

## บทที่ 2

### ผลงานวิจัยและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยฉบับนี้ โดยแบ่งออกเป็น 6 ส่วน ได้แก่ ทฤษฎีเกี่ยวกับความชื้น คุณสมบัติของสารดูดความชื้นชนิดต่าง ๆ วัฏจักรการทำงาน ของสารดูดความชื้น กระบวนการทำงานของระบบปรับอากาศทั่วไปในการลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้น แนวความคิดของระบบในงานวิจัยและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับความชื้น

#### 2.1.1 คุณสมบัติของอากาศชื้น

โดยทั่วไปในการอบแห้งจะใช้อากาศเป็นตัวกลางในการอบแห้ง โดยการผ่านอากาศไปยังวัตถุที่ต้องการทำให้แห้ง ซึ่งเรียกอากาศนี้ว่าอากาศชื้นเพราะประกอบด้วยอากาศแห้งและไอน้ำ แม้ว่าปริมาณโดยมวลรวมของไอน้ำที่อยู่ในอากาศมีอยู่น้อยกว่า 10% ของมวลรวมทั้งหมด แต่โมเลกุลของไอน้ำเหล่านี้มีผลอย่างมากต่อกระบวนการอบแห้ง ในปัจจุบันนี้สภาพของอากาศที่เกี่ยวข้องกับความชื้นและความร้อนจะแสดงโดยแผนภูมิไซโครเมตริก

แผนภูมิไซโครเมตริก (psychrometric chart) เป็นแผนภูมิที่ใช้แสดงคุณสมบัติของอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงของอากาศจากสภาวะหนึ่งไปยังอีกสภาวะหนึ่ง โดยทั่วไปจะใช้วิเคราะห์ในงานระบบปรับอากาศ เนื่องจากมีความถูกต้องรวดเร็ว เที่ยงตรง และค่าผิดพลาดน้อย เพื่อความสบายของผู้อยู่อาศัย โดยมีค่าจำกัดความของค่า เครื่องหมาย และหน่วยของคุณสมบัติของอากาศชื้นที่ใช้ในแผนภูมิไซโครเมตริก ดังภาพที่ 2.1 ดังนี้

(1) อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (dry bulb temperature),  $T_{db}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) คือ อุณหภูมิของอากาศที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์ที่กระเปาะแห้งและได้รับการแก้ไขให้ถูกต้องเนื่องจากผลของการแผ่รังสี

(2) อุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet bulb temperature),  $T_{wb}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) คือ อุณหภูมิของอากาศที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์ที่กระเปาะหุ้มด้วยสำลีเปียก ในขณะที่มีกระแสลมพัดผ่านกระเปาะด้วยความเร็วไม่น้อยกว่า 5 เมตรต่อวินาที

(3) อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (dew point temperature),  $T_{dp}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) คือ อุณหภูมิของน้ำที่มีความดันของไอน้ำอิ่มตัวเท่ากับความดันของไอน้ำในอากาศชื้น หรืออุณหภูมิที่ไอน้ำในอากาศเริ่มควบแน่นเป็นหยดน้ำเมื่ออากาศชื้นถูกทำให้เย็นลง

(4) ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity), RH,  $\phi$  (%) คือ อัตราส่วนระหว่างความดันของไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศชื้นกับความดันอิ่มตัวของไอน้ำที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศเดียวกัน หรืออัตราส่วนระหว่างโมลของไอน้ำในอากาศชื้นกับโมลของไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศเดียวกัน

(5) อัตราส่วนความชื้น (humidity ratio),  $W$  (kg/kg dry air) คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของไอน้ำกับอากาศแห้งที่มีอยู่ในอากาศหรือน้ำหนักของไอน้ำในแต่ละหนึ่งหน่วยน้ำหนักของอากาศแห้งที่มีอยู่ในอากาศชื้น

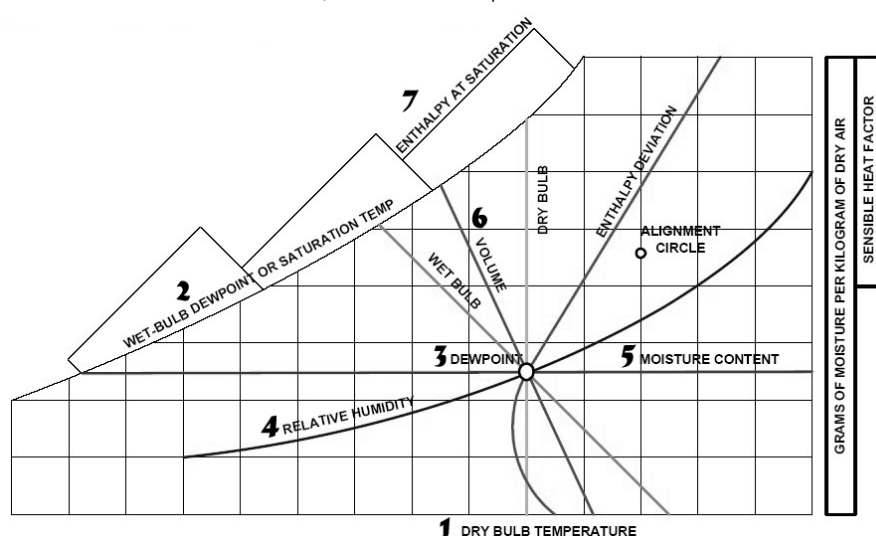
(6) ปริมาตรจำเพาะของอากาศชื้น (humid specific volume),  $V$  ( $\text{m}^3/\text{kg}$  dry air) คือ ปริมาตรของอากาศกับความชื้นต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของอากาศแห้ง

(7) เอนทัลปี (enthalpy),  $h$  (kJ/kg dry air) คือ พลังงานหรือปริมาณความร้อนของอากาศชื้นต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักอากาศแห้งที่อุณหภูมิอ้างอิง

(8) ความดันไอ (vapor pressure),  $P_v$  (mm.Hg; 1mm.Hg = 1.334 mb) คือ ความดันที่กระทำโดยไอน้ำในอากาศ ถ้าอากาศอิ่มตัวด้วยไอน้ำเรียกความดันไอของอากาศที่อิ่มตัวว่า ความดันไออิ่มตัว (saturated vapor pressure,  $P_{vs}$ )

ภาพที่ 2.1

เส้นคุณสมบัติต่าง ๆ ของอากาศชื้น



ที่มา: Thibordin, 2007.

### 2.1.2 ความสัมพันธ์ทางเทอร์โมไดนามิกของสมบัติอากาศชื้น (thermodynamic relationships of moist - air properties)

ที่ความดันบรรยากาศสามารถพิจารณาอากาศชื้นเป็นส่วนผสมของ ideal gas (สมชาติ ไสภณรณฤทธิ, 2537) จากกฎของดอลตัน จะได้

$$P = P_A + P_V \quad \text{สมการที่ 2.1}$$

ความสัมพันธ์ของ อุณหภูมิ ความดัน ปริมาตรของอากาศแห้งและของไอน้ำในอากาศ สามารถแสดงได้โดยใช้กฎของก๊าซอุดมคติ จะได้

$$P_A V_A = W_A RT / M_A \quad \text{สมการที่ 2.2}$$

$$P_V V_V = W_V RT / M_V \quad \text{สมการที่ 2.3}$$

ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติอากาศชื้น จะได้

ความชื้นสัมพัทธ์

$$\phi = P_V / P_{Vs} \quad \text{สมการที่ 2.4}$$

อัตราส่วนความชื้น

$$W = W_V / W_A = 0.62198 P_V / P - P_V \quad \text{สมการที่ 2.5}$$

หรือ

$$W = 0.62198 \phi P_{Vs} / P - \phi P_{Vs} \quad \text{สมการที่ 2.6}$$

ที่เส้นไอน้ำอิ่มตัว

$$W = 0.62198 P_{Vs} / P - P_{Vs} \quad \text{สมการที่ 2.7}$$

ปริมาตรจำเพาะของอากาศชื้น

$$V = V_A = RT(1+1.6078) \quad \text{สมการที่ 2.8}$$

เอนทัลปี

$$h = C_p T_{db} + W h_v \quad \text{สมการที่ 2.9}$$

$$= 0.24 T_{db} + W(597.3 + 0.441 T_{db})$$

สมการที่ 2.10

เมื่อ

P	คือ	ความดันรวม (kPa)
P <sub>A</sub>	คือ	ความดันของอากาศแห้ง (kPa)
P <sub>V</sub>	คือ	ความดันของไอน้ำ (kPa)
P <sub>VS</sub>	คือ	ความดันอิ่มตัวของไอน้ำ (kPa)
V	คือ	ปริมาตรจำเพาะของอากาศชื้น
V <sub>A</sub>	คือ	ปริมาตรของอากาศแห้ง (m <sup>3</sup> )
V <sub>V</sub>	คือ	ปริมาตรของไอน้ำ (m <sup>3</sup> )
W	คือ	อัตราส่วนความชื้น
W <sub>A</sub>	คือ	มวลของอากาศ (kg)
W <sub>V</sub>	คือ	มวลของไอน้ำ (kg)
M <sub>A</sub>	คือ	น้ำหนักโมเลกุลของอากาศแห้ง
M <sub>V</sub>	คือ	น้ำหนักโมเลกุลของไอน้ำ
R	คือ	ค่าคงที่ของก๊าซ = 8.315 kJ/kg mol-K
T	คือ	อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)
T <sub>db</sub>	คือ	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (K)
h	คือ	เอนทัลปี หรือ พลังงานความร้อน
h <sub>v</sub>	คือ	พลังงานความร้อนของไอน้ำ (kJ/kg dry air)
C <sub>p</sub>	คือ	ความจุความร้อนจำเพาะ (J/kg-K)
φ	คือ	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)

### 2.1.3 การเคลื่อนที่ของความชื้น

การเคลื่อนที่ของความชื้นจะอาศัยกลไกต่าง ๆ ในแต่ละสถานะในการเคลื่อนที่ ซึ่งแบ่งได้เป็น 4 วิธี ดังนี้

(1) การแพร่ (vapor diffusion) ความชื้นจะเคลื่อนที่จากความหนาแน่นของไอน้ำสูงไปยังความหนาแน่นของไอน้ำต่ำโดยผ่านทางอากาศ

(2) การพา (vapor convection) เป็นการเคลื่อนที่หลักของไอน้ำในท่อยาวและกระจายไปตามพื้นที่ต่าง ๆ

(3) การไหลแบบคาпилลารี (capillary suction) เป็นการเคลื่อนที่ของความชื้นเหลวอย่างช้า ๆ ผ่านอุปกรณ์ที่เป็นช่องเปิดจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังความเข้มข้นต่ำ ซึ่งถ้าขนาดของช่องเปิดแคบเท่าไร แรงคาпилลารีก็จะยิ่งมากขึ้น แต่การไหลจะช้าลง

(4) การไหลโดยแรงดึงดูดของโลก (gravity flow) เป็นการเคลื่อนที่ของความชื้นเหลวที่ถูกแรงดึงดูดของโลกกระทำ

#### 2.1.4 ที่มาของความชื้น

แหล่งความชื้นหลัก ๆ ในอาคารมีอยู่ 4 แหล่งดังนี้

(1) ความชื้นจากการรั่วซึมจากท่อและน้ำฝน เป็นแหล่งความชื้นที่เกิดขึ้นมากที่สุดจากบริเวณหลังคา เนื่องจากได้เก็บสะสมปริมาณน้ำฝนมากกว่า 100 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ซึ่งสามารถรั่วซึมเข้าสู่อาคารได้ง่ายและก่อให้เกิดความเสียหายต่อมา

(2) ความชื้นจากภายนอกอาคารและกิจกรรมต่าง ๆ ภายในอาคาร เนื่องจากไอน้ำสามารถกลั่นตัวเป็นหยดน้ำได้ทั้งในท่อ ผนัง เพดาน หลังคา รวมทั้งบริเวณหน้าต่าง ซึ่งไอน้ำจากภายนอกอาคารจะมาพร้อมกับลม

(3) ความชื้นจากพื้นดิน จะเป็นความชื้นที่อยู่ในรูปของไอน้ำและของเหลว จากการที่ดินมีอัตราการแผ่ระเหยน้อย ผิวดินจึงเป็นแหล่งความชื้นของไอน้ำน้อยกว่าของเหลว โดยที่ไอน้ำจากดินจะแพร่เข้าสู่อาคารโดยการพาของอากาศ

(4) ความชื้นที่มากับโครงสร้างและวัสดุต่าง ๆ เช่น ส่วนประกอบของผนัง สีทาอาคาร และ รอยต่อบริเวณพื้น เป็นต้น

#### 2.1.5 การควบคุมความชื้น

การควบคุมความชื้นของอากาศ คือ การทำให้ความชื้นของอากาศเป็นไปตามความต้องการของพื้นที่นั้น ๆ ซึ่งการควบคุมความชื้นในอากาศสามารถทำได้ 2 วิธี ได้แก่

วิธีที่ 1 เป็นการทำให้อากาศชื้นเย็นลงจนมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิไอน้ำอิ่มตัว โดยไอน้ำในอากาศจะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำทำให้อัตราส่วนของความชื้นลดลง

วิธีที่ 2 เป็นการดูดไอน้ำในอากาศออกด้วยสารดูดความชื้น (desiccant) เพื่อให้อากาศชื้นกลายเป็นอากาศแห้งซึ่งสามารถแยกตามลักษณะของสารดูดความชื้นได้ 2 ประเภท คือ สารดูดความชื้นชนิดแข็ง (solid desiccants) และ สารดูดความชื้นชนิดเหลว (liquid desiccants) โดยที่สารดูดความชื้นทั้งสองประเภทมีวัฏจักรเทอร์โมไดนามิกพื้นฐาน (basic thermodynamic cycle) เหมือนกัน แต่การออกแบบระบบเครื่องมือ การดำเนินงาน และความเป็นไปได้ในการปรับปรุงวัฏจักรพื้นฐานแตกต่างกัน

### 2.1.6 ปัญหาเกี่ยวกับความชื้น

ความชื้นเป็นปัญหาสำคัญสำหรับการเสื่อมของโครงสร้างอาคาร ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาต่าง ๆ ได้แก่ การผุกร่อนของโครงสร้างอาคารทั้งภายในและภายนอกอาคาร เช่น การเกิดสนิมที่เป็นโครงสร้างโลหะ การแตกร้าว การหลุดตัวของอาคาร การซีดจางของสี และการลอกภายในและภายนอกอาคาร การแตกร้าวจากการบวมตัวของวัสดุ และการเจริญเติบโตของเชื้อราไรฝุ่น ซึ่งมีผลต่อสุขภาพของผู้อยู่อาศัย

## 2.2 คุณสมบัติของสารดูดความชื้นชนิดต่าง ๆ

ชนิดของสารดูดความชื้นแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

(1) ซิลิกาเจล (silica gel) คือ สารสังเคราะห์ที่สกัดจากทรายขาวผสมกรดกำมะถัน มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า ซิลิกอนไดออกไซด์ (silicon dioxide) มีลักษณะเป็นเม็ดกลม โดยทั่วไปซิลิกาเจลมีลักษณะเป็นโพรงมีรูพรุน ทำให้มีพื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดความชื้นเป็นจำนวนมาก ประมาณ 800 ตารางเมตรต่อน้ำหนัก 1 กรัม หรือ ประมาณ 40% ของน้ำหนักตัวเอง และสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิดหลัก ๆ คือ ชนิดเม็ดใส ชนิดเม็ดสีน้ำเงิน และชนิดเม็ดทราย

(2) สารดูดความชื้นจากธรรมชาติหรือดินธรรมชาติ (natural clay) ผลิตจากดินไดอะตอมเมเชียลเอิร์ท (diatomaceous earth) หรือที่เรียกว่า ดินเบา มีลักษณะคล้ายกรวดขนาดเล็กสีเทาหรือสีน้ำตาลผ่านกระบวนการผลิตอย่างพิถีพิถัน เนื่องจากดินเบาเป็นสารจากธรรมชาติ จึงไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และภายในโครงสร้างของดินเบา มีรูพรุนนับล้าน ๆ รู ทำให้มี

ประสิทธิภาพในการดูดซับและเก็บกักน้ำไว้ได้มากและมีประสิทธิภาพในการดูดความชื้นได้ประมาณ 35 - 40% ของน้ำหนักตัวเองมีความเร็วในการดูดและคายความชื้นต่ำกว่าซิลิกาเจล ทำให้ดินเบาเหมาะสำหรับใช้ในงานที่ต้องใช้ระยะเวลาสั้น ๆ เช่น การส่งสินค้าระหว่างประเทศ

(3) สารดูดความชื้นชนิดอื่น ๆ ที่มีประสิทธิภาพในการดูดความชื้นน้อยกว่า 30% ของน้ำหนักตัวเอง ได้แก่ โมเลกุลลาร์ซีฟ (Molecular Sieve) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) และ แคลเซียมซัลเฟต (CaSO<sub>4</sub>) เป็นต้น

โดยสารดูดความชื้นที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ซิลิกาเจล ทรายแอส และ อีโคทราย เนื่องจากว่า สารซิลิกาเจลเป็นสารดูดความชื้นที่ใช้ในระบบปรับอากาศทั่วไป สำหรับ ทรายแอสและอีโคทราย เป็นสารดูดความชื้นประเภทดินเบาที่มาจากธรรมชาติ โดยได้นำมาทดสอบเปรียบเทียบว่าสารดูดความชื้นประเภทดินเบาที่มาจากธรรมชาติสามารถใช้ทดแทน สารดูดความชื้นซิลิกาเจลที่มาจากกระบวนการสังเคราะห์ได้หรือไม่

### 2.2.1 ซิลิกาเจล (silica gel)

ซิลิกาเจลผลิตจากโซเดียมซิลิเกตที่สกัดจากทรายที่มีซิลิกาเปอร์เซ็นต์สูงผสมกับกรดกำมะถันเจือจาง ด้วยคุณสมบัติของกรดกำมะถันที่สามารถดูดความชื้นได้ ประกอบกับโครงสร้างรูพรุนของซิลิกา ทำให้สามารถกักเก็บน้ำไว้ ซิลิกาเจลจึงเป็นสารสีใสคล้ายแก้วที่สามารถดูดความชื้นได้

#### ตารางที่ 2.1

คุณสมบัติต่าง ๆ ของสารซิลิกาเจล

ส่วนประกอบ								
แร่ธาตุ	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	ZrO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	lg.loss
ประมาณ (%)	99.71	0.03	0.10	0.09	0.01	0.02	0.02	0.02
ความสามารถในการดูดซับความชื้น (30°C)								
ความชื้นสัมพัทธ์				ความสามารถในการดูดความชื้น				
20%				10%				
50%				23%				
90%				30%				

## ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ข้อมูลทางกายภาพ	
จุดเดือด °C > 1593	ความหนาแน่น = 42 SI.Unit gm/m <sup>3</sup>
จุดเดือด °C > 190	อัตราการระเหยน้ำ < 10% ที่ 175°C
ลักษณะทางกายภาพ	เม็ดสีน้ำเงินใส
ความสามารถละลายน้ำ	ไม่ละลายน้ำ
การเปลี่ยนแปลงสีของซิลิกาเจล	
ปริมาณความชื้นต่อความสามารถในการดูดซับความชื้น	สีที่เกิดขึ้น
20%	สีฟ้า
35%	สีม่วง
90%	สีชมพู

ที่มา: บริษัท เพาเวอร์ดราย จำกัด, 2551.

ประโยชน์ของซิลิกาเจล มีดังนี้

- 1) สามารถดูดความชื้นได้ถึง 30% ของน้ำหนักตัวเอง
- 2) ไม่มีวันหมดอายุ หากเก็บในที่ที่ไม่มีอากาศหรือความชื้น
- 3) ไม่ใช้วัตถุไวไฟ
- 4) สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยวิธีการอบที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

### 2.2.2 ทรายแอก (dry act)

ทรายแอก คือ ดินดูดความชื้นที่ผลิตจากการนำดินเบาในธรรมชาติ ผ่านกรรมวิธีการเผาและอบด้วยกรรมวิธีพิเศษ เพื่อให้เป็นสารดูดความชื้นที่มีประสิทธิภาพสามารถดูดและเก็บกักความชื้นได้ไม่น้อยกว่าซิลิกาเจล โดยซิลิคอนไดออกไซด์เป็นแร่ธาตุที่มีส่วนประกอบตามธรรมชาติในดินเบา ทำหน้าที่ในการดูดความชื้นจากธรรมชาติ

## ตารางที่ 2.2

คุณสมบัติต่าง ๆ ของสารทรายแอส

ส่วนประกอบ								
แร่ธาตุ	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	lg.loss
ปริมาณ (%)	81.8	3.71	9.35	0.64	0.71	1.46	0.58	0.96
ความสามารถในการดูดซับความชื้น (30°C)								
ความชื้นสัมพัทธ์				ความสามารถในการดูดความชื้น				
20%				8%				
50%				25%				
90%				30%				
ข้อมูลทางกายภาพ								
ลักษณะทางกายภาพ				เม็ดสีน้ำตาล เทา				
ความสามารถละลายน้ำ				ไม่ละลายน้ำ				
การสูญเสียจากการเผาไหม้ (wt%) ที่ 150°C				2.0 - 3.0				
ค่าความเป็นกรดต่าง				6.4 - 7.5				
ความต้านทานจำเพาะ (W.cm)				> 20,000				
ความหนาแน่น (g/ml)				0.85 - 0.90				
พื้นที่ผิว (m <sup>2</sup> /g)				> 1,000				
ค่าความเป็นรูพรุน				> 0.5				
ขนาดของรูพรุนเฉลี่ย				< 10				
ความร้อนจำเพาะ (kcal/kg)				> 0.5				
การนำความร้อน				> 0.3				

ที่มา: บริษัท เพาเวอร์ทราย จำกัด, 2551.

ประโยชน์ของทรายแอส มีดังนี้

- 1) มีความสามารถในการดูดความชื้นสูง
- 2) สามารถทำงานได้ดีในทุกที่ที่มีความชื้นทั้งสูงและต่ำ
- 3) เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมปลอดภัย
- 4) สามารถกำจัดโดยทิ้งไปในธรรมชาติได้
- 5) สามารถดูดความชื้นต่อเนื่องได้นานกว่าซิลิกาเจล

### 2.2.3 อีโคดราย (eco dry)

อีโคดราย เป็นสารดูดความชื้นชนิดเม็ดที่ผลิตจากดินแอมป์ต้าพูโดท์ สามารถดูดความชื้นได้มากกว่าดินทุกชนิด และเป็นสารที่ผลิตจากธรรมชาติ 100% ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 2.3  
คุณสมบัติต่าง ๆ ของสารอีโคดราย

ส่วนประกอบ							
แร่ธาตุ	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>
ปริมาณ (%)	58.69	6.46	6.93	2.15	4.23	5.11	0.71
ความสามารถในการดูดซับความชื้น (30°C)							
ความชื้นสัมพัทธ์				ความสามารถในการดูดความชื้น			
90%				57.83%			
ข้อมูลทางกายภาพ							
ลักษณะทางกายภาพ				เม็ดสีน้ำตาล เทา			
ขนาดเม็ด				2.0 - 2.5 มม.			
ความสามารถในการดูดซับ (%)				> 28			
ความแข็ง (N/m <sup>2</sup> )				> 30			
Granularity distribution (%)				> 96			
ความหนาแน่น (g/cm <sup>3</sup> )				0.69			

ที่มา: บริษัท เพาเวอร์ดราย จำกัด, 2551.

ประโยชน์ของอีโคดราย ดังนี้

- 1) มีความสามารถในการดูดความชื้นสูง
- 2) สามารถทำงานได้ดีในทุกที่ที่มีความชื้นทั้งสูงและต่ำ
- 3) เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม
- 4) สามารถดูดความชื้นต่อเนื่องได้นานกว่าซิลิกาเจล
- 5) ปลอดภัย สามารถกำจัดโดยทิ้งไปในธรรมชาติได้

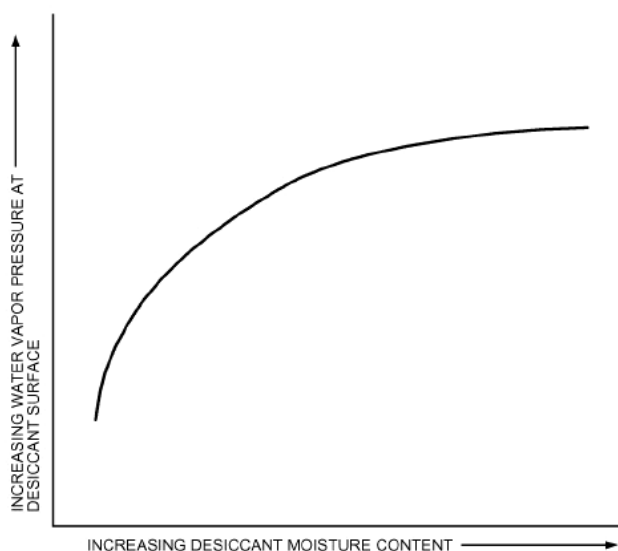
### 2.3 วัฏจักรการทำงานของสารดูดความชื้น

วัฏจักรการทำงานของสารดูดความชื้นทุกชนิดมีความคล้ายกันในเรื่องของการดูดซับความชื้น คือ เมื่อความดันไอน้ำที่ผิวของสารดูดความชื้นมีค่าต่ำกว่าความดันไอน้ำในอากาศ สารดูดความชื้นจะเริ่มดูดไอน้ำ (ความชื้น) ในอากาศ และเมื่อความดันไอน้ำที่ผิวของสารดูดความชื้นมีค่าสูงกว่าความดันไอน้ำของอากาศ สารดูดความชื้นจะคายไอน้ำออกมา

ความดันไอน้ำที่ผิวของสารดูดความชื้นแปรผันตามปริมาณความชื้นที่ผิวของสารดูดความชื้น คือ เมื่อมีปริมาณความชื้นที่ผิวของสารดูดความชื้นสูงขึ้น ส่งผลให้ความดันไอน้ำที่ผิวของสารดูดความชื้นสูงตามไปด้วย ดังภาพที่ 2.2 และพบว่า มีบางตำแหน่งที่ความดันไอน้ำที่ผิวของสารดูดความชื้นเท่ากับความดันไอน้ำในอากาศ โดยตำแหน่งดังกล่าวจะไม่มี การถ่ายเทไอน้ำ จนกระทั่งมีแรงภายนอกมากกระทำ เป็นผลให้ความดันไอน้ำที่ผิวของสารดูดความชื้นหรือความดันไอน้ำในอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลง

ภาพที่ 2.2

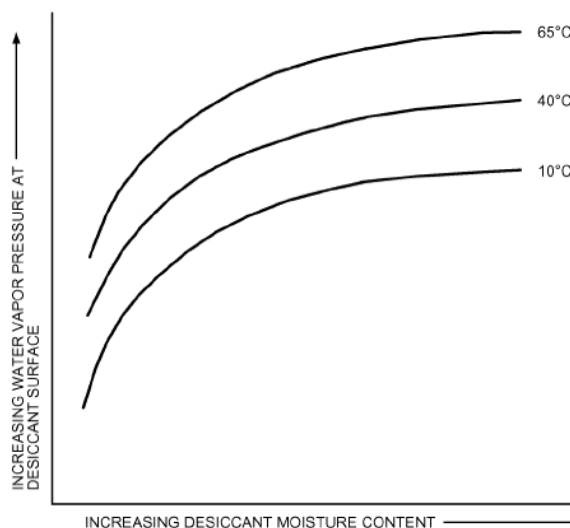
ความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำกับ  
ปริมาณความชื้นในสารดูดความชื้น



ที่มา: ASHRAE, 2005.

ภาพที่ 2.3

ความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำกับปริมาณความชื้นในสารดูดความชื้น  
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารดูดความชื้น



ที่มา: ASHRAE, 2005.

จากภาพที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำที่ผิวของสารดูดความชื้นกับปริมาณความชื้นของสารดูดความชื้น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารดูดความชื้นพบว่า ความดันไอน้ำที่ผิวของสารดูดความชื้นมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณความชื้นและอุณหภูมิของสารดูดความชื้นที่สูงขึ้น และเมื่อความดันไอน้ำที่ผิวของสารดูดความชื้นมีค่าสูงกว่าความดันไอน้ำในอากาศ ความชื้นจะถ่ายเทออกจากสารดูดความชื้น ซึ่งเรียกว่า กระบวนการคายความชื้น หรือ รีเจนเนอเรชัน (regeneration process) การที่นำสารดูดความชื้นมารีดความชื้นออกนั้นประกอบด้วย การอบสารดูดความชื้นให้แห้งโดยใช้ความร้อนและลดอุณหภูมิของสารดูดความชื้นให้ลดลงจนเท่ากับอุณหภูมิในอากาศโดยรอบ

ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการนำสารดูดความชื้นมาประยุกต์ใช้นั้นขึ้นอยู่กับค่าพลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของสารดูดความชื้นหรือในการอบสารดูดความชื้น กระบวนการลดความชื้นในอากาศด้วยสารดูดความชื้น โดยทั่วไปพลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่มาจากพลังงานของพัดลมและปั๊มเท่านั้น

จากภาพที่ 2.4 แสดงถึงพลังงานที่ใช้ในวัฏจักรการทำงานของสารดูดความชื้นซึ่งประกอบด้วย พลังงานที่ใช้ในการรีเจนเนอเรชัน (จากจุด 2-3) พลังงานที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของ

สารดูดความชื้น (จากจุด 3 - 1) โดยพลังงานรีเจนเนอเรชั่นมีค่าเท่ากับผลรวมของพลังงาน 3 ส่วน คือ

1) พลังงานความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของสารดูดความชื้นจนกระทั่งความดันไอน้ำที่ผิวของสารดูดความชื้นจะมีค่าสูงกว่าความดันไอน้ำในอากาศ

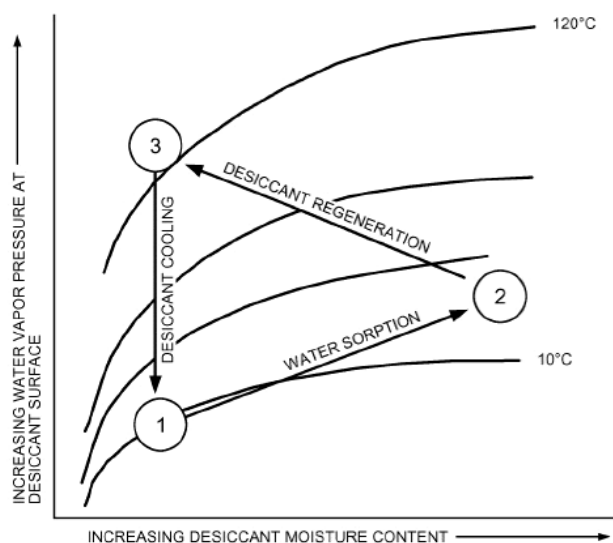
2) พลังงานความร้อนที่ทำให้ความชื้นกลายเป็นไอ (2,465 kJ/kg)

3) พลังงานความร้อนในการรีดน้ำออกจากสารดูดความชื้น

สำหรับพลังงานที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของสารดูดความชื้นขึ้นอยู่กับปริมาณของสารดูดความชื้นและความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิหลังจากการรีเจนเนอเรชั่นและอุณหภูมิต่ำสุดที่สารดูดความชื้นจะสามารถเอาไอน้ำออกจากอากาศได้

ภาพที่ 2.4

วัฏจักรการทำงานของสารดูดความชื้น



ที่มา: ASHRAE, 2005.

## 2.4 กระบวนการทำงานของระบบปรับอากาศทั่วไป

### ในการลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้น

ระบบปรับอากาศที่ใช้สารดูดความชื้น จะเป็นการปรับอากาศแบบลด - เพิ่มความชื้น ในอากาศแบบวงจรเปิดโดยใช้ rotary generator เป็นตัวดูดความชื้นซึ่งเป็นล้อพวง โดยความพวง

ของล้อทำจากซิลิกาเจลที่ทำให้อากาศแห้ง จะมีกระแสอากาศ 2 กระแสผ่าน และมีการส่งผ่านความร้อนและความชื้นระหว่างกระแสทั้งสอง โดยมีขั้นตอนการทำงานของระบบปรับอากาศที่ใช้สารดูดความชื้น ดังตารางที่ 2.4 และ ภาพที่ 2.5 ดังนี้

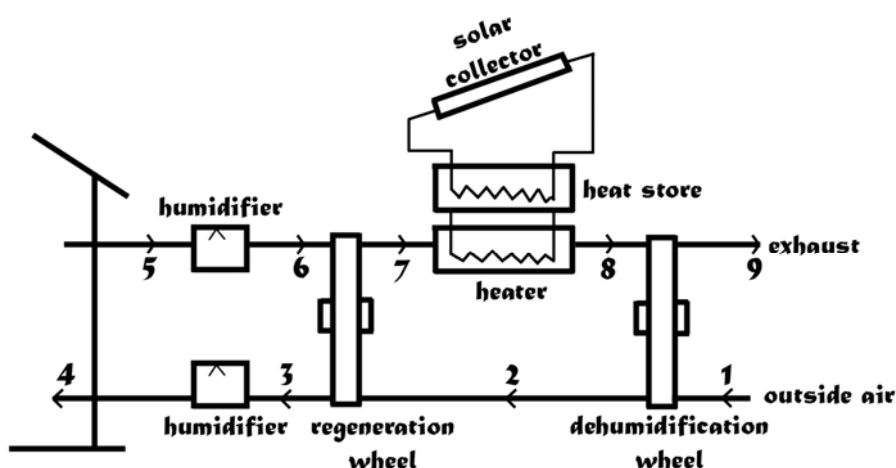
ตารางที่ 2.4

ขั้นตอนการทำงานของระบบปรับอากาศที่ใช้สารดูดความชื้น

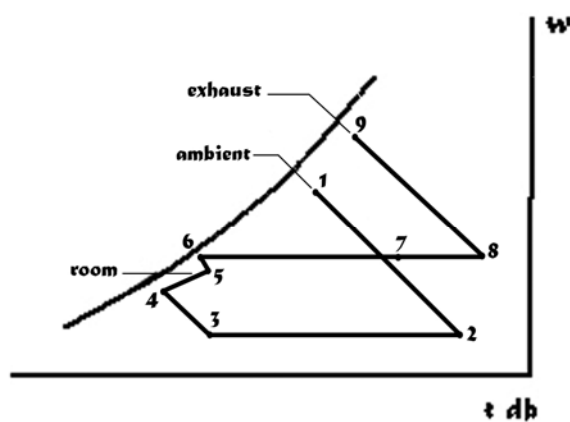
ขั้นตอนที่	รายละเอียด
1 – 2	อากาศจากภายนอกทำให้แห้งโดยล้อลดความชื้น (dehumidifier wheel) และมีอุณหภูมิสูงขึ้น
2 – 3	อากาศแห้งและร้อนจะถูกทำให้เย็นลงโดยล้อคืนสภาพ (regenerator wheel)
3 – 4	อากาศแห้งและเย็นมีอุณหภูมิลดลงอีกโดยการเพิ่มความชื้น
4 – 5	อากาศเย็นจะถูกส่งเข้าอาคารภายในอาคาร อากาศจะได้รับความร้อนและความชื้น
5 – 6	อากาศที่ออกจากอาคารจะถูกทำให้ชื้นและเย็นลงอีก
6 – 7	ผ่านอากาศชื้นและเย็นเข้าไปที่ล้อคืนสภาพ (regenerator wheel) เพื่อทำให้ล้อคืนสภาพ เย็นลงแล้วหมุนด้านเย็นไปในช่วง 2 - 3
7 – 8	อากาศที่ผ่านช่วง 6 - 7 จะเป็นอากาศแห้งและทำให้ร้อนขึ้นอีกด้วยความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์
8 – 9	อากาศแห้งและร้อนจะผ่านเข้าไปที่ล้อลดความชื้น (dehumidifier wheel) เพื่อทำให้ล้อลดความชื้นแห้งแล้วหมุนด้านแห้งไปในช่วง 1 - 2

ภาพที่ 2.5

ระบบปรับอากาศโดยใช้ rotary generator และ แผนภูมิไซโครเมตริก



ภาพที่ 2.5 (ต่อ)



ที่มา: Duffie & Beckman, 1980.

## 2.5 แนวความคิดของระบบในงานวิจัย

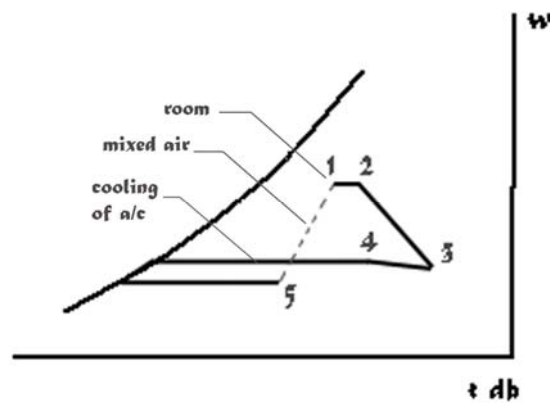
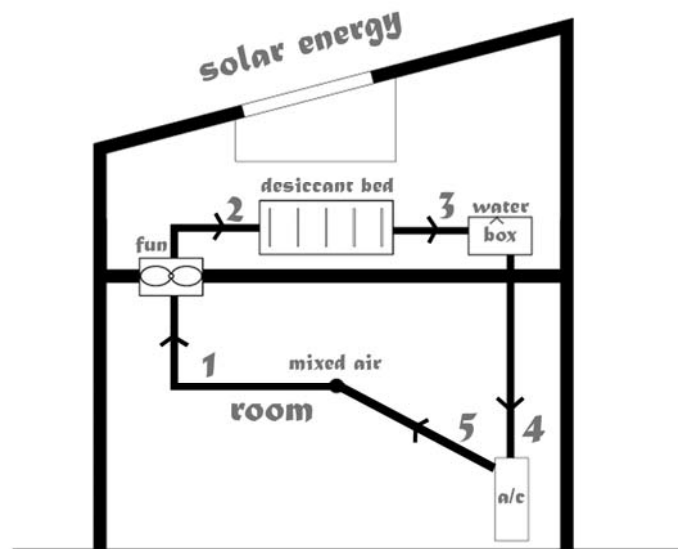
สำหรับลักษณะของแนวความคิดของระบบในงานวิจัยนี้ คือ มีการใช้แผ่นเบดที่ใส่สารดูดความชื้นร่วมกับระบบปรับอากาศ เพื่อลดความชื้นในอากาศภายในห้อง โดยมีขั้นตอนการทำงานดังตารางที่ 2.5 และ ภาพที่ 2.6 ดังนี้

### ตารางที่ 2.5

#### ขั้นตอนการทำงานของแนวความคิดของระบบในงานวิจัย

ขั้นตอนที่	รายละเอียด
1	อากาศภายในห้องมีอุณหภูมิและความชื้นสูง
1 – 2	อากาศภายในห้องถูกดูดโดยพัดลมดูดอากาศ ทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นเล็กน้อย
2 – 3	อากาศที่ร้อนและชื้นจะถูกส่งผ่านไปยังส่วนของแผ่นเบดที่ใส่สารดูดความชื้น เป็นผลให้ความชื้นลดลงแต่อุณหภูมิสูงขึ้น
3 – 4	อากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัสขึ้นที่บริเวณกล่องน้ำ ทำให้อากาศมีอุณหภูมิต่ำลงและความชื้นคงที่หรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากการกลั่นตัวของน้ำ (condensation)
4 – 5	อากาศที่ชื้นจะเข้าสู่กระบวนการปรับอากาศ
5 – 1	อากาศที่ออกจากกระบวนการปรับอากาศจะถูกผสมกับอากาศภายในห้อง จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนที่ 1 – 2

ภาพที่ 2.6  
แนวความคิดของระบบในงานวิจัย และ แผนภูมิไซโครเมตริก



## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยของ ประทีป ใควนฤมิตร (2541) เป็นการศึกษาสมรรถนะในการควบคุมความชื้นของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งด้วยซิลิกาเจล โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) ศึกษาสมรรถนะการอบแห้งที่มีการควบคุมความชื้นของอากาศในการอบแห้ง 2) ศึกษาหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมของส่วนควบคุมความชื้นของอากาศ ได้แก่ รูปแบบของเบด อุณหภูมิอากาศ และ อัตราการไหลของอากาศ จากการศึกษาพบว่า ในการศึกษาส่วนแรก สามารถเพิ่มสมรรถนะใน

การอบแห้งได้แต่ไม่สูงมากนัก ส่วนที่ 2 ค่าตัวแปรที่เหมาะสม คือ ลักษณะของเบดจะแบนราบ เพื่อให้อากาศผ่านผิวซิลิกาเจลทั้งด้านบนและด้านล่าง ทำให้พื้นที่ผิวของซิลิกาเจลสัมผัสกับอากาศมากที่สุด และประหยัดพลังงานได้ดีที่สุด เพราะว่า มีความดันลดของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งน้อยที่สุด ส่วนความเร็วของอากาศที่เหมาะสมเท่ากับ 1.10 เมตรต่อวินาที

งานวิจัยของ Dopont, Celestine, Nguyen, Merigoux & Brandon (1994) ได้ทำการทดลองหาอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมแก่การดูดซับความชื้นของซิลิกาเจล เช่นเดียวกัน โดยกำหนดความหนาเบดของซิลิกาเจลที่ 0.05 เมตร พื้นที่หน้าตัดของเบด 0.069 ตร.ม. และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเม็ดซิลิกาเจลเท่ากับ 3 มม. พบว่า อัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมแก่การดูดซับความชื้นของซิลิกาเจลเท่ากับ 0.06 กิโลกรัมต่อวินาที โดยงานวิจัยนี้มีความใกล้เคียงกับงานวิจัยของ ศิรินุช จินดารักษ์ (2543) โดยที่ได้มีการออกแบบระบบใหม่ที่ใช้ซิลิกาเจลลดความชื้นของอากาศ โดยให้อากาศไหลขนานกับผิวหน้าของซิลิกาเจลเบด โดยได้ทำการทดลองทั้งในส่วนของการดูดซับความชื้นและการคืนรูป ซึ่งสามารถควบคุมความชื้นและอัตราการไหลของอากาศได้ ผลการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการลดความชื้นอากาศ คือ ซิลิกาเจลเบดหนา 3 ซม. และอัตราการไหลของอากาศ 0.02 กิโลกรัมต่อวินาที ส่วนกระบวนการคืนรูปของซิลิกาเจลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์มีค่าการคืนรูปอยู่ระหว่าง 0.04 - 0.06 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

งานวิจัยของ รัชนีวรรณ เจริญวัฒน์ (2544) ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) ทดสอบความสามารถในการดูดความชื้นของซิลิกาเจลจากเครื่องดูดความชื้น โดยใช้พัดลมเป่าอากาศผ่านเบดซิลิกาเจลและทำการปรับอัตราการไหลของอากาศ 2) ทดสอบระบบปรับอากาศร่วมกับระบบดูดความชื้น โดยนำอุปกรณ์ดูดความชื้นต่อกับเครื่องปรับอากาศ และทำการปรับอัตราส่วนอากาศผสมของอากาศกลับและอากาศใหม่ก่อนเข้าเครื่องดูดความชื้น และอัตราส่วนของอากาศผสมของอากาศแห้งและอากาศกลับภายในห้องที่กล่องผสม ผลการศึกษาพบว่า เบดที่มีความหนา 5 ซม. สามารถดูดความชื้นได้ดีที่สุดในอัตราการดูดซับของซิลิกาเจลเท่ากับ 473 กรัมต่อชั่วโมง ที่มีอัตราการไหล 530 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และการลดความชื้นของอากาศก่อนเข้าระบบปรับอากาศสามารถลดการใช้พลังงานได้ประมาณ 15 - 24% และสภาวะที่ดีที่สุด คือ อัตราส่วนผสมที่อากาศแห้ง 30% และอากาศภายในห้อง 70% (50%FA 50%RA)

งานวิจัยของ Techajunta, Chirarattananon & Exell (1999) ได้ทำการศึกษาถึงการคายความชื้นของสารดูดความชื้น โดยออกแบบแผงรับรังสีอาทิตย์ที่มีสารดูดความชื้นอยู่ข้างใน เพื่อลดขนาดของแผงรับรังสีอาทิตย์ที่เรียกว่า Integrated Desiccant Collector (IDC) ที่ใช้

ซิลิกาเจลเป็นตัวดูดซับความชื้น โดยมีขนาดผงรับรังสี 0.08 ตร.ม. ความหนาเบด 25 มม. ทำการทดลองด้วยระบบแสงอาทิตย์เทียม เพื่อศึกษาคุณสมบัติของซิลิกาเจล คุณสมบัติอากาศ ความเข้มข้นรังสีอาทิตย์ และอัตราการไหลของอากาศ ผลปรากฏว่า ประสิทธิภาพในการคายความชื้นขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอากาศที่มีค่า Reynold number อยู่ระหว่าง 1.2 - 1.7 อัตราการไหล 2 - 3 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยความชื้นถูกดูดซับประมาณ 100 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง หรือ 11.11 กิโลกรัม งานวิจัยนี้มีความใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Niu, Zhang & Zuo (2002) แต่แหล่งพลังงานความร้อนต่างกัน โดยได้ศึกษาระบบ HVAC ร่วมกับ chilled - ceiling กับการทำความเย็นด้วยสารดูดความชื้น เพื่อรักษาความชื้นในห้องในสภาวะน่าสบาย รวมทั้งลดความเสี่ยงในการเกิดการควบแน่น โดยระบบนี้คุณสมบัติกับความชื้นถูกควบคุมโดยการใช่วงล้อที่ใส่สารดูดความชื้นในการลดความชื้น ส่วนผ้าเพดานจะเป็นตัวควบคุมอุณหภูมิ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 กรณี ได้แก่

- 1) all - air เป็นระบบควบคุมอากาศ โดยที่อากาศภายนอกจะถูกผสมกับอากาศกลับและจะถูกส่งไปยัง AHU ซึ่งเย็นและความชื้นลดลง จากนั้นถูกทำให้ร้อนอีกครั้งด้วยคอยล์ร้อนก่อนเข้าห้อง
- 2) all - air with total heat recovery เหมือนกับกรณีแรกแต่จะเพิ่มวงล้อแลกเปลี่ยนความร้อน
- 3) chiller - ceiling with AHU เป็นการทำความเย็นโดยการแผ่รังสีร่วมกับลดความชื้น ความร้อนสัมผัสจะถูกควบคุมโดยแผ่นผ้าเพดาน ส่วนความร้อนแฝง จะถูกควบคุมโดยการระบายอากาศ
- 4) chiller - ceiling with desiccant cooling ตัวแผ่นผ้าเป็นตัวควบคุมอุณหภูมิ และลดความชื้นของอากาศ ที่ถูกส่งโดยระบบทำความเย็นด้วยสารดูดความชื้น จากการทดลองสรุปได้ว่า กรณีที่ 4 สามารถช่วยประหยัดพลังงานได้ถึง 44% ของพลังงานเริ่มต้น เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีแรก

งานวิจัยของ ธนาชัย จงสุวรรณไพศาล (2549) ได้ทำการออกแบบและทดสอบอุปกรณ์ดูดซับความชื้นด้วยซิลิกาที่สกัดจากแกลบ เพื่อนำมาใช้ลดความชื้นของอากาศที่ผ่านเข้ามาภายในอาคารปรับอากาศ ซึ่งจะช่วยลดการใช้พลังงานลงได้ โดยออกแบบเป็นผนังดูดซับความชื้นด้วยซิลิกาที่สกัดจากแกลบและแบ่งการทดสอบเป็น 2 ส่วนคือ 1) ทดสอบในสภาวะตามสภาพอากาศในแต่ละฤดูกาล พบว่า ผนังสามารถดูดซับความชื้นได้ดีที่สุดในช่วงฤดูฝนและน้อยที่สุดในช่วงฤดูหนาว 2) ทดสอบในสภาพอากาศจริง พบว่า สามารถดูดซับความชื้นได้ในช่วงเวลากลางคืนและคายความชื้นในเวลากลางวัน

งานวิจัยของ Areemit & Sakamoto (2007) มีความใกล้เคียงกับงานวิจัยที่ผ่าน ๆ มา แต่จะต่างกันที่ใช้นำเนื้อแข็งเป็นตัวดูดความชื้น และใช้ระบบระบายอากาศแบบธรรมชาติ โดยแนวความคิด คือ ในเวลากลางวันรังสีจากดวงอาทิตย์จะแผ่ลงบนหลังคาไม้ ทำให้ปริมาณความชื้นช่องใต้หลังคาน้อยและแห้ง จากนั้นจะถูกพัดลมพัดลงสู่ห้อง ทำให้ห้องมีปริมาณความชื้น

น้อยลง ซึ่งความร้อนและความชื้นที่เกิดขึ้นในห้องจะมาจากกิจกรรมของผู้อยู่อาศัยและถูกดูดความชื้นโดยผ่านผ้าเพดานไม้ จากการทดลองพบว่า สามารถลดความชื้นได้สูงถึง 25 กรัมต่อชั่วโมงตารางเมตร ถ้าระบบนี้ทำงานอย่างเต็มที่จะสามารถลดความชื้นได้ประมาณ 4 - 5 กรัมต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับการระบายอากาศแบบธรรมชาติและไม้ยังเป็นการใช้วัสดุทางธรรมชาติที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ตระหนักถึงการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในการใช้เครื่องปรับอากาศว่ามีวิธีใดบ้างที่สามารถช่วยแบ่งเบาภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศลงได้ที่มีผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้า นั่นคือ การใช้สารดูดความชื้น โดยสารดูดความชื้นที่นิยมใช้และนำมาทดสอบ คือ ซิลิกาเจล ที่มาจากการสังเคราะห์เพื่อใช้ในการลดความชื้นโดยเฉพาะ แต่ในงานวิจัยนี้ได้มีการทดสอบสารดูดความชื้นที่มาจากธรรมชาติมาทำการทดสอบ ได้แก่ อีโคทราย และ ทรายแอมค เพื่อสามารถนำวัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติโดยตรงมาใช้ทดแทนสารดูดความชื้นที่มาจาก การสังเคราะห์ได้ในการทำงานร่วมกับระบบปรับอากาศ