



การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาเซนเซอร์ที่เหมาะสม  
ในระบบตรวจวัดคุณภาพอากาศราคาประหยัด  
An Experimental Design and Statistical Analysis to Find a Suitable Sensor  
in a Low-cost Air Quality Monitoring System

กนิษฐา งามแจ่ม พริชาติ กระมลพันธ์ และ อธิพงศ์ สุริยา\*  
Kanita Ngamjaem, Parichat Kramonphan and Atipong Suriya

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี  
Department of Electrical and Electronics Engineering, The Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University  
\*E-mail : atipong.s@ubu.ac.th

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาาระบบตรวจสอบคุณภาพอากาศด้วยเซนเซอร์ราคาประหยัดและเทคโนโลยีสื่อสารไร้สาย ระบบประกอบด้วย เซนเซอร์วัดฝุ่น PM2.5 ราคาประหยัด จำนวน 3 ตัว ได้แก่ เซนเซอร์ PMS5003 เซนเซอร์ PMS7003 และเซนเซอร์ Grove HM3301 ติดตั้งกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งข้อมูลคุณภาพอากาศที่เก็บได้จากเซนเซอร์ถูกส่งผ่านเทคโนโลยีเอ็นบีไอโอทีไปยังคลาวด์แพลตฟอร์ม AIS Magellan ระบบสามารถแสดงข้อมูลของฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอน ผ่านเว็บแอปพลิเคชัน นอกจากนี้ บทความนี้ได้ทำการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการทดสอบที่เพื่อหาเซนเซอร์ราคาประหยัดที่เหมาะสม ซึ่งมีคุณภาพเทียบเคียงกับเซนเซอร์มาตรฐาน ผลการทดลองเบื้องต้นในช่วงระยะเวลา 10 วัน พบว่า ค่าข้อมูลของฝุ่นละอองขนาด 2.5 ที่วัดได้จากเซนเซอร์ Grove HM3301 แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์มาตรฐาน Tisch Environmental TE-Wilbur โดยมีค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย เท่ากับ 7.829

**คำสำคัญ :** ระบบตรวจวัดคุณภาพอากาศ ฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอน เซนเซอร์ราคาประหยัด การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการทดสอบที่

### Abstract

This paper presents a design and development of an air quality monitoring system with low-cost sensors and wireless communication technology. The system consists of three affordable PM 2.5 dust sensors, namely; a PMS5003 sensor, a PMS7003 sensor and a Grove HM3301 sensor mounted on a microcontroller board. The air quality data collected from those sensors is transmitted via NB-IoT technology to the AIS Magellan cloud platform. The system can display PM 2.5 data through a web application. In addition, this paper conducted an experimental design and t-test statistical analysis to determine a suitable cost-effective sensor comparable in quality to a standard sensor. The preliminary results during 10 days showed that the PM 2.5 values measured from the Grove HM3301 sensor



were not statistically different compared to those measured by the standard sensor (Tisch Environmental TE-Wilbur) with the root mean square error (RMSE) of 7.829.

**Keywords :** Air Quality Monitoring System, PM 2.5, Low-Cost Sensors, T-Test Statistical Analysis

## บทนำ

ในปัจจุบันนี้ มลภาวะทางอากาศเป็นปัญหาสำคัญในการดำเนินชีวิตของมนุษย์ ซึ่งต้นเหตุของมลพิษอาจเกิดขึ้นจากปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ได้แก่ ภูเขาไฟระเบิด แผ่นดินไหว ไฟป่า กัมมันตรังสีที่เกิดตามธรรมชาติ ฝุ่นละอองจากลมพายุ การรวมตัวของก๊าซอื่น ๆ ในบรรยากาศ หรือเกิดขึ้นจากการกระทำของมนุษย์ ได้แก่ ยานพาหนะที่ใช้เครื่องยนต์ เป็นพิษต่อมนุษย์โดยตรง อนุภาคของฝุ่นแบ่งตามขนาด ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดใหญ่มีขนาด 10 ไมครอนขึ้นไป สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ตั้งแต่ 50 ไมครอนขึ้นไป และฝุ่นละอองขนาดเล็กมีขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 10 ไมครอน จะสามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ได้ทำให้เป็นก๊าซที่ทำอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์มากที่สุด (ดอนสัน และปรกรณ์, 2564) จากการศึกษามลพิษทางอากาศพบว่า ฝุ่นละอองขนาดเล็ก 2.5 ไมครอน และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ถือเป็นมลพิษต่อสุขภาพมนุษย์ หากรับสิ่งเหล่านี้เข้าสู่ร่างกายเป็นจำนวนมาก จะทำให้เกิดอันตรายต่าง ๆ ตามมาในภายหลัง ปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการติดตาม รายงานสภาพอากาศ เพื่อช่วยลดปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตาม ระบบส่วนใหญ่มีราคาสูงหรือบางระบบไม่สามารถแสดงผลแบบเวลาจริง (Real-time) (ฐิฎาพรและคณะ, 2561) โดยระบบวัดพร้อมทั้งเซนเซอร์มาตรฐาน มีราคาสูงมากกว่า 1 ล้านบาท เมื่อเทียบกับระบบวัดซึ่งใช้เซนเซอร์ราคาประหยัด จะมีราคาประมาณ 1 หมื่นบาท

บทความนี้นำเสนอพัฒนาระบบตรวจวัดคุณภาพอากาศด้วยเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายสำหรับรายงานผลคุณภาพอากาศ โดยประยุกต์ใช้เซนเซอร์ที่ราคาประหยัดเพื่อช่วยลดต้นทุนของระบบและสามารถพัฒนาต่อยอดให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นได้ หลักการทำงานของระบบ คือ ติดตั้งเซนเซอร์เพื่อเก็บข้อมูล โดยข้อมูลที่วัดได้จะถูกส่งไปยังคลาวด์แพลตฟอร์ม AIS Magellan โดยใช้เทคโนโลยีเอ็นบีไอโอที (Narrowband Internet of Things, NB-IoT) (ศิลป์ณรงค์และพรนรินทร์, 2561) ในการรับส่งข้อมูลระยะไกลและทำการจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูลค่าของฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอน (PM 2.5) เพื่อแสดงถึงสถานการณ์ของคุณภาพอากาศ โดยผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบสภาพอากาศผ่านเว็บแอปพลิเคชันเพื่อให้ผู้ใช้ข้อมูลสามารถเข้าถึงข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว สะดวกและทันต่อสถานการณ์ นอกจากนี้ บทความนี้นำเสนอการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการทดสอบเพื่อหาเซนเซอร์ราคาประหยัดที่เหมาะสม ซึ่งมีคุณภาพเทียบเคียงกับเซนเซอร์มาตรฐาน Tisch Environmental TE-Wilbur เพื่อลดต้นทุนในการพัฒนาสถานีวัด และยังคงให้คุณภาพการวัดที่มีประสิทธิภาพ

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 1. ฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอน (PM 2.5)

คำว่า PM ย่อมาจาก Particulate Matters เป็นคำเรียกค่ามาตรฐานของฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เป็น อันตรายต่อสุขภาพ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ PM 10 และ PM 2.5 ตัวเลข 2.5 มาจากหน่วย 2.5 ไมครอนหรือไมโครเมตร ฝุ่น PM 10 คือ อนุภาคฝุ่นละอองในอากาศที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 2.5-10 ไมครอน เมื่อรวมกันเป็นจำนวนสามารถพบได้ง่าย เช่น ฝุ่นที่เกาะอยู่ตามข้าวของเครื่องใช้ เกสรดอกไม้ หรือฝุ่นละอองจากงานก่อสร้าง (กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียงกรมควบคุมมลพิษ, 2564)

#### 2. เซนเซอร์ (Sensor)

เซนเซอร์ คือ ชุดอุปกรณ์ วงจรหรือระบบ ทำหน้าที่ตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ หรือลักษณะของสิ่งต่าง ๆ โดยรอบวัตถุเป้าหมายและนำข้อมูลจำนวนมาก (Big Data) ที่ได้จากการตรวจวัด เข้าสู่กระบวนการแจกแจงและวิเคราะห์



พฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงประมวลผลเป็นองค์ความรู้และปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) ให้มนุษย์สามารถนำองค์ความรู้มาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพลดขั้นตอนของกระบวนการทำงาน (ศิลป์ณรงค์และพรนรินทร์, 2561) เซนเซอร์ PM 2.5 ราคาประหยัด ทั้ง 3 ชนิดที่ใช้ในบทความนี้ ได้แก่ PMS5003, PMS7003 และ Grove HM3301 อาศัยหลักการกระเจิงแสง ซึ่งเป็นการวัดปริมาณฝุ่นละอองโดยทางอ้อม โดยตัวส่งสัญญาณส่งแสงเลเซอร์ออกมา และมีพัดลมดูดเอาฝุ่นละอองเข้าไป เมื่อแสงเลเซอร์ผ่านฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอน (PM 2.5) จะเกิดการกระเจิงแสง ซึ่งส่งผลต่อแสงเลเซอร์ที่ได้รับที่ตัวโฟโตไดโอด ปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 มีความสัมพันธ์กับปริมาณการกระเจิงแสง ซึ่งในชุดเซนเซอร์มีส่วนประมวลผลในตัว ซึ่งจะประมวลผลค่า PM 2.5 และส่งค่าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์และส่งต่อไปยังแพลตฟอร์มคลาวด์ต่อไป ส่วนเซนเซอร์มาตรฐาน TE-Wilbur จะอาศัยการควบคุมการไหลของฝุ่นละออง PM 2.5 โดยจะมีแผ่นกรอง (Filter) คอยดักจับฝุ่นที่ไหลเข้ามาในระบบ และมีการซึมน้ำหนักของแผ่นกรองก่อนและหลังดักจับฝุ่น PM 2.5 เพื่อคำนวณค่าปริมาณฝุ่น PM 2.5 ในระบบ ซึ่งจะต้องใช้เวลาในการวัดค่อนข้างนาน แต่จะให้ค่าความแม่นยำที่สูงมาก ทั้งนี้ระบบวัดต้องมีการสอบเทียบ (Calibration) อย่างสม่ำเสมอ

### 3. การทดสอบสมมติฐาน และการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการทดสอบที (t-test statistical analysis)

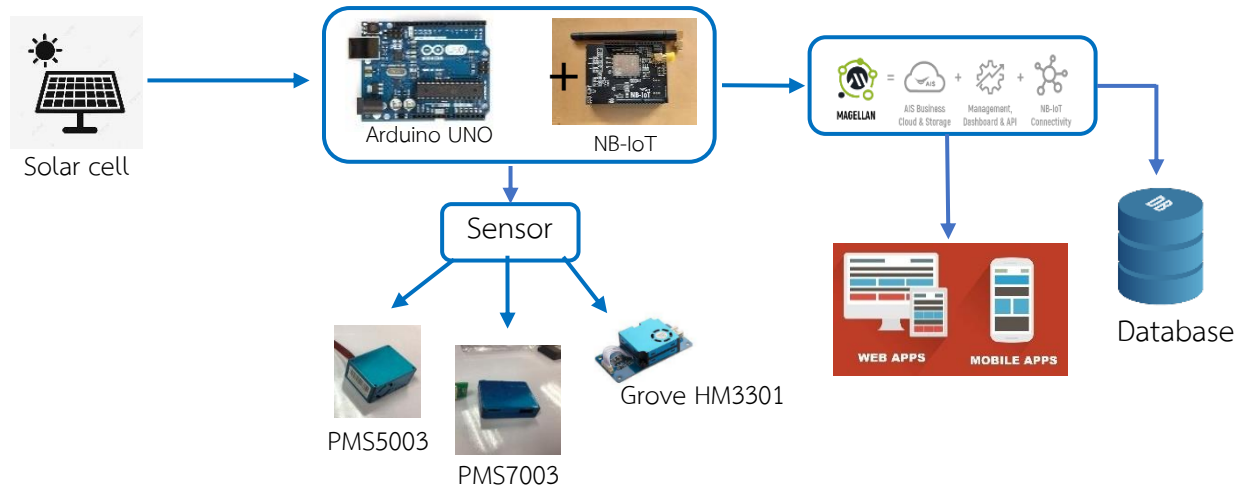
เทคนิควิธีการทางสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างหนึ่งกลุ่มกับประชากร หรือเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มที่อาจมีความสัมพันธ์กันหรือเป็นอิสระต่อกันก็ได้ โดยกลุ่มตัวอย่าง ต้องสุ่มมาจากประชากรที่มีการแจกแจงปกติและทราบค่าความแปรปรวนของประชากร ในบทความนี้ นำการทดสอบทีมาใช้ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฝุ่นละออง PM 2.5 ของเซนเซอร์ราคาประหยัดที่นำเสนอ และค่าเฉลี่ยของฝุ่นละออง PM 2.5 ของเซนเซอร์มาตรฐาน เพื่อหาภาพแบบวิธีการวัดของเซนเซอร์ราคาประหยัด ที่ให้ค่าทางสถิติเทียบเคียงกับเซนเซอร์มาตรฐาน

### 4. ประมวลค่าช่วงความเชื่อมั่น

ช่วงความเชื่อมั่น (Confidence interval) คือ ช่วงตัวเลขที่ครอบคลุมลักษณะที่แท้จริงของประชากร (Parameter) ที่ระดับความเชื่อมั่นระดับหนึ่งช่วงความเชื่อมั่น ประกอบไปด้วย ขีดจำกัดบน (Upper limit) ขีดจำกัดล่าง (Lower limit) และระดับความเชื่อมั่น หรืออาจเรียกว่า สัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น ในบทความนี้ ใช้ค่า ช่วงความเชื่อมั่นระดับ 95%

#### หลักการการทำงานของระบบ

ระบบตรวจสอบคุณภาพอากาศที่พัฒนาขึ้น มีการติดตั้งเซนเซอร์ PM 2.5 ราคาประหยัด จำนวน 3 ตัว ร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อเก็บข้อมูลสภาพอากาศ โดยมีระบบจ่ายพลังงานในตัวด้วยโซลาร์เซลล์และนำไปติดตั้งระยะไกล จากนั้นข้อมูลที่วัดจากเซนเซอร์จะถูกส่งขึ้นไปยังแพลตฟอร์มคลาวด์ AIS Magellan ด้วยเทคโนโลยีเอ็นบีไอโอทีและคำนวณค่าปริมาณฝุ่น PM 2.5 เพื่อแสดงถึงสถานการณ์ของมลพิษทางอากาศว่ามีผลกระทบต่อสุขภาพหรือไม่ และทำการเก็บข้อมูลคุณภาพอากาศในระยะยาวในระบบฐานข้อมูล ซึ่งสามารถดูข้อมูลคุณภาพอากาศได้ผ่านเว็บแอปพลิเคชัน ดังภาพที่ 1 และโครงสร้างทางกายภาพของสถานีวัดคุณภาพอากาศที่พัฒนาขึ้น แสดงดังภาพที่ 2

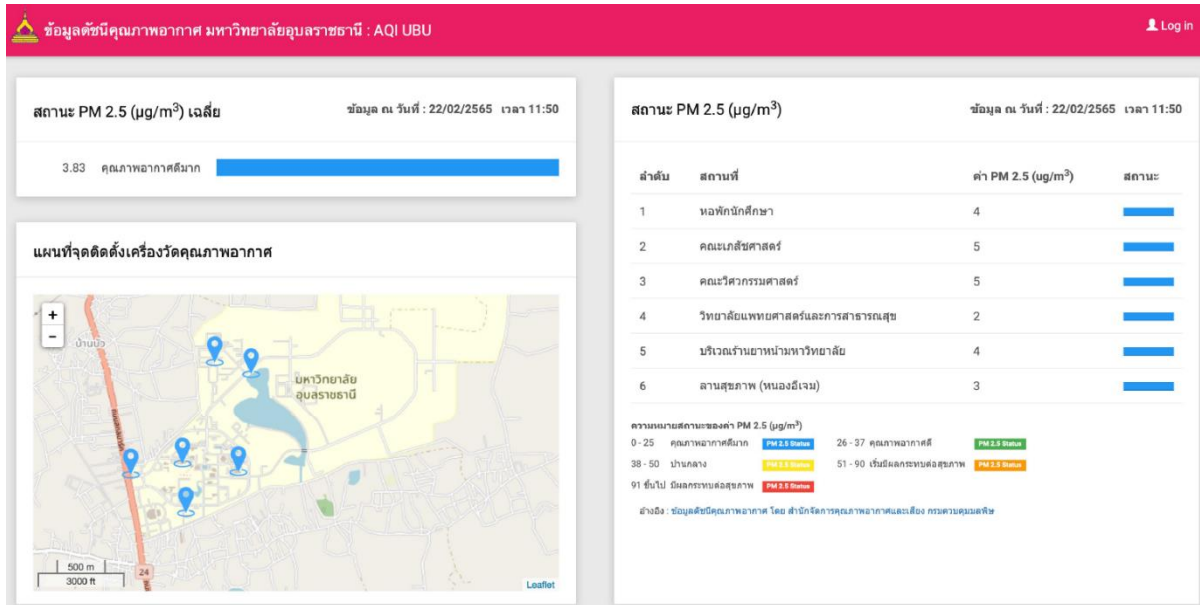


ภาพที่ 1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบ



ภาพที่ 2 โครงสร้างทางกายภาพของสถานีวัดคุณภาพอากาศที่พัฒนาขึ้น

เว็บแอปพลิเคชันทำหน้าที่แสดงผลคุณภาพอากาศ (PM 2.5) ภายในมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ตามตำแหน่งที่ได้มีจุดตรวจวัดคุณภาพอากาศ ซึ่งทั้ง 6 สถานีที่กระจายกันอยู่ในมหาวิทยาลัย ได้แก่ หอพักนักศึกษา คณะเภสัชศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข บริเวณร้านยาหน้ามหาวิทยาลัย ลานสุขภาพ สามารถเข้าถึงได้ที่ <http://www.aqi.ubu.ac.th/> โดยระบบจะเก็บข้อมูลและแสดงผลข้อมูลทุก ๆ หนึ่งชั่วโมง ภายหน้าเว็บแอปพลิเคชัน จะแสดงสถานะคุณภาพอากาศและค่า PM 2.5 ในแต่ละสถานี ดังภาพที่ 3

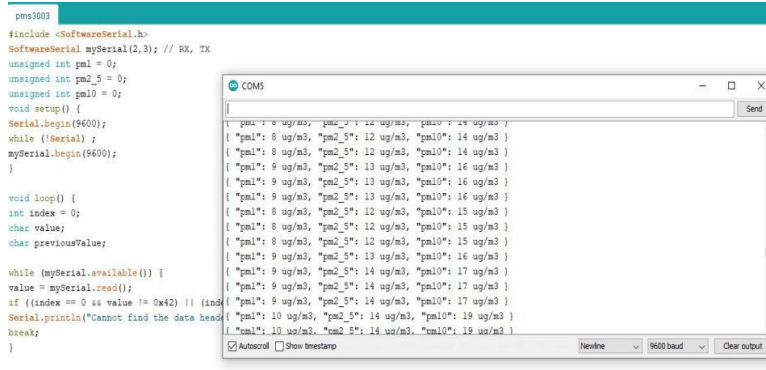


ภาพที่ 3 เว็บแอปพลิเคชันแสดงข้อมูลคุณภาพอากาศ (PM 2.5)

## ผลการวิจัย

### 1. ผลการทำงานของโปรแกรมควบคุมเซนเซอร์

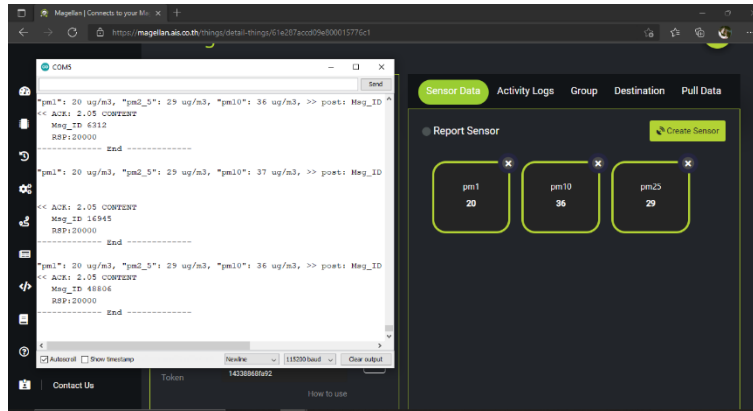
เขียนโปรแกรมเพื่อทำการอ่านข้อมูลจากเซนเซอร์ PMS5003, PMS7003 และ GroveHM3301 เมื่อทำการอัปโหลดโปรแกรมการทำงานจะได้หน้าต่าง Serial Monitor ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การแสดงผลค่า PM 2.5 ผ่าน Serial Monitor

### 2. ผลการทำงานของโปรแกรมส่งข้อมูลขึ้นคลาวด์แพลตฟอร์ม

เปรียบเทียบผลการส่งข้อมูลไปยังคลาวด์แพลตฟอร์ม AIS Magellan เทียบกับค่าที่อ่านได้จาก Serial Monitor แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 เปรียบเทียบผลจาก Serial Monitor และผลจากคลาวด์แพลตฟอร์ม AIS Magellan

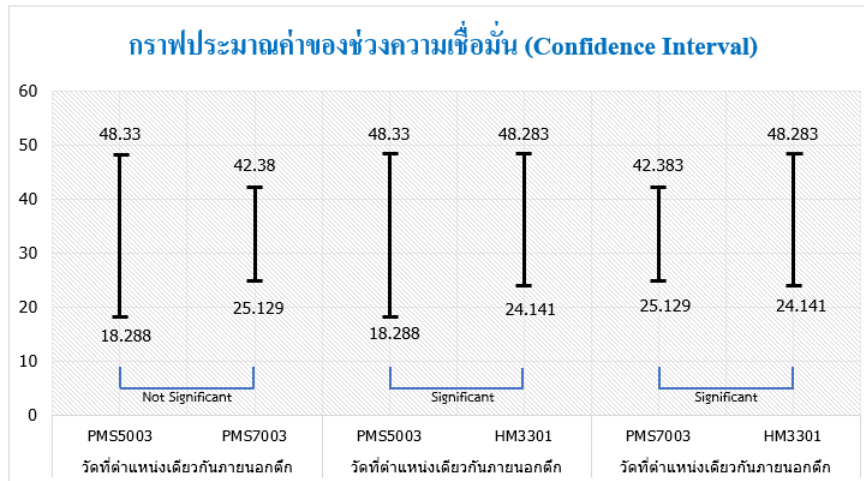
**3. การทดลองวัดค่า PM 2.5 ที่ตึก EN7 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยวัดตำแหน่งเดียวกัน และใช้เซนเซอร์ จำนวน 3 ตัว: PMS5003, PMS7003 และ HM3301**

การทดลองวัดและเปรียบเทียบข้อมูลในเวลาเดียวกันทั้ง 3 เซนเซอร์ โดยใช้เวลาทดลอง 60 นาที เก็บข้อมูลทุก ๆ 30 วินาที ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 1 และกราฟประมาณค่าของช่วงความเชื่อมั่น ดังภาพที่ 6

การวิเคราะห์ทางสถิติด้วย t-test พบว่า เซนเซอร์ต่างชนิดกันวัดที่ระดับเท่ากันและใช้เวลาช่วงเดียวกัน ค่าของฝุ่นละออง PM 2.5 ของเซนเซอร์ PMS5003 เทียบกับ PMS7003 แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $P\text{-value} \geq 0.05$ ) และ PMS5003, PMS7003 เทียบกับ HM3301 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $P\text{-value} \leq 0.05$ ) ดังตารางที่ 2 จากการทดลองนี้ สามารถเลือกเซนเซอร์ PMS7003 เป็นตัวแทนของเซนเซอร์ตระกูล PMS เนื่องจากค่า PM 2.5 ที่วัดได้ มีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติ แต่หากพิจารณาคุณลักษณะใน Datasheet ของเซนเซอร์ พบว่า PMS7003 มีช่วงการทำงานสูงสุดของเซนเซอร์ (Maximum range) และมีค่าความสม่ำเสมอในการวัด (Consistency) ที่ดีกว่า PMS5003 ซึ่งจะได้นำเซนเซอร์ PMS7003 และ HM3301 ไปใช้เปรียบเทียบกับเซนเซอร์มาตรฐานในการทดลองที่ 4.6

**ตารางที่ 1** เปรียบเทียบวัดตำแหน่งเดียวกันใช้เซนเซอร์ PMS5003, PMS7003 และ HM3301

ที่ตึก EN7 โดยวัดที่ตำแหน่งเดียวกันภายนอกตึก			
Collected Data	PMS5003 (1)	PMS7003 (1)	HM3301 (1)
Mean	33.309	33.756	36.212
Variance	57.554	18.982	37.168
SD	7.586	4.357	6.097
95% confidence interval			
Upper limit	48.330	42.383	48.283
Mean	33.309	33.756	36.212
Lower Limit	18.288	25.129	24.141



ภาพที่ 6 กราฟประมาณค่าช่วงความเชื่อมั่น (Confidence Interval)

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ทางสถิติด้วย t-test ที่วัดค่าที่ตำแหน่งเดียวกันของเซนเซอร์ทั้ง 3 ชนิด

ทดสอบ t-test แบบ Independent-Sample t-test ค่า PM2.5 ของเซนเซอร์ PMS5003 PMS7003, HM3301						
	PMS5003	PMS7003	PMS5003	HM3301	PMS7003	HM3301
Mean	33.309	33.756	33.309	36.212	33.756	36.212
Variance	57.554	18.982	57.554	37.168	18.982	37.168
Observations	110.000	119.000	110.000	99.000	119.000	99.000
df	171.000		204.000		119.000	
t Stat	-0.541		-3.062		-3.357	
P(T<=t) one-tail	0.294		0.001		0.000	
t Critical one-tail	1.653		1.652		1.653	
P(T<=t) two-tail	0.589		0.002		0.000	
t Critical two-tail	1.973		1.971		1.973	

#### 4. การทดลองวัดค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่มีความสูงแตกต่างกัน

การทดลองวัดค่า PM2.5 ที่ตึก EN7 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยวัดชั้นที่ 1, 3 ภายนอกตึก โดยใช้เซนเซอร์ PMS5003, PMS7003 และ HM3301 อย่างละ 2 ตัว เปรียบเทียบกัน โดยใช้เวลาทดลอง 60 นาทีเก็บข้อมูล ทุก ๆ 30 วินาที และวิเคราะห์ทางสถิติด้วย t-test พบว่า เซนเซอร์ทั้ง 3 ชนิด โดยวัดชั้นที่ 1, 3 ใช้เวลาเดียวกัน ค่าของฝุ่นละออง PM2.5 จากเซนเซอร์ PMS5003, PMS7003 และ HM3301 มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (P-value < 0.05) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3 จากการทดลองนี้สรุปได้ว่า ความสูงมีผลต่อการวัดค่า PM 2.5 โดยความสูงที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าฝุ่นละออง PM 2.5 มีค่าลดลง



ตารางที่ 3 ทดสอบ t-test โดยวัดค่าภายนอกตึกชั้นที่ 1, 3 ของเซนเซอร์ทั้ง 3 ชนิด

ทดสอบ t-test แบบ Independent-Sample t-test ค่า PM2.5 ของเซนเซอร์ PMS5003 PMS7003, HM3301						
	PMS5003	PMS5003	PMS7003	PMS7003	HM3301	HM3301
	(ชั้นที่ 1)	(ชั้นที่ 3)	(ชั้นที่ 1)	(ชั้นที่ 3)	(ชั้นที่ 1)	(ชั้นที่ 3)
Mean	26.924	20.655	38.950	34.020	20.456	16.602
Variance	4.257	14.332	22.633	54.598	1.446	4.426
Observations	119.000	116.000	141.000	98.000	68.000	88.000
Hypothesized Mean Difference	0.000		0.000		0.000	
df	177.000		152.000		143.000	
t Stat	15.706		5.820		14.406	
P(T<=t) one-tail	0.000		0.000		0.000	
t Critical one-tail	1.654		1.655		1.656	
P(T<=t) two-tail	0.000		0.000		0.000	
t Critical two-tail	1.973		1.976		1.977	

#### 5. การทดลองวัดค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่มีความสูงเท่ากัน แต่ระยะห่างแตกต่างกัน

ทดลองวัดค่า PM2.5 ที่ระยะห่าง 3 ระดับ ได้แก่ 30 เมตร, 50 เมตร และ 100 เมตร ใช้เวลาทดลอง 1 ชั่วโมง เก็บข้อมูลทุก ๆ 30 วินาที โดยใช้เซนเซอร์ PMS7003 ในการทดลอง จำนวน 2 ตัว โดยวัดค่า PM2.5 ที่ตึก EN7 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ลักษณะพื้นที่เป็นที่เปิดโล่ง ไม่มีสิ่งกีดขวาง และทำการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย t-test ผลการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4 จากการทดลองนี้ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

- ระยะห่าง 30 เมตร และ 50 เมตร แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (P-value  $\geq$  0.05) แสดงว่าระยะห่าง 30 และ 50 เมตร หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ระยะห่างไม่เกิน 50 เมตร ไม่มีผลต่อการวัดค่าฝุ่นละออง PM2.5
- ระยะห่าง 100 เมตร แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (P-value  $\leq$  0.05) แสดงว่าระยะห่าง 100 เมตร มีผลต่อการวัดค่าฝุ่นละออง PM 2.5

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ทางสถิติด้วย t-test โดยกำหนดระยะห่าง 3 ระดับ

ทดสอบ t-test แบบ Independent-Sample t-test ค่า PM2.5 ของเซนเซอร์ PMS7003						
	ระยะ 30 เมตร		ระยะ 50 เมตร		ระยะ 100 เมตร	
	PMS7003(1)	PMS7003(2)	PMS7003(1)	PMS7003(2)	PMS7003(1)	PMS7003(2)
Mean	23.508	24.514	26.774	26.915	26.774	30.768
Variance	32.561	20.691	49.154	82.092	57.753	114.350
Observations	71.000	92.000	88.000	105.000	89.000	95.000
Hypothesized Mean Difference	0.000		0.000		0.000	
df	134.000		160.000		154.000	
t Stat	-0.009		-3.084		-3.542	
P(T<=t) one-tail	0.496		0.001		0.000	

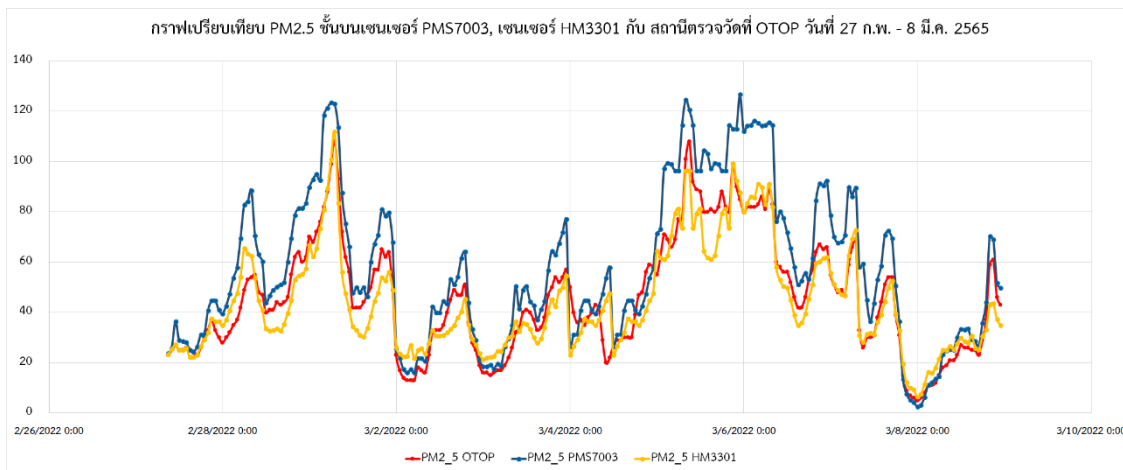




ทดสอบ t-test แบบ Independent-Sample t-test ค่า PM2.5 ของเซนเซอร์ PMS7003						
	ระยะ 30 เมตร		ระยะ 50 เมตร		ระยะ 100 เมตร	
	PMS7003(1)	PMS7003(2)	PMS7003(1)	PMS7003(2)	PMS7003(1)	PMS7003(2)
t Critical one-tail	1.651		1.651		1.651	
P(T<=t) two-tail	0.992		0.880		0.000	
t Critical two-tail	1.970		1.969		1.969	

### 6. การทดลองวัดค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองสถานีเครื่องมาตรฐาน (สถานี อบจ.)

การทดลองวัดค่า PM 2.5 ที่สถานีวัดมาตรฐาน ตั้งอยู่ที่ อบจ.อุบลราชธานี ในช่วงระยะเวลา 10 วัน (ระหว่างวันที่ 27 ก.พ.-8 มี.ค. 2565) โดยวัดตำแหน่งความสูงใกล้เคียงกับสถานีมาตรฐาน และห่างเป็นระยะประมาณ 30 เมตร โดยใช้เซนเซอร์ PMS7003 และ HM3301 เปรียบเทียบโดยใช้เวลาทดลองวันละ 24 ชั่วโมง เก็บข้อมูลทุก ๆ 10 นาที ผลการวัดค่า PM 2.5 แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ผลการวัดค่า PM2.5 เซนเซอร์ PMS7003 และเซนเซอร์ HM3301

การวิเคราะห์ทางสถิติด้วย t-test แสดงดังตารางที่ 5 สามารถสรุปได้ดังนี้

- ค่า PM 2.5 ที่วัดได้จากเซนเซอร์ PMS7003 เทียบกับ ค่า PM 2.5 ที่วัดได้จากเซนเซอร์ HM3301 มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $P\text{-value} \leq 0.05$ )
- ค่า PM 2.5 ที่วัดได้จากสถานีวัดมาตรฐาน (สถานี อบจ.) เทียบกับค่า PM 2.5 ที่วัดได้จากเซนเซอร์ PMS7003 ของสถานีที่พัฒนาขึ้น มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $P\text{-value} \leq 0.05$ )
- ค่า PM 2.5 ที่วัดได้จากสถานีวัดมาตรฐาน (สถานี อบจ.) เทียบกับค่า PM 2.5 ที่วัดได้จากเซนเซอร์ HM3301 แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $P\text{-value} \geq 0.05$ )



ตารางที่ 5 ทดสอบ t-test โดยวัดที่ตำแหน่งความสูงใกล้เคียงกับสถานีวัดมาตรฐาน และห่างเป็นระยะประมาณ 30 เมตร

ทดสอบ t-test แบบ Independent-Sample t-test ค่า PM2.5 ของเซนเซอร์ PMS7003, HM3301						
	PMS7003	HM3301	OTOP	PMS7003	OTOP	HM3301
Mean	57.692	44.009	45.745	57.692	45.745	44.009
Variance	935.395	430.487	524.774	935.395	524.774	430.487
Observations	231.000	231.000	231.000	231.000	231.000	231.000
Hypothesized						
Mean Difference	0.000		0.000		0.000	
df	405.000		426.000		456.000	
t Stat	5.627		-4.752		0.854	
P(T<=t) one-tail	0.000		0.000		0.197	
t Critical one-tail	1.649		1.648		1.648	
P(T<=t) two-tail	0.000		0.000		0.394	
t Critical two-tail	1.966		1.966		1.965	

จากผลการทดลองพบว่าเซนเซอร์ Grove HM3301 ที่วัดตำแหน่งความสูงใกล้เคียงกับสถานีวัดมาตรฐาน และห่างเป็นระยะประมาณ 30 เมตร ให้ค่า PM 2.5 ที่ไม่แตกต่างกันในทางสถิติและให้ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ที่น้อยที่สุด เท่ากับ 7.829 ดังตารางที่ 6 โดยการคำนวณค่า RMSE หาได้จากสมการที่ (1)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (measured_i - actual_i)^2} \quad (1)$$

โดยที่ **RMSE** คือ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error)  
**n** คือ จำนวนครั้งที่ทำการทดลองในแต่ละจุด  
**measured<sub>i</sub>** คือ ค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์ราคาประหยัด (PMS7003 และ HM3301) ครั้งที่ *i*  
**actual<sub>i</sub>** คือ ค่าที่วัดได้จากสถานีวัดมาตรฐาน ครั้งที่ *i*

ตารางที่ 6 ตารางค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของเซนเซอร์ 2 ชนิด เทียบกับสถานีวัดมาตรฐาน

ชนิดของเซนเซอร์	การวิเคราะห์ทางสถิติด้วย t-test	วิเคราะห์หาค่า Error โดยใช้ Root Mean Square Error (RMSE)
PMS7003 เทียบกับ สถานีวัดมาตรฐาน	แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value ≤ 0.05)	15.981
HM3301 เทียบกับ สถานีวัดมาตรฐาน	แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value ≥ 0.05) (ไม่แตกต่างกัน)	7.829



## สรุปผลการทดลอง

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพอากาศด้วยเซนเซอร์ราคาประหยัดและเทคโนโลยีสื่อสารไร้สาย พร้อมด้วยการออกแบบวิธีการวัดและทำการทดลองกับเซนเซอร์ PM 2.5 ราคาประหยัด จำนวน 3 ตัว ได้แก่ เซนเซอร์ PMS5003 เซนเซอร์ PMS7003 และ เซนเซอร์ Grove HM3301 เพื่อให้ได้เซนเซอร์ที่เหมาะสมสำหรับนำมาประยุกต์ใช้งาน เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการพัฒนาสถานีวัดคุณภาพอากาศ แต่ยังคงให้คุณภาพการวัดที่มีประสิทธิภาพ โดยนำเซนเซอร์ไปติดตั้งกับสถานีวัดที่พัฒนาขึ้น ซึ่งเซนเซอร์ดังกล่าวจะติดตั้งกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ และข้อมูลคุณภาพอากาศที่เก็บได้จากเซนเซอร์ถูกส่งผ่านเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตไปยังคลาวด์แพลตฟอร์ม AIS Magellan ระบบสามารถแสดงข้อมูลของฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอนผ่านเว็บแอปพลิเคชัน ซึ่งสามารถเข้าถึงได้ที่ <http://www.aqi.ubu.ac.th/>

การทดลองเบื้องต้น พบว่า เซนเซอร์ตระกูล PMS (PMS5003 เซนเซอร์ PMS7003) ให้ค่าในการวัดไม่แตกต่างกันในทางสถิติ จึงเลือกใช้เซนเซอร์ PMS7003 เนื่องจากคุณสมบัติจากผู้ผลิตให้ข้อมูลว่ามีช่วงในการวัด (Maximum range) และความสม่ำเสมอในการวัด (Consistency) ที่ดีกว่า นอกจากนี้ ความสูงและระยะห่าง มีผลกระทบต่อค่า PM 2.5 โดยระดับความสูงที่มากกว่า จะให้ค่า PM 2.5 ที่น้อยกว่า หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ค่า PM 2.5 แปรผกผันกับความสูง และระยะห่างไม่เกิน 50 เมตร จะให้ค่าในการวัด PM 2.5 ที่ไม่แตกต่างในทางสถิติ การทดลองสุดท้าย สรุปได้ว่า ค่า PM 2.5 ที่วัดได้จากเซนเซอร์ Grove HM3301 มีค่าไม่แตกต่างในทางสถิติ เมื่อเทียบกับค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์มาตรฐาน ในการวัดที่ความสูงใกล้เคียงกับสถานีมาตรฐานและระยะห่างประมาณ 30 เมตร ในช่วงระยะเวลา 10 วัน ซึ่งถือได้ว่าเป็นเซนเซอร์ที่เหมาะสมในการนำมาใช้งาน โดยมีค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุด เท่ากับ 7.829 ซึ่งจะได้้นำเซนเซอร์ Grove HM3301 ไปใช้ในการติดตั้งในสถานีวัดที่พัฒนาขึ้นในอนาคตต่อไป เพื่อให้เกิดการวัดค่า PM 2.5 อย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิภาพ

แนวทางการวิจัยในอนาคต คือ การนำการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล (Data analytic) ประกอบกับปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning, ML) มาใช้ในการทำนายค่า PM 2.5 ในอนาคต เพื่อสามารถคาดเดาและประเมินสถานการณ์ของ PM 2.5 เพื่อวางแผนรองรับได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## เอกสารอ้างอิง

- ดอนสัน ปงผาบ และปรกรณ์ สันตกิจ. (2564) เครื่องวัดฝุ่น PM 2.5 แจ็งเตือนทางแอปพลิเคชันไลน์. *วารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ*, 15(2), 45-57.
- ฐิฎาพร สุภาษี, พานิช อินต๊ะ, เสริมเกียรติจอม จันทรียอง และเศรษฐ์ สัมภัตตะกุล. (2561). การวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นละอองเชิงมวล PM 2.5 และ PM 10 ในบรรยากาศด้วยเครื่องตรวจวัดฝุ่นละอองไร้สายในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย. *วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม มหาวิทยาลัยราชชมงคลล้านนา*, 2(1), 65-78.
- ศิลป์ณรงค์ ฉวีพัฒน์ และพรนรินทร์ สายกลิ่น. (2561). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Narrow Band Internet of Thing ในการสร้างต้นแบบสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร. *งานวิจัยและงานสร้างสรรค์สู่การพัฒนาประเทศไทย 4.0. การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 5 สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร* (น. 259-270.)
- กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ, ข้อมูลดัชนีคุณภาพอากาศ. (ม.ป.ป.). *ข้อมูลดัชนีคุณภาพอากาศ (ข้อมูลวันที่ 11 กรกฎาคม 2564)*. [http://air4thai.pcd.go.th/webV2/aqi\\_info.php](http://air4thai.pcd.go.th/webV2/aqi_info.php)