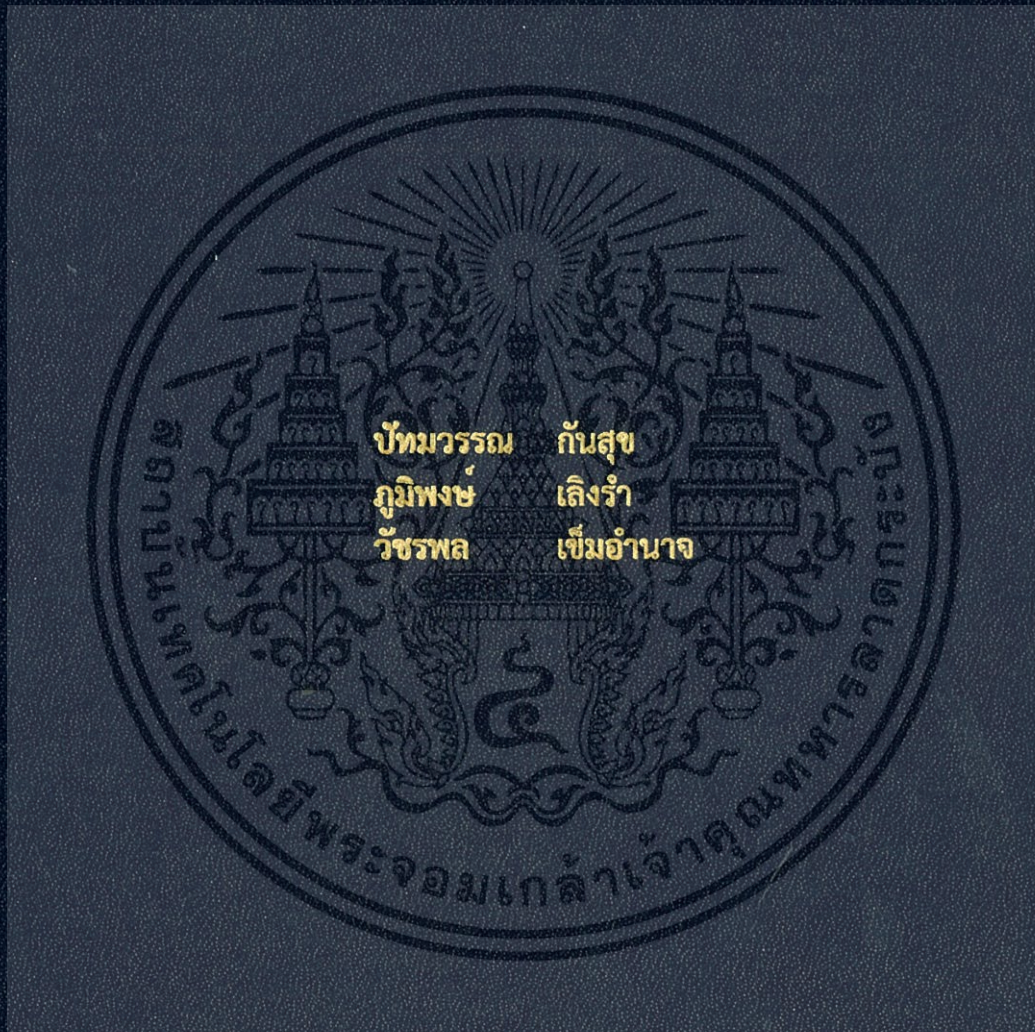


การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้นและสมบัติของอากาศ
ในระบบอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับวงล้อดูดความชื้น

Analysis of desiccant wheel effectiveness and psychrometric properties
in a hot air drying system with a desiccant wheel dehumidification



ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การวิเคราะห์ประสิทธิผลของวงล้อดูดความชื้นและสมบัติของอากาศ

ในระบบอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับวงล้อดูดความชื้น

Analysis of desiccant wheel effectiveness and psychrometric properties

in a hot air drying system with a desiccant wheel dehumidification



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Analysis of desiccant wheel efficiency and psychrometric properties
in a hot air drying system with a desiccant wheel dehumidification



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้นและสมบัติของอากาศในระบบ
อบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับวงล้อดูดความชื้น
Analysis of desiccant wheel efficiency and psychrometric
properties in a hot air drying system with a desiccant wheel
dehumidification

นักศึกษาผู้จัดทำ นางสาวปัทมวรรณ กั้นสุข รหัสนักศึกษา 56010743
นายภูมิพงษ์ เล็งรำ รหัสนักศึกษา 56010952
นายวิชรพล เข้มอำนาจ รหัสนักศึกษา 56011105

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)
หลักสูตร วิศวกรรมเกษตร
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2559

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ดร. จิราพร ศรีภิญโญวนิชย์ จงยิ่งเจริญ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้นและสมบัติของอากาศในระบบอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับวงล้อดูดความชื้น
Analysis of desiccant wheel efficiency and psychrometric properties in a hot air drying system with a desiccant wheel dehumidification

ชื่อนักศึกษา

นางสาวปัทมวรรณ

กันสุข

56010743

นายภูมิพงษ์

เล็งรำ

56010952

นายวัชรพล

เข็มอำนาจ

56011105

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.จิราพร

ศรัภัญญ์ โยวณิชย์ จงยิ่งเจริญ

ปีการศึกษา

2559

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้นที่ติดตั้งในระบบอบแห้งแบบลมร้อนโดยอาศัยแนวความคิดจากกระบวนการลดความชื้นในอากาศแบบอะเดียแบติกสภาวะในการทดลองสำหรับตรวจสอบการทำงานของวงล้อดูดความชื้นประกอบด้วยอัตราการไหลของอากาศ (Q , 0.04-0.08 m^3/s) และความเร็วรอบของวงล้อ (S , 0.5-1.5 rpm) ประสิทธิภาพในการลดความชื้นแบบอะเดียแบติกที่แสดงความเบี่ยงเบนของความชื้นของอากาศขาออกจากกระบวนการจากความชื้นแบบอะเดียแบติกมีค่าอยู่ในช่วง 0.725 ถึง 0.932 ประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้นที่แสดงความเบี่ยงเบนของเอนทัลปีของอากาศขาออกจากกระบวนการจากเอนทัลปีแบบอะเดียแบติกมีค่าสูงอยู่ในช่วง 0.933 ถึง 0.994 ทั้งนี้ เห็นได้ว่าสมรรถนะของวงล้อดูดความชื้นสอดคล้องกับกระบวนการลดความชื้นแบบอะเดียแบติกทางทฤษฎี และยังพบว่าสภาวะในการลดความชื้นที่ 0.04 m^3/s และ 1.5 rpm ให้การลดความชื้นในอากาศขาออกจากกระบวนการได้มากที่สุด จากการศึกษาอิทธิพลของ Q และอุณหภูมิในห้องอบแห้ง (T , 80-120 °C) ต่อการคืนสภาพวงล้อดูดความชื้นในระบบ ค่า Q และ T สูงสุดส่งผลให้คายความชื้นจากซิลิกาเจลในวงล้อดูดความชื้นได้สูงสุด

คำสำคัญ—วงล้อดูดความชื้น; การลดความชื้นในอากาศ; การอบแห้ง; ประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title Analysis of desiccant wheel efficiency and psychrometric properties in a hot air drying system with a desiccant wheel dehumidification

Authors	Patthamawan	Kunsuk	56010743
	Phoomphong	Lerngram	56010952
	Watcharaphon	Khemumnaj	56011105

Thesis Advisor Dr.Jirapron Sripinyowanich Jongyingchareon

Year 2016

Abstract

This project aimed to analyze an effectiveness of a desiccant wheel dehumidification installed in a hot air drying system based on the concept of adiabatic dehumidification process. Experimental conditions for investigating the desiccant wheel operation included different air flow rates (Q , 0.04-0.08 m³/s) and wheel speeds (S , 0.5-1.5 rpm). The adiabatic dehumidification effectiveness presenting the deviation of the outlet process air humidity from the adiabatic humidity was in the range of 0.725 to 0.932. The desiccant wheel effectiveness defining the deviation of the outlet process air enthalpy from the adiabatic enthalpy was surprisingly in the range of 0.933 to 0.994. It seems that the performance of the desiccant wheel dehumidification was well related to the theoretical adiabatic dehumidification process. It was also found that the dehumidification condition of 0.04 m³/s and 1.5 rpm provided the greatest reduction in the outlet process air humidity. From the investigation of effects of Q and temperature in the drying chamber (T , 80-120°C) on desiccant wheel regeneration in the system, the highest Q and T contributed to the highest amount of water desorbed from silica gel in the desiccant wheel.

Keywords—desiccant wheel; dehumidification; drying; effectiveness

กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความอนุเคราะห์จากโครงการวิจัยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่สนับสนุนงบประมาณในการจัดซื้อวัสดุและอุปกรณ์ในการทำวิจัยและหลักสูตรวิศวกรรมเกษตรสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเพื่อสถานที่ในการทำวิจัย

ดร. จิราพร ศรีภิญโญวิชย์ จงยิ่งเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาด้านวิชาการและการจัดทำโครงการหลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษา ข้อคิดเห็นในการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอน และให้กำลังใจในการทำโครงการมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ ดร.เอกพงษ์ ชีวดีโสภณ อาจารย์ที่ปรึกษาด้านวิชาการและการออกแบบเครื่องจักรกล หลักสูตรวิศวกรรมอาหาร สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำปรึกษา และช่วยเหลือด้านการออกแบบเครื่องจักรกล

คณะผู้จัดทำขอขอบคุณทุกท่านที่ให้การสนับสนุนการทำงานและกำลังใจแก่ผู้จัดทำมาโดยตลอดกระทั่งการศึกษาค้นคว้าโครงการในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำมีความซาบซึ้งใจในความกรุณาอันดียิ่งจากทุกท่านที่ได้กล่าวนามมา และขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

นางสาวปัทมวรรณ กันสุข

นายภูมิพงษ์ เล็งรำ

นายวัชรพล เข็มอำนาจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	
สารบัญรูป	
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ความชื้นในอากาศและวิธีการวัดความชื้นในอากาศ	3
2.1.1 คำจำกัดความของความชื้นในอากาศ	3
2.1.2 วิธีการวัดความชื้นในอากาศ	3
2.2 ระบบลดความชื้นในอากาศ	4
2.2.1 ระบบวงล้อดูดความชื้น	5
2.2.2 ระบบลดความชื้นด้วยฮีทปั๊ม	5
2.2.3 ระบบลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลว	6
2.3 สารดูดความชื้น	7
2.3.1 ซิลิกาเจล	7
2.3.2 ไดอะตอมมาเซียส เอิร์ธ	7
2.3.3 มอนต์โมริลโลไนต์ เคลย์	8
2.3.4 โมเลกุลาร์ ซีฟ	8
2.3.5 แคลเซียมออกไซด์	8
2.3.6 แคลเซียมซัลเฟต	8
2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดและการคายความชื้นของซิลิกาเจล	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

2.4.1	ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดและคายความชื้นของซิลิกาเจล	8
2.4.2	ความสามารถในการลดและดูดซับความชื้นของซิลิกาเจล	9
2.5	แผนภูมิไซโครเมตริก	9
2.5.1	ลักษณะทั่วไปของแผนภูมิไซโครเมตริก	9
2.5.2	ค่าสมบัติของอากาศในแผนภูมิไซโครเมตริก	10
2.5.3	เส้นกระบวนการลดความชื้นในอากาศและเส้นกระบวนการคืนสภาพ	15
	สารดูดความชื้น	
2.6	การวัดประสิทธิภาพของระบบลดความชื้นในอากาศ	17
2.6.1	คำจำกัดความของค่าว่าประสิทธิภาพ	17
2.6.2	ประสิทธิภาพของระบบลดความชื้นในอากาศ	18
2.7	การใช้ระบบดูดความชื้นร่วมในกระบวนการอบแห้ง	20
2.8	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
2.8.1	อิทธิพลของความเร็วในการหมุนของวงล้อดูดความชื้น	20
2.8.2	วงล้อดูดความชื้นด้วยซิลิกาเจลและพอลิเมอร์ร่วมกับปั๊มความร้อน	21
	สำหรับระบบปรับอากาศ	
บทที่ 3	การดำเนินงานวิจัย	22
3.1	เครื่องอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับวงล้อดูดความชื้นและการทำงาน	22
3.2	แผนการทดลอง	25
3.3	การวิเคราะห์ประสิทธิภาพผลของวงล้อดูดความชื้น	27
3.3.1	วิธีการทดลอง	27
3.3.2	การคำนวณประสิทธิภาพผลของวงล้อดูดความชื้น	28
3.4	การศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศและความเร็วรอบวงล้อ	30
	ต่อการคืนสภาพซิลิกาเจลในวงล้อดูดความชื้น	
3.4.1	วิธีการทดลอง	30
3.5	การศึกษาสมบัติของอากาศจากการใช้วงล้อดูดความชื้นร่วมในระบบอบแห้ง	31
	แบบลมร้อนในกรณีสถานะห้องอบแห้งเปล่า	
3.5.1	วิธีการทดลอง	31
3.6	การศึกษาสมบัติของอากาศจากการใช้วงล้อดูดความชื้นร่วมในระบบอบแห้ง	32
	แบบลมร้อนในกรณีสถานะห้องอบแห้งมีวัสดุอบแห้ง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	3.7 การทดสอบการดูดซับความชื้นของซิลิกาเจลในวงล้อดูดความชื้น	32
บทที่ 4	ผลการทดลอง	34
	4.1 การวิเคราะห์ประสิทธิผลของวงล้อดูดความชื้น	34
	4.1.1 การคำนวณประสิทธิผลของวงล้อดูดความชื้น	34
	4.1.2 ปริมาณการดูดซับจำเพาะของซิลิกาเจล	36
	4.1.3 ประสิทธิผลของวงล้อดูดความชื้น	36
	4.2 อิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศและความเร็วรอบของวงล้อต่อ การคืนสภาพซิลิกาเจลในวงล้อดูดความชื้น	37
	4.3 สมบัติของอากาศจากการใช้วงล้อดูดความชื้นร่วมในระบบอบแห้ง แบบลมร้อนในกรณีสถานะห้องอบแห้งเปล่า	39
	4.4 สมบัติของอากาศจากการใช้วงล้อดูดความชื้นร่วมในระบบอบแห้ง แบบลมร้อนในกรณีสถานะห้องอบแห้งมีวัสดุอบแห้ง	41
	4.5 การดูดซับความชื้นของซิลิกาเจลในวงล้อดูดความชื้น	43
บทที่ 5	สรุปผล วิเคราะห์ผล และข้อเสนอแนะ	44
	5.1 สรุปผลการศึกษา	44
	5.2 ข้อเสนอแนะ	44
เอกสารอ้างอิง		45
ภาคผนวก		46
	ภาคผนวก ก.	47
	ภาคผนวก ข.	50
	ภาคผนวก ค.	66
	ภาคผนวก ง.	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ความสามารถในการดูดความชื้นของซิลิกาเจลที่อุณหภูมิ 25 °C	9
ตารางที่ 2.2 ความหมายของสีที่แสดงบนเม็ดสีของซิลิกาเจล	9
ตารางที่ 3.1 สิ่งทดลองและสภาวะในการทดลองสำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้น	28
ตารางที่ 3.2 สิ่งทดลองและสภาวะในการทดลองสำหรับการศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศและความเร็วรอบวงล้อต่อการคืนสภาพซิลิกาเจลในวงล้อดูดความชื้น	30
ตารางที่ 3.3 สิ่งทดลองและสภาวะในการทดลองสำหรับการศึกษาสมบัติของอากาศจากการใช้วงล้อดูดความชื้นร่วมในระบบอบแห้งแบบลมร้อนในกรณีสภาวะห้องอบแห้งเปล่า	32
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าปริมาณการดูดซับจำเพาะของซิลิกาเจลที่เงื่อนไขต่าง ๆ	36
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพที่เงื่อนไขต่าง ๆ	37
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าผลต่างของอัตราส่วนความชื้นส่วนการคืนสภาพซิลิกาเจลที่เงื่อนไขต่าง ๆ	39
ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าผลต่างของอัตราส่วนความชื้นกรณีสภาวะห้องอบแห้งเปล่าที่เงื่อนไขต่าง ๆ	41
ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าผลต่างของอัตราส่วนความชื้นกรณีสภาวะห้องอบแห้งมีวัสดุอบแห้งที่เงื่อนไขต่าง ๆ	43
ตารางที่ 4.6 ปริมาณความชื้นที่ตัวอย่างซิลิกาเจลดูดซับไว้	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ไฮโกรมิเตอร์แบบเส้นผม	4
รูปที่ 2.2 ไฮโกรมิเตอร์แบบกระเปาะเปียก – กระเปาะแห้ง	4
รูปที่ 2.3 วงล้อดูดความชื้นที่มีการนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่	5
รูปที่ 2.4 ระบบลดความชื้นด้วยฮีทปั๊ม	6
รูปที่ 2.5 ระบบลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลว	6
รูปที่ 2.6 แผนภูมิไซโครเมตริก	10
รูปที่ 2.7 เส้นอุณหภูมิกระเปาะแห้ง	10
รูปที่ 2.8 เส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียก	11
รูปที่ 2.9 เส้นอุณหภูมิจุดน้ำค้าง	11
รูปที่ 2.10 เส้นความชื้นสัมพัทธ์	12
รูปที่ 2.11 ค่าอัตราส่วนความชื้น	13
รูปที่ 2.12 เส้นค่าเอนทัลปี	14
รูปที่ 2.13 เส้นค่าปริมาตรจำเพาะ	14
รูปที่ 2.14 แผนภาพการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับวงล้อดูดความชื้นส่วนดูดความชื้น	15
รูปที่ 2.15 แผนภูมิไซโครเมตริกแสดงสมบัติของอากาศจำลองการดูดความชื้นของวงล้อดูดความชื้น	15
รูปที่ 2.16 เส้นกระบวนการลดความชื้นตามกระบวนการอะเดียแบติก	16
รูปที่ 2.17 แผนภาพการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับวงล้อดูดความชื้นส่วนคายความชื้น	16
รูปที่ 2.18 แผนภูมิไซโครเมตริกแสดงสมบัติของอากาศจำลองการคืนสภาพของสารดูดความชื้นของวงล้อคายความชื้น	17
รูปที่ 2.19 เส้นกระบวนการคืนสภาพสารดูดความชื้นตามกระบวนการอะเดียแบติก	17
รูปที่ 2.20 แผนผังวงล้อดูดความชื้นตามสมการที่ (2.1) - (2.4)	19
รูปที่ 2.21 ระบบดูดความชื้นร่วมในกระบวนการอบแห้ง	20
รูปที่ 3.1 รูปแสดงส่วนประกอบของระบบอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับวงล้อดูดความชื้น	23
รูปที่ 3.2 รูปแสดงเส้นกระบวนการในระบบอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับวงล้อดูดความชื้นโดยเส้นสีแดงคือกระบวนการดูดความชื้นและเส้นสีน้ำเงินคือกระบวนการคืนสภาพ	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ 3.3 แสดงส่วนประกอบภายในวงล้อดูดความชื้น	24
รูปที่ 3.4 แผนการทดลองของงานวิจัยนี้	26
รูปที่ 3.5 แสดงเส้นกระบวนการดูดความชื้นของวงล้อดูดความชื้น	27
รูปที่ 3.6 แสดงเส้นกระบวนการดูดความชื้นของวงล้อดูดความชื้น	28
รูปที่ 3.7 แสดงเส้นกระบวนการคืนสภาพของวงล้อดูดความชื้น	30
รูปที่ 3.8 แสดงเส้นกระบวนการทั้งระบบของวงล้อดูดความชื้น	31
รูปที่ 4.1 แสดงเส้นกระบวนการดูดความชื้นของอากาศ	34
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลาและอัตราการไหลของอากาศ 0.04 m ³ /s ส่วนดูดความชื้น	35
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลาและอัตราการไหลของอากาศ 0.04 m ³ /s ความเร็วรอบวงล้อ 1.5rpm ส่วนคืนสภาพสารดูดความชื้น	38
รูปที่ 4.4 แสดงกระบวนการคืนสภาพสารดูดความชื้นทางทฤษฎี	38
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ส่วนคืนสภาพสารดูดความชื้นที่อัตราการไหลของอากาศ 0.04m ³ /s	38
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลาและอัตราการไหลของอากาศ 0.08 m ³ /s อุณหภูมิส่วนคายความชื้น120°C กรณีสภาวะห้องอบเปล่า	40
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่อัตราการไหลของอากาศ 0.08m ³ /s กรณีสภาวะห้องอบเปล่า	40
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลาและอัตราการไหลของอากาศ 0.08 m ³ /s อุณหภูมิส่วนคายความชื้น120°C กรณีสภาวะห้องอบแห้งมีวัสดุอบแห้ง	42
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่อัตราการไหลของอากาศ 0.08m ³ /s กรณีสภาวะห้องอบแห้งมีวัสดุอบแห้ง	42

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันระบบดูดความชื้นแบบวงล้อดูดความชื้นนำมาใช้ลดความชื้นในตัวอาคารเพื่อช่วยในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงเนื่องจากการช่วยลดภาระการทำมาความเย็นของเครื่องปรับอากาศจากรายงานของชาติรี เกียรติเจริญศิริ (2553) เมื่อนำระบบลดความชื้นแบบวงล้อดูดความชื้นด้วยซิลิกาเจล ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในอาคารลดเหลือเพียง 10.605 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง จากเดิมที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้า 11.770 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง นอกจากนั้นระบบดูดความชื้นแบบวงล้อดูดความชื้นเหมาะสำหรับกระบวนการที่ต้องควบคุมสภาวะอากาศที่ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 10-50% (ภาคอุตสาหกรรม, n.d.) เมื่อนำระบบดูดความชื้นแบบวงล้อดูดความชื้นมาใช้ร่วมในการอบแห้งจะทำให้ความชื้นในอากาศลดลงส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิผลในการอบแห้ง เพิ่มความสม่ำเสมอของความชื้นของวัสดุในระหว่างการอบแห้ง เพิ่มคุณภาพของวัสดุอบแห้ง และยังลดเวลาในการอบแห้งอีกด้วย (สั๊กมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา, 2555)

การวิเคราะห์ประสิทธิผลของวงล้อดูดความชื้นถือเป็นเรื่องสำคัญเพื่อช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถใช้งานวงล้อดูดความชื้นได้อย่างเต็มสมรรถนะมากที่สุด จากวิจัยของ Mandegari & Pahlavanzadeh (2009) มีการเสนอแนะแนวคิดในการวิเคราะห์ประสิทธิผลของวงล้อดูดความชื้นโดยอาศัยหลักการของกระบวนการอะเดียแบติกในการลดความชื้นในอากาศและพบว่ามีความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบดูดความชื้น นอกจากนี้ในบางสภาวะการทดลองประสิทธิผลแบบอะเดียแบติกยังแสดงค่าเหมาะสมที่สุดของกระบวนการ (optimum value) ซึ่งแตกต่างจากประสิทธิผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยอาศัยหลักการอื่นเช่น การสูญเสียความร้อนหรือปริมาณความชื้น ซึ่งแสดงค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงโดยไม่พบค่าเหมาะสมที่สุด ทั้งนี้ Mandegari & Pahlavanzadeh (2009) ยังรายงานอิทธิพลของสภาพอากาศแวดล้อมต่อประสิทธิผลของวงล้อดูดความชื้น โดยพบว่าอากาศร้อนชื้นที่มีความชื้นสัมบูรณ์ $15 \pm 1 \text{ g}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{dry air}}$ ให้ประสิทธิผลแบบอะเดียแบติก 93.5% ซึ่งสูงกว่าอากาศร้อนแห้งที่มีความชื้นสัมบูรณ์ $7.5 \pm 0.5 \text{ g}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{dry air}}$ ที่ให้ประสิทธิผลแบบอะเดียแบติก 92.7% Chung, Lee & Yoon (2009) ยังแสดงว่าสมรรถนะของวงล้อดูดความชื้นจะลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศแวดล้อม อย่างไรก็ตามอิทธิพลของอากาศแวดล้อมต่อสมรรถนะของวงล้อดูดความชื้นจะลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศร้อนสำหรับคืนสภาพสารดูดความชื้นในวงล้อ

งานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการวิเคราะห์สมรรถนะและประสิทธิผลของวงล้อดูดความชื้น เป็นการวิเคราะห์ในระบบทำความเย็นแบบดูดความชื้น ยังไม่มีงานวิจัยในด้านนี้สำหรับระบบวงล้อดูดความชื้นในห้องอบแห้ง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการศึกษาสมบัติของอากาศในห้องอบแห้งแบบลมร้อนจากการใช้ระบบวงล้อดูดความชื้น เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิผลของวงล้อดูดความชื้นเนื่องจากอิทธิพลของความเร็วรอบของวงล้อและอัตราการไหลของอากาศในส่วนดูดความชื้น มีการศึกษาเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิทธิพลของ ความเร็วรอบของวงล้อและอัตราการไหลของอากาศในส่วนคั่นสภาพวงล้อต่อความสามารถในการคั่นสภาพซิลิกาเจลด้วย สำหรับการศึกษาสมบัติของอากาศในห้องอบแห้ง มีการศึกษาทั้งในกรณีที่ห้องอบแห้งมีวัสดุอบแห้งและเป็นห้องอบแห้งเปล่า

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้น

1.2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศและความเร็วรอบของวงล้อต่อการคั่นสภาพของซิลิกาเจลในวงล้อดูดความชื้น

1.2.3 เพื่อศึกษาสมบัติของอากาศจากการใช้วงล้อดูดความชื้นร่วมในระบบอบแห้งแบบลมร้อน กรณีสภาวะห้องอบแห้งเปล่า

1.2.4 เพื่อศึกษาสมบัติของอากาศจากการใช้วงล้อดูดความชื้นร่วมในระบบอบแห้งแบบลมร้อน กรณีสภาวะห้องอบแห้งมีวัสดุอบแห้ง

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ทำการศึกษาประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้นที่อยู่ในระบบอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับวงล้อดูดความชื้นที่พัฒนาขึ้นในภาควิชาวิศวกรรมเกษตรสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งเป็นระบบอบแห้งแบบอนุรักษ์พลังงานมีส่วนประกอบหลักคือวงล้อดูดความชื้น เครื่องทำความร้อน ห้องอบแห้ง และเครื่องอุ่นอากาศ

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบประสิทธิภาพของวงล้อในระบบอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับวงล้อดูดความชื้น เพื่อให้สามารถเลือกสภาวะในการใช้งานวงล้อให้มีประสิทธิภาพสูงสุดและพัฒนาาระบบให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นในอนาคต

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความชื้นในอากาศและวิธีการวัดความชื้นในอากาศ

2.1.1 คำจำกัดความของความชื้นในอากาศ

ความชื้นของอากาศหมายถึง ปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศบริเวณใดบริเวณหนึ่ง ซึ่งไอน้ำนี้เองที่ทำให้อากาศมีความชื้น ถ้าอากาศมีความชื้นสูงหมายความว่า อากาศมีไอน้ำอยู่เป็นปริมาณมาก ถ้าอากาศมีความชื้นต่ำหมายความว่า อากาศมีปริมาณไอน้ำอยู่เป็นจำนวนน้อย เรามีวิธีบอกความชื้นของอากาศอยู่ 2 วิธีคือ

1. ความชื้นสัมบูรณ์ (absolute humidity) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศต่อ 1 หน่วยปริมาตรของอากาศ มีหน่วยเป็น กรัม/ลูกบาศก์เมตร (g / m^3) ความชื้นสัมบูรณ์จะเปลี่ยนไปตามความดันอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป โดยเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\text{ความชื้นสัมบูรณ์(AH)} = \frac{\text{มวลของไอน้ำในอากาศ}}{\text{ปริมาตรของอากาศ ณ อุณหภูมิเดียวกัน}}$$

2. ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity, RH) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศขณะนั้นต่อปริมาณไอน้ำสูงสุด ที่อากาศจะรับได้หรือปริมาณไอน้ำอิ่มตัว ณ อุณหภูมิเดียวกัน หรือหาค่าได้จากอัตราส่วนระหว่างความดันไอน้ำที่ในอากาศต่อความดันไอน้ำอิ่มตัว นิยมบอกค่าเป็นร้อยละ โดยที่ 100 %RH หมายถึง อากาศอิ่มตัวด้วยไอน้ำ อากาศไม่สามารถรับไอน้ำอีก หากมีไอน้ำเพิ่มขึ้นอีกจะเกิดเป็นหมอก หรือไอน้ำขนาดเล็กที่อยู่ในสถานะของเหลวกระจายในอากาศโดยเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\text{ความชื้นสัมพัทธ์(%RH)} = \frac{\text{มวลของไอน้ำในอากาศที่มีอยู่จริง}}{\text{มวลของไอน้ำในอากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิและปริมาตรเดียวกัน}} \times 100\%$$

$$\text{หรือ ความชื้นสัมพัทธ์(%RH)} = \frac{\text{ความดันไอน้ำที่มีอยู่จริง}}{\text{ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิเดียวกัน}} \times 100\%$$

2.1.2 วิธีการวัดความชื้นในอากาศ

เราจะวัดความชื้นในอากาศด้วยเครื่องมือวัดความชื้นโดยวัดเป็นความชื้นสัมพัทธ์ได้แก่

1. ไฮโกรมิเตอร์แบบเส้นผม (Hair hygrometer) คือเครื่องวัดโดยนำเส้นผมสะอาดของมนุษย์มาโดยต้องไม่มีไขมันสำหรับการวัดนั้นใช้ความยืดหรือว่าหดตัวของเส้นผมที่เปลี่ยนแปลงไป ถ้าความชื้นในอากาศมีมากเส้นผมจะยืดยาวออก แต่ถ้าความชื้นในอากาศมีน้อย เส้นผมก็จะหดตัวสั้นลง ซึ่งเส้นผมนี้จะถูกนำไปเชื่อมต่อกับเข็มชี้ ทำให้สามารถอ่านค่าความชื้นสัมพัทธ์ได้จากหน้าปัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ไฮโกรมิเตอร์แบบเส้นผม (Hair hygrometer)

ที่มา: (อุปกรณ์ที่ใช้วัดความชื้นของอากาศ, n.d).

2. ไฮโกรมิเตอร์แบบกระเปาะเปียก – กระเปาะแห้ง (Wet-bulb and dry –bulb hygrometer) หรือไซโครมิเตอร์ (psychrometer) ประกอบด้วยเทอร์มอมิเตอร์ 2 อัน คู่กัน โดยเทอร์มอมิเตอร์อันหนึ่งจะหุ้มกระเปาะด้วยผ้าชื้น เรียกว่า กระเปาะเปียก จะมีการทำให้น้ำที่ผ้าระเหยออกโดยการเป่าพัดลมหรือการแกว่ง ซึ่งจะปล่อยให้ น้ำระเหยออกจากผ้าชื้น จนกระทั่งอุณหภูมิของเทอร์มอมิเตอร์กระเปาะเปียกเย็นลงถึง อุณหภูมิต่ำสุด แล้วนำค่าอุณหภูมิจากเทอร์มอมิเตอร์กระเปาะเปียกไปลบออกจากค่าอุณหภูมิของเทอร์มอมิเตอร์กระเปาะแบบแห้ง นำไปแปลผลจากตารางอีกที



รูปที่ 2.2 ไฮโกรมิเตอร์แบบกระเปาะเปียก – กระเปาะแห้ง (Wet-bulb and dry –bulb hygrometer)

ที่มา: (อุปกรณ์ที่ใช้วัดความชื้นของอากาศ, n.d).

2.2 ระบบลดความชื้นในอากาศ

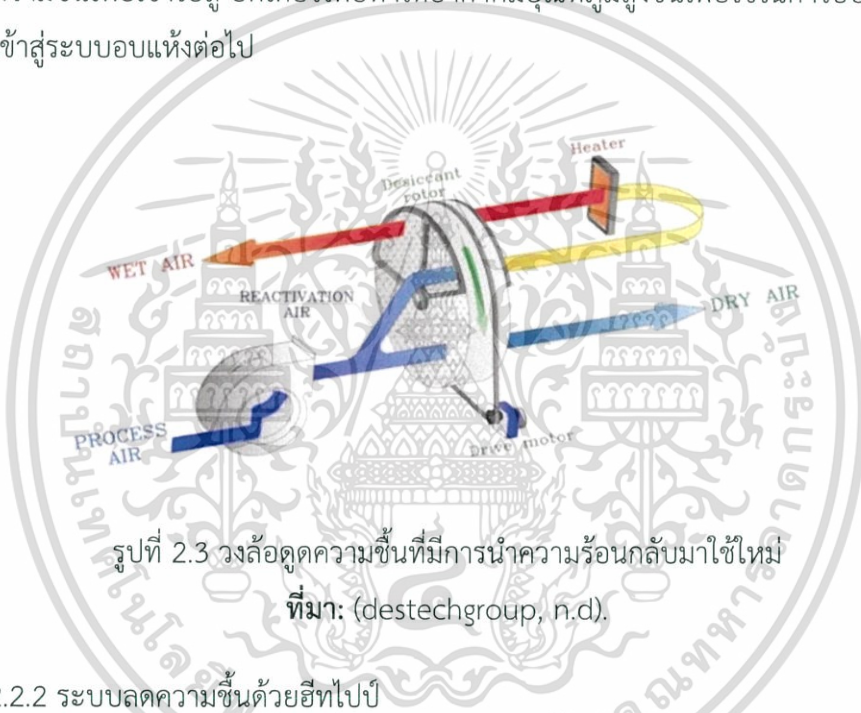
ระบบลดความชื้นของอากาศจะทำหน้าที่ควบคุมความชื้นในอากาศที่มีมากให้มีความชื้นน้อยลง เพื่อช่วยในระบบอบแห้งเนื่องจากการอบแห้งคือการนำน้ำออกจากวัสดุที่ต้องการอบแห้ง ถ้าความชื้นในอากาศน้อยความชื้นที่อยู่ในวัสดุจะไปอยู่ในความชื้นในอากาศแทน ซึ่งเป็นหลักการสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของระบบอบแห้ง ดังนั้นระบบลดความชื้นในอากาศจึงมีความสำคัญในการอบแห้ง ระบบต่างๆที่ลดความชื้นในอากาศมีหลายระบบดังนี้

2.2.1 ระบบวงล้อดูดความชื้น

ระบบวงล้อดูดความชื้น เป็นชุดอุปกรณ์เพื่อดูดความชื้นของอากาศ ภายในระบบจะมีส่วนประกอบหลักได้แก่ วงล้อดูดความชื้น เครื่องทำความร้อน พัดลมดูดอากาศ และมอเตอร์ โดยใช้สารดูดความชื้นซิลิกาเจล ตัววงล้อซึ่งภายในจะบรรจุสารดูดความชื้นซิลิกาเจลถูกทำให้หมุนโดยมอเตอร์ เมื่อเกิดการหมุนจะดูดอากาศภายนอกที่มีความชื้นสูงเข้ามาในตัววงล้ออากาศที่เข้ามาจะถูกดูดซับความชื้นโดยสารดูดความชื้นซิลิกาเจล เมื่อความชื้นต่ำแล้วจึงส่งอากาศเข้าสู่ระบบอบแห้ง โดยจะมีพัดลมดูดอากาศ คอยดูดอากาศที่ผ่านวงล้อดูดความชื้นเพื่อเข้าไปสู่อีตเตอร์เพื่อทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นเพื่อใช้ในการอบแห้ง แล้วจึงเข้าสู่ระบบอบแห้งต่อไป

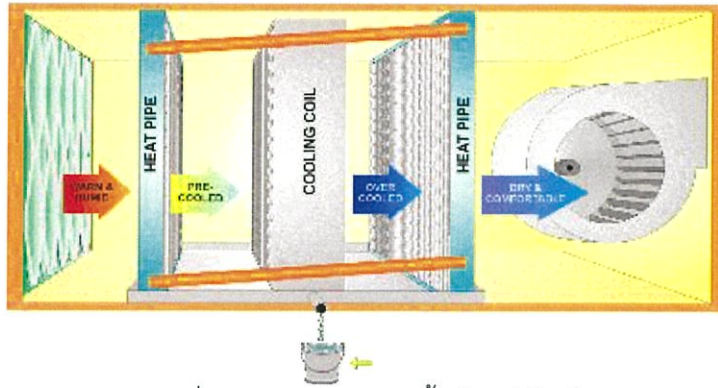


รูปที่ 2.3 วงล้อดูดความชื้นที่มีการนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่

ที่มา: (destechgroup, n.d).

2.2.2 ระบบลดความชื้นด้วยฮีทปั๊ม

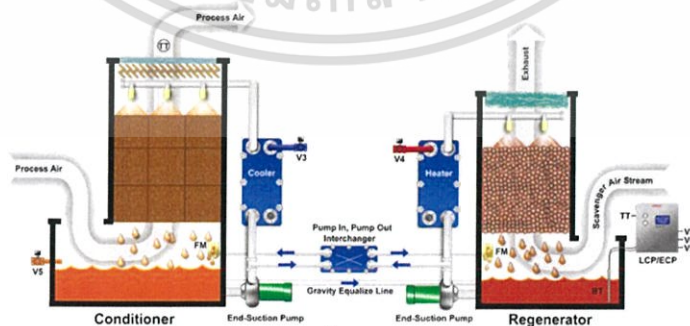
ฮีทปั๊ม เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน มีลักษณะภายนอกเป็นท่อโลหะภายในเป็นสฎญกาศบรรจุสารทำความเย็น (Refrigerant) เช่น R22, R134 ทำงานโดยสารทำความเย็นในด้านล่างของท่อเมื่อได้รับความร้อนจะระเหยเป็นไอลอยขึ้นไปด้านบนแล้วคายความร้อนออกทำให้ไอมีอุณหภูมิลดลงถึงจุดควบแน่นกลายเป็นของเหลวอีกรอบสามารถใช้ฮีทปั๊มลดความชื้นโดยติดตั้งร่วมกับระบบปรับอากาศโดยติดตั้งอยู่ใน อีวาโปเรเตอร์(Evaporator) โดยติดตั้งทั้งก่อนเข้าและหลังเข้าอีวาโปเรเตอร์ โดยส่วนแรกจะทำหน้าที่ดูดความร้อนก่อนเข้าอีวาโปเรเตอร์ และส่วนสองจะทำหน้าที่ดูดความร้อนหลังออกจากอีวาโปเรเตอร์ทำให้อากาศที่ผ่านฮีทปั๊มมีความชื้นลดลง



รูปที่ 2.4 ระบบลดความชื้นด้วยฮีทไปป์
ที่มา: (กระทรวงพลังงาน, 2552).

2.2.3 ระบบลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลว

ระบบลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลวมีสารดูดความชื้นคือสารละลายลิเทียมคลอไรด์ (LiCl) ประกอบด้วย 3 ส่วนคือส่วนดูดความชื้น (Collection Section) ทำหน้าที่ดูดความชื้นออกจากอากาศ เมื่ออากาศถูกดูดเข้ามาจะผ่าน Heat Exchanger ฝั่งเย็นทำให้อากาศที่ถูกดูดมีอุณหภูมิต่ำ และสัมผัสกับสารละลายลิเทียมคลอไรด์ ตัวสารละลายจะดูดความชื้นพร้อมกับถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศ อากาศที่ผ่านส่วนนี้จะมีคุณสมบัติแห้งและเย็น สารละลายลิเทียมคลอไรด์ที่ดูดความชื้นแล้วจะไหลไปยังส่วนต่อไป คือส่วนคายความชื้น (Regeneration Section) ทำหน้าที่ไล่ความชื้นออกจากสารดูดความชื้นโดยสารดูดความชื้นจะไหลผ่าน Heat Exchanger ฝั่งร้อนจนสารละลายมีความร้อนสูง ขณะเดียวกันอากาศจากภายนอกจะถูกดูดเข้ามาเพื่อทำให้อุณหภูมิอากาศสูงขึ้น เมื่ออากาศสัมผัสกับสารละลายลิเทียมคลอไรด์จะพาความชื้นที่เกาะอยู่ในสารละลายออกไปด้วย สารละลายลิเทียมคลอไรด์ที่คายความชื้นออกจะไหลไปสู่ส่วนดูดความชื้นดั้งเดิม ส่วนสุดท้ายคือส่วนปั๊มความร้อน (Heat Pump Section) จะทำหน้าที่ควบคุมสารทำความเย็น R-22 เพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและความเย็นให้แก่ Heat Exchanger



รูปที่ 2.5 ระบบลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลว

ที่มา: (กระทรวงพลังงาน, 2552).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 สารดูดความชื้น

สารดูดความชื้นเป็นสิ่งจำเป็นในการป้องกันสินค้าจากความชื้น เพื่อรักษาคุณภาพของสินค้าให้อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ สารดูดความชื้นมีหลายชนิด โดยแต่ละชนิดมีลักษณะและความเหมาะสมในการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป แบ่งออกเป็นดังนี้

2.3.1 ซิลิกาเจล

ซิลิกาเจล (Silica gel) หรือ ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) สังเคราะห์มาจาก โซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) ลักษณะเป็นเม็ดกลม เป็นของแข็ง คล้ายเจลาติน ซิลิกานิยมนำมาใช้เป็นสารดูดความชื้น เพราะมีความสามารถในการดูดความชื้นสูง ไม่มีวันหมดอายุ ไม่ไวต่อไฟ ไม่ละลายน้ำ และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ซิลิกาเจลที่นิยมใช้งานโดยทั่วไปมีอยู่ 2 ชนิด คือ เม็ดใส และเม็ดสีน้ำเงิน โดยคุณสมบัติของชนิดเม็ดสีน้ำเงินนั้นจะแตกต่างจากชนิดเม็ดใสตรงที่มีการเติม โคบอลต์คลอไรด์ลงไปทำให้มีสีน้ำเงินบนเนื้อซิลิกาเจลเพื่อใช้บ่งบอกว่าซิลิกาเจลดูดความชื้นจนอิ่มตัวแล้วหรือไม่โดยสามารถสังเกตการเปลี่ยนสีของซิลิกาเจลได้ เมื่อความชื้นสัมพัทธ์รอบข้างมีค่าสูงชันมากกว่า 40 % ซิลิกาเจลจะดูดความชื้นจนกระทั่งอิ่มตัว จากนั้นจะเปลี่ยนสีจากสีน้ำเงินเป็นสีชมพูซึ่งจะหมายถึงความชื้นรอบ ๆ ได้ถูกดูดซับความชื้นโดยซิลิกาเจล และ ซิลิกาเจลนี้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยวิธีการไล่ความชื้นออกจากซิลิกาเจลด้วยการให้ความร้อนโดยใช้ตูบที่อุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส หรือนำไปผึ่งแดด จากนั้นซิลิกาเจลจะกลับมาเป็นสีน้ำเงินพร้อมใช้งานใหม่อีกครั้ง

2.3.2 ไดอะตอมมาเซียส เอิร์ธ (Diatomaceous Earth) หรือดินไดอะตอม

ไดอะตอมมาเซียส เอิร์ธเป็นดินที่เกิดจากซากพืชเซลล์เดียว ที่มีโครงสร้างเป็นพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก เมื่อได้รับการเผาที่อุณหภูมิสูง และเติมสารเร่งปฏิกิริยาบางชนิด เช่น แคลเซียม คลอไรด์ (Calcium Chloride) จะมีคุณสมบัติในการดูดความชื้นได้ดีมากถึง 70-80% ของน้ำหนักตัวเอง เมื่อเทียบกับซิลิกาเจล แล้ว อัตราเร็วในการดูดความชื้น ของ ไดอะตอมมาเซียส เอิร์ธ จะต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 25 c และ ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 75% ซิลิกาเจล จะดูดความชื้นจนอิ่มตัวภายในเวลาไม่กี่ชั่วโมง ในขณะที่เดียวกัน ไดอะตอมมาเซียส เอิร์ธ ต้องใช้เวลาหลายวันหรือเป็นเดือนๆ ที่จะดูดความชื้นจนอิ่มตัว อย่างไรก็ตาม การดูดความชื้นของ ไดอะตอมมาเซียส เอิร์ธนี้ มีแรงดึงดูด ของโมเลกุลค่อนข้างมาก การคายความชื้นเมื่ออุณหภูมิรอบข้างสูงชันจึงมีน้อยมากหรือไม่เกิดขึ้นเลย ความสามารถในการดูดความชื้นที่มาก อัตราเร็วของการทำงานที่ไม่เร็วจนเกินไปและโอกาสในการคายความชื้นที่ต่ำมากเป็นเหตุให้ ไดอะตอมมาเซียส เอิร์ธ เป็นทางเลือกที่ดีของสารดูดความชื้นและได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 มอนต์โมริลโลไนต์ เคลย์ (Montmorillonite Clay)

มอนต์โมริลโลไนต์ เคลย์เป็นดินธรรมชาติที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุนจำนวนมาก ดินประเภทนี้เมื่อได้รับการเผาที่อุณหภูมิสูง (calcination) จะทำให้ความสามารถในการดูดความชื้นและการคงสภาพหลังการใช้ดีขึ้น โดยปกติมอนต์โมริลโลไนต์ เคลย์ มีความสามารถในการดูดความชื้น ประมาณ 25% ของน้ำหนักตัวเอง ประสิทธิภาพดังกล่าวจะลดลงค่อนข้างมาก เมื่ออุณหภูมิรอบข้างสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยเหตุนี้ การใช้มอนต์โมริลโลไนต์ เคลย์ สำหรับบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่งจะต้องพิจารณาถึงข้อจำกัดข้อนี้ เช่นเดียวกับการใช้ซิลิกา เจล

2.3.4 โมเลกุลาร์ ซีฟ (Molecular Sieve)

โมเลกุลาร์ ซีฟ (Molecular Sieve) หรือ ที่เรียกว่า Synthetic Zeolite เป็นสารสังเคราะห์ ที่มีคุณสมบัติในการดูดความชื้น ที่ดีมากๆภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ รอบข้างในระดับต่ำ (10%-30%) โดยมีประสิทธิภาพในการดูดความชื้นประมาณ 22% ของน้ำหนักตัวเอง โครงสร้างพิเศษทำให้โมเลกุลาร์ ซีฟ มีพื้นผิวสัมผัส ประมาณ 7-800 ตารางเมตร ต่อ 1 กรัม และมีแรงดึงดูดความชื้น ที่สูงมาก ข้อดีดังกล่าวทำให้ปัญหาการคายความชื้นน้อยกว่าซิลิกา เจล และ มอนต์โมริลโลไนต์ เคลย์ เมื่ออุณหภูมิรอบข้างสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม โมเลกุลาร์ ซีฟ ยังไม่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานของรัฐในการใช้งานกับอาหารและยา จึงทำให้สารชนิดนี้ยังไม่แพร่หลายมากนัก

2.3.5 แคลเซียมออกไซด์ (Calcium Oxide)

แคลเซียมออกไซด์ เป็นสารที่มีคุณสมบัติในการดูดความชื้นได้มากกว่า 28.5% ของน้ำหนักตัวเอง สารชนิดนี้มีคุณสมบัติเด่นในการดูดความชื้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำและมีอัตราการคายความชื้นที่ต่ำ เช่นเดียวกับโมเลกุลาร์ ซีฟ อย่างไรก็ตาม ความเร็วในการดูดความชื้นค่อนข้างช้าเมื่อเทียบกับสารชนิดอื่นๆ และจะกลายเป็นสารกึ่งเหลว (swell) เมื่อดูดความชื้นจนกระทั่งอิ่มตัว สารดูดความชื้นประเภทนี้มีคุณสมบัติในการกัดกร่อนสูง (corrosive) ดังนั้น บรรจุภัณฑ์ของสารดูดความชื้นประเภทนี้ ต้องป้องกันไม่ให้สารดูดความชื้นหลุดรอดออกมาได้โดยเด็ดขาด

2.3.6 แคลเซียม ซัลเฟต (CaSO₄)

แคลเซียม ซัลเฟต เป็นสารที่ได้จากแร่ยิปซัมโดยมีคุณสมบัติในการดูดความชื้นค่อนข้างต่ำประมาณ 10% ของน้ำหนักตัวเอง เป็นสารที่คงสถานะได้ดี ไม่เป็นพิษ และไม่กัดกร่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดและการคายความชื้นของซิลิกาเจล

2.4.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดและคายความชื้นของซิลิกาเจล

2.4.1.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิที่ซิลิกาเจลจะมีประสิทธิภาพสูงสุดจะต้องต่ำกว่า 25°C หากอุณหภูมิสูงกว่านี้ ประสิทธิภาพจะลดลงไปเรื่อยๆ และมีโอกาสที่ซิลิกาเจลจะคายความชื้นออกจากตัวเอง

2.4.1.2 ความชื้นสัมพัทธ์

ซิลิกาเจลจะเริ่มเปลี่ยนสีจากเดิมสีน้ำเงินเป็นสีชมพูเมื่อความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 40%

2.4.2 ความสามารถในการลดและดูดซับความชื้นของซิลิกาเจล

ซิลิกาเจลจะมีความสามารถในการดูดความชื้นที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ ไม่เท่ากัน ในอุณหภูมิค่าหนึ่ง เมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นซิลิกาเจลจะมีเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการดูดความชื้นที่เพิ่มขึ้น ทั้งยังเปลี่ยนสีตามความชื้นที่ซิลิกาเจลดูดเข้าไป แสดงดังตาราง

ตารางที่ 2.1 ความสามารถในการดูดความชื้นของซิลิกาเจลที่อุณหภูมิ 25°C

ความชื้นสัมพัทธ์	ความสามารถในการดูดความชื้น
20%	>10%
50%	>20%
90%	>30%

ตารางที่ 2.2 ความหมายของสีที่แสดงบนเม็ดสีซิลิกาเจล

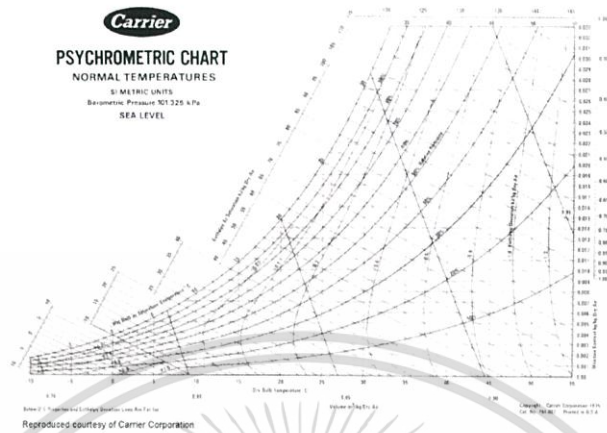
ร้อยละของความสามารถในการดูดความชื้น	สี
เต็ม	สี
20%	ฟ้า
35%	ม่วง
50%	ชมพู

2.5 แผนภูมิไซโครเมตริก

2.5.1 ลักษณะทั่วไปของแผนภูมิไซโครเมตริก

Psychrometric chart เป็นแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์สมบัติของผลสมระหว่างอากาศและไอน้ำ แผนภูมิไซโครเมตริกได้มีการสร้างขึ้นโดยหลายหน่วยงาน แต่ที่นิยมใช้คือแผนภูมิของแครร์เรีย (Carrier) โดยทั่วไปแผนภูมิไซโครเมตริกใช้ได้สำหรับความดันคงที่ค่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนึ่งเท่านั้น ความดันของแผนภูมิไซโครเมตริกที่นิยมใช้กันคือ ความดันที่ระดับน้ำทะเล เพื่อที่จะหาค่าต่างๆบนแผนภูมิเราจำเป็นต้องทราบค่าบนแผนภูมิตั้งน้อย 2 ค่าจึงจะสามารถหาค่าอื่นๆได้

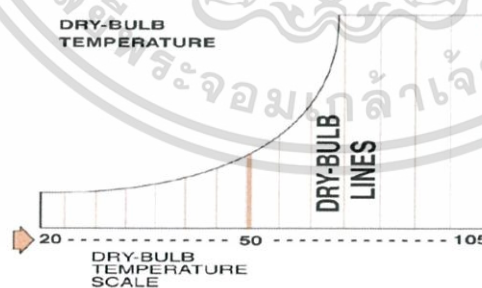


รูปที่ 2.6 แผนภูมิไซโครเมตริก
ที่มา: (Peralta, n.d).

2.5.2 ค่าสมบัติของอากาศในแผนภูมิไซโครเมตริก

สมบัติของอากาศกับไอน้ำในอากาศที่มีในแผนภูมิไซโครเมตริก ประกอบด้วย

1. อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (dry bulb temperature, DB) อุณหภูมิกระเปาะแห้ง หมายถึงอุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์ที่กระเปาะแห้ง ในการวัดจะต้องให้กระเปาะอยู่ในที่อากาศ ถ่ายเทได้สะดวกเพื่อที่อ่านได้ถูกต้องและป้องกันค่าที่ผิดพลาดจากการแผ่รังสี โดยการอ่านค่าบนแผนภูมิจะอ่านที่บรรทัดล่างสุดเป็นเส้นตรงแนวตั้งจากซ้ายไปขวาจะมีค่าน้อยไปมาก



รูปที่ 2.7 เส้นอุณหภูมิกระเปาะแห้ง
ที่มา: (Peralta, n.d).

2. อุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet bulb temperature, WB) อุณหภูมิกระเปาะเปียก หมายถึงอุณหภูมิที่อ่านค่าได้จากเทอร์โมมิเตอร์ที่กระเปาะหุ้มด้วยผ้าที่ชุบน้ำ ในตอนวัดก่อนที่จะอ่านค่าจะต้องทำให้ปลายกระเปาะเปียกดังกล่าวเคลื่อนที่ด้วยความเร็วค่าหนึ่ง ใน

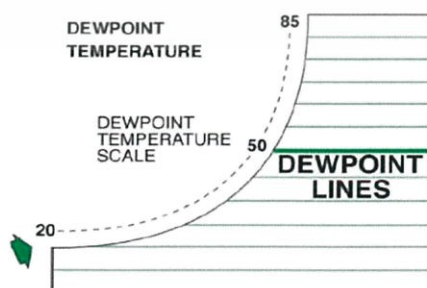
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการการระเหยของความชื้นของผ้าชุบน้ำที่ติดอยู่ที่ปลายเทอร์โมมิเตอร์แบบ
 กระจาเปะเปือกนั้นจะดูความร้อนรอบ ๆ ตัวกระจาเปะมาทำให้ความชื้นเปลี่ยนสถานะจาก
 ของเหลวกลายเป็นไอ ดังนั้นจึงทำให้โดยอุณหภูมิที่วัดได้จะต่ำกว่าอุณหภูมิกระจาเปะแห่ง
 อุณหภูมิกระจาเปะเปือกจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในอากาศในจุดที่ทำการวัด
 ถ้าความชื้นในอากาศน้อยความแตกต่างของอุณหภูมิกระจาเปะแห่งกับอุณหภูมิกระจาเปะเปือก
 จะมากและถ้าความชื้นในอากาศมากความแตกต่างของอุณหภูมิที่วัดได้จะน้อย ดังนั้น
 อุณหภูมิกระจาเปะแห่งกับกระจาเปะเปือกจะเท่ากันที่เส้นอากาศอิ่มตัว (Saturated
 Temperature) หรือจุดที่ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 100% โดยการอ่านค่าบนแผนภูมิจะอ่าน
 ตามเส้นเอียงทแยงจากซ้ายไปขวาและค่าจะเพิ่มขึ้นจากน้อยไปมากจากด้านซ้ายไปยัง
 ด้านขวา



รูปที่ 2.8 เส้นอุณหภูมิกระจาเปะเปือก
 ที่มา: (Peralta, n.d).

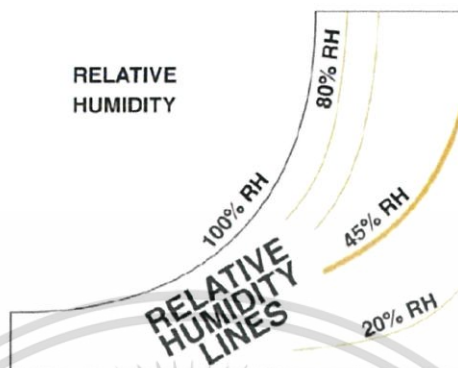
3. อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (dew point temperature) คืออุณหภูมิที่เมื่อ
 อากาศชื้นถูกทำให้เย็นลงขณะที่ปริมาณไอน้ำยังคงที่ การลดอุณหภูมิถึงจุดหนึ่งทำให้
 ความสามารถในการรองรับความชื้นในอากาศที่อุณหภูมิต่ำลดลง จะทำให้ไอน้ำเกิด
 การอิ่มตัวและกลั่นตัวควบแน่นเป็นหยดน้ำ ที่ความดันบรรยากาศคงที่ ในแผนภูมิ
 ไฮโครเมตริกสามารถอ่านค่าได้จากเส้นตรงแนวนอน ค่าที่ได้แสดงตัวเลขเดียวกันกับ
 อุณหภูมิกระจาเปะเปือก



รูปที่ 2.9 เส้นอุณหภูมิจุดน้ำค้าง
 ที่มา: (Peralta, n.d).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity, RH%) คืออัตราส่วนระหว่างปริมาณไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศ กับปริมาณไอน้ำที่มากที่สุดที่อากาศจะรับเอาไว้ได้ โดยมีหน่วยเป็น % ในแผนภูมิไซโครเมตริกเส้นความชื้นสัมพัทธ์จะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งเอียงจากฝั่งซ้ายล่างขึ้นขวาบน โดยเส้นโค้งซ้ายสุดจะมีค่าเป็น100%RH



รูปที่2.10 เส้นความชื้นสัมพัทธ์
ที่มา: (Peralta, n.d).

5. อัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio, W) คืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของไอน้ำ ที่มีอยู่ในอากาศต่อน้ำหนักของอากาศแห้ง มีหน่วยเป็น กิโลกรัมไอน้ำ/กิโลกรัมอากาศแห้ง โดยค่าอัตราส่วนความชื้นนี้จะบอกถึงปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศขณะใดขณะหนึ่งซึ่งจะบอกได้ว่าอากาศนั้นจะสามารถรับน้ำได้อีกเท่าใด สามารถเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$W = \frac{m_v}{m_a} = \text{หรือ} \frac{0.622 P_v}{P_{atm} - P_v}$$

โดยที่ W คืออัตราส่วนความชื้น ($\text{kg}_{\text{vapor}} / \text{kg}_{\text{dry air}}$)

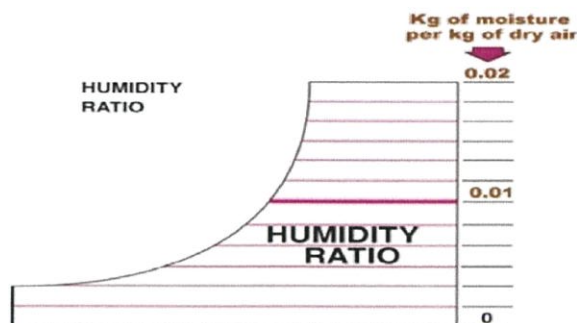
m_v คือมวลของไอน้ำในอากาศ(kg_{vapor})

m_a คือมวลของอากาศแห้ง($\text{kg}_{\text{dry air}}$)

P_v คือความดันของไอน้ำ(Pa)

P_{atm} คือความดันบรรยากาศ (Pa)

ในแผนภูมิไซโครเมตริกสามารถอ่านค่าได้จากเส้นตรง แนวนอนโดยค่าจะแสดงตรงด้านขวาสุด



รูปที่ 2.11 ค่าอัตราส่วนความชื้น

ที่มา: (Peralta, n.d).

6. เอนทัลปี(Enthalpy) คือปริมาณความร้อนที่มีอยู่ในอากาศขณะนั้นซึ่งเป็นค่าพลังงานภายในของของไหลบวกกับพลังงานเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความดันและปริมาตรของของไหล มีหน่วยเป็นจูลต่อกิโลกรัม เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$h = u + pv$$

โดยที่ h คือเอนทัลปี (joule/kg)

u คือพลังงานภายใน (joule/kg)

pv ผลคูณของความดันและปริมาตร (joule)

สำหรับของไหลที่ความดันบรรยากาศค่าเอนทัลปีจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ โดยที่ถ้า อุณหภูมิมากค่าเอนทัลปีจะมากตามไปด้วย การหาค่าเอนทัลปีของอากาศแห้งและอากาศชื้นสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$h = C_p T + wh_g$$

โดย h คือค่าเอนทัลปี (kj/kg)

C_p คือค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศแห้ง (kj/kg.k)

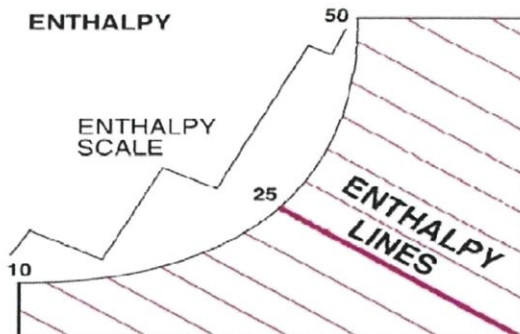
T คืออุณหภูมิในสภาวะที่พิจารณา (K)

w คือค่าอัตราส่วนความชื้น (ไม่มีหน่วย)

h_g คือค่าเอนทัลปีของไอน้ำอิ่มตัว (kj/kg)

ในแผนภูมิไซโครเมตริกจะใช้เส้นเดียวกันกับเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกแต่ค่าที่อ่านจะได้จากด้านซ้ายสุดและบนสุดของแผนภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 เส้นค่าเอนทาลปี
ที่มา: (Peralta, n.d).

7. ปริมาตรจำเพาะ (specific volume) คือปริมาตรของอากาศขณะนั้นต่อมวลของอากาศแห้ง มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม (m³/kg) ในสภาวะความดันคงที่ ถ้าอุณหภูมิต่้อากาศจะมีปริมาตรจำเพาะน้อยหมายถึงน้ำหนักอากาศต่อหน่วยปริมาตรจะมาก ในทางตรงกันข้ามถ้าอุณหภูมิของอากาศสูงขึ้นอากาศจะขยายตัวออกทำให้ปริมาตรจำเพาะของอากาศเพิ่มมากขึ้น ปริมาตรจำเพาะสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$v = \frac{R_a T}{P_a} = \frac{R_a}{P_{atm} - P_v}$$

โดย v คือ

R_a คือค่าคงที่ของอากาศแห้งมีค่าเท่ากับ 0.2870 kJ/kg.k

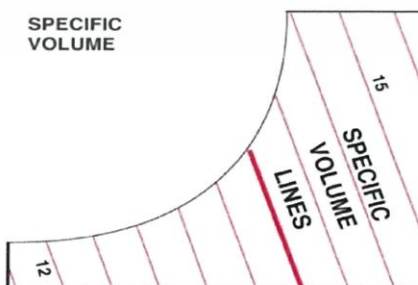
T คือค่าอุณหภูมิในสภาวะที่พิจารณา (K)

P_a คือค่าความดันของอากาศแห้ง (kN/m²)

P_{atm} คือค่าความดันบรรยากาศ (kN/m²)

P_v คือค่าความดันของไอน้ำ (kN/m²)

ในแผนภูมิไซโครเมตริกจะอ่านค่าได้จากเส้นตรงแนวเอียง โดยค่าที่ได้จะอยู่ตรงกลางของเส้น

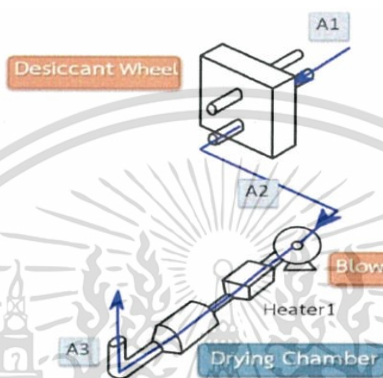


รูปที่ 2.13 เส้นค่าปริมาตรจำเพาะ
ที่มา: (Peralta, n.d).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 เส้นกระบวนการลดความชื้นในอากาศและเส้นกระบวนการคืนสภาพสารดูดความชื้น

ในการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับวงล้อดูดความชื้นส่วนดูดความชื้นเราจะวิเคราะห์กระบวนการที่เกิดขึ้นสองกระบวนการคือ 1. กระบวนการลดความชื้นในอากาศ (Dehumidification Process) และ 2. กระบวนการคืนสภาพสารดูดความชื้น (Regeneration Process) จากนั้นจะนำค่าสมบัติของอากาศในห้องอบแห้งแบบลมร้อนจากการใช้ระบบวงล้อดูดความชื้นมาแสดงบนแผนภูมิไซโครเมตริก

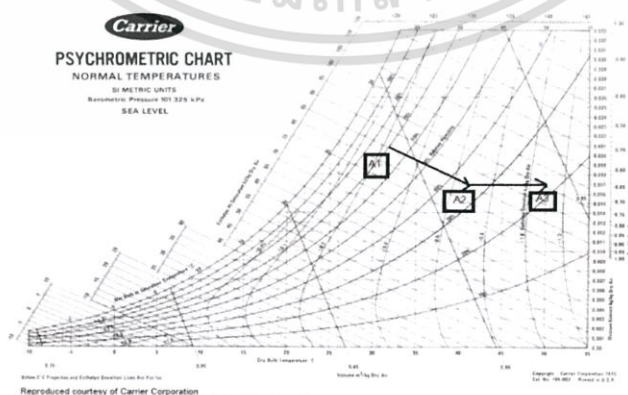


รูปที่ 2.14 แผนภาพการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับวงล้อดูดความชื้นส่วนดูดความชื้น

ที่มา: (เกียรติศิริจันทร์ กลิ่นจันทร์, ดวงหทัย คำอ่อนและปlicitา สุวรรณวิศาล, 2558).

เส้นกระบวนการ A คือ กระบวนการลดความชื้นในอากาศ (Dehumidification Process)

เมื่อนำกระบวนการลดความชื้นในอากาศมาพล็อตบนแผนภูมิไซโครเมตริกจะได้เป็น



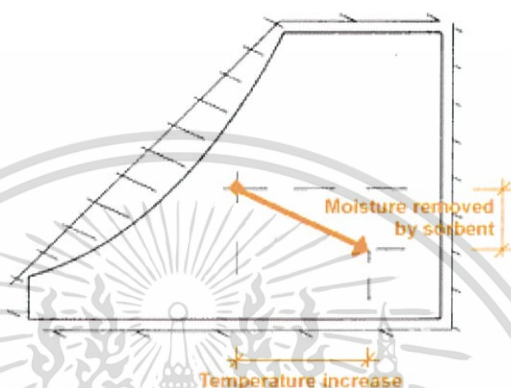
รูปที่ 2.15 แผนภูมิไซโครเมตริกแสดงสมบัติของอากาศจำลองการดูดความชื้นของวงล้อดูดความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

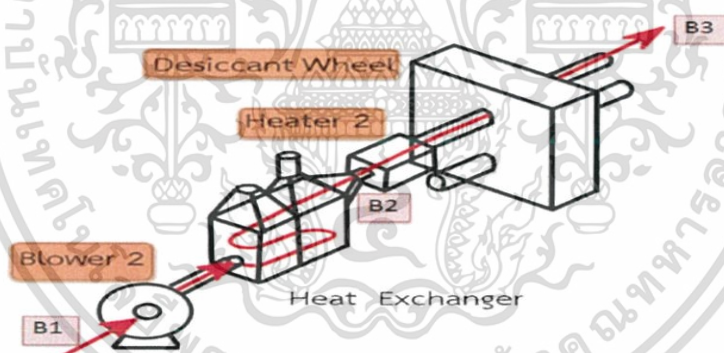
โดย A1-A2 เป็นกระบวนการลดความชื้น

A2-A3 เป็นกระบวนการทำความร้อน

จากเส้นกระบวนการ A1-A2 อากาศไหลผ่านวงล้อดูดความชื้น ความชื้นจะลดลง ความร้อนแฝงจะเกิดขึ้นและจะทำให้ความร้อนสัมผัสเพิ่มขึ้น หากกระบวนการเป็นไปตามอะเดียแบติก กระบวนการจะเป็นไปตามเส้นเอนทัลปี นั่นคือไม่มีการสูญเสียความร้อนในกระบวนการ



รูปที่ 2.16 เส้นกระบวนการลดความชื้นตามกระบวนการอะเดียแบติก



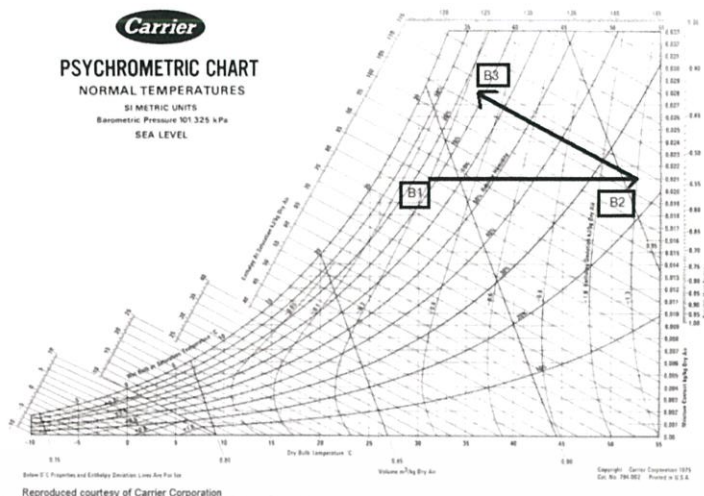
รูปที่ 2.17 แผนภาพการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับวงล้อดูดความชื้นส่วนคายความชื้น

ที่มา: (เกียรติศิริพันธ์ กลิ่นจันทร์, ดวงหทัย คำอ่อนและปิติดา สุวรรณวิศาล, 2015).

เส้นกระบวนการB คือ กระบวนการคืนสภาพสารดูดความชื้น (Regeneration Process)

เมื่อนำกระบวนการคืนสภาพสารดูดความชื้น มาพล็อตบนแผนภูมิไซโครเมตริกจะได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 แผนภูมิไซโครเมตริกแสดงสมบัติของอากาศจำลองการคืนสภาพของสารดูดความชื้น

ของวงล้อคายความชื้น

โดย B1-B2เป็นกระบวนการทำความร้อน

B2-B3เป็นกระบวนการคืนสภาพสารดูดความชื้น

จากเส้นกระบวนการ B2-B3 ความชื้นระเหยไปในอากาศ หากไม่มีการแลกเปลี่ยนความร้อน ปริมาณความร้อนสัมผัสจะลดลง ขณะที่ปริมาณความร้อนแฝงเพิ่มขึ้น หากกระบวนการเป็นไปตามอะเดียแบติก กระบวนการจะเป็นไปตามเส้นเอนทัลปี นั่นคือไม่มีการสูญเสียความร้อนในกระบวนการ



รูปที่ 2.19 เส้นกระบวนการคืนสภาพสารดูดความชื้นตามกระบวนการอะเดียแบติก

2.6 การวัดประสิทธิภาพของระบบลดความชื้นในอากาศ

2.6.1 คำจำกัดความของประสิทธิภาพ

คำจำกัดความของประสิทธิภาพ มีนักวิชาการหลายท่านได้ให้นิยามและความหมายแตกต่างกัน ดังนี้ (ราชบัณฑิตยสถาน, 2546). ได้ให้ความหมายของคำว่า ประสิทธิภาพ หมายถึงผลสำเร็จหรือผลที่เกิดขึ้น

(จักรกฤษณ์ จันทะคุณ, n.d). ได้ให้ความหมายของคำว่า ประสิทธิภาพ หมายถึง การบรรลุตามวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายที่พึงปรารถนาหรือเป็นไปตามที่คาดหวังไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(วีระพันธ์ เขมมะนุเชษฐ์, 2545). ได้ให้ความหมายของคำว่า ประสิทธิภาพ หมายถึง ผลสำเร็จของงานที่เป็นไปตามความมุ่งหวัง ที่กำหนดไว้ในวัตถุประสงค์

(จกมล ทองโฉม, 2545). ได้ให้ความหมายของคำว่า ประสิทธิภาพ หมายถึง ความสำเร็จในการที่สามารถดำเนินกิจการก้าวหน้าไปและสามารถบรรลุเป้าหมายต่าง ๆ ที่องค์กรตั้งไว้

2.6.2 ประสิทธิภาพของระบบลดความชื้นในอากาศ

การวัดประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้น จะวัดอุณหภูมิ สมบัติของอากาศที่ไหลผ่านการลดความชื้นในวงล้อดูดความชื้น การดำเนินการนี้ถูกพิจารณาโดยทั้งการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวล การรวมกันของทั้งสองกระบวนการบอกถึงสิ่งที่แตกต่างของนิยาม ประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้น สมการแรกสำหรับการคำนวณถึงประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้นคือ

$$\text{ประสิทธิภาพทางความร้อน } \epsilon_{Dw,1} = \frac{T_2 - T_1}{T_4 - T_1} \quad (2.1)$$

โดย T_1 คืออุณหภูมิอากาศของกระบวนการก่อนผ่านวงล้อดูดความชื้น ($^{\circ}\text{C}$)

T_2 คืออุณหภูมิอากาศของกระบวนการหลังผ่านวงล้อดูดความชื้น ($^{\circ}\text{C}$)

T_4 คืออุณหภูมิอากาศของกระบวนการคืนสภาพก่อนผ่านวงล้อดูดความชื้น ($^{\circ}\text{C}$)

สมรรถนะของวงล้อดูดความชื้นให้คำอธิบายในขอบเขตที่เกี่ยวข้องกับความชื้น วงล้อดูดความชื้นเปรียบเสมือนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ความสัมพันธ์เบื้องต้นจึงได้มาจากนิยามของประสิทธิภาพเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน สิ่งที่สองที่แสดงถึงประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้นจึงสามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ประสิทธิภาพการคืนสภาพ } \epsilon_{Dw,2} = \frac{(w_1 - w_2) h_{fg}}{h_4 - h_3} \quad (2.2)$$

โดย w_1 คือความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศของกระบวนการก่อนผ่านวงล้อดูดความชื้น ($\text{kg}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{dry air}}$)

w_2 คือความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศของกระบวนการหลังผ่านวงล้อดูดความชื้น ($\text{kg}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{dry air}}$)

h_{fg} คือความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ ($\text{kJ}/\text{kg}_{\text{dry air}}$)

h_3 คือเอนทาลปีจำเพาะของอากาศชื้นก่อนเข้ากระบวนการคืนสภาพ ($\text{kJ}/\text{kg dry air}$)

h_4 คือเอนทาลปีจำเพาะของอากาศชื้นของกระบวนการคืนสภาพก่อนผ่านวงล้อดูดความชื้น ($\text{kJ}/\text{kg dry air}$)

สมการ(2.2) คำนวณปริมาณของความร้อนที่เพิ่มสำหรับระเหยของน้ำที่ดูดซับไว้ อย่างไรก็ตามสมการนี้ไม่มีหน่วย เมื่ออัตราการไหลของมวลอากาศและการเพิ่มไม่เท่ากัน ย่อมไม่ใช่แนวคิดที่เหมาะสม ดังนั้นเพื่อที่จะให้ใกล้เคียงกับความเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จริงมากขึ้น เราแนะนำความสัมพันธ์ที่รวมหลายๆลักษณะ(อัตราการไหลของมวลคืบ
สภาพและอัตราการไหลของมวลอากาศ)

$$\varepsilon_{Dw,2'} = \frac{\dot{m}_{Process}(w_1 - w_2)h_{fg}}{\dot{m}_{Regeneration}(h_4 - h_3)} = \frac{\dot{Q}_{Latent}}{\dot{Q}_{Regeneration}} \quad (2.3)$$

โดย $\dot{m}_{process}$ คืออัตราการไหลของมวลอากาศกระบวนการ (kg/s)

$\dot{m}_{regeneration}$ คือ อัตราการไหลของมวลอากาศกระบวนการคืบสภาพ
(kg/s)

\dot{Q}_{latent} คือความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำที่ดูดซับ (kw)

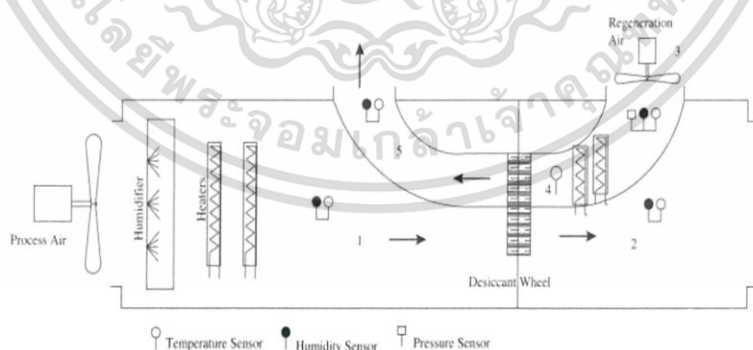
$\dot{Q}_{regeneration}$ คืออัตราการคืบสภาพความร้อนที่ใส่เข้าไป (kw)

นิยามอื่นสำหรับประสิทธิภาพวงล้อดูดความชื้นคือการพิจารณาจากกระบวนการลดความชื้น
(การถ่ายโอนมวล) ได้ถูกเสนอโดย Van Den Bulk ในสมการคือ

$$\text{ประสิทธิภาพการลดความชื้น} \quad \varepsilon_{Dw,3} = \frac{w_1 - w_2}{w_1 - w_{2,ideal}} \quad (2.4)$$

โดย $w_{2,ideal}$ คือ คือความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศอุดมคติของ
กระบวนการหลังผ่านวงล้อดูดความชื้น (kg_{water}/kg_{dry air})

เมื่อคืออากาศจำเพาะอุดมคติที่ไหลออกจากวงล้อดูดความชื้น หากมีค่าเป็นศูนย์เรา
จะได้วงล้อดูดความชื้นในอุดมคติที่ซึ่งอากาศถูกลดความชื้นอย่างสมบูรณ์ นิยาม
สุดท้ายนี้เป็นหนึ่งในสิ่งที่เป็นประโยชน์ที่สุดในการเพิ่มประสิทธิภาพของวงล้อดูด
ความชื้น



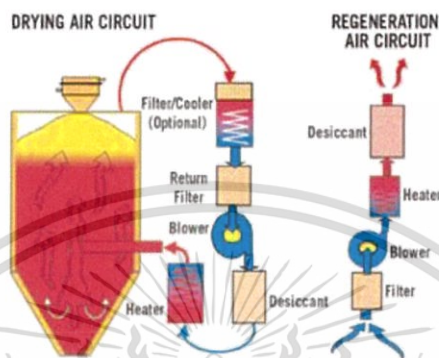
รูปที่ 2.20 แผนผังวงล้อดูดความชื้นตามสมการที่ (2.1) - (2.4)

ที่มา: (Mandegari & Pahlavanzadeh, 2009).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 การใช้ระบบดูดความชื้นร่วมในกระบวนการอบแห้ง

กระบวนการอบแห้งคือ กระบวนการนำน้ำที่มีอยู่ในวัสดุออกมาจากวัสดุเพื่อการยืดอายุการเก็บรักษาหรือ ทำให้วัสดุมีน้ำหนักเบาขึ้น การที่จะนำน้ำออกมาจากวัสดุ อากาศจะต้องมีความชื้นที่ต่ำ เพื่อให้ความชื้นที่อยู่ในวัสดุระเหยเข้าสู่อากาศได้ จึงต้องใช้ระบบดูดความชื้นวงล้อดูดความชื้น เพื่อให้อากาศก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการอบแห้งมีความชื้นที่ต่ำลง และมีความร้อนที่สูงขึ้นเพื่อใช้ในการอบแห้ง



รูปที่ 2.21 ระบบดูดความชื้นร่วมในกระบวนการอบแห้ง
(Peter, 2004)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 อิทธิพลของความเร็วในการหมุนของวงล้อดูดความชื้น

ระบบดูดความชื้น ส่วนประกอบหลักของระบบคือวงล้อดูดความชื้นในส่วนของการลดความชื้นและอุณหภูมิทางออกของอากาศ จะขึ้นอยู่กับหลายๆปัจจัย เช่น ความเร็วรอบในการหมุนของวงล้อดูดความชื้น ถ้าหากวงล้อหมุนเร็วเกินไป สารดูดความชื้นก็จะไม่สามารถดูดความชื้นได้เต็มที่ และถ้าหากวงล้อหมุนช้าเกินไป สารดูดความชื้นก็จะเกิดความอึดตัวเกินพอดี ดังนั้นจะต้องมีความเร็วในการหมุนของวงล้อที่เหมาะสม ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสภาพการทำงาน โดยความเร็วในการหมุนของวงล้อนั้นก็จะมีอิทธิพลต่ออุณหภูมิของอากาศขาออกของวงล้อดูดความชื้นด้วย และในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองโดยใช้วงล้อดูดความชื้นด้วยซิลิกาเจล ในการทดลองทำการหาอิทธิพลของความเร็วรอบในการหมุนที่มีต่อประสิทธิภาพในการทำงานของวงล้อดูดความชื้น โดยจะให้พลังงานความร้อนที่ 65 องศาเซลเซียส ในสารดูดความชื้นที่กระบวนการคืนสภาพ จากนั้นคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะในการดูดความชื้น(DCOP) และสัดส่วนพลังงานสัมผัส(SER) จากการทดลองได้ค่าความเร็วในการหมุนของวงล้อที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพในการลดความชื้นอยู่ที่ 5-10 รอบต่อชั่วโมง และจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม แต่ค่าสัดส่วนพลังงานสัมผัสจะมีค่าแปรผันตรงกับความเร็วรอบในการหมุน(Angrisani, Roselli & Sasso, 2013)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2 วงล้อดูดความชื้นด้วยซิลิกาเจลและโพลิเมอร์ร่วมกับปั๊มความร้อนสำหรับระบบปรับอากาศ

จากการทดลองใช้ความร้อนที่ปล่อยจากปั๊มความร้อน ที่อุณหภูมิ 40-50 องศาเซลเซียส เพื่อคืนสภาพให้กับซิลิกาเจลหรือโพลิเมอร์ในวงล้อดูดความชื้น และยังนำไปดูดซับความร้อนเพื่อลดความชื้นในกระบวนการอากาศโดยการควบแน่น และเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้น จากนั้นนำวงล้อดูดความชื้นไปติดตั้งข้างหลังคอยล์เย็น(Evaporator) เพื่อควบคุมความชื้นในชั้นที่ 2 ของการดูดความชื้น โดยได้ส่วนประกอบใหม่ของสารดูดความชื้นคือ ซิลิกาเจล 80%, กรดโพลีอะครีลิก 10% และโซเดียมโพลีอะครีลิก 10% จากสัดส่วนใหม่นี้ทำให้มีอัตราการดูดซับที่สูงขึ้นและอุณหภูมิที่ทางออกของอากาศมีอัตราเฉลี่ยต่ำ อีกทั้งส่วนประกอบของสารดูดความชื้นยังสามารถทำเป็นรูปร่างต่างๆได้ เพื่อเป็นการลดการใช้พลังงานของระบบ จากนั้นให้ค่าแฟคเตอร์ของพลังงานที่ 2.3 kg/kW h แก่ซิลิกาเจลในระบบปั๊มความร้อน ทำให้ได้ค่าที่ถึง 130% และยังใช้ไฟฟ้าน้อยกว่าระบบลดความชื้นแบบดั้งเดิมอีกด้วย (Chin-Hao Chen, 2016)



บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับวงล้อดูดความชื้นและการทำงาน

เครื่องอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับวงล้อดูดความชื้นอาศัยหลักการลดความชื้นของอากาศเพื่อมาช่วยในการอบแห้งโดยในวงล้อดูดความชื้นมีขนาด (diameter x thickness) เท่ากับ 700x50 mm มอเตอร์ที่ใช้กำลังขับเคลื่อน (RS Motor Industry TAIWAN) ความเร็วเท่ากับ 28 rpm กำลังขับ 45 watt ภายในวงล้อแบ่งเป็น 8 ถาด เพื่อใช้บรรจุซิลิกาเจล ตามรูปที่ 3.3 โดยกระบวนการหลักของระบบอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับวงล้อดูดความชื้นจะแบ่งเป็น 2 กระบวนการคือ กระบวนการดูดความชื้น (Dehumidification process) และ กระบวนการคืนสภาพซิลิกาเจล (Regeneration process) ทั้งสองกระบวนการจะทำงานร่วมกันเป็นระบบโดยเริ่มจากกระบวนการดูดความชื้น อากาศปกติจะถูกดูดเข้ามาในวงล้อดูดความชื้นโดยเครื่องเป่าลมร้อน (MA40B, Euro vent) กำลังการทำงาน of เครื่องเท่ากับ 0.75 kw แรง (RPM) เท่ากับ 2800 rpm อัตราการไหลสูงสุดที่เครื่องสามารถทำงานได้เท่ากับ 24 m³/min อากาศเมื่อผ่านวงล้อดูดความชื้นจะมีความชื้นลดลง อากาศจะถูกเพิ่มอุณหภูมิโดยเครื่องทำความร้อนแบบชนิด แท่งไม่มีพิน ทำความร้อนได้สูงสุด 800 °C ยี่ห้อ เทคโนโลยี อินสตรูเมนต์ ฉนวนที่ใช้ชนิด โยหินหนา เพื่อนำอากาศนี้ไปใช้ในกระบวนการอบแห้ง อากาศเมื่อผ่านกระบวนการอบแห้งแล้วจะมีอุณหภูมิลดลงเล็กน้อย และมีความชื้นที่เพิ่มขึ้นอากาศนี้จะถูกส่งไปที่ เครื่องอุ่นอากาศเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศใหม่ที่ถูกลดเข้ามาในเครื่องอุ่นอากาศโดยเครื่องเป่าลมร้อน (MA40B, Euro vent) กำลังการทำงาน of เครื่องเท่ากับ 0.75 kw แรง (RPM) เท่ากับ 2800 rpm อัตราการไหลสูงสุดที่เครื่องสามารถทำงานได้เท่ากับ 24 m³/min ที่ กระบวนการคืนสภาพ เมื่อแลกเปลี่ยนความร้อนเสร็จแล้วอากาศใหม่นี้จะได้รับความร้อนจากอากาศที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งส่วนอากาศเก่าจะถูกนำทิ้งไป อากาศใหม่ที่ได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นจะนำมาใช้ในการคืนสภาพให้ซิลิกาเจล

ส่วนประกอบหลักของเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับวงล้อดูดความชื้นมีส่วนประกอบหลักตามรูปที่ 3.1 ดังนี้

1. วงล้อดูดความชื้น จะทำหน้าที่ลดความชื้นของอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้ง
2. เครื่องเป่าลมร้อน ภายในระบบจะมีเครื่องเป่าลมร้อนคอยดูดอากาศอยู่ 2 ตัว ตัวแรกจะอยู่กับกระบวนการดูดความชื้นและอีกตัวหนึ่งจะอยู่กับกระบวนการคืนสภาพซิลิกาเจล
3. เครื่องทำความร้อน ภายในระบบจะมีเครื่องทำความร้อนอยู่ 2 ตัว ตัวแรกจะอยู่กับกระบวนการดูดความชื้นทำหน้าที่เพิ่มความร้อนให้อากาศเพื่อใช้ในกระบวนการอบแห้งและอีกตัวจะอยู่กับกระบวนการคืนสภาพทำหน้าที่เพิ่มความร้อนให้อากาศเพื่อใช้ในการคืนสภาพซิลิกาเจล
4. แผงควบคุม จะทำหน้าที่คอยควบคุมอัตราการไหลของอากาศของเครื่องเป่าลมร้อนทั้งสองกระบวนการ ทำหน้าที่คอยควบคุมอุณหภูมิของเครื่องทำความร้อนทั้งสองกระบวนการ รวมทั้งยัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำหน้าที่อ่านค่าอุณหภูมิตามจุดต่างๆ ของระบบตามรูปที่ 3.1 โดยจุดที่ 1 คืออุณหภูมิอากาศหลังเพิ่มความร้อนจากเครื่องทำความร้อนของกระบวนการดูดความชื้น จุดที่ 2 คืออุณหภูมิอากาศหลังเพิ่มความร้อนจากเครื่องทำความร้อนของกระบวนการคืนสภาพซิลิกาเจล จุดที่ 3 คืออุณหภูมิอากาศหลังผ่านกระบวนการอบแห้งในห้องอบแห้งก่อนเข้าเครื่องอุ่นอากาศ จุดที่ 4 คืออุณหภูมิอากาศที่ผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อนแล้วทั้ง จุดที่ 5 คืออุณหภูมิอากาศใหม่ที่ผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อนในเครื่องอุ่นอากาศเพื่อมาในกระบวนการคืนสภาพซิลิกาเจล จุดที่ 6 คืออุณหภูมิอากาศที่เครื่องเป่าลมร้อนดูดอากาศเข้ามาในกระบวนการลดความชื้น

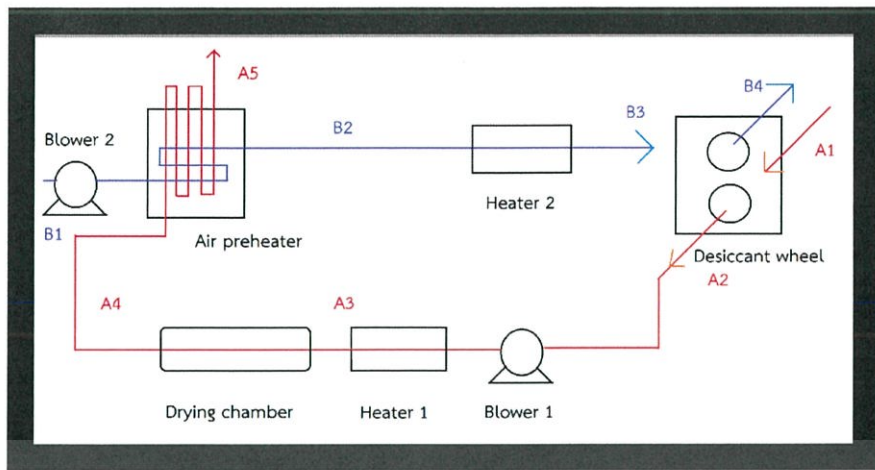
5. ห้องอบแห้ง วัสดุที่ต้องการอบแห้งจะถูกบรรจุไว้ในห้องอบแห้ง ภายในจะมีตะแกรงไว้คยใส่วัสดุอบแห้ง

6. เครื่องอุ่นอากาศ ภายในจะมีท่อยาวขดไปมาอยู่ 2 ท่อ ท่อแรกเป็นท่อของอากาศที่มาจากกระบวนการดูดความชื้นหลังจากห้องอบแห้ง อีกท่อหนึ่งเป็นท่อของอากาศใหม่ที่จะนำมาใช้ในกระบวนการคืนสภาพซิลิกาเจล โดยเมื่ออากาศจากกระบวนการดูดความชื้นแลกเปลี่ยนกับอากาศใหม่เสร็จแล้วอากาศนี้จะถูกทิ้งที่ท่อทิ้ง แล้วอากาศใหม่ที่มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นแล้วมาใช้ในกระบวนการคืนสภาพต่อไป



รูปที่ 3.1 รูปแสดงส่วนประกอบของระบบอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับวงจรดูดความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 รูปแสดงเส้นกระบวนการในระบบอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับวงล้อดูดความชื้น โดยเส้นสีแดงคือกระบวนการดูดความชื้นและเส้นสีน้ำเงินคือกระบวนการคืนสภาพ



รูปที่ 3.3 แสดงส่วนประกอบภายในวงล้อดูดความชื้น

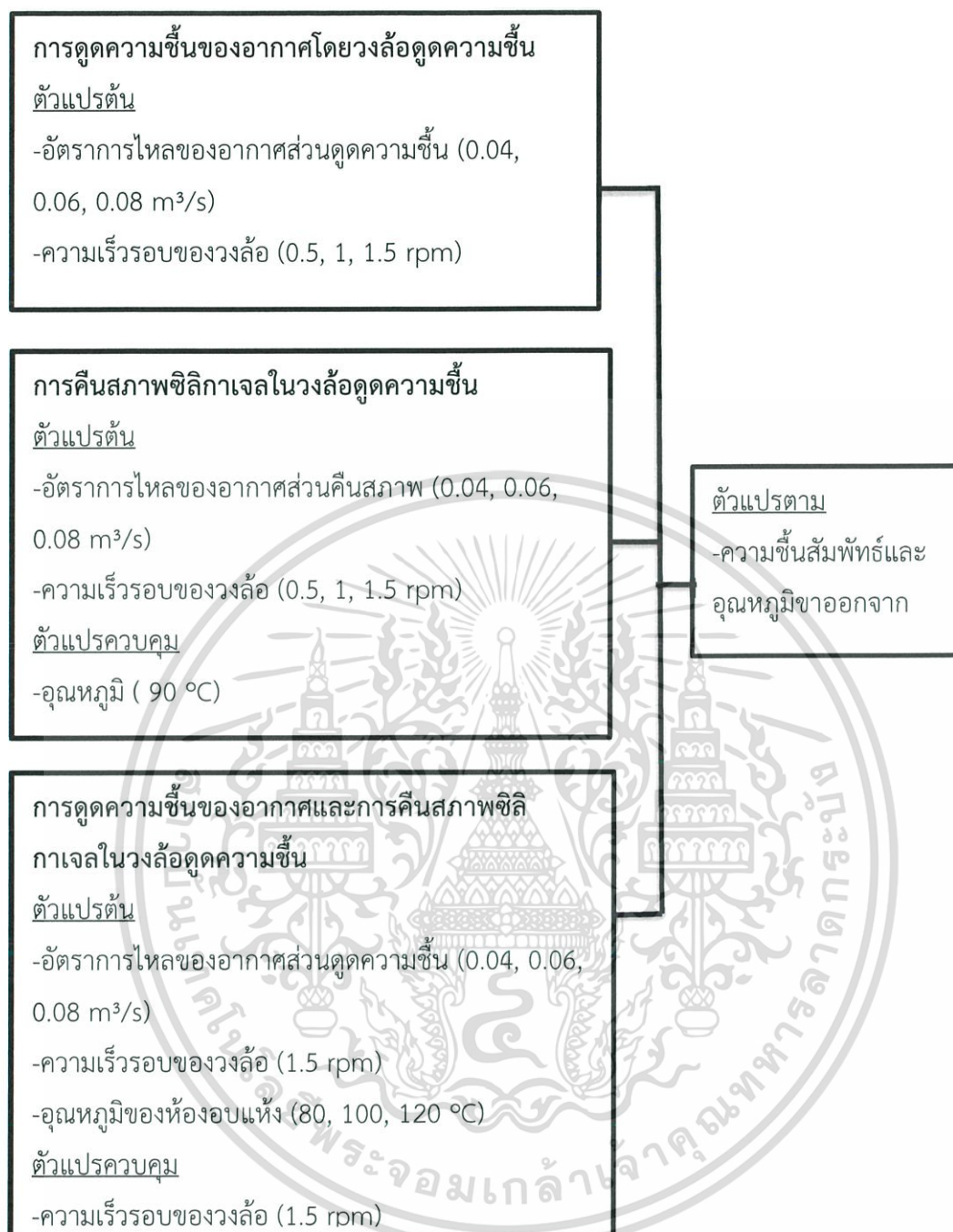
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 แผนการทดลอง

งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 4 หัวข้อตามวัตถุประสงค์ได้แก่ 1. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้น 2. การศึกษาอิทธิพลของการทดสอบการดูดซับความชื้นของซิลิกาเจลในวงล้อดูดความชื้น 3. ศึกษาสมบัติของอากาศจากการใช้วงล้อดูดความชื้นร่วมในระบบอบแห้งแบบลมร้อน กรณีสภาวะห้องอบแห้งเปล่า และ 4. ศึกษาสมบัติของอากาศจากการใช้วงล้อดูดความชื้นร่วมในระบบอบแห้งแบบลมร้อน กรณีสภาวะห้องอบแห้งมีวัสดุอบแห้ง โดยรายละเอียดของการทดลองในแต่ละหัวข้อแสดงอยู่ในหัวข้อ 3.3-3.6 ตามลำดับ โดยในการทดลองหัวข้อที่ 1 เป็นการเปิดระบบในส่วนดูดความชื้นอย่างเดียว หัวข้อที่ 2 เป็นการเปิดระบบในส่วนคืนสภาพซิลิกาเจลเพียงอย่างเดียว และในหัวข้อที่ 3 และ 4 เป็นการเปิดระบบทั้งส่วนดูดความชื้นและส่วนคืนสภาพซิลิกาเจล ซึ่งตัวแปรต้น ตัวแปรควบคุม และตัวแปรตามของการศึกษานี้แสดงอยู่ในรูปที่ 3.2



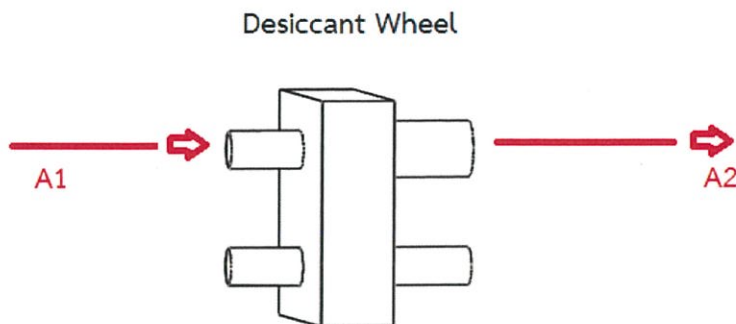
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แผนการทดลองของงานวิจัยนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้น



รูปที่ 3.5 แสดงเส้นกระบวนการดูดความชื้นของวงล้อดูดความชื้น

3.3.1 วิธีการทดลอง

1. วัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศโดยรอบซึ่งเป็นอากาศก่อนเข้าวงล้อดูดความชื้นที่จุด A1 ด้วยเครื่องวัดความชื้น (Kistock KT-320)
2. จากตารางที่ 3.1 ทำการทดลองตามเงื่อนไขสิ่งทดลองที่ 1 อัตราการไหลของอากาศ 0.04 m³/s และความเร็วรอบของวงล้อ 0.5 rpm
3. นำซิลิกาเจลสีน้ำเงิน มาใส่ในวงล้อดูดความชื้น
4. ทำการทดลองโดยเปิดเพียงส่วนดูดความชื้นเท่านั้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ผ่านวงล้อดูดความชื้นที่จุด A2 ด้วยเครื่องวัดความชื้น (Kistock KT-320) ทุก 1 นาที ในช่วง 10 นาทีแรกและวัดทุก 5 นาทีในช่วง 10-30 นาทีถัดมาและจากนั้นจะวัดทุก 15 นาทีในช่วง 30-60 นาที
5. นำค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ทดลองในการดูดความชื้นด้วยวงล้อดูดความชื้นมาพล็อตลงแผนภูมิไซโครเมตริกเพื่อหาค่าอัตราส่วนความชื้นและค่าเอนทัลปีจากนั้นนำค่านั้นไปหาประสิทธิภาพการดูดความชื้นดังอธิบายในหัวข้อ 3.3.2 และคำนวณผลต่างความชื้นของอากาศส่วนดูดความชื้น ($w_{A1}-w_{A2}$) เพื่อแสดงความสามารถในการดูดความชื้นของระบบ รวมถึงค่าการดูดซับจำเพาะของซิลิกาเจลดังสมการที่ 3.4
6. ทำการทดลองใหม่โดยเปลี่ยนเงื่อนไขสิ่งทดลอง 2-9

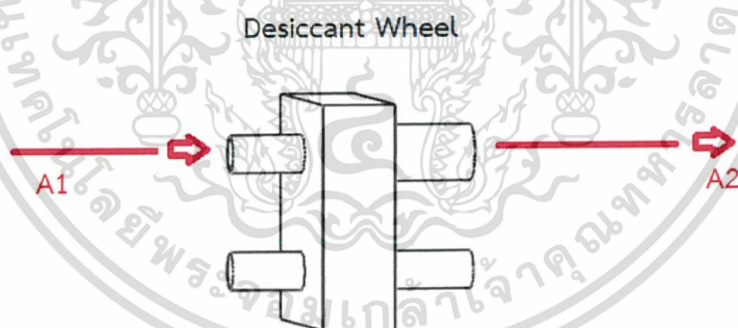
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 สิ่งทดลองและสภาวะในการทดลองสำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้น

สิ่งทดลอง	อัตราการไหลของอากาศ (m ³ /s)	ความเร็วรอบของวงล้อ (rpm)
1	0.04	0.5
2	0.04	1
3	0.04	1.5
4	0.06	0.5
5	0.06	1
6	0.06	1.5
7	0.08	0.5
8	0.08	1
9	0.08	1.5

3.3.2 การคำนวณประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้น

การหาประสิทธิภาพสามารถทำได้จากสมการประสิทธิภาพการลดความชื้นอุดมคติ ประสิทธิภาพการลดความชื้นอะเดียแบติก และสมการประสิทธิภาพอะเดียแบติก



รูปที่ 3.6 แสดงเส้นกระบวนการดูดความชื้นของวงล้อดูดความชื้น

ประสิทธิภาพการลดความชื้นอุดมคติ

$$\epsilon_D = \frac{w_{A1} - w_{A2}}{w_{A1} - w_{A2,ideal}} \quad (3.1)$$

เมื่อ

w_{A1} คือความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศแวดล้อม (kg water/kg dry air)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

w_{A2} คือความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศของกระบวนการหลังผ่านวงล้อดูดความชื้น (kg water/kg dry air)

$w_{A2,ideal}$ คือความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศอุดมคติของกระบวนการหลังผ่านวงล้อดูดความชื้น (kg water/kg dry air)

ประสิทธิภาพละเอียดเบติกที่วงล้อดูดความชื้น

$$\epsilon_{ADW} = 1 - \frac{(h_{A2} - h_{A1})}{h_{A1}} \quad (3.2)$$

เมื่อ

h_{A1} คือเอนทาลปีจำเพาะของอากาศแวดล้อม

h_{A2} คือเอนทาลปีจำเพาะของอากาศชื้นของกระบวนการหลังผ่านวงล้อดูดความชื้น (kJ/kg dry air)

ประสิทธิภาพการลดความชื้นละเอียดเบติก

$$\epsilon_{AD} = \frac{w_{A1} - w_{A2}}{w_{A1} - w_{A2,adiabatic}} \quad (3.3)$$

w_{A1} คือความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศแวดล้อม (kg water/kg dry air)

w_{A2} คือความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศของกระบวนการหลังผ่านวงล้อดูดความชื้น (kg water/kg dry air)

$w_{A2,ideal}$ คือความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศตามกระบวนการละเอียดเบติกของกระบวนการหลังผ่านวงล้อดูดความชื้น (kg water/kg dry air)

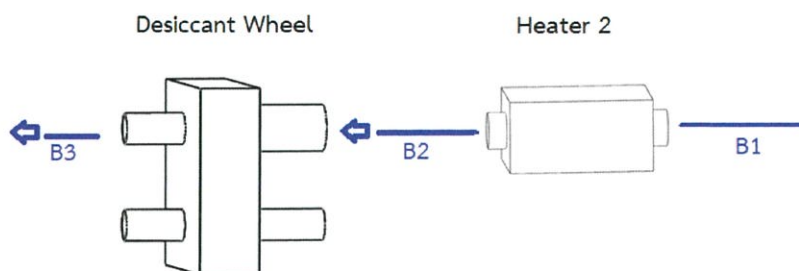
การดูดซับจำเพาะของซิลิกาเจล

$$\text{การดูดซับจำเพาะของซิลิกาเจล} = \frac{w_{A1} - w_{A2}}{\text{น้ำหนักของซิลิกาเจล 1 min}} \quad (3.4)$$

w_{A1} คือความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศแวดล้อม (kg water/kg dry air)

w_{A2} คือความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศของกระบวนการหลังผ่านวงล้อดูดความชื้น (kg water/kg dry air)

3.4 การศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศและความเร็วรอบวงล้อต่อการคืนสภาพซิลิกาเจลในวงล้อดูดความชื้น



รูปที่ 3.7 แสดงเส้นกระบวนการคืนสภาพของวงล้อดูดความชื้น

3.4.1 วิธีการทดลอง

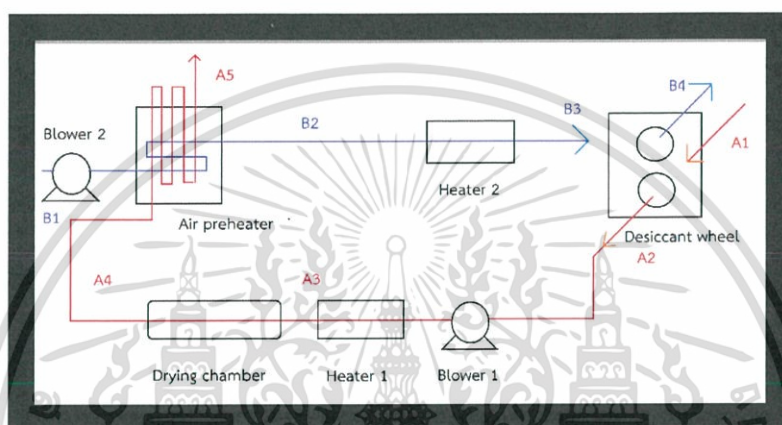
- วัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศโดยรอบซึ่งเป็นอากาศก่อนเข้าวงล้อดูดความชื้นที่จุด B1 ด้วยเครื่องวัดความชื้น (Kistock KT-320)
- จากตารางที่ 3.2 ทำการทดลองตามเงื่อนไขสิ่งทดลองที่ 1 อัตราการไหลของอากาศส่วนคืนสภาพ $0.04 \text{ m}^3/\text{s}$ และความเร็วรอบของวงล้อ 0.5 rpm โดยมีอุณหภูมิส่วนคืนสภาพ 90°C ในทุกสิ่งทดลองและไม่มีการเปิดใช้งานส่วนดูดความชื้น
- นำซิลิกาเจลที่ดูดซับน้ำจนอิ่มตัวซึ่งเตรียมโดยเปิดระบบอบแห้งแบบลมร้อนทั้งระบบแต่ไม่เปิดเครื่องทำความร้อนเป็นเวลา 90 นาทีจนซิลิกาเจลเป็นสีชมพูจึงนำมาใส่ถาดในวงล้อดูดความชื้น
- ทำการทดลองเป็นเวลา 30 นาที โดยวัดค่าที่จุด B3 ทุก 1 นาที ในช่วง 10 ที่แรกและวัดทุก 5 นาทีในช่วง 10-30 นาที บันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ผ่านกระบวนการคืนสภาพซิลิกาเจลในวงล้อดูดความชื้น
- นำค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่บันทึกได้มาพล็อตลงแผนภูมิไฮโครเมตริกเพื่อหาค่าอัตราส่วนความชื้นและพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความชื้นส่วนคืนสภาพ ($w_{B3}-w_{B1}$) และเวลา โดยผลต่างความชื้นของอากาศส่วนคืนสภาพบ่งบอกถึงความสามารถในการคืนสภาพซิลิกาเจลของระบบ
- ทำการทดลองใหม่โดยเปลี่ยนเงื่อนไขสิ่งทดลอง 2-9

ตารางที่ 3.2 สิ่งทดลองและสภาวะในการทดลองสำหรับการศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศและความเร็วรอบวงล้อต่อการคืนสภาพซิลิกาเจลในวงล้อดูดความชื้น

สิ่งทดลอง	อัตราการไหลของอากาศส่วนคืนสภาพความชื้น (m^3/s)	ความเร็วรอบของวงล้อ (rpm)
1	0.04	0.5
2	0.04	1
3	0.04	1.5
4	0.06	0.5

5	0.06	1
6	0.06	1.5
7	0.08	0.5
8	0.08	1
9	0.08	1.5

3.5 การศึกษาสมบัติของอากาศจากการใช้วงล้อดูดความชื้นร่วมในระบบอบแห้งแบบลมร้อนในกรณีสถานะห้องอบแห้งเปล่า



รูปที่ 3.8 แสดงเส้นกระบวนการทั้งระบบของวงล้อดูดความชื้น

3.5.1 วิธีการทดลอง

- วัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศโดยรอบซึ่งเป็นอากาศก่อนเข้าวงล้อดูดความชื้นที่จุด B1 ด้วยเครื่องวัดความชื้น (Kistock KT-320)
- จากตารางที่ 3.3 ทำการทดลองตามเงื่อนไขสิ่งทดลองที่ 1 อัตราการไหลของอากาศส่วนดูดความชื้น $0.04 \text{ m}^3/\text{s}$ และมีอุณหภูมิในห้องอบแห้ง 80°C ส่วนตัวแปรอื่น ๆ ได้จัดให้เป็นตัวแปรควบคุมในการทดลองนี้ได้แก่ ความเร็วรอบของวงล้อ 1.5 rpm อัตราการไหลของอากาศส่วนคืนสภาพ $0.04 \text{ m}^3/\text{s}$ และมีอุณหภูมิส่วนคืนสภาพ 90°C
- นำซิลิกาเจลสีน้ำเงิน มาใส่ถาดในวงล้อดูดความชื้น
- ทำการทดลองเป็นเวลา 30 นาที โดยวัดค่าที่จุด B3 ทุก 1 นาที ในช่วง 10 นาทีแรกและวัดทุก 5 นาทีในช่วง 10-30 นาที บันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่จุด B4 และบันทึกค่าอุณหภูมิที่จุด A2 A3 A4 A5 B2 B3
- นำค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่บันทึกได้มาพล็อตลงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของความชื้นและเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทำการทดลองใหม่โดยเปลี่ยนเงื่อนไขสิ่งทดลอง 2-9

ตารางที่ 3.3 สิ่งทดลองและสภาวะในการทดลองสำหรับการศึกษาสมบัติของอากาศจากการใช้วงล้อดูดความชื้นร่วมในระบบอบแห้งแบบลมร้อนในกรณีสภาวะห้องอบแห้งเปล่า

สิ่งทดลอง	อัตราการไหลของอากาศส่วน ดูดความชื้น (m^3/s)	อุณหภูมิในห้องอบแห้ง (C°)
1	0.04	80
2	0.04	100
3	0.04	120
4	0.06	80
5	0.06	100
6	0.06	120
7	0.08	80
8	0.08	100
9	0.08	120

3.6 การศึกษาสมบัติของอากาศจากการใช้วงล้อดูดความชื้นร่วมในระบบอบแห้งแบบลมร้อนในกรณีสภาวะห้องอบแห้งมีวัสดุอบแห้ง

ทำการทดลองเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.5 เพียงแต่มีวัสดุอบแห้งร่วมในการทดลองด้วย โดยวัสดุอบแห้งที่ใช้ในการทดลองคือ แครอททรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 cm และความสูง 1 cm บรรจุแครอทเป็นชั้นเดียวลงในถาดอบแห้งขนาด 18.5×10.5 cm โดยมีน้ำหนักของแครอทประมาณ 130 g ต่อรอบ

3.7 การทดสอบการดูดซับความชื้นของซิลิกาเจลในวงล้อดูดความชื้น

นำซิลิกาเจลสดสีน้ำเงินบรรจุลงในวงล้อดูดความชื้นและทำการเปิดระบบอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับวงล้อดูดความชื้นในกรณีสภาวะห้องอบแห้งเปล่าเป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยทำการทดลองตามเงื่อนไขสิ่งทดลองที่ดีที่สุดของส่วนดูดความชื้นที่ $0.04 m^3/s$ ความเร็วรอบของวงล้อ 1.5 rpm อุณหภูมิในห้องอบแห้ง $100^\circ C$ และเงื่อนไขสิ่งทดลองที่ดีที่สุดของส่วนคั้นสภาพวงล้อดูดความชื้นที่อัตราการไหลของอากาศ 0.04 และอุณหภูมิ $90^\circ C$ เมื่อเสร็จสิ้นการทดลองนำซิลิกาเจลในวงล้อดูดความชื้นมาชั่งน้ำหนัก และคำนวณหาการดูดซับน้ำของซิลิกาเจลดังสมการ 3.5 ซึ่งมีหน่วยเป็น g water/100 g silica gel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ปริมาณการดูดซับความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักซิลิกาเจลหลังผ่านกระบวนการ-น้ำหนักซิลิกาเจลสด}}{\text{น้ำหนักของซิลิกาเจลสด 100 กรัม}} \quad (3.5)$$

ทั้งนี้ มีตัวอย่างอ้างอิงเป็นซิลิกาเจลที่วางไว้ในสภาพแวดล้อมในการทดลอง โดยนำซิลิกาเจลสีน้ำเงินสดบรรจุภาต ภาตละ 100 กรัม 3 ภาต เป็นการทดลอง 3 ซ้ำ วางตั้งไว้จนซิลิกาเจลเปลี่ยนเป็นสีชมพูเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งแสดงว่าซิลิกาเจลดูดซับน้ำจนอิ่มตัวแล้ว นำซิลิกาเจลมาชั่งน้ำหนักและคำนวณการดูดซับความชื้นของซิลิกาเจล ดังสมการที่ 3.5



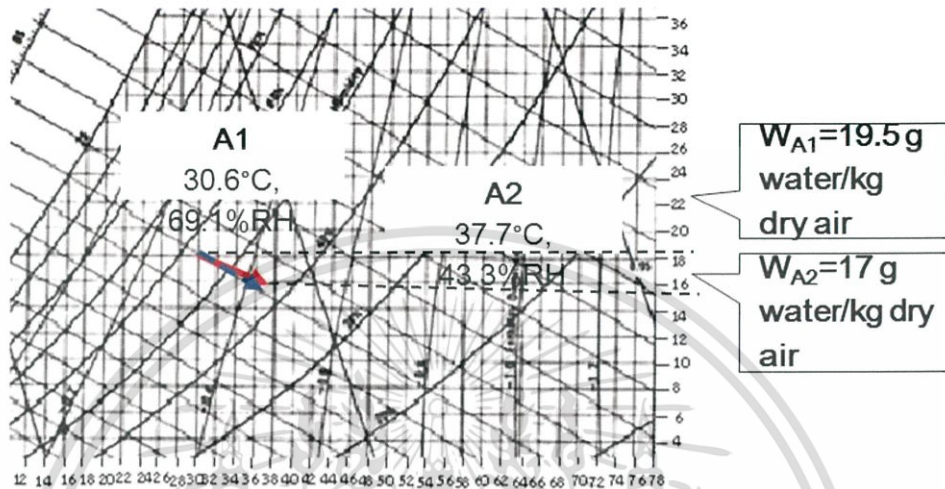
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้น

4.1.1 การคำนวณประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้น



รูปที่ 4.1 แสดงเส้นกระบวนการดูดความชื้นของอากาศ

จากรูปที่ 4.1 แสดงเส้นกระบวนการดูดความชื้นของอากาศซึ่งมีทั้งเส้นกระบวนการจากการทดลองและตามหลักกระบวนการอะเดียแบติกโดยแสดงตัวอย่างข้อมูลการทดลองที่อัตราการไหลของอากาศ $0.04 \text{ m}^3/\text{s}$ และความเร็วรอบของวงล้อ 0.5 rpm

โดยที่จุด A1 เป็นอากาศแวดล้อมในการทดลองมีอุณหภูมิ $30.6 \text{ }^\circ\text{C}$, ความชื้นสัมพัทธ์ 69.1% , และเอนทัลปี $81 \text{ kJ/kg}_{\text{dry air}}$ จุด A2 จากการทดลองมีอุณหภูมิ $37.7 \text{ }^\circ\text{C}$, ความชื้นสัมพัทธ์ 43.3% , และเอนทัลปี $82 \text{ kJ/kg}_{\text{dry air}}$ ส่วนจุด A2 ตามกระบวนการอะเดียแบติกมีอุณหภูมิ $37.7 \text{ }^\circ\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ 40.60% และเอนทัลปี $81 \text{ kJ/kg}_{\text{dry air}}$ ซึ่งข้อมูลข้างต้นสามารถคำนวณประสิทธิภาพได้ดังนี้

ประสิทธิภาพการลดความชื้นอุณหภูมิต

$$\epsilon_D = \frac{W_{A1} - W_{A2}}{W_{A1} - W_{1,\text{ideal}}}$$

$$\epsilon_D = \frac{19.5 - 17}{19.5 - 0}$$

$$\epsilon_D = 0.128205$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพลดเเตียแบดิกที่วางลัดดูดความชื้น

$$\epsilon_{ADW} = 1 - \frac{(h_1 - h_{amb})}{h_{amb}}$$

$$\epsilon_{ADW} = \frac{(82-81)}{81}$$

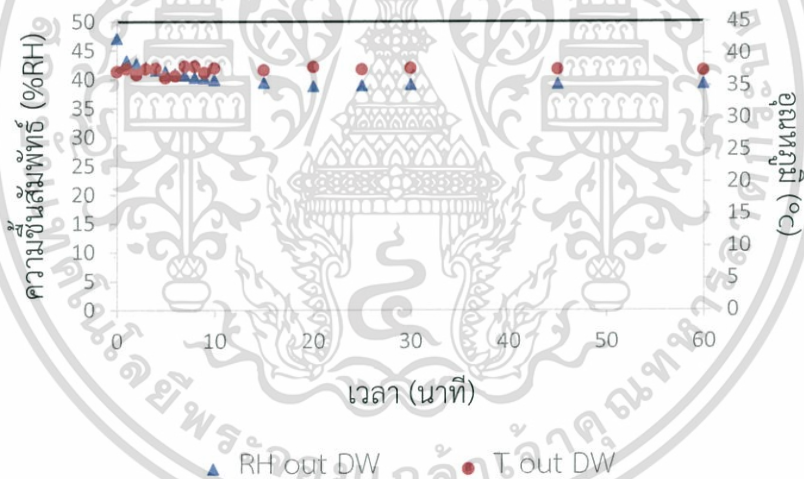
$$\epsilon_{ADW} = 0.987654$$

ประสิทธิภาพการลดความชื้นเเตียแบดิก

$$\epsilon_{AD} = \frac{W_{A1} - W_{A2}}{W_{A1} - W_{A2,adiabatic}}$$

$$\epsilon_{AD} = \frac{(19.5-17.0)}{19.5-16.6}$$

$$\epsilon_{AD} = 0.987654$$



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลาและอัตราการไหลของอากาศ 0.04 m³/s ส่วนดูดความชื้น

ทั้งนี้สำหรับสภาวะการทดลองอื่นมีการแสดงเส้นกระบวนการดูดความชื้นและการคำนวณอยู่ในภาคผนวก ก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ปริมาณการดูดซับจำเพาะของซิลิกาเจล

ปริมาณการดูดซับจำเพาะของซิลิกาเจลในวงล้อดูดความชื้นที่อัตราการไหลของอากาศ 0.04-0.08 m³/s และความเร็วรอบของวงล้อ 0.5-1.5 rpm อยู่ในช่วง 6.4-14.5 g_{water}/kg_{dry air}•100g silica gel•min ดังตารางที่ 4.1 โดยสภาวะการทดลองที่ทำให้ปริมาณการดูดซับจำเพาะสูงสุด คือ อัตราการไหลของอากาศ 0.08 m³/s และความเร็วรอบของวงล้อ 1.5rpm

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าปริมาณการดูดซับจำเพาะของซิลิกาเจลที่เงื่อนไขต่าง ๆ

Treatment	Condition		Specific absorption of silica gel (g _{water} /kg _{dry air} •100g silica gel•min)
	Q (m ³ /s)	Speed (rpm)	
1	0.04	0.5	0.89
2	0.04	1.0	0.85
3	0.04	1.5	1.10
4	0.06	0.5	1.21
5	0.06	1.0	1.21
6	0.06	1.5	0.64
7	0.08	0.5	1.06
8	0.08	1.0	1.10
9	0.08	1.5	1.45

4.1.3 ประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้น

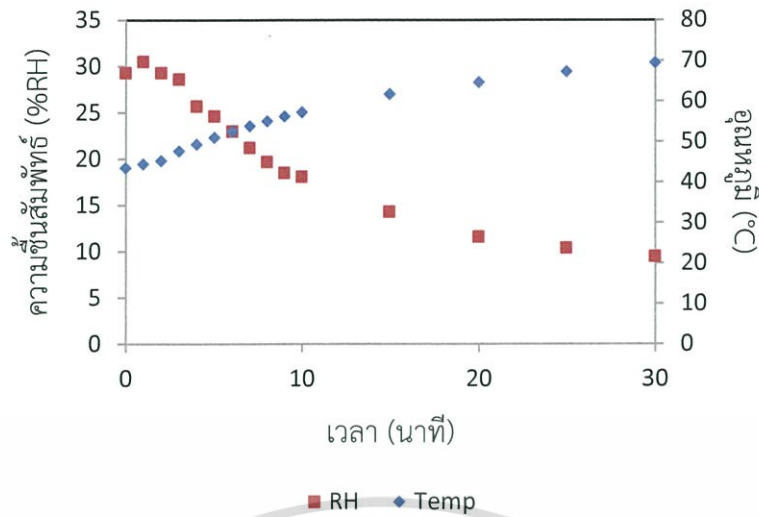
ตารางที่ 4.2 แสดงประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้นเนื่องจากอิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศและความเร็วของวงล้อ โดยประสิทธิภาพการลดความชื้นอุดมคติ (E_D) มีค่าอยู่ในช่วง 0.105-0.220 ประสิทธิภาพการลดความอะเดียแบติก (E_{AD}) มีค่าอยู่ในช่วง 0.725-0.932 และประสิทธิภาพอะเดียแบติก (E_{ADW}) อยู่ในช่วง 0.933-0.944 ผลการทดลองแสดงว่าอัตราการไหลของอากาศสูงสุด 0.08 m³/s และความเร็วรอบของวงล้อสูงสุด 1.5rpm ให้ประสิทธิภาพทั้งสามค่านี้สูงสุด

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าประสิทธิผลที่เงื่อนไขต่าง ๆ

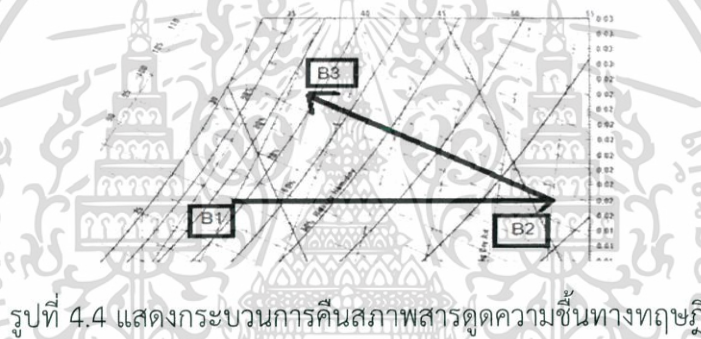
Treatment	Condition		ϵ_D	ϵ_{AD}	ϵ_{ADW}
	Q (m ³ /s)	Speed (rpm)			
1	0.04	0.5	0.128	0.862	0.988
2	0.04	1.0	0.130	0.791	0.975
3	0.04	1.5	0.150	0.857	0.994
4	0.06	0.5	0.181	0.800	0.941
5	0.06	1.0	0.187	0.872	0.947
6	0.06	1.5	0.105	0.912	0.933
7	0.08	0.5	0.162	0.912	0.974
8	0.08	1.0	0.168	0.725	0.987
9	0.08	1.5	0.220	0.932	0.994

4.2 อิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศและความเร็วรอบของวงล้อต่อการคืนสภาพซิลิกาเจลในวงล้อดูดความชื้น

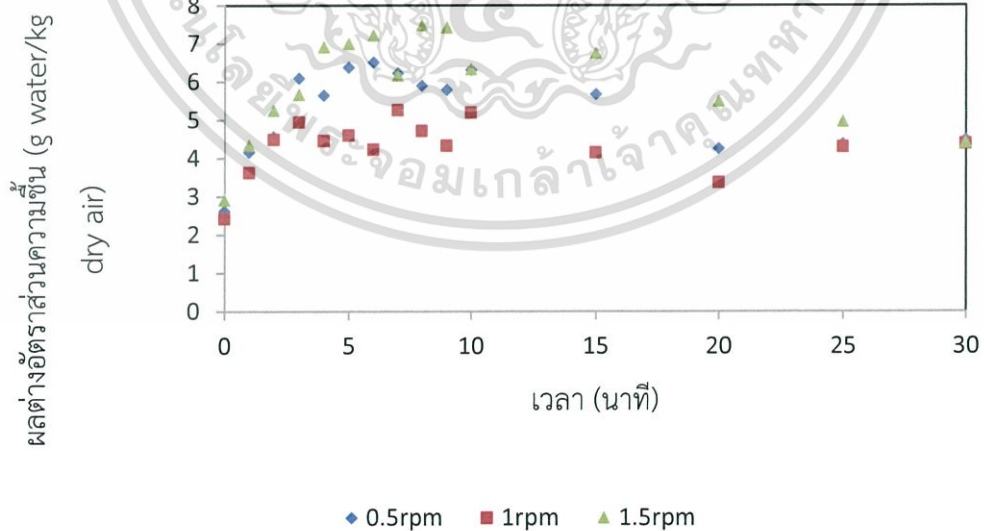
รูปที่ 4.3 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศกับเวลาที่ผ่านมาการคืนสภาพวงล้อดูดความชื้น ซึ่งในทุกสภาวะการทดลองมีแนวโน้มความสัมพันธ์ในรูปแบบเดียวกัน (ดูภาคผนวก ข สำหรับสภาวะการทดลองอื่น ๆ) จากรูปนี้จะเห็นได้ว่า ความชื้นสัมพัทธ์มีแนวโน้มลดลง ขณะที่อุณหภูมิมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งสอดคล้องกับกระบวนการคืนสภาพสารดูดความชื้นทางทฤษฎีที่แสดงอยู่ในรูปที่ 4.4 โดยที่ผลต่างของอัตราส่วนความชื้นตามเวลาแสดงอยู่ในรูปที่ 4.5 โดยเป็นตัวแทนผลการทดลองที่อัตราการไหลของอากาศ 0.04 m³/s (ดูภาคผนวก ค สำหรับอัตราการไหลอากาศอื่น ๆ) จากรูปดังกล่าว ผลต่างของอัตราส่วนความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงช่วงหนึ่งและมีค่าลดลง โดยข้อมูลสรุปผลต่างของอัตราส่วนความชื้นในแต่ละสภาวะการทดลองแสดงอยู่ในตารางที่ 4.3 โดยสภาวะการทดลองที่ให้ผลต่างของอัตราส่วนความชื้นสูงสุดคืออัตราการไหลของอากาศ 0.04 m³/s และความเร็วรอบของวงล้อ 1.5 rpm



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลาและอัตราการไหลของอากาศ 0.04 m³/s ความเร็วรอบวงล้อ 1.5 rpm ส่วนคืนสภาพสารดูดความชื้น



รูปที่ 4.4 แสดงกระบวนการคืนสภาพสารดูดความชื้นทางทฤษฎี



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ส่วนคืนสภาพสารดูดความชื้นที่อัตราการไหลของอากาศ 0.04 m³/s

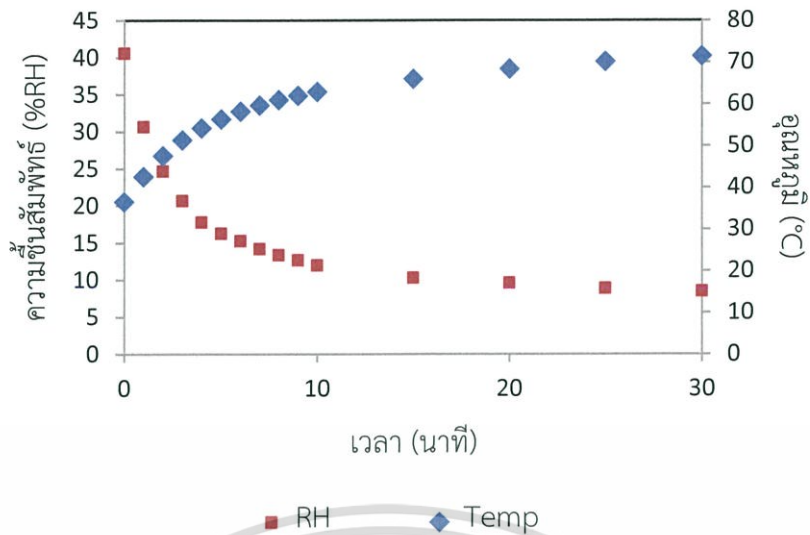
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าผลต่างของอัตราส่วนความชื้นส่วนการคืนสภาพ
ซิลิกาเจลที่เงื่อนไขต่าง ๆ

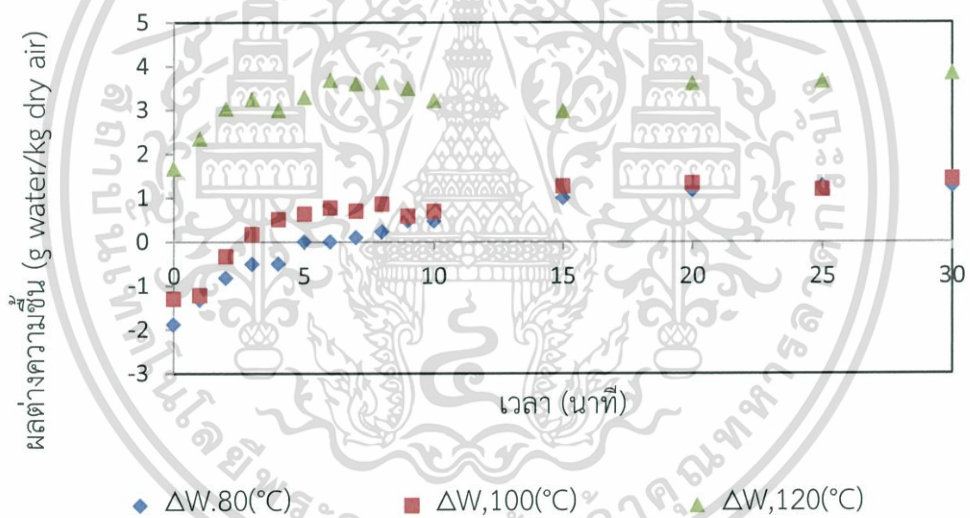
Treatment	Condition		$W_{B3} - W_{B1}$ (g water/kg dry air)
	Q (m ³ /s)	Speed (rpm)	
1	0.04	0.5	0.128
2	0.04	1.0	0.130
3	0.04	1.5	0.150
4	0.06	0.5	0.181
5	0.06	1.0	0.187
6	0.06	1.5	0.105
7	0.08	0.5	0.162
8	0.08	1.0	0.168
9	0.08	1.5	0.220

4.3 สมบัติของอากาศจากการใช้วงล้อดูดความชื้นร่วมในระบบอบแห้งแบบลมร้อนในกรณีสภาวะห้องอบแห้งเปล่า

รูปที่ 4.6 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศกับเวลาที่ผ่านการคืนสภาพวงล้อดูดความชื้น ซึ่งในทุกสภาวะการทดลองมีแนวโน้มความสัมพันธ์ในรูปแบบเดียวกัน(ดูภาคผนวก ข สำหรับสภาวะการทดลองอื่นๆ) จากรูปนี้จะเห็นได้ว่า ความชื้นสัมพัทธ์มีแนวโน้มลดลง ขณะที่อุณหภูมิมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป โดยที่ผลต่างของอัตราส่วนความชื้นตามเวลาแสดงอยู่ในรูปที่ 4.7 โดยเป็นตัวแทนผลการทดลองที่อัตราการไหลของอากาศ 0.08 m³/s (ดูภาคผนวก ค สำหรับอัตราการไหลอากาศอื่นๆ) จากรูปดังกล่าว ผลต่างของอัตราส่วนความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยข้อมูลสรุปผลต่างของอัตราส่วนความชื้นในแต่ละสภาวะการทดลองแสดงอยู่ในตารางที่ 4.4 โดยสภาวะการทดลองที่ให้ผลต่างของอัตราส่วนความชื้นสูงสุดคืออัตราการไหลของอากาศ 0.08 m³/s อุณหภูมิส่วนคายความชื้น 120°C



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลาและอัตราการไหลของอากาศ 0.08 m³/s อุณหภูมิส่วนคายความชื้น 120°C กรณีสภาวะห้องอบเป่า



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่อัตราการไหลของอากาศ 0.08 m³/s กรณีสภาวะห้องอบเป่า

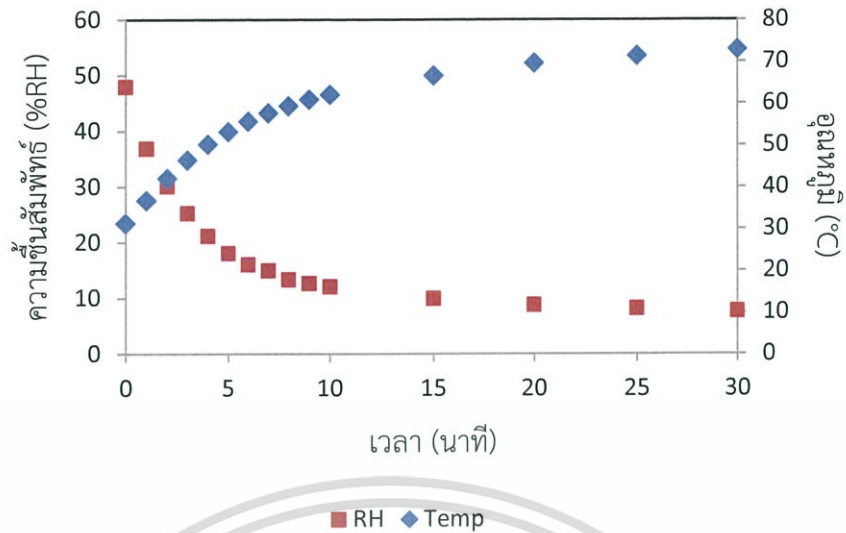
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าผลต่างของอัตราส่วนความชื้นกรณีสภาวะห้องอบแห้งเปล่าที่เงื่อนไขต่าง ๆ

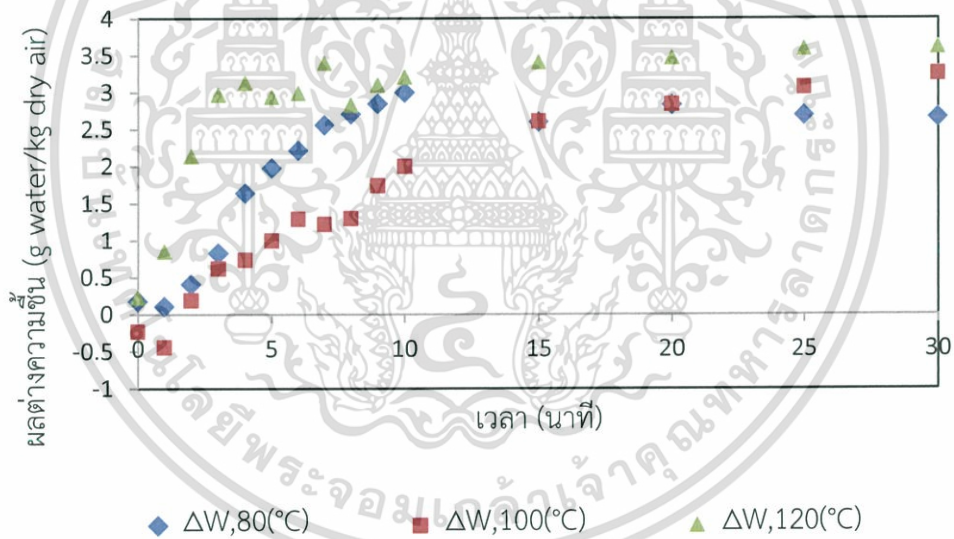
Treatment	Condition		$W_{B3} - W_{B1}$ (g water/kg dry air)
	Q (m ³ /s)	T (°C)	
1	0.04	80	0.73
2	0.04	100	0.93
3	0.04	120	0.24
4	0.06	80	0.85
5	0.06	100	0.44
6	0.06	120	0.43
7	0.08	80	0.81
8	0.08	100	0.32
9	0.08	120	1.68

4.4 สมบัติของอากาศจากการใช้วงล้อดูดความชื้นร่วมในระบบอบแห้งแบบลมร้อนในกรณีสภาวะห้องอบแห้งมีวัสดุอบแห้ง

รูปที่ 4.8 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศกับเวลาที่ผ่านมาการคืนสภาพวงล้อดูดความชื้น ซึ่งในทุกสภาวะการทดลองมีแนวโน้มความสัมพันธ์ในรูปแบบเดียวกัน (ดูภาคผนวก ข สำหรับสภาวะการทดลองอื่นๆ) จากรูปนี้จะเห็นว่า ความชื้นสัมพัทธ์มีแนวโน้มลดลง ขณะที่อุณหภูมิมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป โดยที่ผลต่างของอัตราส่วนความชื้นตามเวลาแสดงอยู่ในรูปที่ 4.9 โดยเป็นตัวแทนผลการทดลองที่อัตราการไหลของอากาศ 0.08 m³/s (ดูภาคผนวก ค สำหรับอัตราการไหลอากาศอื่นๆ) จากรูปดังกล่าว ผลต่างของอัตราส่วนความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยข้อมูลสรุปผลต่างของอัตราส่วนความชื้นในแต่ละสภาวะการทดลองแสดงอยู่ในตารางที่ 4.5 โดยสภาวะการทดลองที่ให้ผลต่างของอัตราส่วนความชื้นสูงสุดคืออัตราการไหลของอากาศ 0.08 m³/s อุณหภูมิส่วนคายความชื้น 120°C



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลาและอัตราการไหลของอากาศ 0.08 m³/s อุณหภูมิส่วนคายความชื้น 120°C กรณีสภาวะห้องอบแห้งมีวัสดุอบแห้ง



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่อัตราการไหลของอากาศ 0.08 m³/s กรณีสภาวะห้องอบแห้งมีวัสดุอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าผลต่างของอัตราส่วนความชื้นกรณีสภาวะห้องอบแห้งมีวัสดุอบแห้งที่เงื่อนไขต่าง ๆ

Treatment	Condition		$W_{B3} - W_{B1}$ (g water/kg dry air)
	Q (m ³ /s)	T (°C)	
1	0.04	80	0.69
2	0.04	100	0.36
3	0.04	120	1.75
4	0.06	80	1.12
5	0.06	100	0.51
6	0.06	120	0.43
7	0.08	80	0.41
8	0.08	100	0.19
9	0.08	120	2.14

4.5 การดูดซับความชื้นของซิลิกาเจลในวงล้อดูดความชื้น

จากการทดลองพบว่าซิลิกาเจลในวงล้อดูดความชื้นมีปริมาณความชื้นตกค้างอยู่ 0.02 g_{water}/kg_{dry air}•100g silica gel•min ซึ่งหมายความว่าระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยดูจากซิลิกาเจลอ้างอิง ที่มีปริมาณความชื้นตกค้างอยู่ 16.09±0.13 g_{water}/kg_{dry air}•100g silica gel•min แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ปริมาณความชื้นที่ตัวอย่างซิลิกาเจลดูดซับไว้

ชนิดของซิลิกาเจล	ปริมาณความชื้น(g _{water} /kg _{dry air} •100g silica gel•min)
ซิลิกาเจลในวงล้อดูดความชื้น	0.02
ซิลิกาเจลอ้างอิง	16.09±0.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผล วิจัยรณผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของวงล้อดูดความชื้นพบว่าค่าประสิทธิภาพการลดความชื้นอุดมคติมีค่าสูงสุดที่เงื่อนไข ความเร็วรอบ 1.5 rpm อัตราการไหลของอากาศ 0.08 m³/s มีค่าประสิทธิผล 0.220 ค่าประสิทธิผลอะเดียแบติกมีค่าสูงสุดที่เงื่อนไข ความเร็วรอบ 1.5 rpm อัตราการไหลของอากาศ 0.08 m³/s มีค่าประสิทธิผล 0.994 และค่าประสิทธิผลการลดความชื้นมีค่าสูงสุดที่เงื่อนไข ความเร็วรอบ 1.5 rpm อัตราการไหลของอากาศ 0.08 m³/s มีค่าประสิทธิผล 0.932 ทั้งนี้เห็นได้ว่า สมรรถนะของวงล้อดูดความชื้นสอดคล้องดีกับกระบวนการลดความชื้นแบบอะเดียแบติกทางทฤษฎี

จากการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศและความเร็วรอบวงล้อต่อการคืนสภาพซิลิกาเจลในวงล้อดูดความชื้นพบว่าค่าผลต่างความชื้นมีค่ามากที่สุดที่เงื่อนไข ความเร็วรอบ 1.5 rpm อัตราการไหลของอากาศส่วนคายความชื้น 0.04 m³/s มีค่า 5.26 g water/kg dry air

จากการทดลองเพื่อศึกษาสมบัติของอากาศจากการใช้วงล้อดูดความชื้นร่วมในระบบอบแห้งแบบลมร้อนในกรณีสถานะห้องอบแห้งเปล่าพบว่าที่สถานะห้องอบแห้งเปล่าผลต่างความชื้นมีค่าสูงสุดที่เงื่อนไข อุณหภูมิ 120 °C อัตราการไหลของอากาศส่วนคายความชื้น 0.08 m³/s มีค่า 3.04 g water/kg dry air และทดลองเพื่อศึกษาสมบัติของอากาศจากการใช้วงล้อดูดความชื้นร่วมในระบบอบแห้งแบบลมร้อนในกรณีสถานะห้องอบแห้งมีวัสดุอบแห้งพบว่าที่สถานะห้องอบแห้งมีวัสดุอบแห้งผลต่างความชื้นมีค่าสูงสุดที่เงื่อนไข อุณหภูมิ 120 °C อัตราการไหลของอากาศส่วนคายความชื้น 0.08 m³/s มีค่า 2.14 g water/kg dry air

จากการทดลองเพื่อทดสอบการดูดซับความชื้นของซิลิกาเจลในวงล้อดูดความชื้นพบว่าการดูดน้ำของซิลิกาเจล 0.02 g silica gel/g 3 hour

5.2 ข้อเสนอแนะ

- ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในแต่ละวันมีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นการทำการทดลองแต่ละครั้งนั้นควรเลือกทำวันหรือเวลาที่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศใกล้เคียงกัน
- ค่าอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าวงล้อดูดความชื้นส่วนดูดความชื้นมีค่าอุณหภูมิของวงล้อดูดความชื้นปนเข้ามาทำให้การอ่านค่าอุณหภูมิอากาศที่ส่วนนี้ไม่สามารถอ่านค่าแท้จริงได้

เอกสารอ้างอิง

การอบแห้ง. (2015). 5 กันยายน 2559. <http://ienergyguru.com/2015/09/drying/>

กระทรวงพลังงาน. (2552). เทคโนโลยีการลดความชื้นด้วยฮีทปั๊ม, 3 กันยายน 2559.

http://www2.dede.go.th/km_berc/downloads/menu4/เทคโนโลยี/อาคาร/01%20การลดความชื้นด้วยฮีทปั๊ม.pdf

กระทรวงพลังงาน. (2552). เทคโนโลยีการลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลว, 5 กันยายน 2559.

http://www2.dede.go.th/km_berc

เครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้น. (2015). 5 กันยายน 2559. <http://www.phunkafrique.com/>

บริษัทพาวเวอร์ดราย. (n.d.). ข้อมูลผลิตภัณฑ์ซิลิกาเจล, 21 สิงหาคม 2559.

<http://www.powerdry.co.th/frontend/th/data/58>

บริษัทธนพลวานิชจำกัด. (n.d.). สารดูดความชื้นมีอะไรบ้าง, 2 กันยายน 2559.

<http://www.tanapolvanich.com/dry-bag/html>

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. (2013). แผนภูมิไซโครเมตริก, 23 สิงหาคม 2559.

<http://www.foodnetworksolution.com>

ภาควิชาอุตสาหกรรม. (n.d.). การอบแห้งและการลดความชื้นในอุตสาหกรรม, 5 กันยายน 2559.

<http://www2.dede.go.th/bhrd/old>

สุรชาติ เทียววาทกุล. (2556). เครื่องขึ้นสัมพัทธ์แบบกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียก, 6 กันยายน 2559.

http://swiftletsupply.blogspot.com/2013/02/blog-post_2665.html

อาจหาญ ณ นรงค์. (2013). ทำความเข้าใจแผนภูมิไซโครเมตริก, 23 สิงหาคม 2559.

http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/articles_preview.php?cid=19123

อุปกรณ์ที่ใช้วัดความชื้นของอากาศ. (n.d.). 5 กันยายน 2559. <https://yamonpron.wordpress.com/>

Chin-Hao Chen. (2016). Silica gel/polymer composite desiccant wheel combined with heat pump for air-conditioning systems, 94, 87-89. Doi :

<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.10.139>

Giovanni, A., Carlo, R., & Maurizio, S. (2013). Effect of rotational speed on the performances of a desiccant wheel, 104, 268-275. Doi : <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.10.051>

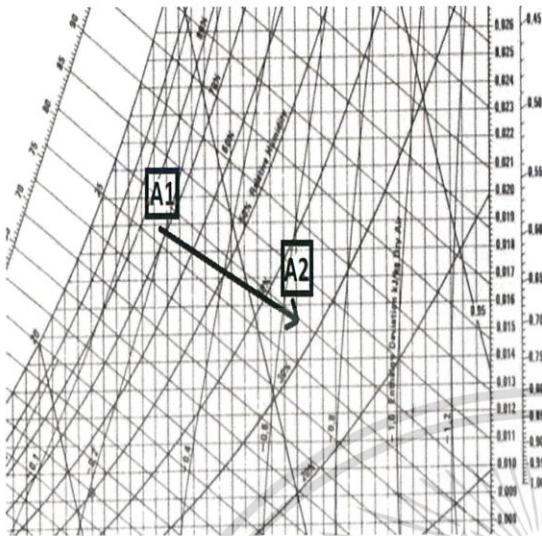
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.



จุดA1

$$T_{A1} = 29.5 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad h_{A1} = 76 \text{ kJ/kg dry air}$$

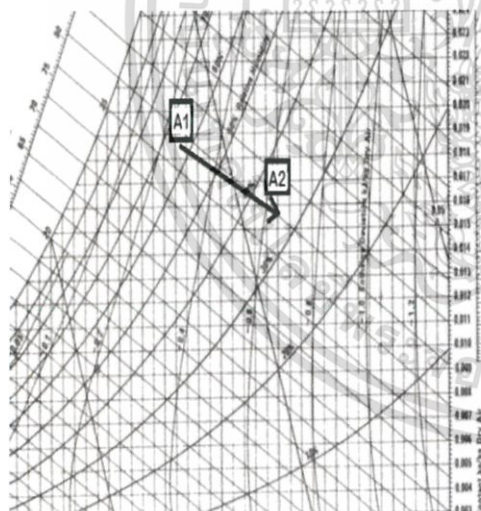
$$RH_{A1} = 71.3\% \quad W_{A1} = 18.8 \text{ g}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{dry air}}$$

จุดA2

$$T_{A2} = 39.9 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad h_{A2} = 80.5 \text{ kJ/kg dry air}$$

$$RH_{A2} = 34.9\% \quad W_{A2} = 15.4 \text{ g}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{dry air}}$$

รูปที่ ก.1 แผนภูมิไซโครเมตริกแสดงเส้นกระบวนการดูดความชื้นที่ความเร็วรอบ 0.5 rpm อัตราการไหลของอากาศ $0.06 \text{ m}^3/\text{s}$ ที่เวลา 15 นาที



จุดA1

$$T_{A1} = 31.5 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad h_{A1} = 78.5 \text{ kJ/kg dry air}$$

$$RH_{A1} = 62.6\% \quad W_{A1} = 18.3 \text{ g}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{dry air}}$$

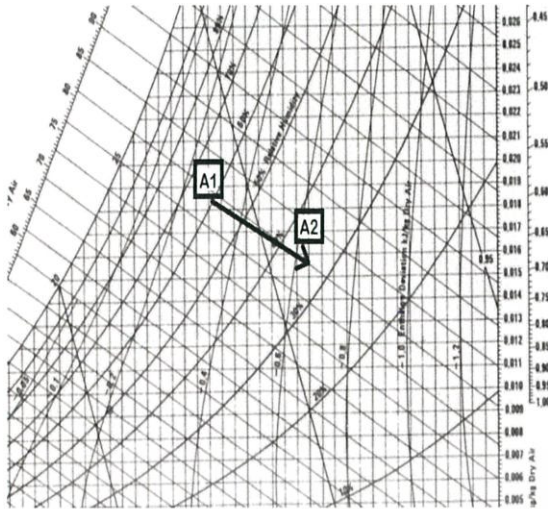
จุดA2

$$T_{A2} = 40.3 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad h_{A2} = 84.5 \text{ kJ/kg dry air}$$

$$RH_{A2} = 36.2\% \quad W_{A2} = 17.1 \text{ g}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{dry air}}$$

รูปที่ ก.2 แผนภูมิไซโครเมตริกแสดงเส้นกระบวนการดูดความชื้นที่ความเร็วรอบ 0.5 rpm อัตราการไหลของอากาศ $0.08 \text{ m}^3/\text{s}$ ที่เวลา 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จุดA1

$$T_{A1} = 32.4 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad h_{A1} = 80 \text{ kJ/kg dry}$$

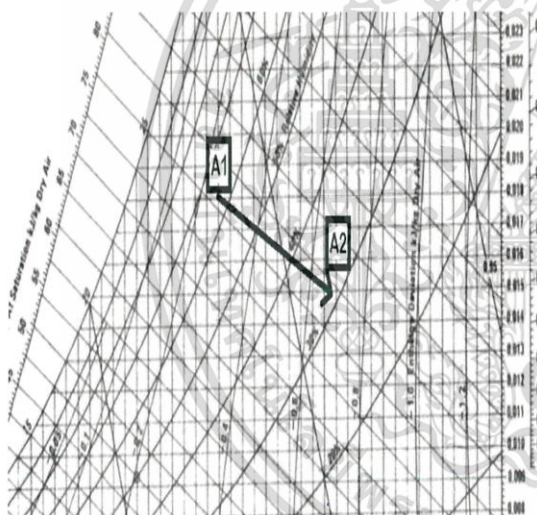
$$\text{airRH}_{A1} = 60.2\% \quad W_{A1} = 18.4 \text{ g}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{dry air}}$$

จุดA2

$$T_{A2} = 39.9 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad h_{A2} = 82 \text{ kJ/kg dry air}$$

$$\text{RH}_{A2} = 36.2\% \quad W_{A2} = 16 \text{ g}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{dry air}}$$

รูปที่ ก.3 แผนภูมิไซโครเมตริกแสดงเส้นกระบวนการดูดความชื้นที่ความเร็วรอบ 1 rpm อัตราการไหลของอากาศ $0.04 \text{ m}^3/\text{s}$ ที่เวลา 60 นาที



จุดA1

$$T_{A1} = 31.2 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad h_{A1} = 76 \text{ kJ/kg dry air}$$

$$\text{RH}_{A1} = 64.3\% \quad W_{A1} = 18.2 \text{ g}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{dry air}}$$

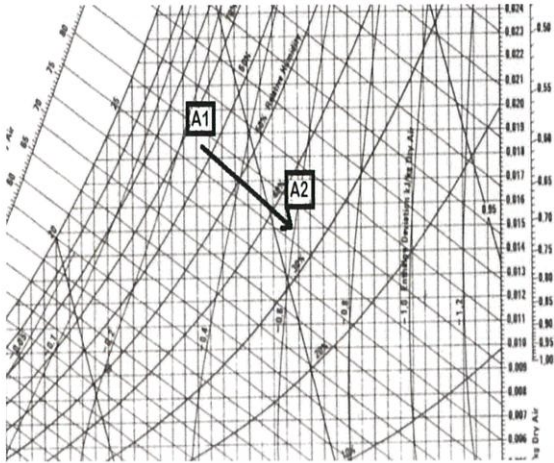
จุดA2

$$T_{A2} = 40.7 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad h_{A2} = 80 \text{ kJ/kg dry air}$$

$$\text{RH}_{A2} = 32\% \quad W_{A2} = 14.8 \text{ g}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{dry air}}$$

รูปที่ ก.4 แผนภูมิไซโครเมตริกแสดงเส้นกระบวนการดูดความชื้นที่ความเร็วรอบ 1 rpm อัตราการไหลของอากาศ $0.06 \text{ m}^3/\text{s}$ ที่เวลา 10 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จุดA1

$$T_{A1} = 31.5 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad h_{A1} = 78 \text{ kJ/kg dry air}$$

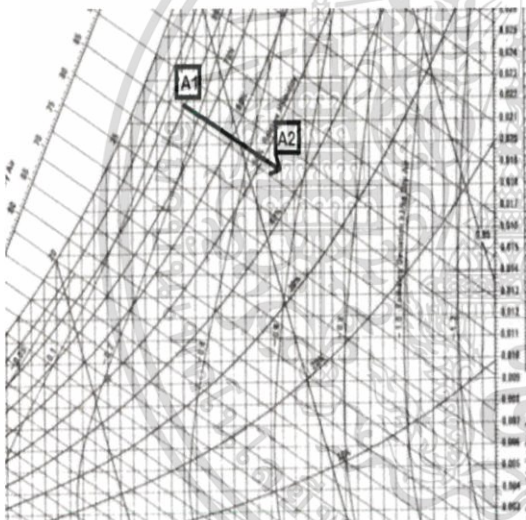
$$RH_{A1} = 62.4\% \quad W_{A1} = 18.23 \text{ g}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{dry air}}$$

จุดA2

$$T_{A2} = 37.7 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad h_{A2} = 77 \text{ kJ/kg dry air}$$

$$RH_{A2} = 37.8\% \quad W_{A2} = 15.5 \text{ g}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{dry air}}$$

รูปที่ ก.5 แผนภูมิไซโครเมตริกแสดงเส้นกระบวนการลดความชื้นที่ความเร็วรอบ 1 rpm อัตราการไหลของอากาศ $0.08 \text{ m}^3/\text{s}$ ที่เวลา 60 นาที



จุดA1

$$T_{A1} = 29.2 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad h_{A1} = 82 \text{ kJ/kg dry air}$$

$$RH_{A1} = 79\% \quad W_{A1} = 20.6 \text{ g}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{dry air}}$$

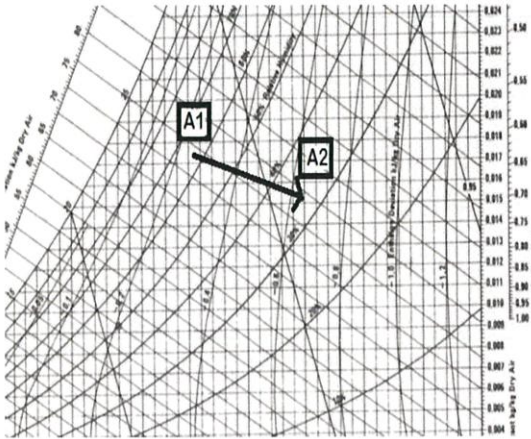
จุดA2

$$T_{A2} = 37.4 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad h_{A2} = 82.5 \text{ kJ/kg dry air}$$

$$RH_{A2} = 44.3\% \quad W_{A2} = 17.5 \text{ g}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{dry air}}$$

รูปที่ ก.6 แผนภูมิไซโครเมตริกแสดงเส้นกระบวนการลดความชื้นที่ความเร็วรอบ 1.5 rpm อัตราการไหลของอากาศ $0.04 \text{ m}^3/\text{s}$ ที่เวลา 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จุดA1

$$T_{A1} = 30.6 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad h_{A1} = 76 \text{ kJ/kg dry air}$$

$$RH_{A1} = 63.6\% \quad W_{A1} = 17.6 \text{ g}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{dry air}}$$

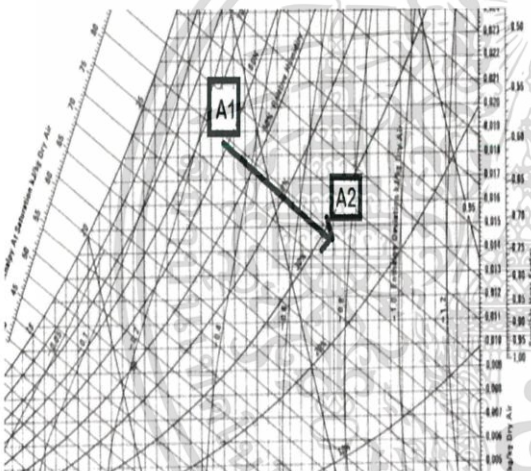
จุดA2

$$T_{A2} = 39.9 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad h_{A2} = 81 \text{ kJ/kg dry air}$$

$$RH_{A2} = 34.4\% \quad W_{A2} = 15.9 \text{ g}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{dry air}}$$

รูปที่ ก.7 แผนภูมิไซโครเมตริกแสดงเส้น

กระบวนการดูดความชื้นที่ความเร็วรอบ 1.5 rpm อัตราการไหลของอากาศ 0.06m³/s ที่เวลา 25 นาที



จุดA1

$$T_{A1} = 32.2 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad h_{A1} = 81.5 \text{ kJ/kg dry air}$$

$$RH_{A1} = 63.2\% \quad W_{A1} = 19.24 \text{ g}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{dry air}}$$

จุดA2

$$T_{A2} = 42.7 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad h_{A2} = 84 \text{ kJ/kg dry air}$$

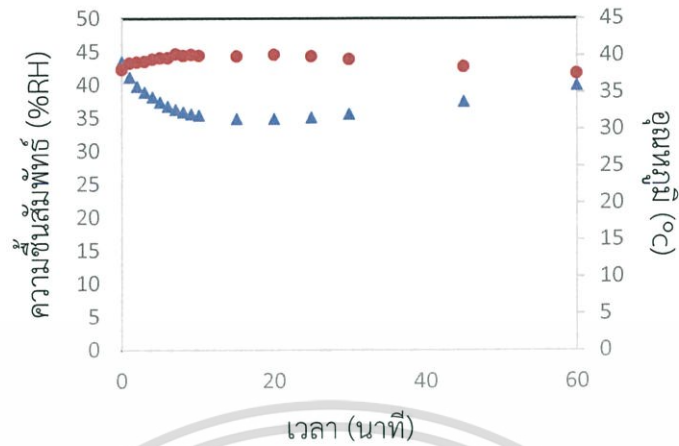
$$RH_{A2} = 29.6\% \quad W_{A2} = 15.86 \text{ g}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{dry air}}$$

รูปที่ ก.7 แผนภูมิไซโครเมตริกแสดงเส้นกระบวนการดูดความชื้นที่ความเร็วรอบ 1.5 rpm อัตราการ

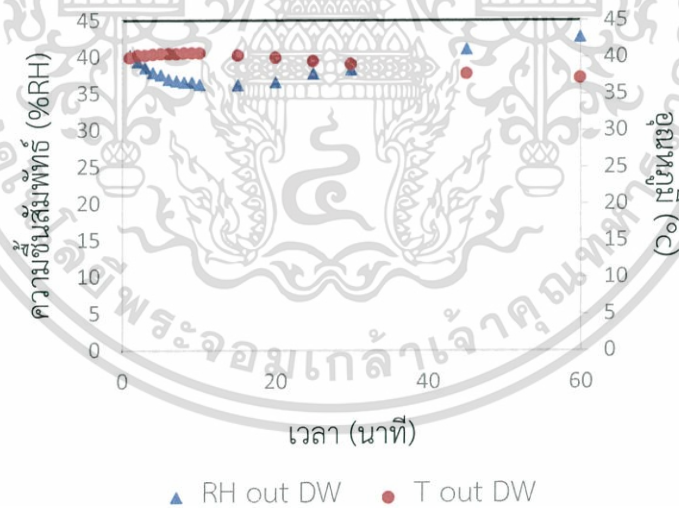
ไหลของอากาศ 0.08 m³/s ที่เวลา 10 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

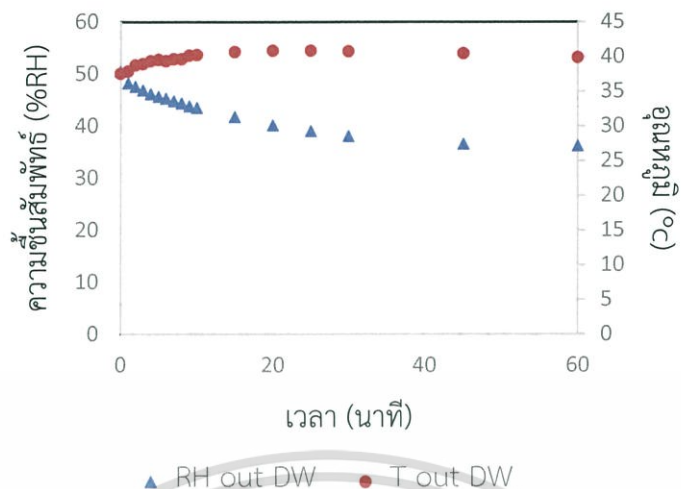


รูปที่ ข.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลา ส่วนดูความชื้น ที่ความเร็วรอบ 0.5 rpm อัตราการไหลของอากาศ 0.06 m³/s

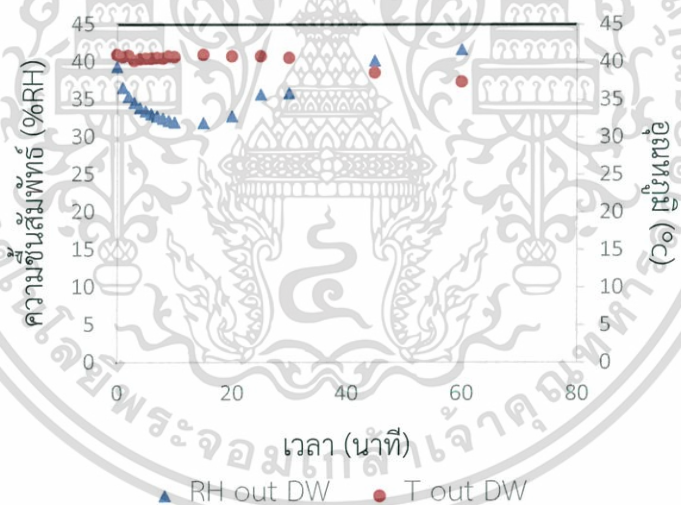


รูปที่ ข.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลา ส่วนดูความชื้น ที่ความเร็วรอบ 0.5 rpm อัตราการไหลของอากาศ 0.08 m³/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

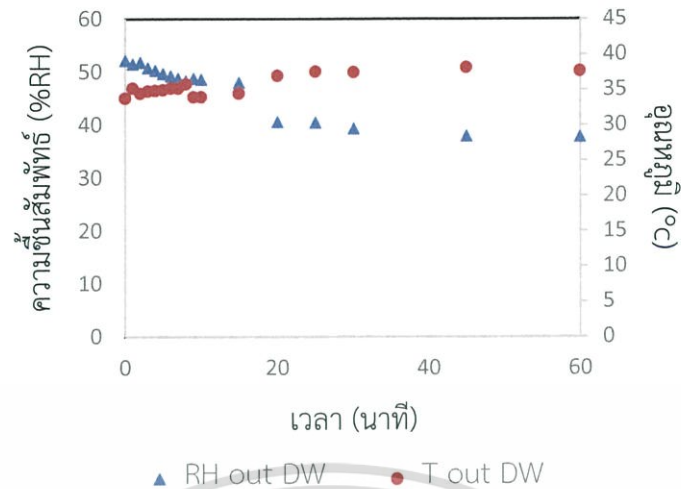


รูปที่ ข.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลา ส่วนจุดความชื้น ที่ความเร็วรอบ 1 rpm อัตราการไหลของอากาศ 0.04 m³/s

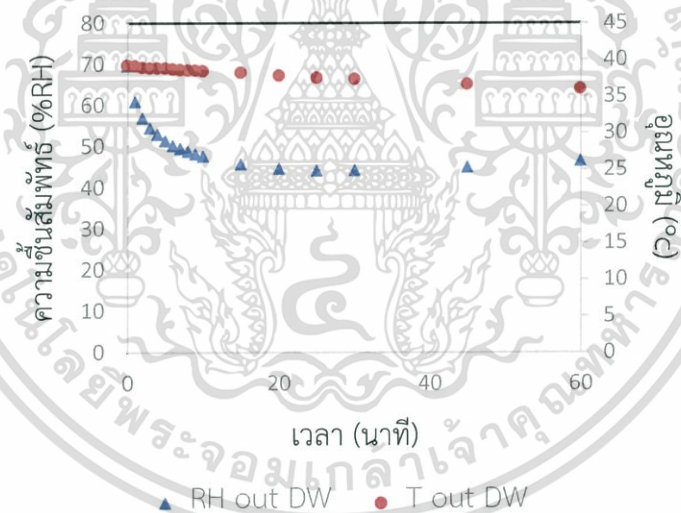


รูปที่ ข.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลา ส่วนจุดความชื้นที่ความเร็วรอบ 1 rpm อัตราการไหลของอากาศ 0.06 m³/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

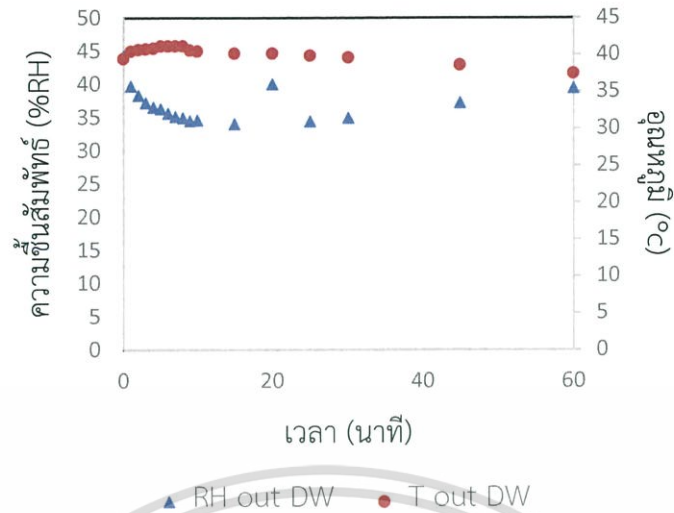


รูปที่ ข.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลา ส่วนจุดความชื้นที่ความเร็รรอบ 1 rpm อัตราการไหลของอากาศ 0.08 m³/s



รูปที่ ข.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลา ส่วนจุดความชื้นที่ความเร็รรอบ 1.5 rpm อัตราการไหลของอากาศ 0.04 m³/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

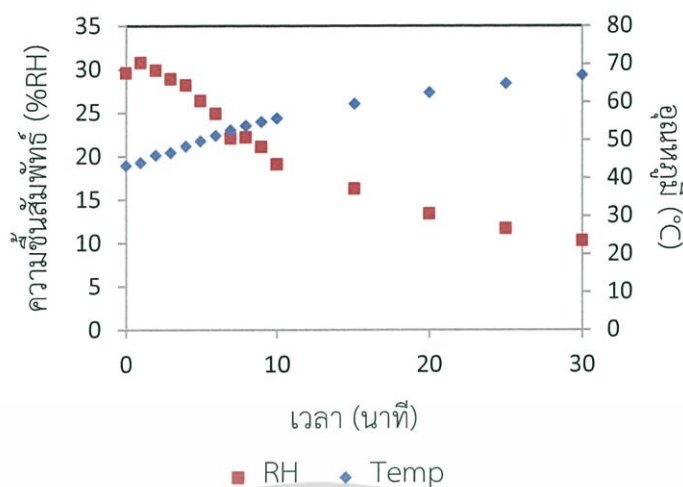


รูปที่ ข.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลา ส่วนจุดความชื้นที่ความเร็รรอบ 1.5 rpm อัตราการไหลของอากาศ 0.06 m³/s

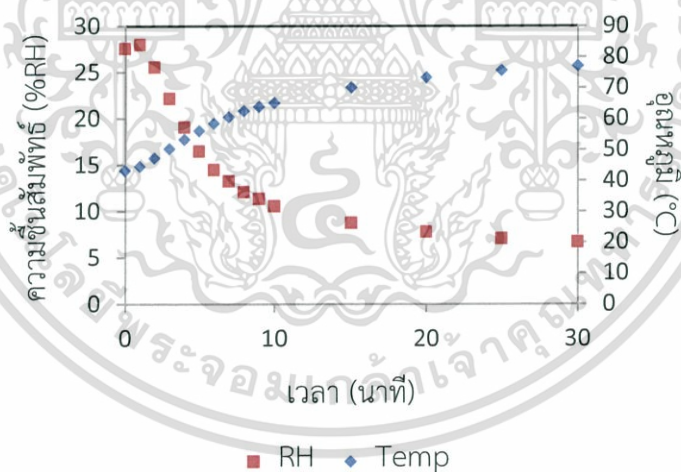


รูปที่ ข.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลา ส่วนจุดความชื้นที่ความเร็รรอบ 1.5 rpm อัตราการไหลของอากาศ 0.08 m³/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

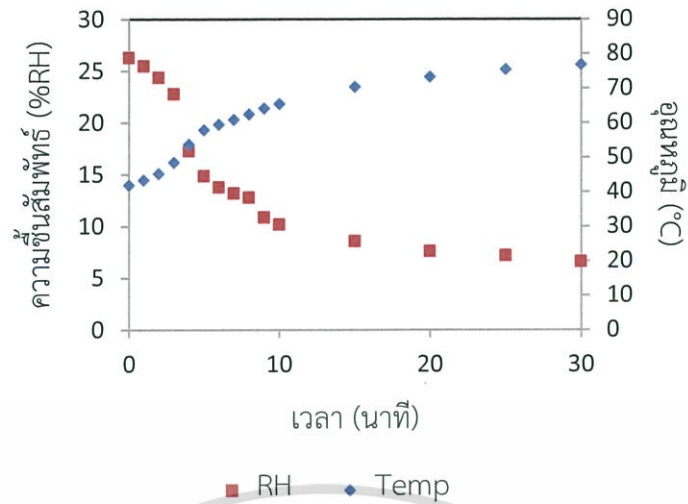


รูปที่ ข.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลา ส่วนคืนสภาพสารดูดความชื้น ความเร็วรอบ 0.5 rpm อัตราการไหลของอากาศ 0.04 m³/s อุณหภูมิส่วนคายความชื้น 90 °c

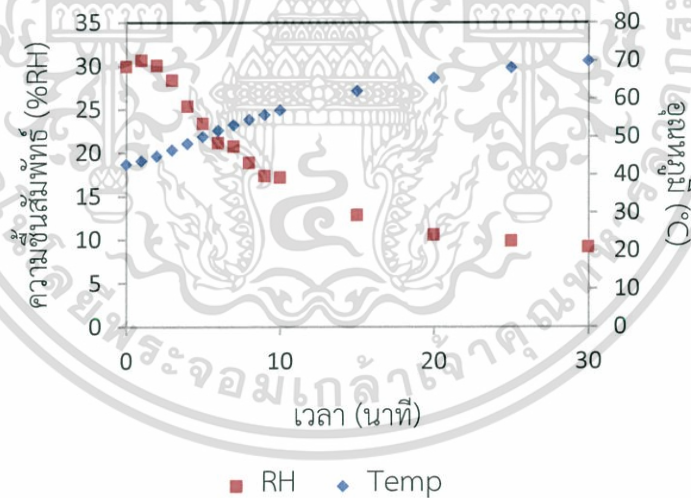


รูปที่ ข.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลา ส่วนคืนสภาพสารดูดความชื้น ความเร็วรอบ 0.5 rpm อัตราการไหลของอากาศ 0.06 m³/s อุณหภูมิส่วนคายความชื้น 90 °c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

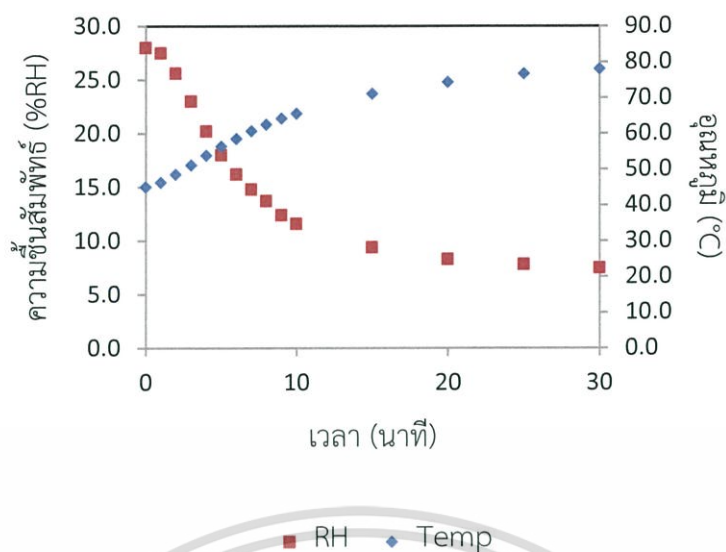


รูปที่ ข.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลา ส่วนคืนสภาพสารดูดความชื้น ความเร็วรอบ 0.5 rpm อัตราการไหลของอากาศ 0.08 m³/s อุณหภูมิส่วนคายความชื้น 90 °C

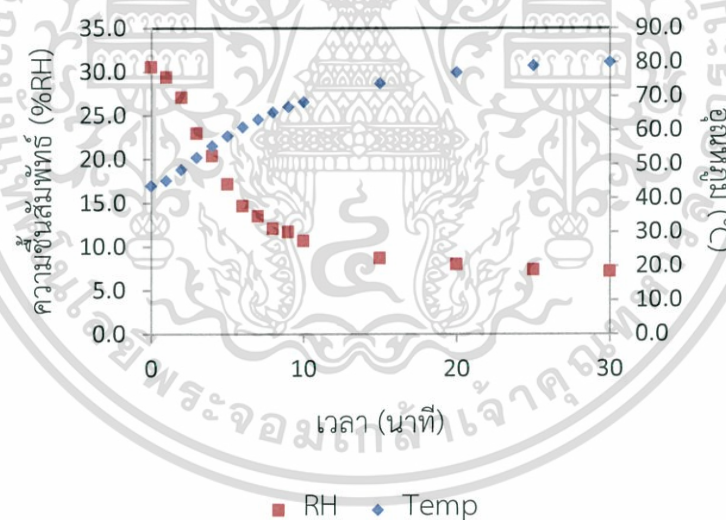


รูปที่ ข.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลา ส่วนคืนสภาพสารดูดความชื้น ความเร็วรอบ 1 rpm อัตราการไหลของอากาศ 0.04 m³/s อุณหภูมิส่วนคายความชื้น 90 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

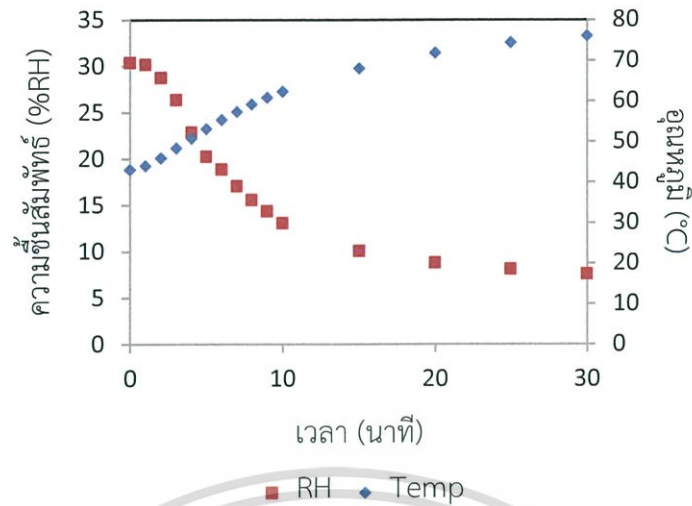


รูปที่ ข.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลา ส่วนคืนสภาพสารดูดความชื้น ความเร็วรอบ 1 rpm อัตราการไหลของอากาศ 0.06 m³/s อุณหภูมิส่วนคายความชื้น 90 °C

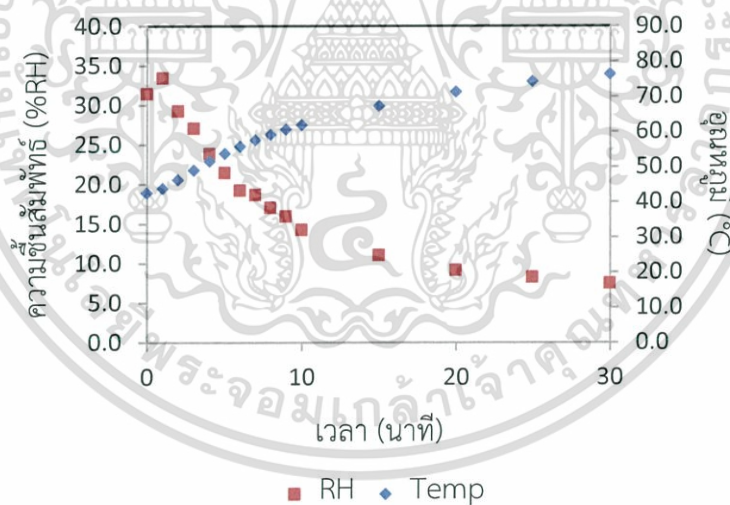


รูปที่ ข.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลา ส่วนคืนสภาพสารดูดความชื้น ความเร็วรอบ 1 rpm อัตราการไหลของอากาศ 0.08 m³/s อุณหภูมิส่วนคายความชื้น 90 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

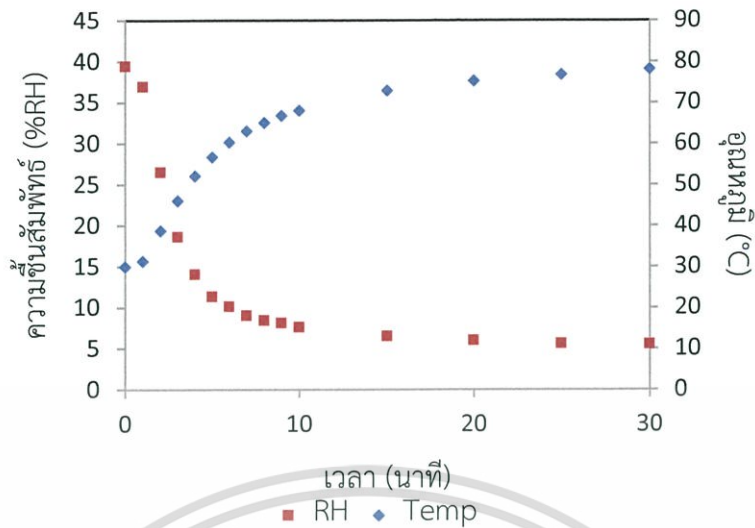


รูปที่ ข.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลาส่วนคืนสภาพสารดูดความชื้น ความเร็วรอบ 1.5 rpm อัตราการไหลของอากาศ 0.06 m³/s อุณหภูมิส่วนคายความชื้น 90 °c

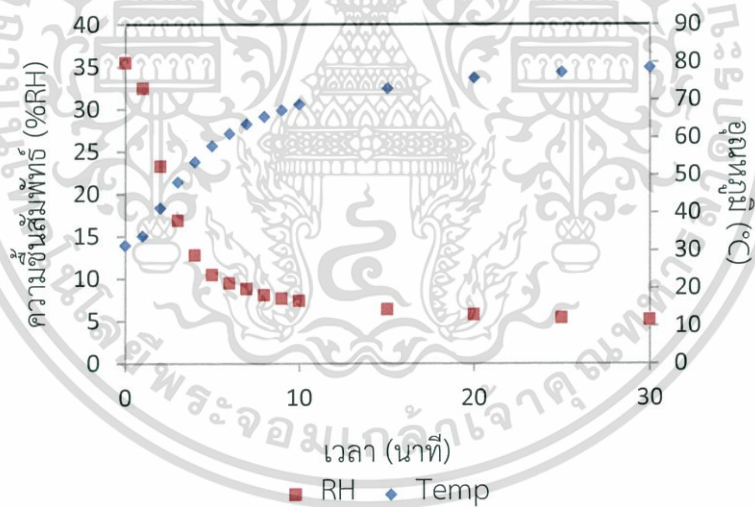


รูปที่ ข.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลาส่วนคืนสภาพสารดูดความชื้น ความเร็วรอบ 1.5 rpm อัตราการไหลของอากาศ 0.08 m³/s อุณหภูมิส่วนคายความชื้น 90 °c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

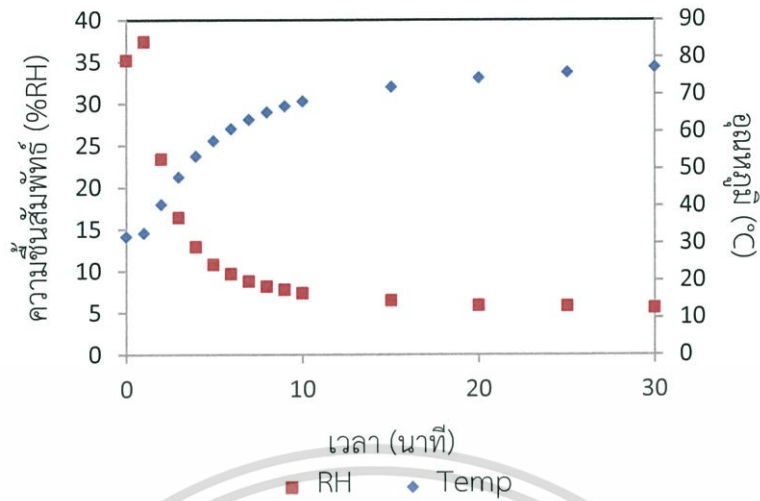


รูปที่ ข.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลาและอัตราการไหลของอากาศ 0.04 m³/s อุณหภูมิส่วนคายความชื้น80°C กรณีสภาวะห้องอบเปล่า

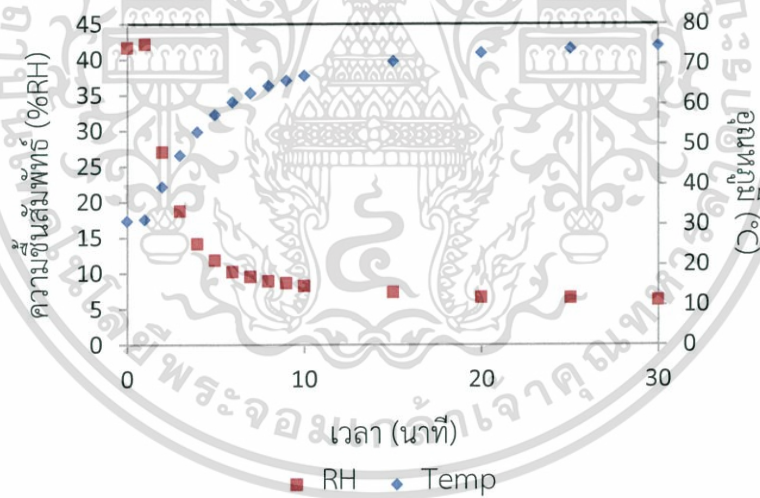


รูปที่ ข.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลาและอัตราการไหลของอากาศ 0.04 m³/s อุณหภูมิส่วนคายความชื้น100°C กรณีสภาวะห้องอบเปล่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

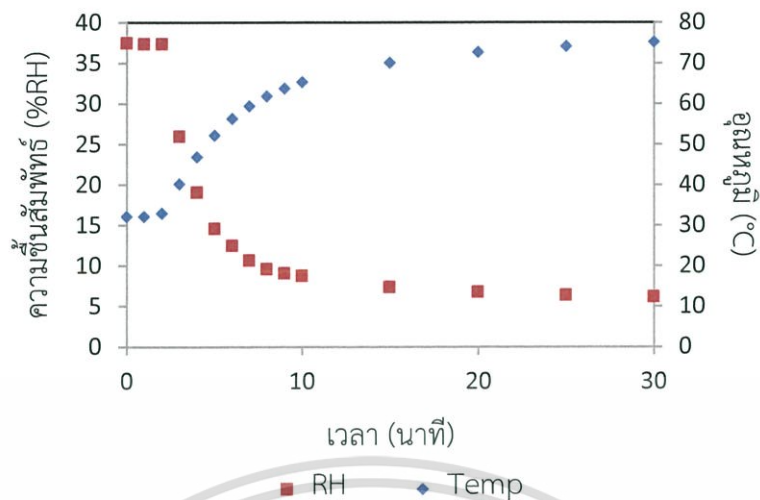


รูปที่ ข.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลาและอัตราการไหลของอากาศ 0.04 m³/s อุณหภูมิส่วนคายความชื้น120°C กรณีสภาวะห้องอบเปล่า

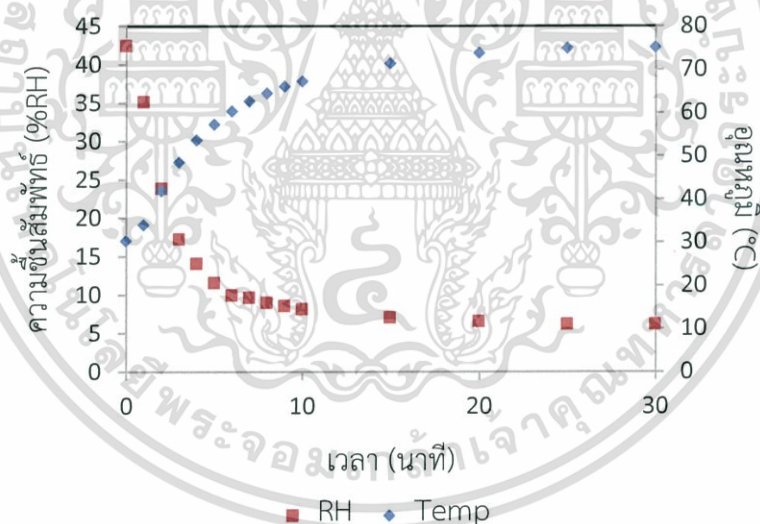


รูปที่ ข.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลาและอัตราการไหลของอากาศ 0.06 m³/s อุณหภูมิส่วนคายความชื้น80°C กรณีสภาวะห้องอบเปล่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

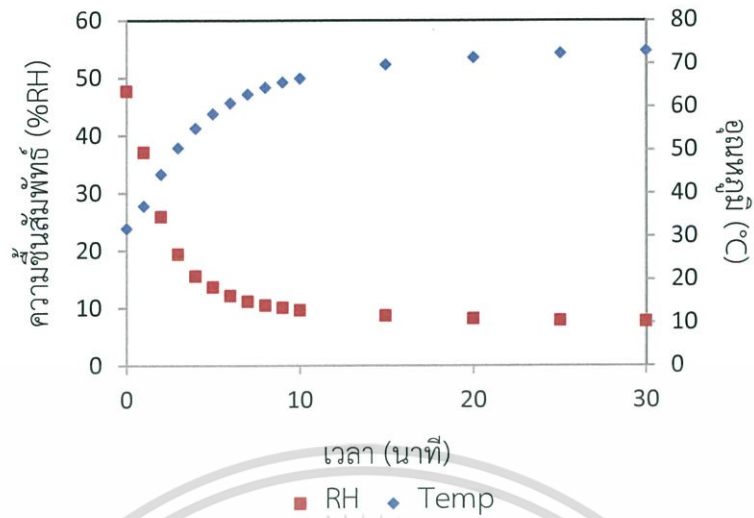


รูปที่ ข.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลาและอัตราการไหลของอากาศ 0.06 m³/s อุณหภูมิส่วนคายความชื้น100°C กรณีสภาวะห้องอบเปล่า

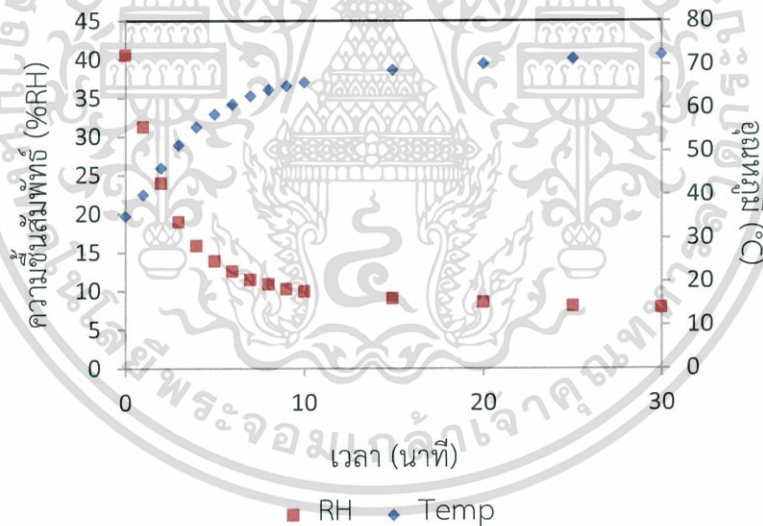


รูปที่ ข.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลาและอัตราการไหลของอากาศ 0.06 m³/s อุณหภูมิส่วนคายความชื้น120°C กรณีสภาวะห้องอบเปล่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

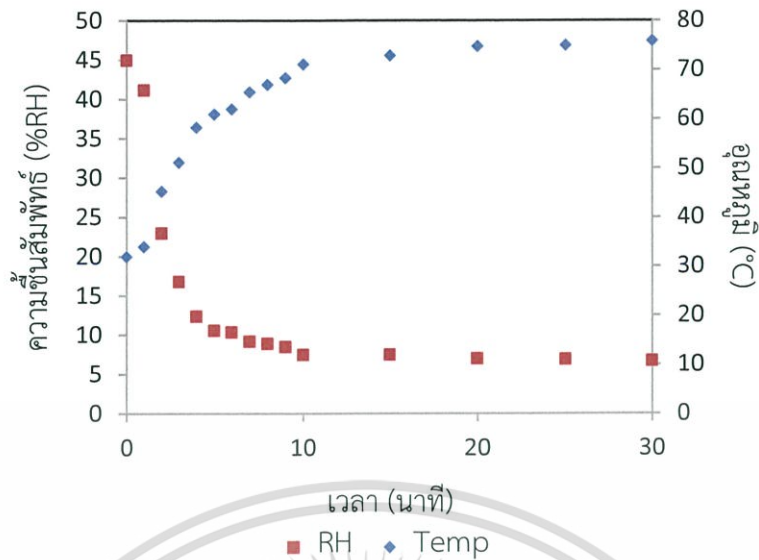


รูปที่ ข.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลาและอัตราการไหลของอากาศ 0.08 m³/s อุณหภูมิส่วนคายความชื้น80°C กรณีสภาวะห้องอบเปล่า

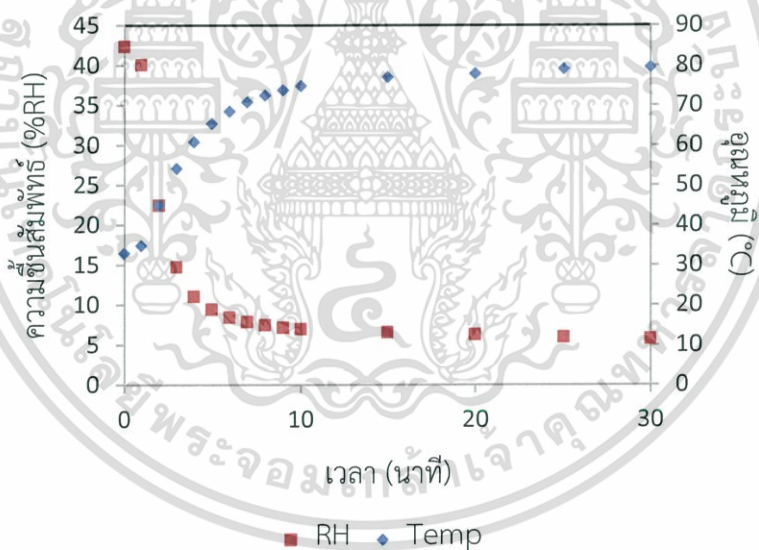


รูปที่ ข.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลาและอัตราการไหลของอากาศ 0.08 m³/s อุณหภูมิส่วนคายความชื้น100°C กรณีสภาวะห้องอบเปล่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

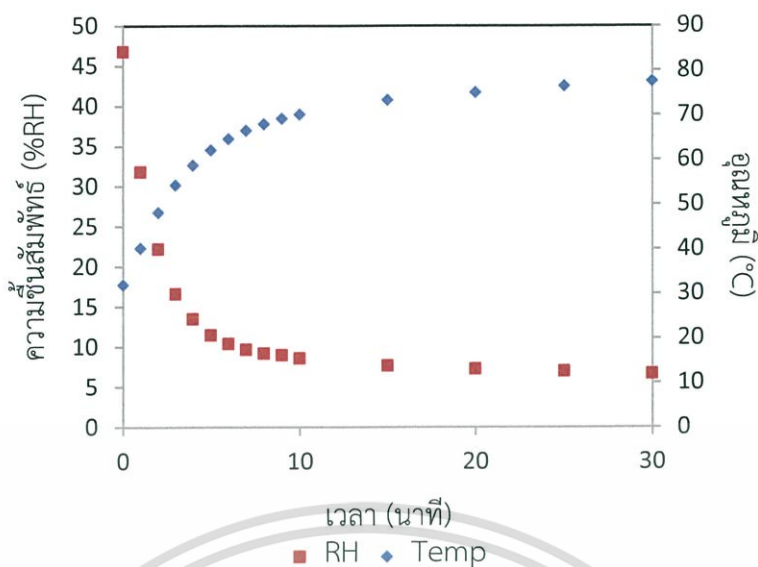


รูปที่ ข.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลาและอัตราการไหลของอากาศ 0.04 m³/s อุณหภูมิส่วนคายความชื้น80°C กรณีสภาวะห้องอบแห้งมีวัสดุอบแห้ง

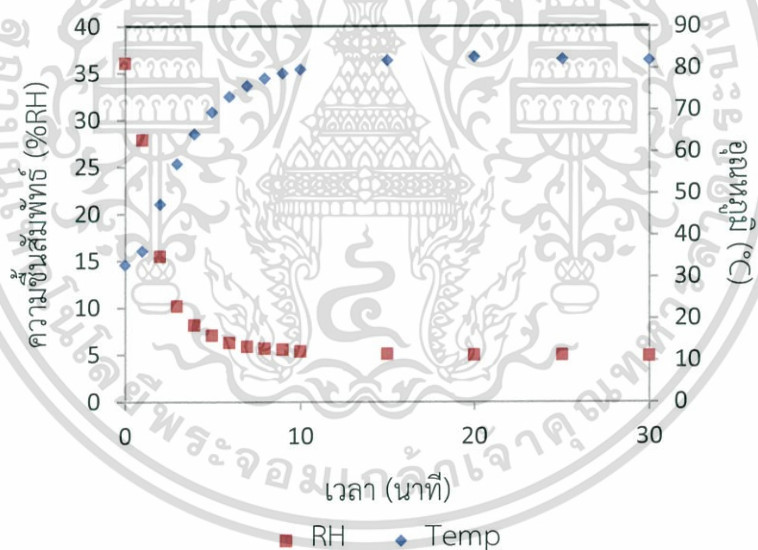


รูปที่ ข.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลาและอัตราการไหลของอากาศ 0.04 m³/s อุณหภูมิส่วนคายความชื้น100°C กรณีสภาวะห้องอบแห้งมีวัสดุอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

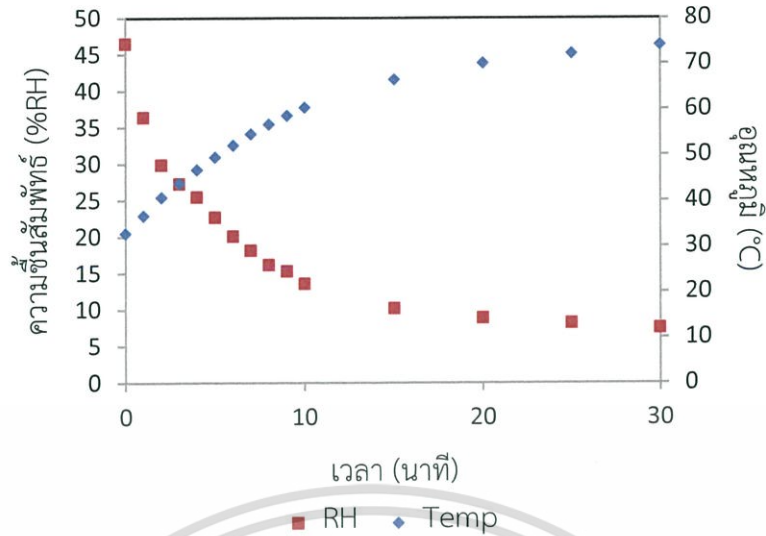


รูปที่ ข.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลาและอัตราการไหลของอากาศ 0.04 m³/s อุณหภูมิส่วนกายความชื้น120°C กรณีสภาวะห้องอบแห้งมีวัสดุอบแห้ง

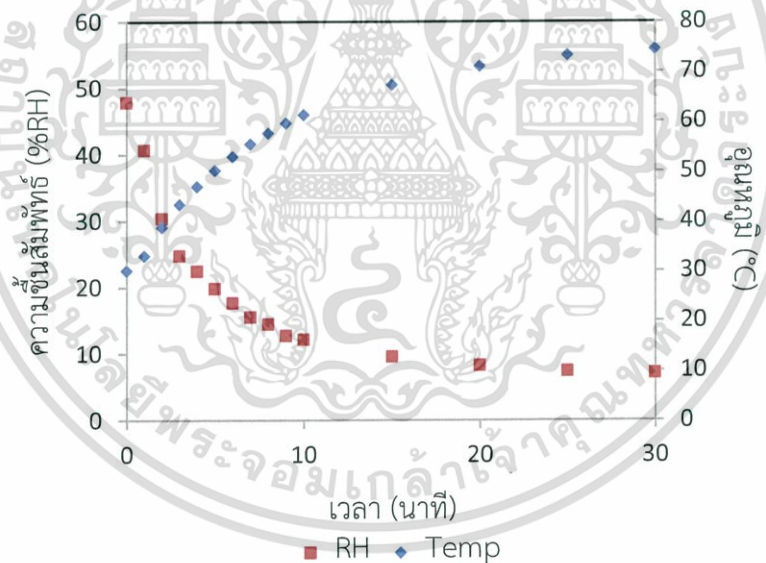


รูปที่ ข.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลาและอัตราการไหลของอากาศ 0.06 m³/s อุณหภูมิส่วนกายความชื้น80°C กรณีสภาวะห้องอบแห้งมีวัสดุอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

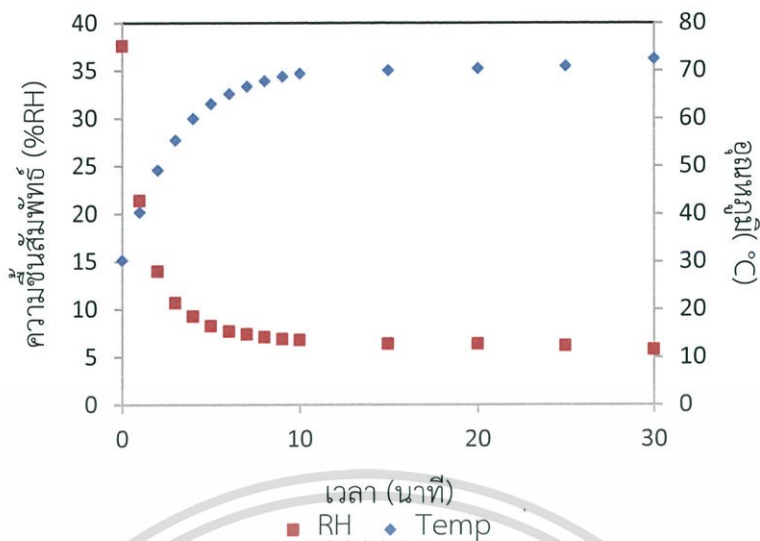


รูปที่ ข.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลาและอัตราการไหลของอากาศ 0.06 m³/s อุณหภูมิส่วนคายความชื้น100°C กรณีสภาวะห้องอบแห้งมีวัสดุอบแห้ง

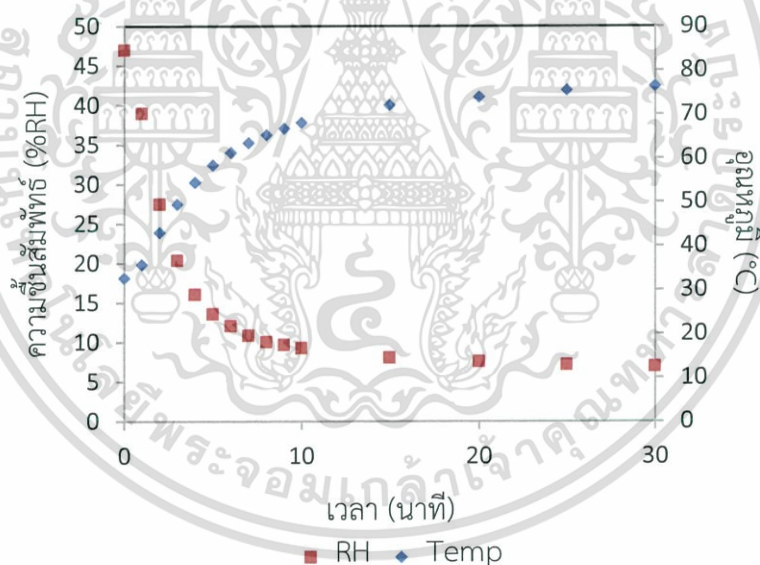


รูปที่ ข.30 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลาและอัตราการไหลของอากาศ 0.06 m³/s อุณหภูมิส่วนคายความชื้น120°C กรณีสภาวะห้องอบแห้งมีวัสดุอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



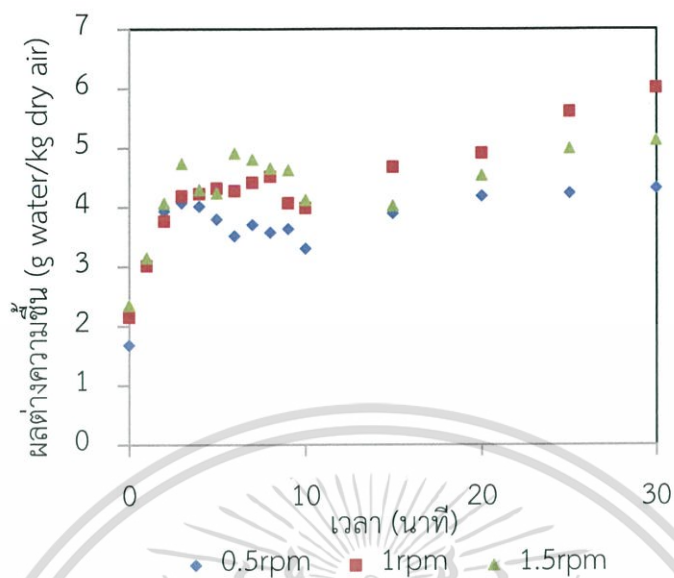
รูปที่ ข.31 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลาและอัตราการไหลของอากาศ 0.08 m³/s อุณหภูมิส่วนกายความชื้น80°C กรณีสภาวะห้องอบแห้งมีวัสดุอบแห้ง



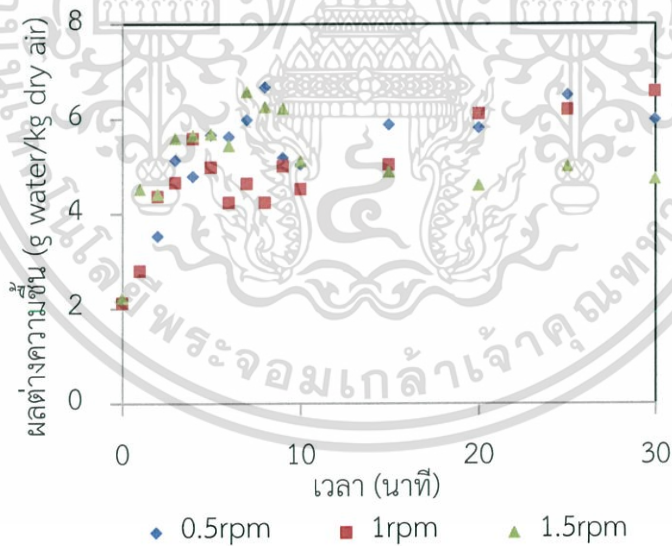
รูปที่ ข.32 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกับเวลาและอัตราการไหลของอากาศ 0.08 m³/s อุณหภูมิส่วนกายความชื้น100°C กรณีสภาวะห้องอบแห้งมีวัสดุอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

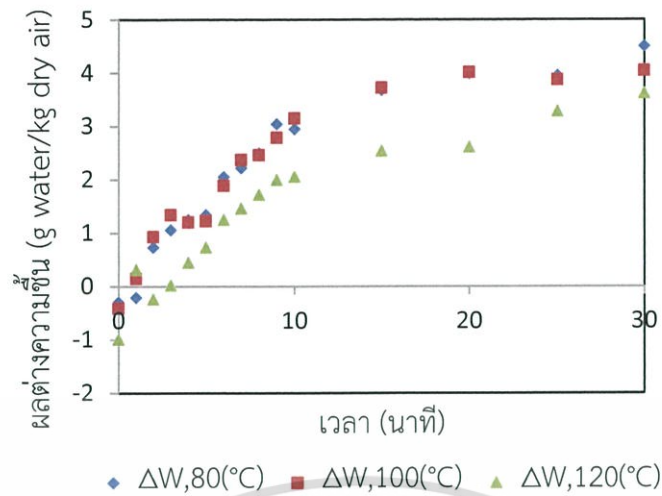


รูปที่ ค.1 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ส่วนคืนสภาพสารดูดความชื้นที่อัตราการไหลของอากาศ $0.06 \text{ m}^3/\text{s}$

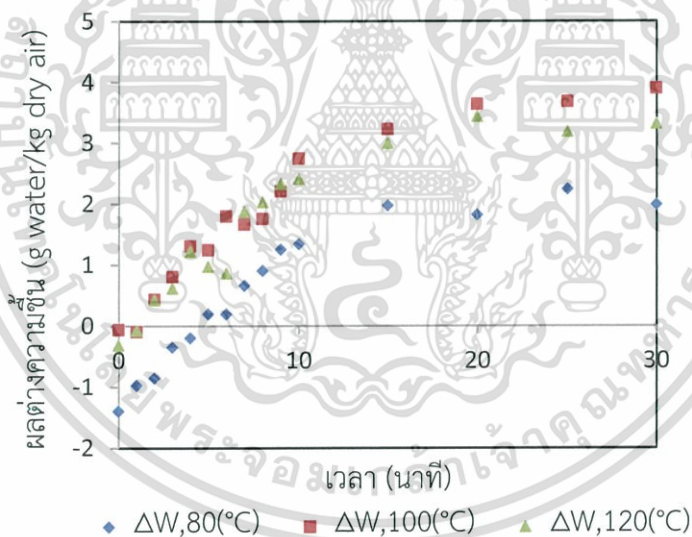


รูปที่ ค.2 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ส่วนคืนสภาพสารดูดความชื้นที่อัตราการไหลของอากาศ $0.08 \text{ m}^3/\text{s}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

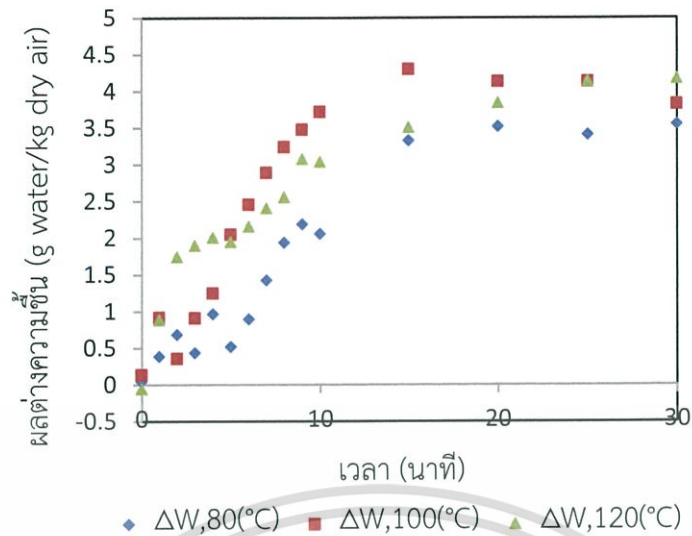


รูปที่ ค.3 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่อัตราการไหลของอากาศ 0.04m³/s กรณีสภาวะห้องอบเปล่า

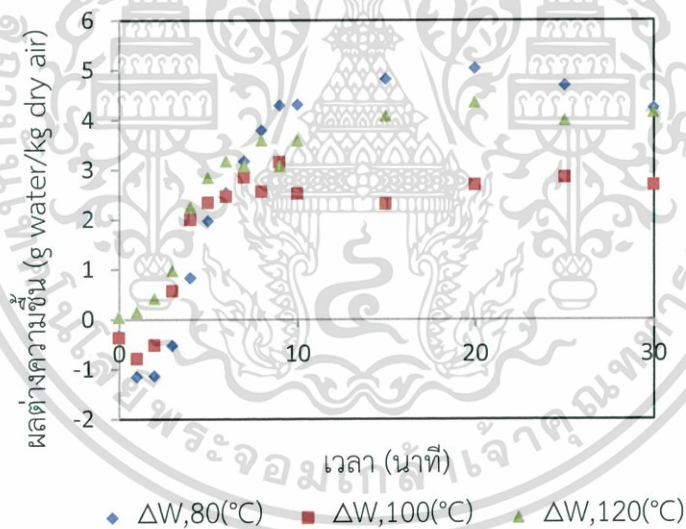


รูปที่ ค.4 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่อัตราการไหลของอากาศ 0.06m³/s กรณีสภาวะห้องอบเปล่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



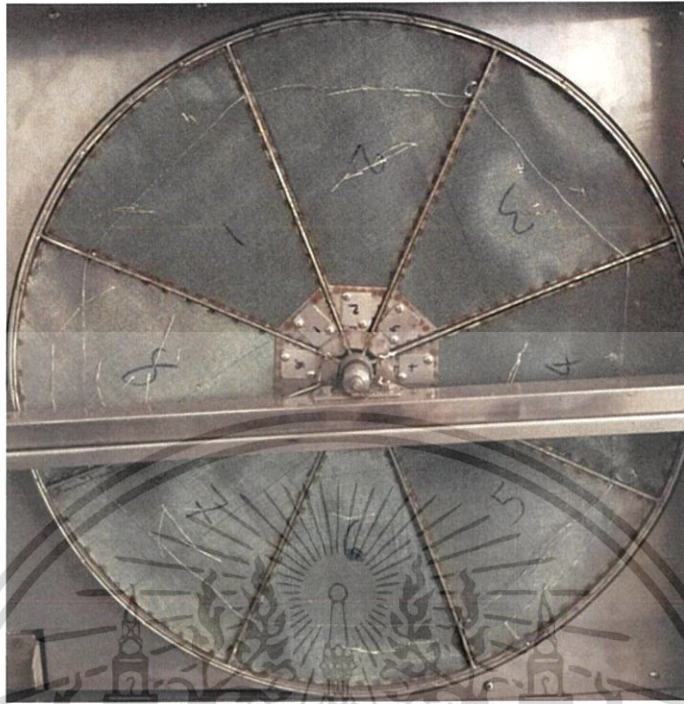
รูปที่ ค.5 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่อัตราการไหลของอากาศ 0.04 m³/s กรณีสภาวะห้องอบแห้งมีวัสดุอบแห้ง



รูปที่ ค.6 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่อัตราการไหลของอากาศ 0.06 m³/s กรณีสภาวะห้องอบแห้งมีวัสดุอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

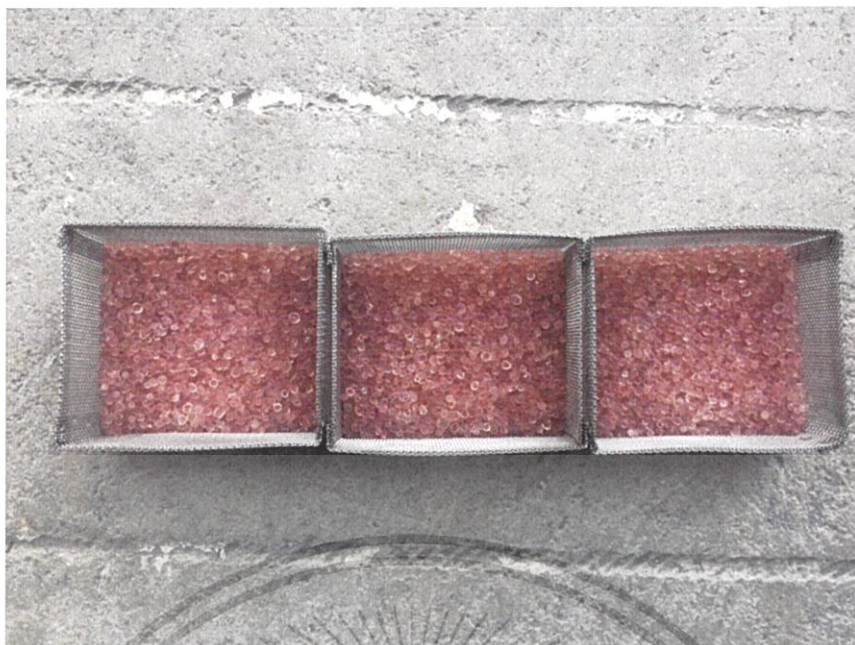


รูปที่ ง.1 วงล้อตูดความชื้น



รูปที่ ง.2 ซิลิกาเจลที่ยังไม่มีความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๓.3 ซิลิกาเจลที่ได้รับความชื้นแล้ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้