

การออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์สำหรับ ห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบ

The Design and Development of Relative Humidity Control Systems for Negative Pressure Airborne Infectious Isolation Room

ธรรมบุญ สุขไชยะ¹ ถวิล มาทัง² สิทธิชัย กุลศรี³

Thammanoon Sookchaiya¹ Thawin Matung² Sithichai Kulsri³

¹ ภาควิชาไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคสมุทรสาคร จังหวัดสมุทรสาคร 75000

Department of Electrical Power, Samutsakorn Technical College, Samutsakorn 75000

²⁻³ ภาควิชาไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคยะลา จังหวัดยะลา 95000

Department of Electrical Power, Yala Technical College, Yala 95000

¹ Corresponding Author: E-mail: tsookchaiya@gmail.com

Received: 9 May. 2023; Revised: 14 November. 2023; Accepted: 12 December. 2023;

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) สร้างห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบตามแบบของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ. 2) สร้างระบบควบคุมอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน 3) สร้างระบบตรวจวัดค่าสภาวะอากาศและแสดงผลพร้อมแจ้งเตือนผ่านสมาร์ทโฟน ขั้นตอนการทดลองผู้วิจัยได้สร้างห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบตามมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ และมีระบบตรวจวัดค่าสภาวะอากาศแล้วแสดงผลแบบเวลาจริงผ่านสมาร์ทโฟนและตัวแสดงผล LCD หากมีค่าต่ำหรือสูงกว่ามาตรฐานก็จะมีแจ้งเตือนผ่านทางเสียงและไฟกระพริบที่หน้าห้อง และแจ้งเตือนผ่านทางสมาร์ทโฟน การควบคุมอุณหภูมิอากาศทำได้โดยปรับตั้งค่าอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศอยู่ที่ 21 – 24 °C การลดความชื้นสัมพัทธ์อาศัยหลักการดูดความชื้นด้วยเม็ดซิลิกาเจล ในระบบลดความชื้นบรรจุเม็ดซิลิกาเจล จำนวน 2 กิโลกรัม ผลปรากฏว่าสามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 40 – 60 % RH มีปริมาตรอากาศไหลผ่านสารดูดความชื้นที่ 156 CFM ความเร็วลม 8.76 m/s. ค่าประสิทธิภาพในการดูดซับไอน้ำเฉลี่ยคือ 9.9 % . ความสามารถในการดูดซับไอน้ำในอากาศ 0.5 kg/h. การถ่ายเทอากาศมีค่า 16.57 ACH

คำสำคัญ : ความชื้นสัมพัทธ์ ห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบ การลดความชื้น สารดูดความชื้น ห้องความดันลบ

Abstract

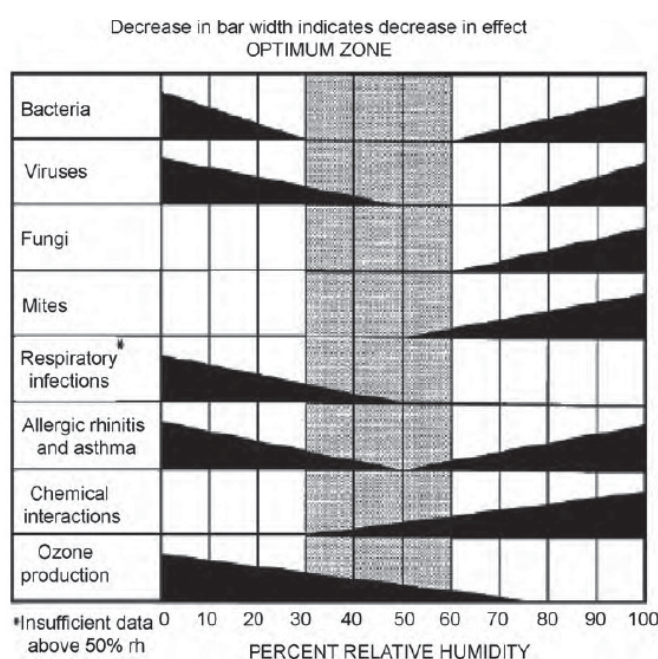
This research aims to: 1) build an airborne infectious isolation room according to the standard of the Engineering Institute of Thailand, 2) develop a system to control air temperature and relative humidity in AIIR according to the standard, and 3) develop a system for measuring weather conditions, displaying, and giving notifications through a smartphone. The experimental procedure was as follows. The researcher constructed an airborne infectious isolation room according to the standard of the Engineering Institute of Thailand based on Model no. 3. There is a system to measure weather conditions and display them in real time via a smartphone and LCD display. If the value is lower or higher than the criteria, there will be a notification via sound and flashing lights in front of the AIIR room and via a smartphone. The air temperature is controlled by adjusting the air conditioner temperature at 21 - 24 °C. The relative humidity is reduced by the principle of desiccation with silica gel beads. The dehumidification system contains 2 kilograms of silica gel beads. The result appeared that the developed system was able to control the relative humidity in the range of 40 – 60 %RH. The airflow rate passing through the desiccant is 156 CFM and the wind speed is 8.76 m/s. The average water vapor absorption efficiency is 9.9%. The moisture removal capacity (MRC) is 0.5 kg/h while the air exchange rate is 16.57 ACH.

Keywords : relative humidity, airborne infectious isolation room (AIIR), dehumidification, silica gel, negative pressure room.

1. บทนำ

การแพร่กระจายเชื้อทางอากาศในสถานพยาบาลเป็นปัญหาสำคัญทางการแพทย์และสาธารณสุขทั่วโลก สำหรับประเทศไทยเชื้อวัณโรคซึ่งเป็นเชื้อที่แพร่กระจายทางอากาศกำลังเป็นปัญหาสำคัญ เนื่องจาก อุบัติการณ์ของวัณโรคเพิ่มขึ้นและพบเชื้อวัณโรคที่ดื้อยาหลายขนานด้วย นอกจากนี้โรคอุบัติใหม่ระบบทางเดินหายใจ ได้แก่ โรค SARS, Avian influenza, A H5N1 และ COVID-19 อาจแพร่ทางอากาศหรือทางฝอยละอองขนาดเล็ก (Aerosol) ได้ในบางสถานการณ์ การป้องกันการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศในสถานพยาบาลจึงเป็นสิ่งที่ต้องดำเนินการอย่างมีประสิทธิภาพ การควบคุมคุณภาพอากาศเพื่อป้องกันการติดเชื้อทางอากาศภายในสถานพยาบาลมีแนวทางการป้องกันโดยการควบคุมสถานะแวดล้อม ทำได้หลายวิธีเช่น การเติมอากาศบริสุทธิ์จากภายนอก การควบคุมแรงดันระหว่างพื้นที่ การควบคุมทิศทางการไหลของอากาศ การใช้แผงกรองอากาศ การใช้หลอดอัลตราไวโอเลต และการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จากข้อมูลของศูนย์ควบคุมโรคติดต่อสหรัฐอเมริกา (Centers for Disease Control and Prevention, CDC) และสมาคมวิศวกรการทำความร้อน ความเย็น และการปรับอากาศแห่งสหรัฐอเมริกา (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE) ได้ให้ความสำคัญเกี่ยวกับระบบทำความร้อน ระบบระบายอากาศ ระบบปรับอากาศ และ ระบบทำความเย็น (Heating, Ventilation and Air-Conditioning System, HVAC) ของโรงพยาบาลเป็นอย่างมาก จึงได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานและวิธีการเพื่อบรรเทาการแพร่ระบาดของโรค เช่น COVID-19, MERS, SARS และ tuberculosis ในโรงพยาบาลและอาคารที่พักอาศัย [1]

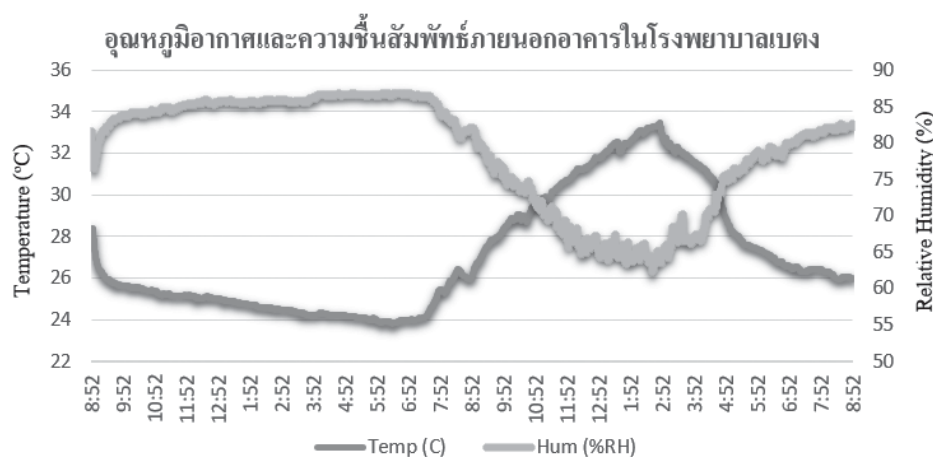
การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จะช่วยลดการแพร่กระจายและลดการเจริญเติบโตของเชื้อโรคในอากาศได้ ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยมาตรฐานและแนวทางจากหลายหน่วยงานจะกำหนดช่วงของอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ที่ต้องควบคุมของพื้นที่ต่าง ๆ ภายในสถานพยาบาล แต่เนื่องจากประเทศไทยมีสภาวะอากาศแบบร้อนชื้น การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องให้เป็นไปตามมาตรฐานจึงเป็นเรื่องยาก เพราะระบบปรับอากาศทั่วไปไม่สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ได้ ดังนั้น การออกแบบระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งในสถานพยาบาลโดยเฉพาะอย่างยิ่งในห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ ที่มีความดันภายในห้องเป็นลบ ทั้งห้องปรับอากาศและห้องพัสดมห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ ออกแบบเพื่อรองรับผู้ป่วยโรคติดต่อระบบทางเดินหายใจต่าง ๆ เพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศจากภายในห้องสู่พื้นที่ส่วนอื่น ๆ ของสถานพยาบาล [2, 3]



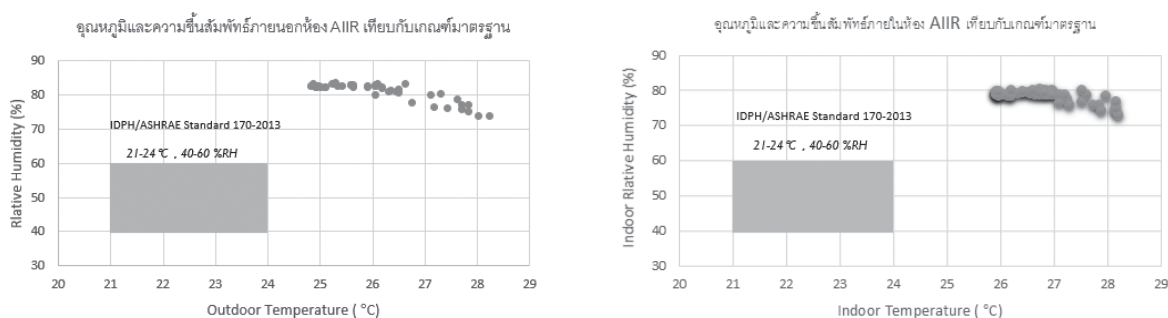
ภาพที่ 1 อิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์ที่มีต่อระบบทางเดินหายใจและการเจริญเติบโตของไวรัสแบคทีเรีย

การควบคุมสภาวะอากาศภายในห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบ ต้องเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของ ASHRAE STD 170 และ CDC โดยควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในห้องให้อยู่ในช่วง 21-24 องศาเซลเซียส และค่าความชื้นสัมพัทธ์ต้องมีค่าอยู่ในช่วง ร้อยละ 30-60 RH [4] จากการศึกษา พบว่า ทำได้ค่อนข้างยาก เพราะห้องความดันลบจะต้องมีการดูดอากาศภายในห้องออกสู่ภายนอกตลอดเวลา และต้องเติมอากาศใหม่เข้ามาตลอดเวลา โดยต้องมีอัตราการถ่ายเทอากาศไม่ต่ำกว่า 12 ACH ประกอบกับอากาศใหม่ที่เติมเข้ามานั้น มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงมากทำให้ไม่สามารถลดความชื้นให้อยู่ในช่วง ร้อยละ 40-60 RH ได้ทันเวลา

จากกรณีศึกษาโรงพยาบาลเบตง ตั้งอยู่ในอำเภอเบตง จังหวัดยะลา เป็นพื้นที่ราบสูงล้อมรอบด้วยภูเขา มีสภาพอากาศร้อนชื้น ค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงตลอดปี แสดงดังภาพที่ 2 ภายในอาคารผู้ป่วยทุกอาคารไม่มีการติดตั้งระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ แม้แต่ในห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบ ทั้งห้องพัสดมและปรับอากาศก็ไม่สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดได้ ทำให้ผู้ป่วยและแพทย์พยาบาลที่ปฏิบัติงานภายในห้องได้รับผลกระทบต่อสุขภาพและความสบายเชิงความร้อน [5, 6]



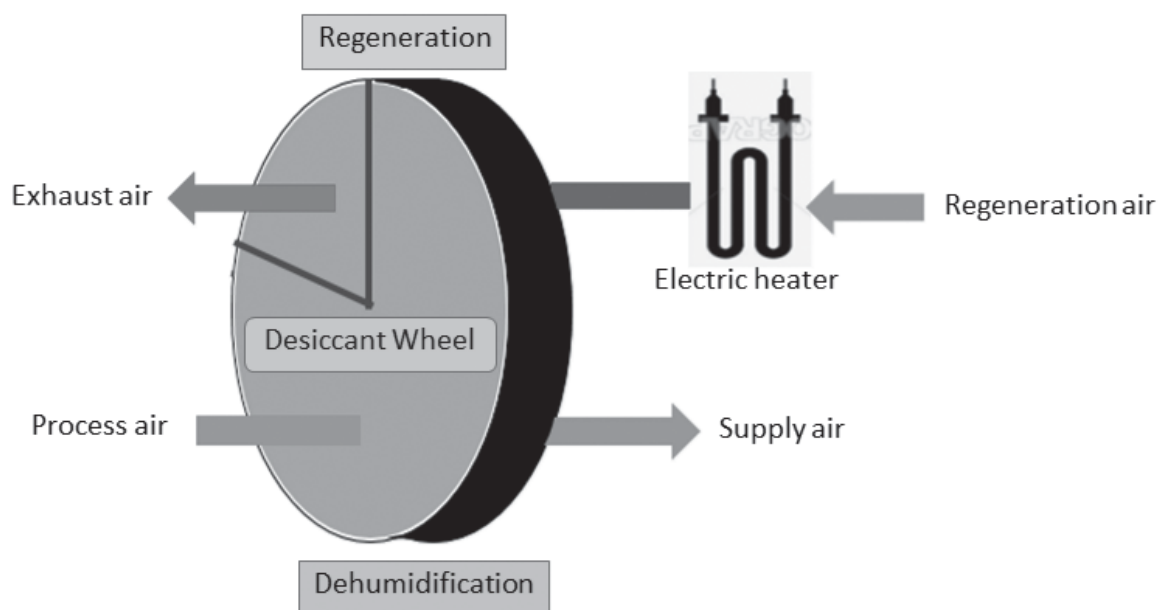
ภาพที่ 2 อุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกอาคารในโรงพยาบาลเบตง



ภาพที่ 3 การกระจายของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบ

ในการนำค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ทั้งภายในและภายนอกห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบ ไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของ ASHRAE STD 170 แสดงได้ดังภาพที่ 3 แถบสีเหลืองคือ ช่วงของค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ยอมรับได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน คือ 21-24 องศาเซลเซียส และร้อยละ 40-60 RH กลุ่มสีน้ำเงิน คือ ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ตรวจวัดได้ทั้งภายในห้อง และภายนอกห้อง จะเห็นได้ว่า อยู่นอกช่วงค่าที่ยอมรับได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน

การลดความชื้นสัมพัทธ์ด้วยสารดูดความชื้นชนิดเม็ดซิลิกาเจล โดยทั่วไปนิยมสร้างให้มีการหมุนเป็นวงกลมแบบกลิ้ง ดังภาพที่ 4 การทำงานของระบบจะมี 2 กระบวนการ คือ กระบวนการดูดความชื้น และกระบวนการคายความชื้น ประสิทธิภาพการลดความชื้นแปรตามปริมาณสารดูดความชื้น การลดความชื้นด้วยวิธีนี้มีข้อเสียคืออากาศร้อนที่ไหลผ่านเม็ดซิลิกาเจลในกระบวนการคายไอน้ำ อาจมีการผสมกับอากาศชื้นที่ไหลผ่านเม็ดซิลิกาเจลในกระบวนการ Dehumidification ทำให้ Supply Air ที่ได้ จะมีค่าอุณหภูมิสูงขึ้น จึงไม่เหมาะสมกับการใช้งานสำหรับห้องความดันลบ แต่ถ้าออกแบบช่วงรอยต่อให้ดี ระบบกลิ้งนี้ก็สามารถสามารถควบคุมได้ทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดได้ อีกทั้งยังสามารถรองรับปริมาณการระบายอากาศภายในห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบ ที่ 12 ACH ได้อย่างเพียงพอ [7, 8]



ภาพที่ 4 กระบวนการลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นแบบกงล้อ

ด้วยเหตุผลที่ได้กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยจึงได้ออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมสภาวะอากาศภายในห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบ ให้มีค่าอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของ ASHRAE STD 170 และสามารถแสดงผลค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในระบบเวลาจริง โดยมีระบบแสดงผลที่หน้าห้อง และแจ้งเตือนผ่านทางสมาร์ทโฟน และบันทึกข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดลงใน Google Sheet ซึ่งจะอำนวยความสะดวกให้กับแพทย์ พยาบาล และเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงานในห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบให้มีความปลอดภัยและทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อสร้างห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบตามมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

2.2 เพื่อสร้างระบบควบคุมอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

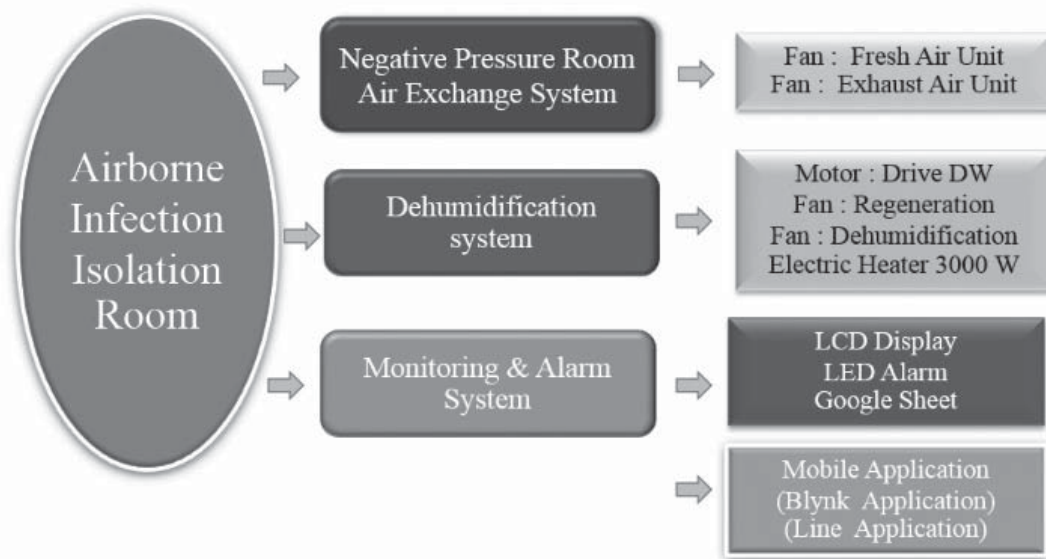
2.3 เพื่อสร้างระบบตรวจวัดค่าสภาวะอากาศและแสดงผลพร้อมแจ้งเตือนผ่านสมาร์ทโฟน

3. ขอบเขตการวิจัย

ระบบควบคุมสภาวะอากาศภายในห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบ สามารถควบคุมค่าอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 21-24 องศาเซลเซียส และค่าความชื้นสัมพัทธ์ให้อยู่ช่วง ร้อยละ 40-60 RH ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ASHRAE STD 170 [4]

4. วิธีการดำเนินการวิจัย

หลังจากที่ได้ทำการศึกษาข้อมูลระบบการทำงานของห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบ ตามมาตรฐานของ ASHRAE STD 170 และ CDC รวมถึง ได้ลงพื้นที่เก็บข้อมูลจริงในโรงพยาบาลเบตง อ.เบตง จ.ยะลา ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้มาออกแบบและพัฒนาห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบ ณ ภาควิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า วิทยาลัยเทคนิคยะลา อ.เมือง จ.ยะลา โดยมีภาพรวมการทำงานของทั้งระบบ ดังภาพที่ 5

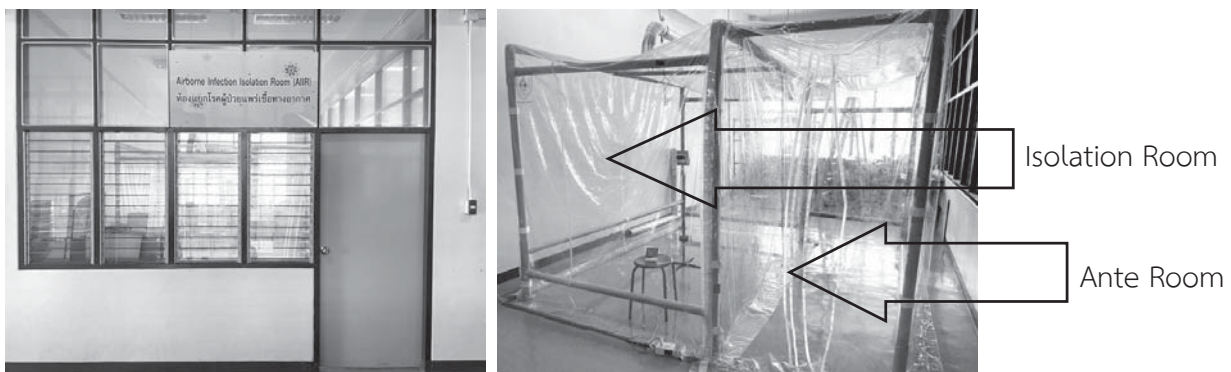


ภาพที่ 5 องค์ประกอบของห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบ

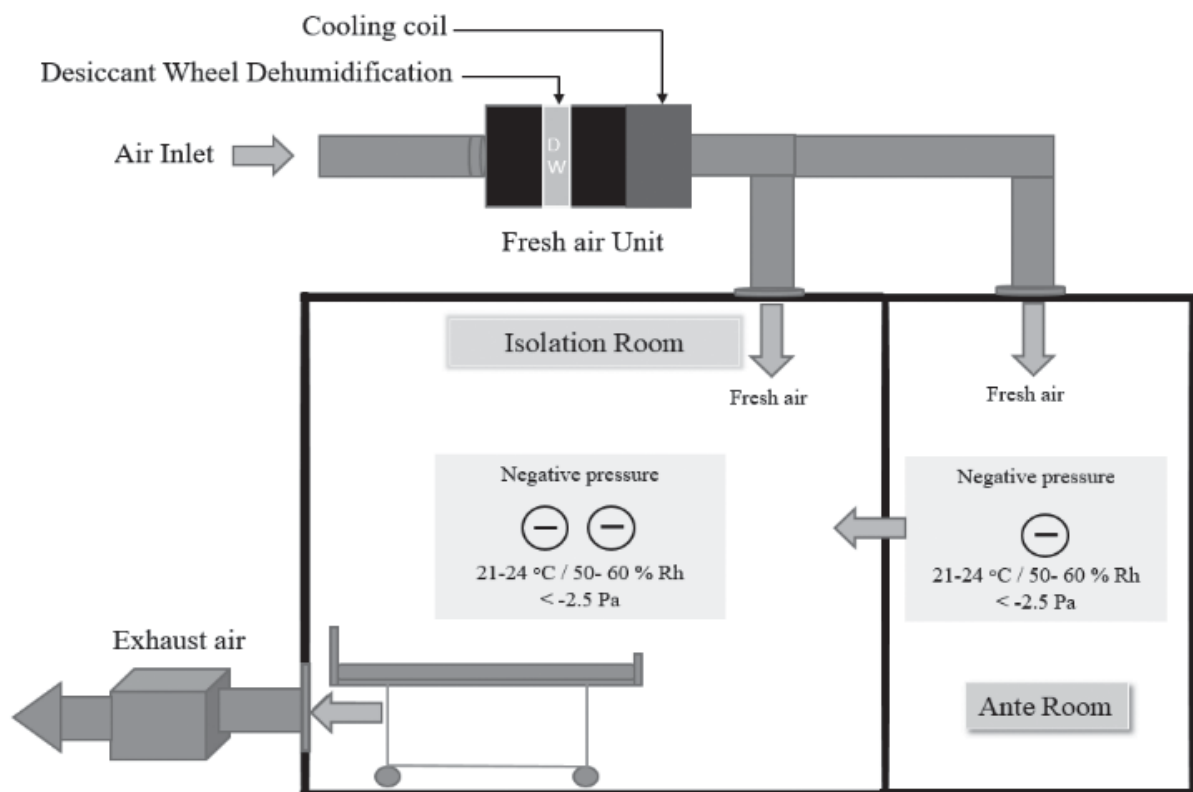
จากภาพที่ 5 เป็นองค์ประกอบรวมของห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบ โดยผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและพัฒนาขึ้นมา และได้แบ่งหัวข้อการออกแบบเป็น 3 ประเด็นหลัก ๆ คือ สร้างห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบ ออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ สร้างระบบตรวจวัดและแสดงผล โดยมีวิธีการดำเนินการวิจัย ดังต่อไปนี้

4.1 สร้างห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบ

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้สร้างห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบตามแบบของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ [3] โดยมีรายละเอียดดังภาพที่ 6 และภาพที่ 7



ภาพที่ 6 ห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบตามแบบของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ



ภาพที่ 7 รายละเอียดของห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบ

จากภาพที่ 7 เป็นภาพแสดงรายละเอียดของห้อง โดยมีห้องเตรียม (Ante Room) เป็นห้องเก็บอุปกรณ์เตรียมตัวของแพทย์ พยาบาล ก่อนเข้าไปปฏิบัติงานในห้องพักรักษาตัวผู้ป่วย (Isolation Room) เป็นห้องพักรักษาตัวของผู้ป่วย โดยแพทย์ พยาบาล เข้าไปตรวจรักษาอาการป่วยและห้องสังเกตอาการป่วยของผู้ป่วย โดยมีระบบระบายอากาศที่หัวเตียงผู้ป่วย เพื่อเจือจางและกำจัดเชื้อที่อยู่ภายในห้องออกบริเวณหัวเตียงผู้ป่วยป้องกันการแพร่กระจายเชื้อโรคไปสู่บริเวณโดยรอบ

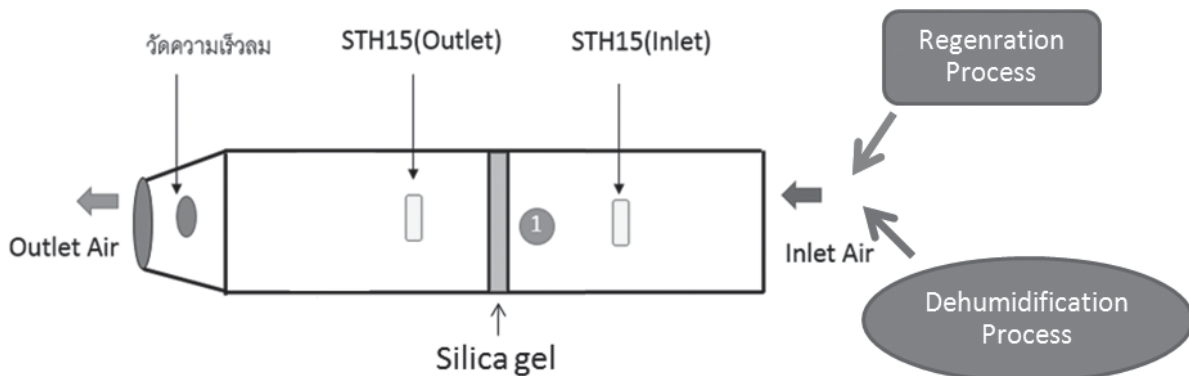
ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์มาตรฐานของห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบ

No.	Parameter	value
1	Air Pressure	< -2.5 Pa
2	Air Temperature	21-24 °C
3	Relative Humidity	50 – 60 %RH
4	Air Change Rates	>12 ACH

ค่าสภาวะอากาศและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่สำคัญที่ต้องควบคุมให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานแสดงดังตารางที่ 1 มาตรฐานกำหนดให้ความดันอากาศต่ำ ไม่น้อยกว่า 2.5 Pascal (Negative Pressure), ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 21–24 องศาเซลเซียส ค่าความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 50–60 RH และมีอัตราการถ่ายเทอากาศต่อชั่วโมง (Air-change per hour : ACH) ไม่น้อยกว่า 12 ACH

4.2 ออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบ

จากการทดลองระบบลดความชื้นสัมพัทธ์ด้วยสารดูดความชื้นแบบกักเก็บ พบว่า จะมีอากาศร้อนที่เกิดจากกระบวนการคายความชื้น ไหลเข้าไปผสมกับอากาศเย็นในกระบวนการลดความชื้น จึงทำให้ค่าอุณหภูมิของอากาศที่จะนำไปจ่ายเป็น Fresh Air มีค่าสูงกว่า 24 องศาเซลเซียส ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบระบบลดความชื้นสัมพัทธ์ให้เหมาะสมกับห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบ ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ระบบลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นโดย Silica Gel

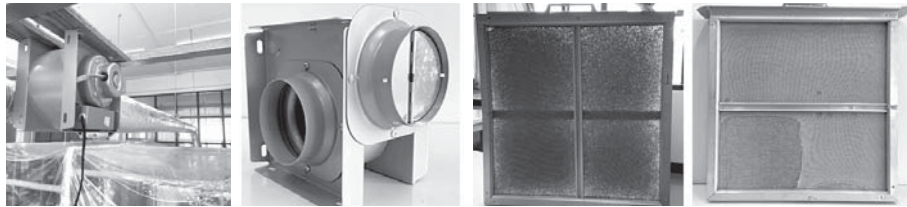
จากภาพที่ 8 ในกระบวนการลดความชื้น (Dehumidification) อากาศเย็นที่ได้จากระบบปรับอากาศ (อุณหภูมิเฉลี่ย 12 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย ร้อยละ 80 RH) จะไหลผ่านแผงซิลิกาเจล ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ด้านออกลดลง (มีค่าต่ำกว่า ร้อยละ 60 RH) เมื่อเม็ดซิลิกาเจลดูดซับน้ำในอากาศจนเต็มที่จะเปลี่ยนสีจากน้ำเงินเป็นสีชมพู หลังจากเม็ดซิลิกาเจลเปลี่ยนเป็นสีชมพูจะทำได้ความสามารถในการดูดความชื้นลดลงจึงต้องทำการไล่ความชื้นออกด้วยกระบวนการ Regeneration โดยการใช้ลมร้อนที่ได้จากฮีทเตอร์ (อุณหภูมิอากาศประมาณ 90 องศาเซลเซียส) เมื่ออากาศร้อนไหลผ่านเม็ดซิลิกาเจลจะเกิดการคายไอน้ำทำให้เม็ดซิลิกาเจลกลับมามีสีน้ำเงินพร้อมที่จะนำไปใช้ในกระบวนการลดความชื้นใหม่อีกครั้ง

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้สร้างระบบลดความชื้น จำนวน 2 ชุด เพราะในขณะที่ระบบกำลังทำการกระบวนการ Regeneration ให้กับแผงซิลิกาเจลชุด A อยู่ นั่น กระบวนการลดความชื้นในชุด B ก็ยังดำเนินการอย่างต่อเนื่องตามปกติ จึงมี Fresh Air จ่ายเข้าห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบ (AIR) ตลอดเวลา ระยะเวลาที่ทำการสลับกระบวนการอยู่ที่ประมาณ 1 ชั่วโมง ในภาพที่ 9 แสดงอุปกรณ์ในระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ปริมาณเม็ดซิลิกาเจล จำนวน 2 กิโลกรัม ความเร็วลมด้านดูด 8.76 m/s, 156 CFM

ตุลิตความชื้นสัมพัทธ์



Blower

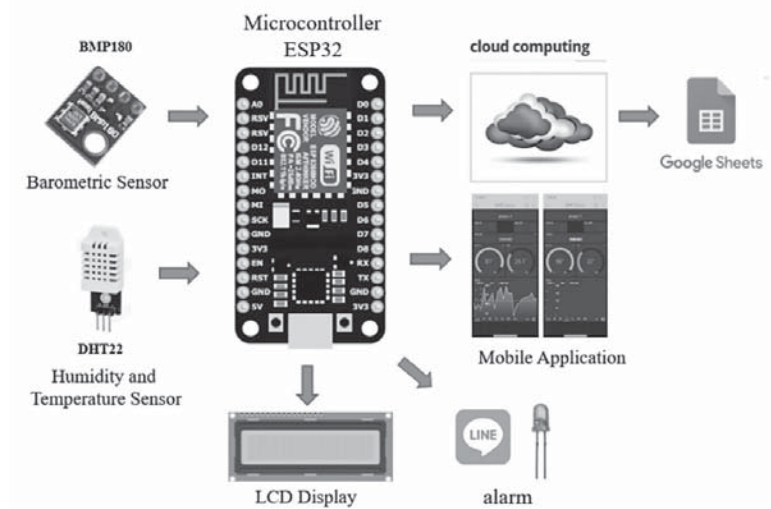


แผงซิลิกาเจล

ภาพที่ 9 องค์ประกอบของระบบลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้น Silica Gel

4.3 สร้างระบบตรวจวัดและแสดงผล

การตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความดันอากาศ จะถูกบันทึกค่าที่วัดได้แบบเวลาจริงลงใน Google Sheets และมีการแสดงผลผ่านจอ LCD หากมีการแจ้งเตือน เมื่อค่าสภาวะอากาศไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ก็แจ้งผ่านทางเสียง และหลอดไฟกระพริบที่หน้าห้อง นอกจากนี้ ยังสามารถเรียกดูข้อมูลแบบเวลาจริงผ่านทางสมาร์ทโฟน



ภาพที่ 10 รายละเอียดระบบตรวจวัดและแสดงผล

จากภาพที่ 10 ระบบตรวจวัดและแสดงผลในห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบ ประกอบด้วยอุปกรณ์ตรวจวัด อุปกรณ์แสดงผลใช้ Node MCU ESP32 เป็นตัวประมวลผล, BME 180 เซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้นวัดความชื้นสัมพัทธ์ พัฒนาขึ้นสำหรับแอปพลิเคชันมือถือ ตัวของเซ็นเซอร์มีความแม่นยำสูงและใช้พลังงานต่ำ มีความเสถียรและทนทานในการใช้งานระยะยาว, Google Firebase Real-time Database เป็นฐานข้อมูลแบบ Cloud-hosted ข้อมูลจะถูกเก็บในรูปแบบ JSON และซิงโครไนซ์แบบเรียลไทม์ มีฐานข้อมูลร่วมกันและข้อมูลมีการอัปเดตด้วยข้อมูลใหม่ล่าสุด, ระบบการแจ้งเตือนผ่านหน้าจอซึ่งติดตั้งไว้หน้าห้อง โดยมีการแจ้งเตือนอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ผ่านแอปพลิเคชันมือถือ, Google Sheets หรือเรียกย่อ ๆ ว่า Sheets เป็นซอฟต์แวร์ด้าน Spreadsheet สร้างตารางคำนวณ ทำงานแบบ Online บน Cloud สามารถแชร์ให้กับคนอื่น เข้ามาทำงานร่วมกันได้ พร้อมแจ้งเตือนได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเอกสารทันที

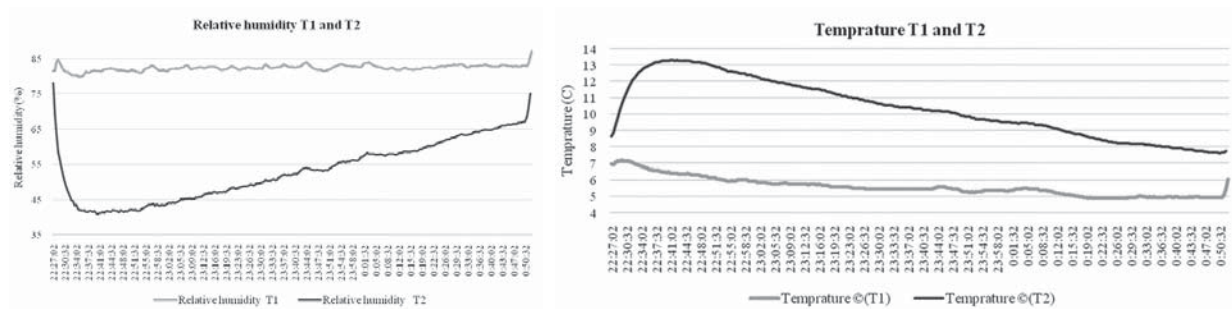
5. ผลการวิจัย

5.1 ผู้วิจัยได้สร้างห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบตามแบบของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ

5.2 ผู้วิจัยได้ออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน โดยด้านเข้าเครื่องลดความชื้นสัมพัทธ์ มีลักษณะเหมือนกับสภาวะอากาศจริง ในกรณีศึกษาที่โรงพยาบาลเบตง นั่นคือในกรณีที่ห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบ มีเครื่องปรับอากาศ (ค่าอุณหภูมิอากาศต่ำกว่า 24 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่ 80 RH) และกรณีที่ห้องไม่มีเครื่องปรับอากาศ (ค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยที่ 30 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่ 75 RH)

5.2.1 ระบบลดความชื้นสัมพัทธ์ในกรณีห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบมีเครื่องปรับอากาศ

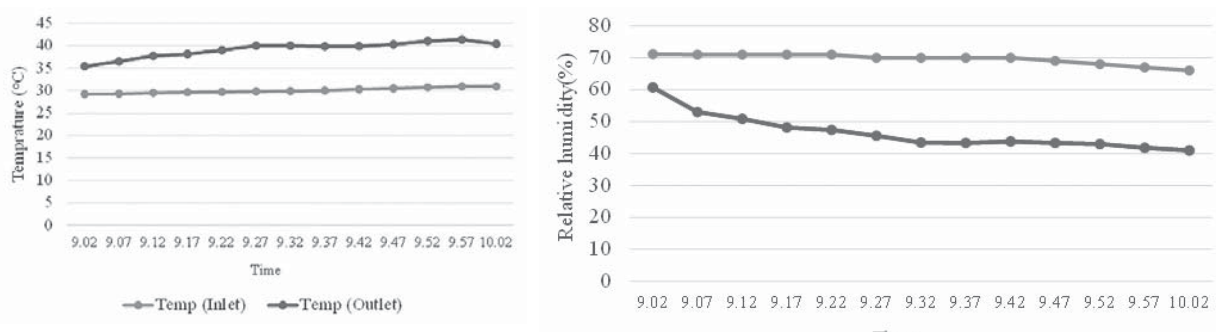
ผลการทดลองพบว่าสารดูดความชื้นสามารถลดความชื้นสัมพัทธ์จาก 78% RH ลงเหลือ 41.15% RH ภายในเวลา 7 นาที เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณไอน้ำในเม็ดซิลิกาเริ่มสูงขึ้น ความสามารถในการดูดไอน้ำก็ลดลง ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ด้านออกสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนเวลาผ่านไป 1.54 ชั่วโมง ค่าความชื้นสัมพัทธ์ด้านออกถึงจะมีค่า 60 RH โดยค่าอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์เป็นไปตามมาตรฐาน ASHRAE STD 170 ดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิอากาศที่ได้จากการลดความชื้นสัมพัทธ์

5.2.2 ระบบลดความชื้นสัมพัทธ์ในกรณีห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบไม่มีเครื่องปรับอากาศ

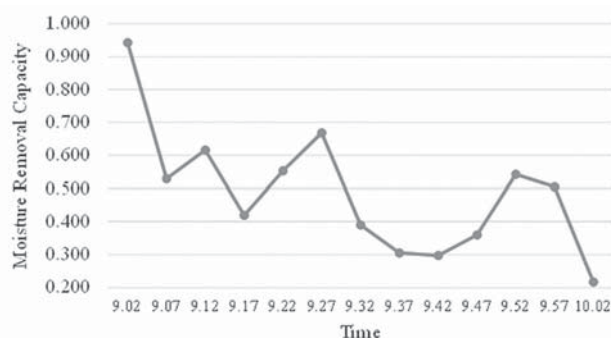
ในกรณีนี้ ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนไหลผ่านซิลิกาเจลจะมีค่าเท่ากับบรรยากาศภายนอก ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยก่อนผ่านซิลิกาเจล คือ 79.62 RH หลังจากผ่านเม็ดซิลิกาเจล ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย คือ 48.06 RH ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ASHRAE STD 170 ดังแสดงในภาพที่ 12



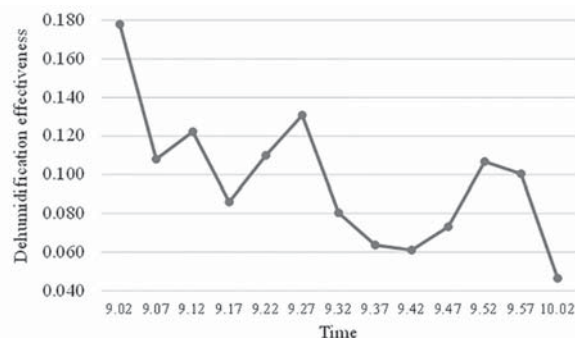
ภาพที่ 12 ผลการลดความชื้นสัมพัทธ์ในห้อง ที่ไม่มีเครื่องปรับอากาศ

5.2.3 Moisture Removal Capacity (MRC)

การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับไอน้ำในอากาศ จะแสดงถึงความสามารถของระบบควบคุมความชื้น จากภาพที่ 13 ก ค่า MRC เฉลี่ยคือ 0.5 Kg/h กราฟในภาพที่ 13 ข แสดงประสิทธิภาพของระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ (η_{deh}) ค่าประสิทธิภาพในการดูดซับไอน้ำเฉลี่ยคือ ร้อยละ 9.9



(ก)



(ข)

ภาพที่ 13 ค่า MRC และ η_{deh} ของระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์

5.3 ระบบตรวจวัดและแสดงผล

ผู้วิจัยได้สร้างระบบตรวจวัดค่าสภาวะอากาศและแสดงผลพร้อมแจ้งเตือนผ่านสมาร์ทโฟน ระบบจะทำการแสดงผลค่าสภาวะอากาศภายในห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบ ที่หน้าห้องพร้อมระบบการแจ้งเตือนด้วยเสียง และไฟกระพริบ และสามารถแสดงผลผ่านสมาร์ทโฟนแบบเวลาจริง ดังแสดงในภาพที่ 14



ภาพที่ 14 การแสดงผลค่าสภาวะอากาศผ่านสมาร์ทโฟน

6. อภิปรายผลการวิจัย

6.1 ห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบตามแบบของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ ที่สร้างขึ้นเป็นไปตามที่กำหนดและตรงตามวัตถุประสงค์ในงานวิจัย

6.2 ระบบควบคุมอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบผลการทดลองที่ได้เป็นไปตามขอบเขตที่กำหนดไว้ พิจารณากราฟผลการทดลองจะเห็นว่าในช่วงแรกที่เริ่มกระบวนการดูความชื้นนั้น ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อเม็ดยาล้างจมูกดูดซับน้ำในอากาศจนเต็มแล้วจะไม่สามารถดูดซับน้ำในอากาศได้อีก ถือว่าเป็นอันสิ้นสุดกระบวนการดูความชื้น หลังจากนั้นค่าความชื้นสัมพัทธ์ทางด้านออก (Outlet Air) ก็จะค่อย ๆ สูงขึ้นจนเท่ากับภายนอก ซึ่งถือว่าสิ้นสุดกระบวนการลดความชื้น (Dehumidification) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [2]

6.3 ระบบตรวจวัดค่าสภาวะอากาศและแสดงผลพร้อมแจ้งเตือนผ่านสมาร์ทโฟน ระบบทำการแสดงผลค่าสภาวะอากาศภายในห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบ ติดตั้งไว้หน้าห้องพร้อมระบบการแจ้งเตือนด้วยเสียงและไฟกระพริบ โดยสามารถแสดงผลผ่านสมาร์ทโฟนแบบเวลาจริง ตรงตามวัตถุประสงค์ในงานวิจัย

7. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

7.1 ห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบที่คณะผู้วิจัยได้สร้างขึ้นตามแบบของมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ สามารถทำงานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

7.2 ระบบควบคุมอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศ ที่มีความดันลบ คณะผู้วิจัยได้พัฒนาสามารถควบคุมสภาวะอากาศให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ ASHRAE STD 170 ได้จริง

7.3 ระบบตรวจวัดค่าสภาวะอากาศและแสดงผล พร้อมแจ้งเตือนผ่านทางสมาร์ทโฟน สามารถทำการแสดงผลได้ตามที่ออกแบบ ตลอดจนสามารถบันทึกข้อมูลใน Google Sheets ได้ตามที่ออกแบบไว้

7.4 ข้อเสนอแนะในงานวิจัย ห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศที่มีความดันลบที่ไม่มีระบบปรับอากาศจะควบคุมได้แค่ความชื้นสัมพัทธ์เท่านั้น ไม่สามารถควบคุมค่าอุณหภูมิอากาศได้ การติดตั้งระบบลดความชื้นที่ออกแบบและพัฒนาไว้นี้ควรทำงานร่วมกับเครื่องปรับอากาศ เพื่อทำการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในมาตรฐานของ ASHRAE STD 170

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] จริยา แสงสัจจา, ภัทร วัฒนธรรม และวราภรณ์ เทียนทอง. (2560). *คู่มือการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในสถานพยาบาล*. กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข : อักษรกราฟฟิคแอนด์ดีไซน์.
- [2] พรรัักษ์ หวังน้ำใจ. (2560). *ผลของการใช้เครื่องดูดความชื้นชนิดของแข็งร่วมกับเครื่องปรับอากาศที่มีต่อการใช้พลังงาน*. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยศิลปากร].
- [3] คู่มือผู้ใช้ตู้ความดันลบ (Negative Pressure Cabinet). (2563). *คู่มือผู้ใช้ตู้ความดันลบ (Negative Pressure Cabinet)*. ศูนย์วิศวกรรมสนับสนุนด้านภัย Covid-19 วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. กรุงเทพมหานคร.

- [4] ASHRAE STD 170 Handbook. (2017). *Fundamentals American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* : Inc., Atlanta, GA.
- [5] T. Sookchaiya, V. Monyakul, S. Thepa. (2010). Assessment of the thermal environment effects on human comfort and health for the development of novel air conditioning system in tropical regions. *Energy and Buildings* 2010 (42), 1692-1702.
- [6] T. Matung, T. Sookchaiya, P. Nangtin. (2021). *Assessment of the Indoor Air Quality and Energy Consumption of the AIR Betong Hospital*. 2021 18th International Conference on Electrical/Electronics,Engineering Computer, and Information Technology (ECTI-CON) IEEE, 733-736.
- [7] Ge, T.S.,et al. (2018). *Experimental testing on contaminant and moisture removal performance of silica gel desiccant wheel*. *Energy & Buildings*, 2018 (176), 71–77.
- [8] Mitsuhiro, K.,et al. (2017). Dehumidification behavior of cross-flow heat exchanger type adsorber coated with aluminophosphate zeolite for desiccant humidity control system. *Applied Thermal Engineering*, 2017 (122), 618–625.