

การลดภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศโดยใช้สารดูดความชื้น เพื่อการประหยัดพลังงาน

UTILIZATION OF SORPTION TO REDUCE COOLING LOAD OF AN AIR CONDITIONING SYSTEM FOR ENERGY SAVING

ชาตรี เกียรติเจริญศิริ¹, สุดาภรณ์ คุ้มสูง², พรรณจิรา ทิศาวิภาต^{1*}, บัณฑิต ลิ้มมีโชคชัย^{2*}

บทคัดย่อ

โดยทั่วไประบบปรับอากาศจำเป็นต้องใช้พลังงานในการลดความร้อนแฝง (ความชื้น) มากกว่าการลดความร้อนสัมผัส (อุณหภูมิ) ดังนั้นการลดความชื้นเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ เนื่องจากการช่วยแบ่งเบาภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ งานวิจัยนี้ศึกษาการลดภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศโดยการทดลองใช้สารดูดความชื้นสามชนิดได้แก่ ทรายแอด (dry act) และ อีโคทราย (eco dry) ซึ่งเป็นสารดูดความชื้นจากธรรมชาติ และ ซิลิกาเจล (silica gel) ซึ่งเป็นสารดูดความชื้นสังเคราะห์ การทดลองแบ่งเป็น 3 การทดลอง ได้แก่ 1) การทดสอบการดูดความชื้นของสารดูดความชื้นในแผ่นเบดที่มี รูปแบบ ขนาด และลักษณะการจัดวางของแผ่นเบดในกล่องทดสอบ 4 ขนาด ได้แก่ 35x40x40 ลบ.ซม. 35x40x40 ลบ.ซม. 50x40x40 ลบ.ซม. และ 40x60x40 ลบ.ซม. โดยใช้ความเร็วของอากาศผ่านแผ่นเบดมีค่าเริ่มต้นเฉลี่ยใกล้เคียงกันที่ 0.5 เมตร/วินาที 2) การทดสอบการคายความชื้นของสารดูดความชื้นชนิดต่าง ๆ โดยใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในกล่องอบแห้ง และ 3) การนำผลจากการทดลองที่ 1 และ 2 มาทดสอบในห้องทดลองร่วมกับระบบปรับอากาศระหว่างมีการใช้และไม่มีการใช้สารดูดความชื้นเพื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้า ผลการทดลองที่ 1 พบว่า แผ่นเบดอีโคทรายขนาดแผ่น 20x30 ตร.ซม. ที่มีลักษณะการจัดวางของแผ่นเบดแบบตั้งฉากกับทิศทางการไหลของอากาศ มีประสิทธิภาพในการดูดความชื้นสูงสุด โดยสามารถดูดซับความชื้นได้ 7.09-10.34% ของน้ำหนักสารเริ่มต้น โดยมีผลต่างของมวลสาร 28.59-41.66 กรัม ในช่วงเวลา 10 นาทีแรกของการทดลอง พบว่า อุณหภูมิในอากาศสูงขึ้นเฉลี่ย 1-1.5°C ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยลดลงสูงสุด 9-12% และความเร็วของอากาศเฉลี่ยลดลง 50% ผลการทดลองที่ 2 พบว่า แผ่นเบดซิลิกาเจลขนาดแผ่น 20x30 ตร.ซม. มีประสิทธิภาพในการคายความชื้นได้สูงสุด โดยสามารถคายความชื้น 5.71-7.45% ของน้ำหนักสารเริ่มต้น โดยมีอัตราการคายความชื้นสูงสุดในเวลา 12.00-15.00 น. ผลการทดลองที่ 3 พบว่า กรณีที่มีการใช้สารดูดความชื้นทั้งซิลิกาเจลและอีโคทรายร่วมกับระบบปรับอากาศ มีค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าอยู่ที่ 10.605 กิโลวัตต์ชั่วโมง และ 11.183 กิโลวัตต์ชั่วโมง ส่วนกรณีที่ไม่มีการใช้สาร

¹ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

² สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร (SIIT) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ดูดความชื้นร่วมกับระบบปรับอากาศมีค่าอยู่ที่ 11.770 กิโลวัตต์ชั่วโมง ผลการศึกษาแสดงว่า กรณีที่มีการใช้สารดูดความชื้นร่วมกับระบบปรับอากาศสามารถช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศลงได้คิดเป็น 5-10% เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการใช้สารดูดความชื้นร่วมกับระบบปรับอากาศ

คำสำคัญ: ภาระการทำความร้อน, สารดูดความชื้น, การดูดซับความชื้น, การคายความชื้น, ปริมาณการใช้ไฟฟ้า

1. บทนำ

เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในพื้นที่เขตร้อนชื้น มีอุณหภูมิและความชื้นในอากาศสูง โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ย 30-35°C และความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ซึ่งอิทธิพลของความชื้นที่สูงนี้เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อสภาวะน่าสบายของผู้ใช้อาคาร รวมทั้งยังสร้างปัญหาต่าง ๆ กับโครงสร้างอาคารอีกด้วย วิธีการลดความชื้นในอากาศในอาคารวิธีหนึ่งก็คือ การใช้เครื่องปรับอากาศ แต่การใช้เครื่องปรับอากาศจำเป็นต้องใช้พลังงานในการลดความชื้น (ความร้อนแฝง) มากกว่าการลดอุณหภูมิ (ความร้อนสัมผัส) ถึง 2-3 เท่า หรือ 72 บีทียูต่อลูกบาศก์ฟุตต่ออนาที [1, 2] สำหรับอาคารประเภทพาณิชย์และบ้านพักอาศัยจะใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งภายในประเทศมากถึงร้อยละ 25.3 ของความต้องการใช้พลังงานทั้งหมด โดยเฉพาะส่วนของระบบปรับอากาศประมาณจะใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 60-70% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในอาคาร [3] ดังนั้นความชื้นในอากาศส่งผลต่อภาระการทำความร้อนของเครื่องปรับอากาศและค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นด้วย

แนวทางหนึ่งในการช่วยลดการใช้ไฟฟ้าภายในอาคารลงได้ คือการลดความชื้นภายในอากาศโดยไม่ใช้พลังงานไฟฟ้า การใช้สารดูดความชื้น (desiccant) จึงเป็นวิธีหนึ่งในการลด

ความชื้นในอากาศ [4] งานวิจัยนี้ได้ตระหนักถึงเรื่องการประหยัดพลังงานการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ โดยได้นำสารดูดความชื้นในรูปของแผ่นเบดมาติดตั้งใช้ร่วมกับระบบปรับอากาศ โดยสารดูดความชื้นที่นำมาทดสอบ ได้แก่ ซิลิกาเจล (silica gel) ที่มาจากการสังเคราะห์ ส่วนทรายแอก (dry act) และอีโคทราย (eco dry) ได้มาจากธรรมชาติ เนื่องจากว่าเป็นสารดูดความชื้นที่มีสารซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับความชื้นสูง ประกอบกับลักษณะทางโครงสร้างเป็นรูพรุน นอกจากนี้ยังเป็นการนำสารดูดความชื้นจากธรรมชาติมาใช้แทนสารดูดความชื้นที่มาจากกระบวนการสังเคราะห์ ในการนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบปรับอากาศได้ และยังเป็นการใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษารูปแบบ ขนาด และลักษณะการจัดวางของแผ่นเบดที่มีประสิทธิภาพสูงสุดของสารดูดความชื้นชนิดต่าง ๆ

2. ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดและคายความชื้นของสารดูดความชื้นชนิดต่าง ๆ โดยแบ่งเป็น 2 กรณี ได้แก่

2.1 กรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำ

2.2 กรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง

3. ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าระหว่างมีการใช้และไม่มีการใช้สารดูดความชื้นร่วมกับระบบปรับอากาศในห้องทดลอง

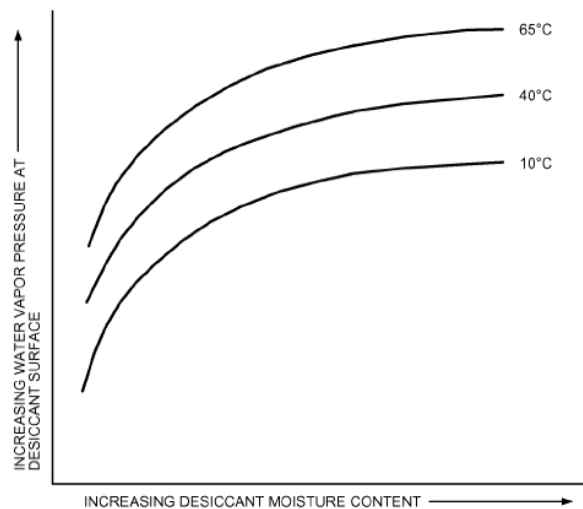
3. การศึกษาแนวความคิดที่เกี่ยวข้อง

การควบคุมความชื้นของอากาศเป็นการทำให้ความชื้นของอากาศเป็นไปตามความต้องการของพื้นที่นั้น ๆ ซึ่งการควบคุมความชื้นในอากาศสามารถทำได้ 2 วิธี [5] ได้แก่ วิธีที่ 1 เป็นการทำให้อากาศชื้นเย็นลงจนมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิไอน้ำอิ่มตัว โดยไอน้ำในอากาศจะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำทำให้อัตราส่วนของความชื้นลดลง วิธีที่ 2 เป็นการดูดไอน้ำในอากาศออกด้วยสารดูดความชื้น (desiccant) เพื่อให้อากาศชื้นกลายเป็นอากาศแห้ง ซึ่งสามารถแยกตามลักษณะของสารดูดความชื้นได้ 2 ประเภทคือสารดูดความชื้นชนิดแข็ง (solid desiccants) และสารดูดความชื้นชนิดเหลว (liquid desiccants)

สารดูดความชื้นเป็นสารที่มีคุณสมบัติเป็นรูพรุนสูง ซึ่งประกอบด้วยช่องว่างภายในขนาดเล็กจำนวนมาก พื้นที่ผิวทั้งหมดมีขนาดใหญ่ 0.1 ถึง 1.0 ตารางกิโลเมตรต่อกิโลกรัม หรือ 20 ถึง 200 สนามฟุตบอลต่อกิโลกรัม ช่องว่างมีขนาดเล็กเป็นนาโนเมตร [6] โดยสารดูดความชื้นจะดูดซับความชื้นให้กับอากาศ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความดันไอที่แตกต่างระหว่างน้ำในอากาศและน้ำในสารดูดความชื้นนั้น ๆ โดยปกติแล้วไอน้ำจะถูกดูดซับอยู่บนผิวของสารดูดซับความชื้นนั้น ๆ [7]

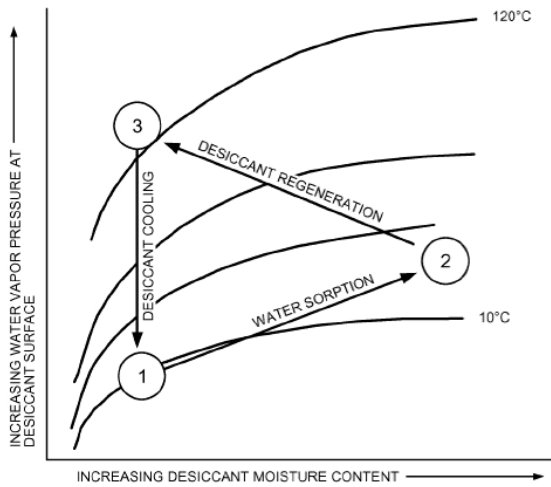
โดยวัฏจักรการทำงานของสารดูดความชื้นทุกชนิดมีความคล้ายกันในเรื่องของการดูดซับความชื้น คือ เมื่อความดันไอน้ำที่ผิวของสารดูดความชื้นมีค่าต่ำกว่าความดันไอน้ำในอากาศ สารดูดความชื้นจะเริ่มดูดไอน้ำ (ความชื้น) ในอากาศ และเมื่อความดันไอน้ำที่ผิวของสารดูดความชื้นมีค่าสูงกว่าความดันไอน้ำของอากาศ สารดูดความชื้นคายไอน้ำออกมา

รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอน้ำกับปริมาณความชื้นในสารดูดความชื้น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง



อุณหภูมิของสารดูดความชื้น

จากรูปที่ 1 [8] พบว่า ความดันไอน้ำที่ผิวของสารดูดความชื้นมีค่าสูงขึ้นตามอัตราส่วนความชื้นและอุณหภูมิของสารดูดความชื้นที่สูงขึ้น และเมื่อความดันไอน้ำที่ผิวของสารดูดความชื้นมีค่าสูงกว่าความดันไอน้ำในอากาศ ความชื้นจะถ่ายเทออกจากสารดูดความชื้น ซึ่งเรียกว่า รีเจนเนอเรชัน หรือกระบวนการคายความชื้น (regeneration process)



รูปที่ 2 วัฏจักรการทำงานของสารดูดความชื้น

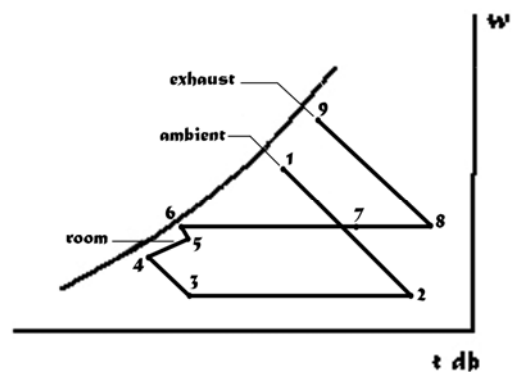
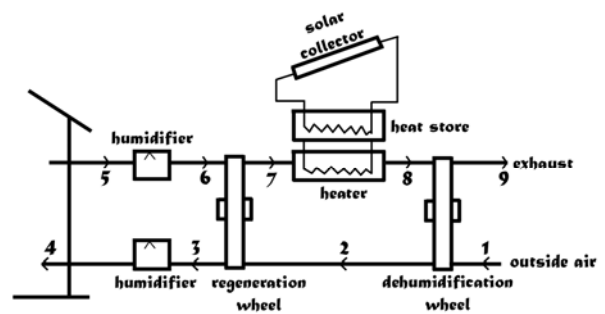
รูปที่ 2 [8] แสดงถึง พลังงานที่ใช้ในวัฏจักรการทำงาน ของสารดูดความชื้น ซึ่งประกอบด้วย พลังงานที่ใช้ในการรีเจนเนอเรชั่น (จากจุด 2-3) พลังงานที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของสารดูดความชื้น (จากจุด 3-1) โดยพลังงานรีเจนเนอเรชั่นจะมีค่าเท่ากับผลรวมกันของพลังงาน 3 ส่วน คือ

- 1) พลังงานความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของสารดูดความชื้นจนกระทั่งความดันไอน้ำที่ผิวของสารดูดความชื้นจะมีค่าสูงกว่าความดันไอน้ำในอากาศ
- 2) พลังงานความร้อนที่ทำให้ความชื้นกลายเป็นไอ (2465 kJ/kg)
- 3) พลังงานความร้อนในการรีดน้ำออกจากสารดูดความชื้น

สำหรับพลังงานที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของสารดูดความชื้นขึ้นอยู่กับปริมาณของสารดูดความชื้นและความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิหลังจากการรีเจนเนอเรชั่นและอุณหภูมิต่ำสุดที่

สารดูดความชื้นจะสามารถเอาไอน้ำออกจากอากาศได้

ส่วนระบบปรับอากาศโดยทั่วไปที่ใช้สารดูดความชื้นจะเป็นการปรับอากาศแบบลด-เพิ่มความชื้นในอากาศแบบวงจรเปิดโดยใช้ rotary generator เป็นตัวดูดความชื้นซึ่งเป็นล้อพรม โดยความพรมของล้อทำจากซิลิกาเจลที่ทำให้อากาศแห้ง จะมีกระแสอากาศ 2 กระแสผ่าน และมีการส่งผ่านความร้อนและความชื้นระหว่างกระแสทั้ง 2 โดยมีขั้นตอนการทำงานของระบบปรับอากาศที่ใช้สารดูดความชื้น ดังรูปที่ 3 [9] และ ตารางที่ 1



รูปที่ 3 ระบบปรับอากาศโดยใช้ rotary generator และ แผนภูมิไซโครเมตริก

ตารางที่ 1 รายละเอียดขั้นตอนการทำงานของระบบปรับอากาศที่ใช้สารดูดความชื้น

ขั้นตอนที่	รายละเอียด
1 – 2	อากาศจากภายนอกทำให้แห้งโดยล้อลดความชื้น (dehumidifier wheel) และมีอุณหภูมิสูงขึ้น
2 – 3	อากาศแห้งและร้อนจะถูกทำให้เย็นลงโดยล้อคืนสภาพ (regenerator wheel)
3 – 4	อากาศแห้งและเย็นมีอุณหภูมิลดลงอีกโดยการเพิ่มความชื้น
4 – 5	อากาศเย็นจะถูกส่งเข้าอาคารภายในอาคารอากาศจะได้รับความร้อนและความชื้น
5 – 6	อากาศที่ออกจากอาคารจะถูกทำให้ร้อนและเย็นลงอีก
6 – 7	ผ่านอากาศร้อนและเย็นเข้าไปที่ล้อคืนสภาพ (regenerator wheel) เพื่อทำให้ล้อคืนสภาพเย็นลงแล้วหมุนด้านเย็นไปในช่วง 2 - 3
7 – 8	อากาศที่ผ่านช่วง 6 - 7 จะเป็นอากาศแห้งและทำให้ร้อนขึ้นอีกด้วยความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์
8 – 9	อากาศแห้งและร้อนจะผ่านเข้าไปที่ล้อลดความชื้น (dehumidifier wheel) เพื่อทำให้ล้อลดความชื้นแห้งแล้วหมุนด้านแห้งไปในช่วง 1 - 2

4. วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองเพื่อทำการศึกษาและเปรียบเทียบผลการทดลองจากการใช้และการไม่ใช้สารดูดความชื้นร่วมกับระบบปรับอากาศ ผลของการศึกษานี้สามารถช่วยแบ่งเบาภาระการทำความเป็นของเครื่องปรับอากาศลงได้ ซึ่งเป็นการประหยัดพลังงาน

4.1 วิธีการวิจัย

1. การทดสอบรูปแบบ ขนาด และลักษณะการจัดวางของแผ่นเบดที่ใส่สารดูด

ความชื้นชนิดต่าง ๆ ที่มีประสิทธิภาพในการดูดความชื้นสูงสุดในกล่องทดลอง

2. การทดสอบการคายความชื้นของสารดูดความชื้นชนิดต่าง ๆ โดยใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในกล่องอบแห้ง

3. การนำผลการทดลองที่ 1 และ 2 มาทดสอบในห้องทดลองร่วมกับระบบปรับอากาศระหว่างมีการใช้และไม่มีการใช้สารดูดความชื้นเพื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้า

4.2 อุปกรณ์ในการวิจัย

การทดลองที่ 1

1. กล่องทดลอง 4 ขนาดได้แก่ 35x40x40 ลบ.ซม. จำนวน 2 กล่อง 40x50x40 ลบ.ซม. และ 40x60x40 ลบ.ซม. ทำด้วยโฟมโพลีสไตรีนหนา 4 นิ้ว ความหนาแน่น 1.5 ปอนด์ต่อตารางฟุต และแผ่นอะคริลิก หนา 4 มม. ขาแนวรอยต่อด้วยกาวซิลิโคน (ดูรูปที่ 4 และ 6)

2. กล่องควบคุมความชื้นมีขนาด 50x50x40 ลบ.ซม. ใช้สำหรับทดสอบประสิทธิภาพของสารดูดความชื้นในกรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง

3. แผ่นเบดมีขนาด 15x20 ตร.ซม. และ 30x20 ตร.ซม. กรอบทำด้วยอะลูมิเนียม และคลุมด้วยตะแกรงมุ้งลวด โดยมีรูปแบบ ขนาด และลักษณะการจัดวางแผ่นเบดที่ใส่สารดูดความชื้นแบ่งเป็น 4 รูปแบบ (ดูรูปที่ 5) ดังนี้

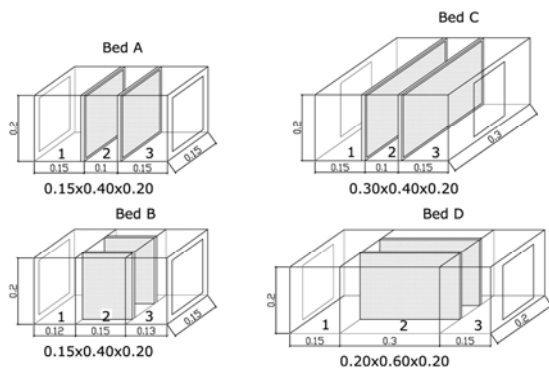
1) เบดรูปแบบ A มีพื้นที่หน้าตัด 15x20 ตร.ซม. ความหนาเบด 1 ซม. ข้างในบรรจุ 2 แผ่นห่างกัน 10 ซม. ปริมาณสารที่ใช้ต่อแผ่น 100 กรัม โดยมีทิศทางการไหลของอากาศแบบตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของแผ่นเบด

2) เเบดรูปแบบ B มีพื้นที่หน้าตัด 15x20 ตร.ซม. ความหนาเบด 1 ซม. ข้างในบรรจุ 2 แผ่น ห่างกัน 10 ซม. ปริมาณสารที่ใช้ต่อแผ่น 100 กรัม โดยมีทิศทางการไหลของอากาศแบบขนานกับพื้นที่หน้าตัดของแผ่นเบด

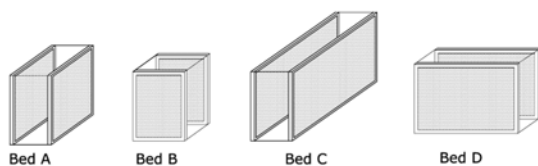
3) เเบดรูปแบบ C มีพื้นที่หน้าตัด 20x30 ตร.ซม. ความหนาเบด 1 ซม. ข้างในบรรจุ 2 แผ่น ห่างกัน 10 ซม. ปริมาณสารที่ใช้ต่อแผ่น 200 กรัม โดยมีทิศทางการไหลของอากาศแบบตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของแผ่นเบด

4) เเบดรูปแบบ D มีพื้นที่หน้าตัด 20x30 ตร.ซม. ความหนาเบด 1 ซม. ข้างในบรรจุ 2 แผ่น ห่างกัน 10 ซม. ปริมาณสารที่ใช้ต่อแผ่น 200 กรัม โดยมีทิศทางการไหลของอากาศแบบขนานกับพื้นที่หน้าตัดของแผ่นเบด

4. พัดลมเป่าอากาศ ขนาด 12x12 ตร.ซม. สามารถปรับความเร็วลมได้ โดยมีอัตราการไหลของอากาศอยู่ที่ 38.6-93.7 ตารางฟุตต่อนาที



รูปที่ 4 รูปแบบและขนาดกล่องทดลอง (ไม่รวมความหนาโฟม)



รูปที่ 5 รูปแบบของแผ่นเบด



รูปที่ 6 กล่องทดลองและกล่องควบคุมความชื้น

การทดลองที่ 2

กล่องอบแห้งขนาด 110x150x60 ลบ.ซม. (ไม่รวมความสูงขาตั้ง) ทำด้วยแผ่นกระจกใสหนา 4 มม. (ด้านบน) และแผ่นอะลูมิเนียม (ด้านข้าง) รูปที่ 7



รูปที่ 7 กล่องอบแห้ง

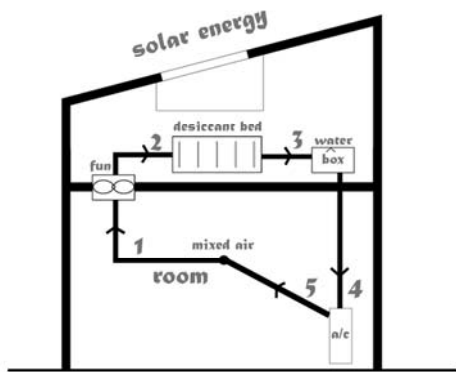
การทดลองที่ 3

1. ห้องทดลองขนาด 3.5x3.5x4.5 ลบ.ม. หันหน้าทางทิศตะวันตก
2. เครื่องปรับอากาศแบบตั้งพื้นขนาด 18,000 Btu/hr หรือ 1.5 ตัน
3. พัดลมดูดอากาศแบบหอยโข่ง (blower)
4. ลักษณะของแนวความคิดของระบบทั้งหมด (รูปที่ 9) คือ เริ่มจากพัดลมดูดอากาศแบบหอยโข่ง (จุดที่ 1) ดูดอากาศที่มีความชื้นภายในห้องทดลองผ่านแผ่นเบดที่ใส่สารดูดความชื้น

จำนวน 5 แผ่น (จุดที่ 2) เมื่ออากาศผ่านแผ่นเบด ส่งผลให้อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำลง แต่ อุณหภูมิอากาศสูงขึ้น จากนั้นอากาศที่อยู่ในท่อ เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนสัมผัสบริเวณกล่อง น้ำ (จุดที่ 3) ทำให้อากาศที่ผ่านกล่องน้ำแล้วมี อุณหภูมิต่ำลง จากนั้นอากาศที่ผ่านทั้งแผ่น เบดและกล่องน้ำจะเข้าสู่กระบวนการปรับอากาศ ที่ท่ออากาศต่อเข้ากับเครื่องปรับอากาศ (จุดที่ 4)



รูปที่ 8 ห้องทดลอง



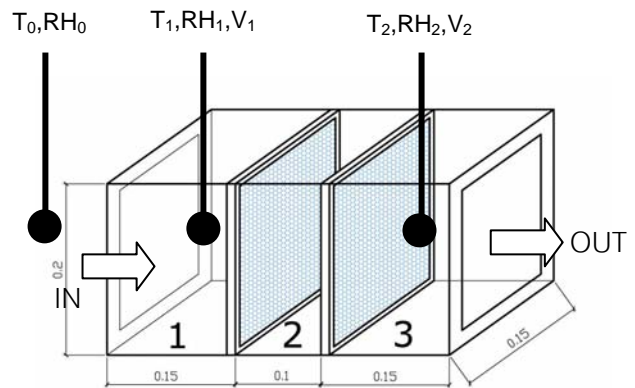
รูปที่ 9 ภาพรวมแนวความคิดของระบบในงานวิจัย

4.3 ขั้นตอนการทดลอง

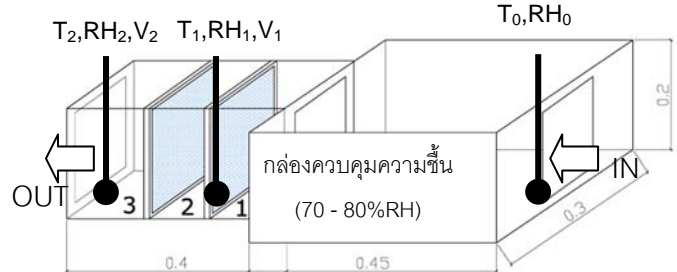
การทดลองที่ 1

การทดลองที่ 1 แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง ได้แก่ กรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำ และกรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง ทำ การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการ ดูดซับความชื้นของสารดูดความชื้นทั้ง 3 ชนิดใน

กล่องทดลอง 4 ขนาด โดยวัดค่ามวลสาร (g) ความชื้นสัมพัทธ์ (%) อุณหภูมิ (°C) และความเร็ว อากาศ (m/s) บริเวณกึ่งกลางของกล่องทดลอง ดัง รูปที่ 10-11 เมื่อผ่านแผ่นเบด ที่มีรูปแบบ ขนาด และลักษณะการจัดวางของแผ่นเบดต่าง ๆ ซึ่งมีความเร็วอากาศเริ่มต้นใกล้เคียงกัน



รูปที่ 10 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และ ความเร็วอากาศ กรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำ

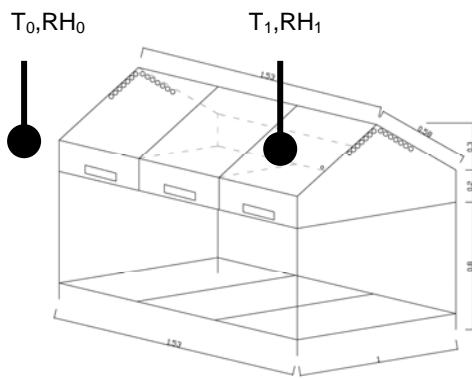


รูปที่ 11 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และ ความเร็วอากาศ กรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง

การทดลองที่ 2

การทดลองที่ 2 แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง ได้แก่ กรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำ และ กรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง โดยทำการ ทดสอบในกล่องอบแห้ง เพื่อเปรียบเทียบ ความสามารถในการคายความชื้นของสารดูด ความชื้นทั้ง 3 ชนิด โดยวัดค่ามวลสาร (g) ความชื้น สัมพัทธ์ (%) และอุณหภูมิ (°C) ภายนอกและ ภายในกล่องอบแห้ง บริเวณกึ่งกลางของกล่อง

อบแห้ง ดังรูปที่ 12 ซึ่งกรณีที่มีความสัมพันธ์ในอากาศสูงจะมีฝ้าเปียกน้ำมาคลุมปิดที่ช่องอากาศเข้า-ออก ส่วนกรณีที่มีความชื้นสัมพันธ์ในอากาศต่ำไม่มีฝ้าเปียกน้ำคลุม โดยในการทดลองได้ทำการทดลองในช่วงเวลาตั้งแต่ 11.00-16.00 น.



รูปที่ 12 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพันธ์ในกรณีที่มีความชื้นสัมพันธ์ในอากาศต่ำและสูง

การทดลองที่ 3

การทดลองที่ 3 แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง ได้แก่ กรณีที่ไม่มีการใช้สารดูดความชื้นร่วมกับระบบปรับอากาศ และกรณีที่มีการใช้สารดูดความชื้นร่วมกับระบบปรับอากาศ โดยการนำผลการทดลองที่ 1 และ 2 มาทำการทดสอบในห้องทดลอง เพื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้า โดยวัดค่าความชื้นสัมพันธ์ (%) อุณหภูมิ (°C) อัตราส่วนความชื้น (g) ช่วงการตัด-ต่อการทำงานของคอมเพรสเซอร์ และปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh) โดยทำการทดลองตั้งแต่เปิดใช้เครื่องปรับอากาศจนปิดเครื่อง (22.00-07.00 น.) ดังรูปที่ 13

เมื่อ T_0, RH_0 คือ ตำแหน่งอุณหภูมิและความชื้นสัมพันธ์ บริเวณนอกห้อง

T_1, RH_1 คือ ตำแหน่งอุณหภูมิและความชื้นสัมพันธ์ บริเวณกลางห้อง

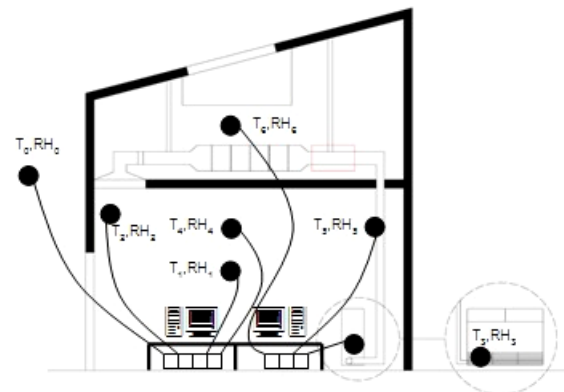
T_2, RH_2 คือ ตำแหน่งอุณหภูมิและความชื้นสัมพันธ์ บริเวณทางเข้าห้องปรับอากาศ

T_3, RH_3 คือ ตำแหน่งอุณหภูมิและความชื้นสัมพันธ์ บริเวณทางออกห้องปรับอากาศ

T_4, RH_4 คือ ตำแหน่งอุณหภูมิและความชื้นสัมพันธ์ บริเวณด้านข้างห้อง

T_5, RH_5 คือ ตำแหน่งอุณหภูมิและความชื้นสัมพันธ์ บริเวณด้านบนของเครื่องปรับอากาศ

T_6, RH_6 คือ ตำแหน่งอุณหภูมิและความชื้นสัมพันธ์ บริเวณช่องใต้หลังคา



รูปที่ 13 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพันธ์ในกรณีที่ไม่มีการใช้และมีการใช้สารดูดความชื้นร่วมกับระบบปรับอากาศ

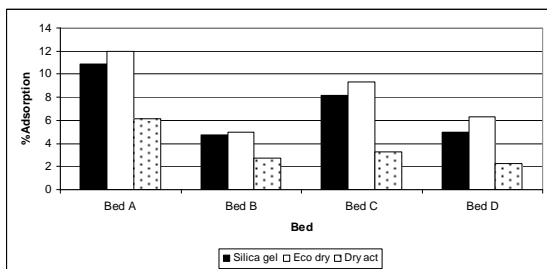
5. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ผลการทดลองที่ 1

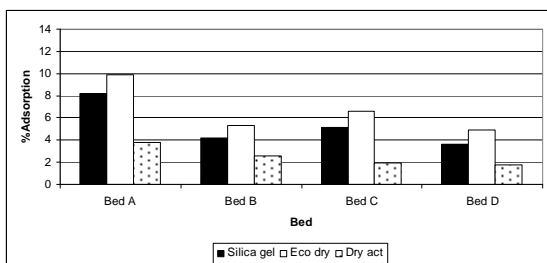
ผลการทดลองทั้งกรณีความชื้นสัมพันธ์ในอากาศต่ำและสูงมีผลสรุปดังนี้

1. การเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับความชื้นของสารดูดความชื้น 3 ชนิดทั้ง 2 กรณีพบว่า แผ่นเบดอีโคทรายทั้งรูปแบบ A B C และ D สามารถดูดซับความชื้นสูงสุด โดยดูจากผลต่างของมวลสารระหว่างหลังและก่อนเมื่ออากาศผ่านแผ่นเบดดังรูปที่ 14-15 และตารางที่ 2 รองลงมา คือ แผ่นเบดซิลิกาเจล และแผ่นเบดทรายแอก

ตามลำดับ โดยเฉพาะแผ่นเบดซิลิกาเจลสามารถดูดซับความชื้นใกล้เคียงกับแผ่นเบดอีโคทราย ผลเป็นเช่นนี้เนื่องจาก คุณสมบัติในการดูดซับความชื้นของ สารอีโคทราย ดีกว่าสารซิลิกาเจล และสารทรายแอก และเมื่ออากาศมีไอน้ำมาก สารดูดความชื้นจะเริ่มกักเก็บน้ำในอากาศเข้าสู่ตัวสารเอง จึงทำให้มวลสารมีน้ำหนักมากขึ้น นอกจากนี้ปริมาณสารดูดความชื้นเริ่มต้นในการลดความชื้นมีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับความชื้น คือ ปริมาณสารดูดความชื้นมาก อัตราการดูดซับความชื้นก็จะสูง กรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูงการดูดซับความชื้นจะมากที่สุด ในช่วง 5 นาทีแรกของการทดลองทุกรูปแบบ และชนิดของสารดูดความชื้น จากนั้นจะลดลงและคงที่



รูปที่ 14 ค่าความสามารถในการดูดซับความชื้นของสารดูดความชื้นแต่ละชนิดในรูปแบบเบดต่าง ๆ กรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำ

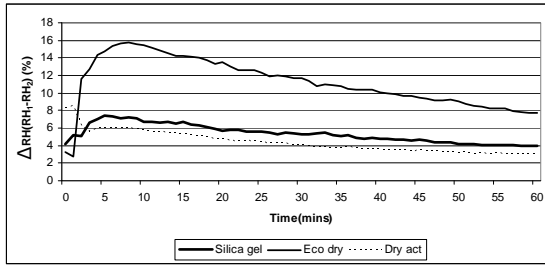


รูปที่ 15 ค่าความสามารถในการดูดซับความชื้นของสารดูดความชื้นแต่ละชนิดในรูปแบบเบดต่าง ๆ กรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง

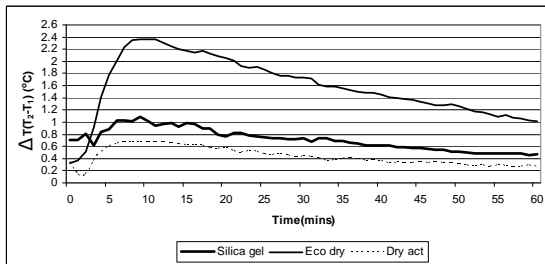
ตารางที่ 2 ผลต่างมวลสาร (g) และความสามารถในการดูดซับความชื้น (% ของมวลเริ่มต้น)

สารดูดความชื้น	Bed	กรณีที่มี RH ต่ำ		กรณีที่มี RH สูง	
		ผลต่างของมวลสาร (g)	ความสามารถในการดูดซับความชื้น (%)	ผลต่างของมวลสาร (g)	ความสามารถในการดูดซับความชื้น (%)
อีโคทราย	A	27.27	11.98	21.92	9.86
	B	11.55	4.99	11.43	5.35
	C	41.66	9.37	28.59	6.62
	D	27.06	6.30	20.72	4.91

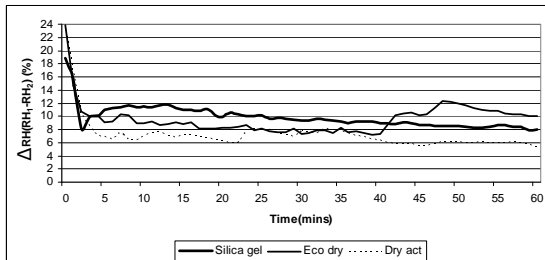
2. การเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ จากผลต่างความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยและผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยก่อนและหลังอากาศผ่านแผ่นเบด พบว่า แผ่นเบดอีโคทรายรูปแบบ C มีผลต่างความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 11.21% และ 9.56% ในกรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำ และกรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง ในการดูดซับความชื้นของสารอีโคทรายมีผลให้อุณหภูมิของสารและอากาศสูงขึ้น โดยมีผลต่างอุณหภูมิอยู่ที่ 1.59°C และ 1.04°C ในกรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำและกรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง ดังรูปที่ 16-19 และ ตารางที่ 3-4 ส่วนแผ่นเบดของสารดูดความชื้นทั้ง 3 ชนิดในรูปแบบ A B และ D มีผลต่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นเบดรูปแบบ C ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ทุกกรณีที่มีการใช้สารดูดความชื้นมีผลให้ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลง แต่อุณหภูมิในอากาศและตัวสารเองสูงขึ้น



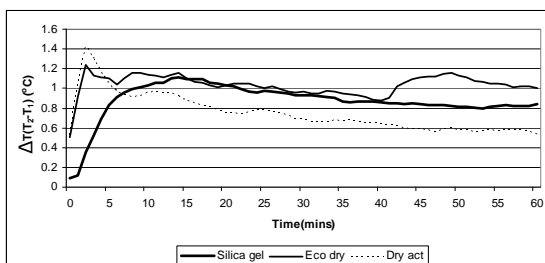
รูปที่ 16 ผลต่างความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศของสารดูดความชื้นแต่ละชนิดในรูปแบบ C ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ กรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำ



รูปที่ 17 ผลต่างอุณหภูมิในอากาศของสารดูดความชื้นแต่ละชนิดในรูปแบบ C ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ กรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำ



รูปที่ 18 ผลต่างความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศของสารดูดความชื้นแต่ละชนิดในรูปแบบ C ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ กรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง



รูปที่ 19 ผลต่างอุณหภูมิในอากาศของสารดูดความชื้นแต่ละชนิดในรูปแบบ C ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ กรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง

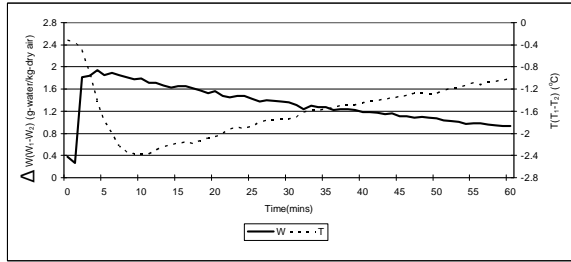
ตารางที่ 3 ผลต่างความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของทั้ง 2 กรณี

สารดูดความชื้น	ผลต่างความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%)							
	กรณีที่มี RH ต่ำ				กรณีที่มี RH สูง			
	Bed A	Bed B	Bed C	Bed D	Bed A	Bed B	Bed C	Bed D
ซิลิกาเจล	4.07	1.67	5.35	1.87	10.4	3.90	9.90	4.71
อีโคคราย	4.62	1.77	11.2	3.42	11.8	4.25	9.56	5.37
ครายแอค	2.68	1.82	4.39	1.80	5.57	4.51	7.22	3.42

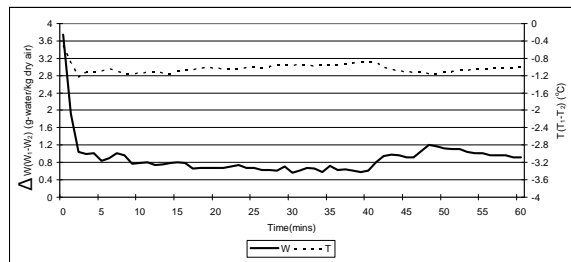
ตารางที่ 4 ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยของทั้ง 2 กรณี

สารดูดความชื้น	ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ย (°C)							
	กรณีที่มี RH ต่ำ				กรณีที่มี RH สูง			
	Bed A	Bed B	Bed C	Bed D	Bed A	Bed B	Bed C	Bed D
ซิลิกาเจล	0.35	0.08	0.71	0.06	1.06	0.44	0.87	0.62
อีโคคราย	0.44	0.21	1.59	0.33	1.35	0.72	1.04	0.75
ครายแอค	0.21	0.07	0.43	0.04	0.62	0.38	0.75	0.27

จากผลการศึกษาอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ สามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างอัตราส่วนความชื้นแวนูมิไซโครเมตริกและผลต่างอุณหภูมิของสารดูดความชื้นแต่ละชนิดในรูปแบบต่าง ๆ ในเวลา 1 ชั่วโมงได้ว่า รูปแบบแผ่นเบดสารดูดความชื้นที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับความชื้นมากที่สุดได้แก่ แผ่นเบดอีโคครายรูปแบบ C คือ มีผลต่างอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 1.33 กรัมต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และ 0.89 กรัมต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง ในกรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำและกรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง ดังรูปที่ 20-21 และ ตารางที่ 5



รูปที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างอัตราส่วนความชื้น และผลต่างอุณหภูมิของแผ่นเบดอีโคทรายรูปแบบ C ใน กรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำ



รูปที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างอัตราส่วนความชื้น และผลต่างอุณหภูมิของแผ่นเบดอีโคทรายรูปแบบ C ใน กรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง

ตารางที่ 5 ผลต่างอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยของทั้ง 2 กรณี

สาร ดูด ความ ชื้น	ผลต่างอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ย (กรัมตอกิโลกรัมอากาศแห้ง)							
	กรณีที่มี RH ต่ำ				กรณีที่มี RH สูง			
	Bed A	Bed B	Bed C	Bed D	Bed A	Bed B	Bed C	Bed D
อีโค ทราย	0.39	0.30	1.33	0.38	0.45	0.24	0.89	0.44

3. การเปรียบเทียบผลต่างความเร็วของอากาศทั้ง 2 กรณี จากผลต่างความเร็วเฉลี่ยก่อนและหลังเมื่ออากาศผ่านแผ่นเบด พบว่า แผ่นเบดรูปแบบ A และ C ของสารดูดความชื้น 3 ชนิดทั้ง 2 กรณีมีค่าเฉลี่ยผลต่างความเร็วของอากาศเฉลี่ยมากที่สุด เนื่องจากแผ่นเบดรูปแบบ A และ C ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของอากาศ รวมทั้งจำนวนการใช้แผ่นเบด ทำให้อากาศที่จะผ่านแผ่นเบดที่

ใส่สารดูดความชื้นเกิดการขวางแนวลมหรือถูกดักอากาศก่อนผ่านแผ่นเบด เป็นผลทำให้ความเร็วของอากาศต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วของอากาศเริ่มต้น ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลต่างความเร็วของอากาศเฉลี่ยของทั้ง 2 กรณี (ความเร็วของอากาศหลังผ่านแผ่นเบด – ก่อนเข้าแผ่นเบด)

สาร ดูด ความ ชื้น	ผลต่างความเร็วของอากาศเฉลี่ย (m/s)							
	กรณีที่มี RH ต่ำ				กรณีที่มี RH สูง			
	Bed A	Bed B	Bed C	Bed D	Bed A	Bed B	Bed C	Bed D
ซิลิกา เจล	-0.02	0.30	-0.15	-0.03	-0.35	-0.14	-0.55	-0.33
อีโค ทราย	-0.04	0.18	-0.27	0.24	-0.55	-0.10	-0.21	-0.14
ทราย แอส	-0.05	0.12	0.02	0.31	-0.13	-0.05	-0.31	-0.08

ผลการทดลองที่ 2

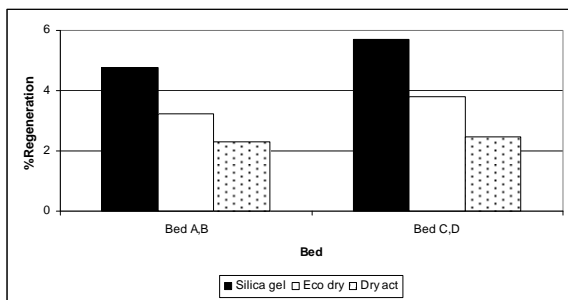
การเปรียบเทียบผลการทดลองด้านความสามารถในการคายความชื้นและหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิภายนอกและภายในกล่องอบแห้ง แบ่งหัวข้อการวิเคราะห์และได้ผลสรุปดังนี้

1. การเปรียบเทียบความสามารถในการคายความชื้นของสารดูดความชื้น 3 ชนิดทั้ง 2 กรณี พบว่า แผ่นเบดซิลิกาเจลทั้งรูปแบบ A, B และ C, D มีความสามารถในการคายความชื้นสูงสุด โดยดูจากผลต่างมวลสารระหว่างหลังและก่อนเมื่อได้รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ ดังตารางที่ 7 และรูปที่ 22-23 รองลงมาคือ แผ่นเบดอีโคทรายและแผ่นเบดทรายแอส ตามลำดับ ผลเป็นเช่นนี้เนื่องจาก สารซิลิกาเจลมีคุณสมบัติในการคายความชื้นดีกว่าสารอีโคทรายและทรายแอสที่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเมื่อได้รับความร้อนรวมทั้งเมื่อมีการให้พลังงานความร้อนกับสาร น้ำที่

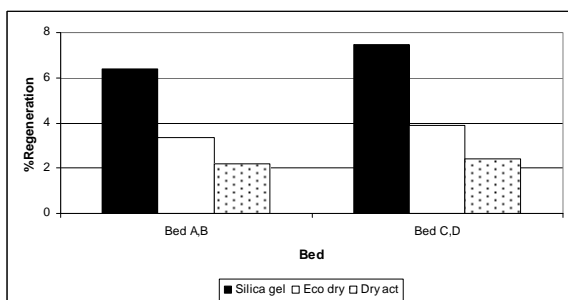
ถูกกักเก็บไว้ในตัวสารเกิดการระเหยหรือคายน้ำ ออกสู่อากาศจึงทำให้มวลสารมีน้ำหนักเบาลง

ตารางที่ 7 ผลต่างของมวลสาร (g) และความสามารถในการคายความชื้น (% ของมวลเริ่มต้น)

สารดูดความชื้น	Bed	กรณีที่มี RH ต่ำ		กรณีที่มี RH สูง	
		ผลต่างของมวลสาร (g)	ความสามารถในการคายความชื้น (%)	ผลต่างของมวลสาร (g)	ความสามารถในการคายความชื้น (%)
ซิลิกาเจล	A, B	-9.05	4.77	-12.24	6.41
	C, D	-18.35	5.71	-24.31	7.45

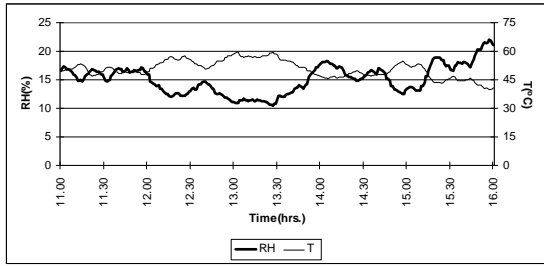


รูปที่ 22 ค่าความสามารถในการคายความชื้นของสารดูดความชื้นแต่ละชนิดในรูปแบบเบดต่าง ๆ กรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำ

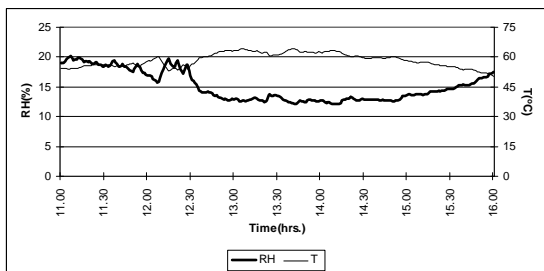


รูปที่ 23 ค่าความสามารถในการคายความชื้นของสารดูดความชื้นแต่ละชนิดในรูปแบบเบดต่าง ๆ กรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง

2. ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิภายนอกและภายในกล่องอบแห้งทั้ง 2 กรณี พบว่า เมื่อนำสารดูดความชื้นทั้ง 3 ชนิดมาทำการคายความชื้นด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ทั้งรูปแบบ A, B และ C, D มีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในกล่องอบแห้งอยู่ที่ 15.08% และ 15.04% ในกรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำและกรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง และมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในกล่องอบแห้งอยู่ที่ 50.64°C และ 58.46°C ในกรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำและกรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง ดังรูปที่ 24-25 เมื่อนำค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิมาหาค่าอัตราส่วนความชื้นในแผนภูมิไซโครเมตริก พบว่า ค่าอัตราส่วนความชื้นต่ำสุดอยู่ที่ 10.04 กรัมต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง ในกรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำ และ 13.79 กรัมต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง ในกรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง โดยช่วงเวลาที่มีการคายไอน้ำออกมามากที่สุดอยู่ในช่วงเวลา 12.00 ถึง 15.00 น. ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์หรืออุณหภูมิภายนอกก็มีผลต่อประสิทธิภาพในการคายความชื้นของสารดูดความชื้น คือ การให้พลังงานความร้อนกับสารจะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำลง ซึ่งเป็นไปตามแผนภูมิไซโครเมตริก เพราะน้ำที่กักเก็บอยู่ในตัวสารเกิดการระเหยหรือคายน้ำออกมาสู่อากาศเมื่อมีอุณหภูมิในอากาศภายนอกสูง



รูปที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิในกล่องอบแห้ง กรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำ



รูปที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิในกล่องอบแห้ง กรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง

ผลการทดลองที่ 3

จากผลการทดลองที่ 1 และ 2 สรุปได้ว่าแผ่นเบดอีโคทรายรูปแบบ C ที่มีลักษณะการจัดวางแผ่นเบดแบบตั้งฉากกับทิศทางการไหลของอากาศมีประสิทธิภาพในการดูดและคายความชื้นที่เหมาะสมที่สุด เมื่อเทียบกับแผ่นเบดซิลิกาเจลและแผ่นเบดทรายแอก โดยเฉพาะแผ่นเบดซิลิกาเจลมีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกับแผ่นเบดอีโคทราย ดังนั้นในการทดลองที่ 3 จึงเลือกแผ่นเบดซิลิกาเจลและแผ่นเบดอีโคทรายมาทำการทดสอบ โดยได้ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ อัตราส่วนความชื้นช่วงการตัด-ต่อการทำงานของคอมเพรสเซอร์และปริมาณการใช้ไฟฟ้า โดยผลการทดลองทั้ง 2

กรณี ได้แบ่งหัวข้อการวิเคราะห์และได้ผลสรุปดังนี้

1. การเปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในห้องทดลองระหว่างกรณีที่มีการใช้และกรณีที่ไม่มีการใช้สารดูดความชื้นร่วมกับระบบปรับอากาศ สังเกตจากอุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของแต่ละชั่วโมง พบว่า ช่วงเวลาตั้งแต่ 22.00-07.00 น. ของทั้งสองกรณีมีค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยใกล้เคียงกันเนื่องจากการทำงานของระบบปรับอากาศ ดังตารางที่ 8 และรูปที่ 26-28 แสดงช่วงการตัด-ต่อการทำงานของคอมเพรสเซอร์ทำให้อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มีการเปลี่ยนแปลงตลอดช่วงเวลาการทำงาน โดยเฉพาะช่วงเวลา 02.00 น. เป็นต้นไป อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จะสูงขึ้นเล็กน้อย จากการตัดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ และการเริ่มการทำงานของคอมเพรสเซอร์ จะทำให้อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ลดลง

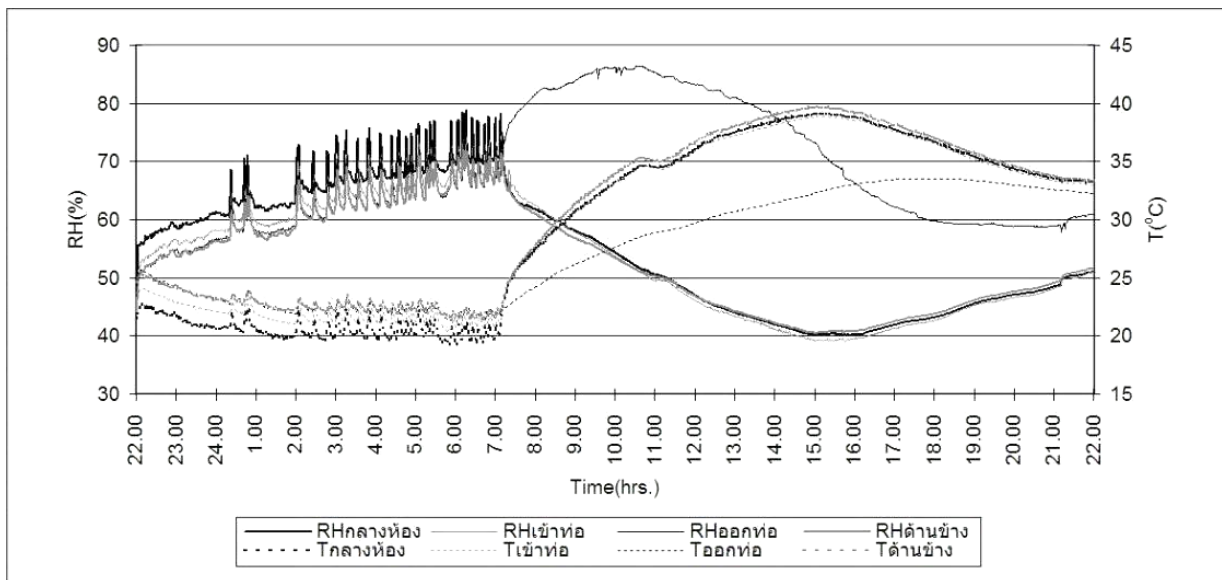
2. การเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นในห้องทดลองระหว่างมีการใช้และไม่มีการใช้สารดูดความชื้นร่วมกับระบบปรับอากาศโดยดูจากผลต่างอัตราส่วนความชื้นระหว่างทางออกท่อและทางเข้าท่อ พบว่า ในช่วง 5 นาทีแรก ของกรณีที่ไม่มีการใช้สารดูดความชื้น มีผลต่างอัตราส่วนความชื้นเพิ่มขึ้น 0.1-0.2 กรัมต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง ซึ่งต่างกับกรณีที่มีการใช้สารดูดความชื้นทั้งสารซิลิกาเจลและสารอีโคทราย คือ ในช่วง 12 นาทีแรก มีผลต่างอัตราส่วนความชื้นที่ลดลงอยู่ที่ 0.02-0.04 กรัมต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง และ 0.02-0.40 กรัมต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง ตามลำดับ จากนั้นผลต่างอัตราส่วนความชื้นจะเปลี่ยนแปลงโดยสม่ำเสมอตามการตัด-ต่อการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ดังรูปที่ 29 ผลเป็นเช่นนี้เนื่องจาก อากาศที่อยู่ในห้อง

ถูกดูดเข้าที่อากาศและผ่านแผ่นเบดที่ใส่สารดูดความชื้นและกล่องน้ำ จึงทำให้อากาศที่ออกมาจากที่อากาศมีอัตราส่วนความชื้นลดลง และจาก

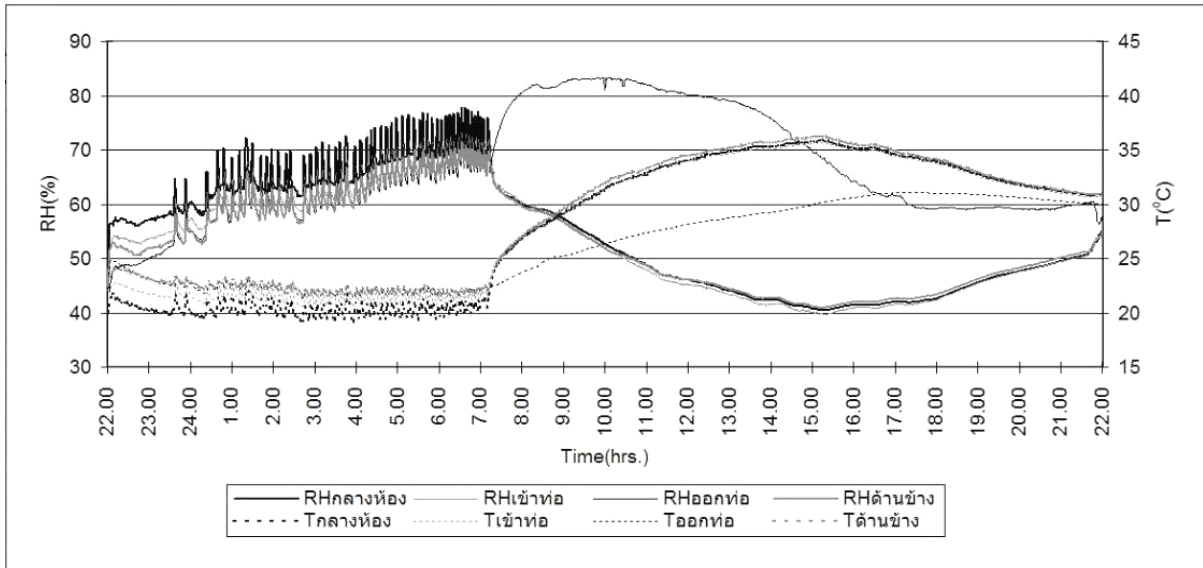
การตัด-ต่อการทำงานของคอมเพรสเซอร์เป็นผลให้ผลต่างอัตราส่วนความชื้นเปลี่ยนแปลงตลอดการทดลอง

ตารางที่ 8 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ ของทั้ง 2 กรณี

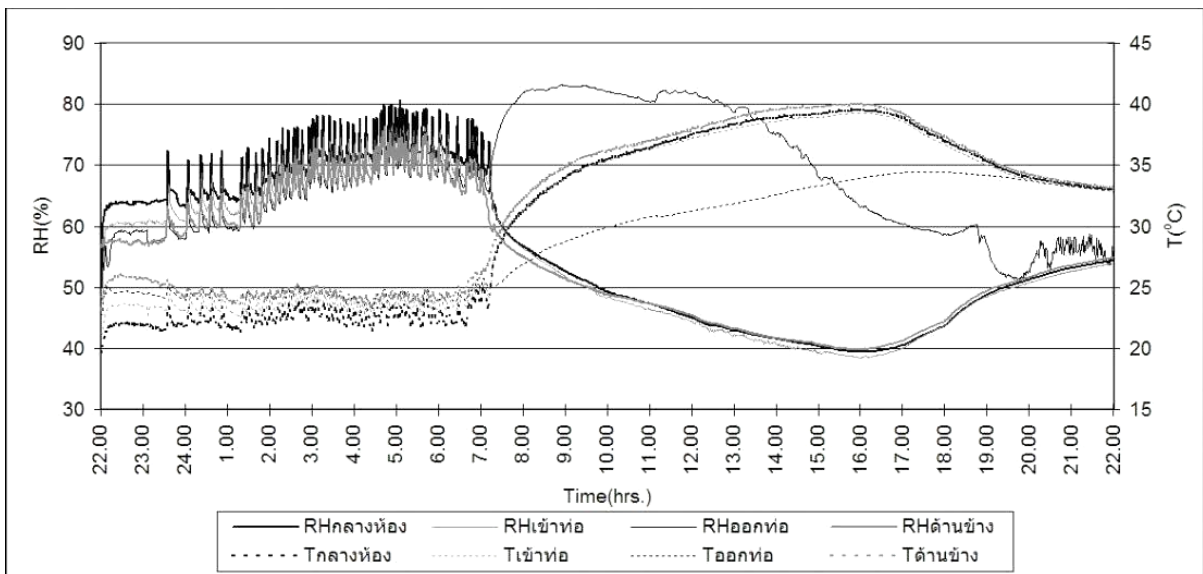
เวลา	กรณีที่ไม่มีการใช้สารดูดความชื้นร่วมกับระบบปรับอากาศ		กรณีที่มีการใช้สารซิงเกิลเจลร่วมกับระบบปรับอากาศ		กรณีที่มีการใช้สารอีโคเดรายร่วมกับระบบปรับอากาศ	
	Tเฉลี่ย (°C)	RHเฉลี่ย (%)	Tเฉลี่ย (°C)	RHเฉลี่ย (%)	Tเฉลี่ย (°C)	RHเฉลี่ย (%)
22.00 – 23.00 น.	24.75	54.11	23.62	51.30	24.76	59.43
23.00 – 24.00 น.	23.59	56.66	22.82	53.98	24.63	60.82
24.00 – 01.00 น.	23.19	60.33	22.49	57.64	24.48	63.29
01.00 – 02.00 น.	22.39	59.51	22.65	61.06	24.19	64.31
02.00 – 03.00 น.	22.49	63.80	22.15	60.08	24.59	68.80
03.00 – 04.00 น.	22.69	66.36	22.02	62.24	24.49	71.03
04.00 – 05.00 น.	22.43	66.78	22.13	65.07	24.20	72.32
05.00 – 06.00 น.	22.26	68.42	22.14	67.29	24.33	72.87
06.00 – 07.00 น.	21.97	70.03	22.15	68.82	24.71	70.64



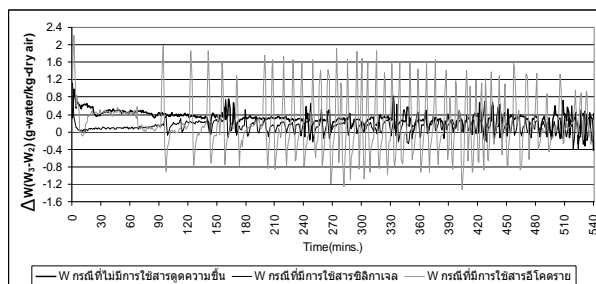
รูปที่ 26 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในห้องทดลอง ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ กรณีที่ไม่มีการใช้สารดูดความชื้นร่วมกับระบบปรับอากาศ



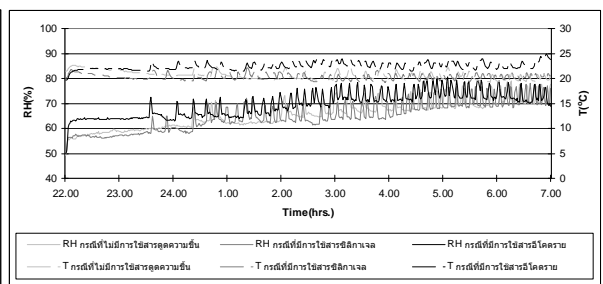
รูปที่ 27 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในห้องทดลอง ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ
กรณีที่มีการใช้ซิลิกาเจลร่วมกับระบบปรับอากาศ



รูปที่ 28 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในห้องทดลอง ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ
กรณีที่มีการใช้อิโคธรายร่วมกับระบบปรับอากาศ



รูปที่ 29 การเปรียบเทียบค่าผลต่างอัตราส่วนความชื้น ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ ของทั้ง 2 กรณี



รูปที่ 30 การเปรียบเทียบช่วงการตัด-ต่อการทำงานของ คอมเพรสเซอร์ ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ ของทั้ง 2 กรณี

3. การเปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าระหว่างมีการใช้และไม่มีการใช้สารดูดความชื้นร่วมกับระบบปรับอากาศโดยดูจากช่วงการตัด-ต่อการทำงานของคอมเพรสเซอร์ และการคำนวณหาค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศพบว่า ในกรณีที่มีการใช้สารดูดความชื้นทั้งสารซิลิกาเจลและสารอีโคทราย เกิดการตัด-ต่อการทำงานของคอมเพรสเซอร์เร็วและมากกว่ากรณีที่ไม่มีการใช้สารดูดความชื้น คือ เริ่มมีการตัด-ต่อใน 1 ชั่วโมงครึ่งหลังจากการเปิดการทำงานของพัดลมดูดอากาศและเครื่องปรับอากาศ โดยมีจำนวนครั้งในการตัด 51 ครั้ง และการต่อ 51 ครั้ง ในกรณีที่ใช้สารซิลิกาเจล และ มีการตัด 48 ครั้ง และการต่อ 47 ครั้ง ในกรณีที่ใช้สารอีโคทรายในเวลา 9 ชั่วโมง ของการเปิดใช้เครื่องปรับอากาศ ส่วนกรณีที่ไม่มีการใช้สารดูดความชื้นจะเริ่มการตัด-ต่อใน 2 ชั่วโมงครึ่งและมีจำนวนครั้งในการตัดเพียง 28 ครั้ง และการต่อ 28 ครั้ง ดังรูปที่ 30 สำหรับในส่วนของการคำนวณหาค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ พบว่า กรณีที่ไม่มีการใช้สารดูดความชื้นมีค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าอยู่ที่ 11.770 กิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งมากกว่ากรณีที่มีการใช้สารดูดความชื้น คือ 10.605 กิโลวัตต์ชั่วโมง ในกรณีที่มีการใช้สารซิลิกาเจล และ 11.183 กิโลวัตต์ชั่วโมง ในกรณีที่มีการใช้สารอีโคทราย ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า กรณีที่มีการใช้สารดูดความชื้นร่วมกับระบบปรับอากาศสามารถช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศลงได้คิดเป็น 5-10% เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการใช้สารดูดความชื้นร่วมกับระบบปรับอากาศ เนื่องจากการตัดการทำงานของคอมเพรสเซอร์มีกำลังไฟฟ้าที่

ใช้เป็นศูนย์ จะมีเฉพาะกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับพัดลมส่งลมเย็นเท่านั้น เป็นผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศลดลง ดังนั้น จึงประหยัดพลังงาน สำหรับตัวอย่างการคำนวณหาค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการต่อการทำงานของคอมเพรสเซอร์ทั้ง 3 กรณี จะทำการคำนวณช่วงเวลาตั้งแต่ 22.00-07.00 น. เป็นเวลา 9 ชั่วโมง ดังสมการ (1) และการคำนวณหาค่าการประหยัดพลังงานไฟฟ้า ดังสมการ (2), (3) ต่อไปนี้

ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh)

= ผลรวมระยะเวลาในแต่ละครั้งของการต่อการทำงานของคอมเพรสเซอร์ (ชั่วโมง) x กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)

$$= \sum_{x=1}^N X_n * P \quad (1)$$

เมื่อ X_n คือ ระยะเวลาในแต่ละครั้งของการต่อการทำงานของคอมเพรสเซอร์ มีหน่วยเป็นนาทีก

P คือ กำลังไฟฟ้า มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์

การประหยัดพลังงานไฟฟ้า (%)

$$= \left(\frac{kWh_1 - kWh_2}{kWh_1} \right) * 100 \quad (2)$$

หรือ

$$= \left(\frac{kWh_1 - kWh_3}{kWh_1} \right) * 100 \quad (3)$$

เมื่อ kWh_1 คือ ปริมาณการใช้ไฟฟ้ากรณีที่ไม่มีการใช้สารดูดความชื้นร่วมกับระบบปรับอากาศ มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง

kWh₂ คือ ปริมาณการใช้ไฟฟ้ากรณีที่มีการใช้สารซิลิกาเจลร่วมกับระบบปรับอากาศ มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง

kWh₃ คือ ปริมาณการใช้ไฟฟ้ากรณีที่มีการใช้สารอีโคทรายร่วมกับระบบปรับอากาศ มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง

การคำนวณหาค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าในกรณีที่ไม่มีการใช้สารดูดความชื้นร่วมกับระบบปรับอากาศ

กำหนดให้ค่ากำลังไฟฟ้า (P) = 2.2 กิโลวัตต์
แทนค่า X ลงในสมการ (1) ในแต่ละครั้งของการต่อการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ซึ่งมีการต่อจำนวนทั้งหมด 28 ครั้ง เป็นระยะเวลารวมเท่ากับ 321 นาที ในเวลา 9 ชั่วโมง จะได้

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณการใช้ไฟฟ้า} &= \frac{321}{60} * 2.2 \\ &= 11.770 \text{ kWh} \end{aligned}$$

ดังนั้น ในเวลา 9 ชั่วโมงมีค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 11.770 กิโลวัตต์ชั่วโมง

การคำนวณหาค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าในกรณีที่มีการใช้สารซิลิกาเจลร่วมกับระบบปรับอากาศ

กำหนดให้ค่ากำลังไฟฟ้า (P) = 2.1 กิโลวัตต์
แทนค่า X ลงในสมการ (1) ในแต่ละครั้งของการต่อการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ซึ่งมีการต่อจำนวนทั้งหมด 51 ครั้ง เป็นระยะเวลารวมเท่ากับ 303 นาที ในเวลา 9 ชั่วโมง จะได้

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณการใช้ไฟฟ้า} &= \frac{303}{60} * 2.1 \\ &= 10.605 \text{ kWh} \end{aligned}$$

ดังนั้น ในเวลา 9 ชั่วโมงมีค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 10.605 กิโลวัตต์ชั่วโมง

การคำนวณหาค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าในกรณีที่มีการใช้สารอีโคทรายร่วมกับระบบปรับอากาศ

กำหนดให้ค่ากำลังไฟฟ้า (P) = 2.2 กิโลวัตต์
แทนค่า X ลงในสมการ (1) ในแต่ละครั้งของการต่อการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ซึ่งมีการต่อจำนวนทั้งหมด 47 ครั้ง เป็นระยะเวลารวมเท่ากับ 305 นาที ในเวลา 9 ชั่วโมง จะได้

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณการใช้ไฟฟ้า} &= \frac{305}{60} * 2.2 \\ &= 11.183 \text{ kWh} \end{aligned}$$

ดังนั้น ในเวลา 9 ชั่วโมงมีค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 11.183 กิโลวัตต์ชั่วโมง

การคำนวณหาค่าการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในกรณีที่มีการใช้สารซิลิกาเจลร่วมกับระบบปรับอากาศเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการใช้สารดูดความชื้นร่วมกับระบบปรับอากาศ

จากสมการ (2) จะได้

$$\begin{aligned} \text{การประหยัดพลังงานไฟฟ้า (\%)} &= \left(\frac{11.770 - 10.605}{11.770} \right) * 100 \\ &= 9.9\% \end{aligned}$$

สรุปได้ว่า กรณีที่มีการใช้สารซิลิกาเจลร่วมกับระบบปรับอากาศสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศได้ 9.9%

การคำนวณค่าการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในกรณีที่มีการใช้สารอีโคทรายร่วมกับระบบปรับอากาศเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการใช้สารดูดความชื้นร่วมกับระบบปรับอากาศ

จากสมการ (3) จะได้

การประหยัดพลังงานไฟฟ้า (%)

$$= \left(\frac{11.770 - 11.183}{11.770} \right) * 100$$

$$= 4.9\%$$

สรุปได้ว่า กรณีที่มีการใช้สารอีโคทรายร่วมกับระบบปรับอากาศสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศได้ 4.9%

6. สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า

1. รูปแบบ ขนาด และลักษณะการจัดวางแผ่นเบดมีผลต่ออัตราการดูดความชื้น คือ เมื่อรูปแบบแผ่นเบดมีพื้นที่หน้าตัดมากขึ้น และลักษณะการจัดวางแผ่นเบดแบบตั้งฉากกับทิศทางการไหลของอากาศ รวมทั้งปริมาณสารและจำนวนการใช้แผ่นเบด จะทำให้อัตราการดูดความชื้นสูงขึ้น

2. รูปแบบ ขนาด และลักษณะการจัดวางแผ่นเบดมีผลต่ออัตราการคายความชื้นคือ เมื่อรูปแบบแผ่นเบดมีพื้นที่หน้าตัดมากขึ้น และลักษณะการจัดวางแผ่นเบดแบบทำมุม 45 องศา หรือ ตั้งฉากกับรังสีดวงอาทิตย์ จะทำให้อัตราการคายความชื้นสูงขึ้น และอัตราการคายความชื้นแปรผันตรงกับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์

3. กรณีที่มีการใช้สารดูดความชื้นร่วมกับระบบปรับอากาศสามารถช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศลงได้คิดเป็น

5-10% เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการใช้สารดูดความชื้นร่วมกับระบบปรับอากาศ

4. สารดูดความชื้นจากธรรมชาติ โดยเฉพาะสารอีโคทรายมีความสามารถในการดูดซับความชื้นดีกว่าสารดูดความชื้นจากการสังเคราะห์หรือสารซิลิกาเจล ส่วนความสามารถในการคายความชื้นมีความใกล้เคียงกัน ดังนั้นสามารถนำสารดูดความชื้นจากธรรมชาติมาใช้ทดแทนสารดูดความชื้นจากการสังเคราะห์ในกรณีที่น่าไปประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบปรับอากาศได้

7. แนวทางการประยุกต์ใช้

1. ในกระบวนการคายความชื้นควรมีพื้นที่ผิวรับแสงอาทิตย์มากและอาจมีการนำความร้อนจากแหล่งอื่น เช่น ลมร้อนจากคอนเดนเซอร์ยูนิต (condensing unit) ของเครื่องปรับอากาศมาเพิ่มการคายความชื้น หรือมีการออกแบบให้ระบบมีวงล้อแลกเปลี่ยนความชื้น (desiccant wheel) และวงล้อแลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanging wheel) เป็นต้น

2. ในกรณีที่ใช้ระบบนี้ร่วมกับระบบปรับอากาศขนาดเล็กสำหรับบ้านพักอาศัยทั่วไป จากการศึกษาพบว่า การใช้ระบบนี้ร่วมกับระบบปรับอากาศแบบเดิมสามารถช่วยประหยัดพลังงานการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศลงได้จริง อย่างไรก็ตาม การใช้ระบบนี้กับเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กมีความยุ่งยากในส่วนของติดตั้ง โดยเฉพาะการใช้ระบบนี้ร่วมกับระบบปรับอากาศเดิมที่มีการติดตั้งอยู่แล้ว แต่จะเหมาะสมกับกรณีที่ยังไม่ได้มีการติดตั้งระบบปรับอากาศ จากการวิเคราะห์และพิจารณาการใช้ระบบนี้ ควรใช้ร่วมกับระบบปรับอากาศขนาดใหญ่แบบหั่วจ่ายลมเย็น เช่น อาคาร

สำนักงาน เป็นต้น เนื่องจาก ระบบที่นำเสนอนี้มีหลักการและลักษณะที่ใกล้เคียงกับระบบปรับอากาศแบบหั่วจ่ายลมเย็น ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับอาคารสำนักงานได้ ในส่วนของการติดตั้งก็สามารถดำเนินการได้ง่ายกว่า โดยติดตั้งพร้อมกับระบบปรับอากาศตั้งแต่เริ่มต้น และยังช่วยประหยัดพลังงานการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศลงได้

8. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] สุนทร บุญญธิการ. (2542). *เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน เพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [2] สุนทร บุญญธิการ. (2545). *การออกแบบประสานระบบมหาวิทยาลัยชินวัตร*. กรุงเทพฯ: บริษัท โอเอส.พรินติ้งเฮาส์ จำกัด.
- [3] ถนอมศักดิ์ พิระพัฒน์พงษ์. (2551). *การศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในคันทิน*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม.
- [4] ธนาชัย จงสุวรรณไพศาล. (2549). *ผนังดูดซับความชื้นด้วยซิลิกาที่สกัดจากแกลบ*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัย

ธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม.

[5] ประทีป ไคว่นฤมิตร. (2541). *การศึกษาสมรรถนะการควบคุมความชื้นโดยซิลิกาเจลสำหรับระบบการอบแห้ง*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, คณะพลังงานและวัสดุ, สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน.

[6] รัตนากร ระวังกุล. (2544). *การศึกษาความเป็นไปได้ของการนำเส้นใยธรรมชาติแทนสารดูดความชื้นเพื่อใช้ในระบบปรับอากาศวัฏจักรเปิด*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, คณะพลังงานและวัสดุ, สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน.

[7] ASHRAE. (1985). *Fundamentals Handbook (SI), 2nd ed.*, New York: The American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 19.1-19.6.

[8] ASHRAE. (2005). *ASHRAE Handbook-Fundamentals(SI)*. Atlanta: The American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 22.1-22.6.

[9] Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (1980). *Solar Engineering of Thermal Process*. New York: John Willey & Sons, 36-48.