



การพัฒนาระบบแจ้งเตือนมลพิษทางอากาศ กรณีศึกษาฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5

Development of Air Pollution Alert System: A Case Study of Particulate Matter 2.5 micron (PM2.5)

วิสรวิทย์ ศิริวิเศษสินธุ์¹ ปานใจ ชารัตนวงศ์^{2*}

¹คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม 730007

¹ Department of Computing Faculty of Science, Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000

²ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม 73000

² Department of Computing, Faculty of Science, Silpakorn University, Nakhon Pathom, 73000, Thailand.

ข้อมูลบทความ

ประวัติบทความ

รับเมื่อ: 5 พฤษภาคม 2568

แก้ไขเมื่อ: 27 ตุลาคม 2568

ตอบรับเมื่อ:

26 พฤศจิกายน 2568

เผยแพร่ออนไลน์:

23 มกราคม 2569

คำสำคัญ

ฝุ่นละออง PM2.5

โมบายแอปพลิเคชัน

สถาปัตยกรรม REST API

ระบบข้อมูลสภาพอากาศ

Open Weather

*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ

อีเมล:

Tantatsanawong_p@su.ac.th

(ปานใจ ชารัตนวงศ์)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบแอปพลิเคชัน "app10" สำหรับตรวจวัดและแจ้งเตือนค่าฝุ่นละออง PM2.5 ในพื้นที่ประเทศไทยอย่างเรียลไทม์ โดยใช้ข้อมูลจาก Open Weather API ผ่าน REST API ในการดึงข้อมูล โดยพัฒนาแอปพลิเคชันด้วย Flutter framework และใช้ Flutter Local Notifications ในการแจ้งเตือนความเสี่ยงฝุ่นละอองใน 3 ระดับได้แก่ Moderate Poor และ Very Poor ระบบสามารถแสดงผลข้อมูลบนแผนที่ประเทศไทย และรองรับการใช้งานพร้อมกันบนอุปกรณ์หลายเครื่อง ในการประเมินผลได้ดำเนินการสำรวจความพึงพอใจกับกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้ 20 คน โดยใช้แบบสอบถามผ่าน Google Forms และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติร้อยละ ผลการวิจัยพบว่า แอปพลิเคชัน app10 แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างแม่นยำและมีเสถียรภาพ ทั้งการดึงข้อมูลค่าฝุ่น PM2.5 จาก Open Weather API และการแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์เมื่อค่าฝุ่นเกินระดับที่กำหนด แอปพลิเคชันสามารถแสดงผลข้อมูลบนแผนที่และรองรับการใช้งานพร้อมกันบนหลายอุปกรณ์ได้ดี ผู้ใช้ส่วนใหญ่เข้าถึงแอปพลิเคชันอย่างสม่ำเสมอและพึงพอใจกับฟีเจอร์ของแอปพลิเคชัน เช่น การแจ้งเตือนและการแสดงผลบนแผนที่ รวมถึงการออกแบบ

ARTICLE INFO

Article History

Received: 5 May 2025

Revised: 27 October 2025

Accepted:

26 November 2025

Available online:

23 January 2026

Keywords:

PM2.5

Mobile Application

REST API

Open Weather

*Corresponding author

Email address:

Tantatsanawong_p@su.ac.th

(Panjai Tantatsanawong)

ABSTRACT

This research aims to develop the "app10" application for detecting and providing real-time alerts of PM2.5 particulate matter in Thailand. The app retrieves data from the Open Weather API via REST API and is developed using the Flutter framework, incorporating Flutter Local Notifications to alert users about air pollution risks at three levels: Moderate, Poor, and Very Poor. The system can display data on a map of Thailand and supports simultaneous use across multiple devices. A satisfaction survey was conducted with 20 users using Google Forms, and the data were analyzed using percentage statistics. The results show that the app10 system operates accurately and stably, effectively retrieving PM2.5 data from the Open Weather API and sending real-time alerts when pollution levels exceed set thresholds. The application reliably displays data on the map and supports multiple device usage well. Most users accessed the app regularly and expressed satisfaction with app features such as the alert notifications, map displays, and design.

1. บทนำ

ปัญหามลพิษทางอากาศจากฝุ่นละออง PM2.5 เป็นปัญหาที่ทวีความรุนแรงและเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในหลายพื้นที่ทั่วโลก โดยเฉพาะในประเทศไทย ซึ่งถือเป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชากรทั้งในระยะสั้นและระยะยาว [1]

จากการศึกษาของราชันวีวรรณ คำตัน และคณะ พบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณฝุ่นละออง PM10 เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ส่งผลให้จำนวนผู้ป่วยนอกมีแนวโน้มเพิ่มมากกว่าผู้ป่วยใน โดยเฉพาะในกลุ่มผู้ป่วยโรคหัวใจและหลอดเลือดทุกชนิด รวมถึงโรคทางเดินหายใจที่ต้องได้รับการเฝ้าระวังเป็นพิเศษ [2]

นอกจากนี้ ภาสินี ม่วงใจเพชร และคณะ รายงานว่า ประชาชนส่วนใหญ่กว่า 80% ให้ความสำคัญในการป้องกันตนเองจากผลกระทบของฝุ่นละออง PM2.5 อย่างสม่ำเสมอ โดยแอปพลิเคชันแจ้งเตือนฝุ่นละออง PM2.5 ถือเป็นช่องทางที่เข้าถึงง่ายและสะดวก ซึ่งช่วยให้ประชาชนสามารถเฝ้าระวังและตระหนักถึงผลกระทบทางสุขภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ [3]

ด้วยเหตุนี้ ผู้พัฒนาจึงเห็นความสำคัญและประโยชน์ของการนำแอปพลิเคชันแจ้งเตือนฝุ่นละออง PM2.5 มาใช้ในวงกว้าง ปัจจุบันมีแอปพลิเคชันยอดนิยม เช่น เช็คฝุ่น, IQAir [4] และ Air4Thai [5] ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงในการวัดและแจ้งเตือนค่าฝุ่นละออง PM2.5 อย่างไรก็ตาม แอปพลิเคชันเหล่านี้ยังมีข้อจำกัดในเรื่องขั้นตอนการเข้าใช้งานที่ซับซ้อน ส่งผลให้ไม่ตอบโจทย์ผู้ใช้บางกลุ่ม เช่น เด็กหรือผู้สูงอายุ อีกทั้งบางแอปยังขาดฟีเจอร์การแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์ที่ครอบคลุมและใช้งานง่าย จึงเป็นเหตุผลที่ผู้พัฒนามุ่งพัฒนาแอปพลิเคชันแจ้งเตือนฝุ่นละออง

PM2.5 ซึ่งเน้นความง่ายในการใช้งาน และประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งานหลังการใช้งานระบบ เพื่อสำหรับพัฒนาแอปพลิเคชันในอนาคต

1.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.1.1 ฝุ่นละออง PM2.5

ฝุ่นละออง PM2.5 คือฝุ่นละอองขนาดเล็กมากที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมครอน ซึ่งสามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจและซึมเข้าสู่กระแสเลือดได้ ส่งผลกระทบต่อสุขภาพอย่างรุนแรง ทั้งในระยะสั้น เช่น อาการไอ เจ็บคอ หายใจมีเสียงพืดพาด และระยะยาว เช่น โรคถุงลมโป่งพอง โรคหัวใจ โรคหลอดเลือดสมอง มะเร็งปอด และผลกระทบต่อทารกในครรภ์ [6] หลายงานวิจัยยืนยันว่าการสัมผัส PM2.5 แม้ในระยะเวลสั้นก็เพิ่มความเสี่ยงต่อโรคหัวใจและทางเดินหายใจ รวมถึงเพิ่มอัตราการเสียชีวิตจากโรคเหล่านี้ [7]

สำนักงานควบคุมมลพิษและกรมประชาสัมพันธ์เน้นย้ำว่า PM2.5 เป็นปัญหามลพิษทางอากาศที่สำคัญในประเทศไทย และประชาชนในกลุ่มเสี่ยง เช่น เด็ก ผู้สูงอายุ ผู้ป่วยโรคเรื้อรัง ควรมีมาตรการป้องกัน เช่น การสวมหน้ากาก N95 หรือการหลีกเลี่ยงกิจกรรมกลางแจ้งในช่วงที่ค่าฝุ่นสูง นอกจากนี้ยังแนะนำให้มีการเฝ้าระวังระดับฝุ่น PM2.5 และใช้เครื่องมือแจ้งเตือนคุณภาพอากาศเพื่อการป้องกันโรคและลดผลกระทบต่อสุขภาพ [8]

1.1.2 โมบายแอปพลิเคชัน (Mobile Application)

โมบายแอปพลิเคชัน (Mobile Application) ในงานวิจัยด้านการตรวจวัดคุณภาพอากาศ เช่น ฝุ่นละออง PM2.5 มีบทบาทสำคัญในการให้ข้อมูลแบบเรียลไทม์แก่ผู้ใช้ เพื่อการเฝ้าระวังและป้องกันผลกระทบทาง

สุขภาพ แอปเหล่านี้มักถูกพัฒนาด้วยเทคโนโลยีที่ทันสมัย เช่น Flutter และ Dart เพื่อสร้างประสบการณ์การใช้งานที่ราบรื่น รองรับการทำงานบนอุปกรณ์หลายประเภท และสามารถแสดงผลข้อมูลที่ซับซ้อนได้อย่างชัดเจน

งานวิจัยต่างประเทศและในไทยแสดงให้เห็นว่าการพัฒนาโมบายแอปสำหรับการแจ้งเตือนคุณภาพอากาศมักใช้ระบบดึงข้อมูลผ่าน REST API จากแหล่งข้อมูลเชิงคุณภาพ เช่น OpenWeather API แอปได้รับการออกแบบให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงข้อมูล PM2.5 ได้ง่าย พร้อมพีเจอร์แจ้งเตือนระดับความเสี่ยง เพื่อช่วยให้ผู้ใช้ทำกิจกรรมได้อย่างเหมาะสมตามสภาพอากาศ [9]

การใช้ Flutter และ Dart ในการพัฒนาโมบายแอปช่วยให้สามารถสร้างแอปที่มีความเสถียร ใช้งานง่าย และรองรับแพลตฟอร์ม iOS/Android พร้อมกัน นอกจากนี้ยังมีฟีเจอร์สำคัญอย่างการแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์ (Local Notifications) ที่สำคัญในการแจ้งเตือนผู้ใช้เมื่อค่าฝุ่นละอองเข้าสู่ระดับที่เป็นอันตรายอย่างรวดเร็ว [10]

1.1.3 สถาปัตยกรรม REST API

สถาปัตยกรรม REST API เป็นส่วนสำคัญที่ช่วยในการจัดการข้อมูลและสื่อสารระหว่างอุปกรณ์หรือระบบต่าง ๆ เพื่อรองรับการประมวลผลข้อมูลคุณภาพอากาศแบบเรียลไทม์ งานวิจัยหลายชิ้นได้อธิบายการใช้ REST API ในระบบตรวจวัดคุณภาพอากาศ โดยทั่วไปจะมีการออกแบบให้ REST API เป็นตัวกลางในการรับส่งข้อมูลจากเซ็นเซอร์หรือแหล่งข้อมูลภายนอก ไปยังฐานข้อมูลและส่วนติดต่อผู้ใช้ ทั้งนี้ช่วยให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือและสามารถเข้าถึงได้อย่างมีประสิทธิภาพผ่านโปรโตคอล HTTP มาตรฐาน เช่น GET และ POST ตัวอย่างเช่น งานวิจัยหนึ่งเกี่ยวกับสถาปัตยกรรมระบบติดตามคุณภาพอากาศแบบเรียลไทม์โดยใช้ REST API ระบุว่า ระบบจะรวบรวมข้อมูลจากอุปกรณ์ IoT และฐานข้อมูล จากนั้นให้ REST API ทำหน้าที่จัดการข้อมูลโดยการตรวจสอบความถูกต้อง ประมวลผล และจัดรูปแบบข้อมูล ก่อนส่งต่อไปยังฐานข้อมูลส่วนกลางและเว็บแอปพลิเคชันเพื่อแสดงผลแบบเรียลไทม์ โดยมีการใช้โปรโตคอล WebSocket เข้ามาช่วยเสริมเพื่อการสื่อสารแบบสองทาง (bidirectional) ซึ่งช่วยให้ข้อมูลอัปเดตแบบทันทีโดยไม่ต้องรีเฟรชหน้าเว็บ [11]

สถาปัตยกรรม REST API ยังถูกออกแบบให้รองรับการประมวลผลแบบแยกส่วน (modular) เพื่อทำให้สามารถพัฒนาระบบย่อย ๆ ได้อย่างอิสระและง่ายต่อการบำรุงรักษา พร้อมใช้รูปแบบ JSON ในการแลกเปลี่ยนข้อมูล เพื่อความเข้ากันได้ดีในแพลตฟอร์มที่หลากหลาย [12]

1.1.4 ระบบแจ้งเตือน (Notification)

ระบบแจ้งเตือน (Notification) ในงานวิจัยเกี่ยวกับการ

ตรวจวัดและแจ้งเตือนค่าฝุ่นละออง PM2.5 เป็นส่วนสำคัญที่ช่วยให้ผู้ใช้รับรู้สถานการณ์คุณภาพอากาศแบบเรียลไทม์ เพื่อป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพ โดยระบบจะเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เซ็นเซอร์และแอปพลิเคชันมือถือเพื่อส่งข้อมูลและแจ้งเตือนผ่านช่องทางต่าง ๆ เช่น แอปพลิเคชันบนมือถือ หรือแอปพลิเคชันไลน์

ตัวอย่างงานวิจัยหนึ่งได้พัฒนาระบบแจ้งเตือนคุณภาพอากาศผ่านแอปพลิเคชันไลน์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO อ่านค่าฝุ่น PM2.5 จากเซ็นเซอร์และแจ้งเตือนผ่านการแสดงผลไฟสัญญาณสีและส่งข้อมูลไปยังแอปพลิเคชันไลน์เพื่อแจ้งเตือนผู้ใช้เมื่อค่าฝุ่นเกินระดับมาตรฐานที่ปลอดภัย [13] นอกจากนี้ยังมีการวิจัยที่พัฒนาระบบแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์ โดยใช้เทคโนโลยี IoT เพื่อส่งข้อมูลผ่านระบบคลาวด์และแจ้งเตือนผ่านมือถือ โดยเน้นความแม่นยำในการวัดและความรวดเร็วในการแจ้งเตือน [14]

ระบบแจ้งเตือนเหล่านี้มักใช้เทคนิคการแจ้งเตือนแบบ Local Notification บนมือถือ เพื่อให้ผู้ใช้ได้รับการแจ้งเตือนทันทีเมื่อค่าฝุ่นละอองเข้าสู่ระดับที่มีความเสี่ยง และสามารถตั้งเวลาการแจ้งเตือนเป็นเวลาที่กำหนดได้ เช่น ทุก 2 ชั่วโมง หรือแจ้งเตือนทันทีเมื่อเกินค่ามาตรฐาน ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้สามารถวางแผนการดำเนินชีวิตและป้องกันสุขภาพได้ดียิ่งขึ้น [15]

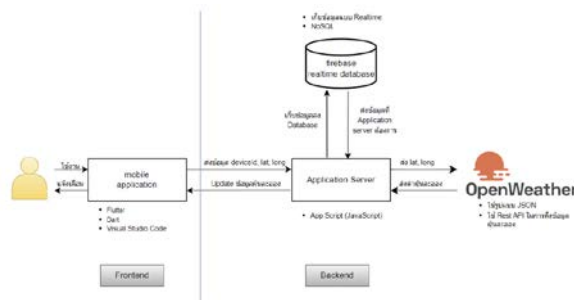
2. วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการทำงานของแอปพลิเคชันเริ่มต้นเมื่อผู้ใช้เปิด แอปพลิเคชันและอนุญาตให้เข้าถึงตำแหน่งของอุปกรณ์ ระบบจะบันทึกการหาค่าของอุปกรณ์ จากนั้นระบบจะดึงค่าละอองฝุ่นและลองจิจูดและส่งไปยังเซิร์ฟเวอร์ที่สร้างขึ้นใน Google App Script [16] ที่เชื่อมกับ OpenWeather API [17] เพื่อนำค่าฝุ่น PM2.5 ที่ส่งไปแสดงผลบนแอปพลิเคชันผ่าน REST API ข้อมูลที่ถูกบันทึกใน Firebase Realtime Database [18] ได้แก่รหัสอุปกรณ์ ละติจูด ลองจิจูด ค่าฝุ่นละออง PM2.5 ในตำแหน่งนั้น และวันเวลาที่ดึงค่าฝุ่นละออง จากนั้นระบบจะมีการประเมินระดับความเสี่ยงของค่าฝุ่นละอองและแจ้งเตือนผู้ใช้ เมื่อมีค่าฝุ่นละอองเกินระดับที่กรมควบคุมมลพิษ [19] กำหนด จึงจะแสดงผลบนแอปพลิเคชันให้กับผู้ใช้และแจ้งเตือนเมื่อค่าฝุ่นอยู่ในระดับ Moderate ขึ้นไป โดยมีการแสดงผลการแจ้งเตือนแบบ pop-up และจะมีการอัปเดต ข้อมูลค่าฝุ่นละอองทุก ๆ 1 ชั่วโมง

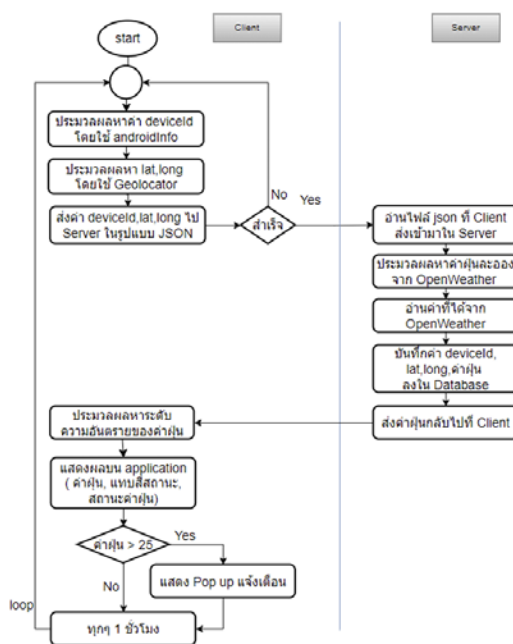
2.1. โครงสร้างการทำงานของระบบ

โครงสร้างการทำงานของระบบเริ่มจากแอปพลิเคชันที่ขออนุญาตเข้าถึงตำแหน่งของผู้ใช้ ซึ่งส่งข้อมูลพิกัดไปยังเซิร์ฟเวอร์ เซิร์ฟเวอร์จะเรียกข้อมูลค่าฝุ่น PM2.5 ผ่าน OpenWeather API จากนั้นบันทึกข้อมูล

ลงใน Firebase Realtime Database ระบบจะประมวลผลระดับความเสี่ยงจากค่าฝุ่นละอองและส่งข้อมูลกลับไปแสดงผลในแอปพลิเคชัน ระบบจะแจ้งเตือนผู้ใช้ทุกชั่วโมงหรือเมื่อเปิดแอปพลิเคชันใหม่เมื่อค่าฝุ่นละอองถึงระดับที่กำหนด



ภาพ 1 โครงสร้างการทำงานของระบบ



ภาพ 2 การทำงานโดยรวมของระบบ

```
{
  "coord": {
    "lon": 100.0329,
    "lat": 14.467
  },
  "list": [
    {
      "main": {
        "aqi": 1
      },
      "components": {
        "co": 273.71,
        "no": 0.01,
        "no2": 0.79,
        "o3": 29.68,
        "so2": 0.19,
        "pm2_5": 0.5,
        "pm10": 0.67,
        "nh3": 1.16
      },
      "dt": 1716106988
    }
  ]
}
```

ภาพ 3 ตัวอย่างข้อมูล JSON ที่ได้จาก Open Weather API

2.2. การทำงานโดยรวมของระบบ

ขั้นตอนการทำงานของระบบเริ่มต้นเมื่อผู้ใช้เปิดแอปพลิเคชันและอนุญาตให้เข้าถึงตำแหน่ง จากนั้นแอปพลิเคชันจะดึงข้อมูลรหัสของอุปกรณ์และพิกัด (ละติจูดและลองจิจูด) ของผู้ใช้ เพื่อส่งไปยังเซิร์ฟเวอร์เพื่อเรียกข้อมูลค่าฝุ่น PM2.5 จาก OpenWeather API ข้อมูลที่ได้รับจะถูกบันทึกใน Firebase Realtime Database ได้แก่ รหัสอุปกรณ์ ละติจูด ลองจิจูด ค่าฝุ่นละออง และวันเวลา จากนั้นระบบจะส่งข้อมูลไปแสดงผลบนแอปพลิเคชัน ซึ่งระบบจะนำข้อมูลค่าฝุ่นละอองมาวิเคราะห์หาระดับความเสี่ยงตามเกณฑ์ที่กรมควบคุมมลพิษกำหนดก่อน จึงจะแสดงค่าฝุ่นละอองพร้อมแถบสีแสดงสถานะบนแอปพลิเคชันของผู้ใช้ โดยระบบจะอัปเดตข้อมูลทุก 1 ชั่วโมงและแสดงป๊อปอัพแจ้งเตือนผู้ใช้เมื่อค่าฝุ่นอยู่ในระดับ Moderate (25.1-37.5) Poor (37.6-75) และ Very Poor (75.1 ขึ้นไป)

2.3. การดึงค่าฝุ่นละอองผ่าน API จาก Open Weather

การดึงข้อมูลค่าฝุ่นละออง PM2.5 จาก Open Weather API เป็นกระบวนการที่มีขั้นตอนชัดเจน ซึ่งดำเนินการผ่าน Google Apps Script โดยเริ่มต้นจากการสร้างฟังก์ชัน getPM25 ที่ใช้รับพารามิเตอร์ละติจูดและลองจิจูดเพื่อระบุตำแหน่งที่ต้องการดึงข้อมูล จากนั้นต้องเตรียม API Key ซึ่งเป็นกุญแจสำหรับเข้าถึงข้อมูลใน Open Weather API โดยจะต้องลงทะเบียนขอเข้าถึงข้อมูลในเว็บไซต์ทางการเพื่อให้ได้ API Key หลังจากนั้นจะสร้าง URL สำหรับเรียก API โดยรวมค่าละติจูด, ลองจิจูด และ API Key เข้าไปในเส้นทาง API ที่กำหนดไว้ เส้น API ที่ใช้ในการดึงข้อมูลคือ https://api.openweathermap.org/data/2.5/air_pollution?lat=LATITUDE&lon=LONGITUDE&appid=API_KEY ซึ่ง LATITUDE และ LONGITUDE จะถูกแทนที่ด้วยค่าจริงที่ต้องการเรียกข้อมูล เมื่อสร้าง URL เสร็จสิ้นแล้ว จะใช้ฟังก์ชัน UriFetchApp.fetch(apiUrl) เพื่อเรียก API และเก็บผลลัพธ์ที่ได้ในตัวแปร response จากนั้นจะต้องแปลงข้อมูลที่ได้รับจาก API ซึ่งอยู่ในรูปแบบ JSON เป็น JavaScript object เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าถึงข้อมูล โดยใช้ฟังก์ชัน JSON.parse(response.getText())

ข้อมูลที่ได้รับจาก Open Weather API ประกอบด้วยหลายส่วน เช่น Coord ที่บอกพิกัดละติจูดและลองจิจูด list ที่เป็นอาร์เรย์ที่เก็บข้อมูลคุณภาพอากาศ main ที่มีดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) และ components ที่แสดงความเข้มข้นของสารมลพิษต่าง ๆ รวมถึง PM2.5 และ PM10 พร้อมกับเวลาที่ข้อมูลถูกบันทึกทั้งหมดนี้ช่วยให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงข้อมูลมลพิษทางอากาศได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว

2.4. การทำงานของระบบแจ้งเตือน

การแจ้งเตือนแบบ pop-up ของแอปพลิเคชัน โดยจะมีการแสดงค่าฝุ่นละอองของผู้ใช้และข้อความที่บอกสถานะความอันตรายของค่าฝุ่น การแจ้งเตือนจะถูกใช้งานต่อเมื่อค่าฝุ่นละอองของผู้ใช้อยู่ในระดับ Moderate (25.1 – 37.5), Poor (37.6 – 75) และ Very Poor (75.1+) ซึ่งในแต่ละระดับจะแสดงข้อความไม่เหมือนกัน ได้แก่ ระดับ Moderate จะแสดงข้อความว่า “Now your dust level is Moderate level, Starting to get dangerous, Please take care of yourself.” มีความหมายว่า ขณะนี้ระดับฝุ่นละอองของคุณอยู่ในระดับ ปานกลาง เริ่มมีความอันตรายแล้ว โปรดดูแลตัวเองด้วย ระดับ Poor จะแสดงข้อความว่า “Now your dust level is Poor and dangerous, Please take care of yourself.” มีความหมายว่า ขณะนี้ระดับฝุ่นละอองของคุณอยู่ในระดับต่ำและอันตราย โปรดดูแลตัวเองด้วย ระดับ Very Poor จะแสดงข้อความว่า “Now your dust level is Very Poor and very dangerous, Please take care of yourself.” มีความหมายว่า ขณะนี้ระดับฝุ่นละอองของคุณอยู่ในระดับต่ำมากและมีความอันตรายมาก โปรดดูแลตัวเองด้วย

การแจ้งเตือนนี้จะสร้างขึ้นโดยใช้เทคนิค Flutter local Notification [20] ซึ่งเป็นแพ็คเกจในภาษา Dart ที่ใช้สำหรับการจัดการการแจ้งเตือนใน แอปพลิเคชัน Flutter ในการแสดงการแจ้งเตือนผู้ใช้ การทำงานของระบบจะเริ่มขึ้นเมื่อผู้ใช้ได้มี การเข้าใช้งานหน้าจอ Home page ของแอปพลิเคชันและมีการส่งข้อมูลรับค่าฝุ่นละอองเข้ามาเสร็จเรียบร้อยแล้ว ในฟังก์ชัน sendDataToGoogleAppsScript() ซึ่งหลังจากการทำงานในส่วนนี้จะมีการเรียกใช้งานฟังก์ชัน checkNotification() เพื่อ ตรวจสอบค่าฝุ่นละอองที่ได้ว่าอยู่ในระดับใด ถ้าค่าฝุ่นละอองมีค่ามากกว่า 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรขึ้นไป จะทำการ เรียกใช้ฟังก์ชัน _showNotification() เพื่อเรียกใช้งาน pop-up การแจ้งเตือนโดยจะแสดงข้อความการแจ้งเตือนแตกต่างกัน ไป 3 ระดับดังที่ได้กล่าวไปข้างต้น ซึ่งจะมีการเรียกใช้งาน ทุก ๆ 1 ชั่วโมง

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1. ผลการดำเนินงาน

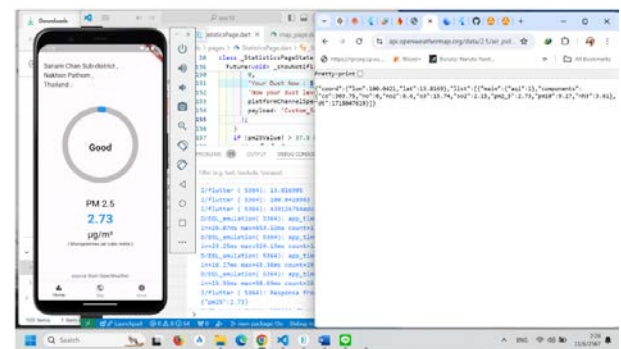
แอปพลิเคชัน app10 มีหน้าจอหลัก 3 หน้า ได้แก่ Home page แสดงค่าฝุ่น PM2.5 ในตำแหน่งปัจจุบันและสรุปคุณภาพอากาศ หน้า Map page แสดงแผนที่ค่าฝุ่นในพื้นที่ต่าง ๆ และ About page ให้ข้อมูลเกี่ยวกับแอปและระบบแจ้งเตือน

ระบบทำงานได้ดีเมื่อทดสอบบนหลายอุปกรณ์ในตำแหน่งเดียวกัน แม้จะมีความแตกต่างเล็กน้อยในด้านเวลาแสดงผล ฟังก์ชันแผนที่ช่วยให้ผู้ใช้งานเห็นข้อมูลฝุ่นในพื้นที่ต่าง ๆ คล้ายกับ Air4Thai และ IOAir

แอปสามารถดึงข้อมูลค่าฝุ่นจาก Open Weather API บันทึกลงและแสดงผลใน Firebase Realtime Database ได้ครบถ้วน แจ้งเตือนแบบเรียลไทม์เมื่อค่าฝุ่นเกินระดับปลอดภัย และรองรับการใช้งานพร้อมกันหลายอุปกรณ์ ทำให้ผู้ใช้ติดตามคุณภาพอากาศได้สะดวกและเข้าใจฟังก์ชันหลักของแอปอย่างครบถ้วน



ภาพ 4 การใช้งานแอปพลิเคชันและการแสดงผลในแต่ละหน้า



ภาพ 5 การทดสอบค่าฝุ่นละออง PM2.5 โดยเทียบกับเส้น API โดยตรง

3.1.1 ผลการทดสอบระบบ

ผลการทดสอบระบบพบว่าแอปพลิเคชันสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อใช้งานพร้อมกันบนอุปกรณ์หลายเครื่อง โดยในตำแหน่งเดียวกันค่าฝุ่นที่แสดงบนแอปพลิเคชันสอดคล้องกันทุกเครื่อง แม้จะมีความแตกต่างเล็กน้อยในเวลาแสดงผลเนื่องจากความเร็วอินเทอร์เน็ต ระบบสามารถดึงข้อมูลค่าฝุ่น PM2.5 จาก Open Weather API ได้อย่างถูกต้องและบันทึกลงใน Firebase Realtime Database ได้ตรงตามที่ตั้งค่าไว้ การแจ้งเตือนทำงานได้ดีเมื่อค่าฝุ่นเกินระดับที่กำหนด

3.1.2 การประเมินจากผู้ใช้งาน

การประเมินผลจากผู้ใช้งานได้ประเมินผล โดยใช้ Google Forms เป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูล ซึ่งเป็นแบบสอบถามประเภทคำถามปลายเปิด แบ่งเป็น 2 ตอน คือ ข้อมูลลักษณะการใช้งานและความชอบต่อแอปพลิเคชัน 3 ข้อ และความพึงพอใจต่อการใช้งานแอปพลิเคชันของผู้ใช้งาน 5 ข้อ รวมทั้งหมด 8 ข้อ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

แบบสอบถามตอนที่ 1 ข้อมูลลักษณะการใช้งานและความชอบต่อแอปพลิเคชัน ประกอบด้วย ความถี่ในการเข้าใช้งานแอปพลิเคชัน เมนูการใช้งานที่ชอบและเข้าใช้งานบ่อยที่สุด และฟีเจอร์ที่ชอบที่สุด

แบบสอบถามตอนที่ 2 ความพึงพอใจต่อการใช้งานแอปพลิเคชันของผู้ใช้งาน 5 ข้อ โดยประเมินในประเด็นต่าง ๆ ประกอบด้วย การออกแบบแอปพลิเคชันที่ใช้งานง่าย ความสะดวกรวดเร็วในการใช้งานแอปพลิเคชัน ภาษาที่ใช้ใน แอปพลิเคชันสามารถเข้าใจได้ง่าย ความเหมาะสมและความสวยงามของแอปพลิเคชัน และความพึงพอใจในภาพรวมของ การใช้งานแอปพลิเคชัน ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 20 คน โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย โดยมีผลการประเมินดังนี้

ผลการประเมินความถี่ในการเข้าใช้งานแอปพลิเคชัน app10 พบว่าความถี่ในการเข้าใช้งานแอปพลิเคชัน มากกว่า 1 ครั้งต่อวันคิดเป็น 25% วันละ 1 ครั้ง คิดเป็น 35% 2-3 วันครั้ง คิดเป็น 20% และสัปดาห์ละครั้ง คิดเป็น 20%

ตาราง 1 ความถี่ในการเข้าใช้งานแอปพลิเคชัน

ความถี่	จำนวนคน	ร้อยละ (%)
มากกว่า 1 ครั้งต่อวัน	5	25.0
วันละ 1 ครั้ง	7	35.0
2-3 ครั้งต่อวัน	4	20.0
สัปดาห์ละครั้ง	4	20.0

ผลการประเมินเมนูการใช้งานที่ชอบและใช้งานบ่อยที่สุด พบว่าเมนูการใช้ งานที่ผู้ใช้งานชื่นชอบและนิยมมากที่สุด ในหน้าจอ Home page คิดเป็น 60% หน้าจอ Map page คิดเป็น 40% และหน้าจอ About page คิดเป็น 0%

ตาราง 2 เมนูการใช้งานที่ชอบและใช้งานบ่อยที่สุด

เมนูการใช้งาน	จำนวนคน	ร้อยละ (%)
หน้า Home page	12	60.0
หน้าจอ Map page	8	40.0
หน้าจอ About page	0	0.0

ผลการประเมินฟีดแบ็กที่ผู้ใช้งานชื่นชอบที่สุด พบว่า ฟีดแบ็กที่ผู้ใช้งานชื่นชอบที่สุด การแจ้งเตือนเมื่อค่าฝุ่นละอองอยู่ในระดับ Moderate ขึ้นไป คิดเป็น 45% การแสดงผลค่าฝุ่นละอองในตำแหน่งของผู้ใช้ คิดเป็น 45% การแสดงผลค่าฝุ่นละอองบนแผนที่ คิดเป็น 10%

ตาราง 3 ฟีดแบ็กที่ผู้ใช้งานชื่นชอบที่สุด

ฟีดแบ็ก	จำนวนคน	ร้อยละ (%)
การแจ้งเตือนเมื่อค่าฝุ่นละอองอยู่ในระดับ Moderate ขึ้นไป	9	45.0
การแสดงผลค่าฝุ่นละอองในตำแหน่งของผู้ใช้	9	45.0
การแสดงผลค่าฝุ่นละอองบนแผนที่	2	10.0

ตาราง 4 ผลการประเมินผลแอปพลิเคชันในด้านต่าง ๆ

คำถาม	มากที่สุด (%)	มาก (%)	ปานกลาง (%)	น้อย (%)	น้อยที่สุด (%)	ค่าเฉลี่ย	ความหมาย
การออกแบบแอปพลิเคชันที่ใช้งานง่าย	60.0	30.0	10.0	0.0	0.0	4.5	ดีมาก
ความสะดวกรวดเร็วในการใช้งานแอปพลิเคชัน	40.0	50.0	10.0	0.0	0.0	4.3	ดีมาก
แอปพลิเคชันสามารถเข้าใจได้ง่าย	75.0	20.0	5.0	0.0	0.0	4.7	ดีมาก
ความเหมาะสมและความสวยงามของแอปพลิเคชัน	50.0	35.0	20.0	0.0	0.0	4.5	ดีมาก
ความพึงพอใจในภาพรวมของการใช้งานแอปพลิเคชัน	55.0	40.0	5.0	0.0	0.0	4.5	ดีมาก

การประเมินผลแอปพลิเคชันในด้านต่าง ๆ โดยแบ่งออกเป็น 5 ระดับ คือ มากที่สุด มาก ปานกลาง พอใช้ และน้อยที่สุด จากภาพที่ 9 ผลการประเมินผลแอปพลิเคชันในด้านต่าง ๆ พบว่า การออกแบบแอปพลิเคชันที่ใช้งานง่าย มากที่สุด 60% มาก 30% ปานกลาง 10% ความสะดวกรวดเร็วในการใช้งานแอปพลิเคชัน มากที่สุด 40% มาก 50% ปานกลาง 10% ภาษา

ที่ใช้ในแอปพลิเคชันสามารถเข้าใจได้ง่าย มากที่สุด 75% มาก 20% ปานกลาง 5% ความเหมาะสมและความสวยงามของแอปพลิเคชัน มากที่สุด 50% มาก 35% ปานกลาง 20% ความพึงพอใจในภาพรวมของการใช้งาน แอปพลิเคชัน มากที่สุด 55% มาก 40% ปานกลาง 5% ซึ่งสามารถสรุปเป็นตารางได้ ดังนี้

จากการประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งานสรุปได้ว่า แอปพลิเคชัน app10 ได้รับการประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งานแบบสอบถามโดยพบว่าผู้ใช้ส่วนใหญ่เข้าใช้งานอย่างสม่ำเสมอ โดยเฉพาะการเข้าใช้วันละอย่างน้อย 1 ครั้งเป็นต้นไป ในส่วนของเมนูที่ผู้ใช้ชื่นชอบและใช้งานบ่อยที่สุด ได้แก่ Home page ที่ได้รับความสนใจสูงสุด รองลงมาคือ Map page ขณะที่ฟีเจอร์ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือระบบแจ้งเตือนเมื่อค่าฝุ่นสูงและการแสดงผลค่าฝุ่น ณ ตำแหน่งผู้ใช้ ข้อมูลด้านความพึงพอใจโดยรวมมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับดีมาก (4.3-4.7) โดยผู้ใช้ให้คะแนนสูงที่สุดกับความเข้าใจง่ายของภาษาในแอป รองลงมาเป็นการออกแบบที่ใช้งานง่ายและความเหมาะสมของดีไซน์ โดยภาพรวมผู้ใช้พึงพอใจทั้งในด้านการออกแบบ ความสะดวกรวดเร็วในการใช้งาน ภาษา และความสวยงามของแอปฯ นอกจากนี้ยังสะท้อนให้เห็นว่าผู้ใช้เข้าถึงแอปอย่างต่อเนื่องและให้ความสำคัญกับฟีเจอร์แจ้งเตือนค่าฝุ่นและหน้า Home page จึงสรุปได้ว่า app10 สามารถตอบสนองความต้องการและสร้างความพึงพอใจแก่ผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.2. การอภิปรายผล

งานวิจัยนี้มีจุดเด่นที่ชัดเจนในการพัฒนาระบบแจ้งเตือนมลพิษทางอากาศฝุ่นละออง PM2.5 ที่สามารถแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์เมื่อค่าฝุ่นละอองถึงระดับ Moderate ขึ้นไป ซึ่งมีประโยชน์ต่อการเฝ้าระวังสุขภาพผู้ใช้ได้ทันเวลา จุดแข็งนี้เกิดจากการใช้ข้อมูลที่มีความแม่นยำสูงจาก Open Weather API ผ่านสถาปัตยกรรม REST API ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการยอมรับและใช้อย่างแพร่หลายในแอปพลิเคชันตรวจวัดฝุ่นอื่นๆ เช่น IQAir และ Air4Thai โดยข้อมูลที่ถูกต้องและทันสมัยช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือและความไว้วางใจของผู้ใช้ นอกจากนี้ การทดสอบระบบบนอุปกรณ์หลากหลายประเภทยังแสดงให้เห็นถึงความเสถียรของระบบและการรองรับผู้ใช้จำนวนมากได้พร้อมกัน อีกทั้งฟีเจอร์แผนที่ที่แสดงการกระจายตัวของฝุ่นในแต่ละพื้นที่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถเห็นภาพรวมสถานการณ์มลพิษ ซึ่งช่วยสนับสนุนการวางแผนกิจกรรมประจำวันและป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพอย่างมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยพบข้อจำกัดที่สำคัญเรื่องการใช้งานแอปพลิเคชันต้องเปิดใช้งานตลอดเวลาเพื่อติดตามและแจ้งเตือนค่าฝุ่นรายชั่วโมง ส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานแบตเตอรี่สูงและความต้องการการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตอย่างต่อเนื่อง ซึ่งอาจลดความสะดวกในการใช้งานและสร้างความกังวลแก่ผู้ใช้บางกลุ่ม ซึ่งสอดคล้องกับรายการงาน Checklist for

Optimizing App Battery Performance ของ Sidekick Interactive ที่ระบุว่ากว่า 70% ของผู้ใช้เลือกถอนแอปที่ใช้พลังงานมากเกินไป จุดนี้ชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการประหยัดพลังงานและการจัดการการเชื่อมต่อข้อมูลเป็นเรื่องจำเป็นสำหรับการพัฒนาต่อไป เพื่อให้อัตราการใช้งานต่อเนื่องสูงและยกระดับประสบการณ์ผู้ใช้ [21]

แม้ระบบจะแสดงความเสถียรในการทำงานบนอุปกรณ์หลากหลายประเภทแล้ว แต่ยังมีโอกาสปรับปรุงเพื่อรองรับอุปกรณ์และกลุ่มผู้ใช้ที่หลากหลายกว่าเดิม โดยรวม งานวิจัยนี้นำเสนอเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพตอบโจทย์การติดตามคุณภาพอากาศได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ ทั้งการแจ้งเตือนและการแสดงผลข้อมูลง่ายต่อการเข้าใจ ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางพัฒนาระบบสิ่งแวดล้อมยุคใหม่ที่เน้นความรวดเร็วและความน่าเชื่อถือของข้อมูล รวมถึงส่งเสริมสุขภาพประชาชนได้อย่างครบถ้วน

4. สรุปผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชัน app10 สำหรับการตรวจวัดและแจ้งเตือนค่าฝุ่นละออง PM2.5 ในพื้นที่ประเทศไทยแบบเรียลไทม์ โดยใช้ข้อมูลจาก Open Weather Application Programming Interface (API) ผ่านสถาปัตยกรรม REST API และพัฒนาด้วย Flutter framework พร้อมด้วยระบบ Flutter Local Notifications สำหรับแจ้งเตือนระดับความเสี่ยง 3 ระดับ ได้แก่ ปานกลาง ต่ำ และสูง ระบบสามารถแสดงผลข้อมูลบนแผนที่ประเทศไทย รองรับการใช้งานพร้อมกันบนหลายอุปกรณ์ และดึงข้อมูลค่าฝุ่นละอองได้อย่างแม่นยำจาก Open Weather API ผลการประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งาน 20 คน พบว่าผู้ใช้เข้าถึงแอปอย่างสม่ำเสมอ และชื่นชอบฟีเจอร์การแจ้งเตือนพร้อมทั้งการแสดงผลค่าฝุ่นละออง ณ ตำแหน่งปัจจุบันของตนเอง รวมถึงความง่ายต่อการใช้งานและความเหมาะสมของการออกแบบโดยมีคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจในระดับดีมาก (4.3-4.7) จุดเด่นที่สำคัญของงานนี้ คือการแจ้งเตือนผู้ใช้แบบเรียลไทม์เมื่อค่าฝุ่นละออง PM2.5 ถึงระดับ Moderate ขึ้นไป ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้สามารถรับรู้สถานการณ์ที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพได้อย่างทันท่วงที การแสดงผลข้อมูลมีความเสถียรและไม่ขึ้นกับประเภทของอุปกรณ์ที่ใช้ในการเข้าถึง รวมทั้งฟังก์ชันแผนที่ที่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถติดตามสถานการณ์ฝุ่นละอองในแต่ละพื้นที่ได้อย่างชัดเจน ทำให้ผู้ใช้มองเห็นภาพรวมของสถานการณ์ฝุ่น PM2.5 ในแต่ละพื้นที่ได้อย่างสะดวก แม้ระบบยังมีข้อจำกัดที่ผู้ใช้ต้องเปิดหน้าแอปพลิเคชันไว้ตลอดเวลาเพื่อรับข้อมูลค่าฝุ่นละอองที่อัปเดตทุกชั่วโมง แต่ระบบก็ยังสามารถปรับปรุงและพัฒนาเพิ่มเติมได้ในอนาคตเพื่อเพิ่มความสะดวกและรองรับการใช้งานได้ดียิ่งขึ้นโดยรวม app10 จึงเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการติดตามคุณภาพอากาศและแจ้งเตือนผู้ใช้ได้อย่างแม่นยำ ช่วยให้ผู้ใช้สามารถวางแผนกิจกรรมและป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพได้อย่างทันท่วงที

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่องการพัฒนาแบบจำลองมลพิษทางอากาศ กรณีศึกษาฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 โดยใช้เทคนิคของ Flutter ในการพัฒนาแอปพลิเคชัน สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับการสนับสนุนทางด้านความรู้จากบุคคลที่ผู้จัดทำจะกล่าวถึงดังต่อไปนี้ ขอขอบคุณพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ปานใจ ธารทัศน์วงศ์ และกรรมการสอบข้อได้แก่ อาจารย์อภิเชษ หงษ์วิทยากร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คทา ประดิษฐ์วงศ์ อาจารย์ ดร. สัจจาภรณ์ ไวยธยา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐโชติ พรหมฤทธิ์ ผู้ให้คำปรึกษา ให้ความรู้ และให้คำแนะนำในการศึกษาค้นคว้าตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์มหาวิทยาลัยศิลปากร คณะวิทยาศาสตร์และภาควิชาคอมพิวเตอร์ที่ให้ความรู้และสถานที่ในการจัดทำโครงการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Hermayurisca, F.(2021)The health impact assessment of particulate matter (PM2.5)[Master's thesis Thesis], College of Public Health Sciences, Chulalongkorn University. <https://doi.org/10.58837/CHULA.THE.2021.340>
- [2] รัชนิวรรณ คำตัน, ชนิษฐา เสถียรพระกุล, ศีมา โยธาทักดี และ เกณฑ์ทะเลน. (2562). ปัญหาหมอกควันและผลกระทบต่อสุขภาพในจังหวัดเชียงใหม่. วารสารสหกิจวิทยาการวิจัย: ฉบับ บัณฑิตศึกษา, 8(1), 265-273. <https://so03.tci-thaijo.org/index.php/JIRGS/article/View/243646>
- [3] ภาสินี ม่วงใจเพชร, พูลทรัพย์ โพนสิงห์. (2565). การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนาการแผ่กระจาย ผลกระทบ ต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศ 5 มิติ กรณีฝุ่น ละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) เขตสุขภาพที่ 8 ปี พ.ศ.2565.วารสารสหกิจวิทยาการวิจัย ฉบับบัณฑิตศึกษา, 8(1), 23-48. <https://he03.tci-thaijo.org/index.php/JODPC8/article/view/456>
- [4] IQAir. (2566). IQAir. [เว็บไซต์แอปพลิเคชัน]. <https://www.iqair.com/th/thailand/bangkok>
- [5] Air4Thai. (2566.) Air4Thai. [เว็บไซต์แอปพลิเคชัน]. <http://air4thai.pcd.go.th/webV3/#/Home>.
- [6] สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (26 มีนาคม 2564). สารพลังงาน : ผลกระทบต่อร่างกายจากฝุ่น PM2.5. สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. <https://erdi.cmu.ac.th/?p=3419>.
- [7] มธุรส จุริวัฒน์ และคณะ. (20 มีนาคม 2567). บทความความรู้ : PM2.5: วิกฤตฝุ่นละอองในประเทศไทยที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ. สถาบันวิจัยจุฬาภรณ์. <https://www.cri.or.th/th/articles-20240320/>.
- [8] ไทยรัฐออนไลน์. (2 กุมภาพันธ์ 2566). อันตรายกว่าที่คิด หมอเตือนฝุ่น PM 2.5 ทำเสี่ยงป่วยมะเร็งปอด - กระทบหญิงตั้งครรภ์. ไทยรัฐ. <https://www.thairath.co.th/news/society/2619291>
- [9] Otanasap, N., et al. (2025). An AIoT-based air quality monitoring system for real-time PM2.5 prediction in urban environments. *ASEAN Journal of Science and Technology Report*, 28(1), 1-8 e255168. <https://doi.org.10.55164/ajstr.v28i1.255168>
- [10] Sladojevic, S. Arsenovic, M. and Nikolic, D. (2024). Advancements in mobile-based air pollution detection: From literature review to practical implementation," *Journal of Sensors*, 2024(4), 1-17. <https://doi.org/10.1155/2024/4895068>.
- [11] Bramantyo, S.B. Dewi, I. N. Reza, I.M. Saputra, F.O. and Hasibuan, Z.A. (2025). Pengembangan arsitektur REST API untuk integrasi data real-time pada website pemantauan kualitas udara lahan pertanian". *Transmisi. Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 27(1). pp. 49- 56. <https://doi.org/10.14710/transmisi.27.1.49-56>
- [12] V. Hnatushenko. Bulana.T. Gomilko, I. Molodets, B. and Boldyriev, D. (2024). Information System for Air Quality Assessment and Data Processing: Design and Implementation. in *Proceedings of Information Technology and Implementation (IT&I-2024)*. Kyiv, Ukraine.
- [13] ดอนสัน ปงผาบ และปรกรณ์ สันตกิจ. (2564). เครื่องวัดฝุ่น PM2.5 แจ้งเตือนทางแอปพลิเคชัน. วารสารวิจัยราชชมงคลกรุงเทพ, 15(2), 45-57. <https://phtci-thaijo.org/index.php/rmutk/article/view/244792>
- [14] สุชาติ หัตถ์สุวรรณ และดวงดี วิเชียรโศ. (2568). การพัฒนาชุดแผ่กระจาย แสดงผล แจ้งเตือน และควบคุมปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5) ด้วยระบบ IoT. วารสารวิจัยราชภัฏธนบุรี รับใช้สังคม, 11(1), 1-16. <https://so02.tci-thaijo.org/index.php/DRURDI/article/>

- view/273878
- [15] อมรรัตน์ คำบุญ, ณัฐดนัย สิงห์ศิริวรรณ, กัลยา ธนาสินธ์, ชีรวิทย์ อัครศิลป์กุล, วรินทร์ นวลทิม และ สายัน พุทธา. (2565). การพัฒนาแอปพลิเคชัน เพื่อแสดงค่าดัชนีฝุ่น PM2.5 และดัชนีคุณภาพอากาศ. วารสารก้าวหน้าโลกวิทยาศาสตร์, 22(1),173-189.
<https://sci.bsru.ac.th/advscij/e-magazine/22-1/chapter-12.pdf>
- [16] ดีเมตเตอร์. (6 มกราคม 2565). ถ้าการเขียนโค้ดเป็นเรื่องยุ่งยาก ลองใช้ App Script ช่วยสิ!. ดีเมตเตอร์.
[https:// www.dmit.co.th/th/google-workspace-updates-th/app- script-makes-programming-easier/](https://www.dmit.co.th/th/google-workspace-updates-th/app-script-makes-programming-easier/).
- [17] OpenWeather. Meet our OpenWeather Model. [Online]. [สืบค้นวันที่ 29 พฤษภาคม 2567]. จาก <https://www.openweather.co.uk/technology>.
- [18] Firebase. (n.d.). Realtime Database.
<https://firebase.google.com/docs/database/>.
- [19] กรมควบคุมมลพิษ. (2 มิถุนายน 2566). ประกาศดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย พ.ศ.2566 ปรับค่าสารมลพิษเข้มข้นลงประกาศในราชกิจจานุเบกษาแล้ว.
https://www.pcd.go.th/pcd_news/30028/.
- [20] pub.dev. flutter_local_notifications. [Online] 2562. [สืบค้นวันที่ 29 พฤษภาคม 2567]. จาก https://pub.dev/packages/flutter_local_notification.
- [21] Sidekick Interactive.(n.d.)Checklist for Optimizing App Battery Performance. Sidekick Interactive.
<https://www.sidekickinteractive.com/mobile-app-strategy/checklist-for-optimizing-app-battery-performance/>.