

Chulalongkorn University

Chula Digital Collections

Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD)

2023

การวิเคราะห์ห้มลพิษทางอากาศและเสียงที่เกิดจากกิจกรรมย่อยของการก่อสร้างที่ พักอาศัยโดยเครื่องมือวัดส่วนบุคคลร่วมกับบันทึกวิดีโอ

ณวิชัย สีสานอากาศ
คณะวิศวกรรมศาสตร์

Follow this and additional works at: <https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd>

 Part of the [Civil Engineering Commons](#), and the [Construction Engineering and Management Commons](#)

Recommended Citation

สีสานอากาศ, ณวิชัย, "การวิเคราะห์ห้มลพิษทางอากาศและเสียงที่เกิดจากกิจกรรมย่อยของการก่อสร้างที่พักอาศัยโดยเครื่องมือวัดส่วนบุคคลร่วมกับบันทึกวิดีโอ" (2023). *Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD)*. 10256.
<https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/10256>

This Thesis is brought to you for free and open access by Chula Digital Collections. It has been accepted for inclusion in Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD) by an authorized administrator of Chula Digital Collections. For more information, please contact ChulaDC@car.chula.ac.th.

การวิเคราะห์มลพิษทางอากาศและเสียงที่เกิดจากกิจกรรมย่อยของการก่อสร้างที่พักอาศัยโดย
เครื่องมือวัดส่วนบุคคลร่วมกับบันทึกวิดีโอ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2566

AN ANALYSIS OF AIR AND NOISE POLLUTION CAUSED BY SUB-ACTIVITIES OF
RESIDENTIAL CONSTRUCTION USING PERSONAL MEASURING INSTRUMENTS COMBINED
WITH VIDEO RECORDING



Mr. Noppawit Leelanapakas

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Civil Engineering
Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2023

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การวิเคราะห์มลพิษทางอากาศและเสียงที่เกิดจากกิจกรรม
ย่อยของการก่อสร้างที่พักอาศัยโดยเครื่องมือวัดส่วนบุคคล
ร่วมกับบันทึกวิดีโอ

โดย

นายณพวิชญ์ ลีลานภากาศ

สาขาวิชา

วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิต ชงทอง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วัชรระ เพียรสุภาพ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิต ชงทอง)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.นพดล จอกแก้ว)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ก้องกัญท์ โตชัยวัฒน์)

นพวิชญ์ ลีลานภาภาส : การวิเคราะห์มลพิษทางอากาศและเสียงที่เกิดจากกิจกรรมย่อย
ของการก่อสร้างที่พักอาศัยโดยเครื่องมือวัดส่วนบุคคลร่วมกับบันทึกวิดีโอ. (AN
ANALYSIS OF AIR AND NOISE POLLUTION CAUSED BY SUB-ACTIVITIES OF
RESIDENTIAL CONSTRUCTION USING PERSONAL MEASURING INSTRUMENTS
COMBINED WITH VIDEO RECORDING) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.ธนิต ธงทอง

เนื่องมาจากการก่อสร้างที่พักอาศัยที่มีอยู่ทั่วพื้นที่กรุงเทพฯ และปริมณฑลซึ่งเป็นต้นเหตุ
ของมลพิษทางอากาศและเสียง โดยผู้ที่ได้รับผลกระทบมากที่สุดคือ แรงงานก่อสร้าง งานวิจัยนี้จึง
ต้องการวิเคราะห์มลพิษทางอากาศและเสียง (PM 2.5, PM 10, NO₂, CO, dB(A)) ที่เกิดจาก
กิจกรรมย่อยของการก่อสร้างที่พักอาศัยโดยเครื่องมือวัดส่วนบุคคลร่วมกับบันทึกวิดีโอ ซึ่งนำ
เทคโนโลยี IoT (Internet of Things) เช่น เซอร์ตรวจวัดมลพิษทางอากาศและเสียง และกล้อง
บันทึกวิดีโอมาประยุกต์ใช้ ทำให้ทราบค่าความเข้มข้นของมลพิษที่แรงงานได้รับจากกิจกรรมย่อย
ของงานก่อสร้าง การตรวจวัดมลพิษทางอากาศและเสียงโดยทั่วไปวัดจากค่าเฉลี่ยของปริมาณ
มลพิษที่แรงงานได้รับตลอดช่วงเวลาทำงาน อีกทั้งเครื่องมือวัดมีขนาดใหญ่ มีราคาสูง และไม่
สามารถทราบถึงกิจกรรมย่อยที่ก่อให้เกิดมลพิษต่อแรงงาน ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ติดเครื่องมือวัดและ
กล้องบันทึกวิดีโอกับแรงงาน เพื่อให้ทราบถึงปริมาณมลพิษที่แรงงานได้รับจากกิจกรรมย่อยของ
การก่อสร้าง โดยเมื่อมีปริมาณมลพิษเกินค่ามาตรฐานจะมีการแจ้งเตือนไปยัง Line Notify เพื่อให้
เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยโครงการได้ทราบถึงปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นในขณะนั้น หลังจากนั้น
ประยุกต์ใช้เครื่องมือตรวจวัดมลพิษทางอากาศและเสียงกับโครงการก่อสร้างกรณีศึกษา 4 โครงการ
ผลการทดสอบพบว่า กิจกรรมย่อยที่เกิดมลพิษมากที่สุด คือ เชื่อมโลหะโดยใช้ลวดเชื่อม มีปริมาณ
ฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานอยู่ในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ ปริมาณก๊าซ
คาร์บอนมอนอกไซด์และไนโตรเจนไดออกไซด์ เกินค่ามาตรฐานอยู่ในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อ
สุขภาพ อย่างไรก็ตามเครื่องมือยังมีข้อจำกัดในเรื่องขีดจำกัดต่ำสุดและสูงสุดของเซนเซอร์ที่
สามารถตรวจวัดมลพิษได้

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2566

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6170457421 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORD: construction project; PM2.5; Air pollution sensor; IoT(internet of things)

Noppawit Leelanapakas : AN ANALYSIS OF AIR AND NOISE POLLUTION CAUSED BY SUB-ACTIVITIES OF RESIDENTIAL CONSTRUCTION USING PERSONAL MEASURING INSTRUMENTS COMBINED WITH VIDEO RECORDING. Advisor: Assoc. Prof. TANIT TONGTHONG, Ph.D.

This is attributed to construction activities in the area around Bangkok Metropolitan. These constructions are causing air and noise pollution, significantly affecting workers. Therefore, this research aims to analyze air and noise pollution (PM 2.5, PM 10, NO₂, CO, dB(A)) caused by sub-activities of residential construction using personal measuring instruments combined with video recordings. Through the use of IoT (Internet of Things) technology, dust and gas sensors, along with IP cameras, are installed with workers to ascertain the concentration of pollutants from these sub-activities. Traditionally, air and noise pollution have been measured by the average amount of pollutants exposed to workers over time. The instruments used for such measurements are typically large, expensive, and unable to pinpoint the specific sub-activities causing air and noise pollution. However, this research utilizes instruments and IP cameras installed with workers to determine the concentration of pollutants from sub-activities. If it exceeds the standard value, notifications are sent to safety officers via Line Notify. Subsequently, the proposed instrument was employed to measure air and noise pollution in four case studies. The results demonstrated that the sub-activity with the highest concentration of pollutants is welding steel, which contains PM 2.5 and PM 10 exceeding standard values, resulting in a very unhealthy condition. While, CO and NO₂ are exceeding standard values, resulting in a unhealthy condition. Moreover, this study has limitations, primarily related to the minimum and maximum detection capabilities of the sensors.

Field of Study: Civil Engineering

Student's Signature

Academic Year: 2023

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์อย่างสูงจาก รองศาสตราจารย์ ดร. ธนิต ธงทอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้เสียสละเวลาให้คำแนะนำ ปรึกษา แนวทาง และการแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นของวิทยานิพนธ์ ตลอดจนแก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ด้วยดีมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วัชร เพ็ญสุภาพ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.นพดล จอกแก้ว และรองศาสตราจารย์ ดร.ก้องกัญท์ โตชัยวัฒน์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้สละเวลาช่วยให้คำแนะนำและตรวจสอบแก้ไขปรับปรุงให้วิทยานิพนธ์ ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ พี่ต๋นย์ เพ็ญพิชยพงศ์ และ กฤติธิ แก้วมณี ที่ได้เสียสละเวลา ให้คำแนะนำแนวทางในการดำเนินการ และข้อมูลที่เป็นต่อการหาผลลัพธ์ของวิทยานิพนธ์

นพวิชญ์ ลีลานากาศ



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูปภาพ.....	ฒ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 มลพิษทางอากาศ.....	6
2.1.1 ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM 2.5 และ PM 10)	6
2.1.1.1 นิยามของฝุ่นละออง	6
2.1.1.2 ประเภทของฝุ่นละออง	8
2.1.1.3 แหล่งที่มาของฝุ่นละออง.....	9
2.1.1.4 วิธีการตรวจวัดระดับฝุ่นละออง	10
2.1.1.5 ผลกระทบของฝุ่นละอองที่มีต่อสุขภาพ	12
2.1.1.6 การประเมินการสัมผัสสรายบุคคล	13
2.1.2 ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์.....	15

2.1.2.1 แหล่งกำเนิดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์.....	15
2.1.2.2 ผลกระทบของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์.....	16
2.1.3 มาตรฐานมลพิษทางอากาศและกฎหมายที่เกี่ยวข้อง	17
2.1.3.1 ดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index: AQI) ของประเทศไทย.....	19
2.1.3.2 ดัชนีคุณภาพอากาศของต่างประเทศ	19
2.1.3.3 เปรียบเทียบระหว่างค่ามาตรฐานฝุ่นละอองของไทยและต่างประเทศ	19
2.2 มลพิษทางเสียง	21
2.2.1 แหล่งที่มาของมลพิษทางเสียง.....	21
2.2.2 มาตรฐานมลพิษทางเสียงและกฎหมายที่เกี่ยวข้อง.....	21
2.3 เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศ.....	22
2.4 เซนเซอร์วัดมลพิษทางอากาศและเสียง.....	23
2.5 Internet of Things (IoT)	24
2.6 การสอบเทียบเซนเซอร์.....	24
2.7 มลพิษทางอากาศและเสียงจากงานก่อสร้าง	25
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดมลพิษทางอากาศและทางเสียง.....	26
2.9 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีต	27
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	31
3.1 ลักษณะของงานวิจัย	31
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	31
3.2.1 ทบทวนเอกสารและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	32
3.2.2 ศึกษาและเก็บข้อมูลปัญหามลพิษทางอากาศและเสียง	32
3.2.3 วิเคราะห์สาเหตุ ปัญหาที่เกิดขึ้นรวมทั้งแนวทางแก้ไขปัญหา	32
3.2.4 การพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการวัดมลพิษทางอากาศและเสียง	33
3.2.5 ทดสอบความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียง	33

3.2.7 วิเคราะห์ข้อมูลการได้รับมลพิษทางอากาศและเสียงของแรงงาน.....	34
3.3 กรอบแนวความคิดงานวิจัย	34
3.3.1 ขั้นตอนการเก็บข้อมูลมลพิษทางอากาศและเสียงโดยเครื่องมือวัดส่วนบุคคล	36
3.4 สรุปวิธีการดำเนินงานวิจัย	37
บทที่ 4 ระบบตรวจวัดมลพิษทางอากาศและเสียงในโครงการก่อสร้างที่พักอาศัย.....	38
4.1 แนวทางการพัฒนาระบบ.....	38
4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียง	38
4.2.1 ตัวรับส่งสัญญาณข้อมูลเพื่อใช้ Internet of things (IoT)	40
4.2.2 เซนเซอร์วัดปริมาณฝุ่นละออง.....	41
4.2.3 เซนเซอร์ตรวจวัดมลพิษทางอากาศ.....	43
4.2.4 โมดูลวัดเสียง	46
4.2.5 โมดูลชาร์จแบตเตอรี่	48
4.2.6 แบตเตอรี่ภายในกล่องเครื่องมือวัดมลพิษ	48
4.2.7 ไดโอดเปล่งแสง (Light-emitting diode, LED)	49
4.2.8 แผ่นวงจรพิมพ์ Print Circuit Board (PCB).....	50
4.2.9 เครื่องมือช่วยกระจายสัญญาณอินเทอร์เน็ต	53
4.2.10 แหล่งพลังงานไฟฟ้า	53
4.2.11 กล่องบันทึกวิดีโอขนาดเล็ก	54
4.2.12 เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผล	55
4.3 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในระบบวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียง	56
4.3.1 Arduino IDE	56
4.3.2 Blynk Platform.....	64
4.3.3 LINE Notify.....	66
4.3.4 Fowl Application.....	67

4.4 การทดสอบความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคล	68
4.4.1 การทดสอบความคลาดเคลื่อนของเซนเซอร์วัดฝุ่นละออง (PM-T7).....	69
4.4.2 การทดสอบความคลาดเคลื่อนของเซนเซอร์วัดก๊าซ (Grove-Gas Sensor V2 Multichannel).....	72
4.4.3 การทดสอบความคลาดเคลื่อนของเซนเซอร์วัดความดังของเสียง (PR-ZS-BZ-485) ...	75
4.5 สรุบบระบบตรวจวัดมลพิษทางอากาศและเสียงในโครงการก่อสร้างที่พักอาศัย	76
4.5.1 การเก็บข้อมูลปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงภาคสนาม.....	76
4.5.2 การแสดงผลข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ปัญหามลพิษทางอากาศและเสียง	77
บทที่ 5 การประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคล ในโครงการก่อสร้างที่พักอาศัย	78
5.1 ขั้นตอนการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษส่วนบุคคลกับโครงการก่อสร้างที่พักอาศัย	78
5.2 ผลการประยุกต์ใช้.....	79
5.2.1 ผลการประยุกต์ใช้กับโครงการกรณีศึกษาที่ 1	79
5.2.1.1 กิจกรรมตัดและตัดเหล็ก โครงการกรณีศึกษาที่ 1	80
5.2.1.2 กิจกรรมเชื่อมโลหะ โครงการกรณีศึกษาที่ 1	84
5.2.2 ผลการประยุกต์ใช้กับโครงการกรณีศึกษาที่ 2	88
5.2.2.1 กิจกรรมปูกระเบื้อง โครงการกรณีศึกษาที่ 2.....	89
5.2.2.2 กิจกรรมก่ออิฐฉาบปูน โครงการกรณีศึกษาที่ 2	95
5.2.3 ผลการประยุกต์ใช้กับโครงการกรณีศึกษาที่ 3.....	101
5.2.3.1 กิจกรรมปูกระเบื้อง โครงการกรณีศึกษาที่ 3	102
5.2.3.2 กิจกรรมงานทาสี โครงการกรณีศึกษาที่ 3	108
5.2.4 ผลการประยุกต์ใช้กับโครงการกรณีศึกษาที่ 4.....	114
5.2.4.1 กิจกรรมงานประกอบแบบหล่อคอนกรีต โครงการกรณีศึกษาที่ 4.....	114
5.2.4.2 กิจกรรมงานวางท่อประปา โครงการกรณีศึกษาที่ 4.....	120

5.3 สรุปผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลในโครงการก่อสร้างที่ พักอาศัยกับกรณีศึกษา.....	124
5.3.1 กิจกรรมก่อสร้างในโครงการกรณีศึกษา	125
5.3.2 แนวทางเบื้องต้นในการใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคล	127
5.4 ข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้เครื่องมือตรวจวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลในโครงการ ก่อสร้างที่พักอาศัยกับกรณีศึกษา	127
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	128
6.1 สรุปการวิจัย.....	128
6.2 ข้อจำกัดของงานวิจัย	130
6.3 ผลการทำงานวิจัย.....	131
6.4 ข้อเสนอแนะและแนวทางพัฒนางานวิจัยในอนาคต	131
บรรณานุกรม.....	133
ประวัติผู้เขียน.....	140

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบฝุ่นละอองที่ตกได้และฝุ่นละอองที่แขวนลอย ที่มา : (สุดจิต คุรุจิต และคณะ , 2553).....	8
ตารางที่ 2.2 แหล่งที่มา กระบวนการเกิด และองค์ประกอบหลักของฝุ่นละอองขนาดใหญ่และขนาดเล็ก ที่มา : (สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ กระทรวงสาธารณสุข, 2559)	9
ตารางที่ 2.3 การแทนค่าของตัวแปรในสมการที่ (2.2) ที่มา : (กระทรวงสาธารณสุข 2558).....	14
ตารางที่ 2.4 การแทนค่าของตัวแปรในสมการที่ (2.3).....	15
ตารางที่ 2.5 กฎหมายและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศ ที่มา : (กระทรวงสาธารณสุข, 2558).....	17
ตารางที่ 2.6 เปรียบเทียบ WHO AQGs และ Interim Targets สำหรับค่าเฉลี่ย PM 10 ในเวลา 24 ชั่วโมง ที่มา : (กระทรวงสาธารณสุข, 2558).....	18
ตารางที่ 2.7 เปรียบเทียบระหว่างค่ามาตรฐานของสารมลพิษทางอากาศของประเทศไทยกับต่างประเทศ (หน่วย มก./ลบ.ม.) ที่มา : (กระทรวงสาธารณสุข, 2558)	19
ตารางที่ 2.8 มาตรฐานของ PM 2.5 ในบรรยากาศของแต่ละประเทศ ที่มา : (ศิริมา ปัญญาเมธิกุล, 2018).....	20
ตารางที่ 2.9 ตารางแสดงการใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียง.....	27
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงคุณสมบัติของ Air Quality 7 Sensor RS485 (PM-T7).....	42
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงคุณสมบัติของ GM-102B	44
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงคุณสมบัติของ GM-107B	45
ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงคุณสมบัติของ PR-ZS-BZ-485Z (ที่มา : item.taobao.com/item.htm?id=584732275016)	47
ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงการทำงานของหลอดไฟLEDเมื่อเครื่องมือวัดสัมผัสกับมลพิษโดยอ้างอิงจากผลกระทบสุขภาพอนามัย (ดัดแปลงจากกองคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ)	49

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าปริมาณฝุ่นละออง (PM 2.5) ที่วัดได้จากเซนเซอร์ PM-T7 กับสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 13T	70
ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าปริมาณฝุ่นละออง (PM 10) ที่วัดได้จากเซนเซอร์ PM-T7 กับสถานีวัดคุณภาพอากาศ 13T	71
ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO) ที่วัดได้จากเซนเซอร์ Grove และ สถานีวัดคุณภาพอากาศ 13T	73
ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่วัดได้จากเซนเซอร์ Grove และ สถานีวัดคุณภาพอากาศ 13T.....	74
ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าความดังของเสียงที่วัดได้จากเซนเซอร์ PR-ZS-BZ-485 กับ เครื่องวัดความดังของเสียง Uni-T	75
ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงระดับของดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) โดยอ้างอิงจากผลกระทบสุขภาพอนามัย (ดัดแปลงจากกองคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ)	79
ตารางที่ 5.2 ตารางแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงเฉลี่ยต่อวันที่ (PM 2.5, PM 10, CO, NO ₂ , dB(A)) (แรงงานคนที่ 1 กิจกรรมตัดและตัดเหล็ก โครงการกรณีศึกษาที่ 1).....	81
ตารางที่ 5.3 ตารางแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงสูงสุดในช่วงเวลาทำงาน (PM 2.5, PM 10, CO, NO ₂ , dB(A)) (แรงงานคนที่ 1 กิจกรรมตัดและตัดเหล็ก โครงการกรณีศึกษาที่ 1)	81
ตารางที่ 5.4 ตารางแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงเฉลี่ยต่อวันที่ (PM 2.5, PM 10, CO, NO ₂ , dB(A)) (แรงงานคนที่ 2 กิจกรรมตัดและตัดเหล็ก โครงการกรณีศึกษาที่ 1).....	83
ตารางที่ 5.5 ตารางแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงสูงสุดในช่วงเวลาทำงาน (PM 2.5, PM 10, CO, NO ₂ , dB(A)) (แรงงานคนที่ 2 กิจกรรมตัดและตัดเหล็ก โครงการกรณีศึกษาที่ 1)	83
ตารางที่ 5.6 ตารางแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงเฉลี่ยต่อวันที่ (PM 2.5, PM 10, CO, NO ₂ , dB(A)) (แรงงานคนที่ 1 กิจกรรมเชื่อมโลหะ โครงการกรณีศึกษาที่ 1).....	85
ตารางที่ 5.7 ตารางแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงสูงสุดในช่วงเวลาทำงาน (PM 2.5, PM 10, CO, NO ₂ , dB(A)) (แรงงานคนที่ 1 กิจกรรมเชื่อมโลหะ โครงการกรณีศึกษาที่ 1).....	85
ตารางที่ 5.8 ตารางแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงเฉลี่ยต่อวันที่ (PM 2.5, PM 10, CO, NO ₂ , dB(A)) (แรงงานคนที่ 2 กิจกรรมเชื่อมโลหะ โครงการกรณีศึกษาที่ 1).....	87

[illegible]

[illegible]

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 แนวโน้มการขยายตัวของที่อยู่อาศัย ประเภทบ้านเดี่ยว ในเขตกรุงเทพมหานคร พ.ศ.2558-2562 (กองนโยบายและแผนงาน, 2563).....	2
รูปที่ 1.2 ปริมาณ PM 2.5 ในพื้นที่กรุงเทพฯ และปริมณฑล (ที่มา : https://www.bangkokbiznews.com/news/detail/912167).....	2
รูปที่ 1.3 สัดส่วนเรื่องร้องเรียนปี 2566 (กรมควบคุมมลพิษ, 2566)	3
รูปที่ 2.1 ขนาดของฝุ่นละออง (EPA, 2017).....	7
รูปที่ 2.2 เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศชนิด High Volume Air Sampler.....	12
รูปที่ 2.3 หัววัดขนาดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (กรมควบคุมมลพิษ, 2546).....	12
รูปที่ 2.4 รูปภาพแสดงดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย (ที่มา: https://www.gistda.or.th/news_view.php?n_id=5746&lang=TH)	19
รูปที่ 3.1 สรุปขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	34
รูปที่ 3.2 รูปภาพแสดงกรอบแนวคิดงานวิจัยเครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงในโครงการก่อสร้างที่พักอาศัย	35
รูปที่ 3.3 รูปภาพแสดงขั้นตอนการเก็บข้อมูลปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียง โดยเครื่องมือวัดส่วนบุคคล.....	36
รูปที่ 4.1 รูปภาพแสดงเครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงที่ติดไว้กับแรงงาน	39
รูปที่ 4.2 รูปภาพแสดงผังการทำงานและอุปกรณ์ของระบบวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียง..	39
รูปที่ 4.3 รูปภาพแสดงอุปกรณ์ในกล่องเครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียง ประกอบไปด้วยบอร์ดMCU ESP-32 เซนเซอร์วัดปริมาณฝุ่นละออง เซนเซอร์วัดปริมาณก๊าซ เซนเซอร์วัดความดังของเสียง แผ่นวงจรพิมพ์ แบตเตอรี่สำรองพลังงาน และหลอดไฟ LED	40
รูปที่ 4.4 รูปภาพแสดงโมดูล ESP32 MH-ET LIVE D1 mini ESP32 ESP-32 WiFi+Bluetooth Internet of Things development board CH9102 ที่ใช้ในงานวิจัย	40

รูปที่ 4.5 รูปภาพแสดงเครื่องวัดฝุ่นละออง Air Quality 7 Sensor RS485 (PM-T7) (ที่มา : www.sumtechstores.com/product/323/air-quality-7-sensor-rs485).....	41
รูปที่ 4.6 รูปภาพแสดงหลักการทำงานของเครื่องวัดฝุ่นละออง	42
รูปที่ 4.7 รูปภาพแสดงโมดูลวัดก๊าซ Grove - Gas Sensor V2 (Multichannel) (ที่มา : www.wiki.seeedstudio.com/Grove-Multichannel-Gas-Sensor-V2/).....	43
รูปที่ 4.8 รูปภาพแสดงโมดูลวัดเสียงรุ่น PR-ZS-BZ-485 ที่มา : (Cybertice, 2565).....	46
รูปที่ 4.9 รูปภาพแสดงโมดูลชาร์จแบตเตอรี่ลิเธียม 4.2V พร้อมวงจรจ่ายไฟและวงจรป้องกัน 5V2A charge integrated module Type-C input ที่มา : (Cybertice, 2564).....	48
รูปที่ 4.10 รูปภาพแสดงแบตเตอรี่ลิเธียมโพลีเมอร์ 3.7V ความจุ 2000 mAh ที่มา : (Cybertice, 2562).....	48
รูปที่ 4.11 รูปภาพแสดงไดโอดเปล่งแสง (Light-emitting diode,LED)	49
รูปที่ 4.12 รูปภาพแสดงตัวอย่าง Print Circuit Board (PCB) ที่ใช้ในงานวิจัย	50
รูปที่ 4.13 รูปภาพแสดง schematic diagram ของบอร์ด MCU ESP32.....	50
รูปที่ 4.14 รูปภาพแสดง schematic diagram ของไดโอดเปล่งแสง (LED).....	51
รูปที่ 4.15 รูปภาพแสดง schematic diagram ของแหล่งจ่ายไฟ.....	51
รูปที่ 4.16 รูปภาพแสดง schematic diagram ของ I2C	51
รูปที่ 4.17 รูปภาพแสดง schematic diagram ของ RS485	52
รูปที่ 4.18 รูปภาพแสดงแบบจำลอง PCB ที่ใช้ในงานวิจัย.....	52
รูปที่ 4.19 รูปภาพแสดง ZMI MF885 4G WiFi Router 10000mAh	53
รูปที่ 4.20 รูปภาพแสดงแบตเตอรี่สำรอง Eloop รุ่น E14.....	53
รูปที่ 4.21 รูปภาพแสดงกล่อง Mini wifi IP Camera รุ่น YR-9 FULL HD 1080P	54
รูปที่ 4.22 รูปภาพแสดงตัวอย่าง Dashboard แบบเรียลไทม์ของ Blynk	55
รูปที่ 4.23 รูปภาพแสดงตัวอย่าง กราฟค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของ Blynk.....	55
รูปที่ 4.24 รูปภาพแสดงข้อมูล วันเดือนปี เวลา ปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียง (PM 2.5, PM 10, CO, NO ₂ , dB(A))	56

รูปที่ 4.25 รูปภาพแสดงโปรแกรม Arduino IDE ที่ใช้ในงานวิจัย.....	56
รูปที่ 4.26 รูปภาพแสดงการเลือกรุ่นบอร์ด Arduino ที่ใช้ หลังจากการเขียนโปรแกรม.....	57
รูปที่ 4.27 รูปภาพ Blynk Application ที่ผู้วิจัยเลือกใช้ในการเก็บและแสดงผลข้อมูลปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียง (ที่มา : https://iot.jpnet.co.th/blynk/).....	64
รูปที่ 4.28 รูปภาพแสดงการเลือกรุ่นบอร์ด Arduino ที่ใช้ หลังจากการเขียนโปรแกรม (ที่มา : https://iot.jpnet.co.th/blynk/).....	65
รูปที่ 4.29 รูปภาพแสดงโลโก้ของโปรแกรม LINE Notify (ที่มา : www.linedevth.line.me/th/line-notify)	66
รูปที่ 4.30 รูปภาพแสดงการแจ้งเตือนมลพิษทางอากาศผ่าน LINE Notify ของผู้วิจัย	67
รูปที่ 4.31 รูปภาพแสดงโลโก้ของ Fowl Application (ที่มา : www.camsoy.com/blogs/news/the-brief-introduction-of-fowl).....	67
รูปที่ 4.32 รูปภาพแสดงตัวอย่างวิดีโอผ่าน Fowl App	68
รูปที่ 4.33 รูปภาพแสดงการสอบเทียบเครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศ กับสถานีวัดมลพิษทางอากาศ สถานี 13T กรมควบคุมโรค.....	69
รูปที่ 4.34 รูปภาพแสดงการสอบเทียบเครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศ กับสถานีวัดมลพิษทางอากาศ สถานี 13T กรมควบคุมโรค.....	72
รูปที่ 4.35 รูปภาพแสดงเครื่องมือวัดความดังของเสียงเสียง UNI-T รุ่น UT353.....	76
รูปที่ 5.1 รูปภาพแสดงโครงการกรณีศึกษาที่ 1 ซึ่งเป็นการก่อสร้างอาคารพักอาศัยรวม	80
รูปที่ 5.2 รูปภาพแสดงแรงงานที่ติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคล (กิจกรรมตัดและตัดเหล็ก คนที่ 1).....	80
รูปที่ 5.3 รูปภาพแสดงกิจกรรมตัดและตัดเหล็ก (โครงการกรณีศึกษาที่ 1)	81
รูปที่ 5.4 รูปภาพแสดงแรงงานที่ติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคล (กิจกรรมตัดและตัดเหล็ก คนที่ 2).....	82
รูปที่ 5.5 รูปภาพแสดงกิจกรรมกิจกรรมหลักตัดและตัดเหล็ก (โครงการกรณีศึกษาที่ 1).....	82
รูปที่ 5.6 รูปภาพแสดงแรงงานที่ติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคล (กิจกรรมเชื่อมโลหะ คนที่ 1).....	84

รูปที่ 5.7 รูปภาพแสดงกิจกรรมเชื่อมโลหะ (โครงการกรณีศึกษาที่ 1)	84
รูปที่ 5.8 รูปภาพแสดงกิจกรรมเชื่อมโลหะ (โครงการกรณีศึกษาที่ 1)	86
รูปที่ 5.9 รูปภาพแสดงแรงงานที่ติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคล (กิจกรรมเชื่อมโลหะ คนที่ 2).....	86
รูปที่ 5.10 รูปภาพแสดงกิจกรรมเชื่อมโลหะ (โครงการกรณีศึกษาที่ 1)	87
รูปที่ 5.11 รูปภาพแสดงกิจกรรมเป่าตัดโลหะด้วยแก๊ส (โครงการกรณีศึกษาที่ 1)	88
รูปที่ 5.12 รูปภาพแสดงโครงการกรณีศึกษาที่ 2 ซึ่งเป็นการก่อสร้างที่พักอาศัย	89
รูปที่ 5.13 รูปภาพแสดงแรงงานที่ติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคล (กิจกรรมปูกระเบื้อง คนที่ 1)	89
รูปที่ 5.14 รูปภาพแสดงกิจกรรมผสมปูน (โครงการกรณีศึกษาที่ 2).....	90
รูปที่ 5.15 รูปภาพแสดงกิจกรรมเกลี่ยปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง (โครงการกรณีศึกษาที่ 2).....	92
รูปที่ 5.16 รูปภาพแสดงแรงงานที่ติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและ เสียงส่วนบุคคล (กิจกรรมปูกระเบื้อง คนที่ 2).....	92
รูปที่ 5.17 รูปภาพแสดงกิจกรรมเกลี่ยปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง (โครงการกรณีศึกษาที่ 2).....	93
รูปที่ 5.18 รูปภาพแสดงกิจกรรมเจียรกระเบื้อง (โครงการกรณีศึกษาที่ 2).....	95
รูปที่ 5.19 รูปภาพแสดงแรงงานที่ติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคล (กิจกรรมก่ออิฐฉาบผิว คนที่ 1).....	95
รูปที่ 5.20 รูปภาพแสดงกิจกรรมก่ออิฐฉาบผิว (โครงการกรณีศึกษาที่ 2)	96
รูปที่ 5.21 รูปภาพแสดงกิจกรรมตัดอิฐฉาบผิว (โครงการกรณีศึกษาที่ 2)	97
รูปที่ 5.22 รูปภาพแสดงแรงงานที่ติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและ เสียงส่วนบุคคล (กิจกรรมก่ออิฐฉาบผิว คนที่ 2).....	98
รูปที่ 5.23 รูปภาพแสดงกิจกรรมผสมปูนก่อ (โครงการกรณีศึกษาที่ 2)	99
รูปที่ 5.24 รูปภาพแสดงกิจกรรมตัดอิฐฉาบผิว (โครงการกรณีศึกษาที่ 2)	101
รูปที่ 5.25 รูปภาพแสดงโครงการกรณีศึกษาที่ 3 ซึ่งเป็นการก่อสร้างที่พักอาศัย ประเภทบ้านเดี่ยว	101

รูปที่ 5.26 รูปภาพแสดงแรงงานที่ติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคล (กิจกรรมปุกระเบื่องห้องครัว คนที่ 1)	102
รูปที่ 5.27 รูปภาพแสดงกิจกรรมสกัดพื้น (โครงการกรณีศึกษาที่ 3).....	102
รูปที่ 5.28 รูปภาพแสดงกิจกรรมเจียรกระเบื้อง (โครงการกรณีศึกษาที่ 3).....	105
รูปที่ 5.29 รูปภาพแสดงแรงงานที่ติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณมลพิษทางอากาศ และเสียงส่วนบุคคล (กิจกรรมกิจกรรมปุกระเบื่องห้องน้ำ คนที่ 2).....	105
รูปที่ 5.30 รูปภาพแสดงกิจกรรมเกลี่ยปูนปรับระดับก่อนปุกระเบื่อง (โครงการกรณีศึกษาที่ 3).....	106
รูปที่ 5.31 รูปภาพแสดงกิจกรรมเจียรกระเบื้อง (โครงการกรณีศึกษาที่ 3).....	108
รูปที่ 5.32 รูปภาพแสดงแรงงานที่ติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคล (กิจกรรมทาสี คนที่ 1).....	108
รูปที่ 5.33 รูปภาพแสดงกิจกรรมทาสี (โครงการกรณีศึกษาที่ 3)	109
รูปที่ 5.34 รูปภาพแสดงกิจกรรมขัดแต่งปูนสกินโค้ท (โครงการกรณีศึกษาที่ 3).....	111
รูปที่ 5.35 รูปภาพแสดงแรงงานที่ติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคล (กิจกรรมงานทาสี คนที่ 2).....	111
รูปที่ 5.36 รูปภาพแสดงกิจกรรมทาสี (โครงการกรณีศึกษาที่ 3)	112
รูปที่ 5.37 รูปภาพแสดงกิจกรรมขัดแต่งปูนสกินโค้ท (โครงการกรณีศึกษาที่ 3).....	113
รูปที่ 5.38 รูปภาพแสดงโครงการกรณีศึกษาที่ 4 ซึ่งเป็นการก่อสร้างที่พักอาศัย	114
รูปที่ 5.39 รูปภาพแสดงแรงงานที่ติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคล (กิจกรรมงานประกอบแบบหล่อคอนกรีต คนที่ 1).....	114
รูปที่ 5.40 รูปภาพแสดงกิจกรรมผูกเชือกตั้งนั่งร้าน (โครงการกรณีศึกษาที่ 4).....	115
รูปที่ 5.41 รูปภาพแสดงแรงงานที่ติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณมลพิษทางอากาศ และเสียงส่วนบุคคล (กิจกรรมงานประกอบแบบหล่อคอนกรีต คนที่ 2).....	117
รูปที่ 5.42 รูปภาพแสดงกิจกรรมตั้งไม้แบบ (โครงการกรณีศึกษาที่ 4)	118
รูปที่ 5.43 รูปภาพแสดงกิจกรรมตัดอิฐมวลเบาโดยใช้เลื่อย (โครงการกรณีศึกษาที่ 4).....	119
รูปที่ 5.44 รูปภาพแสดงแรงงานที่ติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคล (กิจกรรมงานวางท่อประปา).....	120

รูปที่ 5.45 รูปภาพแสดงกิจกรรมวางท่อ (โครงการกรณีศึกษาที่ 4)	120
รูปที่ 5.46 รูปภาพแสดงกิจกรรมสกัดพื้น (โครงการกรณีศึกษาที่ 4).....	122
รูปที่ 5.47 รูปภาพแสดงแรงงานที่ติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและ เสียงส่วนบุคคล (กิจกรรมงานวางท่อประปา คนที่ 2)	122
รูปที่ 5.48 รูปภาพแสดงกิจกรรมเจาะผนัง (โครงการกรณีศึกษาที่ 4).....	123
รูปที่ 5.49 รูปภาพแสดงกิจกรรมสกัดพื้นวางท่อ (โครงการกรณีศึกษาที่ 4).....	124



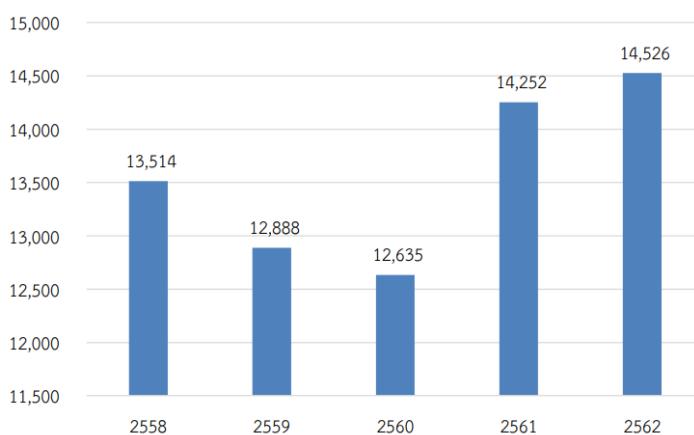
บทที่ 1

บทนำ

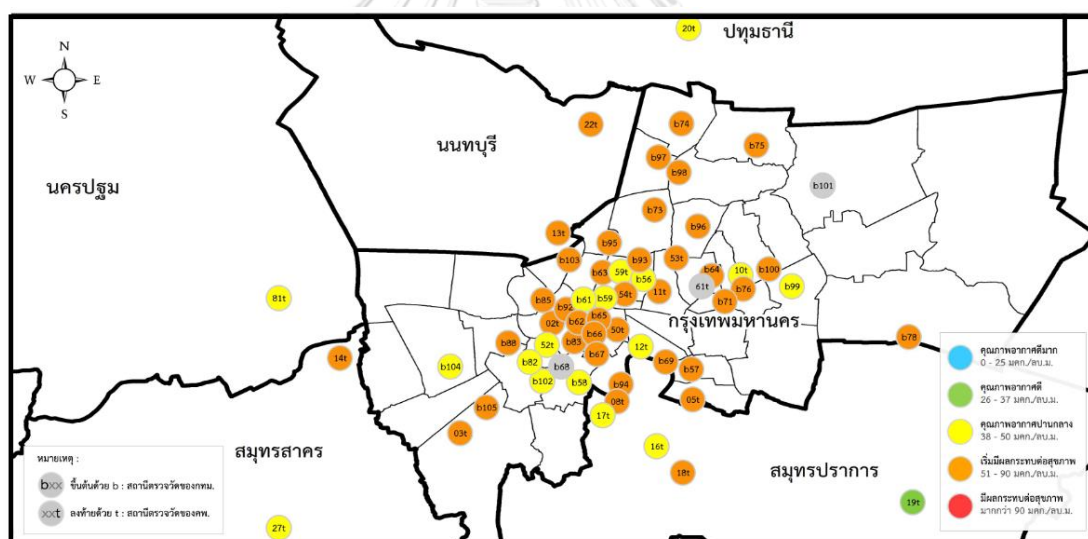
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การขยายตัวทางเศรษฐกิจและการเพิ่มขึ้นของประชากรทำให้เกิดการขยายตัวของเมืองอย่างรวดเร็วซึ่งธุรกิจพัฒนาอสังหาริมทรัพย์เป็นธุรกิจที่มีบทบาทสำคัญต่อการขยายตัวเศรษฐกิจของประเทศ และโครงการจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยวมีแนวโน้มในการขยายตัวมากขึ้น นำไปสู่การเพิ่มขึ้นของงานก่อสร้างที่พักอาศัยจำนวนมาก (อภิษฎา รุจิชัยกุล, 2560) งานก่อสร้างโครงการเหล่านี้เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศและเสียงที่สำคัญ สำหรับมลพิษทางอากาศโดยเฉพาะอย่างยิ่งฝุ่นละอองเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญในประเทศไทยซึ่งปัจจุบันมีระดับฝุ่นละอองขนาด 10 - 2.5 ไมครอน (PM 10 - 2.5) เกินค่ามาตรฐานในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ดังแสดงในรูปที่ 1.2 การที่วิถีชีวิตของประชาชนเปลี่ยนแปลงไปและจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วส่งผลให้เกิดการใช้ทรัพยากรและพลังงานมากขึ้นทั้งในภาคอุตสาหกรรม ภาคคมนาคม และภาคส่วนอื่นๆ ซึ่งการใช้พลังงานจากฟอสซิลจะทำให้เกิดการปล่อยก๊าซที่เป็นพิษ เช่น ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอนามัยของประชาชน ปัญหามลพิษทางอากาศและเสียงเกิดจากหลายสาเหตุประกอบกัน เช่น โรงงานอุตสาหกรรมปล่อยมลพิษทางอากาศโดยไม่ผ่านการบำบัด การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของรถยนต์เครื่องยนต์ดีเซล (เช่น รถบรรทุก) การจราจรที่หนาแน่นซึ่งส่งผลให้เกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างต่อเนื่อง และหมอกควันจากประเทศเพื่อนบ้าน (กรมอนามัยและกรมควบคุมโรค, 2558)

แผนภูมิที่ 4.13 แสดงแนวโน้มการขยายตัวของที่อยู่อาศัย ประเภทบ้านเดี่ยว
ในเขตกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2558 – 2562



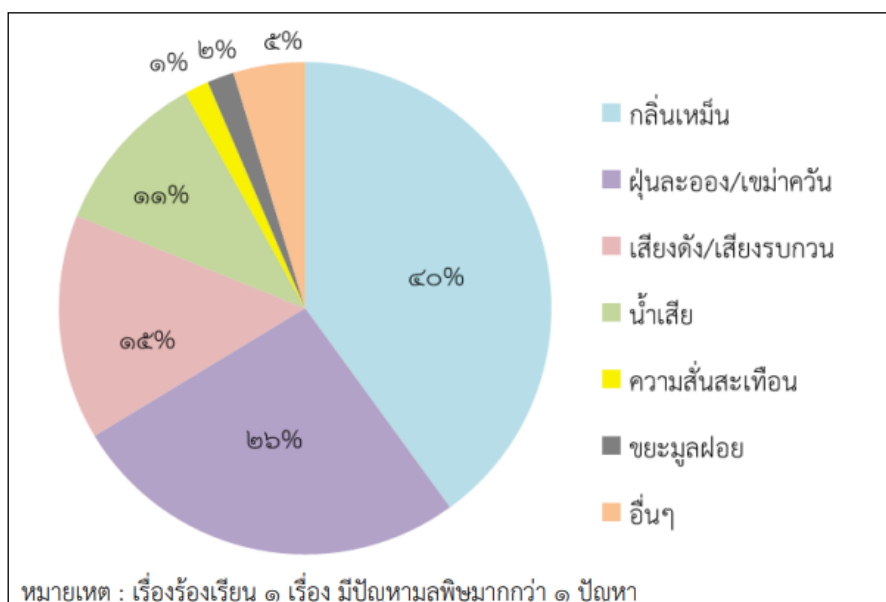
รูปที่ 1.1 แนวโน้มการขยายตัวของที่อยู่อาศัย ประเภทบ้านเดี่ยว ในเขตกรุงเทพมหานคร
พ.ศ.2558-2562 (กองนโยบายและแผนงาน, 2563)



รูปที่ 1.2 ปริมาณ PM 2.5 ในพื้นที่กรุงเทพฯ และปริมณฑล
(ที่มา : <https://www.bangkokbiznews.com/news/detail/912167>)

จากรายงานของกรมควบคุมมลพิษพบว่าในรอบ 6 เดือน ระหว่างวันที่ 1 ตุลาคม 2565 ถึง 31 มีนาคม 2565 กรมควบคุมมลพิษได้รับแจ้งเรื่องร้องเรียนด้านมลพิษจำนวน 1,120 เรื่อง พื้นที่ที่มีการร้องเรียนมากที่สุด 5 อันดับแรกคือ คือ กรุงเทพมหานครมีการร้องเรียน 278 เรื่อง จังหวัดสมุทรปราการมีการร้องเรียน 66 เรื่อง และจังหวัดสมุทรสาครมีการร้องเรียน 63 เรื่อง โดยมีการ

ร้องเรียนเกี่ยวกับปัญหากลิ่นเหม็นมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 40 รองลงมาเป็นปัญหาฝุ่นละออง ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 26 ดังแสดงในรูปที่ 1.3 (กรมควบคุมมลพิษ, 2566)



รูปที่ 1.3 สัดส่วนเรื่องร้องเรียนปี 2566 (กรมควบคุมมลพิษ, 2566)

ปัญหาฝุ่นละอองที่เกิดจากการก่อสร้างเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนและสิ่งแวดล้อมอย่างรุนแรง โดยฝุ่นละอองที่เกิดจากการรื้อถอน การขุดเจาะ การบดอัด การผสมคอนกรีต การขนย้ายวัสดุก่อสร้าง ซึ่งฝุ่นละอองเหล่านี้สามารถลอยตัวอยู่ในอากาศได้เป็นเวลานานและสามารถเข้าสู่ร่างกายของเราได้ผ่านทางหายใจ ก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพต่างๆ มากมาย เช่น โรคทางเดินหายใจ โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคมะเร็งปอด นอกจากผลกระทบต่อสุขภาพแล้ว ฝุ่นละอองที่เกิดจากการก่อสร้างยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยฝุ่นละอองเหล่านี้สามารถลอยตัวไปไกลและตกสะสมบนพื้นผิวต่างๆ เช่น ต้นไม้ อาคารบ้านเรือน ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศและสิ่งแวดล้อมที่รุนแรง (Workpointtoday, 2563)

อย่างไรก็ตามหากการก่อสร้างที่มีอยู่ทั่วพื้นที่กรุงเทพมหานคร และปริมณฑลโดยเฉพาะการก่อสร้างต่อเติมและดัดแปลงอาคารที่มีความสูงตั้งแต่ 10 เมตรขึ้นไปขาดการควบคุมอย่างถูกต้องจะก่อให้เกิดมลพิษทางเสียงและฝุ่นละอองกระจายในบรรยากาศโดยตรง (Fu et al., 2012) นอกจากนี้การเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องจักรและรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่งต่างๆ จะทำให้เกิดฝุ่น PM 10 และ PM 2.5 ทางอ้อม ปัญหาเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อผู้ที่เกี่ยวข้องในงานก่อสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งแรงงานขณะปฏิบัติงานก่อสร้างซึ่งมีความเสี่ยงและได้รับผลกระทบจากมลพิษทางอากาศและทางเสียงมากที่สุด เนื่องจากต้องทำงานในสภาพแวดล้อมที่มีฝุ่นละอองและเสียงดังสูงเป็น

เวลานาน ฝุ่นละอองที่เกิดจากการก่อสร้าง ได้แก่ ฝุ่นดิน ฝุ่นหิน ฝุ่นปูน ฝุ่นไม้ สามารถเข้าสู่ร่างกายของคนงานได้ผ่านทางการหายใจ ก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพต่างๆ เช่น โรคทางเดินหายใจ โรคหัวใจและหลอดเลือด นอกจากนี้ เสียงดังจากเครื่องจักรก่อสร้าง เช่น รถบดถนน รถตักดิน รถเจาะคอนกรีต ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของแรงงานได้เช่นกัน เสียงดังที่สูงเกินมาตรฐานสามารถทำให้เกิดอาการหูอื้อ เวียนศีรษะ เครียด หงุดหงิด นอนไม่หลับ ในระยะยาวอาจนำไปสู่ปัญหาสุขภาพที่รุนแรง เช่น โรคประสาทหูเสื่อม โรคหลอดเลือดสมอง โดยปัจจัยที่ส่งผลให้แรงงานก่อสร้างมีความเสี่ยงและได้รับผลกระทบจากมลพิษทางอากาศและเสียงมากที่สุด เนื่องจากลักษณะงานก่อสร้างที่ต้องใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่มีเสียงดังสูง สภาพแวดล้อมในการทำงานที่คับแคบและปิดทึบ ทำให้ฝุ่นละอองกระจายตัวอยู่ในอากาศได้นาน

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการวิเคราะห์มลพิษทางอากาศและเสียง (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) ที่เกิดจากกิจกรรมย่อยของการก่อสร้างที่พักอาศัยโดยเครื่องมือวัดส่วนบุคคลร่วมกับบันทึกวีดีโอ ซึ่งผู้วิจัยสร้างเครื่องมือตรวจวัดมลพิษทางอากาศและเสียงแบบเรียลไทม์ โดยนำเทคโนโลยี Internet of Things (IoT) เช่น เซอร์วิตฝุ่นละออง เซอร์วิตก๊าซ เซอร์วิตความดังของเสียง และกล้องบันทึกวีดีโอขนาดเล็ก มาประยุกต์ใช้เพื่อตรวจวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงที่แรงงานได้รับจากการก่อสร้าง และวิเคราะห์กิจกรรมย่อยที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศและเสียง เพื่อหาแนวทางแก้ไขปัญหาและควบคุมมลพิษภายในโครงการก่อสร้างอาคารที่พักอาศัยไม่ให้เกินมาตรฐานและปรับปรุงพัฒนาระบบตรวจสอบให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นด้วยต้นทุนของเทคโนโลยีที่สามารถควบคุมได้และเหมาะสมกับลักษณะของงานก่อสร้าง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อสร้างเครื่องมือและระบบวัดมลพิษทางอากาศและเสียง (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) โดยประยุกต์ใช้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับเซนเซอร์วัดมลพิษขนาดเล็ก

1.2.2 เพื่อสร้างระบบแจ้งเตือนแรงงานขณะปฏิบัติงานหากมีปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงเกินค่ามาตรฐาน

1.2.3 เพื่อวิเคราะห์กิจกรรมย่อยที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศและเสียง (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) ที่แรงงานได้รับจากการก่อสร้าง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาปัญหามลพิษทางอากาศและเสียง ประกอบไปด้วย ฝุ่นละอองที่อนุภาคมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2.5 ไมครอน (PM 2.5) และอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง น้อยกว่า 10 ไมครอน (PM 10) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) และระดับความดังของเสียง (dB(A))

1.3.2 ศึกษาปัญหามลพิษทางอากาศและเสียงที่เกิดจากกระบวนการก่อสร้างที่พักอาศัยในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล

1.3.3 ศึกษากิจกรรมย่อยของการก่อสร้างที่เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศและเสียง ได้แก่ 1. งานตัดและตัดเหล็ก 2. งานเชื่อมโลหะ 3. งานปูกระเบื้อง 4. งานก่ออิฐฉาบปูน 5. งานทาสี 6. งานประกอบแบบหล่อคอนกรีต และ 7. งานวางท่อประปา

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เครื่องมือวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลแบบเรียลไทม์ที่มีประสิทธิภาพและราคาถูก โดยระบบสามารถเก็บและบันทึกปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงที่แรงงานได้รับจากกิจกรรมงานก่อสร้างเพื่อให้สามารถตรวจสอบย้อนหลังได้

1.4.2 ระบบแจ้งเตือนแรงงานขณะที่ปฏิบัติงาน หากมีปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงเกินค่ามาตรฐาน

1.4.3 ทราบปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงจากกิจกรรมย่อยของงานก่อสร้างที่พักอาศัย เพื่อสร้างความตระหนัก และหาแนวทางลดปริมาณมลพิษ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะเป็นการศึกษาแนวคิดและทฤษฎีจากเอกสาร บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศและมลพิษทางเสียงที่เกิดจากโครงการก่อสร้างที่พักอาศัย ความรู้ที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรมจะนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล วางแผนและสร้างกรอบงานวิจัย ตลอดจนอธิบายผลการวิจัยของงานวิจัยนี้

2.1 มลพิษทางอากาศ

มลพิษทางอากาศ (Air Pollution) หมายถึง ภาวะของอากาศที่มีสารเจือปนอยู่ในปริมาณที่มากพอและเป็นระยะเวลานานพอที่จะทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ สัตว์ พืช และวัสดุต่างๆ สารเจือปนดังกล่าวอาจเป็นธาตุหรือสารประกอบที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหรือเกิดจากการกระทำของมนุษย์ ซึ่งอาจอยู่ในรูปของก๊าซ หยดของเหลว หรือ อนุภาคของแข็งก็ได้ สารมลพิษทางอากาศหลักที่สำคัญ คือ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Small particle matter) ก๊าซตะกั่ว (Pb) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และก๊าซโอโซน (O₃) (นพภาพร พานิช และคณะ, 2562)

2.1.1 ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM 2.5 และ PM 10)

2.1.1.1 นิยามของฝุ่นละออง

กรมอนามัยและกรมควบคุมโรค (2558) ได้นิยาม “ฝุ่นละออง” ว่าหมายถึง “อนุภาคของแข็งและหยดละอองของเหลวที่แขวนลอยกระจายในอากาศ” อนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในอากาศบางชนิดมีขนาดใหญ่และมีสีดำจางมองเห็นเป็นเขม่าและควัน แต่บางชนิดมีขนาดเล็กมากจนมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ฝุ่นละอองที่แขวนลอยในบรรยากาศ โดยทั่วไปมีขนาดตั้งแต่ 100 ไมครอนลงมา

นพภาพร พานิช และคณะ (2558) ได้กล่าวว่า “ฝุ่นละออง” หมายถึง ฝุ่นละอองรวม (Total Suspended Particulate : TSP) ซึ่งเป็นฝุ่นขนาดใหญ่ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าหรือเท่ากับ 100 ไมครอน

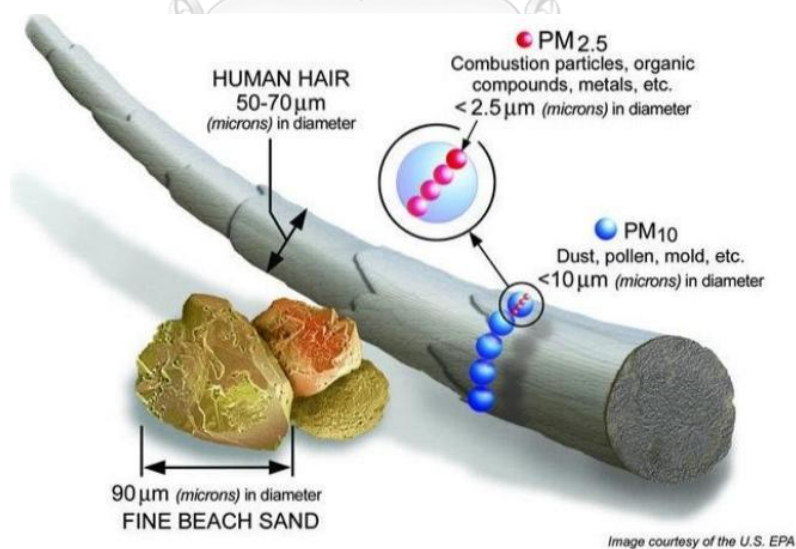
El Morabet et al. (2018) ได้กล่าวว่า ฝุ่นละอองเป็นคำทั่วไปในการจำแนกมลพิษทางอากาศซึ่งประกอบด้วยอนุภาคแขวนลอยในอากาศที่มีองค์ประกอบและขนาดแตกต่างกันเป็นผลมาจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์

EPA (2017) ได้นิยามว่าฝุ่นละอองเป็นอนุภาคมลพิษที่เป็นของผสมระหว่างอนุภาคของแข็งและหยดของเหลวที่กระจายตัวในอากาศ อนุภาคมลพิษบางอย่าง เช่น ฝุ่น สิ่งสกปรก และเขม่า บางส่วนมีขนาดเล็กมากจนไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า สามารถมองเห็นได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเท่านั้น อนุภาคมลพิษเหล่านี้มีรูปร่างและขนาดที่หลากหลาย ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งประกอบด้วยสารเคมีหลายร้อยชนิด อนุภาคมลพิษบางส่วนถูกปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดโดยตรง เช่น สถานีที่ก่อสร้าง ถนนลูกรัง และการเผาไหม้ อนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้ส่วนใหญ่ก่อตัวในบรรยากาศอันเป็นผลมาจากปฏิกิริยาที่ซับซ้อนของสารเคมี เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ซึ่งเป็นมลพิษที่ปล่อยออกมาจากโรงไฟฟ้าและรถยนต์ ในตารางที่ 2.1 ได้เปรียบเทียบฝุ่นละอองที่ตกได้และฝุ่นละอองที่แขวนลอย

U.S. Environmental Protection Agency (2023) แบ่งประเภทของฝุ่นละออง ดังนี้

อนุภาคฝุ่นละออง สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก

1. อนุภาคหยาบ (PM 10 - 2.5) มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 2.5 μm และเล็กกว่าหรือเท่ากับ 10 μm อนุภาคหยาบขนาดใหญ่ หมายถึงอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 10 μm
2. อนุภาคละเอียด (PM 2.5) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 μm หรือเล็กกว่า กลุ่มอนุภาคนี้อยู่รวมถึง อัลตราไฟน์ และ อนุภาคนาโน ซึ่งโดยทั่วไปจัดประเภทเป็น มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 0.1 μm



รูปที่ 2.1 ขนาดของฝุ่นละออง (EPA, 2017)

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบฝุ่นละอองที่ตกได้และฝุ่นละอองที่แขวนลอย ที่มา : (สุดจิต ครุจิต และคณะ , 2553)

ปัจจัยเปรียบเทียบ	ฝุ่นละอองที่ตกได้ (Settleable Dust)	ฝุ่นละอองที่แขวนลอย (Suspendable Particles)
ขนาดอนุภาค	> 10 ไมครอน	< 10 ไมครอน
ความเร็วในการตกด้วยแรงโน้มถ่วง (Settling Velocity)	มีความเร็วสูงเมื่อเทียบกับความเร็วลมในแนวดิ่ง	ความเร็วลดลงเมื่อเทียบกับความเร็วลมในแนวดิ่ง
แหล่งกำเนิดที่สำคัญ	- อุตสาหกรรมบางประเภท เช่น กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ เช่น การโม่หิน และการระเบิดหิน - การเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ - การฟุ้งกลับของฝุ่นหรือดินจากพื้นผิวต่าง ๆ เช่น ถนน พื้นที่แห้งแล้ง - ไฟป่า	- อุตสาหกรรมทั่วไป - การเผาไหม้เชื้อเพลิงทั่วไป - ยานพาหนะ - ปฏิกริยาโฟโตเคมีเคิลออกซิเดชั่น - ไฟป่า
ผลเสียต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ	มีผลต่อคุณภาพชีวิต เช่น ทำให้เกิดความสกปรกกับสถานที่ต่าง ๆ และบดบังทัศนวิสัยในการเดินทาง	ส่งผลต่อสุขภาพอนามัย เช่น ทำให้เกิดโรคระบบทางเดินหายใจ
การกระจายตัวในบรรยากาศ	กระจายตัวได้ไม่ไกลจากแหล่งกำเนิด	กระจายตัวได้ไกลจากแหล่งกำเนิด

2.1.1.2 ประเภทของฝุ่นละออง

ฝุ่นละอองในบรรยากาศสามารถจำแนกตามลักษณะการเกิดได้ดังนี้

- 1) ฝุ่นละอองปฐมภูมิ (Primary Emission Particulate Matter) ฝุ่นละอองประเภทนี้ถูกปล่อยจากแหล่งกำเนิดโดยตรง
- 2) ฝุ่นละอองทุติยภูมิ (Secondary Emission Particulate Matter) ฝุ่นละอองประเภทนี้อาจเป็นอนุภาคใหม่หรืออนุภาคเดิมที่มีองค์ประกอบเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นสารเริ่มต้น

ปฏิกิริยาของฝุ่นละอองทุติยภูมิกล่าวคือ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เมื่อถูกปล่อยสู่บรรยากาศ จะถูกออกซิไดซ์เป็นกรดซัลฟูริก ทำให้เกิดการจับตัวเป็นฝุ่นขนาดเล็กจากกระบวนการ Nucleation และการเพิ่มขนาดอนุภาคเม็ดฝุ่นจากกระบวนการ Coagulation และ Condensation ปฏิกิริยาต่างๆ ทั้งในวัฏภาคก๊าซและในกลุ่มเมฆล้วนเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ ซัลเฟตจับตัวเป็นเม็ดฝุ่นใหม่ (EPA., 2017) และยังมีส่วนทำให้สารอินทรีย์จับกันเป็นเม็ดฝุ่น ใหม่เช่นกัน (ณัฐพล บุญมี, 2562; กรมอนามัยและกรมควบคุมโรค, 2558)

2.1.1.3 แหล่งที่มาของฝุ่นละออง

ฝุ่นละอองในบรรยากาศจำแนกตามแหล่งที่มาได้ 2 ประเภท คือ 1) ฝุ่นละอองที่เกิดจาก มนุษย์ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิง ได้แก่ น้ำมันเตา ถ่านหิน ฟืน และ กระบวนการผลิตในโรงงาน อุตสาหกรรม และ 2) ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่น เกิดจากกระแสนลมพัดผ่านตามธรรมชาติ ทำให้เกิดฝุ่น เช่น ดิน ทราย เหมะควันจากไฟป่า ภูเขาไฟระเบิด และฝุ่นเกลือกจากทะเล โดยตารางที่ 2.2. ได้สรุปแหล่งที่มา กระบวนการเกิด และองค์ประกอบหลักของฝุ่นละอองขนาดใหญ่และขนาดเล็ก

ตารางที่ 2.2 แหล่งที่มา กระบวนการเกิด และองค์ประกอบหลักของฝุ่นละอองขนาดใหญ่และขนาดเล็ก ที่มา : (สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ กระทรวงสาธารณสุข, 2559)

	ฝุ่นขนาดใหญ่	ฝุ่นขนาดเล็ก
แหล่งที่มา	- การฟุ้งของฝุ่นดินบนถนน - การฟุ้งของฝุ่นดินที่เกิดจากการ ทำเหมืองแร่ เลียงสัตว์ - เศษสิ่งมีชีวิต - การก่อสร้างและรื้อถนน - การเผาไหม้ของถ่านหินและ น้ำมัน - ทะเล มหาสมุทร	- การเผาไหม้ถ่านหิน น้ำมัน เศษไม้ - การเปลี่ยนแปลงสภาพของก๊าซ ไนโตรเจนออกไซด์ ซัลเฟอร์ได ออกไซด์ และสารประกอบอินทรีย์ ในบรรยากาศ - กระบวนการที่ใช้ความร้อนสูง เตา หลอม โรงบดเหล็ก
กระบวนการ	- ถูกพัด กระแทก - การระเหยของแก๊สบางชนิด - การแขวนลอยของฝุ่นผง	- กระบวนการทางเคมี/การ กลายเป็นไอ - Nucleation, Condensation และ Coagulation - การระเหยของหมอก และหยดน้ำ

	ฝุ่นขนาดใหญ่	ฝุ่นขนาดเล็ก
		ใน ก้อนเมฆ ซึ่งมี ก๊าซละลาย เกิดปฏิกิริยา
องค์ประกอบหลัก	- ผงฝุ่นที่ฟุ้งกระจาย - ชี้อัลลอยจากถ่านหินและน้ำมัน - ออ ก ซิ ด์ ข อ ง ธ า ตู ที่ เป็ น องค์ประกอบของเปลือกโลก - CaCO_3, NaCl, ฝุ่นจากเกลือ ทะเล - เกสรดอกไม้, สปอร์ของเชื้อรา - ฝุ่นที่เกิดจากยางรถยนต์	- ซัลเฟต (SO_4^{2-}) - ไนเตรท (NO_3^-) - แอมโมเนียม (NH_4^+) - ไฮโดรเจนไอออน (H^+) - ธาตุคาร์บอน - คาร์บอนอินทรีย์ (PAHs) - โลหะ (Pb, Cd, Ni, V, Cu, Zn) - ละอองน้ำที่จับตัวเป็นฝุ่น

2.1.1.4 วิธีการตรวจวัดระดับฝุ่นละออง

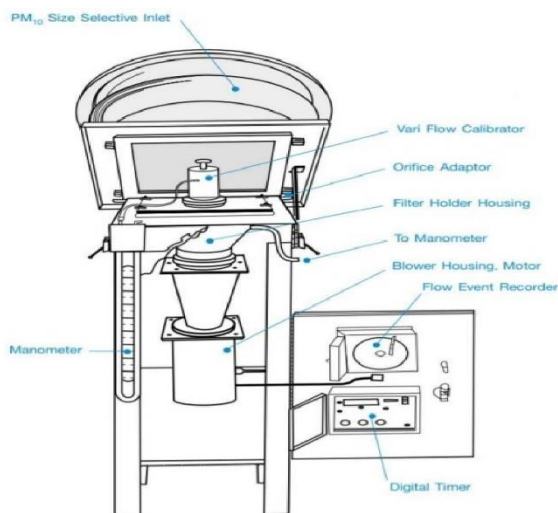
การตรวจวัดระดับ PM 10 ในบรรยากาศเพื่อการเฝ้าระวังคุณภาพอากาศในปัจจุบันนิยมใช้วิธีการตรวจวัดตามระบบกราวิเมตริก (Gravimetric) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานที่กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษซึ่งกำหนดให้ใช้เครื่องเก็บตัวอย่าง PM 10 แบบปริมาตรสูง (High volume PM 10 sampler) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 หลักการทำงาน คือ ทำการดูดอากาศผ่านหัวคัดขนาดสำหรับฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนและผ่านแผ่นกรอง จากนั้นหาน้ำหนักฝุ่นละอองบนแผ่นกรองและคำนวณหาความเข้มข้นของ PM 10 การดูดอากาศจะใช้ปั๊มดูดอากาศให้ไหลเข้าด้านบนของเครื่องด้วยอัตราการไหล 1.13 ลบ.ม./นาที่ และกระดาศกรองที่ใช้เป็นชนิดใยหินขนาด 8 x 10 นิ้ว อย่างไรก็ตามอุปสรรคสำคัญของการใช้วิธีมาตรฐานนี้ คือ เครื่องมือเก็บตัวอย่างมีราคาแพง (ประมาณ 6-8 แสนบาท) ทำให้ไม่สามารถทำการตรวจวัดเชิงพื้นที่และเวลาได้อย่างครอบคลุม

วิธีอื่นที่มักใช้ตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง เช่น การตรวจวัดฝุ่นอย่างง่าย Dust fall Jar ซึ่งอ้างอิงหลักการทำงานจากมาตรฐาน American Society for Testing and Materials (ASTM) รหัส D1739-98 (2004), Standard Test Method for Collection and Measurement of Dust fall (Settleable Particulate Matter) (ASTM, 2004) และคู่มือการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมอย่างง่ายของกรมควบคุมมลพิษ โดยหลักการสำคัญคือเป็นการวัดน้ำหนักฝุ่นที่ตกลงในภาชนะที่ตั้งรองรับในระยะเวลา 1 เดือน และหาความเข้มข้นของฝุ่นละอองในหน่วยน้ำหนักต่อพื้นที่ต่อเดือน วิธีนี้สามารถเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองได้ตั้งแต่ขนาด 20-50 ไมครอนขึ้นไปจนถึงฝุ่นละอองขนาดใหญ่ (กรมควบคุมมลพิษ, 2549)

ในการตรวจวัดฝุ่นละอองรวม (TSP) ที่มีขนาดอนุภาคไม่เกิน 100 ไมครอน โดยใช้เครื่องมือเก็บตัวอย่างอากาศชนิด High Volume Air Sampler ตัวอย่างอากาศในพื้นที่ทำการวัดจะถูกดูดด้วยปริมาตรที่แน่นอนเข้าสู่ช่องทางเข้าของอากาศ อากาศที่ถูกดูดจะไหลผ่านหัวคัดเลือกขนาดฝุ่น (Size Selective Inlet) แบบ Peak Roof Inlet ด้วยอัตราการไหลของอากาศระหว่าง 40-60 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที (1,140 - 1,698 ลิตรต่อนาที) โดยอากาศจะถูกดูดตลอดช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งอนุภาคฝุ่นละอองที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 100 ไมครอนลงมาจะสามารถผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter) ขนาดกว้าง 8 นิ้ว และยาว 10 นิ้ว โดยกระดาษกรองที่ใช้จะต้องมีประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นขนาด 0.3 ไมครอนได้อย่างน้อยร้อยละ 99 ซึ่งกระดาษกรองใยแก้วจะต้องผ่านอบไล่ความชื้นทั้งก่อนและหลังการเก็บตัวอย่างและการชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักฝุ่นละอองสุทธิโดยคำนวณจากความแตกต่างระหว่างน้ำหนักของกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่างและหลังการเก็บตัวอย่าง โดยค่าปริมาตรทั้งหมดที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างต้องปรับแก้ตามสภาวะมาตรฐาน คือ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ ที่ความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท จากนั้นค่าความเข้มข้นจะถูกคำนวณเป็นหน่วยน้ำหนักต่อปริมาตรอากาศ

หลักการตรวจวัดฝุ่นละอองที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM 10) โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างชนิด High Volume Air Sampler ตัวอย่างอากาศในพื้นที่ทำการวัดจะถูกดูดด้วยอัตราคงที่เข้าสู่ช่องทางเข้าอากาศที่ออกแบบพิเศษให้สามารถคัดขนาดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 อากาศที่ถูกดูดจะไหลผ่านกระดาษกรองใยหิน (Quartz Filter) ที่มีความกว้าง 8 นิ้ว และความยาว 10 นิ้ว โดยกระดาษกรองใยหินจะถูกอบไล่ความชื้นและชั่งน้ำหนักทั้งก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง อากาศที่ถูกดูดจะมีอัตราการไหล 1.132 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที (40 ลูกบาศก์ฟุต/นาที) โดยจะถูกดูดตลอดช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ทั้งนี้การติดตั้งเครื่องมือจะต้องให้ความสูงของช่องดูดอากาศมีความสูงระหว่าง 1.5 - 6.0 เมตรจากพื้น ปริมาณฝุ่นละอองบนกระดาษกรองจะถูกวิเคราะห์ด้วยวิธีการหาค่ามวลของฝุ่นละอองจากความแตกต่างของน้ำหนักของกระดาษกรองก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง โดยปริมาตรทั้งหมดที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างต้องปรับแก้ค่าตามสภาวะมาตรฐาน คือ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ ความดันที่ 760 มิลลิเมตรปรอท โดยค่าความเข้มข้นของ PM 10 จะถูกคำนวณเป็นหน่วยน้ำหนักต่อปริมาตรอากาศโดยใช้สมการที่ (2.1)

$$\text{ความเข้มข้นฝุ่นละออง} = \frac{\text{น้ำหนักกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง} - \text{น้ำหนักกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง}}{\text{ปริมาตรอากาศขณะเก็บตัวอย่าง}} \quad (2.1)$$



รูปที่ 2.2 เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศชนิด High Volume Air Sampler
(กรมควบคุมมลพิษ, 2546)



รูปที่ 2.3 หัวคัดขนาดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

2.1.1.5 ผลกระทบของฝุ่นละอองที่มีต่อสุขภาพ

การศึกษาผลกระทบของฝุ่นละอองต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนในกรุงเทพมหานคร พบว่าการสัมผัส PM 10 เป็นระยะเวลาสั้น มีความสัมพันธ์กับการเสียชีวิตในแต่ละปีมากถึง 4,000 ถึง 5,500 ราย (ประมาณการว่ามีประชากร 10 ล้านคน) และในแต่ละวันที่ระดับ PM 10 สูงขึ้น 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ อัตราการเสียชีวิตจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 2-20 สำหรับในพื้นที่ที่มีความแตกต่างของ PM 10 รายวันมากๆ เมื่อระดับของ PM 10 สูงขึ้น 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ประชาชนมีการเข้ารับการรักษาดังในโรงพยาบาลเนื่องจากการเจ็บป่วยด้วยโรคระบบหายใจและระบบหลอดเลือดหัวใจสูงขึ้นร้อยละ 5-17 (ณัฐพล บุญมี, 2562)

องค์การอนามัยโลก (WHO) ประเมินว่าการสัมผัสกับอนุภาคขนาดเล็กในมลพิษทางอากาศภายในและภายนอกอาคารทำให้มีผู้เสียชีวิตประมาณ 2 ล้านคนต่อปี

อนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ไมโครเมตร (μm) หรือเล็กกว่านั้น เป็นปัญหาที่ใหญ่ที่สุด อนุภาคขนาดเล็กเหล่านี้มักจะผ่านจมูกและลำคอและเข้าสู่ปอด เมื่อสูดดมเข้าไป อนุภาคเหล่านี้อาจส่งผลกระทบต่อปอดและหัวใจ และทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอย่างร้ายแรงในบุคคลที่มีความเสี่ยงสูงสุด เช่น ผู้ที่เป็นโรคหัวใจหรือปอด ผู้ที่เป็นเบาหวาน ผู้สูงอายุ และเด็ก (อายุไม่เกิน 18 ปี) อนุภาคขนาดใหญ่ ($> 10 \mu\text{m}$) โดยทั่วไปมักไม่ค่อยกังวล เนื่องจากมักจะไม่ใช่เข้าไปในปอด แม้ว่าจะยังคงระคายเคืองตา จมูก และลำคออยู่ก็ตาม (EPA, 2023)

2.1.1.6 การประเมินการสัมผัสรายบุคคล

การประเมินการสัมผัส หมายถึง การประเมินระดับการสัมผัสของสารปนเปื้อนจากการสูดดมเป็นรายบุคคล ซึ่งประเมินโดยการตรวจสอบความเข้มข้นของปัจจัยอันตรายในสถานที่และการกำหนดความเป็นอันตรายของระยะเวลาการสัมผัสและเส้นทางการสัมผัส ทั้งนี้การประเมินการสัมผัสแต่ละครั้งจำเป็นต้องใช้พารามิเตอร์การสัมผัสและพารามิเตอร์ขนาดกลางของสารอันตรายในอากาศ (กรมอนามัยและกรมควบคุมโรค, 2558) ในปัจจุบันยังไม่มีการสร้างฐานข้อมูลพารามิเตอร์การสัมผัสที่สมบูรณ์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องรวบรวมข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆจากงานวิจัยที่ผ่านมา จากนั้นใช้แบบจำลองการประเมินความเสี่ยงของ USEPA เพื่อแปลงความเข้มข้นของฝุ่นในสถานที่ที่เฝ้าติดตามเป็นปริมาณการสัมผัส

การประเมินการสัมผัสจากความเข้มข้นของสารมลพิษ ความถี่ที่รับสัมผัส ระยะเวลาที่รับสัมผัส และช่องทางการรับสัมผัสจะต้องประเมินออกมาในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวันเท่านั้น โดยคำนวณได้จากสมการที่ (2.2)

$$\text{PM}_{10}, \text{Silica} - I \text{ (mg/kg-day)} = \frac{C \text{ (mg/m}^3\text{)} \times IR \text{ (m}^3\text{/hrs)} \times ET \text{ (hrs/days)} \times EF \text{ (days/year)} \times ED \text{ (years)}}{BW \text{ (kg)} \times AT \text{ (days)}} \quad (2.2)$$

โดยที่

- I ปริมาณสิ่งคุกคามที่คนได้รับ หมายถึง ปริมาณ PM₁₀ หรือ Silica (mg/kg-day)
- C ความเข้มข้นเฉลี่ยของสิ่งคุกคามหรือสารมลพิษในอากาศ (mg/m^3) คือ ปริมาณ PM₁₀, PM_{2.5} หรือ Silica ที่เกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อม อาจใช้ค่าเฉลี่ยในช่วงระยะเวลาของสารมลพิษที่ต้องการประเมินความเสี่ยง เช่น ค่าเฉลี่ยสารมลพิษระยะเวลา 30 วัน หรือค่าเฉลี่ยสารมลพิษระยะเวลา 1 ปี
- IR อัตราการหายใจ ($\text{m}^3\text{/hr}$)

ET	เวลาในการสัมผัส (hr/day)
EF	ความถี่ของการสัมผัส (day/year) คือ จำนวนวันที่ประชาชนสัมผัสฝุ่นละออง ในที่นี้เป็นการประเมินทางอากาศ ดังนั้นประชาชนหายใจทุกวัน จำนวนวันต่อปีจึงเท่ากับ 365 วัน
ED	ระยะเวลาที่สัมผัส (year) คือ ระยะเวลาที่ประชาชนอาศัยอยู่ในพื้นที่เสี่ยง หรือ ระยะเวลาที่ประชาชนได้รับสารมลพิษ
BW	น้ำหนักของร่างกาย (kg)
AT	ระยะเวลาที่ใช้โดยเฉลี่ย (day)

ตารางที่ 2.3 การแทนค่าของตัวแปรในสมการที่ (2.2) ที่มา : (กระทรวงสาธารณสุข 2558)

ตัวแปร	ค่า	หน่วย	อ้างอิง
C = ความเข้มข้นเฉลี่ยของสิ่งคุกคามในอากาศ หมายถึง ความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่น PM 10 PM 2.5 หรือ Silica	ค่า PM 10 หรือ PM 2.5 จากกรมควบคุมมลพิษ	mg/m ³	สำนักการจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ
IR = อัตราการหายใจ	0.83 (ค่าเฉลี่ย)	m ³ /hr	ATSDR*
FR = Factor of Retention	1	-	ATSDR
FA = Factor of Absorption	1	-	ATSDR
ET = เวลาในการสัมผัส	ค่าเฉลี่ยรายวันใช้ 24	hr/day	คนหายใจ 24 ชม.
EF = ความถี่ของการสัมผัส	365	day/year	คนหายใจทุกวัน
ED = ระยะเวลาที่สัมผัส/ระยะเวลาที่อาศัยอยู่ในพื้นที่	อายุเฉลี่ยของประชาชนในพื้นที่	year	ระยะเวลาที่อาศัยอยู่ในพื้นที่
BW = น้ำหนักของร่างกาย	น้ำหนักเฉลี่ยของประชาชนในพื้นที่	kg	น้ำหนักเฉลี่ยของประชาชนจากการเก็บข้อมูล
AT = ระยะเวลาที่ใช้โดยเฉลี่ย	ED x 365 วัน/ปี	day	อายุเฉลี่ยของประชาชนจากการเก็บข้อมูล

หมายเหตุ ATSDR*: Agency for Toxic Substances and Disease Registry

ตารางที่ 2.3. แสดงการแทนค่าของตัวแปรลงในสูตรการประเมินความเสี่ยงในการสัมผัส โดยค่าต่างๆ จะต้องอยู่ในหน่วยที่กำหนดไว้เท่านั้น เพราะท้ายที่สุดแล้วการประเมินความเสี่ยงจะต้องตอบโจทย์ว่าคนได้รับการรับสัมผัสสารมลพิษต่อวัน (Exposure) เท่าไร ดังนั้นหน่วยของการคำนวณ

จะออกมาเป็นมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน (mg/kg/day) ค่าการรับสัมผัสที่ได้จะถูกนำไปประเมินขนาดสัมผัสกับการตอบสนอง (Dose – Response Assessment) ดังแสดงในสมการที่ (2.3) โดยการแทนค่าของตัวแปรแสดงในตารางที่ 2.4

$$\text{Hazard Quotient (HQ)} = \frac{\text{Exposure } (\frac{\text{mg}}{\text{kg}}/\text{day})}{\text{RfC } (\frac{\text{mg}}{\text{kg}}/\text{day})} \quad (2.3)$$

โดยที่

HQ ค่าสัดส่วนความเสี่ยง

Exposure ค่าปริมาณการรับสัมผัสต่อวัน (mg/kg/day)

RfC ค่าความเข้มข้นอ้างอิงของสารมลพิษ หรือ ปริมาณสารมลพิษที่เข้าสู่ร่างกายทางการหายใจโดยไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ (mg/kg/day)

ตารางที่ 2.4 การแทนค่าของตัวแปรในสมการที่ (2.3)

ตัวแปร	ค่า	หน่วย	แหล่งอ้างอิง
RfC PM 10	0.011	มก./กก./วัน	EU legislation
RfC PM 2.5	0.005	มก./กก./วัน	U.S.EPA
RfC Silica	0.003	มก./ลบ.ม.	Cal EPA

การอธิบายลักษณะความเสี่ยง (Risk Characterization) ของสารมลพิษที่แรงงานได้รับสัมผัสจะประเมินจากค่าสัดส่วนความเสี่ยง (HQ) ดังนี้

HQ ≥ 1 หมายถึง ปริมาณสารมลพิษที่ร่างกายได้รับแล้วอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงหรือผลกระทบต่อสุขภาพ

HQ < 1 หมายถึง ปริมาณสารมลพิษที่ร่างกายได้รับแล้วยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ต่อการได้รับสารมลพิษ

2.1.2 ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

2.1.2.1 แหล่งกำเนิดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปนเปื้อนในอากาศมีแหล่งกำเนิดหลัก มาจากกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรมที่ใช้พลังงานฟอสซิล การเผาทางการเกษตร การ

เผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของรถยนต์เครื่องยนต์ดีเซล และการจราจรที่หนาแน่นซึ่งส่งผลให้เกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างต่อเนื่อง (กรมอนามัยและกรมควบคุมโรค, 2558) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Indrehus และ Vassbotn (2000) ซึ่งให้เห็นว่าการจราจรที่หนาแน่นขึ้นจะทำให้ความเข้มข้นเฉลี่ยของ NO_2 เพิ่มขึ้น

2.1.2.2 ผลกระทบของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

การศึกษาทางระบาดวิทยาและพิษวิทยาแสดงให้เห็นว่าการสัมผัสกับมลพิษที่เป็นก๊าซ เช่น NO_2 และ CO ในระยะสั้นและระยะยาวจะส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ (Abiye et al., 2016; Peel et al., 2005; Peacock et al., 2003) สำหรับผลกระทบต่อสุขภาพระยะสั้นนั้น ความเข้มข้นของก๊าซจะเป็นตัวกำหนด สำหรับผลกระทบต่อสุขภาพระยะยาว การได้รับการสัมผัสสะสมอาจเป็นปัจจัยกำหนด ทั้งนี้ผลกระทบต่อสุขภาพมักถูกอธิบายในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างขนาดสารที่ได้รับกับการตอบสนองต่อสาร (Indrehus & Vassbotn, 2001)

NO_2 และ CO เป็นมลพิษทางอากาศที่มีพิษร้ายแรง NO_2 จะส่งผลกระทบต่อระบบการมองเห็นและเป็นสาเหตุหนึ่งที่ก่อให้เกิดโรคทางเดินหายใจ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ยังเป็นหนึ่งในก๊าซพิษที่นำไปสู่การก่อตัวของ $\text{PM}_{2.5}$ ที่ก่อให้เกิดโรคระบบหายใจและระบบหลอดเลือดหัวใจ NO_2 ยังเพิ่มความเสี่ยงต่อการติดเชื้อทางเดินหายใจในเด็กและผู้สูงอายุและยังเพิ่มการตอบสนองของทางเดินหายใจในผู้ที่เปราะบาง (Abiye et al., 2016) งานวิจัยที่ผ่านมาได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของ NO_2 ในอากาศโดยรอบและการเพิ่มขึ้นของการเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลของผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจและโรคหัวใจ โดยเหตุการณ์มลพิษทางอากาศในลอนดอนในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2534 ซึ่งมีความเข้มข้นของ NO_2 ในอาคารเพิ่มขึ้นถึงระดับสูงสุดเป็นประวัติการณ์มีความสัมพันธ์กับอัตราการเสียชีวิตและการเจ็บป่วยที่เพิ่มขึ้น การได้รับ NO_2 จะเพิ่มปฏิกิริยาของโรคหอบหืดต่อสารก่อภูมิแพ้ที่สูดดมเข้าไปในผู้ป่วยโรคหอบหืด (Indrehus และ Vassbotn, 2001) ส่วนก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เป็นก๊าซพิษที่ไม่มีสีและไม่มีกลิ่นทำให้ผู้สัมผัสไม่สามารถรู้สึกได้ขณะสัมผัส ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ส่งผลกระทบต่อสมองและระบบประสาท หากได้รับสะสมในปริมาณมากจะทำให้หมดสติและเสียชีวิตได้ นอกจากนี้ CO อาจทำให้ความสามารถของเลือดในการลำเลียงออกซิเจนลดลง (ภาวะขาดออกซิเจนในเนื้อเยื่อ) (Kampa และ Castanas, 2008) หากได้รับ NO_2 และ CO เป็นระยะเวลานานจะทำให้เกิดโรคระบบทางเดินหายใจและทำให้อัตราการเสียชีวิตเพิ่มขึ้นในที่สุด (Työvenda et al., 2021)

2.1.3 มาตรฐานมลพิษทางอากาศและกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

มลพิษทางอากาศถือเป็นภัยคุกคามต่อสุขภาพของมนุษย์ เนื่องจากเป็นสาเหตุของการเกิดโรคภัยร้ายแรงที่ทำให้เสียชีวิตได้ มลพิษทางอากาศก่อให้เกิดโรคหัวใจ โรคหลอดเลือด โรคระบบทางเดินหายใจ และยังส่งผลต่อระบบการมองเห็น จึงส่งผลให้ประเทศต่างๆ ทั่วโลกกำหนดมาตรฐานทางอากาศ โดยค่ามาตรฐานสำหรับฝุ่นละอองและก๊าซในประเทศไทยมีดังนี้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2538)

ค่าเฉลี่ยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในเวลา 1 ชั่วโมงจะต้องไม่เกิน 30 ppm และ ในเวลา 8 ชั่วโมงจะต้องไม่เกิน 9 ppm

ค่าเฉลี่ยก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในเวลา 1 ชั่วโมงจะต้องไม่เกิน 0.17 ppm

ค่าเฉลี่ย PM 10 ในเวลา 24 ชั่วโมงจะต้องไม่เกิน 0.12 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ ในเวลา 1 ปีจะต้องไม่เกิน 0.15 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ค่าเฉลี่ย PM 2.5 ในเวลา 24 ชั่วโมงจะต้องไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ ในเวลา 1 ปีจะต้องไม่เกิน 0.025 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

กฎหมายต่างๆ และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับฝุ่นละอองแสดงในตารางที่ 2.5 ส่วนตารางที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบ WHO AQGs และ Interim Targets สำหรับค่าเฉลี่ยฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM 10) ในเวลา 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 2.5 กฎหมายและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศ ที่มา : (กระทรวงสาธารณสุข, 2558)

กฎหมาย	หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 24 (พ.ศ. 2547) เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 121 ตอนพิเศษ 104ง. วันที่ 22 กันยายน พ.ศ. 2547	กรมควบคุมมลพิษ
ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 36 (พ.ศ. 2553) เรื่องกำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในบรรยากาศโดยทั่วไป ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 127 ตอนพิเศษ	กรมควบคุมมลพิษ

กฎหมาย	หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
37ง วันที่ 24 มีนาคม พ.ศ. 2553	
ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี) อาศัยอำนาจตามความในข้อ 2(7) แห่งประกาศของคณะปฏิวัติฉบับที่ 103 ลงวันที่ 16 มีนาคม 2515	กระทรวงมหาดไทย
การขออนุญาตประกอบกิจการโรงงานตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
SILICA, CRYSTALLINE, by VIS	NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), Fourth Edition

ตารางที่ 2.6 เปรียบเทียบ WHO AQGs และ Interim Targets สำหรับค่าเฉลี่ย PM 10 ในเวลา 24 ชั่วโมง ที่มา : (กระทรวงสาธารณสุข, 2558)

Interim Target (IT)	PM 10 (มคก./ลบ.ม.)	เกณฑ์ในการกำหนดระดับ
Interim Target 1 (IT1)	150	ใช้หลักฐานจากการศึกษาหลายสถาบันและการทำ Metanalysis พบว่าระดับ PM 10 ที่เพิ่มขึ้นจาก AQG ที่ 50 มคก./ลบ.ม. มาเป็นที่ระดับ 150 มคก./ลบ.ม. จะเพิ่มอัตราการเสียชีวิตในระยะสั้นที่ 5%
Interim Target 2 (IT2)	100	ใช้หลักฐานจากการศึกษาหลายสถาบันและการทำ Metanalysis พบว่าระดับ PM 10 ที่เพิ่มขึ้นจาก AQG ที่ 50 มคก./ลบ.ม. มาเป็นที่ระดับ 100 มคก./ลบ.ม. จะเพิ่มอัตราการเสียชีวิตในระยะสั้นที่ 2.5%
Interim Target 3 (IT3)	75	ใช้หลักฐานจากการศึกษาหลายสถาบันและการทำ Metanalysis พบว่าระดับ PM 10 ที่เพิ่มขึ้นจาก AQG ที่ 50 มคก./ลบ.ม. มาเป็นที่ระดับ 75 มคก./ลบ.ม. จะเพิ่มอัตราการเสียชีวิตในระยะสั้นที่ 1.2 %
Air Quality Guideline (AQG)	50	อาศัยหลักฐานทั้งจากความเข้มข้นของ PM 10 ในระยะเวลา 24 ชั่วโมง และ PM 10 รายปี

2.1.3.1 ดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index: AQI) ของประเทศไทย

ประเทศไทยใช้ข้อมูลทางสิ่งแวดล้อมในการติดตามสถานการณ์ปัญหาหมอกควันจาก ดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index : AQI) เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจของประชาชนทั่วไปและเพื่อเผยแพร่ให้สาธารณชนได้รับทราบถึงสถานการณ์มลพิษทางอากาศในแต่ละพื้นที่ว่าอยู่ในระดับใดและมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยหรือไม่ ซึ่งดัชนีคุณภาพอากาศเป็นรูปแบบสากลที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในหลายประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย สิงคโปร์ มาเลเซีย และ ประเทศไทย

AQI	PM2.5 (บก. /ลบ.ม.)	PM10 (บก. /ลบ.ม.)	O ₃ (ppb)	CO (ppm)	NO ₂ (ppb)	SO ₂ (ppb)
	เฉลี่ย 24 ชม. ต่อเนื่อง		เฉลี่ย 8 ชม. ต่อเนื่อง		เฉลี่ย 1 ชม	
0-25	0 - 25	0 - 50	0 - 35	0 - 4.4	0 - 60	0 - 100
26-50	26 - 37	51 - 80	36 - 50	4.5 - 6.4	61 - 106	101 - 200
51-100	38 - 50	81 - 120	51 - 70	6.5 - 9.0	107 - 170	201 - 300
101-200	51 - 90	121 - 180	71 - 120	9.1 - 30.0	171 - 340	301 - 400
201 ขึ้นไป	91 ขึ้นไป	181 ขึ้นไป	121 ขึ้นไป	30.1 ขึ้นไป	341 ขึ้นไป	401 ขึ้นไป

รูปที่ 2.4 รูปภาพแสดงดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย

(ที่มา: https://www.gistda.or.th/news_view.php?n_id=5746&lang=TH)

2.1.3.2 ดัชนีคุณภาพอากาศของต่างประเทศ

สิงคโปร์ มาเลเซีย และบรูไน ซึ่งเป็นประเทศที่ประสบปัญหาจากมลพิษทางอากาศข้ามแดน ได้กำหนดค่าการเฝ้าระวังด้านสิ่งแวดล้อมจาก PM 10 คือ ค่า PSI หรือ Air Pollutant Index โดยพัฒนาข้อมูลจาก United States Environmental Protection Agency (US.EPA) ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกคุณภาพอากาศของมลพิษทางอากาศ 6 ตัว ได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) โอโซน (O₃) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) PM 10 และ PM 2.5 โดยค่า PSI นี้เปรียบเทียบให้เห็นถึงผลกระทบของ PM 10 ต่อสุขภาพ

2.1.3.3 เปรียบเทียบระหว่างค่ามาตรฐานฝุ่นละอองของไทยและต่างประเทศ

เนื่องจากบริบทของแต่ละประเทศ เช่น สภาพเศรษฐกิจ สังคม ความพร้อมทางเทคโนโลยีการเงิน และลักษณะนิสัยของคนในประเทศต่างกัน ทำให้แต่ละประเทศกำหนดมาตรฐานที่แตกต่างกัน จากตารางที่ 2.8 จะสังเกตได้ว่าไม่มีมาตรฐานรายชั่วโมง ซึ่งแสดงว่าผลกระทบของ PM 2.5 ไม่ได้เป็นแบบปัจจุบันทันด่วน (ศิริมา ปัญญาเมธิกุล, 2018)

ตารางที่ 2.7 เปรียบเทียบระหว่างค่ามาตรฐานของสารมลพิษทางอากาศของประเทศไทยกับต่างประเทศ (หน่วย มก./ลบ.ม.) ที่มา : (กระทรวงสาธารณสุข, 2558)

ประเทศ	SO 2			NO 2			CO		O 3			TSP			PM10		Pb		
	1 ชม.	24 ชม.	รายปี	1 ชม.	24 ชม.	รายปี	1 ชม.	8 ชม.	1 ชั่วโมง	8 ชม.	24 ชม.	รายปี	24 ชม.	รายปี	1 ชม.	24 ชม.	รายปี		
สหรัฐอเมริกา	-	0.37	-	-	-	0.10	0.10	10.0	0.24	-	-	-	0.15	0.05	-	-	-		
ญี่ปุ่น	0.26	0.11	-	-	0.08	-	-	22.8	0.12	-	-	-	-	-	0.10	-	-		
เนเธอร์แลนด์	0.76	0.23	-	0.18	-	-	40.0	6.0	0.12	-	-	-	-	-	2.00	-	-		
ออสเตรเลีย	0.44	0.16	-	0.30	0.12	-	34.3	11.4	0.24	0.10	-	-	-	-	-	-	-		
เม็กซิโก	-	-	-	0.40	-	-	-	15.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
ไต้หวัน	0.78	0.26	-	-	0.10	-	22.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
แคนาดา	0.82	0.27	-	0.40	0.20	-	15.0	6.0	0.10	-	-	-	-	-	-	-	-		
เยอรมนี	0-	0.27	-	0.20	-	0.80	30.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.0		
WHO	0.35	0.13	0.05	0.40	0.15	-	30.0	10.0	0.15	0.10	-	-	-	-	-	-	0.0		
ประเทศไทย	0.78	0.30	0.04	0.32	-	-	34.2	10.3	0.20	0.16	0.33	0.10	0.12	0.05	-	1.50	-		
WHO AQG*	-	0.02	-	0.20	-	0.04	-	-	-	0.10	-	-	0.05	0.02	-	-	-		

WHO AQG = WHO Air Quality Guidelines Global Update 2005 , [สนใจ click/ Link =>English Version , Thai Version](#)

ตารางที่ 2.8 มาตรฐานของ PM 2.5 ในบรรยากาศของแต่ละประเทศ ที่มา : (ศิริมา ปัญญาเมธิกุล, 2018)

ประเทศ (หน่วยงานที่รับผิดชอบ)	ค่ามาตรฐานระยะสั้น (ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง) (ไม่โครกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตร)	ค่ามาตรฐานระยะยาว (ค่าเฉลี่ยหนึ่งปี) (ไม่โครกรัมต่อลูกบาศก์ เมตร)
ประเทศไทย (กรมควบคุมมลพิษ)	50	25
สหภาพยุโรป	-	25
สหรัฐอเมริกา (US EPA)	35	15
แคลิฟอร์เนีย (State standard)	-	12
อังกฤษ	-	25 (Scotland 12)
องค์การอนามัยโลก	25	10
ออสเตรเลีย	25	8
อินเดีย	60	40
จีน -พื้นที่พิเศษ เช่น สวนสาธารณะแห่งชาติ	35	15
จีน -พื้นที่ทั่วไป รวมแหล่งอุตสาหกรรม	75	35
สิงคโปร์	37.5	12
มาเลเซีย (IT-1 2015)	75	35
มาเลเซีย (IT-1 2018)	50	25
มาเลเซีย (IT-1 2020)	35	15
เวียดนาม	50	-
ศรีลังกา	50	25

ประเทศ (หน่วยงานที่รับผิดชอบ)	ค่ามาตรฐานระยะสั้น (ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง) (ไมโครกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตร)	ค่ามาตรฐานระยะยาว (ค่าเฉลี่ยหนึ่งปี) (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์ เมตร)
ญี่ปุ่น	35	15
ฟิลิปปินส์	75	35
บราซิล	150	50
เกาหลีใต้	50	27

2.2 มลพิษทางเสียง

มลพิษทางเสียง (Noise pollution) หมายถึง ผลกระทบของเสียงที่มีต่อมนุษย์ เช่น เสียงดังเกินไปจนเกิดอันตรายต่อระบบการได้ยิน หรือเป็นเสียงที่ทำให้รู้สึกหงุดหงิด รำคาญ ไม่ว่าเสียงนั้นจะดังหรือไม่ก็ตาม (กรมควบคุมมลพิษ, 2544) มลพิษทางเสียงส่งผลกระทบต่อสุขภาพ เช่น ทำให้เกิดการสูญเสียการได้ยิน สร้างความรำคาญ ทำให้เกิดโรคหัวใจและโรคหลอดเลือด และรบกวนการนอนหลับ

2.2.1 แหล่งที่มาของมลพิษทางเสียง

เครื่องจักร นอกจากจะเป็นแหล่งปล่อยมลพิษทางอากาศที่สำคัญแล้วยังเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษทางเสียงที่สำคัญอีกด้วย โดยเฉพาะกิจกรรมในกระบวนการก่อสร้าง ซึ่งกิจกรรมสำคัญในกระบวนการก่อสร้างอาคารที่ก่อให้เกิดมลพิษทางเสียง เช่น งานตอกเสาเข็ม งานขุดและถมดิน งานตัดและวางเหล็ก งานไม้ งานตั้งนั่งร้าน งานเทคอนกรีต และงานรื้อถอน (Chong et al., 2022)

2.2.2 มาตรฐานมลพิษทางเสียงและกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

การทำงานในสภาพแวดล้อมที่มีเสียงดังจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของผู้ปฏิบัติงาน ดังนั้นจำเป็นต้องมีการกำหนดมาตรฐานของเสียงในสถานประกอบการขึ้นเพื่อประโยชน์ในการป้องกันอันตรายจากเสียงที่อาจเกิดขึ้นกับผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งองค์การอนามัยโลก (World Health Organization, WHO) ได้กำหนดให้ผู้ปฏิบัติงานสัมผัสเสียงได้ไม่เกิน 85 dB(A) ตลอดการทำงาน 8 ชั่วโมง เพื่อป้องกันภาวะประสาทหูเสื่อม (WHO, 1998) ซึ่งสอดคล้องกับข้อกำหนดของ Occupational Safety and Health Act (OSHA) ที่กำหนดตามกฎหมายฉบับ HAC-83 (Hearing Conservation Amendments, HCA) ไว้ว่าโครงการพิทักษ์การได้ยินควรเริ่มทำเมื่อระดับเสียงดังถึง 85 dB(A) ตลอดการทำงานเป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง

สำหรับประเทศไทยได้มีการกำหนดมาตรฐานของเสียงโดยกระทรวงมหาดไทย ซึ่งระบุไว้ในประกาศกระทรวงมหาดไทยเรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อม อาศัย

อำนาจตามความในข้อ 2(7) แห่งประกาศของคณะปฏิวัติฉบับที่ 103 หมวด 3 เสียง ลงวันที่ 16 มีนาคม 2515 ไว้ดังนี้

ข้อ 13 ภายในสถานประกอบการที่ให้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายแก่คนใดคนหนึ่งคนใดทำการต่อไปนี้

- 1) ไม่เกินวันละ 7 ชั่วโมง เสียงที่ลูกจ้างได้รับติดต่อกันต้องไม่เกิน 91 dB(A)
- 2) เกินกว่าวันละ 7 ชั่วโมง แต่ไม่เกิน 8 ชั่วโมง เสียงที่ลูกจ้างได้รับติดต่อกันต้องไม่เกิน 90 dB(A)

- 3) เกินกว่าวันละ 8 ชั่วโมง เสียงที่ลูกจ้างได้รับติดต่อกันต้องไม่เกิน 80 dB(A)

ข้อ 14 นายจ้างให้อุปกรณ์ทำงานในที่ที่มีระดับเสียงเกินกว่า 140 dB(A) มิได้

โดยสรุประดับเสียงที่ยอมให้สัมผัสได้ตลอดระยะเวลาการทำงานวันละ 8 ชั่วโมง คือ ไม่เกิน 85 dB(A) (Safesiri, 2565)

2.3 เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศ

โดยทั่วไปแล้ว การตรวจติดตามมลพิษทางอากาศจะขึ้นอยู่กับสถานีตรวจวัดแบบคงที่โดยการสุ่มตัวอย่างแบบพาสซีฟหรือแบบต่อเนื่อง ข้อมูลจากเครื่องมือเหล่านี้ได้รับมาตรฐานและมีคุณภาพสูง อย่างไรก็ตาม ราคาที่สูง ขนาดใหญ่ เสียงดัง รวมถึงค่าบำรุงรักษาที่สูง ทำให้เครื่องมือเหล่านี้ไม่ถูกนำมาใช้งานมากนัก และด้วยขนาดที่ใหญ่ทำให้ไม่เหมาะสำหรับนำมาใช้ตรวจติดตามคุณภาพอากาศภายในอาคาร จึงมีการนำเทคโนโลยีเซนเซอร์มาใช้ ตรวจติดตามข้อมูลแบบเรียลไทม์ซึ่งได้รับความนิยมมากขึ้นสำหรับการตรวจสอบคุณภาพอากาศภายในอาคาร เนื่องด้วยขนาดเล็กทำให้เก็บข้อมูลมลพิษได้ทั่วถึงทุกพื้นที่ (Gozzi et al., 2016)

ในปัจจุบัน มีเครื่องมือมากมายสำหรับการตรวจสอบปริมาณฝุ่นละอองแบบเรียลไทม์ ตั้งแต่เครื่องมือมาตรฐานขนาดพกพาไปจนถึงเซนเซอร์ราคาประหยัด ทั้งสองมีข้อดีและข้อเสีย ซึ่งเลือกใช้ตามวัตถุประสงค์ของการตรวจสอบมลพิษ รวมถึงงบประมาณ เครื่องมือมาตรฐานขนาดพกพามีความแม่นยำ เหมาะแก่การตรวจติดตามคุณสมบัติต่างๆ ของฝุ่นละออง และยังใช้ตรวจติดตามแบบเคลื่อนที่ได้ด้วย แต่ไม่สามารถใช้ในเครือข่ายการตรวจสอบขนาดใหญ่ได้ เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายสูง ส่วนเซนเซอร์ราคาประหยัดสามารถตรวจสอบปริมาณฝุ่นละอองได้ และมีการแสดงให้เห็นแล้วว่าความแม่นยำที่จำกัดสามารถเพิ่มขึ้นได้ด้วยการสอบเทียบที่เหมาะสมและกระบวนการปรับข้อมูลที่ถูกต้อง (Budde et al., 2013)

Supasri et al. (2017) ศึกษาวิจัยเรื่องการพัฒนากระบวนการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสำหรับการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 ในอากาศด้วยเครื่องตรวจวัดฝุ่นละอองแบบพกพา โดยทำการพัฒนาฐานข้อมูลที่เรียกว่า Cloud Computing ด้านการ

เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย เพื่อศึกษาถึงปัญหาฝุ่นควันที่เกิดขึ้น โดยมีการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 ในอากาศ โดยใช้เครื่องตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองแบบพกพา เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสุขภาพมนุษย์ และสิ่งแวดล้อม โดยติดตั้งสถานีตรวจวัดฝุ่นละอองแบบเรียลไทม์ในพื้นที่ภาคเหนือ 4 สถานี อีกทั้งมีการนำเสนอข้อมูลผ่านระบบรายงานผลออนไลน์ เพื่อให้ผู้รับข้อมูลสามารถเข้าถึงข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว ทันสถานการณ์ และเข้าใจง่าย

2.4 เซนเซอร์วัดมลพิษทางอากาศและเสียง

เซนเซอร์ตรวจวัดมลพิษทางอากาศสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ เซนเซอร์ที่ตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซ และเซนเซอร์ที่วัดความเข้มข้นของมวลอนุภาคฝุ่นละออง

เซนเซอร์ตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซส่วนใหญ่มีหลักการทำงาน 2 ประการ คือ 1. หลักการที่ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาระหว่างวัสดุตรวจจับ (เซลล์เคมีไฟฟ้าหรือเคมีคอนดักเตอร์โลหะออกไซด์) และส่วนประกอบในเฟสก๊าซ เช่น ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) โอโซน (O₃) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC) และ 2. หลักการที่ขึ้นอยู่กับสารประกอบที่ใช้วัดการดูดกลืนแสงที่มองเห็นได้ (สำหรับ O₃ และ CO₂) หรือความยาวคลื่นอินฟราเรด (CO₂) หรือโดยเคมีเรืองแสง (NO₂) มวลอนุภาคสามารถวัดได้โดยตรงจากการเปลี่ยนแปลงความถี่ขององค์ประกอบ เซนเซอร์การสั่น หรือโดยอ้อมจากการกระเจิงของแสงโดยใช้ค่าคงที่สัดส่วนที่เกี่ยวข้องกับแสงที่กระเจิงกับความเข้มข้นของมวลอนุภาคฝุ่นละอองที่กำหนดไว้ (<2.5 μm) เส้นผ่านศูนย์กลางแอโรไดนามิก การกระเจิงและการดูดกลืนแสงของอนุภาคเป็นคุณสมบัติของอนุภาคที่สำคัญซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการมองเห็นและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Snyder et al., 2013)

งานวิจัยที่ใช้เซนเซอร์แบบเรียลไทม์สำหรับการประเมินอากาศภายในอาคารได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนับตั้งแต่ปี 2018 และส่วนใหญ่ดำเนินการในประเทศจีนและสหรัฐอเมริกา นอกเหนือจากความสะดวกเชิงพื้นที่ที่สูงแล้ว เซนเซอร์แบบเรียลไทม์ยังมีข้อได้เปรียบที่โดดเด่นในการตรวจสอบแบบ 3 มิติ การระบุความเข้มข้นสูงสุดและแหล่งที่มาของมลภาวะ และการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพในระยะสั้น ซึ่งกิจกรรมระยะสั้นเหล่านี้มีผลกระทบเชิงบวก/เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณภาพอากาศและปริมาณข้อมูลที่มีความละเอียดเชิงเวลาจากเซนเซอร์แบบเรียลไทม์เหมาะสำหรับการสร้างแบบจำลองและการทำนายมลพิษทางอากาศภายในอาคาร (Wang et al., 2023)

Kortoçi et al. (2022) ได้ศึกษาวิจัยเรื่อง การตรวจติดตามการสัมผัสมลพิษทางอากาศในเขตเมืองโดยใช้เซนเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศราคาประหยัด ซึ่งการติดตามมลพิษทางอากาศส่วนใหญ่มาจากเครื่องมือวัดของสถานีตรวจวัดมลพิษ ซึ่งมีราคาสูง และข้อมูลมลพิษทางอากาศที่ได้จาก

สถานีตรวจวัดไม่สามารถตรวจติดตามการสัมผัสมลพิษรายบุคคลได้ แต่เซนเซอร์แบบพกพา ราคาประหยัดตรวจวัดมลพิษรายบุคคลได้ทั้งภายในอาคารและนอกอาคาร

2.5 Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) ในปัจจุบันมีบทบาทสำคัญในยุคเทคโนโลยี ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องอย่างมากในชีวิตมนุษย์จึงมีการนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดก๊าซอันตราย และตรวจสอบคุณภาพอากาศโดยใช้เซนเซอร์ เซนเซอร์และอุปกรณ์ IoT ที่ถูกสร้างขึ้นโดยใช้ระบบ Internet of Things (IoT) ในการเชื่อมต่อ ทำให้สามารถตรวจสอบมลภาวะในสิ่งแวดล้อมได้อย่างง่ายดาย และส่งไปยังระบบคลาวด์เพื่อการติดตามและคาดการณ์มลพิษ (Malleswari & Mohana, 2022)

สายชล สุขโนนจารย์ (2563) ศึกษาวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบตรวจวัดคุณภาพอากาศเพื่อประเมินคุณภาพอากาศภายในมหาวิทยาลัยนเรศวรด้วยเทคโนโลยี IoT และ GIS โดยตรวจติดตามคุณภาพอากาศด้วยเซนเซอร์ราคาถูก รายงานผลและพัฒนาระบบแจ้งเตือนคุณภาพอากาศแบบเรียลไทม์ ซึ่งเป็นการพัฒนาต่อยอดที่จะสามารถลดต้นทุนได้ หลักการทำงานของ ระบบที่พัฒนาขึ้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ 1. ส่วนส่งข้อมูลจากเซนเซอร์ ส่วนรับข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูล โดยเซนเซอร์จะทำการส่งข้อมูลไปยังส่วนของเซิร์ฟเวอร์ที่เป็นส่วนรับ และจัดเก็บข้อมูลทันที รวมถึงได้พัฒนาแอปพลิเคชัน ในการนำเสนอข้อมูลที่เป็นระบบรายงานผลแบบออนไลน์เพื่อให้ผู้รับข้อมูลเข้าถึงข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว ทันสถานการณ์ และเข้าใจง่าย และ 2. ระบบแสดงผลข้อมูลแบบเรียลไทม์บนสมาร์ตโฟนด้วย Blynk Application ที่สามารถแสดงข้อมูลแบบเรียลไทม์ได้

2.6 การสอบเทียบเซนเซอร์

คุณภาพข้อมูลและความแม่นยำของเซนเซอร์แบบเรียลไทม์จะแตกต่างกันมาก ดังนั้นจำเป็นต้องมีการสอบเทียบเซนเซอร์เพื่อลดความแปรปรวนระหว่างเซนเซอร์ และยืนยันความถูกต้องของข้อมูลและความเสถียรของเซนเซอร์ วิธีการสอบเทียบที่มีอยู่มักจะรวมถึงการสอบเทียบด้วยเครื่องมือระดับมืออาชีพหรือการสอบเทียบร่วมกัน ตลอดจนการสอบเทียบภายใต้ความเข้มข้นของมลพิษเฉพาะในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเซนเซอร์ส่วนใหญ่ถูกนำมาใช้โดยโดยที่ไม่มีการสอบเทียบ จากรายงานพบว่าเพียง 22.5 % ของการศึกษาที่ทำการสอบเทียบเซนเซอร์ก่อนนำไปใช้

การสอบเทียบเซนเซอร์สามารถทำได้ทั้งในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม สภาพห้องปฏิบัติการเป็นสิ่งสำคัญในการทดสอบขีดจำกัดต่ำสุดของเซนเซอร์ และความแปรผันระหว่างเซนเซอร์

นักวิจัยบางคนเปรียบเทียบการสอบเทียบเซนเซอร์ในห้องปฏิบัติการและการสอบเทียบภาคสนาม พบว่าประสิทธิภาพของเซนเซอร์แย่งในการสอบเทียบภาคสนาม Castell และคณะ (2560) รายงานผลการสอบเทียบที่ดีในห้องปฏิบัติการโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เฉลี่ย 0.99 ซึ่งสูงกว่าสภาพของภาคสนามอย่างมีนัยสำคัญ (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เฉลี่ย 0.60) Manibusan และ Mainelis (2020) พบว่าความแม่นยำของเซนเซอร์ฝุ่นละออง ขึ้นอยู่กับสถานที่ เนื่องจากความแตกต่างในองค์ประกอบของฝุ่นละออง และแนะนำการสอบเทียบเฉพาะสถานที่เพื่อปรับปรุงความแม่นยำในการวัด (Wang et al., 2023)

2.7 มลพิษทางอากาศและเสียงจากงานก่อสร้าง

Tao et al. (2022) ศึกษาวิธีการลดปริมาณฝุ่นละอองจากการก่อสร้างด้วยแผนการจัดวางสถานที่ที่เหมาะสม โดยจะตรวจสอบการแพร่กระจายของฝุ่นละออง เพื่อจำลองความเข้มข้นของฝุ่นละอองโดยเฉลี่ยที่สัมผัสกับแรงงานในไซต์งานก่อสร้างที่แตกต่างกัน ซึ่งต้นทุนของการลดปริมาณฝุ่นละอองเป็นข้อจำกัดสำหรับผู้จัดการโครงการ ดังนั้นการลดต้นทุนการขนส่งทั้งหมดจึงเป็นอีกหนึ่งวัตถุประสงค์ในการเพิ่มประสิทธิภาพ และใช้อัลกอริทึมเพิ่มประสิทธิภาพการจับกลุ่มอนุภาคแบบหลายวัตถุประสงค์ (MOPSO) เพื่อค้นหาเค้าโครงไซต์ที่ได้รับการปรับปรุงให้เหมาะสมและสามารถลดปริมาณฝุ่นและต้นทุนการขนส่งไปพร้อมๆ กัน ผลการวิจัยพบว่าความเข้มข้นของฝุ่นโดยเฉลี่ยที่สัมผัสกับคนงานและต้นทุนการขนส่งทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ 60.62% และ 44.3% ตามลำดับ

การจำแนกกลุ่มประชากรที่สัมผัสฝุ่นจากการก่อสร้างควรได้รับการพิจารณา แต่ยังคงขาดการศึกษาเชิงลึกเกี่ยวกับอันตรายต่อสุขภาพและการประเมินความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับฝุ่นในการก่อสร้างอย่างเป็นระบบ ในอนาคตการพัฒนาเครื่องมือหรือประโยชน์เพื่อตรวจสอบฝุ่นในการก่อสร้างอย่างแม่นยำเป็นสิ่งสำคัญ นอกจากนี้การควบคุมหรือการลดปริมาณฝุ่นละอองในการก่อสร้างควรได้รับการศึกษาเพิ่มเติม อันตรายต่อสุขภาพของฝุ่นในการก่อสร้างควรได้รับการตรวจสอบโดยการทดลองทางชีววิทยา นอกจากนี้ควรใช้แบบจำลองอัลกอริทึมที่เกิดขึ้นใหม่ในการประเมินความเสี่ยงเพื่อให้เข้าใจถึงการสัมผัสฝุ่นจากการก่อสร้างและความเสี่ยงด้านสุขภาพที่เกี่ยวข้อง (Wang et al., 2023)

มลพิษทางเสียงทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพ โดยเฉพาะเสียงจากการทำงาน ซึ่งถือเป็นอันตราย 16% ของการสูญเสียการได้ยินในผู้ใหญ่ นั้นเกิดจากเสียงรบกวนที่มาจากการทำงาน โดยเฉพาะในงานก่อสร้าง ซึ่งประกอบด้วยหลายกิจกรรมที่ก่อให้เกิดเสียง และเสียงนั้นอาจเคลื่อนที่ในขณะที่การก่อสร้างดำเนินไป ทำให้แรงงานกลุ่มนี้ได้รับเสียงดังที่เกิดจากเครื่องจักรและกิจกรรมในการก่อสร้างต่างๆ อีกทั้งแรงงานก่อสร้างมักไม่ค่อยใช้อุปกรณ์ป้องกันเสียง (HPE) และไม่มีการใช้แรงจูงใจ

เพื่อปกป้องแรงงานจากความเสียหายต่อสุขภาพ ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการขาดการบังคับใช้กฎระเบียบข้อบังคับและมาตรฐานในการป้องกันโรคจากการทำงาน (Li et al., 2016)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดมลพิษทางอากาศและทางเสียง

สิทธิโชค สินค้อย (2562) ได้พัฒนาระบบเฝ้าระวัง PM 2.5 และคุณภาพอากาศด้วยเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายสำหรับใช้รายงานผลและแจ้งเตือนคุณภาพอากาศในกรณีปริมาณฝุ่นเกินกว่าค่าที่กำหนด โดยมีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาระบบฐานข้อมูลและระบบแจ้งเตือนคุณภาพอากาศด้วยเซนเซอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงแต่มีต้นทุนต่ำ หลักการทำงานของระบบที่ สิทธิโชค สินค้อย (2562) พัฒนาขึ้นแบ่งออกเป็นหน่วยส่งข้อมูลจากเซนเซอร์ หน่วยรับข้อมูล และหน่วยวิเคราะห์ข้อมูล โดยในทันทีที่เปิดใช้งานเซนเซอร์จะส่งข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์ที่เป็นหน่วยรับและจัดเก็บข้อมูล จากนั้นระบบจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อรายงานและแจ้งเตือนปริมาณฝุ่นละอองรวมถึงการพัฒนาเว็บไซต์และแอปพลิเคชันที่จะเป็นส่วนสำคัญในการนำเสนอข้อมูลที่เป็นระบบรายงานผลแบบออนไลน์ ช่วยให้ผู้ใช้รับข้อมูลเข้าถึงข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว ทันสถานการณ์ และเข้าใจง่าย

Maisonneuve et al.(2009) ได้ประยุกต์ใช้โทรศัพท์มือถือที่ติดตั้ง GPS ให้เป็นเซนเซอร์วัดเสียงรบกวนเพื่อช่วยให้ประชาชนสามารถวัดการสัมผัสเสียงรบกวนในสภาพแวดล้อมในชีวิตประจำวันได้ โดยเครื่องต้นแบบประกอบด้วยแอปพลิเคชันซึ่งผู้เข้าร่วมการวิจัยจะต้องติดตั้งบนโทรศัพท์มือถือของตนเพื่อแปลงเป็นอุปกรณ์เซนเซอร์เสียง แอปพลิเคชันดังกล่าวจะรวบรวมข้อมูลท้องถิ่นจากเซนเซอร์ต่างๆ (เสียง พิกัด เวลา และข้อมูลของผู้ใช้) และส่งไปยังเซิร์ฟเวอร์เพื่อรวบรวมข้อมูลและประมวลผล การศึกษาพบว่าโทรศัพท์มือถือสามารถใช้เป็นเครื่องวัดระดับเสียงในช่วง 35 - 100 dB โดยผลลัพธ์ที่ได้มีความแม่นยำ ± 4 dB

ตารางที่ 2.9 ตารางแสดงการใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียง

ผลงานวิจัย	ชนิดของมลพิษ	ประเภทของเครื่องมือ	ข้อดี	ข้อจำกัด
Cheng et al. (2012)	ฝุ่นละออง PM 2.5	อุปกรณ์วัดฝุ่นละออง Portable	แม่นยำสูง ขนาดเล็ก	น้ำหนักค่อนข้างมาก ราคาสูง
สิทธิโชค สิ้นคู่ย (2562)	ฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10	Low Cost Sensor	แม่นยำปานกลาง ราคาถูก	ติดตั้งเป็นสถานี ไม่สามารถวัดค่ามลพิษอื่นๆได้
Pornpimol et al. (2012)	ฝุ่นละออง PM 2.5	อุปกรณ์วัดฝุ่นละออง ใช้กระดาษกรอง	แม่นยำสูง ทนทานต่อสภาพแวดล้อม	น้ำหนักค่อนข้างมาก ต้องติดปั๊มลม ค่าที่ได้ไม่เรียลไทม์
Steinle et al. (2015)	ฝุ่นละออง PM 2.5	อุปกรณ์วัดฝุ่นละออง Portable	แม่นยำสูง ขนาดเล็ก	น้ำหนักค่อนข้างมาก ราคาสูง
Maisonneuve et al. (2009)	ระดับความดังของเสียง	แปลงสมาร์ตโฟนเป็นอุปกรณ์วัดระดับเสียง	ไม่ต้องสร้างอุปกรณ์วัด	ไม่สามารถประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างได้ ไม่แม่นยำ
Alam et al. (2018)	CO, ฝุ่นละออง PM 2.5 และระดับความดังของเสียง	Low Cost Sensor	พกพาสะดวก ราคาถูก เรียลไทม์	ความแม่นยำของเซนเซอร์

2.9 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีต

ในบทนี้ได้ทำการศึกษา ค้นคว้า และทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศและเสียง (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) ผลกระทบจากปัญหามลพิษทางอากาศและเสียง ค่ามาตรฐานและวิธีการตรวจวัดมลพิษทางอากาศและเสียง มลพิษทางอากาศและเสียงจากงานก่อสร้าง เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียง เซนเซอร์วัดมลพิษทางอากาศและเสียง การสอบ

เทียบเซนเซอร์ และ Internet of Things (IoT) เพื่อนำมาเป็นข้อมูลพื้นฐานและแนวทางในการดำเนินงานวิจัย โดยมีประเด็นหลักที่ทำการศึกษาดังนี้

มลพิษทางอากาศ (Air Pollution) หมายถึง ภาวะของอากาศที่มีสารเจือปนอยู่ในปริมาณที่มากพอและเป็นระยะเวลานานพอที่จะทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ สัตว์ พืช และวัสดุต่างๆ

ฝุ่นละออง หมายถึง อนุภาคของแข็งและหยดละอองของเหลวที่แขวนลอยกระจายในอากาศ อนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในอากาศบางชนิดมีขนาดใหญ่และมีสีดำจนมองเห็นเป็นเขม่าและควัน แต่บางชนิดมีขนาดเล็กมากจนมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ฝุ่นละอองที่แขวนลอยในบรรยากาศ โดยทั่วไปมีขนาดตั้งแต่ 100 ไมครอนลงมา

อนุภาคฝุ่นละออง สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก

1. อนุภาคหยาบ (PM 10 - 2.5) มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 2.5 μm และเล็กกว่าหรือเท่ากับ 10 μm
2. อนุภาคละเอียด (PM 2.5) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 μm หรือเล็กกว่า

การศึกษาผลกระทบของฝุ่นละอองต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนในกรุงเทพมหานคร พบว่าการสัมผัส PM 10 เป็นระยะเวลาสั้นมีความสัมพันธ์กับการเสียชีวิตในแต่ละปีมากถึง 4,000 ถึง 5,500 ราย (ประมาณการว่ามีประชากร 10 ล้านคน) และในแต่ละวันที่ระดับ PM 10 สูงขึ้น 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ อัตราการเสียชีวิตจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 2-20 สำหรับในพื้นที่ที่มีความแตกต่างของ PM 10 รายวันมากๆ เมื่อระดับของ PM 10 สูงขึ้น 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ประชาชนมีการเข้ารับการรักษาตัวในโรงพยาบาลเนื่องจากการเจ็บป่วยด้วยโรคระบบหายใจและระบบหลอดเลือดหัวใจสูงขึ้นร้อยละ 5-17

อนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ไมครอนเมตร (μm) หรือเล็กกว่านั้น เป็นปัญหาที่ใหญ่ที่สุด อนุภาคขนาดเล็กมักจะผ่านจมูกและลำคอและเข้าสู่ปอด เมื่อสูดดมเข้าไป อนุภาคเหล่านี้อาจส่งผลต่อปอดและหัวใจ และทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอย่างร้ายแรงในบุคคลที่มีความเสี่ยงสูงสุด เช่น ผู้ที่เป็นโรคหัวใจหรือปอด ผู้ที่เป็นเบาหวาน ผู้สูงอายุ และเด็ก (อายุไม่เกิน 18 ปี) อนุภาคขนาดใหญ่ ($> 10 \mu\text{m}$) โดยทั่วไปมักไม่ค่อยกังวล เนื่องจากมักจะไม่ใช่เข้าไปในปอด แม้ว่าจะยังคงระคายเคืองตา จมูก และลำคอ

ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_2) และ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่ปนเปื้อนในอากาศมีแหล่งกำเนิดหลัก มาจากกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรมที่ใช้พลังงานฟอสซิล การเผาทางการเกษตร การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของรถยนต์เครื่องยนต์ดีเซล และการจราจรที่หนาแน่นซึ่งส่งผลให้เกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างต่อเนื่อง

ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ส่งผลกระทบต่อระบบการมองเห็นและเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดโรคทางเดินหายใจ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ยังเป็นหนึ่งในก๊าซพิษที่นำไปสู่การก่อตัวของ $\text{PM}_{2.5}$ ที่ก่อให้เกิดโรคระบบหายใจและระบบหลอดเลือดหัวใจ

ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เป็นก๊าซพิษที่ไม่มีสีและไม่มีกลิ่นทำให้ผู้สัมผัสไม่สามารถรู้สึกได้ขณะสัมผัส ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ส่งผลกระทบต่อสมองและระบบประสาท หากได้รับสะสมในปริมาณมากจะทำให้หมดสติและเสียชีวิตได้

มลพิษทางเสียง (Noise pollution) หมายถึง ผลกระทบของเสียงที่มีต่อมนุษย์ เช่น เสียงดังเกินไปจนเกิดอันตรายต่อระบบการได้ยิน หรือเป็นเสียงที่ทำให้รู้สึกหงุดหงิด รำคาญ ไม่ว่าเสียงนั้นจะดังหรือไม่ก็ตาม

ค่ามาตรฐานสำหรับฝุ่นละอองและก๊าซในประเทศไทยมีดังนี้ ค่าเฉลี่ย PM_{10} ในเวลา 24 ชั่วโมงจะต้องไม่เกิน 0.12 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ ในเวลา 1 ปีจะต้องไม่เกิน 0.15 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าเฉลี่ย $\text{PM}_{2.5}$ ในเวลา 24 ชั่วโมงจะต้องไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ ในเวลา 1 ปีจะต้องไม่เกิน 0.025 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าเฉลี่ยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในเวลา 1 ชั่วโมงจะต้องไม่เกิน 30 ppm และ ในเวลา 8 ชั่วโมงจะต้องไม่เกิน 9 ppm ค่าเฉลี่ยก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในเวลา 1 ชั่วโมงจะต้องไม่เกิน 0.17 ppm และระดับเสียงที่ยอมให้สัมผัสได้ตลอดระยะเวลาการทำงานวันละ 8 ชั่วโมง คือ ไม่เกิน 85 dB(A)

ปัญหาฝุ่นละอองที่เกิดจากการก่อสร้างเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนและสิ่งแวดล้อมอย่างรุนแรง โดยฝุ่นละอองที่เกิดจากการรื้อถอน การขุดเจาะ การบดอัด การผสมคอนกรีต การขนย้ายวัสดุก่อสร้าง ซึ่งฝุ่นละอองเหล่านี้สามารถลอยตัวอยู่ในอากาศได้เป็นเวลานานและสามารถเข้าสู่ร่างกายของเราได้ผ่านทางการหายใจ ก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพต่างๆ มากมาย เช่น โรคทางเดินหายใจ โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคมะเร็งปอด นอกจากนี้เสียงดังจากเครื่องจักรก่อสร้าง เช่น รถบดถนน รถตักดิน รถเจาะคอนกรีต ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของแรงงานได้

เช่นกัน เสียงดังที่สูงเกินมาตรฐานสามารถทำให้เกิดอาการหุ้อ เวียนศีรษะ เครียด หงุดหงิด นอนไม่หลับ ในระยะยาวอาจนำไปสู่ปัญหาสุขภาพที่รุนแรง เช่น โรคประสาทหูเสื่อม โรคหลอดเลือดสมอง

การตรวจติดตามมลพิษทางอากาศจะขึ้นอยู่กับสถานีตรวจวัดแบบคงที่โดยการสุ่มตัวอย่างแบบพาสซีฟหรือแบบต่อเนื่อง ข้อมูลจากเครื่องมือเหล่านี้ได้รับมาตรฐานและมีคุณภาพสูง อย่างไรก็ตาม ราคาที่สูง ขนาดใหญ่ เสียงดัง รวมถึงค่าบำรุงรักษาที่สูง ทำให้เครื่องมือเหล่านี้ไม่ถูกนำมาใช้งานมากนัก และด้วยขนาดที่ใหญ่ทำให้ไม่เหมาะสำหรับนำมาใช้ตรวจติดตามคุณภาพอากาศภายในอาคาร จึงมีการนำเทคโนโลยีเซนเซอร์มาใช้ ตรวจติดตามข้อมูลแบบเรียลไทม์ซึ่งได้รับความนิยมมากขึ้น สำหรับการตรวจสอบคุณภาพอากาศภายในอาคาร เนื่องด้วยขนาดเล็กทำให้เก็บข้อมูลมลพิษได้ทั่วถึงทุกพื้นที่

Internet of Things (IoT) คือ เทคโนโลยีที่เชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ในปัจจุบันมีส่วนเกี่ยวข้องอย่างมากในชีวิตมนุษย์ จึงมีการนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดก๊าซอันตราย และตรวจสอบคุณภาพอากาศโดยใช้เซนเซอร์ในการตรวจวัด

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องมือตรวจวัดมลพิษทางอากาศและเสียง (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂) ในโครงการก่อสร้างที่พักอาศัยเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยใช้เทคโนโลยีของเซนเซอร์ราคาประหยัด เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต และจัดเก็บข้อมูลบนระบบ Cloud database เพื่อตรวจวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงที่แรงงานก่อสร้างได้รับขณะปฏิบัติงาน และมีระบบแจ้งเตือนค่ามลพิษที่เกินค่ามาตรฐานผ่าน Line Notify และหลอดไฟ LED บนเครื่องมือวัด ซึ่งมีลักษณะของงานวิจัยและขั้นตอนในการดำเนินงานดังต่อไปนี้

3.1 ลักษณะของงานวิจัย

งานวิจัยการพัฒนาระบบในการวัดมลพิษทางอากาศทางอากาศ (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂) และมลพิษทางเสียงแบบเรียลไทม์ในโครงการก่อสร้างที่พักอาศัย เป็นงานวิจัยประยุกต์ ประเภท การวิจัยและพัฒนา เนื่องจากเป็นงานวิจัยที่นำความรู้เกี่ยวกับการวัดมลพิษทางอากาศ และเสียงและเทคโนโลยีของเซนเซอร์ราคาประหยัด เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต และจัดเก็บข้อมูลบนระบบ Cloud database ของ Blynk และมีการแจ้งเตือนหากค่ามลพิษที่วัดได้เกินค่ามาตรฐานผ่าน Line Notify และหลอดไฟ LED บนเครื่องมือวัด โดยผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้จากงานวิจัยคือ ได้เครื่องมือที่สามารถวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงที่แรงงานได้รับจากกิจกรรมในโครงการก่อสร้างที่พักอาศัย และตรวจสอบกิจกรรมย่อยที่ก่อให้เกิดมลพิษจากบันทึกวิดีโอ

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย 1) ทบทวนเอกสารและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย 2) ศึกษา สืบค้นและเก็บตัวอย่างข้อมูลมลพิษทางอากาศและเสียงจากโครงการก่อสร้างที่พักอาศัย 3) วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นรวมทั้งแนวทางแก้ไข 4) พัฒนาเครื่องมือสำหรับใช้ในการวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคล 5) ทดสอบความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียง 6) วัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงภายในโครงการก่อสร้างโดยเครื่องมือวัดส่วนบุคคล 7) วิเคราะห์ข้อมูลการได้รับปริมาณมลพิษของแรงงาน พร้อมทั้งสรุปผลกระทบของแรงงานก่อสร้าง และทราบถึงกระบวนการก่อสร้างก่อสร้างที่พักอาศัยที่เป็นแหล่งกำเนิดของมลพิษ

3.2.1 ทบทวนเอกสารและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ศึกษาและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยทั้งในส่วนของเอกสารงานวิจัย ตำราเรียน วารสาร พระราชบัญญัติ ข้อบังคับ กฎหมาย บทความทางวิชาการและสิ่งตีพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศ เช่น นิยามของมลพิษทางอากาศและเสียง แหล่งกำเนิดของมลพิษทางอากาศและเสียงจากงานวิจัย การวัดปริมาณมลพิษและผลกระทบของมลพิษทางอากาศและเสียงในด้านต่างๆ เครื่องมือที่ใช้วัดมลพิษจากงานวิจัยในอดีต และแหล่งกำเนิดมลพิษจากโครงการก่อสร้างที่พักอาศัย วิธีการและมาตรฐานการวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงในโครงการก่อสร้าง รวมถึงค่ามาตรฐานมลพิษของประเทศไทยที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ

3.2.2 ศึกษาและเก็บข้อมูลปัญหามลพิษทางอากาศและเสียง

ศึกษาและเก็บข้อมูลของปัญหามลพิษทางอากาศและเสียงที่เกิดขึ้นจากโครงการก่อสร้างที่พักอาศัยในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล เพื่อเป็นการสำรวจเบื้องต้นเกี่ยวกับแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศและเสียง รวมถึงเพื่อหาวิธีการวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงที่แรงงานได้รับ

3.2.3 วิเคราะห์สาเหตุ ปัญหาที่เกิดขึ้นรวมทั้งแนวทางแก้ไขปัญห

จากการศึกษา ทบทวนวรรณกรรม และการเก็บข้อมูลในโครงการก่อสร้างเบื้องต้น ทำให้ทราบสาเหตุของการเกิดปัญหาในการวัดมลพิษทางอากาศและเสียงในโครงการก่อสร้างที่พักอาศัยได้ดังนี้

1. เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงโดยทั่วไป เป็นการวัดแบบจุดใดจุดหนึ่งในโครงการ ประเมินความอันตรายจากค่าเฉลี่ยของปริมาณมลพิษที่แรงงานรับตลอดช่วงเวลาทำงาน ทำให้ไม่ทราบปริมาณมลพิษที่แรงงานได้รับจากกิจกรรมในขณะนั้น
2. ไม่ทราบปริมาณมลพิษที่แรงงานได้รับจากกิจกรรมย่อยของการก่อสร้างที่พักอาศัย

เนื่องจากในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีสมัยใหม่ สามารถทำการวัดค่ามลพิษเป็นแบบตามเวลาจริง (Real time) ได้และสามารถนำไปประยุกต์ให้เป็น Internet of Things (IoT) คือ การที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆสามารถเชื่อมโยงหรือส่งข้อมูลถึงกันได้ด้วยอินเทอร์เน็ต การเชื่อมโยงนี้ง่าย ทำให้สามารถควบคุมการใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ไปจนถึงการเชื่อมโยงการใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเข้ากับการใช้งานอื่นๆ ซึ่งแตกต่างจากในอดีตที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นเพียงสื่อกลางในการส่งและแสดงข้อมูลเท่านั้นแล้ว ผู้วิจัยจึงได้แนวทางในการแก้ไขปัญหานี้ คือ การนำเซนเซอร์มาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือวัดมลพิษทาง

อากาศ (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂) และมลพิษทางเสียง ขนาดพกพาเพื่อให้สามารถติดตั้งเข้ากับแรงงาน และนำ IoT มาใช้ ทำให้ข้อมูลที่ได้เป็นแบบตามเวลาจริง จากนั้นผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์มลพิษทางอากาศและเสียงที่เกิดจากกิจกรรมย่อยของการก่อสร้างที่พักอาศัย โดยตรวจสอบกิจกรรมย่อยที่เป็นแหล่งกำเนิดของมลพิษจากบันทึกวิดีโอ

3.2.4 การพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการวัดมลพิษทางอากาศและเสียง

จากการทบทวนวรรณกรรม การสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนามในโครงการก่อสร้างที่พักอาศัยเบื้องต้นก่อให้เกิดกระบวนการพัฒนาต่อยอดทำเครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลโดยการประยุกต์ใช้ระหว่างระบบ Internet of Things (IOT) กับเซนเซอร์ตรวจวัดมลพิษทางอากาศ (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂) และเซนเซอร์วัดความดังของเสียง เนื่องจากเซนเซอร์มีน้ำหนักเบา จึงประกอบติดกับแรงงานได้ ทำให้วัดปริมาณมลพิษที่แรงงานได้รับจากกิจกรรมย่อยของการก่อสร้าง โดยตรวจสอบกิจกรรมย่อยที่เป็นแหล่งกำเนิดของมลพิษจากบันทึกวิดีโอ และเมื่อเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณมลพิษเกินค่ามาตรฐานจะส่งสัญญาณแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้งาน เพื่อให้ทราบว่าคุณภาพอากาศบริเวณนั้นสามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ โดยก่อนที่จะนำเครื่องมือไปวัดปริมาณมลพิษที่แรงงานได้รับจะต้องทดสอบความแม่นยำของเครื่องมือโดยสอบเทียบกับเครื่องมือวัดของสถานีวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ

3.2.5 ทดสอบความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียง

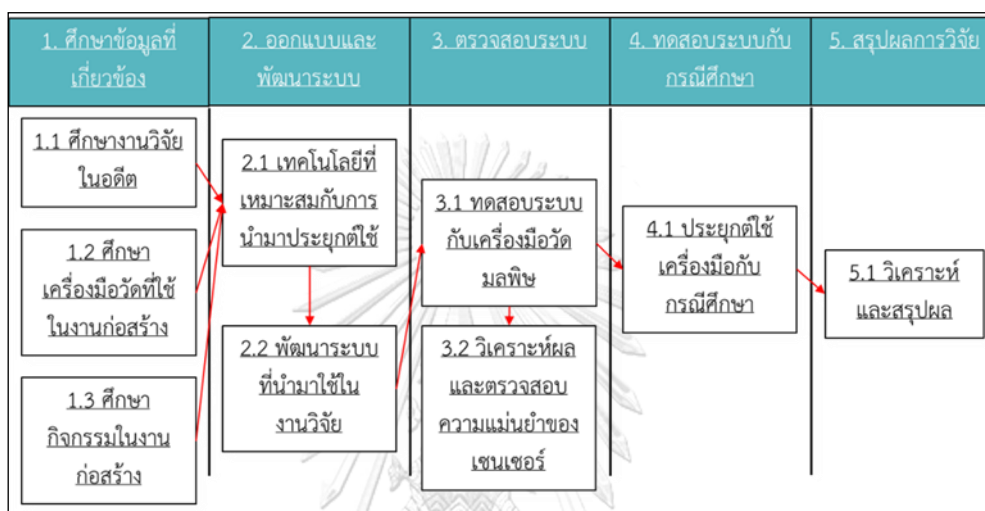
ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียง (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) โดยแยกเป็น 2 ส่วนดังนี้ 1.มลพิษทางอากาศ ผู้วิจัยสอบเทียบโดยการเปรียบเทียบค่าที่เครื่องมือวัดได้กับสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 13T กรมควบคุมโรค ต.ตลาดขวัญ อ.เมือง จ.นนทบุรี และ 2.มลพิษทางเสียง ผู้วิจัยสอบเทียบโดยการเปรียบเทียบค่าที่เครื่องมือวัดได้กับเครื่องวัดความดังเสียง (Sound Level Meter) UNI-T รุ่น UT353

3.2.6 ทดสอบเครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงกับกรณีศึกษา

ทดสอบเครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงกับกรณีศึกษาซึ่งเป็นโครงการก่อสร้างบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยวจำนวน 3 โครงการ และอาคารพักอาศัยรวม 1 โครงการ ซึ่งอยู่ในช่วงการก่อสร้างของงานโครงสร้าง หรือ งานสถาปัตยกรรม โดยเปรียบเทียบปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมงานก่อสร้าง รวมทั้งวิเคราะห์มลพิษที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมย่อยของการก่อสร้างที่พักอาศัย

3.2.7 วิเคราะห์ข้อมูลการได้รับมลพิษทางอากาศและเสียงของแรงงาน

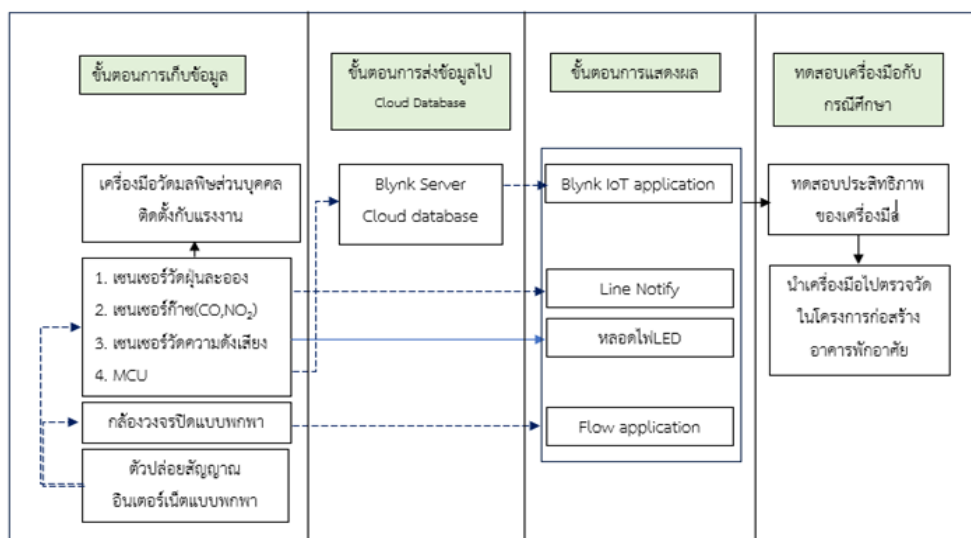
วิเคราะห์มลพิษที่เกิดขึ้นว่าเกิดจากกระบวนการใดในโครงการก่อสร้างที่พักอาศัย และหากทราบว่ากระบวนการก่อสร้างใดเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณมลพิษที่คนงานได้รับจากกิจกรรมการก่อสร้าง เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน รวมถึงปริมาณมลพิษที่ได้รับต่อวันทำงานเพื่อนำมาใช้อธิบายลักษณะความเสี่ยง (Risk Characterization)



รูปที่ 3.1 สรุปขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.3 กรอบแนวคิดงานวิจัย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อพัฒนาเครื่องมือและระบบวัดมลพิษทางอากาศและเสียง (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) ในโครงการก่อสร้างที่พักอาศัย รวมทั้งสร้างระบบแจ้งเตือนแรงงานขณะปฏิบัติงานหากมีปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงเกินค่ามาตรฐานผ่าน Line Notify โดยข้อมูลจะถูกจัดเก็บบนฐานข้อมูล Cloud Database ซึ่งผู้วิจัยเลือกใช้ Blynk และสามารถตรวจสอบกิจกรรมงานก่อสร้างที่เกิดมลพิษผ่านแอปพลิเคชันของกล้อง (Fowl Application) เพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบงานวิจัยโดยมีหัวข้อหลักดังนี้ ขั้นตอนการเก็บข้อมูลปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียง ขั้นตอนการส่งข้อมูลไป Cloud database ขั้นตอนการแสดงผล และทดสอบเครื่องมือวัดกับกรณีศึกษา



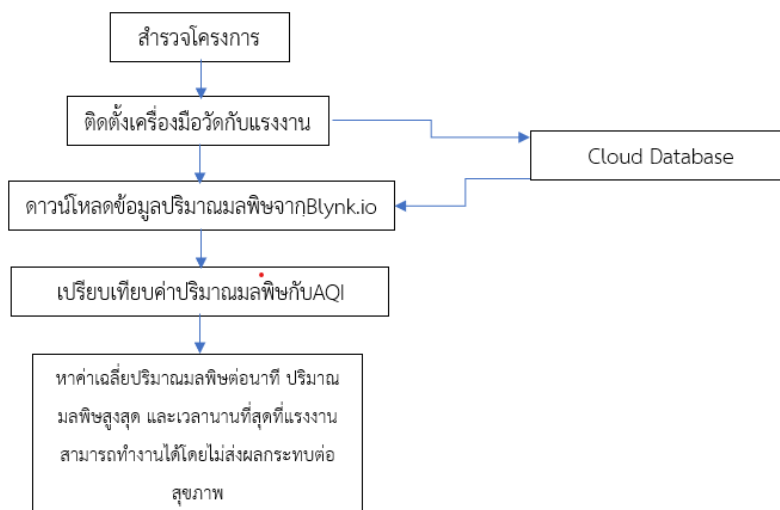
รูปที่ 3.2 รูปภาพแสดงกรอบแนวคิดงานวิจัยเครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงในโครงการก่อสร้างที่พัทลุง

ขั้นตอนการเก็บข้อมูลปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงใช้เครื่องมือวัดมลพิษส่วนบุคคลติดตั้งไว้กับแรงงาน ซึ่งในกล่องเครื่องมือวัดประกอบไปด้วย เซนเซอร์วัดปริมาณฝุ่นละออง เซนเซอร์วัดปริมาณก๊าซ และเซนเซอร์วัดความดังของเสียง โดยเซนเซอร์เหล่านี้จะใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ และเซนเซอร์ทั้งหมดต่ออยู่กับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยผู้วิจัยนำเครื่องมือวัดและกล่องบันทึกวีดีโอขนาดเล็กติดกับแรงงาน เพื่อทำการเก็บข้อมูลปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงที่แรงงานได้รับจากกิจกรรมงานก่อสร้าง หลังจากนั้นจะส่งข้อมูลปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียง (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) ไปยังฐานข้อมูล Cloud Database ของ Blynk-IoT โดยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะเชื่อมต่อสัญญาณอินเตอร์เน็ตจากตัวปล่อยสัญญาณอินเตอร์เน็ตแบบพกพาเพื่อส่งสัญญาณข้อมูล

ขั้นตอนการแสดงผลนั้นผู้วิจัยสามารถตรวจสอบข้อมูลปริมาณมลพิษผ่าน Blynk IoT application หรือหน้าเว็บไซต์ Blynk.io ซึ่งจะแสดงข้อมูลปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียง (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) ในรูปแบบ Dashboard และกราฟสรุปผล จากนั้นนำข้อมูลปริมาณมลพิษที่แรงงานได้รับจากการก่อสร้าง มาตรวจสอบกิจกรรมย่อยที่ก่อให้เกิดมลพิษ โดย Fowl application ซึ่งในระหว่างที่ผู้วิจัยทำการตรวจวัด หากมีปริมาณมลพิษเกินค่ามาตรฐานระบบจะแจ้งเตือนแรงงานผ่านหลอดไฟ LED และแจ้งเตือนเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยโครงการผ่าน Line Notify และนำไปทดสอบความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดกับสถานีวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ หลังจากทดสอบระบบเรียบร้อยแล้วจึงนำไปตรวจวัดในโครงการก่อสร้างที่พัทลุง ซึ่งข้อมูล

เครื่องมือตรวจวัดมลพิษทางอากาศและเสียงในโครงการก่อสร้างที่พักอาศัยอย่างละเอียด จะกล่าวถึงในบทถัดไป

3.3.1 ขั้นตอนการเก็บข้อมูลมลพิษทางอากาศและเสียงโดยเครื่องมือวัดส่วนบุคคล



รูปที่ 3.3 รูปภาพแสดงขั้นตอนการเก็บข้อมูลปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียง
โดยเครื่องมือวัดส่วนบุคคล

1. สำรวจโครงการโดยรอบและทำการเก็บข้อมูล ความเร็วลม ปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ในบริเวณที่ไม่มีกิจกรรมก่อสร้าง
2. ติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณมลพิษและกล่อง เข้ากับพลังงาน พร้อมทั้งเชื่อมต่อสัญญาณอินเทอร์เน็ต เครื่องมือวัดจะเริ่มทำการเก็บข้อมูลไว้บนระบบ Cloud database เมื่อเก็บข้อมูลครบตลอดวันทำงาน จึงกลับมาเก็บเครื่องมือวัด
3. ดาวน์โหลดข้อมูลปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงที่เก็บได้ตลอดวันทำงานจาก blynk.io โดยไฟล์ข้อมูลที่ดาวน์โหลดมาจะเป็นไฟล์ .CSV จากนั้นทำการแปลงไฟล์ .CSV เป็นไฟล์ Excel
4. เปรียบเทียบค่าปริมาณมลพิษที่ได้จากเครื่องมือวัดกับมาตรฐานคุณภาพอากาศ AQI และตรวจสอบกิจกรรมงานก่อสร้างผ่าน Fowl Application รวมถึงตัดกิจกรรมที่ไม่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้าง และบันทึกกิจกรรมลงในไฟล์ Excel
5. รวบรวมปริมาณมลพิษที่ได้จากไฟล์ Excel หาค่าเฉลี่ยปริมาณมลพิษก่อนที่ ปริมาณมลพิษสูงสุดช่วงหนึ่งของกิจกรรมนั้น และหาเวลานานที่สุดที่พลังงานสามารถทำงานได้โดยไม่เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ(นาทื) โดยมีสูตรคำนวณดังนี้

3.4 สรุปวิธีการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะแสดงรายละเอียดขั้นตอนดำเนินงานวิจัย โดยเริ่มจากการทบทวนเอกสารและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย เช่น การวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียง ผลกระทบของมลพิษทางอากาศและเสียง เครื่องมือที่ใช้วัดมลพิษจากงานวิจัยในอดีต แหล่งกำเนิดมลพิษจากโครงการก่อสร้าง วิธีการและมาตรฐานการวัดปริมาณมลพิษในโครงการก่อสร้าง และมาตรฐานมลพิษของประเทศไทยที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ ต่อมาได้ศึกษา สืบค้น และเก็บตัวอย่างข้อมูลมลพิษจากโครงการก่อสร้างที่พักอาศัย ซึ่งทำการศึกษาและเก็บข้อมูลของปัญหามลพิษที่เกิดจากโครงการก่อสร้างภาคสนาม เพื่อสำรวจเบื้องต้นเกี่ยวกับแหล่งกำเนิดมลพิษในโครงการก่อสร้าง รวมถึงเพื่อหาวิธีการวัดปริมาณมลพิษที่แรงงานได้รับ จากการทบทวนเอกสารและวรรณกรรมและสำรวจและเก็บตัวอย่างข้อมูลของมลพิษจากโครงการก่อสร้างที่พักอาศัยทำให้ทราบสาเหตุของการเกิดปัญหาในการวัดมลพิษในพื้นที่โครงการก่อสร้างที่พักอาศัยได้ดังนี้ 1. เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงโดยทั่วไป เป็นการวัดแบบจุดใดจุดหนึ่งในโครงการ ประเมินความอันตรายจากค่าเฉลี่ยของปริมาณมลพิษที่แรงงานรับตลอดช่วงเวลาทำงาน ทำให้ไม่ทราบปริมาณมลพิษที่แรงงานได้รับจากกิจกรรมในขณะนั้น และ 2. ไม่ทราบปริมาณมลพิษที่แรงงานได้รับจากกิจกรรมย่อยของการก่อสร้างที่พักอาศัย และจากที่เซ็นเซอร์มีน้ำหนักเบา นำมาประยุกต์ใช้งานง่าย ผู้วิจัยจึงได้สร้างเครื่องมือวัดมลพิษที่สามารถพกพาสะดวกและติดตัวกับแรงงาน ซึ่งสามารถวัดปริมาณมลพิษที่แรงงานได้รับจากการก่อสร้างและได้ทราบค่ามลพิษเป็นแบบตามเวลาจริง รวมถึงสามารถนำไปประยุกต์ให้เป็นระบบ Internet of Things (IoT) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ และเมื่อเซ็นเซอร์วัดมลพิษเกินค่ามาตรฐานจะแจ้งเตือนผ่านสัญญาณไฟให้แรงงานทราบว่าขณะนี้อากาศบริเวณนั้นสามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ ซึ่งก่อนที่จะนำเครื่องมือวัดมลพิษติดตั้งกับแรงงานจะต้องนำเครื่องมือไปสอบเทียบเพื่อหาความแม่นยำ จากนั้นจึงนำเครื่องมือที่ผู้วิจัยพัฒนาเก็บข้อมูลมลพิษที่แรงงานได้รับเป็นเวลา 8 ชม. เมื่อเก็บข้อมูลครบ 8 ชม.แล้ว ผู้วิจัยจะทราบถึงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงที่แรงงานได้รับจากการก่อสร้าง สามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์ปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงจากกิจกรรมย่อยของการก่อสร้าง โดยใช้แอปพลิเคชัน Blynk และทราบว่ากิจกรรมย่อยใดเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษ เพราะมีการแจ้งเตือนผ่าน LINE Notify ไปยังเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยของโครงการ เพื่อตรวจสอบกิจกรรมผ่านวิดีโอที่บันทึกไว้ใน Flow application ซึ่งเป็นแอปพลิเคชันของกล้องบันทึกวิดีโอขนาดเล็ก โดยงานนี้ผู้วิจัยทำการวัดปริมาณมลพิษภายในโครงการก่อสร้างที่พักอาศัยทั้งหมด 4 โครงการ

บทที่ 4

ระบบตรวจวัดมลพิษทางอากาศและเสียงในโครงการก่อสร้างที่พักอาศัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการพัฒนาเครื่องมือตรวจวัดมลพิษทางอากาศและเสียงในโครงการก่อสร้างที่พักอาศัยจากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น เซอร์วัดปริมาณฝุ่นละออง เซอร์วัดปริมาณก๊าซ เซอร์วัดความดังของเสียง และกล้องบันทึกวีดีโอขนาดเล็ก เข้ากับเทคโนโลยี Internet of Things (IoT) ซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลบนฐานข้อมูล Cloud Database ของ Blynk-IoT และมีการส่งข้อมูลแจ้งเตือนมลพิษผ่าน Line Notify

4.1 แนวทางการพัฒนาระบบ

งานวิจัยต้องการสร้างเครื่องมือที่ใช้สำหรับการวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียง (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) โดยประยุกต์ใช้โปรแกรม Arduino IDE กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น เซอร์วัดฝุ่นละออง เซอร์วัดก๊าซ เซอร์วัดความดังของเสียง และกล้องบันทึกวีดีโอขนาดเล็ก ให้เป็นระบบ Internet of things (IoT) ติดตั้งกับแรงงานก่อสร้าง เพื่อวัดปริมาณมลพิษที่แรงงานได้รับจากกิจกรรมย่อยของการก่อสร้าง จากนั้นปริมาณมลพิษที่เครื่องมือวัดอ่านค่าได้ถูกนำไปจัดเก็บบนฐานข้อมูล Cloud Database และถ้ามลพิษในขณะนั้นเกินค่ามาตรฐาน ระบบจะแจ้งเตือนไปยังแรงงานผ่านทางหลอดไฟ LED และแจ้งเตือนเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยโครงการผ่านทาง Line Notify และตรวจสอบกิจกรรมย่อยที่เกิดมลพิษจาก Fowl Application จากนั้นผู้วิจัยจะนำข้อมูลที่ถูกจัดเก็บบนฐานข้อมูล Cloud Database มาวิเคราะห์หาปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงที่แรงงานได้รับจากกิจกรรมย่อยของการก่อสร้างที่พักอาศัย และตรวจสอบว่ากิจกรรมใดก่อให้เกิดมลพิษ

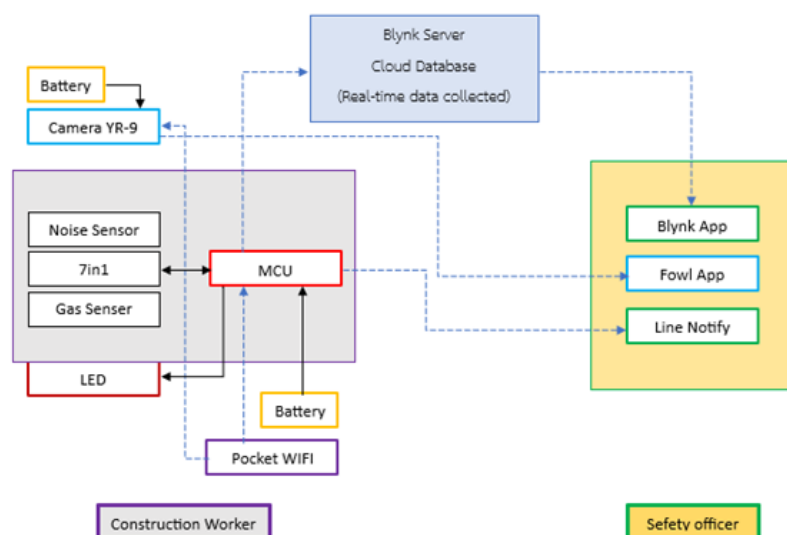
4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียง

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดปริมาณมลพิษ ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ 1. ส่วนที่ติดตั้งอยู่กับแรงงานก่อสร้าง ประกอบด้วยเครื่องมือวัดมลพิษส่วนบุคคลและกล้องบันทึกวีดีโอ และ 2. ส่วนของเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยโครงการ ประกอบไปด้วยคอมพิวเตอร์ หรือโทรศัพท์มือถือที่มีแอปพลิเคชัน Line, Blynk และ Fowl เพื่อใช้รับข้อมูลปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงที่ส่งมาจากเครื่องมือวัดมลพิษส่วนบุคคล ภายในกล่องเครื่องมือวัดประกอบไปด้วย หลอดไฟสำหรับแจ้งเตือนแรงงานถ้ามลพิษในขณะนั้นเกินค่ามาตรฐาน เช่น เซอร์วัดปริมาณฝุ่นละออง เซอร์วัดความดังของเสียง เซอร์วัดปริมาณก๊าซ และบอร์ด ESP-32S (MCU) ทำหน้าที่ควบคุมและสั่งงานอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ โดยการใช้การเขียนโปรแกรม และเชื่อมต่อกับ WIFI สำหรับส่งข้อมูลจากเครื่องมือวัดมลพิษส่วนบุคคล ไป

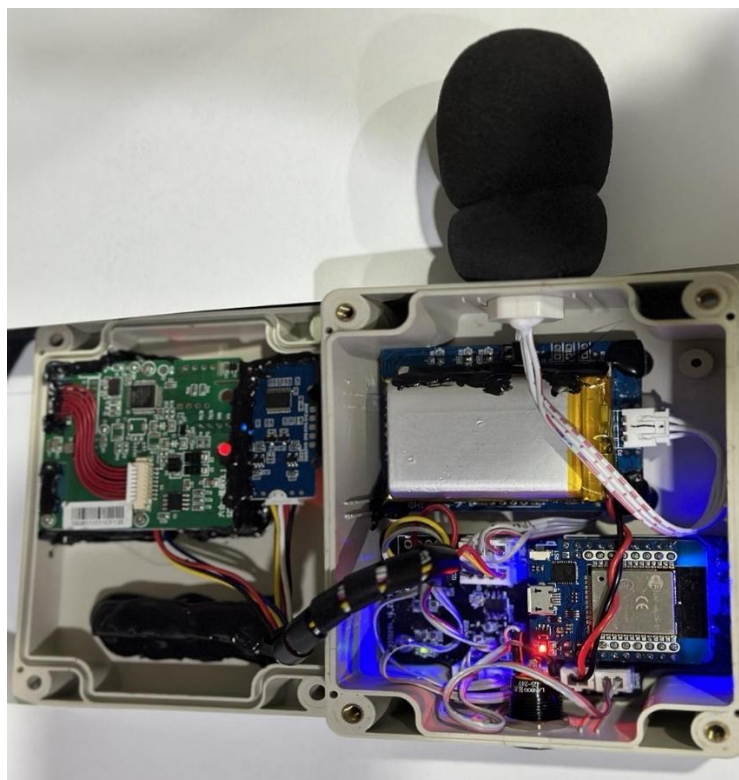
เก็บบันทึกในระบบ Cloud Database เพื่อให้ส่วนของเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยโครงการสามารถตรวจสอบปริมาณมลพิษและได้รับการแจ้งเตือนถึงระดับความอันตรายของมลพิษ รวมทั้งสามารถตรวจสอบกิจกรรมย่อยที่ก่อให้เกิดมลพิษ และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณมลพิษที่แรงงานได้รับจากกิจกรรมย่อยของการก่อสร้างที่พักอาศัย



รูปที่ 4.1 รูปภาพแสดงเครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงที่ติดไว้กับแรงงาน



รูปที่ 4.2 รูปภาพแสดงผังการทำงานและอุปกรณ์ของระบบวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียง



รูปที่ 4.3 รูปภาพแสดงอุปกรณ์ในกล่องเครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียง ประกอบไปด้วย
บอร์ด MCU ESP-32 เซนเซอร์วัดปริมาณฝุ่นละออง เซนเซอร์วัดปริมาณก๊าซ
เซนเซอร์วัดความดังของเสียง แผ่นวงจรพิมพ์ แบตเตอรี่สำรองพลังงาน และหลอดไฟ LED

4.2.1 ตัวรับส่งสัญญาณข้อมูลเพื่อใช้ Internet of things (IoT)

CHULAL

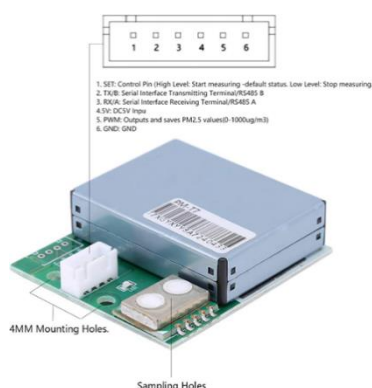


รูปที่ 4.4 รูปภาพแสดงโมดูล ESP32 MH-ET LIVE D1 mini ESP32 ESP-32 WiFi+Bluetooth
Internet of Things development board CH9102 ที่ใช้ในงานวิจัย

ตัวส่งสัญญาณข้อมูลขึ้นในระบบ Cloud Database มีหลายรุ่น ผู้วิจัยเลือกใช้โมดูล ESP32 MH-ET LIVE D1 mini ESP32 ESP-32 WiFi+Bluetooth Internet of Things development board CH9102 โดยโมดูลนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์(MCU) ของ ESP32 พัฒนาต่อยอดมาจากบอร์ด ESP8266 Wi-Fi ทำให้มีระบบประมวลผลเร็วขึ้น รวมถึงเพิ่มฟังก์ชันที่ทันสมัยและเหมาะสมกับการทำเครื่องมือวัดปริมาณมลพิษส่วนบุคคล และโมดูลนี้เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้เครื่องมือสามารถเชื่อมต่อกับระบบ Internet of Things (IoT) มีระบบทำงานแบบ Dual Core ที่ความเร็ว 160Mhz มีขนาดเล็ก และสามารถเขียนโปรแกรม ผ่าน Arduino IDE ได้เช่นเดียวกับเขียนโปรแกรมลง Arduino board ข้อดีอีกประการหนึ่งคือ โมดูลมี USB TTL ทำให้สามารถใช้สาย USB เชื่อมต่อกับโปรแกรม Arduino IDE ได้ทันที

4.2.2 เซนเซอร์วัดปริมาณฝุ่นละออง

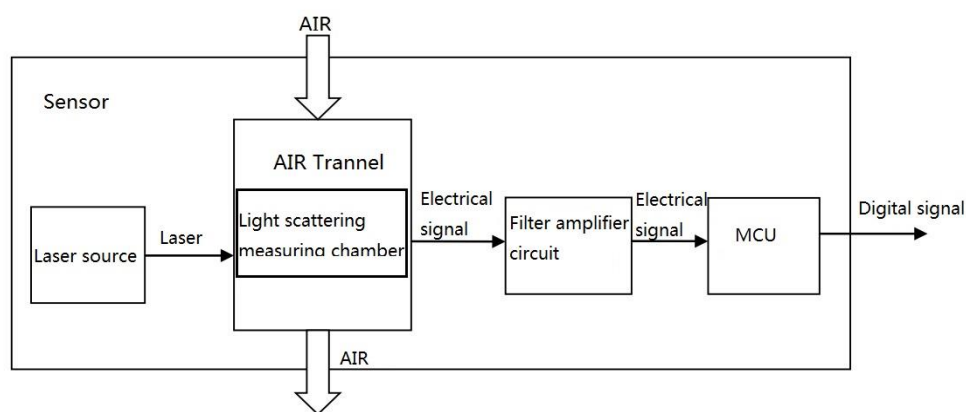
เซนเซอร์วัดฝุ่นละอองที่ผู้วิจัยเลือกใช้คือ Air Quality 7 Sensor RS485 (PM-T7) มีลักษณะเป็นโมดูลประกอบด้วยเซนเซอร์วัดฝุ่น เซนเซอร์วัดก๊าซ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น โดยสามารถวัดค่าต่างๆได้ 7 ชนิด ประกอบด้วย CO₂ PM 2.5 PM 10 อุณหภูมิ(°C) ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) TVOC และ CH₂O สำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้เพียง PM 2.5 และ PM 10 โดยสามารถตรวจวัดได้แบบเรียลไทม์ และส่งออกข้อมูลผ่านรูปแบบโปรโตคอลที่กำหนด ซึ่งใช้งานง่าย ตัวเซนเซอร์มีเสถียรภาพและอ่านค่าได้ละเอียดแม่นยำ สามารถเชื่อมต่อผ่าน RS485 และตรวจวัดก๊าซและฝุ่นในปริมาณน้อยได้ รวมไปถึงมีขนาดเล็กและมีประสิทธิภาพเหมาะสมสำหรับงานวิจัยที่ต้องการติดเครื่องมือวัดกับแรงงานก่อสร้าง อีกทั้งยังมีราคาถูก โดยเซนเซอร์ใช้หลักการกระเจิงแสงด้วยเลเซอร์ในการวัดค่าฝุ่นละออง และผ่านการสอบเทียบความแม่นยำในโรงงาน (Sumtech, 2566)



รูปที่ 4.5 รูปภาพแสดงเครื่องวัดฝุ่นละออง Air Quality 7 Sensor RS485 (PM-T7)

(ที่มา : www.sumtechstores.com/product/323/air-quality-7-sensor-rs485)

Air Quality 7 Sensor RS485 (PM-T7) เป็นเครื่องนับอนุภาคแสงเลเซอร์ (OPC) ซึ่งได้รับขนาดและจำนวนอนุภาคจากรูปแบบการกระจายของเลเซอร์โดยใช้ทฤษฎี Mie โดยการวัดการกระเจิงแสงที่มุม 90 องศา ซึ่งทฤษฎีของ Gustave Mie ทำให้เห็นว่าแสงจะเกิดการกระเจิงแสง (scattering) ได้ดีกับอนุภาคที่มีความยาวคลื่นสั้นมากกว่าอนุภาคที่มีความยาวคลื่นยาว โดยแหล่งกำเนิดแสงของ PM-T7 เป็นเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 680 ± 10 นาโนเมตร เซนเซอร์ถูกแบ่งออกเป็นสองชั้น อากาศจะดูดเข้าสู่เครื่องวัดโดยพัดลมขนาดเล็ก จากนั้นอากาศจะถูกบังคับเข้าสู่เส้นทางของเลเซอร์ผ่านช่องทางเดินของอากาศ และแสงที่กระจัดกระจายจะถูกใช้ประเมินความเข้มข้นของฝุ่นละอองตามอัลกอริทึมของผู้ผลิตเซนเซอร์



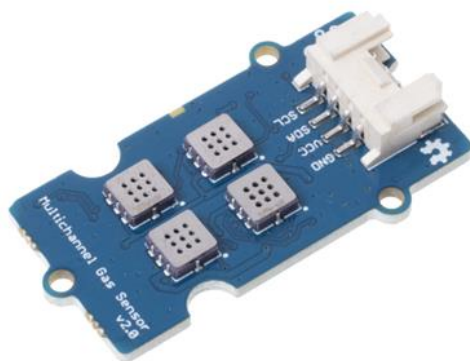
รูปที่ 4.6 รูปภาพแสดงหลักการทำงานของเครื่องวัดฝุ่นละออง

ที่มา : (Zhou Yong, 2016)

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงคุณสมบัติของ Air Quality 7 Sensor RS485 (PM-T7)

	Measurement resolution	measuring range	
eCO ₂		400~5000ppm	±100ppm
PM 2.5	0.3ug/m ³	0~1000 ug/m ³	±10%
PM 10		0~1000 ug/m ³	±10%
Temperature	0.01°C	0-60°C	±0.5°C
Humidity	0.04%RH	5~100%RH	±3%RH
TVOC	1 ug/m ³	0~1230 ug/m ³	±90 ug/m ³
CH ₂ O	1 ug/m ³	0-500 ug/m ³	±40 ug/m ³

4.2.3 เซนเซอร์ตรวจวัดมลพิษทางอากาศ



รูปที่ 4.7 รูปภาพแสดงโมดูลวัดก๊าซ Grove - Gas Sensor V2 (Multichannel)

(ที่มา : www.wiki.seeedstudio.com/Grove-Multichannel-Gas-Sensor-V2/)

Grove - Gas Sensor V2 (Multichannel) มีลักษณะเป็นโมดูลประกอบไปด้วยเซนเซอร์ก๊าซ 4 ตัว (GM-102B, GM-302B, GM-502B, GM-702B) โดยแต่ละเซนเซอร์มีความไวต่อก๊าซแต่ละตัวต่างกัน และเซนเซอร์จะแยกกันทำงานอิสระทำให้เครื่องมือที่ผู้วิจัยสร้างนั้นสามารถรับข้อมูลของก๊าซ 4 ตัวในเวลาเดียวกัน และก๊าซประเภทต่างๆ ก็สามารถตัดสินใจได้จากข้อมูล 4 ชุดนี้เช่นกัน เซนเซอร์ก๊าซที่ใช้ในโมดูลนี้ใช้เทคโนโลยีระบบเครื่องกลไฟฟ้าจุลภาค (micro-electromechanical systems : MEMS) มีข้อดี คือ มีขนาดเล็กและมีความเสถียรในการวัดมากและเหมาะสำหรับการวัดเชิงคุณภาพมากกว่าการวัดเชิงปริมาณ โดยผู้วิจัยจะกล่าวถึงเซนเซอร์ก๊าซที่ใช้สำหรับงานวิจัย คือ GM-102B สำหรับตรวจวัดปริมาณ NO_2 และ GM-702B สำหรับตรวจวัดปริมาณ CO (Seeed studio, 2023)

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงคุณสมบัติของ GM-102B

Part No.			GM-102B
Sensor Type			MEMS
Standard Encapsulation			Ceramic
Detection Gas			NO ₂
Detection Range			0.1~10ppm (NO ₂)
Standard Circuit Conditions	Loop Voltage	V_C	$\leq 24V$ DC
	Heater Voltage	V_H	$2.0V \pm 0.1V$ AC or DC
	Load Resistance	R_L	Adjustable
Sensor character under standard test conditions	Heater Resistance	R_H	$80\Omega \sim 20\Omega$ (room temperature)
	Heater consumption	P_H	$\leq 40mW$
	Sensitive materials resistance	R_S	$10K\Omega \sim 1000K\Omega$ (in 2ppm NO ₂)
	Sensitivity	S	$R_0(\text{in air})/R_S(\text{in 2ppm NO}_2) \leq 0.5$
Standard test conditions	Temp. Humidity		$20^\circ C \pm 2^\circ C$: $55\% \pm 5\% RH$
	Standard test circuit		$V_H: 2.0V \pm 0.1V$: $V_C: 5.0V \pm 0.1V$

(ที่มา : www.wiki.seedstudio.com/Grove-Multichannel-Gas-Sensor-V2/)

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงคุณสมบัติของ GM-107B

Part No.			GM-702B
Sensor Type			MEMS CO Gas Sensor
Standard Encapsulation			Ceramic
Detection Gas			CO gas
Detection Range			5~5000ppm (CO)
Standard Circuit Conditions	Loop Voltage	V_C	$\leq 24V$ DC
	Heater Voltage	V_H	2.5V $\pm$ 0.1V AC or DC (high temp.) 0.5V $\pm$ 0.1V AC or DC (low temp.)
	Heater Time	T_L	60s $\pm$ 1s (high temp.) 90s $\pm$ 1s (low temp.)
	Load Resistance	R_L	Adjustable
Sensor character under standard test conditions	Heater Resistance	R_H	80 Ω ~20 Ω (room temperature)
	Heater consumption	P_H	$\leq 50mW$
	Sensitive materials resistance	R_s	1K Ω ~30K Ω (in 150ppm CO)
	Sensitivity	S	$R_0(\text{in air})/R_s(\text{in 150ppm CO}) \geq 3$
Standard test conditions	Temp. Humidity		20°C $\pm$ 2°C: 55% $\pm$ 5%RH
	Standard test circuit		V_H : 2.5V $\pm$ 0.1V (high temp.) 0.5V $\pm$ 0.1V (low temp.) V_C : 5.0V $\pm$ 0.1V

(ที่มา : www.wiki.seeedstudio.com/Grove-Multichannel-Gas-Sensor-V2/)

หลักการทำงานของเซนเซอร์ก๊าซ GM-102B, GM-702B สำหรับตรวจวัดปริมาณ NO_2 และ CO คือ การใช้แผ่นความร้อนที่ผลิตด้วยเทคโนโลยีระบบเครื่องกลไฟฟ้าจุลภาค และใช้สารซิลิกอนเป็นวัสดุพิมพ์เพื่อทำหน้าที่เป็นเซมิคอนดักเตอร์โลหะออกไซด์ ซึ่งซิลิกอนเป็นวัสดุที่ไวต่อก๊าซเมื่อสัมผัสกับอากาศที่บริสุทธิ์ สภาวะสมดุลผสมรวมของกระแสในวงจรจะเป็นศูนย์เพราะไม่มีการเผาไหม้ เซมิคอนดักเตอร์จึงมีการนำไฟฟ้าต่ำ แต่เมื่อเซนเซอร์สัมผัสกับบรรยากาศที่มีก๊าซ NO_2 และ CO แผ่นความร้อนในเซนเซอร์จะเกิดการเผาไหม้ ดังนั้นค่าการนำไฟฟ้าของเซมิคอนดักเตอร์จะเปลี่ยนไปตามความเข้มข้นของก๊าซที่ตรวจพบในอากาศ ยิ่งความเข้มข้นของก๊าซสูง การเผาไหม้สูง ค่าการนำไฟฟ้าก็จะยิ่งสูงขึ้น จากความสอดคล้องดังกล่าว ของวงจรข้างต้นสามารถแปลงค่าของการเปลี่ยนแปลงการนำไฟฟ้าของเซมิคอนดักเตอร์ จะได้ค่าออกมาเป็นความเข้มข้นของก๊าซ

4.2.4 ไมโครวัดเสียง



รูปที่ 4.8 รูปภาพแสดงไมโครวัดเสียงรุ่น PR-ZS-BZ-485 ที่มา : (Cybertice, 2565)

ผู้วิจัยเลือกใช้ ไมโครวัดเสียงรุ่น PR-ZS-BZ-485 ในการตรวจวัดระดับความดังของเสียง ไมโครประกอบด้วยไมโครโฟนคอนเดนเซอร์อิเล็กทรอนิกส์ประสิทธิภาพสูงพร้อมช่วงไดนามิกกว้างและประสิทธิภาพที่เสถียร มีช่วงในการวัด 30-130 dB(A) ในช่วงความถี่ 20~12.5 KHz มีค่าคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.5 dB(A) สามารถทำงานสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสัมพัทธ์ตั้งแต่ 0-90%RH และอุณหภูมิในช่วง -40-60 องศาเซลเซียส และค่าที่ได้ออกมาเป็นดิจิตอลผ่าน RS-485 (Cybertice, 2565)

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงคุณสมบัติของ PR-ZS-BZ-485Z

(ที่มา : item.taobao.com/item.htm?id=584732275016)

Working voltage	4.5 ~ 5.5B (default) 10~28V (optional)	
Power consumption	18.9mA@5V 31.0mA@12V 27.8mA@24V	
Transmitter circuit working temperature	-20°C~+60°C, 0%RH~80%RH	
Output signal	UART (TTL)	Output voltage: 0~3.3V Input voltage: 0~3.3V compatible with 5V
	RS-485	ModBus-RTU communication protocol
	Analog output	Output voltage: 0~3V corresponds to 30~120dB
UART or RS-485 communication parameters	9600 N 8 1	
Measuring range	30dB~120dB	
Frequency weighting	A weighting	
Frequency response range	20Hz~12.5kHz	
Response time	Fast mode	500ms
	Slow mode	1.5S
Stability	Less than 2% within the life cycle	
Reference calibration points	94dB and 114dB calibration, reference sound pressure 20uPa, frequency 1kHz	
Noise accuracy	± 0.5dB (at reference pitch, 94dB @ 1kHz)	
Dust cover impact:	within 50 ~ 115db ranges≤0.5dB other range ≤0.7 dB	
working environment	Air temperature: -40 ~ + 60°C Relative humidity: 25% ~ 90% Static pressure: 65kPa ~ 106kPa There is no strong mechanical vibration, shock, strong electromagnetic field and corrosive gas around	
Adjustment data of sound pressure response and free field response	The sound pressure response generated by the sound calibrator or the simulated sound pressure response generated by the electrostatic sctuator can be obtained by adjusting the date in the table below to obtain an equivalent free field response	

4.2.5 โมดูลชาร์จแบตเตอรี่



รูปที่ 4.9 รูปภาพแสดงโมดูลชาร์จแบตเตอรี่ลิเธียม 4.2V พร้อมวงจรจ่ายไฟและวงจรป้องกัน 5V2A charge integrated module Type-C input ที่มา : (Cybertice, 2564)

โมดูลนี้ใช้สำหรับชาร์จแบตเตอรี่ที่อยู่ในกล่องเครื่องมือวัดมลพิษ รวมถึงเป็นช่องจ่ายไฟให้อุปกรณ์จากแหล่งจ่ายภายนอก (Cybertice, 2564)

4.2.6 แบตเตอรี่ภายในกล่องเครื่องมือวัดมลพิษ



รูปที่ 4.10 รูปภาพแสดงแบตเตอรี่ลิเธียมโพลิเมอร์ 3.7V ความจุ 2000 mAh

ที่มา : (Cybertice, 2562)

แบตเตอรี่ เป็นส่วนที่ทำให้ระบบไฟฟ้าของเครื่องมือวัดมลพิษมีความเสถียรมากขึ้น และจ่ายไฟฉุกเฉินเลี้ยงอุปกรณ์ในกรณีที่แหล่งจ่ายภายนอกกล่องเครื่องมือวัดมลพิษไม่ทำงาน ผู้วิจัยเลือกใช้แบตเตอรี่ลิเธียมโพลิเมอร์ รุ่น 103450 โดยแบตเตอรี่มีขนาดความหนา 10 mm กว้าง 34 mm ยาว 50mm ความจุมาตรฐาน 2000 mAh และมีแรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน 3.7V (Cybertice, 2562)

4.2.7 ไดโอดเปล่งแสง (Light-emitting diode, LED)



รูปที่ 4.11 รูปภาพแสดงไดโอดเปล่งแสง (Light-emitting diode, LED)

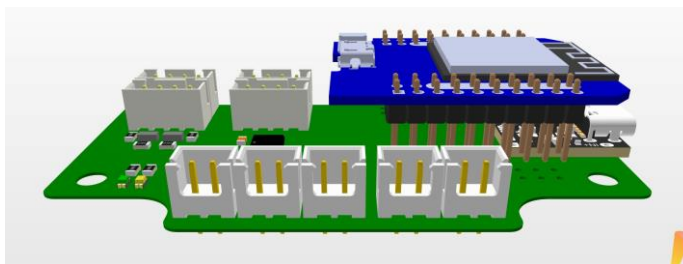
(ที่มา : <https://www.reichelt.com/de/en/led-5-mm-low-current-2-ma-green-led-5mm-2ma-gn-p21625.html>)

ไดโอดเปล่งแสง เป็นอุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์ที่ปล่อยแสงเมื่อมีกระแสไหลผ่าน สำหรับแจ้งเตือนสถานะการได้รับมลพิษ ซึ่งติดไว้กับกล่องเครื่องมือวัดมลพิษโดยผู้วิจัยเลือกใช้ หลอดสี 3 สี (เขียว, เหลือง, แดง) ในการแบ่งระดับการได้รับมลพิษออกเป็น 3 ระดับ โดยแบ่งจากระดับของดัชนีคุณภาพอากาศ 5 ระดับ โดย 3 ระดับแรกคุณภาพอากาศดีมาก คุณภาพอากาศดี ปานกลาง ให้แสดงสีเขียว เนื่องจากเป็นระดับที่สามารถทำกิจกรรมกลางแจ้งได้ปกติ ส่วนของคุณภาพอากาศเริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ และคุณภาพอากาศที่มีผลกระทบต่อสุขภาพใช้สีเหลือง และ สีแดงตามลำดับ เพื่อเป็นการแจ้งเตือนแรงงานถึงสภาพอากาศในขณะนั้น

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงการทำงานของหลอดไฟ LED เมื่อเครื่องมือวัดสัมผัสกับมลพิษโดยอ้างอิงจากผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย (ดัดแปลงจากกองคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ)

คุณภาพอากาศ หน่วยที่แสดง	PM 2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	ไฟ LED
ดีมาก	0-25	0-50	0-4.4	0-0.06	เขียว
ดี	26-37	51-80	4.5-6.4	0.061-0.106	
ปานกลาง	38-50	81-120	6.5-9	0.107-0.170	
"เริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ"	51-90	121-180	9.1-30	0.171-0.340	เหลือง
"มีผลกระทบต่อสุขภาพ"	91 ขึ้นไป	181 ขึ้นไป	30.1 ขึ้นไป	0.341 ขึ้นไป	แดง

4.2.8 แผ่นวงจรแผ่นวงจรพิมพ์ Print Circuit Board (PCB)

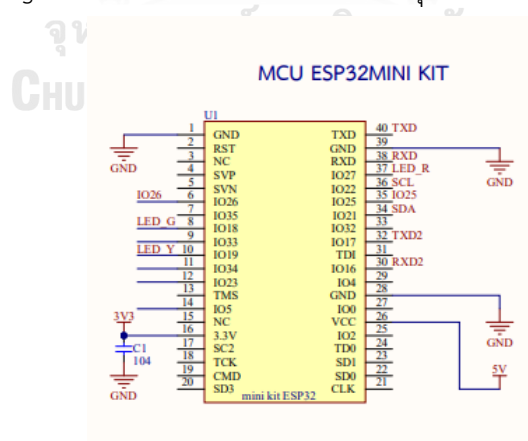


รูปที่ 4.12 รูปภาพแสดงตัวอย่าง Print Circuit Board (PCB) ที่ใช้ในงานวิจัย

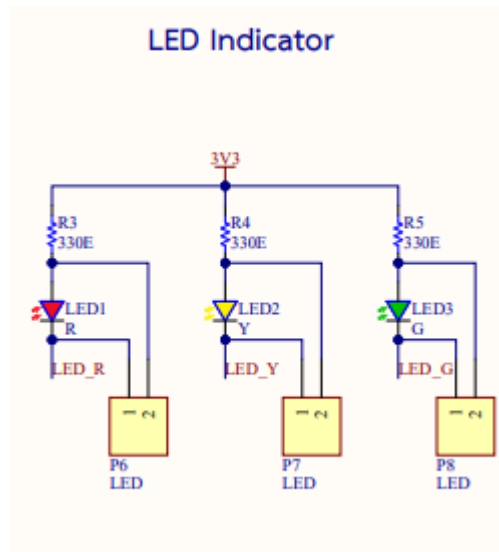
การออกแบบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่จะออกแบบโดยมีส่วนประกอบและสายไฟต่างๆ กระจุกกระจายอยู่ภายในผลิตภัณฑ์ แต่ด้วยความต้องการของผู้วิจัยและเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้น จึงมีการรวมสายไฟและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นเดียว นั่นคือ แผงวงจรพิมพ์

PCB (Printed Circuit Board) เป็นโมดูลสำคัญที่ใช้เชื่อมต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า แผงนี้ใช้แผ่น เส้นลายสื่อกระแสไฟฟ้า และคุณสมบัติอื่นๆ ที่กีดด้วยทองแดง เพื่ออำนวยความสะดวกในการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพ สนับสนุน และเชื่อมต่อส่วนประกอบของซ็อกเก็ต หรือ พูตพรีนท์ ส่วนอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่บนพื้นผิวของแผ่นวงจรพิมพ์ในงานวิจัยนี้ได้แก่ ทรานซิสเตอร์ ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และวงจรรวม

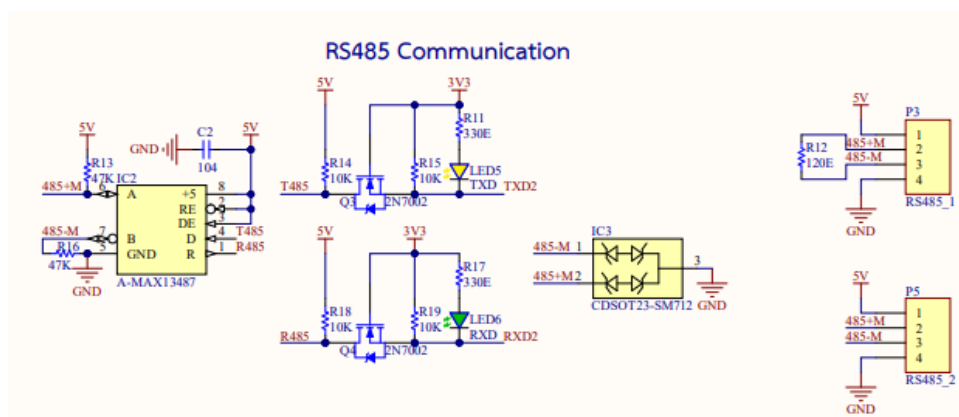
ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบวงจรไดอะแกรมแผนผัง schematic diagram ออกเป็น 5 ส่วนดังนี้ 1. บอร์ด MCU 2. ไดโอดเปล่งแสง(LED) 3. แหล่งจ่ายไฟ 4. I2C และ 5. RS485 ผ่านโปรแกรม Altium Designer เพื่อที่จะสร้าง PCB ใช้สำหรับอุปกรณ์วัดมลพิษส่วนบุคคลนี้



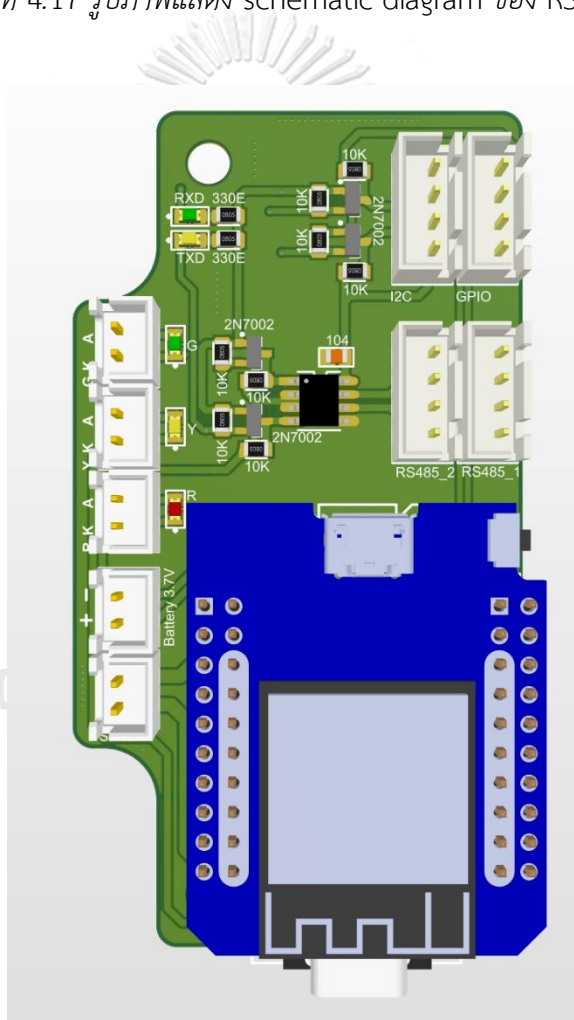
รูปที่ 4.13 รูปภาพแสดง schematic diagram ของบอร์ด MCU ESP32



รูปที่ 4.14 รูปภาพแสดง schematic diagram ของไดโอดเปล่งแสง (LED)



รูปที่ 4.17 รูปภาพแสดง schematic diagram ของ RS485



รูปที่ 4.18 รูปภาพแสดงแบบจำลอง PCB ที่ใช้ในงานวิจัย

4.2.9 เครื่องมือช่วยกระจายสัญญาณอินเทอร์เน็ต



รูปที่ 4.19 รูปภาพแสดง ZMI MF885 4G WiFi Router 10000mAh

เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลที่ผู้วิจัยสร้าง ส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ ซึ่งต้องรับและนำข้อมูลไปเก็บไว้ที่ Cloud database อย่างต่อเนื่อง 8 ชม. โดยเชื่อมต่อกันเป็นระบบ IoT ซึ่งบอร์ดที่ใช้มีข้อจำกัดเรื่องสัญญาณ WIFI ที่อาจเข้าไม่ถึงในโครงการก่อสร้างที่มีขนาดใหญ่ ผู้วิจัยพบว่าสามารถแก้ปัญหานี้ได้โดยติด Pocket WIFI ไว้กับแรงงาน ซึ่งผู้วิจัยเลือกใช้ Pocket WIFI ของ ZMI MF885 4G WiFi Router 10000mAh ในการปล่อยสัญญาณ เนื่องจากมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบาประมาณ 300 กรัม ซึ่งทำให้พกพาได้ง่าย รวมถึงคุณสมบัติของระดับความเร็วในการเชื่อมต่อสูงสุดอยู่ที่ระดับ 4G LTE มีความเร็วในการอัปโหลดสูงสุดที่ 50 Mbps และดาวน์โหลดที่ 150 Mbps และขนาดแบตเตอรี่ 10000 mAh สามารถใช้งานต่อเนื่องได้นาน 65 ชั่วโมง (Inewch, 2020)

4.2.10 แหล่งพลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 4.20 รูปภาพแสดงแบตเตอรี่สำรอง Eloop รุ่น E14

เนื่องจากในงานวิจัยต้องการตรวจวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงที่แรงงานได้รับในวันทำงาน ทำให้ต้องใช้เครื่องมือวัดต่อเนื่องเป็นเวลา 8 ชั่วโมงติดไปกับแรงงาน ผู้วิจัยเห็นว่าต้องมีแหล่งพลังงานไฟฟ้าขนาดใหญ่มารองรับให้เพียงพอ จึงเลือกใช้ Eloop E14 มีความจุไฟ 20000 mAh เป็นแบตเตอรี่สำรองที่มีคุณภาพสูง และมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา มีความทนทานและกันแรงกระแทกได้ เนื่องจากมีวัสดุห่อหุ้มเป็นอลูมิเนียมผสม (Eloop, 2023)

4.2.11 กล้องบันทึกวิดีโอขนาดเล็ก



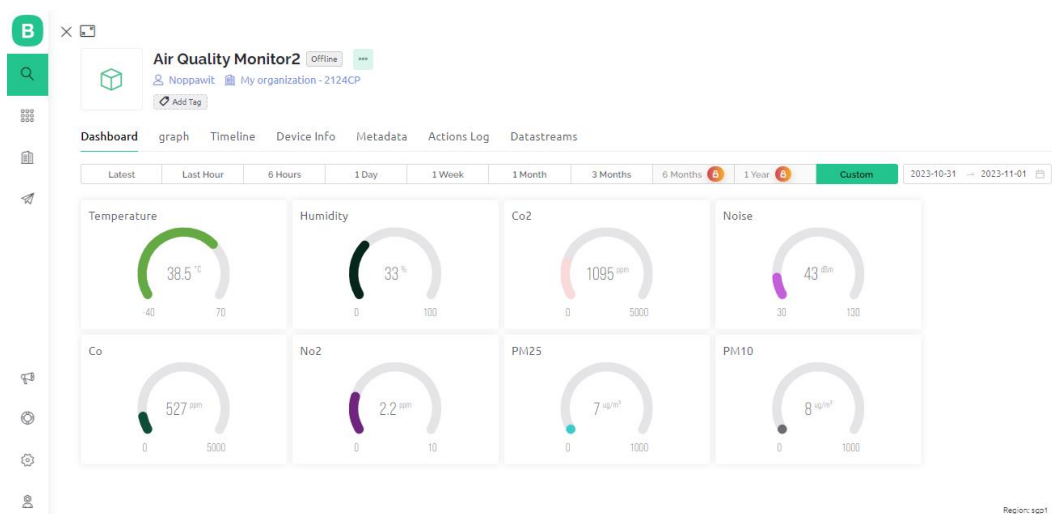
รูปที่ 4.21 รูปภาพแสดงกล้อง Mini wifi IP Camera รุ่น YR-9 FULL HD 1080P

ที่มา : (S2electronics, 2022)

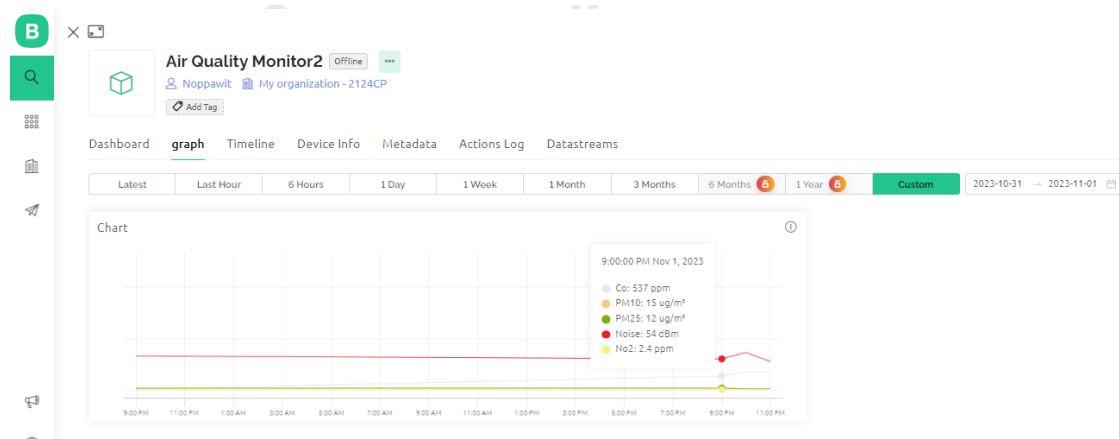
ผู้วิจัยเลือกใช้กล้องขนาดเล็ก รุ่น Mini wifi ยี่ห้อ YR รุ่น YR-9 เนื่องจากมีขนาดเล็กกะทัดรัด พกพาง่าย มีหัวล็อกสำเร็จรูปที่สามารถใส่กับสายรัดคาดอก สะดวกสำหรับการติดตั้งไปกับแรงงาน น้ำหนักเพียง 40 กรัม ความละเอียดภาพ 2 ล้านพิกเซล มีแบตเตอรี่สำรองพลังงาน 2600 mAh ในตัว สามารถทำงานต่อเนื่องได้ 5 ชม. ปรับภาพอัตโนมัติสำหรับการใช้งานสำหรับกรณีแสงสว่างไม่เพียงพอ สามารถบันทึกลง Micro SD Card และเชื่อมต่อกับ WiFi เพื่อตรวจสอบบันทึกวิดีโอซึ่งในงานวิจัยใช้ตรวจสอบกิจกรรมย่อยของการก่อสร้างที่ก่อให้เกิดมลพิษแบบเรียลไทม์ จาก Fowl Application พร้อมกับบันทึกภาพ และรองรับการใช้งานผ่านโทรศัพท์มือถือทั้งระบบ Android และ IOS (S2electronics, 2022)

4.2.12 เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผล

เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผลจำเป็นต้องมีสัญญาณอินเทอร์เน็ตเพื่อดูปริมาณมลพิษแบบเรียลไทม์ผ่านหน้าเว็บเพจ Blynk.io ซึ่งจะแสดงข้อมูลปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียง (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) ในรูปแบบ Dashboard และกราฟ ผู้วิจัยสามารถดาวน์โหลดข้อมูลจากฐานข้อมูล Cloud Database เป็นไฟล์ Microsoft Excel Comma Separated Values File (.csv) ลงคอมพิวเตอร์ จากนั้นใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในการแสดงและวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อตรวจสอบปริมาณมลพิษที่โรงงานได้รับจากกิจกรรมย่อยของการก่อสร้าง



รูปที่ 4.22 รูปภาพแสดงตัวอย่าง Dashboard แบบเรียลไทม์ของ Blynk



รูปที่ 4.23 รูปภาพแสดงตัวอย่าง กราฟค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของ Blynk

	A	B	C	D	E	F
1	Time	PM2.5	PM10	CO	NO2	dBA
2	11/9/2023 19:06	46	60	247	2.17	67.9
3	11/9/2023 19:05	83.44444	106.8333	253.8108	2.237297	58.9027
4	11/9/2023 19:04	153.5641	197.2308	267.1795	2.292051	59.37692
5	11/9/2023 19:03	30.19512	38.29268	250.2195	2.23	61.85854
6	11/9/2023 19:02	31.975	40.85	247.125	2.243	62.4325
7	11/9/2023 19:01	20.29545	25.61364	245.5682	2.251136	61.89773
8	11/9/2023 19:00	79.87879	103.6667	246	2.243636	65.70606
9	11/9/2023 18:59	71.02564	91.41026	239.4615	2.209487	59.17179
10	11/9/2023 18:58	18.54545	23.61364	264.3409	2.200455	58.75227
11	11/9/2023 18:57	30.325	38.7	261.2	2.21725	59.8
12	11/9/2023 18:56	31.69048	40.95238	238.7857	2.26	64.73095
13	11/9/2023 18:55	14.59091	18.36364	236.75	2.285682	65.85909
14	11/9/2023 18:54	89.43243	113.4324	240.5946	2.391081	67.18649
15	11/9/2023 18:53	118.2424	150.8788	248.5152	2.462121	63.88182
16	11/9/2023 18:52	41.6	53.575	242.8	2.468	65.385
17	11/9/2023 18:51	11.13636	14.2	245.5227	2.536591	66.15
18	11/9/2023 18:50	184.7179	241.9474	264.4615	2.685897	63.04359
19	11/9/2023 18:49	223.4324	285.1351	281.8649	2.811351	55.94595
20	11/9/2023 18:48	618.1053	654.5263	305.1053	2.808684	56.82368
21	11/9/2023 18:47	71.35	92.9	278.15	2.711	60.6975

รูปที่ 4.24 รูปภาพแสดงข้อมูล วันเดือนปี เวลา ปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียง (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A))

4.3 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในระบบวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียง

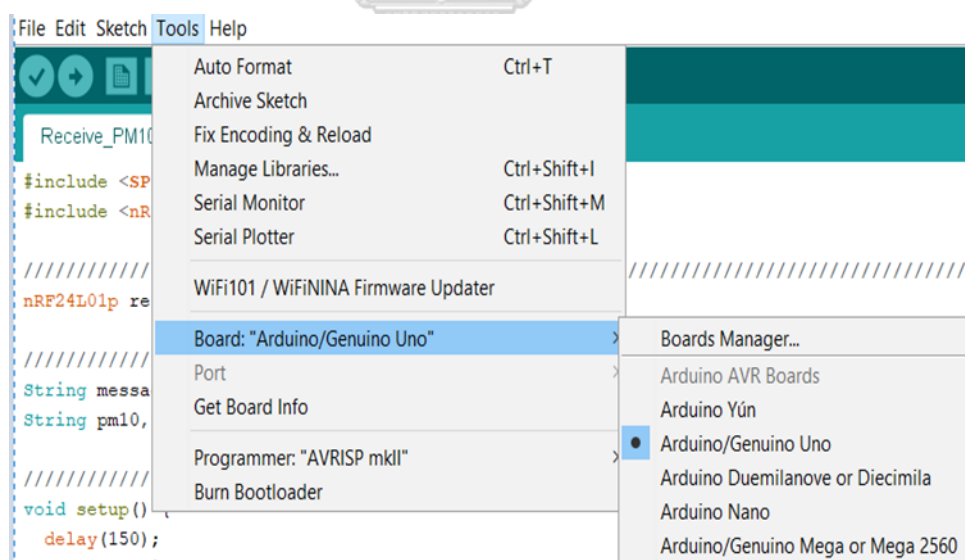
4.3.1 Arduino IDE



รูปที่ 4.25 รูปภาพแสดงโปรแกรม Arduino IDE ที่ใช้ในงานวิจัย

ผู้วิจัยเลือกใช้ Arduino IDE สำหรับการเขียนโปรแกรมเพื่อพัฒนาเครื่องมือวัดมลพิษ Arduino IDE คือซอฟต์แวร์เครื่องมือช่วยสำหรับพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษา C หรือ C++ ที่เหมาะสมสำหรับควบคุมบอร์ด Arduino และเครื่องมือต่างๆโดย IDE (Integrated Development Environment) หมายถึง ส่วนเสริมของระบบการพัฒนาหรือตัวช่วยต่างๆที่จะคอยช่วยเหลือผู้พัฒนาโปรแกรม หรือช่วยคนที่พัฒนา Application เพื่อเสริมให้เกิดความรวดเร็ว ถูกต้อง แม่นยำ และช่วยตรวจสอบระบบจากภาษาที่ผู้ใช้เขียนขึ้น ทำให้การพัฒนางานต่างๆรวดเร็วมากขึ้น นอกจากนี้ Arduino IDE ยังมีสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆเช่น RUN, Compile, DEBUG ซึ่งมี Graphical User Interface ที่ถูกออกแบบมาให้มีเหมาะสมกับการพัฒนาโปรแกรมสำหรับ Arduino board (Futurekit, 2560)

วิธีการเขียนโปรแกรม มีขั้นตอนดังนี้ (1.) เขียนโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ผ่านทางโปรแกรม Arduino IDE (2.) หลังจากที่ได้เขียนโค้ดโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว ให้ผู้ใช้งานเลือกรุ่นบอร์ด Arduino ที่ใช้และหมายเลข Com port (3.) กดปุ่ม Verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและ Compile โค้ด หลังจากนั้นกดปุ่ม Upload โปรแกรมไปยังบอร์ด Arduino ผ่านทางสาย USB เมื่อโหลดสำเร็จ จะแสดงข้อความแถบข้างล่าง “Done uploading” และบอร์ดจะเริ่มทำงานตามโปรแกรมที่เขียนไว้



รูปที่ 4.26 รูปภาพแสดงการเลือกรุ่นบอร์ด Arduino ที่ใช้ หลังจากการเขียนโปรแกรม

ตัวอย่างโค้ดที่ผู้วิจัยใช้ในระบบเครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงที่ทำการอ่านค่าจากเซนเซอร์ต่างๆ และทำการส่งข้อมูลผ่านระบบไปยัง Cloud database ของ Blynk มีดังนี้

```
#include <Multichannel_Gas_GMXXX.h>
#include <Wire.h>
#include <ModbusMaster.h>
#include <TridentTD_LineNotify.h>

GAS_GMXXX<TwoWire> gas;

ModbusMaster node;

/* Fill-in information from Blynk Device Info here */
/*****Device 1*****/
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL61LpaxElJ"
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "Air Quality Monitor1"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "lRilCPJ16wq98i4-dTauW_FZHZYfDmz9"

//Line Notify Token
#define LINE_TOKEN "MQCS05REjWwllZoelQwP77kCqZXCsRcLhRKPI1yf4zm"//AQM
1
/* Comment this out to disable prints and save space */
#define BLYNK_PRINT Serial

#define LED_G 18
#define LED_Y 19
#define LED_R 27

#include <WiFiManager.h> // https://github.com/tzapu/WiFiManager
//#include <WiFi.h>
//#include <WiFiClient.h>
#include <BlynkSimpleEsp32.h>
//char ssid[] = "Noservice";
//char pass[] = "88888888";
BlynkTimer timer;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Serial2.begin(9600);
  gas.begin(Wire, 0x08); // use the hardware I2C
  Serial.println(LINE.getVersion());

  WiFiManager wm;
  bool res;
  res = wm.autoConnect("AirQualityMonitor_1", "password"); // password
  protected ap
  if (!res) {
    Serial.println("Failed to connect");
    // ESP.restart();
  }
  else {
```

```

    //if you get here you have connected to the WiFi
    Serial.println("connected...yeey :)");
}
//Blynk.begin(BLYNK_AUTH_TOKEN, ssid, pass);
//Blynk.begin(BLYNK_AUTH_TOKEN, ssid, pass, "blynk.cloud", 80);
Blynk.config(BLYNK_AUTH_TOKEN); // config Blynk token
// กำหนด Line Token
LINE.setToken(LINE_TOKEN);
delay(1000);

/* ส่งข้อมูลอุปกรณ์ไปยังไลน์ ทุกครั้งตอนเริ่มต้น */
LINE.notify("AQM 1 Start");
// LINE.notify("AQM 2 Start");

pinMode(LED_G, OUTPUT);
pinMode(LED_Y, OUTPUT);
pinMode(LED_R, OUTPUT);

timer.setInterval(1000L, myTimerEvent); // taskเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลขึ้น Blynk
1001=1วินาที
}

float CO2_VAL = 0.0;
float TEMP_VAL = 0.0;
float HUMI_VAL = 0.0;
int PM_10_VAL = 0;
int PM25_VAL = 0;
float NOISE_VAL = 0;
float NO2_VAL = 0;
float CO_VAL = 0.0;

#define time_notify 3600000
unsigned long time_Count = 0;
unsigned long time_Count2 = 0;
unsigned long time_Count3 = 0;
unsigned long time_Count4 = 0;
unsigned long time_Count5 = 0;

int pm_f = 0;
int co_f = 0;
int no2_f = 0;
int noise_f = 0;
int PM_10_f = 0;

void loop() {
    get_NO2();
    get_modbus_sensor();
    // myTimerEvent();
    line_notify(); // Run Line Notify function
    Blynk.run(); // Run Blynk Function
    timer.run(); // Initiates BlynkTimer
}

```

```

void get_NO2() {
    NO2_VAL = gas.measure_NO2(); NO2_VAL = NO2_VAL / 100;
    //Serial.print("NO2: "); Serial.print(NO2_VAL, 1);
    Serial.println("PPM"); //Serial.print(" = ");
    //Serial.print(gas.calcVol(val)); Serial.println("V");
    CO_VAL = gas.measure_CO(); CO_VAL = CO_VAL / 10; //Serial.print("CO:
"); Serial.print(CO_VAL, 1); Serial.println("PPM");
    //Serial.print(" = ");
    //Serial.print(gas.calcVol(val)); Serial.println("V");
}
// function อ่านค่าจากเซนเซอร์ Modbus
int Read_Sensor(int addr , uint16_t REG) {
    int j, result;
    //mySerial.begin(9600, SWSERIAL_8N1, 1, 2, false, 95, 11);
    node.begin(addr, Serial2);
    //result = node.readInputRegisters (REG, 2); ///< Modbus function
0x04 Read Input Registers
    result = node.readHoldingRegisters (REG, 2);
    //delay(500);
    if (result == node.ku8MBSuccess) {
        return node.getResponseBuffer(0);
        //return i;
    } else {
        //mySerial.print("Connec modbus fail. REG >>> ");
mySerial.println(REG, HEX); // Debug
        //delay(1000);
        return 1537;
    }
}
}
void get_modbus_sensor() {
    CO2_VAL = Read_Sensor(1, 0); // CO2_VAL = Read_Sensor(ADDR, REG);
    delay(100);
    HUMI_VAL = Read_Sensor(1, 4);
    HUMI_VAL = HUMI_VAL / 10;
    delay(100);
    TEMP_VAL = Read_Sensor(1, 5);
    TEMP_VAL = TEMP_VAL / 10;
    delay(100);
    PM25_VAL = Read_Sensor(1, 3);
    delay(100);
    PM 10_VAL = Read_Sensor(1, 6);
    delay(100);
    NOISE_VAL = Read_Sensor(2, 1);
    NOISE_VAL = NOISE_VAL / 10;
    delay(100);
}
void myTimerEvent()
{
    // You can send any value at any time.
    // Please don't send more that 10 values per second.
    Blynk.virtualWrite(V2, TEMP_VAL);
    Blynk.virtualWrite(V3, HUMI_VAL);
    Blynk.virtualWrite(V4, CO2_VAL);
}

```

```

    Blynk.virtualWrite(V5, NOISE_VAL);
    Blynk.virtualWrite(V6, CO_VAL);
    Blynk.virtualWrite(V7, NO2_VAL);
    Blynk.virtualWrite(V8, PM25_VAL);
    Blynk.virtualWrite(V9, PM_10_VAL);
}
String str = "";
void PM_LEVEL() { // PM 2.5 Function อ่านและส่งค่าขึ้นไลน์
    if (PM25_VAL <= 50 && pm_f != 1) {
        digitalWrite(LED_G, LOW);
        digitalWrite(LED_Y, HIGH);
        digitalWrite(LED_R, HIGH);
        str = "PM 2.5 :" + String(PM25_VAL) + "ug/m3, ปกติ";
        LINE.notify(str);
        pm_f = 1;
        time_Count = millis();
    }
    else if (PM25_VAL > 50 && PM25_VAL <= 90 && pm_f != 2) {
        digitalWrite(LED_G, LOW);
        digitalWrite(LED_Y, LOW);
        digitalWrite(LED_R, HIGH);
        str = "PM 2.5 :" + String(PM25_VAL) + "ug/m3, เริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ";
        LINE.notify(str);
        pm_f = 2;
        time_Count = millis();
    }
    else if (PM25_VAL > 90 && pm_f != 3) {
        digitalWrite(LED_G, LOW);
        digitalWrite(LED_Y, LOW);
        digitalWrite(LED_R, LOW);
        str = "PM 2.5 : " + String(PM25_VAL) + "ug/m3, มีผลกระทบต่อสุขภาพ";
        LINE.notify(str);
        pm_f = 3;
        time_Count = millis();
    }
}
//String str = "";
void CO_LEVEL() { // CO Function อ่านและส่งค่าขึ้นไลน์
    if (CO_VAL <= 9 && co_f != 1) {
        str = "CO : " + String(CO_VAL) + "PPM, ปกติ"; // เก็บค่า CO และแปลงเป็น String
        LINE.notify(str); // ส่งค่า str ไปยังไลน์
        co_f = 1;
        time_Count2 = millis();
    }
    else if (CO_VAL > 9 && CO_VAL <= 30 && co_f != 2) {
        str = "CO : " + String(CO_VAL) + "PPM, เริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ";
        LINE.notify(str);
        co_f = 2;
        time_Count2 = millis();
    }
    else if (CO_VAL > 30 && co_f != 3) {

```

```

    str = "CO : " + String(CO_VAL) + "PPM, มีผลกระทบต่อสุขภาพ";
    LINE.notify(str);
    co_f = 3;
    time_Count2 = millis();
  }
}

void NO2_LEVEL() { // NO2 Function อ่านและส่งค่าขึ้นไลน์
  // int no2 = NO2_LEVEL*100;
  if (NO2_VAL * 100 <= 17 && no2_f != 1) {
    str = "NO2 : " + String(NO2_VAL) + "PPM, ปกติ";
    LINE.notify(str);
    no2_f = 1;
    time_Count3 = millis();
  }
  else if (NO2_VAL * 100 > 17 && NO2_VAL * 100 <= 34 && no2_f != 2) {
    str = "NO2 : " + String(NO2_VAL) + "PPM, เริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ";
    // LINE.notify(str);
    no2_f = 2;
    time_Count3 = millis();
  }
  else if (NO2_VAL * 100 > 34 && no2_f != 3) {
    no2_f = 3;
    str = "NO2 : " + String(NO2_VAL) + "PPM, มีผลกระทบต่อสุขภาพ";
    LINE.notify(str);
    time_Count3 = millis();
  }
}

void NOISE_LEVEL() { // NOISE Function อ่านและส่งค่าขึ้นไลน์
  if (NOISE_VAL <= 84 && noise_f != 1) {
    noise_f = 1;
    str = "NOISE : " + String(NOISE_VAL) + "dB(A), ปกติ";
    LINE.notify(str);
    time_Count4 = millis();
  }
  else if (NOISE_VAL > 84 && noise_f != 2) {
    noise_f = 2;
    str = "NOISE : " + String(NOISE_VAL) + "dB(A), เริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ";
    LINE.notify(str);
    time_Count4 = millis();
  }
}

void PM_10_LEVEL() {
  if (PM_10_VAL <= 120 && PM_10_f != 1) { // PM 10 Function อ่านและส่งค่าขึ้นไลน์
    PM_10_f = 1;
    str = "PM 10 : " + String(PM_10_VAL) + "ug/m3, ปกติ";
    LINE.notify(str);
    time_Count5 = millis();
  }
  else if (PM_10_VAL > 120 && PM_10_VAL <= 180 && PM_10_f != 2) {
    PM_10_f = 2;
    str = "PM 10 : " + String(PM_10_VAL) + "ug/m3, เริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ";
  }
}

```

```

        LINE.notify(str);
        time_Count5 = millis();
    }
    else if (PM 10_VAL > 180 && PM 10_f != 3) {
        PM 10_f = 3;
        str = "PM 10 : " + String(PM 10_VAL) + "ug/m3, มีผลกระทบต่อสุขภาพ";
        LINE.notify(str);
        time_Count5 = millis();
    }
}

void line_notify() { // line notify function
    if (millis() - time_Count >= time_notify) { //เปรียบเทียบเวลาเมื่อถึงเวลาที่กำหนดให้แจ้งค่า
PM 2.5 หนึ่งครั้ง(ในการทำงานนี้จะส่งค่าทุกๆ 1 ชั่วโมงหากค่าไม่มีการเปลี่ยนระดับ)
        pm_f = 0;
        // Serial.println("PM25 time sent");
        LINE.notify("รายงานค่าPM 2.5");
        PM_LEVEL();
    } else {
        // Serial.println("PM25 in waiting");
        PM_LEVEL();
    }
    if (millis() - time_Count5 >= time_notify) { //เปรียบเทียบเวลาเมื่อถึงเวลาที่กำหนดให้แจ้งค่า
PM 10 หนึ่งครั้ง(ในการทำงานนี้จะส่งค่าทุกๆ 1 ชั่วโมงหากค่าไม่มีการเปลี่ยนระดับ)
        PM 10_f = 0;
        // Serial.println("PM 10_LEVEL time sent");
        LINE.notify("รายงานค่าPM 10");
        PM 10_LEVEL();
    } else {
        // Serial.println("PM 10_LEVEL in waiting");
        PM 10_LEVEL();
    }
    if (millis() - time_Count2 >= time_notify) { //เปรียบเทียบเวลาเมื่อถึงเวลาที่กำหนดให้แจ้งค่า
CO หนึ่งครั้ง(ในการทำงานนี้จะส่งค่าทุกๆ 1 ชั่วโมงหากค่าไม่มีการเปลี่ยนระดับ)
        co_f = 0;
        // Serial.println("CO_LEVEL time sent");
        LINE.notify("รายงานค่าCO");
        CO_LEVEL();
    } else {
        // Serial.println("CO_LEVEL in waiting");
        CO_LEVEL();
    }
    if (millis() - time_Count3 >= time_notify) { //เปรียบเทียบเวลาเมื่อถึงเวลาที่กำหนดให้แจ้งค่า
no2 หนึ่งครั้ง(ในการทำงานนี้จะส่งค่าทุกๆ 1 ชั่วโมงหากค่าไม่มีการเปลี่ยนระดับ)
        no2_f = 0;
        // Serial.println("NO2_LEVEL time sent");
        LINE.notify("รายงานค่าNO2");
        NO2_LEVEL();
    } else {
        // Serial.println("NO2_LEVEL in waiting");
        NO2_LEVEL();
    }
}

```

```

if (millis() - time_Count4 >= time_notify) { //เปรียบเทียบเวลาเมื่อถึงเวลาที่กำหนดให้แจ้งค่า
noise หนึ่งครั้ง(ในการทำงานนี้จะส่งค่าทุกๆ 1 ชั่วโมงหากค่าไม่มีการเปลี่ยนระดับ)
    noise_f = 0;
    // Serial.println("NOISE_LEVEL time sent");
    LINE.notify("รายงานค่าNOISE");
    NOISE_LEVEL();
} else {
// Serial.println("NOISE_LEVEL in waiting");
    NOISE_LEVEL();
}
}
}

```

4.3.2 Blynk Platform

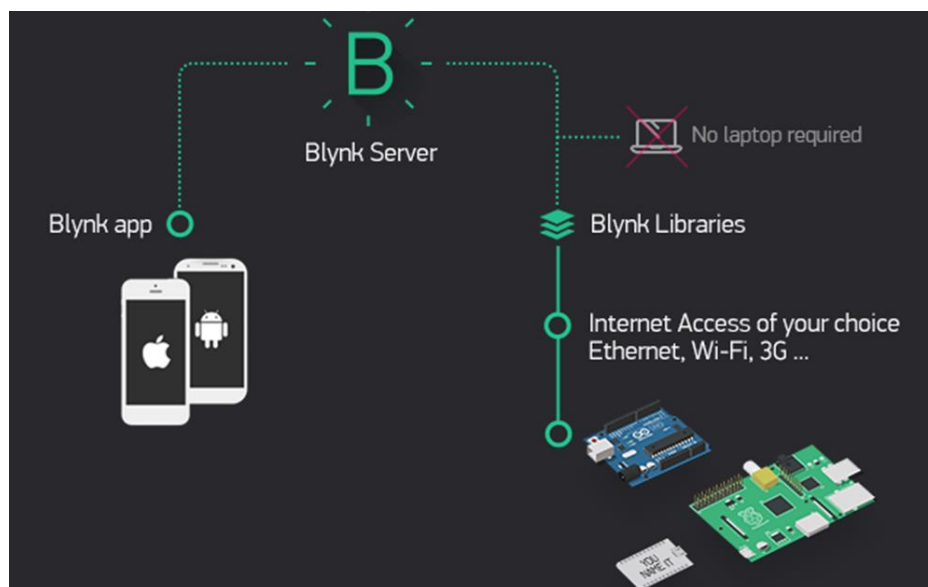


รูปที่ 4.27 รูปภาพ Blynk Application ที่ผู้วิจัยเลือกใช้ในการเก็บและแสดงผลข้อมูลปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียง (ที่มา : <https://iot.jpnet.co.th/blynk/>)

ผู้วิจัยสร้างเครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงจากอุปกรณ์ที่กล่าวมาข้างต้น จำเป็นต้องมีตัวกลางในการเชื่อมต่อ ซึ่งในกรณีที่ผู้วิจัยทำเป็นระบบ Internet of Things (IoT) ในอดีตจะต้องนำความรู้หลายส่วนมาประยุกต์ใช้ร่วมกัน ตัวอย่างเช่น การใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์อ่านค่าข้อมูลจากเซนเซอร์ การส่งข้อมูลขึ้นไปยังเซิร์ฟเวอร์ การเขียนแอปพลิเคชันที่เป็นตัวกลางระหว่างผู้ใช้งานกับตัวฮาร์ดแวร์ ซึ่งทั้งหมดนี้หากจะศึกษาต้องใช้เวลาพอสมควรและมักเกิดปัญหาทรัพยากร เช่น CPU RAM ROM ไม่เพียงพอ ทำให้ระบบค้างและไม่เสถียร ส่งผลให้การเขียนโปรแกรมทำได้ยาก เพราะต้องประหยัดทรัพยากรให้ได้มากที่สุดเพื่อให้ระบบทำงานได้มีประสิทธิภาพ ดังนั้นในงานนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึง Blynk Platform ที่จะทำให้อุปกรณ์ IoT สามารถเชื่อมกันได้ง่าย

Blynk Platform เป็น Open Source แพลตฟอร์มอย่างหนึ่ง ซึ่งออกแบบมาเพื่อช่วยนักพัฒนาพร้อมใช้สำหรับงาน IoT ที่จะทำให้อุปกรณ์ต่างๆเชื่อมต่อเข้ากับระบบผ่านอินเทอร์เน็ตได้ง่าย และผู้วิจัยสามารถสร้าง Graphic interface ขึ้นมาใน Application เพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ และรับข้อมูลจากอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์มาแสดงผลบน Application จากระยะไกล บน

Smartphone ซึ่งมีความน่าสนใจคือการเขียนโปรแกรมที่ง่าย โดยที่ผู้วิจัยไม่ต้องเขียนตัว Application เอง สามารถใช้งานได้อย่าง Real-time สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ไมโครคอนโทรเลอร์ ชนิดต่างๆ เช่น Arduino, Esp8266, Esp32, Nodemcu, Rasberry pi ที่สำคัญ Application Blynk ยังไม่มีค่าใช้จ่าย และรองรับในระบบ IOS และ Android อีกด้วย



รูปที่ 4.28 รูปภาพแสดงการเลือกบอร์ด Arduino ที่ใช้ หลังจากการเขียนโปรแกรม
(ที่มา : <https://iot.jpnet.co.th/blynk/>)

โดยการทำงานของ blynk ประกอบไปด้วยองค์ประกอบ 3 ส่วนดังนี้

Blynk App – แอปพลิเคชันที่สามารถติดตั้งในมือถือของเราเองเพื่อสร้าง Interface ในการควบคุมหรือแสดงผลค่าจากอุปกรณ์ Internet of Things

Blynk Server – ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการติดต่อสื่อสารระหว่างแอปพลิเคชันกับอุปกรณ์ Internet of Things

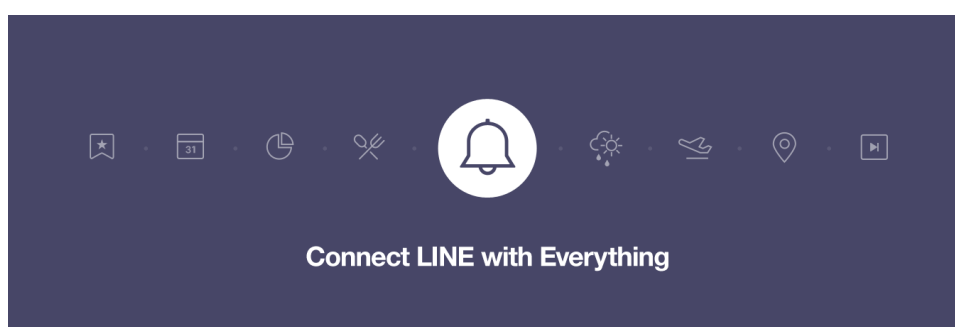
Blynk Libraries – ออกแบบมาสำหรับอุปกรณ์ Internet of Things ต่างๆ ให้สามารถสื่อสารกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ (IoT Man, 2561)

วิธีการทำงานของ Blynk เริ่มจาก ส่วนของอุปกรณ์บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น Arduino esp8266 Esp32 Rasberry Pi เชื่อมต่อไปยัง Server ของ Blynk โดยตรง สามารถรับส่งข้อมูลหากันได้ส่วนของผู้ใช้ คอมพิวเตอร์ Smartphone จะเชื่อมต่อกับ Server ของ Blynk โดยตรง หมายถึงว่า มี Server ทำหน้าที่เป็นสะพานให้เชื่อมต่อหากัน จึงหมดปัญหาและข้อจำกัดทุกอย่างที่

กล่าวมาข้างต้นทำให้อุปกรณ์ของผู้วิจัยมีความเสถียรมากขึ้นการออกแบบดังรูปที่ 4.28 ซึ่งเป็นที่นิยมมากในปัจจุบัน

กล่าวโดยสรุป คือ Blynk ช่วยให้ผู้ใช้สามารถส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตระหว่างอุปกรณ์ไมโครคอนโทรเลอร์ให้ส่งข้อมูลมายัง Application บนมือถือ รวมถึงสามารถใช้ Application ควบคุมอุปกรณ์เหล่านี้ได้ โดยใช้ระบบ Blynk Server เป็นสะพานในการเชื่อมต่อ

4.3.3 LINE Notify



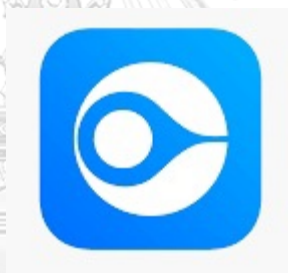
รูปที่ 4.29 รูปภาพแสดงโลโก้ของโปรแกรม LINE Notify
(ที่มา : www.linedevth.line.me/th/line-notify)

LINE Notify เป็นบริการของแอปพลิเคชัน LINE ที่ทำให้เราสามารถส่งข้อความถึงผู้ที่ขอใช้ โดยผ่าน APIs ปัจจุบันคนไทยติดต่อสื่อสารและและส่งข้อมูลทางแอปพลิเคชัน LINE จึงเกิดแนวความคิดที่จะส่งข้อมูลปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงที่เกินค่ามาตรฐาน ผ่านช่องทาง LINE Notify นี้แจ้งเตือนในมือถือของเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยโครงการ (จป.) เพื่อตรวจสอบกิจกรรมย่อยของการก่อสร้างที่เป็นแหล่งกำเนิดของมลพิษจากบันทึกวิดีโอ



รูปที่ 4.30 รูปภาพแสดงการแจ้งเตือนมลพิษทางอากาศผ่าน LINE Notify ของผู้วิจัย

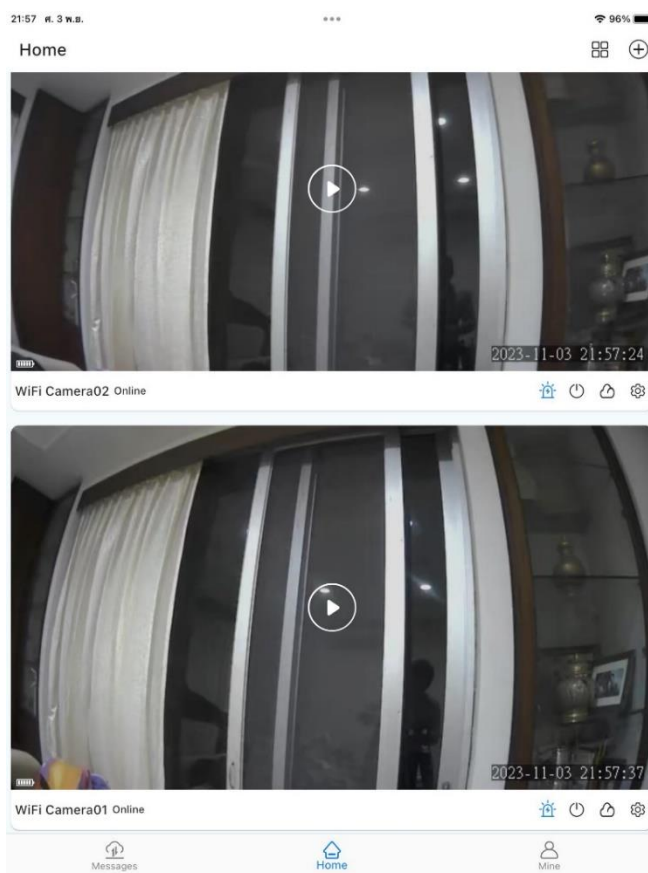
4.3.4 Fowl Application



รูปที่ 4.31 รูปภาพแสดงโลโก้ของ Fowl Application

(ที่มา : www.camsoy.com/blogs/news/the-brief-introduction-of-fowl)

Fowl Application เป็น Mobile Application ที่ผู้วิจัยเลือกใช้สำหรับตรวจสอบกิจกรรมย่อยของการก่อสร้างที่พิกาศัยที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศและเสียง แบบเรียลไทม์หลังจากที่ได้รับแจ้งเตือนปริมาณมลพิษผ่าน Line Notify



รูปที่ 4.32 รูปภาพแสดงตัวอย่างวิดีโอผ่าน Fowl App

4.4 การทดสอบความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคล

ทำการเปรียบเทียบปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 ในหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดปริมาณฝุ่นละออง (PM-T7) และเปรียบเทียบปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ในหน่วยส่วนในล้านส่วนที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดปริมาณก๊าซ(Grove-Gas Sensor V2 Multichannel) กับเครื่องมือวัดของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ ส่วนของระดับความดังของเสียงในหน่วย dB(A) ที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดความดังของเสียง สอบเทียบกับเครื่องมือวัดความดังของเสียง UNI-T รุ่น UT353 (Mini Sound Meter)



รูปที่ 4.33 รูปภาพแสดงการสอบเทียบเครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศ
กับสถานีวัดมลพิษทางอากาศสถานี 13T กรมควบคุมโรค

4.4.1 การทดสอบความคลาดเคลื่อนของเซนเซอร์วัดฝุ่นละออง (PM-T7)

ทำการทดสอบความคลาดเคลื่อนของเซนเซอร์วัดฝุ่นละออง (PM 2.5, PM 10) กับสถานีวัดคุณภาพอากาศสถานี 13T กรมควบคุมโรค ต.ตลาดขวัญ อ.เมือง จังหวัดนนทบุรี โดยการเปรียบเทียบค่าปริมาณฝุ่นละอองในหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่วัดได้จากค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของเครื่องมือวัดกับค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของสถานีวัดคุณภาพอากาศ ซึ่งทำการวัดเป็นเวลา 26 ชั่วโมง และนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติได้ค่าสถิติดังนี้

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าปริมาณฝุ่นละออง (PM 2.5) ที่วัดได้จากเซนเซอร์ PM-T7 กับสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 13T

วันที่	ช่วงเวลาทำการทดสอบ	เซนเซอร์ PM-T7	สถานีวัดคุณภาพอากาศ 13T	ผลต่าง	% ความคลาดเคลื่อน
		($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
7/11/2023	15.00-16.00	18.29	19.40	-1.11	5.74
	16.00-17.00	25.35	23.80	1.55	6.50
	17.00-18.00	23.96	25.30	-1.34	5.31
	18.00-19.00	8.41	6.40	2.01	31.38
	19.00-20.00	9.48	6.40	3.08	48.18
	20.00-21.00	10.34	10.00	0.34	3.37
	21.00-22.00	10.60	13.50	-2.90	21.52
	22.00-23.00	13.80	9.10	4.70	51.60
	23.00-24.00	15.03	16.00	-0.97	6.06
8/11/2023	24.00-01.00	16.13	14.60	1.53	10.49
	01.00-02.00	15.68	14.90	0.78	5.21
	09.00-10.00	27.50	24.10	3.40	14.09
	10.00-11.00	16.67	19.00	-2.33	12.27
	11.00-12.00	16.92	14.00	2.92	20.86
	12.00-13.00	15.59	18.30	-2.71	14.80
	13.00-14.00	17.38	16.80	0.58	3.47
	14.00-15.00	19.31	16.70	2.61	15.64
	15.00-16.00	18.30	22.20	-3.90	17.56
	16.00-17.00	24.10	19.30	4.80	24.90
	20.00-21.00	26.41	25.40	1.01	3.98
	21.00-22.00	27.81	25.80	2.01	7.80
	22.00-23.00	19.24	19.40	-0.16	0.84
	23.00-24.00	20.74	14.20	6.54	46.04
	24.00-01.00	21.06	20.50	0.56	2.73
	01.00-02.00	22.69	19.30	3.39	17.57
	02.00-03.00	25.00	23.40	1.60	6.82
ค่าเฉลี่ย				1.08	15.57
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				2.51	14.10

จากตารางที่ 4.6 สรุปได้ว่าค่าปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 ในหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดปริมาณฝุ่นละออง (PM-T7) กับค่าที่วัดได้จากสถานีวัดคุณภาพอากาศ 13T มีค่าแตกต่างกันอยู่ที่ 0-6.54 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าเฉลี่ยของผลต่างเท่ากับ 1.08

ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.51 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 15.57% และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 14.10%

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าปริมาณฝุ่นละออง (PM 10) ที่วัดได้จากเซนเซอร์ PM-T7 กับสถานีวัดคุณภาพอากาศ 13T

TIME	ช่วงเวลาทำการทดสอบ	เซนเซอร์ PM-T7	สถานีวัดคุณภาพอากาศ 13T	ผลต่าง	% ความคลาดเคลื่อน
		($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
7/11/2023	15.00-16.00	23	31	-7.87	25.39
	16.00-17.00	25	37	-11.53	31.16
	17.00-18.00	25	36	-11.27	31.31
	18.00-19.00	10	12	-1.58	13.19
	19.00-20.00	12	12	-0.24	2.02
	20.00-21.00	13	15	-2.13	14.18
	21.00-22.00	13	18	-4.79	26.63
	22.00-23.00	17	23	-5.64	24.50
	23.00-24.00	19	37	-18.05	48.77
8/11/2023	24.00-01.00	20	31	-10.61	34.23
	01.00-02.00	20	34	-14.24	41.88
	09.00-10.00	35	48	-12.92	26.91
	10.00-11.00	21	37	-15.93	43.05
	11.00-12.00	21	28	-6.61	23.59
	12.00-13.00	20	28	-8.30	29.63
	13.00-14.00	22	33	-11.00	33.34
	14.00-15.00	24	36	-11.50	31.94
	15.00-16.00	19	38	-19.38	50.99
	16.00-17.00	31	43	-12.32	28.64
	20.00-21.00	27	31	-3.64	11.75
	21.00-22.00	25	38	-13.27	34.92
	22.00-23.00	24	37	-12.65	34.18
	23.00-24.00	26	43	-16.64	38.70
	24.00-01.00	27	37	-10.28	27.78
	01.00-02.00	29	44	-15.14	34.40
	02.00-03.00	32	33	-1.16	3.53
ค่าเฉลี่ย				-9.95	28.72
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				5.39	11.94

จากตารางที่ 4.7 สรุปได้ว่าค่าปริมาณฝุ่นละออง PM 10 ในหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดปริมาณฝุ่นละออง (PM-T7) กับค่าที่วัดได้จากสถานีวัดคุณภาพอากาศ 13T มีค่าแตกต่างกันอยู่ที่ 0-18.05 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าเฉลี่ยของผลต่างเท่ากับ -9.95 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 5.39 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ เท่ากับ 28.72% และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 11.94%



รูปที่ 4.34 รูปภาพแสดงการสอบเทียบเครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศ
กับสถานีวัดมลพิษทางอากาศสถานี 13T กรมควบคุมโรค

4.4.2 การทดสอบความคลาดเคลื่อนของเซนเซอร์วัดก๊าซ (Grove-Gas Sensor V2 Multichannel)

ทำการทดสอบความคลาดเคลื่อนของเซนเซอร์วัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) กับสถานีวัดคุณภาพอากาศสถานี 13T กรมควบคุมโรค ต.ตลาดขวัญ อ.เมือง จังหวัดนนทบุรี โดยการเปรียบเทียบค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ในหน่วยส่วนในล้านส่วน (part per million; ppm) ที่วัดได้จากค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของเครื่องมือวัดกับค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของสถานีวัดคุณภาพอากาศ ซึ่งทำการวัดเป็นเวลา 26 ชั่วโมง

โดยทั้งสองตารางที่ผู้วิจัยนำเสนอนี้ เป็นตารางที่ได้ปรับแก้ค่ามาแล้วหนึ่งครั้งจากความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ โดยครั้งที่หนึ่งนั้นผู้วิจัยให้ แกน x คือค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดของผู้วิจัย แกน y คือค่าที่ได้จากเครื่องวัดมลพิษสถานี 13T กรมควบคุมโรค โดยได้สมการการปรับแก้ค่าของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO) เท่ากับ $y=0.0178x-3.791$ $R^2=0.8909$ และสมการสำหรับปรับแก้ค่าของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) เท่ากับ $y=0.9749x-0.0004$ $R^2=0.6215$ เมื่อปรับแก้ค่าโดยสมการดังกล่าวแล้ว ได้นำมาทดสอบความคลาดเคลื่อน และนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติได้ค่าสถิติดังนี้

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO) ที่วัดได้จาก เซนเซอร์ Grove และ สถานีวัดคุณภาพอากาศ 13T

วันที่	ช่วงเวลาทำการทดสอบ	เซนเซอร์ Grove	สถานีวัดคุณภาพอากาศ 13T	ผลต่าง (ppm)	% ความคลาดเคลื่อน
		(ppm)	(ppm)		
7/11/2023	14.00-15.00	0.40	0.4	0.00	-0.86
	15.00-16.00	0.62	0.42	0.20	47.91
	18.00-19.00	0.69	0.72	-0.03	-3.50
	19.00-20.00	0.77	0.73	0.04	6.08
	20.00-21.00	0.77	0.71	0.06	8.13
	21.00-22.00	0.83	0.76	0.07	9.17
	22.00-23.00	1.30	1.3	0.00	0.35
	23.00-24.00	1.24	1.3	-0.06	-4.33
8/11/2023	24.00-01.00	0.97	1.02	-0.05	-4.79
	07.00-08.00	1.18	1.21	-0.03	-2.59
	08.00-09.00	0.96	0.84	0.12	14.88
	09.00-10.00	0.77	0.6	0.17	28.16
	10.00-11.00	0.50	0.43	0.07	15.84
	11.00-12.00	0.57	0.4	0.17	41.28
	14.00-15.00	0.41	0.37	0.04	11.20
	16.00-17.00	0.84	0.7	0.14	20.16
	17.00-18.00	0.31	0.49	-0.18	-37.40
	18.00-19.00	0.48	0.46	0.02	4.08
	19.00-20.00	0.83	0.78	0.05	7.04
	20.00-21.00	1.04	1.1	-0.06	-5.74
	21.00-22.00	0.87	0.93	-0.06	-5.92
	22.00-23.00	0.91	0.97	-0.06	-6.02
	23.00-24.00	0.90	0.98	-0.08	-8.26
	01.00-02.00	0.87	0.98	-0.11	-11.63
	02.00-03.00	0.71	0.79	-0.08	-9.53
	03.00-04.00	0.46	0.49	-0.03	-6.81
	04.00-05.00	0.44	0.46	-0.02	-4.66
	05.00-06.00	0.42	0.45	-0.03	-5.64
	06.00-07.00	0.46	0.59	-0.13	-21.62
ค่าเฉลี่ย				0.01	2.59
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.09	17.20

จากตารางที่ 4.8 สรุปได้ว่าค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ไซด์ (CO) ในหน่วยส่วนในล้านส่วน (ppm) ที่วัดได้จากเซนเซอร์ Grove กับค่าที่วัดได้จากสถานีวัดคุณภาพอากาศ 13T มีค่าแตกต่างกันอยู่ที่ 0-0.14 ppm ค่าเฉลี่ยของผลต่างเท่ากับ 0.01 ppm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.09 ppm ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ เท่ากับ 2.59% และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 17.20%

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่วัดได้จากเซนเซอร์ Grove และ สถานีวัดคุณภาพอากาศ 13T

วันที่	ช่วงเวลาทำการทดสอบ	เซนเซอร์ PMT-7	สถานีวัดคุณภาพอากาศ 13T	ผลต่าง	% ความคลาดเคลื่อน
		(ppm)	(ppm)	(ppm)	
11/7/2023	13.00-14.00	0.028	0.008	0.020	250.00
	14.00-15.00	0.028	0.007	0.021	300.00
	15.00-16.00	0.029	0.008	0.021	262.50
	18.00-19.00	0.029	0.02	0.009	45.00
	19.00-20.00	0.029	0.024	0.005	20.83
	20.00-21.00	0.030	0.026	0.004	15.38
	21.00-22.00	0.021	0.028	-0.007	-25.00
	22.00-23.00	0.023	0.036	-0.013	-36.11
	23.00-24.00	0.020	0.033	-0.013	-39.39
11/8/2023	24.00-01.00	0.020	0.03	-0.010	-33.33
	07.00-08.00	0.017	0.028	-0.011	-39.29
	08.00-09.00	0.014	0.029	-0.015	-51.72
	09.00-10.00	0.013	0.024	-0.011	-45.83
	10.00-11.00	0.015	0.016	-0.001	-6.25
	11.00-12.00	0.022	0.015	0.007	46.67
	12.00-13.00	0.026	0.013	0.013	100.00
	13.00-14.00	0.023	0.012	0.011	91.67
	14.00-15.00	0.028	0.012	0.016	133.33
	15.00-16.00	0.028	0.019	0.009	47.37
	16.00-17.00	0.029	0.024	0.005	20.83
ค่าเฉลี่ย				0.003	52.83
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.012	104.94

จากตารางที่ 4.9 สรุปได้ว่าค่าปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ในหน่วยส่วนในล้านส่วน (ppm) ที่วัดได้จากเซนเซอร์ Grove กับค่าที่วัดได้จากสถานีวัดคุณภาพอากาศ 13T มีค่าแตกต่างกันอยู่ที่ 0-0.021 ppm ค่าเฉลี่ยของผลต่างเท่ากับ 0.003 ppm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.012 ppm ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 52.83% และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 104.94 %

4.4.3 การทดสอบความคลาดเคลื่อนของเซนเซอร์วัดความดังของเสียง (PR-ZS-BZ-485)

ทำการทดสอบความคลาดเคลื่อนของเซนเซอร์วัดความดังของเสียง (PR-ZS-BZ-485) กับ เครื่องมือวัดความดังของเสียง Uni-T รุ่น UT353 ซึ่งเป็นเครื่องวัดขนาดพกพา สำหรับวัดความดังของเสียงในหน่วย dB(A) โดยมีช่วงการวัด 30-130 dB(A) และค่าความคลาดเคลื่อน 1.5 dB(A) โดยทำการจำลองเสียงรบกวนในแลปสเกลขนาดเล็ก ด้วยการสร้างเสียงรบกวนไปยังเครื่องมือวัด และเซนเซอร์ จำนวน 25 ครั้ง และนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติได้ค่าสถิติดังนี้

ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าความดังของเสียงที่วัดได้จากเซนเซอร์ PR-ZS-BZ-485 กับ เครื่องวัดความดังของเสียง Uni-T

ครั้ง	เซนเซอร์วัด	เครื่องมือวัด	ผลต่าง	%
	ความดังของเสียง	Uni-T		ความคลาด
	dB(A)	dB(A)	dB(A)	เคลื่อน
1	61.8	61.0	0.8	1.31
2	66.0	65.4	0.6	0.92
3	69.1	70.3	1.2	1.71
4	68.0	68.3	-0.3	0.44
5	70.2	70.4	-0.2	0.28
6	68.8	68.5	0.3	0.44
7	66.7	66.4	0.3	0.45
8	67.3	67.1	0.2	0.30
9	66.0	65.8	0.2	0.30
10	67.1	67.5	-0.4	0.59
11	65.7	65.3	0.4	0.61
12	68.9	68.3	0.6	0.88
13	65.2	64.6	0.6	0.93
14	67.0	66.8	0.2	0.30
15	68.9	68.5	0.4	0.58
16	69.5	70.0	-0.5	0.71
17	68.6	68.1	0.5	0.73
18	66.1	66.4	-0.3	0.45
19	73.0	72.7	0.3	0.41
20	70.8	70.5	0.3	0.43
21	68.2	68.6	-0.4	0.58
22	65.0	65.3	-0.3	0.46
23	67.0	67.6	-0.6	0.89
24	71.6	71.0	0.6	0.85
25	69	68.7	0.3	0.44
ค่าเฉลี่ย			0.19	0.64
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.46	0.34

จากตารางที่ 4.10 สรุปได้ว่าค่าความดังของเสียง ในหน่วย dB(A) ที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดความดังของเสียง (PR-ZS-BZ-485) กับค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดความดังของเสียง Uni-T มีค่าแตกต่างกันอยู่ที่ 0-1.2 dB(A) ค่าเฉลี่ยของผลต่างเท่ากับ 0.19 dB(A) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.46 dB(A) ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ เท่ากับ 0.64% และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.34%



รูปที่ 4.35 รูปภาพแสดงเครื่องมือวัดความดังของเสียงเสียง UNI-T รุ่น UT353

(ที่มา : www.meters.uni-trend.com/product/ut353-ut353bt/)

4.5 สรุประบบตรวจวัดมลพิษทางอากาศและเสียงในโครงการก่อสร้างที่พักอาศัย

ระบบตรวจวัดมลพิษทางอากาศและเสียงในโครงการก่อสร้างที่พักอาศัยเป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไมโครคอนโทรลเลอร์ เซนเซอร์วัดปริมาณฝุ่นละออง เซนเซอร์วัดปริมาณก๊าซ เซนเซอร์วัดความดังของเสียง เข้ากับเทคโนโลยี Internet of things (IoT) ซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลบนฐานข้อมูล Cloud Database ของ Blynk มีการส่งข้อมูลแจ้งเตือนปริมาณมลพิษผ่าน Line Notify มีการตรวจสอบกิจกรรมผ่าน Fowl Application และมีการแสดงผลข้อมูลผ่าน Blynk-IoT เพื่อนำไปวิเคราะห์ปัญหามลพิษทางอากาศและเสียง

4.5.1 การเก็บข้อมูลปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงภาคสนาม

การเก็บข้อมูลปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงของเครื่องมือวัดใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) ควบคุมเซนเซอร์วัดปริมาณฝุ่นละออง (PM 2.5 และ PM 10) เซนเซอร์วัดก๊าซ (CO และ NO₂) เซนเซอร์วัดความดังของเสียง (dB(A)) หลอดไฟ (LED) และการแจ้งเตือนผ่านระบบ Line Notify สำหรับการเก็บข้อมูลมลพิษทางอากาศและเสียง (PM 2.5, PM 10, NO₂, CO, dB(A)) ในโครงการก่อสร้างที่พักอาศัยแบบตามเวลาจริงโดยจะส่งข้อมูลไปที่ Cloud Database ของBlynk ซึ่งจะแสดงข้อมูลแบบ Dashboard และกราฟใน <https://blynk.io> และแอปพลิเคชัน Blynk-IoT

4.5.2 การแสดงผลข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ปัญหามลพิษทางอากาศและเสียง

การแสดงผลข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ปัญหามลพิษทางอากาศและเสียงนำข้อมูลที่ได้จากข้อ 4.5.1 ที่แสดงใน <https://blynk.io/> ซึ่งสามารถดาวน์โหลดข้อมูลจากฐานข้อมูล Cloud Database เป็นไฟล์ Microsoft Excel Comma Separated Values File (.csv) ลงคอมพิวเตอร์ จากนั้นใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในการแสดงและวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อตรวจสอบปริมาณมลพิษที่แรงงานได้รับจากกิจกรรมย่อยของการก่อสร้างที่พักอาศัย และมีการส่งข้อมูลแจ้งเตือนปริมาณมลพิษผ่าน Line Notify และตรวจสอบกิจกรรมย่อยที่เกิดมลพิษผ่าน Fowl Application โดยสามารถตรวจสอบข้อมูลปริมาณมลพิษและกิจกรรมย้อนหลังได้ อีกทั้งเจ้าของโครงการ และผู้รับเหมางานก่อสร้างที่พักอาศัย สามารถนำระบบเครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงนี้ใช้ในการวัดปริมาณมลพิษและตรวจสอบกิจกรรมที่เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาหาแนวทางป้องกันและลดปริมาณมลพิษเพื่อไม่ให้ถูกระงับการก่อสร้างที่พักอาศัยทั้งโครงการและในส่วนองแรงงานได้ เพิ่มการตระหนักรู้ถึงมลพิษที่ตนได้รับจากการทำงานเพื่อหาแนวทางป้องกันมลพิษนั้น

บทที่ 5

การประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคล ในโครงการก่อสร้างที่พักอาศัย

บทนี้เป็นการประยุกต์ใช้เครื่องมือตรวจวัดมลพิษส่วนบุคคลในโครงการก่อสร้างที่พักอาศัย เพื่อวิเคราะห์หากิจกรรมย่อยที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศและเสียงต่อแรงงานก่อสร้าง กับโครงการก่อสร้างบ้านจัดสรรจำนวน 3 โครงการ และอาคารพักอาศัยรวม 1 โครงการ ซึ่งอยู่ในช่วงของงานโครงสร้าง หรืองานสถาปัตยกรรม

5.1 ขั้นตอนการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษส่วนบุคคลกับโครงการก่อสร้างที่พักอาศัย

กระบวนการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษส่วนบุคคลกับโครงการก่อสร้างที่พักอาศัย มีขั้นตอนดังนี้

1. สำรวจและเก็บข้อมูลบริเวณโดยรอบโครงการก่อสร้างที่ต้องการศึกษา โดยเก็บข้อมูลทั่วไปของโครงการ กิจกรรมก่อสร้างที่กำลังดำเนินการอยู่ ค่าปริมาณฝุ่นละออง (PM 2.5) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิและความเร็วลมในสภาพอากาศปกติ ซึ่งความเร็วลมขณะทำการวัดฝุ่นละอองต้องไม่เกิน 5 เมตรต่อวินาที (Pasquill, 1983)
2. เปิดตัวปล่อยสัญญาณอินเทอร์เน็ตแบบพกพา (Pocket Wi-Fi), เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียง และกล่องบันทึกวีดีโอขนาดเล็ก ตั้งค่าเชื่อมต่อสัญญาณอินเทอร์เน็ต และทดสอบระบบให้เครื่องมือวัดมลพิษส่งข้อมูลมายังโทรศัพท์มือถือผ่าน Blynk App
3. ติดตั้งเครื่องมือวัดมลพิษส่วนบุคคลไว้กับสายคาดอก จากนั้นประกอบสายคาดอกไว้กับแรงงาน และตรวจสอบความแข็งแรงของตัวยึดเครื่องมือวัดกับแรงงานให้เรียบร้อย
4. ติดตั้งกล่องบันทึกวีดีโอขนาดเล็กเข้ากับสายคาดอก และตรวจสอบความแข็งแรงของตัวยึดกล่องกับแรงงานให้เรียบร้อย
5. หลังจากติดตั้งเครื่องมือวัดและกล่องบันทึกวีดีโอขนาดเล็กกับแรงงาน ให้แรงงานทดลองขยับตัวและเดิน เพื่อตรวจสอบความแข็งแรงเครื่องมือวัดที่ติดอยู่กับแรงงาน
6. ขณะที่เครื่องมือวัดมลพิษเริ่มทำงาน คอยตรวจสอบระบบการแจ้งเตือนค่ามลพิษที่เกินค่ามาตรฐานผ่าน Line Notify และ สัญญาณไฟแจ้งเตือนแรงงานที่อยู่บนเครื่องมือวัดมลพิษส่วนบุคคล โดยการแจ้งเตือนจะอ้างอิงจากระดับผลกระทบต่อสุขภาพของกรมควบคุมมลพิษ Air Quality Index (AQI) ดังตารางที่ 4.5

7. เมื่อเก็บข้อมูลครบ 8 ชม. นำข้อมูลปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียง (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) มาวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) และมาตรฐานของเสียง เพื่อหาปริมาณมลพิษที่แรงงานได้รับจากกิจกรรมย่อยของการก่อสร้าง และตรวจสอบว่ามีกิจกรรมย่อยใดบ้างที่มีปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงเกินค่ามาตรฐาน

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงระดับของดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) โดยอ้างอิงจากผลกระทบสุขภาพอนามัย (ดัดแปลงจากกองคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ)

คุณภาพอากาศ	PM 2.5 μg/m ³	PM 10 μg/m ³	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)
ดีมาก	0-25	0-50	0-4.4	0-0.06
ดี	26-37	51-80	4.5-6.4	0.061-0.106
ปานกลาง	38-50	81-120	6.5-9	0.107-0.170
"เริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ"	51-90	121-180	9.1-30	0.171-0.340
"มีผลกระทบต่อสุขภาพ"	91 ขึ้นไป	181 ขึ้นไป	30.1 ขึ้นไป	0.341 ขึ้นไป

5.2 ผลการประยุกต์ใช้

งานวิจัยนี้ตรวจวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงในโครงการก่อสร้างที่พักอาศัย กับกรณีศึกษา 4 โครงการ คือ โครงการก่อสร้างที่พักอาศัยประเภทบ้านเดี่ยวจำนวน 3 โครงการ และโครงการก่อสร้างที่พักอาศัยประเภทอาคารพักอาศัยรวมจำนวน 1 โครงการ โดยแต่ละโครงการจะติดตั้งเครื่องมือวัดส่วนบุคคลไปกับแรงงานจำนวน 2 คนที่ทำกิจกรรมงานก่อสร้างประเภทเดียวกัน

5.2.1 ผลการประยุกต์ใช้กับโครงการกรณีศึกษาที่ 1

กรณีศึกษาที่ 1 เป็นโครงการก่อสร้างที่พักอาศัยประเภทอาคารพักอาศัยรวม 3 ชั้นซึ่งกิจกรรมก่อสร้างขณะนั้นเป็นงานโครงสร้างที่อยู่ในขั้นตอนการทำฐานราก ผู้วิจัยตรวจวัดมลพิษทางอากาศและเสียง 2 กิจกรรมหลัก คือ 1. กิจกรรมตัดและดัดเหล็ก เพื่อทำฐานราก และ 2. กิจกรรมเชื่อมโลหะ เพื่อสร้างห้องเก็บของในโครงการก่อสร้าง



รูปที่ 5.1 รูปภาพแสดงโครงการกรณีศึกษาที่ 1 ซึ่งเป็นการก่อสร้างอาคารพักอาศัยรวม

5.2.1.1 กิจกรรมตัดและตัดเหล็ก โครงการกรณีศึกษาที่ 1



รูปที่ 5.2 รูปภาพแสดงแรงงานที่ติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคล
(กิจกรรมตัดและตัดเหล็ก คนที่ 1)

ทำการวัดค่าปริมาณฝุ่นละออง (PM 2.5) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิและความเร็วลมในสภาพอากาศปกติ (บริเวณที่ไม่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมก่อสร้าง) พบว่า

- ค่าปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เท่ากับ $18-23 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- ค่าความชื้นสัมพัทธ์ เท่ากับ 77 %
- อุณหภูมิ เท่ากับ 30 องศาเซลเซียส
- ความเร็วลม เท่ากับ 0-1.4 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 5.3 รูปภาพแสดงกิจกรรมตัดและตัดเหล็ก (โครงการกรณีศึกษาที่ 1)

ตารางที่ 5.2 ตารางแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงเฉลี่ยต่อหน้าที่ (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) (แรงงานคนที่ 1 กิจกรรมตัดและตัดเหล็ก โครงการกรณีศึกษาที่ 1)

กิจกรรมตัดและตัดเหล็ก	ปริมาณมลพิษเฉลี่ยต่อหน้าที่					
	เวลา (นาที)	PM 2.5 (µg/m ³)	PM 10 (µg/m ³)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	ความดังเสียง dB (A)
1. ตัดและตัดเหล็ก	428	23	29	0.82	0.03	72.0

จากผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลตลอดวันทำงานของแรงงานคนที่ 1 กิจกรรมตัดและตัดเหล็กกับโครงการกรณีศึกษาที่ 1 พบว่าใน 1 วันแรงงานทำกิจกรรมย่อย 1 กิจกรรม คือ ตัดและตัดเหล็ก เป็นเวลา 428 นาที สามารถสรุปได้ว่ากิจกรรมตัดและตัดเหล็ก ไม่มีปริมาณมลพิษเฉลี่ยต่อหน้าที่เกินค่ามาตรฐาน และไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ

ตารางที่ 5.3 ตารางแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงสูงสุดในช่วงเวลาทำงาน (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) (แรงงานคนที่ 1 กิจกรรมตัดและตัดเหล็ก โครงการกรณีศึกษาที่ 1)

กิจกรรมตัดและตัดเหล็ก	ปริมาณมลพิษสูงสุดในช่วงเวลาทำงาน				
	PM 2.5 (µg/m ³)	PM 10 (µg/m ³)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	ความดังเสียง dB (A)
1. ตัดและตัดเหล็ก	73	95	1.64	0.12	84.2

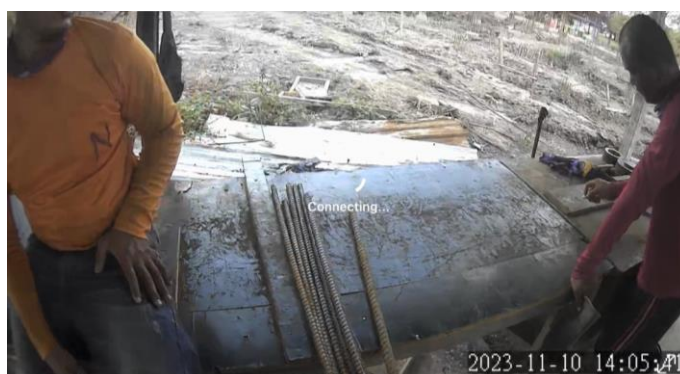
จากผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลตลอดวันทำงานของแรงงานคนที่ 1 กิจกรรมตัดและตัดเหล็กกับโครงการกรณีศึกษาที่ 1 พบว่า ช่วงเวลาที่แรงงานได้รับปริมาณมลพิษสูงสุดจากกิจกรรมย่อย 1.ตัดและตัดเหล็ก มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ



รูปที่ 5.4 รูปภาพแสดงแรงงานที่ติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคล (กิจกรรมตัดและตัดเหล็ก คนที่ 2)

ทำการวัดค่าปริมาณฝุ่นละออง (PM 2.5) อุณหภูมิ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลมในสภาพอากาศปกติ (บริเวณที่ไม่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมก่อสร้าง) พบว่า

- ค่าปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เท่ากับ $20-28 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- ค่าความชื้นสัมพัทธ์ เท่ากับ 78 %
- อุณหภูมิ เท่ากับ 30 องศาเซลเซียส
- ความเร็วลม เท่ากับ 0-1 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 5.5 รูปภาพแสดงกิจกรรมกิจกรรมหลักตัดและตัดเหล็ก (โครงการกรณีศึกษาที่ 1)

ตารางที่ 5.4 ตารางแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงเฉลี่ยต่อหน้าที่ (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) (แรงงานคนที่ 2 กิจกรรมตัดและตัดเหล็ก โครงการกรณีศึกษาที่ 1)

กิจกรรมตัดและตัดเหล็ก	ปริมาณมลพิษเฉลี่ยต่อหน้าที่					
	เวลา (นาที)	PM 2.5 (µg/m ³)	PM 10 (µg/m ³)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	dB(A)
1. ตัดและตัดเหล็ก	420	23	29	0.72	0.03	73.7

จากผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลตลอดวันทำงานของแรงงานคนที่ 2 กิจกรรมตัดและตัดเหล็กกับโครงการกรณีศึกษาที่ 1 พบว่าใน 1 วันแรงงานทำกิจกรรมย่อย 1 กิจกรรม คือ ตัดและตัดเหล็ก เป็นเวลา 420 นาที สามารถสรุปได้ว่ากิจกรรมตัดและตัดเหล็ก ไม่มีปริมาณมลพิษเฉลี่ยต่อหน้าที่เกินค่ามาตรฐาน และไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ

ตารางที่ 5.5 ตารางแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงสูงสุดในช่วงเวลาทำงาน (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) (แรงงานคนที่ 2 กิจกรรมตัดและตัดเหล็ก โครงการกรณีศึกษาที่ 1)

กิจกรรมตัดและตัดเหล็ก	ปริมาณมลพิษสูงสุดในช่วงเวลาทำงาน				
	PM 2.5 (µg/m ³)	PM 10 (µg/m ³)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	dB(A)
1. ตัดและตัดเหล็ก	81	106	1.06	0.05	83.0

จากผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลตลอดวันทำงานของแรงงานคนที่ 2 กิจกรรมตัดและตัดเหล็กกับโครงการกรณีศึกษาที่ 1 พบว่า ช่วงเวลาที่แรงงานได้รับปริมาณมลพิษสูงสุดจากกิจกรรมย่อย 1.ตัดและตัดเหล็ก มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ

5.2.1.2 กิจกรรมเชื่อมโลหะ โครงการกรณีศึกษาที่ 1



รูปที่ 5.6 รูปภาพแสดงแรงงานที่ติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคล
(กิจกรรมเชื่อมโลหะ คนที่ 1)

ทำการวัดค่าปริมาณฝุ่นละออง (PM 2.5) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิและความเร็วลมในสภาพอากาศปกติ (บริเวณที่ไม่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมก่อสร้าง) พบว่า

- ค่าปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เท่ากับ $25-34 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- ค่าความชื้นสัมพัทธ์ เท่ากับ 87 %
- อุณหภูมิ เท่ากับ 29 องศาเซลเซียส
- ความเร็วลม เท่ากับ 0-1.5 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 5.7 รูปภาพแสดงกิจกรรมเชื่อมโลหะ (โครงการกรณีศึกษาที่ 1)

ตารางที่ 5.6 ตารางแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงเฉลี่ยต่อหน้าที่ (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) (แรงงานคนที่ 1 กิจกรรมเชื่อมโลหะ โครงการกรณีศึกษาที่ 1)

กิจกรรมเชื่อมโลหะ	ปริมาณมลพิษเฉลี่ยต่อหน้าที่					
	เวลา (นาที)	PM 2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	dB(A)
1. เชื่อมโดยใช้ลวดเชื่อม	56	409	485	23.57	0.23	70.0

จากผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลตลอดวันทำงานของแรงงานคนที่ 1 กิจกรรมเชื่อมโลหะกับโครงการกรณีศึกษาที่ 1 พบว่าใน 1 วันแรงงานทำกิจกรรมย่อย 1. กิจกรรม คือ เชื่อมโดยใช้ลวดเชื่อม เป็นเวลา 56 นาที สามารถสรุปได้ว่ากิจกรรมเชื่อมโลหะ มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐาน ในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ

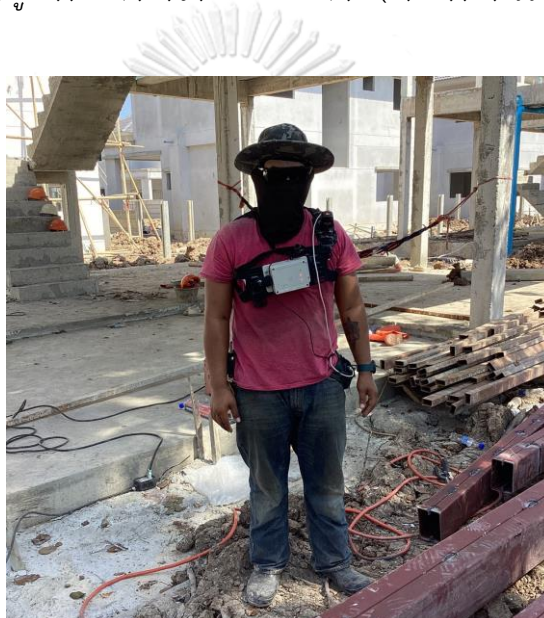
ตารางที่ 5.7 ตารางแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงสูงสุดในช่วงเวลาทำงาน (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) (แรงงานคนที่ 1 กิจกรรมเชื่อมโลหะ โครงการกรณีศึกษาที่ 1)

กิจกรรมเชื่อมโลหะ	ปริมาณมลพิษสูงสุดในช่วงเวลาทำงาน				
	PM 2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	dB(A)
1. เชื่อมโดยใช้ลวดเชื่อม	824	916	42.39	0.49	80.9

จากผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลตลอดวันทำงานของแรงงานคนที่ 1 กิจกรรมเชื่อมโลหะกับโครงการกรณีศึกษาที่ 1 พบว่า ช่วงเวลาที่แรงงานได้รับปริมาณมลพิษสูงสุดจากกิจกรรมย่อย 1. เชื่อมโดยใช้ลวดเชื่อม มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5, PM 10, CO, และ NO₂ เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ



รูปที่ 5.8 รูปภาพแสดงกิจกรรมเชื่อมโลหะ (โครงการกรณีศึกษาที่ 1)



รูปที่ 5.9 รูปภาพแสดงแรงงานที่ติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคล (กิจกรรมเชื่อมโลหะ คนที่ 2)

ทำการวัดค่าปริมาณฝุ่นละออง (PM 2.5) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิและความเร็วลมในสภาพอากาศปกติ (บริเวณที่ไม่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมก่อสร้าง) พบว่า

- ค่าปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เท่ากับ $21-38 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- ค่าความชื้นสัมพัทธ์ เท่ากับ 47 %
- อุณหภูมิ เท่ากับ 29 องศาเซลเซียส
- ความเร็วลม เท่ากับ 0-1.5 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 5.10 รูปภาพแสดงกิจกรรมเชื่อมโลหะ (โครงการกรณีศึกษาที่ 1)

ตารางที่ 5.8 ตารางแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงเฉลี่ยต่อนาที (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) (แรงงานคนที่ 2 กิจกรรมเชื่อมโลหะ โครงการกรณีศึกษาที่ 1)

กิจกรรมเชื่อมโลหะ	ปริมาณมลพิษเฉลี่ยต่อนาที					
	เวลา (นาท)	PM 2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	dB(A)
1. เชื่อมโดยใช้ลวดเชื่อม	100	240	297	8.90	0.08	71.5
2. เป่าตัดโลหะด้วยแก๊ส	53	186	234	16.10	0.15	71.2

จากผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลตลอดวันทำงานของแรงงานคนที่ 2 กิจกรรมเชื่อมโลหะกับโครงการกรณีศึกษาที่ 1 พบว่าใน 1 วันแรงงานทำกิจกรรมย่อย 2 กิจกรรมดังนี้ 1. เชื่อมโดยใช้ลวดเชื่อม เป็นเวลา 100 นาที และ 2. เป่าตัดโลหะด้วยแก๊ส เป็นเวลา 53 นาที สามารถสรุปได้ว่ากิจกรรมย่อย 1. เชื่อมโดยใช้ลวดเชื่อม มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และ 2. เป่าตัดโลหะด้วยแก๊ส มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และมีปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ

ตารางที่ 5.9 ตารางแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงสูงสุดในช่วงเวลาทำงาน (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) (แรงงานคนที่ 2 กิจกรรมเชื่อมโลหะ โครงการกรณีศึกษาที่ 1)

กิจกรรมเชื่อมโลหะ	ปริมาณมลพิษสูงสุดในช่วงเวลาทำงาน				
	PM 2.5 (µg/m ³)	PM 10 (µg/m ³)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	dB(A)
1. เชื่อมโดยใช้ลวดเชื่อม	676	796	41.67	0.44	77.3
2. เป่าตัดโลหะด้วยแก๊ส	660	758	59.33	0.53	76.3

จากผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลตลอดวันทำงานของแรงงานคนที่ 2 กิจกรรมเชื่อมโลหะกับโครงการกรณีศึกษาที่ 1 พบว่า ช่วงเวลาที่แรงงานได้รับปริมาณมลพิษสูงสุดจากกิจกรรมย่อย 1. เชื่อมโดยใช้ลวดเชื่อม และ 2. เป่าตัดโลหะด้วยแก๊ส มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5, PM 10, CO, และ NO₂ เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ



รูปที่ 5.11 รูปภาพแสดงกิจกรรมเป่าตัดโลหะด้วยแก๊ส (โครงการกรณีศึกษาที่ 1)

5.2.2 ผลการประยุกต์ใช้กับโครงการกรณีศึกษาที่ 2

กรณีศึกษาที่ 2 เป็นโครงการก่อสร้างที่พักอาศัยประเภทบ้านเดี่ยว ชั้นซึ่งกิจกรรมก่อสร้างขณะนั้นเป็นงานสถาปัตยกรรม ผู้วิจัยตรวจวัดมลพิษทางอากาศและเสียง 2 กิจกรรมหลัก คือ 1. กิจกรรมปูกระเบื้อง ในส่วนของห้องน้ำ ชั้น 2 และ 2. กิจกรรมก่ออิฐมวลเบา ในส่วนของผนังชั้น 1



รูปที่ 5.12 รูปภาพแสดงโครงการกรณีศึกษาที่ 2 ซึ่งเป็นการก่อสร้างที่พักอาศัย
ประเภทบ้านเดี่ยว

5.2.2.1 กิจกรรมปูกระเบื้อง โครงการกรณีศึกษาที่ 2



รูปที่ 5.13 รูปภาพแสดงแรงงานที่ติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคล
(กิจกรรมปูกระเบื้อง คนที่ 1)

ทำการวัดค่าปริมาณฝุ่นละออง (PM 2.5) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิและความเร็วลมใน
สภาพอากาศปกติ (บริเวณที่ไม่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมก่อสร้าง) พบว่า

- ค่าปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เท่ากับ $18-20 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- ค่าความชื้นสัมพัทธ์ เท่ากับ 71 %
- อุณหภูมิ เท่ากับ 29 องศาเซลเซียส
- ความเร็วลม เท่ากับ 0-1.0 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 5.14 รูปภาพแสดงกิจกรรมผสมปูน (โครงการกรณีศึกษาที่ 2)

ตารางที่ 5.10 ตารางแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงเฉลี่ยต่อนาที (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) (แรงงานคนที่ 1 กิจกรรมปูกระเบื้อง โครงการกรณีศึกษาที่ 2)

กิจกรรมปูกระเบื้อง	ปริมาณมลพิษเฉลี่ยต่อนาที					
	เวลา (นาที)	PM 2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	dB(A)
1. เคลือบปูนปรับระดับก่อน ปูกระเบื้อง	28	69	89	0.49	0.03	69.4
2. เคาะกระเบื้อง	25	63	81	0.47	0.03	70.9
3. เจียรกระเบื้อง	7	298	355	0.40	0.04	80.8
4. ฉาบผนัง	90	27	35	0.45	0.03	68.8
5. เทปูนปรับระดับก่อน ปูกระเบื้อง	6	124	159	0.33	0.03	70.2

จากผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลตลอดวันทำงานของแรงงานคนที่ 1 กิจกรรมปูกระเบื้องกับโครงการกรณีศึกษาที่ 2 พบว่าใน 1 วันแรงงานทำกิจกรรมย่อย 5 กิจกรรมดังนี้ 1. เคลือบปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง เป็นเวลา 28 นาที 2. เคาะกระเบื้องเป็นเวลา 25 นาที 3. เจียรกระเบื้อง เป็นเวลา 7 นาที 4. ฉาบผนัง เป็นเวลา 90 นาที และ 5. เทปูนก่อนปรับกระเบื้อง เป็นเวลา 6 นาที สามารถสรุปได้ว่ากิจกรรมตัดกระเบื้องมี 5 กิจกรรมย่อย คือ 1. เคลือบปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 2. เคาะกระเบื้อง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่ง

ผลกระทบต่อสุขภาพ 3. เจียรกระเบื้อง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 4. ฉาบผนัง ไม่มีปริมาณมลพิษเกินมาตรฐาน และ 5. เทปูนก่อนปรับกระเบื้อง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพและเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพตามลำดับ

ตารางที่ 5.11 ตารางแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงสูงสุดในช่วงเวลาทำงาน (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) (แรงงานคนที่ 1 กิจกรรมปูกระเบื้อง โครงการกรณีศึกษาที่ 2)

กิจกรรมปูกระเบื้อง	ปริมาณมลพิษสูงสุดในช่วงเวลาทำงาน				
	PM 2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	dB(A)
1. เคลื่อนย้ายปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง	138	180	0.90	0.05	78.7
2. เคาะกระเบื้อง	127	164	0.90	0.05	78.6
3. เจียรกระเบื้อง	567	657	0.56	0.05	88.6
4. ฉาบผนัง	68	88	0.90	0.05	75.1
5. เทปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง	191	246	0.74	0.05	77.6

จากผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลตลอดวันทำงานของแรงงานคนที่ 1 กิจกรรมปูกระเบื้องกับโครงการกรณีศึกษาที่ 2 พบว่า ช่วงเวลาที่แรงงานได้รับปริมาณมลพิษสูงสุดจากกิจกรรมย่อย 1. เคลื่อนย้ายปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และปริมาณฝุ่นละออง PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 2. เคาะกระเบื้อง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และปริมาณฝุ่นละออง PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 3. เจียรกระเบื้อง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน 4. ฉาบผนัง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และ 5. เทปูนก่อนปรับกระเบื้อง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ



รูปที่ 5.15 รูปภาพแสดงกิจกรรมเกลี่ยปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง (โครงการกรณีศึกษาที่ 2)



รูปที่ 5.16 รูปภาพแสดงแรงงานที่ติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและ
เสียงส่วนบุคคล (กิจกรรมปูกระเบื้อง คนที่ 2)

ทำการวัดค่าปริมาณฝุ่นละออง (PM 2.5) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิและความเร็วลมใน
สภาพอากาศปกติ (บริเวณที่ไม่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมก่อสร้าง) พบว่า

- ค่าปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เท่ากับ $18-20 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- ค่าความชื้นสัมพัทธ์ เท่ากับ 71 %
- อุณหภูมิ เท่ากับ 29 องศาเซลเซียส
- ความเร็วลม เท่ากับ 0-1.0 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 5.17 รูปภาพแสดงกิจกรรมเกลี่ยปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง (โครงการกรณีศึกษาที่ 2)

ตารางที่ 5.12 ตารางแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงเฉลี่ยต่อนาที (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) (แรงงานคนที่ 2 กิจกรรมปูกระเบื้อง โครงการกรณีศึกษาที่ 2)

กิจกรรมปูกระเบื้อง	ปริมาณมลพิษเฉลี่ยต่อนาที					
	เวลา (นาท)	PM 2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	dB(A)
1. เกลี่ยปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง	16	113	146	0.52	0.02	73.8
2. เคาะกระเบื้อง	20	93	120	0.51	0.04	75.2
3. เจียรกระเบื้อง	42	391	470	0.40	0.03	91.5
4. ผสมปูน	2	69	89	0.48	0.03	78.0
5. สกัดพื้น	5	348	444	0.57	0.02	86.0

จากผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลตลอดวันทำงานของแรงงานคนที่ 2 กิจกรรมปูกระเบื้องกับโครงการกรณีศึกษาที่ 2 พบว่าใน 1 วันแรงงานทำกิจกรรมย่อย 5 กิจกรรมดังนี้ 1. เกลี่ยปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง เป็นเวลา 16 นาที 2. เคาะกระเบื้อง เป็นเวลา 20 นาที 3. เจียรกระเบื้อง เป็นเวลา 42 นาที 4. ผสมปูนเป็นเวลา 2 นาที และ 5. สกัดพื้น เป็นเวลา 5 นาที สามารถสรุปได้ว่ากิจกรรมตัดกระเบื้องมี 5 กิจกรรมย่อย คือ 1. เกลี่ยปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพและเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพตามลำดับ 2. เคาะกระเบื้อง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 3. เจียรกระเบื้อง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และระดับความดังของเสียงเกินค่า

มาตรฐาน 4. ผสมปูน มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และ 5. สกัดพื้น มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน

ตารางที่ 5.13 ตารางแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงสูงสุดในช่วงเวลาทำงาน (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) (แรงงานคนที่ 2 กิจกรรมปูกระเบื้อง โครงการกรณีศึกษาที่ 2)

กิจกรรมปูกระเบื้อง	ปริมาณมลพิษสูงสุดในช่วงเวลาทำงาน				
	PM 2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	dB(A)
1. เกลี่ยปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง	344	445	0.90	0.05	84.5
2. เคาะกระเบื้อง	210	266	0.89	0.05	87.4
3. เจียรกระเบื้อง	953	1000	0.86	0.05	105.5
4. ผสมปูน	74	97	0.78	0.04	80.2
5. สกัดพื้น	674	839	0.86	0.04	97.7

จากผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลตลอดวันทำงานของแรงงานคนที่ 2 กิจกรรมปูกระเบื้องกับโครงการกรณีศึกษาที่ 2 พบว่า ช่วงเวลาที่แรงงานได้รับปริมาณมลพิษสูงสุดจากกิจกรรมย่อย 1. เกลี่ยปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 2. เคาะกระเบื้อง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน 3. เจียรกระเบื้อง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน 4. ผสมปูน มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และ 5. สกัดพื้น มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน



รูปที่ 5.18 รูปภาพแสดงกิจกรรมเจียรกระเบื้อง (โครงการกรณีศึกษาที่ 2)

5.2.2.2 กิจกรรมก่ออิฐฉาบปูน โครงการกรณีศึกษาที่ 2



รูปที่ 5.19 รูปภาพแสดงแรงงานที่ติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคล (กิจกรรมก่ออิฐฉาบปูน คนที่ 1)

ทำการวัดค่าปริมาณฝุ่นละออง (PM 2.5) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิและความเร็วลมในสภาพอากาศปกติ (บริเวณที่ไม่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมก่อสร้าง) พบว่า

- ค่าปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เท่ากับ 20-26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- ค่าความชื้นสัมพัทธ์ เท่ากับ 74 %
- อุณหภูมิ เท่ากับ 29 องศาเซลเซียส
- ความเร็วลม เท่ากับ 0-1.0 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 5.20 รูปภาพแสดงกิจกรรมก่ออิฐฉาบปูน (โครงการกรณีศึกษาที่ 2)

ตารางที่ 5.14 ตารางแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงเฉลี่ยต่อนาที (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) (แรงงานคนที่ 1 กิจกรรมก่ออิฐฉาบปูน โครงการกรณีศึกษาที่ 2)

กิจกรรมก่ออิฐฉาบปูน	ปริมาณมลพิษเฉลี่ยต่อนาที					
	เวลา (นาที)	PM 2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	dB(A)
1. ก่ออิฐฉาบปูน	17	72	93	0.44	0.03	75.0
2. ตัดอิฐฉาบปูนโดยใช้ เครื่องตัด	45	132	171	0.48	0.03	82.9

จากผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลตลอดวันทำงานของแรงงานคนที่ 1 กิจกรรมก่ออิฐฉาบปูนกับโครงการกรณีศึกษาที่ 2 พบว่าใน 1 วันแรงงานทำกิจกรรมย่อย 2 กิจกรรมดังนี้ 1. ก่ออิฐฉาบปูน เป็นเวลา 17 นาที 2. ตัดอิฐฉาบปูนโดยใช้เครื่องตัด เป็นเวลา 45 นาที สามารถสรุปได้ว่ากิจกรรมก่ออิฐฉาบปูนมี 2 กิจกรรมย่อย คือ 1. ก่ออิฐฉาบปูน มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และ 2. ตัดอิฐฉาบปูนโดยใช้

เครื่องตัด มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพตามลำดับ

ตารางที่ 5.15 ตารางแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงสูงสุดในช่วงเวลาทำงาน (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) (แรงงานคนที่ 1 กิจกรรมก่ออิฐมวลเบา โครงการกรณีศึกษาที่ 2)

กิจกรรมก่ออิฐมวลเบา	ปริมาณมลพิษสูงสุดในช่วงเวลาทำงาน				
	PM 2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	dB(A)
1. ก่ออิฐมวลเบา	141	182	0.80	0.04	81.0
2. ตัดอิฐมวลเบาโดยใช้เครื่องตัด	435	568	0.89	0.05	93.2

จากผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลตลอดวันทำงานของแรงงานคนที่ 1 กิจกรรมก่ออิฐมวลเบา กับโครงการกรณีศึกษาที่ 2 พบว่า ช่วงเวลาที่แรงงานได้รับปริมาณมลพิษสูงสุดจากกิจกรรมย่อย 1. ก่ออิฐมวลเบา มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และ 2. ตัดอิฐมวลเบาโดยใช้เครื่องตัด มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน



รูปที่ 5.21 รูปภาพแสดงกิจกรรมตัดอิฐมวลเบา (โครงการกรณีศึกษาที่ 2)



รูปที่ 5.22 รูปภาพแสดงแรงงานที่ติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและ
เสียงส่วนบุคคล (กิจกรรมก่ออิฐฉาบปูน คนที่ 2)

ทำการวัดค่าปริมาณฝุ่นละออง (PM 2.5) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิและความเร็วลมใน
สภาพอากาศปกติ (บริเวณที่ไม่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมก่อสร้าง) พบว่า

- ค่าปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เท่ากับ $20-26 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- ค่าความชื้นสัมพัทธ์ เท่ากับ 74 %
- อุณหภูมิ เท่ากับ 29 องศาเซลเซียส
- ความเร็วลม เท่ากับ 0-1.0 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 5.23 รูปภาพแสดงกิจกรรมผสมปูนก่อ (โครงการกรณีศึกษาที่ 2)

ตารางที่ 5.16 ตารางแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงเฉลี่ยต่อนาที (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) (แรงงานคนที่ 2 กิจกรรมก่ออิฐฉาบปูน โครงการกรณีศึกษาที่ 2)

กิจกรรมก่ออิฐฉาบปูน	ปริมาณมลพิษเฉลี่ยต่อนาที					
	เวลา (นาที)	PM 2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	dB(A)
1. ก่ออิฐฉาบปูน	3	58	75	0.32	0.03	63.6
2. ตัดอิฐฉาบปูนโดยใช้ เครื่องตัด	14	91	117	0.49	0.03	81.7
3. ผสมปูน	30	166	209	0.49	0.03	64.8
4. ตัดอิฐฉาบปูนโดยใช้ เลื่อย	21	97	124	0.46	0.03	69.7

จากผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลตลอดวันทำงานของแรงงานคนที่ 2 กิจกรรมก่ออิฐฉาบปูนกับโครงการกรณีศึกษาที่ 2 พบว่าใน 1 วันแรงงานทำกิจกรรมย่อย 4 กิจกรรมดังนี้ 1. ก่ออิฐฉาบปูน เป็นเวลา 3 นาที 2. ตัดอิฐฉาบปูนโดยใช้เครื่องตัด เป็นเวลา 14 นาที 3. ผสมปูน เป็นเวลา 30 นาที และ 4. ตัดอิฐฉาบปูนโดยใช้เลื่อย เป็นเวลา 21 นาที สามารถสรุปได้ว่ากิจกรรมก่ออิฐฉาบปูนมี 4 กิจกรรมย่อย คือ 1. ก่ออิฐฉาบปูน มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 2. ตัดอิฐฉาบปูนโดยใช้เครื่องตัด มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐาน ในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 3. ผสมปูน มีปริมาณฝุ่นละออง

PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และ 4. ตัดอิฐมวลเบาโดยใช้เลื่อย มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพตามลำดับ

ตารางที่ 5.17 ตารางแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงสูงสุดในช่วงเวลาทำงาน (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) (แรงงานคนที่ 2 กิจกรรมก่ออิฐมวลเบา โครงการกรณีศึกษาที่ 2)

กิจกรรมก่ออิฐมวลเบา	ปริมาณมลพิษสูงสุดในช่วงเวลาทำงาน				
	PM 2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	dB(A)
1. ก่ออิฐมวลเบา	61	79	0.57	0.05	63.9
2. ตัดอิฐมวลเบาโดยใช้เครื่องตัด	161	209	0.89	0.05	93.6
3. ผสมปูน	427	483	0.89	0.05	70.8
4. ตัดอิฐมวลเบาโดยใช้เลื่อย	230	293	0.88	0.05	72.5

จากผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลตลอดวันทำงานของแรงงานคนที่ 2 กิจกรรมก่ออิฐมวลเบากับโครงการกรณีศึกษาที่ 2 พบว่า ช่วงเวลาที่แรงงานได้รับปริมาณมลพิษสูงสุดจากกิจกรรมย่อย 1. ก่ออิฐมวลเบา มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 2. ตัดอิฐมวลเบาโดยใช้เครื่องตัด มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน 3. ผสมปูนมีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และ 4. ตัดอิฐมวลเบาโดยใช้เลื่อย มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ



รูปที่ 5.24 รูปภาพแสดงกิจกรรมตัดอิฐมวลเบา (โครงการกรณีศึกษาที่ 2)

5.2.3 ผลการประยุกต์ใช้กับโครงการกรณีศึกษาที่ 3

กรณีศึกษาที่ 3 เป็นโครงการก่อสร้างที่พักอาศัยประเภทบ้านเดี่ยว ชั้นซึ่งกิจกรรมก่อสร้างขณะนั้นเป็นงานสถาปัตยกรรม ผู้วิจัยตรวจวัดมลพิษทางอากาศและเสียง 2 กิจกรรม คือ 1. กิจกรรมปูกระเบื้อง บริเวณห้องครัวหลังบ้านชั้น 1 และห้องน้ำชั้น 2 และ 2. กิจกรรมงานทาสี ขัดปูนสกินโค้ทในบ้านและเก็บความเรียบร้อยของงาน



รูปที่ 5.25 รูปภาพแสดงโครงการกรณีศึกษาที่ 3 ซึ่งเป็นการก่อสร้างที่พักอาศัยประเภทบ้านเดี่ยว

5.2.3.1 กิจกรรมปูกระเบื้อง โครงการกรณีศึกษาที่ 3



รูปที่ 5.26 รูปภาพแสดงแรงงานที่ติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและ
เสียงส่วนบุคคล (กิจกรรมปูกระเบื้องห้องครัว คนที่ 1)

ทำการวัดค่าปริมาณฝุ่นละออง (PM 2.5) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิและความเร็วลมใน
สภาพอากาศปกติ (บริเวณที่ไม่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมก่อสร้าง) พบว่า

- ค่าปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เท่ากับ $31-37 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- ค่าความชื้นสัมพัทธ์ เท่ากับ 72 %
- อุณหภูมิ เท่ากับ 28 องศาเซลเซียส
- ความเร็วลม เท่ากับ 0-1.0 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 5.27 รูปภาพแสดงกิจกรรมสกัดพื้น (โครงการกรณีศึกษาที่ 3)

ตารางที่ 5.18 ตารางแสดงผลปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงเฉลี่ยต่อนาที (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) (แรงงานคนที่ 1 กิจกรรมปูกระเบื้องห้องครัว โครงการกรณีศึกษาที่ 3)

กิจกรรมปูกระเบื้อง	ปริมาณมลพิษเฉลี่ยต่อนาที					
	เวลา (นาที)	PM 2.5 (µg/m ³)	PM 10 (µg/m ³)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	dB(A)
1. เคลื่อนย้ายปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง	44	65	84	0.49	0.03	69.0
2. เคาะกระเบื้อง	57	73	96	0.50	0.03	70.9
3. เจียรกระเบื้อง	15	315	409	0.53	0.02	89.3
4. เทปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง	3	67	86	0.49	0.01	67.3
5. ผสมปูน	11	146	188	0.58	0.03	67.0
6. สกัดพื้น	14	90	116	0.48	0.03	89.1
7. ล้างสกัดพื้น	2	66	84	0.30	0.02	68.2

จากผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลตลอดวันทำงานของแรงงานคนที่ 1 กิจกรรมปูกระเบื้องห้องครัวกับโครงการกรณีศึกษาที่ 3 พบว่าใน 1 วันแรงงานทำกิจกรรมย่อย 7 กิจกรรมดังนี้ 1. เคลื่อนย้ายปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง เป็นเวลา 44 นาที 2. เคาะกระเบื้อง เป็นเวลา 57 นาที 3. เจียรกระเบื้อง เป็นเวลา 15 นาที 4. เทปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง เป็นเวลา 3 นาที 5. ผสมปูน เป็นเวลา 11 นาที 6. สกัดพื้น เป็นเวลา 14 นาที และ 7. ล้างสกัดพื้น เป็นเวลา 2 นาที สามารถสรุปได้ว่ากิจกรรมปูกระเบื้องมี 7 กิจกรรมย่อย คือ 1. เคลื่อนย้ายปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 2. เคาะกระเบื้อง มีปริมาณปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 3. เจียรกระเบื้อง มีปริมาณปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน 4. เทปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 5. ผสมปูน มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 6. สกัดพื้น มีปริมาณปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ

และระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน และ 7. สิวส์กัดพื้น มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ

ตารางที่ 5.19 ตารางแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงสูงสุดในช่วงเวลาทำงาน (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) (แรงงานคนที่ 1 กิจกรรมปูกระเบื้องห้องครัว โครงการกรณีศึกษาที่ 3)

กิจกรรมปูกระเบื้อง	ปริมาณมลพิษสูงสุดในช่วงเวลาทำงาน				
	PM 2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	dB(A)
1. เกลี่ยปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง	123	160	0.89	0.05	82.9
2. เคาะกระเบื้อง	212	273	0.90	0.05	82.4
3. เจียรกระเบื้อง	497	580	0.87	0.05	100.8
4. เทปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง	78	100	0.58	0.02	69.4
5. ผสมปูน	357	463	0.86	0.05	70.0
6. สกัดพื้น	285	386	0.85	0.05	104.3
7. สิวส์กัดพื้น	74	95	0.49	0.03	70.6

จากผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลตลอดวันทำงานของแรงงานคนที่ 1 กิจกรรมปูกระเบื้องห้องครัวกับโครงการกรณีศึกษาที่ 3 พบว่า ช่วงเวลาที่แรงงานได้รับปริมาณมลพิษสูงสุดจากกิจกรรมย่อย 1. เกลี่ยปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 2. เคาะกระเบื้อง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 3. เจียรกระเบื้อง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน 4. เทปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 5. ผสมปูน มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 6. สกัดพื้น มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน และ 7. สิวส์กัดพื้น มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ



รูปที่ 5.28 รูปภาพแสดงกิจกรรมเจียรกระเบื้อง (โครงการกรณีศึกษาที่ 3)



รูปที่ 5.29 รูปภาพแสดงแรงงานที่ติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณมลพิษทางอากาศ และเสียงส่วนบุคคล (กิจกรรมกิจกรรมปูกระเบื้องห้องน้ำ คนที่ 2)

ทำการวัดค่าปริมาณฝุ่นละออง (PM 2.5) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิและความเร็วลมในสภาพอากาศปกติ (บริเวณที่ไม่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมก่อสร้าง) พบว่า

- ค่าปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เท่ากับ $31-37 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- ค่าความชื้นสัมพัทธ์ เท่ากับ 72 %
- อุณหภูมิ เท่ากับ 28 องศาเซลเซียส
- ความเร็วลม เท่ากับ 0-1.0 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 5.30 รูปภาพแสดงกิจกรรมเกลี่ยปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง (โครงการกรณีศึกษาที่ 3)

ตารางที่ 5.20 ตารางแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงเฉลี่ยต่อนาที (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) (แรงงานคนที่ 2 กิจกรรมปูกระเบื้องห้องน้ำ โครงการกรณีศึกษาที่ 3)

กิจกรรมปูกระเบื้อง	ปริมาณมลพิษเฉลี่ยต่อนาที					
	เวลา (นาที)	PM 2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	dB(A)
1. เกลี่ยปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง	25	91	117	0.55	0.03	68.8
2. เคาะกระเบื้อง	43	84	109	0.47	0.03	72.7
3. เจียรกระเบื้อง	77	770	848	0.48	0.03	95.2
4. สักัดพื้น	4	65	83	0.50	0.03	77.8
5. เทปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง	1	95	123	0.39	0.04	65.2
6. ผสมปูน	3	77	99	0.56	0.03	73.0
7. สักัดพื้น	13	292	378	0.43	0.03	84.7

จากผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลตลอดวันทำงานของแรงงานคนที่ 2 กิจกรรมปูกระเบื้องห้องน้ำกับโครงการกรณีศึกษาที่ 3 พบว่าใน 1 วันแรงงานทำกิจกรรมย่อย 7 กิจกรรมดังนี้ 1. เกลี่ยปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง เป็นเวลา 25 นาที 2. เคาะกระเบื้อง เป็นเวลา 43 นาที 3. เจียรกระเบื้อง เป็นเวลา 77 นาที 4. สักัดพื้นเป็นเวลา 4 นาที 5. เทปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง เป็นเวลา 1 นาที 6. ผสมปูน เป็นเวลา 3 นาที และ 7. สักัดพื้น เป็นเวลา 13 นาที สามารถสรุปได้ว่ากิจกรรมหลักตัดกระเบื้องมี 7 กิจกรรมย่อย คือ 1. เกลี่ยปูนปรับ

ระดับก่อนปูกระเบื้อง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 2. เคาะกระเบื้อง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 3. เจียรกระเบื้อง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน 4. สักัดพื้น มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 5. เทปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพตามลำดับ 6. ผสมปูน มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และ 7. สักัดพื้น มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐาน ในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ

ตารางที่ 5.21 ตารางแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงสูงสุดในช่วงเวลาทำงาน (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) (แรงงานคนที่ 2 กิจกรรมปูกระเบื้องห้องน้ำ โครงการกรณีศึกษาที่ 3)

กิจกรรมปูกระเบื้อง	ปริมาณมลพิษสูงสุดในช่วงเวลาทำงาน				
	PM 2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	dB(A)
1. เกลี่ยปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง	150	180	0.90	0.05	77.3
2. เคาะกระเบื้อง	147	172	0.90	0.05	80.5
3. เจียรกระเบื้อง	998	1000	0.88	0.05	109.1
4. สักัดพื้น	83	107	0.86	0.04	81.9
5. เทปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง	95	123	0.39	0.04	65.2
6. ผสมปูน	92	118	0.86	0.04	74.2
7. สักัดพื้น	564	733	0.85	0.05	102.8

จากผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลตลอดวันทำงานของแรงงานคนที่ 2 กิจกรรมปูกระเบื้องห้องน้ำกับโครงการกรณีศึกษาที่ 3 พบว่า ช่วงเวลาที่แรงงานได้รับปริมาณมลพิษสูงสุดจากกิจกรรมย่อย 1. เกลี่ยปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 2. เคาะกระเบื้อง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 3. เจียรกระเบื้อง

มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน 4. สิวสกัดพื้นมีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 5. เทปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 6. ผสมปูน มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และ 7. สกัดพื้น มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน



รูปที่ 5.31 รูปภาพแสดงกิจกรรมเจียรกระเบื้อง (โครงการกรณีศึกษาที่ 3)

5.2.3.2 กิจกรรมงานทาสี โครงการกรณีศึกษาที่ 3



รูปที่ 5.32 รูปภาพแสดงแรงงานที่ติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคล (กิจกรรมทาสี คนที่ 1)

ทำการวัดค่าปริมาณฝุ่นละออง (PM 2.5) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิและความเร็วลมในสภาพอากาศปกติ (บริเวณที่ไม่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมก่อสร้าง) พบว่า

- ค่าปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เท่ากับ $10\text{--}13\ \mu\text{g}/\text{m}^3$
- ค่าความชื้นสัมพัทธ์ เท่ากับ 53 %
- อุณหภูมิ เท่ากับ 29 องศาเซลเซียส
- ความเร็วลม เท่ากับ 0-1.0 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 5.33 รูปภาพแสดงกิจกรรมทาสี (โครงการกรณีศึกษาที่ 3)

ตารางที่ 5.22 ตารางปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงเฉลี่ยต่อนาที (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) (แรงงานคนที่ 1 กิจกรรมทาสี โครงการกรณีศึกษาที่ 3)

กิจกรรมทาสี	ปริมาณมลพิษเฉลี่ยต่อนาที					
	เวลา (นาที)	PM 2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	dB(A)
1. ขัดปูนสกินโค้ทในที่ปิด	35	764	882	0.43	0.03	80.8
2. ขัดปูนสกินโค้ทในที่โล่ง	13	151	193	0.40	0.03	75.9
3. ฉาบปูนสกินโค้ท	89	18	22	0.50	0.03	69.7
4. ทาสี	19	30	42	0.43	0.03	68.1

จากผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลตลอดวันทำงานของแรงงานคนที่ 1 กิจกรรมทาสีกับโครงการกรณีศึกษาที่ 3 พบว่าใน 1 วันแรงงานทำกิจกรรมย่อย 4 กิจกรรมดังนี้ 1. ชัดสกินโค้ทในที่ปิด เป็นเวลา 35 นาที 2. ชัดสกินโค้ทในที่โล่ง เป็นเวลา 13 นาที 3. ฉาบปูนสกินโค้ท เป็นเวลา 89 นาที และ 4. ทาสี เป็นเวลา 19 นาที สามารถสรุปได้ว่ากิจกรรมทาสี มีกิจกรรมย่อย 4 กิจกรรม คือ 1.ชัดสกินโค้ทในที่ปิด มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 2. ชัดสกินโค้ทในที่โล่ง มีปริมาณปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 3. ฉาบปูนสกินโค้ท ไม่มีปริมาณมลพิษเกินค่ามาตรฐาน และ 4. ทาสี ไม่มีปริมาณมลพิษเกินค่ามาตรฐาน

ตารางที่ 5.23 ตารางแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงสูงสุดในช่วงเวลาทำงาน (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) (แรงงานคนที่ 1 กิจกรรมทาสี โครงการกรณีศึกษา ที่ 3)

กิจกรรมทาสี	ปริมาณมลพิษสูงสุดในช่วงเวลาทำงาน				
	PM 2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	dB(A)
1. ชัดปูนสกินโค้ทในที่ปิด	990	1000	0.79	0.05	81.7
2. ชัดปูนสกินโค้ทในที่โล่ง	218	283	0.81	0.05	80.0
3. ฉาบปูนสกินโค้ท	43	55	0.88	0.05	75.4
4. ทาสี	37	49	0.87	0.05	71.0

จากผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลตลอดวันทำงานของแรงงานคนที่ 1 กิจกรรมทาสีกับโครงการกรณีศึกษาที่ 3 พบว่า ช่วงเวลาที่แรงงานได้รับปริมาณมลพิษสูงสุดจากกิจกรรมย่อย 1. ชัดปูนสกินโค้ทในที่ปิด มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 2. ชัดปูนสกินโค้ทในที่โล่ง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 3. ฉาบปูนสกินโค้ท ไม่มีปริมาณมลพิษเกินค่ามาตรฐาน และ 4. ทาสี ไม่มีปริมาณมลพิษเกินค่ามาตรฐาน



รูปที่ 5.34 รูปภาพแสดงกิจกรรมขัดแต่งปูนสกินโค้ท (โครงการกรณีศึกษาที่ 3)



รูปที่ 5.35 รูปภาพแสดงแรงงานที่ติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและ
เสียงส่วนบุคคล (กิจกรรมงานทาสี คนที่ 2)

ทำการวัดค่าปริมาณฝุ่นละออง (PM 2.5) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิและความเร็วลมใน
สภาพอากาศปกติ (บริเวณที่ไม่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมก่อสร้าง) พบว่า

- ค่าปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เท่ากับ $10-13 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- ค่าความชื้นสัมพัทธ์ เท่ากับ 53 %
- อุณหภูมิ เท่ากับ 29 องศาเซลเซียส
- ความเร็วลม เท่ากับ 0-1.0 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 5.36 รูปภาพแสดงกิจกรรมทาสี (โครงการกรณีศึกษาที่ 3)

ตารางที่ 5.24 ตารางแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงเฉลี่ยต่อนาที (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) (แรงงานคนที่ 2 กิจกรรมงานทาสี โครงการกรณีศึกษาที่ 3)

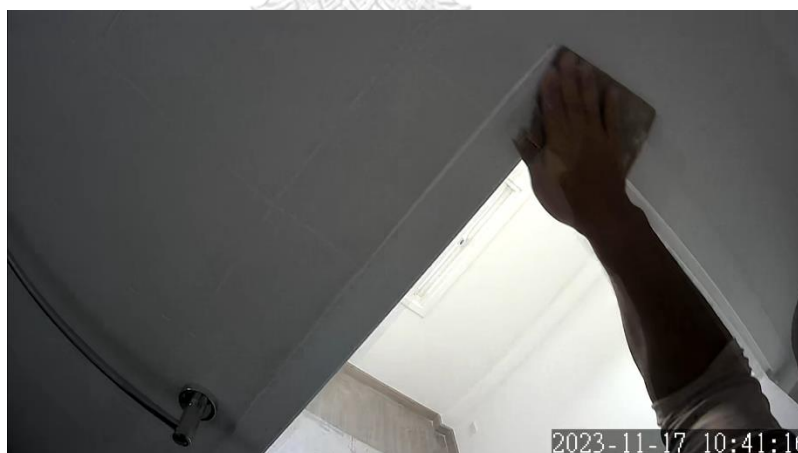
กิจกรรมงานทาสี	ปริมาณมลพิษเฉลี่ยต่อนาที					
	เวลา (นาที)	PM 2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	dB(A)
1. ฉาบปูนสกินโค้ท	6	17	22	0.34	0.03	66.5
2. ทาสี	40	19	24	0.50	0.03	64.5
3. ฉีดซิลิโคน	53	21	26	0.48	0.03	63.6

จากผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลตลอดวันทำงานของแรงงานคนที่ 2 กิจกรรมหลักทาสีกับโครงการกรณีศึกษาที่ 3 พบว่าใน 1 วันแรงงานทำกิจกรรมย่อย 3 กิจกรรมดังนี้ 1. ฉาบปูนสกินโค้ท เป็นเวลา 6 นาที 2. ทาสี เป็นเวลา 40 นาที 3. ฉีดซิลิโคน เป็นเวลา 53 นาที สามารถสรุปได้ว่ากิจกรรมทาสี มีกิจกรรมย่อย 3 กิจกรรม คือ 1. ฉาบปูนสกินโค้ท ไม่มีปริมาณมลพิษเกินค่ามาตรฐาน 2. ทาสี ไม่มีปริมาณมลพิษเกินค่ามาตรฐาน และ 3. ฉีดซิลิโคน ไม่มีปริมาณมลพิษเกินค่ามาตรฐาน

ตารางที่ 5.25 ตารางแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงสูงสุดในช่วงเวลาทำงาน (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) (แรงงานคนที่ 2 กิจกรรมหลักทาสี โครงการกรณีศึกษาที่ 3)

กิจกรรมงานทาสี	ปริมาณมลพิษสูงสุดในช่วงเวลาทำงาน				
	PM 2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	dB(A)
1. ฉาบปูนสกินโค้ท	22	28	0.63	0.04	70.6
2. ทาสี	42	54	0.89	0.05	78.5
3. ฉีดซิลิโคน	63	81	0.89	0.05	72.4

จากผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลตลอดวันทำงานของแรงงานคนที่ 2 กิจกรรมทาสีกับโครงการกรณีศึกษาที่ 3 พบว่า ช่วงเวลาที่แรงงานได้รับปริมาณมลพิษสูงสุดจากกิจกรรมย่อย 1. ฉาบปูนสกินโค้ท ไม่มีปริมาณมลพิษเกินค่ามาตรฐาน 2. ทาสี ไม่มีปริมาณมลพิษเกินค่ามาตรฐาน และ 3. ฉีดซิลิโคน มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ



รูปที่ 5.37 รูปภาพแสดงกิจกรรมขัดแต่งปูนสกินโค้ท (โครงการกรณีศึกษาที่ 3)

5.2.4 ผลการประยุกต์ใช้กับโครงการกรณีศึกษาที่ 4

กรณีศึกษาที่ 4 เป็นโครงการก่อสร้างที่พักอาศัยประเภทบ้านเดี่ยว ชั้นซึ่งกิจกรรมก่อสร้างขณะนั้นเป็นงานโครงสร้างและงานสถาปัตยกรรม ผู้วิจัยตรวจวัดมลพิษทางอากาศและเสียง 2 กิจกรรม คือ 1. กิจกรรมงานประกอบแบบหล่อคอนกรีต เพื่อทำขอบผนังรอบตัวบ้าน และ 2. กิจกรรมวางท่อประปา บริเวณหลังบ้าน



รูปที่ 5.38 รูปภาพแสดงโครงการกรณีศึกษาที่ 4 ซึ่งเป็นการก่อสร้างที่พักอาศัยประเภทบ้านเดี่ยว

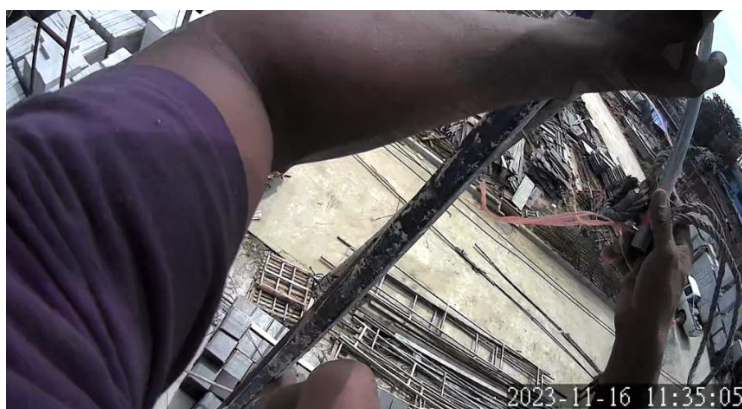
5.2.4.1 กิจกรรมงานประกอบแบบหล่อคอนกรีต โครงการกรณีศึกษาที่ 4



รูปที่ 5.39 รูปภาพแสดงแรงงานที่ติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคล (กิจกรรมงานประกอบแบบหล่อคอนกรีต คนที่ 1)

ทำการวัดค่าปริมาณฝุ่นละออง (PM 2.5) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิและความเร็วลมในสภาพอากาศปกติ (บริเวณที่ไม่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมก่อสร้าง) พบว่า

- ค่าปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เท่ากับ 10-14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- ค่าความชื้นสัมพัทธ์ เท่ากับ 79 %
- อุณหภูมิ เท่ากับ 29 องศาเซลเซียส
- ความเร็วลม เท่ากับ 0-1.1 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 5.40 รูปภาพแสดงกิจกรรมผูกเชือกตั่งนั่งร้าน (โครงการกรณีศึกษาที่ 4)
ตารางที่ 5.26 ตารางแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงเฉลี่ยต่อหน้าที่ (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) (แรงงานคนที่ 1 กิจกรรมงานประกอบแบบหล่อคอนกรีต โครงการกรณีศึกษาที่ 4)

กิจกรรมงานประกอบแบบหล่อคอนกรีต	ปริมาณมลพิษเฉลี่ยต่อหน้าที่					
	เวลา (นาที)	PM 2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	dB(A)
1.ประกอบแบบหล่อคอนกรีต	2	64	83	0.42	0.04	73.4
2.เจาะผนังโดยใช้สว่านในที่โล่ง	7	22	28	0.50	0.03	90.3
3.เจาะพื้นโดยใช้สว่านในที่โล่ง	7	69	89	0.59	0.03	89.3
4.ตัดเหล็กโดยใช้ไฟเบอร์	1	53	68	0.16	0.04	90.6

จากผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลตลอดวันทำงานของแรงงานคนที่ 1 กิจกรรมงานประกอบแบบหล่อคอนกรีต กับโครงการกรณีศึกษาที่ 3 พบว่าใน 1 วัน

แรงงานทำกิจกรรมย่อย 4 กิจกรรมดังนี้ 1. ประกอบแบบหล่อคอนกรีต เป็นเวลา 2 นาที 2. เจาะผนังในที่โล่งเป็นเวลา 7 นาที 3. เจาะพื้นในที่โล่งเป็นเวลา 7 นาที และ 4. ตัดเหล็กโดยใช้ไฟเบอร์ เป็นเวลา 1 นาที สามารถสรุปได้ว่ากิจกรรมงานประกอบแบบหล่อคอนกรีต มีกิจกรรมย่อย 4 กิจกรรม คือ 1. ประกอบแบบหล่อคอนกรีต มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 2. เจาะผนังในที่โล่ง มีระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน 3. เจาะพื้นในที่โล่ง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน และ 4. ตัดเหล็กโดยใช้ไฟเบอร์ มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน

ตารางที่ 5.27 ตารางแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงสูงสุดในช่วงเวลาทำงาน (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) (แรงงานคนที่ 1 กิจกรรมงานประกอบแบบหล่อคอนกรีต โครงการกรณีศึกษาที่ 4)

กิจกรรมงานประกอบแบบหล่อคอนกรีต	ปริมาณมลพิษสูงสุดในช่วงเวลาทำงาน				
	PM 2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	dB(A)
1. ประกอบแบบหล่อคอนกรีต	66	85	0.42	0.04	74.3
2. เจาะผนังโดยใช้สว่านในที่โล่ง	35	44	0.81	0.05	104.7
3. เจาะพื้นโดยใช้สว่านในที่โล่ง	110	140	0.79	0.05	103.1
4. ตัดเหล็กโดยใช้ไฟเบอร์	53	68	0.16	0.04	90.6

จากผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลตลอดวันทำงานของแรงงานคนที่ 1 กิจกรรมงานประกอบแบบหล่อคอนกรีต กับโครงการกรณีศึกษาที่ 4 พบว่า ช่วงเวลาที่แรงงานได้รับปริมาณมลพิษสูงสุดจากกิจกรรมย่อย 1. ประกอบแบบหล่อคอนกรีต มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 2. เจาะผนังโดยใช้สว่านในที่โล่ง มีระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน และ 3. เจาะพื้นโดยใช้สว่านในที่โล่ง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน และ 4. ตัดเหล็กโดยใช้ไฟเบอร์ มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน



รูปที่ 5.41 รูปภาพแสดงแรงงานที่ติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณมลพิษทางอากาศ และเสียงส่วนบุคคล
(กิจกรรมงานประกอบแบบหล่อคอนกรีต คนที่ 2)

ทำการวัดค่าปริมาณฝุ่นละออง (PM 2.5) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิและความเร็วลมใน
สภาพอากาศปกติ (บริเวณที่ไม่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมก่อสร้าง) พบว่า

- ค่าปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เท่ากับ $10-14 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- ค่าความชื้นสัมพัทธ์ เท่ากับ 79 %
- อุณหภูมิ เท่ากับ 29 องศาเซลเซียส
- ความเร็วลม เท่ากับ 0-1.1 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 5.42 รูปภาพแสดงกิจกรรมตั้งไม้แบบ (โครงการกรณีศึกษาที่ 4)

ตารางที่ 5.28 ตารางแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงเฉลี่ยต่อนาที (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) (แรงงานคนที่ 2 กิจกรรมงานประกอบแบบหล่อคอนกรีต โครงการกรณีศึกษาที่ 4)

กิจกรรมงานประกอบแบบ หล่อคอนกรีต	ปริมาณมลพิษเฉลี่ยต่อนาที					
	เวลา (นาที)	PM 2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	dB(A)
1. ประกอบแบบหล่อคอนกรีต	20	73	96	0.47	0.01	69.8
2. เจาะพื้นที่ในที่โล่ง	1	58	69	0.20	0.01	64.4
3. เทปูน	9	66	85	0.55	0.01	67.3
4. ตัดอิฐมวลเบาโดยใช้เลื่อย	6	82	106	0.61	0.01	69.7

จากผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลตลอดวันทำงานของแรงงานคนที่ 2 กิจกรรมงานประกอบแบบหล่อคอนกรีต กับโครงการกรณีศึกษาที่ 4 พบว่าใน 1 วันแรงงานทำกิจกรรมย่อย 4 กิจกรรมดังนี้ 1. ประกอบแบบหล่อคอนกรีต เป็นเวลา 20 นาที 2. เจาะพื้นที่ในที่โล่ง เป็นเวลา 1 นาที 3. เทปูน เป็นเวลา 9 นาที และ 4. ตัดอิฐมวลเบาโดยใช้เลื่อย เป็นเวลา 6 นาที สามารถสรุปได้ว่ากิจกรรมงานประกอบแบบหล่อคอนกรีตมีกิจกรรมย่อย 4 กิจกรรม คือ 1. ประกอบแบบหล่อคอนกรีต มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 2. เจาะพื้นที่ในที่โล่ง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 3. เทปูน มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และ 4. ตัดอิฐมวลเบาโดยใช้เลื่อย มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ

ตารางที่ 5.29 ตารางแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงสูงสุดในช่วงเวลาทำงาน (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) (แรงงานคนที่ 2 กิจกรรมงานประกอบแบบหล่อคอนกรีต โครงการกรณีศึกษาที่ 4)

กิจกรรมงานประกอบแบบหล่อคอนกรีต	ปริมาณมลพิษสูงสุดในช่วงเวลาทำงาน				
	PM 2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	dB(A)
1. ประกอบแบบหล่อคอนกรีต	150	196	0.85	0.01	76.4
2. เจาะพื้นในที่โล่ง	58	69	0.20	0.01	64.4
3. เทปูน	77	99	0.79	0.01	69.2
4. ตัดอิฐมวลเบาโดยใช้เลื่อย	96	126	0.79	0.01	71.9

จากผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลตลอดวันทำงานของแรงงานคนที่ 2 กิจกรรมงานประกอบแบบหล่อคอนกรีตกับโครงการกรณีศึกษาที่ 4 พบว่า ช่วงเวลาที่แรงงานได้รับปริมาณมลพิษสูงสุดจากกิจกรรมย่อย 1. ประกอบแบบหล่อคอนกรีต มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 2. เจาะพื้น มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และ 3. เทปูน มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และ 4. ตัดอิฐมวลเบาโดยใช้เลื่อย มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.43 รูปภาพแสดงกิจกรรมตัดอิฐมวลเบาโดยใช้เลื่อย (โครงการกรณีศึกษาที่ 4)

5.2.4.2 กิจกรรมงานวางท่อประปา โครงการกรณีศึกษาที่ 4



รูปที่ 5.44 รูปภาพแสดงแรงงานที่ติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคล (กิจกรรมงานวางท่อประปา)

ทำการวัดค่าปริมาณฝุ่นละออง (PM 2.5) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิและความเร็วลมในสภาพอากาศปกติ (บริเวณที่ไม่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมก่อสร้าง) พบว่า

- ค่าปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เท่ากับ $10-13 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- ค่าความชื้นสัมพัทธ์ เท่ากับ 57 %
- อุณหภูมิ เท่ากับ 30 องศาเซลเซียส
- ความเร็วลม เท่ากับ 0-1.2 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 5.45 รูปภาพแสดงกิจกรรมวางท่อ (โครงการกรณีศึกษาที่ 4)

ตารางที่ 5.30 ตารางแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงเฉลี่ยต่อนาที (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) (แรงงานคนที่ 1 กิจกรรมงานวางท่อประปา โครงการกรณีศึกษาที่ 4)

กิจกรรมงานวางท่อประปา	ปริมาณมลพิษเฉลี่ยต่อนาที					
	เวลา (นาที)	PM 2.5 (µg/m ³)	PM 10 (µg/m ³)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	dB(A)
1. เจาะผนัง	9	171	218	0.38	0.04	92.7
2. สกัดในที่ปิด	17	619	681	0.49	0.03	93.1
3. สกัดในที่โล่ง	20	240	296	0.51	0.03	86.3

จากผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลตลอดวันทำงานของแรงงานคนที่ 1 กิจกรรมงานวางท่อประปา กับโครงการกรณีศึกษาที่ 4 พบว่าใน 1 วันแรงงานทำกิจกรรมย่อย 3 กิจกรรมดังนี้ 1. เจาะผนัง เป็นเวลา 9 นาที 2. สกัดในที่ปิด เป็นเวลา 17 นาที และ 3. สกัดในที่โล่ง เป็นเวลา 20 นาที สามารถสรุปได้ว่ากิจกรรมงานวางท่อประปา มีกิจกรรมย่อย 3 กิจกรรม คือ 1.เจาะผนัง 2. สกัดในที่ปิด และ 3. สกัดในที่โล่ง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน

ตารางที่ 5.31 ตารางแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงสูงสุดในช่วงเวลาทำงาน (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) (แรงงานคนที่ 1 กิจกรรมงานวางท่อประปา โครงการกรณีศึกษาที่ 4)

กิจกรรมงานวางท่อประปา	ปริมาณมลพิษสูงสุดในช่วงเวลาทำงาน				
	PM 2.5 (µg/m ³)	PM 10 (µg/m ³)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	dB(A)
1. เจาะผนัง	212	272	0.78	0.05	99.3
2. สกัดในที่ปิด	992	1000	0.84	0.05	109.1
3. สกัดในที่โล่ง	840	916	0.89	0.05	96.5

จากผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลตลอดวันทำงานของแรงงานคนที่ 1 กิจกรรมงานวางท่อประปา กับโครงการกรณีศึกษาที่ 4 พบว่า ช่วงเวลาที่แรงงานได้รับปริมาณมลพิษสูงสุดจากกิจกรรมย่อย 3 กิจกรรม คือ 1. เจาะผนัง 2. สกัดในที่ปิด และ 3. สกัดในที่โล่ง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน



รูปที่ 5.46 รูปภาพแสดงกิจกรรมสกัดพื้น (โครงการกรณีศึกษาที่ 4)



รูปที่ 5.47 รูปภาพแสดงแรงงานที่ติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและ
เสี่ยงส่วนบุคคล (กิจกรรมงานวางท่อประปา คนที่ 2)

ทำการวัดค่าปริมาณฝุ่นละออง (PM 2.5) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิและความเร็วลมใน
สภาพอากาศปกติ (บริเวณที่ไม่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมก่อสร้าง) พบว่า

- ค่าปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เท่ากับ $10-13 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- ค่าความชื้นสัมพัทธ์ เท่ากับ 57 %
- อุณหภูมิ เท่ากับ 30 องศาเซลเซียส
- ความเร็วลม เท่ากับ 0-1.2 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 5.48 รูปภาพแสดงกิจกรรมเจาะผนัง (โครงการกรณีศึกษาที่ 4)

ตารางที่ 5.32 ตารางแสดงผลการวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงเฉลี่ยต่อหน้าที่ (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) (แรงงานคนที่ 2 กิจกรรมงานวางท่อประปา โครงการกรณีศึกษาที่ 4)

กิจกรรมงานวางท่อประปา	ปริมาณมลพิษเฉลี่ยต่อหน้าที่					
	เวลา (นาท)	PM 2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	dB(A)
1. เจาะผนัง	5	210	272	0.51	0.02	87.4

จากผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลตลอดวันทำงานของแรงงานคนที่ 2 กิจกรรมงานวางท่อประปากับโครงการกรณีศึกษาที่ 4 พบว่าใน 1 วันแรงงานทำกิจกรรมย่อย 1 กิจกรรม คือ เจาะผนัง เป็นเวลา 5 นาที สามารถสรุปได้ว่ากิจกรรมงานวางท่อประปามีกิจกรรมย่อย 1 กิจกรรม คือ เจาะผนัง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน

ตารางที่ 5.33 ตารางแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงสูงสุดในช่วงเวลาทำงาน (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) (แรงงานคนที่ 2 กิจกรรมงานวางท่อประปา โครงการกรณีศึกษาที่ 4)

กิจกรรมงานวางท่อประปา	ปริมาณมลพิษสูงสุดในช่วงเวลาทำงาน				
	PM 2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	dB(A)
1. เจาะผนัง	229	296	0.88	0.04	93.3

จากผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลตลอดวันทำงานของแรงงานคนที่ 2 กิจกรรมงานวางท่อประปา กับโครงการกรณีศึกษาที่ 4 พบว่า ช่วงเวลาที่แรงงาน

ได้รับปริมาณมลพิษสูงสุดจากกิจกรรมย่อย 1 กิจกรรม คือ เจาะผนัง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน



รูปที่ 5.49 รูปภาพแสดงกิจกรรมสกัดพื้นวางท่อ (โครงการกรณีศึกษาที่ 4)

5.3 สรุปผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลในโครงการก่อสร้างที่พักอาศัยกับกรณีศึกษา

งานวิจัยเสนอระบบและเครื่องมือตรวจวัดมลพิษทางอากาศและเสียง (PM 2.5, PM 10, NO₂, CO, dB(A)) ส่วนบุคคลในโครงการก่อสร้างที่พักอาศัยโดยนำเทคโนโลยี IoT (Internet of Things) ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง (PM 2.5, PM 10) เซนเซอร์ตรวจวัดก๊าซ (NO₂, CO) และเซนเซอร์ตรวจวัดความดังของเสียง (dB(A)) มาใช้เพื่อวัดปริมาณมลพิษที่แรงงานได้รับจากกิจกรรมของการก่อสร้างที่พักอาศัย และทราบถึงกิจกรรมย่อยที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศและเสียง

ผลจากการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลในโครงการก่อสร้างที่พักอาศัย กับกรณีศึกษาทั้ง 4 โครงการพบว่า เครื่องมือสามารถตรวจวัดค่าปริมาณฝุ่นละออง (PM 2.5 และ PM 10) ปริมาณก๊าซ (CO และ NO₂) และระดับความดังของเสียง (dB(A)) และส่งข้อมูลปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียง (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) ไปบันทึกไว้ยังฐานข้อมูล Cloud Database ของ Blynk-IoT และแสดงปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียงที่แรงงานได้รับผ่านทาง แอปพลิเคชัน Blynk ซึ่งแสดงข้อมูลเป็น Dashboard และกราฟแบบตามเวลาจริงเพื่อนำไป

ตรวจหากิจกรรมย่อยที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศและเสียงจาก Fowl Application และแจ้งเตือนทาง Line Notify หากมลพิษที่แรงงานได้รับในขณะนั้นเกินค่ามาตรฐาน ซึ่งสรุปได้ดังนี้

5.3.1 กิจกรรมก่อสร้างในโครงการกรณีศึกษา

กิจกรรมก่อสร้างในโครงการกรณีศึกษานั้นมี 2 ประเภทคือ งานโครงสร้าง และงานสถาปัตยกรรม

งานโครงสร้างในโครงการกรณีศึกษานั้นคือ กิจกรรมการตัดและตัดเหล็ก เชื่อมโลหะโดยใช้ลวดเชื่อม เป่าตัดเหล็กโดยใช้แก๊ส และงานสถาปัตยกรรมในโครงการกรณีศึกษานั้นคือ กิจกรรมปูกระเบื้อง เคาะกระเบื้อง เจียรกระเบื้อง เปลี่ยนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง ฉาบผนัง ผสมปูน เทปูน ปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง สกัดพื้น ทาสี ฉีดซิลิโคน ชัดปูนสกริมโค้ท ฉาบปูนสกริมโค้ท งานวางท่อประปา ก่ออิฐมวลเบา ตัดอิฐมวลเบาโดยใช้เครื่องตัด ตัดอิฐมวลเบาโดยใช้เลื่อย ประกอบแบบหล่อคอนกรีต ตัดเหล็กโดยใช้ไฟเบอร์ เจาะพื้นและผนัง

จากการสำรวจพบว่าในโครงการก่อสร้างที่พักอาศัยที่ผู้วิจัยศึกษา พบว่ามี 7 กิจกรรมหลักของงานก่อสร้าง คือ กิจกรรมตัดและตัดเหล็ก กิจกรรมเชื่อมโลหะ กิจกรรมปูกระเบื้อง กิจกรรมก่ออิฐมวลเบา กิจกรรมงานทาสี กิจกรรมงานประกอบแบบหล่อคอนกรีต และกิจกรรมงานวางท่อประปา โดยแต่ละกิจกรรมมีหลายกิจกรรมย่อยที่เกิดและไม่เกิดปริมาณมลพิษเกินค่ามาตรฐาน สรุปได้ดังนี้

กิจกรรมตัดและตัดเหล็ก มี 1 กิจกรรมย่อย คือ ตัดและตัดเหล็ก ไม่มีปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียง (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) เกินค่ามาตรฐาน

กิจกรรมเชื่อมโลหะ มี 2 กิจกรรมย่อย คือ 1. เชื่อมโดยใช้ลวดเชื่อม มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และ 2. เป่าตัดโลหะด้วยแก๊ส มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ

กิจกรรมปูกระเบื้อง มี 7 กิจกรรมย่อย คือ 1. เปลี่ยนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 2. เคาะกระเบื้อง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 3. เจียรกระเบื้อง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน 4. ฉาบผนัง

ไม่มีปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียง (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) เกินค่ามาตรฐาน 5. เทปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 6. ผสมปูน มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และ 7. สกัดพื้น มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน

กิจกรรมก่ออิฐฉาบปูน มี 4 กิจกรรมย่อย คือ 1. ก่ออิฐฉาบปูน มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 2. ตัดอิฐฉาบปูนโดยใช้เครื่องตัด มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 3. ผสมปูน มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และ 4. ตัดอิฐฉาบปูนโดยใช้เลื่อย มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ

กิจกรรมงานทาสี มี 4 กิจกรรมย่อย คือ 1. ขัดปูนสีกิมโค้ท มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 2. ฉาบปูนสีกิมโค้ท ไม่มีปริมาณมลพิษเกินค่ามาตรฐาน 3. ทาสี ไม่มีปริมาณมลพิษเกินค่ามาตรฐาน และ 4. ฉีดซิลิโคน ไม่มีปริมาณมลพิษเกินค่ามาตรฐาน

กิจกรรมงานประกอบแบบหล่อคอนกรีต มี 6 กิจกรรมย่อย คือ 1. ประกอบแบบหล่อคอนกรีต มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 2. เจาะผนังโดยใช้สว่านในที่โล่ง มีระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน 3. เจาะพื้นโดยใช้สว่านในที่โล่ง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน 4. ตัดเหล็กโดยใช้ไฟเบอร์ มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน 5. เทปูน มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และ 6. ตัดอิฐฉาบปูนโดยใช้เลื่อย มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ

กิจกรรมงานวางท่อประปา มี 2 กิจกรรมย่อย คือ 1. เจาะผนัง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และระดับความดังของเสียงเกินค่า

มาตรฐาน และ 2. สกัดในที่ปิดและโล่ง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน

5.3.2 แนวทางเบื้องต้นในการใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคล

จากการใช้เครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลกับโครงการกรณีศึกษาจำนวน 4 โครงการพบว่า มลพิษทางอากาศและเสียง (PM 2.5, PM 10, NO₂, CO, dB(A)) ส่วนใหญ่เกิดในงานสถาปัตยกรรมได้แก่ ปูกระเบื้อง งานวางท่อประปา งานทาสี ซึ่งผู้ใช้งานเครื่องมืออาจทำการตรวจวัดปริมาณมลพิษในกิจกรรมย่อยของงานสถาปัตยกรรมอื่นๆเพิ่มเติม และควรเพิ่มเครื่องมือวัดเพื่อตรวจวัดปริมาณมลพิษจากกิจกรรมย่อยต่างๆของแรงงานกลุ่มเดียวกัน และควรคัดเลือกแรงงานก่อสร้างโดยสอบถามถึงพฤติกรรมบางประการ เช่น สูบบุหรี่ในขณะทำงานซึ่งทำให้เกิดมลพิษทางอากาศที่ไม่ได้มาจากกิจกรรมงานก่อสร้าง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์มากที่สุดและได้ทราบถึงปริมาณมลพิษจากกิจกรรมนั้น

5.4 ข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้เครื่องมือตรวจวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลใน

โครงการก่อสร้างที่พักอาศัยกับกรณีศึกษา

การสรุปผลที่ได้จากการประยุกต์ใช้เครื่องมือตรวจวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคลในโครงการก่อสร้างที่พักอาศัยกับกรณีศึกษา เป็นการสรุปเบื้องต้นเท่านั้น เนื่องจากมีข้อจำกัดในการเก็บข้อมูลดังนี้

1. การวัดในงานวิจัยนี้เป็นการวัดแบบเรียลไทม์โดยใช้เครื่องมือวัดส่วนบุคคลตรวจวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียง ซึ่งขณะทำการวัดบางครั้งกิจกรรมงานก่อสร้างนั้น เกิดขึ้นพร้อมกันหลายกิจกรรมทำให้ไม่สามารถระบุปริมาณมลพิษได้อย่างชัดเจน
2. จำนวนกิจกรรมงานก่อสร้างยังไม่ครอบคลุมทุกกระบวนการของก่อสร้างที่พักอาศัย
3. การกำหนดตัวแปรควบคุมค่อนข้างทำได้ยาก เช่น สภาพอากาศ อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วและทิศทางลม รวมถึงกิจกรรมงานก่อสร้างในแต่ละโครงการแตกต่างกัน
4. ควรพัฒนาเครื่องมือวัดปริมาณมลพิษส่วนบุคคลให้เหมาะสมกับลักษณะของงานก่อสร้าง ด้วยขนาดและน้ำหนักของเครื่องมือวัด ควรมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา จะได้ไม่เป็นการลดประสิทธิภาพในการทำงานของแรงงาน อีกทั้งควรเลือกใช้เซนเซอร์ในการตรวจวัดที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เพื่อความแม่นยำและความสามารถในการตรวจจับมลพิษ

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปการวิจัย

ในปัจจุบันมลพิษทางอากาศนับว่าเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญของประเทศไทยซึ่งสังเกตได้จากฝุ่นละออง PM 2.5 ที่มีระดับความเข้มข้นเกินค่ามาตรฐาน เนื่องมาจากวิถีชีวิตที่เปลี่ยนแปลงไป ประชากรที่มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น รวมถึงการก่อสร้างที่พักอาศัยที่มีอยู่ทั่วพื้นที่กรุงเทพฯ และปริมณฑล ซึ่งเป็นต้นเหตุของมลพิษทางอากาศและเสียงที่ส่งผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงาน นำไปสู่ความกังวลในเรื่องสุขภาพ การตรวจวัดมลพิษทางอากาศและเสียงภายในโครงการก่อสร้างในปัจจุบันนั้นเป็นเครื่องวัดขนาดใหญ่ ติดไว้ที่จุดใดจุดหนึ่ง มีราคาสูง และไม่สามารถทราบถึงกิจกรรมย่อยที่ก่อให้เกิดมลพิษต่อแรงงาน อย่างไรก็ตามเพื่อให้ทราบถึงปริมาณมลพิษที่แรงงานได้รับทำให้ต้องติดเครื่องมือวัดและกล่องบันทึกวิดีโอกับแรงงาน งานวิจัยนี้จึงต้องการวิเคราะห์มลพิษทางอากาศและเสียง (PM 2.5, PM 10, NO₂, CO, dB(A)) ที่เกิดจากกิจกรรมย่อยของการก่อสร้างอาคารที่พักอาศัยโดยเครื่องมือวัดส่วนบุคคลร่วมกับบันทึกวิดีโอ ซึ่งผู้วิจัยสร้างเครื่องมือตรวจวัดมลพิษทางอากาศและเสียงแบบเรียลไทม์ โดยนำเทคโนโลยี IoT (Internet of Things) และเซนเซอร์ตรวจวัดมลพิษทางอากาศ และเสียงมาประยุกต์ ทำให้ทราบค่าความเข้มข้นของมลพิษที่แรงงานได้รับจากกิจกรรมย่อยของงานก่อสร้าง รวมถึงทราบกิจกรรมที่ก่อให้เกิดมลพิษเกินค่ามาตรฐานโดยตรวจสอบผ่านวิดีโอที่บันทึกไว้ และมีการแจ้งเตือนผ่าน Line Notify โดยเจ้าของโครงการ และผู้รับเหมางานก่อสร้างที่พักอาศัย สามารถนำระบบเครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงนี้ไปใช้ในการตรวจวัดปริมาณมลพิษและนำผลที่ได้หาแนวทางลดปริมาณมลพิษจากแหล่งกำเนิดมลพิษให้ตรงจุดและป้องกันไม่ให้เกิดการร้องเรียนการก่อสร้างที่พักอาศัยทั้งโครงการ โดยในส่วนของแรงงานนั้นจะได้เพิ่มการตระหนักรู้ถึงมลพิษที่ตนได้รับจากการทำงาน หาท่างป้องกันปัญหาสุขภาพอันเกิดจากมลพิษ และเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น

หลังจากนั้นทำการทดสอบความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงกับสถานีวัดมลพิษทางอากาศของกรมควบคุมมลพิษซึ่งผู้วิจัยเลือกสถานีหมายเลข 13T ตั้งอยู่บริเวณกรมควบคุมโรค และทดสอบเครื่องมือวัดมลพิษทางอากาศและเสียงกับกรณีศึกษาในโครงการก่อสร้างที่พักอาศัย 4 โครงการ โดยกิจกรรมงานก่อสร้างอยู่ในช่วง งานโครงสร้างและงานสถาปัตยกรรม

จากการสำรวจพบว่าในโครงการก่อสร้างที่พักอาศัยที่ผู้วิจัยศึกษา พบว่ามี 7 กิจกรรมหลักของงานก่อสร้าง คือ กิจกรรมตัดและตัดเหล็ก กิจกรรมเชื่อมโลหะ กิจกรรมปูกระเบื้อง กิจกรรมก่ออิฐมวลเบา กิจกรรมงานทาสี กิจกรรมงานประกอบแบบหล่อคอนกรีต และกิจกรรมงานวางท่อประปา โดยแต่ละกิจกรรมมีหลายกิจกรรมย่อยที่เกิดและไม่เกิดปริมาณมลพิษเกินค่ามาตรฐาน สรุปได้ดังนี้

กิจกรรมตัดและตัดเหล็ก มี 1 กิจกรรมย่อย คือ ตัดและตัดเหล็ก ไม่มีปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียง (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) เกินค่ามาตรฐาน

กิจกรรมเชื่อมโลหะ มี 2 กิจกรรมย่อย คือ 1. เชื่อมโดยใช้ลวดเชื่อม มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และ 2. เป่าตัดโลหะด้วยแก๊ส มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ

กิจกรรมปูกระเบื้อง มี 7 กิจกรรมย่อย คือ 1. เคลือบปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 2. เคาะกระเบื้อง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 3. เจียรกระเบื้อง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน 4. ฉาบผนัง ไม่มีปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียง (PM 2.5, PM 10, CO, NO₂, dB(A)) เกินค่ามาตรฐาน 5. เทปูนปรับระดับก่อนปูกระเบื้อง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 6. ผสมปูน มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และ 7. สกัดพื้น มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน

กิจกรรมก่ออิฐมวลเบา มี 4 กิจกรรมย่อย คือ 1. ก่ออิฐมวลเบา มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 2. ตัดอิฐมวลเบาโดยใช้เครื่องตัด มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 3. ผสมปูน มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และ 4. ตัดอิฐมวลเบาโดยใช้เลื่อย มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ

กิจกรรมงานทาสี มี 4 กิจกรรมย่อย คือ 1. ชัดปูนสีกิมโค้ท มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 2. ฉาบปูนสีกิมโค้ท ไม่มีปริมาณมลพิษเกินค่ามาตรฐาน 3. ทาสี ไม่มีปริมาณมลพิษเกินค่ามาตรฐาน และ 4. ฉีดซิลิโคน ไม่มีปริมาณมลพิษเกินค่ามาตรฐาน

กิจกรรมงานประกอบแบบหล่อคอนกรีต มี 6 กิจกรรมย่อย คือ 1. ประกอบแบบหล่อคอนกรีต มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 2. เจาะผนังโดยใช้สว่านในที่โล่ง มีระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน 3. เจาะพื้นโดยใช้สว่านในที่โล่ง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน 4. ตัดเหล็กโดยใช้ไฟเบอร์ มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน 5. เทปูน มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และ 6. ตัดอิฐมวลเบาโดยใช้เลื่อย มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐานในระดับเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ

กิจกรรมงานวางท่อประปา มี 2 กิจกรรมย่อย คือ 1. เจาะผนัง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน และ 2. สกัดในที่ปิดและโล่ง มีปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 เกินค่ามาตรฐานในระดับส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และระดับความดังของเสียงเกินค่ามาตรฐาน

6.2 ข้อจำกัดของงานวิจัย

1. งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้เซนเซอร์เสียงราคาประหยัด เข้ากับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งระบบต้องทำงานและส่งข้อมูลอย่างต่อเนื่อง ทำให้ข้อมูลที่แสดงผลปริมาณมลพิษทางเสียงจากระบบอาจช้ากว่าเสียงจากแหล่งกำเนิดเล็กน้อย ซึ่งเสียงนั้นเกิดจากการกระแทก ทบ ตี รวมถึงเสียงที่ไม่ได้ดังอย่างต่อเนื่อง เป็นเสียงที่เกิดขึ้นในเวลาสั้นๆ ทำให้ตัวเซนเซอร์ตรวจวัดเสียงที่เกิดขึ้นนั้นไม่ได้ทั้งหมด

2. ถ้าหากบริเวณที่ตรวจวัดมลพิษมีปริมาณมลพิษที่สูงกว่าขีดสูงสุดที่เซนเซอร์สามารถตรวจวัดได้ จะทำให้ไม่ทราบถึงปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นจริงในบริเวณนั้น และถ้าบริเวณที่ตรวจวัดมีปริมาณมลพิษน้อยมากและน้อยกว่า ขีดต่ำสุดที่เซนเซอร์สามารถตรวจวัดได้ จะทำให้ไม่ทราบถึงปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นจริงในบริเวณนั้นเช่นกัน

3. เนื่องจากกระบวนการก่อสร้างมีหลายกิจกรรมซึ่งใช้เวลานานในการก่อสร้างให้แล้วเสร็จ ทำให้ผู้วิจัยศึกษาไม่ได้ครบทุกกิจกรรมในงานก่อสร้าง ในการศึกษาครั้งต่อไปควรตรวจวัดปริมาณมลพิษจากกิจกรรมงานก่อสร้างอื่นเพิ่มเติมให้ครบทุกกระบวนการของงานก่อสร้าง

4. เครื่องมือวัดปริมาณมลพิษในงานวิจัยนี้สร้างเพื่อเป็นแนวทางในการตรวจวัดปริมาณมลพิษส่วนบุคคล และเซนเซอร์ที่ถูกนำมาใช้เป็นเซนเซอร์ที่มีขนาดเล็ก อีกทั้งราคาถูก ดังนั้นความแม่นยำและความละเอียดของการตรวจวัดปริมาณมลพิษจึงไม่ได้เทียบเท่ากับเครื่องมือวัดมลพิษมาตรฐาน

6.3 ผลการทำงานวิจัย

1. ระบบและเครื่องมือที่สามารถวัดมลพิษทางอากาศและเสียงส่วนบุคคล (PM 2.5, PM 10, NO₂, CO, dB(A)) ในโครงการก่อสร้างที่พักอาศัยแบบเรียลไทม์ โดยใช้งบประมาณไม่สูงในการพัฒนา เนื่องจากใช้เซนเซอร์ราคาประหยัด สามารถเก็บบันทึกข้อมูลปริมาณมลพิษที่แรงงานได้รับจากการก่อสร้าง และตรวจสอบกิจกรรมย่อยของการก่อสร้างที่ก่อให้เกิดมลพิษจาก Fowl Application
2. ระบบสามารถแจ้งเตือนให้เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยโครงการ และแรงงานทราบได้ทันทีหากกิจกรรมที่ทำอยู่ในขณะนั้นมีค่ามลพิษเกินมาตรฐานซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงต่อสุขภาพของแรงงานได้
3. เจ้าของโครงการและผู้รับเหมา สามารถนำเครื่องมือไปใช้ในการวัดมลพิษทางอากาศและเสียง (PM 2.5, PM 10, NO₂, CO, dB(A)) ในโครงการก่อสร้างที่พักอาศัย และนำผลที่ได้ไปหาแนวทางป้องกันให้ผู้ที่เกี่ยวข้องในโครงการ
4. ทราบถึงข้อจำกัดหรือแนวทางในการประยุกต์ใช้ เซนเซอร์วัดมลพิษ กับเทคโนโลยี Internet of Things ในโครงการก่อสร้าง
5. สามารถวิเคราะห์ปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียง และทราบถึงกิจกรรมย่อยที่เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษจากโครงการก่อสร้างที่พักอาศัยได้ในเบื้องต้น

6.4 ข้อเสนอแนะและแนวทางพัฒนางานวิจัยในอนาคต

1. งานวิจัยในอนาคตควรตรวจวัดมลพิษทางอากาศที่นอกเหนือจากฝุ่นละออง (PM 2.5 และ PM 10) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)
2. เนื่องจากกระบวนการก่อสร้างมีหลายกิจกรรมซึ่งใช้เวลานานในการก่อสร้างให้แล้วเสร็จ งานวิจัยในอนาคต ควรวัดปริมาณมลพิษจากกิจกรรมงานก่อสร้างอื่นเพิ่มเติม
3. ควรสร้างเครื่องมือวัดมลพิษจำนวนมากขึ้น เพื่อให้สามารถวัดกิจกรรมงานก่อสร้างได้ครอบคลุมทุกกิจกรรมทุกพื้นที่ เพื่อสร้างแบบจำลองค่ามลพิษ และประเมินสภาวะอากาศในแต่ละพื้นที่ของโครงการได้ทันที
4. ศึกษาความสัมพันธ์กับปัจจัยอื่นๆ เนื่องจากงานวิจัยนี้ ยังไม่ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและแหล่งกำเนิดของมลพิษทางอากาศและเสียงกับปัจจัยอื่นๆ เช่น สภาพอากาศ ชนิดของวัสดุก่อสร้าง เป็นต้น ดังนั้นจึงควรศึกษาความสัมพันธ์เหล่านี้เพื่อให้เข้าใจถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณและแหล่งกำเนิดของมลพิษทางอากาศและเสียง
5. งานวิจัยในอนาคตควรเลือกเซนเซอร์ที่มีมาตรฐานและคุณภาพสูง เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการตรวจวัดปริมาณมลพิษทางอากาศและเสียง



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ. (2546). *คู่มือการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ. คู่มือการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม*. เข้าถึงเมื่อ 12 พฤศจิกายน 2566, จาก <https://www.pcd.go.th/publication/4702>
- กรมควบคุมมลพิษ. (2549). *คู่มือการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมอย่างง่าย. กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม*. เข้าถึงเมื่อ 12 พฤศจิกายน 2566, จาก <https://www.pcd.go.th/publication/6390>
- กรมควบคุมมลพิษ. (2566). สถิติเรื่องร้องเรียนด้านมลพิษ ปีงบประมาณ พ.ศ.2566. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. เข้าถึงเมื่อ 12 ธันวาคม 2566, จาก https://www.pcd.go.th/wp-content/uploads/2023/10/pcdnew-2023-10-16_06-24-16_849943.pdf
- กรมอนามัยและกรมควบคุมโรค. (2558). *แนวทางการเฝ้าระวังพื้นที่เสี่ยงจากมลพิษทางอากาศ กรณีฝุ่นละอองขนาดเล็ก*. นนทบุรี: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด
- กองนโยบายและแผนงาน. (2563). *รายงานการศึกษา การขยายตัวของที่อยู่อาศัยในเขตกรุงเทพมหานคร*. กรุงเทพฯ: กรุงเทพมหานคร
- กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป. (2538). เข้าถึงเมื่อ 12 พฤศจิกายน 2566, จาก https://www.metlaboratory.com/album/law/pdf/20536d6ebfb3c77775d667fe279001c9.pdf?fbclid=IwAR1r0k6Gy4CRObPDEM2lGOXg9MeR3EM_Mym2lxTgOm86eW2Hs-hNjKUFRVo
- ณัฐพล บุญมี. (2562). *การประเมินความเสี่ยงของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมโครเมตร กรณีศึกษาบริเวณพื้นที่โรงโม่หิน จังหวัดชลบุรี (วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต)*. บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยบูรพา.
- นภาพร พานิช และคณะ. (2550). *ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ (พิมพ์ครั้งที่ 2)*. กรุงเทพฯ: ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศิริมา ปัญญาเมธิกุล. (2561). *ดราม่า เรื่อง PM2.5 ตอน 2 : มาตรฐานที่ต่างกัน*. เข้าถึงเมื่อ 12 พฤศจิกายน 2566, จาก <https://thaipublica.org/2018/05/air-pollution02/>
- สายชล สุขโนนจารย์. (2563). *การพัฒนาระบบตรวจวัดคุณภาพอากาศสำหรับการประเมินและตรวจสอบคุณภาพอากาศ ภายในมหาวิทยาลัยนครสวรรค์ด้วยเทคนิค IoT และ GIS (วิทยานิพนธ์*

วิทยาศาสตร์บัณฑิต). คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัย
นเรศวร.

สิทธิโชค สิ้นค้อย. (2562). *การพัฒนาระบบเฝ้าระวังฝุ่นละอองขนาดเล็กและคุณภาพอากาศ โดยใช้
เทคโนโลยี IoT ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์* (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต).

คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร.

อภิษฎา รุจิชัยกุล. (2560). ปัญหาการจัดการก่อสร้างที่มีผลต่อระยะเวลาการก่อสร้างบ้านเดี่ยว :
กรณีศึกษาโครงการเดอะซิติ้ บรมราชชนนี 60 และโครงการเดอะซิติ้ สาทร-สุขสวัสดิ์ ของ
บริษัท เอพี (ไทยแลนด์) จำกัด (มหาชน) (วิทยานิพนธ์ปริญญาเคหพัฒนศาสตรมหาบัณฑิต)
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Abiye, O. E., Sunmonu, L. A., Ajao, A. I., Akinola, O. E., Ayoola, M. A., & Jegede, O. O. (2016).
Atmospheric dispersion modeling of uncontrolled gaseous pollutants (SO₂ and
NO_x) emission from a scrap-iron recycling factory in Ile-Ife, Southwest Nigeria.
Cogent Environmental Science, 2(1), 1275413. <https://doi.org/10.1080/23311843.2016.1275413>

Alam, S. S., Islam, A. J., Hasan, M. M., Rafid, M. N. M., Chakma, N., & Imtiaz, M. N. (2018).
Design and Development of a Low-Cost IoT based Environmental Pollution
Monitoring System. In *2018 4th international conference on electrical
engineering and information & communication technology (iCEEICT)* (pp. 652-
656). IEEE.

Budde, M., Masri, R. E., 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* (pp. 1-10).
Association for Computing Machinery.

Chong, D., Chen, L., Peng, Y., & Yu, A. (2022). Occupational noise-related perception and
personal protection behavior among Chinese construction workers. *Safety
Science*, 147, 105629. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105629>

Cybertice. (2562). แบตเตอรี่ ลิเธียมโพลิเมอร์ 3.7V ความจุ 2000mAh. เข้าถึงเมื่อ 15 ธันวาคม
2566, จาก www.cybertice.com/product/2675/แบตเตอรี่-ลิเธียมโพลิเมอร์-3-7v-ความจุ-2000mah-103450-lithium-polymer-battery

Cybertice. (2564). ไมโครชาร์จแบตเตอรี่ลิเธียม 4.2V. เข้าถึงเมื่อ 15 ธันวาคม 2566, จาก
www.cybertice.com/product/4524/ไมโครชาร์จแบตเตอรี่ลิเธียม-4-2v-พร้อมวงจรจ่ายไฟ

- และวงจรป้องกัน-5v2a-charge-integrated-module-type-c-i
- Cybertice. (2565). โมดูลวัดความดังเสียงเดซิเบล. เข้าถึงเมื่อ 15 ธันวาคม 2566, จาก www.cybertice.com/product/4950/โมดูลวัดความดังเสียงเดซิเบล-30-130db-rs485-decibel-meter-detection-noise-generator-module-noise-sens
- El Morabet, R. (2018). Effects of Outdoor Air Pollution on Human Health. In *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. Elsevier. Accessed 15 December 2023, from <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11012-7>
- Eloop. (2023). *E14 PRO 20000mAh PD 20W*. Accessed 15 December 2023, from <https://www.eloopthailand.com/products/e14-pro-20000mah-pd-20w-green>
- EPA. (2017, 1 OCTOBER 2020). *Particulate Matter (PM) Pollution*. Accessed 20 November 2023, from <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>
- EPA. (2023). *What is Particle Pollution?* U.S. Environmental Protection Agency. Retrieved 17 December from <https://www.epa.gov/pmcourse/what-particle-pollution>
- Fu, M., Ge, Y., Tan, J., Zeng, T., & Liang, B. (2012). Characteristics of typical non-road machinery emissions in China by using portable emission measurement system. *Science of The Total Environment*, 437, 255-261. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.07.095>
- Futurekit. (2560). รู้จักกับโปรแกรม Arduino IDE. เข้าถึงเมื่อ 15 ธันวาคม 2566, จาก www.futurekit.com/th/content/10793/รู้จักกับโปรแกรม-arduino-ide
- Gozzi, F., Della Ventura, G., & Marcelli, A. (2016). Mobile monitoring of particulate matter: State of art and perspectives. *Atmospheric Pollution Research*, 7(2), 228-234. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2015.09.007>
- Indrehus, O., & Vassbotn, P. (2001). CO and NO₂ pollution in a long two-way traffic road tunnel: Investigation of NO₂/NO_x ratio and modelling of NO₂ concentration. *Journal of environmental monitoring : Journal of Environmental Monitoring*, 3(2), 220-225. <https://doi.org/10.1039/b009493p>
- Inewch. (2563). รีวิว ZMI MF885 ครอบจบเครื่องเดียว ทั้ง Pocket Wifi 4G และ Powerbank 10000mAh. inewch. เข้าถึงเมื่อ 15 ธันวาคม 2566, จาก <https://inewch.com/zmi-mf885/>

- IoT Man. (2561). *Blynk คืออะไร. IoT by JPNET*. เข้าถึงเมื่อ 14 ธันวาคม 2566, จาก <https://iot.jpnet.co.th/blynk/>
- Kortoçi, P., Motlagh, N. H., Zaidan, M. A., Fung, P. L., Varjonen, S., Rebeiro-Hargrave, A., ... & Tarkoma, S. (2022). Air pollution exposure monitoring using portable low-cost air quality sensors. *Smart health*, 23, 100241 <https://doi.org/10.1016/j.smhl.2021.100241>
- Li, X., Song, Z., Wang, T., Zheng, Y., & Ning, X. (2016). Health impacts of construction noise on workers: A quantitative assessment model based on exposure measurement. *Journal of Cleaner Production*, 135, 721-731. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.100>
- Maisonneuve, N., Stevens, M., Niessen, M., & Steels, L. (2009). NoiseTube: Measuring and mapping noise pollution with mobile phones. In *Information Technologies in Environmental Engineering: Proceedings of the 4th International ICSC Symposium Thessaloniki, Greece, May 28-29, 2009* (pp. 215-228). Springer Berlin Heidelberg.
- Malleswari, S. M. S. D., & Mohana, T. K. (2022). Air pollution monitoring system using IoT devices: Review. *Materials Today: Proceedings*, 51, 1147-1150. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.114>
- Peacock, J., Symonds, P., Jackson, P., Bremner, S., Scarlett, J. F., Strachan, D. P., & Anderson, H. R. (2003). Acute effects of winter air pollution on respiratory function in schoolchildren in southern England. *Occup Environ Med*, 60(2), 82-89. <https://doi.org/10.1136/oem.60.2.82>
- S2electronics. (2022). *Fowl 4G Smart Mini Camera Night Vision, Motion Detection, Two-way Audio*. S2ELECTRONICS. Accessed 15 December 2023, from <https://as2.ae/fowl-4g-smart-mini-camera/>
- Safesiri. (2565). *มาตรฐานและกฎหมายเสียงดังในที่ทำงาน*. บริษัท เซฟลิริ (ประเทศไทย) จำกัด. เข้าถึงเมื่อ 12 ธันวาคม 2566, จาก <https://safesiri.com/danger-from-noise/>
- Seeed studio. (2023). *Grove - Gas Sensor V2(Multichannel)*. Retrieved 15 December from www.wiki.seeedstudio.com/Grove-Multichannel-Gas-Sensor-V2/
- Snyder, E. G., Watkins, T. H., Solomon, P. A., Thoma, E. D., Williams, R. W., Hagler, G. S.

- W., Shelow, D., Hindin, D. A., Kilaru, V. J., & Preuss, P. W. (2013). The changing paradigm of air pollution monitoring. *Environmental Science & Technology*, 47(20), 11369-11377. <https://doi.org/10.1021/es4022602>
- Steinle, S., Reis, S., Sabel, C. E., Semple, S., Twigg, M. M., Braban, C. F., Leeson, S. R., Heal, M. R., Harrison, D., Lin, C., & Wu, H. (2015). Personal exposure monitoring of PM_{2.5} in indoor and outdoor microenvironments. *Science of The Total Environment*, 508, 383-394. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.12.003>
- Sumtech. (2566). *Air Quality 7 Sensor RS485*. Accessed 15 December 2023, from <https://www.sumtechstores.com/product/323/air-quality-7-sensor-rs485>
- Supasri, T., Sampattagul, S., & Intra, P. (2017). Development of Cloud Computing model for Climate Change Data using A Wireless Sensor System for Continuous Monitoring of Particulate Air Pollution. In 4th *Conference on Research and Creative Innovations*. Rajamangala University of Technology Lanna. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29977.11361>
- Tyovenda, A. A., Ayua, T. J., & Sombo, T. (2021). Modeling of gaseous pollutants (CO and NO₂) emission from an industrial stack in Kano city, northwestern Nigeria. *Atmospheric Environment*, 253, 118356. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118356>
- Wang, J., Du, W., Lei, Y., Chen, Y., Wang, Z., Mao, K., Tao, S., & Pan, B. (2023). Quantifying the dynamic characteristics of indoor air pollution using real-time sensors: Current status and future implication. *Environment International*, 175, 107934. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.107934>
- Wang, M., Yao, G., Sun, Y., Yang, Y., & Deng, R. (2023). Exposure to construction dust and health impacts – A review. *Chemosphere*, 311, 136990. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136990>
- WHO. (1998). *Prevention of noise-induced hearing loss : report of an informal consultation held at the World Health Organization*. Geneva: World Health Organization.
- Workpointtoday. (2563). กลุ่มคนทำงานกลางแจ้งรับฝุ่น PM_{2.5} เสี่ยงป่วยโรคระบบหัวใจ หอบหืด โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง. เข้าถึงเมื่อ 12 ธันวาคม 2566, จาก <https://workpointtoday.com/25pm/>

Zhou Yong. (2016). *Digital universal particle concentration sensor PMS5003 series data manual*. Accessed 15 December 2023, from https://www.aqmd.gov/docs/default-source/aq-spec/resources-page/plantower-pms5003-manual_v2-3.pdf?sfvrsn=2





จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นพวิชญ์ สีสานภาภาค
วัน เดือน ปี เกิด	31 มกราคม 2538
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ที่อยู่ปัจจุบัน	99 ซอยอินทราวาส11 ถนนอินทราวาส แขวงบางระมาด เขตตลิ่งชัน กรุงเทพฯ 10170

