	62.7	31.8	15.2	18.5279	19.42289
60	47.1	63.2	29.2	14.9	17.6032	19.4779

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 3.3.4 การศึกษาผลของตำแหน่งของเครื่องเป่าอากาศต่อปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับ และอุณหภูมิอากาศชื้นขาเข้า

ตารางที่ ก.11 ผลจากการทดลองและการคำนวณ เมื่อเครื่องเป่าอากาศทำงานแบบเป่าอากาศ

เวลา (นาท)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ (%)		ความชื้น (กรัมน้ำ/กิโลกรัมอากาศแห้ง)		ปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับ (กรัมน้ำ/กิโลกรัมอากาศแห้ง)
	$T_{pi}$	$T_{po}$	$\%RH_{pi}$	$\%RH_{po}$	$w_{pi}$	$w_{po}$	
0	32.5	31.7	60.8	55	16.78071	14.45621	2.324498
2	35.1	34.2	53	54.1	16.9152	16.41291	0.502296
4	36.2	37.6	50.5	49.6	17.12894	18.18851	-1.05957
6	36.8	40.3	49	45.5	17.17588	19.32369	-2.1478
8	37.4	42.4	48	41.1	17.38997	19.50702	-2.11705
10	37.8	44.1	46.8	37.6	17.32545	19.49728	-2.17183
12	38.1	45.6	46.3	35.1	17.42355	19.66712	-2.24357
14	38.4	46.6	45.6	34.6	17.44084	20.42578	-2.98494
16	38.6	46.9	45.5	34.1	17.59545	20.44007	-2.84462
18	38.8	47.3	45.4	33	17.7511	20.17732	-2.42622
20	38.9	48.2	44.7	30.9	17.56654	19.75744	-2.1909
22	39.1	48.9	44.6	29.9	17.72077	19.80223	-2.08145
24	39.1	49.2	44.5	30.3	17.67991	20.38876	-2.70884
26	39.1	49.1	44.7	30.8	17.76164	20.62974	-2.8681
28	39.3	49.4	44.3	29.8	17.79338	20.24888	-2.4555
30	39.1	50.1	44.1	28.4	17.51652	19.97227	-2.45575
32	39.3	50.4	44.2	28.2	17.75207	20.13357	-2.3815
34	39.2	50.1	44.2	29.1	17.65447	20.48076	-2.82628
36	39.3	50.2	44	28.7	17.66946	20.29369	-2.62423
38	39.4	50.6	43	27.3	17.35201	19.67051	-2.31851
40	39.5	50.9	42.7	27.1	17.32263	19.82238	-2.49976
42	39.5	50.7	42.1	27.2	17.07254	19.69629	-2.62376
44	39.7	50.5	42	27.6	17.21903	19.79238	-2.57335
46	39.8	50.8	41.9	26.8	17.27144	19.4966	-2.22515
48	39.9	51.2	42	26.2	17.40905	19.43768	-2.02863
50	39.9	51.1	42	26.7	17.40905	19.72006	-2.311
52	39.9	50.8	42.1	27.2	17.45166	19.79685	-2.34519
54	39.8	51.1	42.1	26.6	17.35618	19.64386	-2.28768
56	39.9	51.4	42.2	25.8	17.49428	19.32673	-1.83245
58	39.7	51.3	42.2	26.2	17.30331	19.53653	-2.23322
60	39.8	51.1	42.3	26.6	17.44095	19.64386	-2.20292

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.12 ผลจากการทดลองและการคำนวณ เมื่อเครื่องเป่าอากาศทำงานแบบดูดอากาศ

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ (%)		ความชื้น (กรัมน้ำ/กิโลกรัมอากาศแห้ง)		ปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับ (กรัมน้ำ/กิโลกรัมอากาศแห้ง)
	T <sub>pi</sub>	T <sub>po</sub>	%RH <sub>pi</sub>	%RH <sub>po</sub>	w <sub>pi</sub>	w <sub>po</sub>	
0	33.10	32.50	50.50	51.10	14.36	14.04	0.32
2	32.40	33.00	64.10	54.30	17.62	15.38	2.23
4	32.60	33.70	63.60	53.90	17.68	15.89	1.79
6	32.80	35.00	63.10	51.90	17.74	16.46	1.28
8	33.10	35.70	62.10	50.70	17.75	16.72	1.03
10	33.60	36.40	60.30	48.90	17.73	16.76	0.97
12	33.90	36.80	59.30	47.90	17.73	16.78	0.95
14	34.20	37.20	57.70	46.80	17.54	16.76	0.78
16	34.40	37.40	57.00	46.10	17.52	16.68	0.83
18	34.80	38.00	56.20	44.70	17.66	16.71	0.95
20	35.00	38.10	55.40	44.40	17.60	16.69	0.91
22	35.10	38.30	55.30	44.30	17.67	16.84	0.83
24	35.40	38.50	54.40	43.60	17.67	16.75	0.92
26	35.60	38.70	54.00	43.30	17.74	16.81	0.92
28	35.80	38.70	53.50	43.40	17.77	16.85	0.92
30	35.90	38.90	52.80	43.10	17.63	16.92	0.71
32	36.00	39.00	52.20	42.50	17.52	16.77	0.75
34	36.00	39.00	52.30	42.80	17.56	16.89	0.67
36	36.10	39.10	52.30	42.60	17.66	16.90	0.75
38	36.20	39.10	52.00	42.70	17.65	16.95	0.71
40	36.40	39.10	51.90	42.80	17.82	16.99	0.83
42	36.50	39.50	52.00	42.40	17.95	17.20	0.76
44	36.20	39.40	52.00	42.20	17.65	17.02	0.63
46	36.50	39.40	51.50	42.60	17.78	17.19	0.59
48	36.40	39.30	51.40	42.50	17.64	17.05	0.59
50	36.50	39.30	51.80	42.80	17.88	17.17	0.71
52	36.50	39.30	51.50	42.80	17.78	17.17	0.60
54	36.40	39.70	51.70	42.10	17.75	17.26	0.49
56	36.50	39.40	51.20	42.50	17.67	17.14	0.52
58	36.60	39.70	51.00	42.30	17.70	17.35	0.35
60	36.80	39.70	50.50	42.30	17.72	17.35	0.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 3.3.5 การศึกษาผลของทิศทางการไหลของอากาศร้อนและอากาศชื้นต่อปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับ และอุณหภูมิขาเข้าของวงล้อดูดความชื้น

ตารางที่ ก.13 ผลจากการทดลองและการคำนวณเมื่ออากาศร้อนและอากาศชื้นไหลสวนทางกัน

เวลา (นาท)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ (%)		ความชื้น (กรัมน้ำ/กิโลกรัมอากาศแห้ง)		ปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับ (กรัมน้ำ/กิโลกรัมอากาศแห้ง)
	$T_{pi}$	$T_{po}$	$\%RH_{pi}$	$\%RH_{po}$	$w_{pi}$	$w_{po}$	
0	34.3	36.7	55	47.3	16.78888	16.47155	0.317334
2	34	39.1	55.6	42.6	16.68841	16.90452	-0.21612
4	33.9	40.4	56.2	40.4	16.77708	17.19188	-0.4148
6	33.8	40.9	56.4	39.1	16.74222	17.08309	-0.34087
8	34	42.2	56	37.5	16.81171	17.55925	-0.74753
10	34.2	41.8	55.9	38	16.9739	17.4195	-0.44561
12	34.3	42.9	56	37.1	17.10252	18.03351	-0.93098
14	34.1	43.6	56.5	36.2	17.06326	18.25556	-1.1923
16	34.4	42.7	56.9	37.2	17.48467	17.89017	-0.40551
18	34.4	43.6	57.2	36.4	17.57946	18.3594	-0.77994
20	34.2	43.3	57.4	37.1	17.44214	18.42472	-0.98258
22	34.2	43.6	57.7	36.1	17.53587	18.20365	-0.66778
24	34.4	43.8	57	35.7	17.51626	18.18939	-0.67312
26	34.5	43.8	56.8	36.2	17.553	18.4517	-0.8987
28	34.4	44.3	56.9	35	17.48467	18.30363	-0.81896
30	34.3	44	57.2	35.7	17.47931	18.38451	-0.9052
32	34.4	44	56.7	36.2	17.42149	18.64971	-1.22822
34	34.6	43.7	56.5	35.5	17.55756	17.98823	-0.43067
36	34.4	44.3	56.9	35.2	17.48467	18.41132	-0.92665
38	34.5	43.8	57	36.2	17.61656	18.4517	-0.83514
40	34.2	43.7	57.5	35.5	17.47338	17.98823	-0.51485
42	34.4	44.1	57.5	35.6	17.67428	18.42946	-0.75518
44	34.5	44.1	57.3	35.9	17.71192	18.58941	-0.87749
46	34.5	44.1	57.5	35.6	17.7755	18.42946	-0.65396
48	34.1	44.5	57.8	35.5	17.46689	18.77156	-1.30466
50	34.5	44.8	57.8	34.9	17.87091	18.741	-0.87009
52	34.4	43.2	58	37.4	17.83237	18.47881	-0.64643
54	34.6	44.6	57.9	35.4	18.00521	18.81682	-0.8116
56	34.5	44.1	57.6	36	17.8073	18.64274	-0.83544
58	34.5	43.5	57.2	36.4	17.68013	18.26146	-0.58133
60	34.4	44.1	57.7	35.7	17.73751	18.48277	-0.74526

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 3.3.6 การศึกษาผลของการหมุนของวงล้อต่อปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับ และ อุณหภูมิอากาศชื้นขาเข้า

ตารางที่ ก.14 ผลการทดลองเมื่อปิดวงล้อดูดความชื้น

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ (%)		ความชื้น (กรัมน้ำ/กิโลกรัมอากาศแห้ง)		ปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับ (กรัมน้ำ/กิโลกรัมอากาศแห้ง)
	$T_{pi}$	$T_{po}$	$\%RH_{pi}$	$\%RH_{po}$	$w_{pi}$	$w_{po}$	
0	32.90	32.80	60.70	57.30	17.14	16.07	1.08
2	35.00	36.30	54.70	49.90	17.37	17.02	0.36
4	34.70	36.40	55.70	49.60	17.40	17.01	0.40
6	34.50	36.60	56.40	49.40	17.43	17.13	0.30
8	34.40	36.70	57.30	49.70	17.61	17.33	0.28
10	34.50	36.70	57.20	49.60	17.68	17.29	0.39
12	34.40	36.80	57.60	49.40	17.71	17.32	0.39
14	34.40	36.90	57.50	49.20	17.67	17.34	0.33
16	34.60	36.90	57.10	49.30	17.75	17.38	0.37
18	34.80	37.10	56.60	48.90	17.79	17.43	0.36
20	34.90	37.20	56.00	48.60	17.70	17.42	0.28
22	35.00	37.20	55.90	48.50	17.77	17.38	0.39
24	35.10	37.40	55.50	48.20	17.74	17.46	0.27
26	35.20	37.30	55.40	48.50	17.80	17.48	0.33
28	35.20	37.40	55.40	48.40	17.80	17.54	0.26
30	35.30	37.50	55.00	48.20	17.77	17.56	0.21
32	35.40	37.50	54.80	48.10	17.81	17.52	0.28
34	35.50	37.50	54.60	47.90	17.84	17.45	0.39
36	35.50	37.40	54.30	48.00	17.74	17.39	0.35
38	35.50	37.60	54.30	47.80	17.74	17.51	0.23
40	35.80	37.60	54.40	48.10	18.08	17.62	0.45
42	35.90	37.70	54.80	48.40	18.32	17.84	0.48
44	35.90	37.80	55.10	48.80	18.42	18.09	0.33
46	35.80	37.70	55.50	49.00	18.45	18.06	0.39
48	35.90	37.70	55.30	49.10	18.49	18.10	0.39
50	35.90	37.70	55.40	49.10	18.52	18.10	0.42
52	35.90	37.70	55.50	49.10	18.56	18.10	0.46
54	35.90	37.80	55.60	49.20	18.59	18.24	0.35
56	35.90	37.80	55.60	49.30	18.59	18.28	0.32
58	36.00	37.80	55.50	49.20	18.66	18.24	0.42
60	35.90	37.70	55.10	49.20	18.42	18.14	0.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.15 ผลการทดลองเมื่อเปิดวงล้อดูดความชื้นเศษหนึ่งส่วนสี่รอบทุกๆ 20 นาที

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ (%)		ความชื้น (กรัมน้ำ/กิโลกรัมอากาศแห้ง)		ปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับ (กรัมน้ำ/กิโลกรัมอากาศแห้ง)
	$T_{pi}$	$T_{po}$	$\%RH_{pi}$	$\%RH_{po}$	$w_{pi}$	$w_{po}$	
0	31.70	31.30	62.30	54.80	16.43	14.07	2.35
2	31.20	31.90	67.30	57.60	17.27	15.33	1.94
4	31.40	32.40	66.90	57.20	17.37	15.67	1.70
6	31.60	32.90	66.30	56.60	17.41	15.96	1.45
8	31.90	33.50	65.50	55.90	17.50	16.31	1.19
10	32.30	34.00	64.60	55.00	17.65	16.50	1.15
12	32.50	34.50	63.70	54.30	17.60	16.76	0.84
14	32.80	34.80	62.60	53.60	17.59	16.82	0.77
16	33.00	35.10	61.90	52.80	17.59	16.85	0.74
18	33.30	35.30	60.90	52.30	17.60	16.88	0.73
20	33.50	35.60	60.40	51.90	17.66	17.03	0.63
22	33.80	37.00	59.40	49.50	17.66	17.55	0.11
24	33.90	37.10	59.00	49.40	17.64	17.61	0.02
26	34.10	37.00	58.60	49.00	17.72	17.37	0.35
28	34.20	37.00	58.30	48.80	17.72	17.30	0.43
30	34.10	37.00	58.50	48.70	17.68	17.26	0.42
32	34.40	37.10	57.80	48.70	17.77	17.36	0.41
34	34.40	37.00	57.90	48.60	17.80	17.22	0.58
36	34.50	37.10	57.60	48.40	17.81	17.25	0.56
38	34.50	37.10	57.40	48.40	17.74	17.25	0.50
40	34.50	37.10	57.10	48.20	17.65	17.17	0.47
42	34.90	37.80	56.40	47.80	17.83	17.71	0.12
44	35.00	37.60	56.10	48.00	17.83	17.59	0.25
46	35.00	37.50	55.90	47.90	17.77	17.45	0.32
48	35.10	37.30	55.70	48.10	17.80	17.33	0.47
50	35.00	37.30	55.80	48.10	17.73	17.33	0.40
52	35.00	37.20	55.70	48.10	17.70	17.23	0.47
54	35.20	37.20	55.20	48.20	17.74	17.27	0.47
56	35.30	37.20	55.10	48.10	17.81	17.23	0.57
58	35.20	37.20	55.10	48.20	17.70	17.27	0.43
60	35.20	37.20	55.20	48.20	17.74	17.27	0.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

## วิธีคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณหาความดันไอน้ำและความชื้นในอากาศ จะใช้ข้อมูลจากการทดลองที่

## 3.2.1

ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองที่ใช้ในการคำนวณ

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)				เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ (%)			
	T <sub>pi</sub>	T <sub>po</sub>	T <sub>ri</sub>	T <sub>ro</sub>	%RH <sub>pi</sub>	%RH <sub>po</sub>	%RH <sub>ri</sub>	%RH <sub>ro</sub>
0	65.4	36.2	53.2	26.2	31.2	41.9	32.8	48.4

## 1. การคำนวณหาความดันไอน้ำ

จากสมการ (2.1)

$$\ln(P_{vs}) = \frac{C_1}{T} + C_2 + C_3T + C_4T^2 + C_5T^3 + C_6\ln(T)$$

แทนค่าลงในสมการ (2.1) จะได้

$$\begin{aligned} \ln(P_{vs}) = & \frac{-8.8 \times 10^3}{338.55} + (-5.51) + ((-4.86) \times 10^{-2} \times 338.55) + \\ & (4.17 \times 10^{-5} \times 338.55^2) + ((-1.44) \times 10^{-8} \times 338.55^3) + \\ & (6.54 \ln(338.55)) \end{aligned}$$

$$P_{vs} = 4.41 \text{ ปาสคาล}$$

## 2. การคำนวณหาความชื้นในอากาศ

จากสมการ (2.2)

$$w = \frac{0.622 \times RH \times P_{vs}}{P - (RH \times P_{vs})}$$

แทนค่าลงในสมการ (2.2) จะได้

$$w = \frac{0.622 \times 0.36 \times 4.41}{110 - (0.36 \times 4.41)}$$

$$w = 16.78 \text{ กรัม น้ำ ต่อ กิโลกรัม อากาศแห้ง}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. การคำนวณหาปริมาณความชื้นที่ถูกดูดซับ

จากสมการ (2.3)

$$M_{ad} = AU(\rho_{pi} w_{pi} - \rho_{po} w_{po})$$

กำหนดให้

$$A = 0.03 \text{ ตารางเมตร}$$

$$U = 0.4 \text{ เมตรต่อวินาที}$$

$$\rho_{pi} = 1.14 \text{ กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร}$$

$$\rho_{po} = 1.12 \text{ กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร}$$

$$w_{pi} = 0.0177 \text{ กิโลกรัมน้ำต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง}$$

$$w_{po} = 0.0173 \text{ กิโลกรัมน้ำต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง}$$

แทนค่าลงในสมการ

$$M_{ad} = (0.03 \times 0.4)((1.14 \times 0.0177) - (1.12 \times 0.0173))$$

$$M_{ad} = 1.9 \times 10^{-5} \text{ กรัมน้ำต่อวินาที} = 0.0006 \text{ กิโลกรัมน้ำต่อชั่วโมง}$$

### 3. การคำนวณหาความดันลดของวงล้อดูดความชื้น

จากสมการที่ (2.8)

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{150 \bar{V}_0 \mu (1 - \varepsilon)^2}{\Phi_s^2 D_p^2 \varepsilon^3} + \frac{1.75 \rho \bar{V}_0^2 (1 - \varepsilon)}{\Phi_s D_p \varepsilon^3}$$

กำหนดให้

$$L = 0.2 \text{ เมตร}$$

$$\bar{V}_0 = 0.4 \text{ เมตรต่อวินาที}$$

$$\mu = 1.8 \cdot 10^{-5} \text{ ปาสคาลต่อวินาที}$$

$$D_p = 0.003 \text{ เมตร}$$

$$\Phi = 1$$

$$\varepsilon = 0.33$$

$$\rho = 1.29 \text{ กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

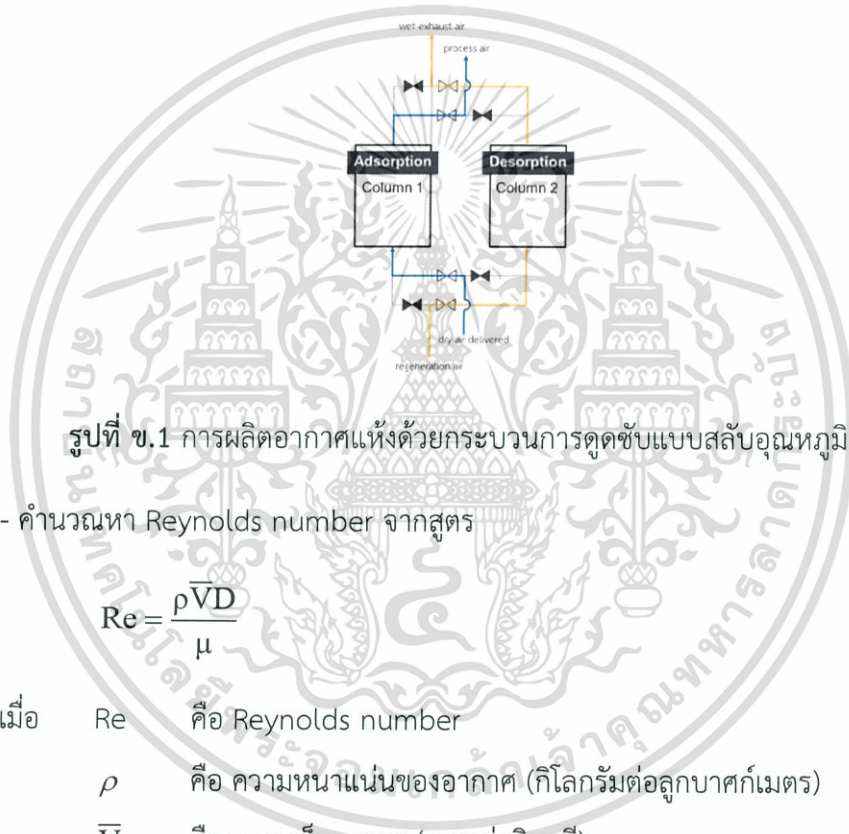
แทนค่าลงในสมการจะได้

$$\frac{\Delta p}{0.2} = \frac{150(0.4)(1.8 \cdot 10^{-5})(1-0.33)^2}{(1^2)(0.003^2)(0.33^3)} + \frac{1.75(1.29)(0.4^2)(1-0.33)}{(1)(0.003)(0.33^3)}$$

$$\Delta p = 750 \text{ Pa}$$

จากการคำนวณพบว่าความดันตกคร่อมของวงล้อดูดความชื้นที่ความเร็วอากาศ 0.4 และ 0.7 เมตรต่อวินาที มีค่าเท่ากับ 750 และ 1,902 ปาสคาล ตามลำดับ

#### 4. การคำนวณหาความดันตกคร่อมของหอดูดซับ



รูปที่ ข.1 การผลิตอากาศแห้งด้วยกระบวนการดูดซับแบบสลับอุณหภูมิ

- คำนวณหา Reynolds number จากสูตร

$$Re = \frac{\rho \bar{V} D}{\mu}$$

- เมื่อ
- Re คือ Reynolds number
  - $\rho$  คือ ความหนาแน่นของอากาศ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
  - $\bar{V}$  คือ ความเร็วอากาศ (เมตรต่อวินาที)
  - D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (เมตร)
  - $\mu$  คือ ความหนืดของอากาศ (ปาสคาลต่อวินาที)

กำหนดให้

$$\rho = 1.29 \text{ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)}$$

$$\bar{V} = 13.95 \text{ (เมตรต่อวินาที)}$$

$$D = 0.025 \text{ เมตรต่อวินาที}$$

$$\mu = \text{ความหนืดของอากาศ (ปาสคาลต่อวินาที)}$$

แทนค่าลงในสูตร จะได้

$$Re = \frac{1.29(13.95)(0.052)}{1.8 \cdot 10^{-5}}$$

$$Re = 43,987$$

จากการคำนวณ Reynolds number พบว่ามีค่ามากกว่า 4,000 ซึ่งอยู่ในช่วง Turbulent

จึงสามารถคำนวณหาค่า Friction factor ได้จาก Moody diagram ดังรูปที่ 2

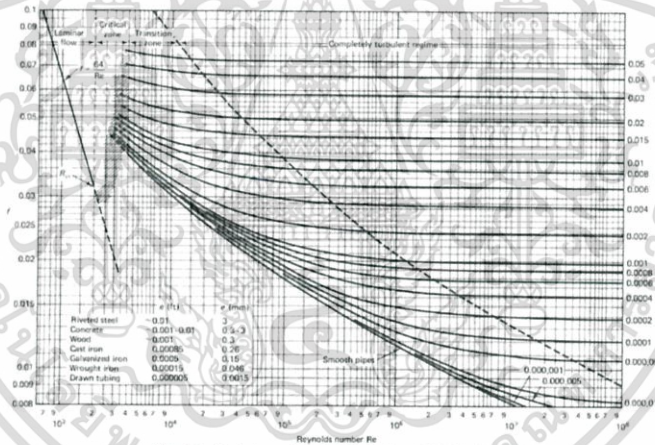


Figure 7.13 Moody diagram (From L. F. Moody, Trans. ASME, Vol. 66, 1944)

รูปที่ ข.2 Moody diagram

จากรูปที่ ข.2 จะได้ค่า Friction factor เท่ากับ 0.00525

- คำนวณหา Losses จากระบบท่อ

จากสูตร

$$\text{Major losses } h_f = 4f \frac{L\bar{V}^2}{2D}$$

$$\text{Minor losses } h_{ff} = K_L \frac{\bar{V}^2}{2}$$

$$\text{Total Losses } h = \frac{\bar{V}^2}{2} \left( \frac{4fL}{D} + 2K_{L,e} + 6K_{L,t} + 4K_{L,v} \right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ค่า  $K_L$  ของข้อต่อและวาล์ว

ชนิดข้อต่อ	จำนวน	$K_L$
ข้อต่อ 90 องศา	2	0.75
ข้อต่อสามทาง	6	1
วาล์ว	4	0.17

เมื่อ  $K_{L,e}$  คือ  $K_L$  ของข้อต่อ 90 องศา

$K_{L,t}$  คือ  $K_L$  ของข้อต่อสามทาง

$K_{L,v}$  คือ  $K_L$  ของวาล์ว

$\bar{V}$  คือ ความเร็วในท่อ (เมตรต่อวินาที)

$D$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (เมตร)

กำหนดให้

$$K_{L,e} = 0.75$$

$$K_{L,t} = 1$$

$$K_{L,v} = 0.17$$

$$\bar{V} = 13.95 \text{ เมตรต่อวินาที}$$

$$D = 0.025 \text{ เมตร}$$

แทนค่าลงในสูตร Total Losses จะได้

$$h = \frac{13.95^2}{2} \left( \frac{4(0.00525)(3.512)}{0.052} + (2 \times 0.75) + (6 \times 1) + (4 \times 0.17) \right)$$

$$h = 933.93 \text{ J/kg}$$

- คำนวณหาความดันตกคร่อมของระบบท่อ จากสมการของ Bernoulli

$$\left( \frac{p_2 - p_1}{\rho} \right) + \frac{1}{2\alpha} (\bar{V}_2^2 - \bar{V}_1^2) + g(z_2 - z_1) + h + w_s = 0$$

เนื่องจากความเร็วคงที่ ท่ออยู่ในแนวเดียวกันและไม่คิดงานจากโบลเวอร์ ทำให้สามารถตัดทั้งสามพจน์ออกได้และได้สมการเป็น ดังนี้

$$\left( \frac{p_2 - p_1}{\rho} \right) + h = 0$$

แทนค่าลงในสมการ จะได้

$$\left( \frac{p_2 - p_1}{1.14} \right) + 933.93 = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$p_2 - p_1 = -1,064.68 \text{ Pa}$$

จากการคำนวณพบว่าที่ความเร็วอากาศ 0.4 และ 0.7 เมตรต่อวินาที ระบบท่อมีความดันตกคร่อมเท่ากับ 1,064.68 และ 3,214.70 ปาสคาล ตามลำดับ

- คำนวณหาความดันตกคร่อมของหอดูดซับ

ในการคำนวณ กำหนดให้เบดบรรจุของหอดูดซับมีลักษณะเหมือนวงล้อดูดความชื้น ดังนั้นสามารถคำนวณความดันตกคร่อมของหอดูดซับ ได้จาก

ความดันตกคร่อมของหอดูดซับ = ความดันตกคร่อมของเบดบรรจุ + ความดันตกคร่อมของระบบท่อ

จากการคำนวณที่ความเร็ว 0.4 และ 0.7 เมตรต่อวินาที มีค่าความดันตกคร่อมของหอดูดซับเท่ากับ 1,762.87 และ 4,957.26 ปาสคาล ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้