

การพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ NMU-AQI สำหรับตรวจวัดคุณภาพอากาศ ภายในอาคารแบบเวลาจริง

Development of Prototype NMU-AQI Device for Real-Time Monitoring of Indoor Air Quality

พงศธร ชมดี

Pongsathorn Chomdee

ภาควิชาเทคโนโลยี วิทยาลัยพัฒนาชุมชนเมือง มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช ประเทศไทย

Department of Technology, Urban Community Development College, Navamindradhiraj University, Thailand

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้นำเสนอการใช้เทคโนโลยีไอโอทีมาใช้ในการพัฒนาระบบวัดคุณภาพอากาศภายในอาคารด้วยอุปกรณ์ต้นแบบมีชื่อว่า NMU-AQI โดยประกอบไปด้วยเซ็นเซอร์ราคาประหยัดสำหรับใช้ในการตรวจสอบคุณภาพอากาศภายในอาคารที่เป็นไปตามมาตรฐานโดยประกอบไปด้วยเซ็นเซอร์ในการวัดทั้งหมด 7 ตัว เนื่องจากในปัจจุบันส่วนมากอุปกรณ์เซ็นเซอร์วัดคุณภาพอากาศจะเป็นการเก็บเพียงค่าฝุ่นละอองในอากาศไม่เกิน 2.5 ไมครอนภายนอกอาคาร และเก็บเพียงค่าเดียว แต่ในงานวิจัยนี้ได้เก็บค่าพารามิเตอร์วัดคุณภาพอากาศซึ่งเป็นไปตามประกาศ ค่าเฝ้าระวังคุณภาพอากาศภายในอาคารสาธารณะ พ.ศ. 2565 ของกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ฝุ่นละอองในอากาศไม่เกิน 2.5 ไมครอน หรือ PM 2.5 ก๊าซโอโซน และสารอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมด หรือ TVOC โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ในการอ่านค่าจากเซ็นเซอร์โดยอาศัยการทำงานแบบระบบปฏิบัติการเวลาจริง (RTOS) เพื่อช่วยในการประมวลผลการรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์หลากหลายชนิด พร้อมทั้งส่งข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ผ่านอุปกรณ์เอ็นบีไอโอที (NB-IoT) ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (Server) เพื่อเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูลและประมวลผลข้อมูล สำหรับการนำไปแสดงค่าที่ได้จากเซ็นเซอร์ผ่านเว็บแอปพลิเคชันที่ได้พัฒนาขึ้น โดยสามารถรองรับการเชื่อมต่อ NMU-AQI และการแสดงผลอุปกรณ์ต้นแบบได้หลายตัวพร้อมกัน ในกรณีที่ติดตั้งในหลากหลายสถานที่ ซึ่งสามารถนำค่าของเซ็นเซอร์ของแต่ละ NMU-AQI มาแสดงเปรียบเทียบกันในค่าต่าง ๆ ได้ตามความต้องการโดยสามารถเลือกสถานที่ที่ติดตั้งไว้ได้ ผลการทดลองเบื้องต้นพบว่า สามารถตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคารได้ทั้ง 7 ตัว โดยค่าที่ได้นั้นมีความสอดคล้องและไม่เกินความผิดปกติไปกับมาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคาร โดยระบบที่นำเสนอสามารถประยุกต์ใช้งานในการบันทึก วิเคราะห์ข้อมูลและดูแนวโน้มคุณภาพอากาศภายในอาคารได้

คำสำคัญ: คุณภาพอากาศภายในอาคาร, เอ็นบีไอโอที, อุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์, ฝุ่นละอองในอากาศไม่เกิน 2.5 ไมครอน, ก๊าซโอโซน, สารอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมด, เว็บแอปพลิเคชัน, วิเคราะห์ข้อมูล

ABSTRACT

This research presents the use of IoT technology in the development of a prototype indoor air quality measurement system called NMU-AQI. To the standard, it consists of a total of 7 sensors to measure, Because at present, most of the air quality sensor devices will only collect particulate matter in the air no more than 2.5 microns outside the building. and store only one value But in this research, the air quality parameters were collected according to the announcement. Surveillance of indoor air quality in public buildings B.E. 2565 of the Department of Health, Ministry of Public Health Thailand. including temperature, relative humidity. Carbon dioxide concentration Carbon Monoxide Concentration Airborne particulate matter less than 2.5 microns or PM 2.5, ozone gas and Total Volatile Organic Compounds (TVOC) with a microcontroller to take readings from the sensor based on the Real Time Operating System (RTOS) to aid in processing. Result of receiving data from various sensors As well as transmitting the data obtained from the sensor through the NB-IoT to the server to store the data in the database and process the data. For displaying the sensor values through a developed web application. It can support NMU-AQI connection and display of multiple prototype devices simultaneously. In the case of installation in a variety of locations which can bring the sensor values of each NMU-AQI to be displayed and compared in different values according to the need by selecting the installed location The preliminary results found that Able to measure indoor air quality for all 7 units, the values obtained are consistent and do not exceed the abnormality with indoor air quality standards. The proposed system can be used in recording applications. Analyze data and view trends in indoor air quality.

KEYWORDS: Indoor Air Quality, NB-IoT, Temperature, Humidity, CO₂, CO, PM 2.5, Ozone, TVOC, Web Application, Data Analytic

*Corresponding Author: pongsathorn.cho@nmu.ac.th

Received: 02/12/2021; Revised: 08/07/2023; Accepted: 19/07/2023

1. บทนำ

มลพิษทางอากาศ (Air Pollution) หมายถึง ภาวะของอากาศที่มีสารพิษเจือปนอยู่ในปริมาณมากและเป็นระยะเวลานาน ที่จะทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ สัตว์ พืช และวัสดุต่าง ๆ สารมลพิษดังกล่าวอาจเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหรือเกิดจากการกระทำของมนุษย์ อาจอยู่ในรูปของก๊าซ หยตของเหลว หรืออนุภาคของแข็งก็ได้ สารมลพิษทางอากาศที่สำคัญและมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย ได้แก่ ฝุ่นละออง สารตะกั่ว ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซออกไซด์ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ก๊าซโอโซน และสารอินทรีย์ระเหยง่าย เป็นต้น (สำนักงานจัดการคุณภาพอากาศและเสียง, 2554)

ในอดีตอาคารส่วนใหญ่ จะการออกแบบให้อากาศไหลผ่านได้อย่างสะดวก เพื่อให้อากาศมีการถ่ายเทและลดความร้อนภายในตัวอาคาร แต่อาคารในปัจจุบันมักมีการออกแบบที่แตกต่างออกไปจากอดีต เนื่องจากมีเทคโนโลยีหลากหลายอย่างได้พัฒนาขึ้น โดยออกแบบให้เป็นอาคารปิด และใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ในการควบคุมสภาพอากาศภายในอาคาร เช่น การใช้เครื่องปรับอากาศ ในการออกแบบในลักษณะนี้สามารถควบคุมสภาพอากาศภายในอาคารได้เป็นอย่างดี และสามารถป้องกันความร้อนตลอดจนมลพิษทางอากาศจากภายนอกอาคารได้ จากการเปลี่ยนแปลงการใช้พื้นที่ต่าง ๆ และกิจกรรมมากมายที่เกิดขึ้นภายในเมือง ส่งผลให้อากาศภายในเมืองมีสภาพที่ร้อนขึ้น เป็นแหล่งสะสมของมลพิษทางอากาศมากมายหลากหลายชนิด เช่นคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide; CO), ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur dioxide; SO₂), โอโซน (Ozone; O₃), และ สารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds; VOCs) เป็นต้น สารมลพิษทางอากาศภายนอกเหล่านี้สามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอย่างมากแก่ผู้ที่ได้สัมผัส ดังนั้น ประชากรส่วนใหญ่ที่อาศัยอยู่ในเมือง มักหลีกเลี่ยงการสัมผัสความร้อน และสารมลพิษทางอากาศดังกล่าว โดยการใช้ชีวิตอยู่ในอาคารที่สามารถควบคุมสภาพอากาศได้ จากการศึกษาการใช้เวลาภายในอาคารปิดนั้นพบว่า

ประชากรส่วนใหญ่ที่อาศัยอยู่ในเมือง ใช้ชีวิตอยู่ภายในอาคารสูงถึงมากกว่า 89% ของเวลาทั้งหมดในแต่ละวัน

จากการศึกษาขององค์การอนามัยโลก (WHO, 2010) เปิดเผยว่า ร้อยละ 30 ของอาคารทั่วโลก พบว่ามีปัญหาด้านคุณภาพอากาศ และอาจมีปริมาณสารมลพิษสูงกว่าภายนอกอาคารถึง 100 เท่า ในบางสถานที่ มลพิษดังกล่าวอาจเกิดได้จากหลากหลายแหล่งกำเนิดด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นจากอากาศภายนอกที่มีการ รั่วไหลเข้าสู่อาคาร หรือเกิดจากกิจกรรมของผู้ใช้อาคารเอง เช่น การใช้สารต่าง ๆ ที่ใช้ในที่พักอาศัย ก๊าซที่เกิดขึ้นจากการผสมอาหาร สารอินทรีย์ระเหยที่เกิดจากการใช้สารเคมีภายในอาคาร เชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย หรือ แม้กระทั่งฝุ่นที่เกิดจากการสะสมในบริเวณต่าง ๆ ของอาคาร ซึ่งหากมีการระบายอากาศไม่ดี สารมลพิษทาง อากาศดังกล่าวอาจเกิดการสะสมอยู่ในตัวอาคาร และอาจมีปริมาณสูงขึ้น หากอาคารดังกล่าวเป็นอาคารที่มี ผู้ใช้งานเป็นจำนวนมาก อาทิ สถานที่ทำงาน ห้างสรรพสินค้า โรงแรม และโรงพยาบาล เป็นต้น มลพิษทางอากาศ ภายในอาคารสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ใหญ่ ๆ ได้แก่ (1) มลพิษทางอากาศอนินทรีย์ (Inorganic air pollutions) เช่น อนุภาคขนาดเล็ก ก๊าซจากควันทบหรี่ ก๊าซโอโซน และ ก๊าซเรดอน เป็นต้น (2) มลพิษทาง อากาศอินทรีย์ (Organic Air Pollutions) เช่น สารอินทรีย์ระเหย สารอินทรีย์กึ่งระเหย หรือยาฆ่าแมลง เป็นต้น และ (3) อนุภาคทางชีวภาพ (Biogenic Particles) เช่น ไรฝุ่น รา แบคทีเรีย เป็นต้น (มณีรัตน์ องค์วรรณคดี, 2556)

สาเหตุของมลพิษทางอากาศภายในอาคารมีหลายสาเหตุ โดยอาจมาจากการเคลื่อนที่ของมลพิษทางอากาศภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร และจากแหล่งกำเนิดภายในอาคารเอง ทั้งนี้การเคลื่อนที่ของมลพิษทางอากาศภายนอกนั้น อาจเกิดได้จากการเดินทางของอากาศผ่านรอยรั่วต่าง ๆ ของอาคาร เช่น ขอบประตูขอบหน้าต่าง และอื่น ๆ การเคลื่อนที่เข้าสู่อาคารนั้นจะมีมากขึ้นหากช่องเปิดมีขนาดกว้างขึ้น มลพิษภายนอกที่เดินทางเข้าสู่ในอาคารนั้น อาจเกิดการสะสมภายในอาคาร หรือในห้องที่ขาดการระบายอากาศ และอาจส่งผลให้มลพิษภายในอาคารมีค่าสูงกว่าค่าที่ตรวจพบภายนอกอาคารได้ การสะสมนี้มักพบมากในอาคารที่อยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศ

เช่น ถนนที่มีการจราจรหนาแน่น โรงงาน และอื่น ๆ ในขณะที่แหล่งกำเนิดของมลพิษทางอากาศภายในอาคารเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพเช่นกัน แหล่งกำเนิดในอาคารที่พบมาก ประกอบด้วย เครื่องใช้ภายในสำนักงาน เช่น เครื่องถ่ายเอกสาร ที่มีการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยและก๊าซโอโซน เป็นต้น สารเคลือบเงาต่าง ๆ ที่มีการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหย การทำอาหารภายในบ้านโดยใช้เชื้อเพลิงแข็ง ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และ การใช้พรม ก่อให้เกิดการสะสมของฝุ่นและอาจลอยขึ้นมาหากมีการขยับตัว

ในระหว่างปี พ.ศ. 2542-2543 สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย ได้ตรวจสอบการระบาดของเชื้อลีสต์โอเนลลาภายในอาคารโรงแรมในเขตกรุงเทพฯ จำนวน 28 แห่ง ต่างจังหวัด 3 แห่ง รวม 31 แห่งโดยการวิเคราะห์หาเชื้อจากหอหล่อเย็น บ่อ หรือถังพักน้ำ ถาดรองรับน้ำจากเครื่องปรับอากาศ ก๊อกน้ำ และฝักบัวจากแหล่งต่าง ๆ เชื้อลีสต์โอเนลลาเป็นเชื้อที่ชอบอาศัยอยู่ในน้ำนิ่ง เช่น น้ำในหอหล่อเย็นของเครื่องปรับอากาศตามอาคารใหญ่ ๆ ไม่ว่าจะเป็นโรงแรม ศูนย์การค้า และโรงพยาบาล รวมไปถึงอ่างอาบน้ำ น้ำแร่ เครื่องทำน้ำร้อน และฝักบัวอาบน้ำที่ไม่มีการดูแลรักษาความสะอาดอย่างถูกต้อง และผลจากการสำรวจแผนการจัดทำมาตรการป้องกันการระบาดของเชื้อลีสต์โอเนลลา จากโรงแรม 24 แห่ง พบว่า โรงแรมส่วนใหญ่มีมาตรการในการควบคุมเชื้อลีสต์โอเนลลา โดยการใช้สารเคมีในการควบคุม และมีการขัดล้างทำความสะอาด นอกจากนี้ นักวิทยาศาสตร์การแพทย์ได้ตรวจพบเชื้อในอาคารสำนักงาน 1 แห่งจาก 14 แห่ง ดังนั้นจึงมีการเสนอให้มีการแก้ไขและจัดทำมาตรการป้องกันการเกิดเชื้อลีสต์โอเนลลาต่อไป (จักรกฤษณ์ คิวเดชาเทพ, 2558)

ปี พ.ศ. 2544 กองอาชีวอนามัย กรมอนามัย ได้เริ่มดำเนินการตรวจวัดปริมาณก๊าซและไอระเหยของสารเคมีที่ใช้ในโรงพยาบาล ได้แก่ Waste Anesthetic Gas (WAGs) ซึ่งเกิดจากก๊าซที่ใช้ในการดมยาสลบเช่น Nitrous oxide และ Halothane โดยสถาบันอาชีวอนามัยและความปลอดภัยแห่งชาติ สหรัฐอเมริกา(NIOSH) กำหนดค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 8 ชั่วโมง การทำงานของก๊าซ Nitrous oxide ไว้ว่าไม่ควรเกิน 25 ppm และ Halothane ไม่ควรเกิน 2 ppm หากรั่วไหลออกจากระบบจะเกิดการปนเปื้อนอยู่ในบรรยากาศภายในโรงพยาบาลรวมถึงสารเคมีอื่น ๆ ที่ใช้ในการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อโรคอุปกรณ์และเครื่องมือแพทย์เพื่อประเมินความเสี่ยงด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในการทำงานในโรงพยาบาล จากผลการศึกษาพบว่า โรงพยาบาล 4 ใน 9 มีเพียงห้องผ่าตัดที่

มีระบบกำจัดก๊าซทั้งมีระดับค่า WAGs อยู่ในระดับที่ปลอดภัย (จิตรพรรณ และชมภูศักดิ์ , 2547)

นอกจากการตรวจสอบคุณภาพอากาศภายในอาคารของหน่วยงานต่าง ๆ แล้ว ประเทศไทยยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายในอาคารอีกมากมาย ในที่นี้จะยกตัวอย่างในบางงานวิจัย รวมถึงบางผลการตรวจวัดที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายในอาคาร โดยจำแนกตามประเภทของอาคารซึ่งพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ตรวจวัดจะส่งผลกระทบต่อมากขึ้นอยู่กับสุขภาพของผู้ใช้อาคาร ประกอบกับความตึงเครียดส่วนบุคคลของผู้ใช้อาคารนั้น ทั้งนี้ค่าพารามิเตอร์ในการตรวจวัดที่เกินมาตรฐานนั้นอาจมีค่าที่แตกต่างกันไปตามประเภทของอาคาร และกิจกรรมภายในอาคาร โดยสรุปได้ว่า อาคารสำนักงานส่วนใหญ่ยังมีปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพอากาศภายในอาคาร โดยมีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพและส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้ใช้อาคาร ดังต่อไปนี้ 1. ฝุ่น (PM10, PM2.5) ที่เกิดขึ้นภายในสำนักงานอาจทำให้เกิดปัญหาต่อระบบทางเดินหายใจ 2. อุณหภูมิภายในสำนักงานควรอยู่ที่ประมาณ 24-26 องศาเซลเซียส ในกรณีที่อุณหภูมิภายในอาคารสำนักงานมีค่าสูงจนเกินไปอาจเป็นสาเหตุให้กลายเป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค และส่งผลให้ผู้ที่ทำงานเกิดโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจได้ 3. ความเข้มข้นของสารต่าง ๆ อาทิ คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ ฟอสฟอรัสไดไฮไดรด์ เป็นต้น หากมีความเข้มข้นมากจนเกินไปอาจส่งผลกระทบต่อร่างกายได้ เช่น เกิดอาการวิงเวียนศีรษะ เป็นต้น รวมถึงเกิดความไม่สบายกายของผู้ทำงานภายในอาคารได้ 4. การระบายอากาศ เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่อความพึงพอใจของผู้ที่ทำงานภายในอาคารสำนักงานเนื่องจากอาคารสำนักงานส่วนใหญ่เป็นอาคารที่ปิด การไหลของอากาศจากภายนอกอาคารเข้าสู่ ภายในอาคารจึงมีความสำคัญค่อนข้างมาก 5. แบคทีเรียและจุลินทรีย์ต่าง ๆ ที่มีการสะสมอยู่ในอาคาร ไม่ว่าจะเกิดจากภายในอาคารหรือภายนอกอาคารก็ตาม หากมีปริมาณสะสมมากจนเกินไปอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ที่ทำงานภายในอาคารสำนักงานได้

เทคโนโลยีการส่งข้อมูลแบบเอ็นบีไอโอที นั้นย่อมาจาก Narrowband IoT (NB-IoT) เป็น มาตรฐาน ระบบโครงข่ายที่ใช้พลังงานต่ำ (Low Power Wide Area Network (LPWAN) ที่ถูกพัฒนามาเพื่อให้อุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถเชื่อมต่อเข้าหากันได้โดยผ่านโครงข่ายของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนามาเพื่อให้อุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถเชื่อมต่อเข้าหากันได้เป็นมาตรฐานระบบโครงข่ายที่ใช้พลังงานต่ำ NB-IoT จึง

ตารางที่ 1 รายการอุปกรณ์และคุณสมบัติของเซนเซอร์ราคาประหยัด

ลำดับ	รายการของเซนเซอร์	รุ่น	คุณสมบัติ	ราคา
1	เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (Temperature, Humidity)	DHT22	- วัดอุณหภูมิได้ในช่วง -40 to 80 °C (± 0.5 °C accuracy) - วัดความชื้นสัมพัทธ์ได้ในช่วง $0 - 100$ RH% ($2 - 5\%$ accuracy)	120 – 180 บาท
2	เซนเซอร์วัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide: CO ₂)	MH-Z14A	ย่านการวัด Co ₂ อยู่ที่ $0 - 5000$ PPM โดยมีความแม่นยำ ± 50 PPM	1,150 – 1,200 บาท
3	เซนเซอร์วัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide: CO)	MICS-4514	ย่านการวัดอยู่ในช่วง 1 ถึง 1000 ppm	430 – 755 บาท
4	เซนเซอร์วัดฝุ่นละอองในอากาศ (Particulate Matter with diameter)	PMS7003	ตรวจจับอนุภาคได้ตั้งแต่ 0 ถึง 500 µg/m ³ โดยขนาดอนุภาคที่ตรวจจับได้คือ PM 1.0, PM 2.5 และ PM 10 ขนาดอนุภาคที่เล็กที่สุดที่ตรวจจับได้คือ 0.3 µm	600 – 750 บาท
5	เซนเซอร์วัดก๊าซโอโซน (Ozone: O ₃)	MQ-131	ย่านการวัด Ozone ได้ $10 - 1000$ ppm	585 – 750 บาท
6	เซนเซอร์วัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมด (Total Volatile Organic Compounds: TVOC)	CCS811	ย่านการวัดอยู่ในช่วง 0 to 1187 ppb	810 – 990 บาท

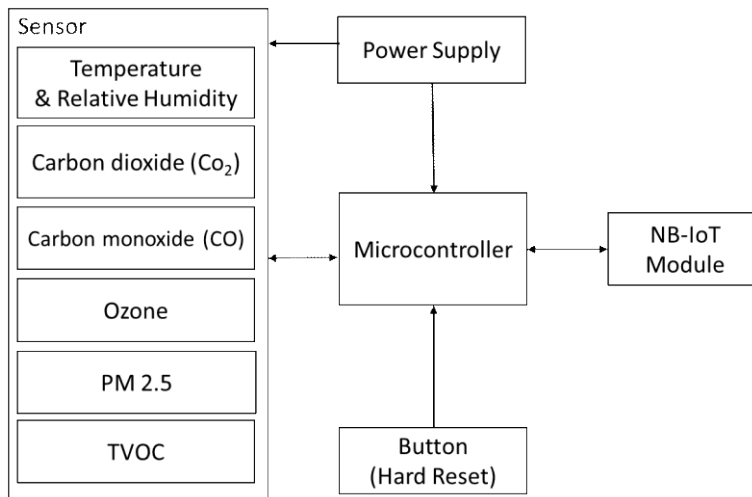
เหมาะสมกับอุปกรณ์ IoT ที่มีขนาดเล็ก ใช้พลังงานน้อย และไม่ต้องต้องการใช้อินเทอร์เน็ตที่แรงมาก โดยมีข้อดีใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำ ส่งข้อมูล uplink ในขนาดที่เหมาะสม จึงช่วยให้อายุการใช้งานแบตเตอรี่ของอุปกรณ์ IoT อยู่ได้นาน รัศมีครอบคลุมของเครือข่ายต่อสถานีฐาน กระจายได้มากกว่า 10 ก.ม. รวมถึงในตัวอาคารก็ยังรับสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถพัฒนาเครือข่ายให้เปิดบริการ IoT ได้อย่างรวดเร็ว เพราะออกแบบอุปกรณ์ให้ใช้ร่วมกับ โครงข่าย 4G ในปัจจุบันได้ และสามารถใช้ได้ทั้งในอาคาร และ นอกอาคาร โดยมีตัวอย่างการนำไปใช้งานมีมากมาย เช่น อุปกรณ์วัดสภาพอากาศและสิ่งแวดล้อมในพื้นที่การเกษตรกับพื้นที่เมือง อุปกรณ์ Smart Parking ที่ตรวจสอบว่าช่องจอดรถแต่ละช่องว่างอยู่หรือไม่ รวมทั้งอุปกรณ์ sensor ในพื้นที่อุตสาหกรรม (ที่เรียกว่า IIoT – Industrial IoT) เพื่อตรวจวัดการใช้งานของอุปกรณ์เครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม และมีเตอร์วัดการใช้ไฟฟ้า (ปริชา และคณะ, 2560) โดยมีการนำมาใช้ร่วมกับ อุปกรณ์ ตรวจวัด (Sensor) ที่นำมาใช้ในการประเมิน คุณภาพของอากาศ และสามารถเก็บข้อมูลและนำไปประมวลผลข้อมูลได้ เพื่อหาแนวโน้มของข้อมูลในแต่ละพื้นที่ที่มีการติดตั้งอุปกรณ์

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

วัสดุอุปกรณ์ของระบบการวัดคุณภาพอากาศภายในอาคาร NMU-AQI นั้นยืมมาจาก Navamindradhiraj University (NMU) หรือ มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช และ AQI ย่อ

มาจาก Air Quality Index หรือดัชนีคุณภาพอากาศ ประกอบไปด้วยอุปกรณ์เซนเซอร์ดังต่อไปนี้ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เซนเซอร์วัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เซนเซอร์วัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เซนเซอร์ตรวจจับฝุ่นละอองในอากาศ หรือ PM 2.5 เซนเซอร์ตรวจจับก๊าซโอโซน เซนเซอร์ตรวจจับสารอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมด หรือ TVOC โดยมีคุณสมบัติดังตารางที่ 1 โดยอุปกรณ์เซนเซอร์ใน NMU-AQI นั้นได้มีการสอบเทียบกับเครื่องวัดคุณภาพอากาศตามมาตรฐานของโรงพยาบาลแล้ว

อุปกรณ์สำหรับการประมวลผลและการส่งข้อมูลของอุปกรณ์ดังกล่าว ประกอบไปด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ และ อุปกรณ์การส่งข้อมูลแบบเอ็นบีไอโอทีสำหรับการส่งข้อมูลโดยมีไดอะแกรมของNMU-AQI ดังรูปที่ 1 (ก) โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการเชื่อมต่อกับเซนเซอร์ทั้ง 7 ตัว โดยอาศัยการทำงานแบบระบบปฏิบัติการเวลาจริง (RTOS) เพื่อทำการอ่านข้อมูลและทำการส่งไปยังเอ็นบีไอโอทีเพื่อทำการส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์แม่ข่ายเพื่อทำการเก็บข้อมูลและนำไปประมวลต่อไป โดยอุปกรณ์ดังกล่าวมีระบบจ่ายไฟแยกออกมาสำหรับจ่ายให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์และเซนเซอร์เพื่อความเสถียรของอุปกรณ์และมีปุ่มสำหรับการรีเซ็ตระบบในกรณีที่อุปกรณ์เกิดข้อผิดพลาดในการทำงาน และรูปที่ 2 (ข) ภาพอุปกรณ์จริงของ NMU-AQI

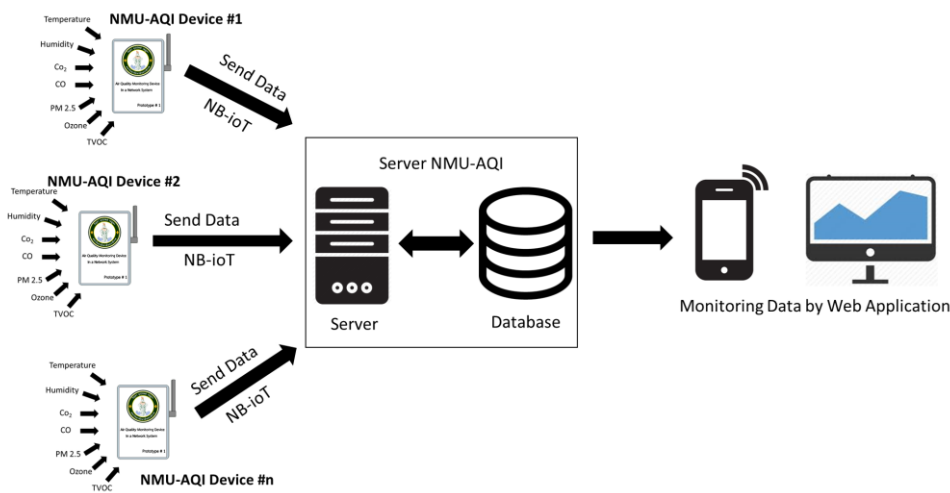


(ก)



(ข)

รูปที่ 1 อุปกรณ์ตรวจวัดคุณภาพอากาศภายใน NMU-AQI (ก) โครงสร้างอุปกรณ์ (ข) อุปกรณ์จริงของ NMU-AQI



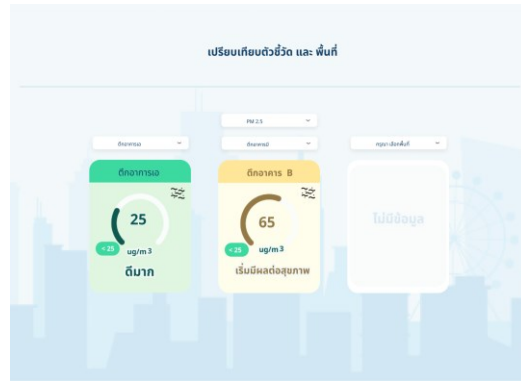
รูปที่ 2 บล็อกไดอะแกรมระบบการวัดคุณภาพอากาศในอาคาร NMU-AQI

ส่วนของการออกแบบระบบนั้นเป็นไปตามรูปที่ 2 ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ NMU-AQI เครื่องแม่ข่ายของ NMU-AQI สำหรับการเก็บข้อมูลและประมวลผลข้อมูล และเว็บแอปพลิเคชันสำหรับการแสดงผลข้อมูล โดยจะทำการติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวไว้ในอาคารซึ่งตัวอุปกรณ์จะทำการเก็บและส่งข้อมูลทุก 1 ชั่วโมง โดยเป็นข้อมูลค่าจากเซนเซอร์ทั้ง 7 ค่าและส่งข้อมูลโดยผ่านเครือข่ายของเอ็นบีไอโอทีไปยังเครื่องแม่ข่ายเพื่อทำการเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูลที่ได้และนำไปประมวลผลเพื่ออัปเดตข้อมูลขึ้นเว็บแอปพลิเคชันเพื่อแสดงผลที่พัฒนาขึ้นเองดังรูปที่ 4 โดยได้ออกแบบไว้ให้รองรับการส่งข้อมูลจาก NMU-AQI ได้มากกว่า 100 ตัวซึ่งจะเป็นอ้างอิงกับสถานที่ในการติดตั้งอุปกรณ์นั้น ๆ โดยอุปกรณ์นั้นได้ทำการติดตั้งภายในบริเวณชั้น 1 อาคารที่ปังกรณ์รัศมีโชติ (ลูกศรีสีแดง) ดังแสดงในรูปที่ 5

รูปที่ 3 (ค) เป็นหน้าจอการแสดงผลหรือ Dash Board ที่ได้รับจากค่าเซนเซอร์โดยในการหน้าจอการแสดงผลนั้นจะแสดงข้อมูลเซ็นเซอร์ที่อ่านค่ามาได้พร้อมทั้งระบุเกณฑ์มาตรฐานของคุณภาพอากาศในอาคารของแต่ละตัวด้วย โดยสามารถเลือกจุดที่ติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวได้ โดยเกณฑ์คุณภาพอากาศนั้นเป็นไปตามตารางที่ 2 และตารางที่ 3 เป็นช่วงของคุณภาพอากาศในช่วงต่าง ๆ โดยเป็นมาตรฐานคุณภาพอากาศในอาคารของกรมอนามัย สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม และข้อมูลตัวที่ 8 ที่เป็น AQI เป็นการนำข้อมูลจากเว็บไซต์ Air4Thai ทุก 1 ชั่วโมงโดยสถานที่ในการดึงข้อมูลนั้นใกล้กับ NMU-AQI ที่ติดตั้งในอาคารนั้น ๆ โดยมีการทำงานดังรูปที่ 3 (ง) โดยเมื่อเข้าสู่หน้าเว็บแล้วจะแสดงข้อมูลของคุณภาพอากาศทั้งหมดและสามารถเลือกสถานที่ที่อุปกรณ์ติดตั้งเพื่อดูข้อมูลคุณภาพอากาศทั้งหมดได้ รูปที่ 3 (ก) เป็นรูปแสดงรายละเอียดเมื่อกดไปยังข้อมูลแต่ละตัวซึ่งจะมีกราฟในการแสดงผล



(ก)



(ข)



(ค)

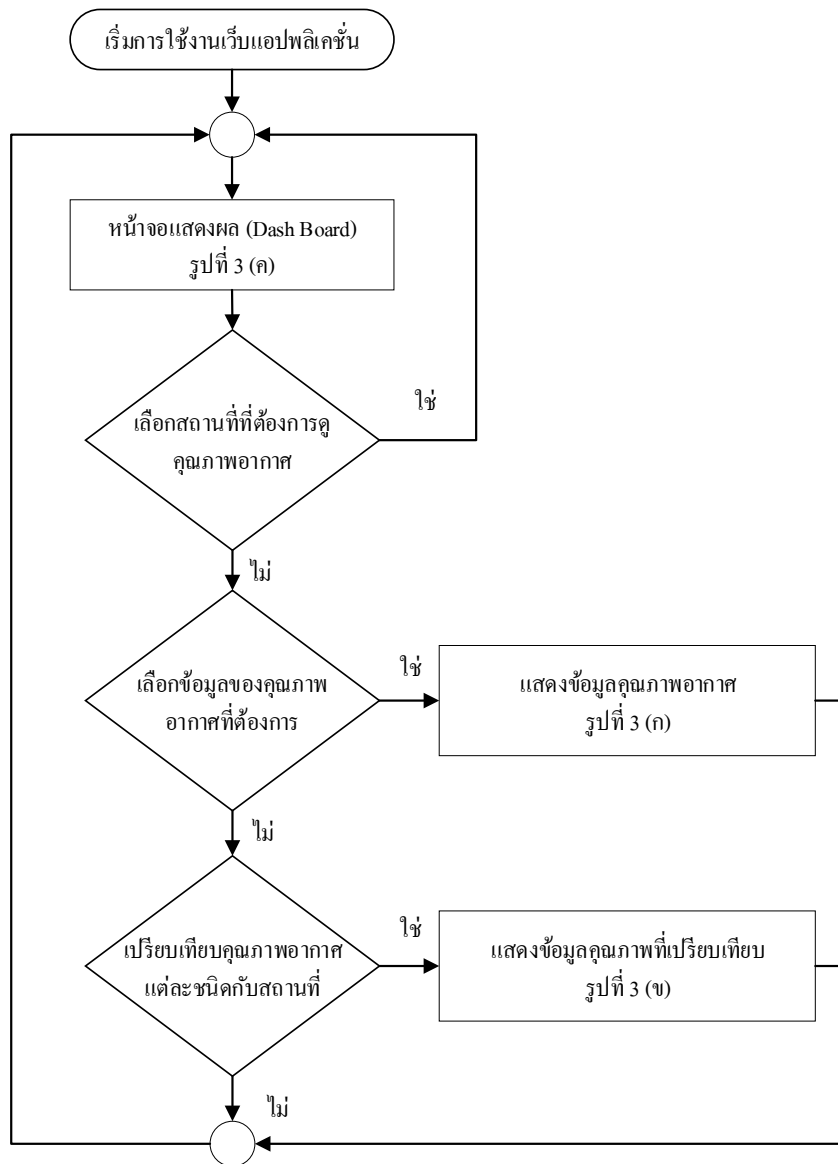
รูปที่ 3 เว็บแอปพลิเคชันสำหรับการมอนิเตอร์คุณภาพอากาศภายในอาคาร (ก) รายละเอียดในเซนเซอร์ (ข) ตัวเปรียบเทียบข้อมูล (ค) หน้าจอแสดงผล (Dash Board)

ข้อมูลย้อนหลัง 7 วันให้เห็น รูปที่ 3 (ข) เป็นการเปรียบเทียบข้อมูลในกรณีที่ต้องการเปรียบเทียบข้อมูลในส่วนของคุณค่าอากาศที่ต้องการกับสถานที่ที่ติดตั้ง NMU-AQI เช่น เลือกการเปรียบเทียบการวัด PM 2.5 และเลือกสถานที่ในการเปรียบเทียบได้มากที่สุดถึง 4 ข้อมูล

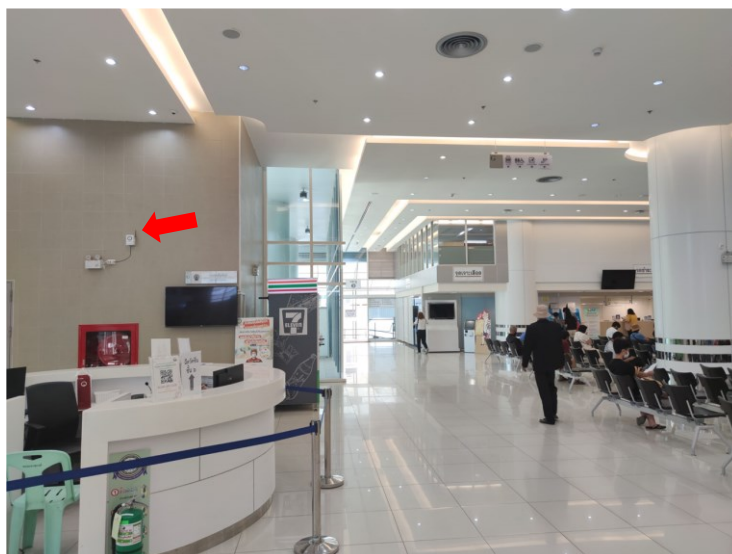
3. ผลการทดลอง

ผลการทดสอบทำการเปิดระบบตั้งแต่วันที่ 12 - 16 ตุลาคม 2564 เป็นเวลา 5 วัน บริเวณชั้น 1 อาคารที่ป็นกรณีศึกษาโดยพบว่าผลการทดลองทั้ง 7 ค่านั้นไม่เกินมาตรฐานตามที่มาตรฐานได้กำหนด โดยส่วนของอุณหภูมิ ความชื้น คาร์บอนไดออกไซด์ และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) พบว่าผลการทดลองนั้นมีความสอดคล้องกับการใช้งานในบริเวณอาคารโดยในช่วงเวลา 8.00 น. จนถึง 16.00 น. เป็นช่วงเวลาที่การทำงานปกติ และจะมีในช่วงคลินิกนอกเวลานั้นตั้งแต่ 16.00 จนถึง 20.00 น. ดังรูปที่ 6 (ก) (ข) (ค) และ (ข) แต่ในส่วนของคุณค่าอื่น ๆ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ สารอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมด และโอโซน นั้นไม่มีความ

สอดคล้องกันระหว่างช่วงเวลา แต่ไม่เกินมาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคาร ดังรูปที่ 6 (ง) (จ) และ (ฉ) จากรูปที่ 7 เป็นการเปรียบเทียบค่าคุณภาพอากาศที่อ่านได้โดยจะแบ่งเป็น 3 ช่วง (Period) คือ ช่วงที่ 1 คือ 00.00 - 8.00 ช่วงที่ 2 คือ 8.00 - 16.00 และช่วงที่ 3 คือ 16.00 - 20.00 น. โดยมีช่วงละ 8 ชั่วโมง ตามค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ในตารางที่ 2 โดยในรูป (ก) และ (ข) เป็นการเปรียบเทียบอุณหภูมิ-ความชื้น และ PM2.5 - CO2 พบว่าในช่วงที่ 1 นั้นอุณหภูมิ ความชื้น PM2.5 และ CO2 นั้นมีค่าสูงขึ้นซึ่งเป็นไปตามลักษณะภายในอาคารเนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวอาคารไม่มีการใช้งานทำให้การปิดเครื่องปรับอากาศ และในช่วงที่ 2 นั้นพบว่าค่าดังกล่าวลดลงจากช่วงที่ 1 เนื่องจากช่วงดังกล่าวเป็นเวลาก่อนดำเนินการเปิดโรงพยาบาลและทำให้ค่าดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน จนถึงช่วงที่ 3 นั้นพบว่าจะมีช่วงเวลาที่ตั้งแต่ 16.00 - 20.00 น. นั้นยังมีค่าเหมือนกันช่วงที่ 2 เนื่องจากเป็นการเปิดคลินิกพิเศษนอกเวลานั้นเอง และหลังจากนั้นก็จะมีค่าการปิดเครื่องปรับอากาศอย่างมีนัยยะสำคัญ ในรูป (ค) และ (ง) นั้นเป็นการเปรียบเทียบ



รูปที่ 4 ไดอะแกรมแสดงการทำงานของเว็บแอปพลิเคชัน



รูปที่ 5 ภายในบริเวณชั้น 1 อาคารที่ปงกรณ์มิตรโฮต

ตารางที่ 2 ค่าแนะนำสำหรับการวัดคุณภาพอากาศในอาคาร

ลำดับ	ค่าพารามิเตอร์	ค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ (8 ชั่วโมง)	หน่วย
1.	อุณหภูมิทำงาน (Operative temperature)	ระหว่าง 24 ถึง 26	°C
2.	ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)	น้อยกว่า 65 (สำหรับอาคารใหม่) น้อยกว่า 70 (สำหรับอาคารเก่า)	%
3.	คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide)	ไม่เกิน 1,000	ppm
4.	คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide)	ไม่เกิน 9	ppm
5.	สารอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมด (Total volatile organic compounds, TVOC)	ไม่เกิน 1,000	ppb
6.	ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5)	ไม่เกิน 25 (ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง)	ug/m ³
7.	โอโซน (Ozone)	ไม่เกิน 0.05	ppm

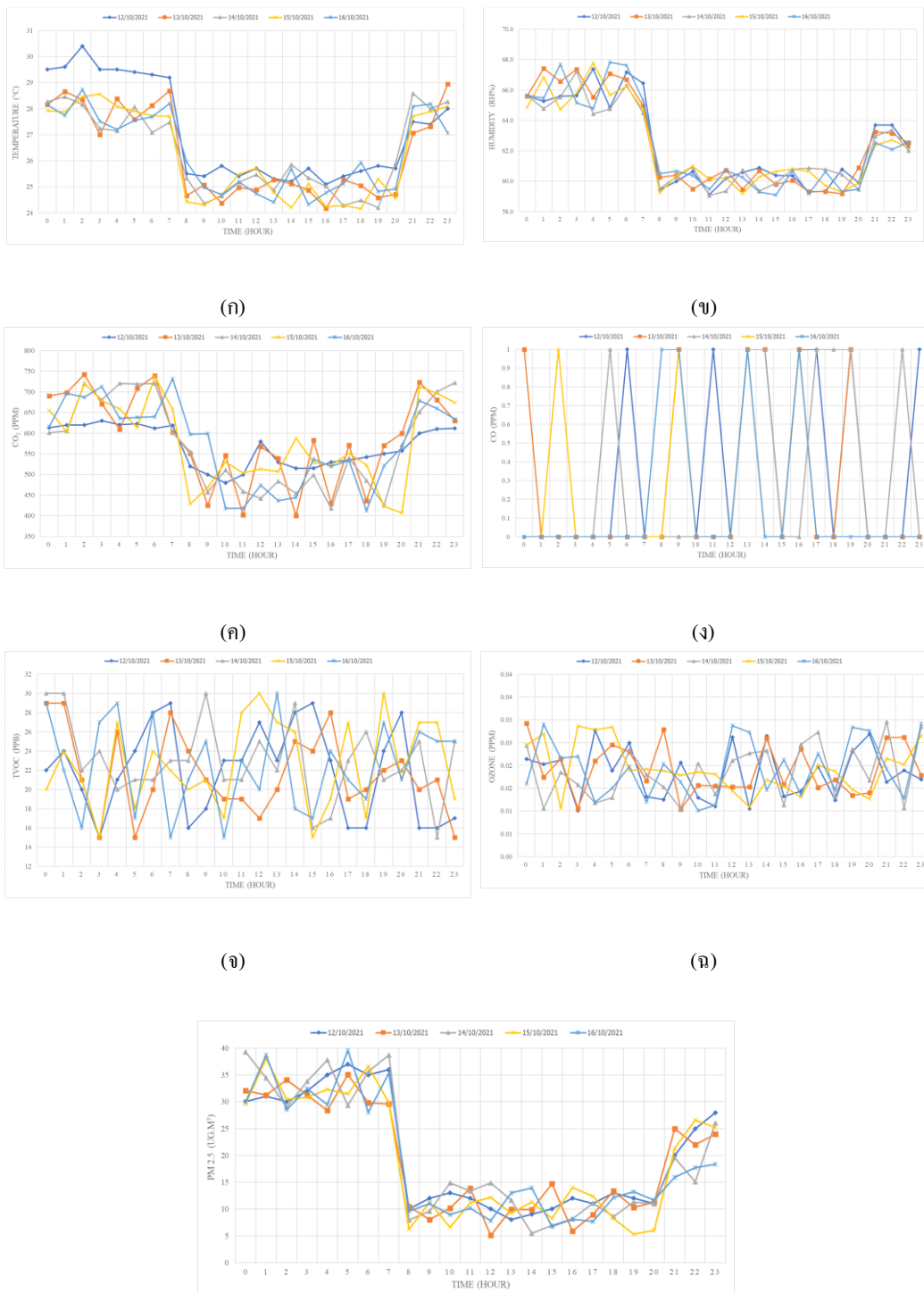
ตารางที่ 3 ช่วงคุณภาพอากาศในช่วงต่าง ๆ

ค่าพารามิเตอร์/ คุณภาพอากาศ	ดีมาก	ดี	ปานกลาง	ผิดปกติ	อันตราย
คาร์บอนไดออกไซด์ (ppm)	400 – 700	701 – 900	901 – 1,100	1,101 – 1,600	> 1600
คาร์บอนมอนอกไซด์ (ppm) (เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง)	0 – 4.4	4.5 – 6.4	6.5 – 9.0	9.1 – 30	> 30.1
สารอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมด (ppb)	0 – 220	221 – 660	661 – 1430	1431 – 2200	> 2201
ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (ug/m ³)	0 – 25	26 – 37	38 – 50	51 – 90	> 91
โอโซน (ppb) (เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง)	0 – 35	36 – 50	51 – 70	71 – 120	> 121

TVOC-Ozone และ CO₂ นั้นหาความสัมพันธ์ในแต่ละช่วงไม่ได้แต่ค่าที่เกิดขึ้นดังกล่าวนี้ไม่เกินค่ามาตรฐาน

จากรูปที่ 8 นั้นเป็นการแสดงค่าคุณภาพอากาศที่อ่านได้จากทั้ง 5 วันโดยมีการแสดงค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้น โดยพบว่าค่าสูงสุดคือ 30.4 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นวันที่ 1 และมีค่าต่ำสุดคือ 24.2 องศาเซลเซียส ในวันที่ 4 และค่าเฉลี่ยโดยประมาณคือ 26.44 องศาเซลเซียส ซึ่งในมาตรฐานที่ได้ระบุไว้นั้นตามตารางที่ 2 คืออุณหภูมิอยู่ระหว่าง 24 ถึง 26 องศา ซึ่งในกรณีนี้ในช่วงเวลาการดำเนินการของโรงพยาบาลนั้นพบว่าอุณหภูมิอยู่ระหว่างค่าดังกล่าวตามรูปที่ 6 (ก) ซึ่งในส่วนของค่าสูงสุดที่ได้พบนั้นเกิดจากกรณีกลางคืนที่ไม่มีผู้ใช้งานนั่นเอง ในทำนองเดียวกันในเรื่องของความชื้นนั้นพบว่ามีลักษณะที่คล้ายกันคือเมื่ออยู่ในช่วงนอกเวลาทำการนั้นทำให้ผลที่ได้เกินเกณฑ์มาตรฐานซึ่งต้องน้อยกว่า 65% ตามตารางที่ 2 แต่เมื่ออยู่ในช่วงเวลางานนั้นก็เลยไม่เกินค่าที่กำหนดตามรูปที่ 6 (ข) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 62.34% และค่าของ PM_{2.5} นั้นตามมาตรฐานต้องไม่เกิน 35 ug/m³ ตามตารางที่ 2 โดยพบว่าค่าเฉลี่ยนั้นอยู่ที่ 19.28 ug/m³ และค่าสูงสุดนั้นอยู่ที่ 40 ug/m³ ซึ่งเกินกว่ามาตรฐานเพียงเล็กน้อยแต่เนื่องจากค่าดังกล่าวที่เกิดขึ้นเกิดในช่วงที่ไม่ใช่เวลาเปิดดำเนินการของทางโรงพยาบาล แต่ถ้าในช่วง

ระยะเวลาของการดำเนินการของโรงพยาบาลนั้นค่าที่ได้นั้นจะเป็นค่าเฉลี่ยและลงไปถึงต่ำสุดจากรูปที่ 6 (ข) ในส่วนค่าของ CO₂ นั้นมาตรฐานต้องห้ามเกิน 1000 ppm จากตารางที่ 2 พบว่าค่าสูงสุดทั้ง 5 วันนั้นมากที่สุดค่าอยู่ที่ 742 ppm และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 576.6 ppm ค่า CO นั้นมาตรฐานต้องไม่เกิน 9 ppm จากตารางที่ 2 ซึ่งพบว่าค่าสูงสุดนั้นอยู่ที่ 1 ppm และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.26 ppm ค่า TVOC ตามมาตรฐานต้องน้อยกว่า 3,000 ppb จากตารางที่ 2 นั้นก็พบว่าค่าสูงสุดคือ 30 ppb และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 22.34 ppb และค่า Ozone ตามมาตรฐานต้องไม่เกิน 0.05 ppm ซึ่งพบว่าค่าที่ได้ที่ต่ำที่สุดของทั้งหมดนั้นจะได้ 0.03 และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.02 ppm ซึ่งพบว่าในกรณีที่ เป็น CO₂ CO TVOC และ Ozone นั้น พบว่าค่าที่ได้สูงสุดของทั้ง 5 วันนั้นยังไม่เกินค่ามาตรฐานทั้งในช่วงเวลาดำเนินการเปิดโรงพยาบาลและหลังดำเนินการปิดโรงพยาบาล

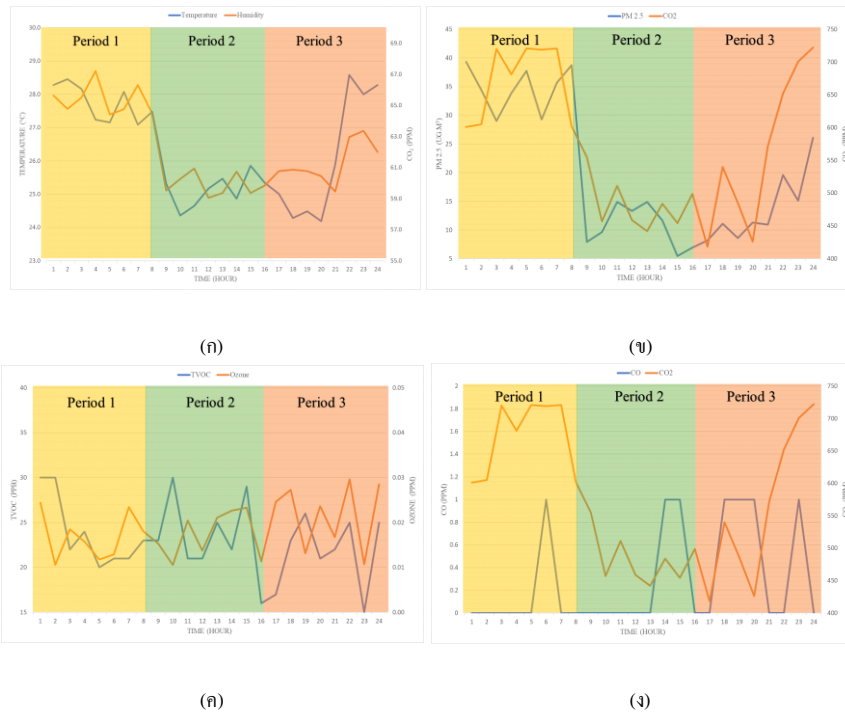


รูปที่ 6 ค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์ 5 วัน (ก) อุณหภูมิ (ข) ความชื้น (ค) CO₂ (ง) CO (จ) TVOC (ฉ) Ozone (ช) PM 2.5

4. สรุปผลการศึกษา

จากผลการทดลองพบว่าค่าของอุณหภูมิ ความชื้น คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) นั้นมีความสัมพันธ์กับการทำงานของอาคารนั้น ๆ และค่าคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) สารอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมด (TVOC) และโอโซน (Ozone) นั้นไม่มีความสอดคล้องกันระหว่างช่วงเวลา แต่

ไม่เกินมาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคาร และในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา มีการผลิตอุปกรณ์ตรวจวัดคุณภาพอากาศส่วนบุคคลอันเนื่องมาจากการพัฒนาเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูล ในการศึกษาเป็นพัฒนาระบบตรวจวัดและติดตามคุณภาพอากาศส่วนบุคคลบน IoT การใช้เซ็นเซอร์วัดคุณภาพอากาศราคาประหยัด โดยเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 ชั่วโมง และทำการมอนิเตอร์ข้อมูลของแต่อุปกรณ์ที่ได้



รูปที่ 7 ค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์ของวันที่ 14 ตุลาคม 2564 โดยเปรียบเทียบข้อมูล 2 ชนิดและแบ่งเป็นช่วง (ก) อุณหภูมิ - ความชื้น (ข) PM2.5 - CO2 (ค) TVOC-Ozone (ง) CO-CO2



รูปที่ 8 ค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์ 5 วัน (ก) อุณหภูมิ (ข) ความชื้น (ค) Co2 (ง) CO (จ) TVOC (ฉ) Ozone (ช) PM 2.5

ทำการติดตั้ง โดยสามารถดูข้อมูลย้อนหลังในแต่ละเซนเซอร์เป็นกราฟ และมีเลือกเปรียบเทียบค่าต่าง ๆ ทำให้สามารถตรวจสอบค่าที่สำคัญและจำเป็นต่อการตรวจสอบคุณภาพอากาศในอาคารได้ ซึ่งทำให้พบว่าสามารถตรวจวัดคุณภาพอากาศที่จำเป็นและมีความสอดคล้อง แต่ในส่วน ของ ค่าอื่น ๆ คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ สารอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมด และโอโซน ของเซนเซอร์นั้นยังไม่มีควมสอดคล้องต้องอาศัยอุปกรณ์มาตรฐานในการทำการทดสอบ NMU-AQI ว่า เป็นไปตามการทดสอบหรือไม่ และควรสอบเทียบอุปกรณ์เซนเซอร์ดังกล่าวทุก ๆ 6 เดือน – 1 ปี หรือเมื่อมีค่าที่ได้จากเซนเซอร์ผิดปกติกว่าค่าปกติที่ควรจะเป็น แนวทางในการพัฒนานั้นสามารถทำเซนเซอร์ดังกล่าวติดตั้งตามโรงพยาบาล โรงเรียน สถานที่ราชการ และสถานที่อื่น ๆ ที่มีผู้คนสัญจรผ่านไปมา โดยสามารถมอนิเตอร์ข้อมูลแต่ละสถานที่ได้เพื่อเป็นประโยชน์ให้กับประชาชนในการทราบข้อมูลก่อนที่จะเดินทางเข้าไป และยังเป็นประโยชน์ในการพัฒนาปรับปรุง ดูแลรักษา สถานที่นั้น ๆ ด้วย ซึ่งเซนเซอร์ดังกล่าวสามารถพัฒนาไปติดตั้งยังสวนสาธารณะ หรือบริเวณภายนอกได้ และระบบดังกล่าวสามารถรองรับการส่งข้อมูลเซนเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศตัวอื่นที่ไม่ใช่ของนักวิจัยได้ เพื่อเป็นประโยชน์ในการรวบรวมข้อมูลคุณภาพอากาศจากสถานที่ต่าง ๆ เพื่อนำมาแสดงผลให้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่ประชาชนและภาครัฐในการที่จะกำหนดแนวทางการป้องกัน หรือประโยชน์อื่น ๆ ที่ได้จากข้อมูลดังกล่าว

กิตติกรรมประกาศ

ได้รับทุนสนับสนุนทุนวิจัยจาก “กองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยนวมินทราชิราช” และสถานที่ทดสอบโรงพยาบาลศิริพยาบาล คณะแพทยศาสตร์ศิริพยาบาล มหาวิทยาลัยนวมินทราชิราช

เอกสารอ้างอิง

Bimaridi, A., Putra, K. D., Djunaedy, E., & Kirom, M. R. (2017). Assasment of Outside Air Supply for Split AC system-Part A: Affordable Instrument. *Procedia Engineering*, 170, 248–254.

Budde, M., El Masri, R., Riedel, T., & Beigl, M. (2013). Enabling low-cost particulate matter measurement for participatory sensing scenarios. *In Proceedings of the 12th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia* (p.19), Lulea, Sweden.

Bureau of environmental. (2014). *Report air quality standard for buildings in Thailand*. Ministry of Public Health. (in thai)

Bureau of environmental. (2021). *Air quality monitoring index inside public buildings*. Ministry of Public Health. (in thai)

Hong, C. S., Ghani, A. S. A., & Khairuddin, I. M. (2018, March). Development of an Electronic Kit for detecting asthma in Human Respiratory System. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 319, No. 1, p. 012040). IOP Publishing.

Korncharoen, C., Nantiwatana, P., Sirted, T., & Yoothanom, N. (2017). Wireless communication technology for the Internet of Things. *NBTC journal*, 2(2), 269–287. (in thai)

Kujaroentavon, K., Kiattisin, S., Leelasanthitham, A., & Thammaboosadee, S. (2015) Air quality classification in Thailand based on decision tree. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7017436>

Liu, H.Y., Schneider, P., Haugen, R., & Vogt, M. (2019). Performance assessment of a low-cost PM2.5 sensor for a near four-month period in Oslo, Norway. *Atmosphere*, 10, 41.

McKercher, G. R., & Vanos, J. K. (2018). Low-cost mobile air pollution monitoring in urban environments: A pilot study in Lubbock, Texas. *Environ. Technol*, 39, 1505–1514.

Nguyen, T. N. T., Ha, D. V., Do, T. N. N., Nguyen, V. H., Ngo, X. T., Phan, V. H., & Bui, Q. H. Air pollution monitoring network using low-cost sensors, a case study in Hanoi, Vietnam. In *Proceedings of the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 266, p. 012017). IOP Publishing.

Ongwandee, M. (2009). *Occupant Exposure to Volatile Organic Compounds (VOCs) in Office Buildings in Bangkok*. National research council of Thailand. (in thai)

Pollution control department. (2554) . *Knowledge air pollution, lessons, concepts, and management*. Ministry of natural resources and environment. (in thai)

Pusapukdepob, J., & Pulket, C. (2004). Indoor air quality and symptoms related to sick building syndrome of the office workers in the hospitals, Chonburi province. *Journal of Public Health*, 34, 189–199. (in thai)

Siwadechathep, C. (2015). Problem indoor air quality in buildings. <https://www.safety-stou.com/UserFiles/File/54113%20unit15.doc> (in thai)

Suárez, J. I., Arroyo, P., Lozano, J., Herrero, J. L., & Padilla, M. (2018). Bluetooth gas sensing module combined with smartphones for air quality monitoring. *Chemosphere*, 205, 618–626.

WHO. (1988). *WHO Regional Publications European Series No. 31 Indoor air quality: biological contaminants*.

WHO. (2005). *WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide And sulfur dioxide, Globalupdate2005*. https://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69477/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf

WHO. (2010). *WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants*. https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf