



การประยุกต์ใช้สารดูดความชื้นเพื่อลดความชื้นของอากาศก่อนเข้าสู่ระบบปรับอากาศ  
ของอาคารที่อยู่อาศัย

**Applications of Solid Desiccant Dehumidification for Air-conditioning System  
in Residential Buildings**

วิสิทธิ์ เอกวานิช

**Visit Akvanich**

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร  
มหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of  
Master of Engineering in Mechanical Engineering  
Prince of Songkla University**

**2552**

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



การประยุกต์ใช้สารดูดความชื้นเพื่อลดความชื้นของอากาศก่อนเข้าสู่ระบบปรับอากาศ  
ของอาคารที่อยู่อาศัย

**Applications of Solid Desiccant Dehumidification for Air-conditioning System  
in Residential Buildings**

วิสิทธิ์ เอกวานิช

**Visit Akvanich**

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร  
มหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of  
Master of Engineering in Mechanical Engineering  
Prince of Songkla University**

**2552**

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์      การประยุกต์ใช้สารดูดความชื้นเพื่อลดความชื้นของอากาศก่อนเข้าสู่ระบบ  
 ปรับอากาศของอาคารที่อยู่อาศัย

ผู้เขียน                นายวิสิทธิ์ เอกวานิช

สาขาวิชา              วิศวกรรมเครื่องกล

**คณะกรรมการที่ปรึกษา**

.....ประธานกรรมการ  
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทกานต์ ทวีกุล)

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม**

.....กรรมการ  
 (รองศาสตราจารย์ ดร.ชูเกียรติ กุปตานนท์)

**คณะกรรมการสอบ**

.....ประธานกรรมการ  
 (ดร.ฐานันดรศักดิ์ เทพญา)

.....กรรมการ  
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทกานต์ ทวีกุล)

.....กรรมการ  
 (รองศาสตราจารย์ ดร.ชูเกียรติ กุปตานนท์)

.....กรรมการ  
 (ศาสตราจารย์ ดร.สุรพงษ์ จิระรัตนานนท์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วน  
 หนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

.....  
 (รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้สารดูดความชื้นเพื่อลดความชื้นของอากาศก่อนเข้าสู่ระบบปรับอากาศของอาคารที่อยู่อาศัย
ผู้เขียน	นายวิสิทธิ์ เอกวานิช
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา	2552

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและออกแบบระบบดูดความชื้น และระบบคายความชื้นของสารดูดความชื้น เพื่อลดภาระความร้อนแฝงของระบบทำความเย็น โดยใช้กึ่งลวดดูดความชื้น ระบบมีการจำลองด้วยโปรแกรม EnergyPlus version 1.4 ซึ่งประกอบด้วยโครงสร้างบ้านประหยัดพลังงานซึ่งตั้งอยู่ในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และระบบทำความเย็น โดยศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการปรับอากาศและค่าการใช้พลังงาน ระหว่างระบบทำความเย็นทั่วไป และระบบทำความเย็นที่ติดตั้งระบบลดความชื้น ที่อัตราการจ่ายและอัตราการระบายอากาศต่างๆ ผลการจำลองพบว่า ระบบลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้น มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ร่วมกับระบบทำความเย็นที่มีขนาดมากกว่า 24,000 Btu/hr โดยสามารถประหยัดพลังงานได้ 22.31% ที่ระบบทำความเย็นขนาด 36,000 Btu/hr อัตราการไหลลมจ่าย 0.64 kg/sec และอัตราการระบายอากาศ 0.09 kg/sec กึ่งลวดดูดความชื้นที่ใช้ในการทดลองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 m ความหนา 0.2 m ปริมาณสารดูดความชื้น (ซิลิกาเจล) ที่ใช้ 15 kg โดยแบ่งพื้นที่การทำงานระหว่างกระบวนการลดความชื้น และกระบวนการคายความชื้นเท่าๆกัน ตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ อัตราการไหลของอากาศ ความเร็วของกึ่งลวดดูดความชื้น อุณหภูมิ และอัตราส่วนความชื้นของอากาศที่ทางเข้าชุดอุปกรณ์กึ่งลวดดูดความชื้น ทั้งกระบวนการลดความชื้นในอากาศ และกระบวนการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้น

ผลการทดลองพบว่า กึ่งลวดดูดความชื้นมีสัมประสิทธิ์สมรรถนะ 0.25 ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.1 kg/min อุณหภูมิที่ใช้ในการคายความชื้น 55°C และความเร็วรอบกึ่งลวดดูดความชื้น 2.5 rpm ซึ่งระบบดูดความชื้นสามารถลดความชื้นได้ 1.7 g<sub>w</sub>/kg<sub>da</sub> (14%) และภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนลดลง 0.71 kW<sub>th</sub> (19.26%)

**Thesis Title** Applications of Solid Desiccant Dehumidification for Air-conditioning System in Residential Buildings

**Author** Mr. Visit Akvanich

**Major Program** Mechanical Engineering

**Academic Year** 2009

### ABSTRACT

The purposes of this research are to study and design the dehumidification and regeneration of desiccant for the latent load reduction of air-conditioning system by using rotary desiccant wheel. This system was investigated by using simulation using EnergyPlus version 1.4, the energy simulation software. The details of the experiment room in the low energy house locating at Prince of Songkla University were used to construct the model for simulation. Two system configurations were used for simulation. The first system couples the air-conditioning installation to the building. The second system couples the desiccant dehumidification to the previous one. The considered parameters are process air flow rate and ventilation during inoccupation period to obtain performance of the system the uses of energy consumption. Simulation results revealed that the desiccant dehumidification is suitable for air-conditioning system which air conditioner cooling capacity requirement more than 24,000 Btu/hr. Energy saving is 22.31% at 36,000 Btu/hr air conditioner cooling capacity which 0.64 kg/sec air flow rate and at 0.09 kg/sec air ventilation flow rate. The experimental system consisted of a rotary desiccant wheel of 0.5 m diameter with the length of 0.2 m using 15 kg of silica gel. It is divided into two equal parts for dehumidification and regeneration process. The effect of the operating parameters such as air flow rate, wheel speed, inlet temperature and inlet humidity ratio of dehumidification and regeneration process were considered in this study.

The experimental results show that the coefficient of performance for desiccant wheel is 0.25 at air flow rate 1.0 kg/min, regeneration air temperature 55°C and at 2.5 rpm wheel speed. The humidity ratio of conditioning space and cooling load of split type air conditioner was decreased 1.7 g<sub>w</sub>/kg<sub>da</sub> (14%) and 0.71 kW<sub>th</sub> (19.26%), respectively.

## กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.จันทกานต์ ทวีกุล ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ชูเกียรติ คุปตานนท์ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม และ รศ.ปัญญารัตน์ งามศรีตระกูล ที่กรุณาให้แนวคิด และคำแนะนำในการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนการแก้ปัญหาต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ ซึ่งผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งใจเป็นอย่างยิ่ง นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร.ฐานันดรศักดิ์ เทพญา ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ศาสตราจารย์ ดร.สุรพงษ์ จิระรัตนานนท์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์จากสาขาวิชาพลังงานประจำบัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม (JGSEE) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำในการทำงานวิจัย และประเมินผลงานวิจัย เพื่อให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) รวมทั้งทุนเพื่อวิทยานิพนธ์จากบัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้โอกาสและสนับสนุนเงินทุนการวิจัยในโครงการนี้ ท้ายสุดนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงต่อ บิดา มารดา และบุคคลในครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้าน รวมไปถึงเพื่อนๆ ที่มีส่วนร่วมในการทำวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

วิสิทธิ์ เอกวานิช

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(8)
รายการภาพประกอบ	(12)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ	(17)
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 บทนำตั้งเรื่อง	1
1.2 การตรวจเอกสาร	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	23
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	23
1.5 ขอบเขตของการศึกษา	23
2 ทฤษฎี	24
2.1 สมบัติทางอุณหพลศาสตร์ของอากาศชื้น (Thermodynamics Properties of Moist Air)	24
2.2 แผนภูมิอากาศชื้น (Psychrometric chart)	28
2.3 วัฏจักรทำความเย็น (Refrigeration cycles)	30
2.4 กระบวนการลดความชื้น (Dehumidification)	32
2.5 สารดูดความชื้น (Desiccant)	33
2.6 กระบวนการลดความชื้นโดยสารดูดความชื้น (Desiccant dehumidification)	35
2.7 ระบบทำความเย็นโดยสารดูดความชื้น (Desiccant cooling system)	37
2.8 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์	40
2.9 สรุป	41
3 การออกแบบระบบและอุปกรณ์ทดลอง	42
3.1 การออกแบบกังล้อดูดลดความชื้น	42
3.2 การจำลองระบบทำความเย็นโดยสารดูดความชื้นด้วยโปรแกรม EnergyPlus version 1.4	45
3.3 สรุป	55
	(6)

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4 วิธีการวิจัย	56
4.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง	56
4.2 การศึกษาการลดความชื้นในอากาศของสารดูดความชื้น	59
4.3 การศึกษาการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้น	62
4.4 การทดสอบชุดกึ่งล้อดูดความชื้น	65
4.5 การทดสอบระบบปรับอากาศร่วมกับระบบดูดความชื้น	69
4.6 สรุป	72
5 ผลการทดลองและบทวิจารณ์	73
5.1 ผลการศึกษาการลดความชื้นในอากาศของสารดูดความชื้น	73
5.2 ผลการศึกษาการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้น	78
5.3 ผลการทดสอบชุดกึ่งล้อดูดความชื้น	83
5.4 ผลการทดสอบระบบปรับอากาศร่วมกับระบบดูดความชื้น	93
5.5 สรุป	98
6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	99
6.1 บทสรุป	99
6.2 ข้อเสนอแนะ	99
บรรณานุกรม	101
ภาคผนวก	105
ประวัติผู้เขียน	154



## รายการตาราง

ตาราง	หน้า
3.1 ข้อมูลคุณสมบัติเชิงความร้อนของวัสดุหีบสำหรับผนังอาคาร	47
3.2 ข้อมูลคุณสมบัติของกระจก	47
3.3 ข้อมูลภาระการทำความเย็นภายในอาคาร	47
3.4 ข้อมูลค่าที่ใช้ในระบบปรับอากาศ	48
4.1 การศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าสู่ดงล้อยูดความชื้น	60
4.2 การศึกษาผลของอัตราส่วนความชื้นอากาศก่อนเข้าสู่ดงล้อยูดความชื้น	61
4.3 การศึกษาผลของอัตราการไหลอากาศก่อนเข้าสู่ดงล้อยูดความชื้น	61
4.4 การศึกษาผลของความเร็วรอบดงล้อยูดความชื้น	61
4.5 การศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าสู่ดงล้อยูดความชื้น	63
4.6 การศึกษาผลของอัตราส่วนความชื้นอากาศก่อนเข้าสู่ดงล้อยูดความชื้น	64
4.7 การศึกษาผลของอัตราการไหลอากาศก่อนเข้าสู่ดงล้อยูดความชื้น	64
4.8 การศึกษาผลของความเร็วรอบดงล้อยูดความชื้น	64
4.9 การศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าสู่ดงล้อยูดความชื้น	67
4.10 การศึกษาผลของอัตราส่วนความชื้นอากาศก่อนเข้าสู่ดงล้อยูดความชื้น	67
4.11 การศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศในการคายความชื้น	67
4.12 การศึกษาผลของอัตราการไหลอากาศก่อนเข้าสู่ดงล้อยูดความชื้น	68
4.13 การศึกษาผลของอัตราการไหลอากาศในการคายความชื้น	68
4.14 การศึกษาผลของความเร็วรอบดงล้อยูดความชื้น	68
ข 1 ข้อมูลสภาวะอากาศภายในและภายนอกห้องปรับอากาศในช่วงเวลา 09.00 น. ถึง 21.00 น. กรณีระบบทำความเย็นทั่วไป	120
ข 2 ข้อมูลสภาวะอากาศภายในและภายนอกห้องปรับอากาศในช่วงเวลา 09.00 น. ถึง 21.00 น. กรณีระบบทำความเย็นร่วมกับระบบดูดความชื้น	120
ข 3 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์งล้อยูดความชื้นในช่วงเวลา 09.00 น. ถึง 21.00 น. กรณีระบบทำความเย็นร่วมกับระบบดูดความชื้น	121
ข 4 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในช่วงเวลา 09.00 น. ถึง 21.00 น. กรณีระบบทำความเย็นร่วมกับระบบดูดความชื้น	121

## รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ข 5 ข้อมูลการประหยัดพลังงานที่อัตราภาระบายอากาศต่างๆ	122
ข 6 ข้อมูลการประหยัดพลังงานที่อัตราลมจ่ายต่างๆ	122
ค 1 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กล้อดูดความชื้น ที่เงื่อนไข $T_{ip}=24.5^{\circ}\text{C}$ , $w_{ip}=19$ $g_w/kg_{da}$ , $\dot{m}_{ip}=1.0$ kg/min, Rev=2.5 rpm	124
ค 2 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กล้อดูดความชื้น ที่เงื่อนไข $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ , $w_{ip}=19$ $g_w/kg_{da}$ , $\dot{m}_{ip}=1.0$ kg/min, Rev=2.5 rpm	124
ค 3 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กล้อดูดความชื้น ที่เงื่อนไข $T_{ip}=32.5^{\circ}\text{C}$ , $w_{ip}=19$ $g_w/kg_{da}$ , $\dot{m}_{ip}=1.0$ kg/min, Rev=2.5 rpm	125
ค 4 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กล้อดูดความชื้น ที่เงื่อนไข $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ , $w_{ip}=10$ $g_w/kg_{da}$ , $\dot{m}_{ip}=1.0$ kg/min, Rev=2.5 rpm	125
ค 5 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กล้อดูดความชื้น ที่เงื่อนไข $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ , $w_{ip}=15$ $g_w/kg_{da}$ , $\dot{m}_{ip}=1.0$ kg/min, Rev=2.5 rpm	126
ค 6 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กล้อดูดความชื้น ที่เงื่อนไข $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ , $w_{ip}=19$ $g_w/kg_{da}$ , $\dot{m}_{ip}=0.3$ kg/min, Rev=2.5 rpm	126
ค 7 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กล้อดูดความชื้น ที่เงื่อนไข $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ , $w_{ip}=19$ $g_w/kg_{da}$ , $\dot{m}_{ip}=1.7$ kg/min, Rev=2.5 rpm	127
ค 8 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กล้อดูดความชื้น ที่เงื่อนไข $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ , $w_{ip}=19$ $g_w/kg_{da}$ , $\dot{m}_{ip}=1.0$ kg/min, Rev=1.0 rpm	127
ค 9 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กล้อดูดความชื้น ที่เงื่อนไข $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ , $w_{ip}=19$ $g_w/kg_{da}$ , $\dot{m}_{ip}=1.0$ kg/min, Rev=4.0 rpm	128
ค 10 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กล้อดูดความชื้น ที่เงื่อนไข $T_{ir}=45^{\circ}\text{C}$ , $w_{ir}=19$ $g_w/kg_{da}$ , $\dot{m}_{ir}=1.8$ kg/min, Rev=2.5 rpm	128
ค 11 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กล้อดูดความชื้น ที่เงื่อนไข $T_{ir}=55^{\circ}\text{C}$ , $w_{ir}=19$ $g_w/kg_{da}$ , $\dot{m}_{ir}=1.8$ kg/min, Rev=2.5 rpm	129
ค 12 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กล้อดูดความชื้น ที่เงื่อนไข $T_{ir}=65^{\circ}\text{C}$ , $w_{ir}=19$ $g_w/kg_{da}$ , $\dot{m}_{ir}=1.8$ kg/min, Rev=2.5 rpm	129

## รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ค 13 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กรองล้อยูดความชื้น ที่เงื่อนไข $T_{ir}=55^{\circ}C$ , $w_{ir}=10$ $g_w/kg_{da}$ , $\dot{m}_{ir}=1.8$ kg/min, Rev=2.5 rpm	130
ค 14 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กรองล้อยูดความชื้น ที่เงื่อนไข $T_{ir}=55^{\circ}C$ , $w_{ir}=15$ $g_w/kg_{da}$ , $\dot{m}_{ir}=1.8$ kg/min, Rev=2.5 rpm	130
ค 15 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กรองล้อยูดความชื้น ที่เงื่อนไข $T_{ir}=55^{\circ}C$ , $w_{ir}=19$ $g_w/kg_{da}$ , $\dot{m}_{ir}=1.0$ kg/min, Rev=2.5 rpm	131
ค 16 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กรองล้อยูดความชื้น ที่เงื่อนไข $T_{ir}=55^{\circ}C$ , $w_{ir}=19$ $g_w/kg_{da}$ , $\dot{m}_{ir}=2.5$ kg/min, Rev=2.5 rpm	131
ค 17 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กรองล้อยูดความชื้น ที่เงื่อนไข $T_{ir}=55^{\circ}C$ , $w_{ir}=19$ $g_w/kg_{da}$ , $\dot{m}_{ir}=1.8$ kg/min, Rev=1.0 rpm	132
ค 18 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กรองล้อยูดความชื้น ที่เงื่อนไข $T_{ir}=55^{\circ}C$ , $w_{ir}=19$ $g_w/kg_{da}$ , $\dot{m}_{ir}=1.8$ kg/min, Rev=4.0 rpm	132
ค 19 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กรองล้อยูดความชื้น ที่เงื่อนไข $T_{ip}=24.5^{\circ}C$ , $w_{ip}=w_{ir}=19$ $g_w/kg_{da}$ , $T_{ir}=55^{\circ}C$ , $\dot{m}_{ip}=1.0$ kg/min, $\dot{m}_{ir}=1.8$ kg/min, Rev=2.5 rpm	133
ค 20 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กรองล้อยูดความชื้น ที่เงื่อนไข $T_{ip}=27.5^{\circ}C$ , $w_{ip}=w_{ir}=19$ $g_w/kg_{da}$ , $T_{ir}=55^{\circ}C$ , $\dot{m}_{ip}=1.0$ kg/min, $\dot{m}_{ir}=1.8$ kg/min, Rev=2.5 rpm	134
ค 21 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กรองล้อยูดความชื้น ที่เงื่อนไข $T_{ip}=32.5^{\circ}C$ , $w_{ip}=w_{ir}=19$ $g_w/kg_{da}$ , $T_{ir}=55^{\circ}C$ , $\dot{m}_{ip}=1.0$ kg/min, $\dot{m}_{ir}=1.8$ kg/min, Rev=2.5 rpm	135
ค 22 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กรองล้อยูดความชื้น ที่เงื่อนไข $T_{ip}=27.5^{\circ}C$ , $w_{ip}=w_{ir}=10$ $g_w/kg_{da}$ , $T_{ir}=55^{\circ}C$ , $\dot{m}_{ip}=1.0$ kg/min, $\dot{m}_{ir}=1.8$ kg/min, Rev=2.5 rpm	136
ค 23 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กรองล้อยูดความชื้น ที่เงื่อนไข $T_{ip}=27.5^{\circ}C$ , $w_{ip}=w_{ir}=15$ $g_w/kg_{da}$ , $T_{ir}=55^{\circ}C$ , $\dot{m}_{ip}=1.0$ kg/min, $\dot{m}_{ir}=1.8$ kg/min, Rev=2.5 rpm	137
ค 24 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กรองล้อยูดความชื้น ที่เงื่อนไข $T_{ip}=27.5^{\circ}C$ , $w_{ip}=w_{ir}=19$ $g_w/kg_{da}$ , $T_{ir}=45^{\circ}C$ , $\dot{m}_{ip}=1.0$ kg/min, $\dot{m}_{ir}=1.8$ kg/min, Rev=2.5 rpm	138
ค 25 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กรองล้อยูดความชื้น ที่เงื่อนไข $T_{ip}=27.5^{\circ}C$ , $w_{ip}=w_{ir}=19$ $g_w/kg_{da}$ , $T_{ir}=65^{\circ}C$ , $\dot{m}_{ip}=1.0$ kg/min, $\dot{m}_{ir}=1.8$ kg/min, Rev=2.5 rpm	139

## รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ค 26 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กรองล้อยูดความชื้น ที่เงื่อนไข $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ , $w_{ip}=w_{ir}=19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ , $T_{ir}=55^{\circ}\text{C}$ , $\dot{m}_{ip}=0.3 \text{ kg/min}$ , $\dot{m}_{ir}=1.8 \text{ kg/min}$ , $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$	140
ค 27 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กรองล้อยูดความชื้น ที่เงื่อนไข $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ , $w_{ip}=w_{ir}=19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ , $T_{ir}=55^{\circ}\text{C}$ , $\dot{m}_{ip}=1.7 \text{ kg/min}$ , $\dot{m}_{ir}=1.8 \text{ kg/min}$ , $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$	141
ค 28 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กรองล้อยูดความชื้น ที่เงื่อนไข $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ , $w_{ip}=w_{ir}=19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ , $T_{ir}=55^{\circ}\text{C}$ , $\dot{m}_{ip}=1.0 \text{ kg/min}$ , $\dot{m}_{ir}=1.0 \text{ kg/min}$ , $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$	142
ค 29 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กรองล้อยูดความชื้น ที่เงื่อนไข $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ , $w_{ip}=w_{ir}=19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ , $T_{ir}=55^{\circ}\text{C}$ , $\dot{m}_{ip}=1.0 \text{ kg/min}$ , $\dot{m}_{ir}=2.5 \text{ kg/min}$ , $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$	143
ค 30 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กรองล้อยูดความชื้น ที่เงื่อนไข $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ , $w_{ip}=w_{ir}=19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ , $T_{ir}=55^{\circ}\text{C}$ , $\dot{m}_{ip}=1.0 \text{ kg/min}$ , $\dot{m}_{ir}=1.8 \text{ kg/min}$ , $\text{Rev}=1.0 \text{ rpm}$	144
ค 31 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กรองล้อยูดความชื้น ที่เงื่อนไข $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ , $w_{ip}=w_{ir}=19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ , $T_{ir}=55^{\circ}\text{C}$ , $\dot{m}_{ip}=1.0 \text{ kg/min}$ , $\dot{m}_{ir}=1.8 \text{ kg/min}$ , $\text{Rev}=4.0 \text{ rpm}$	145
ค 32 ข้อมูลสภาวะอากาศภายในและภายนอกห้องทดลองในช่วงเวลา 09.00 น. ถึง 21.00 น.	146
ค 33 ข้อมูลสภาวะอากาศภายในและภายนอกห้องทดลองร่วมกับระบบลดความชื้นใน ช่วงเวลา 09.00 น. ถึง 21.00 น.	146
ค 34 ข้อมูลสภาวะอากาศภายในและภายนอกห้องทดลองร่วมกับระบบปรับอากาศใน ช่วงเวลา 09.00 น. ถึง 21.00 น.	147
ค 35 ข้อมูลสภาวะอากาศภายในและภายนอกห้องทดลองร่วมกับระบบปรับอากาศและ ระบบลดความชื้นในช่วงเวลา 09.00 น. ถึง 21.00 น.	148

## รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1.1 แผนภูมิความสบาย	3
1.2 แผนภูมิความสบายของการระบายอากาศ	4
1.3 ชุดการทดลองและเบดดูดความชื้น	5
1.4 ชุดการทดลองและผลการทำนายกึ่งลือดดูดความชื้น	6
1.5 ความเร็วรอบที่เหมาะสมที่ความเร็วอากาศ 1 m/s (ความหนาเกลือ 0.2 m)	6
1.6 ชุดการทดลองศึกษาตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อสมรรถนะของกึ่งลือดดูดความชื้น	8
1.7 ระบบ ventilation-condenser	9
1.8 ระบบปรับอากาศโดยสารดูดความชื้น	10
1.9 ห้องที่มีการระบายอากาศด้วยปล่องระบายอากาศ โดยใช้สารดูดความชื้น	11
1.10 ชุดการทดลองและเบดดูดความชื้น	13
1.11 ชุดการทดลองระบบทำความเย็นโดยการเพิ่มกระบวนการลดความชื้น	14
1.12 ระบบปรับอากาศโดยสารดูดความชื้นร่วมกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหย	15
1.13 ระบบทำความเย็น โดยสารดูดความชื้น	16
1.14 ระบบทำความเย็น โดยสารดูดความชื้นและราคาการติดตั้ง	17
1.15 ความสามารถของกึ่งลือดดูดความชื้นและอุณหภูมิที่ทางออกที่ปัจจัยต่างๆ	18
1.16 ชุดการทดลองและกึ่งลือดดูดความชื้น	19
1.17 การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบทำความเย็น โดยสารดูดความชื้น	20
1.18 ชุดการทดลองระบบสารดูดความชื้น	22
2.1 แผนภูมิอากาศชื้น	28
2.2 ความหมายของเส้นบนแผนภูมิอากาศชื้น	29
2.3 กระบวนการปรับสภาพอากาศพื้นฐาน	30
2.4 การทำงานของเครื่องทำความเย็น	30
2.5 ภาพและแผนภาพ T-s ของวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ	31
2.6 กราฟความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศกับสารดูดความชื้น	34
2.7 กระบวนการลดความชื้นของสารดูดความชื้นบนแผนภูมิอากาศชื้น	36
2.8 ลักษณะของระบบทำความเย็น โดยสารดูดความชื้นสำหรับห้างสรรพสินค้า	38

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
2.9 ลักษณะของระบบทำความเย็นโดยสารดูดความชื้นสำหรับภัยพิบัติ	39
3.1 การออกแบบกังล้อดูดความชื้น	44
3.2 ตำแหน่งการติดตั้งระบบลดความชื้น	45
3.3 แผนผังการจำลองด้วย โปรแกรม EnergyPlus version 1.4	46
3.4 การจำลองส่วนของกรอบอาคาร	48
3.5 แสดงส่วนประกอบต่างๆของระบบหลัก	49
3.6 แสดงส่วนประกอบต่างๆของระบบสารดูดความชื้น	49
3.7 แสดงผลการจำลองสภาวะอากาศภายในและภายนอกห้องปรับอากาศระบบทำความเย็นทั่วไปในช่วงเวลา 00.00 น. ถึง 24.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2552	51
3.8 แสดงผลการจำลองสภาวะอากาศภายในและภายนอกห้องปรับอากาศระบบทำความเย็นร่วมกับระบบดูดความชื้นในช่วงเวลา 00.00 น. ถึง 24.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2552	52
3.9 แสดงผลการจำลองสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กังล้อดูดความชื้นระบบทำความเย็นร่วมกับระบบดูดความชื้นในช่วงเวลา 00.00 น. ถึง 24.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2552	53
3.10 แสดงผลการจำลองสภาวะอากาศที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระบบทำความเย็นร่วมกับระบบดูดความชื้นในช่วงเวลา 00.00 น. ถึง 24.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2552	54
3.11 แสดงผลการจำลองค่าประหยัดพลังงานและอัตราส่วนการระบายอากาศที่อัตราการไหลลมจ่ายต่างๆ ในช่วงเวลา 09.00 น. ถึง 21.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2552	55
4.1 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน	56
4.2 เครื่องควบคุมความชื้น	57
4.3 พัดลมเป่าอากาศ	57
4.4 ฮีทเตอร์ไฟฟ้า	58
4.5 ชุดกังล้อดูดความชื้น	58
4.6 เครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ	59

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4.7 การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัดการศึกษาการลดความชื้น	60
4.8 ขั้นตอนการทดลองการศึกษาการลดความชื้นในอากาศของสารดูดความชื้น	62
4.9 การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัดการศึกษาการคายความชื้น	63
4.10 ขั้นตอนการทดลองการศึกษาการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้น	65
4.11 การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัดการทดสอบชุดกึ่งล้อดูดความชื้น	66
4.12 ขั้นตอนการทดลองการทดสอบชุดกึ่งล้อดูดความชื้น	69
4.13 การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัดการทดสอบระบบปรับอากาศร่วมกับระบบดูดความชื้น	70
4.14 ขั้นตอนการทดสอบระบบปรับอากาศร่วมกับระบบดูดความชื้น	71
5.1 อัตราการดูดความชื้นของสารดูดความชื้นที่เงื่อนไข $T_{ip}=24.5, 27.5, 32.5^{\circ}\text{C}$ , $w_{ip}=19 \text{ g/kg}_{da}$ , $\dot{m}_{ip}=1.0 \text{ kg/min}$ , $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$	74
5.2 อัตราการดูดความชื้นของสารดูดความชื้นที่เงื่อนไข $w_{ip}=10, 15, 19 \text{ g/kg}_{da}$ $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ , $\dot{m}_{ip}=1.0 \text{ kg/min}$ , $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$	75
5.3 อัตราการดูดความชื้นของสารดูดความชื้นที่เงื่อนไข $\dot{m}_{ip}=0.3, 1.0, 1.7 \text{ kg/min}$ , $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ , $w_{ip}=19 \text{ g/kg}_{da}$ , $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$	76
5.4 อัตราการดูดความชื้นของสารดูดความชื้นที่เงื่อนไข $\text{Rev}=1.0, 2.5, 4.0 \text{ rpm}$ $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ , $w_{ip}=19 \text{ g/kg}_{da}$ , $\dot{m}_{ip}=1.0 \text{ kg/min}$	77
5.5 แสดงผลของตัวแปรต่างๆต่ออัตราการลดความชื้นในอากาศของสารดูดความชื้น	78
5.6 อัตราการคายความชื้นของสารดูดความชื้นที่เงื่อนไข $T_{ir}=45, 55, 65^{\circ}\text{C}$ , $w_{ir}=19$ $\text{g/kg}_{da}$ , $\dot{m}_{ir}=1.8 \text{ kg/min}$ , $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$	79
5.7 อัตราการคายความชื้นของสารดูดความชื้นที่เงื่อนไข $w_{ir}=10, 15, 19 \text{ g/kg}_{da}$ , $T_{ir}=55^{\circ}\text{C}$ , $\dot{m}_{ir}=1.8 \text{ kg/min}$ , $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$	80
5.8 อัตราการคายความชื้นของสารดูดความชื้นที่เงื่อนไข $\dot{m}_{ir}=1.0, 1.8, 2.5 \text{ kg/min}$ , $T_{ir}=55^{\circ}\text{C}$ , $w_{ir}=19 \text{ g/kg}_{da}$ , $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$	81
5.9 อัตราการคายความชื้นของสารดูดความชื้นที่เงื่อนไข $\text{Rev}=1.0, 2.5, 4.0 \text{ rpm}$ , $T_{ir}=55^{\circ}\text{C}$ , $w_{ir}=19 \text{ g/kg}_{da}$ , $\dot{m}_{ir}=1.8 \text{ kg/min}$	82

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
5.10 แสดงผลของตัวแปรต่างๆต่ออัตราการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้น	83
5.11 อัตราการดูดและอัตราการคายความชื้นของงกลีดูดความชื้นที่เงื่อนไข $T_{ip}=24.5, 27.5, 32.5^{\circ}C$ , $w_{ip}=w_{ir}=19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ , $T_{ir}=55^{\circ}C$ , $\dot{m}_{ip}=1.0 \text{ kg}/\text{min}$ , $\dot{m}_{ir}=1.8 \text{ kg}/\text{min}$ , $Rev=2.5 \text{ rpm}$	85
5.12 อัตราการดูดและอัตราการคายความชื้นของงกลีดูดความชื้นที่เงื่อนไข $w_{ip}=w_{ir}=10, 15, 19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ , $T_{ip}=27.5^{\circ}C$ , $T_{ir}=55^{\circ}C$ , $\dot{m}_{ip}=1.0 \text{ kg}/\text{min}$ , $\dot{m}_{ir}=1.8 \text{ kg}/\text{min}$ , $Rev=2.5 \text{ rpm}$	86
5.13 อัตราการดูดและอัตราการคายความชื้นของงกลีดูดความชื้นที่เงื่อนไข $T_{ir}=45, 55, 65^{\circ}C$ , $T_{ip}=27.5^{\circ}C$ , $w_{ip}=w_{ir}=19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ , $\dot{m}_{ip}=1.0 \text{ kg}/\text{min}$ , $\dot{m}_{ir}=1.8 \text{ kg}/\text{min}$ , $Rev=2.5 \text{ rpm}$	88
5.14 อัตราการดูดและอัตราการคายความชื้นของงกลีดูดความชื้นที่เงื่อนไข $\dot{m}_{ip}=0.3, 1.0, 1.7 \text{ kg}/\text{min}$ , $T_{ip}=27.5^{\circ}C$ , $w_{ip}=w_{ir}=19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ , $T_{ir}=55^{\circ}C$ , $\dot{m}_{ir}=1.8 \text{ kg}/\text{min}$ , $Rev=2.5 \text{ rpm}$	89
5.15 อัตราการดูดและอัตราการคายความชื้นของงกลีดูดความชื้นที่เงื่อนไข $\dot{m}_{ir}=1.0, 1.8, 2.5 \text{ kg}/\text{min}$ , $T_{ip}=27.5^{\circ}C$ , $w_{ip}=w_{ir}=19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ , $T_{ir}=55^{\circ}C$ , $\dot{m}_{ip}=1.0 \text{ kg}/\text{min}$ , $Rev=2.5 \text{ rpm}$	90
5.16 อัตราการดูดและอัตราการคายความชื้นของงกลีดูดความชื้นที่เงื่อนไข $Rev=1.0, 2.5, 4.0 \text{ rpm}$ , $T_{ip}=27.5^{\circ}C$ , $w_{ip}=w_{ir}=19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ , $T_{ir}=55^{\circ}C$ , $\dot{m}_{ip}=1.0 \text{ kg}/\text{min}$ , $\dot{m}_{ir}=1.8 \text{ kg}/\text{min}$	92
5.17 ผลของตัวแปรต่างๆต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะของงกลีดูดความชื้น	93
5.18 แสดงผลการศึกษาสภาวะอากาศภายในและภายนอกห้องทดลองในช่วงเวลา 9.00 น. ถึง 21.00 นาฬิกาของวันที่ 18 พฤษภาคม 2552	94
5.19 แสดงผลการศึกษาสภาวะอากาศภายในห้องทดลองร่วมกับระบบดูดความชื้นในช่วงเวลา 9.00 น. ถึง 21.00 นาฬิกาของวันที่ 15 พฤษภาคม 2552	95
5.20 แสดงผลการศึกษาสภาวะอากาศภายในห้องทดลองร่วมกับระบบปรับอากาศในช่วงเวลา 9.00 น. ถึง 21.00 นาฬิกาของวันที่ 6 เมษายน 2552	96



## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
5.21 แสดงผลการศึกษาสภาวะอากาศภายในห้องทดลองร่วมกับระบบปรับอากาศ และระบบดูดความชื้นในช่วงเวลา 9.00 น. ถึง 21.00 นาฬิกาของวันที่ 4 เมษายน 2552	97
ก 1 ตำแหน่งติดตั้งระบบลดความชื้นโดยสารดูดความชื้น	107
ก 2 ชุดอุปกรณ์กักล่อดูดความชื้น	108
ก 3 กักล่อดูดความชื้น	109
ก 4 รายละเอียดของกักล่อดูดความชื้น	110
ก 5 รายละเอียดของโครงกักล่อดูดความชื้น	111
ก 6 รายละเอียดของฮอปเปอร์	112
ก 7 รายละเอียดของแผ่นปิดโครงกักล่อดูดความชื้น	113
ก 8 ชุดระบบมอเตอร์และชุดเกียร์ทด	114
ก 9 รายละเอียดของมอเตอร์และเกียร์ทด	115
ก 10 รายละเอียดของล้อสายพานและหน้าแปลน	116
ก 11 รายละเอียดของฮีตเตอร์ไฟฟ้า	117
ก 12 รายละเอียดของพัดลมเป่าอากาศ	118

## สัญลักษณ์ค่าย่อและตัวย่อ

$\Delta W$	ค่าความแตกต่างอัตราส่วนความชื้น ( $g_w/kg_{da}$ )
%RH	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)
%RH <sub>ia</sub>	ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในห้องปรับอากาศ (%)
%RH <sub>id</sub>	ความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่ทางเข้าอุปกรณ์กึ่งลือดูดความชื้น (%)
%RH <sub>ih</sub>	ความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่ทางเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (%)
%RH <sub>oa</sub>	ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอกห้องปรับอากาศ (%)
%RH <sub>od</sub>	ความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่ทางออกอุปกรณ์กึ่งลือดูดความชื้น (%)
%RH <sub>oh</sub>	ความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่ทางออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (%)
A	รายได้หรือรายจ่ายต่องวด (บาทต่อปี)
COP <sub>D</sub>	สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็น โดยสารดูดความชื้น
COP <sub>R</sub>	สัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำความเย็น
C <sub>p</sub>	ค่าความจุความร้อนของอากาศ ( $1.0 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ )
DCOP	สัมประสิทธิ์สมรรถนะของกึ่งลือดูดความชื้น
F	รายได้หรือรายจ่ายที่ระยะเวลาที่กำหนด (บาท)
H	เอนทัลปีรวมของอากาศ (kJ)
H <sub>a</sub>	เอนทัลปีของอากาศอากาศแห้ง (kJ)
H <sub>v</sub>	เอนทัลปีของไอน้ำหรือความชื้นที่อยู่ในอากาศ (kJ)
h	เอนทัลปีต่อมวลของอากาศ (kJ/kg)
h <sub>a</sub>	เอนทัลปีต่อมวลของอากาศแห้ง (kJ/kg)
h <sub>fg@0°C</sub>	เอนทัลปีของน้ำที่ 0°C (มีค่าเท่ากับ 2,500.4 kJ/kg)
h <sub>g</sub>	เอนทัลปีต่อมวลของไอน้ำอิ่มตัว (kJ/kg)
h <sub>g@0°C</sub>	เอนทัลปีของไอน้ำที่ 0°C (มีค่าเท่ากับ 2,501.3 kJ/kg)
h <sub>ig</sub>	เอนทัลปีของอากาศที่ทางเข้าคอยล์ร้อน (kJ/kg)
h <sub>ir</sub>	เอนทัลปีของอากาศร้อนที่ทางเข้ากึ่งลือดูดความชื้น (kJ/kg)
h <sub>ra</sub>	เอนทัลปีของลมกลับ (kJ/kg)
h <sub>sa</sub>	ค่าเอนทัลปีของลมจ่าย (kJ/kg)
h <sub>v</sub>	เอนทัลปีต่อมวลของไอน้ำ (kJ/kg)
i	อัตราดอกเบี้ยต่อระยะเวลา (%)

## สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ (ต่อ)

$M_{\text{silicagel}}$	ปริมาณซิลิกาเจล (kg)
$m_a$	มวลของอากาศแห้ง (kg)
$m_v$	มวลของไอน้ำหรือความชื้นที่อยู่ในอากาศ (kg)
$\dot{m}$	อัตราไหลของอากาศ (kg/sec)
$\dot{m}_a$	อัตราการระบายอากาศ ( $\text{kg}_{\text{da}}/\text{hr}$ )
$\dot{m}_{\text{ip}}$	อัตราไหลอากาศในกระบวนการลดความชื้น (kg/sec)
$\dot{m}_{\text{ir}}$	อัตราไหลอากาศในกระบวนการคายความชื้น (kg/sec)
$n$	จำนวนงวดหรือช่วงเวลา (ปี)
$P$	รายได้หรือรายจ่ายปัจจุบัน (บาท)
$P$	ความดันรวม (ความดันบรรยากาศ $\approx 101.325$ kPa)
$PW$	มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน (บาท)
$P_a$	ความดันย่อยของอากาศแห้ง (kPa)
$P_g$	ความดันไออิ่มตัวของน้ำ (kPa)
$P_{\text{sat}}$	ความดันไออิ่มตัว (kPa)
$P_v$	ความดันไอหรือความดันย่อยของไอน้ำ (kPa)
$\dot{Q}_H$	ความร้อนที่ถ่ายโอนระหว่างอุปกรณ์กับแหล่งสะสมพลังงานที่อุณหภูมิสูง (kW)
$\dot{Q}_L$	ผลของการทำความเย็น (kW)
$\dot{Q}_I$	ความร้อนแฝงที่ลดลง (kW)
$\dot{Q}_{\text{regen}}$	พลังงานความร้อนที่ต้องการในการคายความชื้น (kW)
$\dot{Q}_s$	ความร้อนสัมผัสจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ (kW)
$\text{Rev}$	ความเร็วรอบของกังล้อดูดความชื้น (rpm)
$R_a$	ค่าคงที่ของอากาศแห้ง (มีค่าเท่ากับ $0.2870$ kJ/kg-K)
$R_{\text{adsorp}}$	อัตราการลดความชื้นในอากาศของสารดูดความชื้น ( $\text{g}_w/\text{min}$ )
$R_{\text{desorp}}$	อัตราการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้น ( $\text{g}_w/\text{min}$ )
$R_v$	ค่าคงที่ของไอน้ำ (มีค่าเท่ากับ $0.4615$ kJ/kg-K)
$\text{Time}_{\text{sat}}$	ระยะเวลาอิ่มตัวของซิลิกาเจล (hr)
$T_{\text{abs}}$	อุณหภูมิสมบูรณ์ (K)
$T_{\text{db}}$	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ( $^{\circ}\text{C}$ )

## สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ (ต่อ)

$T_{dw}$	อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{ia}$	อุณหภูมิอากาศภายในห้องปรับอากาศ ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{id}$	อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอุปกรณ์กึ่งล้อยูดความชื้น ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{ih}$	อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{ip}$	อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าชุดกึ่งล้อยูดความชื้น ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{ip}$	อุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าสารดูดความชื้น ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{ir}$	อุณหภูมิอากาศในการคายความชื้น ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{oa}$	อุณหภูมิอากาศภายนอกห้องปรับอากาศ ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{od}$	อุณหภูมิอากาศที่ทางออกอุปกรณ์กึ่งล้อยูดความชื้น ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{oh}$	อุณหภูมิอากาศที่ทางออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{op}$	อุณหภูมิอากาศที่ทางออกชุดกึ่งล้อยูดความชื้น ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{op}$	อุณหภูมิอากาศที่ทางออกสารดูดความชื้น ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{or}$	อุณหภูมิอากาศที่ทางออกชุดกึ่งล้อยูดความชื้น ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{ra}$	อุณหภูมิลมกลับจากห้อง ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{sa}$	อุณหภูมิของลมจ่าย ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{wb}$	อุณหภูมิกระเปาะเปียก ( $^{\circ}\text{C}$ )
$V$	ปริมาตรของอากาศ ( $\text{m}^3$ )
$V_{wheel}$	ขนาดของกึ่งล้อยูดความชื้น ( $\text{m}^3$ )
$v$	ปริมาตรจำเพาะ ( $\text{m}^3/\text{kg}$ )
$W_R$	อัตราการนำความชื้นออกจากอากาศ ( $\text{kg}_w/\text{hr}$ )
$\dot{W}_{net,in}$	งานที่ต้องป้อนให้แก่อุปกรณ์ (kW)
$w$	อัตราส่วนความชื้น ( $\text{kg}_w/\text{kg}_{da}$ )
$w_{ip}$	อัตราส่วนความชื้นที่ทางเข้าสารดูดความชื้น ( $\text{kg}_w/\text{kg}_{da}$ )
$w_{ip}$	อัตราส่วนความชื้นอากาศที่ทางเข้าชุดกึ่งล้อยูดความชื้น ( $\text{kg}_w/\text{kg}_{da}$ )
$w_{ir}$	อัตราส่วนความชื้นอากาศที่ทางเข้าชุดกึ่งล้อยูดความชื้น ( $\text{kg}_w/\text{kg}_{da}$ )
$w_o$	อัตราส่วนความชื้นอากาศที่ทางออกชุดกึ่งล้อยูดความชื้น ( $\text{kg}_w/\text{kg}_{da}$ )
$w_{op}$	อัตราส่วนความชื้นที่ทางออกสารดูดความชื้น ( $\text{kg}_w/\text{kg}_{da}$ )
$w_{op}$	อัตราส่วนความชื้นอากาศที่ทางออกชุดกึ่งล้อยูดความชื้น ( $\text{kg}_w/\text{kg}_{da}$ )

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 บทนำต้นเรื่อง

ปัจจุบันพลังงานเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ทั้งด้านการผลิต การอยู่อาศัย และทุกกิจกรรมความเป็นอยู่ของมนุษย์ โดยมีแนวโน้มความต้องการทางด้านพลังงานมีปริมาณสูงขึ้นเรื่อยๆ แม้บางส่วนของทรัพยากรธรรมชาติและพลังงานบางอย่างสามารถหมุนเวียนขึ้นมาใหม่ได้เอง แต่ต้องอาศัยกระบวนการตามธรรมชาติ อาจจะใช้เวลานานหรือไม่เพียงพอต่อความต้องการ จึงก่อให้เกิดการณรงค์ที่ทำให้รู้ถึงคุณค่าของทรัพยากรธรรมชาติและการใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์เต็มที่ ค่าพลังงานเป็นส่วนหนึ่งของต้นทุนการผลิต นับวันจะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพทำให้ผลิตภัณฑ์ที่สร้างขึ้นมีราคาต้นทุนต่ำสามารถแข่งขันในตลาดได้

การขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศไทยเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ทำให้ความต้องการพลังงานในแต่ละปีเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานในชีวิตประจำวัน จากข้อมูลของกรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานในอาคารปี 2550 พบว่า อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนของระบบปรับอากาศภายในอาคารและบ้านอยู่อาศัย มีปริมาณสูงถึงร้อยละ 55 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด โดยมีการใช้พลังงานในระบบแสงสว่างคิดเป็นร้อยละ 27 และการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนอื่นๆคิดเป็นร้อยละ 18 โดยเฉพาะอาคารประเภทศูนย์การค้าและโรงแรม มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนของระบบปรับอากาศคิดเป็นร้อยละ 62 และ 65 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการนำไฟฟ้าไปใช้ในส่วน of ระบบปรับอากาศมีสัดส่วนการใช้พลังงานสูงมากเมื่อเทียบกับส่วนอื่นๆ ซึ่งยังมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศหรือระบบทำความเย็นนั้นเกิดจากภาระความร้อนภายในและภาระความร้อนภายนอก โดยภาระความร้อนภายในเกิดจาก อุปกรณ์สำนักงาน คน หลอดไฟฟ้า ส่วนภาระความร้อนภายนอกได้แก่ รังสีอาทิตย์ อุณหภูมิ และความชื้นของอากาศภายนอกพื้นที่ทำความเย็น ซึ่งพบว่าความชื้นของอากาศที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ภาระการทำความเย็นของระบบทำความเย็นสูงขึ้น นั่นคือระบบทำความเย็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้นเพื่อกำจัดภาระที่เกิดจากความชื้นดังกล่าว ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายด้านพลังงานมากขึ้นด้วย ดังนั้นการลดความชื้นของอากาศก่อนเข้าคอยล์ทำความเย็น จะทำให้ภาระการทำความเย็นในรูปความร้อนแฝงลดลง โดยสถานะในห้องปรับอากาศที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 20–26 °C ค่าความชื้นสัมพัทธ์

30-60% ที่ความเร็วลมไม่เกิน 0.15 m/s (ANSI/ASHRAE Standard 55-1992) ระบบปรับอากาศต้องรับภาระการทำความเย็นมากในสภาพอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทย ซึ่งมีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สูงตลอดทั้งปี โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 30-35 °C และค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 70-80% (Khedari et al., 2001) ซึ่งแสดงให้เห็นอย่างชัดเจน ถึงความจำเป็นในการพัฒนา และใช้เทคโนโลยีที่ใช้พลังงานน้อย ในการปรับสภาพแวดล้อมเพื่อให้เกิดความสบาย

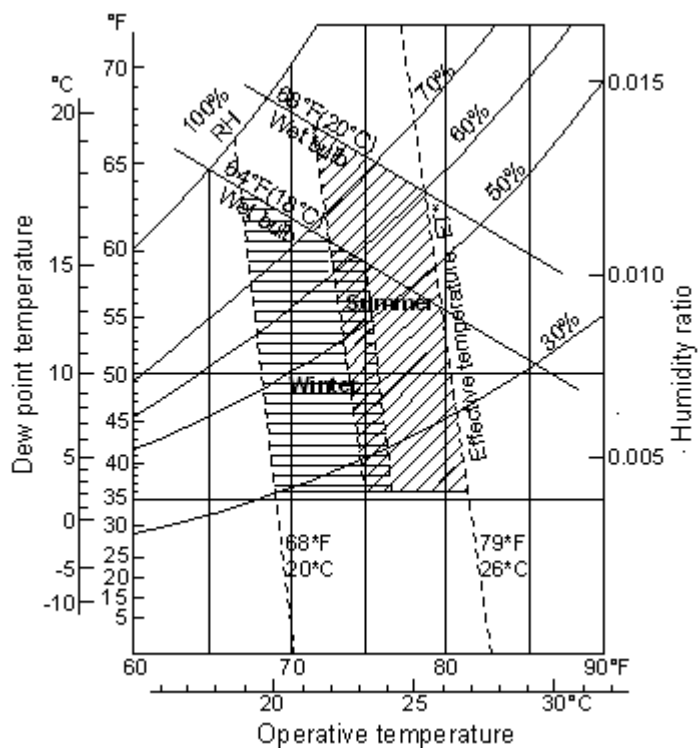
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาศาสตร์ความชื้น ในการลดความชื้นของอากาศที่ผ่านเข้ามาภายในอาคาร โดยทำการออกแบบและทดสอบระบบทำความเย็นด้วยสารทำความชื้น ซึ่งมีการจำลองระบบดังกล่าวโดยใช้โปรแกรม EnergyPlus version 1.4 เพื่อพิจารณาด้านการประหยัดพลังงานและความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ และหลังการติดตั้งสารทำความชื้น ทำการวิเคราะห์ระดับพลังงานที่ใช้ในระบบทำความเย็น โดยสารทำความชื้นเปรียบเทียบกับระบบทำความเย็นแบบอัดไอภายใต้สภาพอากาศจริง การศึกษาด้วยวิธีการทดลองโดยใช้สารทำความชื้นในการลดความชื้นของอากาศภายนอกก่อนเข้าห้องปรับอากาศ ซึ่งเป็นห้องทดลองที่ศึกษาตั้งอยู่ชั้นสองของบ้านประหยัดพลังงานของโครงการบ้านประหยัดพลังงานประเภทบ้านเดี่ยว กรณีศึกษาจังหวัดสงขลาหรือจังหวัดใกล้เคียง ซึ่งตั้งอยู่ในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ โดยระบบทำความชื้นที่ใช้ในงานวิจัยเป็นกล่องทำความชื้นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 m และมีความหนา 0.2 m และใช้สารทำความชื้นชนิดของแข็งคือ ซิลิกาเจลในการทดลอง

## 1.2 การตรวจเอกสาร

### 1.2.1 สภาวะอากาศในภูมิภาคของประเทศไทย และมาตรฐานความสบาย

จากการศึกษาการเกี่ยวกับสภาวะอากาศในภูมิภาคของประเทศไทยของ Khedari et al. (2001) โดยใช้ข้อมูลทางสถิติจากกรมอุตุนิยมวิทยาในช่วงเวลา 18 ปี จาก 73 จังหวัดทั่วประเทศ วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Surfer computer program version 7.0 ที่ระดับความเชื่อมั่นมากกว่าหรือเท่ากับ 97.5% (2.5% significant level) พบว่าประเทศไทยมีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 30-35 °C และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 70-80% โดยภาคใต้ของประเทศไทยมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 20-38 °C และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 50-100%

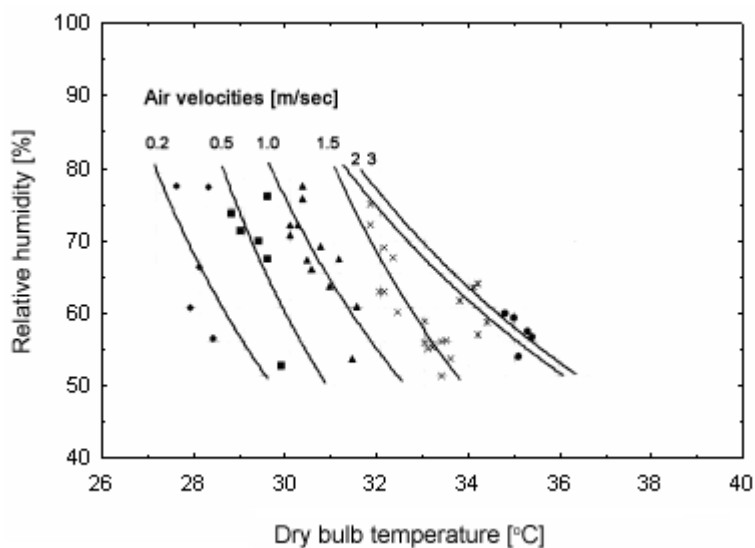
สำหรับข้อมูลสภาวะอากาศ และมาตรฐานความสบายจากเอกสารของ ASHRAE (American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning) พบว่ามาตรฐานโซนที่มีความสบายของร่างกายอยู่ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 20-26 °C ความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 30-60% ที่ความเร็วลมไม่เกิน 0.15 m/s แผนภูมิความสบายแสดงดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แผนภูมิความสบาย

(Source: ANSI/ASHRAE Standard 55-1992)

สำหรับประเทศไทย Khedari et al. (2000) ได้ทำการศึกษาและกำหนดมาตรฐานโซนที่มีความสบายจากอัตราการระบายอากาศ โดยการใช้แบบสอบถามค่าความสบาย (Predicted Mean Vote) จากตัวอย่างจำนวน 288 คน เป็นเพศชาย 183 คน และเพศหญิง 105 คน อายุ 19-22 ปี ที่ระดับการใส่เสื้อผ้า 0.54-0.55 clo (3.483-3.5475 W/m<sup>2</sup>-K) ระดับการทำงาน 1 met (58.2 W/m<sup>2</sup>) ห้องทดลองเป็นห้องที่ไม่มีการปรับอากาศ ควบคุมสถานะอากาศภายในห้องที่อุณหภูมิ 26-36 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 50-80% ความเร็วลม 0.2-3 m/s พบว่าค่าความสบายเท่ากับ 78.4% แผนภูมิความสบายของการระบายอากาศแสดงดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 แผนภูมิความสบายของการระบายอากาศ

(Source: Khedari et al., 2000)

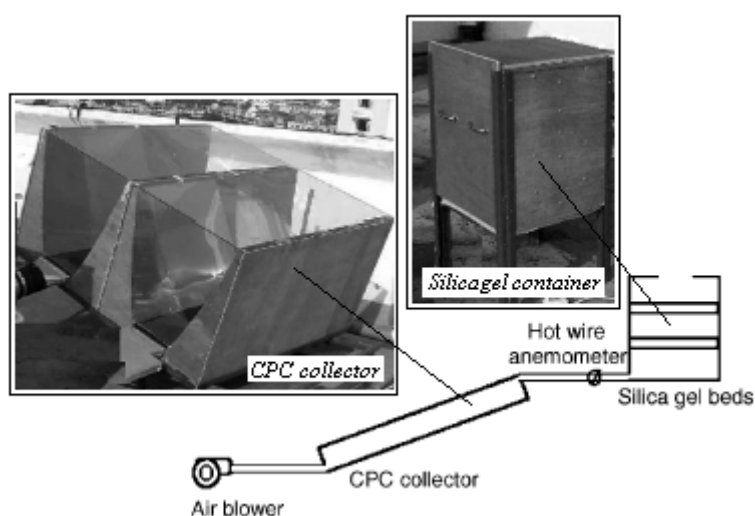
### 1.2.2 การศึกษาเบตดูดความชื้น

Techajunta et al. (1999) ศึกษาการใช้สารดูดความชื้นชนิดของแข็งในการลดความชื้นของอากาศ และใช้พลังงานความร้อนในการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้น โดยการศึกษามีการใช้พลังงานความร้อนจากหลอดไฟฟ้าแทนการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ สารดูดความชื้นที่ใช้คือ ซิลิกาเจล จำนวน 1 kg พบว่า ในช่วง 10 นาทีแรกของการทดลองลดความชื้นในอากาศ อัตราการลดความชื้นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากความดันไอที่ผิวของสารดูดความชื้นในตอนเริ่มต้นมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความดันไอของอากาศ และหลังจากนั้นอัตราการลดความชื้นจะเริ่มมีค่าลดลง ซึ่งพบว่าที่อัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นค่าอัตราการลดความชื้นจะมีค่าสูงขึ้น ส่วนการทดลองคายความชื้นของสารดูดความชื้น พบว่าในช่วง 40 นาทีแรกของการทดลองอัตราการคายความชื้นของสารดูดความชื้นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากความดันไอของความชื้นที่อยู่ในสารดูดความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งพบว่าที่อัตราการไหลของอากาศต่ำ ค่าอัตราการคายความชื้นจะมีค่าสูง และจากการทดลองคายความชื้นที่ 300 และ 700 W/m<sup>2</sup> อัตราการคายความชื้นมีค่าประมาณ 0.03 และ 0.1 kg/hr ตามลำดับ

Pramuang and Exell (2006) ศึกษาการใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นชนิดซิลิกาเจล โดยใช้อุปกรณ์รับรังสีดวงอาทิตย์แบบแผ่น โค้ง พาราโบลาและแผ่นราบ (Compound Parabolic Concentrator, CPC) ซึ่งมีพื้นที่รับแสง 0.48 m<sup>2</sup> ชั้นของสารดูดความชื้นมีขนาด 0.5×0.5 m<sup>2</sup> ความหนา 2.5 cm ส่วนกล่องบรรจุชั้นของสารดูดความชื้น



มีขนาด  $0.5 \times 0.5 \text{ m}^2$  ความสูง  $0.6 \text{ m}$  แสดงดังรูปที่ 1.3 โดยอุปกรณ์รับแสงมีประสิทธิภาพประมาณ  $0.68$  ความร้อนสูญเสียประมาณ  $8.51 \text{ W/m}^2\text{-K}$  จากการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิทางเข้าอุปกรณ์รับแสง  $30^\circ\text{C}$  อุณหภูมิที่ทางออกจะสูงขึ้นประมาณ  $20\text{-}50^\circ\text{C}$  ยกเว้นภูมิอากาศที่มีเมฆมาก อุณหภูมิจะสูงขึ้นประมาณ  $10^\circ\text{C}$  โดยที่อัตราการไหลของอากาศ  $0.03 \text{ kg/s}$  ความร้อนจากแสงอาทิตย์  $700 \text{ W/m}^2$  อัตราการคายความชื้นของซิลิกาเจลจำนวน  $8.5 \text{ kg}$  มีค่า  $0.6 \text{ kg/h}$  และพบว่าที่อัตราการไหลของอากาศสูงๆ ( $0.03 \text{ kg/h}$ ) สามารถคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นได้ที่อุณหภูมิ  $40^\circ\text{C}$  ดังนั้นกรณีที่ค่าความร้อนจากแสงอาทิตย์น้อยกว่า  $300 \text{ W/m}^2$  ต้องใช้อัตราการไหลของอากาศสูงขึ้นในการคายความชื้น



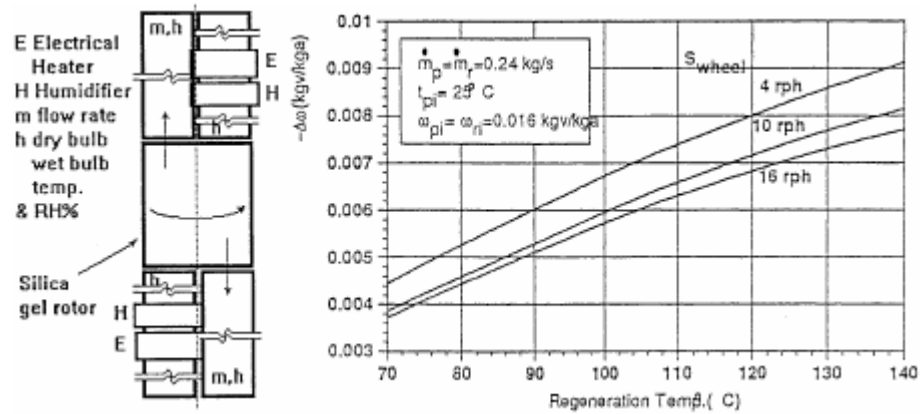
รูปที่ 1.3 ชุดการทดลองและเบ็ดดูดความชื้น

(Source: Pramuang and Exell, 2006)

### 1.2.3 การศึกษาทางล้อยูดความชื้น

Neti and Wolfe (2000) ศึกษาเกี่ยวกับกมล้อยูดความชื้น โดยระบบที่ทำการศึกษาประกอบด้วย กมล้อยูดความชื้นขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ปรับความเร็วรอบและส่งกำลังด้วยสายพาน กมล้อยูดความชื้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $0.32 \text{ m}$  ความหนา  $0.4 \text{ m}$  สารดูดความชื้นที่ใช้ในการทดลอง คือ ซิลิกาเจล จำนวน  $9 \text{ kg}$  ศึกษาที่สภาวะอากาศ  $20\text{-}30^\circ\text{C}$  ความชื้นสัมพัทธ์  $30\text{-}100\%$  อากาศที่ใช้ในการคายความชื้น  $70\text{-}160^\circ\text{C}$  ความชื้นสัมพัทธ์  $30\text{-}90\%$  ความเร็วรอบกมล้อยูด  $4\text{-}16 \text{ rpm}$  ผลการศึกษาพบว่า ที่อุณหภูมิอากาศในการคายความชื้นสูงขึ้นหรือความเร็วรอบของกมล้อยูดความชื้นลดลง อัตราการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นจะมีค่าสูงขึ้น โดยอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการคายความชื้นมีผลต่ออัตราการคายความชื้นของสารดูดความชื้นมากกว่าความเร็วรอบของกมล

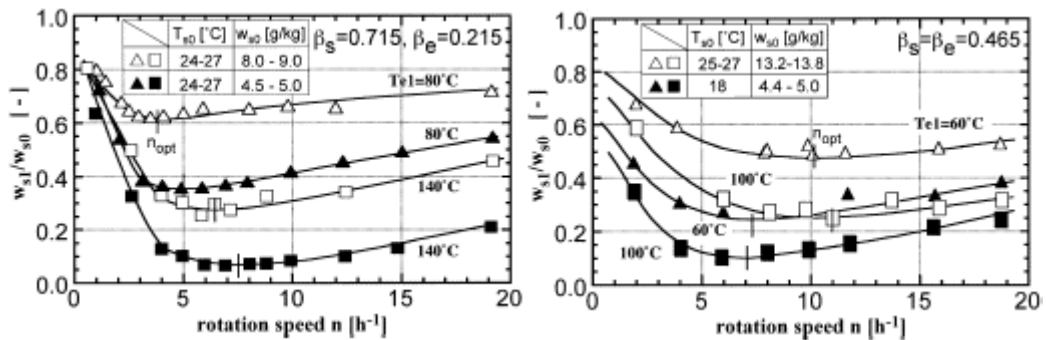
ล้อยูดความชื้น และที่ความเร็วรอบของกงล้อยูดความชื้นสูงขึ้น อัตราการคายความชื้นของสารดูดความชื้นมีค่าใกล้เคียงกัน ชุดการทดลองและผลการทำนายกงล้อยูดความชื้นแสดงดังรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 ชุดการทดลองและผลการทำนายกงล้อยูดความชื้น

(Source: Neti and Wolfe, 2000)

Kodama et al. (2001) ศึกษาเกี่ยวกับความเร็วของกงล้อยูดความชื้นที่เหมาะสม โดยกงล้อยูดความชื้นที่ศึกษามีขนาดผ่านศูนย์กลาง 0.32 m ความหนา 0.05 0.1 และ 0.2 m ภายในกงล้อบรรจุสารดูดความชื้น คือ ซิลิกาเจลประมาณ 70-80% โดยมีสัดส่วนพื้นที่การทำงานระหว่างกระบวนการลดความชื้นกับและกระบวนการคายความชื้นเป็น 3:1 (unbalanced flow) และ 1:1 (balanced flow) ผลการศึกษาพบว่า ที่สภาวะอากาศ 24-27 °C อัตราส่วนความชื้น 0.008-0.014 kg<sub>w</sub>/kg<sub>da</sub> และอุณหภูมิของการคายความชื้น 60-80°C ความเร็วรอบของกงล้อยูดความชื้นที่เหมาะสมคือ 2-4 rph สำหรับ unbalanced flow และ 8-10 rph สำหรับ balanced flow แสดงดังรูปที่ 1.5



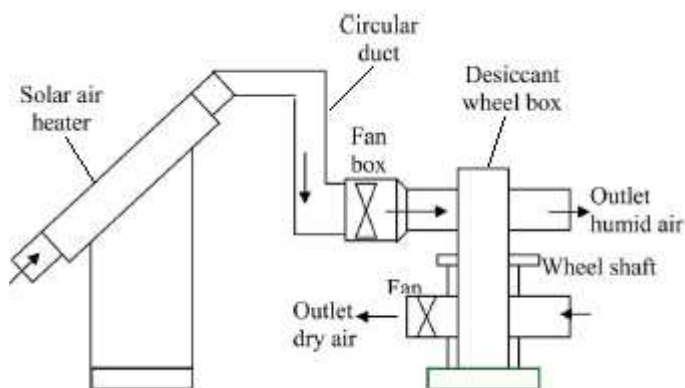
รูปที่ 1.5 ความเร็วรอบที่เหมาะสมที่ความเร็วอากาศ 1 m/s (ความหนากงล้อ 0.2 m)

(Source: Kodama et al., 2001)

Zhang and Niu (2002) ศึกษาสมรรถนะของงอกล้อดูดความชื้นในกระบวนการลดความชื้น โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ทำนายพฤติกรรมของงอกล้อดูดความชื้น ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ ความเร็วรอบ ขนาดของผนังสัมผัส อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสกับปริมาตรของงอกล้อ ค่าสมรรถนะ ค่า sensible effectiveness ค่า latent effectiveness และค่าความสามารถในการลดความชื้นต่อมวลสารดูดความชื้น โดยสภาวะอากาศที่ทางเข้ามีอุณหภูมิ  $30^{\circ}\text{C}$  อัตราส่วนความชื้น  $0.021 \text{ kg}_w/\text{kg}_{da}$  และอุณหภูมิของการคายความชื้น  $90^{\circ}\text{C}$  พบว่าความเร็วรอบของงอกล้อดูดความชื้นที่เหมาะสมประมาณ 30 rph ซึ่งการเพิ่มพื้นที่สัมผัสจะทำให้งอกล้อมีความสามารถลดความชื้นมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสกับปริมาตรของงอกล้อที่สูงขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการลดความชื้นของงอกล้อดูดความชื้นเพิ่มขึ้น

Ahmed et al. (2005) ศึกษาตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อสมรรถนะของงอกล้อดูดความชื้น โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการคายความชื้น และใช้สมการทางคณิตศาสตร์ทำนายพฤติกรรมของงอกล้อดูดความชื้นรวมกับการทดลอง ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ ความหนาของงอกล้อดูดความชื้น ความเร็วรอบ สัดส่วนพื้นที่การทำงานระหว่างกระบวนการลดความชื้นกับและกระบวนการคายความชื้น อัตราส่วนระหว่างปริมาตรของอากาศกับปริมาตรของงอกล้อดูดความชื้น อัตราส่วนความชื้น และอุณหภูมิที่ใช้ในการคายความชื้น พบว่าค่าจากการทำนายและค่าจากการทดลองใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะที่อัตราการไหลของอากาศน้อยกว่า  $3 \text{ kg}/\text{min}$  ซึ่งมีความความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 7% โดยการทดลองใช้แผงรับรังสีดวงอาทิตย์ขนาด  $2 \text{ m}^2$  งอกล้อดูดความชื้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $0.7 \text{ m}$  ความหนา  $0.2 \text{ m}$  บรรจุสารดูดความชื้นชนิดซิลิกาเจล  $30 \text{ kg}$  โดยแบ่งสัดส่วนพื้นที่การทำงานระหว่างกระบวนการลดความชื้นกับและกระบวนการคายความชื้นเท่าๆกัน ชุดการทดลองแสดงดังรูปที่ 1.6 ผลจากการศึกษาพบว่า ความหนาของงอกล้อดูดความชื้นเพิ่มขึ้นส่งผลอัตราการลดความชื้นสูงขึ้น และจะเริ่มคงที่เมื่อมีค่า  $0.18\text{-}0.26 \text{ m}$  สำหรับอุณหภูมิที่ใช้ในการคายความชื้น  $60\text{-}90^{\circ}\text{C}$  ความเร็วของงอกล้อเพิ่มขึ้นส่งผลอัตราการลดความชื้นลดลง อัตราส่วนระหว่างพื้นที่การคายความชื้นกับการลดความชื้นเพิ่มขึ้นจะทำให้ภาระความร้อนแฝงเป็นความร้อนสัมผัสเพิ่มขึ้น ซึ่งพบว่าค่าอัตราส่วนที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง  $0.7\text{-}0.9$  สำหรับอุณหภูมิคายความชื้น  $60^{\circ}\text{C}$  และ  $0.25\text{-}0.4$  สำหรับอุณหภูมิคายความชื้น  $90^{\circ}\text{C}$  ดังนั้นสามารถลดพื้นที่ในการคายความชื้นได้เมื่อเพิ่มอุณหภูมิคายความชื้นให้สูงขึ้น และอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของอากาศกับปริมาตรของงอกล้อลดลง (ใช้ปริมาณของสารดูดความชื้นเพิ่มขึ้น) ส่งผลอัตราการลดความชื้นสูงขึ้น โดยพบว่าในกรณีที่ค่าน้อยกว่า  $0.3$  จะทำให้เกิดความดันตกสูง ทำให้จำเป็นต้องใช้ขนาดของพัดลมในระบบมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยค่าอัตราส่วนที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง  $0.4\text{-}0.7$  จากการศึกษาพลังงานความร้อนที่ได้จาก

แผงรับรังสีดวงอาทิตย์คิดเป็นร้อยละ 72.8 ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการคายความชื้นที่ 1.9 kg/min อุณหภูมิคายความชื้น 60°C และคิดเป็น 59.1% ที่ 9.4 kg/min อุณหภูมิคายความชื้น 90°C

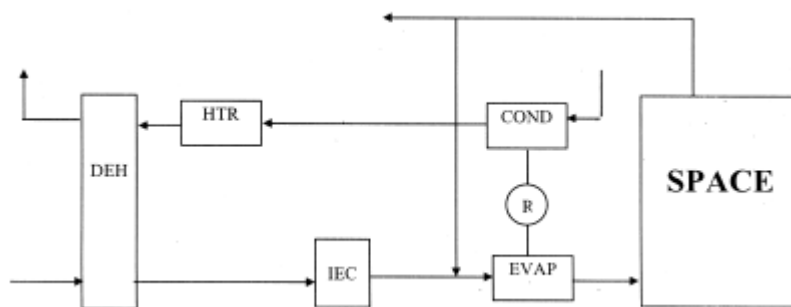


รูปที่ 1.6 ชุดการทดลองศึกษาตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อสมรรถนะของกังล้อดูดความชื้น

(Source: Ahmed et al., 2005)

#### 1.2.4 การศึกษาระบบทำความเย็นโดยสารดูดความชื้น

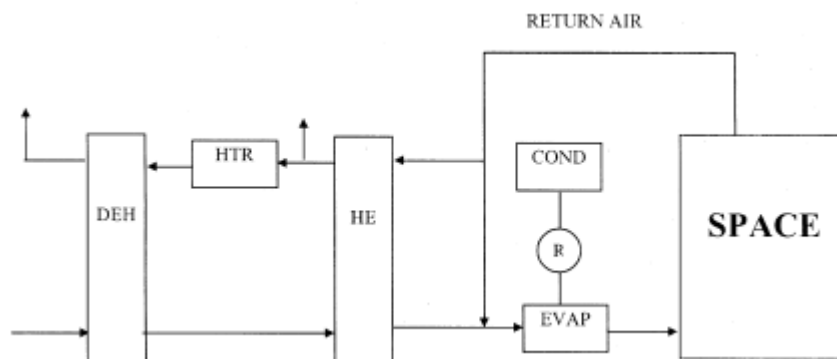
Burns et al. (1985) ศึกษาการใช้สารดูดความชื้นร่วมกับระบบทำความเย็นในห้างสรรพสินค้า ระบบที่ศึกษาได้แก่ ระบบ ventilation-condenser ระบบ recirculation-condenser และ ระบบ ventilation-heat exchanger โดยระบบ ventilation-condenser มีการนำอากาศไหลกลับจากพื้นที่ทำความเย็นซึ่งอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศภายนอกผสมกับอากาศแห้งที่ผ่านกังล้อดูดความชื้นก่อนเข้าระบบทำความเย็น สำหรับระบบ recirculation-condenser มีการนำอากาศไหลกลับจากพื้นที่ทำความเย็นผสมกับอากาศจากภายนอกก่อนผ่านกังล้อดูดความชื้น และเข้าระบบทำความเย็น ส่วนระบบ ventilation-heat exchanger มีการนำอากาศไหลกลับจากพื้นที่ทำความเย็นผสมกับอากาศแห้งที่ผ่านกังล้อดูดความชื้นและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนก่อนเข้าระบบทำความเย็น ผลจากการศึกษาพบว่า ระบบทำความเย็นโดยสารดูดความชื้นสามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณร้อยละ 56.5-66 ที่สภาวะอากาศภายนอก 30°C อัตราส่วนความชื้น 0.016 kg<sub>w</sub>/kg<sub>da</sub> สภาวะห้องปรับอากาศ 24 °C อัตราส่วนความชื้น 0.0104 kg<sub>w</sub>/kg<sub>da</sub> และอัตราส่วนภาระความร้อนสัมผัสต่อภาระความร้อนทั้งหมด 0.35 โดยระบบ ventilation-condenser ประหยัดพลังงานมากที่สุด ระบบ ventilation-condenser แสดงดังรูปที่ 1.7



รูปที่ 1.7 ระบบ ventilation-condenser

(Source: Burns et al., 1985)

Dhar and Singh (2001) ศึกษาการใช้สารดูดความชื้นชนิดของแข็งร่วมกับระบบทำความเย็นแบบอัดไอ โดยทำการศึกษาผลของปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อระบบทำความเย็นโดยสารดูดความชื้น ได้แก่ อัตราส่วนภาระความร้อนสัมผัสต่อภาระความร้อนทั้งหมด อัตราการระบายอากาศต่ออัตราลมจ่าย และอุณหภูมิในการคายความชื้น ระบบที่ทำการศึกษาดังรูปที่ 1.8 พบว่าที่สภาวะปรับอากาศ  $25^{\circ}\text{C}$  อัตราส่วนความชื้น  $0.01 \text{ kg}_w/\text{kg}_{da}$  สภาวะอากาศภายนอก  $43.2^{\circ}\text{C}$  อัตราส่วนความชื้น  $0.00726 \text{ kg}_w/\text{kg}_{da}$  และสภาวะอากาศภายนอกแบบร้อนชื้น  $38.6^{\circ}\text{C}$  อัตราส่วนความชื้น  $0.01614 \text{ kg}_w/\text{kg}_{da}$  ที่อัตราส่วนภาระความร้อนสัมผัส 0.35 และ 0.75 อัตราการระบายอากาศต่ออัตราลมจ่าย 10% และ 20% พบว่ากรณีสภาวะอากาศภายนอกแบบอากาศร้อนแห้ง ที่อัตราส่วนความร้อนสัมผัส 0.35 ค่าอัตราส่วนของอากาศ 10% สามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณร้อยละ 63.15 เทียบกับระบบทำความเย็นแบบอัดไอทั่วไป สำหรับอัตราส่วนของอากาศ 20% สามารถประหยัดพลังงานประมาณได้ร้อยละ 58.9 และที่อัตราส่วนความร้อนสัมผัส 0.75 ค่าอัตราส่วนของอากาศ 10% สามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณร้อยละ 11.4 สำหรับอัตราส่วนของอากาศ 20% สามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณร้อยละ 10.63 และกรณีสภาวะอากาศภายนอกแบบร้อนชื้น ที่อัตราส่วนความร้อนสัมผัส 0.35 ค่าอัตราส่วนของอากาศ 20% สามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณร้อยละ 46.6 โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการคายความชื้นประมาณ  $135^{\circ}\text{C}$  แต่ที่อัตราส่วนความร้อนสัมผัสสูง (0.75) สามารถประหยัดพลังงานได้น้อย ดังนั้นระบบทำความเย็นแบบอัดไอโดยสารดูดความชื้นเหมาะสมกับสภาวะที่มีภาระความร้อนแฝงสูงสำหรับสภาวะอากาศแบบร้อนชื้น และจากการศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการคายความชื้นที่เหมาะสมคือ  $60\text{-}80^{\circ}\text{C}$



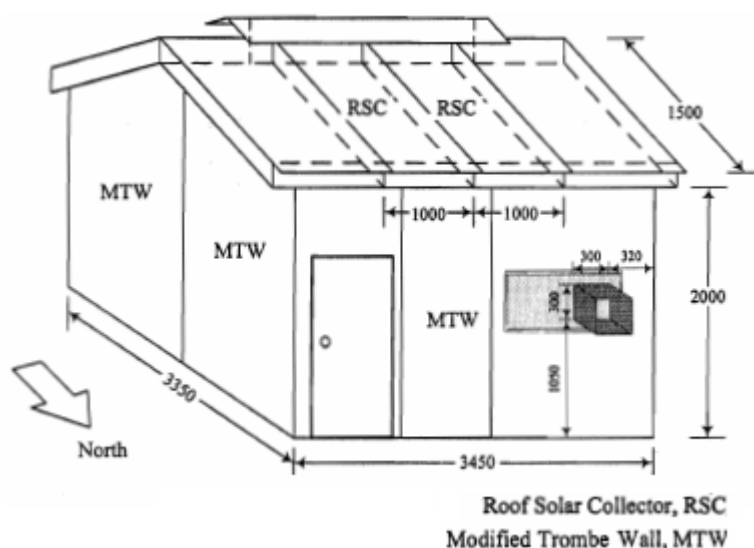
รูปที่ 1.8 ระบบปรับอากาศโดยสารดูดความชื้น

(Source: Dhar and Singh, 2001)

สถาพร ทองวิก (2543) ศึกษาการลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศด้วยสารดูดความชื้นชนิดแข็ง คือโมเลกุลเวลาซีฟ จัดเรียงตัวเป็นลักษณะกลุ่มท่อ โดยศึกษาตัวแปรอิสระที่มีผลต่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้แก่ จำนวนแท่งของสารดูดความชื้น ความเร็วลม อุณหภูมิ และปริมาณความชื้น ที่สภาวะปรับอากาศ  $25^{\circ}\text{C}$  ความชื้นสัมพัทธ์ 60% สภาวะอากาศภายนอก  $20-40^{\circ}\text{C}$  ความชื้นสัมพัทธ์ 60-80% ความเร็วลม 1-3 m/s ผลจากการการศึกษาพบว่า ความเร็วลมมีค่าเพิ่มมากขึ้น อากาศสามารถระบายความร้อนได้ดี ทำให้สารดูดความชื้นสามารถดูดซับความชื้นได้ดีขึ้น ผลจากความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นอัตราการลดความชื้นในอากาศเพิ่มขึ้นตามความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ทางเข้าแต่ไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งผลมาจากคุณสมบัติของสาร โมเลกุลเวลาซีฟที่มีอัตราการดูดความชื้นค่อนข้างคงที่ภายใต้สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆกัน ผลจากอุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น ความแตกต่างของความดันไอเพิ่มมากขึ้นทำให้ความดูดซับความชื้นในอากาศดีขึ้น ส่วนผลจากจำนวนแถวของสารดูดความชื้นพบว่า กรณีที่จำนวนแถวลดลงส่งผลให้ปริมาณของสารดูดความชื้นลดลงทำให้อัตราการลดความชื้นลดลงตามไปด้วย ระบบปรับอากาศโดยสารดูดความชื้นเหมาะสมกับสภาวะอากาศภายนอก  $22-36^{\circ}\text{C}$  และความเร็วลม 1 m/s ระยะเวลาสำหรับเปลี่ยนสารดูดความชื้น 30 นาที โดยมีระยะเวลาคืนทุน 5.45 ปี และค่าอัตราผลตอบแทนผลการลงทุน 12.89%

เสณีย์ ใจอ่อน (2543) ศึกษาการปรับปรุงสภาวะภายในห้องที่มีการระบายอากาศด้วยปล่องระบายอากาศ โดยใช้สารดูดความชื้นเชิงอุตสาหกรรม โดยทำการศึกษาสมรรถนะของสารดูดความชื้นชนิดของแข็งเพื่อปรับอากาศภายในบ้านที่มีระบบปล่องรังสีอาทิตย์เพื่อการระบายความร้อนภายในบ้าน แสดงดังรูปที่ 1.9 โดยสารดูดความชื้นที่ใช้ในการศึกษามีสถานะเป็นของแข็ง สีขาวบรรจุในกล่อง มีความสามารถในการดูดความชื้นได้ 350 ml น้ำหนักสุทธิ 200 g ต่อกล่อง โดยจะเปลี่ยนเป็นสถานะของเหลวเมื่อสารดูดความชื้นเกิดการอิ่มตัวและจะไหลลง ไปอยู่ที่ชั้นเก็บ

ของเหลวซึ่งอยู่ด้านล่างภายในกล่องเก็บสารดูดความชื้น สถานที่ใช้ในการศึกษาเป็นลักษณะบ้าน  
 รังสีอาทิตย์แบบห้องเดี่ยวที่มีปริมาตร 25 m<sup>3</sup> ที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ที่ผนังและหลังคา โดยอาศัย  
 อิทธิพลแรงลอยตัวของอากาศที่สัมผัสกับผิวผนังหรือหลังคาที่มีอุณหภูมิสูงภายในช่องว่าง ทำให้  
 อากาศร้อนขึ้นมีผลให้ความหนาแน่นของอากาศลดลงเกิดการเหนี่ยวนำอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำเข้ามา  
 แทนที่ จากการศึกษาพบว่าตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดคือ ตำแหน่งภายในบ้านหรือบริเวณที่ต้องการ  
 ลดความชื้น โดยสามารถลดความชื้นของอากาศได้ร้อยละ 4.67 ที่สภาวะอากาศภายนอก 31.61 °C  
 อัตราส่วนความชื้น 0.0214 kg<sub>w</sub>/kg<sub>da</sub> และอัตราการระบายอากาศเท่ากับ 8 เท่าของปริมาตรห้อง  
 (ACH = 8) จำนวนสารดูดความชื้น 1.2 kg โดยอายุใช้งานของสารดูดความชื้นประมาณ 51 วัน ที่  
 อัตราการลดความชื้นในอากาศ 0.22 g/h จากกรณีวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เปรียบเทียบระหว่างการใช้  
 พัดลมร่วมกับสารดูดความชื้น (เวลาทำงาน 24 ชั่วโมง) ต่อการใช้เครื่องปรับอากาศที่มีขนาด  
 12,000 Btu/hr (เวลาทำงาน 8 ชั่วโมง) สภาวะปรับอากาศ 25 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% สภาวะ  
 อากาศภายนอก 31.6 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 87% พบว่าสามารถประหยัดเงินได้ 9,073 บาทต่อปี



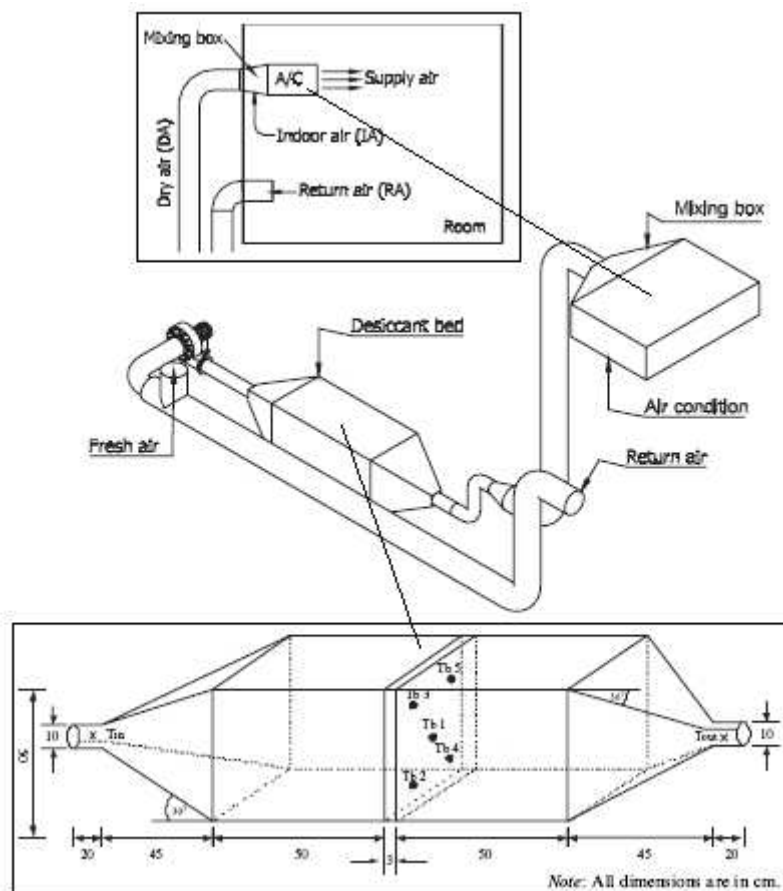
รูปที่ 1.9 ห้องที่มีการระบายอากาศด้วยปล่องระบายอากาศ โดยใช้สารดูดความชื้น  
 (ที่มา: เสนีย์ ใจอ่อน 2543)

วันพุทท แซ่ถั่ว (2544) ศึกษาความเป็นไปได้ของระบบปรับอากาศในประเทศไทย  
 โดยใช้สารดูดความชื้น โดยนำอากาศผ่านสารดูดความชื้น คือ ซิลิกาเจล เพื่อลดความชื้นของอากาศ  
 ก่อนนำไปปรับสภาวะอากาศด้วยพัดลมปรับความเร็วลมตามสภาวะแวดล้อมแบบอัตโนมัติ ซึ่ง  
 สามารถควบคุมความเร็วลมให้อยู่ในสภาวะความสบายตามแผนภูมิความสบายสำหรับประเทศไทย

ห้องที่ใช้ในการศึกษามีขนาด  $76.8 \text{ m}^3$  ในการทดลองทำการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนอากาศ อัตราการไหลของอากาศและจำนวนคนในห้องที่สภาวะอากาศแวดล้อมใกล้เคียงกัน พบว่าสัดส่วนอากาศบริสุทธิ์หรืออากาศจากภายนอก 30% อากาศไหลกลับหรืออากาศจากห้องปรับอากาศ 70% และอัตราการไหล  $550 \text{ m}^3/\text{hr}$  มีสภาวะความสบายมากที่สุด และพบว่าความชื้นที่เพิ่มขึ้นมีอิทธิพลต่อสภาวะความสบายของคนไทยมากกว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น โดยการลดความชื้นของอากาศยังสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของพัดลมปรับความเร็วลมตามสภาวะแวดล้อมแบบอัตโนมัติได้ประมาณร้อยละ 5.7

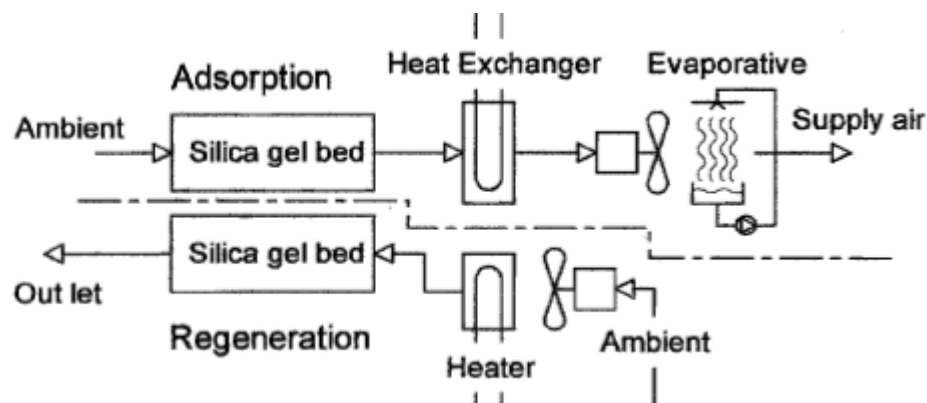
รัชนิวรรณ เจริญวัฒน์ (2544) ศึกษาความเป็นไปได้ในการลดความชื้นในอากาศในระบบปรับอากาศเขตร้อนสำหรับประเทศไทย โดยใช้ซิลิกาเจลเป็นสารดูดความชื้นร่วมกับระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 1.5 ตันความเย็น ( $18,000 \text{ Btu/hr}$ ) การทดลองใช้ซิลิกาเจลจำนวน 5 และ 11 kg ขนาดชั้นของสารดูดความชื้นมีพื้นที่หน้าตัด  $0.25 \text{ m}^2$  ( $0.5 \times 0.5 \text{ m}^2$ ) ที่มีความหนา 3 และ 5 cm ตามลำดับ ชุดการทดลองและชั้นของสารดูดความชื้น แสดงดังรูปที่ 1.10 ห้องที่ใช้ในการศึกษามีขนาด  $76.8 \text{ m}^3$  พบว่ากล่องบรรจุสารดูดความชื้นขนาดความหนา 5 cm มีอัตราการลดความชื้นได้สูงกว่ากล่องขนาดความหนา 3 cm จาก 230 เป็น  $473 \text{ kg/hr}$  ซึ่งความดันตกที่เพิ่มขึ้นในระบบมีค่าเล็กน้อย โดยที่อัตราส่วนอากาศภายนอก 15% อากาศไหลกลับจากห้องปรับอากาศ 15% ผสมกลับอากาศที่อยู่ในห้องปรับอากาศ 70% สามารถประหยัดพลังงานได้สูงสุดร้อยละ 24 เทียบกับระบบปรับอากาศแบบอัดไอทั่วไป สำหรับระบบปรับอากาศที่มีขนาดมากกว่า 100 ตัน จะมีต้นทุนของระบบทำความเย็นโดยสารดูดความชื้นประมาณ 297,800 บาท โดยสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ประมาณ 72,963 บาทต่อปี หรือคิดเป็นระยะคืนทุนประมาณ 4 ปี และค่าอัตราผลตอบแทนการลงทุน 24.5%





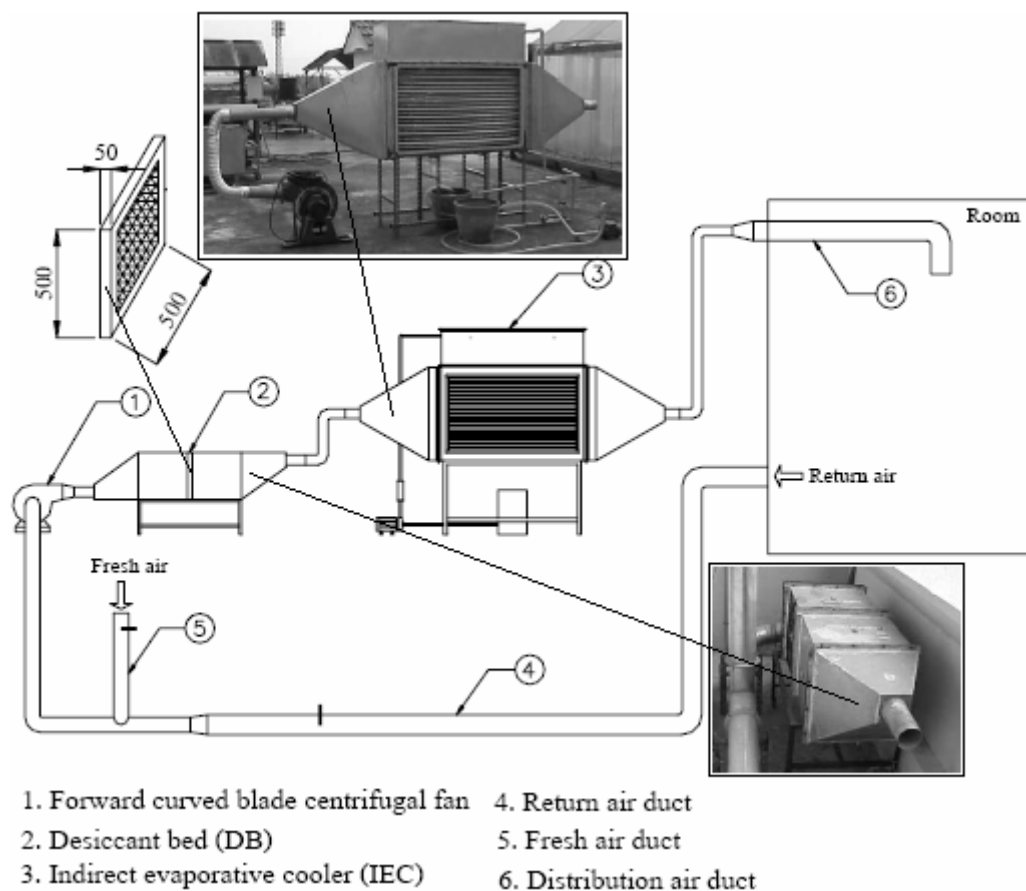
รูปที่ 1.10 ชุดการทดลองและชั้นของสารดูดความชื้น  
(ที่มา: รัชนีวรรณ เจริญวัฒน์ 2544)

กฤษ ตราชู (2544) ศึกษาการปรับปรุงระบบทำความเย็นแบบระเหยโดยการเพิ่มกระบวนการลดความชื้น โดยนำอากาศผ่านสารดูดความชื้น คือ ซิลิกาเจล เพื่อลดความชื้นของอากาศก่อนเข้าสู่ระบบทำความเย็น สารดูดความชื้นมีลักษณะแบ่งเป็นชั้นๆ หนา 10 mm ยาว 35 cm บรรจุในกล่องขนาด  $0.011 \text{ m}^3$  ที่มีพื้นที่หน้าตัดสารดูดความชื้น  $0.032 \text{ m}^2$  และพื้นที่การไหลของอากาศ  $0.005 \text{ m}^2$  โดยใช้สารดูดความชื้น 5.8 kg ชุดการทดลองแสดงดังรูปที่ 1.11 พบว่าที่อุณหภูมิในการคายความชื้น  $50^\circ\text{C}$  สภาพะปรับอากาศ  $27\text{-}28^\circ\text{C}$  ประสิทธิภาพของอุปกรณ์การถ่ายเทความร้อน 55-80% สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปรับอากาศมีค่าประมาณ 0.35 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะสูงสุดที่ 0.45 ซึ่งพบว่าค่าประสิทธิภาพในการทำความเย็นแบบระเหยเฉลี่ย 67-71% สูงกว่าระบบการทำความเย็นแบบระเหยที่ไม่มีกระบวนการลดความชื้นประมาณ 10%



รูปที่ 1.11 ชุดการทดลองระบบทำความเย็นโดยการเพิ่มกระบวนการลดความชื้น  
(ที่มา: กฤษ ตราชู 2544)

อิทธิศักดิ์ คล้ายมงคล (2545) ศึกษาการปรับอากาศด้วยสารดูดความชื้นร่วมกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางอ้อม ซึ่งใช้ซิลิกาเจลเป็นสารดูดความชื้น ชั้นของสารดูดความชื้นมีขนาด  $0.5 \times 0.5 \text{ m}^2$  ความหนา 0.05 m เครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางอ้อมประเภทท่อสร้างจากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.2 cm และความยาว 1.45 m จำนวน 171 ท่อ ห้องทดลองมีขนาด  $4 \times 6 \text{ m}^2$  ความสูง 3.2 m ระบบที่ใช้ทดลองแสดงดังรูปที่ 1.12 พบว่าระบบปรับอากาศโดยสารดูดความชื้นร่วมกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางอ้อมสามารถลดอุณหภูมิอากาศที่ผ่านระบบลงได้เฉลี่ย  $4\text{--}6^\circ\text{C}$  สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปรับอากาศอยู่ในช่วง 0.90 ถึง 1.58 ที่อัตราการไหลของอากาศ  $450\text{--}550 \text{ m}^3/\text{h}$  และผลจากแบบสอบถามจากคน 5 คนที่อยู่ในห้อง ทั้งช่วงเช้าและบ่าย พบว่าคนในห้องมีความรู้สึกสบายทั้งทางความร้อนและลักษณะอากาศภายในห้อง ที่สัดส่วนอากาศภายนอก 30% อากาศไหลกลับ 70% และอัตราการไหลของอากาศ  $550 \text{ m}^3/\text{hr}$

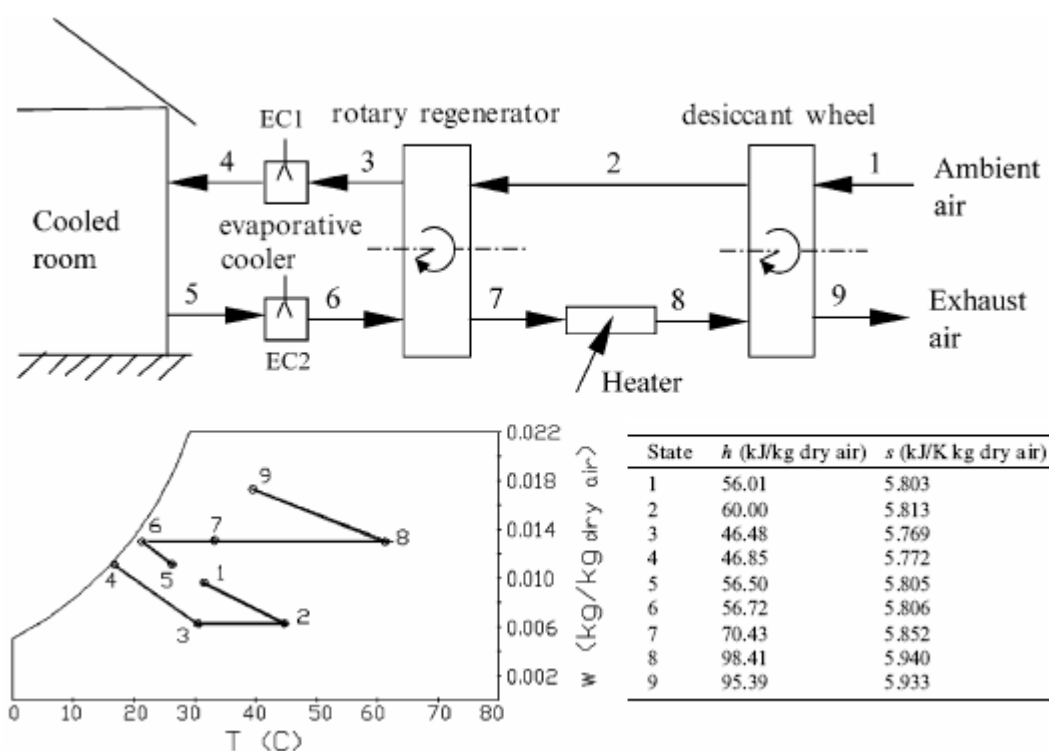


รูปที่ 1.12 ระบบปรับอากาศโดยสารดูดความชื้นร่วมกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหย  
 (ที่มา: อิทธิศักดิ์ คล้ายมงคล 2545)

ยุทธพงษ์ ภู่อทอง (2545) ศึกษาการลดความชื้นและความร้อนแฝงที่ขจัดลดทำความเย็นโดยใช้สารดูดความชื้นชนิดซิลิกาเจล ชั้นของสารดูดความชื้นมีขนาด  $20.5 \times 30.5 \text{ cm}^2$  ความหนา  $3.5 \text{ cm}$  บรรจุสารดูดความชื้น  $1 \text{ kg}$  จำนวน 2 ชั้น ร่วมกับขจัดลดทำความเย็นและห้องแห้งเย็นของตู้เย็น (TOSHIBA รุ่น GR-1651 G) โดยที่อุณหภูมิอากาศภายนอก  $25^\circ\text{C}$  ความชื้นสัมพัทธ์ 65-75% จุดควบคุมอุณหภูมิความเย็นอยู่ในช่วง  $-3$  ถึง  $-15^\circ\text{C}$  ปริมาตรภายในตู้เย็นมีค่าเท่ากับ  $0.167 \text{ m}^3$  ทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่ 08.00 ถึง 20.00 น. เป็นเวลา 4 วัน เนื่องจากอัตราการดูดซับของซิลิกาเจลเริ่มที่จะอิ่มตัวในวันที่ 4 ของการทดลอง จากการศึกษพบว่า กรณีที่ใส่สารดูดความชื้นบริเวณช่วงกลางตู้เย็นสามารถเพิ่มสมรรถนะการทำความเย็นของตู้เย็นมากกว่าตำแหน่งอื่นๆ โดยมีค่าประมาณ 1.98 เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่มีความชื้นสูงที่สุด และไม่เป็นอุปสรรคต่อการไหลเวียนของอากาศเย็นและมวลไอน้ำ ส่งผลต่อการใช้พลังงานทางไฟฟ้าลดลง กรณีที่ไม่ใส่สารดูดความชื้นมีการใช้พลังงานทางไฟฟ้าเฉลี่ย  $0.788 \text{ kWh}$  ต่อวัน และกรณีที่ใส่สารดูดความชื้นช่วงกลางมีการใช้พลังงานทางไฟฟ้า

เฉลี่ย 0.660 kWh ต่อวัน สามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณร้อยละ 16.3 และผลการวิเคราะห์ทางเชิงเศรษฐศาสตร์พบว่า ระยะเวลาในการคืนทุน 9.1 ปี และค่าอัตราผลตอบแทนการลงทุน 9.5 %

Kanoglu et al. (2004) ศึกษาเกี่ยวกับระบบทำความเย็นโดยสารดูดความชื้น โดยการวิเคราะห์ทางด้านพลังงานของระบบและอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ กงล้อดูดความชื้น เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ขดลวดทำความเย็น และเครื่องทำความร้อน กงล้อดูดความชื้นที่ใช้วิเคราะห์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 m ความหนา 0.25 m ระบบที่ทำการศึกษาดังรูปที่ 1.13 โดยระบบมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะประมาณ 0.345

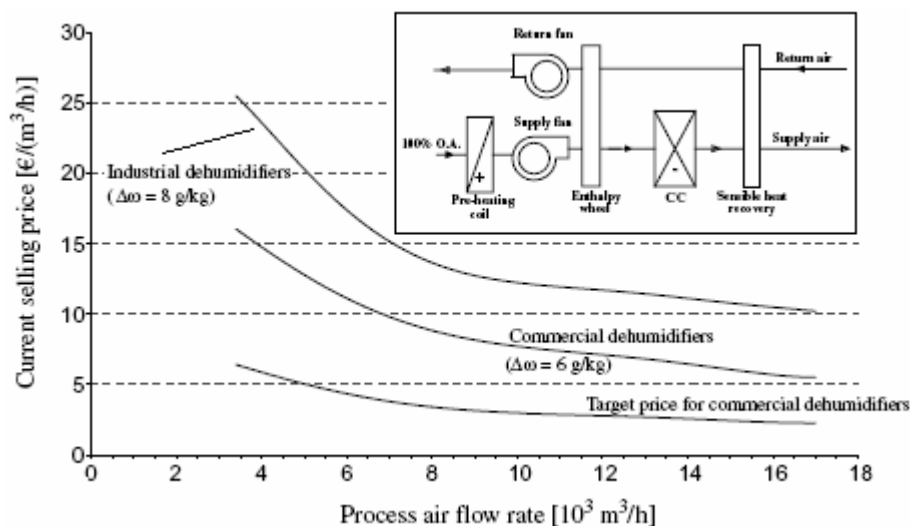


รูปที่ 1.13 ระบบทำความเย็นโดยสารดูดความชื้น

(Source: Kanoglu et al., 2004)

Mazzei et al. (2005) ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการลดความชื้นของระบบปรับอากาศ โดยศึกษาเปรียบเทียบระบบทำความเย็นแบบอัดไอกับระบบทำความเย็นโดยสารดูดความชื้นของห้างสรรพสินค้าและโรงพยาบาล สำหรับห้างสรรพสินค้าที่มีขนาดพื้นที่ 3,700 m<sup>2</sup> พบว่า ระยะเวลาคืนทุนประมาณ 2-3 ปี ความชื้นที่อยู่ในพื้นที่ลดลงทำให้ปัญหาการจับตัวแข็งของไอน้ำ หรือปัญหาอื่นๆที่เกิดจากความชื้นลดลง และสามารถลดอากาศจากภายนอกได้ประมาณ 30% ทำ

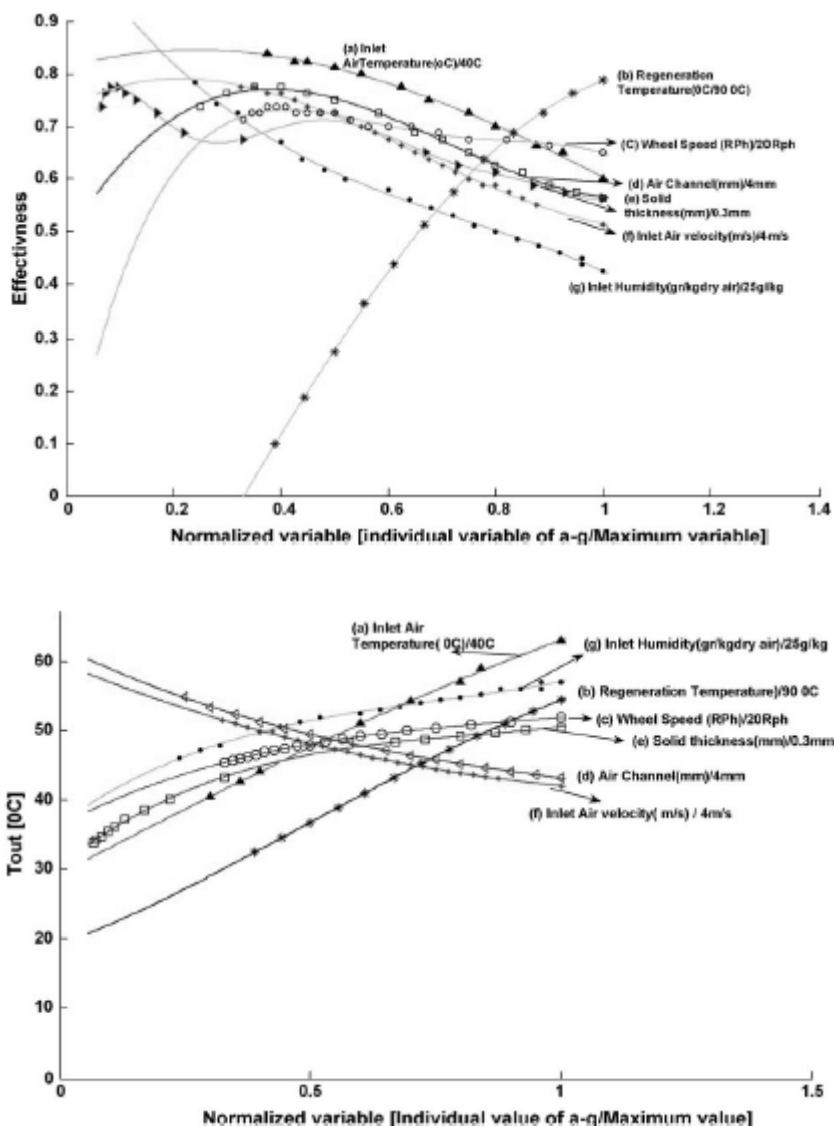
ให้พลังงานในส่วนของการนำอากาศภายนอกเข้าระบบทำความเย็นลดลง สำหรับโรงภาพยนตร์ ที่มีขนาดพื้นที่ 1,200 m<sup>2</sup> พบว่าสามารถลดพลังงานในการทำงานของระบบได้ประมาณร้อยละ 23-38 หรือคิดเป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้าร้อยละ 44-50 ระบบทำความเย็นโดยสารดูดความชื้นและราคาการติดตั้งสำหรับการใช้งานประเภทต่างๆแสดงดังรูปที่ 1.14



รูปที่ 1.14 ระบบทำความเย็น โดยสารดูดความชื้นและราคาการติดตั้ง

(Source: Mazzei et al., 2005)

Nia et al. (2006) ศึกษาเกี่ยวกับกมล้อดูดความชื้นในระบบปรับอากาศ โดยการศึกษผลของปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อความสามารถในการลดความชื้นของกมล้อดูดความชื้น ซึ่งใช้สมการทางคณิตศาสตร์มาทำนายพฤติกรรมของกมล้อดูดความชื้นร่วมกับโปรแกรม MATLAB ผลจากการศึกษาพบว่า ความสามารถในการลดความชื้นลดลงเมื่ออุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าสูงขึ้น และส่งผลให้อุณหภูมิที่ทางออกมีค่าสูงขึ้น แสดงดังรูปที่ 1.15 ที่สภาวะอากาศทางเข้า 30 °C อัตราส่วนความชื้น 0.008 kg<sub>w</sub>/kg<sub>da</sub> ความเร็วลม 2 m/s ความเร็วรอบของกมล้อ 15 rpm และอุณหภูมิคายความชื้น 90 °C

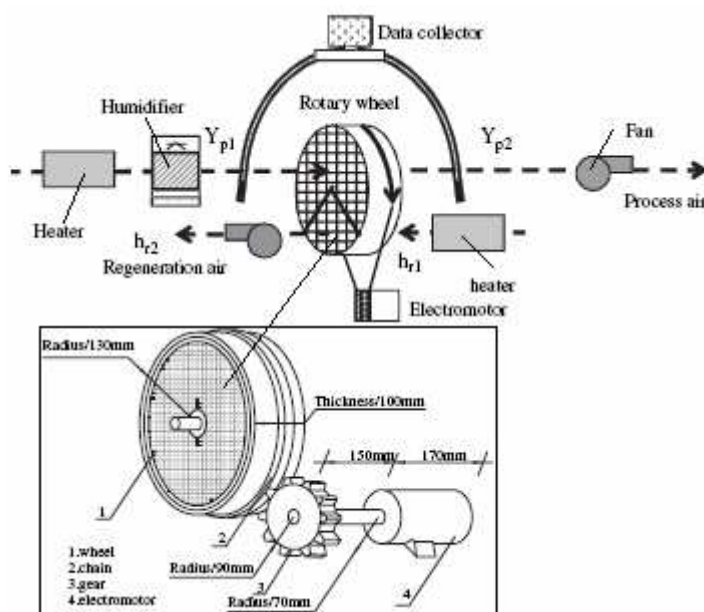


รูปที่ 1.15 ความสามารถของกองล้อดูดความชื้นและอุณหภูมิที่ทางออกที่ปัจจัยต่างๆ

(Source: Nia et al., 2006)

Jia et al. (2006) ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาประสิทธิภาพของสารดูดความชื้นในระบบปรับอากาศ โดยสารดูดความชื้นชนิดผสมระหว่างซิลิกาเจลและลิเทียมคลอไรด์ ศึกษาเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศโดยสารดูดความชื้นชนิดซิลิกาเจล ซึ่งกองล้อดูดความชื้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.26 m ความหนา 0.1 m ชุดการทดลองแสดงดังรูปที่ 1.16 ผลจากการศึกษาพบว่าสารดูดความชื้นชนิดผสมมีความสามารถในการดูดความชื้นมากกว่าซิลิกาเจล 20-30% ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปรับอากาศโดยสารดูดความชื้น 1.28 มากกว่าระบบที่ใช้ซิลิกาเจล 35% โดยความหนาที่เหมาะสมของกองล้ออยู่ในช่วง 0.08-0.1 m และจากการศึกษาเกี่ยวกับการ

ประยุกต์ใช้สารดูดความชื้นในระบบปรับอากาศ โดยการศึกษาของล้อดูดความชื้นขนาดผ่านศูนย์กลาง 0.23 m ความหนา 0.2 m ภายในกล่องบรรจุสารดูดความชื้นคือ ลิเทียมคลอไรด์ พบว่าที่สถานะของลมจ่าย  $30^{\circ}\text{C}$  ความชื้นสัมพัทธ์ 55% อัตราการไหล 0.24 kg/s อุณหภูมิการคายความชื้น  $100^{\circ}\text{C}$  และค่าความเร็วรอบของล้อดูดความชื้น 7 rpm สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าเมื่อเทียบกับระบบปรับอากาศแบบอัดไอทั่วไปได้ประมาณร้อยละ 37.5



รูปที่ 1.16 ชุดการทดลองและล้อดูดความชื้น

(Source: Jia et al., 2006)

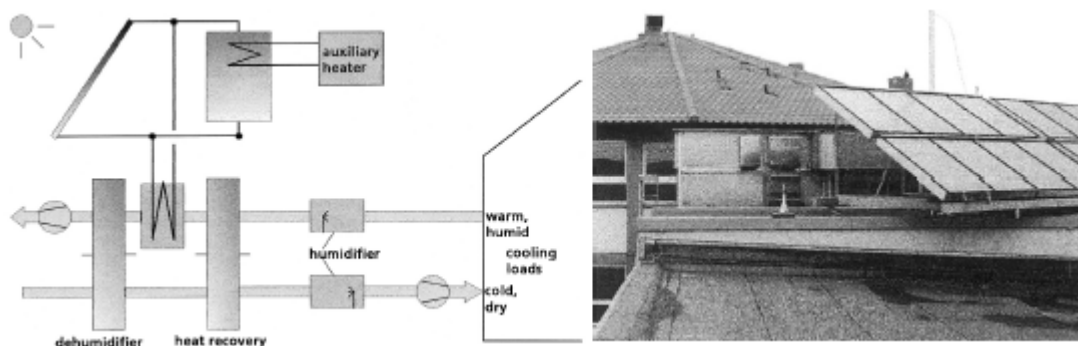
### 1.2.5 การประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในระบบทำความเย็นโดยสารดูด

#### ความชื้น

Lu and Yan (1995) ศึกษาเกี่ยวกับการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบปรับอากาศโดยสารดูดความชื้น ระบบที่ศึกษาได้แก่ ระบบ DESRAD และระบบ SDERC โดยระบบ DESRAD ใช้แผงรับรังสีดวงอาทิตย์ซึ่งภายในบรรจุซิลิกาเจล ติดตั้งบริเวณหลังคาที่มีความเอียงของบ้านพักที่อยู่ เพื่อลดความชื้นของอากาศตอนกลางวัน และใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในการคายความชื้นของสารดูดความชื้นตอนกลางวัน ส่วนระบบ SDERC จะเพิ่มผนังที่บรรจุสารดูดความชื้นทั้ง 4 ด้าน โดยช่วงเวลา 08.00 ถึง 12.00 น. ผนังทางด้านทิศตะวันออกและหลังคาด้านบนทำหน้าที่การคายความชื้นของสารดูดความชื้น ส่วนผนังทางด้านทิศตะวันตกทำหน้าที่ลด

ความชื้น ซึ่งทำหน้าที่สลับกันช่วงเวลา 12.00 ถึง 16.00 น. ยกเว้นหลังคาด้านบนจะทำหน้าที่ในการดูดความชื้นในเวลากลางวัน ผลจากการการศึกษาพบว่ามีความเป็นไปได้ในการใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในระบบทำความเย็นโดยสารดูดความชื้น ซึ่งกรณีพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์สูงจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบสูงขึ้น

Henning et al. (2001) ศึกษาเกี่ยวกับศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบทำความเย็นโดยสารดูดความชื้น โดยใช้แผงรับรังสีดวงอาทิตย์ขนาด  $20 \text{ m}^2$  ถึงเก็บน้ำร้อน  $2 \text{ m}^3$  ทดลองกับห้องขนาด  $330 \text{ m}^3$  ที่อัตราการไหลอากาศ  $2,700 \text{ m}^3/\text{h}$  สภาพอากาศภายนอก  $23-31^\circ\text{C}$  อัตราส่วนความชื้นสูงกว่า  $0.0105 \text{ kg}_w/\text{kg}_{da}$  ระบบที่ใช้ในการศึกษาแสดงดังรูปที่ 1.18 ผลจากการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ประมาณ 54% ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็นโดยสารดูดความชื้นคือ 0.6 และจากการศึกษาอาคารสำนักงานที่เมือง Freiburg ประเทศเยอรมัน ที่สภาพอากาศภายนอก  $33^\circ\text{C}$  อัตราส่วนความชื้น  $0.0145 \text{ kg}_w/\text{kg}_{da}$  โดยใช้แผงรับรังสีดวงอาทิตย์ขนาด  $1,196 \text{ kWh}$  พบว่าสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากกว่า  $8.25$  บาท/kWh (1 USD = 33 บาท) แสดงดังรูปที่ 1.17



รูปที่ 1.17 การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบทำความเย็นโดยสารดูดความชื้น

(Source: Henning et al., 2001)

Halliday et al. (2002) ศึกษาการความเป็นไปได้ในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับระบบทำความเย็นโดยสารดูดความชื้นในประเทศอังกฤษ โดยใช้แผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับระบบทำความเย็นโดยสารดูดความชื้นที่คายความชื้นของสารดูดความชื้นด้วยแก๊สร้อนพบว่าที่สภาพปรับอากาศ  $21-23^\circ\text{C}$  อัตราส่วนความชื้น  $0.0072-0.008 \text{ kg}_w/\text{kg}_{da}$  และสภาพอากาศ

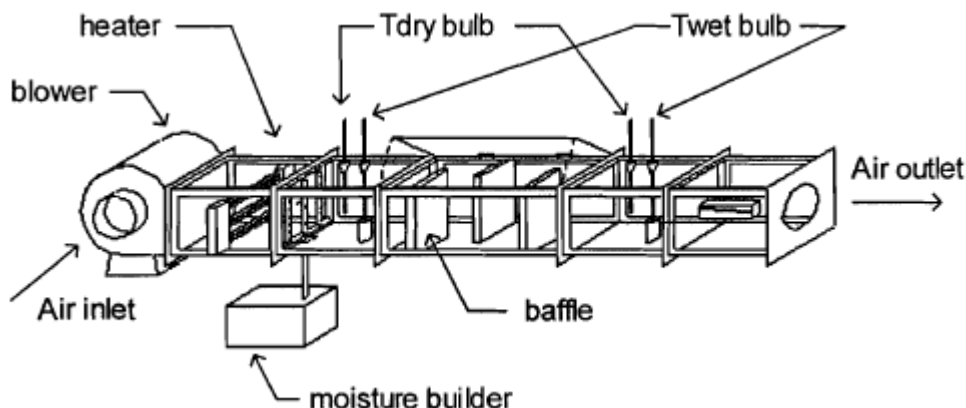


ภายนอก  $21-23^{\circ}\text{C}$  ในช่วงเวลา 07.00 ถึง 18.00 น. พบว่าระบบทำความเย็นโดยสารดูดความชื้นที่มีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ สามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณร้อยละ 23-45 เทียบกับระบบเดิมที่ใช้เฉพาะแก๊สหรือคิดเป็นเงิน 8,109 บาท/ $\text{m}^2$  ต่อปี (1 GBP = 53 บาท ราคาแก๊สหรือและราคาไฟฟ้ามีค่า 79.5 และ 265 บาท/kWh ตามลำดับ)

Wurtz et al. (2005) ศึกษาเกี่ยวกับการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบปรับอากาศโดยสารดูดความชื้น โดยใช้แผงรับรังสีดวงอาทิตย์ผลิตน้ำร้อนและเก็บไว้ในถังเก็บน้ำร้อนเพื่อใช้ในการคายความชื้นของสารดูดความชื้น แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์มีขนาดพื้นที่  $14.2 \text{ m}^2$  สารดูดความชื้นที่ใช้ในกล่องดูดความชื้นคือ ลิเทียมคลอไรด์ ซึ่งศึกษาระบบร่วมกับ โปรแกรม SimSPARK ผลจากการศึกษาพบว่า ที่อุณหภูมิภายในถังเก็บ  $40-70^{\circ}\text{C}$  ประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 0.8 ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปรับอากาศจะอยู่ในช่วง 1.7-2.0

### 1.2.6 การประยุกต์ใช้สารดูดความชื้นในระบบการอบแห้ง

พิสุทธิ กลิ่นขจร (2543) ศึกษาการควบคุมความชื้นของอากาศโดยสารดูดความชื้นของแข็ง โดยสารดูดความชื้นสองชนิดคือ ซิลิกาเจลและ โมเลคูลาซีฟเป็นสารทำงาน โดยสารดูดความชื้นจัดเรียงตัวเป็นลักษณะแบบแผ่นสลับ ขนาด  $3 \times 15 \times 25 \text{ cm}^3$   $3 \times 17.5 \times 25 \text{ cm}^3$  และ  $3 \times 20 \times 25 \text{ cm}^3$  ชุดการทดลองแสดงดังรูปที่ 1.18 โดยศึกษาตัวแปรอิสระได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และจำนวนสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิอากาศภายนอก  $18-30^{\circ}\text{C}$  ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 60-80% ผลจากการการศึกษาพบว่าอัตราการลดความชื้นในอากาศขึ้นกับพื้นที่อากาศสัมผัสกับผิวสารดูดความชื้น โดยถ้าพื้นที่สัมผัสมากส่งผลให้สามารถลดความชื้นได้มากกว่า ดังนั้นชุดสารดูดความชื้นทั้งโมเลคูลาซีฟและซิลิกาเจลขนาดใหญ่มีอัตราการลดความชื้นมากกว่าแผ่นขนาดเล็กกว่า ผลจากความชื้นในอากาศสูงขึ้น ส่งผลให้ความแตกต่างของความดันไอน้ำระหว่างอากาศและสารดูดความชื้นเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นอัตราการดูดความชื้นสูงขึ้นเมื่อความชื้นของอากาศที่ทางเข้าสูงขึ้น และผลจากอัตราการไหลอากาศสูงขึ้น ทำให้อัตราการดูดความชื้นสูงขึ้นเนื่องจากสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของอากาศสูงขึ้น และจากกรณีศึกษาที่สภาวะอากาศที่ทางเข้าฮีตปั๊มและสารดูดความชื้น  $25^{\circ}\text{C}$  ความชื้นสัมพัทธ์ 70% โดยสภาวะที่ทางออกจากขดลวดทำความร้อน  $43^{\circ}\text{C}$  ความชื้นสัมพัทธ์ 20-25% พบว่าระบบอบแห้งที่ใช้สารดูดความชื้นสามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณร้อยละ 19-25 ของระบบอบแห้งที่ใช้ฮีตปั๊มทั่วไป



รูปที่ 1.18 ชุดการทดลองระบบสารดูดความชื้น  
(ที่มา: พิสุทธิ กลิ่นขจร 2543)

จุฑามาส ภควัฒบรีรักษ์ (2546) ศึกษาการวิเคราะห์สมรรถนะปั๊มความร้อนทำงานร่วมกับสารดูดความชื้นชนิดแข็งในกระบวนการอบแห้ง โดยสารดูดความชื้นที่ใช้คือซิลิกาเจล จัดเรียงตัวแบบแผ่นสลับวางขวางทางการไหลของอากาศที่เข้าสู่กระบวนการอบแห้ง เพื่อลดความชื้นของอากาศ แผ่นสารดูดความชื้นมีขนาด  $25 \times 15 \text{ cm}^2$   $25 \times 18 \text{ cm}^2$  และ  $25 \times 21 \text{ cm}^2$  ภายในบรรจุซิลิกาเจล 0.56 0.67 และ 0.78 kg ตามลำดับ ชุดการทดลองแสดงดังรูปที่ 1.40 ตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ ขนาดและจำนวนแผ่นสารดูดความชื้น อุณหภูมิ ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่เข้าสู่กระบวนการ โดยสภาวะภายนอกถูกควบคุมให้อยู่ในช่วง  $20-40^\circ \text{C}$  ความชื้นสัมพัทธ์ 50-70% ความเร็วลม 1-3 m/s ผลจากการการศึกษพบว่า ที่อุณหภูมิ  $40^\circ \text{C}$  อัตราการดูดความชื้นสูงกว่าที่  $30^\circ \text{C}$  และ  $20^\circ \text{C}$  เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงขึ้นความแตกต่างของความดันไอน้ำมากขึ้นส่งผลให้อัตราการดูดความชื้นของสารดูดความชื้นเพิ่มขึ้น ผลจากความชื้นสัมพัทธ์ที่เพิ่มขึ้นทำให้ความดันไอน้ำมากขึ้นส่งผลให้อัตราการดูดความชื้นสูงขึ้น ซึ่งผลสอดคล้องกับในกรณีที่อัตราการไหลสูงขึ้นทำให้อัตราการถ่ายเทมวลเพิ่มขึ้น และผลจากการเพิ่มจำนวนแผ่นของสารดูดความชื้นจาก 6-10 แผ่น ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณสารดูดความชื้นส่งผลให้อัตราการลดความชื้นสูงขึ้น ส่วนกระบวนการคายความชื้นของสารดูดความชื้นพบว่า อัตราการคายความชื้นสูงขึ้นตามอุณหภูมิ จาก  $50-70^\circ \text{C}$  แต่มีค่าลดลงเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในกระบวนการคายความชื้นเพิ่มขึ้น และอัตราการคายความชื้นสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของอากาศและจำนวนแผ่นของสารดูดความชื้นเพิ่มขึ้น จากการศึกษปั๊มความร้อนทำงานร่วมกับสารดูดความชื้นที่อากาศจากภายนอกได้รับความร้อนจากคอนเดนเซอร์และขดลวดทำความร้อนก่อนเข้าสู่ห้องอบแห้ง อีวาโปเรเตอร์จะดึงความร้อนและลดความชื้นจากอากาศร้อนที่ออกจากห้องอบแห้ง โดยมีการเปลี่ยนสารดูดความชื้นทุกๆ

30 นาที จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ที่เวลาทำงาน 6,000 ชั่วโมงต่อปี อัตราอบแห้ง 1.5 kg/hr พบว่าสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้สูงสุด 18,000-25,000 บาทต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 0.9-1.3 ปี และค่าอัตราตอบแทนผลการลงทุน 78-114%

### 1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ ศึกษาและออกแบบระบบลดความชื้น โดยใช้สารดูดความชื้น สำหรับระบบระบายอากาศในอาคารที่พักอาศัย ลักษณะบ้านเดี่ยวขนาดห้อง 50 m<sup>3</sup> โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

- 1.3.1 ศึกษาและออกแบบระบบลดความชื้นของสารดูดความชื้น
- 1.3.2 ศึกษาและออกแบบระบบคายความชื้นของสารดูดความชื้น
- 1.3.3 ศึกษาและประเมินการประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศโดยสารดูดความชื้น

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถควบคุมสถานะในห้องปรับอากาศได้เหมาะสม คือ 24-26°C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% (อัตราส่วนความชื้น 10 g<sub>w</sub>/kg<sub>da</sub>)
- 1.4.2 สามารถประหยัดพลังงานในการทำความเย็นของระบบปรับอากาศโดยการลดภาระความร้อนแฝงจากความชื้นก่อนเข้าระบบปรับอากาศ

### 1.5 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.5.1 ศึกษา ระบบปรับอากาศโดยสารดูดความชื้นของอาคารที่พักอาศัยลักษณะบ้านเดี่ยว ขนาดห้องปรับอากาศ 50 m<sup>3</sup> ที่ตั้งอยู่ในจังหวัดสงขลา
- 1.5.2 ศึกษา ระบบปรับอากาศโดยสารดูดความชื้นของอาคารที่พักอาศัยลักษณะบ้านเดี่ยว ในช่วงเวลาระหว่าง 09.00 น. ถึง 21.00 น.
- 1.5.3 ใช้สารดูดความชื้นชนิดของแข็ง คือ ซิลิกาเจล ในการวิจัย

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

การศึกษางานวิจัยทางด้านการประยุกต์ใช้สารดูดความชื้นเพื่อลดความชื้นของอากาศก่อนเข้าสู่ระบบปรับอากาศของอาคาร เพื่อประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศโดยการลดภาระความร้อนแฝงที่เกิดจากความชื้นในอากาศ จำเป็นต้องศึกษาทฤษฎีต่างๆ ได้แก่ สมบัติทางอุณหพลศาสตร์ของอากาศชื้น แผนภูมิอากาศชื้น วัฏจักรทำความเย็น กระบวนการลดความชื้น สารดูดความชื้น กระบวนการลดความชื้นโดยสารดูดความชื้น ระบบทำความเย็นโดยสารดูดความชื้น และการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

#### 2.1 สมบัติทางอุณหพลศาสตร์ของอากาศชื้น (Thermodynamics Properties of Moist Air)

อากาศในบรรยากาศประกอบด้วย อากาศแห้งและไอน้ำ (หรือความชื้น) ซึ่งสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ของอากาศชื้น ได้แก่ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง อุณหภูมิกระเปาะเปียก อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ความดันไอ อัตราส่วนความชื้น ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาตรจำเพาะ และเอนทัลปี

##### 2.1.1 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry-bulb temperature, $T_{db}$ )

อุณหภูมิกระเปาะแห้ง คือ อุณหภูมิของอากาศที่อ่านค่าได้จากเทอร์โมมิเตอร์หรือเทอร์โมคัปเปิลต่างๆ ไป ซึ่งระหว่างการตรวจวัด อากาศต้องถ่ายเทได้สะดวกเพื่อได้ค่าที่ถูกต้อง

##### 2.1.2 อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet-bulb temperature, $T_{wb}$ )

อุณหภูมิกระเปาะเปียก คือ อุณหภูมิของอากาศชื้นที่อ่านค่าได้จากเทอร์โมมิเตอร์ที่มีด้ายหรือสำลีชุบน้ำพันอยู่รอบๆ กระเปาะปรอท และมีอากาศไหลผ่านกระเปาะด้วยความเร็ว 2.5-5 m/s ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่อัตราการถ่ายโอนความร้อนจากอากาศไปยังผิวเปียกโดยการพาและการนำความร้อนมีค่าเท่ากับอัตราการสูญเสียความร้อนจากผิวเปียกในรูปความร้อนแฝงการระเหย

##### 2.1.3 อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew-point temperature, $T_{dp}$ )

อุณหภูมิจุดน้ำค้าง คือ อุณหภูมิที่ไอน้ำในอากาศเริ่มควบแน่น เมื่ออากาศถูกทำให้เย็นลงที่อัตราส่วนความชื้นและความดันบรรยากาศคงที่ สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2.1 และ 2.2 (ทงนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ 2535; กำพล ประทีปชัยกุล 2543)

$$T_{dw} = 6.983 + 14.38 \ln(P_v) + 1.079 (\ln(P_v))^2 \quad \text{เมื่อ } 0^\circ\text{C} \leq T_{db} \leq 50^\circ\text{C} \quad (2.1)$$

$$T_{dw} = 13.8 + 9.478 \ln(P_v) + 1.99 (\ln(P_v))^2 \quad \text{เมื่อ } 50^\circ\text{C} \leq T_{db} \leq 110^\circ\text{C} \quad (2.2)$$

โดยที่  $T_{dw}$  คือ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ( $^\circ\text{C}$ )  
 $T_{db}$  คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ( $^\circ\text{C}$ )  
 $P_v$  คือ ความดันไอหรือความดันย่อยของไอน้ำ (kPa)

#### 2.1.4 ความดันไอ (Vapor pressure, $P_v$ )

ความดันไอ คือ ส่วนของความดันย่อย (partial pressure) ที่กระทำโดยโมเลกุลของไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศชั้น ที่ความดันบรรยากาศสามารถพิจารณาได้ว่าส่วนผสมของก๊าซต่างๆ และไอน้ำในอากาศชั้นเป็นส่วนผสมก๊าซอุดมคติจากกฎของดาลตันจะได้

$$P = P_a + P_v \quad (2.3)$$

โดยที่  $P$  คือ ความดันรวม (ความดันบรรยากาศ  $\approx 101.325$  kPa)  
 $P_a$  คือ ความดันย่อยของอากาศแห้ง (kPa)

ความดันไอและความดันไออิ่มตัวจะมีค่าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2.4 และ 2.5 ตามลำดับ (ทnungเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ 2535; กำพล ประทีปชัยกูร 2543)

$$P_v = P \left[ \frac{(T_{dw} - T_{wb})}{1,514} \right] \left[ 1 + \frac{T_{wb} - 273.2}{873} \right] \quad (2.4)$$

$$\ln(P_{sat}) = -7,511.52/T_{abs} + 89.63121 + 0.0239989T_{abs} - 1.1654554 \times 10^{-5} T_{abs}^2 - 1.2810336 \times 10^{-8} T_{abs}^3 + 2.0998405 \times 10^{-11} T_{abs}^4 - 12.150799 \ln(T_{abs}) \quad (2.5)$$

โดยที่  $T_{wb}$  คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียก ( $^\circ\text{C}$ )  
 $T_{abs}$  คือ อุณหภูมิสมบูรณ์ ( $273.16 \text{ K} \leq T_{abs} \leq 393.16 \text{ K}$ )  
 $P_{sat}$  คือ ความดันไออิ่มตัว (kPa)

### 2.1.5 อัตราส่วนความชื้น (Humidity ratio, w)

อัตราส่วนความชื้น ความชื้นสัมบูรณ์ หรือความชื้นจำเพาะ คือ มวลของไอน้ำที่มีอยู่ในหนึ่งหน่วยมวลของอากาศแห้ง อัตราส่วนความชื้นสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2.6 (McQuiston et al., 2005; Yunus and Michael, 2006)

$$w = \frac{m_v}{m_a} = \frac{P_v V / (R_v T_{abs})}{P_a V / (R_a T_{abs})} = \frac{P_v / R_v}{P_a / R_a} = 0.622 \frac{P_v}{P_a - P_v} \quad (2.6)$$

โดยที่ w คือ อัตราส่วนความชื้น (kg<sub>w</sub>/kg<sub>da</sub>)  
 m<sub>v</sub> คือ มวลของไอน้ำหรือความชื้นที่อยู่ในอากาศ (kg)  
 m<sub>a</sub> คือ มวลของอากาศแห้ง (kg)  
 R<sub>a</sub> คือ ค่าคงที่ของอากาศแห้ง (มีค่าเท่ากับ 0.2870 kJ/kg-K)  
 R<sub>v</sub> คือ ค่าคงที่ของไอน้ำ (มีค่าเท่ากับ 0.4615 kJ/kg-K)  
 V คือ ปริมาตรของอากาศ (m<sup>3</sup>)

### 2.1.6 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity, %RH)

ความชื้นสัมพัทธ์ คือ ปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในอากาศเทียบกับปริมาณความชื้นมากที่สุดที่จะมีอยู่ได้ในอากาศที่อุณหภูมิเดียวกัน ความชื้นสัมพัทธ์สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2.7 และ 2.8 (McQuiston et al., 2005; Yunus and Michael, 2006)

$$\%RH = \frac{m_v}{m_g} = \frac{P_v V / (R_v T_{abs})}{P_g V / (R_v T_{abs})} = \frac{P_v}{P_g} \quad (2.7)$$

โดยที่ %RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ (%)  
 P<sub>g</sub> คือ ความดันอิ่มตัวของน้ำ เมื่อ P<sub>g</sub> = P<sub>sat@T</sub> (kPa)

$$\%RH = \frac{wP}{(0.622 + w)P_g} \quad (2.8)$$

$$w = \frac{0.622\%RHP_g}{P - \%RHP_g} \quad (2.9)$$

### 2.1.7 ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume, $v$ )

ปริมาตรจำเพาะ คือ ปริมาตรของอากาศชื้นต่อหน่วยมวลของอากาศแห้ง สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2.10 (ทnungเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ 2535; กำพล ประทีปชัยกุล 2543)

$$v = R_a T_{\text{abs}} (1 + 1.608w) / (m_a P) \quad (2.10)$$

โดยที่  $v$  คือ ปริมาตรจำเพาะ ( $\text{m}^3/\text{kg}$ )

### 2.1.8 เอนทัลปี (Enthalpy, $h$ )

เอนทัลปี คือ ค่าปริมาณความร้อนของอากาศชื้นต่อหนึ่งหน่วยมวลอากาศแห้งที่สูงกว่าค่าอุณหภูมิอ้างอิง การคำนวณโดยทั่วไปจะเกี่ยวข้องกับความแตกต่างของเอนทัลปี โดยทางปฏิบัติมักใช้อุณหภูมิอ้างอิงของน้ำและของอากาศแห้งคือ  $0^\circ\text{C}$  อากาศในบรรยากาศคือของผสมระหว่างอากาศแห้งกับไอน้ำ ดังนั้นค่าเอนทัลปีของอากาศมีค่าเท่ากับผลรวมของเอนทัลปีของอากาศแห้ง และเอนทัลปีของไอน้ำ ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2.11-2.14 (McQuiston et al., 2005; Yunus and Michael, 2006)

$$H = H_a + H_v = m_a h_a + m_v h_v \quad (2.11)$$

โดยที่  $H$  คือ เอนทัลปีรวมของอากาศ (kJ)

$H_a$  คือ เอนทัลปีของอากาศแห้ง (kJ)

$H_v$  คือ เอนทัลปีของไอน้ำหรือความชื้นที่อยู่ในอากาศ (kJ)

$h_a$  คือ เอนทัลปีต่อมวลของอากาศแห้ง (kJ/kg)

$h_v$  คือ เอนทัลปีต่อมวลของไอน้ำ (kJ/kg)

$$h = \frac{H}{m_a} = h_a + \frac{m_v}{m_a} h_v = h_a + wh_v \quad (2.12)$$

$$h = h_a + wh_g \quad \text{เมื่อ } h_v \approx h_g = h_{\text{sat}@T} \quad (2.13)$$

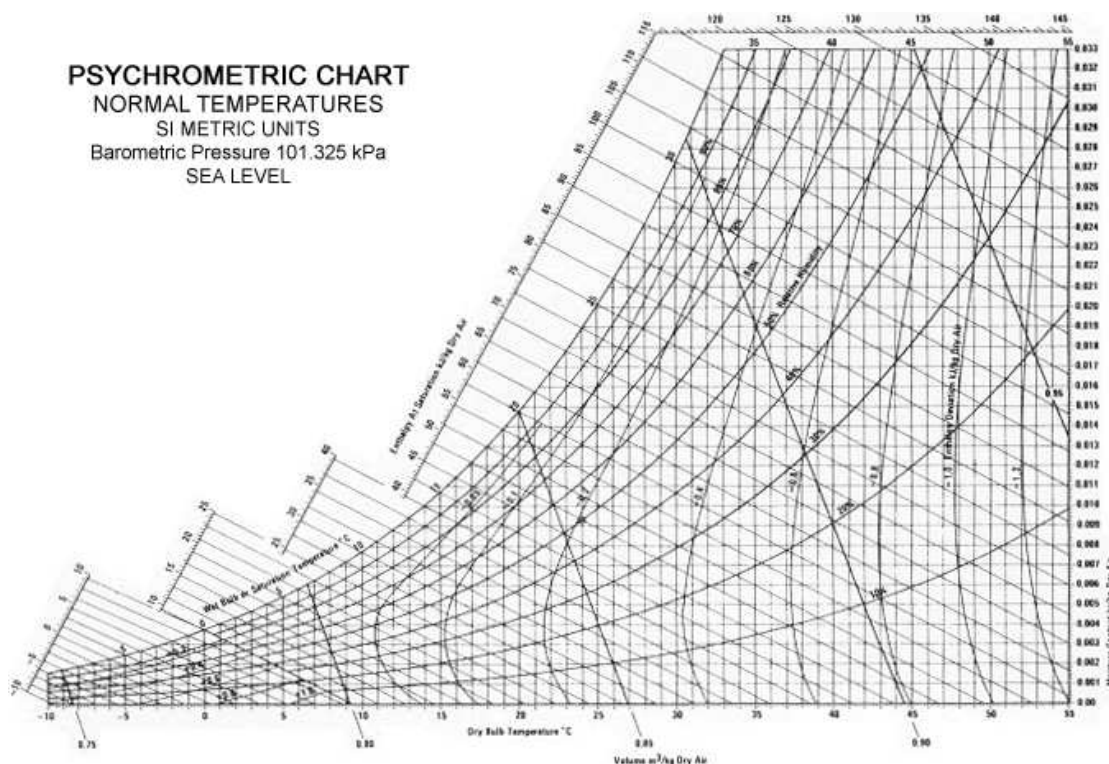
$$h = 1.0T + (2,501.3 + 1.86T)w \quad (2.14)$$

โดยที่ $h$	คือ	เอนทัลปีต่อมวลของอากาศ (kJ/kg)
$h_a$	คือ	เอนทัลปีต่อมวลของอากาศแห้ง (kJ/kg)
$h_v$	คือ	เอนทัลปีต่อมวลของไอน้ำ (kJ/kg)
$h_g$	คือ	เอนทัลปีต่อมวลของไอน้ำอิ่มตัว (kJ/kg)
$h_{g@0^\circ C}$	คือ	เอนทัลปีของไอน้ำที่ $0^\circ C$ (มีค่าเท่ากับ 2,501.3 kJ/kg)

จากสมการที่ 2.12-2.14 การลดความชื้นในอากาศ ( $w$  ลดลง) ส่งผลให้ค่าเอนทัลปีของอากาศลดลง ( $h$  ลดลง) ซึ่งเป็นการลดภาระความร้อนแฝงที่เกิดจากความชื้นในอากาศ ทำให้พลังงานที่ใช้ในระบบทำความเย็นลดลง

## 2.2 แผนภูมิอากาศชื้น (Psychrometric chart)

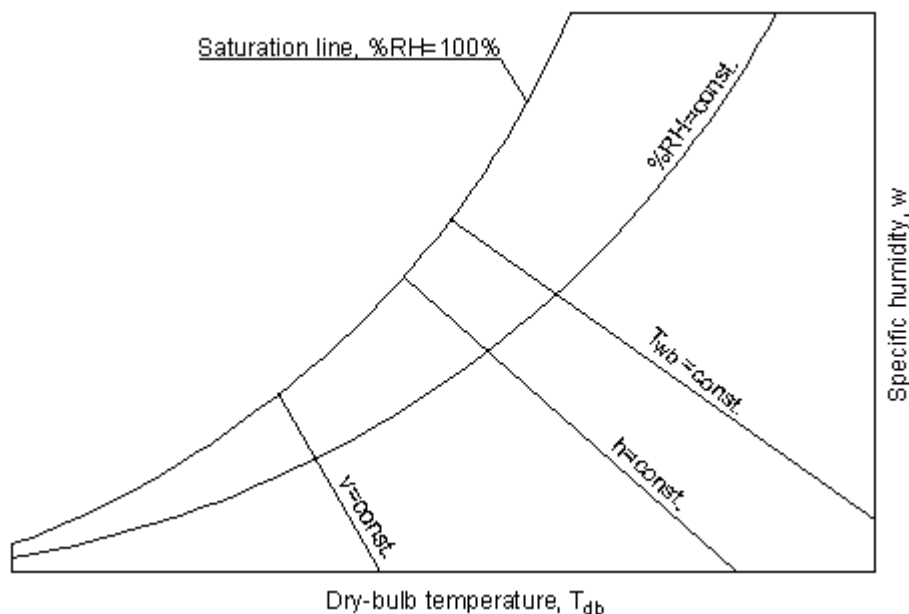
สถานะของอากาศในบรรยากาศที่ความดันค่าหนึ่งสามารถถูกกำหนดได้โดยค่าสมบัติไม่ขึ้นกับมวลอิสระ 2 ค่า โดยแผนภูมิอากาศชื้นสำหรับการออกแบบระบบปรับอากาศที่ความดัน 1 บรรยากาศ แสดงดังรูปที่ 2.1 ความหมายของเส้นบนแผนภูมิอากาศชื้นแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 แผนภูมิอากาศชื้น

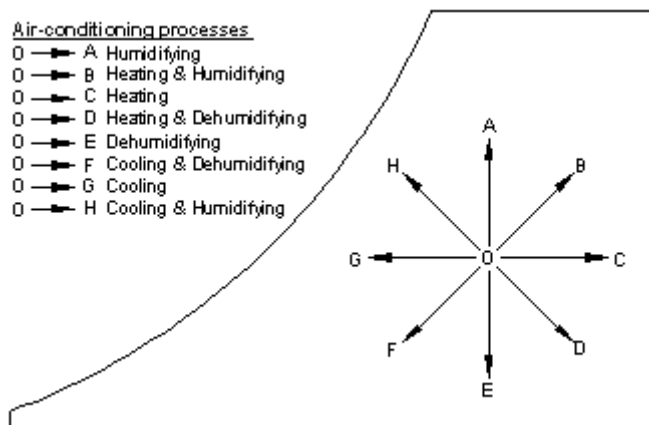
(Source: Carrier corporation, 1965)





รูปที่ 2.2 ความหมายของเส้นบนแผนภูมิอากาศชื้น

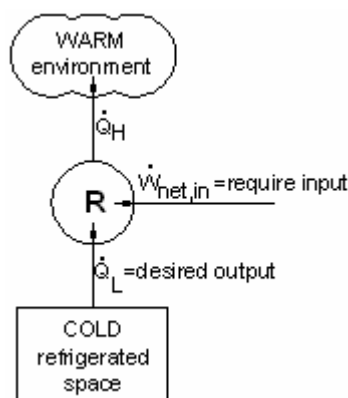
การปรับอากาศ คือ การทำให้อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม และคุณภาพของอากาศเป็นไปตามความต้องการของพื้นที่นั้นๆ สามารถแบ่งออกได้เป็นการปรับอากาศเพื่อความสบายและการปรับอากาศเพื่ออุตสาหกรรม โดยการปรับอากาศเพื่อความสบายเป็นการปรับอากาศเพื่อทำให้เกิดความรู้สึกสบาย และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของผู้ที่อยู่อาศัย เช่น การปรับอากาศภายในบ้านเรือน สำนักงาน โรงพยาบาล เป็นต้น ส่วนการปรับอากาศเพื่ออุตสาหกรรมเป็นการปรับอากาศเพื่อควบคุมสภาวะอากาศในกระบวนการผลิต การทำวิจัย และการเก็บรักษาผลผลิตต่างๆ เช่น การปรับอากาศในอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ การปรับอากาศแบ่งออกได้เป็น การเพิ่มความชื้นอย่างเดียว การให้ความร้อนพร้อมด้วยการเพิ่มความชื้น การให้ความร้อนอย่างเดียว การให้ความร้อนพร้อมด้วยการลดความชื้น การลดความชื้นอย่างเดียว การทำความเย็นพร้อมด้วยการลดความชื้น การทำความเย็นอย่างเดียว และการทำความเย็นพร้อมด้วยการเพิ่มความชื้น ซึ่งการลดความชื้นในอากาศด้วยสารดูดความชื้นที่ทำการศึกษาค้นคว้าวิจัยเป็นการลดความชื้นทางเคมี อากาศที่ได้จะมีความชื้นลดลงแต่อุณหภูมิจะสูงขึ้น (Techajunta et al., 1999; Kanoglu et al., 2004; Zhang and Niu, 2002; Ahmed et al., 2005; Douglas Kosar, 1990) กระบวนการปรับสภาพอากาศบนแผนภูมิอากาศชื้น แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กระบวนการปรับสภาพอากาศพื้นฐาน

### 2.3 วัฏจักรทำความเย็น (Refrigeration cycles)

กระบวนการทำความเย็นเป็นกระบวนการถ่ายโอนความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่า อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการถ่ายโอนความร้อนลักษณะนี้คือ เครื่องทำความเย็น (refrigerators) แสดงดังรูปที่ 2.4 เครื่องทำความเย็นจะทำงานเป็นวัฏจักรซึ่งเรียกวัฏจักรนี้ว่า วัฏจักรทำความเย็น โดยส่วนใหญ่เป็นวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ (vapor-compression refrigeration cycle) ซึ่งสารทำความเย็น (refrigerant) จะระเหยและควบแน่นสลับกันไป พร้อมทั้งจะถูกอัดในขณะที่มีสถานะเป็นไอ



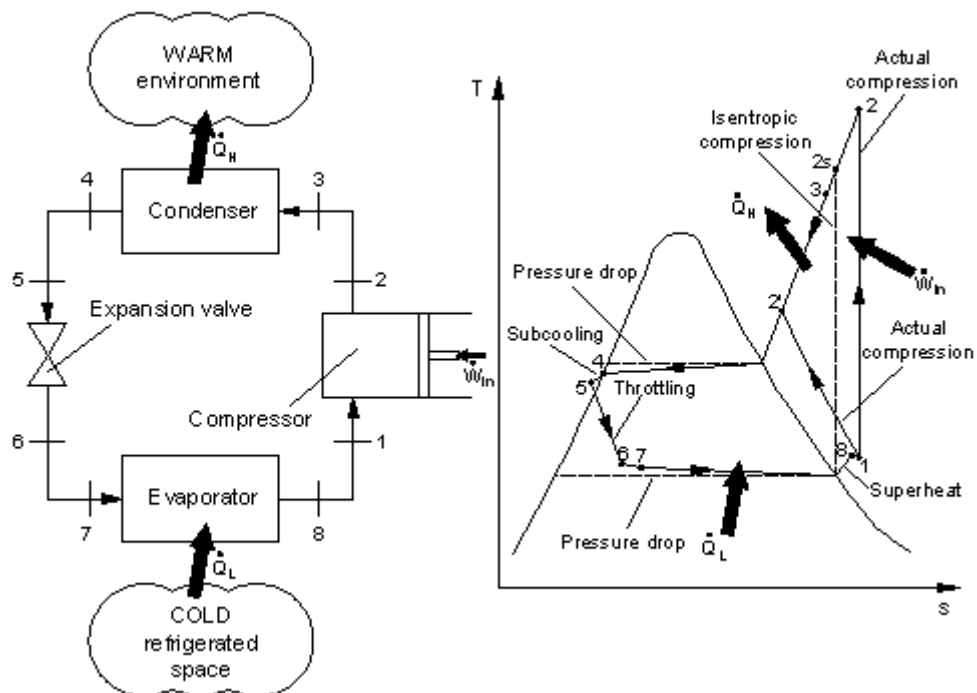
รูปที่ 2.4 การทำงานของเครื่องทำความเย็น

ประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องทำความเย็นแสดงอยู่ในรูปของสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (coefficient of performance, COP) โดยเป็นอัตราส่วนระหว่างสิ่งที่ปรารถนาจะได้ออกมากับสิ่งที่จำเป็นต้องป้อนเข้าไป ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2.15

$$\text{COP}_R = \frac{\text{Desired output}}{\text{Required input}} = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{\text{net,in}}} \quad (2.15)$$

โดยที่  $\text{COP}_R$  คือ สัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำความเย็น  
 $\dot{Q}_L$  คือ ผลของการทำความเย็น (kW)  
 $\dot{W}_{\text{net,in}}$  คือ งานที่ต้องป้อนให้แก่อุปกรณ์ (kW)

วัฏจักรของเครื่องทำความเย็นแบบอัดไอประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วนด้วยกันคือ เครื่องอัด (compressor) เครื่องควบแน่น (condenser) วาล์วขยายตัว (expansion valve) และเครื่องระเหย (evaporator) แสดงดังรูปที่ 2.5 สารทำความเย็นจะไหลเข้าเครื่องอัดในสถานะไอ และจะถูกอัดจนกระทั่งมีความดันเท่ากับความดันในเครื่องควบแน่น ไอออกจากเครื่องอัดที่มีอุณหภูมิค่อนข้างสูง และเย็นตัวลงพร้อมเกิดการควบแน่นขณะที่ไหลผ่านท่อขดภายในเครื่องควบแน่น โดยการถ่ายโอนความร้อนไปยังสิ่งแวดล้อม หลังจากนั้นสารทำความเย็นจะไหลผ่านหลอดรูเล็ก (capillary tube) หรือ วาล์วขยายตัว ซึ่งจะมีผลทำให้ความดันและอุณหภูมิของสารทำความเย็นลดลงอย่างมากเนื่องจากผลของทรอตติง (throttling) ต่อจากนั้น สารทำความเย็นจะเกิดการระเหยโดยการดูดความร้อนจากบริเวณที่ต้องการทำความเย็น วัฏจักรจะทำงานได้อย่างสมบูรณ์เมื่อสารทำความเย็นไหลออกจากเครื่องระเหยและไหลกลับเข้าสู่เครื่องอัดอีกครั้ง



รูปที่ 2.5 ภาพและแผนภาพ T-s ของวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ

## 2.4 กระบวนการลดความชื้น (Dehumidification)

ความชื้นที่อยู่ในอากาศนอกจากเพิ่มภาระความเย็นของระบบทำความเย็นแล้วยังก่อให้เกิดปัญหาต่างๆ ได้แก่ อุตสาหกรรมยา หากยาได้รับความชื้นจะทำให้มีคุณสมบัติของยาเปลี่ยนไป อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์หนัง เนื่องจากหนังเมื่อได้รับความชื้นแล้วทำให้เสียรูปทรงและทำให้เกิดเชื้อราได้ง่าย อุตสาหกรรมอาหาร เพราะอาหารบางอย่างต้องการรักษาสภาพความกรอบ อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับโลหะ เนื่องจากโลหะหลายชนิด เมื่อโดนความชื้นแล้วจะทำให้เกิดสนิม อุตสาหกรรมเกี่ยวกับการขนส่งและบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากการขนส่งต้องรักษาสภาพของสินค้าให้อยู่ในสภาพเดิมซึ่งความชื้นอาจทำให้สินค้าเสียหายได้ สำหรับปัญหาความชื้นในครัวเรือน ได้แก่ ทำให้เกิดปัญหาเชื้อรา เนื่องจากเชื้อราสามารถขึ้นได้ทุกที่ๆ มีความชื้น หากเกิดขึ้นกับสิ่งของสิ่งใดจะทำให้สูญเสียคุณค่าและราคา ซึ่งการลดความชื้นในอากาศสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือการลดความชื้นทางกล และการลดความชื้นทางเคมี

### 2.4.1 การลดความชื้นทางกล (Mechanical dehumidification)

การลดความชื้นทางกลเป็นวิธีการลดความชื้นที่ใช้กันทั่วไปในระบบปรับอากาศ ได้แก่ วิธีการอุ่นอากาศร้อนและวิธีการควบแน่น โดยวิธีการอุ่นอากาศให้ร้อนเป็นวิธีที่ให้ความร้อนแก่อากาศทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์ลดลงแต่ปริมาณน้ำในอากาศยังคงเท่าเดิม แสดงดังรูปที่ 2.3 กระบวนการ OC (กระบวนการให้ความร้อนอย่างเดียว) ซึ่งอาจไม่เหมาะสมกับวัสดุหรือสถานที่ในบางกรณี เช่น วัสดุมีความไวไฟหรือมีจุดหลอมเหลวต่ำ หรือในกรณีที่ต้องการควบคุมให้มีความชื้นต่ำและอุณหภูมิรอบข้างไม่สูงมาก ส่วนวิธีการให้อากาศควบแน่นเป็นวิธีที่ดึงความร้อนออกจากอากาศทำให้อากาศมีอุณหภูมิลดต่ำลง (แสดงดังรูปที่ 2.3 กระบวนการ OG) จนอากาศมีค่าความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 100% เรียกอุณหภูมิที่จุดนี้ว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ความชื้นในอากาศจึงเกิดการควบแน่น ทำให้ปริมาณความชื้นในอากาศลดลง ความสามารถในการลดความชื้นวิธีนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของพื้นผิวคอยล์เย็น หากอุณหภูมิต่ำกว่าจุดน้ำแข็งจะเกิดปัญหาน้ำแข็งเกาะที่คอยล์เย็น (icing) และอุณหภูมิของอากาศที่ได้อาจมีอุณหภูมิต่ำจนเกินไปไม่เหมาะสมกับความต้องการ ทำให้จำเป็นต้องอุ่นอากาศให้ร้อนขึ้นซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน

### 2.4.2 การลดความชื้นทางเคมี (Chemical dehumidification)

การลดความชื้นทางเคมีเป็นวิธีการลดความชื้นโดยให้อากาศไหลผ่านสารดูดความชื้น เพื่อลดความชื้นที่เกิดจากการระเหยโดยความร้อนแฝงที่มาพร้อมกับอากาศแห้งออกไป

ดังนั้นปริมาณความชื้นในอากาศลดลง การใช้สารดูดความชื้นในการลดความชื้นในอากาศแสดงดังรูปที่ 2.3 (กระบวนการ OD) ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถควบคุมความชื้นได้ต่ำและใช้พลังงานน้อย

## 2.5 สารดูดความชื้น (Desiccant)

สารดูดความชื้นที่ใช้ในกระบวนการลดความชื้นมีทั้งชนิดของเหลว (liquid desiccants) และชนิดของแข็ง (solid desiccant) โดยสารดูดความชื้นชนิดของเหลวจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบและมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบเมื่อได้รับความชื้น ดังนั้นการใช้งานจึงต้องคำนึงถึงปริมาณความเข้มข้นของสารดูดความชื้นก่อนนำไปใช้งาน สารดูดความชื้นชนิดของเหลว ได้แก่ ลิเทียมคลอไรด์ ส่วนสารดูดความชื้นชนิดของแข็งเมื่อดูดความชื้นแล้วจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี โดยความชื้นหรือน้ำจะถูกดูดซับไว้ที่ผิวของสารดูดความชื้น ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของค่าความดันไอระหว่างอากาศชื้นกับผิวสัมผัสของสารดูดความชื้น โดยในกรณีที่ค่าความดันไอผิวสัมผัสของสารดูดความชื้นน้อยกว่าค่าความดันไอของอากาศชื้นจะเป็นกระบวนการดูดความชื้น (dehumidification process) และในทางกลับกันกรณีที่ค่าความดันไอผิวสัมผัสของสารดูดความชื้นมากกว่าค่าความดันไอของอากาศชื้นจะเป็นกระบวนการคายความชื้น (regenerative process) ดังนั้นเมื่อสารดูดความชื้นได้รับความร้อนความชื้นจะถูกคายออก สามารถนำมาใช้ในกระบวนการลดความชื้นได้อีก สารดูดความชื้นชนิดของแข็ง ได้แก่ ซิลิกาเจล อีโคดราย และโมเลกุลวาลซีฟ เป็นต้น (Wang, 1993; Douglas Kosar, 1990)

### 2.5.1 สารดูดความชื้นชนิดของแข็ง

(1) ซิลิกาเจล (Silica gel) เป็นสารสังเคราะห์ที่สกัดจากทรายขาวผสมกรดกำมะถัน มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า ซิลิกอนไดออกไซด์ (Silicon dioxide) มีลักษณะเป็นเม็ดกลม ซึ่งโดยทั่วไปซิลิกาเจลจะมีลักษณะเป็นโพรงมีรูพรุนทำให้มีพื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดความชื้นเป็นจำนวนมาก ประมาณ  $800 \text{ m}^2/\text{kg}$  หรือประมาณ 40% ของน้ำหนัก

(2) เพาเวอร์ดราย (Power dry) เป็นสารดูดความชื้นที่ผลิตจากดินไดอะตอมเมเชียลเอิร์ทหรือดินเบา มีลักษณะคล้ายกรวดขนาดเล็กสีเทาหรือสีน้ำตาล ความสามารถในการดูดความชื้นประมาณ 50% ของน้ำหนัก มีความเร็วในการดูดและคายความชื้นต่ำกว่าซิลิกาเจล ทำให้เหมาะสำหรับใช้ในงานที่ต้องใช้ระยะเวลานานๆ เช่น การส่งสินค้าระหว่างประเทศ

(3) อีโคดราย (Eco dry) เป็นสารดูดความชื้นที่ผลิตจากดินธรรมชาติ ความสามารถในการดูดความชื้นประมาณ 50% ของน้ำหนัก มีความสามารถดูดความชื้นได้ดีและต่อเนื่อง

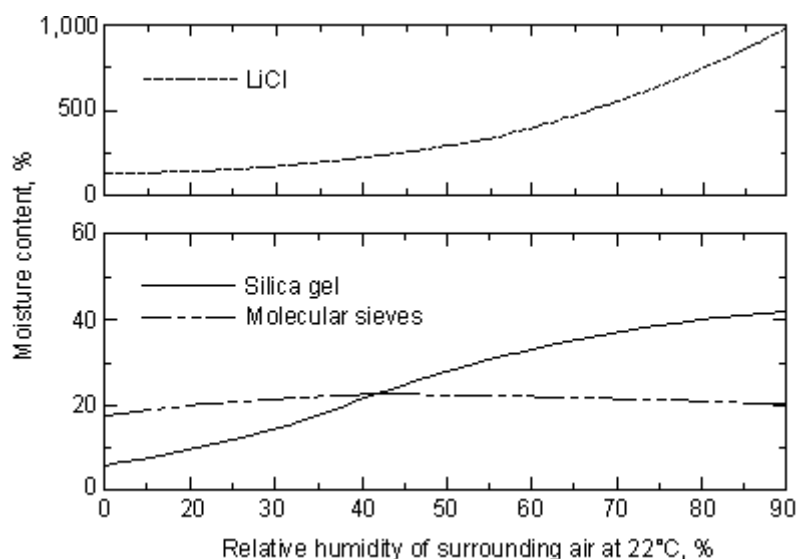
(4) โมเลกุลวาล์ฟ (Molecular sieve) เป็นสารสังเคราะห์ที่มีคุณสมบัติในการดูดความชื้นที่ดีมากภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์รอบข้างในระดับต่ำประมาณ 10-30% ความสามารถในการดูดความชื้นประมาณ 22% ของน้ำหนัก มีความสามารถดูดความชื้นได้สูง ทำให้ปัญหาการคายความชื้นน้อยกว่าซิลิกาเจลเมื่ออุณหภูมิรอบข้างสูงขึ้น

(5) แคลเซียมออกไซด์ (Calcium oxide, CaO) ความสามารถในการดูดความชื้นประมาณ 28.5% ของน้ำหนัก มีความสามารถดูดความชื้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำและมีอัตราการคายความชื้นที่ต่ำเช่นเดียวกับโมเลกุลวาล์ฟ แต่ความเร็วในการดูดความชื้นค่อนข้างช้าเมื่อเทียบกับชนิดอื่นๆ และจะกลายเป็นสารกึ่งเหลวเมื่อสารดูดความชื้นอิ่มตัว ซึ่งสารดูดความชื้นประเภทนี้มีคุณสมบัติในการกักความร้อนสูง

(6) แคลเซียมซัลเฟต (Calcium sulfate, CaSO<sub>4</sub>) เป็นสารดูดความชื้นที่ผลิตได้จากแร่ยิปซัม สามารถดูดความชื้นได้ประมาณ 10% ของน้ำหนัก แต่คงสถานะได้ดี และไม่กักความร้อน

### 2.5.2 สารดูดความชื้นชนิดของเหลว

ลิเทียมคลอไรด์ (Lithium chloride, LiCl) เป็นสารดูดความชื้นที่มีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีเมื่อมีการใช้งาน โดยจะมีสถานะเป็นของแข็งเมื่อความชื้นต่ำกว่า 40% ของน้ำหนัก และจะเป็นของเหลวเมื่อมีความชื้นมากกว่า 110% ของน้ำหนัก ความสามารถในการดูดความชื้นของซิลิกาเจล โมเลกุลวาล์ฟ และลิเทียมคลอไรด์ แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 กราฟความชื้นสมดุลของอากาศกับสารดูดความชื้น

(Source: ASHRAE Handbook, 1989)

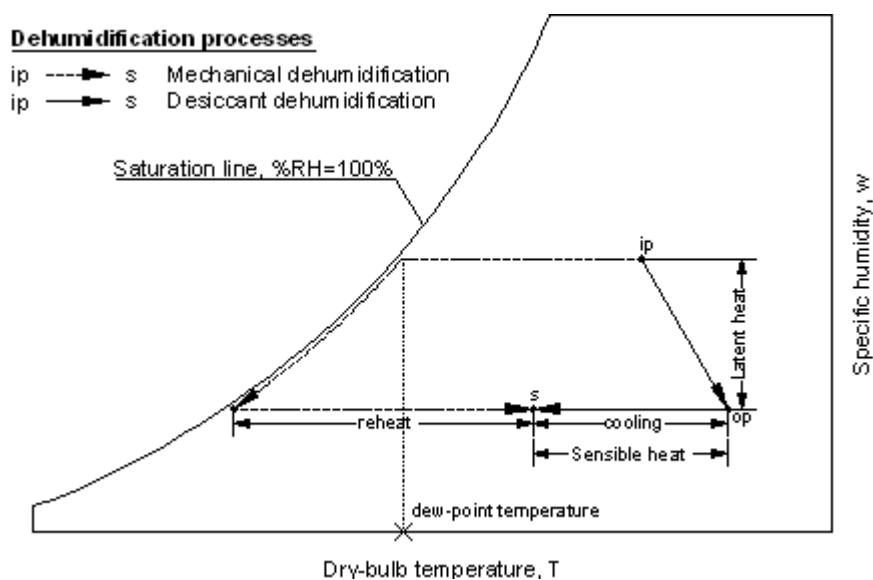
จากการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการดูดความชื้นระหว่างซิลิกาเจลและลิเทียมคลอไรด์ โดยกระบวนการลดความชื้นแบบงล้อดูดความชื้น (Parsons et al., 1989) ที่งล้อดูดความชื้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 m สภาพอากาศภายนอก  $35^{\circ}\text{C}$  อัตราส่วนความชื้น 0.015  $\text{kg}_w/\text{kg}_{da}$  อัตราการไหลของอากาศ  $0.5 \text{ m}^3/\text{sec}$  และอุณหภูมิที่ใช้ในการคายความชื้นของสารดูดความชื้น  $85^{\circ}\text{C}$  พบว่าความสามารถในการลดความชื้นในอากาศมีค่าใกล้เคียงกันโดยสามารถลดความชื้นได้ประมาณ  $0.009 \text{ kg}_w/\text{kg}_{da}$  ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ซิลิกาเจลเป็นสารดูดความชื้น เนื่องจากมีคุณสมบัติในการลดความชื้นได้ดีและยังสามารถคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นได้ในระดับอุณหภูมิไม่สูงมาก

## 2.6 กระบวนการลดความชื้นโดยสารดูดความชื้น (Desiccant dehumidification)

กระบวนการลดความชื้นโดยสารดูดความชื้นที่มีการใช้งานโดยทั่วไป แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ เบดดูดความชื้น (bed desiccant) และงล้อดูดความชื้น (rotary desiccant) โดยเบดดูดความชื้นส่วนใหญ่จะใช้สารดูดความชื้นแบบของแข็ง เช่น ซิลิกาเจล และอีโคทราย ส่วนงล้อดูดความชื้นจะใช้สารดูดความชื้นทั้งแบบของแข็งและของเหลว เช่น ซิลิกาเจล, โมเลกุลลาร์ซีฟ และลิเทียมคลอไรด์ ซึ่งกระบวนการลดความชื้นแบบเบดดูดความชื้นจะมีข้อเสียคือ เมื่อมีการใช้สารดูดความชื้นในการลดความชื้นจนสารดูดความชื้นอิ่มตัว จะทำให้อัตราการดูดความชื้นลดลงจนกระทั่งไม่สามารถใช้ได้อีก ดังนั้นต้องนำสารดูดความชื้นไปคายความชื้นออกก่อนที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ โดยปกติแล้วอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการคายความชื้นของสารดูดความชื้นประมาณ  $50\text{-}150^{\circ}\text{C}$  (Techajunta et al., 1999; Pramuang et al., 2006; Ahmed et al., 2005; Nia et al., 2006; Douglas Kosar, 1990) สำหรับงล้อดูดความชื้น อัตราดูดความชื้นจะคงที่มากกว่ากรณีที่ใช้เบดดูดความชื้นเนื่องจากระหว่างที่กระบวนการลดความชื้นในอากาศทำงาน กระบวนการคายความชื้นของสารดูดความชื้นดำเนินไปด้วยในเวลาเดียวกัน ทำให้ความดันไออิ่มตัวของสารดูดความชื้นคงที่ ความชื้นที่ลดลงในกระบวนการลดความชื้นของสารดูดความชื้นมีค่าเท่ากับผลต่างระหว่างอัตราส่วนความชื้นที่ทางเข้าและออกของตัวลดความชื้น ปริมาณความร้อนแฝงที่ลดลงในกระบวนการลดความชื้นคำนวณได้ตามสมการที่ 2.16 (Wang, 1993; McQuiston, 2005) กระบวนการลดความชื้นของสารดูดความชื้นบนแผนภูมิอากาศชื้นแสดงดังรูปที่ 2.7

$$\dot{Q}_1 = \dot{m}(w_{ip} - w_{op})(2,500.4 + 1.86T_{ip}) \quad (2.16)$$

โดยที่	$\dot{Q}_1$	คือ	ความร้อนแฝงที่ลดลง (kW)
	$\dot{m}$	คือ	อัตราไหลของอากาศ (kg/sec)
	$w_{ip}$	คือ	อัตราส่วนความชื้นที่ทางเข้าสารดูดความชื้น (kg <sub>w</sub> /kg <sub>da</sub> )
	$w_{op}$	คือ	อัตราส่วนความชื้นที่ทางออกสารดูดความชื้น (kg <sub>w</sub> /kg <sub>da</sub> )
	$h_{fg@0^\circ\text{C}}$	คือ	เอนทัลปีของน้ำที่ 0°C (มีค่าเท่ากับ 2,500.4 kJ/kg)
	$T_{ip}$	คือ	อุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าสารดูดความชื้น (°C)



รูปที่ 2.7 กระบวนการลดความชื้นของสารดูดความชื้นบนแผนภูมิอากาศชื้น

อากาศชื้นผ่านกระบวนการลดความชื้นของสารดูดความชื้น อากาศที่ออกมาจะมีความชื้นลดลงแต่จะอุณหภูมิสูงขึ้นซึ่งเป็นการเพิ่มภาระความร้อนสัมผัสให้กับระบบทำความเย็น ดังนั้นควรมีการลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าระบบทำความเย็น โดยปริมาณความร้อนสัมผัสที่เพิ่มขึ้นในกระบวนการลดความชื้นคำนวณได้ตามสมการที่ 2.17 (Wang, 1993; McQuiston, 2005)

$$\dot{Q}_s = \dot{m}C_p(T_{op} - T_{ip}) \quad (2.17)$$

โดยที่	$\dot{Q}_s$	คือ	ความร้อนสัมผัสจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ (kW)
	$C_p$	คือ	ค่าความจุความร้อนของอากาศ (1.0 kJ/kg-°C)
	$T_{op}$	คือ	อุณหภูมิอากาศที่ทางออกสารดูดความชื้น (°C)



ประสิทธิภาพของกึ่งดูดความชื้นแสดงอยู่ในรูปของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของกึ่งดูดความชื้น โดยเป็นอัตราส่วนระหว่างพลังงานความร้อนแฝงที่ลดลงกับพลังงานความร้อนที่ต้องการในกระบวนการคายความชื้นของสารดูดความชื้น ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของกึ่งดูดความชื้นคำนวณได้ตามสมการที่ 2.18 (Kanoglu et al., 2004; Jia et al., 2006)

$$DCOP = \frac{\dot{Q}_l}{\dot{Q}_{regen}} = \frac{\dot{m}_{ip} (w_{ip} - w_{op})(2,500.4 + 1.86T_{ip})}{\dot{m}_{ir} (h_{ir} - h_{ig})} \quad (2.18)$$

โดยที่	DCOP	คือ	สัมประสิทธิ์สมรรถนะของกึ่งดูดความชื้น
	$\dot{Q}_{regen}$	คือ	พลังงานความร้อนที่ต้องการในการคายความชื้น (kW)
	$\dot{m}_{ip}$	คือ	อัตราไหลอากาศในกระบวนการลดความชื้น (kg/sec)
	$\dot{m}_{ir}$	คือ	อัตราไหลอากาศในกระบวนการคายความชื้น (kg/sec)
	$h_{ir}$	คือ	เอนทัลปีอากาศร้อนที่ทางเข้ากึ่งดูดความชื้น (kJ/kg)
	$h_{ig}$	คือ	เอนทัลปีของอากาศที่ทางเข้าคอยล์ร้อน (kJ/kg)

## 2.7 ระบบทำความเย็นโดยสารดูดความชื้น (Desiccant cooling system)

ระบบทำความเย็นโดยสารดูดความชื้น เป็นระบบทำความเย็นที่เหมาะสมกับระบบที่มีอัตราส่วนของภาระความร้อนแฝงมากกว่าภาระความร้อนสัมผัส หรือกล่าวได้ว่าเป็นระบบที่ต้องการอากาศภายนอก (fresh air) จำนวนมาก สภาพอากาศภายนอกมีความชื้นสูง หรือต้องการควบคุมสภาพอากาศภายในห้องให้มีความชื้นที่เหมาะสม เช่น ห้องสรรพสินค้าภาระความร้อนแฝงอยู่ในช่วง 20-40% ของภาระความร้อนทั้งหมด หรือโรงแรมขนาดใหญ่ภาระความร้อนแฝงประมาณ 65% ของภาระความร้อนทั้งหมด (Wang, 1993) กระบวนการทำความเย็นโดยการใช้สารดูดความชื้นแบ่งได้เป็นสองระบบใหญ่ๆ คือ ระบบเปิด (open cycle) และระบบปิด (closed cycle) ซึ่งระบบเปิดเป็นระบบที่นำอากาศจากภายนอกผ่านกึ่งดูดความชื้นก่อนเข้าระบบทำความเย็น ส่วนระบบปิดเป็นระบบที่นำอากาศไหลกลับออกจากห้องปรับอากาศผสมกับอากาศจากภายนอกก่อนผ่านกึ่งดูดความชื้น ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นโดยสารดูดความชื้นแสดงอยู่ในรูปของสัมประสิทธิ์สมรรถนะ ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างผลของการทำความเย็นกับพลังงานความร้อนที่ต้องการในกระบวนการคายความชื้นของสารดูดความชื้นซึ่งคำนวณได้ตามสมการที่ 2.19 (Kanoglu et al., 2004; Jia et al., 2006) ลักษณะของระบบทำความเย็นโดยสารดูดความชื้นสำหรับห้องสรรพสินค้าและภัตตาคารแสดงดังรูปที่ 2.8 และ 2.9 ตามลำดับ





## 2.8 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

การตรวจสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการใช้พลังงานของอุปกรณ์หรือกระบวนการผลิตต่างๆ เพื่อหาแนวทางในการประหยัดพลังงาน อาจจะต้องมีการลงทุนด้านวัสดุหรืออุปกรณ์ เพื่อปรับปรุงให้มีการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง โดยพิจารณาถึงความเหมาะสมของการลงทุนและผลตอบแทนที่ได้รับ วิธีการประเมินการลงทุน ได้แก่ วิธีหาระยะเวลาคืนทุน และค่าอัตราผลตอบแทนผลการลงทุน

### 2.8.1 วิธีระยะเวลาคืนทุน (payback of period method)

ระยะเวลาคืนทุน คือ ระยะเวลาที่ได้รับเงินลงทุนคืนมา ซึ่งวิธีนี้จะไม่แสดงถึงผลกำไรที่ได้รับจากโครงการที่ลงทุน และไม่ได้พิจารณาถึงผลตอบแทนที่ได้รับหลังระยะเวลาคืนทุน โดยระยะการคืนทุนเบื้องต้นในงานวิจัย สามารถหาได้จากการนำผลที่ประหยัดได้หารด้วยค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการดำเนินการลงทุนสร้างระบบลดความชื้น โดยสารลดความชื้น

### 2.8.2 วิธีหาค่าอัตราผลตอบแทนผลการลงทุน (Internal rate of return, IRR)

อัตราผลตอบแทนผลการลงทุน คือ อัตราที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันรายรับจากการลงทุนเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของรายจ่ายจากการลงทุน วิธีการหาอัตราผลตอบแทนภายในเป็นการหาอัตราดอกเบี้ยโดยวิธีการลองผิดลองถูก (trial and error) เพื่อให้ได้ค่าอัตราดอกเบี้ยที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของรายรับเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของรายจ่าย หากค่าอัตราผลตอบแทนภายในมากกว่าค่าอัตราผลตอบแทนภายในต่ำสุดที่ต้องการของโครงการก็สมควรแก่การลงทุน อัตราผลตอบแทนผลการลงทุนสามารถหาได้ดังสมการที่ 2.20 และ 2.21 (บุญเรือง มานะสุรการ 2542)

$$\left( A \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] + F \left[ \frac{1}{(1+i)^n} \right] \right)_{\text{earings}} = \left( A \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] + F \left[ \frac{1}{(1+i)^n} \right] \right)_{\text{expense}} \quad (2.20)$$

$$(A(P/A, i\%, n) + F(P/F, i\%, n))_{\text{earings}} = (A(P/A, i\%, n) + F(P/F, i\%, n))_{\text{expense}} \quad (2.21)$$

โดยที่ P	คือ	รายได้หรือรายจ่ายปัจจุบัน (บาท)
F	คือ	รายได้หรือรายจ่ายที่ระยะเวลาที่กำหนด (บาท)
A	คือ	รายได้หรือรายจ่ายต่องวด (บาทต่อปี)
i	คือ	อัตราดอกเบี้ยต่อระยะเวลา (%)
n	คือ	จำนวนงวดหรือช่วงเวลา (ปี)

## 2.9 สรุป

บทที่ 2 ได้นำเสนอส่วนของทฤษฎีที่เกี่ยวข้องต่างๆของการศึกษางานวิจัยทางด้านการประยุกต์ใช้สารดูดความชื้นเพื่อลดความชื้นของอากาศก่อนเข้าสู่ระบบปรับอากาศของอาคาร ได้แก่ สมบัติทางอุณหพลศาสตร์ของอากาศชื้น แผนภูมิอากาศชื้น วัฏจักรทำความเย็น กระบวนการลดความชื้น สารดูดความชื้น กระบวนการลดความชื้นโดยสารดูดความชื้น ระบบทำความเย็นโดยสารดูดความชื้น และการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ สำหรับงานวิจัยครั้งนี้จะใช้สารดูดความชื้นชนิดของแข็ง คือ ซิลิกาเจลในการทดลอง เนื่องจากที่สภาวะอากาศ 20-90 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 40-90% ซิลิกาเจลมีความสามารถในการลดความชื้นในอากาศได้ดีในช่วงการใช้งานที่ต้องการเมื่อเทียบกับสารดูดความชื้นชนิดอื่นๆ อีกทั้งซิลิกาเจลเป็นที่นิยมแพร่หลายในการใช้ลดความชื้นในอากาศ จึงมีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาดทำให้สะดวกในการจัดซื้อ โดยในงานวิจัยจะนำซิลิกาเจลมาใช้กับกล่องดูดความชื้น เพื่อทำให้สามารถลดความชื้นในอากาศได้อย่างต่อเนื่องและมีความสม่ำเสมอ

### บทที่ 3

#### การออกแบบระบบและอุปกรณ์ทดลอง

งานวิจัยนี้จะใช้กึ่งลวดูดความชื้นที่มีซิลิกาเจลเป็นสารดูดความชื้นเพื่อลดความชื้นในอากาศที่จะผ่านเข้ามาภายในอาคาร โดยมีกระบวนการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นดำเนินไปด้วยในเวลาเดียวกัน ในบทนี้จะทำการออกแบบระบบทำความเย็นโดยสารดูดความชื้นและมีการจำลองระบบดังกล่าวด้วยโปรแกรม EnergyPlus version 1.4 เพื่อพิจารณาด้านการประหยัดพลังงานรวมทั้งความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ โดยอุปกรณ์ลดความชื้นที่ใช้ในงานวิจัยคือกึ่งลวดูดความชื้นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 m และมีความหนา 0.2 m (Kodama et al., 2001; Ahmed et al., 2005; Nia et al., 2006; Jia et al., 2006)

#### 3.1 การออกแบบกึ่งลวดูดความชื้น

##### 3.1.1 คำนวณหาค่าอัตราการนำความชื้นออกจากอากาศ

กำหนดสภาวะปรับอากาศ 25 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% และสภาวะอากาศภายนอก 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 70% อัตราการระบายอากาศ 26 kg/hr (ANSI/ASHRAE Standard 55-1992; ANSI/ASHRAE Standard 62-1999) ดังนั้นอัตราการนำความชื้นออกจากอากาศ คือ

$$\begin{aligned}W_R &= \dot{m}_a \times \Delta W = 26 \frac{\text{kg}_{\text{da}}}{\text{hr}} \times (18.9 - 9.9) \frac{\text{g}_w}{\text{kg}_{\text{da}}} = 233 \frac{\text{g}_w}{\text{hr}} \\ &= 0.233 \frac{\text{kg}_w}{\text{hr}}\end{aligned}$$

##### 3.1.2 คำนวณหาปริมาณซิลิกาเจล

จากความสัมพันธ์ระหว่างสมดุลการดูดซับน้ำกับเวลาของซิลิกาเจล ที่สภาวะอากาศชื้น 25 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 75% พบว่า ซิลิกาเจลมีอัตราการดูดความชื้นประมาณ 0.065 kg<sub>w</sub>/kg<sub>silicagel</sub> ต่อชั่วโมง (ASHRAE Handbook, 1989) ซึ่งกรณีที่อากาศมีความชื้นสูงอัตราการดูดความชื้นจะเพิ่มขึ้น และมีค่าลดลงในสภาพอากาศที่มีความชื้นต่ำลง โดยการคำนวณให้อัตราการดูดความชื้นมีค่าประมาณ 0.035 kg<sub>w</sub>/kg<sub>silicagel</sub> ต่อชั่วโมง ดังนั้นปริมาณซิลิกาเจล คือ

$$M_{\text{silicagel}} = 0.233 \frac{\text{kg}_w}{\text{hr}} \times \frac{1}{0.035} \frac{\text{kg}_{\text{silicagel}}}{\text{kg}_w} \text{ - hr}$$

$$= 6.7 \text{ kg}_{\text{silicagel}}$$

### 3.1.3 คำนวณหาขนาดของงล้อดูดความชื้น

ซิลิกาเจลที่ใช้ในการทดลองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2-3 mm จากการนำซิลิกาเจลไปใส่ภาชนะที่ทราบปริมาตร พบว่า ปริมาตรของภาชนะต่อจำนวนซิลิกาเจลมีค่าประมาณ  $1.154 \text{ cm}^3/\text{g}_{\text{silicagel}}$  โดยขนาดของงล้อดูดความชื้นจะมีค่าเป็นสองเท่าของปริมาตรที่ต้องการ เนื่องจากการงล้อดูดความชื้นมีกระบวนการลดความชื้นในอากาศและกระบวนการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นในเวลาเดียวกัน ดังนั้นขนาดของงล้อดูดความชื้น คือ

$$V_{\text{wheel}} = 2 \times 1.154 \frac{\text{cm}^3}{\text{g}} \times 6.7 \text{ kg} \times 1,000 \frac{\text{g}}{\text{kg}} \times 1,000 \frac{\text{mm}^3}{\text{cm}^3}$$

$$= 15,362,048 \text{ mm}^3$$

### 3.1.4 คำนวณหาระยะเวลาอิมตัวของซิลิกาเจล

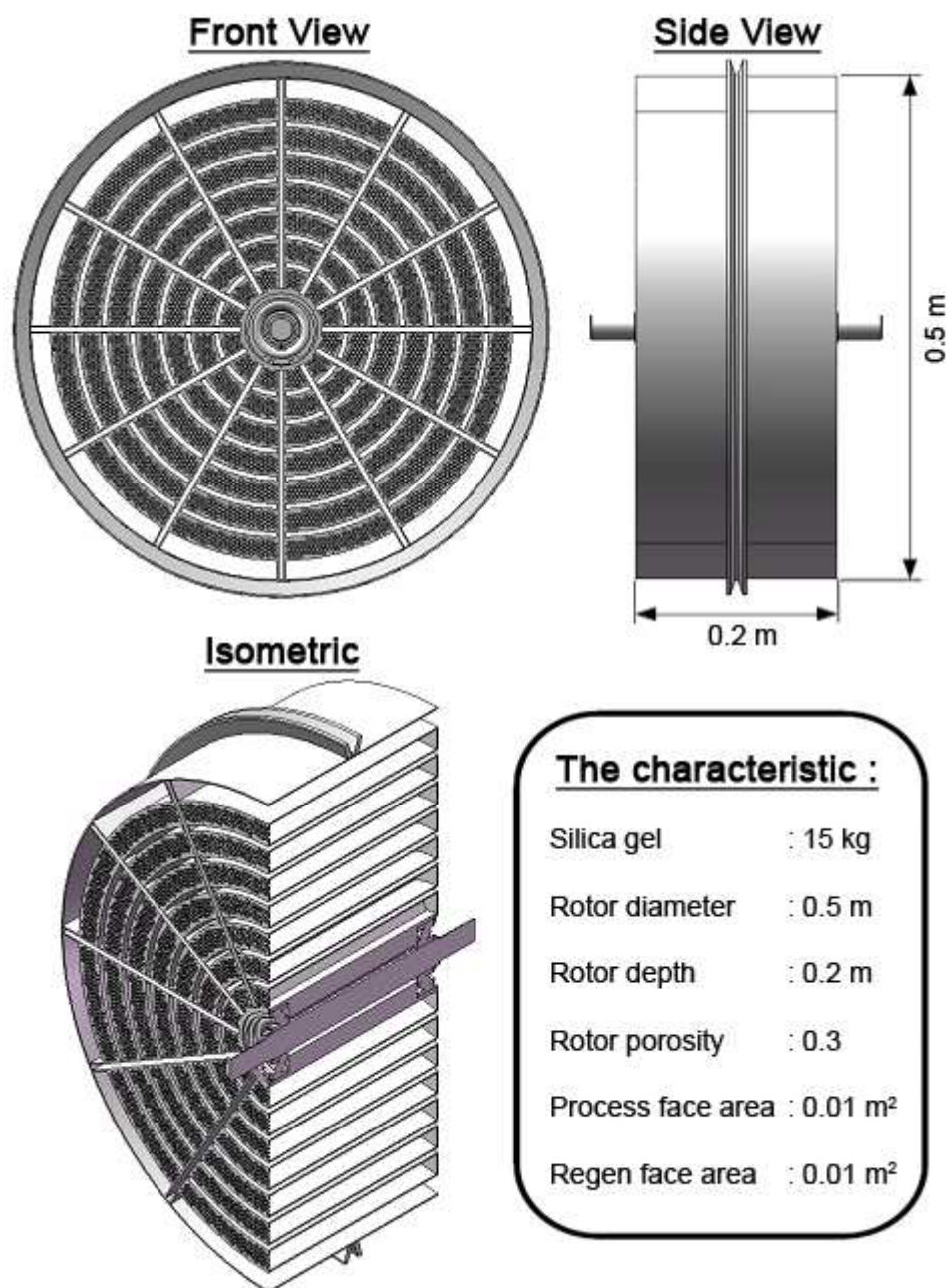
จากความสัมพันธ์ระหว่างสมดุลการดูดซับน้ำกับความชื้นสัมพัทธ์ของสารดูดความชื้นที่สถานะอากาศชื้น  $25^\circ\text{C}$  พบว่า ซิลิกาเจลมีสมดุลการดูดซับน้ำช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 40-90% เฉลี่ย  $0.3 \text{ kg}_w/\text{kg}_{\text{silicagel}}$  (ASHRAE Handbook, 1989) ซึ่งกรณีที่อากาศมีความชื้นสูงสมดุลการดูดซับน้ำจะเพิ่มขึ้น และมีค่าลดลงในสภาพอากาศที่มีความชื้นต่ำลง โดยการคำนวณให้สมดุลการดูดซับน้ำมีค่าประมาณ  $0.21 \text{ kg}_w/\text{kg}_{\text{silicagel}}$  ดังนั้นระยะเวลาอิมตัวของซิลิกาเจล คือ

$$\text{Time}_{\text{sat}} = 0.21 \frac{\text{kg}_w}{\text{kg}_{\text{silicagel}}} \times \frac{1}{0.035} \frac{\text{kg}_{\text{silicagel}}}{\text{kg}_w} \text{ - hr}$$

$$= 6 \text{ hr}$$

จากการคำนวณพบว่าที่สถานะปรับอากาศ  $25^\circ\text{C}$  ความชื้นสัมพัทธ์ 50% และสถานะอากาศภายนอก  $30^\circ\text{C}$  ความชื้นสัมพัทธ์ 70% โดยมีอัตราการระบายอากาศ  $26 \text{ kg/hr}$  ปริมาณซิลิกาเจลที่ต้องการสำหรับงล้อดูดความชื้นมีค่าประมาณ 15 kg งล้อดูดความชื้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 m ความหนา 0.2 m โดยมีอัตราส่วนระหว่างช่องว่างอากาศต่อปริมาตรงล้อดูดความชื้นประมาณ 0.3 และมีสัดส่วนระหว่างพื้นที่ลดความชื้นในอากาศต่อพื้นที่คายความชื้นออก

จากสารดูดความชื้นเป็น 1:1 ( $0.01 \text{ m}^2$ ) ลักษณะของล้อดูดความชื้นแสดงดังรูปที่ 3.1 และชุดของล้อดูดความชื้นอย่างละเอียดแสดงในภาคผนวก ก

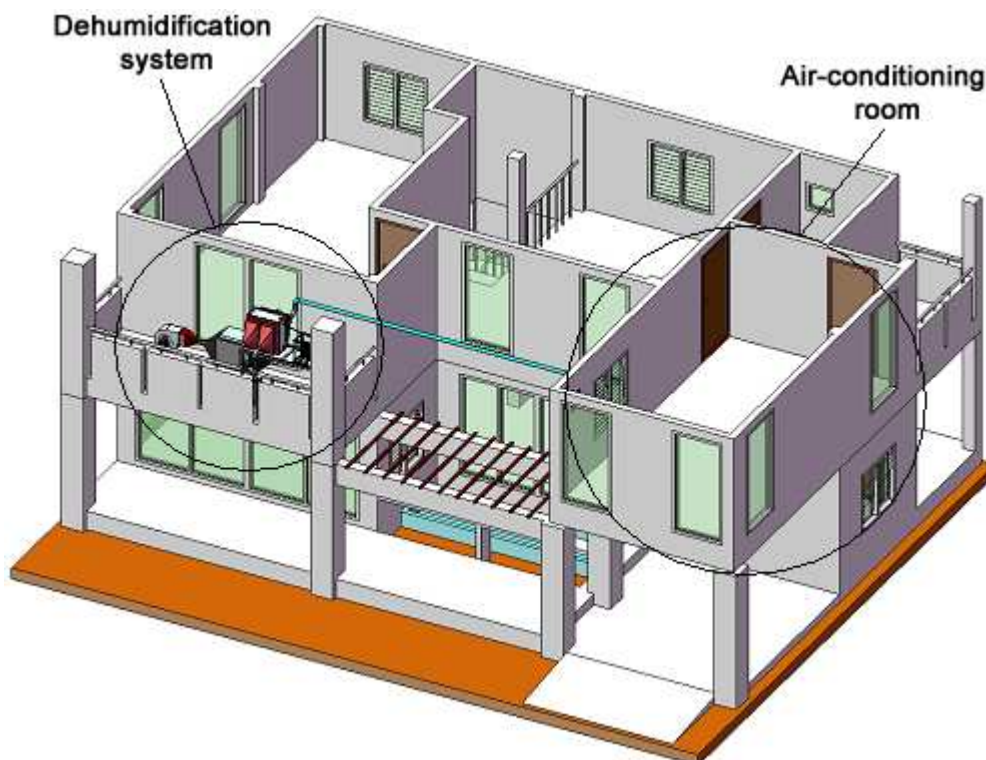


รูปที่ 3.1 การออกแบบของล้อดูดความชื้น

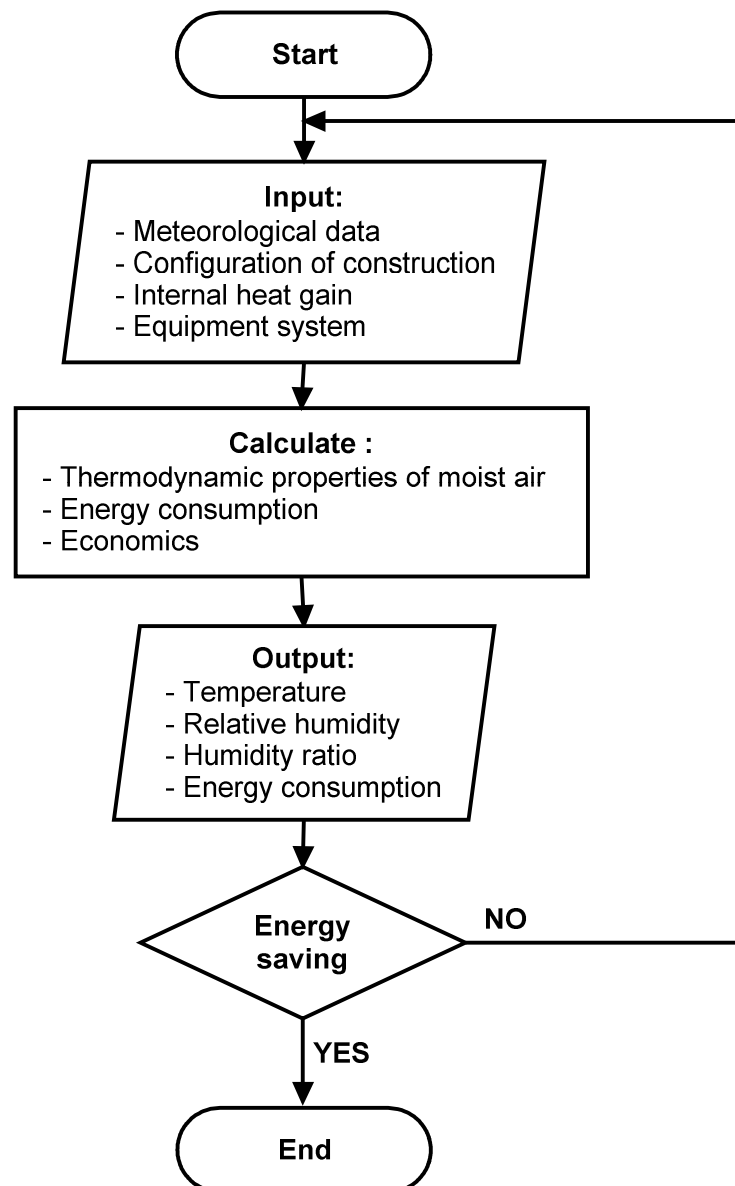


### 3.2 การจำลองระบบทำความเย็นโดยสารทำความเย็นด้วยโปรแกรม EnergyPlus version 1.4

การศึกษาได้ทำการจำลองบ้านประหยัดพลังงาน (Low Energy House) ซึ่งตั้งอยู่ในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ การจำลองใช้ข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งและวัสดุตามโครงสร้างของบ้าน โดยห้องวิจัยที่ศึกษาตั้งอยู่บริเวณชั้นสองของบ้าน การจำลองใช้โปรแกรม EnergyPlus version 1.4 โดยแบ่งขอบเขตย่อยๆ ออกเป็น 4 ส่วน กำหนดให้บริเวณของบ้านชั้นล่างเป็นส่วนที่ 1 และบริเวณของบ้านชั้นบนอีก 3 ห้องเป็นส่วนที่ 2 3 และ 4 ซึ่งการจำลองในครั้งนี้จะทำการศึกษาสภาวะอากาศภายในและภายนอกห้องปรับอากาศ และการใช้พลังงานของระบบทำความเย็นทั่วไปและระบบทำความเย็นที่มีการใช้สารทำความเย็น เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลก่อนประยุกต์ใช้สารทำความเย็นจริง ตำแหน่งการติดตั้งระบบลดความชื้นแสดงดังรูปที่ 3.2 แผนผังการจำลองด้วยโปรแกรม Energy Plus version 1.4 แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งการติดตั้งระบบลดความชื้น



รูปที่ 3.3 แผนผังการจำลองด้วยโปรแกรม EnergyPlus version 1.4

### 3.2.1 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการจำลองระบบทำความเย็นโดยสารดูดความชื้น

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการจำลองระบบทำความเย็นโดยสารดูดความชื้นด้วยโปรแกรม EnergyPlus version 1.4 ได้แก่ ข้อมูลวัสดุโครงสร้างของกรอบอาคาร ข้อมูลสถานะอากาศตำแหน่งที่ตั้งของจังหวัดสงขลา ข้อมูลภาระการทำความเย็นภายในรวมทั้งอัตราการระเหยอากาศ และข้อมูลของอุปกรณ์ระบบทำความเย็นโดยสารดูดความชื้น สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ได้นำโปรแกรม EnergyPlus version 1.4 มาช่วยในการวิเคราะห์ระบบทำความเย็นโดยสารดูดความชื้นเพื่อปรับปรุงระบบให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยศึกษาเปรียบเทียบระหว่างระบบ

ทำความเข้าใจทั่วไปและระบบทำความเย็นที่มีการใช้สารทำความเย็น ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการจำลองระบบได้แก่ ข้อมูลคุณสมบัติเชิงความร้อนของวัสดุทีบสำหรับผนังอาคาร แสดงดังตารางที่ 3.1 ข้อมูลคุณสมบัติของกระจกแสดงดังตารางที่ 3.2 ข้อมูลภาระภายในอาคารแสดงดังตารางที่ 3.3 และข้อมูลค่าที่ใช้ในระบบปรับอากาศแสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลคุณสมบัติเชิงความร้อนของวัสดุทีบสำหรับผนังอาคาร

Materials	Conductivity W/m-K	Density kg/m <sup>3</sup>	Specific heat J/kg-K
Plaster	0.305	1182	840
Concrete	1.37	2,242.58	880
Fiber glass	0.038	130	837.36
Air gap	0.986	1.177	1,005.7

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลคุณสมบัติของกระจก

Materials	Conductivity W/m-K	Solar transmittance	Solar reflectance
SMG	0.9	0.9	0.031

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลภาระการทำความเย็นภายในอาคาร

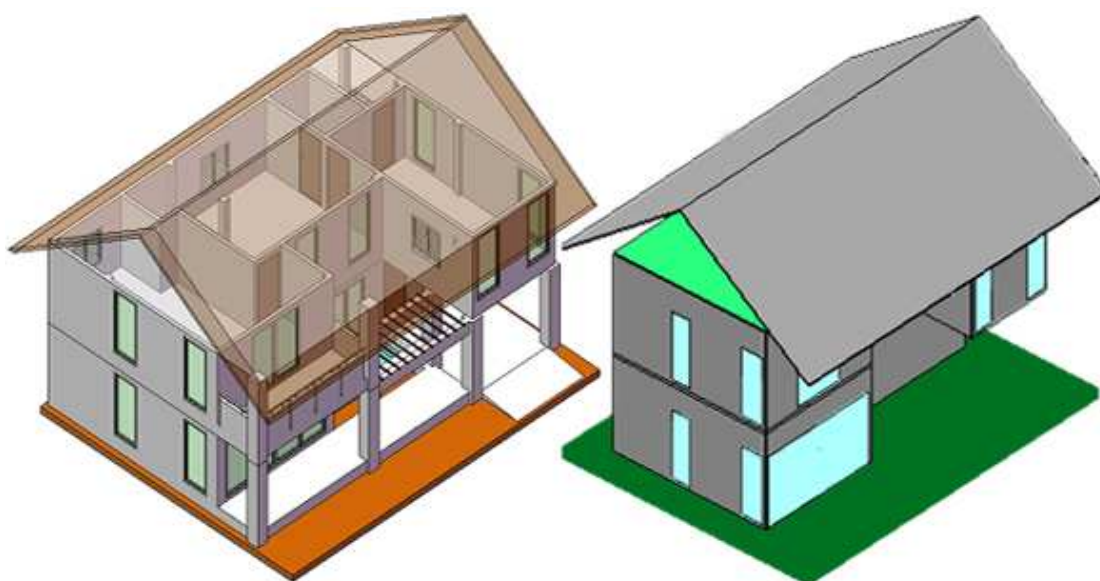
Internal heat gain	Values	Units
Heat gain from people		
- number of people	1	person
- activity level (officer)	60	W/person
- clothing insulation (shirt & pants)	0.19	Clo
Heat gain from interior lighting		
- design level	72	W
Heat gain from appliances and other		
- design level	240	W

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลค่าที่ใช้ในระบบปรับอากาศ

Parameter	Values	Units
Supply air temperature	23	°C
Internal room air temperature	25	°C
Internal room air relative humidity	50	%
Maximum air temperature	28	°C
Minimum air temperature	23	°C
Dehumidification	0.007	kg <sub>w</sub> /kg <sub>da</sub>

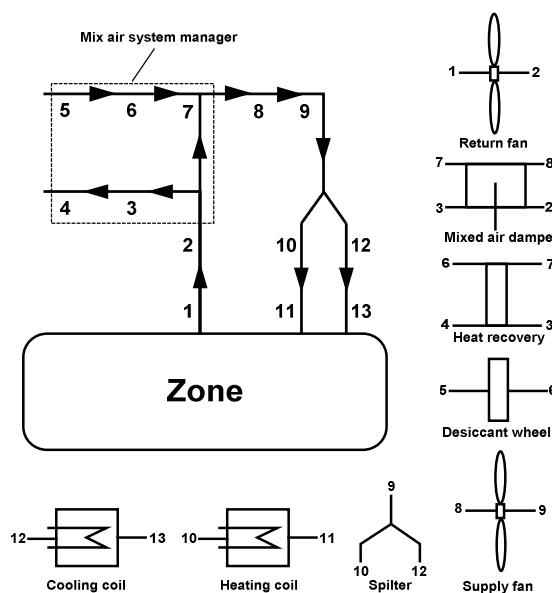
### 3.2.2 ขั้นตอนการจำลองระบบทำความเย็นโดยสารดูดความชื้น

(1) การจำลองด้วยโปรแกรม EnergyPlus version 1.4 ส่วนของการสร้างกรอบอาคาร โดยนำข้อมูลจากโครงสร้างบ้านประหยัดพลังงานประเภทบ้านเดี่ยวของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ได้แก่ ขนาด รูปร่าง ตำแหน่งที่ตั้งของอาคาร ลักษณะองค์ประกอบ และวัสดุที่ใช้ในการสร้างอาคาร สำหรับห้องวิจัย ตั้งอยู่บริเวณชั้นสองของอาคาร ซึ่งขนาดของห้องเท่ากับ 50 m<sup>3</sup> และมีผู้ปฏิบัติงานจำนวน 1 คน โดยจังหวัดสงขลาตั้งอยู่ที่เส้นรุ้ง 6.91°N เส้นแวง 100.43°E ระดับความสูงจากน้ำทะเล 12 m การจำลองต้นแบบส่วนของการสร้างกรอบอาคารในโปรแกรม EnergyPlus version 1.4 แสดงดังรูปที่ 3.4

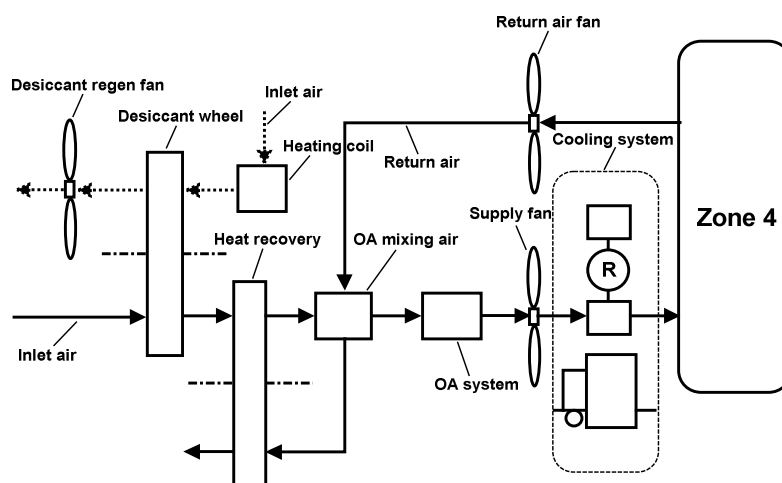


รูปที่ 3.4 การจำลองส่วนของกรอบอาคารในโปรแกรม Energy Plus version 1.4

(2) การจำลองด้วยโปรแกรม EnergyPlus version 1.4 ในส่วนของระบบทำความเย็น โดยสารดูดความชื้นที่ใช้ในงานวิจัยสามารถแบ่งออกได้ดังนี้คือ ส่วนของระบบหลักเป็นส่วนที่ต้องการศึกษาซึ่งประกอบด้วยห้องปรับอากาศ Plant loop และ Condenser loop แสดงดังรูปที่ 3.5 ระบบที่สองเป็นระบบสารดูดความชื้นซึ่งทำหน้าที่ควบคุมความชื้นก่อนเข้าสู่ระบบทำความเย็น แสดงดังรูปที่ 3.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบต่างๆ ได้แก่ พัดลมระบายอากาศ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิด flat plate heat exchanger กังล้อดูดความชื้น ระบบทำความเย็น และขดลวดทำความร้อน ส่วนอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ Plant loop ได้แก่ pump และ chiller ส่วนอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ Condenser loop ได้แก่ cooling tower



รูปที่ 3.5 แสดงส่วนประกอบต่างๆของระบบหลัก

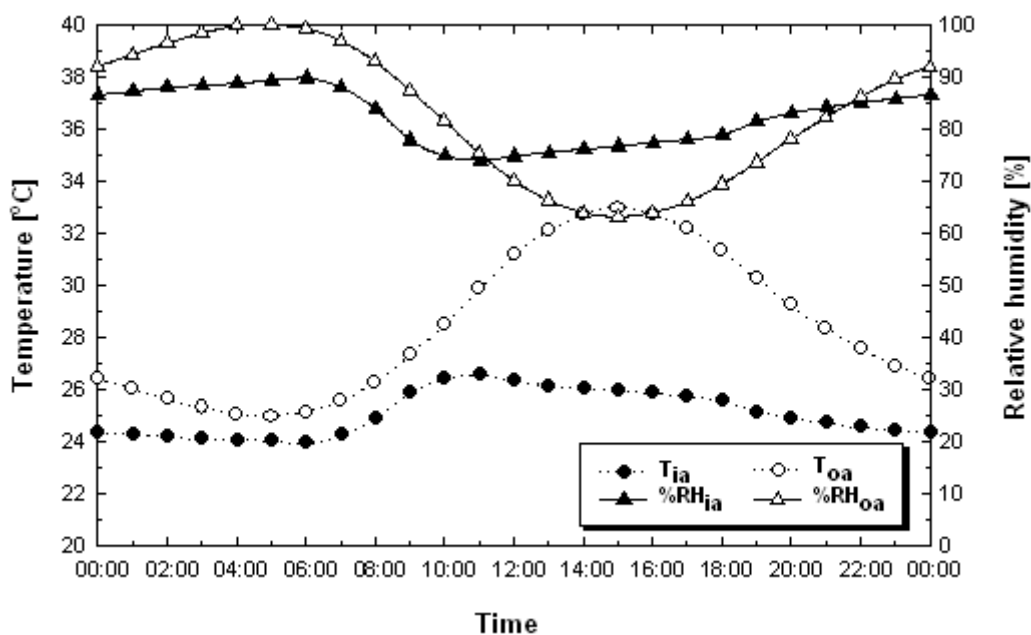


รูปที่ 3.6 แสดงส่วนประกอบต่างๆของระบบสารดูดความชื้น

### 3.2.3 ผลการการจำลองระบบทำความเย็นโดยสารดูดความชื้น

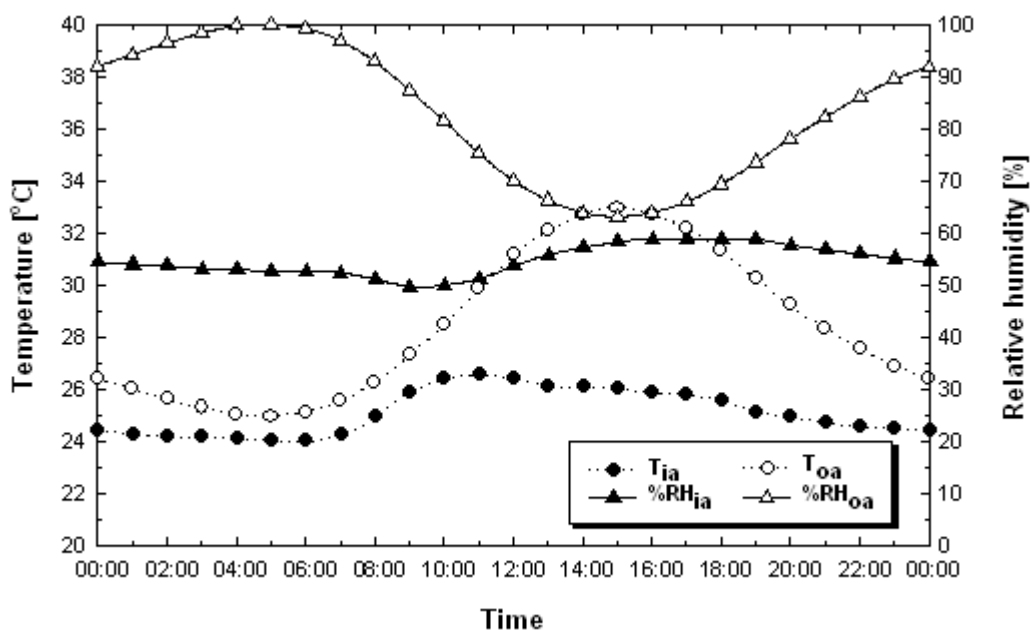
การจำลองระบบทำความเย็น โดยสารดูดความชื้นด้วย โปรแกรม EnergyPlus version 1.4 ซึ่งมีการนำอากาศจากภายนอกที่มีความชื้นสูงไหลผ่านอุปกรณ์กักดูดความชื้นก่อนเข้าห้องปรับอากาศ โดยในขณะที่เดียวกันได้มีการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นเพื่อทำให้กักดูดความชื้นมีความสามารถลดความชื้นได้อย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ โดยมีการศึกษาสภาวะอากาศภายในห้องปรับอากาศ สภาวะอากาศภายนอกห้องปรับอากาศ สภาวะอากาศที่อุปกรณ์กักดูดความชื้น และสภาวะอากาศที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ได้แก่ อุณหภูมิอากาศภายในห้องปรับอากาศ ( $T_{ia}$ ) ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในห้องปรับอากาศ (%RH<sub>ia</sub>) อุณหภูมิอากาศภายนอกห้องปรับอากาศ ( $T_{oa}$ ) และความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอกห้องปรับอากาศ (%RH<sub>oa</sub>) อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอุปกรณ์กักดูดความชื้น ( $T_{id}$ ) อุณหภูมิอากาศที่ทางออกอุปกรณ์กักดูดความชื้น ( $T_{od}$ ) ความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่ทางเข้าอุปกรณ์กักดูดความชื้น (%RH<sub>id</sub>) ความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่ทางออกอุปกรณ์กักดูดความชื้น (%RH<sub>od</sub>) อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ( $T_{ih}$ ) อุณหภูมิอากาศที่ทางออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ( $T_{oh}$ ) ความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่ทางเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (%RH<sub>ih</sub>) และความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่ทางออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (%RH<sub>oh</sub>) รวมทั้งการใช้พลังงานทั้งระบบทำความเย็นทั่วไปและระบบทำความเย็นที่มีการใช้สารดูดความชื้น

(1) การจำลองระบบทำความเย็นทั่วไป โดยการจำลองด้วยโปรแกรม EnergyPlus version 1.4 ของวันที่ 4 เมษายน 2552 ที่เงื่อนไข อัตราการไหลลมจ่าย 0.64 kg/sec และอัตราการระบายอากาศประมาณ 0.09 kg/sec ผลการศึกษาสภาวะอากาศภายในและภายนอกห้องปรับอากาศ ช่วงเวลา 9.00 น. ถึง 21.00 น. พบว่า ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกห้องปรับอากาศอยู่ในช่วง 27.3-33.0°C และ 63.1-87.5%RH ตามลำดับ ส่วนค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องปรับอากาศอยู่ในช่วง 24.7-26.5°C และ 74.0-84.2%RH แสดงดังรูปที่ 3.7 ซึ่งจากผลการจำลองพบว่าอากาศภายในห้องปรับอากาศมีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงเฉลี่ย 77.9%RH ส่งผลให้ภาระการทำความเย็นของระบบทำความเย็นมีค่าสูง และส่งผลต่อความสบายของผู้อยู่อาศัย โดยสภาวะในห้องปรับอากาศที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 20-26 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 30-60% ที่ความเร็วลมไม่เกิน 0.15 m/s (ANSI/ASHRAE Standard 55-1992)



รูปที่ 3.7 แสดงผลการจำลองสภาวะอากาศภายในและภายนอกห้องปรับอากาศระบบทำความเย็นทั่วไปช่วงเวลา 00.00 น. ถึง 21.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2552

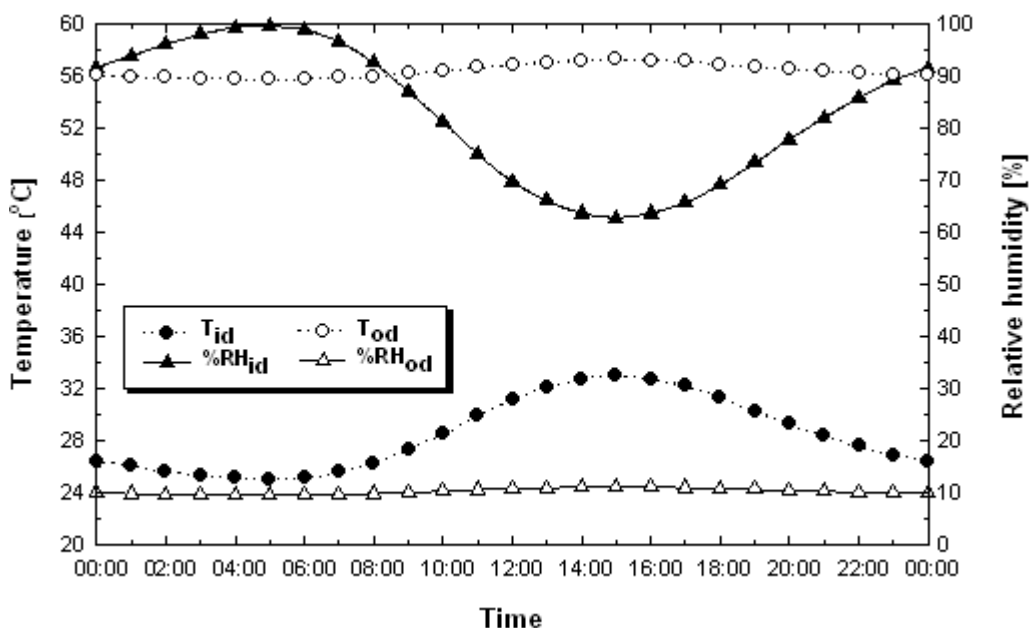
(2) การจำลองระบบทำความเย็นร่วมกับระบบดูดความชื้น โดยการจำลองด้วยโปรแกรม EnergyPlus version 1.4 ที่มีการใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิของอากาศที่ออกจากอุปกรณ์กักดูดความชื้นก่อนเข้าระบบทำความเย็น ของวันที่ 4 เมษายน 2552 ที่เงื่อนไข อัตราการไหลลมจ่าย 0.64 kg/sec และอัตราการระบายอากาศประมาณ 0.09 kg/sec ผลการศึกษาสภาวะอากาศภายในและภายนอกห้องปรับอากาศช่วงเวลา 9.00 น. ถึง 21.00 น. พบว่า ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกห้องปรับอากาศอยู่ในช่วง 27.3-33.0°C และ 63.1-87.5%RH ตามลำดับ ส่วนค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องปรับอากาศอยู่ในช่วง 24.7-26.6°C และ 49.8 -59.0%RH ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 3.8 ซึ่งจากผลการจำลองพบว่าอากาศภายในห้องปรับอากาศมีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 55.9%RH ส่งผลให้ภาระการทำความเย็นของระบบทำความเย็นมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับระบบทำความเย็นทั่วไป และเหมาะสมต่อความสบายของผู้อยู่อาศัย



รูปที่ 3.8 แสดงผลการจำลองสภาวะอากาศภายในและภายนอกห้องปรับอากาศระบบทำความเย็นร่วมกับระบบดูดความชื้นช่วงเวลา 0.00 น. ถึง 24.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2552

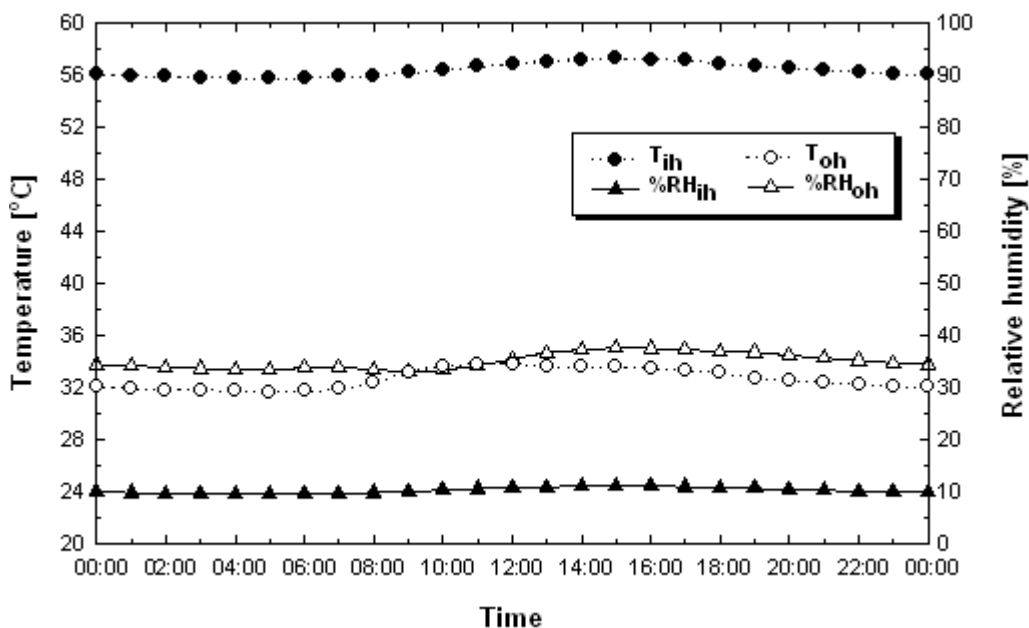
จากผลการจำลองที่อุปกรณ์กึ่งดูดความชื้นกรณระบบทำความเย็นร่วมกับระบบดูดความชื้น พบว่า ค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ทางเข้าอุปกรณ์กึ่งดูดความชื้นอยู่ในช่วง 27.3-33.0°C และ 62.8-87.0%RH ตามลำดับ ส่วนค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ทางออกอุปกรณ์กึ่งดูดความชื้นอยู่ในช่วง 56.2-57.2°C และ 10.1-11.1%RH ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 3.9 ซึ่งจากผลการจำลองพบว่าอากาศที่ผ่านอุปกรณ์กึ่งดูดความชื้นจะทำให้อุณหภูมิมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากความร้อนที่ถูกปล่อยออกมาจากระบวนการลดความชื้นในอากาศ และจากการถ่ายเทความร้อนจากระบวนการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้น ซึ่งส่วนต่างของอุณหภูมิอากาศที่สูงขึ้นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นเป็นส่วนใหญ่ ผลจากการจำลองในครั้งนี้ที่อุณหภูมิในกระบวนการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้น 109.5°C พบว่าอุณหภูมิอากาศมีค่าสูงขึ้นเป็น 1.9 เท่าของอากาศที่ทางเข้าอุปกรณ์กึ่งดูดความชื้น ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ทางออกอุปกรณ์กึ่งดูดความชื้นจะมีค่าลดลง เนื่องจากอุณหภูมิอากาศเพิ่มสูงขึ้น และความชื้นในอากาศลดลง จากผลการจำลองพบว่าอากาศที่ผ่านอุปกรณ์กึ่งดูดความชื้นจะทำให้ค่าอัตราส่วนความชื้นในอากาศลดลงเป็น 0.6 เท่าของอากาศที่ทางเข้าอุปกรณ์กึ่งดูดความชื้น โดยมีอัตราการลดความชื้นประมาณ 8.6 g<sub>w</sub>/kg<sub>da</sub>





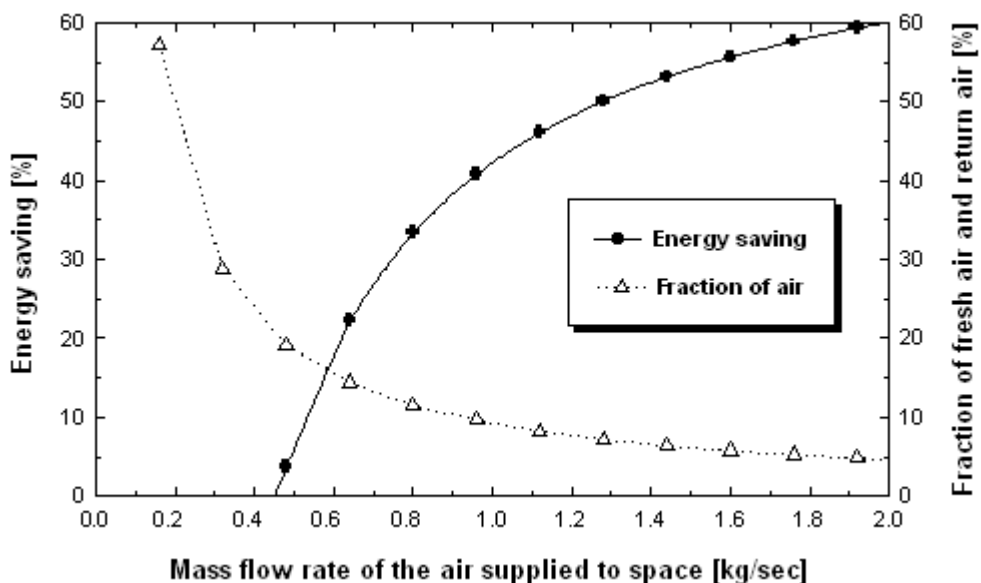
รูปที่ 3.9 แสดงผลการจำลองสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กรองลวดดูดความชื้นกรณีระบบทำความเย็น ร่วมกับระบบดูดความชื้นช่วงเวลา 00.00 น. ถึง 24.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2552

จากผลการจำลองที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนกรณีระบบทำความเย็นร่วมกับระบบดูดความชื้น พบว่าค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ทางเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนอยู่ในช่วง  $56.2-57.2^{\circ}\text{C}$  และ  $10.1-11.1\%\text{RH}$  ตามลำดับ ส่วนค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ทางออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนอยู่ในช่วง  $32.4-33.8^{\circ}\text{C}$  และ  $33.1-37.6\%\text{RH}$  ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 3.10 ซึ่งจากผลการจำลองพบว่าอากาศร้อนที่ออกจากอุปกรณ์กรองลวดดูดความชื้นเมื่อผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะทำให้อุณหภูมิมียค่าลดลง เนื่องจากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศไหลกลับจากห้องปรับอากาศซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า พบว่าอุณหภูมิอากาศมีค่าลดลงเป็น  $33.3^{\circ}\text{C}$  ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ทางออกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น  $36.0\%\text{RH}$  เนื่องจากอุณหภูมิอากาศลดลงภายใต้อัตราส่วนความชื้นคงที่



รูปที่ 3.10 แสดงผลการจำลองสภาวะอากาศที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนกรณีระบบทำความเย็นร่วมกับระบบดูดความชื้นช่วงเวลา 00.00 น. ถึง 24.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2552

จากผลการจำลองพบว่า ค่าการใช้พลังงานช่วงเวลา 9.00 น. ถึง 21.00 น. ที่อัตราการไหลลมจ่าย 0.64 kg/sec และอัตราการระบายอากาศประมาณ 0.09 kg/sec (14.38%) ภาระการทำความเย็นกรณีระบบทำความเย็นทั่วไปมีค่าประมาณ 14,534 kWh ต่อปี ซึ่งกรณีระบบทำความเย็นร่วมกับระบบดูดความชื้นมีค่าประมาณ 11,292 kWh ต่อปี จากผลการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานระหว่างระบบทำความเย็นทั่วไปกับระบบทำความเย็นร่วมกับระบบดูดความชื้น ที่อัตราการไหลลมจ่ายและอัตราการระบายอากาศ พบว่า ระบบลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ร่วมกับระบบทำความเย็นที่มีขนาดมากกว่า 24,000 Btu/hr อัตราการไหลลมจ่าย 0.46 kg/sec ที่มีการติดตั้งในอาคารขนาดใหญ่ เช่น โรงภาพยนตร์ ห้างสรรพสินค้า หรือสำนักงานขนาดกลางขึ้นไป โดยพบว่า ที่ระบบทำความเย็นขนาด 36,000 Btu/hr ค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกห้องปรับอากาศเฉลี่ย 30.7°C และ 72.4%RH ตามลำดับ ส่วนค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องปรับอากาศเฉลี่ย 25.8°C และ 55.9%RH ตามลำดับ อัตราการไหลลมจ่าย 0.64 kg/sec และอัตราการระบายอากาศประมาณ 0.09 kg/sec สามารถประหยัดพลังงานได้ร้อยละ 22.31 โดยอัตราการระบายอากาศที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 4.42-19.17% แสดงดังรูปที่ 3.11 จากการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์พบว่าระยะการคืนทุนเบื้องต้น 4.84 ปี โดยมีค่าอัตราผลตอบแทนการลงทุน 15.59% ดังแสดงในภาคผนวก



รูปที่ 3.11 แสดงผลการจำลองค่าประหยัดพลังงานและอัตราส่วนการระบายอากาศที่อัตราการไหลลมจ่ายต่างๆ ช่วงเวลา 9.00 น. ถึง 21.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2552

### 3.3 สรุป

บทที่ 3 ได้นำเสนอในส่วนของการออกแบบระบบและอุปกรณ์ทดลองของระบบทำความเย็นโดยสารดูดความชื้น กังล้อดูดความชื้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 m ค่าความหนา 0.2 m อัตราส่วนระหว่างช่องว่างอากาศต่อปริมาตรกังล้อดูดความชื้นประมาณ 0.3 และมีสัดส่วนระหว่างพื้นที่ลดความชื้นในอากาศต่อพื้นที่คายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นเป็น 1:1 ( $0.01 \text{ m}^2$ ) และมีการจำลองระบบดังกล่าวโดยใช้โปรแกรม EnergyPlus version 1.4 สำหรับขนาดห้อง  $50 \text{ m}^3$  อุณหภูมิของอากาศภายนอกห้องปรับอากาศ  $27.3\text{-}33.0^\circ\text{C}$  และ  $63.1\text{-}87.5\% \text{RH}$  พบว่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องปรับอากาศอยู่ในช่วง  $24.7\text{-}26.6^\circ\text{C}$  และ  $49.8\text{-}59.0\% \text{RH}$  ตามลำดับ ที่ระบบทำความเย็นขนาด  $36,000 \text{ Btu/hr}$  อัตราการไหลลมจ่าย  $0.64 \text{ kg/sec}$  และอัตราการระบายอากาศประมาณ  $0.09 \text{ kg/sec}$  ซึ่งประหยัดพลังงานได้ร้อยละ 22.31 โดยระบบทำความเย็นร่วมกับระบบดูดความชื้นเหมาะสมกับระบบทำความเย็น ที่มีขนาดมากกว่า  $24,000 \text{ Btu/hr}$

## บทที่ 4

### วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นของอากาศที่ไหลผ่านชุดอุปกรณ์กักล๊อคความชื้นก่อนเข้าสู่ระบบปรับอากาศ เพื่อศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อการทำงานของชุดกักล๊อคความชื้นทั้งกระบวนการลดความชื้นในอากาศ และกระบวนการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้น โดยแบ่งขั้นตอนการดำเนินการวิจัยเป็น 4 ส่วน คือ การศึกษาการลดความชื้นในอากาศของสารดูดความชื้น การศึกษาการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้น การทดสอบชุดกักล๊อคความชื้น และการทดสอบระบบปรับอากาศร่วมกับระบบดูดความชื้น

#### 4.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ทดลองประกอบด้วย เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน เครื่องควบคุมความชื้น พัดลมเป่าอากาศ มอเตอร์ อินเวอร์เตอร์ ฮีทเตอร์ไฟฟ้า ชุดกักล๊อคความชื้น เครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ โดยเก็บข้อมูลการทดลองด้วยเครื่องบันทึกผลการทดลองแบบต่อเนื่อง

(1) เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split type) ที่ใช้ในการทดลองมีอัตราการถ่ายโอนความร้อน 9,000 Btu/hr ของ MITSUBISHI รุ่น SRK2242K2F มี R-22 เป็นสารทำความเย็นติดตั้งอยู่ในห้องทดลอง (Experiment room) เพื่อควบคุมอุณหภูมิของอากาศ เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

(2) เครื่องควบคุมความชื้น (Dehumidifier) ที่ใช้ในการทดลองมีอัตราการลดความชื้น 1.458 liter/hr ที่อุณหภูมิอากาศ 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 80% ของ EdISON รุ่น ED-35B มี R-134a เป็นสารทำความเย็น ติดตั้งอยู่ในห้องทดลอง เพื่อควบคุมความชื้นของอากาศ เครื่องควบคุมความชื้นที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 เครื่องควบคุมความชื้น

(3) พัดลมเป่าอากาศ (Blower) ที่ใช้ในการทดลองเป็นชนิดการไหลแบบเหวี่ยง (Centrifugal fan) ใบพัดแบบโค้งหน้า (Forward-curve) ขนาดล้อหมุน 12 นิ้ว มีอัตราการจ่ายอากาศ 1,872 cfm ที่ความดันสถิต 58 mm.aq. มอเตอร์พัดลมเป่าอากาศมีขนาด 0.745 kW 220 V 50 Hz ความเร็วรอบ 1,410 rpm ปรับอัตราการไหลของอากาศโดยการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ด้วยอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ของ ABB รุ่น ACS 200 ขนาด 2.2 kW และวาล์วประตูน้ำ (Gate valve) ของ SANWA ให้อัตราการไหลของอากาศโดยการนำความเร็วลมของอากาศจากชุดหัววัดแอนนิโมมิเตอร์ (Anemometer probe) ของ TESTO รุ่น TESTO 450 คูณกับพื้นที่หน้าตัดของท่อซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว พัดลมเป่าอากาศที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 พัดลมเป่าอากาศ

(4) ฮีทเตอร์ไฟฟ้า (Electric heater) ที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบให้ความร้อนแก่อากาศชนิดกริบ โดยมีขนาด 1.5 kW จำนวน 3 ชุด โดยใช้ชุดควบคุมอุณหภูมิ (Temperature control) ร่วมกับชุดคอนแทกเตอร์ (Contactor) สำหรับตัดต่อการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้ฮีทเตอร์ เพื่อควบคุมอุณหภูมิของอากาศ ฮีทเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.4



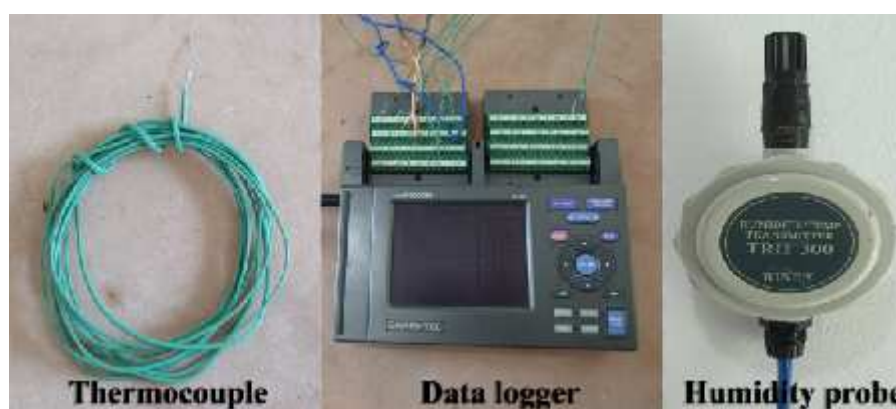
รูปที่ 4.4 ฮีทเตอร์ไฟฟ้า

(5) ชุดกงล้อดูดความชื้น (Desiccant wheel) ที่ใช้ในการทดลองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 m และมีความหนา 0.2 m ภายในบรรจุซิลิกาเจลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-3 mm จำนวน 15 kg แบ่งพื้นที่การทำงานกงล้อดูดความชื้นในกระบวนการลดความชื้นต่อพื้นที่การทำงานในกระบวนการคายความชื้นเป็นอัตราส่วนเท่าๆกัน โดยมีอัตราส่วนพื้นที่บรรจุสารดูดความชื้นต่อปริมาตรของกงล้อดูดความชื้น 53% และอัตราส่วนช่องว่างอากาศต่อปริมาตรของกงล้อดูดความชื้น 31% ระบบขับเคลื่อนประกอบด้วย มอเตอร์ขนาด 1.1175 kW 220 V 50 Hz ความเร็วรอบ 910 rpm ชุดเกียร์ทด (Speed reducer) อัตราทดรอบ 60:1 และส่งกำลังด้วยสายพานอัตราทดรอบ 4:1 การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ใช้อินเวอร์เตอร์ของ TOSHIBA รุ่น VFNC1-2022P ขนาด 2.2 kW ชุดกงล้อดูดความชื้นที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ชุดกงล้อดูดความชื้น

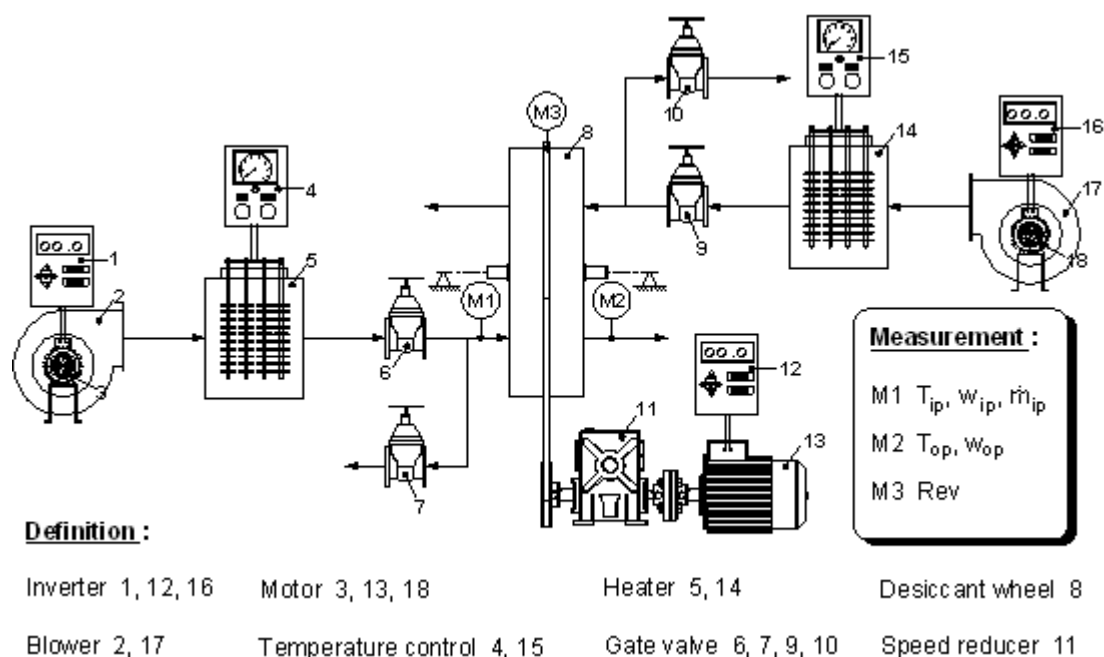
(6) เครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ โดยการวัดอุณหภูมิใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด เค (Thermocouple type K) ส่วนความชื้นใช้อุปกรณ์วัดความชื้น (Humidity transmitter) ของ RIXEN รุ่น TRH-300 บันทึกผลการทดลองด้วยเครื่องบันทึกผลการทดลองแบบต่อเนื่อง (Data logger) ของ Graphtec รุ่น GL450-UM-151 ซึ่งอ่านค่าและบันทึกผลได้ 40 จุดค่าที่ได้จากอุปกรณ์วัดความชื้นเป็นค่าความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งสามารถหาค่าอัตราส่วนความชื้นในอากาศโดยอ่านค่าจากแผนภูมิอากาศชื้น (Psychrometric chart) เครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 เครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ

#### 4.2 การศึกษาการลดความชื้นในอากาศของสารดูดความชื้น

การศึกษการลดความชื้นในอากาศของสารดูดความชื้นเพื่อศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่ออัตราการลดความชื้นของชุดกึ่งล้อยูดความชื้นได้แก่ อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าชุดกึ่งล้อยูดความชื้น ( $T_{ip}$ ) อัตราส่วนความชื้นอากาศที่ทางเข้าชุดกึ่งล้อยูดความชื้น ( $w_{ip}$ ) อัตราการไหลอากาศที่ทางเข้าชุดกึ่งล้อยูดความชื้น ( $m_{ip}$ ) และความเร็วรอบของกึ่งล้อยูดความชื้น (Rev) ที่ส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศที่ทางออกชุดกึ่งล้อยูดความชื้น ( $T_{op}$ ) และอัตราส่วนความชื้นอากาศที่ทางออกชุดกึ่งล้อยูดความชื้น ( $w_{op}$ ) การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการศึกษาการลดความชื้นในอากาศของสารดูดความชื้นแสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัดการศึกษาการลดความชื้น

#### 4.2.1 ขั้นตอนการทดลอง

- (1) ติดตั้งชุดอุปกรณ์และเครื่องมือตรวจวัดดังรูปที่ 4.7
- (2) เตรียมสารดูดความชื้นที่อัตราส่วนมวลของความชื้นต่อมวลของสารดูดความชื้นเริ่มต้น  $0.15 \text{ kg}_w/\text{kg}_{\text{desiccant}}$  โดยการคายความชื้นภายในสารดูดความชื้นที่อุณหภูมิอากาศ  $75^\circ\text{C}$  อัตราการไหลอากาศ  $1.6 \text{ kg}/\text{min}$  และความเร็วรอบของกงล้อดูดความชื้น  $2 \text{ rpm}$  เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นพักสารดูดความชื้นจนมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิของบรรยากาศ เพื่อให้สารดูดความชื้นสามารถดูดความชื้นของอากาศได้อีกครั้งโดยใช้ระยะเวลาประมาณ 30 นาที
- (3) ปรับสภาวะการทดลองตามเงื่อนไขต่างๆ ดังนี้
  - (3.1) การศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าสู่กงล้อดูดความชื้น แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าสู่กงล้อดูดความชื้น

การทดลองที่	$T_{ip}$ ( $^\circ\text{C}$ )	$w_{ip}$ ( $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ )	$\dot{m}_{ip}$ ( $\text{kg}/\text{min}$ )	Rev (rpm)
1	24.5	19	1.0	2.5
2	27.5	19	1.0	2.5
3	32.5	19	1.0	2.5



(3.2) การศึกษาผลของอัตราส่วนความชื้นอากาศก่อนเข้าสู่ดงกล้อดูดความชื้น แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การศึกษาผลของอัตราส่วนความชื้นอากาศก่อนเข้าสู่ดงกล้อดูดความชื้น

การทดลองที่	$w_{ip}$ ( $g_w/kg_{da}$ )	$T_{ip}$ ( $^{\circ}C$ )	$\dot{m}_{ip}$ (kg/min)	Rev (rpm)
1	10	27.5	1.0	2.5
2	15	27.5	1.0	2.5
3	19	27.5	1.0	2.5

(3.3) การศึกษาผลของอัตราการไหลอากาศก่อนเข้าสู่ดงกล้อดูดความชื้น แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การศึกษาผลของอัตราการไหลอากาศก่อนเข้าสู่ดงกล้อดูดความชื้น

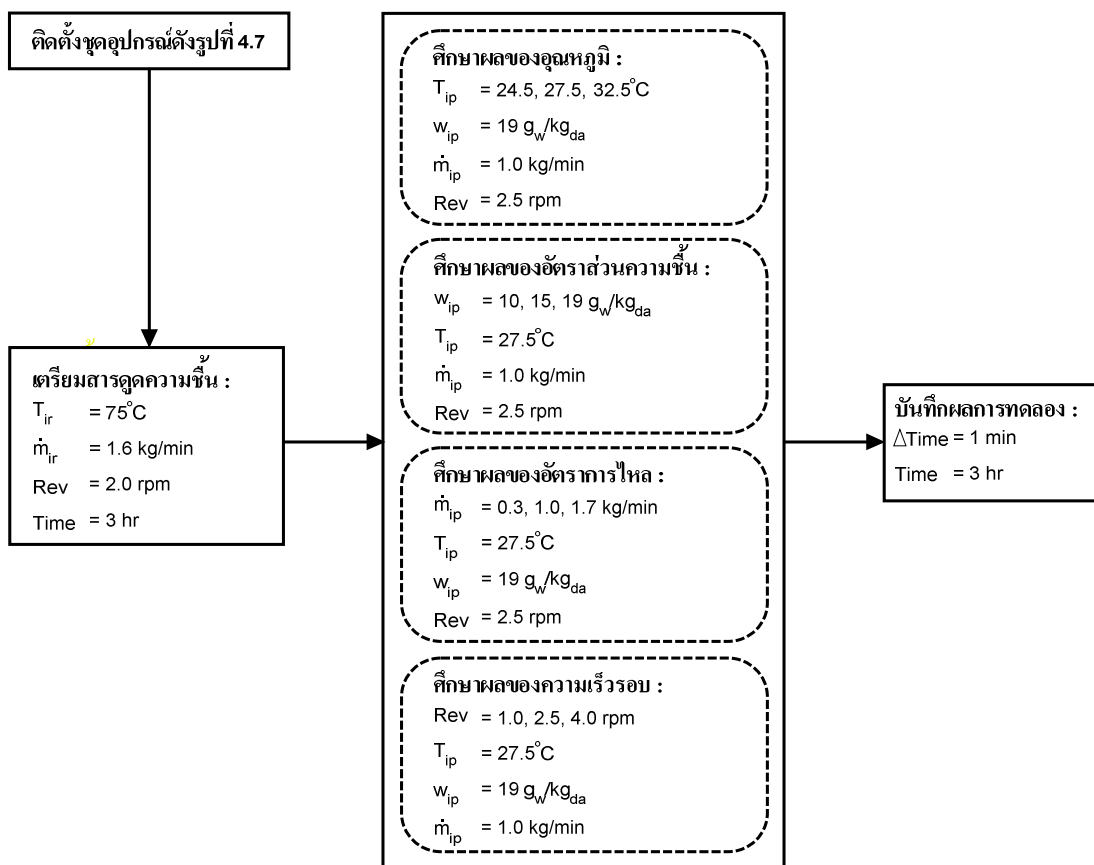
การทดลองที่	$\dot{m}_{ip}$ (kg/min)	$T_{ip}$ ( $^{\circ}C$ )	$w_{ip}$ ( $g_w/kg_{da}$ )	Rev (rpm)
1	0.3	27.5	19	2.5
2	1.0	27.5	19	2.5
3	1.7	27.5	19	2.5

(3.4) การศึกษาผลของความเร็วรอบกล้อดูดความชื้น แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การศึกษาผลของความเร็วรอบกล้อดูดความชื้น

การทดลองที่	Rev (rpm)	$T_{ip}$ ( $^{\circ}C$ )	$w_{ip}$ ( $g_w/kg_{da}$ )	$\dot{m}_{ip}$ (kg/min)
1	1.0	27.5	19	1.0
2	2.5	27.5	19	1.0
3	4.0	27.5	19	1.0

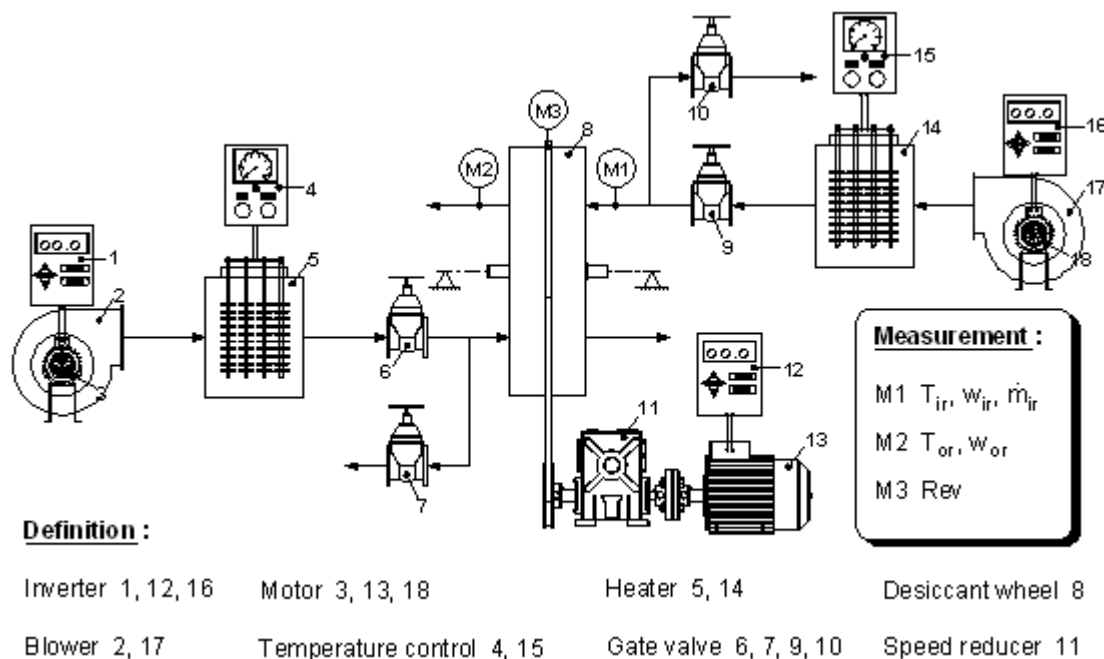
(4) ทำการทดลองโดยบันทึกผลการทดลองทุกๆ 1 นาที เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง  
ขั้นตอนการทดลองการศึกษาการลดความชื้นในอากาศของสารดูดความชื้นแสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ขั้นตอนการทดลองการศึกษาการลดความชื้นในอากาศของสารดูดความชื้น

#### 4.3 การศึกษาการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้น

การศึกษการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นเพื่อศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อการคายความชื้นของชุดกึ่งล้อดูดความชื้น ได้แก่ อุณหภูมิอากาศในการคายความชื้น ( $T_{ir}$ ) อัตราส่วนความชื้นอากาศที่ทางเข้าชุดกึ่งล้อดูดความชื้น ( $w_{ir}$ ) อัตราการไหลอากาศในการคายความชื้น ( $\dot{m}_{ir}$ ) และความเร็วยรอบของกึ่งล้อดูดความชื้น ( $Rev$ ) ที่ส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศที่ทางออกชุดกึ่งล้อดูดความชื้น ( $T_{or}$ ) และอัตราส่วนความชื้นอากาศที่ทางออกชุดกึ่งล้อดูดความชื้น ( $w_{or}$ ) การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ศึกษาการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นแสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัดการศึกษาการคายความชื้น

#### 4.3.1 ขั้นตอนการทดลอง

- (1) ติดตั้งชุดอุปกรณ์และเครื่องมือตรวจวัดดังรูปที่ 4.9
- (2) เตรียมสารดูดความชื้นที่ความชื้นเริ่มต้น  $0.25 \text{ kg}_w/\text{kg}_{\text{desiccant}}$  โดยเพิ่มความชื้นภายในสารดูดความชื้นที่อุณหภูมิอากาศ  $27.5^\circ\text{C}$  อัตราการไหลอากาศ  $1.7 \text{ kg}/\text{min}$  และความเร็วรอบของกังล้อดูดความชื้น  $2 \text{ rpm}$  เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง
- (3) ปรับสภาวะการทดลองตามเงื่อนไขต่างๆ ดังนี้
  - (3.1) การศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าสู่ดกล้อดูดความชื้น แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าสู่ดกล้อดูดความชื้น

การทดลองที่	$T_{ir}$ ( $^\circ\text{C}$ )	$w_{ir}$ ( $\text{g}_w/\text{kg}_{\text{da}}$ )	$\dot{m}_{ir}$ ( $\text{kg}/\text{min}$ )	Rev (rpm)
1	45	19	1.8	2.5
2	55	19	1.8	2.5
3	65	19	1.8	2.5

(3.2) การศึกษาผลของอัตราส่วนความชื้นอากาศก่อนเข้าสู่ดงกล้วยความชื้น แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 การศึกษาผลของอัตราส่วนความชื้นอากาศก่อนเข้าสู่ดงกล้วยความชื้น

การทดลองที่	$w_{ir}$ ( $g_w/kg_{da}$ )	$T_{ir}$ ( $^{\circ}C$ )	$\dot{m}_{ir}$ (kg/min)	Rev (rpm)
1	10	55	1.8	2.5
2	15	55	1.8	2.5
3	19	55	1.8	2.5

(3.3) การศึกษาผลของอัตราการไหลอากาศก่อนเข้าสู่ดงกล้วยความชื้น แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 การศึกษาผลของอัตราการไหลอากาศก่อนเข้าสู่ดงกล้วยความชื้น

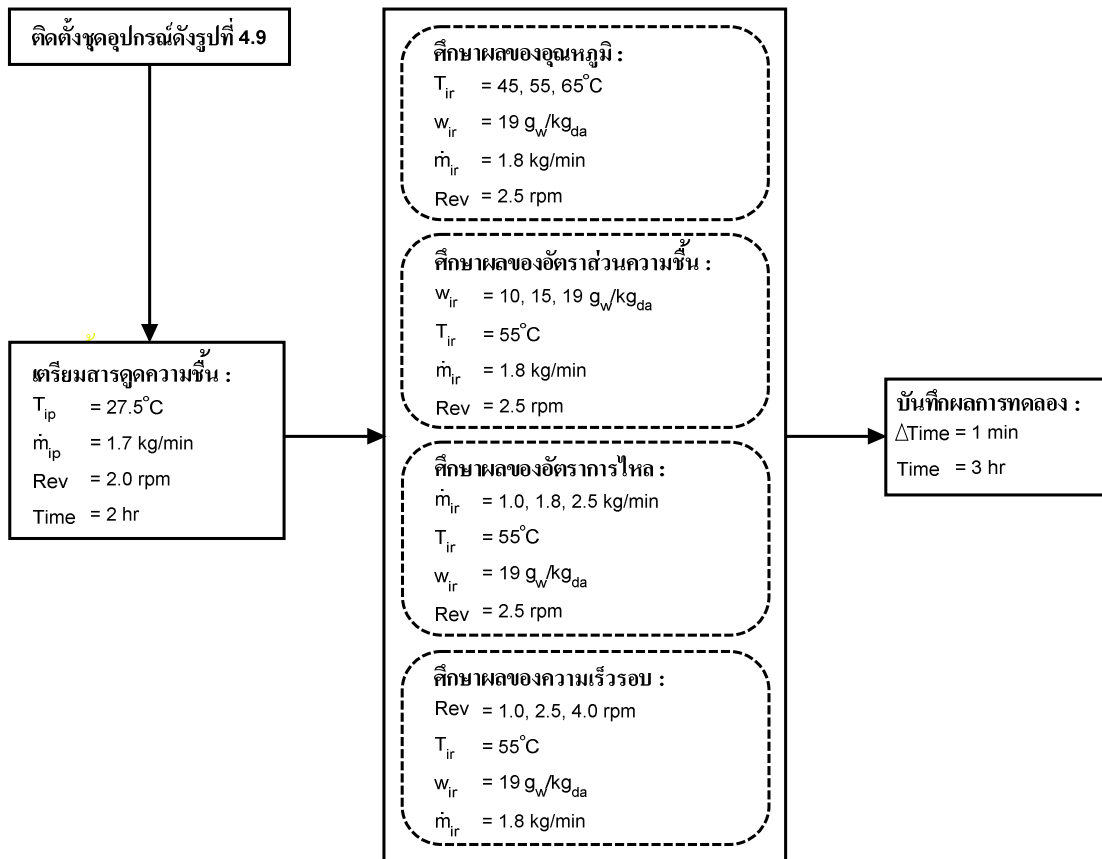
การทดลองที่	$\dot{m}_{ir}$ (kg/min)	$T_{ir}$ ( $^{\circ}C$ )	$w_{ir}$ ( $g_w/kg_{da}$ )	Rev (rpm)
1	1.0	55	19	2.5
2	1.8	55	19	2.5
3	2.5	55	19	2.5

(3.4) การศึกษาผลของความเร็วรอบกล้วยความชื้น แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การศึกษาผลของความเร็วรอบกล้วยความชื้น

การทดลองที่	Rev (rpm)	$T_{ir}$ ( $^{\circ}C$ )	$w_{ir}$ ( $g_w/kg_{da}$ )	$\dot{m}_{ir}$ (kg/min)
1	1.0	55	19	1.8
2	2.5	55	19	1.8
3	4.0	55	19	1.8

(4) ทำการทดลองโดยบันทึกผลการทดลองทุกๆ 1 นาที เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง  
ขั้นตอนการทดลองการศึกษาการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นแสดงดังรูปที่ 4.10

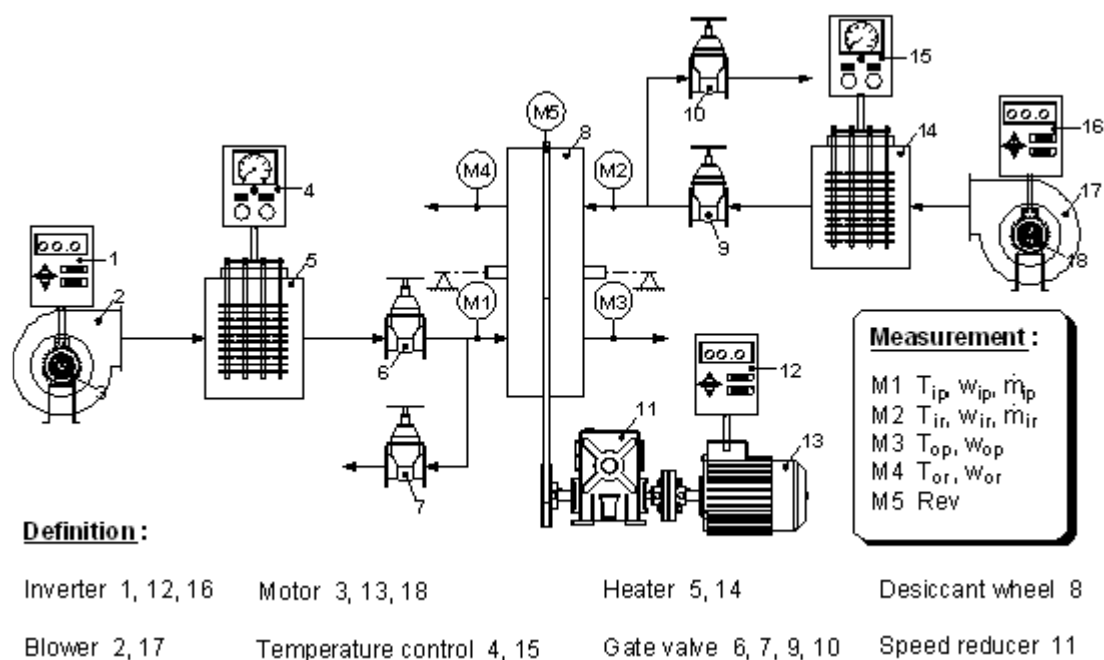


รูปที่ 4.10 ขั้นตอนการทดลองการศึกษาการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้น

#### 4.4 การทดสอบชุดกึ่งล้อดูดความชื้น

การทดสอบชุดกึ่งล้อดูดความชื้นเพื่อศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อการทำงานของชุดกึ่งล้อดูดความชื้นทั้งกระบวนการลดความชื้นในอากาศ และกระบวนการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้น ได้แก่ อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าชุดกึ่งล้อดูดความชื้น ( $T_{ip}$ ) อัตราส่วนความชื้นอากาศที่ทางเข้าชุดกึ่งล้อดูดความชื้น ( $w_{ip}$ ,  $w_{ir}$ ) อัตราการไหลอากาศที่ทางเข้าชุดกึ่งล้อดูดความชื้น ( $\dot{m}_{ip}$ ) อุณหภูมิอากาศในการคายความชื้น ( $T_{ir}$ ) อัตราการไหลอากาศในการคายความชื้น ( $\dot{m}_{ir}$ ) และความเร็วรอบของกึ่งล้อดูดความชื้น (Rev) ที่ส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศที่ทางออกชุดกึ่งล้อดูดความชื้น ( $T_{op}$ ) และอัตราส่วนความชื้นอากาศที่ทางออกชุดกึ่งล้อดูดความชื้น ( $w_{op}$ ) สำหรับกระบวนการลด

ความชื้นในอากาศ และอุณหภูมิอากาศที่ทางออกชุดกังล้อดูดความชื้น ( $T_{or}$ ) และอัตราส่วนความชื้นอากาศที่ทางออกชุดกังล้อดูดความชื้น ( $w_{or}$ ) สำหรับกระบวนการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้น การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ทดสอบชุดกังล้อดูดความชื้นแสดงดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัดการทดสอบชุดกังล้อดูดความชื้น

#### 4.4.1 ขั้นตอนการทดลอง

- (1) ติดตั้งชุดอุปกรณ์และเครื่องมือตรวจวัดดังรูปที่ 4.11
- (2) เตรียมสารดูดความชื้นที่ความชื้นเริ่มต้น  $0.15 \text{ kg}_w/\text{kg}_{\text{desiccant}}$  โดยการคายความชื้นภายในสารดูดความชื้นที่อุณหภูมิอากาศ  $75^\circ\text{C}$  อัตราการไหลอากาศ  $1.6 \text{ kg}/\text{min}$  และความเร็วรอบของกังล้อดูดความชื้น  $2 \text{ rpm}$  เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นพักสารดูดความชื้นจนมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิของบรรยากาศ เพื่อให้สารดูดความชื้นสามารถดูดความชื้นของอากาศได้อีกครั้งโดยใช้ระยะเวลาประมาณ 30 นาที
- (3) ปรับสภาวะการทดลองตามเงื่อนไขต่างๆ ดังนี้
  - (3.1) การศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกังล้อดูดความชื้น แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 การศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าสู่ดงกล้วยความชื้น

การทดลองที่	$T_{ip}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$w_{ip}, w_{ir}$ ( $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ )	$T_{ir}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\dot{m}_{ip}$ ( $\text{kg}/\text{min}$ )	$\dot{m}_{ir}$ ( $\text{kg}/\text{min}$ )	Rev (rpm)
1	24.5	19	55	1.0	1.8	2.5
2	27.5	19	55	1.0	1.8	2.5
3	32.5	19	55	1.0	1.8	2.5

(3.2) การศึกษาผลของอัตราส่วนความชื้นอากาศก่อนเข้าสู่ดงกล้วยความชื้นแสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 การศึกษาผลของอัตราส่วนความชื้นอากาศก่อนเข้าสู่ดงกล้วยความชื้น

การทดลองที่	$w_{ip}, w_{ir}$ ( $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ )	$T_{ip}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_{ir}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\dot{m}_{ip}$ ( $\text{kg}/\text{min}$ )	$\dot{m}_{ir}$ ( $\text{kg}/\text{min}$ )	Rev (rpm)
1	10	27.5	55	1.0	1.8	2.5
2	15	27.5	55	1.0	1.8	2.5
3	19	27.5	55	1.0	1.8	2.5

(3.3) การศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศคายความชื้นแสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 การศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศในการคายความชื้น

การทดลองที่	$T_{ir}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_{ip}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$w_{ip}, w_{ir}$ ( $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ )	$\dot{m}_{ip}$ ( $\text{kg}/\text{min}$ )	$\dot{m}_{ir}$ ( $\text{kg}/\text{min}$ )	Rev (rpm)
1	45	27.5	19	1.0	1.8	2.5
2	55	27.5	19	1.0	1.8	2.5
3	65	27.5	19	1.0	1.8	2.5

(3.4) การศึกษาผลของอัตราการไหลอากาศก่อนเข้าสู่ดงกล้วยความชื้นแสดงดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 การศึกษาผลของอัตราการไหลอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกังล้อคู่ความชื้น

การทดลองที่	$\dot{m}_{ip}$ (kg/min)	$T_{ip}$ (°C)	$w_{ip}, w_{ir}$ (g <sub>w</sub> /kg <sub>da</sub> )	$T_{ir}$ (°C)	$\dot{m}_{ir}$ (kg/min)	Rev (rpm)
1	0.3	27.5	19	55	1.8	2.5
2	1.0	27.5	19	55	1.8	2.5
3	1.7	27.5	19	55	1.8	2.5

(3.5) การศึกษาผลของอัตราการไหลอากาศในการคายความชื้นแสดงดัง

ตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 การศึกษาผลของอัตราการไหลอากาศในการคายความชื้น

การทดลองที่	$\dot{m}_{ir}$ (kg/min)	$T_{ip}$ (°C)	$w_{ip}, w_{ir}$ (g <sub>w</sub> /kg <sub>da</sub> )	$T_{ir}$ (°C)	$\dot{m}_{ip}$ (kg/min)	Rev (rpm)
1	1.0	27.5	19	55	1.0	2.5
2	1.8	27.5	19	55	1.0	2.5
3	2.5	27.5	19	55	1.0	2.5

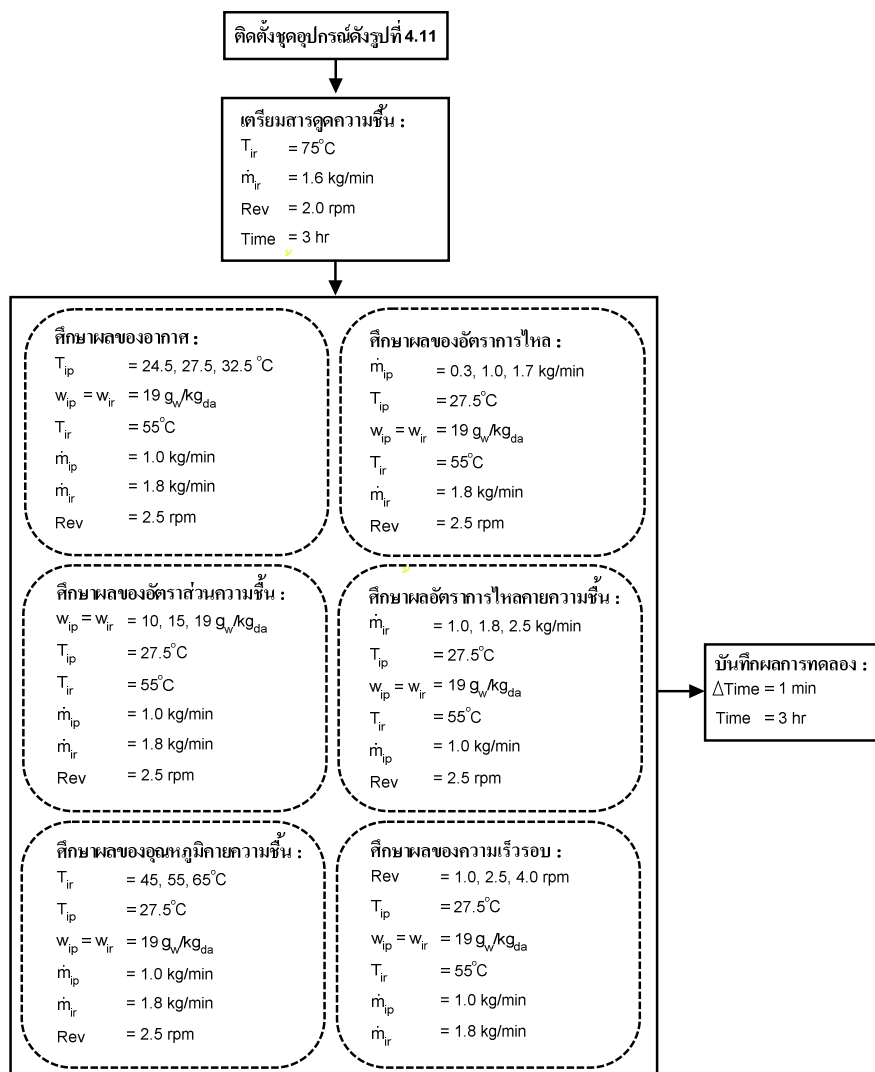
(3.6) การศึกษาผลของความเร็วรอบกังล้อคู่ความชื้นแสดงดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 การศึกษาผลของความเร็วรอบกังล้อคู่ความชื้น

การทดลองที่	Rev (rpm)	$T_{ip}$ (°C)	$w_{ip}, w_{ir}$ (g <sub>w</sub> /kg <sub>da</sub> )	$T_{ir}$ (°C)	$\dot{m}_{ip}$ (kg/min)	$\dot{m}_{ir}$ (kg/min)
1	1.0	27.5	19	55	1.0	1.8
2	2.5	27.5	19	55	1.0	1.8
3	4.0	27.5	19	55	1.0	1.8

(4) ทำการทดลองโดยบันทึกผลการทดลองทุกๆ 1 นาที เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง  
ขั้นตอนการทดลองการทดสอบชุดกังล้อคู่ความชื้นแสดงดังรูปที่ 4.12



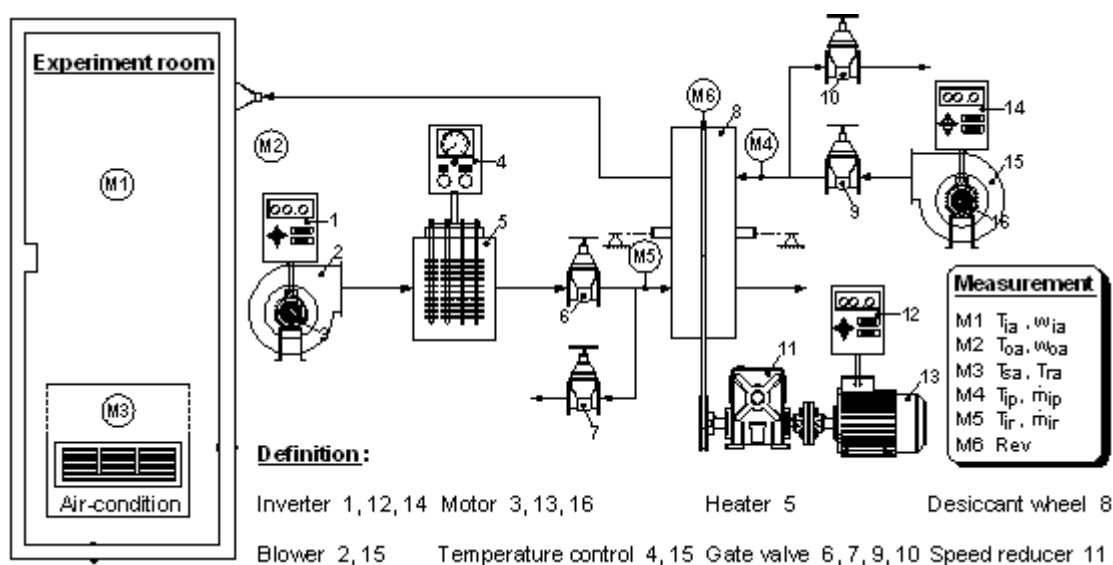


รูปที่ 4.12 ขั้นตอนการทดลองการทดสอบชุดกึ่งล้อดูดความชื้น

#### 4.5 การทดสอบระบบปรับอากาศร่วมกับระบบดูดความชื้น

การทดสอบระบบปรับอากาศร่วมกับระบบดูดความชื้น โดยการนำอากาศจากภายนอกที่มีความชื้นสูงนำมาลดความชื้นที่อุปกรณ์กึ่งล้อดูดความชื้นก่อนเข้าห้องปรับอากาศ ในขณะเดียวกัน ได้มีการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นเพื่อทำให้กึ่งล้อดูดความชื้นมีความสามารถลดความชื้นได้อย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ โดยมีการเก็บข้อมูลสภาวะอากาศภายในและภายนอกห้องปรับอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิของลมจ่าย ( $T_{sa}$ ) อุณหภูมิลมกลับจากห้อง ( $T_{ra}$ ) อุณหภูมิอากาศภายในห้องปรับอากาศ ( $T_{ia}$ ) ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในห้องปรับอากาศ ( $\%RH_{ia}$ ) อุณหภูมิอากาศภายนอกห้องปรับอากาศ ( $T_{oa}$ ) และความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอกห้อง

ปรับอากาศ (%RH<sub>oa</sub>) การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ทดสอบระบบปรับอากาศร่วมกับระบบควบคุมความชื้นแสดงดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัดการทดสอบระบบปรับอากาศร่วมกับระบบควบคุมความชื้น

#### 4.5.1 ขั้นตอนการทดลอง

(1) ติดตั้งชุดอุปกรณ์และเครื่องมือตรวจวัดดังรูปที่ 4.13

(2) ปรับสภาวะการทดลองตามเงื่อนไขต่างๆ ดังนี้

(2.1) การศึกษาสภาวะอากาศภายในและภายนอกห้องทดลอง เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศในช่วงเวลา 09.00 ถึง 21.00 น.

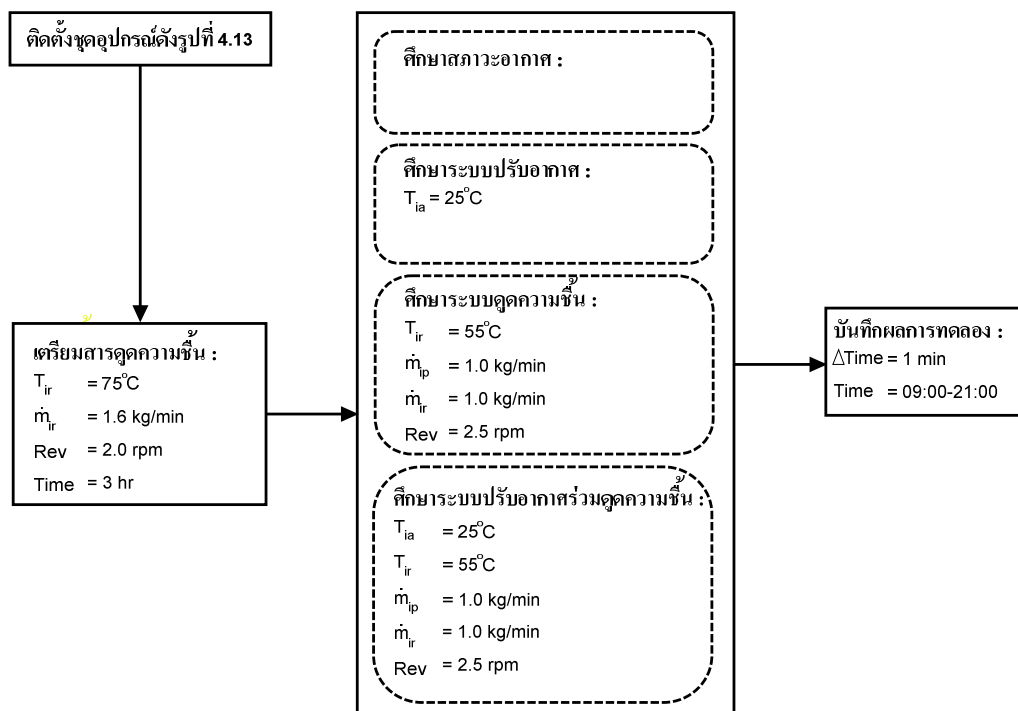
(2.2) การศึกษาสภาวะอากาศภายในห้องทดลองร่วมกับระบบปรับอากาศ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศภายในห้องทดลองกรณีใช้ระบบปรับอากาศ โดยควบคุมอุณหภูมิของอากาศภายในห้องทดลองที่ 25°C

(2.3) การศึกษาสภาวะอากาศภายในห้องทดลองร่วมกับระบบควบคุมความชื้น เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศภายในห้องทดลองกรณีใช้ระบบควบคุมความชื้น โดยการตั้งค่าอุณหภูมิอากาศในการคายความชื้น 55°C อัตราการไหลอากาศ 1.0 kg/min อัตราการไหลอากาศในการคายความชื้น 1.0 kg/min และความเร็วของกังล้อดูดความชื้น 2.5 rpm ซึ่งก่อนการทดลองทำการเตรียมสารดูดความชื้นที่ความชื้นเริ่มต้น 0.15 kg<sub>w</sub>/kg<sub>desiccant</sub> โดยการคายความชื้นภายในสารดูด

ความชื้นที่อุณหภูมิอากาศ  $75^{\circ}\text{C}$  อัตราการไหลอากาศ  $1.6 \text{ kg/min}$  ความเร็วรอบของกงล้อดูดความชื้น  $2 \text{ rpm}$  เป็นระยะเวลา  $1 \text{ ชั่วโมง } 30 \text{ นาที}$  จากนั้นพักสารดูดความชื้นเพื่อให้สารดูดความชื้นสามารถดูดความชื้นของอากาศได้อีกครั้งโดยใช้ระยะเวลาประมาณ  $30 \text{ นาที}$

(2.4) การศึกษาสภาวะอากาศภายในห้องทดลองร่วมกับระบบปรับอากาศและระบบดูดความชื้น เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศภายในห้องทดลองกรณีใช้ระบบปรับอากาศร่วมกับระบบดูดความชื้น โดยควบคุมระบบดูดความชื้นที่อุณหภูมิอากาศในการคายความชื้น  $55^{\circ}\text{C}$  อัตราการไหลอากาศ  $1.0 \text{ kg/min}$  ความเร็วของกงล้อดูดความชื้น  $2.5 \text{ rpm}$  และอัตราการไหลอากาศในการคายความชื้น  $1.0 \text{ kg/min}$  ซึ่งก่อนการทดลองทำการเตรียมสารดูดความชื้นที่ความชื้นเริ่มต้น  $0.15 \text{ kg}_w/\text{kg}_{\text{desiccant}}$  โดยการคายความชื้นภายในสารดูดความชื้นที่อุณหภูมิอากาศ  $75^{\circ}\text{C}$  อัตราการไหลอากาศ  $1.6 \text{ kg/min}$  และความเร็วรอบของกงล้อดูดความชื้น  $2 \text{ rpm}$  เป็นระยะเวลา  $1 \text{ ชั่วโมง } 30 \text{ นาที}$  จากนั้นพักสารดูดความชื้นจนมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิของบรรยากาศภายนอก เพื่อให้สารดูดความชื้นมีความสามารถในการดูดความชื้นของอากาศได้อีกครั้งโดยใช้ระยะเวลาประมาณ  $30 \text{ นาที}$  และควบคุมอุณหภูมิของอากาศภายในห้องทดลองที่  $25^{\circ}\text{C}$

(3) ทำการทดลองโดยบันทึกผลการทดลองทุกๆ  $1 \text{ นาที}$  เป็นระยะเวลา  $12 \text{ ชั่วโมง}$  โดยเก็บข้อมูลต่างๆ ช่วงเวลา  $9.00 \text{ น. ถึง } 21.00 \text{ น.}$  ขั้นตอนการทดลองการทดสอบระบบปรับอากาศร่วมกับระบบดูดความชื้นแสดงดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ขั้นตอนการทดสอบระบบปรับอากาศร่วมกับระบบดูดความชื้น

#### 4.6 สรุป

บทที่ 4 ได้นำเสนอในส่วนของวิธีการวิจัย โดยแบ่งขั้นตอนการดำเนินการวิจัยเป็น 4 ส่วน คือ การศึกษาการลดความชื้นในอากาศของสารดูดความชื้น การศึกษาการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้น การทดสอบชุดกึ่งล้อดูดความชื้น และการทดสอบระบบปรับอากาศร่วมกับระบบดูดความชื้น ซึ่งตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ อุณหภูมิอากาศ อัตราส่วนความชื้นอากาศ อัตราการไหลอากาศ อุณหภูมิอากาศในการคายความชื้น อัตราการไหลอากาศในการคายความชื้น และความเร็วรอบของกึ่งล้อดูดความชื้น รวมทั้งรายละเอียดต่างๆของวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

## บทที่ 5

### ผลการทดลองและบทวิจารณ์

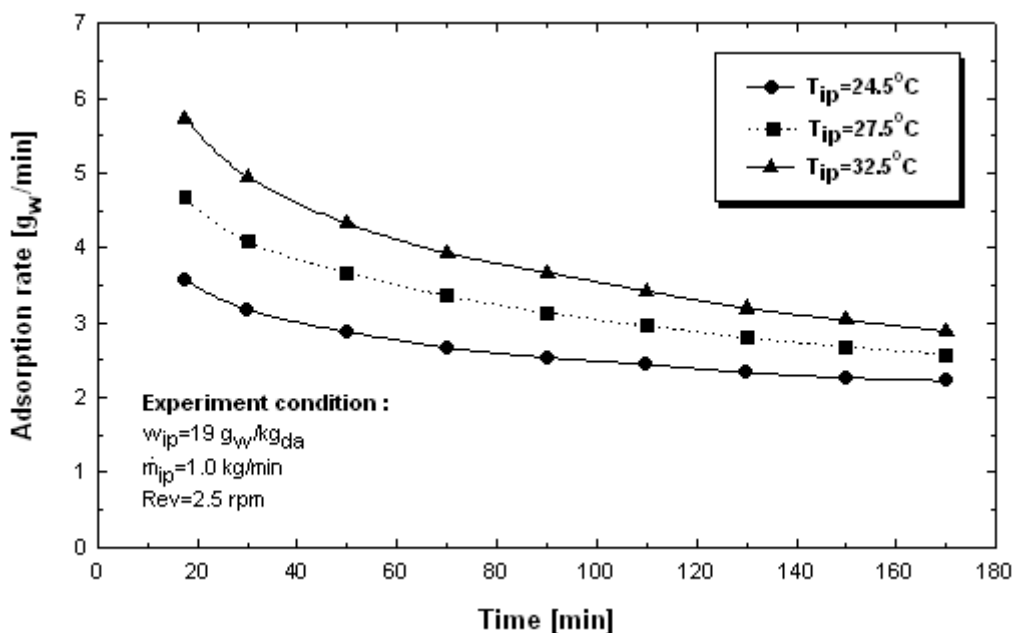
ในบทนี้ได้แบ่งการแสดงผลการทดลองออกเป็น 4 ส่วนด้วยกัน ส่วนที่ 1 ได้แสดงผลที่ได้จากการศึกษาการลดความชื้นในอากาศของสารดูดความชื้น ส่วนที่ 2 ได้แสดงผลที่ได้จากการศึกษาการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้น ส่วนที่ 3 ได้แสดงผลที่ได้จากการทดสอบชุดกึ่งล้อดูดความชื้น และส่วนที่ 4 ได้แสดงผลที่ได้จากการทดสอบระบบปรับอากาศร่วมกับระบบดูดความชื้น

#### 5.1 ผลการศึกษาการลดความชื้นในอากาศของสารดูดความชื้น

##### 5.1.1 ผลการศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อดูดความชื้น

การศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อดูดความชื้น โดยการควบคุมอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อดูดความชื้นระหว่าง  $24.5-32.5^{\circ}\text{C}$  ที่อัตราส่วนความชื้นอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อดูดความชื้น  $19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$  อัตราการไหลอากาศ  $1.0 \text{ kg}/\text{min}$  และความเร็วของกึ่งล้อดูดความชื้น  $2.5 \text{ rpm}$  ผลการศึกษาพบว่า อัตราการลดความชื้นในอากาศของสารดูดความชื้นจะมีค่าสูงในช่วงแรกของการทดลอง และจะมีค่าลดลงเมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากในช่วงแรกของการทดลองสารดูดความชื้นมีอัตราส่วนมวลของความชื้นต่อมวลของสารดูดความชื้นต่ำประมาณ  $0.15 \text{ kg}_w/\text{kg}_{des}$  ทำให้สารดูดความชื้นสามารถดูดซับความชื้นในอากาศได้ในปริมาณมาก แต่เมื่อเวลาผ่านไปทำให้อัตราส่วนมวลของความชื้นต่อมวลของสารดูดความชื้นมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ค่าความแตกต่างของความดันไอน้ำในอากาศและความดันไอน้ำที่ผิวสารดูดความชื้นมีค่าลดลงส่งผลให้อัตราการลดความชื้นในอากาศของสารดูดความชื้นมีค่าลดลง

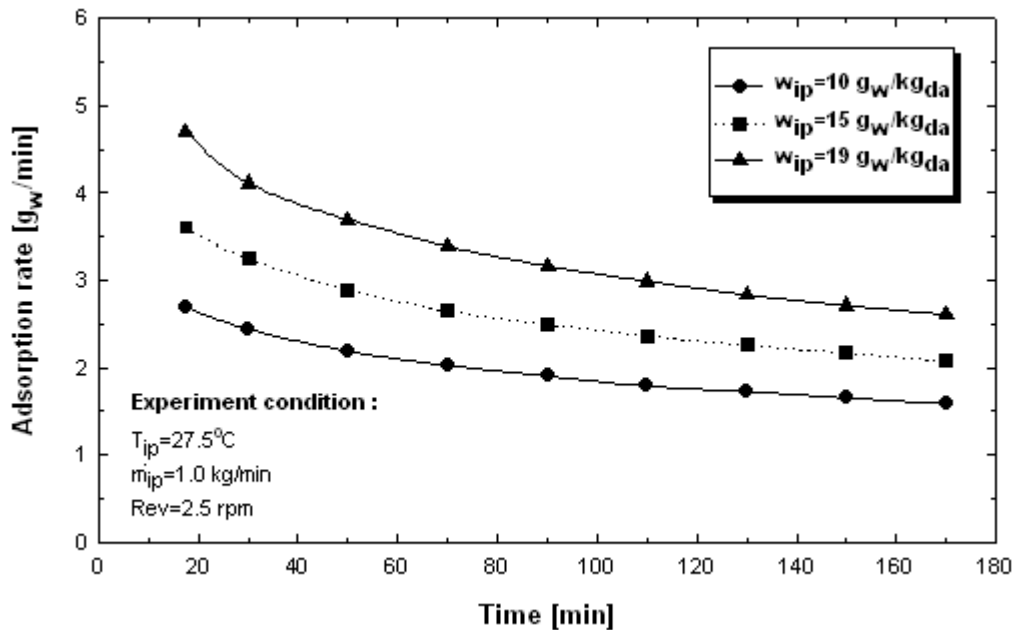
จากผลการทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อดูดความชื้นพบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศที่เข้าสู่ชุดกึ่งล้อดูดความชื้นมีค่าสูงขึ้นจาก  $24.5^{\circ}\text{C}$  เป็น  $27.5^{\circ}\text{C}$  และ  $32.5^{\circ}\text{C}$  จะทำให้อัตราการลดความชื้นในอากาศมีค่าสูงขึ้นจาก  $2.67 \text{ g}_w/\text{min}$  เป็น  $3.36 \text{ g}_w/\text{min}$  และ  $3.90 \text{ g}_w/\text{min}$  ตามลำดับ เนื่องจากอากาศที่อุณหภูมิสูงกว่าจะมีค่าความจุความชื้น (moisture capacity) สูงกว่า ซึ่งหมายถึง ปริมาณความชื้นสูงสุดที่มีอยู่ได้ในอากาศจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นสังเกตจากค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจะมีค่าลดลง ซึ่งส่งผลให้อากาศที่อุณหภูมิสูงกว่าจะมีไอน้ำในอากาศมากกว่า และทำให้ค่าความดันไอน้ำในอากาศสูงขึ้น ค่าความแตกต่างของความดันไอน้ำในอากาศและความดันไอน้ำที่ผิวสารดูดความชื้นมีค่าสูงขึ้น แสดงดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 อัตราการดูดความชื้นของสารดูดความชื้นที่เงื่อนไข  $T_{ip}=24.5, 27.5, 32.5^\circ\text{C}$ ,  $w_{ip}=19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  
 $\dot{m}_{ip}=1.0 \text{ kg}/\text{min}$ ,  $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$

### 5.1.2 ผลการศึกษาผลของอัตราส่วนความชื้นอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อดูดความชื้น

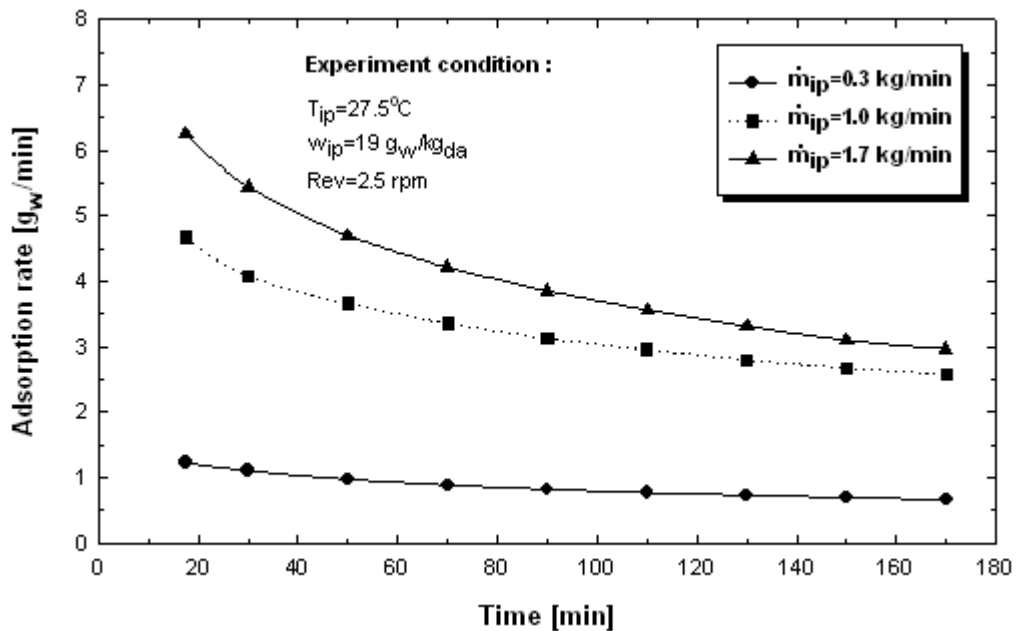
การศึกษาผลของอัตราส่วนความชื้นอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อดูดความชื้น โดยการควบคุมอัตราส่วนความชื้นอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อดูดความชื้นระหว่าง  $10\text{-}19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$  ที่อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อดูดความชื้น  $27.5^\circ\text{C}$  อัตราการไหลอากาศ  $1.0 \text{ kg}/\text{min}$  และความเร็วของกึ่งล้อดูดความชื้น  $2.5 \text{ rpm}$  ผลการศึกษาพบว่า อัตราการลดความชื้นในอากาศของสารดูดความชื้นจะมีค่าสูงในช่วงแรกของการทดลอง และจะมีค่าลดลงเมื่อเวลาผ่านไป จากผลการทดลองเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อดูดความชื้นพบว่า เมื่ออัตราส่วนความชื้นอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อดูดความชื้นมีค่าสูงขึ้นจาก  $10 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$  เป็น  $15 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$  และ  $19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$  จะทำให้อัตราการลดความชื้นในอากาศมีค่าสูงขึ้นจาก  $2.00 \text{ g}_w/\text{min}$  เป็น  $2.66 \text{ g}_w/\text{min}$  และ  $3.36 \text{ g}_w/\text{min}$  ตามลำดับ เนื่องจากอากาศที่อัตราส่วนความชื้นสูงกว่าจะมีไอน้ำในอากาศมากกว่า และทำให้ค่าความดันไอน้ำในอากาศสูงขึ้น ค่าความแตกต่างของความดันไอน้ำในอากาศและความดันไอน้ำที่ผิวสารดูดความชื้นมีค่าสูงขึ้น แสดงดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 อัตราการดูดความชื้นของสารดูดความชื้นที่เงื่อนไข  $w_{ip}=10, 15, 19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  $T_{ip}=27.5^\circ\text{C}$ ,  $\dot{m}_{ip}=1.0 \text{ kg}/\text{min}$ ,  $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$

### 5.1.3 ผลการศึกษาผลของอัตราการไหลอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อดูดความชื้น

การศึกษาผลของอัตราการไหลอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อดูดความชื้น โดยการควบคุมอัตราการไหลอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อดูดความชื้นระหว่าง 0.3-1.7 kg/min ที่อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อดูดความชื้น  $27.5^\circ\text{C}$  อัตราส่วนความชื้นอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อดูดความชื้น  $19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$  และความเร็วของกึ่งล้อดูดความชื้น  $2.5 \text{ rpm}$  ผลการศึกษาพบว่า อัตราการลดความชื้นในอากาศของสารดูดความชื้นจะมีค่าสูงในช่วงแรกของการทดลอง และจะมีค่าลดลงเมื่อเวลาผ่านไป จากผลการทดลองเปรียบเทียบอัตราการไหลอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อดูดความชื้นพบว่า เมื่ออัตราการไหลอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อดูดความชื้นมีค่าสูงขึ้นจาก  $0.3 \text{ kg}/\text{min}$  เป็น  $1.0 \text{ kg}/\text{min}$  และ  $1.7 \text{ kg}/\text{min}$  จะทำให้อัตราการลดความชื้นในอากาศมีค่าสูงขึ้นจาก  $0.87 \text{ g}_w/\text{min}$  เป็น  $3.36 \text{ g}_w/\text{min}$  และ  $4.15 \text{ g}_w/\text{min}$  ตามลำดับ เนื่องจากเนื่องจากอากาศที่อัตราการไหลอากาศสูงกว่าจะมีความเร็วเพิ่มสูงขึ้นที่พื้นที่หน้าตัดเดียวกัน ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น รวมทั้งอากาศที่อัตราการไหลอากาศสูงกว่าจะมีไอน้ำในอากาศมากกว่า และทำให้ค่าความดันไอน้ำในอากาศสูงขึ้น ค่าความแตกต่างของความดันไอน้ำในอากาศและความดันไอน้ำที่ผิวสารดูดความชื้นมีค่าสูงขึ้น แสดงดังรูปที่ 5.3



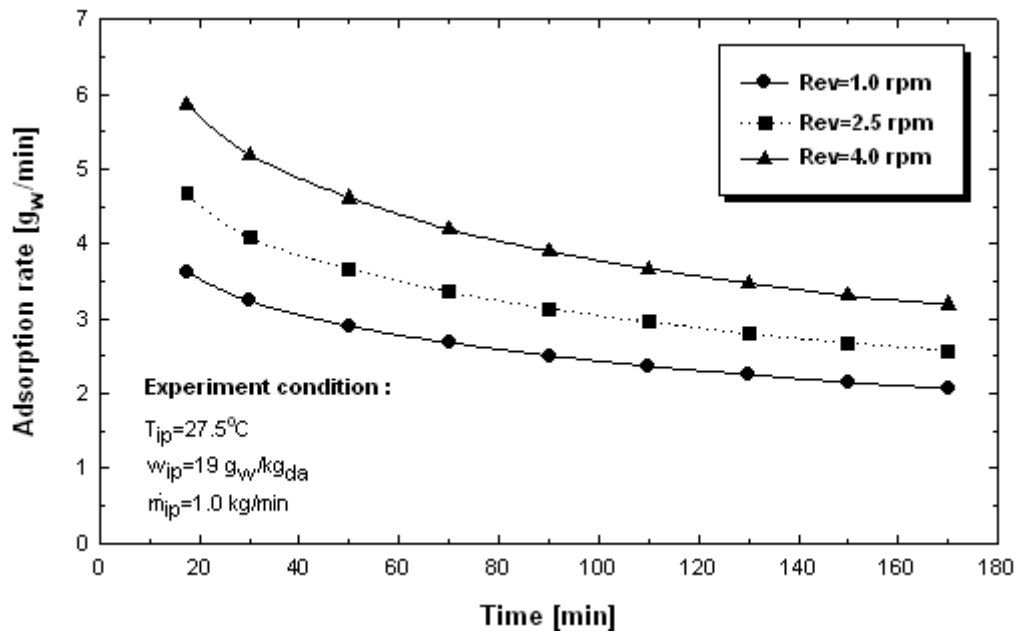
รูปที่ 5.3 อัตราการดูดความชื้นของสารดูดความชื้นที่เงื่อนไข  $\dot{m}_{ip}=0.3, 1.0, 1.7 \text{ kg/min}$ ,

$$T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}, w_{ip}=19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}, \text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$$

#### 5.1.4 ผลการศึกษาผลของความเร็วยรอบกวดูดความชื้น

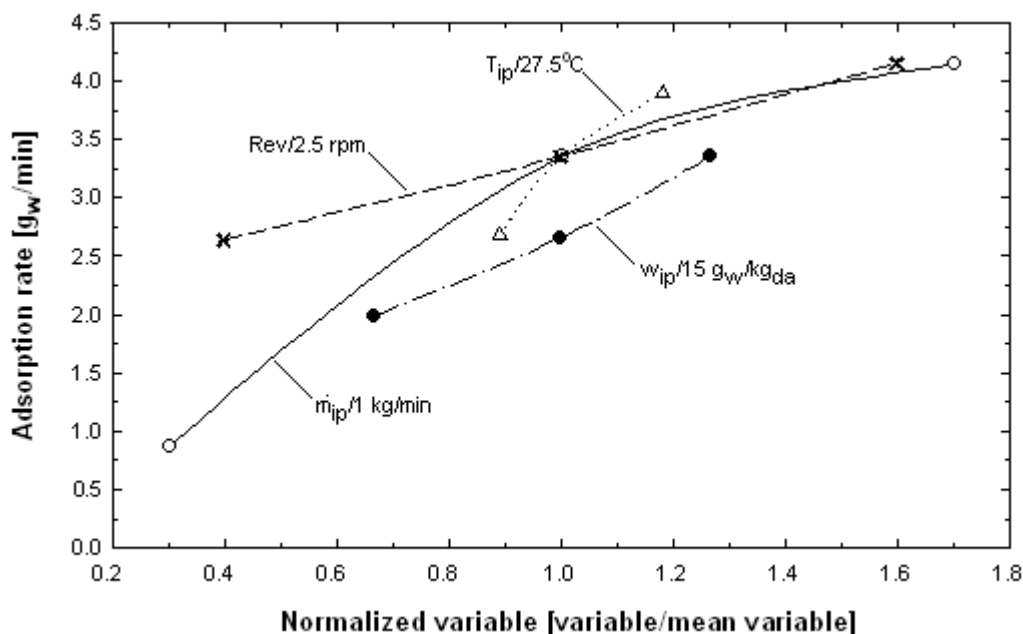
การศึกษาผลของความเร็วยรอบกวดูดความชื้น โดยการควบคุมความเร็วของกวดูดความชื้นระหว่าง 1-4 rpm ที่อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกวดูดความชื้น  $27.5^{\circ}\text{C}$  อัตราส่วนความชื้นอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกวดูดความชื้น  $19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$  และอัตราการไหลอากาศ  $1.0 \text{ kg/min}$  ผลการศึกษาพบว่า อัตราการลดความชื้นในอากาศของสารดูดความชื้นจะมีค่าสูงในช่วงแรกของการทดลอง และจะมีค่าลดลงเมื่อเวลาผ่านไป จากผลการทดลองเปรียบเทียบความเร็วยรอบกวดูดความชื้นพบว่า เมื่อความเร็วยรอบกวดูดความชื้นมีค่าสูงขึ้นจาก  $1.0 \text{ rpm}$  เป็น  $2.5 \text{ rpm}$  และ  $4.0 \text{ rpm}$  จะทำให้อัตราการลดความชื้นในอากาศมีค่าสูงขึ้นจาก  $2.64 \text{ g}_w/\text{min}$  เป็น  $3.36 \text{ g}_w/\text{min}$  และ  $4.16 \text{ g}_w/\text{min}$  ตามลำดับ เนื่องจากที่ความเร็วยรอบกวดูดความชื้นสูงขึ้นทำให้ระยะเวลาในการสัมผัสระหว่างสารดูดความชื้นที่มีอัตราส่วนมวลของความชื้นต่อมวลของสารดูดความชื้นต่ำกับอากาศเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความแตกต่างของความดันไอน้ำในอากาศและความดันไอน้ำที่ผิวสารดูดความชื้นมีค่าสูงขึ้น แสดงดังรูปที่ 5.4





รูปที่ 5.4 อัตราการดูดความชื้นของสารดูดความชื้นที่เงื่อนไข  $\text{Rev}=1.0, 2.5, 4.0 \text{ rpm}$   $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ ,  
 $w_{ip}=19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  $\dot{m}_{ip}=1.0 \text{ kg}/\text{min}$

จากผลการศึกษาลดความชื้นในอากาศของสารดูดความชื้นที่ตัวแปรต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ อัตราส่วนความชื้นอากาศ อัตราการไหลอากาศ และความเร็วรอบกึ่งดูดความชื้น พบว่า อัตราการลดความชื้นในอากาศของสารดูดความชื้นมีค่าต่ำสุด  $0.87 \text{ g}_w/\text{min}$  ที่อุณหภูมิอากาศ  $27.5^{\circ}\text{C}$  อัตราส่วนความชื้นอากาศ  $19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$  อัตราการไหลอากาศ  $0.3 \text{ kg}/\text{min}$  ความเร็วของกึ่งดูดความชื้น  $2.5 \text{ rpm}$  และอัตราการลดความชื้นในอากาศของสารดูดความชื้นมีค่าสูงสุด  $4.16$  ที่อุณหภูมิอากาศ  $27.5^{\circ}\text{C}$  อัตราส่วนความชื้นอากาศ  $19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$  อัตราการไหลอากาศ  $1.0 \text{ kg}/\text{min}$  ความเร็วของกึ่งดูดความชื้น  $4.0 \text{ rpm}$  ผลของตัวแปรต่างๆ ต่ออัตราการลดความชื้นในอากาศของสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิอากาศ  $27.5^{\circ}\text{C}$  อัตราส่วนความชื้นอากาศ  $19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$  อัตราการไหลอากาศ  $1.0 \text{ kg}/\text{min}$  ความเร็วของกึ่งดูดความชื้น  $2.5 \text{ rpm}$  แสดงดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 แสดงผลของตัวแปรต่างๆต่ออัตราการลดความชื้นในอากาศของสารดูดความชื้น

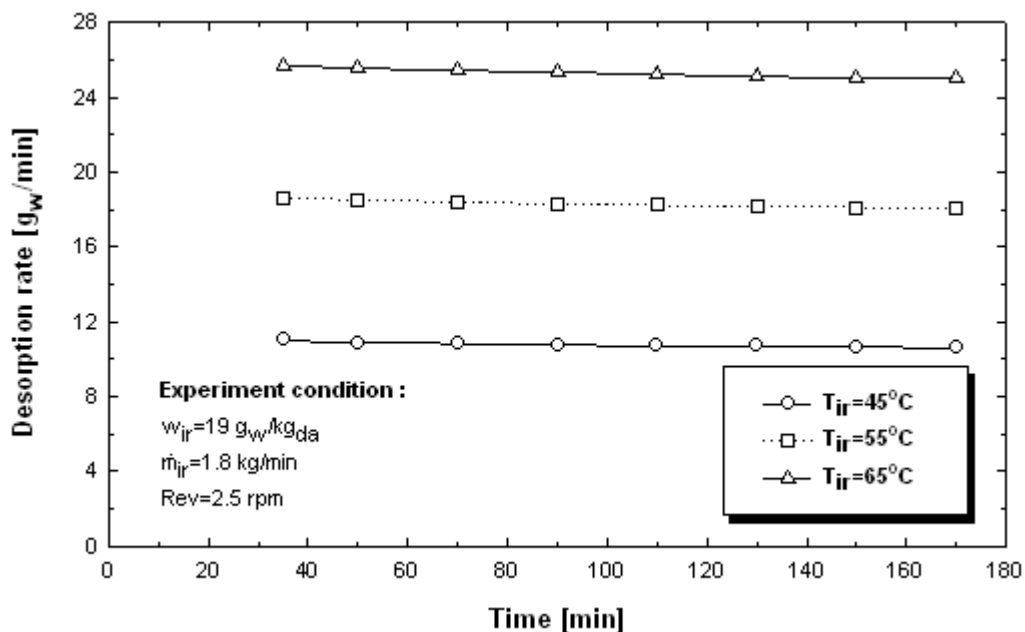
## 5.2 ผลการศึกษาการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้น

### 5.2.1 ผลการศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อยูดความชื้น

การศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อยูดความชื้น โดยการควบคุมอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อยูดความชื้นระหว่าง  $45\text{--}65^\circ\text{C}$  ที่อัตราส่วนความชื้นอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อยูดความชื้น  $19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$  อัตราการไหลอากาศ  $1.8 \text{ kg}/\text{min}$  และความเร็วของกึ่งล้อยูดความชื้น  $2.5 \text{ rpm}$  ผลการศึกษาพบว่า อัตราการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นจะมีค่าลดลงอย่างช้าๆเมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากในช่วงแรกของการทดลองสารดูดความชื้นมีอัตราส่วนมวลของความชื้นต่อมวลของสารดูดความชื้นสูงประมาณ  $0.25 \text{ kg}_w/\text{kg}_{des}$  ทำให้สารดูดความชื้นสามารถคายความชื้นได้ในปริมาณมาก แต่เมื่อเวลาผ่านไปทำให้อัตราส่วนมวลของความชื้นต่อมวลของสารดูดความชื้นมีค่าลดลงเรื่อยๆ ค่าความแตกต่างของความดันไอน้ำในอากาศและความดันไอน้ำที่ผิวสารดูดความชื้นมีค่าลดลง ส่งผลให้อัตราการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นมีค่าลดลง

จากผลการทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อยูดความชื้นพบว่า เมื่ออุณหภูมิอากาศที่เข้าสู่ชุดกึ่งล้อยูดความชื้นมีค่าสูงขึ้นจาก  $45^\circ\text{C}$  เป็น  $55^\circ\text{C}$  และ  $65^\circ\text{C}$  จะทำให้อัตราการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นมีค่าสูงขึ้นจาก  $18.43 \text{ g}_w/\text{min}$  เป็น  $25.32 \text{ g}_w/\text{min}$  และ  $28.88 \text{ g}_w/\text{min}$  ตามลำดับ เนื่องจากอากาศที่อุณหภูมิสูงกว่าจะถ่ายเทความร้อนให้กับสารดูดความชื้น

ได้มาก ทำให้สารดูดความชื้นมีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้ความดันไอน้ำที่ผิวสารดูดความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความแตกต่างของความดันไอน้ำในอากาศและความดันไอน้ำที่ผิวสารดูดความชื้นมีค่าสูงขึ้น แสดงดังรูปที่ 5.6

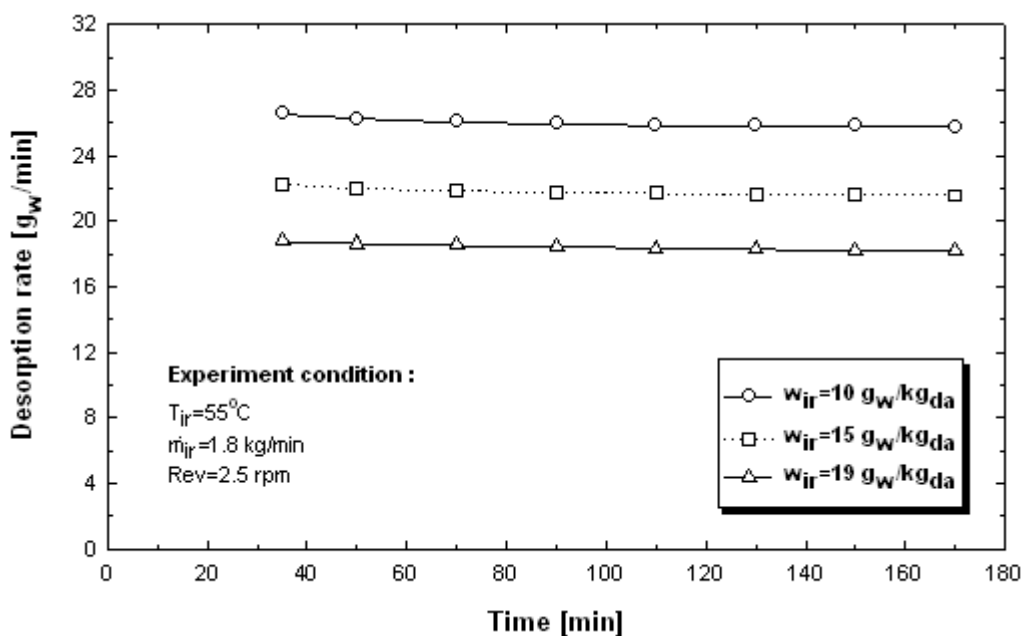


รูปที่ 5.6 อัตราการคายความชื้นของสารดูดความชื้นที่เงื่อนไข  $T_{ir}=45, 55, 65^\circ\text{C}$ ,  $w_{ir}=19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  
 $\dot{m}_{ir}=1.8 \text{ kg}/\text{min}$ ,  $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$

### 5.2.2 ผลการศึกษาผลของอัตราส่วนความชื้นอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อยูดความชื้น

การศึกษาผลของอัตราส่วนความชื้นอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อยูดความชื้น โดยการควบคุมอัตราส่วนความชื้นอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อยูดความชื้นระหว่าง  $10\text{-}19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$  ที่อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อยูดความชื้น  $55^\circ\text{C}$  อัตราการไหลอากาศ  $1.8 \text{ kg}/\text{min}$  และความเร็วของกึ่งล้อยูดความชื้น  $2.5 \text{ rpm}$  ผลการศึกษาพบว่า อัตราการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นจะมีค่าสูงในช่วงแรกของการทดลอง และจะมีค่าลดลงเมื่อเวลาผ่านไป จากผลการทดลองเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อยูดความชื้นพบว่า เมื่ออัตราส่วนความชื้นอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อยูดความชื้นมีค่าสูงขึ้นจาก  $10 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$  เป็น  $15 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$  และ  $19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$  จะทำให้อัตราการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นมีค่าลดลงจาก  $26.01 \text{ g}_w/\text{min}$  เป็น  $21.94 \text{ g}_w/\text{min}$  และ  $18.43 \text{ g}_w/\text{min}$  ตามลำดับ เนื่องจากอากาศที่อัตราส่วนความชื้นสูงกว่าจะมีไอน้ำในอากาศมากกว่า และทำ

ให้ค่าความดันไอน้ำในอากาศสูงขึ้น ค่าความแตกต่างของความดันไอน้ำในอากาศและความดันไอน้ำที่ผิวสารดูดความชื้นมีค่าลดลง แสดงดังรูปที่ 5.7

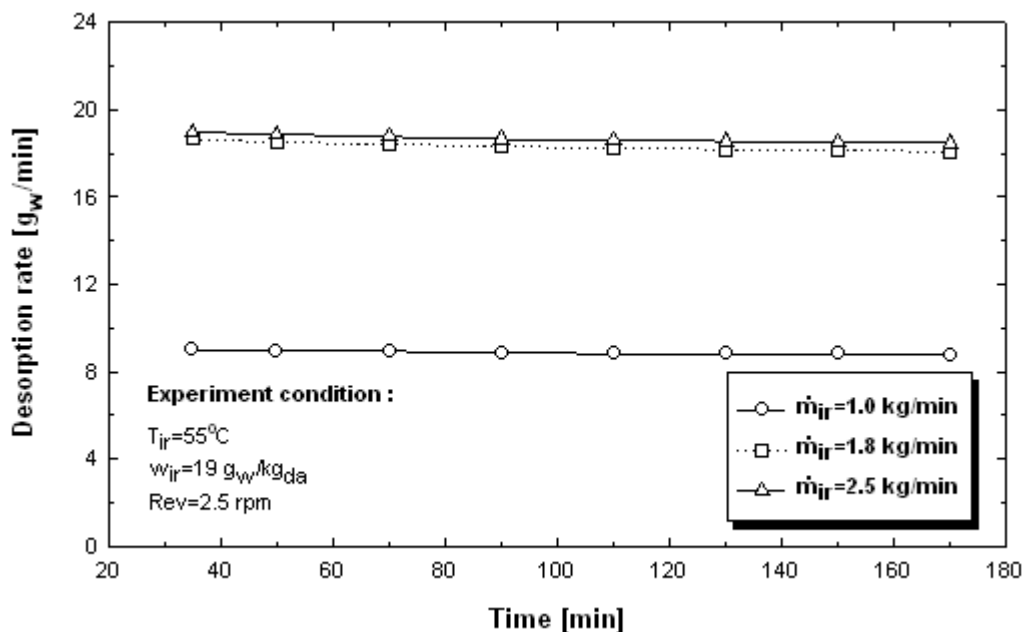


รูปที่ 5.7 อัตราการคายความชื้นของสารดูดความชื้นที่เงื่อนไข  $w_{ir}=10, 15, 19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  $T_{ir}=55^{\circ}\text{C}$ ,  $\dot{m}_{ir}=1.8 \text{ kg/min}$ ,  $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$

### 5.2.3 ผลการศึกษาผลของอัตราการไหลอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อดูดความชื้น

การศึกษาผลของอัตราการไหลอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อดูดความชื้น โดยการควบคุมอัตราการไหลอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อดูดความชื้นระหว่าง 1.0-2.5 kg/min ที่อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อดูดความชื้น  $27.5^{\circ}\text{C}$  อัตราส่วนความชื้นอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อดูดความชื้น  $19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$  และความเร็วของกึ่งล้อดูดความชื้น 2.5 rpm ผลการศึกษาพบว่า อัตราการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นจะมีค่าสูงในช่วงแรกของการทดลอง และจะมีค่าลดลงเมื่อเวลาผ่านไป จากผลการทดลองเปรียบเทียบอัตราการไหลอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อดูดความชื้นพบว่า เมื่ออัตราการไหลอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อดูดความชื้นมีค่าสูงขึ้นจาก 1.0 kg/min เป็น 1.8 kg/min และ 2.5 kg/min จะทำให้อัตราการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นมีค่าสูงขึ้นจาก 8.87 g<sub>w</sub>/min เป็น 18.43 g<sub>w</sub>/min และ 18.69 g<sub>w</sub>/min ตามลำดับ เนื่องจากอากาศที่อัตราการไหลอากาศสูงกว่าจะมีความเร็วเพิ่มสูงขึ้นที่พื้นที่หน้าตัดเดียวกัน ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น ทำให้อากาศสามารถถ่ายเทความร้อนให้กับสารดูดความชื้นได้มาก

ส่งผลให้สารดูดความชื้นมีอุณหภูมิสูงขึ้นและความดันไอน้ำที่ผิวสารดูดความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความแตกต่างของความดันไอน้ำในอากาศและความดันไอน้ำที่ผิวสารดูดความชื้นมีค่าสูงขึ้น แสดงดังรูปที่ 5.8

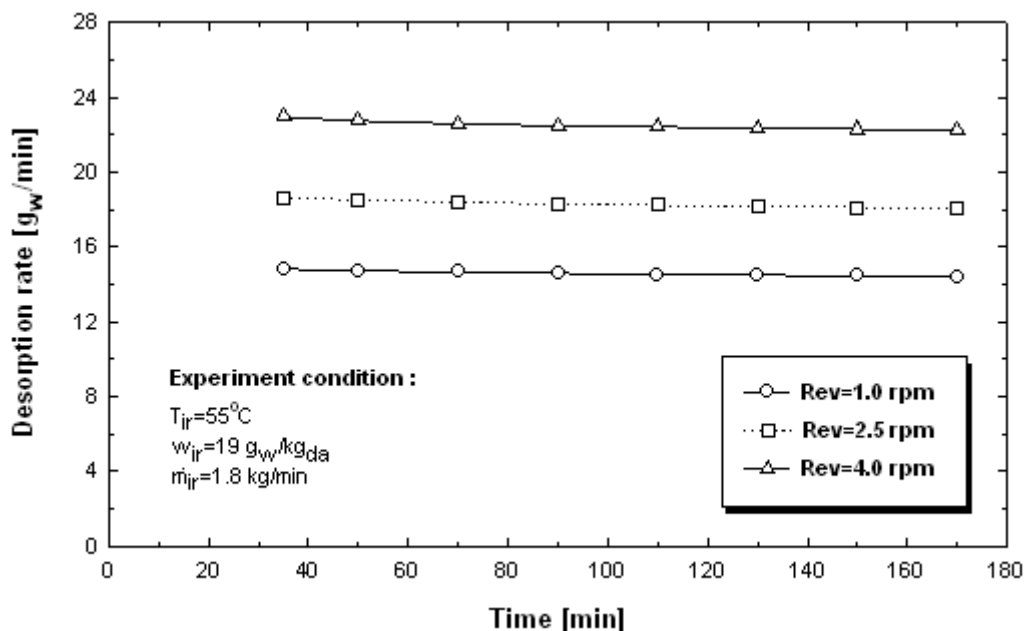


รูปที่ 5.8 อัตราการคายความชื้นของสารดูดความชื้นที่เงื่อนไข  $\dot{m}_{ir}=1.0, 1.8, 2.5$  kg/min,  $T_{ir}=55^{\circ}\text{C}$ ,  $w_{ir}=19$  g<sub>w</sub>/kg<sub>da</sub>, Rev=2.5 rpm

#### 5.2.4 ผลการศึกษาผลของความเร็รรอบกงล้อดูดความชื้น

การศึกษาผลของความเร็รรอบกงล้อดูดความชื้น โดยการควบคุมความเร็วของกงล้อดูดความชื้นระหว่าง 1-4 rpm ที่อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกงล้อดูดความชื้น 55°C อัตราส่วนความชื้นอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกงล้อดูดความชื้น 19 g<sub>w</sub>/kg<sub>da</sub> และอัตราการไหลอากาศ 1.0 kg/min ผลการศึกษาพบว่า อัตราการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นจะมีค่าสูงในช่วงแรกของการทดลอง และจะมีค่าลดลงเมื่อเวลาผ่านไป จากผลการทดลองเปรียบเทียบความเร็รรอบกงล้อดูดความชื้นพบว่า เมื่อความเร็รรอบกงล้อดูดความชื้นมีค่าสูงขึ้นจาก 1.0 rpm เป็น 2.5 rpm และ 4.0 rpm จะทำให้อัตราการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นมีค่าสูงขึ้นจาก 14.59 g<sub>w</sub>/min เป็น 18.43 g<sub>w</sub>/min และ 22.52 g<sub>w</sub>/min ตามลำดับ เนื่องจากที่ความเร็รรอบกงล้อดูดความชื้นสูงขึ้นทำให้ระยะเวลาในการสัมผัสระหว่างสารดูดความชื้นที่มีอัตราส่วนมวลของความชื้นต่อมวลของสารดูด

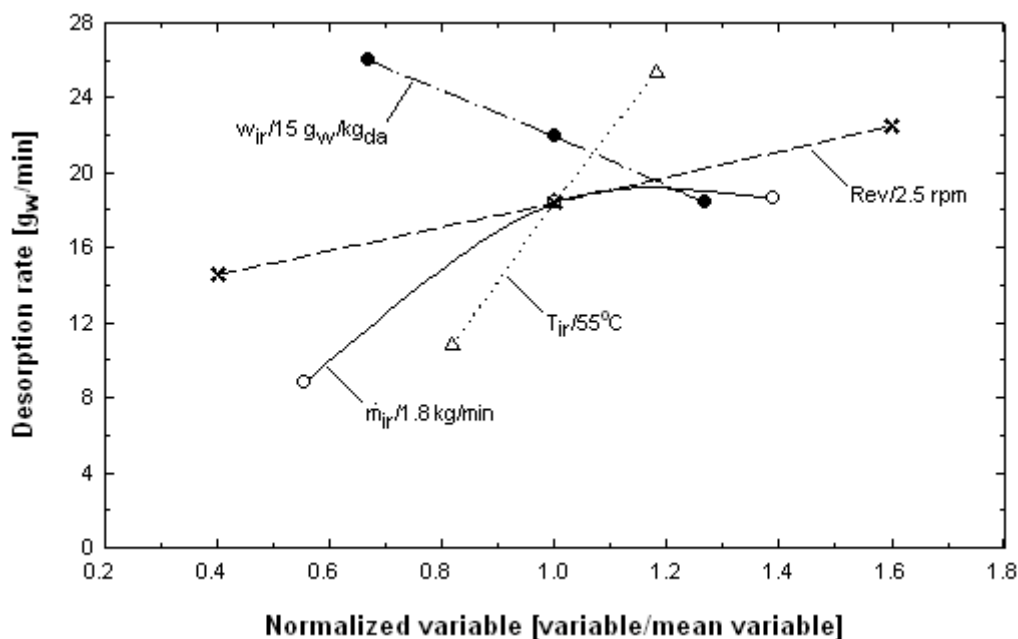
ความชื้นสูงกับอากาศเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความแตกต่างของความดันไอน้ำในอากาศและความดันไอน้ำที่ผิวสารดูดความชื้นมีค่าสูงขึ้น แสดงดังรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 อัตราการคายความชื้นของสารดูดความชื้นที่เงื่อนไข  $\text{Rev}=1.0, 2.5, 4.0 \text{ rpm}$ ,

$$T_{ir}=55^{\circ}\text{C}, w_{ir}=19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}, \dot{m}_{ir}=1.8 \text{ kg}/\text{min}$$

จากผลการศึกษารายการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นที่ตัวแปรต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศในการคายความชื้น อัตราส่วนความชื้นอากาศ อัตราการไหลอากาศในการคายความชื้น และความเร็วรอบกึ่งล้อดูดความชื้น อุณหภูมิอากาศ พบว่า อัตราการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นมีค่าต่ำสุด  $8.87 \text{ g}_w/\text{min}$  ที่อุณหภูมิอากาศในการคายความชื้น  $55^{\circ}\text{C}$  อัตราส่วนความชื้นอากาศ  $19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$  อัตราการไหลอากาศในการคายความชื้น  $1.0 \text{ kg}/\text{min}$  ความเร็วของกึ่งล้อดูดความชื้น  $2.5 \text{ rpm}$  และอัตราการลดความชื้นในอากาศของสารดูดความชื้นมีค่าสูงสุด  $26.01 \text{ g}_w/\text{min}$  ที่อุณหภูมิอากาศในการคายความชื้น  $55^{\circ}\text{C}$  อัตราส่วนความชื้นอากาศ  $10 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$  อัตราการไหลอากาศในการคายความชื้น  $1.8 \text{ kg}/\text{min}$  ความเร็วของกึ่งล้อดูดความชื้น  $2.5 \text{ rpm}$  ผลของตัวแปรต่างๆต่ออัตราการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้น ที่อุณหภูมิอากาศในการคายความชื้น  $55^{\circ}\text{C}$  อัตราส่วนความชื้นอากาศ  $19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$  อัตราการไหลอากาศในการคายความชื้น  $1.8 \text{ kg}/\text{min}$  ความเร็วของกึ่งล้อดูดความชื้น  $2.5 \text{ rpm}$  แสดงดังรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 แสดงผลของตัวแปรต่างๆต่ออัตราการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้น

### 5.3 ผลการทดสอบชุดกึ่งล้อดูดความชื้น

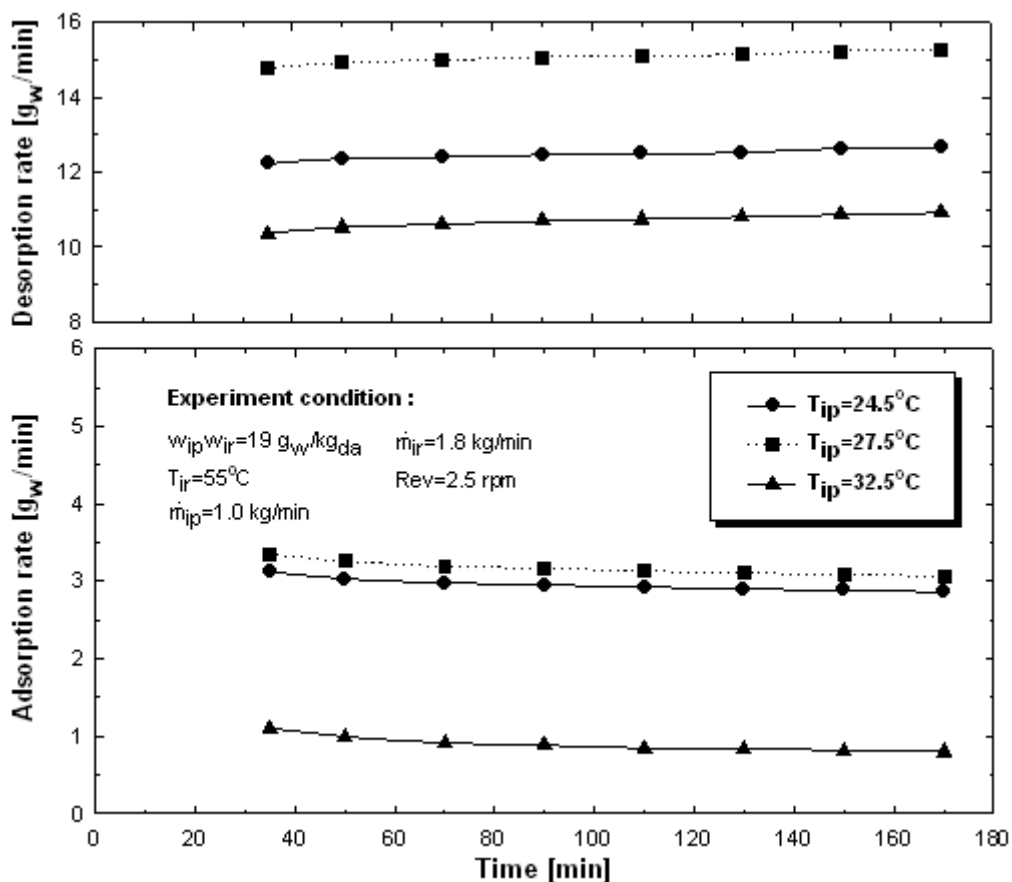
#### 5.3.1 ผลการศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อดูดความชื้น

การศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อดูดความชื้น โดยการควบคุมอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อดูดความชื้นระหว่าง  $24.5\text{--}32.5^\circ\text{C}$  ที่อัตราส่วนความชื้นอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อดูดความชื้น  $19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$  อุณหภูมิอากาศในการคายความชื้น  $55^\circ\text{C}$  อัตราการไหลอากาศ  $1.0 \text{ kg}/\text{min}$  อัตราการไหลอากาศในการคายความชื้น  $1.8 \text{ kg}/\text{min}$  และความเร็วของกึ่งล้อดูดความชื้น  $2.5 \text{ rpm}$  ผลการศึกษาพบว่า อัตราการลดความชื้นในอากาศของสารดูดความชื้นจะมีค่าลดลงอย่างช้าๆเมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากในช่วงแรกของการทดลองสารดูดความชื้นมีอัตราส่วนมวลของความชื้นต่อมวลของสารดูดความชื้นต่ำประมาณ  $0.15 \text{ kg}_w/\text{kg}_{des}$  ทำให้สารดูดความชื้นสามารถดูดซับความชื้นในอากาศได้ในปริมาณมาก แต่เมื่อเวลาผ่านไปทำให้อัตราส่วนมวลของความชื้นต่อมวลของสารดูดความชื้นมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ค่าความแตกต่างของความดันไอน้ำในอากาศและความดันไอน้ำที่ผิวสารดูดความชื้นมีค่าลดลง ส่งผลให้อัตราการลดความชื้นในอากาศของสารดูดความชื้นมีค่าลดลง ซึ่งในเวลาเดียวกันพบว่าอัตราการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆเมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากในช่วงแรกของการทดลองสารดูดความชื้นมีอัตราส่วนมวลของความชื้นต่อมวลของสารดูดความชื้นต่ำ ทำให้สารดูดความชื้น

สามารถคายความชื้นได้ในปริมาณน้อย แต่เมื่อเวลาผ่านไปอัตราส่วนมวลของความชื้นต่อมวลของสารดูดความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจากกระบวนการลดความชื้นในอากาศของสารดูดความชื้น ค่าความแตกต่างของความดันไอน้ำในอากาศและความดันไอน้ำที่ผิวสารดูดความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้น

จากผลการทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกึ่งล้อยูดความชื้นพบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศที่เข้าสู่ชุดกึ่งล้อยูดความชื้นมีค่าสูงขึ้นจาก  $24.5^{\circ}\text{C}$  เป็น  $27.5^{\circ}\text{C}$  จะทำให้อัตราการลดความชื้นในอากาศมีค่าสูงขึ้นจาก  $2.96 \text{ g}_w/\text{min}$  เป็น  $3.19 \text{ g}_w/\text{min}$  เนื่องจากอากาศที่อุณหภูมิสูงกว่าจะมีค่าความสามารถดูดซับปริมาณความชื้นเพิ่มมากขึ้น สังเกตจากค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจะมีค่าลดลง ซึ่งส่งผลให้อากาศที่อุณหภูมิสูงกว่าจะมีไอน้ำในอากาศมากกว่าและทำให้ค่าความดันไอน้ำในอากาศสูงขึ้น ค่าความแตกต่างของความดันไอน้ำในอากาศและความดันไอน้ำที่ผิวสารดูดความชื้นมีค่าสูงขึ้น ส่วนอัตราการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นมีค่าสูงขึ้นจาก  $12.47 \text{ g}_w/\text{min}$  เป็น  $15.12 \text{ g}_w/\text{min}$  เนื่องจากอุณหภูมิอากาศก่อนที่เข้าสู่ชุดกึ่งล้อยูดความชื้นมีค่าสูงขึ้นจากการถ่ายเทความร้อนจากกระบวนการลดความชื้นในอากาศของสารดูดความชื้น ทำให้อัตราการลดความชื้นมีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้ความดันไอน้ำที่ผิวสารดูดความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความแตกต่างของความดันไอน้ำในอากาศและความดันไอน้ำที่ผิวสารดูดความชื้นมีค่าสูงขึ้น โดยสัมประสิทธิ์สมรรถนะของกึ่งล้อยูดความชื้น (DCOP) มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.13 เป็น 0.16 แต่ในกรณีที่อุณหภูมิอากาศที่เข้าสู่ชุดกึ่งล้อยูดความชื้นมีค่าสูงขึ้นจาก  $27.5^{\circ}\text{C}$  เป็น  $32.5^{\circ}\text{C}$  จะทำให้อัตราการลดความชื้นในอากาศมีค่าลดลงจาก  $3.19 \text{ g}_w/\text{min}$  เป็น  $0.90 \text{ g}_w/\text{min}$  เนื่องจากอุณหภูมิอากาศก่อนที่เข้าสู่ชุดกึ่งล้อยูดความชื้นมีค่าสูงขึ้นมากจากการถ่ายเทความร้อนจากกระบวนการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้น ทำให้อัตราการลดความชื้นมีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้ความดันไอน้ำที่ผิวสารดูดความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความแตกต่างของความดันไอน้ำในอากาศและความดันไอน้ำที่ผิวสารดูดความชื้นมีค่าลดลง ส่วนอัตราการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นมีค่าลดลงจาก  $15.12 \text{ g}_w/\text{min}$  เป็น  $10.69 \text{ g}_w/\text{min}$  เนื่องจากอัตราการลดความชื้นในอากาศมีค่าลดลงมาก ส่งผลให้อัตราการลดความชื้นมีอัตราส่วนมวลของความชื้นต่อมวลของสารดูดความชื้นลดลง ค่าความแตกต่างของความดันไอน้ำในอากาศและความดันไอน้ำที่ผิวสารดูดความชื้นมีค่าลดลง โดยสัมประสิทธิ์สมรรถนะของกึ่งล้อยูดความชื้นมีค่าลดลงจาก 0.16 เป็น 0.05 อัตราการลดความชื้นในอากาศและอัตราการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นแสดงดังรูปที่ 5.11



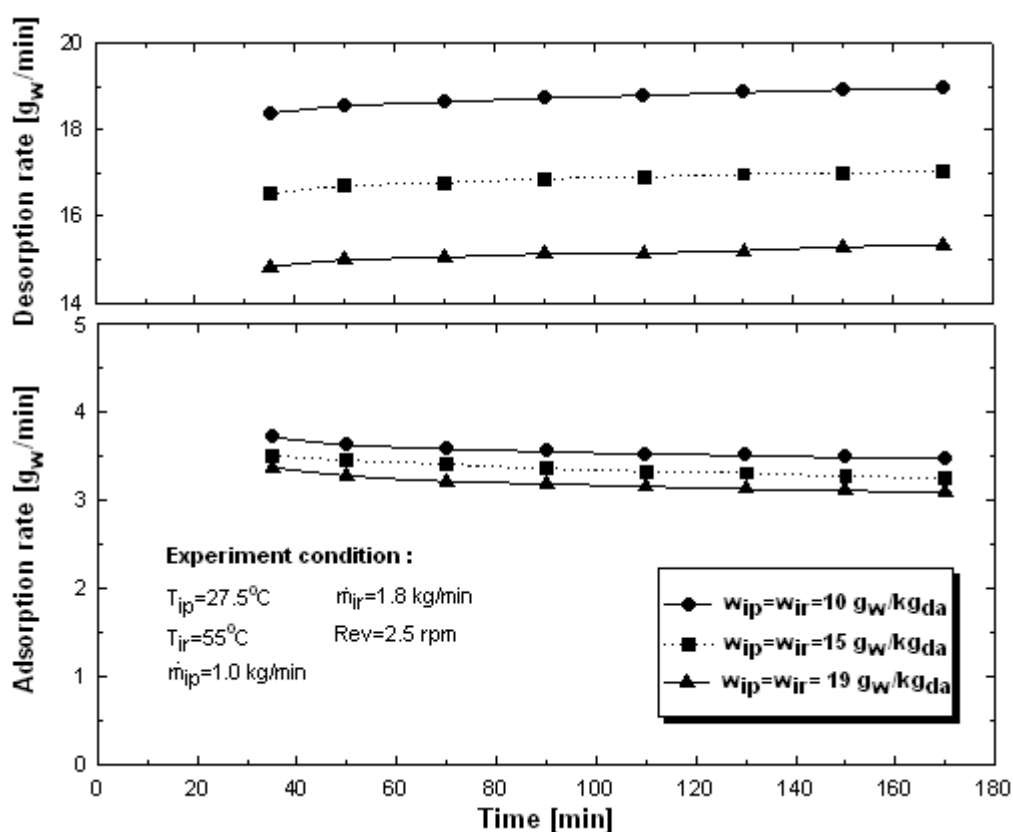


รูปที่ 5.11 อัตราการดูดและอัตราการคายความชื้นของงอกล้อดูดความชื้นที่เงื่อนไข  $T_{ip} = 24.5, 27.5, 32.5^\circ\text{C}$ ,  $w_{ip} = w_{ir} = 19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  $T_{ir} = 55^\circ\text{C}$ ,  $\dot{m}_{ip} = 1.0 \text{ kg}/\text{min}$ ,  $\dot{m}_{ir} = 1.8 \text{ kg}/\text{min}$ ,  $\text{Rev} = 2.5 \text{ rpm}$

### 5.3.2 ผลการศึกษาผลของอัตราส่วนความชื้นอากาศก่อนเข้าสู่ชุดงอกล้อดูดความชื้น

การศึกษาผลของอัตราส่วนความชื้นอากาศก่อนเข้าสู่ชุดงอกล้อดูดความชื้น โดยการควบคุมอัตราส่วนความชื้นอากาศก่อนเข้าสู่ชุดงอกล้อดูดความชื้นระหว่าง  $10\text{--}19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$  ที่อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าสู่ชุดงอกล้อดูดความชื้น  $27.5^\circ\text{C}$  อุณหภูมิอากาศในการคายความชื้น  $55^\circ\text{C}$  อัตราการไหลอากาศ  $1.0 \text{ kg}/\text{min}$  อัตราการไหลอากาศในการคายความชื้น  $1.8 \text{ kg}/\text{min}$  และความเร็วของงอกล้อดูดความชื้น  $2.5 \text{ rpm}$  ผลการศึกษาพบว่า อัตราการลดความชื้นในอากาศของสารดูดความชื้นจะมีค่าลดลงอย่างช้าๆเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งในเวลาเดียวกันพบว่าอัตราการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จากผลการทดลองเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นอากาศก่อนเข้าสู่ชุดงอกล้อดูดความชื้นพบว่า เมื่ออัตราส่วนความชื้นอากาศก่อนเข้าสู่ชุดงอกล้อดูดความชื้นมีค่าสูงขึ้นจาก  $10 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$  เป็น  $15 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$  และ  $19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$  จะทำให้อัตราการลดความชื้นในอากาศมีค่าลดลงจาก  $3.56 \text{ g}_w/\text{min}$  เป็น  $3.38 \text{ g}_w/\text{min}$  และ  $3.19 \text{ g}_w/\text{min}$  ตามลำดับ เนื่องจากอัตราการคายความชื้นออก

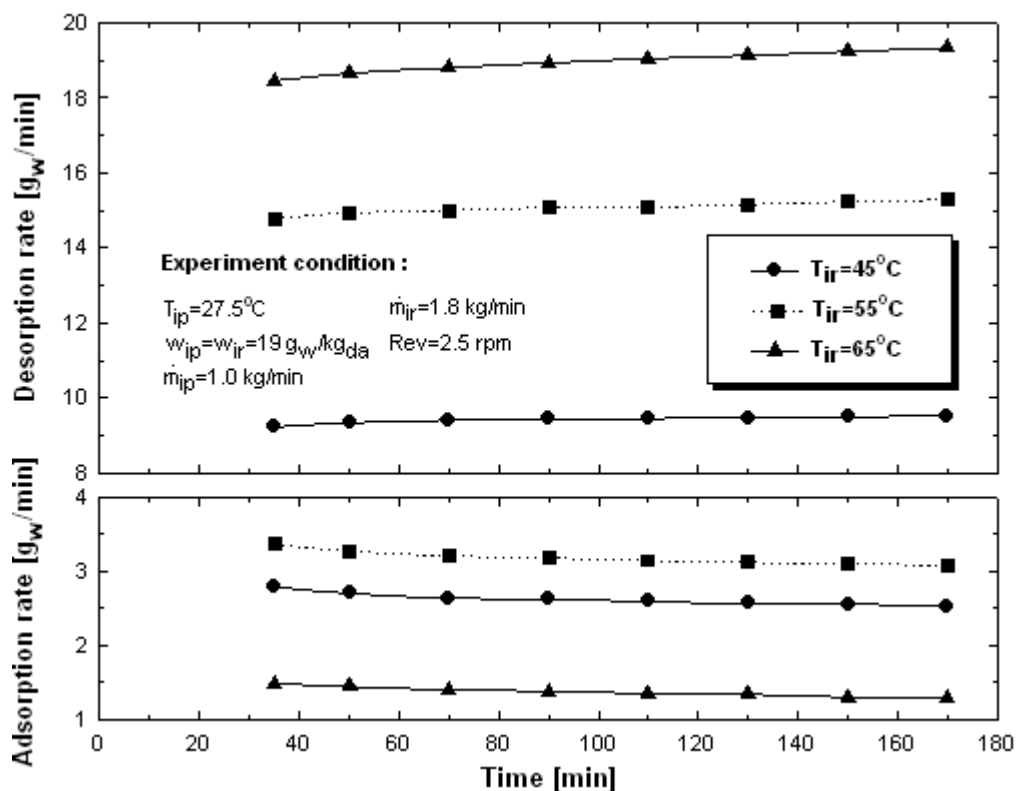
จากสารดูดความชื้นมีค่าลดลงจาก 18.72 g<sub>w</sub>/min เป็น 16.87 g<sub>w</sub>/min และ 15.12 g<sub>w</sub>/min ตามลำดับ ส่งผลให้สารดูดความชื้นมีอัตราส่วนมวลของความชื้นต่อมวลของสารดูดความชื้นเพิ่มขึ้น ค่าความแตกต่างของความดันไอน้ำในอากาศและความดันไอน้ำที่ผิวสารดูดความชื้นมีค่าลดลง ส่วนอัตราการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นมีค่าลดลง เนื่องจากอากาศที่อัตราส่วนความชื้นสูงกว่าจะมีไอน้ำในอากาศมากกว่าและทำให้ค่าความดันไอน้ำในอากาศสูงขึ้น ค่าความแตกต่างของความดันไอน้ำในอากาศและความดันไอน้ำที่ผิวสารดูดความชื้นมีค่าลดลง โดยสัมประสิทธิ์สมรรถนะของกึ่งลวดดูดความชื้นมีค่าลดลงจาก 0.18 เป็น 0.17 และ 0.16 ตามลำดับ อัตราการลดความชื้นในอากาศและอัตราการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นแสดงดังรูปที่ 5.12



รูปที่ 5.12 อัตราการดูดและอัตราการคายความชื้นของกึ่งลวดดูดความชื้นที่เงื่อนไข  $w_{ip}=w_{ir}=10, 15, 19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ir}=55^{\circ}\text{C}$ ,  $\dot{m}_{ip}=1.0 \text{ kg/min}$ ,  $\dot{m}_{ir}=1.8 \text{ kg/min}$ ,  $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$

### 5.3.3 ผลการศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศในการคายความชื้น

การศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศในการคายความชื้น โดยการควบคุมอุณหภูมิอากาศในการคายความชื้นระหว่าง  $45-65^{\circ}\text{C}$  ที่อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกล่องลวดความชื้น  $27.5^{\circ}\text{C}$  อัตราส่วนความชื้นอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกล่องลวดความชื้น  $19 \text{ g}_w/\text{kg}_{\text{da}}$  อัตราการไหลอากาศ  $1.0 \text{ kg}/\text{min}$  อัตราการไหลอากาศในการคายความชื้น  $1.8 \text{ kg}/\text{min}$  และความเร็วของกล่องลวดความชื้น  $2.5 \text{ rpm}$  ผลการศึกษาพบว่า อัตราการลดความชื้นในอากาศของสารดูดความชื้นจะมีค่าลดลงอย่างช้าๆ เมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งในเวลาเดียวกันพบว่า อัตราการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จากผลการทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศในการคายความชื้นพบว่า เมื่ออุณหภูมิอากาศในการคายความชื้นมีค่าสูงขึ้นจาก  $45^{\circ}\text{C}$  เป็น  $55^{\circ}\text{C}$  จะทำให้อัตราการลดความชื้นในอากาศมีค่าสูงขึ้นจาก  $2.62 \text{ g}_w/\text{min}$  เป็น  $3.19 \text{ g}_w/\text{min}$  เนื่องจากอัตราการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นจาก  $9.41 \text{ g}_w/\text{min}$  เป็น  $15.12 \text{ g}_w/\text{min}$  ส่งผลให้สารดูดความชื้นมีอัตราส่วนมวลของความชื้นต่อมวลของสารดูดความชื้นลดลง ค่าความแตกต่างของความดันไอน้ำในอากาศและความดันไอน้ำที่ผิวสารดูดความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้น โดยสัมประสิทธิ์สมรรถนะของกล่องลวดความชื้นมีค่าลดลงจาก  $0.20$  เป็น  $0.16$  แต่ในกรณีที่อุณหภูมิอากาศในการคายความชื้นมีค่าสูงขึ้นจาก  $55^{\circ}\text{C}$  เป็น  $65^{\circ}\text{C}$  จะทำให้อัตราการลดความชื้นในอากาศมีค่าลดลงจาก  $3.19 \text{ g}_w/\text{min}$  เป็น  $1.37 \text{ g}_w/\text{min}$  เนื่องจากอุณหภูมิอากาศก่อนที่เข้าสู่ชุดกล่องลวดความชื้นมีค่าสูงขึ้นมากจากการถ่ายเทความร้อนจากกระบวนการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้น ทำให้สารดูดความชื้นมีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้ความดันไอน้ำที่ผิวสารดูดความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความแตกต่างของความดันไอน้ำในอากาศและความดันไอน้ำที่ผิวสารดูดความชื้นมีค่าลดลง ส่วนอัตราการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นมีค่าสูงขึ้นจาก  $15.12 \text{ g}_w/\text{min}$  เป็น  $18.95 \text{ g}_w/\text{min}$  เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศในการคายความชื้นเนื่องจากอากาศที่อุณหภูมิสูงกว่าจะถ่ายเทความร้อนให้กับสารดูดความชื้นได้มาก ทำให้สารดูดความชื้นมีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้ความดันไอน้ำที่ผิวสารดูดความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความแตกต่างของความดันไอน้ำในอากาศและความดันไอน้ำที่ผิวสารดูดความชื้นมีค่าสูงขึ้น โดยสัมประสิทธิ์สมรรถนะของกล่องลวดความชื้นมีค่าลดลงจาก  $0.16$  เป็น  $0.05$  อัตราการลดความชื้นในอากาศและอัตราการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นแสดงดังรูปที่ 5.13

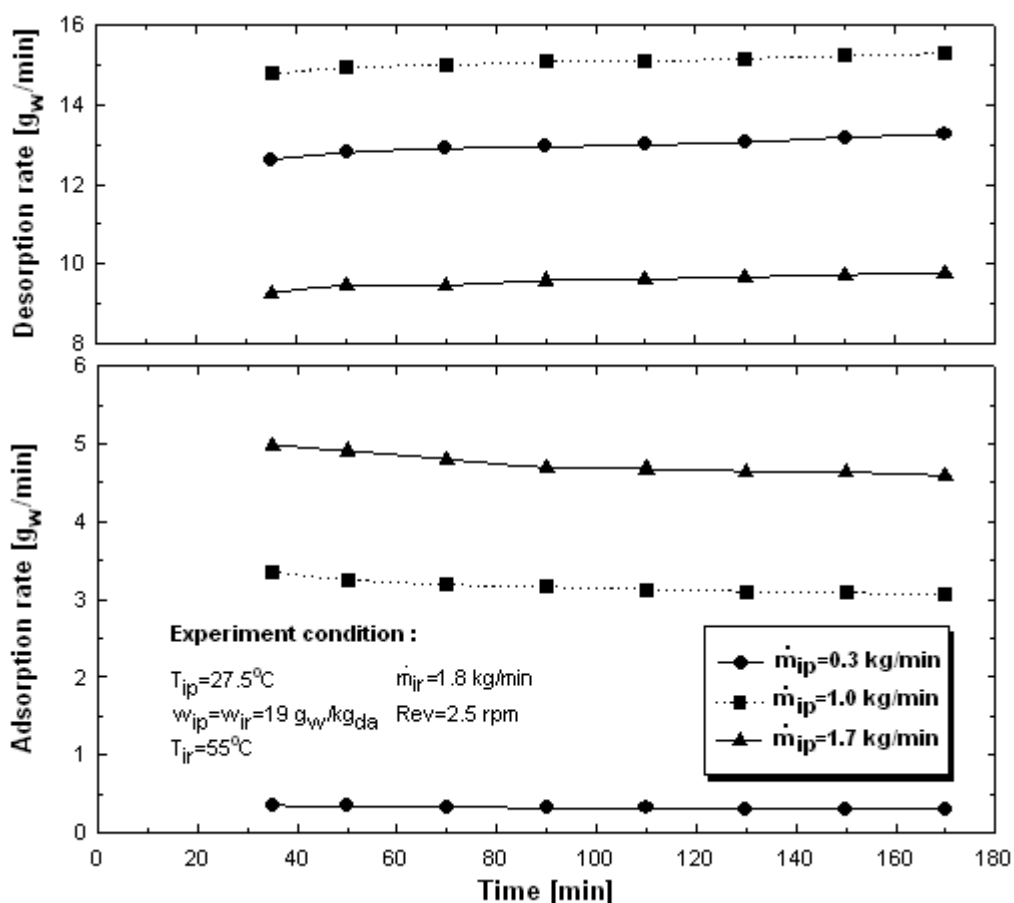


รูปที่ 5.13 อัตราการดูดและอัตราการคายความชื้นของงอกล้อดูดความชื้นที่เงื่อนไข  $T_{ir}=45, 55, 65^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ ,  $w_{ip}=w_{ir}=19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  $\dot{m}_{ip}=1.0 \text{ kg/min}$ ,  $\dot{m}_{ir}=1.8 \text{ kg/min}$ ,  $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$

#### 5.3.4 ผลการศึกษาผลของอัตราการไหลอากาศก่อนเข้าสู่ชุดงอกล้อดูดความชื้น

การศึกษาผลของอัตราการไหลอากาศก่อนเข้าสู่ชุดงอกล้อดูดความชื้น โดยควบคุมอัตราการไหลอากาศก่อนเข้าสู่ชุดงอกล้อดูดความชื้นระหว่าง  $0.3\text{-}1.7 \text{ kg/min}$  ที่อุณหภูมิอากาศ  $27.5^{\circ}\text{C}$  อัตราส่วนความชื้นอากาศ  $19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$  อุณหภูมิอากาศในการคายความชื้น  $55^{\circ}\text{C}$  อัตราการไหลอากาศในการคายความชื้น  $1.8 \text{ kg/min}$  และความเร็วของงอกล้อดูดความชื้น  $2.5 \text{ rpm}$  ผลการศึกษาพบว่า อัตราการลดความชื้นมีค่าลดลงอย่างช้าๆเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งในเวลาเดียวกันพบว่า อัตราการคายความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จากผลการทดลองเปรียบเทียบอัตราการไหลอากาศพบว่า เมื่ออัตราการไหลอากาศมีค่าสูงขึ้น ทำให้อัตราการลดความชื้นมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากอากาศที่อัตราการไหลอากาศสูงขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น รวมทั้งค่าความดันไอน้ำในอากาศสูงขึ้น ค่าความแตกต่างของความดันไอน้ำในอากาศและความดันไอน้ำที่ผิวสารดูดความชื้นมีค่าสูงขึ้น ส่วนอัตราการคายความชื้นมีค่าสูงขึ้นจาก  $12.97 \text{ g}_w/\text{min}$  เป็น  $15.12 \text{ g}_w/\text{min}$  เมื่ออัตราการไหลอากาศมีค่าสูงขึ้นจาก  $0.3 \text{ kg/min}$  เป็น  $1.0 \text{ kg/min}$

เนื่องจากอัตราการดูดความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.32  $g_w/min$  เป็น 3.19  $g_w/min$  ส่งผลให้สารดูดความชื้นมีอัตราส่วนมวลของความชื้นต่อมวลของสารดูดความชื้นเพิ่มขึ้น ค่าความแตกต่างของความดันไอน้ำในอากาศและความดันไอน้ำที่ผิวสารดูดความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้น โดยสัมประสิทธิ์สมรรถนะของกึ่งดูดความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.02 เป็น 0.16 แต่ในกรณีที่อัตราการไหลอากาศมีค่าสูงขึ้นจาก 1.0  $kg/min$  เป็น 1.7  $kg/min$  จะทำให้อัตราการดูดความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 3.19  $g_w/min$  เป็น 4.74  $g_w/min$  ส่วนอัตราการคายความชื้นมีค่าลดลงจาก 15.12  $g_w/min$  เป็น 9.56  $g_w/min$  เนื่องจากอุณหภูมิอากาศในการความชื้นมีค่าลดลงจากการถ่ายเทความร้อนจากกระบวนการดูดความชื้น ทำให้สารดูดความชื้นมีอุณหภูมิลดลง ส่งผลให้ความดันไอน้ำที่ผิวสารดูดความชื้นมีค่าลดลง ค่าความแตกต่างของความดันไอน้ำในอากาศและความดันไอน้ำที่ผิวสารดูดความชื้นมีค่าลดลง โดยสัมประสิทธิ์สมรรถนะของกึ่งดูดความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.16 เป็น 0.23 อัตราการดูดความชื้นและอัตราการคายความชื้นแสดงดังรูปที่ 5.14

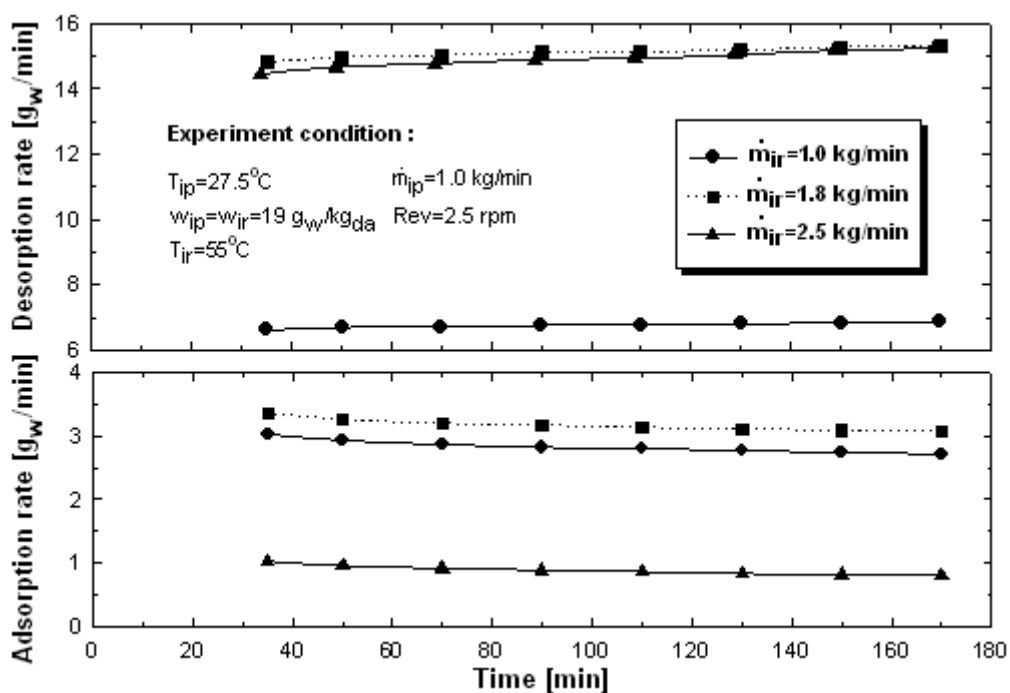


รูปที่ 5.14 อัตราการดูดและอัตราการคายความชื้นของกึ่งดูดความชื้นที่เงื่อนไข  $\dot{m}_{ip}=0.3, 1.0,$

$1.7 \text{ kg/min}$ ,  $T_{ip}=27.5^{\circ}C$ ,  $w_{ip}=w_{ir}=19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  $T_{ir}=55^{\circ}C$ ,  $\dot{m}_{ir}=1.8 \text{ kg/min}$ ,  $Rev=2.5 \text{ rpm}$

### 5.3.5 ผลการศึกษาผลของอัตราการไหลอากาศในการคายความชื้น

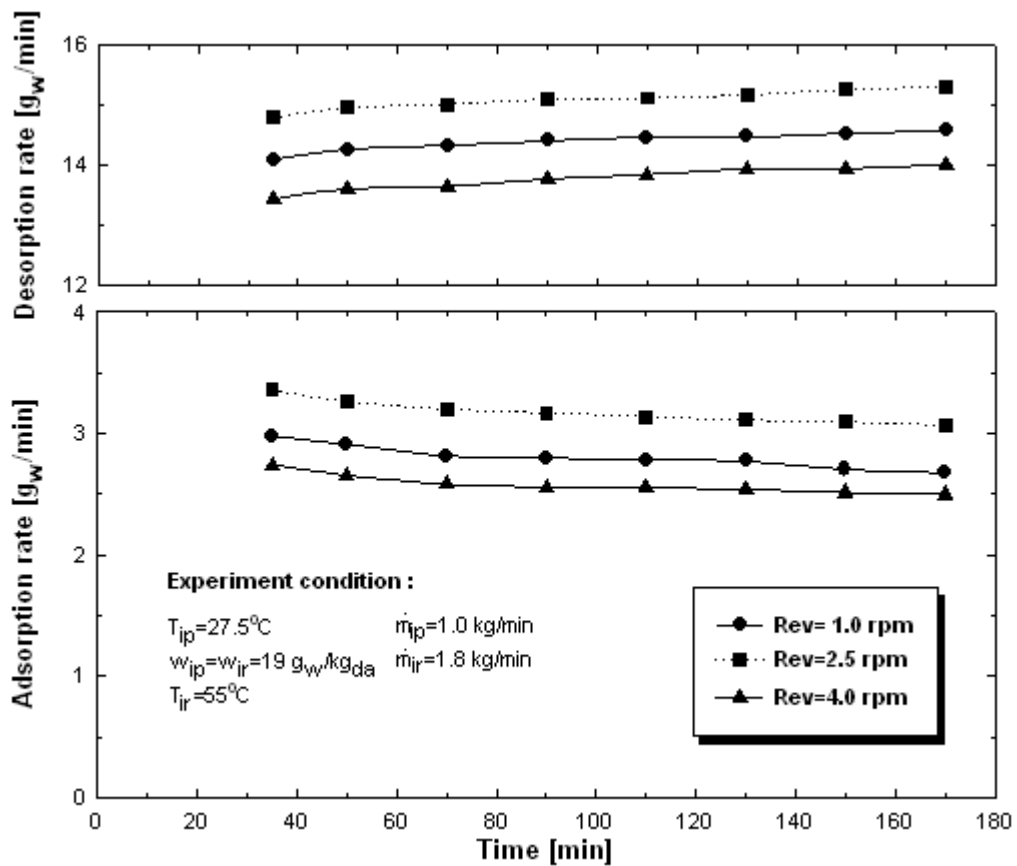
การศึกษาผลของอัตราการไหลอากาศในการคายความชื้น โดยการควบคุมระหว่าง 1.0-2.5 kg/min ที่อุณหภูมิอากาศ 27.5°C อัตราส่วนความชื้นอากาศ 19 g<sub>w</sub>/kg<sub>da</sub> อุณหภูมิอากาศการคายความชื้น 55°C อัตราการไหลอากาศ 1.0 kg/min และความเร็ววงล้อดูดความชื้น 2.5 rpm พบว่า อัตราการลดความชื้นมีค่าลดลงอย่างช้าๆ ส่วนอัตราการคายความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จากผลเปรียบเทียบอัตราการไหลอากาศการคายความชื้นพบว่า เมื่ออัตราการไหลอากาศการคายความชื้นมีค่าสูงขึ้นจาก 1.0 kg/min เป็น 1.8 kg/min ทำให้อัตราการลดความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 2.83 g<sub>w</sub>/min เป็น 3.19 g<sub>w</sub>/min เนื่องจากอัตราการคายความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 6.77 g<sub>w</sub>/min เป็น 15.12 g<sub>w</sub>/min ส่งผลให้สารดูดความชื้นมีอัตราส่วนมวลความชื้นต่อมวลสารดูดความชื้นลดลง โดยสัมประสิทธิ์สมรรถนะมีค่าลดลงจาก 0.25 เป็น 0.16 แต่ในกรณีที่อัตราการไหลอากาศในการคายความชื้นมีค่าสูงขึ้นจาก 1.8 kg/min เป็น 2.5 kg/min ทำให้อัตราการลดความชื้นลดลงจาก 3.19 g<sub>w</sub>/min เป็น 0.88 g<sub>w</sub>/min เนื่องจากอุณหภูมิอากาศมีค่าสูงขึ้น จากการถ่ายเทความร้อนจากกระบวนการคายความชื้น ส่วนอัตราการคายความชื้นมีค่าลดลงเล็กน้อยจาก 15.12 g<sub>w</sub>/min เป็น 14.91 g<sub>w</sub>/min เนื่องจากอัตราการลดความชื้นมีค่าลดลง ส่งผลให้สารดูดความชื้นมีอัตราส่วนมวลของความชื้นต่อมวลของสารดูดความชื้นลดลง โดยสัมประสิทธิ์สมรรถนะมีค่าลดลงจาก 0.16 เป็น 0.03 อัตราการลดความชื้นและอัตราการคายความชื้นแสดงดังรูปที่ 5.15



รูปที่ 5.15 อัตราการดูดและอัตราการคายความชื้นของงล้อดูดความชื้นที่เงื่อนไข  $\dot{m}_{ir}=1.0, 1.8, 2.5\text{kg/min}$ ,  $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ ,  $w_{ip}=w_{ir}=19\text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  $T_{ir}=55^{\circ}\text{C}$ ,  $\dot{m}_{ip}=1.0\text{ kg/min}$ ,  $\text{Rev}=2.5\text{ rpm}$

### 5.3.6 ผลการศึกษาผลของความเร็รรอบกงล้อคู่ความชื้น

การศึกษาผลของความเร็รรอบกงล้อคู่ความชื้น โดยการควบคุมความเร็วของกงล้อคู่ความชื้นระหว่าง 1-4 rpm ที่อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกงล้อคู่ความชื้น  $27.5^{\circ}\text{C}$  อัตราส่วนความชื้นอากาศก่อนเข้าสู่ชุดกงล้อคู่ความชื้น  $19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$  อุณหภูมิอากาศในการคายความชื้น  $55^{\circ}\text{C}$  อัตราการไหลอากาศ  $1.0 \text{ kg}/\text{min}$  และอัตราการไหลอากาศในการคายความชื้น  $1.8 \text{ kg}/\text{min}$  ผลการศึกษาพบว่า อัตราการลดความชื้นในอากาศของสารคู่ความชื้นจะมีค่าลดลงอย่างช้าๆเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งในเวลาเดียวกันพบว่า อัตราการคายความชื้นออกจากสารคู่ความชื้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จากผลการทดลองเปรียบเทียบความเร็รรอบกงล้อคู่ความชื้นพบว่า เมื่อความเร็รรอบกงล้อคู่ความชื้นมีค่าสูงขึ้นจาก 1 rpm เป็น 2.5 rpm จะทำให้อัตราการลดความชื้นในอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นจาก  $2.80 \text{ g}_w/\text{min}$  เป็น  $3.19 \text{ g}_w/\text{min}$  เนื่องจากที่ความเร็รรอบกงล้อคู่ความชื้นสูงขึ้นทำให้ระยะเวลาในการสัมผัสระหว่างสารคู่ความชื้นที่มีอัตราส่วนมวลของความชื้นต่อมวลของสารคู่ความชื้นต่ำกับอากาศเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความแตกต่างของความดันไอน้ำในอากาศและความดันไอน้ำที่ผิวสารคู่ความชื้นมีค่าสูงขึ้น ส่วนอัตราการคายความชื้นออกจากสารคู่ความชื้นมีค่าสูงขึ้นจาก  $14.40 \text{ g}_w/\text{min}$  เป็น  $15.12 \text{ g}_w/\text{min}$  เนื่องจากระยะเวลาในการสัมผัสระหว่างสารคู่ความชื้นที่มีอัตราส่วนมวลของความชื้นต่อมวลของสารคู่ความชื้นสูงกับอากาศเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความแตกต่างของความดันไอน้ำในอากาศและความดันไอน้ำที่ผิวสารคู่ความชื้นมีค่าสูงขึ้น โดยสัมประสิทธิ์สมรรถนะของกงล้อคู่ความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.14 เป็น 0.16 แต่ในกรณีที่ความเร็รรอบกงล้อคู่ความชื้นมีค่าสูงขึ้นจาก 2.5 rpm เป็น 4.0 rpm จะทำให้อัตราการลดความชื้นในอากาศมีค่าลดลงจาก  $3.20 \text{ g}_w/\text{min}$  เป็น  $2.58 \text{ g}_w/\text{min}$  เนื่องจากอุณหภูมิอากาศก่อนที่เข้าสู่ชุดกงล้อคู่ความชื้นมีค่าสูงขึ้นจากการถ่ายเทความร้อนจากกระบวนการคายความชื้นออกจากสารคู่ความชื้น ทำให้สารคู่ความชื้นมีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้ความดันไอน้ำที่ผิวสารคู่ความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความแตกต่างของความดันไอน้ำในอากาศและความดันไอน้ำที่ผิวสารคู่ความชื้นมีค่าลดลง ส่วนอัตราการคายความชื้นออกจากสารคู่ความชื้นมีค่าลดลงจาก  $15.12 \text{ g}_w/\text{min}$  เป็น  $13.78 \text{ g}_w/\text{min}$  เนื่องจากอัตราการลดความชื้นในอากาศมีค่าลดลง ส่งผลให้สารคู่ความชื้นมีอัตราส่วนมวลของความชื้นต่อมวลของสารคู่ความชื้นลดลง ค่าความแตกต่างของความดันไอน้ำในอากาศและความดันไอน้ำที่ผิวสารคู่ความชื้นมีค่าลดลง โดยสัมประสิทธิ์สมรรถนะของกงล้อคู่ความชื้นมีค่าลดลงจาก 0.16 เป็น 0.13 อัตราการลดความชื้นและอัตราการคายความชื้นแสดงดังรูปที่ 5.16

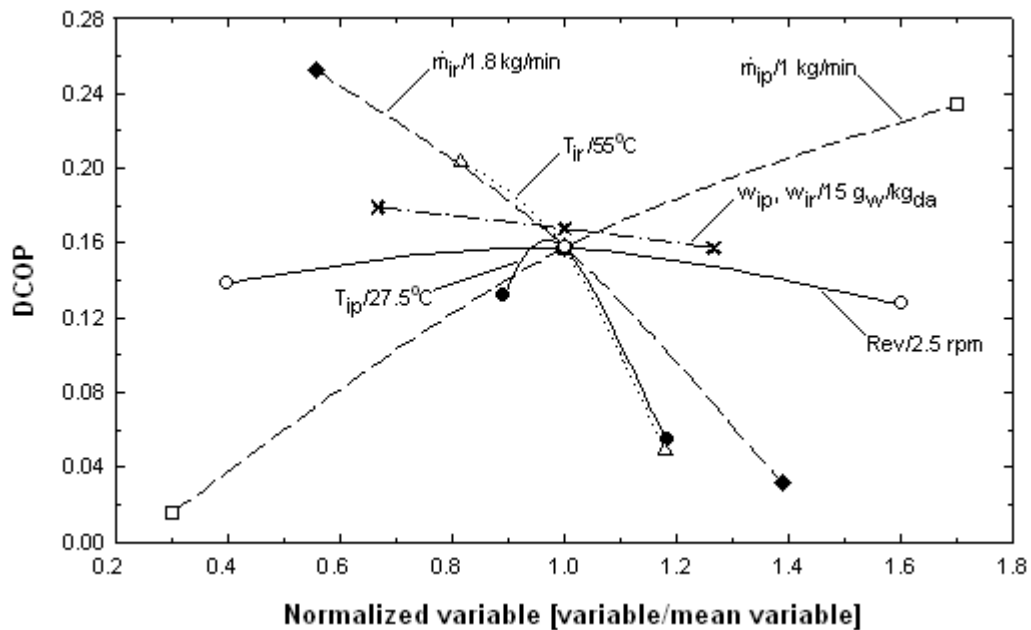


รูปที่ 5.16 อัตราการดูดและอัตราการคายความชื้นของงกล้อดูดความชื้นที่เงื่อนไข Rev=1.0, 2.5, 4.0 rpm,  $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ ,  $w_{ip}=w_{ir}=19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  $T_{ir}=55^{\circ}\text{C}$ ,  $\dot{m}_{ip}=1.0 \text{ kg/min}$ ,  $\dot{m}_{ir}=1.8 \text{ kg/min}$

จากผลการทดสอบชุดงกล้อดูดความชื้นที่ตัวแปรต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ อัตราส่วนความชื้นอากาศ อุณหภูมิอากาศในการคายความชื้น อัตราการไหลอากาศ อัตราการไหลอากาศในการคายความชื้น และความเร็วรอบงกล้อดูดความชื้น พบว่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของงกล้อดูดความชื้นมีค่าต่ำสุด 0.02 ที่อุณหภูมิอากาศ  $27.5^{\circ}\text{C}$  อัตราส่วนความชื้นอากาศ  $19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$  อุณหภูมิอากาศในการคายความชื้น  $55^{\circ}\text{C}$  อัตราการไหลอากาศ  $0.3 \text{ kg/min}$  อัตราการไหลอากาศในการคายความชื้น  $1.8 \text{ kg/min}$  ความเร็วของงกล้อดูดความชื้น  $2.5 \text{ rpm}$  และสัมประสิทธิ์สมรรถนะของงกล้อดูดความชื้นมีค่าสูงสุด 0.25 ที่อุณหภูมิอากาศ  $27.5^{\circ}\text{C}$  อัตราส่วนความชื้นอากาศ  $19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$  อุณหภูมิอากาศในการคายความชื้น  $55^{\circ}\text{C}$  อัตราการไหลอากาศ  $1.0 \text{ kg/min}$  อัตราการไหลอากาศในการคายความชื้น  $1.0 \text{ kg/min}$  ความเร็วของงกล้อดูดความชื้น  $2.5 \text{ rpm}$  ผลของตัวแปรต่างๆ ต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะของงกล้อดูดความชื้น ที่อุณหภูมิอากาศ  $27.5^{\circ}\text{C}$  อัตราส่วนความชื้นอากาศ  $19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$  อุณหภูมิอากาศในการคายความชื้น  $55^{\circ}\text{C}$  อัตราการไหลอากาศ  $1.0 \text{ kg/min}$  อัตรา



การไหลอากาศในกระบวนการคายความชื้น 1.8 kg/min และความเร็วรอบของกังล้อดูดความชื้น 2.5 rpm แสดงดังรูปที่ 5.17

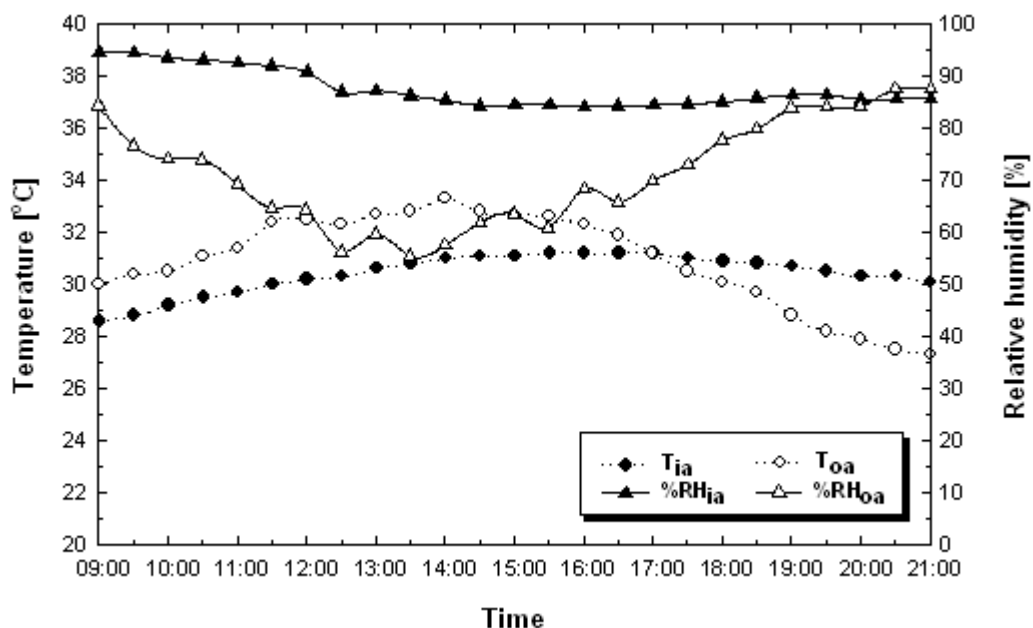


รูปที่ 5.17 ผลของตัวแปรต่างๆต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะของกังล้อดูดความชื้น

#### 5.4 ผลการทดสอบระบบปรับอากาศร่วมกับระบบดูดความชื้น

##### 5.4.1 ผลการศึกษาสภาวะอากาศภายในและภายนอกห้องทดลอง

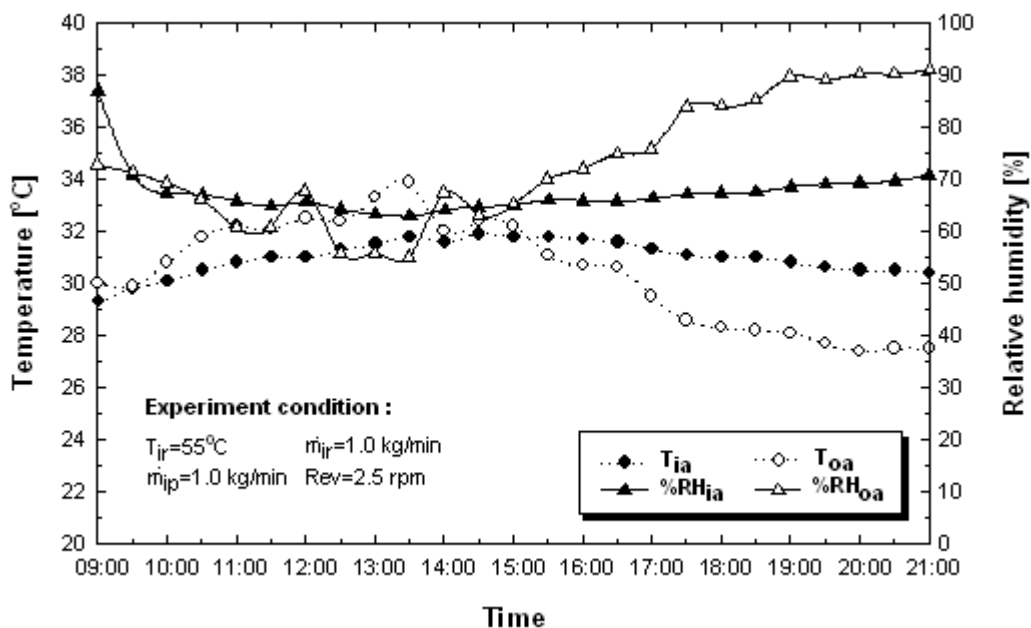
การศึกษาสภาวะอากาศภายในและภายนอกห้องทดลอง โดยการติดตั้งชุดอุปกรณ์ และเครื่องมือตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ทั้งภายในและภายนอกห้องทดลอง ทำการเก็บข้อมูลต่างๆ ช่วงเวลา 9.00 น. ถึง 21.00 น. ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกห้องทดลองอยู่ในช่วง 27.3-33.3°C และ 55.4-87.5%RH ตามลำดับ ส่วนอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องทดลองอยู่ในช่วง 28.6-31.2°C และ 84.1-94.5%RH แสดงดังรูปที่ 5.18



รูปที่ 5.18 แสดงผลการศึกษาสภาวะอากาศภายในและภายนอกห้องทดลอง  
ช่วงเวลา 9.00 น. ถึง 21.00 น. ของวันที่ 18 พฤษภาคม 2552

#### 5.4.2 ผลการศึกษาสภาวะอากาศภายในห้องทดลองร่วมกับระบบดูดความชื้น

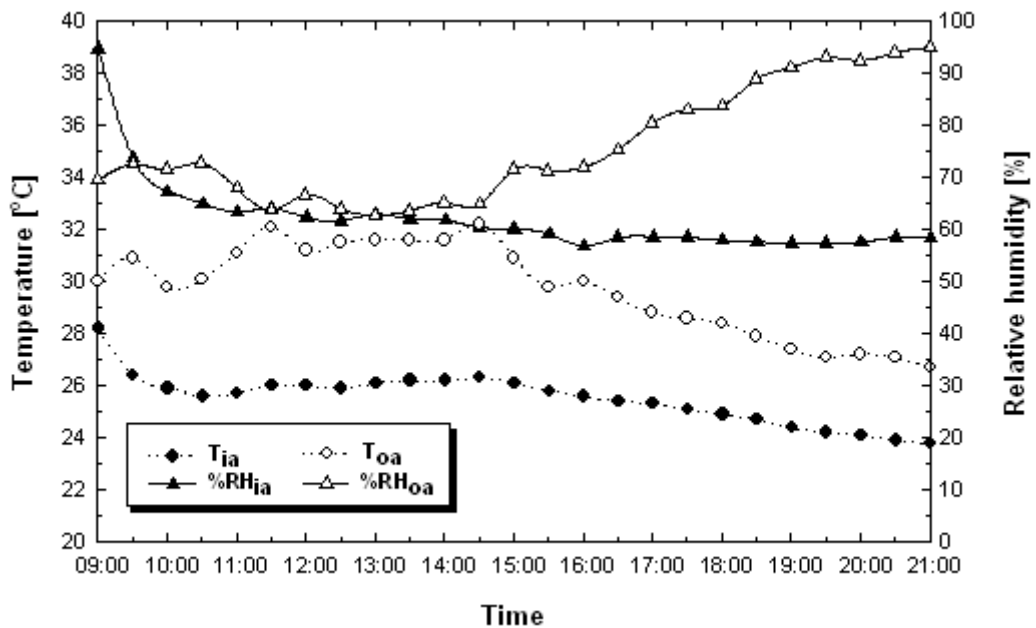
การศึกษาสภาวะอากาศภายในห้องทดลองร่วมกับระบบดูดความชื้น โดยการติดตั้งชุดอุปกรณ์และเครื่องมือตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ทั้งภายในและภายนอกห้องทดลอง ทำการเก็บข้อมูลต่างๆ ช่วงเวลา 9.00 น. ถึง 21.00 น. ทำการนำอากาศจากภายนอกเข้าสู่ชุดกล้อดูดความชื้นก่อนเข้าห้องทดลอง ที่อุณหภูมิอากาศในการคายความชื้น 55°C อัตราการไหลอากาศ 1.0 kg/min อัตราการไหลอากาศในการคายความชื้น 1.0 kg/min และความเร็วรอบของกล้อดูดความชื้น 2.5 rpm ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกห้องทดลองอยู่ในช่วง 27.4-33.9°C และ 55.1-91.0%RH ตามลำดับ ส่วนอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องทดลองอยู่ในช่วง 29.3-31.9°C และ 62.9-86.9%RH แสดงดังรูปที่ 5.19



รูปที่ 5.19 แสดงผลการศึกษาสภาวะอากาศภายในห้องทดลองร่วมกับระบบดูดความชื้น  
 ช่วงเวลา 9.00 น. ถึง 21.00 น. ของวันที่ 15 พฤษภาคม 2552

#### 5.4.3 ผลการศึกษาสภาวะอากาศภายในห้องทดลองร่วมกับระบบปรับอากาศ

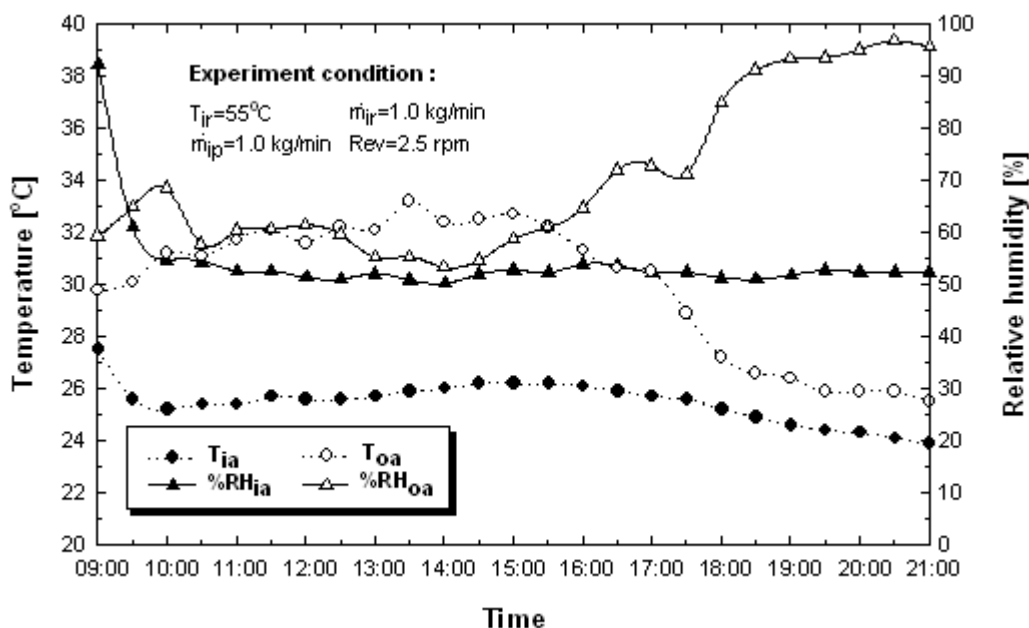
การศึกษาสภาวะอากาศภายในห้องทดลองร่วมกับระบบปรับอากาศโดยการติดตั้งชุดอุปกรณ์และเครื่องมือตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ทั้งภายในและภายนอกห้องทดลอง ทำการเก็บข้อมูลต่างๆ ช่วงเวลา 9.00 น. ถึง 21.00 น. ทำการควบคุมอุณหภูมิของอากาศภายในห้องทดลองที่  $25^{\circ}\text{C}$  ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกห้องทดลองอยู่ในช่วง  $26.7\text{-}32.2^{\circ}\text{C}$  และ  $62.8\text{-}95.0\%RH$  ตามลำดับ ส่วนอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องทดลองอยู่ในช่วง  $23.8\text{-}28.2^{\circ}\text{C}$  และ  $56.8\text{-}94.7\%RH$  โดยภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมีค่าประมาณ  $3.66 \text{ kW}$  สภาวะอากาศภายในห้องทดลองแสดงดังรูปที่ 5.20



รูปที่ 5.20 แสดงผลการศึกษาสภาวะอากาศภายในห้องทดลองร่วมกับระบบปรับอากาศ  
ช่วงเวลา 9.00 น. ถึง 21.00 น. ของวันที่ 6 เมษายน 2552

#### 5.4.4 ผลการศึกษาสภาวะอากาศภายในห้องทดลองร่วมกับระบบปรับอากาศและระบบดูดความชื้น

การศึกษาสภาวะอากาศภายในห้องทดลองร่วมกับระบบปรับอากาศและระบบดูดความชื้น โดยการติดตั้งชุดอุปกรณ์และเครื่องมือตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศทั้งภายในและภายนอกห้องทดลอง ทำการเก็บข้อมูลต่างๆ ช่วงเวลา 9.00 น. ถึง 21.00 น. ทำการนำอากาศจากภายนอกเข้าสู่ชุดกล้อดูดความชื้นก่อนเข้าห้องทดลอง ที่อุณหภูมิอากาศในการคายความชื้น 55°C อัตราการไหลอากาศ 1.0 kg/min อัตราการไหลอากาศในการคายความชื้น 1.0 kg/min ความเร็วของกล้อดูดความชื้น 2.5 rpm และควบคุมอุณหภูมิของอากาศภายในห้องทดลองที่ 25°C ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกห้องทดลองอยู่ในช่วง 25.5-33.2°C และ 53.3-96.7%RH ตามลำดับ ส่วนอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องทดลองอยู่ในช่วง 23.9-27.5°C และ 50.2-92.2%RH โดยการกระทำการทำงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมีค่าประมาณ 2.96 kW สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็นโดยสารดูดความชื้น ( $COP_p$ ) 6.17 สภาวะอากาศภายในห้องทดลองแสดงดังรูปที่ 5.21



รูปที่ 5.21 แสดงผลการศึกษาสภาวะอากาศภายในห้องทดลองร่วมกับระบบปรับอากาศ และระบบดูดความชื้นช่วงเวลา 9.00 น. ถึง 21.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2552

จากผลการทดสอบระบบปรับอากาศร่วมกับระบบดูดความชื้นช่วงเวลา 9.00 น. ถึง 21.00 น. พบว่า สภาวะอากาศภายนอกและภายในห้องทดลองมีค่าเฉลี่ย  $30.3^{\circ}\text{C}$  72.7%RH และ  $30.4^{\circ}\text{C}$  87.5%RH ตามลำดับ โดยกรณีติดตั้งระบบลดความชื้นด้วยกองล้อดูดความชื้น พบว่า สภาวะอากาศภายในห้องทดลองมีค่าเฉลี่ย  $31.1^{\circ}\text{C}$  66.6%RH ซึ่งกรณีติดตั้งระบบปรับอากาศ พบว่า สภาวะอากาศภายในห้องทดลองมีค่าเฉลี่ย  $25.4^{\circ}\text{C}$  60.8%RH และกรณีติดตั้งระบบปรับอากาศร่วมกับระบบดูดความชื้น พบว่า สภาวะอากาศภายในห้องทดลองมีค่าเฉลี่ย  $25.4^{\circ}\text{C}$  52.7%RH โดยระบบดูดความชื้นสามารถลดความชื้นได้  $1.7 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$  (14%) และภาระการทำคามเย็นของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนลดลง  $0.71 \text{ kW}$  หรือ สามารถลดพลังงานในการทำงานของระบบปรับอากาศได้ประมาณร้อยละ 19.26 ซึ่งสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ 3,302 บาทต่อปี ที่เวลาทำงาน 12 ชั่วโมงต่อวัน วันทำงาน 300 วันต่อปี ค่าไฟฟ้า 3.9 บาท/kWh และ ค่าพลังงานไฟฟ้าเป็น 3 เท่าของพลังงานความร้อน (Dhar and Singh, 2001)

## 5.5 สรุป

จากผลการศึกษการประยุกต์ใช้สารดูดความชื้นเพื่อลดความชื้นของอากาศก่อนเข้าสู่ระบบปรับอากาศของอาคาร พบว่า สารดูดความชื้นมีความสามารถในการลดความชื้นสูงสุด  $4.16 \text{ g}_w/\text{min}$  และมีความสามารถคายความชื้นสูงสุด  $26.01 \text{ g}_w/\text{min}$  โดยสัมประสิทธิ์สมรรถนะของกึ่งดูดความชื้นมีค่า  $0.25$  ที่อุณหภูมิอากาศ  $27.5^\circ\text{C}$  อัตราส่วนความชื้นอากาศ  $19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$  อุณหภูมิอากาศในการคายความชื้น  $55^\circ\text{C}$  อัตราการไหลอากาศ  $1.0 \text{ kg}/\text{min}$  อัตราการไหลอากาศในการคายความชื้น  $1.0 \text{ kg}/\text{min}$  และความเร็วกึ่งดูดความชื้น  $2.5 \text{ rpm}$  ซึ่งระบบดูดความชื้นสามารถลดความชื้นได้  $1.7 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$  (14%) และภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนลดลงประมาณร้อยละ 19.26

## บทที่ 6

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 6.1 บทสรุป

การศึกษา และวิจัยการประยุกต์ใช้สารดูดความชื้นเพื่อลดความชื้นของอากาศก่อนเข้าสู่ระบบปรับอากาศของอาคาร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการลดใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ โดยการลดภาระความร้อนแฝงที่เกิดจากความชื้นในอากาศ ซึ่งได้ทำการออกแบบและทดสอบระบบทำความเย็นด้วยสารดูดความชื้น และมีการจำลองระบบด้วยโปรแกรม Energy Plus version 1.4 การทดลองได้ใช้กังล้อดูดความชื้นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 m ความหนา 0.2 m และปริมาณซิลิกาเจล 15 kg โดยมีอัตราส่วนระหว่างช่องว่างอากาศต่อปริมาตรกังล้อดูดความชื้นประมาณ 0.3 และมีสัดส่วนระหว่างพื้นที่ลดความชื้นในอากาศต่อพื้นที่คายความชื้นออกจากสารดูดความชื้นเป็น 1:1 (0.01 m<sup>2</sup>) สรุปได้ว่า สารดูดความชื้นมีความสามารถลดความชื้นสูงสุด 4.16 g<sub>w</sub>/min และมีความสามารถคายความชื้นสูงสุด 26.01 g<sub>w</sub>/min โดยสัมประสิทธิ์สมรรถนะของกังล้อดูดความชื้นมีค่า 0.25 ที่อุณหภูมิอากาศ 27.5°C อัตราส่วนความชื้นอากาศ 19 g<sub>w</sub>/kg<sub>da</sub> อุณหภูมิอากาศในการคายความชื้น 55°C อัตราการไหลอากาศ 1.0 kg/min อัตราการไหลอากาศในการคายความชื้น 1.0 kg/min ความเร็วของกังล้อดูดความชื้น 2.5 rpm ซึ่งระบบดูดความชื้นสามารถลดความชื้นได้ 1.7 g<sub>w</sub>/kg<sub>da</sub> (14%) และภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนลดลงร้อยละ 19.26

#### 6.2 ข้อเสนอแนะ

1. จากผลการทดลองพบว่า กรณีที่ลดความชื้นในอากาศโดยไม่มีการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้น อัตราการลดความชื้นในอากาศจะมีค่าสูงในช่วงแรกของการทดลอง และจะมีค่าลดลงเมื่อเวลาผ่านไป แสดงดังรูปที่ 5.1 5.2 5.3 และ 5.4 ซึ่งในกรณีที่มีการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้น อัตราการลดความชื้นในอากาศจะมีน้อยกว่าในช่วงแรก แสดงดังรูปที่ 5.11 5.12 5.13 5.14 5.15 และ 5.16 ซึ่งอาจเกิดจากการรั่วไหลของอากาศ หรือเกิดจากการถ่ายเทความร้อนระหว่างกระบวนการลดความชื้นและกระบวนการคายความชื้น ดังนั้น ควรป้องกันการรั่วไหลของอากาศโดยการใช้แผ่นยางทนไฟหรือวัสดุอื่น ๆ ในการอุดรอยรั่วบริเวณช่วงต่อระหว่าง 2

กระบวนการ และป้องกันการถ่ายเทความร้อน โดยการหุ้มฉนวนกันความร้อนที่สอปเปอร์ของชุดง  
ล้อดูดความชื้น

2. จากการศึกษาตัวแปรต่างที่ส่งผลต่อการทำงานของระบบลดความชื้นด้วยสาร  
ดูดความชื้นแบบใช้กึ่งล้อดูดความชื้น ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นอากาศ อัตราการไหลอากาศ  
อุณหภูมิอากาศในการคายความชื้น อัตราการไหลอากาศในการคายความชื้น และความเร็วรอบของ  
กึ่งล้อดูดความชื้น พบว่า อุณหภูมิของอากาศและอัตราการไหลของอากาศ เป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อ  
อัตราการลดความชื้นในอากาศ อัตราการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้น และค่าสัมประสิทธิ์  
สมรรถนะของกึ่งล้อดูดความชื้นมากกว่าตัวแปรอื่นๆ แสดงดังรูปที่ 5.5 5.10 และ 5.17 ดังนั้น หากมี  
การศึกษาหรือประยุกต์ใช้วิธีการลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้น จึงควรกำหนดค่าตัวแปรที่ใช้ใน  
การทดลองให้เหมาะสมกับสภาวะอากาศและการใช้งาน

3. จากผลการทดสอบระบบปรับอากาศร่วมกับระบบลดความชื้นช่วงเวลา 9.00 น.  
ถึง 21.00 น. พบว่า ที่สภาวะอากาศภายนอกมีค่าเฉลี่ย  $30.3^{\circ}\text{C}$  72.7% แสดงดังรูปที่ 5.21 โดยระบบ  
ดูดความชื้นสามารถลดความชื้นได้  $1.7 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$  (14%) ภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ  
แบบแยกส่วนลดลงประมาณร้อยละ 19.26 ซึ่งสังเกตได้ว่าหลังจากเวลา 19:00 น. ความชื้นในอากาศ  
ภายนอกมีค่าสูงถึง 90%RH ทำให้อัตราส่วนภาระความร้อนแฝงสูงขึ้น ดังนั้น หากมีการลดความชื้น  
ของอากาศในเวลากลางคืนด้วย จะทำให้ภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศลดลงได้มาก  
ขึ้น และในกรณีที่สามารถหาแหล่งพลังงานที่ใช้ในการคายความชื้นที่มีราคาต่ำหรือได้เปล่า เช่น  
การใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ หรือความร้อนทิ้งจากคอมเพรสเซอร์ จะทำให้ระบบมีความคุ้มค่า  
ทางด้านเศรษฐศาสตร์มากยิ่งขึ้น

4. จากการศึกษาในครั้งนี้ ได้ใช้สารดูดความชื้นชนิดของแข็ง คือ ซิลิกาเจล ซึ่งม  
ีความสามารถในการลดความชื้นในอากาศได้ดีในช่วงการใช้งานที่สภาวะอากาศ  $20-90^{\circ}\text{C}$  ความชื้น  
สัมพัทธ์ 40-90% ดังนั้นหากต้องการนำไปใช้ในสภาวะอื่นๆ ควรมีการศึกษาสารดูดความชื้นชนิด  
อื่นๆเพิ่มเติม เช่น ชนิดเพาเวอร์ทรายที่มีความสามารถในการดูดความชื้นประมาณ 50% ของ  
น้ำหนัก หรือ ชนิดโมเลกุลเวลาซีฟที่มีคุณสมบัติในการดูดความชื้นที่ดีภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ  
ประมาณ 10-30%

5. จากการสืบค้นเอกสารเพิ่มเติมทางด้านสารดูดความชื้นชนิดของเหลว เช่น  
ลิเทียมคลอไรด์ โดยอาศัยการทำงานของสารละลายของสารดูดความชื้นในการดึงความชื้นออกจาก  
อากาศ ซึ่งระบบจะประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนดูดความชื้น ส่วนคายความชื้น และส่วนปั๊ม  
ความร้อน โดยมีการใช้พลังงานหลักที่ส่วนปั๊มความร้อน จึงทำให้มีการใช้พลังงานที่น้อย ซึ่งเป็น  
ระบบลดความชื้นของอากาศที่ควรมีการศึกษาเพิ่มเติม



## บรรณานุกรม

- กฤษ ตราฐ. 2544. การปรับปรุงระบบทำความเย็นแบบระเหยโดยการเพิ่มกระบวนการลดความชื้น. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- กำพล ประทีปชัยกูร. 2543. *การทำความเย็นและการปรับอากาศ*. สงขลา: คณะวิศวกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- จุฑามาส ภักดิ์บริรักษ์. 2546. การวิเคราะห์สมรรถนะปั๊มความร้อนทำงานร่วมกับสารดูดความชื้นชนิดแข็งในกระบวนการอบแห้ง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. 2535. *เทอร์โมไดนามิกส์ II*. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- บุญเรือง มานะสุรการ. 2542. *เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม*. สงขลา: คณะวิศวกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พิสุทธิ์ กลิ่นขจร. 2543. การควบคุมความชื้นของอากาศโดยสารดูดความชื้นของแข็ง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีอุณหภาพ คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ยุทธพงษ์ ภู่ทอง. 2545. การลดความชื้นและความร้อนแฝงที่คอยล์เย็น โดยใช้สารดูดความชื้น. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีอุณหภาพ คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- รัชนีวรรณ เจริญวัฒน์. 2544. การศึกษาความเป็นไปได้ในการลดความชื้นในอากาศในระบบปรับอากาศเขตร้อนสำหรับประเทศไทย. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- วันพุทธ แซ่ฉั่ว. 2544. การศึกษาความเป็นไปได้ของระบบปรับอากาศในประเทศไทยโดยใช้สารดูดความชื้น. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สถาพร ทองวิก. 2543. การลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศด้วยสารดูดความชื้นชนิดแข็ง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- เสนีย์ ใจอ่อน. 2543. การปรับปรุงสภาวะภายในห้องที่มีการระบายอากาศด้วยปล่องระบายอากาศ โดยใช้สารดูดความชื้นเชิงอุตสาหกรรม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- อิทธิศักดิ์ คล้ายมงคล. 2545. การปรับอากาศด้วยสารดูดความชื้นร่วมกับเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางอ้อม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยี อุณหภาพ คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- Ahmed, M.H., Kattab, N.M. and Fouad, M., 2005, "Evaluation Optimization Solar Desiccant Wheel Performance," *Renewable Energy*, Vol. 30, pp. 305-325.
- ANSI/ASHRAE Standard 55-1992. 1992. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta: ASHRAE, Inc.
- ANSI/ASHRAE Standard 62-1999. 1999. *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. Atlanta: ASHRAE, Inc.
- ASHRAE Handbook. 1989. *Fundamentals* Volume. Atlanta: ASHRAE, Inc.
- Burns, P.R., Mitchell, J.W. and Beckman W.A., 1985, "Hybrid Desiccant Cooling Systems in Super Market Applications," *ASHRAE Trans* 91 (Part-1B), pp. 457-468.
- Carrier Corporation. 1965. *Handbook of Air Conditioning System Design*. New York: McGraw-Hill.
- Dhar, P.L. and Singh, S.K., 2001, "Studies on Solid Desiccant Based Hybrid Air-Conditioning Systems," *Applied Thermal Engineering*, Vol. 21, pp 119-134.
- Douglas Kosar. 1990. Desiccant Dryers. *Handbook of HVAC Design*, Nils R. Grimm and Robert C. Rosaler. pp. 39.1-39.25. America: McGraw-Hill.
- Wurtz, E., Maalouf, C., Mora, L., Allard, F., 2005, "Parametric Analysis of a Solar Desiccant Cooling System Using the SIMSPARK Environment," The 9<sup>th</sup> International IBPSA Conference, August 15-18, 2005, Montréal, Canada.
- Henning, H.M., Erpenbeck, T. and Hindenberg, C., 2001, "The Potential of Solar Energy Use in Desiccant Cooling Cycles," *International Journal of Refrigeration*, Vol. 24, pp 220-229.

### บรรณานุกรม (ต่อ)

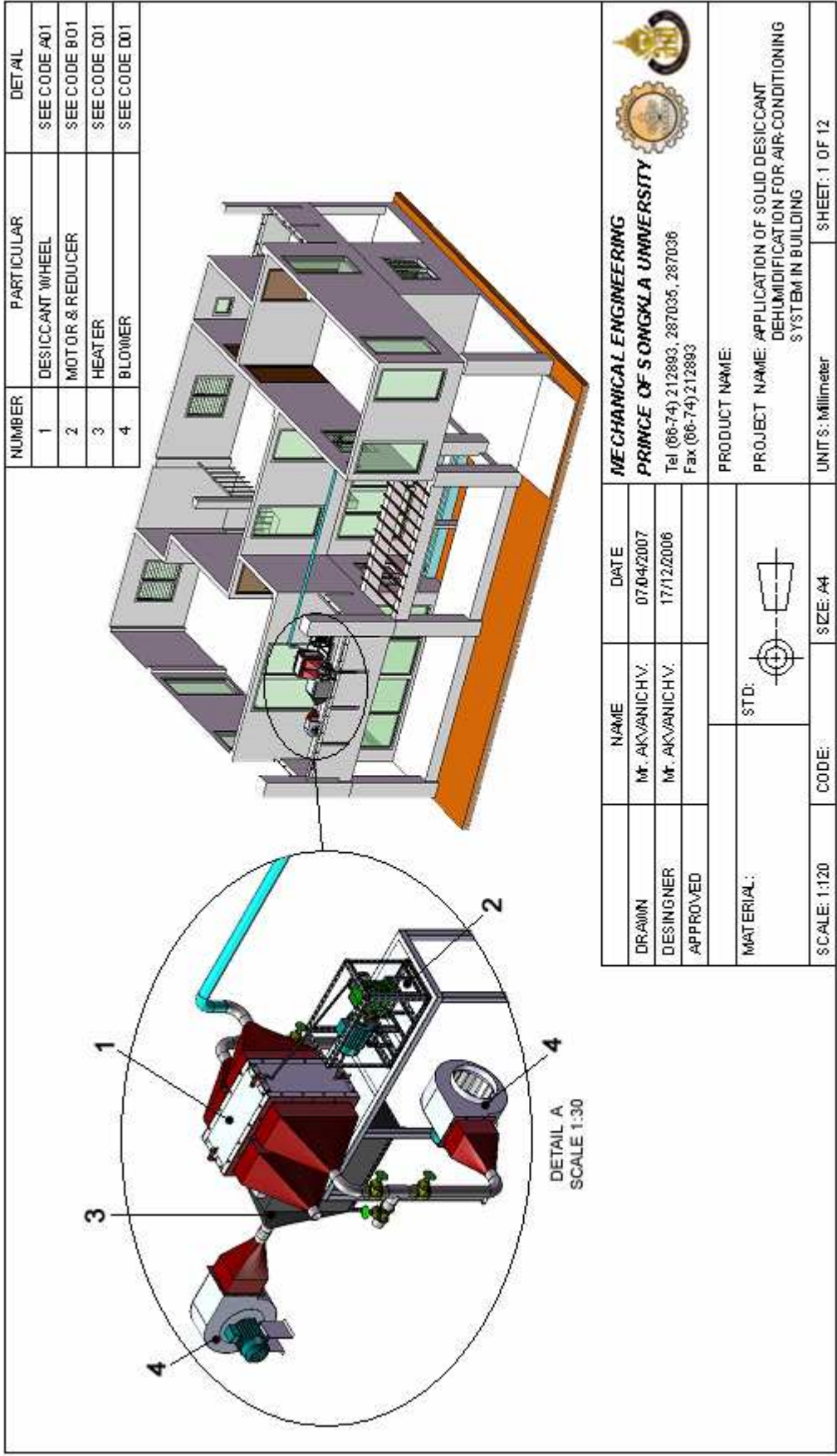
- Holliday, S.P., Beggs, C.B. and Sleigh, P.A., 2002, "The Use of Solar Desiccant Cooling in the UK A Feasibility Study," *Applied Thermal Engineering*, Vol. 22, pp 1327–1338.
- Jan F. Kreider and Ari Rabl. 1994. *Heating and Cooling of Buildings Design for Efficiency*. Singapore: McGraw-Hill.
- Jia, C.X., Dai, Y.J., Wu, J.Y. and Wang, R.Z., 2006, "Analysis on a Hybrid Desiccant Air-Conditioning System," *Applied Thermal Engineering*, Vol. 26, pp 2393–2400.
- Jia, C.X., Dai, Y.J., Wu, J.Y. and Wang, R.Z., 2006, "Use of Compound Desiccant to Develop High Performance," *International Journal of Refrigeration*, pp 1-9.
- Kanoglu, M., Carpinlioglu, M.O. and Yildirim, M., 2004, "Energy and Exergy Analyses of an Experimental Open-Cycle Desiccant Cooling System," *Applied Thermal Engineering*, Vol. 24, pp 919-932.
- Khedari, J., Sangprajak A. and Hirunlabh J., 2001, "Thailand Climatic Zones," *Renewable Energy*, Vol. 25, pp. 267-280.
- Khedari, J., Yamtraipat, N., Pratintong N. and Hirunlabh, J., 2000, "Thailand Ventilation Comfort Chart," *Energy and Building*, Vol.32, pp. 245-249.
- Kodama, A., Hirayama, T., Goto, M., Hirose, T. and Critoph, R.E., 2001, "The Use of Psychrometric Charts for the Optimisation of a Thermal Swing Desiccant Wheel," *Applied Thermal Engineering*, Vol. 21, pp 1657-1674.
- Lu, S.M. and Yan, W.J., 1995, "Development and Experimental Validation of Full-Scale Solar Desiccant Enhanced Radiative Cooling. *Renewable Energy*, Vol. 6, no. 7, pp 821-827.
- Mazzei, P., Minichiello, F. and Palma, D., 2005, "HVAC Dehumidification Systems for Thermal Comfort; a critical review, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 25, pp 677–707.
- McQuiston, Jerald D. Parker, Jeffrey D. Spitler. 2005. *Heating, Ventilating, and air conditioning : analysis and design*. America: JohnWiley & Sons, Inc.
- Neti, S. and Wolfe, E.I., 2000, "Measurements of Effectiveness in a Silica Gel Rotary Exchanger," *Applied Thermal Engineering*, Vol. 20, pp 309-322.
- Nia, F.E., Paassen, D.V. and Saidi, M.H., 2006, "Modeling and Simulation of Desiccant Wheel for Air Conditioning," *Energy and Building*, Vol. 38, pp 1230-1239.

**บรรณานุกรม (ต่อ)**

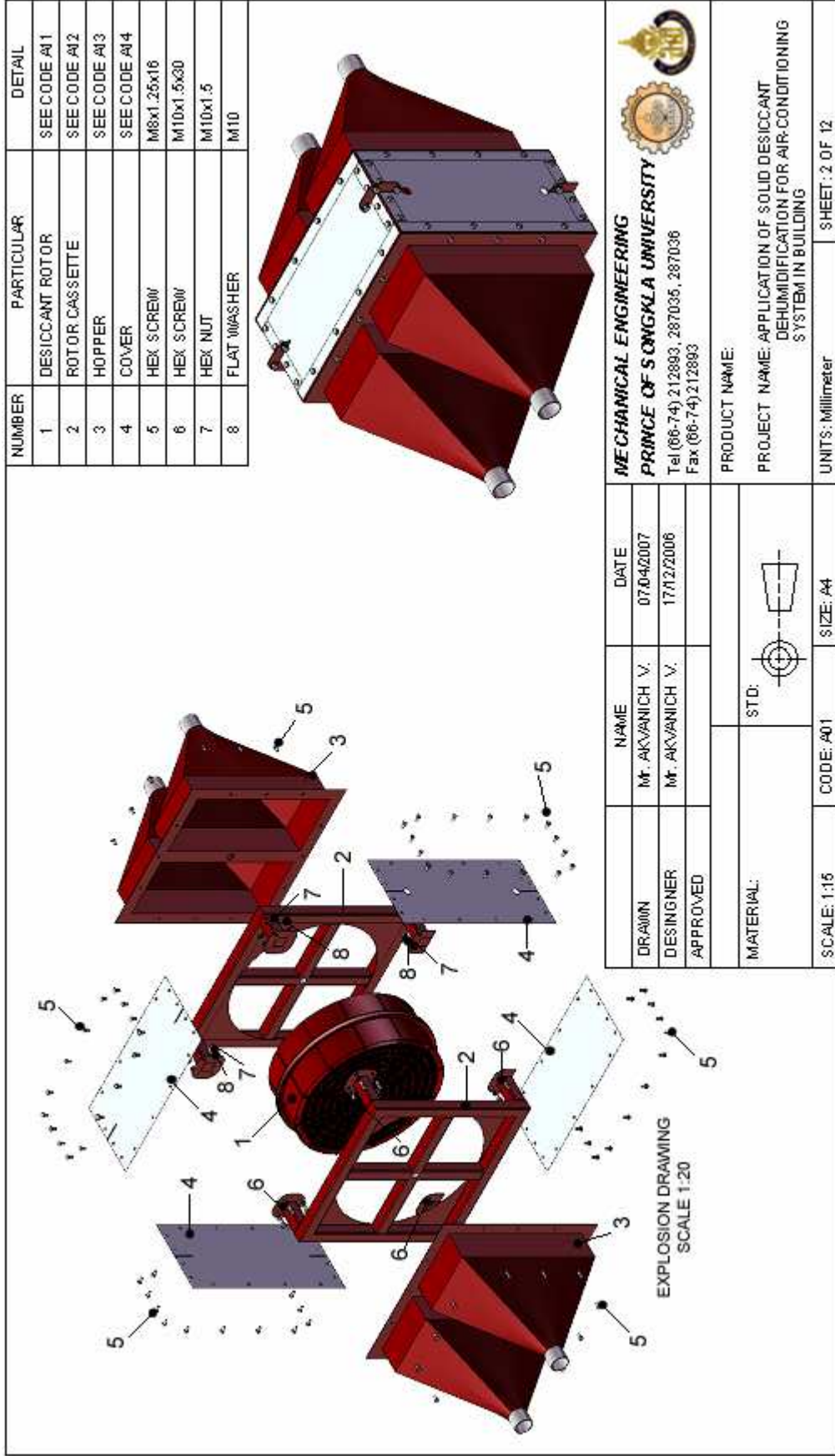
- Person, B.K., Pesaran, A.A., Bharathan, D., and Shelpuk, B., 1989, "Improving Gas-Fired Heat Pump Capacity and Performance by Adding a Desiccant Dehumidification Subsystem," ASHRAE Transactions, Part I, pp. 835-844.
- Pramuang, S. and Exell, R.H.B., 2006, "The Regeneration of Silica Gel Desiccant by Air from a Solar Heater with a Compound Parabolic Concentrator, technical note," Renewable Energy.
- Techajunta, S., Chirarattananon S. and Exell, R.H.B., 1999, "Experimental in Solar Simulation on Solid Desiccant Regeneration and Air Dehumidification for Air Conditioning in a Tropical Humid Climate," Renewable Energy, Vol. 17, pp. 549-568.
- Wang, S.K. 1994. *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration*. America: McGraw-Hill.
- Yunus A. Cengel and Michael A. Boles. 2006. *Thermodynamics An Engineering Approach Fifth Edition in SI Units*. Singapore: McGraw-Hill.
- Zhang, L.Z. and Niu, J.L., 2002, "Performance Comparisons of Desiccant Wheels for Air Dehumidification and Enthalpy Recovery," Applied Thermal Engineering, Vol. 22, pp 1347-1367.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
ระบบลดความชื้นโดยสารดูดความชื้น



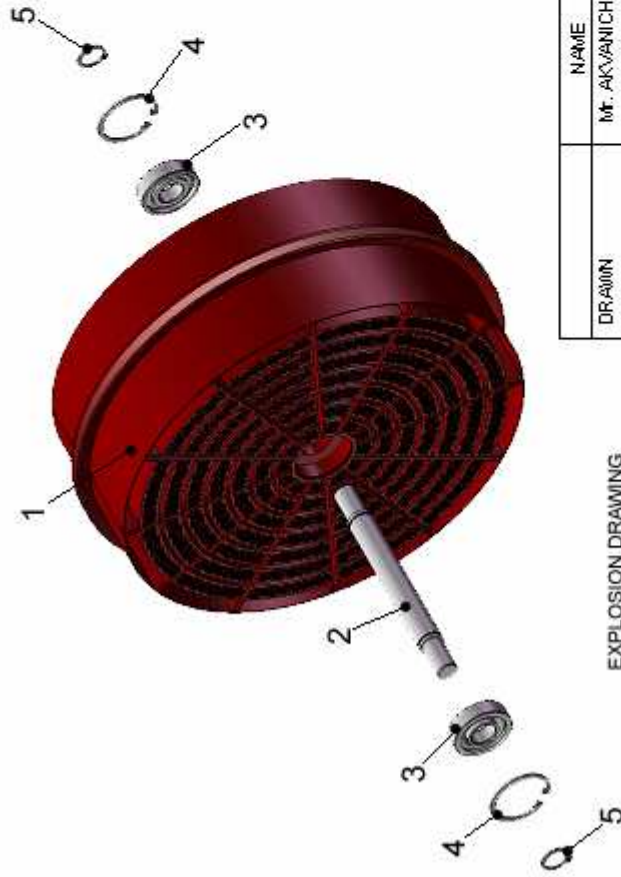
รูปที่ 1 ตำแหน่งติดตั้งระบบลดความชื้น โดยสตาร์ดวดความชื้น





รูปที่ 2 ชุดอุปกรณ์กึ่งอัตโนมัติ



NUMBER	PARTICULAR	DETAIL
1	ROTOR	SEE CODE A21
2	ROTOR SHAFT	SEE CODE A21
3	BALL BEARING	DIN 628
4	INTERNAL RETAINING RING	DIN 472
5	EXTERNAL RETAINING RING	DIN 471

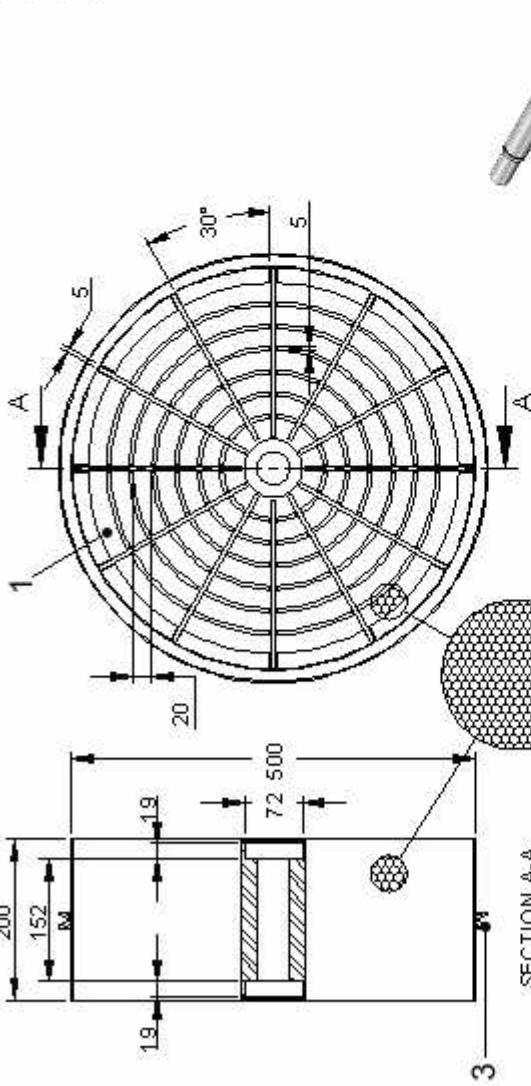
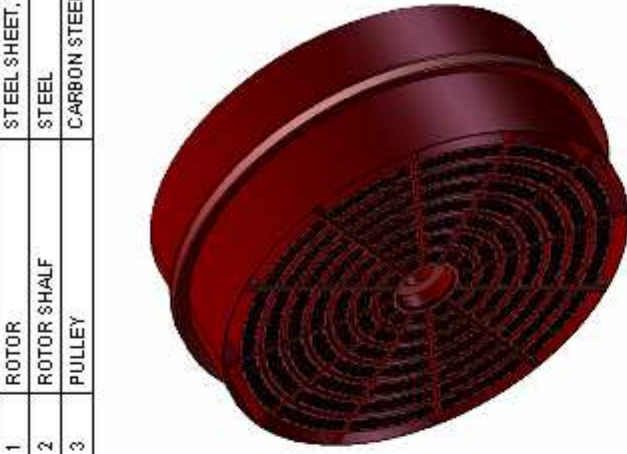


EXPLOSION DRAWING  
SCALE 1:8

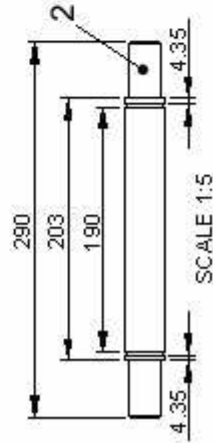
DRAWN	NAME	DATE	
DESIGNER	Mr. AKK/VANICH V.	07/04/2007	
APPROVED	Mr. AKK/VANICH V.	17/12/2006	
MATERIAL:	STD:		
SCALE: 1:8	CODE: A11	SIZE: A4	UNITS: Millimeter
PRODUCT NAME: PROJECT NAME: APPLICATION OF SOLID DESICCANT DEHUMIDIFICATION FOR AIR-CONDITIONING SYSTEM IN BUILDING			SHEET: 3 OF 12

รูปที่ 3 กงล้อดูดความชื้น

NUMBER	PARTICULAR	DETAIL
1	ROTOR	STEEL SHEET, 1 mm
2	ROTOR SHAFT	STEEL
3	PULLEY	CARBON STEEL, 20 ich

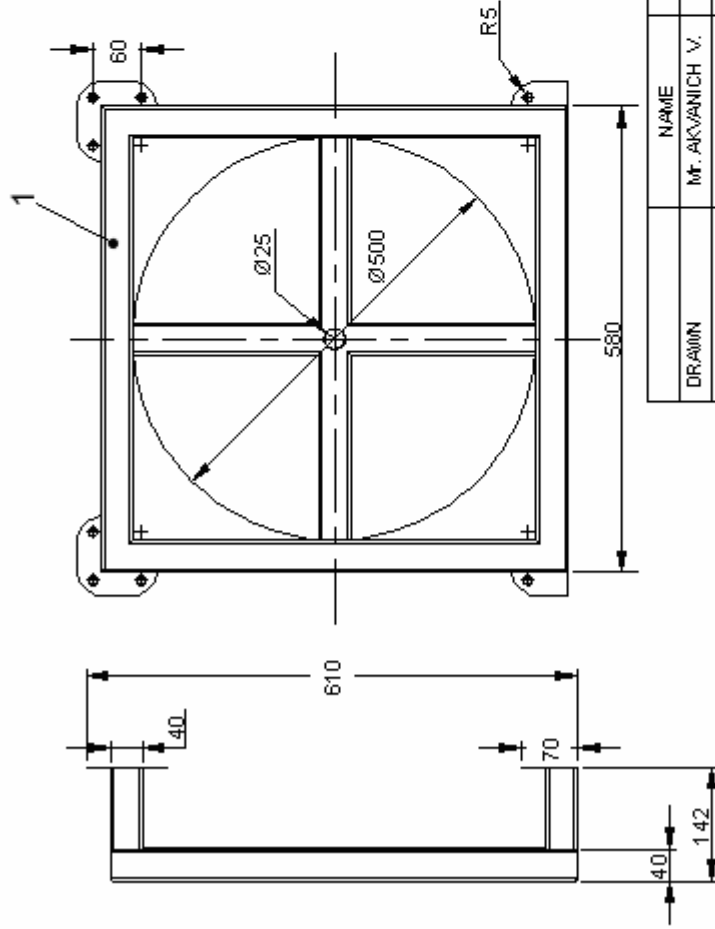
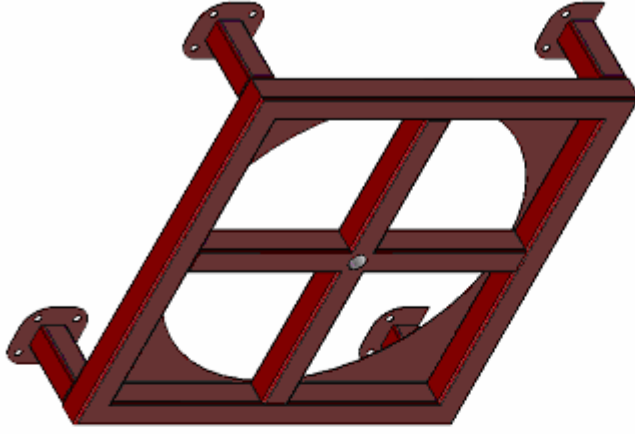




MECHANICAL ENGINEERING	PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY	DATE	07.04.2007
Tel (86-74)212883, 287036, 287038	Fax (86-74)212893	DESIGNER	Mr. AKKANICH V.
PRODUCT NAME:	PROJECT NAME: APPLICATION OF SOLID DESICCANT DEHUMIDIFICATION FOR AIR-CONDITIONING SYSTEM IN BUILDING	APPROVED	Mr. AKKANICH V.
UNIT S: Millimeter	\$ SHEET: 4 OF 12	MATERIAL:	STD:
		SCALE: 1:8	CODE: A21
		SIZE: A4	



รูปที่ 4 รายละเอียดของวงล้อดูดความชื้น

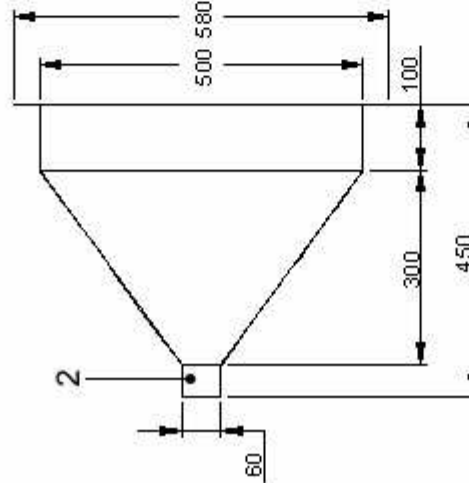
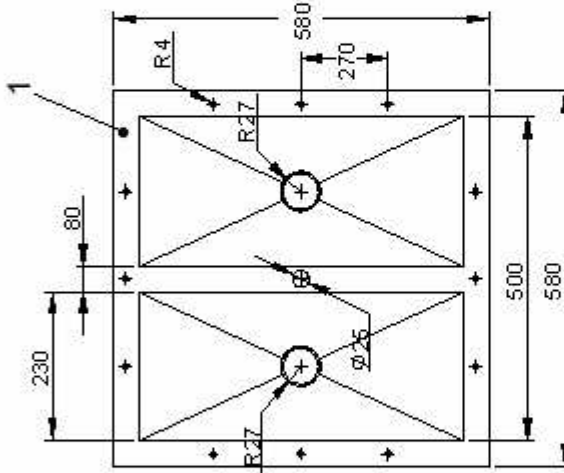
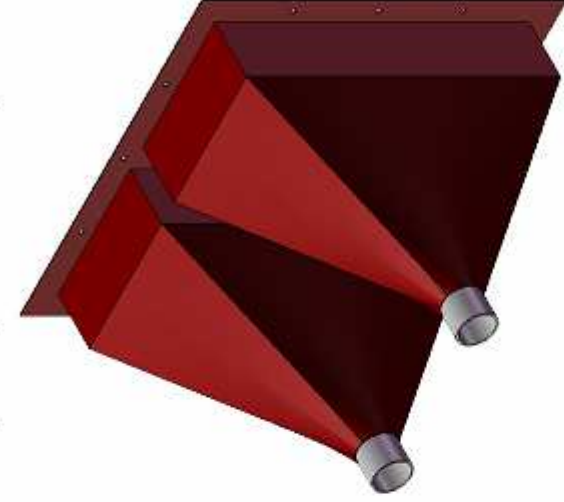
NUMBER	PARTICULAR	DETAIL
1	ROTOR CASSETTE	SQUARE TUBE, 40x40



MECHANICAL ENGINEERING	PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY		
DRAWN	Mr. AKKANICH V.	DATE	07.04.2007
DESIGNER	Mr. AKKANICH V.	DESIGNER	17/12/2006
APPROVED		APPROVED	
MATERIAL:		STD:	
SCALE: 1:8	CODE: A12	SIZE: A4	
PRODUCT NAME	PROJECT NAME: APPLICATION OF SOLID DESICCANT DEHUMIDIFICATION FOR AIR-CONDITIONING SYSTEM IN BUILDING		
UNITS: Millimeter	SHEET: 5 OF 12		

รูปที่ 5 รายละเอียดของโครงกึ่งท่อคความชื้น

NUMBER	PARTICULAR	DETAIL
1	HOPPER	STEEL SHEET, 1 mm
2	TUBE	STEEL TUBE, 2 inch



DRAWN	NAME	DATE
DESIGNER	Mr. AKKANICH V.	07.04/2007
APPROVED	Mr. AKKANICH V.	17/12/2006
MATERIAL:	STD:	
SCALE: 1:10	CODE: A13	SIZE: A4
PRODUCT NAME:		SHEET: 6 OF 12
PROJECT NAME: APPLICATION OF SOLID DESICCANT DEHUMIDIFICATION FOR AIR-CONDITIONING SYSTEM IN BUILDING		
UNITS: Millimeter		



**MECHANICAL ENGINEERING**  
**PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY**  
 Tel (06-74) 212893, 287035, 287036  
 Fax (06-74) 212893

รูปที่ 6 รายละเอียดของฮอปเปอร์

NUMBER	PARTICULAR	DETAIL
1	COVER RIGHT SIDE	METAL SHEET, 0.2 mm
2	COVER LEFT&TOP SIDE	METAL SHEET, 0.2 mm
3	COVER BOTTOM SIDE	METAL SHEET, 0.2 mm

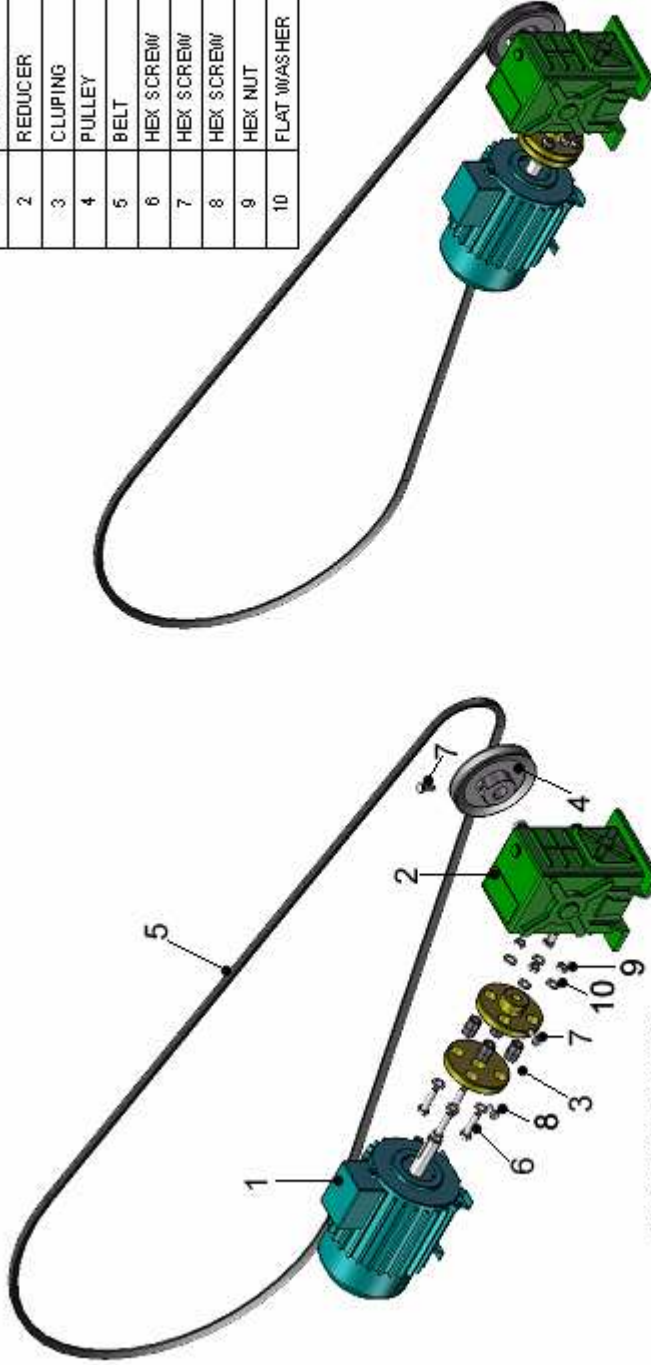
  
  
  

<b>MECHANICAL ENGINEERING</b>			
<b>PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY</b>			
Tel (66-74) 212893, 287035, 287036			
Fax (66-74) 212893			
PRODUCT NAME:		APPLICATION OF SOLID DESICCANT DEHUMIDIFICATION FOR AIR-CONDITIONING SYSTEM IN BUILDING	
SCALE: 1:8	CODE: A14	SIZE: A4	SHEET: 7 OF 12

รูปที่ 7 รายละเอียดของแผ่นปิดโครงการถอดูดความชื้น



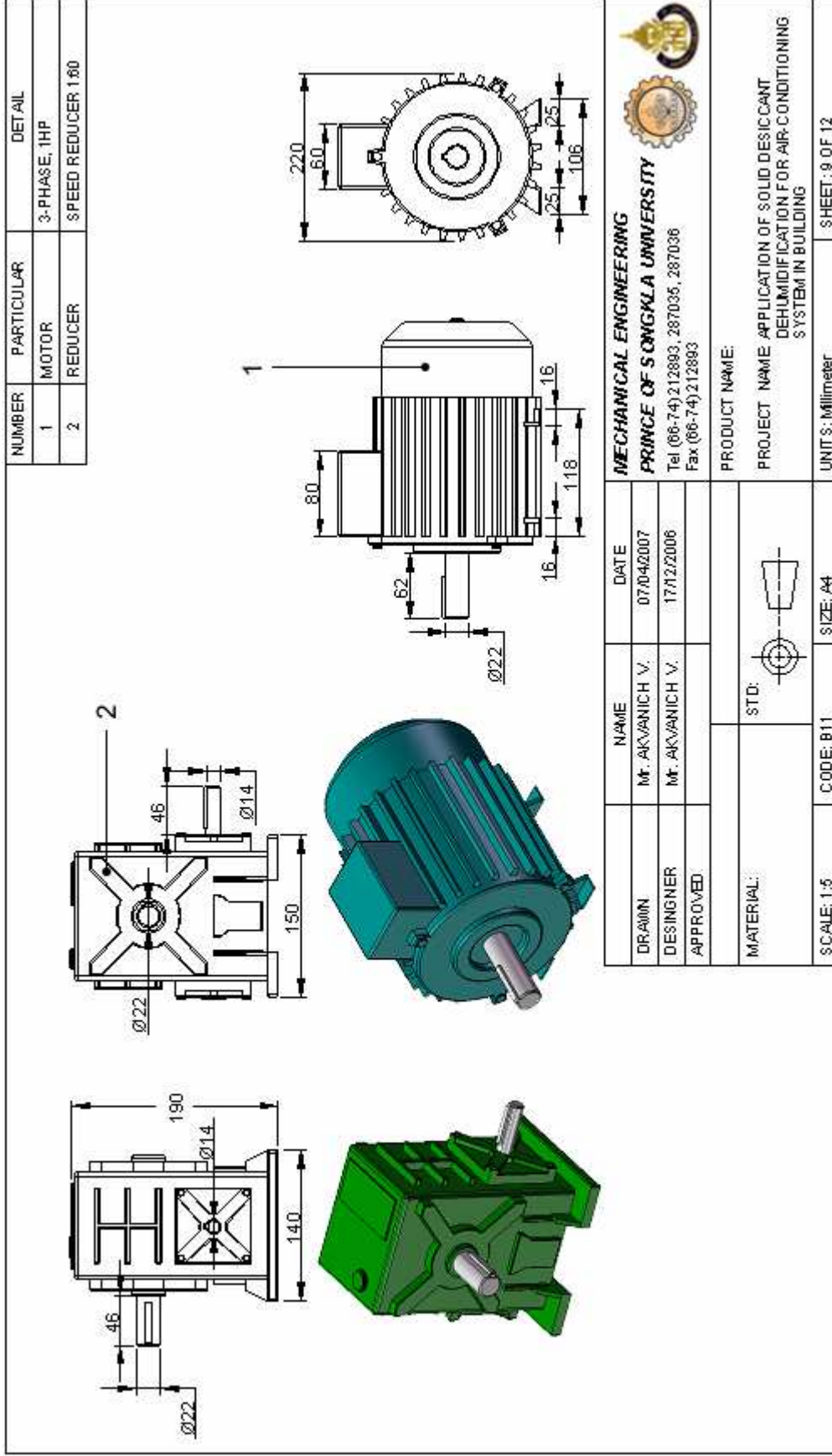
NUMBER	PARTICULAR	DETAIL
1	MOTOR	SEE CODE B11
2	REDUCER	SEE CODE B11
3	CLIPPING	SEE CODE B12
4	PULLEY	SEE CODE B12
5	BELT	V-BELT, B113
6	HEX SCREW	M10x1.5x40
7	HEX SCREW	M8x1.25x20
8	HEX SCREW	M8x1.25x10
9	HEX NUT	M10x1.25
10	FLAT WASHER	M10



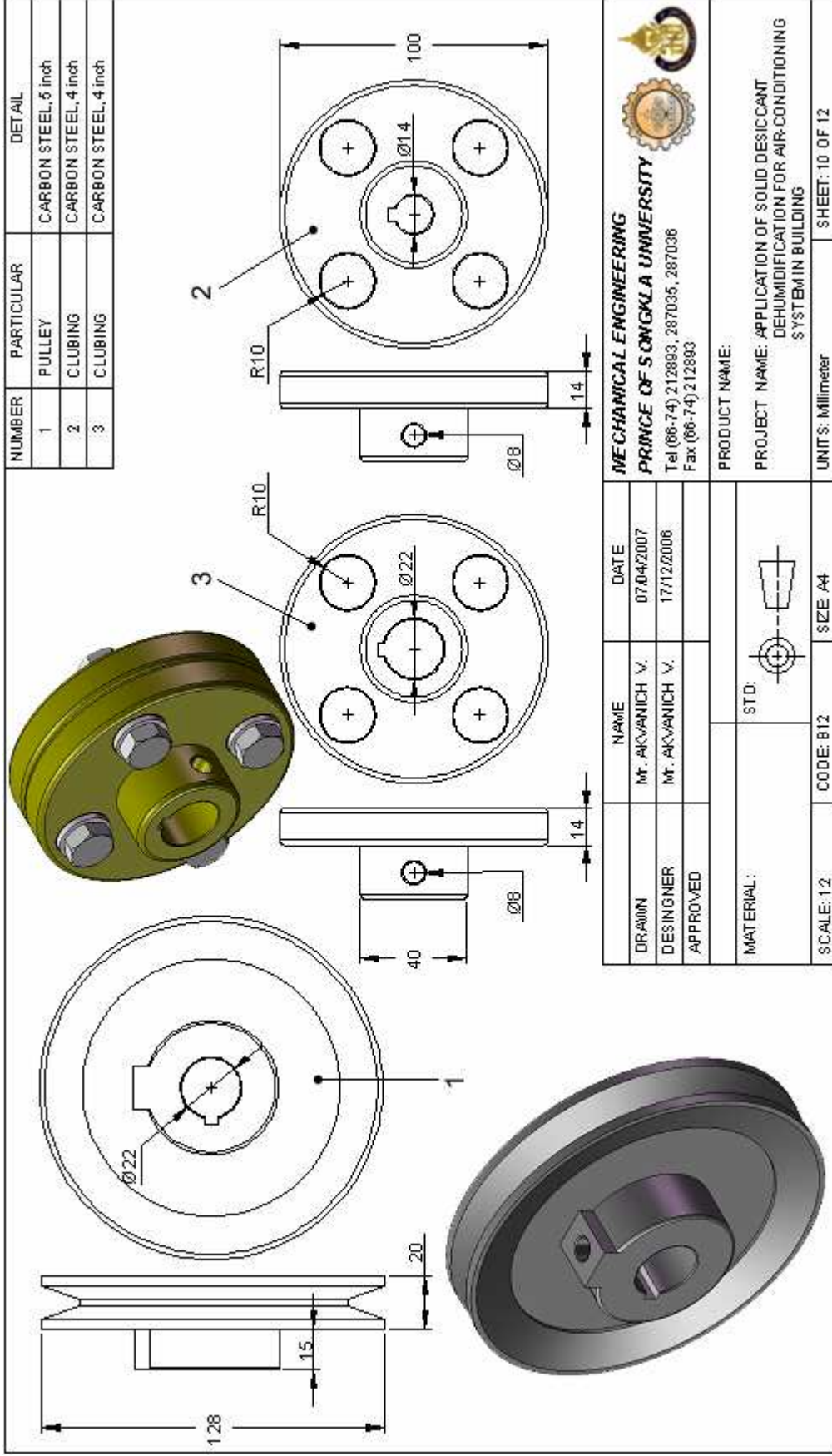
EXPLOSION DRAWING  
SCALE 1:8

DRAWN	NAME	DATE
DESIGNER	Mr. AKKANICH V.	07.04.2007
APPROVED	Mr. AKKANICH V.	17.12.2006
MATERIAL:	STD:	
SCALE: 1:8	CODE: B01	SIZE: A4
<b>MECHANICAL ENGINEERING</b> <b>PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY</b> Tel (86-74) 212893, 287035, 287036 Fax (86-74) 212893		
PRODUCT NAME		
PROJECT NAME: APPLICATION OF SOLID DESICCANT DEHUMIDIFICATION FOR AIR-CONDITIONING SYSTEM IN BUILDING		
UNITS: Millimeter	SHEET: 8 OF 12	

รูปที่ 8 ชุดระบบมอเตอร์และชุดเกียร์ทด



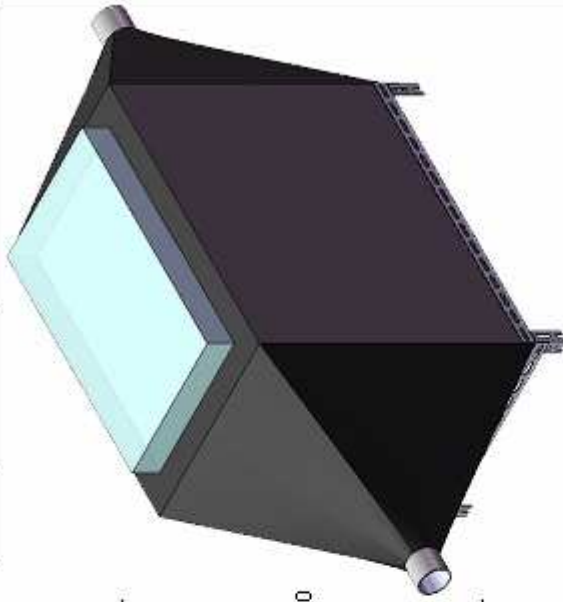
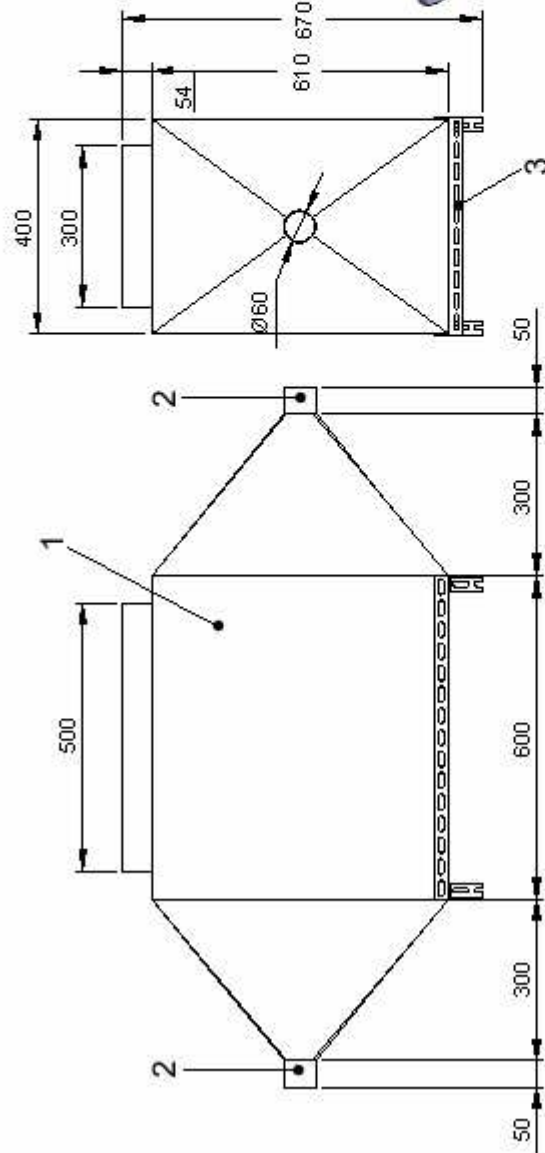
**รูปที่ 9** รายละเอียดของมอเตอร์และเกียร์ทด



รูปที่ 10 รายละเอียดของล้อสายพานและหน้าแปลน



NUMBER	PARTICULAR	DETAIL
1	HEATER	STEEL SHEET, AEROFLEX 2 inch
2	TUBE	STEEL TUBE, 2 inch
3	STRUCTURE	L ANGLE, L35x35x3



DRAWN	NAME	DATE
DESIGNER	Mr. AKKANICH V.	07/04/2007
APPROVED	Mr. AKKANICH V.	17/12/2006
MATERIAL:	STD:	
SCALE: 1:12	CODE: C01	SIZE: A4
PRODUCT NAME:		UNIT S: Millimeter
PROJECT NAME: APPLICATION OF SOLID DESICCANT DEHUMIDIFICATION FOR AIR-CONDITIONING SYSTEM IN BUILDING		SHEET: 11 OF 12

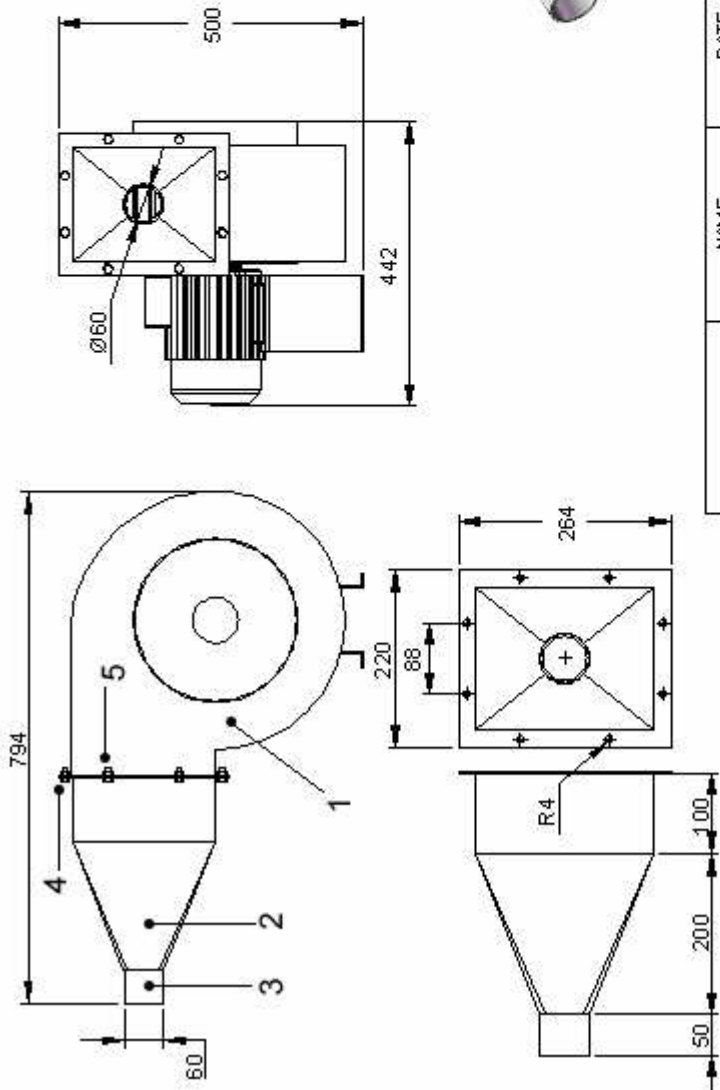


**MECHANICAL ENGINEERING**  
**PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY**

Tel (06-74)212883, 287035, 287036  
Fax (06-74)212893

รูปที่ ก 11 รายละเอียดของฮีตเตอร์ไฟฟ้า

NUMBER	PARTICULAR	DETAIL
1	BLOWER	1-PHASE, 1HP
2	HOPPER	STEEL SHEET, 1 mm
3	TUBE	STEEL TUBE, 2 inch
4	HEX SCREW	M8x1.25x16
5	HEX NUT	M8x1.25



MECHANICAL ENGINEERING	PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY	MECHANICAL ENGINEERING	PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY
DRAWN	Mr. AKKANICH V.	DATE	07/04/2007
DESIGNER	Mr. AKKANICH V.	APPROVED	17/12/2006
MATERIAL:	STD:	PRODUCT NAME:	APPLICATION OF SOLID DESICCANT DEHUMIDIFICATION FOR AIR-CONDITIONING SYSTEM IN BUILDING
SCALE: 1:10	CODE: D01	SIZE: A4	UNITS: Millimeter
HOPPER		SHEET: 12 OF 12	
SCALE 1:8			

รูปที่ ก 12 รายละเอียดของพัดลมเป่าอากาศ

ภาคผนวก ข

ข้อมูลผลการจำลองด้วยโปรแกรม EnergyPlus version 1.4

**ตารางที่ ๑ 1 ข้อมูลสภาวะอากาศภายในและภายนอกห้องปรับอากาศในช่วงเวลา 09.00 น. ถึง 21.00 น. กรณีระบบทำความเย็นทั่วไป**

No.	Time [hour]	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
1	$T_{out}$ [°C]	27.32	28.52	29.88	31.16	32.12	32.76	33.00	32.76	32.20	31.32	30.28	29.24	28.36
2	%RH <sub>out</sub> [%]	87.45	81.54	75.38	70.06	66.35	64.00	63.14	64.00	66.05	69.43	73.67	78.21	82.30
3	$T_{in}$ [°C]	25.90	26.43	26.55	26.34	26.15	26.06	25.98	25.87	25.74	25.58	25.16	24.91	24.71
4	%RH <sub>in</sub> [%]	77.93	74.85	74.04	74.80	75.56	76.17	76.75	77.44	78.02	78.94	81.42	83.09	84.21

**ตารางที่ ๒ 2 ข้อมูลสภาวะอากาศภายในและภายนอกห้องปรับอากาศในช่วงเวลา 09.00 น. ถึง 21.00 น. กรณีระบบทำความเย็นร่วมกับระบบดูดความชื้น**

No.	Time [hour]	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
1	$T_{out}$ [°C]	27.32	28.52	29.88	31.16	32.12	32.76	33.00	32.76	32.20	31.32	30.28	29.24	28.36
2	%RH <sub>out</sub> [%]	87.45	81.54	75.38	70.06	66.35	64.00	63.14	64.00	66.05	69.43	73.67	78.21	82.30
3	$T_{in}$ [°C]	25.91	26.41	26.59	26.41	26.15	26.11	26.02	25.92	25.80	25.58	25.15	24.93	24.73
4	%RH <sub>in</sub> [%]	49.78	50.07	51.35	53.75	55.96	57.25	58.40	58.92	59.04	58.99	58.85	57.74	56.87

**ตารางที่ ๓** ข้อมูลสภาพอากาศที่อุปกรณ์กึ่งต่อความชื้นในช่วงเวลา 09.00 น. ถึง 21.00 น. กรณีระบบทำความเย็นร่วมกับระบบดูดความชื้น

No.	Time [hour]	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
1	$T_{id}$ [°C]	27.32	28.52	29.88	31.16	32.12	32.76	33.00	32.76	32.20	31.32	30.28	29.24	28.36
2	%RH <sub>id</sub> [%]	87.05	81.16	75.03	69.73	66.03	63.69	62.84	63.69	65.73	69.10	73.32	77.85	81.92
3	$T_{od}$ [°C]	56.15	56.37	56.62	56.87	57.06	57.19	57.23	57.19	57.07	56.90	56.70	56.50	56.34
4	%RH <sub>od</sub> [%]	10.11	10.34	10.60	10.83	10.99	11.09	11.13	11.09	11.00	10.86	10.67	10.48	10.31

**ตารางที่ ๔** ข้อมูลสภาพอากาศที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในช่วงเวลา 09.00 น. ถึง 21.00 น. กรณีระบบทำความเย็นร่วมกับระบบดูดความชื้น

No.	Time [hour]	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
1	$T_{ih}$ [°C]	56.15	56.37	56.62	56.87	57.06	57.19	57.23	57.19	57.07	56.90	56.70	56.50	56.34
2	%RH <sub>ih</sub> [%]	10.11	10.34	10.60	10.83	10.99	11.09	11.13	11.09	11.00	10.86	10.67	10.48	10.31
3	$T_{oh}$ [°C]	33.20	33.63	33.83	33.76	33.61	33.61	33.56	33.48	33.34	33.14	32.76	32.55	32.36
4	%RH <sub>oh</sub> [%]	33.09	33.41	34.26	35.54	36.70	37.27	37.60	37.54	37.34	36.94	36.76	36.19	35.71

ตารางที่ ข 5 ข้อมูลการประหยัดพลังงานที่อัตราการระบายอากาศต่างๆ ที่อัตราการจ่าย 0.64 kg/sec

Ventilation rate [kg/sec]	Energy consumption [kWh/year]		Energy saving [%]
	only air-conditioning system	add dehumidification system	
0.009	13,038	10,340	20.69
0.018	13,335	10,559	20.82
0.028	13,555	10,680	21.21
0.046	13,894	10,870	21.76
0.092	14,571	11,278	22.60
0.138	15,137	11,729	22.52
0.184	15,606	12,230	21.63
0.230	16,066	12,746	20.67
0.276	16,514	13,286	19.54
0.322	16,941	13,835	18.33
0.368	17,352	14,402	17.00
0.415	17,767	14,984	15.66
0.460	18,174	15,572	14.32
0.506	18,575	16,162	12.99
0.552	18,974	16,769	11.62

ตารางที่ ข 6 ข้อมูลการประหยัดพลังงานที่อัตราการจ่ายต่างๆ ที่อัตราการระบายอากาศ 0.092 kg/sec

Supply air [kg/sec]	Ventilation [kg/sec]	Air fraction [%]	Energy saving [%] [%]
0.161	0.092	57.16	-143.20
0.320	0.092	28.76	-33.32
0.480	0.092	19.17	3.76
0.640	0.092	14.38	22.31
0.800	0.092	11.50	33.43
0.960	0.092	9.59	40.85
1.120	0.092	8.22	46.14
1.280	0.092	7.19	50.12
1.440	0.092	6.39	53.21
1.600	0.092	5.75	55.68
1.760	0.092	5.23	57.70
1.920	0.092	4.79	59.39
2.080	0.092	4.42	60.81

ภาคผนวก ก  
ข้อมูลผลการทดลอง

ตารางที่ ค 1 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กึ่งลือดูดความชื้น ที่เงื่อนไข  $T_{ip}=24.5^{\circ}\text{C}$ ,  $w_{ip}=19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  $\dot{m}_{ip}=1.0 \text{ kg}/\text{min}$ ,  $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$

No.	Time [min]	17.5	30	50	70	90	110	130	150	170
1	$T_{ip}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	24.50	24.52	24.52	24.50	24.49	24.50	24.49	24.49	24.48
2	$\%RH_{ip}$ [%]	98.22	97.25	96.72	97.41	97.87	96.14	96.55	97.06	97.27
3	$w_{ip}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	19.21	19.03	18.93	19.05	19.12	18.79	18.86	18.96	18.99
4	$h_{ip}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	73.53	73.10	72.85	73.12	73.30	72.46	72.62	72.88	72.93
5	$T_{op}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	26.39	26.34	26.31	26.26	26.24	26.19	26.17	26.15	26.12
6	$\%RH_{op}$ [%]	71.87	73.07	74.12	75.78	76.83	75.94	76.85	77.71	78.14
7	$w_{op}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	15.64	15.86	16.06	16.38	16.59	16.35	16.52	16.70	16.76
8	$h_{op}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	66.41	66.91	67.39	68.17	68.68	68.02	68.43	68.85	68.99
9	$R_{adsorp}$ [ $\text{g}_w/\text{min}$ ]	3.57	3.17	2.87	2.66	2.53	2.44	2.33	2.26	2.22

ตัวอย่างการคำนวณ : ค่าอัตราการลดความชื้นในอากาศของสารดูดความชื้น ( $R_{adsorp}$ )

$$\begin{aligned} \text{ที่เวลา 90 นาที} \quad : R_{adsorp} &= \dot{m}_{ip} \times (w_{ip} - w_{op}) \\ &= 1.0 \times (19.12 - 16.59) = 2.53 \text{ g}_w/\text{min} \end{aligned}$$

ตารางที่ ค 2 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กึ่งลือดูดความชื้น ที่เงื่อนไข  $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ ,  $w_{ip}=19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  $\dot{m}_{ip}=1.0 \text{ kg}/\text{min}$ ,  $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$

No.	Time [min]	17.5	30	50	70	90	110	130	150	170
1	$T_{ip}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	27.49	27.51	27.50	27.51	27.52	27.50	27.50	27.51	27.50
2	$\%RH_{ip}$ [%]	82.26	81.54	81.83	81.74	81.30	81.94	81.85	81.13	81.66
3	$w_{ip}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	19.20	19.05	19.11	19.10	19.00	19.13	19.12	18.95	19.07
4	$h_{ip}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	76.61	76.25	76.40	76.38	76.14	76.44	76.42	76.00	76.29
5	$T_{op}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	29.91	29.82	29.75	29.72	29.69	29.63	29.62	29.59	29.59
6	$\%RH_{op}$ [%]	54.35	56.27	58.28	59.46	60.03	61.35	61.93	61.86	62.71
7	$w_{op}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	14.49	14.93	15.42	15.71	15.84	16.14	16.29	16.24	16.46
8	$h_{op}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	67.11	68.16	69.32	70.04	70.34	71.05	71.40	71.25	71.82
9	$R_{adsorp}$ [ $\text{g}_w/\text{min}$ ]	4.71	4.11	3.69	3.39	3.16	2.99	2.83	2.71	2.60



ตารางที่ ค 3 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์งัดดูดความชื้น ที่เงื่อนไข  $T_{ip}=32.5^{\circ}\text{C}$ ,  $w_{ip}=19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  
 $\dot{m}_{ip}=1.0 \text{ kg}/\text{min}$ ,  $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$

No.	Time [min]	17.5	30	50	70	90	110	130	150	170
1	$T_{ip}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	32.50	32.52	32.49	32.48	32.50	32.49	32.51	32.50	32.49
2	$\%RH_{ip}$ [%]	61.49	61.01	61.49	61.80	61.21	61.53	61.06	61.22	61.31
3	$w_{ip}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	19.14	19.00	19.13	19.22	19.05	19.14	19.01	19.05	19.07
4	$h_{ip}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	81.68	81.35	81.65	81.87	81.47	81.67	81.36	81.45	81.50
5	$T_{op}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	35.62	35.49	35.39	35.31	35.26	35.22	35.20	35.16	35.15
6	$\%RH_{op}$ [%]	36.51	38.53	40.76	42.27	42.62	43.61	43.94	44.58	45.07
7	$w_{op}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	13.40	14.06	14.81	15.29	15.39	15.72	15.82	16.01	16.18
8	$h_{op}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	70.24	71.78	73.60	74.76	74.95	75.75	75.98	76.45	76.87
9	$R_{adsorp}$ [ $\text{g}_w/\text{min}$ ]	5.73	4.94	4.32	3.92	3.67	3.42	3.19	3.03	2.89

ตารางที่ ค 4 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์งัดดูดความชื้น ที่เงื่อนไข  $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ ,  $w_{ip}=10 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  
 $\dot{m}_{ip}=1.0 \text{ kg}/\text{min}$ ,  $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$

No.	Time [min]	17.5	30	50	70	90	110	130	150	170
1	$T_{ip}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	27.49	27.51	27.49	27.51	27.51	27.50	27.51	27.51	27.51
2	$\%RH_{ip}$ [%]	46.61	46.42	47.00	46.90	46.62	47.02	46.45	46.62	46.27
3	$w_{ip}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	10.74	10.70	10.83	10.82	10.75	10.84	10.71	10.75	10.67
4	$h_{ip}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	55.04	54.97	55.28	55.27	55.11	55.30	54.99	55.09	54.89
5	$T_{op}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	28.65	28.63	28.56	28.53	28.49	28.44	28.43	28.39	28.38
6	$\%RH_{op}$ [%]	32.79	33.69	35.37	36.06	36.36	37.28	37.03	37.57	37.55
7	$w_{op}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	8.05	8.26	8.64	8.80	8.85	9.05	8.98	9.10	9.08
8	$h_{op}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	49.38	49.90	50.80	51.16	51.27	51.72	51.53	51.79	51.74
9	$R_{adsorp}$ [ $\text{g}_w/\text{min}$ ]	2.69	2.44	2.18	2.02	1.90	1.78	1.72	1.65	1.58

ตารางที่ ค 5 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์งัดดูดความชื้น ที่เงื่อนไข  $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ ,  $w_{ip}=15 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  $\dot{m}_{ip}=1.0 \text{ kg}/\text{min}$ ,  $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$

No.	Time [min]	17.5	30	50	70	90	110	130	150	170
1	$T_{ip}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	27.51	27.50	27.51	27.51	27.51	27.52	27.50	27.51	27.50
2	$\%RH_{ip}$ [%]	65.16	65.24	64.93	64.67	64.52	64.27	64.38	64.00	64.62
3	$w_{ip}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	15.13	15.14	15.07	15.01	14.98	14.93	14.94	14.86	14.99
4	$h_{ip}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	66.27	66.29	66.12	65.97	65.89	65.76	65.77	65.58	65.91
5	$T_{op}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	29.34	29.30	29.22	29.17	29.15	29.10	29.08	29.07	29.07
6	$\%RH_{op}$ [%]	44.76	46.33	47.61	48.48	48.97	49.45	49.97	50.00	50.91
7	$w_{op}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	11.49	11.88	12.15	12.34	12.46	12.54	12.66	12.67	12.90
8	$h_{op}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	58.88	59.81	60.44	60.87	61.15	61.32	61.58	61.59	62.18
9	$R_{adsorp}$ [ $\text{g}_w/\text{min}$ ]	3.64	3.27	2.92	2.67	2.52	2.38	2.28	2.19	2.10

ตารางที่ ค 6 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์งัดดูดความชื้น ที่เงื่อนไข  $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ ,  $w_{ip}=19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  $\dot{m}_{ip}=0.3 \text{ kg}/\text{min}$ ,  $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$

No.	Time [min]	17.5	30	50	70	90	110	130	150	170
1	$T_{ip}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	27.52	27.53	27.52	27.48	27.51	27.52	27.52	27.53	27.49
2	$\%RH_{ip}$ [%]	81.62	81.54	81.85	82.07	81.90	81.70	81.55	81.45	81.72
3	$w_{ip}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	19.08	19.08	19.13	19.14	19.13	19.10	19.07	19.05	19.07
4	$h_{ip}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	76.35	76.35	76.48	76.47	76.46	76.38	76.31	76.28	76.28
5	$T_{op}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	29.78	29.74	29.70	29.64	29.60	29.53	29.49	29.51	29.50
6	$\%RH_{op}$ [%]	56.66	58.28	60.21	61.54	62.45	63.16	63.73	64.03	64.48
7	$w_{op}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	15.00	15.41	15.89	16.20	16.40	16.53	16.64	16.74	16.85
8	$h_{op}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	68.28	69.28	70.48	71.19	71.67	71.94	72.16	72.45	72.73
9	$R_{adsorp}$ [ $\text{g}_w/\text{min}$ ]	1.22	1.10	0.97	0.88	0.82	0.77	0.73	0.69	0.66

ตารางที่ ค 7 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กึ่งลือดูดความชื้น ที่เงื่อนไข  $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ ,  $w_{ip}=19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  $\dot{m}_{ip}=1.7 \text{ kg}/\text{min}$ ,  $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$

No.	Time [min]	17.5	30	50	70	90	110	130	150	170
1	$T_{ip}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	27.50	27.51	27.50	27.48	27.50	27.50	27.50	27.49	27.50
2	$\%RH_{ip}$ [%]	81.59	81.15	81.55	81.83	81.34	81.63	81.87	81.92	81.82
3	$w_{ip}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	19.05	18.96	19.04	19.08	18.99	19.06	19.12	19.12	19.11
4	$h_{ip}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	76.23	76.02	76.23	76.30	76.10	76.27	76.41	76.42	76.41
5	$T_{op}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	29.61	29.57	29.46	29.42	29.38	29.36	29.34	29.33	29.33
6	$\%RH_{op}$ [%]	58.56	60.15	62.49	63.86	64.47	65.44	66.26	66.78	67.06
7	$w_{op}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	15.37	15.75	16.28	16.60	16.73	16.97	17.17	17.30	17.37
8	$h_{op}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	69.06	69.99	71.22	72.00	72.27	72.87	73.37	73.69	73.86
9	$R_{adsorp}$ [ $\text{g}_w/\text{min}$ ]	6.25	5.44	4.70	4.21	3.85	3.56	3.31	3.10	2.96

ตารางที่ ค 8 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กึ่งลือดูดความชื้น ที่เงื่อนไข  $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ ,  $w_{ip}=19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  $\dot{m}_{ip}=1.0 \text{ kg}/\text{min}$ ,  $\text{Rev}=1.0 \text{ rpm}$

No.	Time [min]	17.5	30	50	70	90	110	130	150	170
1	$T_{ip}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	27.52	27.50	27.50	27.51	27.52	27.51	27.52	27.52	27.52
2	$\%RH_{ip}$ [%]	81.56	81.91	81.86	81.82	81.56	81.69	81.59	81.30	81.49
3	$w_{ip}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	19.07	19.13	19.12	19.11	19.06	19.09	19.07	19.01	19.05
4	$h_{ip}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	76.33	76.44	76.42	76.41	76.30	76.37	76.32	76.17	76.26
5	$T_{op}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	29.56	29.48	29.47	29.44	29.41	29.39	29.37	29.34	29.30
6	$\%RH_{op}$ [%]	59.02	60.95	62.24	63.12	63.72	64.44	64.86	65.13	65.73
7	$w_{op}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	15.45	15.89	16.22	16.43	16.56	16.73	16.82	16.86	16.98
8	$h_{op}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	69.20	70.25	71.08	71.60	71.88	72.29	72.51	72.57	72.84
9	$R_{adsorp}$ [ $\text{g}_w/\text{min}$ ]	3.62	3.24	2.90	2.68	2.51	2.36	2.25	2.15	2.07

ตารางที่ ค 9 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์งัดดูดความชื้น ที่เงื่อนไข  $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ ,  $w_{ip}=19 \text{ g/kg}_{da}$ ,  
 $\dot{m}_{ip}=1.0 \text{ kg/min}$ ,  $\text{Rev}=4.0 \text{ rpm}$

No.	Time [min]	17.5	30	50	70	90	110	130	150	170
1	$T_{ip}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	27.48	27.50	27.51	27.52	27.50	27.50	27.51	27.51	27.51
2	$\%RH_{ip}$ [%]	82.22	81.94	81.42	81.19	81.66	81.92	81.66	81.39	81.55
3	$w_{ip}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	19.18	19.13	19.02	18.98	19.06	19.12	19.07	19.01	19.05
4	$h_{ip}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	76.57	76.44	76.18	76.09	76.28	76.43	76.32	76.16	76.26
5	$T_{op}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	30.37	30.30	30.26	30.18	30.18	30.12	30.09	30.05	30.04
6	$\%RH_{op}$ [%]	48.73	51.14	52.97	54.57	55.95	57.21	57.83	58.35	58.91
7	$w_{op}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	13.32	13.93	14.41	14.79	15.17	15.46	15.60	15.71	15.86
8	$h_{op}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	64.60	66.10	67.26	68.16	69.12	69.81	70.14	70.37	70.75
9	$R_{adsorp}$ [ $\text{g}_w/\text{min}$ ]	5.87	5.20	4.61	4.19	3.90	3.66	3.47	3.30	3.19

ตารางที่ ค 10 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์งัดดูดความชื้น ที่เงื่อนไข  $T_{ir}=45^{\circ}\text{C}$ ,  $w_{ir}=19 \text{ g/kg}_{da}$ ,  
 $\dot{m}_{ir}=1.8 \text{ kg/min}$ ,  $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$

No.	Time [min]	35	50	70	90	110	130	150	170
1	$T_{ir}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	27.49	27.49	27.52	27.51	27.49	27.47	27.50	27.51
2	$\%RH_{ir}$ [%]	81.77	81.75	80.79	81.49	81.60	81.98	81.84	81.21
3	$w_{ir}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	19.08	19.08	18.89	19.03	19.05	19.11	19.11	18.97
4	$h_{ir}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	76.32	76.32	75.85	76.21	76.23	76.39	76.39	76.06
5	$T_{or}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	38.01	38.31	38.46	38.58	38.65	38.70	38.75	38.78
6	$\%RH_{or}$ [%]	59.16	58.01	57.08	56.95	56.73	56.69	56.46	56.11
7	$w_{or}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	25.19	25.12	24.90	25.01	25.01	25.05	25.02	24.86
8	$h_{or}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	102.99	103.11	102.72	103.10	103.18	103.35	103.32	102.93
9	$R_{desorp}$ [ $\text{g}_w/\text{min}$ ]	11.00	10.87	10.83	10.75	10.73	10.69	10.65	10.60

ตารางที่ ค 11 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กึ่งดูดความชื้น ที่เงื่อนไข  $T_{ir}=55^{\circ}\text{C}$ ,  $w_{ir}=19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  
 $\dot{m}_{ir}=1.8 \text{ kg}/\text{min}$ ,  $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$

No.	Time [min]	35	50	70	90	110	130	150	170
1	$T_{ir} [^{\circ}\text{C}]$	27.46	27.57	27.56	27.45	27.52	27.49	27.52	27.52
2	$\%RH_{ir} [\%]$	81.50	80.27	81.11	81.97	81.39	81.88	81.61	81.71
3	$w_{ir} [\text{g}_w/\text{kg}_{da}]$	18.98	18.81	19.00	19.08	19.02	19.11	19.08	19.10
4	$h_{ir} [\text{kJ}/\text{kg}_{da}]$	76.04	75.69	76.18	76.28	76.19	76.39	76.34	76.39
5	$T_{or} [^{\circ}\text{C}]$	41.92	42.33	42.67	42.82	42.97	43.07	43.16	43.23
6	$\%RH_{or} [\%]$	55.67	54.04	53.33	52.95	52.37	52.18	51.84	51.65
7	$w_{or} [\text{g}_w/\text{kg}_{da}]$	29.41	29.16	29.29	29.32	29.22	29.26	29.21	29.21
8	$h_{or} [\text{kJ}/\text{kg}_{da}]$	117.97	117.76	118.47	118.69	118.61	118.82	118.77	118.84
9	$R_{desorp} [\text{g}_w/\text{min}]$	18.77	18.63	18.53	18.42	18.36	18.28	18.24	18.20

ตัวอย่างการคำนวณ : ค่าอัตราการคายความชื้นออกจากสารดูดความชื้น ( $R_{desorp}$ )

$$\begin{aligned} \text{ที่เวลา 90 นาที} \quad : R_{desorp} &= \dot{m}_{ir} \times (w_{ir} - w_{or}) \\ &= 1.8 \times (29.32 - 19.08) = 18.42 \text{ g}_w/\text{min} \end{aligned}$$

ตารางที่ ค 12 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กึ่งดูดความชื้น ที่เงื่อนไข  $T_{ir}=65^{\circ}\text{C}$ ,  $w_{ir}=19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  
 $\dot{m}_{ir}=1.8 \text{ kg}/\text{min}$ ,  $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$

No.	Time [min]	35	50	70	90	110	130	150	170
1	$T_{ir} [^{\circ}\text{C}]$	27.52	27.50	27.49	27.53	27.50	27.53	27.49	27.50
2	$\%RH_{ir} [\%]$	80.88	81.17	81.86	81.13	81.84	81.50	81.89	81.74
3	$w_{ir} [\text{g}_w/\text{kg}_{da}]$	18.90	18.95	19.11	18.97	19.11	19.06	19.11	19.09
4	$h_{ir} [\text{kJ}/\text{kg}_{da}]$	75.87	76.01	76.38	76.08	76.40	76.30	76.39	76.35
5	$T_{or} [^{\circ}\text{C}]$	48.49	48.83	49.19	49.34	49.53	49.95	50.02	50.05
6	$\%RH_{or} [\%]$	44.56	43.77	43.10	42.53	42.24	41.23	41.10	40.99
7	$w_{or} [\text{g}_w/\text{kg}_{da}]$	33.18	33.16	33.25	33.05	33.13	33.01	33.04	32.99
8	$h_{or} [\text{kJ}/\text{kg}_{da}]$	134.72	135.02	135.65	135.30	135.70	135.85	135.98	135.90
9	$R_{desorp} [\text{g}_w/\text{min}]$	25.72	25.57	25.46	25.35	25.24	25.12	25.07	25.03

ตารางที่ ค 13 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กึ่งลือดูดความชื้น ที่เงื่อนไข  $T_{ir}=55^{\circ}\text{C}$ ,  $w_{ir}=10 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  
 $\dot{m}_{ir}=1.8 \text{ kg}/\text{min}$ ,  $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$

No.	Time [min]	35	50	70	90	110	130	150	170
1	$T_{ir} [^{\circ}\text{C}]$	27.51	27.50	27.50	27.51	27.51	27.51	27.52	27.50
2	$\%RH_{ir} [\%]$	46.58	46.65	46.69	46.60	46.56	46.61	46.57	46.65
3	$w_{ir} [\text{g}_w/\text{kg}_{da}]$	10.74	10.75	10.76	10.75	10.74	10.75	10.74	10.75
4	$h_{ir} [\text{kJ}/\text{kg}_{da}]$	55.08	55.10	55.11	55.10	55.08	55.10	55.08	55.10
5	$T_{or} [^{\circ}\text{C}]$	27.51	27.50	27.50	27.51	27.51	27.51	27.52	27.50
6	$\%RH_{or} [\%]$	46.58	46.65	46.69	46.60	46.56	46.61	46.57	46.65
7	$w_{or} [\text{g}_w/\text{kg}_{da}]$	25.49	25.36	25.23	25.16	25.10	25.10	25.08	25.05
8	$h_{or} [\text{kJ}/\text{kg}_{da}]$	105.33	105.68	105.62	105.83	105.81	105.90	105.86	105.79
9	$R_{desorp} [\text{g}_w/\text{min}]$	26.54	26.29	26.05	25.94	25.85	25.83	25.81	25.74

ตารางที่ ค 14 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กึ่งลือดูดความชื้น ที่เงื่อนไข  $T_{ir}=55^{\circ}\text{C}$ ,  $w_{ir}=15 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  
 $\dot{m}_{ir}=1.8 \text{ kg}/\text{min}$ ,  $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$

No.	Time [min]	35	50	70	90	110	130	150	170
1	$T_{ir} [^{\circ}\text{C}]$	27.49	27.51	27.51	27.51	27.51	27.51	27.51	27.50
2	$\%RH_{ir} [\%]$	64.99	64.53	64.45	65.04	64.57	64.81	64.37	64.81
3	$w_{ir} [\text{g}_w/\text{kg}_{da}]$	15.07	14.98	14.96	15.10	14.99	15.04	14.94	15.04
4	$h_{ir} [\text{kJ}/\text{kg}_{da}]$	66.10	65.88	65.84	66.19	65.91	66.05	65.80	66.03
5	$T_{or} [^{\circ}\text{C}]$	40.71	41.06	41.39	41.55	41.80	41.98	41.99	42.06
6	$\%RH_{or} [\%]$	55.69	54.23	53.11	52.82	51.86	51.43	51.16	51.12
7	$w_{or} [\text{g}_w/\text{kg}_{da}]$	27.51	27.29	27.18	27.26	27.13	27.15	27.03	27.10
8	$h_{or} [\text{kJ}/\text{kg}_{da}]$	111.79	111.60	111.66	112.05	111.96	112.22	111.92	112.18
9	$R_{desorp} [\text{g}_w/\text{min}]$	22.38	22.16	21.99	21.89	21.84	21.80	21.75	21.71

ตารางที่ ค 15 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กึ่งลือดูดความชื้น ที่เงื่อนไข  $T_{ir}=55^{\circ}\text{C}$ ,  $w_{ir}=19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  $\dot{m}_{ir}=1.0 \text{ kg}/\text{min}$ ,  $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$

No.	Time [min]	35	50	70	90	110	130	150	170
1	$T_{ir} [^{\circ}\text{C}]$	27.52	27.51	27.51	27.50	27.51	27.51	27.50	27.49
2	$\%RH_{ir} [\%]$	81.34	81.74	81.53	81.76	81.15	81.56	81.83	81.89
3	$w_{ir} [\text{g}_w/\text{kg}_{da}]$	19.01	19.10	19.05	19.09	18.96	19.05	19.11	19.11
4	$h_{ir} [\text{kJ}/\text{kg}_{da}]$	76.16	76.38	76.27	76.36	76.02	76.26	76.39	76.40
5	$T_{or} [^{\circ}\text{C}]$	43.29	43.58	43.80	43.91	44.16	44.23	44.32	44.35
6	$\%RH_{or} [\%]$	49.50	48.80	48.11	47.82	46.91	46.85	46.72	46.60
7	$w_{or} [\text{g}_w/\text{kg}_{da}]$	28.02	28.06	27.98	27.96	27.77	27.86	27.90	27.88
8	$h_{or} [\text{kJ}/\text{kg}_{da}]$	115.85	116.26	116.28	116.35	116.13	116.43	116.63	116.60
9	$R_{desorp} [\text{g}_w/\text{min}]$	9.02	8.96	8.93	8.87	8.82	8.81	8.80	8.76

ตารางที่ ค 16 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กึ่งลือดูดความชื้น ที่เงื่อนไข  $T_{ir}=55^{\circ}\text{C}$ ,  $w_{ir}=19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  $\dot{m}_{ir}=2.5 \text{ kg}/\text{min}$ ,  $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$

No.	Time [min]	35	50	70	90	110	130	150	170
1	$T_{ir} [^{\circ}\text{C}]$	27.51	27.50	27.51	27.51	27.51	27.51	27.52	27.50
2	$\%RH_{ir} [\%]$	81.18	81.58	81.33	81.56	81.22	81.68	81.50	81.61
3	$w_{ir} [\text{g}_w/\text{kg}_{da}]$	18.97	19.05	19.00	19.05	18.97	19.08	19.05	19.06
4	$h_{ir} [\text{kJ}/\text{kg}_{da}]$	76.05	76.26	76.14	76.26	76.06	76.34	76.26	76.28
5	$T_{or} [^{\circ}\text{C}]$	44.48	44.79	44.89	45.03	45.17	45.26	45.28	45.31
6	$\%RH_{or} [\%]$	44.20	43.56	43.19	42.88	42.44	42.38	42.24	42.19
7	$w_{or} [\text{g}_w/\text{kg}_{da}]$	26.56	26.61	26.51	26.52	26.42	26.51	26.46	26.45
8	$h_{or} [\text{kJ}/\text{kg}_{da}]$	113.34	113.78	113.64	113.81	113.71	114.02	113.92	113.94
9	$R_{desorp} [\text{g}_w/\text{min}]$	18.99	18.88	18.77	18.66	18.62	18.57	18.52	18.48

ตารางที่ ค 17 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กึ่งลือดูดความชื้น ที่เงื่อนไข  $T_{ir}=55^{\circ}\text{C}$ ,  $w_{ir}=19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  $\dot{m}_{ir}=1.8 \text{ kg}/\text{min}$ ,  $\text{Rev}=1.0 \text{ rpm}$

No.	Time [min]	35	50	70	90	110	130	150	170
1	$T_{ir} [^{\circ}\text{C}]$	27.52	27.50	27.50	27.50	27.49	27.51	27.52	27.51
2	$\%RH_{ir} [\%]$	81.69	81.78	81.86	81.67	81.85	81.70	81.24	81.42
3	$w_{ir} [\text{g}_w/\text{kg}_{da}]$	19.10	19.10	19.11	19.07	19.10	19.09	18.99	19.02
4	$h_{ir} [\text{kJ}/\text{kg}_{da}]$	76.40	76.38	76.41	76.31	76.38	76.36	76.12	76.17
5	$T_{or} [^{\circ}\text{C}]$	43.14	43.44	43.61	43.74	43.78	43.83	43.95	44.12
6	$\%RH_{or} [\%]$	48.71	47.86	47.38	46.95	46.84	46.66	46.18	45.79
7	$w_{or} [\text{g}_w/\text{kg}_{da}]$	27.33	27.29	27.25	27.18	27.17	27.14	27.02	27.03
8	$h_{or} [\text{kJ}/\text{kg}_{da}]$	113.91	114.12	114.22	114.15	114.18	114.15	113.97	114.16
9	$R_{desorp} [\text{g}_w/\text{min}]$	14.82	14.74	14.65	14.59	14.53	14.49	14.46	14.42

ตารางที่ ค 18 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กึ่งลือดูดความชื้น ที่เงื่อนไข  $T_{ir}=55^{\circ}\text{C}$ ,  $w_{ir}=19 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  $\dot{m}_{ir}=1.8 \text{ kg}/\text{min}$ ,  $\text{Rev}=4.0 \text{ rpm}$

No.	Time [min]	35	50	70	90	110	130	150	170
1	$T_{ir} [^{\circ}\text{C}]$	27.50	27.49	27.50	27.49	27.50	27.50	27.51	27.50
2	$\%RH_{ir} [\%]$	81.59	81.87	81.65	81.83	81.71	81.43	81.27	81.39
3	$w_{ir} [\text{g}_w/\text{kg}_{da}]$	19.05	19.11	19.07	19.10	19.08	19.01	18.98	19.00
4	$h_{ir} [\text{kJ}/\text{kg}_{da}]$	76.26	76.39	76.30	76.37	76.31	76.15	76.09	76.12
5	$T_{or} [^{\circ}\text{C}]$	40.72	41.23	41.66	41.80	42.00	42.18	42.34	42.39
6	$\%RH_{or} [\%]$	63.93	62.12	60.50	59.99	59.26	58.54	57.92	57.73
7	$w_{or} [\text{g}_w/\text{kg}_{da}]$	31.82	31.75	31.62	31.59	31.54	31.44	31.38	31.36
8	$h_{or} [\text{kJ}/\text{kg}_{da}]$	122.90	123.27	123.39	123.47	123.53	123.47	123.49	123.50
9	$R_{desorp} [\text{g}_w/\text{min}]$	22.98	22.76	22.60	22.49	22.43	22.37	22.31	22.24



ตารางที่ ค 19 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กึ่งดูดความชื้น ที่เงื่อนไข  $T_{ip}=24.5^{\circ}\text{C}$ ,  $w_{ip}=w_{ir}=19$   
 $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  $T_{ir}=55^{\circ}\text{C}$ ,  $\dot{m}_{ip}=1.0 \text{ kg/min}$ ,  $\dot{m}_{ir}=1.8 \text{ kg/min}$ ,  $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$

No.	Time [min]	35	50	70	90	110	130	150	170
1	$T_{ip}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	24.49	24.55	24.62	24.52	24.60	24.67	24.56	24.49
2	$\%RH_{ip}$ [%]	97.95	97.48	96.99	97.66	97.12	96.71	97.38	97.86
3	$w_{ip}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	19.14	19.11	19.10	19.11	19.11	19.10	19.11	19.12
4	$h_{ip}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	73.33	73.33	73.38	73.30	73.37	73.43	73.34	73.30
5	$T_{op}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	32.34	32.17	32.04	31.90	31.84	31.76	31.72	31.69
6	$\%RH_{op}$ [%]	52.00	52.88	53.42	53.98	54.22	54.54	54.73	54.95
7	$w_{op}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	16.02	16.08	16.12	16.16	16.18	16.20	16.23	16.26
8	$h_{op}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	73.54	73.52	73.49	73.44	73.43	73.40	73.43	73.50
9	$T_{ir}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	54.95	55.08	55.14	55.05	55.09	55.10	54.89	54.82
10	$\%RH_{ir}$ [%]	19.12	18.98	18.92	19.01	18.96	18.95	19.16	19.23
11	$w_{ir}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	19.14	19.11	19.10	19.11	19.11	19.10	19.11	19.12
12	$h_{ir}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	105.11	105.18	105.21	105.15	105.18	105.17	104.97	104.93
13	$T_{or}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	40.77	40.64	40.44	40.39	40.30	40.19	40.05	39.93
14	$\%RH_{or}$ [%]	52.44	52.91	53.51	53.71	53.99	54.36	54.91	55.29
15	$w_{or}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	25.93	25.98	25.99	26.04	26.04	26.06	26.13	26.15
16	$h_{or}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	107.79	107.78	107.61	107.67	107.59	107.52	107.54	107.48
17	$R_{adsorp}$ [ $\text{g}_w/\text{min}$ ]	3.12	3.03	2.98	2.95	2.93	2.90	2.88	2.86
18	$R_{desorp}$ [ $\text{g}_w/\text{min}$ ]	12.22	12.36	12.41	12.46	12.49	12.53	12.64	12.65
19	DCOP	0.139	0.135	0.132	0.131	0.130	0.129	0.129	0.128

ตัวอย่างการคำนวณ : สัมประสิทธิ์สมรรถนะของกึ่งดูดความชื้น (DCOP)

$$\begin{aligned}
 \text{ที่เวลา 90 นาที} \quad : \text{DCOP} &= \frac{\dot{Q}_1}{\dot{Q}_{\text{regen}}} = \frac{\dot{m}_{ip}(w_{ip} - w_{op})(2,500.4 + 1.86T_{ip})}{\dot{m}_{ir}(h_{ir} - h_{ip})} \\
 &= \frac{0.017(0.01911 - 0.01616)(2,500.4 + 1.86(24.52))}{0.03(105.15 - 70.30)} = 0.131
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ค 20 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กึ่งดูดความชื้น ที่เงื่อนไข  $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ ,  $w_{ip}=w_{ir}=19$   
 $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  $T_{ir}=55^{\circ}\text{C}$ ,  $\dot{m}_{ip}=1.0 \text{ kg/min}$ ,  $\dot{m}_{ir}=1.8 \text{ kg/min}$ ,  $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$

No.	Time [min]	35	50	70	90	110	130	150	170
1	$T_{ip}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	27.51	27.48	27.50	27.49	27.52	27.49	27.52	27.52
2	$\%RH_{ip}$ [%]	81.96	82.17	82.00	82.05	81.86	82.02	81.86	81.84
3	$w_{ip}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	19.15	19.16	19.15	19.15	19.14	19.14	19.14	19.14
4	$h_{ip}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	76.51	76.51	76.49	76.49	76.49	76.47	76.50	76.50
5	$T_{op}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	35.12	34.91	34.72	34.64	34.56	34.49	34.46	34.40
6	$\%RH_{op}$ [%]	44.03	44.85	45.44	45.73	46.00	46.26	46.37	46.61
7	$w_{op}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	15.78	15.89	15.93	15.96	15.98	16.01	16.03	16.05
8	$h_{op}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	75.80	75.86	75.78	75.78	75.75	75.76	75.77	75.76
9	$T_{ir}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	55.07	55.01	55.10	55.04	55.11	55.01	55.07	55.11
10	$\%RH_{ir}$ [%]	19.21	19.09	18.99	19.05	18.97	19.07	19.02	18.98
11	$w_{ir}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	19.15	19.16	19.15	19.15	19.14	19.14	19.14	19.14
12	$h_{ir}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	105.26	105.24	105.29	105.23	105.28	105.18	105.23	105.27
13	$T_{or}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	41.10	40.84	40.52	40.35	40.22	40.17	40.15	40.10
14	$\%RH_{or}$ [%]	54.31	55.25	56.23	56.83	57.23	57.46	57.61	57.81
15	$w_{or}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	27.39	27.49	27.51	27.55	27.55	27.59	27.63	27.66
16	$h_{or}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	111.90	111.88	111.59	111.53	111.40	111.43	111.52	111.53
17	$R_{adsorp}$ [ $\text{g}_w/\text{min}$ ]	3.37	3.28	3.21	3.18	3.15	3.13	3.11	3.08
18	$R_{desorp}$ [ $\text{g}_w/\text{min}$ ]	14.83	14.98	15.05	15.13	15.15	15.21	15.29	15.33
19	DCOP	0.166	0.162	0.158	0.157	0.155	0.154	0.153	0.152

ตารางที่ ค 21 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กึ่งดูดความชื้น ที่เงื่อนไข  $T_{ip}=32.5^{\circ}\text{C}$ ,  $w_{ip}=w_{ir}=19$   
 $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  $T_{ir}=55^{\circ}\text{C}$ ,  $\dot{m}_{ip}=1.0 \text{ kg/min}$ ,  $\dot{m}_{ir}=1.8 \text{ kg/min}$ ,  $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$

No.	Time [min]	35	50	70	90	110	130	150	170
1	$T_{ip}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	32.56	32.52	32.53	32.50	32.53	32.55	32.51	32.53
2	$\%RH_{ip}$ [%]	61.23	61.45	61.33	61.49	61.34	61.25	61.42	61.34
3	$w_{ip}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	19.12	19.14	19.12	19.14	19.12	19.11	19.13	19.12
4	$h_{ip}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	81.72	81.72	81.68	81.69	81.68	81.67	81.69	81.67
5	$T_{op}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	38.06	37.84	37.67	37.55	37.43	37.37	37.32	37.28
6	$\%RH_{op}$ [%]	42.66	43.48	44.02	44.42	44.76	44.92	45.11	45.21
7	$w_{op}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	18.02	18.15	18.21	18.26	18.28	18.28	18.31	18.32
8	$h_{op}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	84.62	84.71	84.69	84.69	84.62	84.56	84.58	84.57
9	$T_{ir}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	55.08	55.01	55.07	55.00	55.08	55.13	55.10	55.12
10	$\%RH_{ir}$ [%]	18.99	19.08	19.00	19.08	19.00	18.94	18.99	18.95
11	$w_{ir}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	19.12	19.14	19.12	19.14	19.12	19.11	19.13	19.12
12	$h_{ir}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	105.21	105.18	105.19	105.16	105.21	105.23	105.25	105.24
13	$T_{or}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	44.57	44.24	44.01	43.81	43.65	43.53	43.47	43.40
14	$\%RH_{or}$ [%]	41.32	42.21	42.76	43.31	43.68	43.98	44.22	44.41
15	$w_{or}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	24.88	24.99	25.02	25.08	25.09	25.11	25.17	25.18
16	$h_{or}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	109.11	109.05	108.86	108.81	108.68	108.61	108.68	108.64
17	$R_{adsorp}$ [ $\text{g}_w/\text{min}$ ]	1.10	1.00	0.91	0.88	0.85	0.83	0.82	0.80
18	$R_{desorp}$ [ $\text{g}_w/\text{min}$ ]	10.37	10.53	10.61	10.70	10.74	10.81	10.86	10.91
19	DCOP	0.067	0.060	0.055	0.053	0.051	0.050	0.050	0.048

ตารางที่ ค 22 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กึ่งดูดความชื้น ที่เงื่อนไข  $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ ,  $w_{ip}=w_{ir}=10$   
 $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  $T_{ir}=55^{\circ}\text{C}$ ,  $\dot{m}_{ip}=1.0$  kg/min,  $\dot{m}_{ir}=1.8$  kg/min, Rev=2.5 rpm

No.	Time [min]	35	50	70	90	110	130	150	170
1	$T_{ip}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	27.55	27.60	27.56	27.61	27.55	27.50	27.56	27.60
2	%RH <sub>ip</sub> [%]	46.44	46.24	46.48	46.23	46.58	46.83	46.51	46.17
3	$w_{ip}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	10.73	10.72	10.75	10.72	10.77	10.80	10.75	10.70
4	$h_{ip}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	55.10	55.11	55.16	55.13	55.19	55.21	55.16	55.07
5	$T_{op}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	31.23	31.08	30.96	30.89	30.84	30.79	30.76	30.75
6	%RH <sub>op</sub> [%]	24.69	25.15	25.61	25.72	26.07	26.28	26.27	26.15
7	$w_{op}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	7.02	7.09	7.17	7.17	7.25	7.29	7.27	7.23
8	$h_{op}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	49.38	49.40	49.49	49.42	49.56	49.62	49.55	49.43
9	$T_{ir}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	55.01	55.12	54.96	55.08	55.00	54.87	54.94	55.09
10	%RH <sub>ir</sub> [%]	10.84	10.77	10.88	10.79	10.88	10.97	10.89	10.77
11	$w_{ir}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	10.73	10.72	10.75	10.72	10.77	10.80	10.75	10.70
12	$h_{ir}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	83.31	83.38	83.31	83.35	83.38	83.33	83.29	83.31
13	$T_{or}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	42.46	42.20	41.93	41.74	41.51	41.42	41.36	41.30
14	%RH <sub>or</sub> [%]	39.04	39.73	40.44	40.90	41.54	41.86	41.99	42.07
15	$w_{or}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	20.94	21.02	21.10	21.12	21.20	21.27	21.26	21.23
16	$h_{or}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	96.72	96.64	96.59	96.43	96.40	96.48	96.40	96.26
17	$R_{adsorp}$ [ $\text{g}_w/\text{min}$ ]	3.72	3.63	3.58	3.55	3.52	3.51	3.48	3.47
18	$R_{desorp}$ [ $\text{g}_w/\text{min}$ ]	18.37	18.54	18.63	18.72	18.78	18.85	18.91	18.96
19	DCOP	0.187	0.182	0.180	0.178	0.177	0.177	0.176	0.174

ตารางที่ ค 23 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กึ่งดูดความชื้น ที่เงื่อนไข  $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ ,  $w_{ip}=w_{ir}=15$   
 $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  $T_{ir}=55^{\circ}\text{C}$ ,  $\dot{m}_{ip}=1.0 \text{ kg/min}$ ,  $\dot{m}_{ir}=1.8 \text{ kg/min}$ ,  $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$

No.	Time [min]	35	50	70	90	110	130	150	170
1	$T_{ip}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	27.50	27.47	27.50	27.48	27.52	27.54	27.55	27.49
2	$\%RH_{ip}$ [%]	66.42	66.63	66.48	66.67	66.42	66.29	66.12	66.41
3	$w_{ip}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	15.43	15.45	15.44	15.46	15.44	15.43	15.40	15.41
4	$h_{ip}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	67.01	67.04	67.03	67.09	67.07	67.06	66.99	66.96
5	$T_{op}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	33.41	33.28	33.15	33.00	32.95	32.88	32.82	32.81
6	$\%RH_{op}$ [%]	36.73	37.24	37.61	38.16	38.29	38.48	38.63	38.73
7	$w_{op}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	11.90	11.97	12.01	12.08	12.09	12.10	12.11	12.13
8	$h_{op}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	64.09	64.15	64.11	64.16	64.13	64.07	64.02	64.09
9	$T_{ir}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	55.13	55.06	55.12	55.10	55.14	55.16	55.18	55.10
10	$\%RH_{ir}$ [%]	15.37	15.44	15.39	15.43	15.38	15.35	15.30	15.38
11	$w_{ir}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	15.43	15.45	15.44	15.46	15.44	15.43	15.40	15.41
12	$h_{ir}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	95.64	95.63	95.66	95.71	95.69	95.68	95.62	95.57
13	$T_{or}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	41.73	41.49	41.21	41.05	40.91	40.80	40.74	40.65
14	$\%RH_{or}$ [%]	47.43	48.26	49.04	49.60	49.97	50.30	50.45	50.72
15	$w_{or}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	24.62	24.74	24.77	24.85	24.85	24.87	24.86	24.89
16	$h_{or}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	105.44	105.48	105.27	105.30	105.16	105.10	105.00	104.99
17	$R_{adsorp}$ [ $\text{g}_w/\text{min}$ ]	3.53	3.47	3.43	3.38	3.35	3.33	3.29	3.28
18	$R_{desorp}$ [ $\text{g}_w/\text{min}$ ]	16.55	16.73	16.80	16.89	16.94	16.99	17.03	17.06
19	DCOP	0.175	0.172	0.170	0.167	0.166	0.165	0.163	0.162

ตารางที่ ค 24 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กึ่งดูดความชื้น ที่เงื่อนไข  $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ ,  $w_{ip}=w_{ir}=19$   
 $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  $T_{ir}=45^{\circ}\text{C}$ ,  $\dot{m}_{ip}=1.0 \text{ kg/min}$ ,  $\dot{m}_{ir}=1.8 \text{ kg/min}$ ,  $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$

No.	Time [min]	35	50	70	90	110	130	150	170
1	$T_{ip}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	27.52	27.52	27.51	27.55	27.54	27.52	27.50	27.48
2	$\%RH_{ip}$ [%]	81.93	81.90	81.96	81.72	81.78	81.90	82.04	82.18
3	$w_{ip}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	19.15	19.15	19.15	19.13	19.14	19.15	19.16	19.16
4	$h_{ip}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	76.53	76.52	76.52	76.51	76.52	76.52	76.51	76.52
5	$T_{op}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	30.65	30.45	30.30	30.16	30.12	30.00	29.97	29.96
6	$\%RH_{op}$ [%]	58.68	59.63	60.39	60.86	61.14	61.70	61.84	62.04
7	$w_{op}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	16.37	16.45	16.52	16.51	16.55	16.59	16.60	16.64
8	$h_{op}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	72.68	72.69	72.70	72.55	72.60	72.57	72.57	72.66
9	$T_{ir}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	44.98	45.02	45.02	45.03	45.02	45.01	45.01	45.00
10	$\%RH_{ir}$ [%]	31.42	31.34	31.35	31.30	31.33	31.35	31.37	31.40
11	$w_{ir}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	19.15	19.15	19.15	19.13	19.14	19.15	19.16	19.16
12	$h_{ir}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	94.74	94.78	94.79	94.74	94.75	94.77	94.78	94.79
13	$T_{or}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	37.39	37.25	37.11	36.97	36.90	36.69	36.62	36.57
14	$\%RH_{or}$ [%]	59.04	59.62	60.18	60.61	60.90	61.66	61.92	62.14
15	$w_{or}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	24.27	24.33	24.37	24.37	24.39	24.41	24.43	24.45
16	$h_{or}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	99.97	99.97	99.93	99.78	99.75	99.58	99.57	99.56
17	$R_{adsorp}$ [ $\text{g}_w/\text{min}$ ]	2.78	2.70	2.64	2.62	2.59	2.56	2.56	2.52
18	$R_{desorp}$ [ $\text{g}_w/\text{min}$ ]	9.22	9.33	9.40	9.43	9.45	9.47	9.49	9.51
19	DCOP	0.217	0.210	0.205	0.204	0.201	0.199	0.198	0.196

ตารางที่ ค 25 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กึ่งดูดความชื้น ที่เงื่อนไข  $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ ,  $w_{ip}=w_{ir}=19$   
 $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  $T_{ir}=65^{\circ}\text{C}$ ,  $\dot{m}_{ip}=1.0 \text{ kg/min}$ ,  $\dot{m}_{ir}=1.8 \text{ kg/min}$ ,  $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$

No.	Time [min]	35	50	70	90	110	130	150	170
1	$T_{ip}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	27.49	27.52	27.50	27.51	27.52	27.50	27.51	27.53
2	$\%RH_{ip}$ [%]	82.14	81.91	82.10	81.96	81.87	81.99	81.88	81.78
3	$w_{ip}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	19.17	19.16	19.17	19.15	19.13	19.15	19.13	19.13
4	$h_{ip}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	76.56	76.54	76.55	76.50	76.48	76.49	76.46	76.48
5	$T_{op}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	39.27	39.05	38.93	38.82	38.80	38.76	38.69	38.67
6	$\%RH_{op}$ [%]	39.26	39.78	40.15	40.39	40.47	40.61	40.82	40.89
7	$w_{op}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	17.69	17.72	17.77	17.77	17.78	17.81	17.83	17.85
8	$h_{op}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	85.04	84.87	84.88	84.76	84.78	84.81	84.79	84.81
9	$T_{ir}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	64.93	65.08	65.04	65.14	65.20	65.10	65.19	65.21
10	$\%RH_{ir}$ [%]	12.06	11.97	12.00	11.93	11.90	11.95	11.90	11.89
11	$w_{ir}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	19.17	19.16	19.17	19.15	19.13	19.15	19.13	19.13
12	$h_{ir}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	115.63	115.74	115.73	115.77	115.80	115.74	115.78	115.80
13	$T_{or}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	44.77	43.99	43.60	43.01	42.92	42.55	42.18	42.20
14	$\%RH_{or}$ [%]	48.03	50.15	51.34	53.00	53.35	54.51	55.64	55.68
15	$w_{or}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	29.43	29.52	29.62	29.66	29.72	29.77	29.82	29.87
16	$h_{or}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	121.04	120.46	120.29	119.79	119.83	119.58	119.30	119.45
17	$R_{adsorp}$ [ $\text{g}_w/\text{min}$ ]	1.48	1.44	1.40	1.38	1.35	1.33	1.30	1.28
18	$R_{desorp}$ [ $\text{g}_w/\text{min}$ ]	18.45	18.65	18.81	18.93	19.05	19.13	19.24	19.33
19	DCOP	0.054	0.052	0.051	0.050	0.049	0.048	0.047	0.046

ตารางที่ ค 26 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กึ่งดูดความชื้น ที่เงื่อนไข  $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ ,  $w_{ip}=w_{ir}=19$   
 $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  $T_{ir}=55^{\circ}\text{C}$ ,  $\dot{m}_{ip}=0.3 \text{ kg/min}$ ,  $\dot{m}_{ir}=1.8 \text{ kg/min}$ ,  $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$

No.	Time [min]	35	50	70	90	110	130	150	170
1	$T_{ip}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	27.52	27.51	27.52	27.50	27.51	27.51	27.50	27.51
2	$\%RH_{ip}$ [%]	81.95	81.99	81.93	82.03	81.94	81.90	81.99	81.90
3	$w_{ip}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	19.16	19.16	19.15	19.16	19.15	19.14	19.14	19.13
4	$h_{ip}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	76.54	76.53	76.53	76.52	76.51	76.50	76.49	76.47
5	$T_{op}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	36.81	36.71	36.52	36.47	36.44	36.41	36.37	36.32
6	$\%RH_{op}$ [%]	45.55	45.95	46.46	46.70	46.83	46.90	47.04	47.19
7	$w_{op}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	17.98	18.03	18.05	18.09	18.11	18.11	18.13	18.13
8	$h_{op}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	83.20	83.24	83.10	83.15	83.15	83.12	83.13	83.10
9	$T_{ir}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	55.00	54.99	55.05	55.03	55.06	55.07	55.01	55.01
10	$\%RH_{ir}$ [%]	19.09	19.11	19.05	19.07	19.03	19.02	19.08	19.06
11	$w_{ir}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	19.16	19.16	19.15	19.16	19.15	19.14	19.14	19.13
12	$h_{ir}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	105.22	105.20	105.25	105.25	105.26	105.24	105.19	105.17
13	$T_{or}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	45.05	44.65	44.34	44.13	44.04	43.96	43.96	43.92
14	$\%RH_{or}$ [%]	42.31	43.34	44.12	44.66	44.90	45.13	45.26	45.40
15	$w_{or}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	26.17	26.27	26.32	26.35	26.37	26.40	26.47	26.50
16	$h_{or}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	112.93	112.78	112.57	112.42	112.39	112.37	112.55	112.59
17	$R_{adsorp}$ [ $\text{g}_w/\text{min}$ ]	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.31	0.31	0.30
18	$R_{desorp}$ [ $\text{g}_w/\text{min}$ ]	12.62	12.80	12.90	12.95	13.00	13.06	13.18	13.26
19	DCOP	0.018	0.017	0.016	0.016	0.015	0.015	0.015	0.015



ตารางที่ ค 27 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กึ่งดูดความชื้น ที่เงื่อนไข  $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ ,  $w_{ip}=w_{ir}=19$   
 $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  $T_{ir}=55^{\circ}\text{C}$ ,  $\dot{m}_{ip}=1.7 \text{ kg/min}$ ,  $\dot{m}_{ir}=1.8 \text{ kg/min}$ ,  $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$

No.	Time [min]	35	50	70	90	110	130	150	170
1	$T_{ip}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	27.52	27.51	27.51	27.50	27.51	27.51	27.52	27.50
2	$\%RH_{ip}$ [%]	81.85	81.91	81.95	81.98	81.92	81.89	81.87	82.01
3	$w_{ip}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	19.14	19.14	19.14	19.14	19.14	19.14	19.14	19.15
4	$h_{ip}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	76.49	76.49	76.49	76.49	76.49	76.49	76.48	76.50
5	$T_{op}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	32.53	32.39	32.27	32.17	32.15	32.05	32.00	31.97
6	$\%RH_{op}$ [%]	52.23	52.78	53.37	53.85	53.93	54.29	54.47	54.68
7	$w_{op}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	16.20	16.25	16.32	16.38	16.39	16.40	16.41	16.45
8	$h_{op}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	74.21	74.19	74.23	74.29	74.29	74.23	74.18	74.25
9	$T_{ir}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	55.11	55.09	55.05	54.91	55.00	55.04	55.09	55.08
10	$\%RH_{ir}$ [%]	18.98	18.99	19.04	19.17	19.08	19.05	19.00	19.02
11	$w_{ir}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	19.14	19.14	19.14	19.14	19.14	19.14	19.14	19.15
12	$h_{ir}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	105.27	105.26	105.23	105.08	105.17	105.20	105.25	105.27
13	$T_{or}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	41.70	41.44	41.16	40.91	40.90	40.75	40.69	40.65
14	$\%RH_{or}$ [%]	46.87	47.71	48.45	49.22	49.27	49.74	49.94	50.13
15	$w_{or}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	24.28	24.38	24.40	24.46	24.48	24.51	24.53	24.57
16	$h_{or}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	104.51	104.53	104.26	104.16	104.19	104.10	104.11	104.18
17	$R_{adsorp}$ [ $\text{g}_w/\text{min}$ ]	4.98	4.91	4.80	4.70	4.68	4.65	4.64	4.59
18	$R_{desorp}$ [ $\text{g}_w/\text{min}$ ]	9.25	9.44	9.46	9.57	9.61	9.66	9.72	9.77
19	DCOP	0.245	0.242	0.237	0.233	0.231	0.230	0.228	0.226

ตารางที่ ค 28 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กึ่งดูดความชื้น ที่เงื่อนไข  $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ ,  $w_{ip}=w_{ir}=19$   
 $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  $T_{ir}=55^{\circ}\text{C}$ ,  $\dot{m}_{ip}=1.0 \text{ kg/min}$ ,  $\dot{m}_{ir}=1.0 \text{ kg/min}$ ,  $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$

No.	Time [min]	35	50	70	90	110	130	150	170
1	$T_{ip}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	27.51	27.51	27.49	27.49	27.52	27.51	27.50	27.51
2	$\%RH_{ip}$ [%]	81.98	81.93	82.05	82.08	81.80	81.85	81.95	81.89
3	$w_{ip}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	19.16	19.15	19.15	19.16	19.12	19.12	19.14	19.13
4	$h_{ip}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	76.53	76.52	76.50	76.51	76.45	76.45	76.48	76.46
5	$T_{op}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	33.19	32.91	32.79	32.67	32.60	32.49	32.45	32.37
6	$\%RH_{op}$ [%]	50.09	51.15	51.71	52.21	52.36	52.83	53.05	53.38
7	$w_{op}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	16.13	16.22	16.29	16.34	16.32	16.36	16.39	16.42
8	$h_{op}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	74.70	74.64	74.69	74.70	74.57	74.57	74.61	74.59
9	$T_{ir}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	55.09	55.09	55.05	55.04	55.06	55.05	55.04	55.04
10	$\%RH_{ir}$ [%]	19.01	19.00	19.04	19.06	19.01	19.02	19.04	19.03
11	$w_{ir}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	19.16	19.15	19.15	19.16	19.12	19.12	19.14	19.13
12	$h_{ir}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	105.30	105.29	105.25	105.26	105.17	105.19	105.21	105.18
13	$T_{or}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	39.25	39.00	38.87	38.86	38.77	38.65	38.62	38.56
14	$\%RH_{or}$ [%]	56.55	57.47	57.94	58.05	58.32	58.75	58.97	59.18
15	$w_{or}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	25.77	25.85	25.88	25.92	25.91	25.93	25.99	26.00
16	$h_{or}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	105.79	105.73	105.66	105.76	105.63	105.57	105.67	105.63
17	$R_{adsorp}$ [ $\text{g}_w/\text{min}$ ]	3.03	2.93	2.87	2.82	2.80	2.76	2.75	2.71
18	$R_{desorp}$ [ $\text{g}_w/\text{min}$ ]	6.62	6.70	6.73	6.76	6.79	6.81	6.85	6.87
19	DCOP	0.269	0.260	0.254	0.250	0.249	0.245	0.244	0.241

ตารางที่ ค 29 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กึ่งดูดความชื้น ที่เงื่อนไข  $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ ,  $w_{ip}=w_{ir}=19$   
 $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  $T_{ir}=55^{\circ}\text{C}$ ,  $\dot{m}_{ip}=1.0 \text{ kg/min}$ ,  $\dot{m}_{ir}=2.5 \text{ kg/min}$ ,  $\text{Rev}=2.5 \text{ rpm}$

No.	Time [min]	35	50	70	90	110	130	150	170
1	$T_{ip}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	27.51	27.52	27.50	27.51	27.52	27.50	27.50	27.50
2	$\%RH_{ip}$ [%]	81.91	81.86	82.05	81.94	81.84	81.96	82.01	81.96
3	$w_{ip}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	19.14	19.13	19.16	19.14	19.13	19.14	19.15	19.14
4	$h_{ip}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	76.48	76.48	76.52	76.49	76.46	76.49	76.50	76.49
5	$T_{op}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	38.40	38.33	38.31	38.26	38.22	38.18	38.14	38.07
6	$\%RH_{op}$ [%]	42.11	42.40	42.59	42.76	42.86	43.05	43.23	43.38
7	$w_{op}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	18.11	18.18	18.24	18.26	18.27	18.31	18.34	18.34
8	$h_{op}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	85.21	85.31	85.45	85.44	85.42	85.49	85.52	85.46
9	$T_{ir}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	54.99	55.03	54.93	54.95	55.05	54.98	54.94	55.05
10	$\%RH_{ir}$ [%]	19.09	19.05	19.16	19.13	19.02	19.10	19.14	19.04
11	$w_{ir}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	19.14	19.13	19.16	19.14	19.13	19.14	19.15	19.14
12	$h_{ir}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	105.15	105.18	105.14	105.12	105.18	105.15	105.13	105.23
13	$T_{or}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	44.52	44.19	43.94	43.76	43.65	43.62	43.48	43.31
14	$\%RH_{or}$ [%]	41.48	42.34	43.00	43.46	43.71	43.88	44.30	44.71
15	$w_{or}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	24.92	25.01	25.07	25.10	25.10	25.16	25.22	25.24
16	$h_{or}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	109.16	109.03	108.92	108.82	108.71	108.83	108.83	108.71
17	$R_{adsorp}$ [ $\text{g}_w/\text{min}$ ]	1.02	0.96	0.91	0.88	0.86	0.83	0.81	0.80
18	$R_{desorp}$ [ $\text{g}_w/\text{min}$ ]	14.47	14.68	14.79	14.91	14.95	15.05	15.19	15.25
19	DCOP	0.036	0.034	0.033	0.031	0.030	0.030	0.029	0.028

ตารางที่ ค 30 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กึ่งดูดความชื้น ที่เงื่อนไข  $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ ,  $w_{ip}=w_{ir}=19$   
 $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  $T_{ir}=55^{\circ}\text{C}$ ,  $\dot{m}_{ip}=1.0 \text{ kg/min}$ ,  $\dot{m}_{ir}=1.8 \text{ kg/min}$ ,  $\text{Rev}=1.0 \text{ rpm}$

No.	Time [min]	35	50	70	90	110	130	150	170
1	$T_{ip}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	27.54	27.56	27.62	27.53	27.50	27.54	27.57	27.53
2	$\%RH_{ip}$ [%]	81.84	81.74	81.41	81.88	81.99	81.81	81.64	81.90
3	$w_{ip}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	19.16	19.15	19.14	19.15	19.15	19.15	19.14	19.15
4	$h_{ip}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	76.56	76.56	76.61	76.53	76.51	76.55	76.54	76.54
5	$T_{op}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	35.53	35.23	34.97	34.77	34.62	34.53	34.48	34.48
6	$\%RH_{op}$ [%]	44.12	45.02	45.89	46.48	46.91	47.19	47.48	47.59
7	$w_{op}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	16.18	16.24	16.33	16.35	16.37	16.38	16.43	16.48
8	$h_{op}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	77.26	77.01	77.06	76.92	76.79	76.74	76.82	76.94
9	$T_{ir}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	54.93	55.08	55.15	55.08	55.05	55.09	55.11	55.08
10	$\%RH_{ir}$ [%]	19.16	19.01	18.94	19.20	19.05	19.01	18.97	19.02
11	$w_{ir}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	19.16	19.15	19.14	19.15	19.15	19.15	19.14	19.15
12	$h_{ir}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	105.14	105.28	105.33	105.27	105.25	105.29	105.28	105.29
13	$T_{or}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	38.55	38.34	38.07	37.99	37.87	37.76	37.73	37.68
14	$\%RH_{or}$ [%]	61.36	62.28	63.24	63.62	64.13	64.52	64.66	64.95
15	$w_{or}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	26.99	27.08	27.11	27.16	27.19	27.19	27.21	27.25
16	$h_{or}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	108.17	108.18	107.97	108.01	107.97	107.86	107.88	107.92
17	$R_{adsorp}$ [ $\text{g}_w/\text{min}$ ]	2.98	2.91	2.82	2.80	2.79	2.77	2.70	2.68
18	$R_{desorp}$ [ $\text{g}_w/\text{min}$ ]	14.09	14.27	14.34	14.41	14.47	14.48	14.53	14.58
19	DCOP	0.148	0.144	0.139	0.138	0.137	0.137	0.133	0.132

ตารางที่ ค 31 ข้อมูลสภาวะอากาศที่อุปกรณ์กึ่งดูดความชื้น ที่เงื่อนไข  $T_{ip}=27.5^{\circ}\text{C}$ ,  $w_{ip}=w_{ir}=19$   
 $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ,  $T_{ir}=55^{\circ}\text{C}$ ,  $\dot{m}_{ip}=1.0\text{ kg/min}$ ,  $\dot{m}_{ir}=1.8\text{ kg/min}$ ,  $\text{Rev}=4.0\text{ rpm}$

No.	Time [min]	35	50	70	90	110	130	150	170
1	$T_{ip}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	27.52	27.55	27.49	27.56	27.53	27.51	27.54	27.52
2	$\%RH_{ip}$ [%]	81.90	81.75	82.05	81.67	81.83	81.96	81.78	81.91
3	$w_{ip}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	19.15	19.15	19.15	19.13	19.14	19.15	19.15	19.15
4	$h_{ip}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	76.53	76.55	76.51	76.52	76.52	76.52	76.54	76.52
5	$T_{op}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	35.62	35.53	35.53	35.51	35.50	35.46	35.40	35.34
6	$\%RH_{op}$ [%]	44.51	44.93	45.15	45.20	45.28	45.44	45.64	45.85
7	$w_{op}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	16.41	16.49	16.57	16.57	16.59	16.61	16.63	16.65
8	$h_{op}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	77.94	78.06	78.26	78.25	78.28	78.30	78.29	78.27
9	$T_{ir}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	55.04	55.07	54.99	55.08	55.01	54.99	55.06	55.01
10	$\%RH_{ir}$ [%]	19.05	19.02	19.10	19.00	19.08	19.10	19.03	19.08
11	$w_{ir}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	19.15	19.15	19.15	19.13	19.14	19.15	19.15	19.15
12	$h_{ir}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	105.24	105.26	105.19	105.23	105.18	105.19	105.25	105.20
13	$T_{or}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	40.97	40.67	40.44	40.26	40.16	39.99	39.96	39.96
14	$\%RH_{or}$ [%]	53.23	54.24	54.98	55.58	55.99	56.64	56.71	56.81
15	$w_{or}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{da}$ ]	26.62	26.71	26.74	26.79	26.84	26.90	26.90	26.94
16	$h_{or}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{da}$ ]	109.77	109.69	109.53	109.46	109.49	109.46	109.43	109.53
17	$R_{adsorp}$ [ $\text{g}_w/\text{min}$ ]	2.74	2.66	2.58	2.56	2.55	2.54	2.51	2.50
18	$R_{desorp}$ [ $\text{g}_w/\text{min}$ ]	13.44	13.61	13.65	13.77	13.85	13.94	13.95	14.02
19	DCOP	0.135	0.131	0.128	0.126	0.126	0.126	0.124	0.123

**ตารางที่ ค 32** ข้อมูลสภาพอากาศภายในและภายนอกห้องทดลองในช่วงเวลา 09.00 น. ถึง 21.00 น.

No.	Time [hour]	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
1	$T_{\text{out}}$ [°C]	30.00	30.50	31.40	32.50	32.70	33.30	32.70	32.30	31.20	30.10	28.80	27.90	27.30
2	%RH <sub>out</sub> [%]	84.27	74.07	69.26	64.31	59.64	57.54	63.55	68.30	69.91	77.64	83.87	84.37	87.51
3	$W_{\text{out}}$ [g/kg <sub>da</sub> ]	22.88	20.62	20.29	20.04	18.76	18.72	20.03	21.08	20.25	21.15	21.19	20.20	20.23
4	$h_{\text{out}}$ [kJ/kg <sub>da</sub> ]	88.64	83.40	83.49	84.00	80.93	81.45	84.18	86.45	83.17	84.31	83.07	79.60	79.05
5	$T_{\text{in}}$ [°C]	28.60	29.20	29.70	30.20	30.60	31.00	31.10	31.20	31.20	30.90	30.70	30.30	30.10
6	%RH <sub>in</sub> [%]	94.47	93.46	92.58	90.72	87.17	85.32	84.46	84.08	84.41	85.01	86.44	85.49	85.64
7	$W_{\text{in}}$ [g/kg <sub>da</sub> ]	23.69	24.29	24.78	25.00	24.56	24.60	24.48	24.51	24.61	24.36	24.49	23.64	23.41
8	$h_{\text{in}}$ [kJ/kg <sub>da</sub> ]	89.22	91.38	93.17	94.25	93.55	94.07	93.88	94.07	94.32	93.36	93.48	90.90	90.08

**ตารางที่ ค 33** ข้อมูลสภาพอากาศภายในและภายนอกห้องทดลองร่วมกับระบบลดความชื้นในช่วงเวลา 09.00 น. ถึง 21.00 น.

No.	Time [hour]	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
1	$T_{\text{out}}$ [°C]	30.00	30.80	32.20	32.50	33.30	32.00	32.20	30.70	29.50	28.30	28.10	27.40	27.50
2	%RH <sub>out</sub> [%]	72.64	69.20	60.84	67.67	55.86	67.32	65.20	72.04	75.89	84.13	89.69	90.20	90.96
3	$W_{\text{out}}$ [g/kg <sub>da</sub> ]	19.62	19.57	18.60	21.12	18.16	20.41	19.98	20.28	19.93	20.63	21.78	21.00	21.31
4	$h_{\text{out}}$ [kJ/kg <sub>da</sub> ]	80.32	81.02	80.00	86.77	80.01	84.41	83.52	82.72	80.58	81.12	83.84	81.12	82.01
5	$T_{\text{in}}$ [°C]	29.30	30.10	30.80	31.00	31.50	31.60	31.80	31.70	31.30	31.00	30.80	30.50	30.40
6	%RH <sub>in</sub> [%]	86.94	67.31	65.81	65.62	63.39	64.14	65.11	65.91	66.31	67.31	68.57	69.25	70.84
7	$W_{\text{in}}$ [g/kg <sub>da</sub> ]	22.67	18.25	18.58	18.74	18.63	18.96	19.49	19.62	19.29	19.24	19.39	19.24	19.58
8	$h_{\text{in}}$ [kJ/kg <sub>da</sub> ]	87.35	76.91	78.49	79.12	79.34	80.30	81.85	82.08	80.81	80.39	80.55	79.87	80.62

ตารางที่ ค 34 ข้อมูลสภาพอากาศภายในและภายนอกห้องทดลองร่วมกับระบบปรับอากาศในช่วงเวลา 09.00 น. ถึง 21.00 น.

No.	Time [hour]	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
1	$T_{\text{oa}}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	30.00	29.80	31.10	31.20	31.60	31.60	30.90	30.00	28.80	28.40	27.40	27.20	26.70
2	$\%RH_{\text{oa}}$ [%]	69.49	71.55	67.90	66.66	62.76	65.10	71.56	71.99	80.38	83.65	91.05	92.40	94.96
3	$W_{\text{oa}}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{\text{da}}$ ]	18.75	19.09	19.53	19.28	18.54	19.26	20.38	19.44	20.28	20.63	21.21	21.27	21.23
4	$h_{\text{oa}}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{\text{da}}$ ]	78.08	78.75	81.23	80.69	79.23	81.06	83.19	79.86	80.75	81.23	81.64	81.60	80.96
5	$T_{\text{ia}}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	28.20	25.90	25.70	26.00	26.10	26.20	26.10	25.60	25.30	24.90	24.40	24.10	23.80
6	$\%RH_{\text{ia}}$ [%]	94.65	67.21	63.31	62.27	62.98	61.77	60.10	56.84	58.63	57.94	57.39	57.57	58.38
7	$W_{\text{ia}}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{\text{da}}$ ]	23.17	14.17	13.17	13.19	13.42	13.24	12.80	11.73	11.89	11.46	11.01	10.85	10.80
8	$h_{\text{ia}}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{\text{da}}$ ]	87.48	62.17	59.41	59.76	60.46	60.09	58.87	55.63	55.73	54.23	52.58	51.84	51.42
9	$T_{\text{sa}}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	26.10	15.70	15.30	15.50	15.60	15.70	15.30	14.60	14.60	14.10	13.40	13.00	12.90
10	$\%RH_{\text{sa}}$ [%]	84.97	83.60	77.80	77.82	77.84	74.44	71.67	66.46	70.17	67.51	64.07	65.62	64.79
11	$W_{\text{sa}}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{\text{da}}$ ]	18.25	9.33	8.45	8.57	8.62	8.30	7.78	6.89	7.27	6.77	6.13	6.12	6.00
12	$h_{\text{sa}}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{\text{da}}$ ]	72.75	39.39	36.76	37.25	37.50	36.77	35.05	32.08	33.07	31.28	28.96	28.52	28.12
13	$T_{\text{ra}}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	28.20	25.90	25.70	26.00	26.10	26.20	26.10	25.60	25.30	24.90	24.40	24.10	23.80
14	$\%RH_{\text{ra}}$ [%]	94.65	67.21	63.31	62.27	62.98	61.77	60.10	56.84	58.63	57.94	57.39	57.57	58.38
15	$W_{\text{ra}}$ [ $\text{g}_w/\text{kg}_{\text{da}}$ ]	23.17	14.17	13.17	13.19	13.42	13.24	12.80	11.73	11.89	11.46	11.01	10.85	10.80
16	$h_{\text{ra}}$ [ $\text{kJ}/\text{kg}_{\text{da}}$ ]	87.48	62.17	59.41	59.76	60.46	60.09	58.87	55.63	55.73	54.23	52.58	51.84	51.42

**ตารางที่ 35** ข้อมูลสภาวะอากาศภายในและภายนอกห้องทดลองร่วมกับระบบปรับอากาศและระบบลดความชื้นในช่วงเวลา 09.00 น. ถึง 21.00 น.

No.	Time [hour]	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
1	$T_{\text{out}} [^{\circ}\text{C}]$	29.80	31.20	31.70	31.60	32.10	32.40	32.70	31.30	30.50	27.20	26.40	25.90	25.50
2	$\%RH_{\text{out}} [\%]$	59.27	68.50	60.38	61.43	55.17	53.27	58.72	64.70	72.83	84.78	93.29	95.16	95.62
3	$W_{\text{out}} [\text{g}_w/\text{kg}_{\text{db}}]$	15.73	19.83	17.93	18.14	16.72	16.42	18.46	18.80	20.27	19.46	20.46	20.26	19.87
4	$h_{\text{out}} [\text{kJ}/\text{kg}_{\text{db}}]$	70.18	82.09	77.76	78.20	75.10	74.62	80.16	79.58	82.49	76.99	78.70	77.66	76.24
5	$T_{\text{in}} [^{\circ}\text{C}]$	27.50	25.20	25.40	25.60	25.70	26.00	26.20	26.10	25.70	25.20	24.60	24.30	23.90
6	$\%RH_{\text{in}} [\%]$	92.23	54.73	52.52	51.33	52.05	50.23	52.79	53.94	52.22	51.28	51.84	52.42	52.36
7	$W_{\text{in}} [\text{g}_w/\text{kg}_{\text{db}}]$	21.62	11.02	10.69	10.57	10.79	10.60	11.28	11.46	10.82	10.31	10.05	9.98	9.73
8	$h_{\text{in}} [\text{kJ}/\text{kg}_{\text{db}}]$	82.80	53.41	52.79	52.69	53.34	53.16	55.10	55.46	53.43	51.61	50.33	49.85	48.80
9	$T_{\text{sat}} [^{\circ}\text{C}]$	24.30	15.30	15.20	15.20	15.40	15.40	15.80	15.70	15.40	14.40	14.00	13.60	13.30
10	$\%RH_{\text{sat}} [\%]$	94.93	72.48	70.31	70.26	70.26	66.88	70.72	74.58	70.49	71.32	69.83	69.01	69.53
11	$W_{\text{sat}} [\text{g}_w/\text{kg}_{\text{db}}]$	18.32	7.87	7.58	7.57	7.67	7.30	7.93	8.31	7.70	7.30	6.96	6.70	6.62
12	$h_{\text{sat}} [\text{kJ}/\text{kg}_{\text{db}}]$	71.05	35.28	34.45	34.44	34.89	33.95	35.94	36.81	34.96	32.93	31.56	30.59	30.08
13	$T_{\text{ra}} [^{\circ}\text{C}]$	27.50	25.20	25.40	25.60	25.70	26.00	26.20	26.10	25.70	25.20	24.60	24.30	23.90
14	$\%RH_{\text{ra}} [\%]$	92.23	54.73	52.52	51.33	52.05	50.23	52.79	53.94	52.22	51.28	51.84	52.42	52.36
15	$W_{\text{ra}} [\text{g}_w/\text{kg}_{\text{db}}]$	21.62	11.02	10.69	10.57	10.79	10.60	11.28	11.46	10.82	10.31	10.05	9.98	9.73
16	$h_{\text{ra}} [\text{kJ}/\text{kg}_{\text{db}}]$	82.80	53.41	52.79	52.69	53.34	53.16	55.10	55.46	53.43	51.61	50.33	49.85	48.80



### ภาคผนวก ง

การคำนวณผลประหยัดพลังงานจากการใช้ระบบลดความชื้นร่วมกับระบบปรับอากาศ

จากผลการจำลองระบบลดความชื้นร่วมกับระบบทำความเย็นด้วยโปรแกรม EnergyPlus version 1.4 ที่ระบบทำความเย็นขนาด 36,000 Btu/hr อัตราการไหลลมจ่าย 0.64 kg/sec และอัตราการระบายอากาศ 0.09 kg/sec ช่วงเวลา 09.00 น. ถึง 21.00 น. ของวันที่ 4 เมษายน 2552

### ง 1 ข้อมูลทั่วไป

ก่อนติดตั้งระบบลดความชื้น :

อุณหภูมิลมเย็น	22.99°C
ความชื้นสัมพัทธ์ลมจ่าย	62.13%
ความร้อนจำเพาะของลมจ่าย	50.95 kJ/kg <sub>da</sub>
อุณหภูมิลมกลับ	28.48°C
ความชื้นสัมพัทธ์ลมกลับ	67.76%
ความร้อนจำเพาะของลมกลับ	71.27 kJ/kg <sub>da</sub>
ภาระการทำความเย็น	13.00 kW <sub>thermal</sub>
ค่าพลังงาน	1 kW <sub>electrical</sub> = 3 kW <sub>thermal</sub>
ค่าไฟฟ้า	3.9 บาท/kWh

จากข้อมูล ภาระการทำความเย็น คิดเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้า	= 13.00 × 0.33
	= 4.33 kW
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (เวลาทำงาน 12 ชั่วโมงต่อวัน 300 วันต่อปี)	= 4.33 × 12 × 300
	= 15,588 kWh ต่อปี
คิดเป็นเงิน	= 15,588 × 3.9
	= 60,793 บาทต่อปี

หลังติดตั้งระบบลดความชื้น :

อุณหภูมิลมเย็น	22.99°C
ความชื้นสัมพัทธ์ลมจ่าย	58.59%
ความร้อนจำเพาะของลมจ่าย	49.37 kJ/kg <sub>da</sub>
อุณหภูมิลมกลับ	29.27°C
ความชื้นสัมพัทธ์ลมกลับ	38.86%
ความร้อนจำเพาะของลมกลับ	54.77 kJ/kg <sub>da</sub>
ภาระการทำความเย็น	3.46 kW

จากข้อมูล ภาระการทำความเย็น คิดเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้า	$= 3.46 \times 0.33$
	$= 1.14 \text{ kW}$
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (เวลาทำงาน 12 ชั่วโมงต่อวัน 300 วันต่อปี)	$= 1.14 \times 12 \times 300$
	$= 4,104 \text{ kWh ต่อปี}$
คิดเป็นเงิน	$= 4,104 \times 3.9$
	$= 16,006 \text{ บาทต่อปี}$
จากข้อมูล มอเตอร์ของกึ่งล้อยูดความชื้น ขนาด 0.5 แรงม้า	
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (เวลาทำงาน 12 ชั่วโมงต่อวัน 300 วันต่อปี)	$= 0.5 \times 0.7457 \times 12 \times 300$
	$= 1,342.26 \text{ kWh ต่อปี}$
คิดเป็นเงิน	$= 1,342.26 \times 3.9$
	$= 5,235 \text{ บาทต่อปี}$
จากข้อมูล พัดลมเป่าอากาศ ขนาด 0.5 แรงม้า	
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (เวลาทำงาน 12 ชั่วโมงต่อวัน 300 วันต่อปี)	$= 0.5 \times 0.7457 \times 12 \times 300$
	$= 1,342.26 \text{ kWh ต่อปี}$
คิดเป็นเงิน	$= 1,342.26 \times 3.9$
	$= 5,235 \text{ บาทต่อปี}$
จากข้อมูล ฮีตเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 3,000 W (ทำงาน 50%)	
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (เวลาทำงาน 12 ชั่วโมงต่อวัน 300 วันต่อปี)	$= 3 \times 0.5 \times 12 \times 300$
	$= 5,400 \text{ kWh ต่อปี}$
คิดเป็นเงิน	$= 5,400 \times 3.9$
	$= 21,060 \text{ บาทต่อปี}$
รวมพลังงานไฟฟ้าที่ใช้	$= 4,104 + 1,342.26 + 1,342.26 + 5,400$
	$= 12,188.52 \text{ kWh ต่อปี}$
รวมคิดเป็นเงิน	$= 16,006 + 5,235 + 5,235 + 21,060$
	$= 47,536 \text{ บาทต่อปี}$

## ง 2 ผลประหยัด

พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	= 15,588-12,188.52
	= 3,399.48 kWh ต่อปี
คิดเป็นเงินประหยัดได้	= 60,793-47,536
	= 13,257 บาทต่อปี

## ง 3 การลงทุนและผลตอบแทน

### ง 3.1 คำนวณหาปริมาณซิลิกาเจล

สถานะอากาศที่ทางเข้ากล่องดูดความชื้น 31.4 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 59.8% อัตราส่วนความชื้น 17.3 g<sub>w</sub>/kg<sub>da</sub> และสถานะอากาศที่ทางออกกล่องดูดความชื้น 54.4°C ความชื้นสัมพัทธ์ 10.3% อัตราส่วนความชื้น 9.9 g<sub>w</sub>/kg<sub>da</sub> โดยมีอัตราการระบายอากาศ 0.09 kg/sec

$$\begin{aligned} \text{คำนวณหาค่าอัตราการนำความชื้นออกจากอากาศ} &= 0.09 \times (17.3 - 9.9) \\ &= 0.666 \text{ g}_w/\text{sec} \end{aligned}$$

จากความสัมพันธ์ระหว่างสมดุลการดูดซับน้ำกับเวลาของซิลิกาเจล โดยการคำนวณให้อัตราการดูดความชื้นมีค่าประมาณ 35 g<sub>w</sub>/kg<sub>silicagel</sub> ต่อชั่วโมง

$$\begin{aligned} \text{คำนวณหาปริมาณซิลิกาเจล} &= 0.666 \times 60 \times 60 \times 35^{-1} \\ &= 68 \text{ kg}_{\text{silicagel}} \end{aligned}$$

### ง 3.2 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการลงทุน

ค่าอุปกรณ์ระบบท่อ และฉนวน	3,000 บาท
ค่ามอเตอร์ขนาด 1.5 แรงม้า และระบบขับเคลื่อนกล่อง	5,500 บาท
ค่าพัดลมเป่าอากาศขนาด 1 แรงม้า	6,700 บาท
ค่าสารดูดความชื้น 68 kg (ซิลิกาเจลขนาด 2-3 mm)	6,800 บาท
ค่าโครงสร้างกล่องดูดความชื้น	7,200 บาท
ค่าฮีตเตอร์ไฟฟ้า และอุปกรณ์ควบคุม	8,000 บาท
ค่าอินเวอร์เตอร์ขนาด 2.2 kW	12,000 บาท
ค่าใช้จ่ายในการสร้างและติดตั้งอุปกรณ์	15,000 บาท
รวมค่าใช้จ่ายในการดำเนินการลงทุน	64,200 บาท

### ง 3.3 ระยะการคืนทุนเบื้องต้น

ผลประหยัด	13,257 บาทต่อปี
รวมค่าใช้จ่ายในการดำเนินการลงทุน	64,200 บาท
ระยะการคืนทุนเบื้องต้น	4.84 ปี

### ง 3.4 อัตราตอบแทนภายใน

จากข้อมูลเบื้องต้น ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการลงทุน 64,200 บาท ผลประหยัดต่อปี 13,257 บาท โดยให้อายุการใช้งานของระบบลดความชื้น 10 ปี จะหาค่าอัตราตอบแทนภายในได้ดังนี้

$$13,257 \times (P/A, i\%, 10) = 64,200$$

ที่ค่า  $i\% = 15\%$

$$\begin{aligned} \text{มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน, PW} &= (13,257 \times 5.0188) - 64,200 \\ &= 2,334.2316 \text{ บาท} \end{aligned}$$

ที่ค่า  $i\% = 16\%$

$$\begin{aligned} \text{มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน, PW} &= (13,257 \times 4.83323) - 64,200 \\ &= -125.86989 \text{ บาท} \end{aligned}$$

จากการลองผิดลองถูกพบว่า ถ้าต้องการ  $PW = 0$  ค่า  $i\%$  ต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 15% กับ 16% เมื่อต้องการหาค่า  $i\%$  ที่ทำให้ค่า  $PW = 0$  สามารถหาได้โดยการเปรียบเทียบสัดส่วนดังนี้

$$\frac{16\% - 15\%}{-125.86989 - 2,334.2316} = \frac{i\% - 15\%}{0 - 2,334.2316}$$

$$i\% = 15\% + \left[ \frac{-(2,334.2316)}{-125.86989 - 2,334.2316} \right] (16\% - 15\%)$$

$$i\% = 15.95\%$$

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นายวิสิทธิ์ เอกวานิช	
รหัสประจำตัวนักศึกษา	4910120039	
วุฒิการศึกษา		
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (เครื่องกล)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2549

## ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

1. ทุนศิษย์ก้นกุฏิ สถาบันที่ให้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

## การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Akvanich, V., Taweekun, J., Kooptarnond, K., Ngamsritragul, P., 2007, "A Study on Solid Desiccant Performance for a Ventilation System in Building," The 21<sup>th</sup> Mechanical Engineering Network Conference, October 17-19, 2007, Chonburi, Thailand.