

การออกแบบเซนเซอร์วัดความเร็วลมติดตามอัตราการหมุนเวียนอากาศในห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อ

Design of an air velocity sensor to monitor air circulation rate in an isolated room for infected patients

วุฒิชัย หยวทอง¹ และ ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล^{1*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

E-mail: wuthichai.y@mail.rmUTT.ac.th chatchai.s@en.rmUTT.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบระบบสังเกตการณ์อัตราการหมุนเวียนอากาศของห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศ โดยใช้เซนเซอร์ชนิดท่อปีโตต์ (Pitot tube) และ Airspeed Sensor MS4525DO วัดความเร็วลม เพื่อนำมาหาอัตราการหมุนเวียนอากาศ พร้อมทำการส่งข้อมูลการวัดด้วยอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT) ไปบันทึกค่าที่ Google sheets และแสดงผลที่ Dash board เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการรักษาความดันลบของห้องแยกโรคฯ ให้พร้อมใช้งานตลอดเวลา อีกทั้งยังสามารถวางแผนการบำรุงรักษาให้เป็นไปตามมาตรฐาน โดยอุปกรณ์เซนเซอร์วัดความเร็วลมที่นำเสนอ มีความถูกต้องเฉลี่ย 96.58 % และสามารถส่งข้อมูลแสดงผลอัปเดตสำหรับการสังเกตการณ์และแจ้งเตือนได้ทุก 5 นาที

คำสำคัญ: เซนเซอร์วัดความเร็วลมแบบ Pitot tube Airspeed Sensor MS4525DO, ห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศ (MODIFIED AIIR), IoT

Abstract

This article presents the design of an air circulation monitoring system for isolated rooms for airborne infectious patients. The system uses a Pitot tube sensor and an Airspeed Sensor (MS4525DO) to measure air velocity and calculate the air circulation rate. Measurement data are transmitted via the Internet of Things (IoT) to record values in Google Sheets and display them on a dashboard, providing information for maintaining negative pressure in the isolation room to ensure it is always ready for use. It also enables maintenance plans to be developed according to standards. The proposed airspeed sensor device has an average accuracy of 96.58% and can update and display observation and alert data every 5 minutes.

Keywords: Pitot tube MS4525DO Airspeed Sensor, Modified Airborne Infection Isolation Room (MODIFIED AIIR), IoT

บทนำ

จากสถานการณ์โรคระบาดทางเดินหายใจ เช่น วัณโรค ไข้หวัดนก ชาร์ส และโควิด-19 ทำให้ห้องแยกโรค แบบความดันลบ (MODIFIED AIIR) มีความสำคัญ โรคอุบัติใหม่และอุบัติซ้ำ โรคระบาดที่เกี่ยวข้องกับระบบ

ทางเดินหายใจจากเชื้อไวรัสต่างๆ แม้ว่าจะสามารถควบคุมการแพร่ได้ในระยะเวลาหนึ่ง แต่ยังคงต้องเฝ้าระวัง และป้องกันไม่ให้เกิดการแพร่ระบาดของโรค ดังนั้นโรงพยาบาลจึงความจำเป็นต้องมีห้องแยกผู้ป่วยแพร่กระจายเชื้อทางอากาศ การเตรียมความพร้อมการตรวจสอบบำรุงรักษาให้ห้องแยกผู้ป่วยแพร่กระจายเชื้อทางอากาศให้มีความพร้อมใช้อย่างปลอดภัย [1] โดยห้องแยกผู้ป่วยเป็นห้องที่มีความดันลบ และการรักษาให้ห้องคงสภาวะพร้อมใช้งาน พารามิเตอร์ของห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อ ได้แก่ ความเร็วลม อัตราการหมุนเวียนอากาศ อุณหภูมิ ความชื้น ความดันลบของห้องผู้ป่วย และความดันลบของห้องเตรียม สามารถนำมาระบุหาห้องแยกอยู่ในสภาวะพร้อมใช้งาน หรือไม่ ในงานวิจัยนี้ใช้ Dashboard เพื่อแสดงผลข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความเร็วลม อัตราการหมุนเวียนอากาศ อุณหภูมิ และความชื้น เพื่อตรวจเช็คความพร้อมใช้ของห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศ (MODIFIED AIIR)

ข้อกำหนดมาตรฐานการระบายอากาศ

ในที่นี้จะกล่าวถึงมาตรฐานการระบายอากาศของ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ ข้อกำหนดของห้องผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ และมาตรฐานการระบายอากาศ [2]

ตารางที่ 1 อัตราการนำเข้าอากาศภายนอก อัตราการหมุนเวียนอากาศภายใน และความดันสัมพัทธ์

สถานที่	อัตราการนำเข้าอากาศภายนอก	อัตราการหมุนเวียนอากาศภายใน	ความดันสัมพัทธ์กับพื้นที่ข้าง
ห้องผ่าตัด	5	25	สูงกว่า
ห้องคลอด	5	25	สูงกว่า
ห้อง Nursery	5	12	สูงกว่า
ห้องอภิบาลผู้ป่วยหนัก (ICU)	2	6	สูงกว่า
ห้องตรวจรักษาผู้ป่วย	2	6	สูงกว่า
ห้องฉุกเฉิน (Trauma Room)	5	12	สูงกว่า
บริเวณพักคอยสำหรับแผนกผู้ป่วยนอกและห้องฉุกเฉิน	2	12	ต่ำกว่า
ห้องผู้ป่วย	2	6	สูงกว่า
ห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ	2	12	ต่ำกว่า
ห้องแยกผู้ป่วยปลอดภัย	2	12	สูงกว่า
ห้องปฏิบัติการ (Laboratory)	2	6	ต่ำกว่า
ห้องชันสูตรศพ	2	12	ต่ำกว่า

*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ

2. เซนเซอร์วัดความเร็วลม

ประเภทของเซนเซอร์วัดความเร็วลม มีหลากหลายชนิด ในบทความนี้เลือกใช้แบบแรงดัน (Pressure Tube หรือ Pitot Tube) วัดความเร็วลม แบบใช้ท่อ ซึ่งเป็นท่อเล็กๆ ที่วางอยู่ในทิศทางเดียวกัน ใน Pitot Tube มี 2 พอร์ต ได้แก่ Static Port วัดแรงดันอากาศคงที่ (Static Pressure) และ Pitot Port (Total Pressure) วัดแรงดันรวม (Static + Dynamic) ความต่างระหว่างแรงดันทั้งสองคือ Dynamic Pressure (ΔP) ซึ่งสัมพันธ์กับความเร็วลมตามสมการ Bernoulli:

$$\Delta P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \quad (1)$$

โดยที่

ΔP = ความแตกต่างแรงดัน (Pa)

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

V = ความเร็วลม (m/s)

แปลงสูตรเพื่อหาความเร็ว

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}} \quad (2)$$

โดยที่

v = ความเร็วอากาศ (m/s)

ΔP = ความดันต่าง (Pa)

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

เซนเซอร์ MS4525DO

เซนเซอร์ความดัน MS4525DO เป็นโมดูลวัดแรงดันแบบดิจิทัล มีการสื่อสารแบบ I²C ที่ให้ค่าความดันเป็นดิจิทัล (14-bit) วัดแรงดันแบบ Differential Pressure Sensor มี 2 พอร์ต โดย พอร์ต P1 ต่อกับ Pitot Port (Total Pressure) และพอร์ต P2 ต่อกับ Static Port (Static Pressure) ภายในเซ็นเซอร์มี MEMS diaphragm เชื่อมกับ Wheatstone bridge หลักการทำงาน เมื่อมีความต่างแรงดันจะเปลี่ยนความต้านทานใน Wheatstone Bridge เป็นแรงดันไฟฟ้า (Analog signal) ภายในวงจร MS4525DO จะขยายสัญญาณ ไฟฟ้า (Analog signal) แปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลด้วย ADC และส่งข้อมูลออกทาง I²C ไปที่ ESP32 ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็น 16-bit ประกอบด้วย Data Pressure raw (14-bit) แปลงเป็นค่าแรงดันจริง Temperature raw ใช้สำหรับชดเชยค่าความแม่นยำ โดยที่เซนเซอร์ MS4525DO จะไม่ส่งค่าความดันออกมาเป็น PSI โดยตรง แต่ส่งเป็นค่า digital counts ที่สัมพันธ์เชิงเส้นกับความดันจริง ดังนั้นต้องทำการใช้สูตร เพื่อได้ค่า PSI ดังนี้

จะได้สูตร

$$\text{PSI} = \frac{(\text{Counts} - \text{Midpoint})}{\text{Span}} \times \text{FullScaleRange} - \text{Offset}$$

โดย Counts = ค่าดิบที่อ่านจากเซนเซอร์ MS4525DO (0 ถึง 16383 สำหรับ 14 บิต)

MinScaleCounts = ค่าดิบเมื่อแรงดันอยู่ที่ขอบล่าง (Pmin) ของเซนเซอร์ในงานวิจัยนี้ใช้ค่า 1617

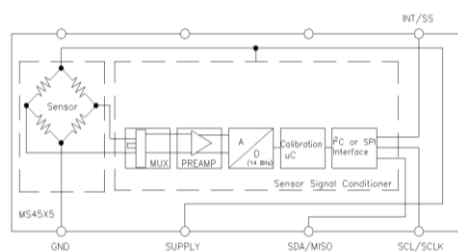
MS4525FullScaleCounts = ค่าดิบเมื่อแรงดันอยู่ที่ขอบบน (Pmax) ของเซนเซอร์ในงานวิจัยนี้ใช้ค่า 14569

Span = ช่วงค่าที่เซนเซอร์รับได้ จาก midpoint เมื่อถึง full scale MS4525Span = 14569 - 1617 = 12952 counts

$$\text{midpoint} = \frac{(\text{MinScaleCounts} + \text{FullScaleCounts})}{2} = \frac{1617 + 14569}{2} = 8088 \text{ counts}$$

fullscale range = ช่วงความดันสูงสุดของเซนเซอร์ (ในบทความนี้ใช้ค่า 1 psi)

psioff = offset เฉลี่ยมาจาก 20 ครั้งตอนเริ่มต้น



รูปที่ 1 บล็อกทำงานของเซนเซอร์ MS4525DO

หลักการทำงานของเซนเซอร์ MS4525DO

อากาศไหลผ่านท่อ Pitot เกิดความแตกต่างของแรงดันในช่องวัด Wheatstone Bridge ในเซนเซอร์แปลงความแตกต่างของแรงดันเป็นสัญญาณไฟฟ้าสัญญาณไฟฟ้า (MUX) และขยาย (PREAMP) แปลงเป็นดิจิทัล (ADC) ไมโครคอนโทรลเลอร์ภายในปรับเทียบชดเชยอุณหภูมิ ให้ค่าที่แม่นยำข้อมูลดิจิทัลถูกส่งออกไปยังคอนโทรลเลอร์ภายนอกผ่าน I²C หรือ SPI คอนโทรลเลอร์ภายนอกนำข้อมูลไปประมวลผล

แปลงจากแรงดันเป็นความเร็วลม

เมื่อได้ค่า psi แปลงเป็น Pa (Pascal)

$$1 \text{ psi} = 6894.76 \text{ Pa}$$

ใช้สมการ (2) หาค่าความเร็วลมจะได้สมการ

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}}$$

โดยที่

v = ความเร็วอากาศ (m/s)

การตรวจสอบความพร้อมใช้ของห้องความดันลบ ซึ่งมีมาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศและต้องรักษาความสัมพันธ์ของความดันระหว่างพื้นที่ในระดับที่เหมาะสม การตรวจสอบอัตราการไหลเวียนอากาศภายในห้องนั้น สามารถทำได้เฉพาะพื้นที่ที่เป็นแบบปิดเท่านั้น โดยมีขั้นตอน ดังนี้

- วัดขนาดปริมาตรของห้อง

- วัดอัตราการไหลของอากาศเข้าหรือออกจากห้อง
- คำนวณอัตราการหมุนเวียนอากาศ

อัตราการไหลของอากาศสัมพันธ์กับความเร็วเฉลี่ยของอากาศและพื้นที่หน้าตัดของจุดที่อากาศเคลื่อนที่ผ่านซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถแสดงได้ ด้วยสมการต่อไปนี้

$$Q = AV \quad (3)$$

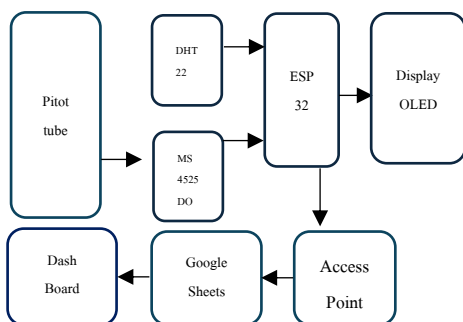
เมื่อ Q = อัตราการไหลของอากาศ (ลบ.เมตร/นาที่)

A = พื้นที่หน้าตัดของจุดที่อากาศเคลื่อนที่ผ่าน (ตร.เมตร)

V = ความเร็วของอากาศ (เมตร/วินาที)

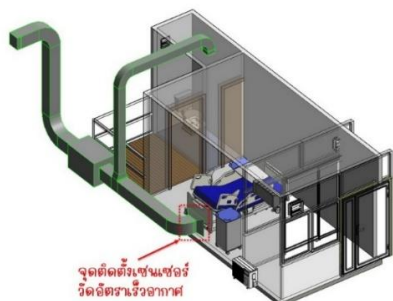
3.วิธีการ

ทำการเขียนโปรแกรมใช้ กับ ESP32 เพื่อให้เซ็นเซอร์ Pitot tube MS4525DO Air speed Sensor แล้วนำมาทดสอบเทียบกับเครื่องวัดความเร็วลมเครื่องมือตรวจสอบอัตราการไหลของอากาศ ยี่ห้อ testo รุ่น 420 โดยใช้ Pitot tube เพื่อวัดค่าความเร็วลม มีขั้นตอนการวิจัยดังนี้



รูปที่ 2 บล็อกการทำงานของระบบ

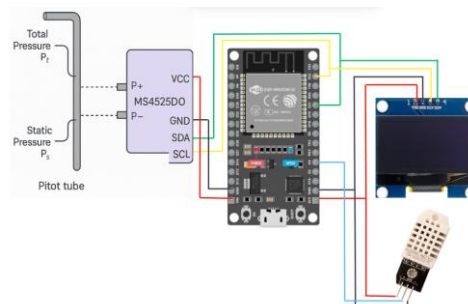
ทำการเขียนโปรแกรมใช้ กับ Esp32 เพื่อให้เซ็นเซอร์ Pitot tube MS4525DO Airspeed Sensor อ่านค่าวัดความเร็วลมและใช้ เซ็นเซอร์ DHT22 อ่านค่าอุณหภูมิและความชื้น ทำการทดสอบเทียบกับเครื่องวัดความเร็วลมมาตรฐานในห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศในโรงพยาบาล ในการทดสอบนี้เลือกโรงพยาบาลลาดยาว จังหวัดนครสวรรค์ โดยติดตั้งเซ็นเซอร์ไว้บริเวณช่องอากาศออกบริเวณหัวเตียงคนไข้



รูปที่ 3 รูปห้องจำลองที่ติดตั้งทำทดสอบกับอุปกรณ์มาตรฐาน

การนำ ESP32 เขียนโค้ดอ่านเซ็นเซอร์วัดความเร็วลมมาคำนวณวัดอัตราการหมุนเวียนอากาศ เชื่อม Wi-Fi ส่งข้อมูล MQTT/Google Sheets รับและเก็บข้อมูลมาใช้ในการแปลงค่าวิเคราะห์

การทำงานของห้องแยกโรคผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ ไปแสดงผลที่หน้า Dash board ของ looker studio ประกอบด้วย ชื่อโรงพยาบาล ความเร็วลม อัตราการหมุนเวียนอากาศ อุณหภูมิ ความชื้น ทำให้บุคลากรทางการแพทย์สามารถลดความเสี่ยงในการสัมผัสผู้ป่วยที่แพร่เชื้อได้ และมีความมั่นใจ ก่อนเข้าไปทำการรักษา และสามารถวางแผนในการบำรุงรักษาเชิงรุกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

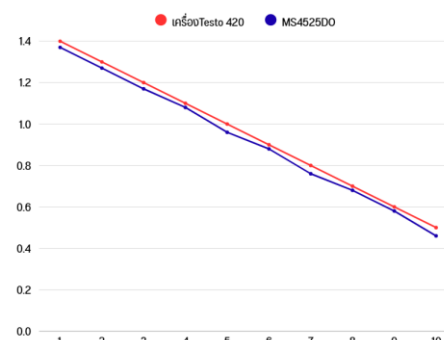


รูปที่ 4 ผังการทำงานของระบบ

สถานที่ทำการทดสอบในห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศของ ศีกุผู้ป่วยในชาย โรงพยาบาลลาดยาว จังหวัดนครสวรรค์ การทดสอบการวัดความเร็วลม อุณหภูมิ ความชื้น ที่หน้าช่อง (Exhaust Fan) ของห้องทดสอบจำนวน 9 จุด จุดละ 3 ครั้ง สามารถวัดค่าความเร็วลมได้เมื่อเทียบกับเครื่องมือมาตรฐานอยู่ในค่าที่ใกล้เคียงกัน

4.ผลลัพธ์

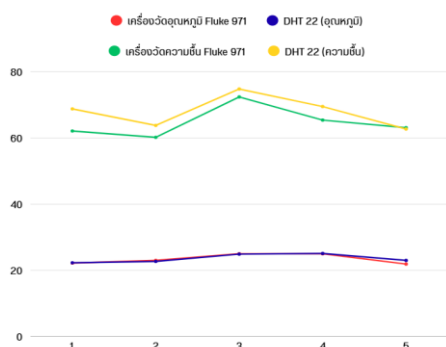
เมื่อนำอุปกรณ์ที่วิจัยวัดเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐานมีความแม่นยำของการวัดความเร็วลมอยู่ที่ 96.58% ซึ่งถือว่ามีความแม่นยำที่สูงและสามารถวัดความเร็วลมได้ในค่าที่แรงลมต่ำ ซึ่งจะทำให้สามารถนำค่าที่วัดได้มาคำนวณกับพื้นที่ หน้าช่อง (Exhaust Fan) เพื่อคำนวณหาอัตราการระบายอากาศภายในห้องต่อไป และเป็นที่ยอมรับได้สำหรับการใช้งานวัดความเร็วลมในห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศ



รูปที่ 5 ผลการวัดประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่ดำเนินการในงานวิจัย

ข้อมูลที่ แสดงหน้า Dash board แสดงค่าของเซ็นเซอร์วัดความเร็วลม ได้เก็บข้อมูลค่าความเร็วลมและอัตราการหมุนเวียนอากาศ ซึ่งบริเวณหน้า (Exhaust Fan) หัวเตียงผู้ป่วยในห้องที่ทดสอบมีพื้นที่ 0.2592 m² และปริมาตรห้อง Isolate room มีค่าเท่ากับ 29.115 m³ และ

ความเร็วลมของอุปกรณ์วิจัยที่วัดได้ 0.46 m/s สามารถคำนวณอัตราการหมุนเวียนอากาศได้ 14.74 ACH และสามารถวัดอุณหภูมิ ความชื้น ได้ใกล้เคียงกับเครื่องมือมาตรฐาน ยี่ห้อ Fluke รุ่น 971



รูปที่ 6 ภาพแสดงผลการวัดอุณหภูมิและความชื้นที่ดำเนินการในงานวิจัย สามารถสร้างหน้า Dash board รายงานการตรวจสอบห้องแยกโรคผู้ป่วย ติดเชื้อทางอากาศได้ดังนี้



รูปที่ 7 แสดงหน้า Dash board แสดงค่าของเซ็นเซอร์วัดความเร็วลมของห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศ เข้าระบบด้วยชื่อ URL <https://lookerstudio.google.com/u/0/reporting/562b6732-b2a1-4763-9995-08f789beadf2/page/PXqCE> เพื่อดูข้อมูล

5.สรุป

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาเซ็นเซอร์วัดความเร็วลมที่สามารถนำไปใช้งานได้จริงในบริบทของห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อทางอากาศ (AIIR: Airborne Infection Isolation Room) ซึ่งเป็นห้องที่ใช้แยกผู้ป่วยที่มีการแพร่เชื้อทางอากาศ โดยห้องเหล่านี้จำเป็นต้องมีระบบระบายอากาศที่ควบคุมได้อย่างแม่นยำ ซึ่งสำคัญต่อการควบคุมการแพร่เชื้อ โดยมีแจ้งเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติ หากความเร็วลมต่ำกว่าหรือสูงกว่าช่วงค่าที่กำหนดไว้ ซึ่งอาจบ่งชี้ถึงการทำงานผิดพลาดของระบบระบายอากาศ เพื่อให้เจ้าหน้าที่เข้าตรวจสอบ ระบบการทำงานของเซ็นเซอร์จะวัดค่าความเร็วลมแบบต่อเนื่อง (Real-time) ข้อมูลที่ได้จะถูกแสดงบน Dashboard สำหรับแสดงผลและเฝ้าระวัง เซ็นเซอร์ต้นแบบ ที่ออกแบบขึ้นได้ทดสอบเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน ซึ่งเป็น

อุปกรณ์ที่ได้รับการรับรองความแม่นยำแล้วในห้องทดลอง ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าเซ็นเซอร์ที่ออกแบบมีความแม่นยำในการวัดความเร็วลม มากกว่า 96.58% ค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ทางวิศวกรรม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเซ็นเซอร์สามารถใช้งานจริงในบริบททางการแพทย์ได้ งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบที่สามารถวัดความเร็วลมในห้องแยกโรคได้อย่างแม่นยำ ด้วยต้นทุนต่ำสามารถลดค่าใช้จ่ายในการซื้อเครื่องมือได้ 250,000 บาทและสามารถเฝ้าระวังระบบได้แบบอัตโนมัติเหมาะสำหรับนำไปใช้งานจริงในโรงพยาบาล เพื่อเพิ่มความปลอดภัย ลดความเสี่ยงของการแพร่กระจายเชื้อ และสนับสนุนการบำรุงรักษาระบบอย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

- [1] บุญยืน อยู่พิพัฒน์, “โครงข่ายบริหารจัดการห้องแยกโรคแพร่กระจายเชื้อทางอากาศ วิธีใหม่”, กองวิศวกรรมการแพทย์, กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ, 2565.
- [2] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2548). มาตรฐานการปรับอากาศและระบายอากาศ (พิมพ์ครั้งที่ 1). เรียกใช้เมื่อ 10 เมษายน 2568
- [3] จีรวัฒน์ ทองแกมแก้ว, “การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นตกแบบอัจฉริยะ”, ปริญญานิพนธ์มหาบัณฑิต, นครสวรรค์, 2565.
- [4] Thawin Matung, Thammanoon Sookchaiya, and Prasit Nangtin, "Thermal Environmental Control System in Airborne Infection Isolation Room", 2022 37th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC), Jul. 2022, pp. 514–517.
- [5] Jeric Bustarde et al., "Negative Air Pressure Isolation Room for COVID-19 Patients in the Philippines: A Simulation of the Proposed Design using SolidWorks", 2021 IEEE 13th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM), 2021, pp. 1–6.
- [6] Teuku Rafif Raditya, Hilal H. Nuha, and Yogi Anggun Saloko Yudo, "Automation of the IoT-Based COVID-19 Isolation Room Temperature and Humidity Control System at Telkom University", 2022 1st International Conference on Software Engineering and Information Technology (ICoSEIT), 2022, pp. 79–84.
- [7] Ghanim Y GH S AlOmani et al., "Covid-19 Symptoms Monitoring Sensor Network for Isolation Rooms at Hospitals", 2022 IEEE 21st Mediterranean Electrotechnical Conference (MELECON), Jun. 2022, pp. 741–745.