

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาเชิงทดลองผลของความชื้นในห้องปรับอากาศ

ต่อการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ

**EXPERIMENTAL STUDY ON THE INFLUENCE OF ROOM HUMMIDITY TO ENERGY
CONSUMPTION IN AIR CONDITION**



ว/พ.
ก3850
2549

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน.....**62396**

วัน,เดือน,ปี **17 ส.ค. 2549**

b. 11622933
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาเชิงทดลองผลของความชื้นในห้องปรับอากาศ
ต่อการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ
EXPERIMENTAL STUDY ON THE INFLUENCE OF ROOM HUMMIDITY TO ENERGY
CONSUMPTION IN AIR CONDITION



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2548

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาเชิงทดลองผลของความชื้นในห้องปรับอากาศต่อการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ
EXPERIMENTAL STUDY ON THE INFLUENCE OF ROOM HUMMIDITY TO ENERGY
CONSUMPTION IN AIR CONDITION

ผู้จัดทำ

- | | |
|--------------------------|-----------------------|
| 1 นายกัณฑ์พัฒน์ ชาระมั่ง | รหัสประจำตัว 45010443 |
| 2 นายวรพจน์ เกตุมนตรี | รหัสประจำตัว 45010668 |
| 3 นายวีระศักดิ์ เต็ดแก้ว | รหัสประจำตัว 45010729 |

อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาเชิงทดลองผลของความชื้นในห้องปรับอากาศต่อการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ

นายกัณติพัฒน์ ชาระมั่ง 45010443
 นายวรพจน์ เกตุมนตรี 45010668
 นายวีระศักดิ์ เต็ดแก้ว 45010729
 รศ.ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2548

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ทำการศึกษาผลของความชื้นในห้องปรับอากาศต่อการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ โดยทำการทดลองติดตั้งอุปกรณ์ดูดความชื้นเข้ากับระบบปรับอากาศแบบอัดไอ เพื่อลดความชื้นของอากาศภายในห้องก่อนที่จะผ่านไปยังคอยล์เย็น เพื่อลดภาระความร้อนทางด้านความร้อนแฝงของอากาศ โครงการนี้ได้ออกแบบอุปกรณ์ดูดความชื้น โดยติดตั้งแผงซิลิกาเจล (Silica gel Bed) วางในแนวขนานกับกระแสอากาศอยู่ในรูปของวงล้อ เพื่อให้สามารถทำการคายความชื้นออกจากซิลิกาเจลโดยใช้ความร้อน (Regeneration) แล้วหมุนเวียนกลับมาดูดซับความชื้น

ในการทดลองได้ทำการเปลี่ยนแปลงสภาพความชื้นไปที่ระดับต่างๆ กันและทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพที่ดีที่สุดของอุปกรณ์ลดความชื้น โดยเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของวงล้อที่ความเร็วรอบ 4 , 6 และ 8 รอบต่อนาทีและปริมาณซิลิกาเจลที่น้ำหนัก 5.75, 6.25 และ 7 กิโลกรัม เมื่อกำหนดความชื้นที่ระดับเดียวกันและเปลี่ยนความเร็วรอบต่างๆ กัน จะพบว่าที่ความเร็วรอบ 6 รอบต่อนาที และซิลิกาเจลหนัก 6.25 กิโลกรัม เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด เมื่อพิจารณาจากความสามารถในการลดความชื้นได้ดีที่สุด และคายความร้อนให้กับระบบน้อยที่สุด แต่เมื่อพิจารณาจากพลังงานของระบบพบว่ามีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นในทุกการทดลอง

Experimental Study on the Influence of Room Humidity
to Energy Consumption in Air conditioning

Gantipon Yaramang

Worrapoj Getmontri

Weerasak Dedkaew

Assoc. Prof. Dr. Mongkol Mongkolwongroj

Advisor

Abstract

This project presents experimentally the influence of room humidity on energy consumption in air conditioning. Dehumidifying chamber is designed and developed using silica gel to absorb air moisture. Experiments are conducted to measure the relative humidity of return air from dehumidifier as well as the energy consumption, at various load and room conditions. The outlet air from the dehumidifier is supplied as return air to the evaporative coil to cool the air before supplying to the air conditioning room.

The experiment were set up and performed at various speeds of dehumidifier; 4, 6 and 8 rpm and various amount of silica gel particles (5.75 6.25 and 7 kg) packed in each rotation velocity of dehumidifying chamber

The rate of absorption rise quickly at the beginning and keep slowly increase with steady state. The result show that dehumidifier has the best operating condition at 6.25 kg of silica gel particles and operated at 6 rpm speed. The test also show that the energy consumption of air condition unit is increase a little due to the increase in temperature of return air in the air conditioning system operated with the dehumidifier.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ รศ.ดร. มงคล มงคลวงโรจน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์นี้ที่กรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนแนวความคิดต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยเป็นอย่างมาก และชี้แจงปรับปรุงจนปริญญาานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ เพื่อนๆ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่คอยให้กำลังใจ และความช่วยเหลือด้านต่างๆ จนปริญญาานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยต้องขอกราบขอพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่ๆ ของผู้วิจัยที่เลี้ยงดูจนเติบโตใหญ่ พร้อมทั้งคอยอบรมสั่งสอน และสนับสนุนในด้านการศึกษามาโดยตลอด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูปประกอบ	VII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 บทนำ	1
1.2 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.3 จุดประสงค์	1
1.4 ขอบเขตของโครงการ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.2 ระบบควบคุมความชื้น	4
2.3 ทฤษฎีทางความชื้น	5
2.4 ทฤษฎีการถ่ายเทมวล	10
2.5 ทฤษฎีการดูดซับ	13
2.6 ทฤษฎีระบบปรับอากาศ	16
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานและอุปกรณ์	
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง	20
3.2 การดำเนินงาน	22
3.3 วิธีการทดลอง	23
3.4 แนวทางวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล	23
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์	
4.1 ผลการออกแบบอุปกรณ์ลดความชื้น	25
4.2 การออกแบบอุปกรณ์ลดความชื้น	28
4.3 การสร้างอุปกรณ์ลดความชื้น	29
4.4 ผลการทดลอง	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ
เอกสารอ้างอิง
ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
4.1	แสดงวัสดุที่ใช้สร้างอุปกรณ์ลดความชื้น	29
4.2	ผลการทดลองเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 58-65 เปอร์เซ็นต์	44
4.3	ผลการทดลองเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 65 -75 เปอร์เซ็นต์	45
4.4	ผลการทดลองเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 75 - 80 เปอร์เซ็นต์	46
ก.1	ผลการทดลองอุปกรณ์ลดความชื้นที่ความเร็วรอบ 4 rpm ที่ระดับ 75 - 80 เปอร์เซ็นต์	61
ก.2	ผลการทดลองอุปกรณ์ลดความชื้นที่ความเร็วรอบ 6 rpm ที่ระดับ 75 - 80 เปอร์เซ็นต์	62
ก.3	ผลการทดลองอุปกรณ์ลดความชื้นที่ความเร็วรอบ 8 rpm ที่ระดับ 75 - 80 เปอร์เซ็นต์	63
ก.4	ผลการทดลองอุปกรณ์ลดความชื้นที่ความเร็วรอบ 4 rpm ที่ระดับ 65 - 75 เปอร์เซ็นต์	64
ก.5	ผลการทดลองอุปกรณ์ลดความชื้นที่ความเร็วรอบ 6 rpm ที่ระดับ 65 - 75 เปอร์เซ็นต์	65
ก.6	ผลการทดลองอุปกรณ์ลดความชื้นที่ความเร็วรอบ 8 rpm ที่ระดับ 65 - 75 เปอร์เซ็นต์	66
ก.7	ผลการทดลองอุปกรณ์ลดความชื้นที่ความเร็วรอบ 4 rpm ที่ระดับ 58 - 65 เปอร์เซ็นต์	67
ก.8	ผลการทดลองอุปกรณ์ลดความชื้นที่ความเร็วรอบ 6 rpm ที่ระดับ 58 - 65 เปอร์เซ็นต์	68
ก.9	ผลการทดลองอุปกรณ์ลดความชื้นที่ความเร็วรอบ 8 rpm ที่ระดับ 58 - 65 เปอร์เซ็นต์	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปประกอบ

	หน้า
รูปที่ 2.1 เส้นอุณหภูมิกะเปาะเปียกและเส้นอ้อมตัวในแผนภูมิความชื้น	7
รูปที่ 2.2 แสดงเส้นความชื้นร้อยละ ซึ่งสร้างจากเส้นความชื้นอ้อมตัว	8
รูปที่ 2.3 แผนภูมิความชื้นมาตรฐาน	9
รูปที่ 2.4 จุดแสดงสภาวะอ้อมตัวที่เส้นความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 100	11
รูปที่ 2.5 โมเดลแสดงรูพรุนภายในของสารดูดซับ	13
รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมมูลการดูดซับน้ำ กับความชื้นสัมพัทธ์ของตัวดูดซับแต่ละชนิด	14
รูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมมูลการดูดซับน้ำกับเวลาของตัวดูดซับแต่ละชนิด	15
รูปที่ 3.1 เครื่องมือชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล	20
รูปที่ 3.2 Single – Phase Watt-Hour Meter	21
รูปที่ 3.3 เครื่องมือวัดความเร็วลม	22
รูปที่ 3.4 เครื่องมือวัดความเร็วรอบ	23
รูปที่ 3.5 เครื่องมือวัดความเร็วรอบ	23
รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 4 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 58-65 เปอร์เซ็นต์ ซิลิกาเจล 7 กิโลกรัม	30
รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 6 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 58-65 เปอร์เซ็นต์ ซิลิกาเจล 7 กิโลกรัม	30
รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 8 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 58-65 เปอร์เซ็นต์ ซิลิกาเจล 7 กิโลกรัม	31
รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 4 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 58-65 เปอร์เซ็นต์ ซิลิกาเจล 6.25 กิโลกรัม	31
รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 6 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 58-65 เปอร์เซ็นต์ ซิลิกาเจล 6.25 กิโลกรัม	32
รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 8 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 58-65 เปอร์เซ็นต์ ซิลิกาเจล 6.25 กิโลกรัม	32
รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 4 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 58-65 เปอร์เซ็นต์ ซิลิกาเจล 5.75 กิโลกรัม	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.23 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 6 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 75 - 80 เปอร์เซ็นต์ ซิลิกาเจล 6.25 กิโลกรัม	41
รูปที่ 4.24 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 8 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 75 - 80 เปอร์เซ็นต์ ซิลิกาเจล 6.25 กิโลกรัม	41
รูปที่ 4.25 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 4 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 75 - 80 เปอร์เซ็นต์ ซิลิกาเจล 5.75 กิโลกรัม	42
รูปที่ 4.26 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 6 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 75 - 80 เปอร์เซ็นต์ ซิลิกาเจล 5.75 กิโลกรัม	42
รูปที่ 4.27 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 8 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 75 - 80 เปอร์เซ็นต์ ซิลิกาเจล 5.75 กิโลกรัม	43
รูปที่ 4.28 กราฟเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ 75 - 80 เปอร์เซ็นต์	44
รูปที่ 4.29 กราฟเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ 65-75 เปอร์เซ็นต์	45
รูปที่ 4.30 กราฟเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ 58-65 เปอร์เซ็นต์	46
รูปที่ ก.1 ภาพเขียนแบบชุดชุดความชื้น	53
รูปที่ ข.1 แผงใส่ซิลิกาเจล	54
รูปที่ ข.2 เครื่องชุดความชื้น	55
รูปที่ ข.3 อุปกรณ์เพิ่มความชื้น	56
รูปที่ ข. 4 ชุดควบคุมมอเตอร์เครื่องชุดความชื้น	57
รูปที่ ข.5 ชุดระบบทำความเย็น	58
รูปที่ ข.6 ชุดห้องจำลองสภาพอากาศ	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

การปรับอากาศเป็นกระบวนการที่มนุษย์คิดค้นขึ้นเพื่อเอาชนะธรรมชาติในการควบคุมอุณหภูมิ การปรับอากาศมีทั้งการปรับอากาศเพื่อความสบายและการปรับอากาศเพื่ออุตสาหกรรม ซึ่งในปัจจุบันระบบปรับอากาศที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ ระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor Compression Refrigeration Cycle) แต่เนื่องจากประเทศไทยมีความชื้นในอากาศสูง ผลของความชื้นในอากาศมีผลกับการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ การลดความชื้นในห้องปรับอากาศก็เป็นหนทางหนึ่งที่จะช่วยได้ จากการศึกษาพบว่าวิธีการลดความชื้นโดยใช้สารดูดความชื้นเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ร่วมกับระบบปรับอากาศ

1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตอากาศแบบร้อนชื้นซึ่งอุณหภูมิและความชื้นค่อนข้างสูง จากการศึกษาพบว่าความชื้นในอากาศที่มีปริมาณสูงนั่นเองที่มีผลต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ ดังนั้นกระบวนการลดความชื้นในอากาศจึงเป็นแนวทางสำคัญความสำคัญในการลดการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ การเป่าอากาศผ่านซิลิกาเจล (Silica gel) เป็นอีกวิธีหนึ่งในการลดความชื้นของอากาศ โดยมีซิลิกาเจลเป็นตัวดูดซับความชื้นจากอากาศ เพื่อให้ได้ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ตามต้องการโดยเราสามารถที่จะนำซิลิกาเจลที่ผ่านการใช้งานแล้วมาฟื้นฟูสภาพเพื่อนำกลับไปใช้งานได้อีกครั้ง จากงานวิจัยของ วันพุทธ แซ่ถั่ว [1] ได้ศึกษาการลดความชื้นของอากาศโดยใช้สารดูดความชื้นชนิดแข็ง โดยทำการทดสอบสารดูดความชื้น 2 ชนิด คือ ซิลิกาเจล และ โมเลกุลาซีฟ พบว่าซิลิกาเจลมีประสิทธิภาพการดูดความชื้นได้ดีกว่าโมเลกุลาซีฟ และจากงานวิจัยของ อธิศักดิ์ คล้ายมงคล ได้ทำการศึกษาการลดความชื้นในกระบวนการลดความชื้นในระบบทำความเย็นแบบระเหย พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำความเย็นเพิ่มขึ้น ดังนั้นโครงการนี้จึงได้ทำการวิจัยที่จะใช้ระบบลดความชื้นโดยใช้ซิลิกาเจลร่วมกับระบบปรับอากาศชนิดอัดไอขนาดเล็ก

1.3 จุดประสงค์ของโครงการ

- 1.3.1 เพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์ดูดความชื้นในอากาศ
- 1.3.2 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้เชิงวิศวกรรม ผลของความชื้นในอากาศกับการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตของโครงการ

- 1.4.1 ศึกษาโดยใช้กับเครื่องปรับอากาศขนาด 12000 BTU
- 1.4.2 อุปกรณ์ลดความชื้นได้สูงสุดไม่ต่ำกว่า 50% RH
- 1.4.3 ใช้โดยใช้โหลดทั้งแบบที่เป็นความร้อนแฝงและความร้อนสัมผัส ไม่เกิน 9000 BTU
- 1.4.4 ทำการศึกษาในห้องที่มีขนาดกว้าง 2 เมตร ยาว 2 เมตร สูง 2 เมตร

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้อุปกรณ์ลดความชื้นโดยใช้ซิลิกาเจล ที่ใช้ร่วมกับเครื่องปรับอากาศชนิดอัดไอ
- 1.5.2 ทราบถึงผลของความชื้นในห้องปรับอากาศ กับการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและทฤษฎี

การศึกษาเชิงทดลองผลของความชื้นต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ จำเป็นต้องมีการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ลดความชื้น จึงพิจารณาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของอากาศชื้น ทฤษฎีของการลดความชื้นและทฤษฎีการทำความเย็น

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วันพุทธ แซ่ฉั่ว ได้ทำการศึกษาการลดความชื้นของอากาศโดยใช้สารดูดความชื้น (ซิลิกาเจล) ก่อนนำเข้าไปปรับสภาพอากาศสำหรับห้องขนาด $6 \times 4 \times 3.2 \text{ m}^3$ โดยไม่ใช้เครื่องปรับอากาศแต่ใช้พัดลมปรับความเร็วตามสภาวะแวดล้อมแบบอัตโนมัติ จากการศึกษาพบว่า เบดซิลิกาเจลสามารถลดความชื้นของอากาศลงได้แต่ทำให้อุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้น จากนั้นทำการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนอากาศ อัตราการไหลของอากาศ และจำนวนคนในห้อง ผลจากการสอบถามที่จำนวนคน 5 คน สัดส่วนอากาศบริสุทธิ์ร้อยละ 30 อากาศวนกลับร้อยละ 70 และอัตราการไหลของอากาศ $550 \text{ m}^3/\text{hr}$ มีสภาวะความสบายมากที่สุด นอกจากนี้การลดความชื้นของอากาศยังสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของพัดลมปรับความเร็วตามสภาวะแวดล้อมแบบอัตโนมัติลงได้ร้อยละ 5.7

กฤษ ตราชู ได้ศึกษาการปรับปรุงระบบการทำความเย็นแบบระเหย โดยการเพิ่มกระบวนการลดความชื้น ซึ่งกระบวนการลดความชื้นของอากาศโดยใช้สารดูดความชื้น คือ ซิลิกาเจล โดยแบ่งเป็นชั้นๆ หนา 0.01 m ยาว 0.35 m บรรจุในกล่องขนาด 0.011 m^3 ที่มีพื้นที่หน้าตัดสารดูดความชื้น 0.032 m^2 และพื้นที่การไหลของอากาศ 0.05 m^2 โดยการทดลองจะเป็นการหาความสามารถสูงสุดของสารลดความชื้น โดยการใช้วิธีการให้อากาศร้อยคายความร้อนที่อุณหภูมิ 50°C 60°C 70°C เป็นเวลา 15 นาที 30 นาที และ 60 นาที ก่อนนำไปดูความชื้นจากอากาศที่อัตราการไหลในช่วง $0.06 - 0.07 \text{ kg/s}$ เพื่อใช้ในระบบการทำความเย็นแบบระเหย ที่มีพื้นที่หน้าตัด 0.08 m^2 หนา 0.1524 m พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการคายความชื้น 50°C ในเวลาต่างๆ กัน ทำให้มีความสามารถในการทำความเย็นอยู่ที่ระดับอุณหภูมิเฉลี่ย $27^\circ\text{C} - 28^\circ\text{C}$ ที่ประสิทธิผลของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน $55 - 80 \%$ โดยค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเฉลี่ยเท่ากับ 0.35 ซึ่งจะให้ค่า ประสิทธิภาพในการทำทำความเย็นแบบระเหยเฉลี่ย $67 - 71 \%$ ซึ่งมีค่าสูงกว่าระบบการทำความเย็นแบบระเหยที่ไม่มีการเพิ่มการลดความชื้นประมาณ 10%

Saito ได้ศึกษาการรีเจนเนอเรชันสารดูดความชื้นโดยออกแบบแผงรับรังสีอาทิตย์ ที่มีสารดูดความชื้นอยู่ภายในเพื่อลดขนาดของแผงรับรังสีอาทิตย์ ที่เรียกว่า integrated desiccant solar collector ที่ใช้ซิลิกาเจลเป็นสารดูดซับ มีขนาดของแผงรับรังสีอาทิตย์ 0.08 m^2 ความหนาของซิลิกาเจล 25 mm ปิดด้วยแผ่นอะคริลิก หนา 5 mm โดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดลองภายใต้ระบบแสงอาทิตย์เทียม เพื่อศึกษาถึง อุณหภูมิของซิติกาเจด อุณหภูมิอากาศ ความเข้มรังสีอาทิตย์ อัตราการไหลของอากาศ จากผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพการรีเจนเนอเรชั่นขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอากาศ ซึ่งมีค่าที่เหมาะสมอยู่ในช่วงค่า Reynolds number ในชั้นของสารดูดความชื้น 1.2 – 1.7 อัตราการไหลของอากาศ 2 – 3 kg/s และการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศเป็นผลให้มีการรีเจนเนอเรชั่นเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับขึ้นอยู่กับความชื้นเริ่มต้นของสารดูดซับด้วย

2.2 ระบบควบคุมความชื้น

ระบบควบคุมความชื้นสามารถใช้สารดูดความชื้นที่เป็นของเหลว (Liquid desiccant) หรือสารดูดความชื้นที่เป็นของแข็ง (Solid desiccant) ซึ่งขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับการนำไปใช้งาน ซึ่งสารดูดความชื้นทั้งสองชนิดนี้ จะมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันออกไป จึงได้มีการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของสารดูดความชื้นและประเภทของระบบควบคุมความชื้นกันอย่างกว้างขวางเพื่อให้ได้ระบบที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการใช้งาน

2.2.1 ระบบดูดกลืน (Adsorption)

ระบบที่ใช้สารดูดความชื้นที่เป็นของเหลว เรียกว่า ระบบดูดกลืน (absorption) เป็นระบบที่สร้างขึ้นเพื่อที่จะดูดหรือเพิ่มความชื้นให้กับอากาศ ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความดันไอระหว่างอากาศกับสารละลาย และจุดสมมูลความดันไอของสารละลายขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารละลาย การใช้ประโยชน์ของสารดูดความชื้นที่เป็นของเหลวไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากค่าประสิทธิภาพของการทำความเย็น (COP) มีค่าน้อยกว่า 1 แต่การใช้สารดูดความชื้นที่เป็นของเหลวมีข้อดีคือ พลังงานจะถูกสะสมในรูปพลังงานเคมีมากกว่าพลังงานความร้อน ซึ่งมั่นใจได้ว่าพลังงานความร้อนที่เข้าสู่ระบบจะถูกปลดปล่อยอย่างแน่นอน นอกจากนี้ระบบที่ใช้สารดูดความชื้นที่เป็นของเหลวมีความยุ่งยากซับซ้อนน้อยกว่าระบบดูดความชื้นที่เป็นของแข็งเนื่องจากจะพ่นฝอยสารดูดความชื้นเหนืออากาศที่ต้องการลดความชื้นและยังสามารถทำการรีเจนเนอเรตสารดูดความชื้นโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ส่วนข้อเสียของสารดูดความชื้นที่เป็นของเหลวก็คือ การดูดความชื้นที่เป็นของเหลวบางชนิดจะเกิดกัดกร่อนและสามารถรั่วไปปะปนกับอากาศเนื่องจากมีความดันไอสูง ซึ่งเป็นอันตรายต่อระบบหายใจ

2.2.2 ระบบดูดซับ (Adsorption)

ระบบดูดซับเป็นระบบที่ใช้สารดูดความชื้นที่เป็นของแข็ง เพื่อการควบคุมความชื้นภายในระบบ ลักษณะของเครื่องลดความชื้นที่ใช้ในระบบจะแตกต่างกันออกไป เมื่อแบ่งตามลักษณะการเคลื่อนที่จะแบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ แบบหมุน (Rotary dehumidifier) และแบบอยู่นิ่ง (Bed dehumidifier) ถ้าเป็นเครื่องลดความชื้นแบบหมุนจะมีอุปกรณ์ประกอบที่ซับซ้อนและมีราคาแพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ทฤษฎีทางความชื้น

2.3.1 คำศัพท์ทางไซโครเมตริก

คำศัพท์ทางไซโครเมตริก หมายถึง คำศัพท์ที่แสดงคุณสมบัติอากาศชื้น ในที่นี้จะให้คำจำกัดความกับคำเหล่านี้ก่อนที่จะทำความเข้าใจกับทฤษฎีพื้นฐานของการลดความชื้นต่อไป

1) ความดันไอ (Vapor pressure), P_v

ความดันไอ คือ ส่วนของความดันย่อยที่กระทำโดยโมเลกุลของไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศชื้น ถ้าอากาศนี้อิ่มตัวด้วยไอน้ำ จะเรียกความดันไอนี้ว่า ความดันไออิ่มตัว (Saturated Vapor Pressure, P_{vs})

2) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity), RH

ความชื้นสัมพัทธ์ คือ อัตราส่วนของเศษส่วนเชิงโมล หรือความดันไอของไอน้ำในอากาศต่อเศษส่วนเชิงโมล หรือความดันไอของไอน้ำในอากาศอิ่มตัว ที่อุณหภูมิและความดันไอเดียวกัน มีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 100 เปอร์เซ็นต์

$$RH = \frac{n_v}{n_a} = \frac{P_v}{P_{vs}} \quad (2.1)$$

3) อัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio)

อัตราส่วนความชื้น คือ มวลของไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศแห้งหนึ่งหน่วยมวล

$$H = \frac{m_v}{m_s} = \frac{0.622 p_v}{p - p_v} \quad (2.2)$$

4) อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry-bulb Temperature), T_{db}

อุณหภูมิกระเปาะแห้ง คือ อุณหภูมิที่จับบอกโดยเทอร์โมมิเตอร์ทั่วๆ ไป

5) อุณหภูมิกระเปาะเปียก

อุณหภูมิกระเปาะเปียก คือ อุณหภูมิของอากาศชื้นที่บอกโดยเทอร์โมมิเตอร์ที่กระเปาะหุ้มด้วยผ้าเปียก และมีลมเป่าผ่านกระเปาะนี้ด้วยความเร็วอย่างน้อย 4.6 m/s หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า อุณหภูมิกระเปาะเปียกเชิงไซโครเมตริก

6) อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew – point Temperature)

อุณหภูมิจุดน้ำค้าง คือ อุณหภูมิที่ไอน้ำเริ่มควบแน่น เมื่ออากาศนั้นถูกทำให้เย็นลงที่อัตราส่วนความชื้นและความดันบรรยากาศคงที่

7) ความร้อนจำเพาะชื้น, S

ความร้อนจำเพาะชื้น คือ ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้การเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น 1 องศาเซลเซียส ของอากาศแห้ง 1 กิโลกรัมที่มีความชื้น H กิโลกรัมในอากาศ

$$S = C_g + C_v \cdot H \quad (2.3)$$

ซ) ปริมาตรจำเพาะชื้น (Humid Volume), VH

ปริมาตรจำเพาะชื้น คือ ปริมาตรจำเพาะของอากาศชื้น ซึ่งประกอบด้วยอากาศแห้ง 1 กิโลกรัมและไอน้ำในอากาศ H กิโลกรัม นั่นคือ

$$VH = V_s + V_v \cdot H \quad (2.4)$$

2.3.2 วิธีวัดความชื้น

หากต้องการทราบความชื้นในอากาศ อาจใช้วิธีวัดความชื้นโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบธรรมดา ที่เรียกว่า เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียก – กระเปาะแห้ง (Wet bulb and Dry bulb Thermometer) ซึ่งวิธีการก็คือ วัดอุณหภูมิอากาศในขณะนั้นก่อน ซึ่งก็คืออุณหภูมิกระเปาะแห้ง และใช้เทอร์โมมิเตอร์อีกอันหนึ่งพันด้วยสำลีที่ชุ่มน้ำให้ลมพัดผ่านด้วยความเร็วประมาณ 4 เมตร/วินาที แต่ยังคงให้สำลีชุ่มน้ำอยู่ตลอดเวลา จะพบว่า อุณหภูมิเทอร์โมมิเตอร์จะลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากน้ำในสำลีรอบๆ กระเปาะระเหยออกตลอดเวลา อีกทั้งลมที่พัดผ่านกระเปาะคอยรับให้ความร้อนแก่กระเปาะตลอดเวลา ทำให้กระเปาะเย็นลงจนในที่สุดจะเข้าสู่สมดุลหนึ่งที่อัตราการถ่ายเทความร้อน เข้าและออกจากกระเปาะเท่ากัน อุณหภูมิของกระเปาะจะลดลงจนคงที่ อุณหภูมินี้คืออุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet-bulb Temperature)

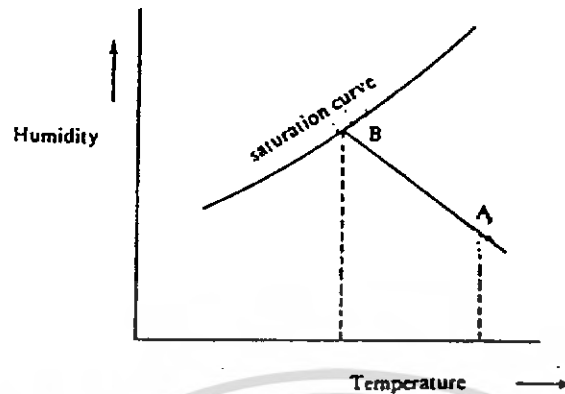
จากวิธีการดังกล่าวทำให้เราทราบปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในอากาศได้จากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ที่เรียกว่า ความแตกต่างทางไซโครเมตริก (Psychrometric Different) นั่นเอง ซึ่งถ้าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิทั้งสองมีมาก แสดงว่าอากาศขณะนั้นแห้งมาก หรือมีความชื้นอยู่น้อยมากนั่นเอง ถ้าความแตกต่างน้อยแสดงว่าขณะนั้นอากาศมีความชื้นอยู่มาก ถ้าความแตกต่างเท่ากับศูนย์ แสดงว่าขณะนั้นอากาศอิ่มตัวด้วยความชื้นแล้ว

2.3.3 แผนภูมิอากาศชื้น

ลักษณะของแผนภูมิอากาศชื้น จะแสดงความชื้นของอากาศอิ่มตัว ที่อุณหภูมิใดๆ ซึ่งเป็นกราฟที่สร้างระหว่างค่าความชื้นและอุณหภูมิ เมื่อกำหนดความดันรวมของบรรยากาศ แล้วอ่านข้อมูลความดันไอน้ำ และอุณหภูมิจะสามารถคำนวณความชื้นที่อุณหภูมิใดๆ ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 แผนภูมินี้แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นของอากาศ จากจุดเริ่มต้นใดๆ ไปยังจุดอิ่มตัวที่จุด A แสดงถึงสภาวะอากาศเริ่มต้น ซึ่งค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งดังแสดงในรูป ส่วนจุด B แสดงถึงสภาวะสมดุลของอากาศอิ่มตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอบๆ ภาวะเปียกคงที่ (Constant Wet-bulb Temperature Line) ซึ่งเป็นเส้นตรงสำหรับระบบไอน้ำ - อากาศ เส้นอุณหภูมิภาวะเปียกคงที่นี้ จะได้จากการทดลอง

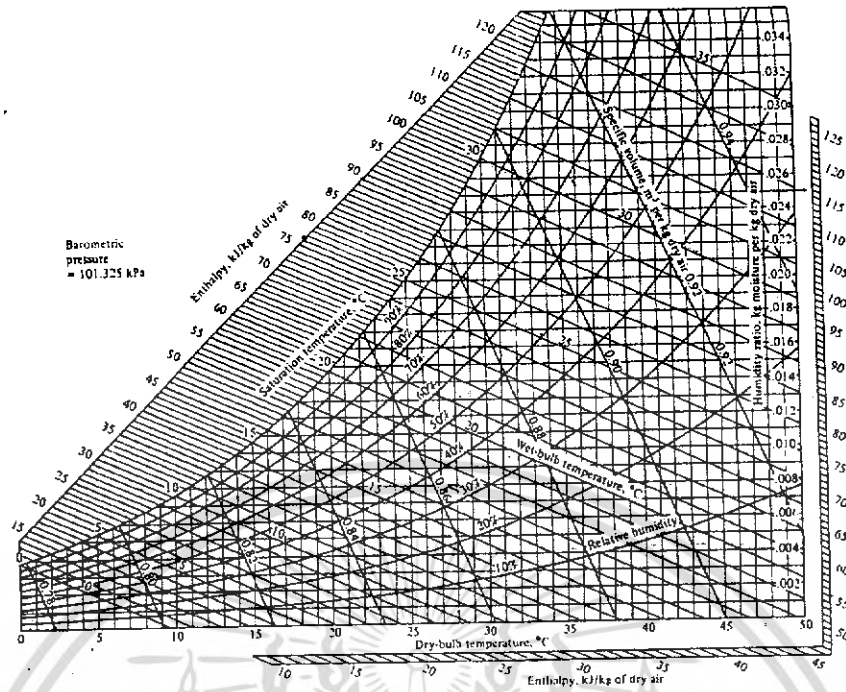


รูปที่ 2.1 เส้นอุณหภูมิภาวะเปียกและเส้นอุณหภูมิในแผนภูมิความชื้น

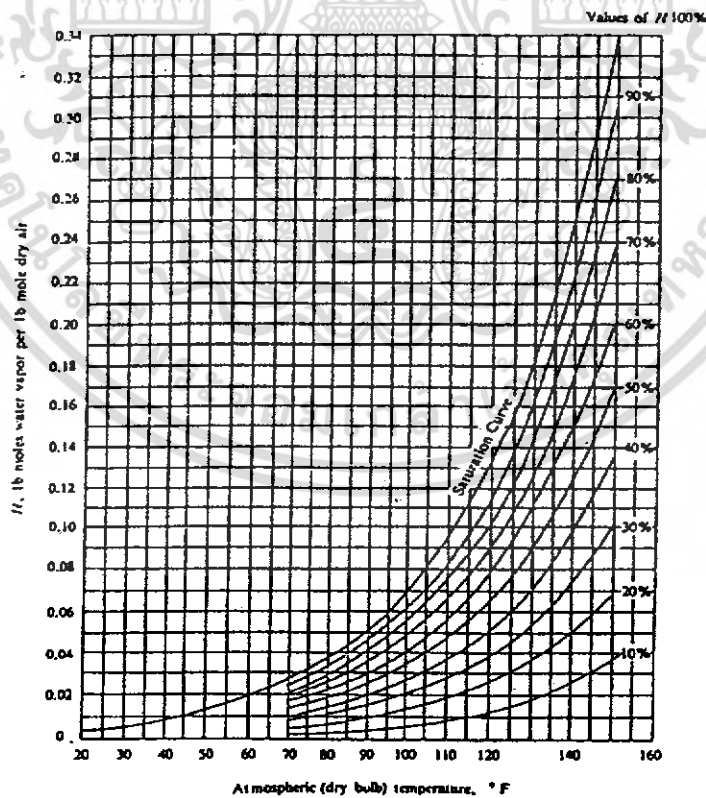
และจากเส้นกราฟความชื้นอิ่มตัว (รูปที่ 2.2) สามารถสร้างกราฟความชื้น เป็นร้อยละได้ เช่น ร้อยละ 90, 80, 70,...10 ซึ่งแบ่งระยะ ได้เส้นกราฟความชื้นอิ่มตัวที่อุณหภูมิใดๆ ออกเป็นส่วนๆ ส่วนละเท่าๆ กัน แล้วลากเส้นโค้งเชื่อมแต่ละจุดที่แบ่ง เส้นแรกที่เกิดจากเส้นความชื้นอิ่มตัวลงมาด้านล่าง คือเส้นของความชื้น ร้อยละ 90, ร้อยละ 80, ร้อยละ 70 เรื่อยลงมาตามลำดับ ดังรูปที่ 2.2 สำหรับแผนภูมิอากาศชื้น แสดงค่าได้หลายค่าด้วยกัน คือ

- 1) ค่าความชื้นหรือความชื้นเป็นโมล
- 2) ความชื้นร้อยละหรือความชื้นสัมพัทธ์
- 3) อุณหภูมิบรรยากาศ (อุณหภูมิภาวะแห้ง)
- 4) อุณหภูมิภาวะเปียก
- 5) อุณหภูมิจุดอิ่มตัวหรือจุดน้ำค้าง (อยู่บนเส้นความชื้นอิ่มตัว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงเส้นความชื้นร้อยละ ซึ่งสร้างจากเส้นความชื้นอิ่มตัว



รูปที่ 2.3 แผนภูมิความชื้นมาตรฐาน

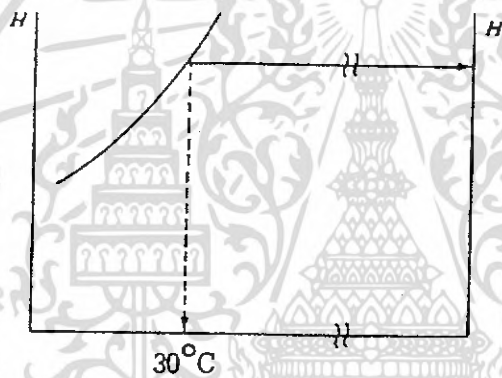
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังสามารถแสดงค่าอื่นๆ ได้อีก เช่น ค่าปริมาตรจำเพาะของอากาศชื้น ค่าความร้อนแฝงของการระเหยของน้ำ ค่าเอนทัลปีของอากาศชื้น เป็นต้น

แผนภูมิความชื้นมาตรฐานที่สร้างขึ้นเพื่อใช้อ่านค่าต่างๆ มีประโยชน์อย่างมากในด้านวิศวกรรม เพราะให้ความสะดวก รวดเร็ว และแม่นยำพอสมควร แผนภูมิความชื้นมาตรฐานนั้น จะกำหนดสภาวะมาตรฐานที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสและความดันรวม 760 มิลลิเมตรปรอท ถ้าความดันรวมแตกต่างไปจากค่าดังกล่าว ต้องใช้ค่าจากตาราง หรือสูตรคำนวณแก้ค่าความชื้นและค่าอื่นๆ ที่อ่านได้จากแผนภูมิอีกทีหนึ่ง

2.3.4 การใช้แผนภูมิอากาศชื้น

1) *ก๊าซผสมอิ่มตัว* กำหนดตัวแปรเพียงตัวเดียว จะสามารถกำหนดจุดบนแผนภูมิได้ (อยู่บนเส้นอิ่มตัวเส้นแรกสุด) เช่น อากาศอิ่มตัวที่ 30 องศาเซลเซียส จากรูปที่ 2.3 ลากเส้นตั้งฉากจาก 30 องศาเซลเซียสไปตัดเส้นอิ่มตัว เป็นจุดแสดงสภาวะอากาศอิ่มตัว



รูปที่ 2.4 จุดแสดงสภาวะอิ่มตัวที่เส้นความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 100

อ่านค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Humidity, } H &= 0.02725 \text{ g H}_2\text{O/g dry air} \\ T_{\text{db}} &= T_{\text{wb}} = 30 \text{ }^\circ\text{C} \\ \text{และ } T_{\text{dew point}} &= 30 \text{ }^\circ\text{C} \text{ เช่นกัน} \end{aligned}$$

2) *ก๊าซผสมไม่อิ่มตัว* ต้องกำหนดตัวแปร 2 ค่า จึงจะสามารถกำหนดจุดบนแผนภูมิได้ อาจเป็นค่าคู่ใดคู่หนึ่งก็ได้ เช่น อุณหภูมิบรรยากาศและร้อยละความชื้นสัมพัทธ์ กำหนดอุณหภูมิบรรยากาศและอุณหภูมิกระเปาะเปียก กำหนดอุณหภูมิบรรยากาศและน้ำค้าง เป็นต้น เมื่อกำหนดได้แล้ว จะสามารถอ่านค่าที่เหลืออยู่ได้ทันที เช่น อากาศไม่อิ่มตัวที่ 27 องศาเซลเซียส อุณหภูมิกระเปาะเปียกที่ 20 องศาเซลเซียส วิธีอ่านค่าคือ จากรูปที่ 2.4 ลากเส้นตั้งฉากจาก 27 องศาเซลเซียส ไปตัดเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกคงที่ 20 องศาเซลเซียส จุดนี้จะเป็นสภาวะอากาศดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อ่านค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้

- 1) อ่านค่าความชื้น โดยลากเส้นระดับจากจุดตั้งต้น ไปตัดแกน Y ขวามือ ได้

$$H = 0.02725 \text{ g H}_2\text{O} / \text{g dry air}$$

- 2) อ่านค่าจุดน้ำค้างได้จากการที่ทำให้อากาศเย็นลงเรื่อยๆ ที่ความดันคงที่ นั่นคือความชื้นคงที่ด้วย จากการลากเส้นประไปตัดเส้นอิมิตัว จากนั้นลากเส้นตั้งลงมาตัดแกน X เพื่ออ่านอุณหภูมิ ซึ่งตรงกับอุณหภูมิของเส้นอิมิตัวนั่นเอง

$$T \text{ dew point} = 15.5 \text{ องศาเซลเซียส}$$

- 3) ร้อยละของความชื้นสัมพัทธ์ ได้โดยดูว่าจุดกำหนดอยู่ใกล้กับเส้นโค้งแสดงร้อยละของความชื้นสัมพัทธ์เส้นใดมากที่สุด หรืออาจทับเส้นโค้งพอดี ในกรณีนี้จุดกำหนดอยู่ระหว่างเส้นร้อยละ 50 กับ 60 จึงประมาณค่าโดยแบ่งระยะทางระหว่างเส้นร้อยละ 50 และ 60 เป็น 10 ส่วนเท่าๆ กัน แล้วอ่านค่าร้อยละของความชื้นสัมพัทธ์ของจุดกำหนดจากเส้นแบ่งส่วนนั้น จะได้
- 4) ร้อยละของความชื้นสัมพัทธ์ = 53
- 5) ปริมาตรอากาศชื้น เส้นแสดงปริมาตรอากาศชื้น เช่น เส้นพาดขวางที่มีความชื้นเป็นลบ จุดกำหนดอยู่ระหว่าง 0.86 และเส้น 0.87 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง โดยวิธีแบ่งส่วนระหว่างเส้นทั้งสอง เช่นเดียวกับข้อ 3) อ่านค่าได้
- 6) ปริมาตรอากาศชื้น = $0.566 \text{ m}^3 / \text{g dry air}$

2.4 ทฤษฎีการถ่ายเทมวล

ปรากฏการณ์ถ่ายเทมวล เป็นปรากฏการณ์ที่พบได้ในธรรมชาติ และมีความสำคัญในเชิงวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมหลายสาขา ต้องอาศัยพื้นฐานการถ่ายเทมวลมาช่วยในการออกแบบอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการทางอุตสาหกรรม เช่น การกลั่น การกรอง การอบแห้ง การแยกมลพิษออกจากของเสีย ตลอดจนกระบวนการทางชีวเคมี เช่น การหมัก เป็นต้น

การถ่ายเทมวล หมายถึง การที่องค์ประกอบหนึ่งในของผสม เคลื่อนที่จากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า หรือมีผลต่างของความเข้มข้นซึ่งกลไกการถ่ายเทมวล แบ่งเป็น 2 ลักษณะ ลักษณะแรก เป็นแบบที่เกิดขึ้นโดยโมเลกุลเคลื่อนที่แบบสุ่ม โดยที่ตัวกลางหรือของผสมนั้นอยู่นิ่ง (stagnant) หรือไหลอย่างเป็นระเบียบ (laminar flow) ซึ่งเราจะเรียกว่า เป็นการถ่ายเทมวลโดยการแพร่ของโมเลกุล (Diffusion Mass Transfer) เช่น การระเหยของน้ำในอากาศ การแพร่ของน้ำภายในวัสดุขณะอบแห้ง การแพร่ของออกซิเจนในน้ำหมักไปยังจุลินทรีย์

แบบที่สอง คือ การถ่ายเทมวลโดยการพา (Convective Mass Transfer) หมายถึง การถ่ายเทมวลที่เกิดจากผลต่างความเข้มข้นภายในของไหลที่มีการเคลื่อนที่ โดยที่ของไหลนั้นสัมผัสกับอีกสถานะหนึ่งหรือของไหลอีกชนิดหนึ่งที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ตัวอย่างเช่น การไหลของอากาศผ่านพื้นผิวที่เปียกชื้น การไหลของน้ำผ่านพื้นผิวที่ละลายน้ำได้ เช่น กรดเบนโซอิก เราสามารถเปรียบเทียบการถ่ายเทมวลทั้งสองแบบได้กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การถ่ายเทความร้อน โดยทั่วๆ ไปการแพร่จามีอัตราการถ่ายเทมวลที่ช้ากว่าการถ่ายเทมวลโดยการพา และทั้งสองกลไกอาจเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน

2.4.1 การถ่ายเทมวลโดยการพา (Convective Mass Transfer)

เป็นการถ่ายเทมวลที่อาจจะเกิดขึ้นระหว่างของไหล ซึ่งเคลื่อนที่ผ่านพื้นผิว หรือระหว่างของไหลเคลื่อนที่สองชนิด ซึ่งไม่ละลายซึ่งกันและกัน การถ่ายเทมวลโดยการพาขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของของไหล ลักษณะทางพลศาสตร์ของของไหลซึ่งเคลื่อนที่

การถ่ายเทมวลโดยการพานี้ แบ่งเป็น 2 แบบ คือ แบบบังคับและแบบธรรมชาติ การถ่ายเทมวลโดยการพาแบบบังคับ เป็นการที่ของไหลเคลื่อนที่หรือไหลเพราะแรงกระทำ เช่น โดยอาศัยปั๊มหรืออุปกรณ์อื่น ส่วนการถ่ายเทมวลโดยการพาแบบธรรมชาติเป็นการเคลื่อนที่ของของไหล เนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ ความเข้มข้นหรือความหนาแน่น

สมการแสดงอัตราการพามวล เขียนเป็นสมการแบบเดียวกันกับสมการการเย็นตัวของนิวตัน ดังนี้

$$N_A = kc\Delta CA \quad (2.5)$$

โดย N_A เป็นโมลาร์ฟลักซ์ของ A เทียบกับพิคคองที่ CA คือผลต่างของความเข้มข้นของ A ระหว่างค่าที่พื้นผิวกับค่าเฉลี่ยในของไหลหรือระหว่างค่าเฉลี่ยในของไหลสองเนื้อ kc เป็นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล ซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะรูปทรงของระบบและคุณสมบัติการไหลของของไหลในกรณีที่ของไหลไหลผ่านพื้นผิว เรียกสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลว่า สัมประสิทธิ์ฟิล์ม (Film Coefficient) เพราะที่ใกล้บริเวณผิวประกอบด้วยชั้นของของไหลซึ่งบางมาก คือ ชั้นขอบเขต (boundary layer) การถ่ายเทมวลระหว่างพื้นผิวกับของไหลจะถูกจำกัดและควบคุมโดยความต้านทานในฟิล์มชั้นบางนี้ดังนั้นอาจเรียกสัมประสิทธิ์ว่าสัมประสิทธิ์ฟิล์มได้ด้วย

2.4.2 สมการการถ่ายเทมวลโดยการพา

ในการถ่ายเทมวลในระบบซึ่งมีรูปทรงเรขาคณิตซับซ้อน อาจไม่สามารถใช้วิธีวิเคราะห์ได้จึงได้มีผู้ที่นำข้อมูลการทดลองจากการถ่ายเทมวลในกรณีต่างๆกันมาหาความสัมพันธ์ เป็นสมการที่สะดวกแก่การนำไปใช้ และมีความถูกต้องเป็นที่ยอมรับได้ ในช่วงตัวแปรที่ระบุไว้ในสมการนั้นๆ โดยต่อไปนี้จะแสดงสมการในแต่ละลักษณะเพื่อความสะดวกแก่การนำไปใช้

การถ่ายเทมวลระหว่างแผ่นระนาบ รูปทรงกลม รูปทรงกระบอก ซึ่งอาจเป็นการระเหิดของของแข็ง การระเหยของของเหลวไปในอากาศ หรือการละลายของของแข็งในน้ำ ความสัมพันธ์จะอยู่ในรูปตัวแปรไร้หน่วยที่เกี่ยวข้องสำหรับแต่ละกรณี

กรณีที่ 1 แผ่นราบ

$$\text{ลามินาร์ } Sh_L = 0.664Re_L^{1/2}Sc^{1/3}, \quad Re_x < 3 \times 10^5 \quad (2.6)$$

$$\text{เทอร์บิวเลนซ์ } Sh_L = 0.036Re_L^{4/3}Sc^{1/3}, \quad Re_x < 3 \times 10^5 \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และที่ระยะ X ใดๆ จากปลายแผ่น พบว่าคำตอบที่หาจากการวิเคราะห์ชั้นขอบเขต คือ

$$\frac{K_{cx}}{D_{AB}} = Sh_x = 0.332 Re_x^{1/2} Sc^{1/3}$$

กรณีที่ 2 รูปทรงกลม

กรณีการถ่ายเทมวลโดยการพามวลแบบบังคับ

การถ่ายเทมวลจากผิวไปยังทรงกลมเดี่ยว

$$Sh = 2 + 0.664 Re_L^{1/2} Sc^{1/3} \quad (2.8)$$

เมื่อ $800 < Re < 12000$ และ $0.6 < Sc < 2.7$

$$Sh = (4 + 1.212 Pe_{AB}^{4/3})^{1/2} \quad (2.9)$$

โดย $Pe_{AB} < 10000$ ซึ่ง Pe_{AB} คือ ค่าเพ็คเลตนิมเบอร์,

$$Pe_{AB} = Re Sc \quad (2.10)$$

แต่ถ้า $Pe_{AB} > 10000$,

$$1.01 Pe_{AB}^{1/3} = Re Sc \quad (2.11)$$

กรณีการถ่ายเทมวลโดยการพามวลแบบธรรมชาติ

$$Sh = Sh_{nc} + 0.664 (Re Sc^{1/2})^{0.62} \quad (2.12)$$

โดยที่ $1 < Re < 3 \times 10^4$ และ $0.6 < Sc < 3200$

และ Sh_{nc} แทนการถ่ายเทมวลโดยการพามวลแบบธรรมชาติ คำนวณ ได้ดังนี้

$$Sh_{nc} = 2 + 0.569 (G_{LAB} Sc)^{0.25}, \quad G_{LAB} Sc < 10^8 \quad (2.13)$$

$$Sh_{nc} = 2 + 0.0254 (G_{LAB} Sc)^{1/3}, \quad G_{LAB} Sc < 10^8 \quad (2.14)$$

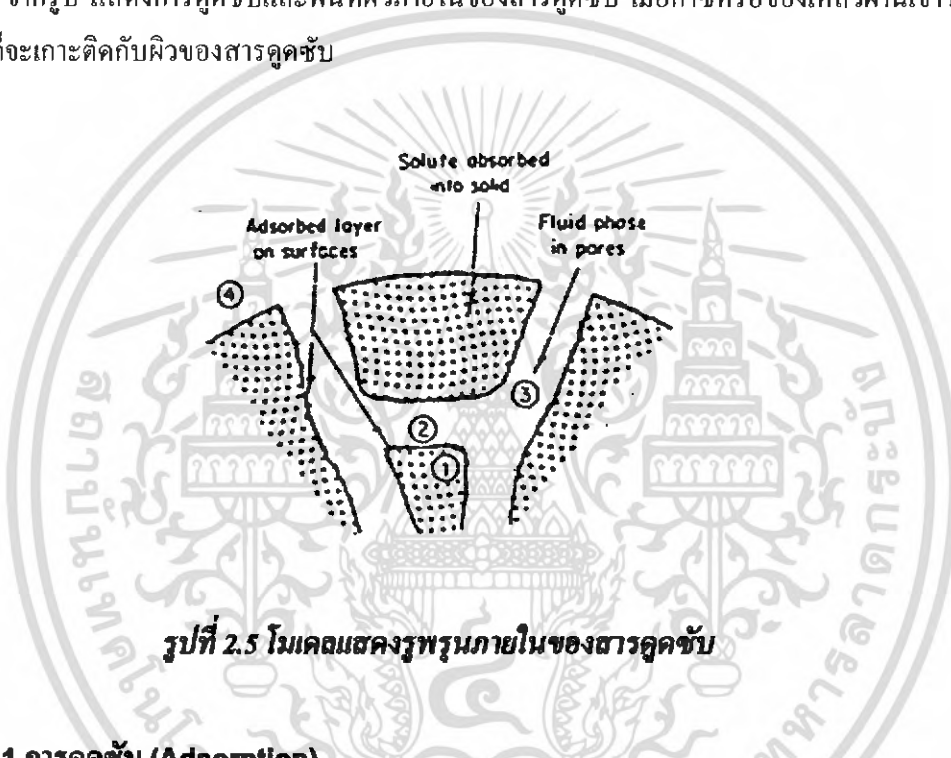
โดย $G_{LAB} = (gL^3 \rho \Delta \rho) / \mu \quad (2.15)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ทฤษฎีการดูดซับ (Adsorption Theory)

การดูดซับเป็นการแยกองค์ประกอบทั้งของเหลวและก๊าซโดยใช้สารดูดซับ (adsorbent) ซึ่งสารดูดซับจะเป็นสารที่รูพรุนมาก สามารถให้นุภาคแทรกเข้าไปอยู่ได้ โดยปกติตัวดูดซับจะนำมาบรรจุในหอและให้ของเหลวหรือก๊าซผ่านอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งตัวดูดซับอิ่มตัวเมื่อถึงจุดนี้การแยกองค์ประกอบไม่สามารถทำต่อไปได้อีก ต้องนำสารดูดซับมาทำการไล่องค์ประกอบที่ถูกดูดซับในตัวดูดซับออก (regeneration)

สารดูดซับจะมีรูพรุนมาก มีพื้นที่ผิวภายในมาก องค์ประกอบของตัวถูกละลายสามารถแทรกอยู่ตามพื้นผิวนั้นได้ จากรูป แสดงการดูดซับและพื้นที่ผิวภายในของสารดูดซับ เมื่อก๊าซหรือของเหลวผ่านเข้าไปในรูพรุนอนุภาคก็จะเกาะติดกับผิวของสารดูดซับ



รูปที่ 2.5 โมเดลแสดงรูพรุนภายในของสารดูดซับ

2.5.1 การดูดซับ (Adsorption)

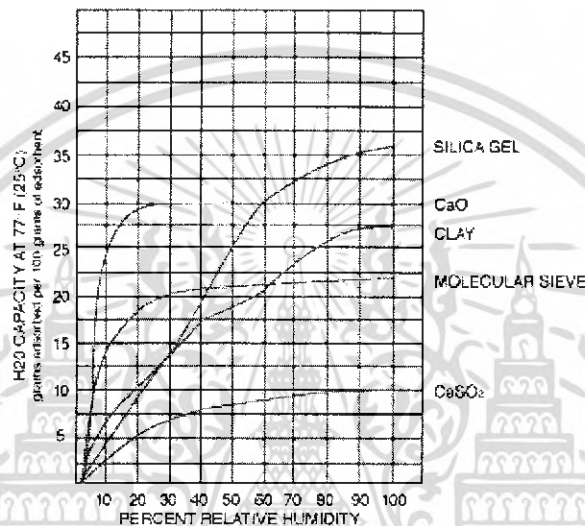
การดูดซับนั้นเป็นปรากฏการณ์ที่โมเลกุลของสาร ไปเกาะอยู่บนผิวหน้าของของแข็ง หรือของเหลว สารที่ไปเกาะ เรียกว่า สารที่ถูกดูดซับ (adsorbent) ส่วนของแข็งหรือของเหลวที่ผิวหน้าถูกสารนั้นเกาะอยู่ เรียกว่า สารดูดซับ (adsorbent) แรงที่ทำให้เกิดการเกาะหรือยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับ และโมเลกุลที่ผิวหน้าของสารดูดซับมี 2 ชนิด ชนิดแรกเป็น Van der waal force เรียกการดูดซับแบบนี้ว่าเป็น Physical adsorption ชนิดที่ 2 เป็นแบบที่มี Chemical Interaction เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับ เรียกว่า Chemical Adsorption การดูดซับที่เกิดขึ้น และใช้ในอุตสาหกรรมนั้น มักเป็นแบบ Physical Adsorption เป็นส่วนใหญ่ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับได้แก่

1. ความดันหรือความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับ
2. อุณหภูมิของสารที่ถูกดูดซับ
3. ชนิดของสารที่ถูกดูดซับ
4. ชนิดของสารดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 สารดูดซับ (adsorbent)

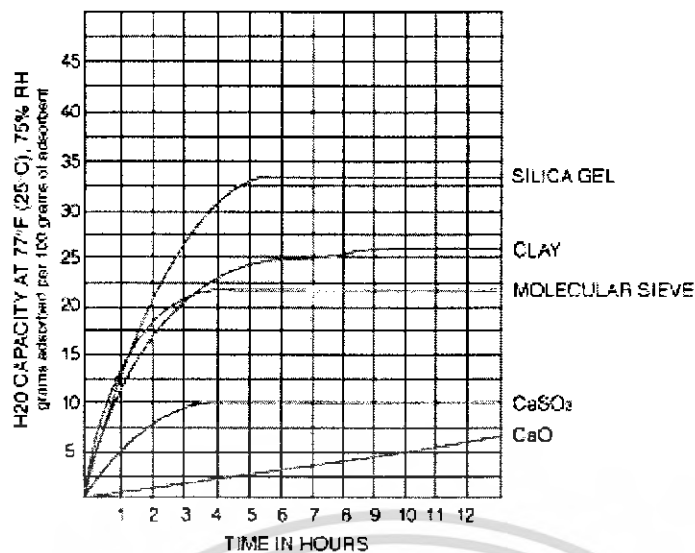
สารดูดซับที่มีใช้ในอุตสาหกรรม มักได้จากธรรมชาติ หรือจากการสังเคราะห์ของวัสดุที่มีโครงสร้างแบบ amorphous หรือ microcrystalline สารดูดซับที่ใช้ในอุตสาหกรรมมีหลายชนิด เช่น silica gel, activated carbon, activated alumina fuller's earth และ clay นอกจากนี้ก็ยังมีสารสังเคราะห์ สารดูดซับ ตัวใหม่ ๆ ขึ้นมาอีก เช่น การค้นพบหรือการสังเคราะห์ molecular sieve ซึ่งมี synthetic adsorb อยู่ในรูปแบบของ alumina silicates ซึ่งมีขนาดของ "pore" สม่่าเสมอมาก สำหรับ molecular sieve ชนิดหนึ่ง ๆ ซึ่งสามารถทำการดูดซับแบบเลือกเฉพาะ (selected adsorption) ได้



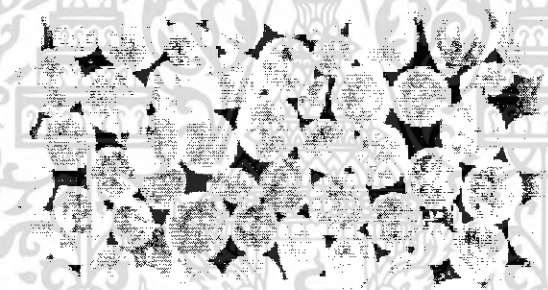
รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมมูลการดูดซับน้ำกับความชื้นสัมพัทธ์ของตัวดูดซับแต่ละชนิด

Silica gel

เป็นสารดูดความชื้นที่เป็นของแข็งที่ได้รับการศึกษาอย่างกว้างขวางชนิดหนึ่ง ซึ่งมีลักษณะเป็นเม็ด มีส่วนผสมระหว่างโซเดียมซิลิเกต (Sodium silicate) และซัลเฟอร์เอซิด (Sulfuric acid) เกิดเป็นโพลิเมอร์ของกรดซิลิซิก (Silicic acid) ดังนั้นเมื่อได้รับความร้อนแล้วซิลิกาเจลจะคายความชื้นออกมา องค์ประกอบทางเคมี คือ $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ จะมีน้ำปนอยู่ประมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก โดยทั่วไปแล้วที่ผิวของซิลิกาเจลจะมีลักษณะเป็นรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 nm และมีพื้นที่ผิวประมาณ $500,000 \text{ m}^2/\text{kg}$ ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต ในการเลือกใช้สารดูดความชื้นสามารถพิจารณาจากกราฟสมมูลความชื้นของสารดูดความชื้นดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมการดูดซับน้ำกับเวลาของตัวดูดซับแต่ละชนิด



รูปที่ 2.8 จีลิกานอล

2.5.3 การฟื้นฟูสภาพ(regeneration)

หลังจากที่เรา นำสารดูดซับ (adsorbent) มาใช้ในการดูดความชื้น สารดูดซับนั้น อิ่มตัว หรือสามารถดูดซับได้ตามที่ต้องการแล้ว ควรมีการนำสารดูดซับนั้น มาทำการฟื้นฟูสภาพ(regenerate)ใหม่ เพื่อสามารถนำกลับมาใช้ได้อีกครั้ง การฟื้นฟูสภาพ (regenerate) สามารถทำได้หลายวิธี ดังนี้

- 1) Thermal – swing cycle การคั่งสารที่ถูกดูดซับ (adsorption) ออก เกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่าขณะที่เกิดการดูดซับ(adsorption) การนำสารดูดซับ (adsorbent) ไปใช้งานจำเป็นต้องมีการระบายความร้อน(cooling)ด้วย
- 2) Pressure – swing cycle การคั่งสารที่ถูกดูดซับ จะกระทำที่ความดันต่ำกว่าความดันขณะที่เกิดการดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) Purge – gas stripping cycle เป็นการใช้ purge – gas ซึ่งไม่ถูกดูดซับ แต่ทำให้ความดันย่อย (partial pressure) ของตัวที่ถูกดูดซับ มีค่าลดลง แต่ทำให้ความดันย่อยของตัวที่ถูกดูดซับมีค่าลดลง
- 4) Displacement cycle เป็นการนำของไหล ซึ่งถูกดูดซับได้ตัวที่สองไปแทนที่สารที่ถูกดูดซับนั่นเอง

2.6 ทฤษฎีระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศเป็นการถ่ายเทพลังงานความร้อนของสภาวะภายในห้องให้เหมาะสมต่อความต้องการในสภาวะที่กำหนด ในสภาวะอากาศในห้องบางที่อาจจะหนาวมาก ร้อนมาก มีความชื้นมาก อากาศแห้งมาก ระบบปรับอากาศนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนสภาวะให้ได้ตามที่ต้องการ

การทำงานของระบบปรับอากาศจะเป็นวัฏจักรการทำงานเป็น เริ่มจากเมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศ สารทำความเย็นเหลวจะไหลผ่านอุปกรณ์ป้อนสารทำความเย็นเข้าไปยังแผงท่อทำความเย็นซึ่งติดตั้งอยู่ภายในห้อง พัดลมส่งลมเย็นจะดูดอากาศร้อนและชื้นภายในห้องผ่านแผ่นกรองอากาศซึ่งติดตั้งอยู่ด้านหน้าของแผงท่อทำความเย็นเพื่อกรองฝุ่นละออง และอากาศร้อนชื้นนี้จะคายความร้อนให้แก่สารทำความเย็นภายในแผงท่อทำความเย็น ทำให้อุณหภูมิและความชื้นลดลงและถูกพัดลมส่งลมเย็นส่งกลับเข้ามาสู่ห้องอีกครั้งหนึ่งโดยผ่านคอยล์ เพื่อให้ลมเย็นแพร่ไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของห้องอย่างทั่วถึง

สำหรับสารทำความเย็นเหลวภายในแผงท่อทำความเย็น เมื่อได้รับความร้อนจากอากาศภายในห้องจะระเหยกลายเป็นไอ และไหลเข้าสู่คอมเพรสเซอร์ซึ่งจะอัดไอนี้เพื่อส่งต่อไปยังแผงท่อระบายความร้อนซึ่งติดตั้งอยู่นอกอาคาร พัดลมระบายความร้อนจะดูดอากาศภายนอกมาระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็น ทำให้ไอสารทำความเย็นกลั่นตัวกลับเป็นของเหลวอีกครั้งหนึ่งและไหลออกจากแผงท่อระบายความร้อนไปสู่ อุปกรณ์ป้อนสารทำความเย็น วนเวียนเป็นวัฏจักรเช่นนี้ตลอดเวลาจนกว่าอุณหภูมิในห้องจะถึงระดับที่เราตั้งไว้ อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิก็จะส่งสัญญาณให้คอมเพรสเซอร์หยุดทำงานชั่วคราวหนึ่ง จึงประหยัดส่วนไฟฟ้าส่วนที่ป้อนให้คอมเพรสเซอร์ทำงานได้ แต่พัดลมส่งลมเย็นยังคงทำหน้าที่ส่งลมให้ภายในห้อง จนเมื่อความร้อนภายในห้องเริ่มทำให้อุณหภูมิของห้องสูงขึ้นตัวอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิก็จะส่งสัญญาณให้คอมเพรสเซอร์ทำงาน เพื่อให้สารทำความเย็นไหลผ่านแผงท่อทำความเย็นใหม่

กล่าวโดยสรุปก็คือ เครื่องปรับอากาศทำหน้าที่พาความร้อนที่เกิดขึ้นภายในห้องต่าง ๆ ผ่านทางแผงท่อทำความเย็นออกไปทิ้งภายนอกโดยผ่านทางแผงท่อระบายความร้อนนั่นเอง

2.6.1 อุปกรณ์ระบบปรับอากาศ

การสร้างระบบปรับอากาศในปัจจุบันได้มีการพัฒนาอยู่ตลอดเวลาและในการสร้างระบบปรับอากาศจะมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่มากมาย เช่น ในส่วนของระบบการทำงาน ส่วนการควบคุมการทำงาน

ในระบบปรับอากาศที่ได้ใช้ตามบ้านเรือนหรือห้องทำงานโดยทั่ว ๆ ไปแล้วจะมีด้วยกันสองส่วนที่เห็นก็คือ ชุดคอยล์เย็นหรือชุดอีวาพอเรเตอร์ และชุดคอนเดนซิ่งยูนิต ซึ่งเราอาจจะเรียกชนิดของระบบปรับอากาศนั้นก็คือแบบ split type นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลางพระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.6.1.1 ชุดคอยล์เย็นหรือชุดอีวาพอเรเตอร์

- 1) คอยล์เย็นหรืออีวาพอเรเตอร์ เป็นขดทองแดงและมีครีบบะลูมิเนียมช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับปริมาณความร้อนจากอากาศในห้องขณะที่น้ำยา R - 22 ภายในระบบครบบริเวณนี้ระเหยเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ จะดูดซับปริมาณความร้อนผ่านทางเดินน้ำยาเข้าไปยังน้ำยาภายในระบบทำให้อุณหภูมิโคจรอบคอยล์เย็นลดต่ำลง
- 2) เทอร์โมสแตติกเอกซ์แพนชันวาล์ว ส่วนใหญ่ชุดควบคุมการไหลของน้ำยาที่ใช้สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนมักจะใช้เทอร์โมสแตติกเอกซ์แพนชันวาล์ว ซึ่งเป็นแบบที่มีหลักการปรับควบคุมการไหลของน้ำยาได้ดี
- 3) ท่อของเหลว เป็นท่อที่ต่อเข้ากับชุดคอนเดนซิ่งยูนิตเพื่อให้ น้ำยาเหลวที่กลั่นตัวเรียบร้อยแล้วจากคอนเดนเซอร์ ส่งผ่านท่อนี้เข้ายังเอกซ์แพนชันวาล์ว
- 4) ท่อทางดูด เป็นอีกท่อหนึ่งที่ไปต่อเข้ากับชุดคอนเดนซิ่งยูนิตตรงทางดูดของตัวคอมเพรสเซอร์ ให้น้ำยาสถานะแก๊สที่มีอุณหภูมิต่ำ และความดันต่ำจากคอยล์เย็นถูกดูดผ่านทางดูดเข้ายังคอมเพรสเซอร์
- 5) มอเตอร์พัดลม สำหรับชุดคอยล์เย็นแบบตั้งพื้นแขวนเพดานหรือซ่อนในฝ้า มอเตอร์พัดลมจะเป็นแบบ 2 แคน หมุนใบพัดหัวท้าย เพื่อดูดอากาศจากภายในห้องมาเป่าผ่านคอยล์เย็น กลับเข้าไปหมุนเวียนภายในห้อง
- 6) ใบพัด ใบพัดที่เข้าสำหรับดูดเป่าอากาศหมุนเวียนให้กระจายความเย็นภายในห้องจะเป็นใบพัดแบบกรงกระรอกหรือแบบเซอร์รอกโค เช่นเดียวกับที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง แต่สำหรับชุดคอยล์เย็นแบบติดผนังรุ่นใหม่ๆ เนื่องจากการออกแบบต้องการให้มีความบางมาก ๆ ดังนั้นใบพัดจึงต้องมีขนาดเล็ก
- 7) ภาตรองน้ำหยดจะติดตั้งอยู่ด้านล่างของชุดคอยล์เย็น เมื่อน้ำในอากาศในห้องปรับอากาศกระทบความเย็นจะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำรอบ ๆ คอยล์เย็น เมื่อน้ำเหล่านี้มีมากขึ้นจะไหลลงสู่ภาตรองน้ำหยดและท่อน้ำทิ้งออกทิ้งภายนอกทงน้ำทิ้งอีกทีหนึ่งซึ่งจะเป็นการลดความชื้นของอากาศภายในห้องให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสม
- 8) ฟิลเตอร์กรองอากาศ จะติดตั้งอยู่ที่ทางลมกลับสำหรับกรองฝุ่นละอองของอากาศภายในห้องไม่ให้เข้าไปอุดตันในครีบบของคอยล์เย็น

2.6.1.2 ชุดคอนเดนซิ่งยูนิต

- 1) มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนนี้จะเป็นแบบเซอร์เมติกซึ่งมีส่วนของมอเตอร์และคอมเพรสเซอร์อยู่ในตัวเดียวกัน ส่วนของคอมเพรสเซอร์มีอยู่ 2 แบบคือแบบลูกสูบและแบบโรตารีเหมือนกันกับมอเตอร์คอมเพรสเซอร์เครื่องปรับอากาศแบบติดหน้าต่าง
- 2) คอนเดนเซอร์ เป็นขดทองแดงและมีครีบบช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการระบายความร้อนออกจากน้ำยา เพื่อให้ น้ำยาในสถานแก๊สกลั่นตัวเป็นน้ำยาเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเอกสาร และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) มอเตอร์พัดลม จะช่วยในการระบายความร้อนออกจากร้านยาในคอนเดนเซอร์ จะเห็นได้ว่า เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนมีมอเตอร์พัดลมแยกจากกันเป็น 2 ตัวคือ อยู่ในชุดคอยล์เย็น 1 ตัว และอยู่ที่ชุดคอนเดนซึ่งยูนิตอีก 1 ตัว
- 4) ไขพัดลม ไขพัดลมสำหรับระบายความร้อนออกที่คอนเดนเซอร์จะเป็นไขพัดแบบธรรมดา เช่นเดียวกับไขพัดระบายความร้อนคอนเดนเซอร์ของเครื่องปรับอากาศแบบติดหน้าต่าง

2.6.2 ภาวะความร้อน

- 1) ความร้อนสัมผัส (Sensible heat)

$$Q_s = mC_p \Delta T \quad (2.16)$$

เมื่อ	Q_s	ความร้อนสัมผัสของอากาศ (kJ)
	m	มวลของอากาศ
	C_p	ความร้อนจำเพาะของอากาศที่ความดันคงที่ 1 kJ/kg.K
	ΔT	ความแตกต่างระหว่างสภาวะแรกและสภาวะสุดท้ายของอุณหภูมิ °C

- 2) ความร้อนแฝง (Latent heat)

$$Q_L = m(w \times h_w) \quad (2.17)$$

เมื่อ	Q_L	ความร้อนแฝงของอากาศ kJ
	m	มวลของอากาศ kg
	w	อัตราส่วนความชื้นของอากาศ kg/kg _{dry air}
	h_w	เอนทาลปีจำเพาะของไอน้ำในอากาศโดยปกติใช้ค่า h_w ของไอน้ำ

- 3) ภาวะความร้อนจากชิลิกาเจล

$$Q_D = R_D(Cp_w t_w + h_w) \quad (2.18)$$

เมื่อ	Q_D	ปริมาณความร้อนจากการดูดซับความชื้น k_w
	R_D	อัตราการดูดความชื้นที่แปรผันตามเวลา

$$R_D = -\rho_s \times v_s \times \frac{\partial w}{\partial t}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- C_{p_w} ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศชื้น $1.86 \text{ kJ/kg}_w (\text{K})$
 T_w อุณหภูมิกระเปาะเปียก ($^{\circ}\text{C}$)
 h_s ความร้อนจากกระบวนการดูดซับความชื้นในซิลิกาเจล
 $h_s = (-1079X + 2745) (\text{kJ/kg}_w)$
 X อัตราส่วนความชื้นของสารดูดความชื้น ($\text{kg}_w/\text{kg}_{\text{dry air}}$)

4) มวลของอากาศ (Air of mass)

$$M = \rho x v \quad (2.19)$$

- เมื่อ m มวลของอากาศ kg
 ρ ความหนาแน่นของอากาศ kg/m^3
 v ปริมาตรอากาศ m^3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

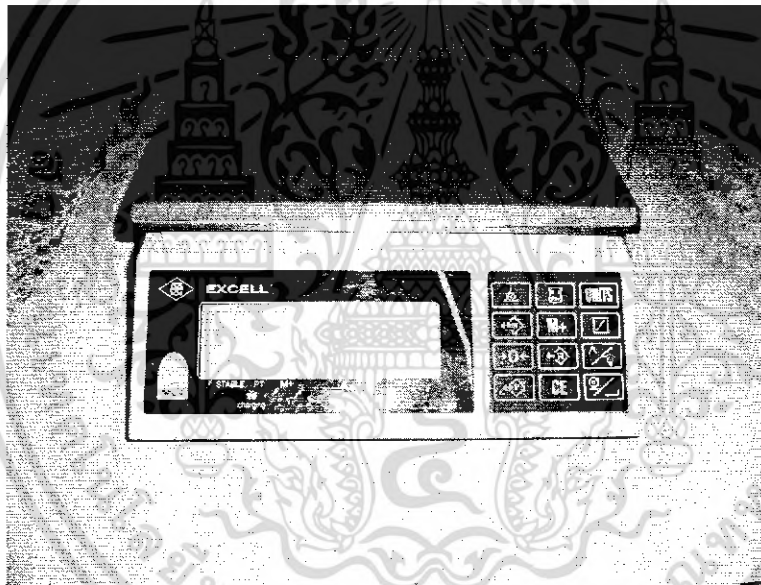
วิธีการดำเนินงานและอุปกรณ์

ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองศึกษาการลดความชื้น เพื่อลดความร้อนแฝงของอากาศซึ่งเป็นภาระความเย็นในระบบปรับอากาศ โดยการสร้างและออกแบบเครื่องดูดความชื้นมาใช้ในระบบปรับอากาศให้มีสมรรถนะในการดูดซับความชื้นที่ดีที่สุด

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 เครื่องมือชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล

ของบริษัท CE รุ่น AWH- 30KG สามารถชั่งน้ำหนักได้ 30 Kg ค่าความละเอียด 0.001 Kg ดังแสดงในรูปที่ 3.1

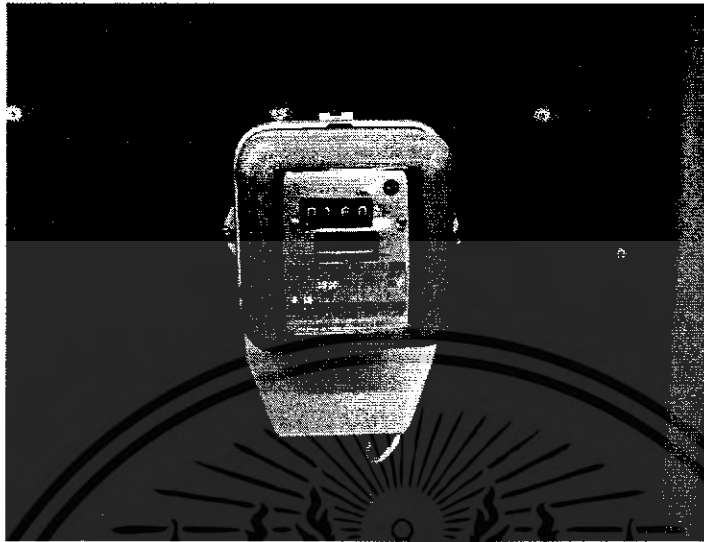


รูปที่ 3.1 เครื่องมือชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 Single – Phase Watt-Hour Meter

เป็นอุปกรณ์วัดจำนวนการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า ซึ่งมีหน่วยเป็น (kW-h) ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 Single – Phase Watt-Hour Meter

3.1.3 เครื่องมือวัดความชื้น

เครื่องมือวัดความชื้นที่ใช้เป็นเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปิด เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้ง ซึ่งมีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส

3.1.4 เครื่องมือวัดความเร็วลม

เครื่องมือที่ใช้วัดความเร็วลมเป็น Hot Wire รุ่น Testo 445 ที่มีการแสดงผลแบบดิจิทัล ดังแสดงในรูป 3.4



รูปที่ 3.4 เครื่องมือวัดความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 เครื่องมือวัดความเร็วรอบ

เครื่องมือที่ใช้วัดความเร็วรอบเป็นของบริษัท CE รุ่น DMM-8905 มีการแสดงผลแบบดิจิตอล ดังแสดงในรูปที่

3.5



รูปที่ 3.5 เครื่องมือวัดความเร็วรอบ

3.2 การดำเนินงาน

3.2.1 การวางแผนการออกแบบ

1) ข้อสมมติฐานในการออกแบบ

- ไม่มีความชื้นที่ผิวซิลิกาเจล
- การไหลของอากาศขึ้นผ่านอนุภาค เปรียบเสมือนกับไหลผ่านอนุภาคกลมเดี่ยว
- ไม่คิดกลไกการแพร่ความชื้นภายในเม็ดซิลิกาเจล
- อัตราการถ่ายเทมวลในช่วงเวลาที่พิจารณาไม่เปลี่ยนแปลง (Steady state)

2) ข้อกำหนดในการออกแบบ

- อัตราการไหลของอากาศประมาณ 400 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที
- ทำการทดลองที่ความดันบรรยากาศ
- อุณหภูมิของสภาวะแวดล้อมโดยเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ 60 %
- มีกระบวนการคืนสภาพพร้อมๆ กับกระบวนการดูดความชื้น

3.2.2 การสร้างชุดลดความชื้น

1) เขียนแบบ

2) การสร้างเครื่องดูดความชื้นตามแบบที่เขียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) การประกอบชุดอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของชุดลดความชื้น เช่น มอเตอร์, พัดลม, เครื่องทำความร้อน, ชุดท่อส่งอากาศเข้า และชุดท่อส่งอากาศออก
- 4) การติดตั้งชุดปรับอัตราการไหลของอากาศที่เข้าสู่ชุดลดความชื้น
- 5) ดำเนินการทดลอง
- 6) สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.3 วิธีการทดลอง

- 3.3.1 ติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิ เครื่องมือวัดความชื้นในห้องจำลองสภาพอากาศ
- 3.3.2 ติดตั้งเครื่องมือวัดความชื้น เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียก-กระเปาะแห้ง ที่ทางเข้าและทางออกของเครื่องลดความชื้น
- 3.3.3 ติดตั้ง Single Phase Watt-hour Meter ในเครื่องปรับอากาศ
- 3.3.4 เริ่มทดลองโดยนำชิลิกา เจลที่ผ่านการอบไล่ความชื้นจนเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินเข้มแล้วชั่งน้ำหนักก่อนทดลอง
- 3.3.5 บันทึกค่าต่างๆที่สถานะเริ่มต้นในห้องจำลองสภาพอากาศ
- 3.3.6 เปิดเครื่องปรับอากาศและอุปกรณ์ทำความชื้นตามจำนวนที่ต้องการเพื่อสร้างสถานะตามต้องการ
- 3.3.7 รอรอบบทำความชื้นและอุณหภูมิให้คงที่
- 3.3.8 เริ่มเปิดเครื่องลดความชื้นพร้อมกับบันทึกค่า เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียก-กระเปาะแห้ง ที่ทางเข้าและทางออกของเครื่องลดความชื้นทุกๆ 5 นาที
- 3.3.9 วัดพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศ วัดความเร็วรอบเครื่องลดความชื้น และวัดความเร็วลมที่ทางเข้าเครื่องลดความชื้น
- 3.3.10 ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อดูแนวโน้มและวิเคราะห์ผล
- 3.3.11 เริ่มทำการทดลองใหม่ตั้งแต่ขั้นที่ 3.3.4 โดยทำการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบและขนาดปริมาณสารซิลิกาเจลที่ค่าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 แนวทางวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล

- 3.4.1 นำข้อมูลมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ กับเวลาที่อัตราการไหล
ต่างๆและกราฟความสัมพันธ์ กับอัตราการไหล ที่ช่วงเวลาต่างๆ
- 3.4.2 สรุปผลการทดลอง เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานจริง
- 3.4.3 สรุปปัญหา และสาเหตุที่เกิดขึ้นในการทดลอง ตลอดจนปัญหาที่อาจเกิดขึ้นหาก
นำไปใช้งานจริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

ในบทนี้ได้แบ่งผลการทดลองออกเป็นสามส่วนด้วยกัน คือ ส่วนแรกได้แสดงผลการออกแบบอุปกรณ์ลดความชื้น และส่วนที่สองเป็นผลการทดลองผลของความชื้นต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ

4.1 ผลการออกแบบอุปกรณ์ลดความชื้น

4.1.1 ผลการคำนวณเกี่ยวกับซิลิกาเจล

การคำนวณหาจำนวนเม็ดซิลิกาเจลที่ใช้สำหรับอุปกรณ์ ประกอบด้วยตัวแปรที่สำคัญ ดังนี้

ก. ปริมาณความชื้นที่ต้องการเอาออกทั้งหมด, C คำนวณจาก

ปริมาณไอน้ำที่ RH 80 % - ปริมาณไอน้ำที่ RH 30 %

ผลการคำนวณ ดังนี้

จากคุณสมบัติของอากาศที่ 27 องศาเซลเซียส (แผนภูมิความชื้น Psychrometric Chart, ภาคผนวก ง.1)

$$\text{Air } R_H = 80\% ; H = 0.0135 \text{ kg water / kg dry air}$$

$$V = 0.8670 \text{ m}^3 / \text{kg dry air}$$

$$C_i, C_{\infty} = \frac{0.0135}{0.8650} = 0.0156 \text{ Kg water / m}^3$$

$$R_H = 30\% ; H = 0.0020 \text{ Kg water / kg dry air}$$

$$V = 0.8530 \text{ m}^3 / \text{kg dry air}$$

$$C_o = \frac{0.0020}{0.8530} = 0.0023 \text{ kg water / m}^3$$

$$\text{จาก } C = C_i - C_o$$

$$= 0.0156 - 0.0023$$

$$= 0.0133 \text{ kg water / m}^3$$

ข. ความเร็วของอากาศที่ไหลผ่าน

ผลการคำนวณ ดังนี้

อัตราการไหลของอากาศประมาณ 400 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที ($Q \sim 400 \text{ CFM}$)

$$Q = 0.189$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก $Q = V \cdot A$

$$V = Q / A$$

โดย A คือพื้นที่หน้าตัดบริเวณที่อากาศไหลผ่านคือ

$$V = (0.189 \text{ m}^3/\text{s}) / \left(\frac{\pi}{8} \times 30^2 \text{ m}^2 \right)$$

$$= 5.49 \text{ m/s}$$

ค. ค่าเรย์โนลด์ นัมเบอร์

จาก $Re = \frac{D_p \cdot V \cdot \rho}{\mu}$

$$D_p = 0.0026 \text{ m}$$

$$\rho = 10174 \text{ kg/m}^3$$

$$U = 1.84 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$$

ดังนั้น $Re = \frac{0.0026 \text{ m} \times 5.49 \text{ m/s} \times 1.174 \text{ kg/m}^3}{1.84 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}}$

$$Re = 910$$

ค่าเรย์โนลด์ นัมเบอร์ ดังกล่าวจาก Moody Diagram (ภาคผนวก ง.3)

พบว่า ความเร็วช่วงนี้เป็นการไหลแบบเทอร์บิวแลนต์

ง. สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล

เนื่องจากการไหลของอากาศเป็นการไหลอยู่ระหว่าง $800 < Re < 12000$ ดังนั้น

เลือกใช้สมการ

$$N_{sh} = 2 + 0.552 N_{Re}^{0.53} N_{Sc}^{1/3}$$

โดยที่ $N_{Sc} = \frac{\mu}{\rho D_{AB}}$

ค่า D_{AB} ของ Air-H₂O ที่ 298 K = $0.26 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ (ภาคผนวก ค.1)

จาก $\frac{D_{AB}(\text{condition1})}{D_{AB}(\text{condition2})} = \left[\frac{T_1}{T_2} \right]^{3/2} \left[\frac{P_2}{P_1} \right]$

$$D_{AB}(300\text{K}) = [300/298]^{3/2} [0.26 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}]$$

$$= 0.263 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

ดังนั้น $N_{Sc} = \frac{(1.84 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s})}{(1.174 \text{ kg/m}^3) (0.263 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s})}$

$$= 0.59$$

นำค่า $N_{Re} = 910$ และ $N_{Sc} = 0.59$ แทนในสมการ (3.5)

$N_{sh} = 2 + 0.552 (910)^{0.53} (0.59)^{1/3} = 19.77$
 เอกส เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (3.7) คำนวณค่าประสิทธิภาพการพามวล ได้ดังนี้

$$kc = \frac{N_{sh} \cdot D_{AB}}{D_p}$$

$$= \frac{(19.77)(0.263 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s})}{0.0026 \text{ m}}$$

$$kc = 0.2 \text{ m/s}$$

จ. พลักซ์การพามวล จากสมการ

$$N_A = kc (C_i - C_s), C_s = 0 \text{ เนื่องจากที่ผิวไม่มีความชื้นในช่วงเวลาที่พิจารณา}$$

$$= (0.2 \text{ m/s}) (0.0156 \text{ kg water/m}^3)$$

$$= 3.12 \times 10^{-3} \text{ kg water/m}^2 \cdot \text{s}$$

ฉ. ปริมาณความชื้นที่ชิลิกาเจล 1 เมตร ดูดซับได้

$$N_A = W/A$$

$$W = N_A \cdot A$$

$$A : \text{พื้นที่ผิวของชิลิกาเจล} = \pi \cdot (0.0026)^2$$

$$= 2.1237 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{เมตร}$$

$$\text{ดังนั้น } W = (3.12 \cdot 10^{-3} \text{ kg water/m}^2 \cdot \text{s}) \times (2.1237 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2) / \text{เมตร}$$

$$= 6.626 \times 10^{-7} \text{ kg water/s. เมตร}$$

ช. จำนวนเม็ดชิลิกาเจลที่ต้องใช้ทั้งหมด

$$\text{จำนวนเม็ดชิลิกาเจล} = \frac{\text{ปริมาณความชื้นที่ต้องการเอาออกทั้งหมดใน 1 อัตราการไหลของอากาศ}}{\text{ปริมาณความชื้นที่ชิลิกาเจล 1 เมตร สามารถดูดซับได้}}$$

อัตราการไหลของ

อากาศที่ได้จากกำลังมอเตอร์ในพัดลม ; $0.189 \text{ m}^3/\text{s}$

$$= \frac{0.0133 (\text{Kg water/m}^3) \times 0.189 (\text{m}^3/\text{s})}{6.626 \times 10^{-7} (\text{kg water/s. เมตร})}$$

$$= 66,000 \text{ เม็ด}$$

ให้ค่าความปลอดภัย (safety factor) เท่ากับ 3 ;

จะได้ $= 3 \times 66,000 = 198,000 \text{ เม็ด}$
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. น้ำหนักซิลิกาเจลทั้งหมด

(ข้อมูลจากการทดลอง)

ซิลิกาเจลปริมาตร 0.05 ลิตร มี 1,456 เม็ด

bulb density = 0.98 กิโลกรัม/ลิตร

$$\text{จากการคำนวณ จะได้ } \frac{198,000 \text{ เม็ด} \times 0.05 \text{ ลิตร}}{1,456 \text{ เม็ด}} = 6.79 \text{ ลิตร}$$

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักที่ต้องใช้} &= 6.379 \text{ ลิตร} \times 0.98 \text{ กิโลกรัม/ลิตร} \\ &= 6.66 \text{ กิโลกรัม} \end{aligned}$$

ดังนั้น น้ำหนักซิลิกาเจล ที่ต้องใช้ทั้งหมด คือ 6.66 กิโลกรัม

4.2 การออกแบบอุปกรณ์ลดความชื้น

4.2.1 จากสมมุติฐานการออกแบบอุปกรณ์ลดความชื้นเพื่อให้สามารถมีกระบวนการฟื้นฟูสภาพพร้อมกับลดความชื้นควบคู่กันไปขณะทำงาน จึงออกแบบให้มีลักษณะเป็นกล่องหมุนให้ผลัดเวียนแผงซิลิกาเจลให้หมุนผ่านลมร้อนของเครื่องทำความร้อนและวนกลับไปลดความชื้นดังรูป ก.1

4.2.2 แผงใส่ซิลิกาเจลดังรูปที่ ข.1 มีขนาดยาว 60 เซนติเมตร หนา 1 เซนติเมตร สูง 12.5 เซนติเมตร, 10.5 เซนติเมตร และ 8.5 เซนติเมตร มีลักษณะเป็นกล่อง ด้านหน้าเป็นมุ้งสวดและหุ้มด้วยตาข่ายเพื่อให้ติดตั้งด้านหลังปิดทึบมีช่องสี่เหลี่ยมกว้าง 2×2 เซนติเมตร พร้อมฝาหมุนปิด-เปิดได้สำหรับเป็น ช่องใส่ซิลิกาเจล แผงซิลิกาเจลวางเรียงกันตามแนวยาวของกล่อง

4.2.3 แผงบังคับทิศทางการไหลของอากาศ เพื่อให้อากาศที่ผ่านเข้าออกไม่ไหลปนกับอากาศที่ทำการฟื้นฟูสภาพและให้อากาศไหลราบเรียบกับแผงซิลิกาเจล สร้างโดยใช้แผ่นอลูมิเนียมบางพับเป็นหยักๆ ให้สูงขึ้นมา 0.75 เซนติเมตร ห่างกัน 1.5 เซนติเมตร มีขนาดความสูงและความยาวเท่ากับแผงซิลิกาเจลให้ประกบกันได้พอดี

4.2.4 โครงสร้างเพื่อรองรับกล่อง มีช่องทางการไหลของอากาศต่อกับท่ออากาศที่มาจากห้องช่องเข้าออกของอากาศที่ผ่านกล่องเป็นหน้าตัดครึ่งวงกลม ใช้แผ่นหนังยื่นออกไปรับกับกล่องเพื่อเชื่อมต่อระหว่างช่องอากาศกับกล่อง

4.2.5 ช่องอากาศเพื่อการฟื้นฟูสภาพ ทำจากอะลูมิเนียม ให้มีหน้าตัดช่องอากาศเป็นครึ่งวงกลม ติดตั้งพัดลมเป่าอากาศผ่านขดลวดทำความร้อน

4.3 การสร้างอุปกรณ์ลดความชื้น

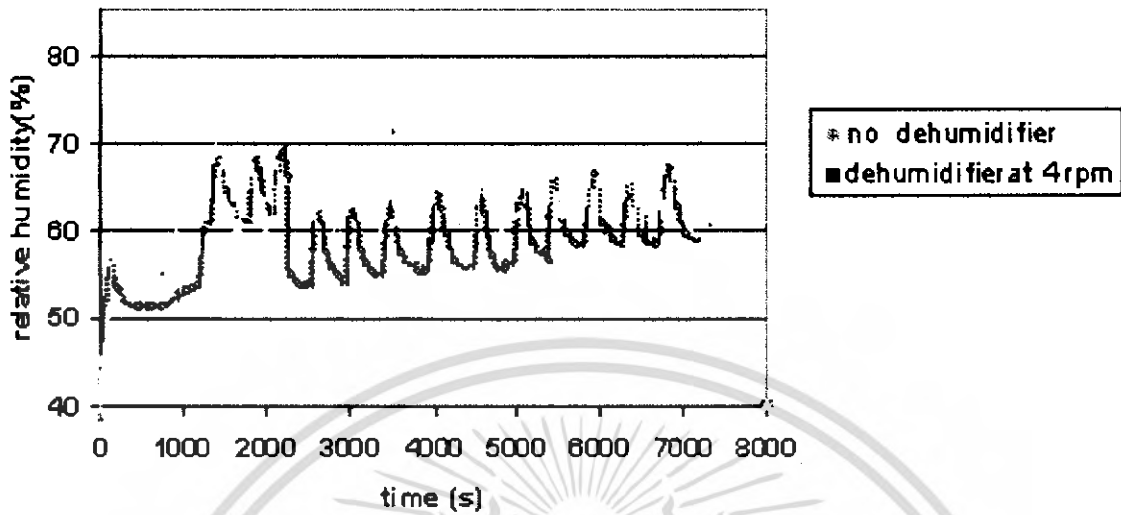
ตารางที่ 4.1 แสดงวัสดุที่ใช้สร้างอุปกรณ์ลดความชื้น

ลำดับ	ขนาด	รายการ	จำนวน
1.	40×30 cm	แผ่นอะคริลิก หน้า 10 mm	4
2.	3 cm×6 m	เหล็กฉาก	3
3.	30×60 cm	ท่ออะคริลิก	1
4.	120×180 cm	ไม้อัด 5 mm	1
5.	15 cm×5 m	ท่ออากาศ	1
6.	1×1 m	แผ่นอะลูมิเนียมหนา	2
7.	1×1.5 m	แผ่นอะลูมิเนียมหนา	3
8.	1×1.5 m	นึ่งลาวด	1
9.	1×1.5 m	ตาข่าย	1
10.	6 m	เหล็กแบน กว้าง 1 cm หน้า 0.5 cm	1
11.	80 cm	เหล็กเหลาขาว เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 cm	1
12.	15 cm	เหล็กเหลาขาว เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 cm	2
13.	1.5 cm	เบร้ง	1
14.		พัดลมเหล็ก 6 นิ้ว DC 15 V 1.5 A	1
15.		พัดลมเหล็ก 6 นิ้ว AC 15 V 0.15 A	1
16.	30	แผงทำความร้อน 1 kW	1
17.		POWER SUPPLY 12 V 10 A	1
18.	15 m	สายไฟฟ้า	1
19.	M6	BOLT NUT WASHER	50
20.		GEAR MOTOR 12 V 1.5 A	1
21.	M3	BOLT NUT WASHER	150

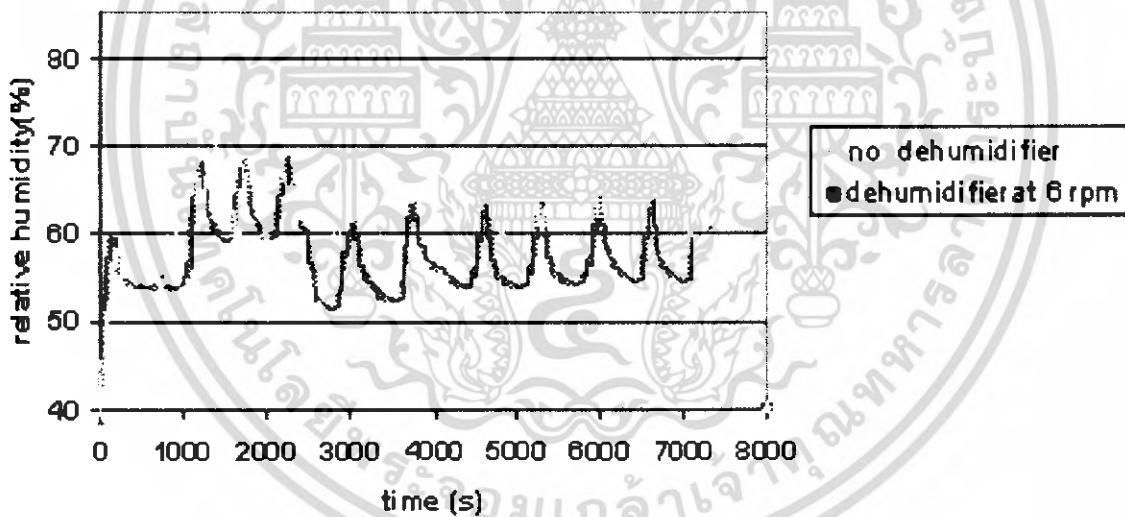
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดลอง

4.4.1 ผลการทดลองที่ 1

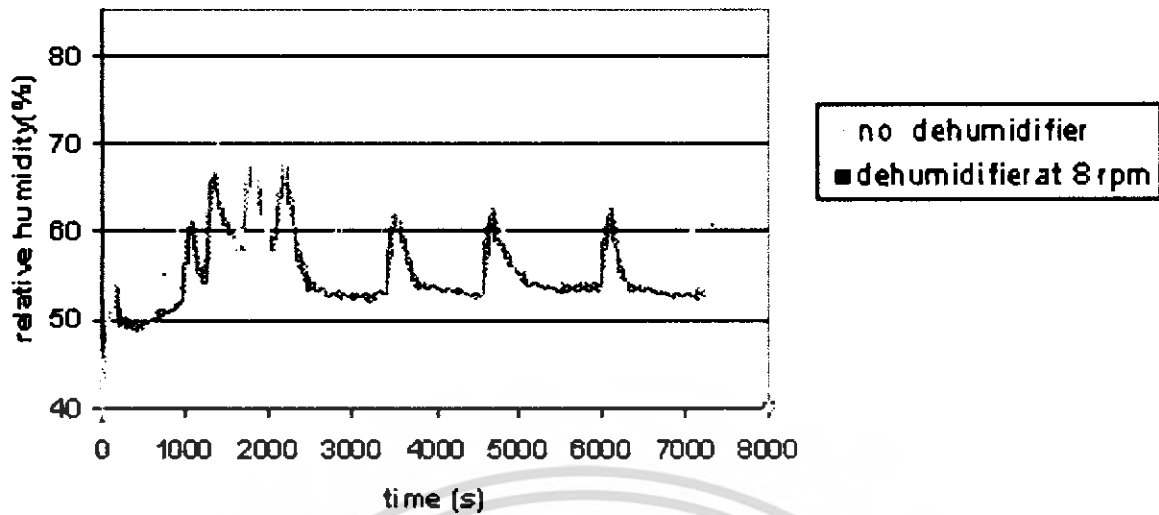


รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 4 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 58 - 65 เปอร์เซ็นต์ ชิลิกาเจล 7 กิโลกรัม

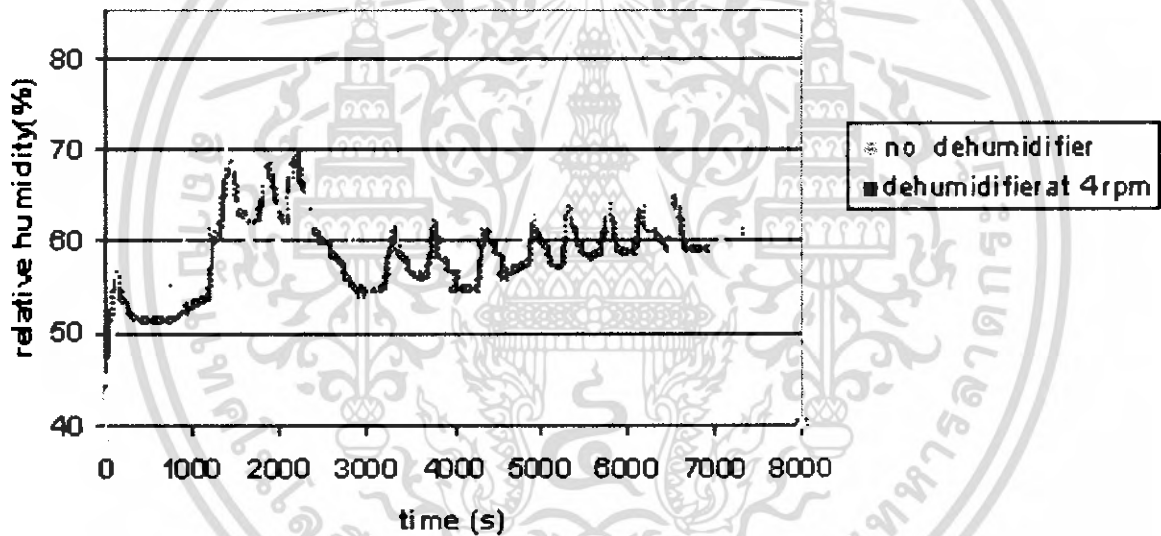


รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 6 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 58 - 65 เปอร์เซ็นต์ ชิลิกาเจล 7 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

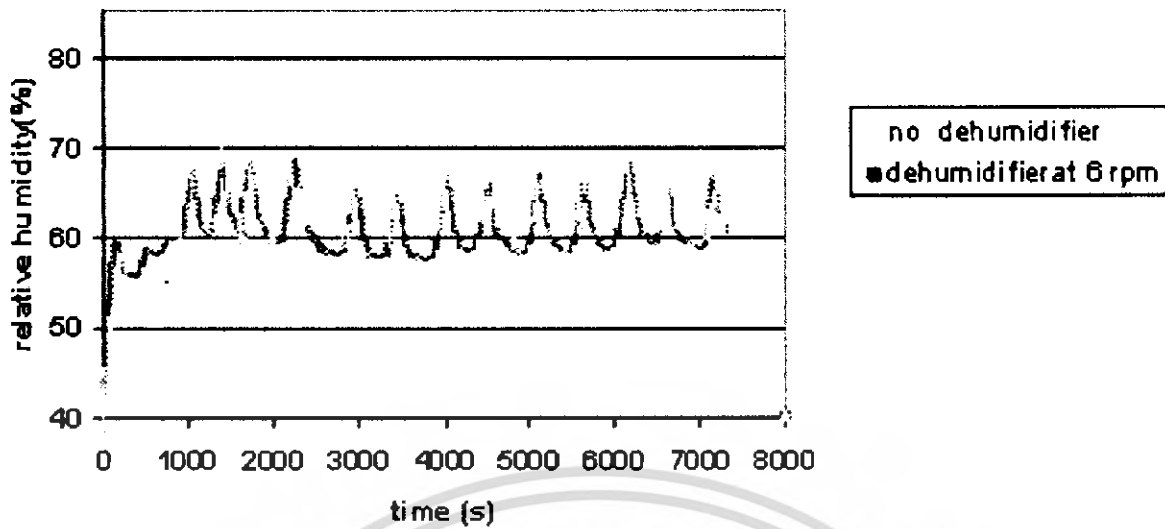


รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 8 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 58-65 เปอร์เซ็นต์ ซิลิกาเจล 7 กิโลกรัม

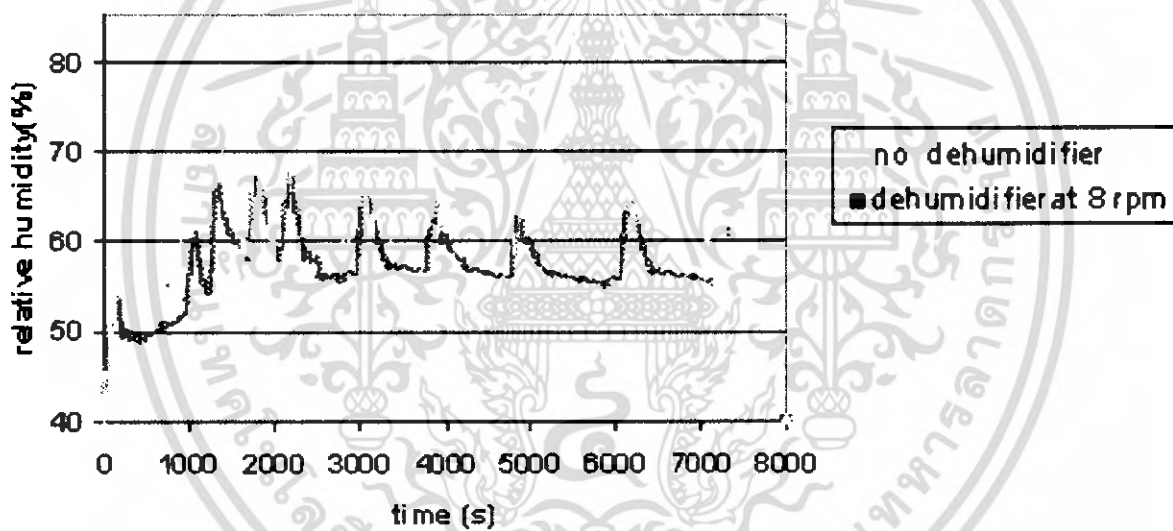


รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 4 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 58-65 เปอร์เซ็นต์ ซิลิกาเจล 6.25 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

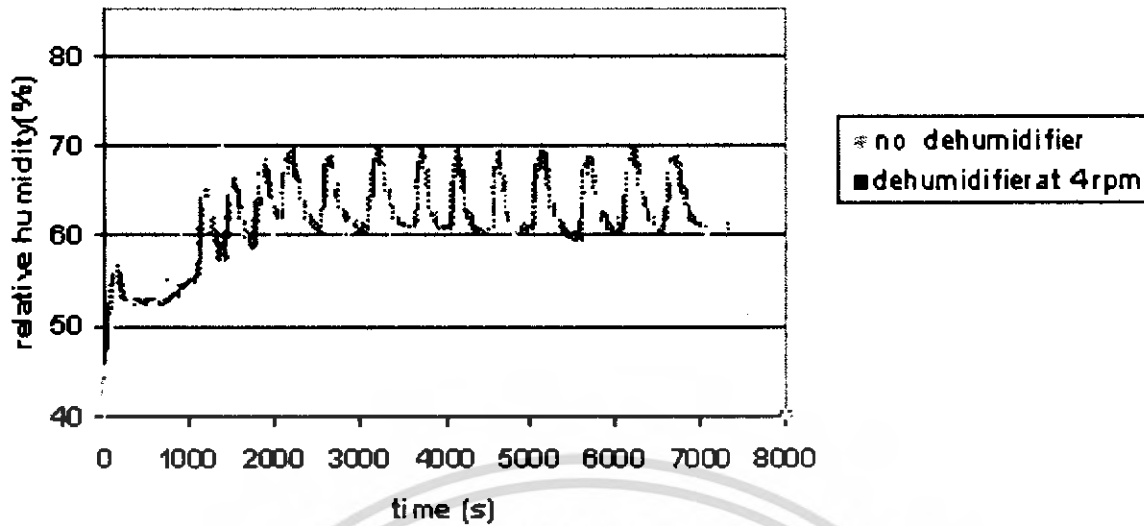


รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 6 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 58 - 65 เปอร์เซ็นต์ ซิลิกาเจล 6.25 กิโลกรัม

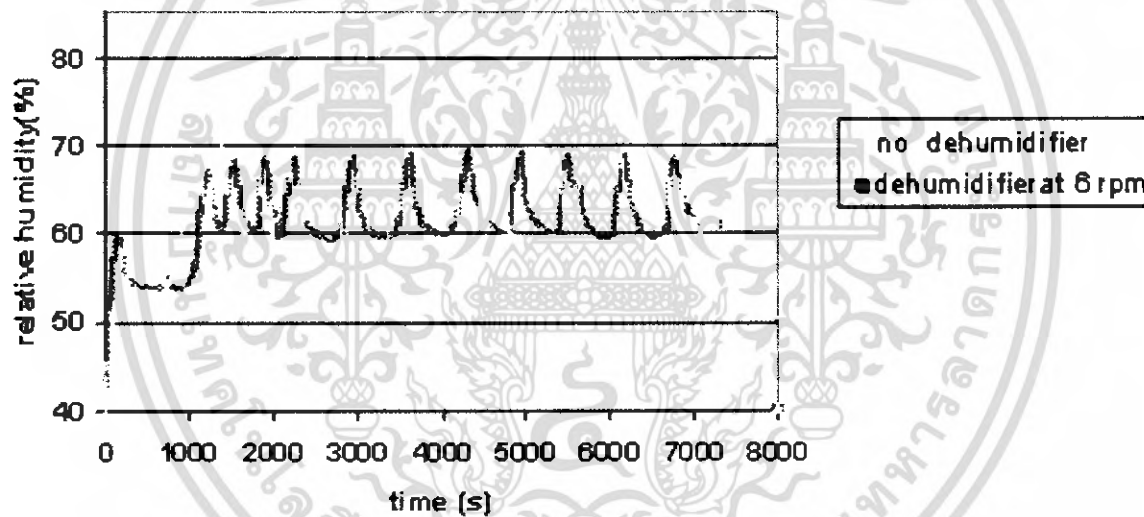


รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 8 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 58 - 65 เปอร์เซ็นต์ ซิลิกาเจล 6.25 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

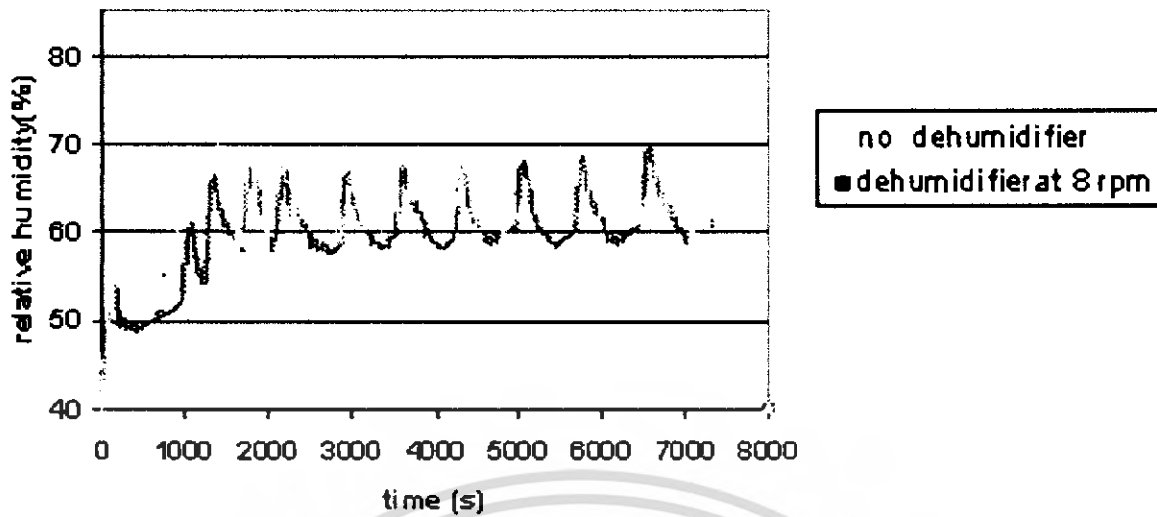


รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 4 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 58 - 65 เปอร์เซ็นต์ ซิสิกานอล 5.75 กิโลกรัม

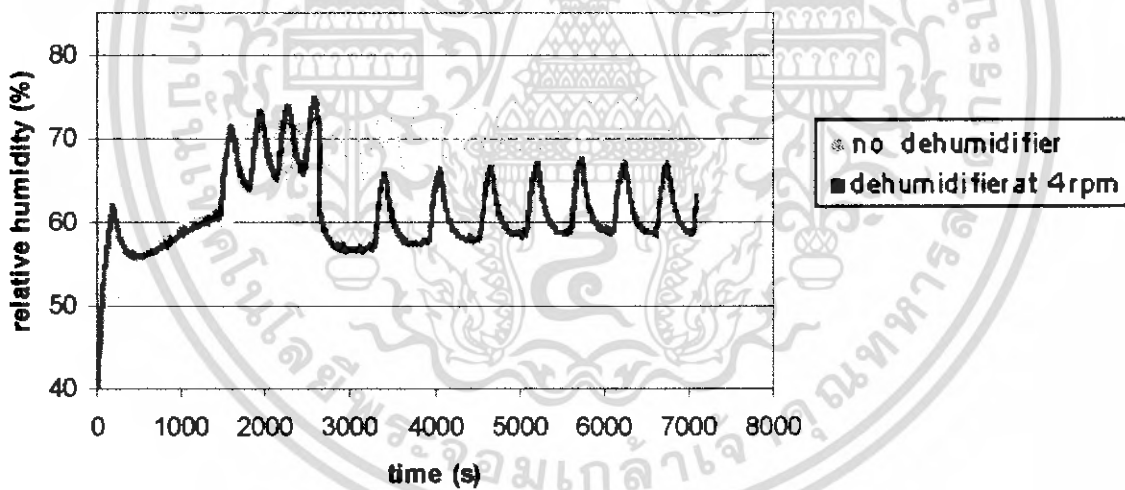


รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 6 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 58 - 65 เปอร์เซ็นต์ ซิสิกานอล 5.75 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

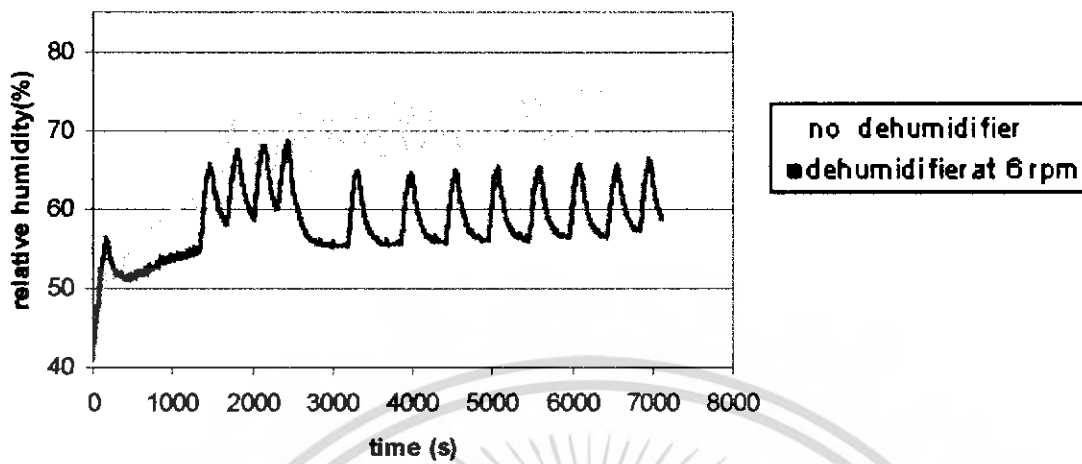


รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 8 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 58 - 65 เปอร์เซ็นต์ ซิสิกเจล 5.75 กิโลกรัม

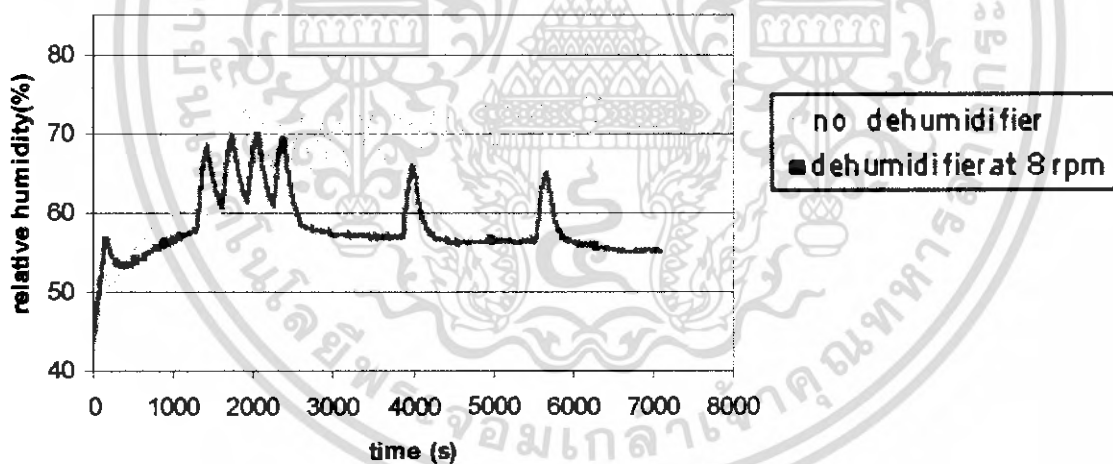


รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 4 rpm ของวงล้อที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 65 - 75 เปอร์เซ็นต์ ซิสิกเจล 7 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

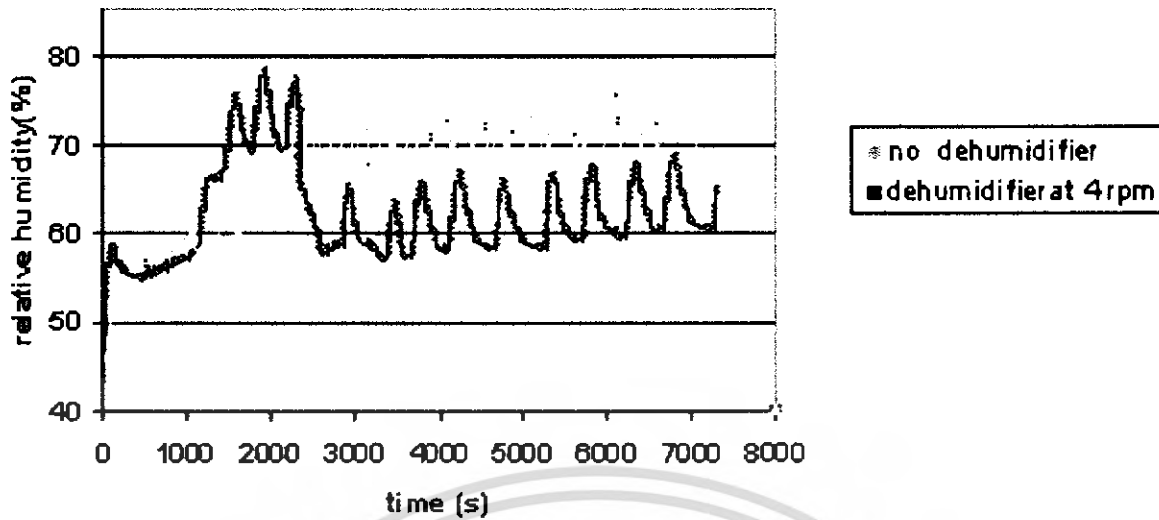


รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 6 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 65-75 เปอร์เซ็นต์ ซิอิกาเจด 7 กิโลกรัม

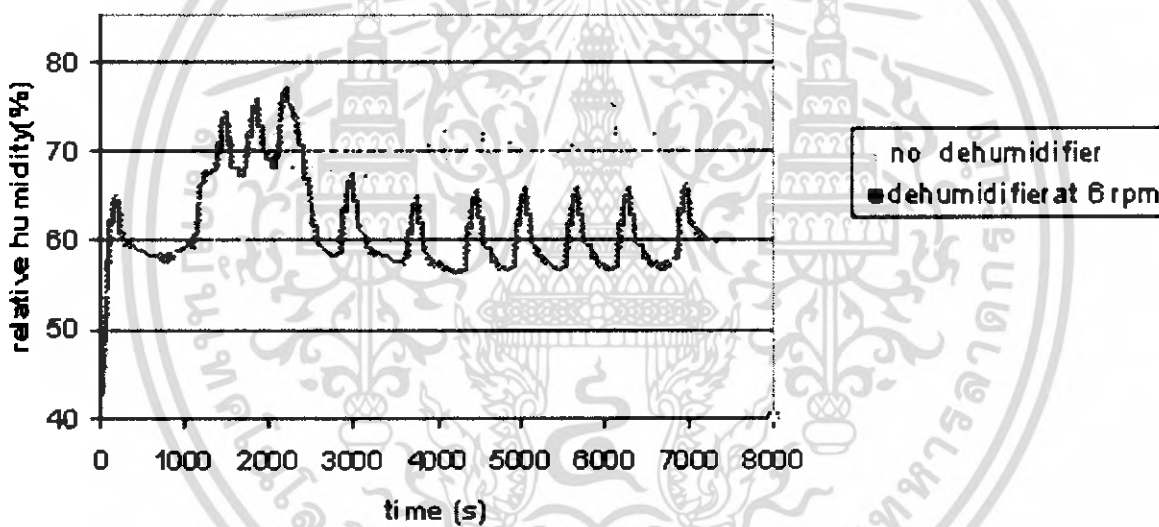


รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 8 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 65-75 เปอร์เซ็นต์ ซิอิกาเจด 7 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

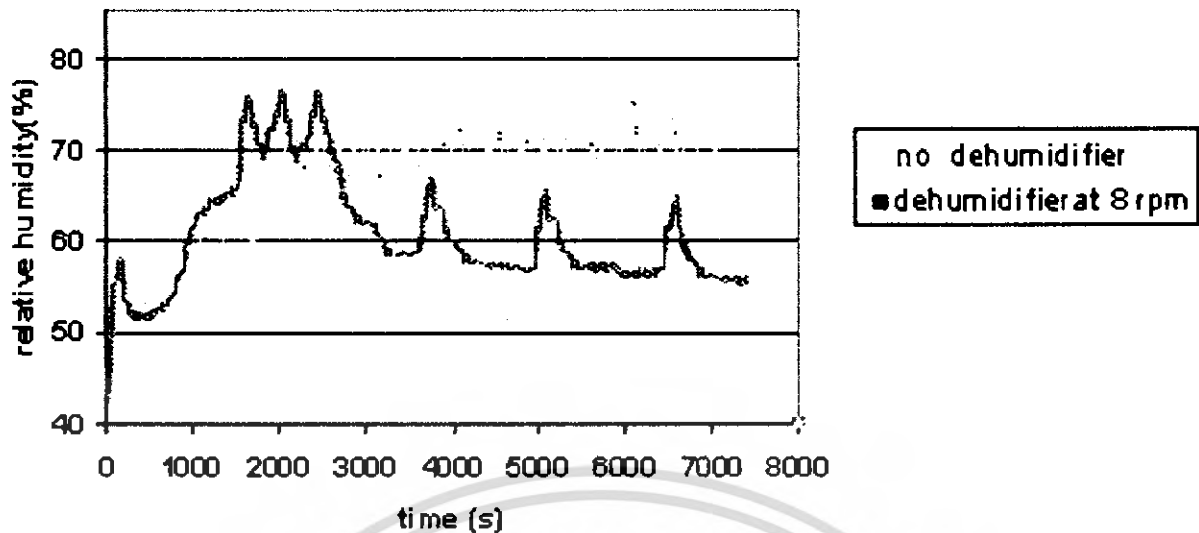


รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 4 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 65 -75 เปอร์เซ็นต์ ซิลิกาเจล 6.25 กิโลกรัม

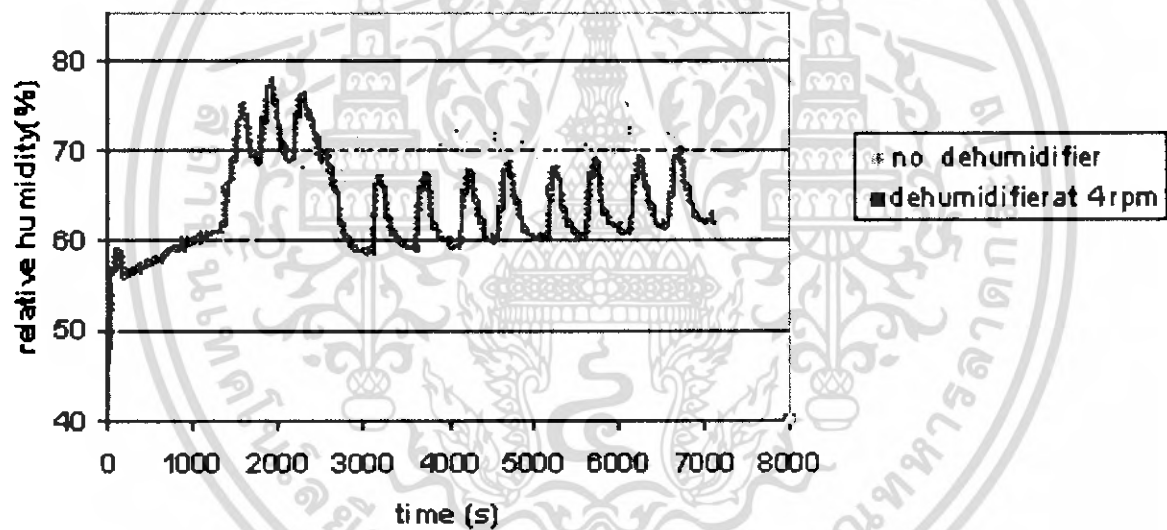


รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 6 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 65 -75 เปอร์เซ็นต์ ซิลิกาเจล 6.25 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

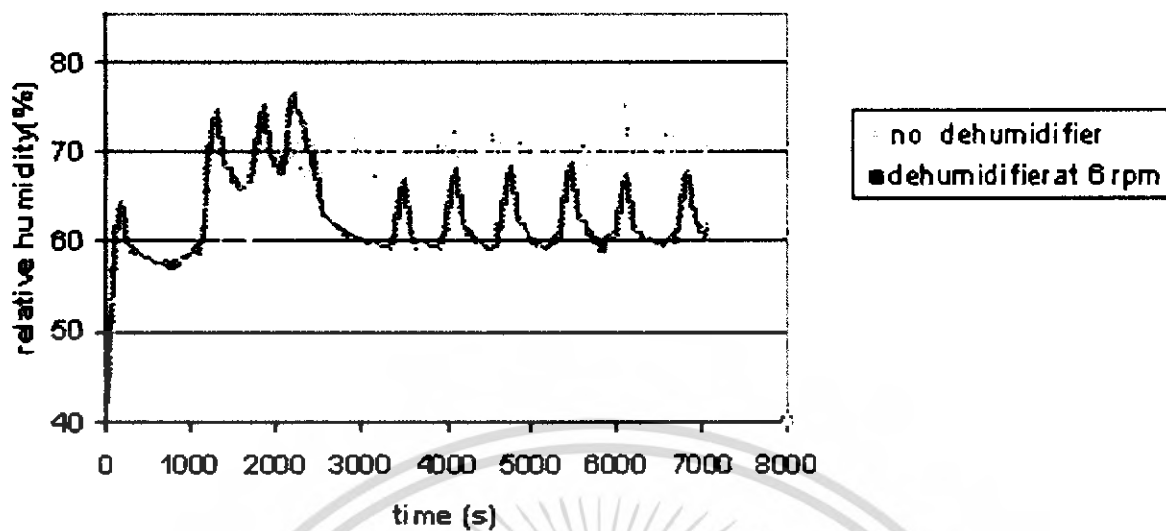


รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 8 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 65-75 เปอร์เซ็นต์ ซิลิกาเจล 6.25 กิโลกรัม

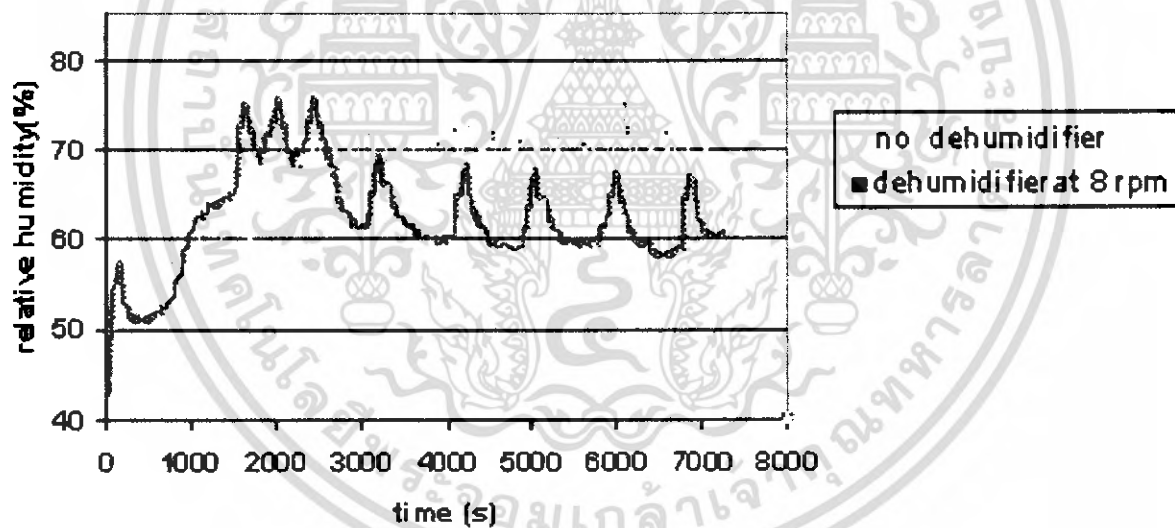


รูปที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 4 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 65-75 เปอร์เซ็นต์ ซิลิกาเจล 5.75 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

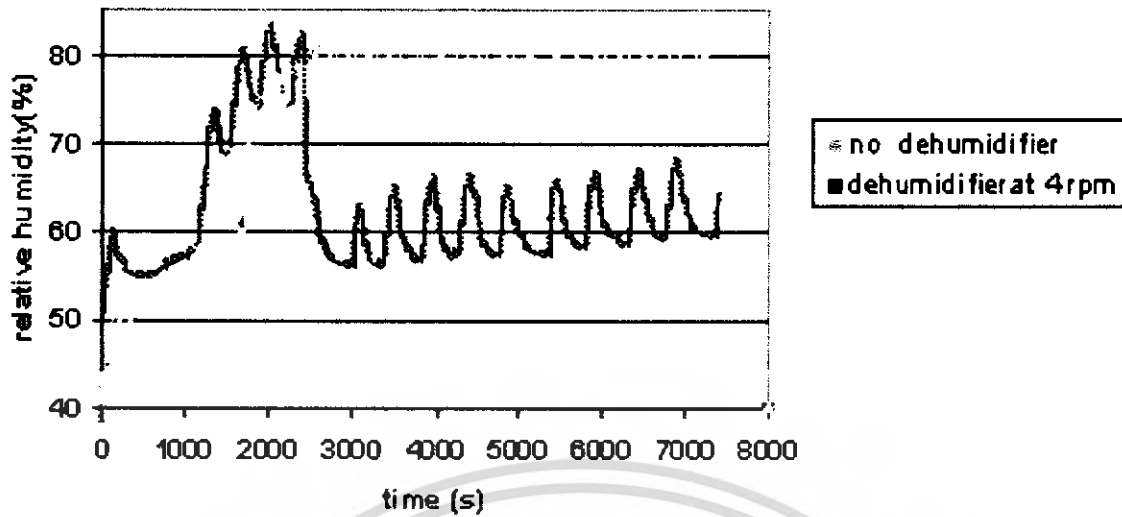


รูปที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 6 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 65-75 เปอร์เซ็นต์ ซิสิกานจอ 5.75 กิโลกรัม

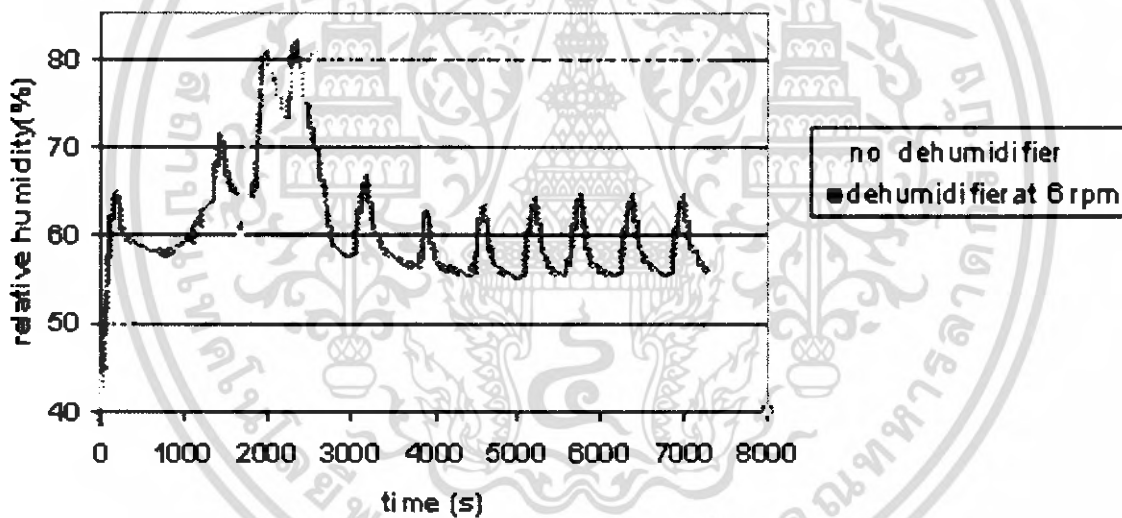


รูปที่ 4.18 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 8 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 65-75 เปอร์เซ็นต์ ซิสิกานจอ 5.75 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

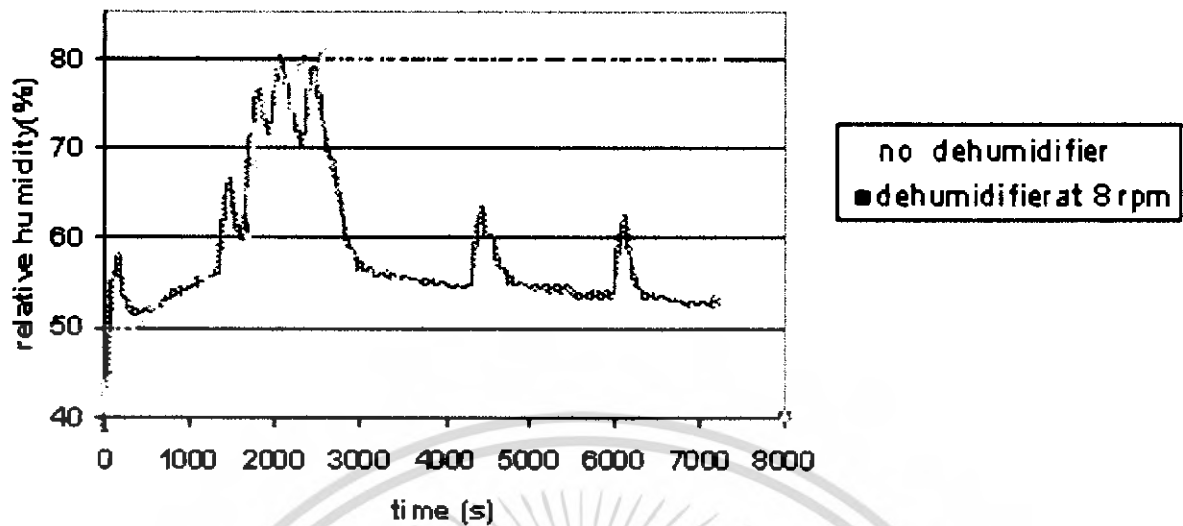


รูปที่ 4.19 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 4 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 75 - 80 เปอร์เซ็นต์ ซิลิกาเจล 7 กิโลกรัม

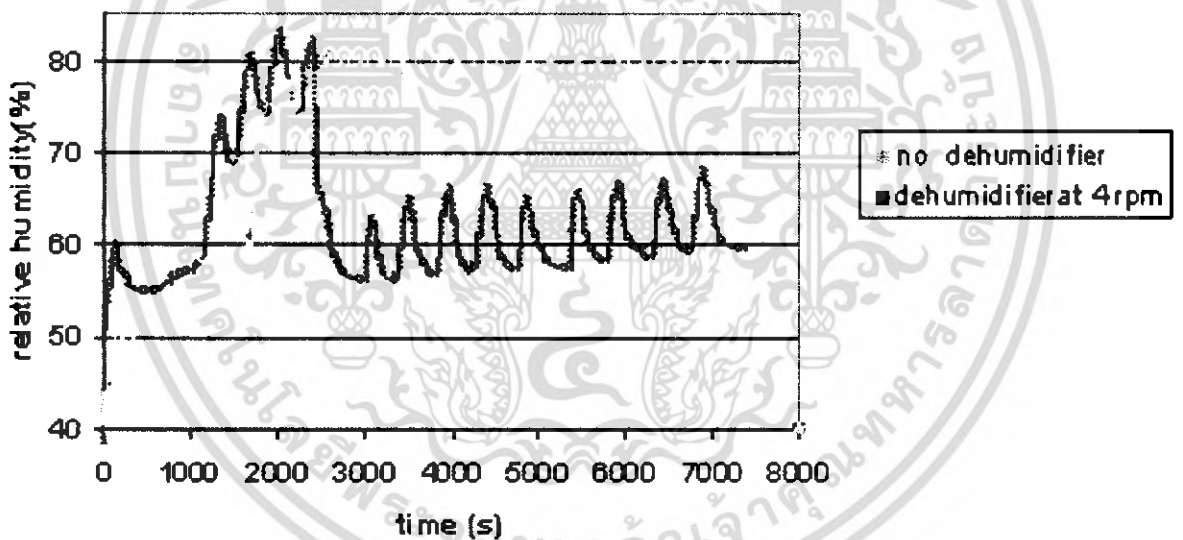


รูปที่ 4.20 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 6 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 75 - 80 เปอร์เซ็นต์ ซิลิกาเจล 7 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

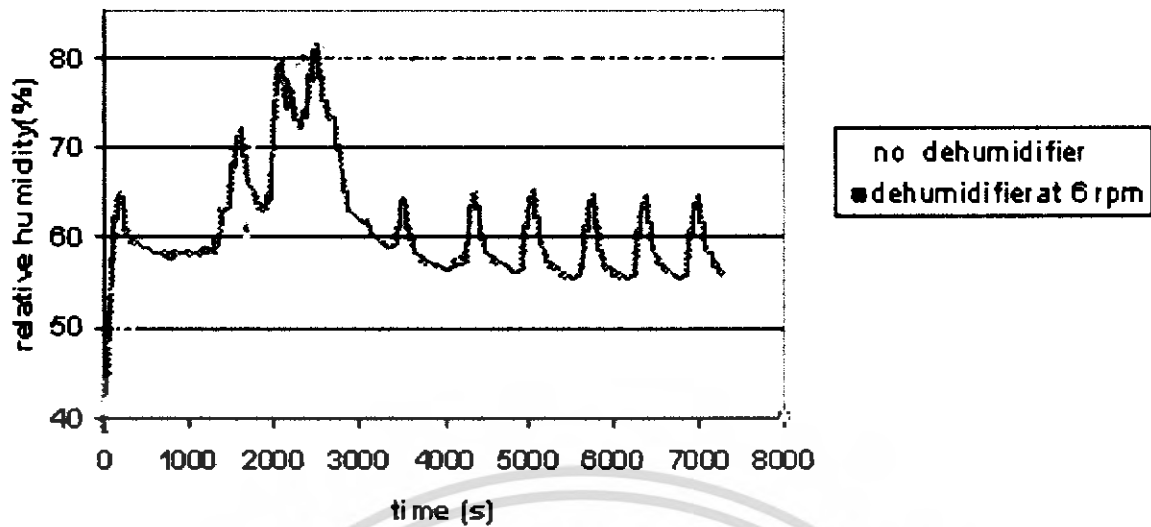


รูปที่ 4.21 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 8 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 75 - 80 เปอร์เซ็นต์ ซิลิกาเจล 7 กิโลกรัม

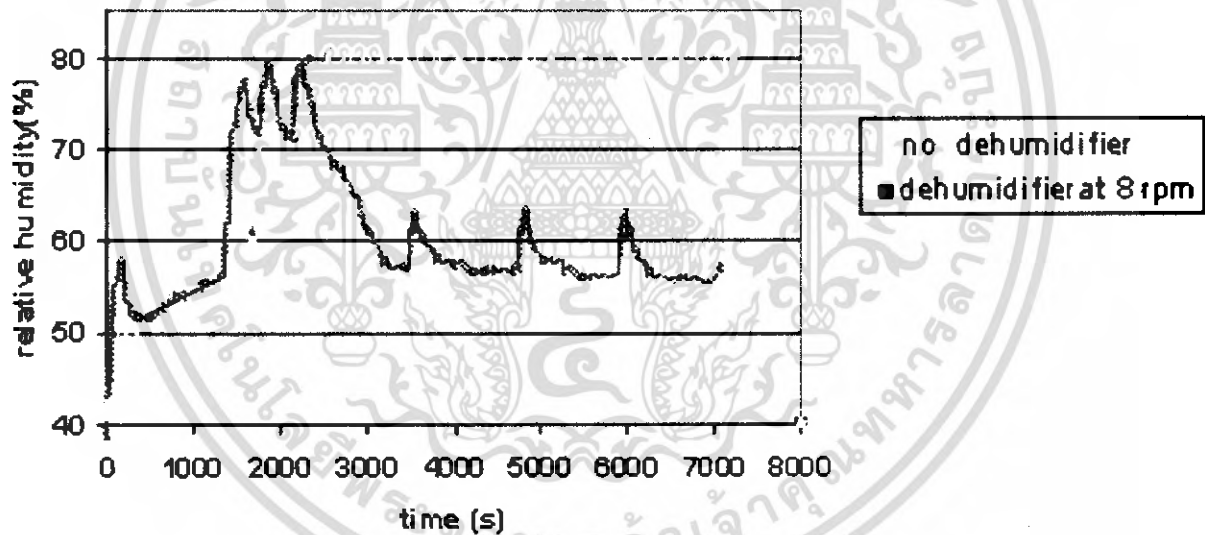


รูปที่ 4.22 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 4 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 75 - 80 เปอร์เซ็นต์ ซิลิกาเจล 6.25 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

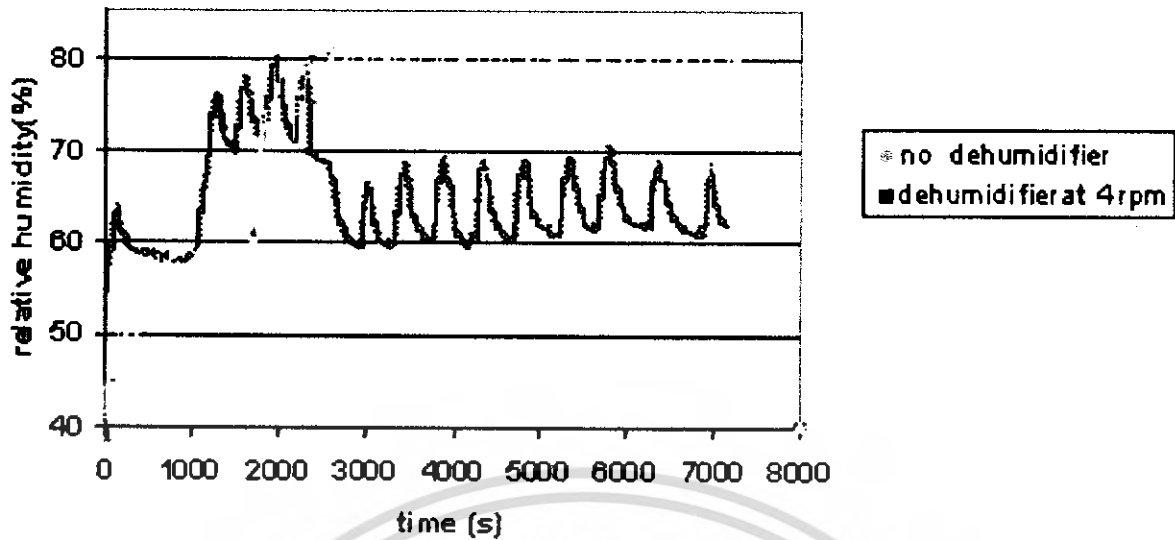


รูปที่ 4.23 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 6 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 75 - 80 เปอร์เซ็นต์ ซิลิกาเจล 6.25 กิโลกรัม

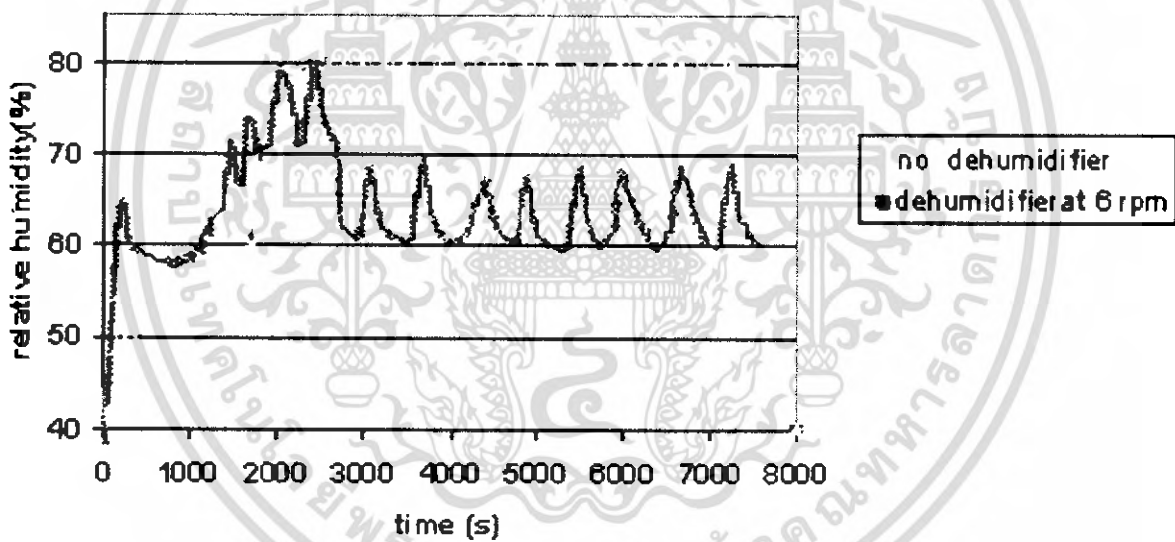


รูปที่ 4.24 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 8 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 75 - 80 เปอร์เซ็นต์ ซิลิกาเจล 6.25 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

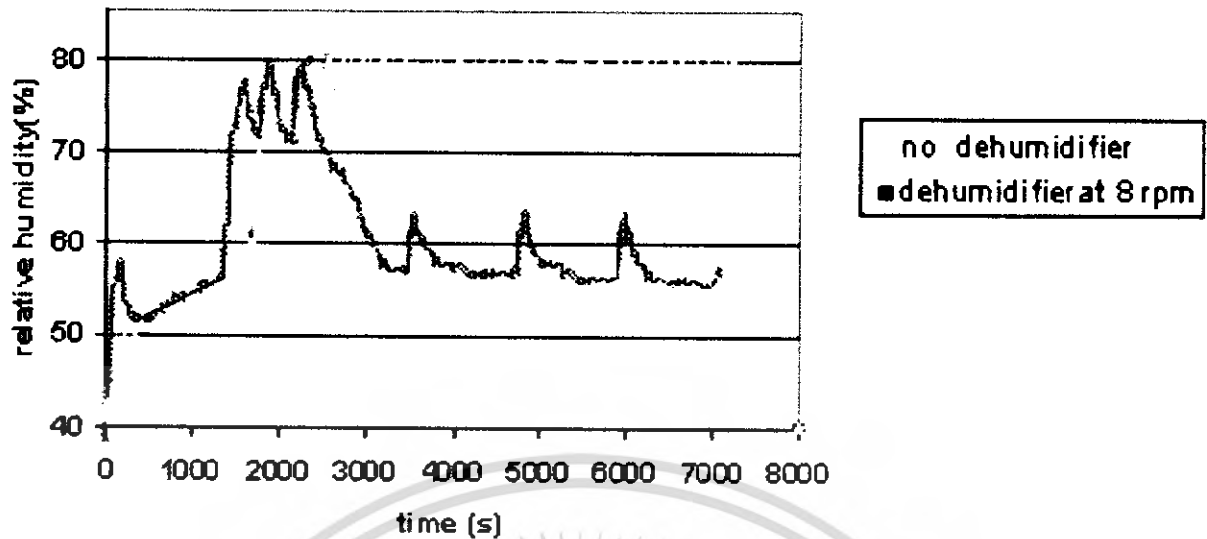


รูปที่ 4.25 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 4 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 75 - 80 เปอร์เซ็นต์ จลิกานจล 5.75 กิโลกรัม



รูปที่ 4.26 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 6 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 75 - 80 เปอร์เซ็นต์ จลิกานจล 5.75 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



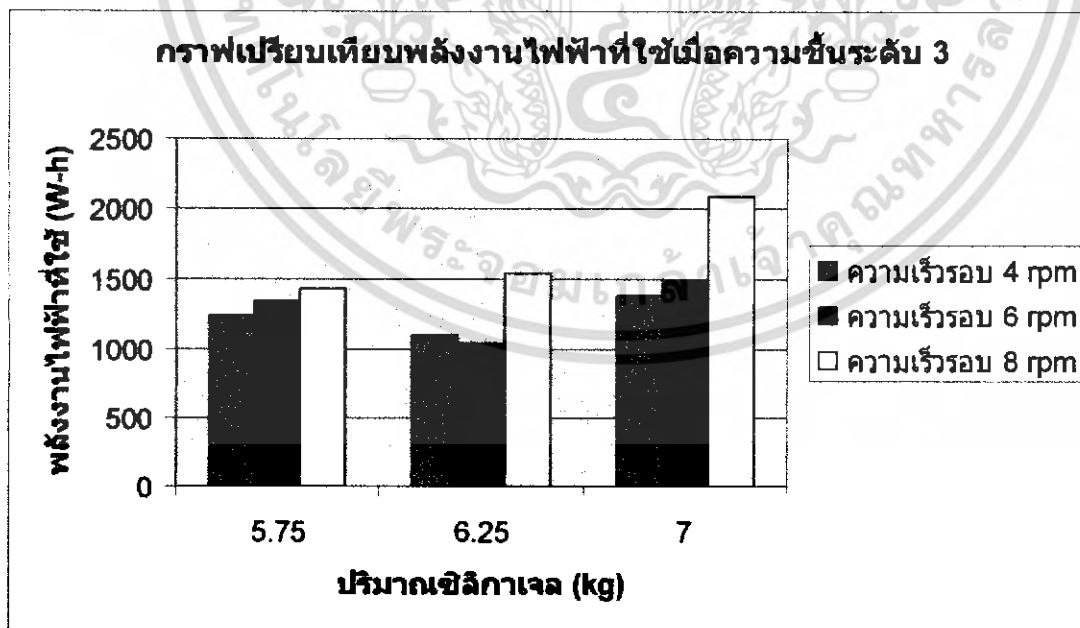
รูปที่ 4.27 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงความเร็วรอบ 8 rpm ของวงล้อ ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 75 - 80 เปอร์เซ็นต์ จลิกานจอต 5.75 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในสถานะความชื้นสัมพัทธ์ 75 - 80 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ขณะไม่เปิดอุปกรณ์ดูดความชื้น เท่ากับ 550 W

ปริมาณ ซีลีกาเจล (kg)	ความเร็วรอบ (rpm)	ปริมาณความร้อนแฝงที่ ลดลง (W)	พลังงานความร้อนสัมผัสที่ เพิ่มขึ้น(W)	พลังงาน ไฟฟ้าที่ใช้ ทางทฤษฎี (W)	พลังงาน ไฟฟ้าที่ใช้จริง (W)
7.00	4	450.60	933.35	1032.75	1038.75
	6	835.90	1400.10	1118.00	1123.75
	8	855.70	1866.71	1562.00	1567.5
6.25	4	408.50	670.10	811.50	817.5
	6	829.50	1049.98	770.00	776.25
	8	848.00	1450.32	1152.30	1158.13
5.75	4	296.50	668.73	922.23	928.75
	6	420.30	863.321	1011.02	1016.88
	8	413.60	933.35	1069.75	1076.25



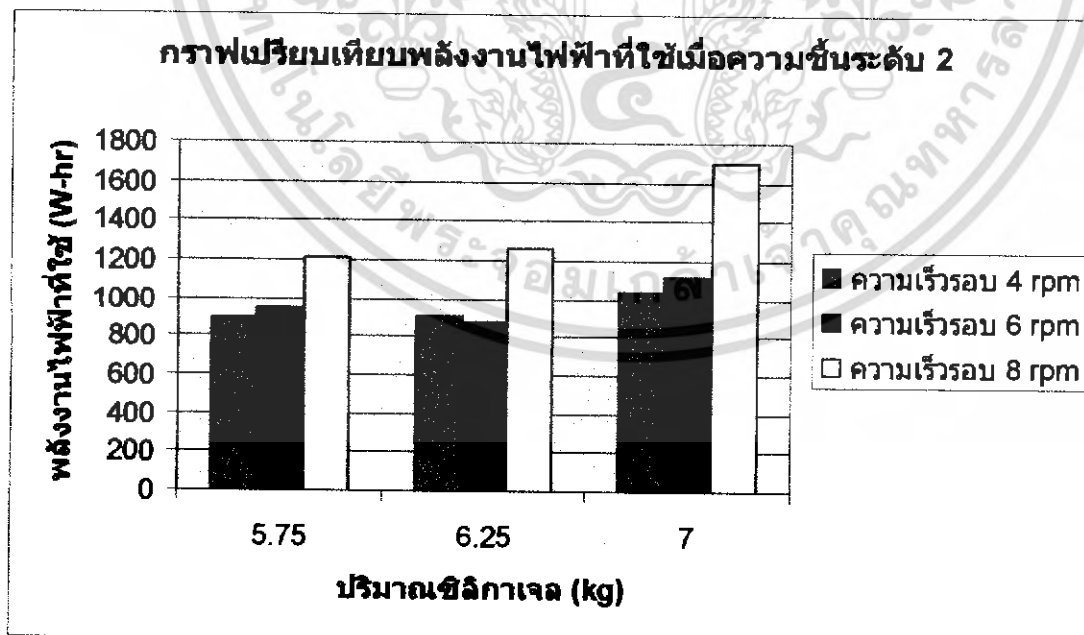
รูปที่ 4.28 กราฟเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ 75 - 80 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในสถานะความชื้นสัมพัทธ์ 65-75 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ขณะ ไม่เปิดอุปกรณ์ทำความชื้น เท่ากับ 363.75 W

ปริมาณ ซิลิกาเจล (kg)	ความเร็วรอบ (rpm)	ปริมาณความร้อนแฝงที่ ลดลง (W)	พลังงานความร้อนสัมผัสที่ เพิ่มขึ้น(W)	พลังงาน ไฟฟ้าที่ใช้ ทางทฤษฎี (W)	พลังงาน ไฟฟ้าที่ใช้จริง (W)
7.00	4	407.06	816.66	773.35	779.38
	6	698.51	1166.65	831.89	838.13
	8	732.86	1633.31	1264.20	1270.63
6.25	4	362.36	669.98	671.37	677.50
	6	647.00	933.32	650.07	656.25
	8	710.06	1283.32	937.05	943.13
5.75	4	278.00	583.33	669.07	675.00
	6	330.20	670.30	703.85	710.00
	8	350.75	886.65	899.65	905.63



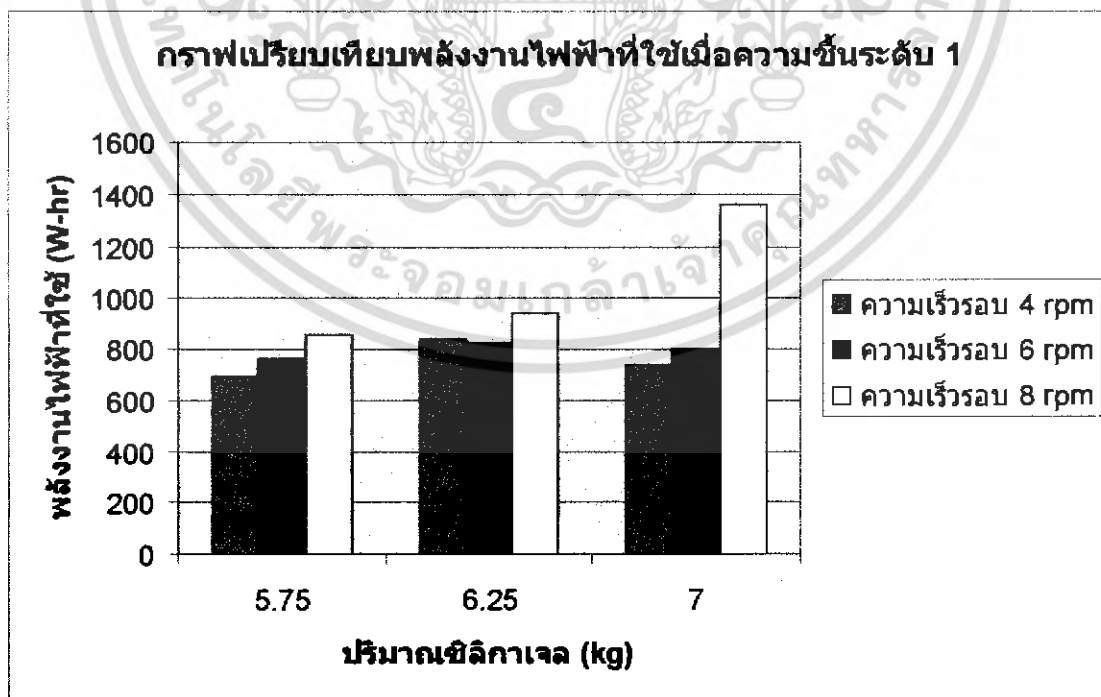
รูปที่ 4.29 กราฟเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ 65-75 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในสถานะความชื้นสัมพัทธ์ 58-65 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ขณะไม่เปิดอุปกรณ์ลดความชื้น เท่ากับ 280.63 W

ปริมาณซิลิกาเจล (kg)	ความเร็วรอบ (rpm)	ปริมาณความร้อนแฝงที่ลดลง (W)	พลังงานความร้อนสัมผัสที่เพิ่มขึ้น(W)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทางทฤษฎี (W)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริง (W)
7.00	4	380.99	670.10	569.74	553.75
	6	620.31	933.36	593.68	600.00
	8	668.31	1400.00	1012.32	1018.13
6.25	4	327.21	996.97	622.98	629.38
	6	528.56	817.06	569.13	620.00
	8	630.50	1049.98	700.12	706.25
5.75	4	132.10	466.66	615.19	521.25
	6	292.31	583.32	571.64	571.88
	8	615.75	670.02	634.89	641.25



รูปที่ 4.30 กราฟเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ 58-65 เปอร์เซ็นต์ นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 วิจารณ์ผลการทดลองความชื้นระดับที่ 1

จากรูปที่ 4.1 ถึง 4.9 เป็นการสร้างสภาวะความชื้นขึ้นในห้องทดลองโดยใช้เครื่องกำเนิดความชื้น 1 ตัว การทดลองสร้างสภาวะความชื้น โดยยังไม่เปิดอุปกรณ์ลดความชื้น เมื่อเริ่มต้นความชื้นสัมพัทธ์ของระบบยังไม่คงที่ และจะเริ่มคงที่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 25 นาที จากการสร้างความชื้นระดับที่ 1 จะได้ความชื้นสัมพัทธ์คงที่ที่ร้อยละ 58 ถึง 65

จากรูปที่ 4.1 เมื่อเริ่มต้นทำการเปิดอุปกรณ์ลดความชื้นที่ปริมาณซิลิกาเจล 7 กิโลกรัม พิจารณาที่ความเร็วรอบต่างๆ พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศที่ผ่านอุปกรณ์ลดความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว จนคงที่ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 55 ถึง 65 เหมือนกันนั่นคือความชื้นลดไปเพียงร้อยละ 3 ถึง 5 โดยที่ความเร็วรอบ 8 รอบต่อนาที ลักษณะกราฟจะเป็นรูปคลื่นที่มีช่วงกว้างแสดงว่าระบบปรับอากาศจะต้องทำงานนานกว่าปกติในแต่ละช่วงจนกว่าเทอร์โมสแตทจะตัด ส่วนที่ความเร็วรอบ 6 รอบต่อนาที กราฟจะมีลักษณะเป็นรูปคลื่นช่วงความถี่ต่ำคงที่ และเมื่อพิจารณาที่ความเร็วรอบ 4 รอบต่อนาที ลักษณะของกราฟจะคล้ายกับความเร็วรอบ 6 รอบต่อนาที แต่ที่เวลามากขึ้นไปกราฟจะลอยขึ้น แสดงว่าการลดความชื้นจะไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากกระบวนการลดความชื้นกับการคายความชื้นไม่สัมพันธ์กัน

จากรูปที่ 4.4 ถึง 4.6 เป็นการทดลองที่ปริมาณสาร 6.25 กิโลกรัม ที่ระดับความเร็วรอบต่างๆ พบว่าระดับความชื้นสัมพัทธ์ถูกทดลองร้อยละ 1 – 3 ซึ่งถือว่าน้อยมาก และเมื่อพิจารณาที่ความเร็วรอบต่างๆ กราฟออกมาจะเป็นรูปคลื่นที่มีช่วงกว้างที่สุด ความเร็วรอบ 6 รอบต่อนาที กราฟเป็นรูปคลื่นที่มีความถี่ต่ำคงที่ และที่ความเร็วรอบ 4 รอบต่อนาที กราฟเป็นคลื่นลอยขึ้นไป แต่การทดลองจะต่างกับปริมาณซิลิกาเจล 7 กิโลกรัม ตรงที่กราฟจะมีช่วงความถี่มากกว่า

จากรูปที่ 4.7 ถึง 4.9 เป็นการทดลองที่ปริมาณสาร 5.75 กิโลกรัม ที่ระดับความเร็วรอบต่างๆ พบว่าระดับความชื้นสัมพัทธ์ยังคงเดิมไม่ว่าจะทดลองที่ความเร็วรอบเท่ากัน

4.3.2 วิจารณ์ผลการทดลองความชื้นระดับที่ 2

จากรูปที่ 4.10 ถึง 4.18 เป็นการสร้างสภาวะความชื้นในห้องทดลองโดยใช้เครื่องกำเนิดความชื้น 2 ตัว การทดลองสร้างสภาวะความชื้น โดยยังไม่เปิดอุปกรณ์ลดความชื้น เมื่อเริ่มต้นความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศจะยังไม่คงที่และจะเริ่มคงที่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 25 – 30 นาที ซึ่งจะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์คงที่ที่ร้อยละ 65 – 75

จากรูปที่ 4.10 ถึง 4.12 เมื่อเริ่มต้นทำการเปิดอุปกรณ์ลดความชื้น ที่ปริมาณซิลิกาเจล 7 กิโลกรัม พิจารณาที่ความเร็วรอบต่างๆ พบว่าความชื้นยังคงมีลักษณะของกราฟเหมือนการทดลองที่สภาวะความชื้นระดับ 1 แต่ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศที่ผ่านอุปกรณ์ลดความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วจนสภาวะคงที่ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 55 – 65

จากรูปที่ 4.13 ถึง 4.15 เป็นการทดลองที่ปริมาณซิลิกาเจล 6.25 กิโลกรัม ทุกๆ ความเร็วรอบระดับความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงจนสภาวะคงที่ที่ช่วงประมาณร้อยละ 58 – 63 นั่นคือความชื้นถูกทดลองไปประมาณร้อยละ 7 – 9 ใกล้เคียงกับปริมาณซิลิกาเจล 7 กิโลกรัม โดยแต่ละความเร็วรอบยังคงมีลักษณะคล้ายกับการทดลองที่ 7 กิโลกรัมแต่ช่วงของกราฟจะถี่ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.16 ถึง 4.18 เป็นการทดลองที่ปริมาณซิลิกาเจด 5.75 กิโลกรัม จะสังเกตว่าระดับของความชื้นสัมพัทธ์ถูกลดลงจนสถานะคงที่ในช่วงประมาณร้อยละ 60 - 68 นั่นคือ ความชื้นถูกลดลงไปประมาณร้อยละ 5 - 7 ซึ่งกราฟของแต่ละความเร็วรอบ มีลักษณะคล้ายกับการทดลองที่ 7 กิโลกรัมและ 6.25 กิโลกรัม แต่ช่วงความถี่ของแต่ละความเร็วรอบจะถี่มากกว่า

4.3.3 วิจารณ์ผลการทดลองความชื้นระดับที่ 3

จากรูปที่ 4.19 ถึง 4.27 เป็นการสร้างสถานะความชื้นในห้องทดลองโดยใช้เครื่องกำเนิดความชื้น 3 ตัว การทดลองสร้างสถานะความชื้นโดยยังไม่เปิดอุปกรณ์ดูดความชื้น เมื่อเริ่มต้นความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศจะยังไม่คงที่และจะเริ่มคงที่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 25 - 30 นาที ซึ่งจะมีความชื้นสัมพัทธ์คงที่ที่ร้อยละ 75 - 80

จากรูปที่ 4.19 ถึง 4.21 เมื่อเริ่มต้นทำการเปิดอุปกรณ์ลดความชื้น ที่ปริมาณซิลิกา 7 กิโลกรัม พิจารณาที่ความเร็วรอบต่างๆ พบว่าความชื้นยังคงมีลักษณะของกราฟเหมือนการทดลองที่สถานะความชื้นระดับ 1 และ 2 แต่ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศที่ผ่านอุปกรณ์ลดความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วจนสถานะคงที่ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 55 - 65 นั่นคือ สามารถลดความชื้นสัมพัทธ์ได้ประมาณร้อยละ 20 - 25 ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณที่สูง

จากรูปที่ 4.22 ถึง 4.24 เป็นการทดลองที่ปริมาณซิลิกาเจด 6.25 กิโลกรัม ทุกๆ ความเร็วรอบระดับความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงจนสถานะคงที่ในช่วงประมาณร้อยละ 58 - 63 นั่นคือความชื้นถูกลดลงไปประมาณร้อยละ 17 ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณที่ค่อนข้างสูง โดยแต่ละความเร็วรอบยังคงมีลักษณะคล้ายการทดลองที่ 7 กิโลกรัม แต่ช่วงของกราฟจะถี่ขึ้น

จากรูปที่ 4.25 ถึง 4.27 เป็นการทดลองที่ปริมาณซิลิกาเจด 5.75 กิโลกรัม จะสังเกตเห็นว่าระดับของความชื้นสัมพัทธ์ถูกลดลงจนสถานะคงที่ในช่วงประมาณร้อยละ 60 - 68 ของทุกความเร็วรอบ นั่นคือความชื้นถูกลดลงไปประมาณร้อยละ 12 - 15 ซึ่งกราฟแต่ละความเร็วรอบมีลักษณะคล้ายกับการทดลองที่ 7 กิโลกรัมและ 6.25 กิโลกรัม แต่ช่วงความถี่ของแต่ละความเร็วรอบจะถี่มากกว่า

จากผลการทดลองสังเกตเห็นแนวโน้มของกราฟได้ว่า ปริมาณการดูดความชื้นของซิลิกาเจดจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 2 ประการ คือ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณของซิลิกาเจด กล่าวคือ จะเห็นได้ว่ายิ่งทดลองที่ระดับความชื้นสูงๆ แล้วปริมาณการดูดซับของซิลิกาเจดจะยิ่งมากขึ้น จนถึงระดับที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำๆ ค่าหนึ่ง ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะคงที่ เนื่องจากเกิดคุณสมบัติของการดูดซับและการคายความชื้น ส่วนอีกปัจจัยหนึ่งก็คือ ปริมาณสารซึ่งยังมีมากก็จะยิ่งดูดซับได้มาก

จากตารางที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในสถานะความชื้นระดับที่ 1, 2 และ 3 พบว่าที่ปริมาณซิลิกาเจด 7 กิโลกรัม จะมีการดูดซับความชื้นในปริมาณที่สูง ปริมาณความร้อนแฝงจะถูกลดลงมาก แต่เนื่องจากคุณสมบัติของซิลิกาเจดที่จะคายความร้อนขณะดูดความชื้นเป็นผลให้ปริมาณความร้อนสัมผัสเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าการลดลงของปริมาณความร้อนแฝง มีผลทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าเดิม และเมื่อทำการทดลองที่ปริมาณซิลิกาเจด 5.75 กิโลกรัม การดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นจะน้อยมาก เป็นผลให้ปริมาณความร้อนแฝงลดลงน้อย แต่ปริมาณความร้อนสัมผัสยังมีมากกว่า แต่เมื่อทำการทดลองที่ปริมาณซิลิกาเจล 6.25 กิโลกรัม พบว่าปริมาณความร้อนแฝงที่ลดลงมีค่าสูงใกล้เคียงกับการทดลองที่ 7 กิโลกรัมมาก แต่ปริมาณความร้อนสัมผัสที่เพิ่มขึ้นมีค่าไม่สูงนัก เป็นผลให้สิ้นเปลืองพลังงานน้อยลง

โดยดูได้จากกราฟเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ 4.28 ,4.29 และ 4.30 ผลการทดลองที่ความเร็วรอบต่างๆ ก็มีผลต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศเช่นกัน โดยที่ความเร็วรอบของอุปกรณ์ดูดความชื้นที่ 8 รอบต่อนาที เห็นได้ว่าสามารถดูดซับความชื้นได้ในปริมาณสูง เป็นผลให้ปริมาณความร้อนแฝงที่ลดลงมีค่ามาก ในขณะที่ปริมาณความร้อนสัมผัสก็สูงตามกันไปด้วย และเมื่อทำการทดลองที่ความเร็วรอบ 4 รอบต่อนาที การดูดความชื้นจะน้อยมาก อันเนื่องมาจากความไม่สมดุลของอัตราการฟื้นฟูสภาพและอัตราการดูดความชื้น ลักษณะของกราฟจะลอยขึ้นที่ระยะเวลามากขึ้น ถึงแม้ว่าจะใช้พลังงานได้ใกล้เคียงกันกับการทดลองที่ความเร็วรอบที่ 6 รอบต่อนาที แต่ปริมาณการลดความชื้นไม่ได้ตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้ ดังนั้นอุปกรณ์ลดความชื้นที่ความเร็วรอบ 6 รอบต่อนาที จึงเหมาะสมที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและเสนอแนะ

5.1 สรุป

การปรับอากาศโดยกระบวนการทำความเย็น มีความจำเป็นสำหรับประเทศไทยซึ่งตั้งอยู่ในแถบเขตร้อนชื้น เพื่อก่อให้เกิดความสบายแก่ผู้อยู่อาศัยภายในอาคาร ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับอากาศมีความต้องการไฟฟ้าสำหรับระบบมากกว่าครึ่งหนึ่งของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในอาคาร

ในปฏิญานีพนธ์นี้ได้ศึกษาถึงผลของความชื้นต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ โดยได้ออกแบบอุปกรณ์ลดความชื้นจากสารดูดความชื้นให้มีลักษณะเป็นแบบหมุนเพื่อที่สามารถทำการคายความชื้นออกมา (Regeneration) ได้ในขณะที่ใช้งาน ประกอบเข้ากับระบบปรับอากาศแบบอัดไอ และทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบที่สภาวะความชื้นระดับต่างๆ เพื่อหาสมรรถนะที่ดีที่สุดของอุปกรณ์ลดความชื้นสามารถสรุปและเปรียบเทียบผลได้ดังนี้

1. เมื่อนำผลการทดลองมาเขียนกราฟเปรียบเทียบระหว่างความชื้นสัมพัทธ์กับเวลาในที่ความเร็วรอบต่างๆ ของอุปกรณ์ลดความชื้น พบว่ากราฟมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน นั่นคือในช่วงแรกที่เริ่มเปิดอุปกรณ์ลดความชื้น ค่าความชื้นสัมพัทธ์ลดลงอย่างรวดเร็ว
2. การลดความชื้นเพื่อศึกษาถึงการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ โดยใช้ซิลิกาเจลจะมีสมรรถนะที่ดี ที่ความเร็วรอบและปริมาณซิลิกาเจลค่ากลางๆ ไม่ต่ำหรือสูงเกินไป เนื่องจากซิลิกาเจลต้องใช้เวลาในการดูดความชื้นและคายความชื้นที่พอเหมาะ เพื่อให้อากาศที่ทางออกมาความชื้นน้อยที่สุด และรับปริมาณความร้อนที่ซิลิกาเจลคายออกมาน้อยที่สุด จะเห็นว่าที่ความเร็วรอบของอุปกรณ์ลดความชื้น 6 รอบต่อนาทีและปริมาณซิลิกาเจล 6.25 กิโลกรัม สามารถลดความชื้นได้ดีและคายความร้อนให้กับอากาศได้น้อย
3. ที่ความเร็วรอบ 8 รอบต่อนาที จะเห็นว่าการลดความชื้นจะเกิดได้ดีแต่ ซิลิกาเจลจะคายความร้อนออกมามาก ทำให้เกิดภาวะความร้อนในอากาศที่สูง ส่วนที่ความเร็วรอบ 4 รอบต่อนาที การลดความชื้นจะมีค่าต่ำเนื่องจากการคายความชื้นของซิลิกาเจลให้กับอากาศภายนอกไม่ได้ แม้ว่าการคายความร้อนจะมีน้อยก็ตาม
4. ที่ปริมาณซิลิกาเจล 7 กิโลกรัม จะเห็นว่าการคายความร้อนให้กับอากาศจะมาก ซึ่งการลดความชื้นจะมีค่าไม่ต่างกับการใช้ซิลิกาเจล 6.25 กิโลกรัมมากนัก ส่วนที่ปริมาณซิลิกาเจล 5.75 กิโลกรัม การลดความชื้นจะมีค่าต่ำ
5. ผลของการลดความชื้นโดยใช้สารดูดความชื้นมีซิลิกาเจลต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศไม่เป็นตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้ ทั้งนี้เนื่องจากการคายความร้อนให้กับอากาศของซิลิกาเจล ในการดูดความชื้นมีปริมาณสูง รวมถึงอุปกรณ์ลดความชื้นดังกล่าวมีประสิทธิภาพต่ำจำเป็นต้องมีการปรับปรุงอีกหลายประการ เพื่อให้อุปกรณ์ลดความชื้นมีประสิทธิภาพสูงกวานี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. โครงสร้างของแผงโซลิติกาเจลซึ่งครั้งนี้ใช้อะลูมิเนียม ควรใช้วัสดุอื่นที่มีความจุความร้อนต่ำ
2. ควรมีกระบวนการลดความร้อนเพิ่มขึ้นก่อนนำไปใช้ดูความชื้น เพื่อลดความร้อนสัมผัสที่เพิ่มขึ้น
3. อุปกรณ์ลดความชื้นควรเป็นอุปกรณ์ที่ประกอบมิดชิด และบรรจุโซลิติกาเจลไว้โดยไม่ให้มีโอกาสสัมผัสกับอากาศชื้นเพื่อสามารถทำงานได้ทันที



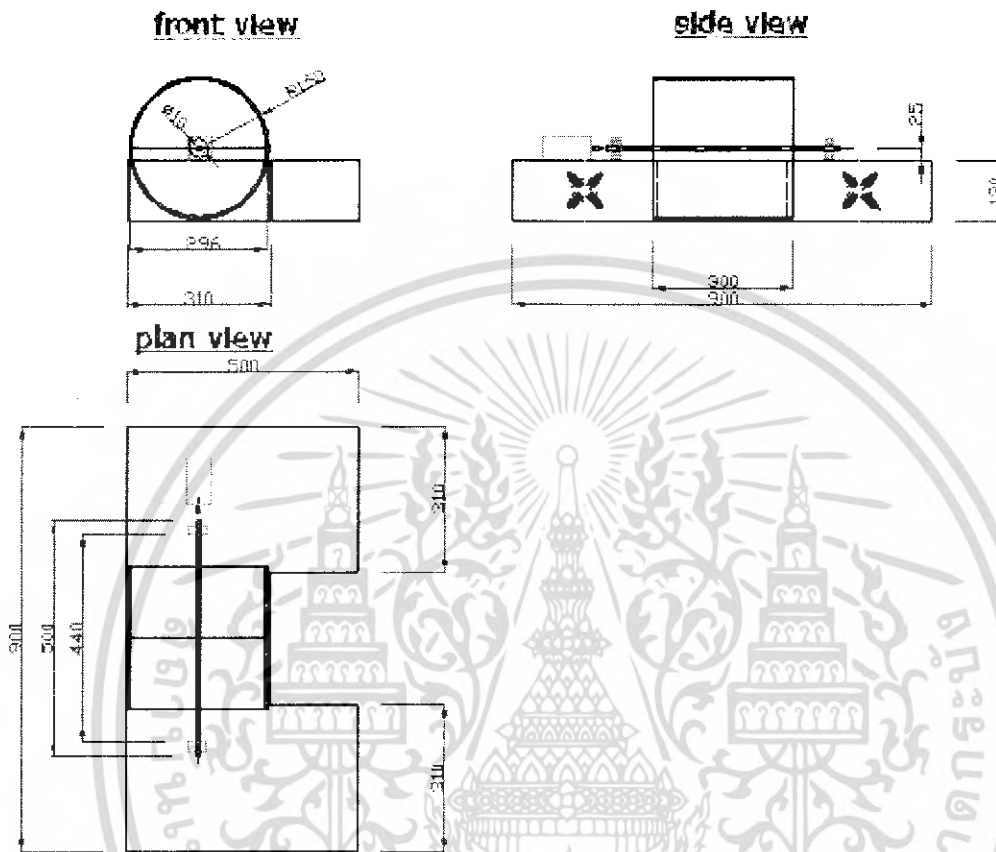
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. กัญญา บุญเกียรติ, การคำนวณขั้นต้นในวิศวกรรมเคมี, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, 2540.
2. พิสุทธิ กลิ่นขจร, “การควบคุมความชื้นของอากาศโดยสารดูดความชื้นของแข็ง”, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2543
3. รัชนีวรรณ เจริญวัฒน์, “การศึกษาความเป็นไปได้ในการลดความชื้นในอากาศของระบบปรับอากาศเขตร้อนสำหรับประเทศไทย”, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2544
4. อิทธิศักดิ์ คล้ายมงคล, “การปรับอากาศด้วยสารดูดความชื้นร่วมกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางอ้อม”, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2545
5. อัครเดช สีนุรักษ์, “กระบวนการปรับอากาศและการทำความเย็น”, 2544
6. Rodney,L.D., Multisorb Technologies Inc., <http://www.multisorb.com/faqs/protection.html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

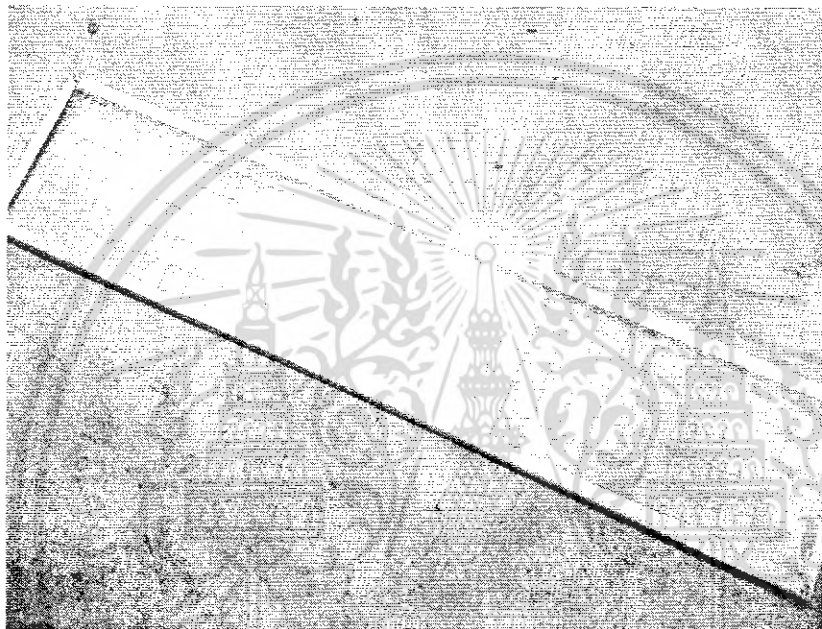


รูป ก.1 ภาพเขียนแบบชุดชุดความขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

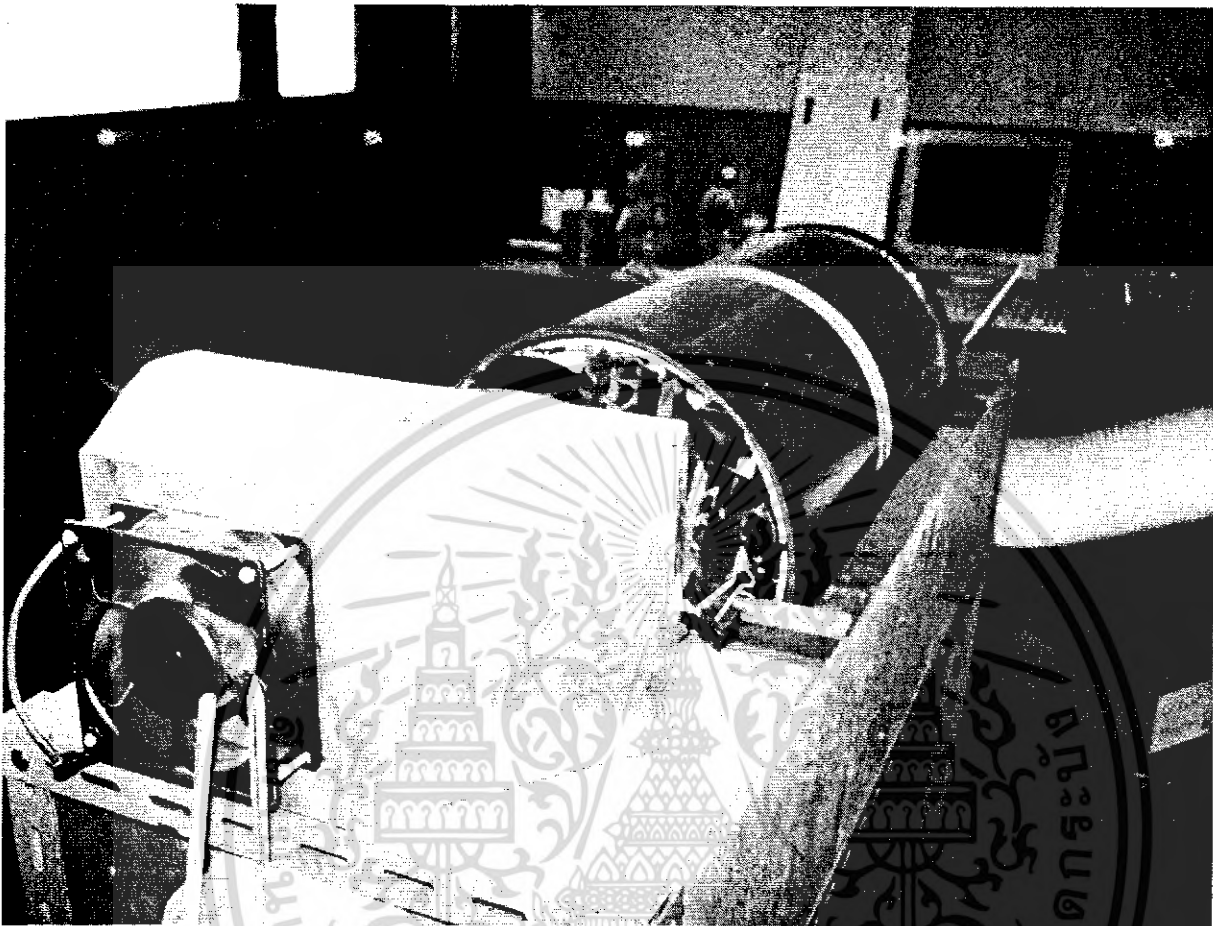
ภาพผนวก ข.

ภาพถ่ายต่างๆ



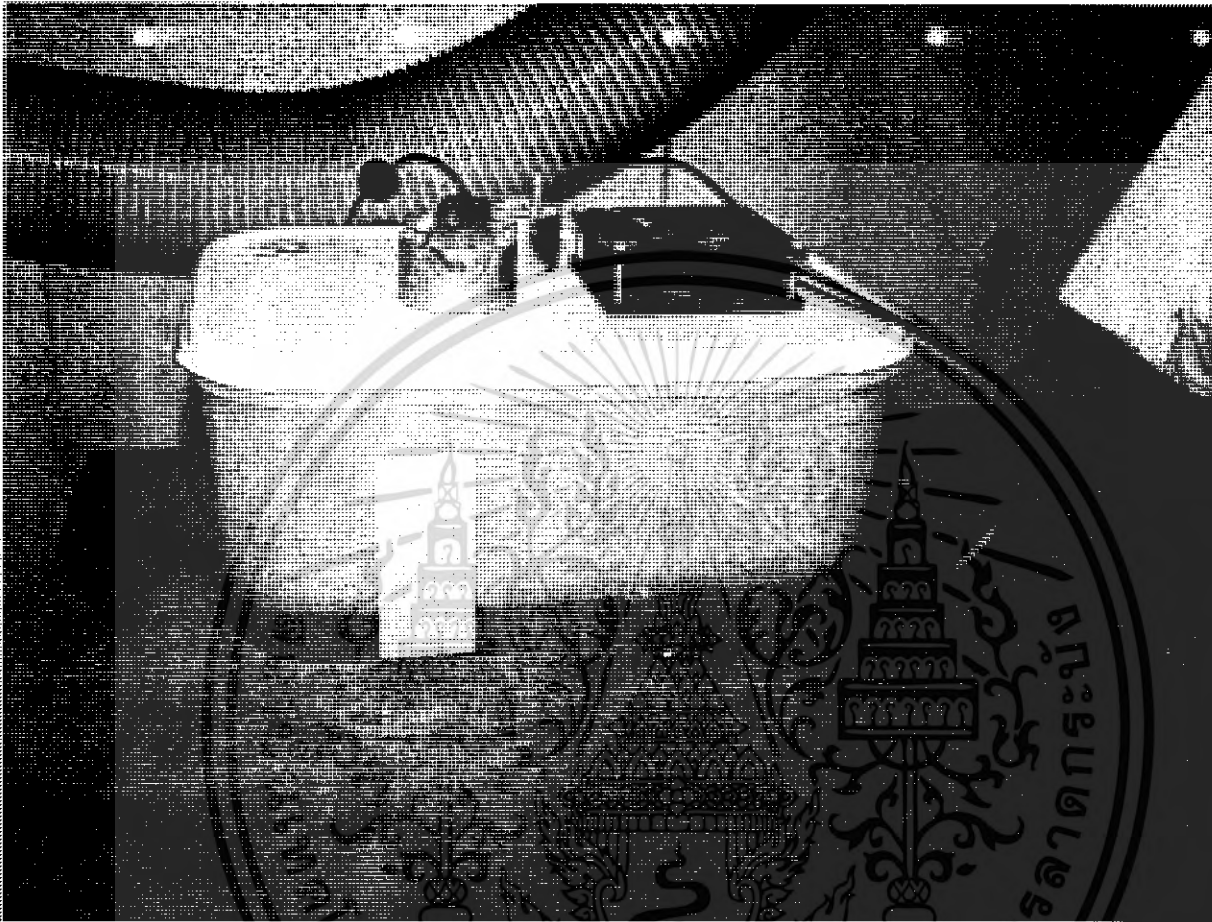
รูปที่ ข.1 แฉงใส่จิกกาจอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



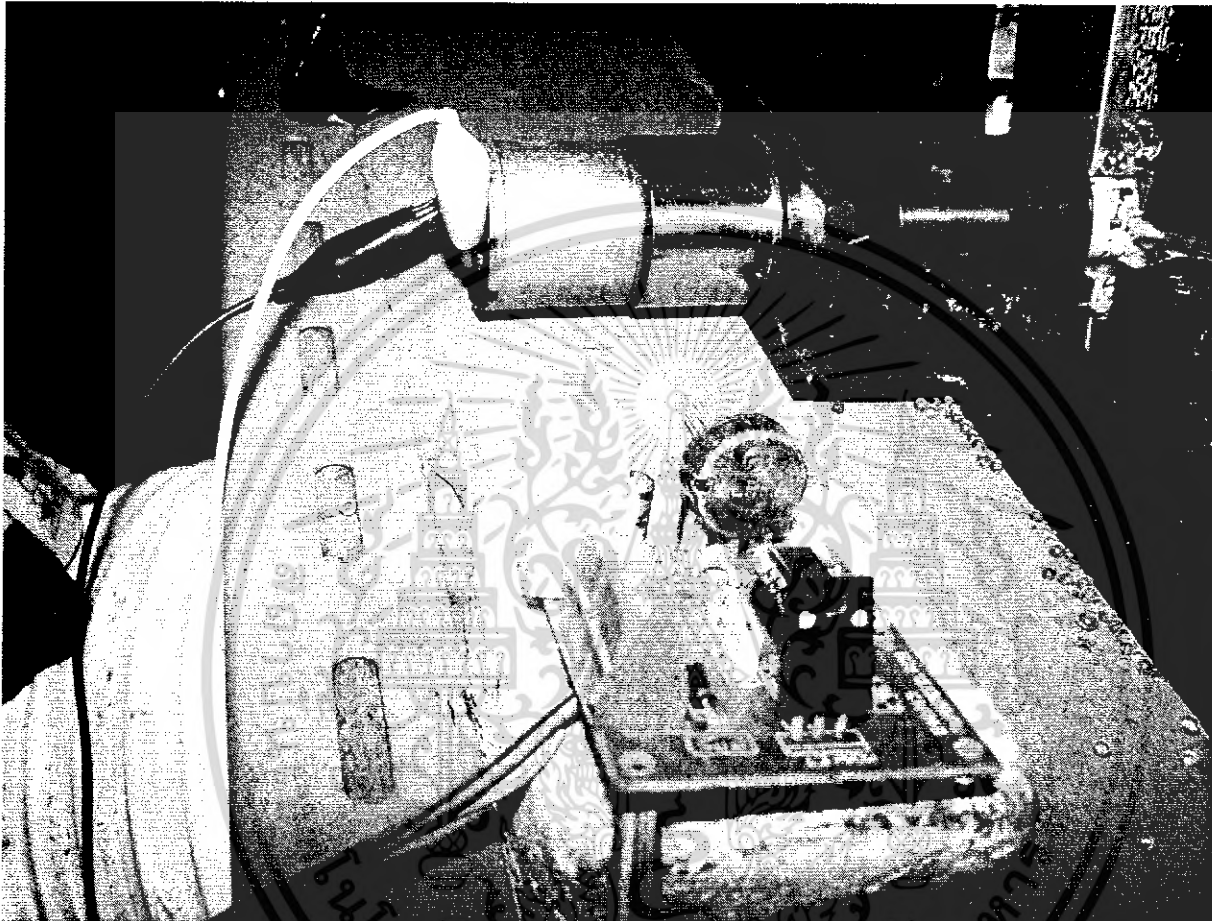
รูปที่ น.2 เครื่องวัดความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



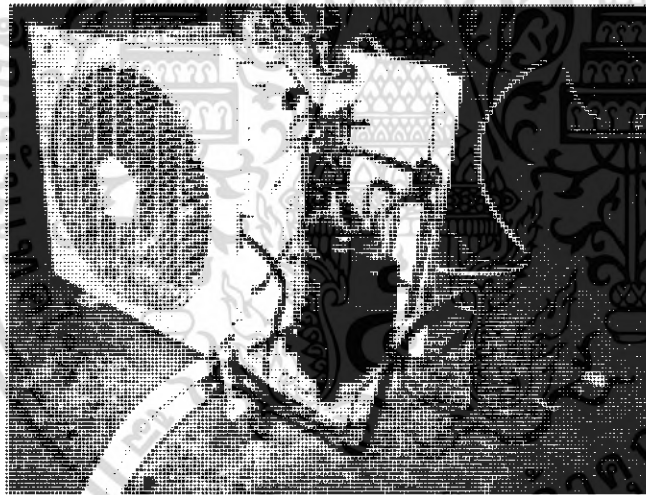
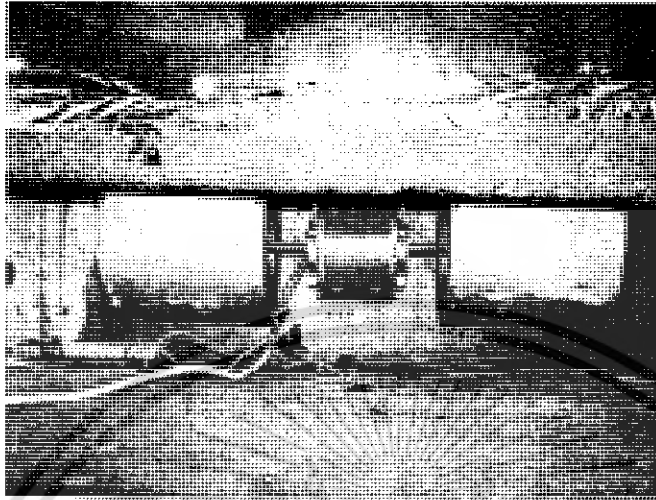
รูปที่ ข.3 อุปกรณ์เพิ่มความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



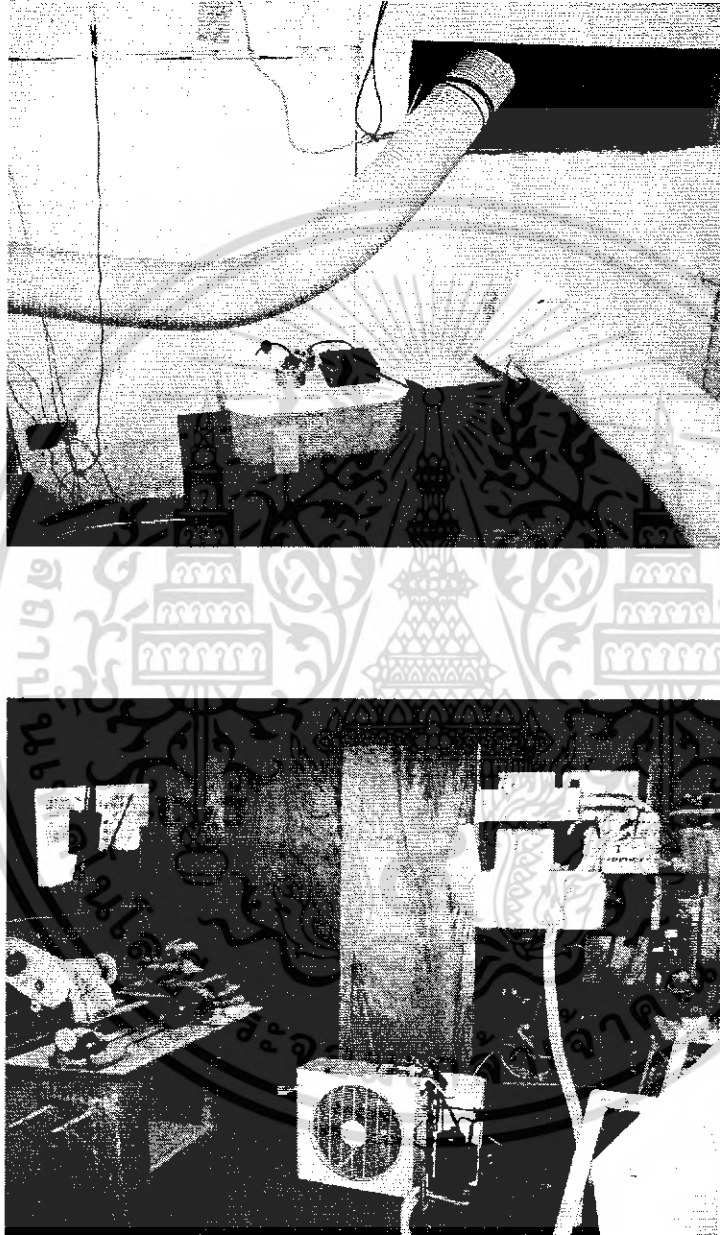
รูปที่ ข. 4 ชุดควบคุมมอเตอร์เครื่องดูดความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.5 ชุดระบบทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.6 ชุดห้องจำลองสภาพอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ผลการทดลองอุปกรณ์ลดความชื้นที่ความเร็วรอบ 4 rpm ที่ระดับความชื้น 75 - 80 เปอร์เซ็นต์

เวลา	ที่สภาวะทางเข้าอุปกรณ์ลดความชื้น			ที่สภาวะทางออกอุปกรณ์ลดความชื้น		
	Tdb	Twb	%RH	Tdb	Twb	%RH
5	25.1	22	76.3	30	22	49.3
10	25	22	77	29	22	54
15	25	22	77	28.8	21	49.3
20	25	22	77	28.8	21	49.3
25	25	22	77	28	21	53.1
30	25	22	77	27.8	21	54.1
35	25	22	77	27.8	21	54.1
40	25	22	75.5	27.8	21	54.1
45	25	21.8	75.5	27.8	21	54.1
50	25	21.8	75.5	27.8	21	54.1
55	25	21.8	75.5	27.8	21	54.1
60	25	21.9	76.2	27.8	21	54.1
65	25	22.1	80.6	27.8	21	54.1
70	25	22.1	80.6	27.8	21	54.1
75	25	22.1	80.6	27.8	21	54.1
80	25	22.1	80.6	27.8	21	54.1
85	25	22.1	80.6	27.8	21	54.1
90	25	22.1	80.6	27.8	21	54.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 ผลการทดลองอุปกรณ์ลดความชื้นที่ความเร็วรอบ 6 rpm ที่ระดับความชื้น 75 - 80 เปอร์เซ็นต์

เวลา	ที่สภาวะทางเข้าอุปกรณ์ลดความชื้น			ที่สภาวะทางออกอุปกรณ์ลดความชื้น		
	Tdb	Twb	%RH	Tdb	Twb	%RH
5	25	22.1	80.6	31	24	55.7
10	25	22	77	29	23	59.9
15	25	22.1	80.6	28.8	23	60.9
20	25	22.1	80.6	28.8	23	60.9
25	25	22	77	28	23	65.2
30	25	22	77	27.8	23	66.4
35	25	22	77	27.8	23	66.4
40	25	22	77	27.8	23	66.4
45	25	21.8	75.5	27.8	22.8	65.1
50	25	21.8	75.5	27.8	22.8	65.1
55	25	21.8	75.5	27.8	22.8	65.1
60	25	21.9	76.2	27.8	22.8	65.1
65	25	22.1	80.6	27.8	22.8	65.1
70	25	22.1	80.6	27.8	22.8	65.1
75	25	22.1	80.6	27.8	22.8	65.1
80	25	22.	77	27.8	22.8	65.1
85	25	22.	77	27.8	22.8	65.1
90	25	22.	77	27.8	22.8	65.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 ผลการทดลองอุปกรณ์ความชื้นที่ความเร็วรอบ 8 rpm ที่ระดับความชื้น 75 - 80 เปอร์เซ็นต์

เวลา	ที่สภาวะทางเข้าอุปกรณ์ลดความชื้น			ที่สภาวะทางออกอุปกรณ์ลดความชื้น		
	Tdb	Twb	%RH	Tdb	Twb	%RH
5	25	23	84.4	29.5	24	63.2
10	25	22.8	82.9	28	23	65.2
15	25	22.8	82.9	28	23	64
20	25	22.8	82.9	28	22.8	65.1
25	25	22.8	82.9	27.8	22.8	65.1
30	25	22.8	82.9	27.8	22.8	65.1
35	25	22.8	82.9	27.8	22.8	65.1
40	25	22.8	82.9	27.8	22.8	65.31
45	25	22.8	82.9	27.8	22.8	65.1
50	25	22.8	82.9	27.8	22.8	65.1
55	25	22.8	82.9	27.8	22.8	65.1
60	25	22.8	82.9	27.8	22.8	65.1
65	25	22.8	82.9	27.8	22.8	65.1
70	25	22.8	82.9	27.8	22.8	65.1
75	25	22.8	82.9	27.8	22.8	65.1
80	25	22.8	82.9	27.8	22.8	65.1
85	25	22.8	82.9	27.8	22.8	65.1
90	25	22.8	82.9	27.8	22.8	65.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 ผลการทดลองอุปกรณ์ความชื้นที่ความเร็วรอบ 4 rpm ที่ระดับความชื้น 65 -75 เปอร์เซ็นต์

เวลา	ที่สภาวะทางเข้าอุปกรณ์ลดความชื้น			ที่สภาวะทางออกอุปกรณ์ลดความชื้น		
	Tdb	Twb	%RH	Tdb	Twb	%RH
5	25	22	77	28.5	22.4	58.9
10	25	22	77	28.5	22.4	58.9
15	25	22	77	28.5	21	50.7
20	25.5	22	70.2	27.5	21	55.6
25	25	22	77	27.5	21	55.6
30	25	22	77	27.5	21	55.6
35	25	22	77	27.5	21	55.6
40	25	22	77	27.5	21	55.6
45	25	21	69.9	27.5	21	55.6
50	25	21	69.9	27.5	21	55.6
55	25	21	69.9	27.5	21	55.6
60	25	21	69.9	27.5	21	55.6
65	25	21	69.9	27.5	21	55.6
70	25	21	69.9	27.5	21	55.6
75	25	21	69.9	27.5	21	55.6
80	25	21	69.9	27.5	21	55.6
85	25	21	69.9	27.5	21	55.6
90	25	21	69.9	27.5	21	55.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 ผลการทดลองอุปกรณ์ความชื้นที่ความเร็วรอบ 6 rpm ที่ระดับความชื้น 65 -75 เปอร์เซ็นต์

เวลา	ที่สภาวะทางเข้าอุปกรณ์ลดความชื้น			ที่สภาวะทางออกอุปกรณ์ลดความชื้น		
	Tdb	Twb	%RH	Tdb	Twb	%RH
5	25	21	69.9	31	23	50.3
10	25	22	77	29	21	48.4
15	25	22	77	27	20	52.2
20	25	22	77	27	20	52.2
25	25	21	63	27	20	52.2
30	25	21	63	27	20	52.5
35	25	21	69.9	27	20	25.2
40	25	21	69.9	27	20	52.2
45	25	21	69.9	27	20	52.2
50	25	21	69.9	27	20	52.2
55	25	21	69.9	27	20	52.2
60	25	21	69.9	27	20	52.2
65	25	21	69.9	27	20	52.2
70	25	21	69.9	27	20	52.2
75	25	21	69.9	27	20	52.2
80	25	21	69.9	27	20	52.2
85	25	21	69.9	27	20	52.2
90	25	21	69.9	27	20	52.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 ผลการทดลองอุปความชื้นที่ความเร็วรอบ 8 rpm ที่ระดับความชื้น 65 -75 เปอร์เซ็นต์

เวลา	ที่สภาวะทางเข้าอุปกรณ์ลดความชื้น			ที่สภาวะทางออกอุปกรณ์ลดความชื้น		
	Tdb	Twb	%RH	Tdb	Twb	%RH
5	25	21	69.9	28	21	53.1
10	25	21	69.9	27	21	58.2
15	25	20	63	27	20	52.2
20	25	20	63	27	20	52.2
25	25	20	63	27	20	52.5
30	25	20	63	27	20	52.2
35	25	20	63	27	20	52.2
40	25	20	63	27	20	52.2
45	25	20	63	27.5	20	52.2
50	25	20	63	27.5	20	52.2
55	25	20	63	27	20	52.2
60	25	20	63	27	20	52.2
65	25	20	63	27	20	52.2
70	25	20	63	27	20	52.2
75	25	20	63	27	20	52.2
80	25	20	63	27	20	52.2
85	25	20	63	27	20	52.2
90	25	20	63	27	20	52.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.7 ผลการทดลองอุปกรณ์ความชื้นที่ความเร็วรอบ 4 rpm ที่ระดับความชื้น 58-65 เปอร์เซ็นต์

เวลา	ที่สภาวะทางเข้าอุปกรณ์ลดความชื้น			ที่สภาวะทางออกอุปกรณ์ลดความชื้น		
	Tdb	Twb	%RH	Tdb	Twb	%RH
5	25	20	63	27	21	58.2
10	25	20	63	27	20	52.5
15	25	20	63	27	20	52.5
20	25	20	63	27	20	52.5
25	25	20	63	27	20	52.5
30	25	20	63	27	20	52.5
35	25	20	63	27	20	52.5
40	25	20	63	27	20	52.5
45	25	20	63	27	20	52.5
50	25	20	63	27	20	52.5
55	25	20	63	27	20	52.5
60	25	20	63	27	20	52.5
65	25	20	63	27	20	52.5
70	25	20	63	27	20	52.5
75	25	20	63	27	20	52.5
80	25	20	63	27	20	52.5
85	25	20	63	27	20	52.5
90	25	20	63	27	20	52.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.8 ผลการทดลองอุปกรณ์ความชื้นที่ความเร็วรอบ 6 rpm ที่ระดับความชื้น 58-65 เปอร์เซ็นต์

เวลา	ที่สภาวะทางเข้าอุปกรณ์ลดความชื้น			ที่สภาวะทางออกอุปกรณ์ลดความชื้น		
	Tdb	Twb	%RH	Tdb	Twb	%RH
5	25	20	63	30	21	44
10	25	20	63	27	20	52.2
15	25	20	63	26	19	51.1
20	25	20	63	26	19	51.1
25	25	20	63	26	19	51.1
30	25	20	63	26	19	51.1
35	25	20	63	26	19	51.1
40	25	20	63	26	19	51.1
45	25	20	63	26	19	51.1
50	24.9	19	57	26	19	51.1
55	25	20	63	26	19	51.1
60	25	20	63	26	19	51.1
65	25	20	63	26	19	51.1
70	25	20	63	26	19	51.1
75	25	20	63	26	19	51.1
80	25	20	63	26	19	51.1
85	25	20	63	26	19	51.1
90	25	20	63	26	19	51.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.9 ผลการทดลองอุปกรณ์ความชื้นที่ความเร็วรอบ 8 rpm ที่ระดับความชื้น 58-65 เปอร์เซ็นต์

เวลา	ที่สภาวะทางเข้าอุปกรณ์ลดความชื้น			ที่สภาวะทางออกอุปกรณ์ลดความชื้น		
	Tdb	Twb	%RH	Tdb	Twb	%RH
5	25	21	69.9	28	21	53.1
10	25	21	69.9	28	21	53.1
15	25	21	69.9	28	21	53.1
20	25	21	69.9	28	21	53.1
25	25	21	69.9	28	21	53.1
30	25	20	63	27	20	53.2
35	25	20	63	27	20	53.2
40	25	20	63	27	20	53.2
45	25	20	63	27	20	53.2
50	25	20	63	27	20	53.2
55	25	20	63	27	20	53.2
60	25	20	63	27	20	53.2
65	25	20	63	27	20	53.2
70	25	20	63	27	20	53.2
75	25	20	63	27	20	53.2
80	25	20	63	27	20	53.2
85	25	20	63	27.8	21	54.1
90	25	20	63	27.8	21	53.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้