

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี LIDAR ในการตรวจวัดและประเมินปริมาณฝุ่นละอองในพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

Application of LIDAR technology for monitoring and assessing particulate matter at Kanchanaburi Rajabhat University

อาทิตย์ เรืองศรี¹, พัฒน์ศรัณย์ เลหาไพบูลย์² และ อรณิชา คงวุฒิ^{3*}

Artit Ruangsri¹, Phatsaran Laohhapaiboon² and Ornnicha Kongwut^{3*}

Received: 16 October 2024 ; Revised: 17 January 2025 ; Accepted: 24 February 2025

บทคัดย่อ

มลพิษทางอากาศเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญระดับโลก ส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ระบบนิเวศ และการพัฒนาเศรษฐกิจอย่างยั่งยืน โดยเฉพาะในสถาบันการศึกษาที่มีประชากรหนาแน่น การตรวจวัดด้วยวิธีมาตรฐานมีข้อจำกัดด้านความถี่และพื้นที่ครอบคลุม การวิจัยนี้จึงศึกษาความสอดคล้องของการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง PM_{2.5} และ PM₁₀ ระหว่างเครื่องตรวจวัดแบบ LIDAR ที่ติดตั้ง ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี กับข้อมูลจากเครื่องตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบ Beta Attenuation ของกรมควบคุมมลพิษที่ติดตั้ง ณ ตำบลปากแพรก ซึ่งมีระยะห่าง 15 กิโลเมตร โดยเก็บข้อมูลจาก 5 จุดหลักภายในมหาวิทยาลัยเป็นระยะเวลา 4 เดือน พร้อมบันทึกปัจจัยแวดล้อมและปริมาณการจราจร ผลการศึกษาพบว่าบริเวณประตูทางเข้ามีค่าฝุ่นละอองสูงสุด (PM_{2.5}: 28.5 ± 3.2, PM₁₀: 52.3 ± 5.1 µg/m³) และพื้นที่สีเขียวมีค่าต่ำสุด (PM_{2.5}: 17.3 ± 2.0, PM₁₀: 32.8 ± 3.5 µg/m³) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แสดงให้เห็นว่าปริมาณการจราจรมีความสัมพันธ์เชิงบวก (r = 0.71) ขณะที่ความเร็วลมมีความสัมพันธ์เชิงลบ (r = -0.58) กับระดับฝุ่นละออง ผลการศึกษานี้นำไปสู่การพัฒนาแนวทางการประยุกต์ใช้ LIDAR สำหรับการเฝ้าระวังและจัดการคุณภาพอากาศในสถาบันการศึกษาอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: LIDAR, มลพิษอากาศ, PM_{2.5}, PM₁₀, คุณภาพอากาศในมหาวิทยาลัย

Abstract

Air pollution is a significant global environmental issue, profoundly impacting human health, ecosystems, and sustainable economic development. Particularly in densely populated educational institutions, standard measurement methods often face limitations in terms of frequency and spatial coverage. This study, therefore, investigates the consistency of particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀) measurements between a LIDAR system installed at Kanchanaburi Rajabhat University and data from a Beta Attenuation Monitor operated by the Pollution Control Department located in Pak Phraek Subdistrict, 15 kilometers away. Data were collected from five key points within the university over four months, alongside environmental factors and traffic volume. The findings reveal that the area near the main entrance recorded the highest particulate levels (PM_{2.5}: 28.5 ± 3.2, PM₁₀: 52.3 ± 5.1 µg/m³), while green spaces showed the lowest levels

¹ โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

² หจก.บุญพาวาสนาสง 84 เขตบางแค กรุงเทพมหานคร

³ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

¹ The Demonstration School of Kanchanaburi Rajabhat University

² Boonpawassanasong Partnership, 84 Bangkae, Bangkok

³ Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Kanchanaburi Rajabhat University

* Corresponding author, e-mail: ornnicha.k@kru.ac.th

($PM_{2.5}$: 17.3 ± 2.0 , PM_{10} : $32.8 \pm 3.5 \mu g/m^3$). Correlation analysis indicates a positive relationship between traffic volume and particulate levels ($r = 0.71$), whereas wind speed exhibits a negative correlation ($r = -0.58$). This research contributes to the development of guidelines for effectively applying LIDAR technology in monitoring and managing air quality in educational institutions.

Keywords: LIDAR, air pollution, $PM_{2.5}$, PM_{10} , university air quality

บทนำ

มลพิษอากาศเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญระดับโลกส่งผลกระทบต่ออย่างมีนัยสำคัญต่อสุขภาพมนุษย์ ระบบนิเวศ และการพัฒนาเศรษฐกิจอย่างยั่งยืน (Seigneur, 2019) องค์การอนามัยโลกรายงานว่ามลพิษอากาศเป็นสาเหตุการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรของประชากรโลกถึง 7 ล้านคนต่อปี โดยเฉพาะในประเทศกำลังพัฒนา (Canton, 2021) ประเทศไทยก็เผชิญกับปัญหานี้อย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะในเขตเมืองและพื้นที่อุตสาหกรรม

จังหวัดกาญจนบุรีแม้จะได้ชื่อว่าเป็นเมืองธรรมชาติและแหล่งท่องเที่ยวสำคัญแต่ก็ไม่อาจหลีกเลี่ยงปัญหามลพิษทางอากาศได้ จากรายงานสถานการณ์และคุณภาพอากาศประเทศไทย โดยกรมควบคุมมลพิษ พบว่าในช่วงปี พ.ศ. 2560-2564 จังหวัดกาญจนบุรีมีแนวโน้มของปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยรายปีสูงถึง 25.3 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรซึ่งเกินค่ามาตรฐานที่องค์การอนามัยโลกกำหนดไว้ที่ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2566)

สถาบันการศึกษาเป็นหนึ่งในพื้นที่สำคัญที่ควรได้รับการเฝ้าระวังและตรวจสอบคุณภาพอากาศอย่างเข้มงวดเนื่องจากเป็นสถานที่ที่มีประชากรหนาแน่นโดยเฉพาะกลุ่มเยาวชนซึ่งเป็นวัยที่อ่อนไหวต่อผลกระทบของมลพิษ (Pedelacq *et al.*, 2022) การศึกษาของ Gujrathi (2021) พบว่าการได้รับมลพิษทางอากาศในระดับสูงส่งผลกระทบต่อพัฒนาการทางสมองและความสามารถในการเรียนรู้ของเด็กและเยาวชน นอกจากนี้ Terao and Funatsu (2021) ยังชี้ให้เห็นว่าการลดระดับมลพิษทางอากาศในสถานศึกษาสามารถส่งผลดีต่อสุขภาพและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนได้อย่างมีนัยสำคัญ

มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรีในฐานะสถาบันอุดมศึกษาชั้นนำของจังหวัด มีบทบาทสำคัญในการเป็นต้นแบบด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและการส่งเสริมคุณภาพชีวิตที่ดีให้แก่ชุมชน การตรวจวัดและเฝ้าระวังมลพิษทางอากาศในพื้นที่มหาวิทยาลัยจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ไม่เพียงแต่เพื่อ

ปกป้องสุขภาพของนักศึกษาและบุคลากร แต่ยังเป็นการสร้างองค์ความรู้และแนวปฏิบัติที่ดีสำหรับชุมชนโดยรอบ

การตรวจวัดมลพิษทางอากาศด้วยวิธีมาตรฐาน เช่น การใช้เครื่องวัดอนุภาคแบบ Gravimetric หรือ Beta Attenuation เป็นวิธีที่ให้ความแม่นยำสูงและเป็นที่ยอมรับในระดับสากล อย่างไรก็ตามวิธีเหล่านี้มีข้อจำกัดที่สำคัญหลายประการในด้านความถี่ของการวัด พบว่าต้องใช้เวลาในการเก็บตัวอย่างค่อนข้างนานทำให้ไม่สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของมลพิษในอากาศแบบทันที (Real-time) ได้ นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดในด้านการครอบคลุมพื้นที่เนื่องจากเครื่องมือมีต้นทุนสูงในการติดตั้งและต้องการการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอโดยผู้เชี่ยวชาญ (Liu *et al.*, 2022) ข้อจำกัดเหล่านี้ส่งผลให้การเฝ้าระวังคุณภาพอากาศในพื้นที่ขนาดใหญ่เป็นไปได้ยากในทางปฏิบัติ ด้วยเหตุนี้เทคโนโลยี LIDAR จึงได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น เนื่องจากสามารถตรวจวัดมลพิษทางอากาศได้แบบ Real-time และครอบคลุมพื้นที่กว้างในการตรวจวัดครั้งเดียว (Korotcenkov, 2019)

การนำเทคโนโลยีสมัยใหม่อย่างเลเซอร์มาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดมลพิษทางอากาศ โดยเฉพาะเทคนิค LIDAR (Light Detection and Ranging) จึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจเนื่องจากสามารถให้ข้อมูลที่แม่นยำ รวดเร็ว และครอบคลุมพื้นที่กว้างได้ดีกว่า (Butt *et al.*, 2018) การศึกษาล่าสุดของ Mifsud *et al.* (2018) แสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยี LIDAR สามารถตรวจวัด $PM_{2.5}$ ได้แม่นยำถึง 90% เมื่อเทียบกับวิธีมาตรฐานและยังสามารถให้ข้อมูลเชิงพื้นที่และเวลาที่ละเอียดกว่า

การศึกษเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการใช้เทคโนโลยีเลเซอร์และวิธีการตรวจวัดแบบมาตรฐานในบริบทของสถาบันศึกษาอย่างมหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรีจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ไม่เพียงแต่จะช่วยพัฒนาระบบการเฝ้าระวังคุณภาพอากาศในพื้นที่มหาวิทยาลัยให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสถาบันการศึกษาอื่น ๆ และชุมชนโดยรอบ นอกจากนี้ยังเป็นการสร้างองค์ความรู้ใหม่ในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีขั้นสูงเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อมในบริบทของประเทศไทย ซึ่งสอดคล้องกับ

เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนขององค์การสหประชาชาติ (UN Sustainable Development Goals) โดยเฉพาะเป้าหมายที่ 3 (สุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดี) และเป้าหมายที่ 11 (เมืองและชุมชนที่ยั่งยืน) (Nations, 2017)

ด้วยเหตุนี้การวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาความสอดคล้องของการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ระหว่างเครื่องตรวจวัดแบบ LIDAR ที่ติดตั้ง ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี กับข้อมูลจากเครื่องตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบ Beta Attenuation ของกรมควบคุมมลพิษที่ติดตั้ง ณ ตำบลปากแพรก ซึ่งมีระยะห่าง 15 กิโลเมตร เพื่อพัฒนาแนวทางการเฝ้าระวังและจัดการคุณภาพอากาศที่มีประสิทธิภาพ ทันสมัย และเหมาะสมกับบริบทของสถาบันการศึกษาในประเทศไทย

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ของเครื่องตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบ LIDAR ที่ติดตั้ง ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี กับข้อมูลจากเครื่องตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบอัตโนมัติของกรมควบคุมมลพิษที่ติดตั้งในพื้นที่ใกล้เคียง เพื่อประเมินความสอดคล้องของการกระจายตัวของฝุ่นละอองในพื้นที่ศึกษา
2. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับมลพิษอากาศในพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี โดยใช้ข้อมูลจากเทคโนโลยีเลเซอร์
3. เพื่อพัฒนาแนวทางการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเลเซอร์ในการเฝ้าระวังและจัดการคุณภาพอากาศที่เหมาะสมกับบริบทของสถาบันการศึกษาในประเทศไทย

ขอบเขตของการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษา: มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี พื้นที่โดยรอบมหาวิทยาลัยในรัศมี 5 กิโลเมตร เพื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศมลพิษทางอากาศของ ต.ปากแพรก อ.เมือง จ.กาญจนบุรี: ดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) แบบเรียลไทม์) ของจังหวัดกาญจนบุรี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมห่างจากจุดวัด 15 กิโลเมตร
2. ระยะเวลา: ดำเนินการวิจัยเป็นระยะเวลา 1 ภาคการศึกษา (ประมาณ 4 เดือน) เริ่มต้นในช่วงเปิดภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 (เดือนสิงหาคม) และสิ้นสุดก่อนปิดภาคเรียน (เดือนพฤศจิกายน)
3. การเก็บข้อมูล: ใช้ระบบ LIDAR ตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในพื้นที่มหาวิทยาลัย โดยเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง

4. ข้อมูลเปรียบเทียบ: ใช้ข้อมูลที่มีการรายงานอยู่แล้วจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศมลพิษทางอากาศของ ต.ปากแพรก อ.เมือง จ.กาญจนบุรี: ดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) แบบเรียลไทม์) ของจังหวัดกาญจนบุรี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมห่างจากจุดวัด 15 กิโลเมตร (Figure 1) รวบรวมข้อมูลย้อนหลัง 1 ปี เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มและการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล

5. ตัวแปรที่ศึกษา:

ตัวแปรหลัก ปริมาณฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และ PM_{10}
ตัวแปรรอง อุณหภูมิ ความชื้น ทิศทางลม และความเร็วลม (ใช้ข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยากาญจนบุรี)

6. การวิเคราะห์ข้อมูล: เปรียบเทียบข้อมูลที่จากระบบ LIDAR กับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดแบบมาตรฐาน วิเคราะห์ความแม่นยำของระบบ LIDAR เทียบกับข้อมูลอ้างอิง และศึกษาการกระจายตัวของมลพิษอากาศในพื้นที่มหาวิทยาลัยและความสัมพันธ์กับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศจากสถานีอุตุนิยมวิทยากาญจนบุรี

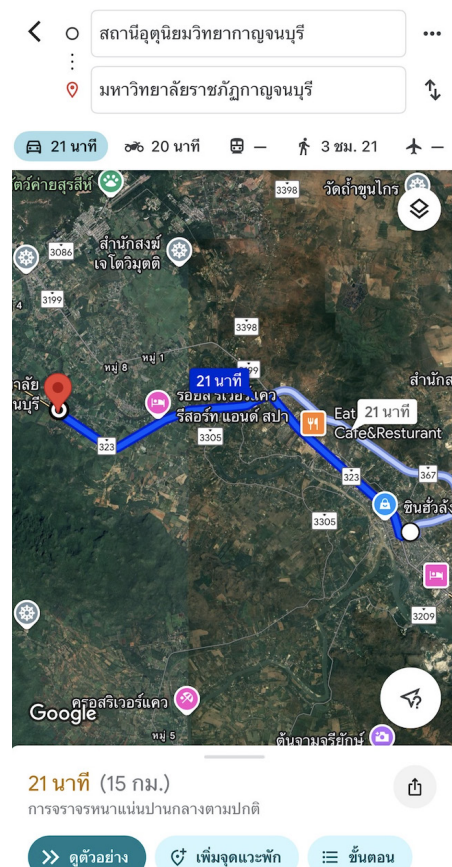


Figure 1 Real-time air quality monitoring stations location and distance between Kanchanaburi Rajabhat University and Pak Phreak air quality monitoring station, Mueang District, Kanchanaburi Province (Source: Google Maps, 2024)

7. ข้อจำกัด: การศึกษานี้ไม่ได้ทำการติดตั้งเครื่องวัดแบบมาตรฐานเพิ่มเติมแต่ใช้ข้อมูลที่มีการรายงานอยู่แล้วเป็นหลัก ซึ่งความแม่นยำของการเปรียบเทียบอาจขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างพื้นที่ศึกษาและสถานีตรวจวัดที่มีอยู่

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ด้านวิชาการและการจัดการสิ่งแวดล้อม :

- ได้แนวทางการใช้เทคโนโลยีเลเซอร์ (LIDAR) ในการตรวจวัดมลพิษอากาศในบริบทของสถาบันการศึกษาไทย

- มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรีและสถาบันการศึกษาอื่น ๆ สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวางแผนและจัดการคุณภาพอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ด้านสุขภาพและคุณภาพชีวิต :

- นักศึกษา บุคลากร และชุมชนโดยรอบมหาวิทยาลัยจะได้รับข้อมูลคุณภาพอากาศที่แม่นยำและทันสมัย ช่วยในการป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพ

- ผลการวิจัยสามารถใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนในการกำหนดนโยบายและมาตรการจัดการคุณภาพอากาศในระดับท้องถิ่นและระดับประเทศ

การทดลอง

1. ทบทวนวรรณกรรม

1.1 มลพิษอากาศในพื้นที่การศึกษา: มลพิษอากาศในสถาบันการศึกษาเป็นประเด็นที่ได้รับความสนใจมากขึ้นในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาเนื่องจากผลกระทบต่อสุขภาพและการเรียนรู้ของนักเรียนนักศึกษา Huang (2022) ศึกษาคุณภาพอากาศในโรงเรียนทั่วโลกพบว่าระดับ $PM_{2.5}$ ในห้องเรียนมักสูงกว่าค่ามาตรฐานขององค์การอนามัยโลก โดยเฉพาะในประเทศกำลังพัฒนา Health Effects Institute (2024) วิจัยผลกระทบของมลพิษอากาศต่อพัฒนาการทางสมองของเด็ก พบว่าการสัมผัสกับ $PM_{2.5}$ ในระยะยาวส่งผลเสียต่อความจำและการเรียนรู้ ในประเทศไทย ชัชชนก รักษาบางแหลม (2564) ศึกษาในระดับ $PM_{2.5}$ ในจังหวัดกรุงเทพฯ พบว่ามีค่าเฉลี่ยสูงกว่ามาตรฐานในช่วงฤดูแล้ง โดยเฉพาะบริเวณที่ใกล้ถนนใหญ่

1.2 วิธีการวัดมลพิษอากาศแบบมาตรฐาน: วิธีการวัดมลพิษทางอากาศแบบมาตรฐานมีหลายวิธี แต่ละวิธีมีข้อดีและข้อจำกัดแตกต่างกันดังนี้

- Gravimetric Method: เป็นวิธีมาตรฐานที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย โดย Barauskas *et al.* (2023) อธิบายว่าวิธีนี้ใช้การเก็บตัวอย่างฝุ่นบนแผ่นกรอง แล้วชั่งน้ำหนัก

ก่อนและหลังเก็บตัวอย่าง ข้อดีคือมีความแม่นยำสูง แต่ใช้เวลานานและไม่สามารถวัดแบบต่อเนื่องได้

- Beta Attenuation Monitoring (BAM): Shukla and Aggarwal (2022) อธิบายว่าวิธีนี้ใช้หลักการดูดกลืนรังสีเบต้าของอนุภาคฝุ่น สามารถวัดแบบต่อเนื่องได้ แต่มีต้นทุนสูงและต้องการการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ

- Tapered Element Oscillating Microbalance (TEOM): Bräuer and D'Agostino (2018) พัฒนาวิธีนี้ซึ่งใช้การเปลี่ยนแปลงความถี่ของการสั่นของแผ่นกรองเพื่อวัดมวลของฝุ่น สามารถวัดแบบต่อเนื่องได้ แต่อาจมีปัญหาในการวัดสารระเหยง่าย

- Light Scattering Method: เป็นวิธีที่ใช้การกระเจิงของแสงเมื่อกระทบกับอนุภาคฝุ่นเพื่อวัดความเข้มข้น สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของฝุ่นละอองในอากาศแบบทันที (Real-time) ได้ แต่อาจมีความคลาดเคลื่อนในการวัดเมื่อความชื้นสัมพัทธ์สูง (Kim *et al.*, 2023)

1.3 หลักการทำงานของเลเซอร์และเทคโนโลยี LIDAR เป็นเทคโนโลยีที่ใช้แสงเลเซอร์ในการตรวจวัดระยะทางและคุณสมบัติของวัตถุเป้าหมาย McManamon (2019) อธิบายหลักการพื้นฐานของ LIDAR ว่าใช้การส่งพัลส์เลเซอร์และวัดแสงที่สะท้อนกลับมาทำให้สามารถวัดระยะทางและความเข้มข้นของอนุภาคในอากาศ โดยนำเสนอการประยุกต์ใช้ LIDAR ในการวัดมลพิษทางอากาศ โดยเฉพาะการวัด $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ซึ่งให้ความละเอียดเชิงพื้นที่และเวลาสูงกว่าวิธีมาตรฐาน และแสดงให้เห็นว่า LIDAR สามารถใช้ในการศึกษาการกระจายตัวของฝุ่นละอองในแนวดิ่ง ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการเข้าใจการเคลื่อนที่ของมลพิษในบรรยากาศ

1.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศไทยและต่างประเทศ: งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ LIDAR ในการวัดมลพิษทางอากาศมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งในและต่างประเทศ

ในต่างประเทศ: Luo *et al.* (2015) ใช้ LIDAR ร่วมกับเครื่องวัดแบบมาตรฐานในการศึกษาการกระจายตัวของ $PM_{2.5}$ ในเมืองปักกิ่ง พบว่า LIDAR ให้ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ละเอียดกว่าและสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงระยะสั้นได้ดี Okubo *et al.* (2023) ใช้ข้อมูลจาก LIDAR ดาวเทียมร่วมกับข้อมูลภาคพื้นดินในการสร้างแบบจำลองการกระจายตัวของ $PM_{2.5}$ ในสหรัฐอเมริกา แสดงให้เห็นศักยภาพในการใช้ LIDAR สำหรับการติดตามมลพิษในพื้นที่กว้าง

ในประเทศไทย: สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) (สดร.) กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (อว.) (กลุ่มวิจัยวิทยาศาสตร์

บรรยากาศ สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน), 2566) เผยกราฟแสดงค่าฝุ่น $PM_{2.5}$ จากเทคโนโลยีไลดาร์ (LIDAR) บ่งชี้ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กในแต่ละช่วงเวลา นำข้อมูลมาประยุกต์กับแบบจำลองคุณภาพอากาศ สามารถคาดการณ์อัตราการเกิดฝุ่นล่วงหน้าได้ 3 วัน แม่นยำถึง 80%

งานวิจัยเหล่านี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของเทคโนโลยี LIDAR ในการเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจวัดและติดตามมลพิษทางอากาศ อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้ในบริบทของสถาบันการศึกษาในประเทศไทยยังมีความท้าทายหลายประการ เช่น ข้อจำกัดด้านงบประมาณในการจัดหาและบำรุงรักษาอุปกรณ์ ความต้องการบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะทางในการดูแลระบบ รวมถึงการขาดข้อมูลเปรียบเทียบกับเครื่องมือมาตรฐานในพื้นที่เดียวกันที่จะช่วยยืนยันความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของข้อมูล ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาและพัฒนาแนวทางการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี LIDAR ให้เหมาะสมกับบริบทของสถาบันการศึกษาไทย เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการเฝ้าระวังและจัดการคุณภาพอากาศ

2. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.1 ระบบ LIDAR: ระบบ LIDAR ที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นแบบ scanning Doppler lidar รุ่น CL-51 ผลิตโดยบริษัท Vaisala (Figure 2) ประกอบด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้:

ก) แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์

- ชนิด: Nd:YAG pulsed laser
- ความยาวคลื่น: 532 นาโนเมตร
- พลังงานต่อพัลส์: 20 มิลลิจูล
- อัตราการยิง: 20 เฮิร์ตซ์

ข) ระบบรับสัญญาณ

- กล้องโทรทรรศน์: แบบสะท้อนแสง ขนาดเส้นผ่าน

ศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร

- ตัวตรวจจับ: Photomultiplier tube (PMT) รุ่น

H10721-210

- ระบบกรองแสง: แบบแถบแคบ ความกว้างแถบ

1.0 นาโนเมตร

- มุมรับสัญญาณ: 0.1 มิลลิเรเดียน

ค) ระบบบันทึกและประมวลผลข้อมูล

- ระบบ Data acquisition: ความเร็ว 500 MHz

ความละเอียด 12-bit

- หน่วยประมวลผล: Intel Core i7 พร้อม RAM

32GB

- ระบบควบคุม: ซอฟต์แวร์ BL-View รุ่น 2.1

- ความสามารถในการบันทึก: ต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง

2.2 อุปกรณ์ตรวจวัดสภาพอากาศ

- เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์: Vaisala

HMP155

- เครื่องวัดความเร็วและทิศทางลม: Vaisala WXT536

- ความสูงการติดตั้ง: 10 เมตรจากพื้นดิน

- อัตราการบันทึกข้อมูล: ทุก 1 นาที

2.3 ระบบระบุพิกัด

- เครื่อง GPS: Trimble NetR9

- ความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง: ± 0.5 เมตร

2.4 การสอบเทียบระบบ

ก) การสอบเทียบเชิงแสง

- เป้าหมายมาตรฐาน: แผ่นสะท้อนแสง ค่าการสะท้อน 99%

- ระยะทดสอบ: 100, 500, และ 1000 เมตร

- ความถี่การสอบเทียบ: ก่อนและหลังการทดลอง

ข) การสอบเทียบการวัดฝุ่น

- อุปกรณ์อ้างอิง: BAM-1020 Beta Attenuation

Monitor

- ระยะเวลาสอบเทียบ: 48 ชั่วโมงต่อเนื่อง

- พารามิเตอร์ที่สอบเทียบ: $PM_{2.5}$ และ PM_{10}

2.5 ระบบฐานข้อมูลและการวิเคราะห์ (Figure 3)

- โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ: R version 4.1.0

- โปรแกรมประมวลผลสัญญาณ: MATLAB R2021a

- ระบบจัดเก็บข้อมูล: MySQL Database Server

2.6 มาตรฐานความปลอดภัย

- การป้องกันไฟฟ้า: ระบบ UPS ขนาด 3 kVA

- การควบคุมอุณหภูมิ: ระบบปรับอากาศแบบ

ควบคุมความชื้น

- การป้องกันน้ำและฝุ่น: มาตรฐาน IP65

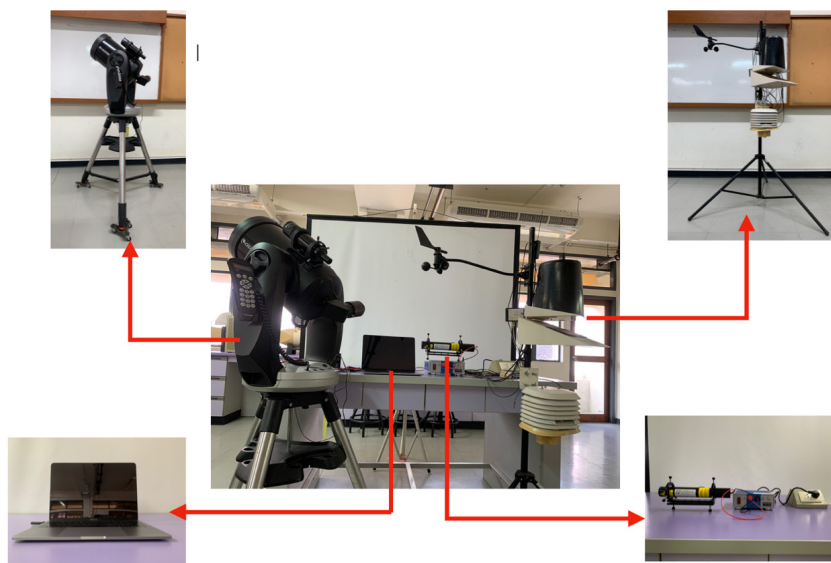


Figure 2 Research LIDAR equipment

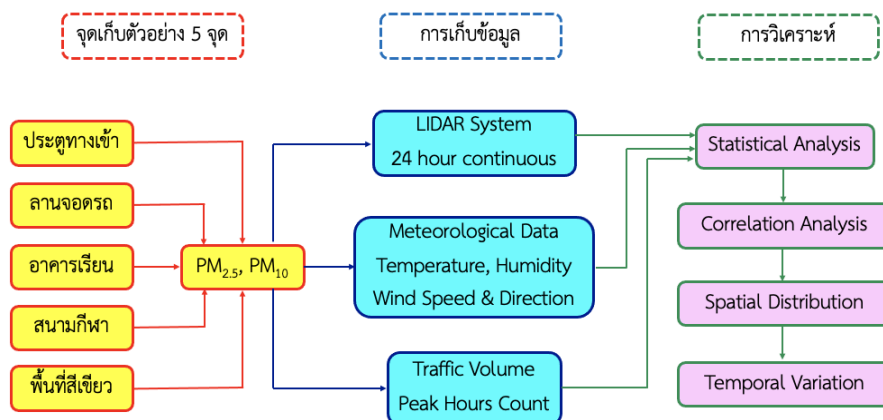


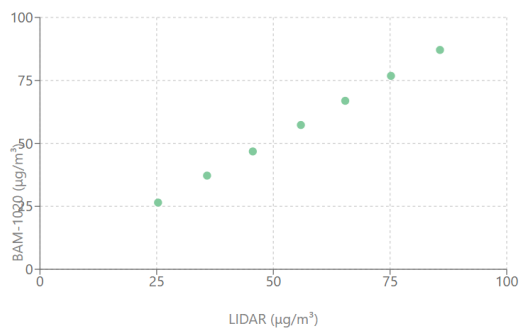
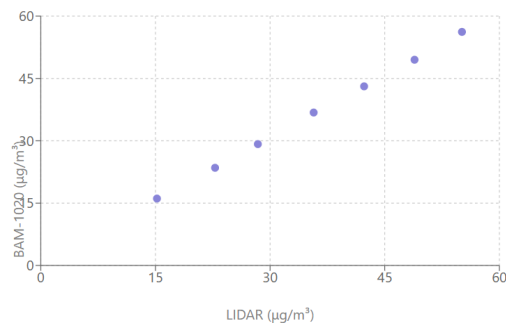
Figure 3 Research methodology diagram

3. การออกแบบระบบ LIDAR สำหรับวัดมลพิษ

- การติดตั้ง ออกแบบให้เป็นระบบแบบเคลื่อนที่ได้ ติดตั้งบนรถเข็นพิเศษมีระบบป้องกันการสั่นสะเทือนและควบคุมอุณหภูมิ

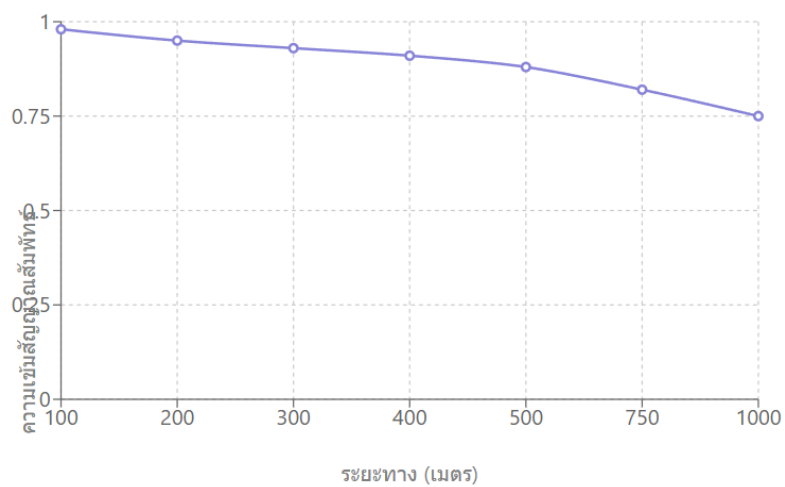
- การปรับแต่งระบบ ปรับความละเอียดเชิงระยะ ให้เหมาะสมกับพื้นที่มหาวิทยาลัย (ประมาณ 10 เมตร) ตั้งค่าการวัดให้ครอบคลุมระยะทางถึง 2 กิโลเมตร

- การสอบเทียบ ใช้เป้าหมายที่ทราบค่าการสะท้อนแสงแน่นอนในการสอบเทียบ ทำการสอบเทียบกับเครื่องวัดมาตรฐานก่อนเริ่มการทดลอง (Figure 4)

การสอบเทียบการวัด PM₁₀การสอบเทียบการวัด PM_{2.5}

a.

การสอบเทียบเชิงแสงตามระยะทาง



b.

Figure 4 a. Calibration curves of PM_{2.5} and PM₁₀ measurements. b. Relative Signal Strength (RSS)**4. การเลือกจุดตรวจวัดในมหาวิทยาลัยราชภัฏ****กาญจนบุรี**

- จุดหลัก 5 จุดดังนี้ บริเวณประตูทางเข้าหลัก มหาวิทยาลัย (ใกล้ถนนใหญ่) ลานจอดรถหลัก บริเวณอาคารเรียนหลัก สนามกีฬากลางแจ้ง และพื้นที่สีเขียวของมหาวิทยาลัย (Figure 5)

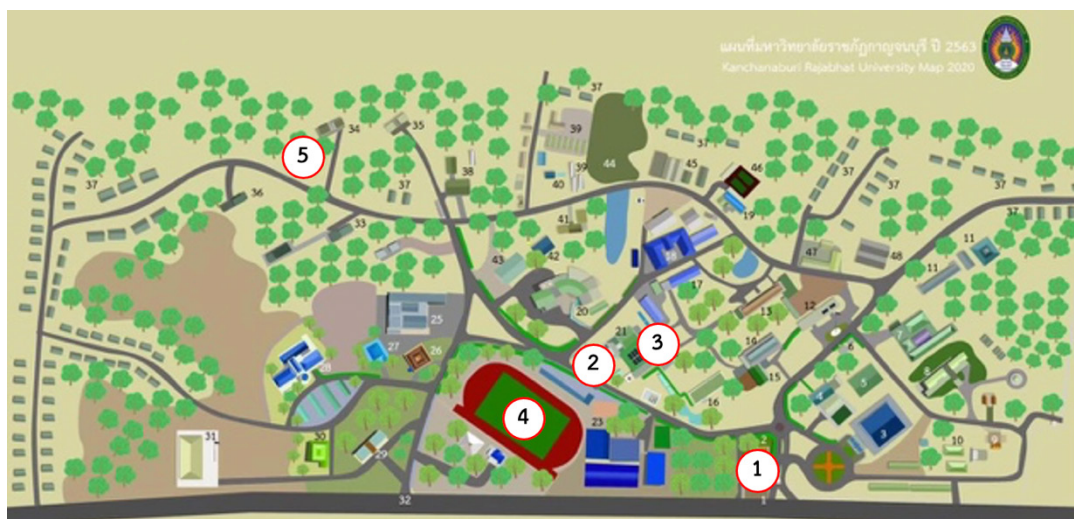


Figure 5 Distribution of sampling locations at Kanchanaburi Rajabhat University 1. Main entrance gate, 2. Main parking area, 3. Main academic building, 4. Outdoor sports field, 5. Green area

receive from: www.kru.ac.th

- เกณฑ์การเลือกจะครอบคลุมพื้นที่ที่มีกิจกรรมของนักศึกษาและบุคลากรหนาแน่น กระจายให้ทั่วพื้นที่มหาวิทยาลัย และรวมจุดที่คาดว่าจะมีระดับมลพิษแตกต่างกัน

5. ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

- การวัดด้วยระบบ LIDAR ทำการวัดต่อเนื่อง 24 ชั่วโมงที่แต่ละจุด เป็นเวลา 7 วัน บันทึกข้อมูลทุก 5 นาที ทำการ scan แนวตั้งและแนวราบเพื่อสร้างภาพ 3 มิติของการกระจายตัวของฝุ่นละออง และบันทึกข้อมูลสภาพอากาศควบคู่ไปด้วย (Figure 6)

- การวัดด้วยวิธีมาตรฐาน (ใช้ข้อมูลจากรายงานของกรมควบคุมมลพิษ) รวบรวมข้อมูล $PM_{2.5}$ และ PM_{10} จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ ต.ปากแพรก อ.เมือง จ.กาญจนบุรี โดยเก็บข้อมูลย้อนหลัง 1 ปี และข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกับการทดลอง LIDAR บันทึกค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงและรายวัน และรวบรวมข้อมูลสภาพอากาศจากสถานีอุตุนิยมวิทยากาญจนบุรี บันทึกปริมาณการจราจรในช่วงเวลาเร่งด่วน (7:00-9:00 น. และ 16:00-18:00 น.) โดยนับจำนวนรถที่ผ่านบริเวณประตูทางเข้าหลักมหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี พบปริมาณรถยนต์เฉลี่ย 250-300 คันต่อชั่วโมง

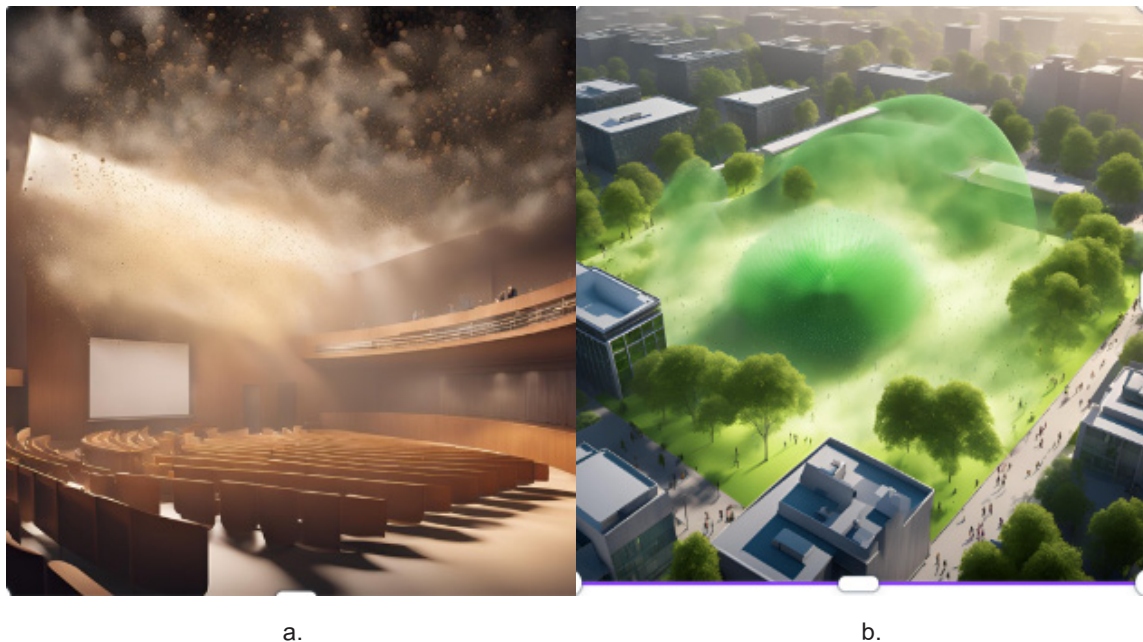


Figure 6 a. 3D spatial mapping of ambient particulate matter distribution in university area showing variation in concentrations across different zones, with green areas indicating low concentration levels and darker areas showing higher pollution concentrations. b. 3D spatial mapping of indoor particulate matter distribution in conference room space demonstrating the vertical and horizontal dispersion patterns of particles in an enclosed environment, highlighting the capability of LIDAR technology to monitor both outdoor and indoor air quality conditions

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

- การเปรียบเทียบข้อมูล: เปรียบเทียบค่า $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่ได้จาก LIDAR กับข้อมูลจากสถานีตรวจวัด และวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยใช้สถิติ เช่น สหสัมพันธ์ (Correlation) และการถดถอย (Regression)

- การวิเคราะห์การกระจายตัวเชิงพื้นที่: สร้างแผนที่ความเข้มข้นของมลพิษในพื้นที่มหาวิทยาลัย และวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงตามเวลาและตำแหน่ง

- การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อระดับมลพิษ: วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระดับมลพิษกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา และศึกษาผลกระทบของกิจกรรมในมหาวิทยาลัยต่อระดับมลพิษ

- การประเมินประสิทธิภาพของ LIDAR ในมหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี ซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่กึ่งเมืองกึ่งชนบทและมีพื้นที่สีเขียวกระจายตัว พบข้อดีที่โดดเด่นในการครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่และติดตามการเปลี่ยนแปลงแบบ real-time แต่มีข้อจำกัดคือค่าที่วัดได้ต่ำกว่าวิธีมาตรฐาน 14-15% และความแม่นยำลดลงในสภาพอากาศแปรปรวน เมื่อเทียบกับงานวิจัยในเมืองใหญ่ที่มีสถานีตรวจวัดอ้างอิงหนาแน่นกว่า การศึกษานี้มีความโดดเด่นในการวิเคราะห์ผลกระทบของพื้นที่สีเขียวต่อการกระจายตัวของมลพิษในบริบทสถาบันการศึกษา ซึ่งนำไปสู่การพัฒนาแบบติดตามคุณภาพอากาศที่เหมาะสมกับพื้นที่ในระยะยาว

- การวิเคราะห์ทางสถิติ: ใช้ t-test และ ANOVA เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างวิธีการวัด และใช้การวิเคราะห์แนวโน้มเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงตามเวลา

การวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดดำเนินการโดยใช้โปรแกรม R version 4.1.0 (R Core Team, 2021) และ MATLAB R2021a (MathWorks Inc., Natick, MA, USA)

ผลการทดลองและอภิปรายผล

1. ผลการวัดมลพิษด้วยระบบ LIDAR ในพื้นที่มหาวิทยาลัย

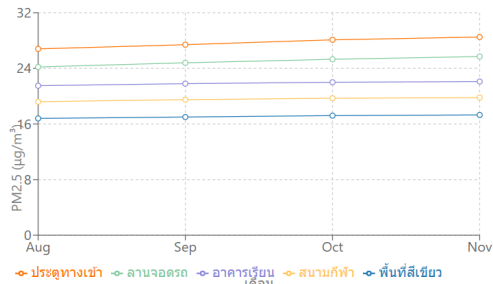
ระบบ LIDAR ได้ทำการวัดปริมาณ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี ที่ 5 จุดหลัก (Table 1)

Table 1 Average $PM_{2.5}$ and PM_{10} ($\mu g/m^3$) measured by LIDAR system (24-hour average)

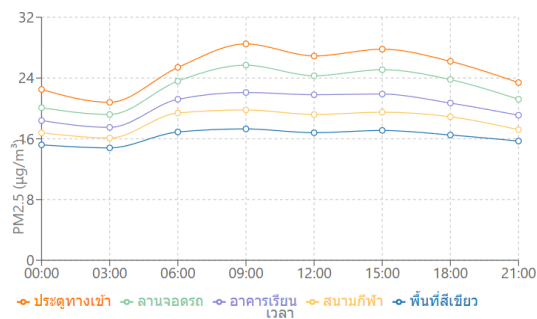
Measurement locations	$PM_{2.5}$	PM_{10}
main entrance gate	28.5 ± 3.2	52.3 ± 5.1
main parking area	25.7 ± 2.8	48.9 ± 4.7
main academic building	22.1 ± 2.5	41.6 ± 4.3
outdoor sports field	19.8 ± 2.3	37.2 ± 3.9
green area	17.3 ± 2.0	32.8 ± 3.5

ผลการวัดแสดงให้เห็นว่าบริเวณประตูทางเข้าหลักมีค่า $PM_{2.5}$ และ PM_{10} สูงที่สุด ในขณะที่พื้นที่สีเขียวมีค่าต่ำที่สุด

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงรายเดือน

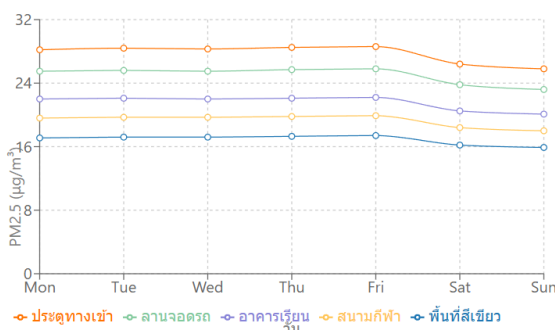


a.

การเปลี่ยนแปลงของ $PM_{2.5}$ ตามช่วงเวลาของวัน

b.

การเปลี่ยนแปลงตามวันในสัปดาห์



c.

Figure 7 a. Changes in $PM_{2.5}$ levels throughout different times of the day. b. Monthly trends. c. Daily variations throughout the week

เมื่อพิจารณารูปแบบการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ทั้งสองวิธีแสดงรูปแบบการเปลี่ยนแปลงรายวันที่สอดคล้องกัน โดยพบค่าสูงสุดในช่วงเช้า (9:00 น.) และช่วงเย็น (15:00 น.) ส่วนแนวโน้มรายเดือนจากทั้งสองวิธีแสดงการเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากเดือนสิงหาคมถึงพฤศจิกายน โดยความแตกต่างระหว่างวิธีการวัดค่อนข้างคงที่ตลอดช่วงระยะเวลาการศึกษา (Figure 7)

การตรวจวัดด้วย LIDAR ในพื้นที่มหาวิทยาลัย พบความแตกต่างของระดับมลพิษระหว่างจุดต่าง ๆ โดยบริเวณประตูทางเข้ามีค่า $PM_{2.5}$ สูงสุด ($28.5 \pm 3.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และพื้นที่สีเขียวมีค่าต่ำสุด ($17.3 \pm 2.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการใช้พื้นที่และกิจกรรมในแต่ละบริเวณ

2. ผลการวัดมลพิษด้วยวิธีมาตรฐานในพื้นที่มหาวิทยาลัย

ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษที่ใกล้ที่สุดกับมหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี (Table 2) (สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยจังหวัดกาญจนบุรี, 2567)

Table 2 Average $PM_{2.5}$ and PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) from air quality monitoring stations (monthly average)

Months	$PM_{2.5}$	PM_{10}
August	23.7 ± 4.1	45.2 ± 6.3
September	25.1 ± 4.3	47.8 ± 6.7
October	27.3 ± 4.6	51.5 ± 7.2
November	29.8 ± 5.0	56.2 ± 7.8

3. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างสองวิธี

การเปรียบเทียบผลการวัดระหว่างระบบ LIDAR และข้อมูลจากสถานีตรวจวัดแสดงดังนี้

Table 3 Comparative analysis of LIDAR system and air quality monitoring station measurements

Measurement method	$PM_{2.5}$	PM_{10}
Correlation coefficient	0.92	0.89
LIDAR	3.8 ± 1.2	7.6 ± 1.8
Monitoring station	26.5 ± 4.5	50.2 ± 7.0
RMSE	2.8	4.2

Table 3 เปรียบเทียบผลระหว่างการตรวจวัดด้วยระบบ LIDAR และสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ พบว่าทั้งสองวิธีมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.92 สำหรับ $PM_{2.5}$ และ 0.89 สำหรับ PM_{10} อย่างไรก็ตาม พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างสองวิธี โดย LIDAR ให้ค่าต่ำกว่าประมาณ $3.8 \pm 1.2 \text{ mg}/\text{m}^3$ สำหรับ $PM_{2.5}$ และ $7.6 \pm 1.8 \text{ mg}/\text{m}^3$ สำหรับ PM_{10} โดยมีค่า RMSE อยู่ที่ 2.8 และ 4.2 mg/m^3 ตามลำดับ

ความแตกต่างของค่าที่ตรวจวัดได้ระหว่างสองวิธีอาจเกิดจากปัจจัยหลายประการ เช่น ตำแหน่งการติดตั้งสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน ระยะห่างระหว่างจุดตรวจวัด และ

กิจกรรมในพื้นที่ โดยรวมแล้วผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าทั้งสองวิธีมีความสอดคล้องกันในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของมลพิษทางอากาศ แม้จะมีค่าแตกต่างกันในเชิงปริมาณซึ่งอาจเป็นผลมาจากปัจจัยด้านตำแหน่งและสภาพแวดล้อมของจุดตรวจวัด ข้อมูลที่ได้จากทั้งสองวิธีจึงมีประโยชน์ในการติดตาม

คุณภาพอากาศและสามารถใช้เสริมกันในการวางแผนจัดการคุณภาพอากาศในพื้นที่มหาวิทยาลัยต่อไป

4. ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพอากาศในมหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นละอองกับปัจจัยต่าง ๆ แสดงดังนี้

Table 4 Correlation coefficient (r) between particulate matter concentration and various factors

Factors	PM _{2.5}	p-value	PM ₁₀	p-value
temperature	0.35	<0.001**	0.32	<0.001**
relative humidity	-0.42	<0.001**	-0.39	<0.001**
wind speed	-0.58	<0.001**	-0.55	<0.001**
traffic volume	0.71	<0.001**	0.68	<0.001**
construction activities in the area	0.63	<0.001**	0.65	<0.001**

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นละอองกับปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมและกิจกรรมในพื้นที่มหาวิทยาลัย (Table 4) พบว่าปริมาณการจราจรมีความสัมพันธ์เชิงบวกสูงสุดกับปริมาณฝุ่นละออง ($r = 0.71$ สำหรับ PM_{2.5} และ $r = 0.68$ สำหรับ PM₁₀, $p < 0.001$) โดยเฉพาะในช่วงเวลาเร่งด่วนที่มีการเดินทางเข้า-ออกมหาวิทยาลัยหนาแน่น ในขณะที่ความเร็วลมมีความสัมพันธ์เชิงลบ ($r = -0.58$ สำหรับ PM_{2.5} และ $r = -0.55$ สำหรับ PM₁₀, $p < 0.001$) แสดงให้เห็นบทบาทของลมในการช่วยกระจายมลพิษ โดยเฉพาะในช่วงที่มีความเร็วลมสูงกว่า 2 เมตรต่อวินาที

การประเมินกิจกรรมก่อสร้างในพื้นที่ใช้ดัชนีรวมที่พิจารณาจากขนาดพื้นที่ก่อสร้าง จำนวนและประเภทเครื่องจักรที่ใช้งาน และระยะเวลาทำงานในแต่ละวัน ผลการ

วิเคราะห์พบความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณฝุ่นละออง ($r = 0.63$ สำหรับ PM_{2.5} และ $r = 0.65$ สำหรับ PM₁₀, $p < 0.001$) สำหรับปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยา พบว่าอุณหภูมิมีความสัมพันธ์เชิงบวกระดับปานกลาง ($r = 0.35$ สำหรับ PM_{2.5} และ $r = 0.32$ สำหรับ PM₁₀, $p < 0.01$) ในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์เชิงลบระดับปานกลาง ($r = -0.42$ สำหรับ PM_{2.5} และ $r = -0.39$ สำหรับ PM₁₀, $p < 0.01$)

ข้อมูลจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เหล่านี้สามารถนำไปใช้ในการวางแผนมาตรการจัดการคุณภาพอากาศในพื้นที่มหาวิทยาลัย โดยเฉพาะการจัดการจราจรและการควบคุมกิจกรรมก่อสร้างในช่วงที่มีความเสี่ยงสูง

5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

Table 5 t-test Analysis: LIDAR vs BAM-1020

Parameter (µg/m ³)	LIDAR (Mean ± SD)	BAM-1020 (Mean ± SD)	t-value	p-value	95% CI
PM _{2.5}	22.7 ± 2.6	26.5 ± 4.5	-3.842	0.0014*	[-5.82,-1.78]
PM _{2.5}	42.6 ± 4.3	50.2 ± 7.0	-4.156	0.0008*	[-11.25,-3.95]

*p < 0.05 แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Table 6 Analysis of Variance (ANOVA) between Sampling Points

Sources of Variance	df	SS	MS	F-value	p-value
PM_{2.5}					
Between groups	4	1524.63	381.16	42.85	< 0.0001*
Within groups	115	1022.75	8.89	-	-
Total	119	2547.38	-	-	-
PM₁₀					
Between groups	4	3865.92	966.48	38.72	< 0.0001*
Within groups	115	2869.83	24.95	-	-
Total	119	6735.75	-	-	-

df = degree of freedom, SS = sum of squares, MS = mean square

*p < 0.05 แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Table 5 (t-test analysis): พบว่า LIDAR วัดค่าได้ต่ำกว่า BAM-1020 อย่างมีนัยสำคัญ PM_{2.5}: LIDAR ต่ำกว่า ~14% (22.7 vs 26.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), PM₁₀: LIDAR ต่ำกว่า ~15% (42.6 vs 50.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) แสดงว่าต้องมีการปรับแก้ค่าที่วัดได้จาก LIDAR ก่อนนำไปใช้งานจริง

Table 6 (ANOVA): ยืนยันว่ามีความแตกต่างของระดับมลพิษระหว่างจุดต่าง ๆ ในมหาวิทยาลัยอย่างมีนัยสำคัญแสดงให้เห็นว่าตำแหน่งและลักษณะการใช้พื้นที่มีผลต่อระดับมลพิษ ข้อมูลนี้เป็นประโยชน์ในการวางแผนจัดการคุณภาพอากาศในแต่ละพื้นที่

ผลการวิเคราะห์ทั้งสองตารางนี้ชี้ให้เห็นว่า LIDAR สามารถใช้ตรวจวัดมลพิษได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ต้องมีการปรับแก้ค่าและควรใช้ร่วมกับวิธีมาตรฐานเพื่อความแม่นยำสูงสุด

5. อภิปรายผล

การอภิปรายผลการวิจัยเรื่องการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี LIDAR ในการตรวจวัดและประเมินคุณภาพอากาศ ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี มีประเด็นสำคัญที่ควรอภิปรายตามวัตถุประสงค์ดังนี้

1. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่าง LIDAR กับวิธีมาตรฐาน

ผลการศึกษาพบความสัมพันธ์ระดับสูงระหว่างค่าที่วัดได้จากทั้งสองวิธี โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.92 สำหรับ PM_{2.5} และ 0.89 สำหรับ PM₁₀ แสดงให้เห็นว่าทั้งสองวิธีสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของมลพิษได้สอดคล้องกัน การที่ค่าสหสัมพันธ์สูงกว่า 0.85 สอดคล้องกับเกณฑ์การยอมรับของ US EPA สำหรับวิธีการตรวจวัดคุณภาพอากาศทางเลือก อย่างไรก็ตาม พบว่าค่าที่วัดได้จาก LIDAR มีแนวโน้มต่ำกว่าสถานีตรวจวัดประมาณ 14-15% โดยมีค่า RMSE อยู่ที่ 2.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ สำหรับ PM_{2.5} และ 4.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ สำหรับ PM₁₀

ความแตกต่างนี้อาจเกิดจากหลายปัจจัยประการแรก คือ ความแตกต่างของตำแหน่งและความสูงในการตรวจวัด โดย LIDAR ติดตั้งที่ความสูง 10 เมตรจากพื้นดิน ในขณะที่สถานีตรวจวัดอยู่ที่ความสูง 2-3 เมตร ซึ่งใกล้เคียงแหล่งกำเนิดมลพิษมากกว่า สอดคล้องกับงานวิจัยของ McManamon (2019) ที่พบว่าความสูงในการตรวจวัดมีผลต่อค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง ประการที่สอง คือ ระยะห่างระหว่างจุดตรวจวัด ซึ่งอาจทำให้มวลอากาศที่ตรวจวัดมีคุณสมบัติแตกต่างกัน และประการสุดท้าย คือ หลักการวัดที่ต่างกัน โดย LIDAR ใช้การกระเจิงของแสงเลเซอร์ในขณะที่สถานีตรวจวัดใช้หลักการดูดกลืนรังสีเบต้า

2. การกระจายตัวและปัจจัยที่มีผลต่อระดับมลพิษ

การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของมลพิษแสดงรูปแบบที่ชัดเจน โดยพบความแตกต่างระหว่างจุดตรวจวัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p < 0.001) บริเวณประตูทางเข้ามีค่า PM_{2.5} และ PM₁₀ สูงสุด (28.5 $\pm$ 3.2 และ 52.3 $\pm$ 5.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) และพื้นที่สีเขียวมีค่าต่ำสุด (17.3 $\pm$ 2.0 และ 32.8 $\pm$ 3.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ความแตกต่างนี้สะท้อนอิทธิพลของกิจกรรมและการใช้พื้นที่

การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลพบว่า ปริมาณการจราจรมีความสัมพันธ์เชิงบวกสูงสุด (r = 0.71, p < 0.001) โดยเฉพาะในช่วงเวลาเร่งด่วน (7:00-9:00 น. และ 16:00-18:00 น.) ที่มีปริมาณรถยนต์เฉลี่ย 250-300 คันต่อชั่วโมง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Liu et al. (2022) ที่พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับ PM_{2.5} ในระดับใกล้เคียงกัน (r = 0.68-0.75)

ความเร็วลมมีความสัมพันธ์เชิงลบ (r = -0.58, p < 0.001) โดยพบว่าเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นทุก 1 เมตรต่อวินาที ค่า PM_{2.5} จะลดลงประมาณ 2.5-3.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ แสดงบทบาทสำคัญของการระบายอากาศตามธรรมชาติ ซึ่ง Zeybek (2022) ได้อธิบายกลไกนี้ว่าเกิดจากการผสมผสานและการกระจายตัวของมลพิษในแนวดิ่ง

สำหรับกิจกรรมก่อสร้าง การประเมินใช้ดัชนีรวมที่พิจารณาจากพื้นที่ก่อสร้าง จำนวนและประเภทเครื่องจักร และระยะเวลาทำงาน พบความสัมพันธ์เชิงบวก ($r = 0.63$, $p < 0.001$) โดยเฉพาะในช่วงที่มีการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ และมีการเคลื่อนย้ายดิน

ปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยาอื่น ๆ มีความสัมพันธ์ระดับปานกลาง โดยอุณหภูมิมีความสัมพันธ์เชิงบวก ($r = 0.35$, $p < 0.01$) อาจเกี่ยวข้องกับการเกิดความปั่นป่วนในแนวตั้ง ส่วนความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์เชิงลบ ($r = -0.42$, $p < 0.01$) สอดคล้องกับทฤษฎีการตกตะกอนของอนุภาคในอากาศชื้น

3. แนวทางการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี LIDAR

ผลการวิจัยนำไปสู่แนวทางการประยุกต์ใช้ LIDAR ในการเฝ้าระวังและจัดการคุณภาพอากาศดังนี้:

3.1 การเฝ้าระวังคุณภาพอากาศ

- ติดตั้งระบบ LIDAR ในจุดยุทธศาสตร์ที่ครอบคลุมพื้นที่กิจกรรมหลัก

- สร้างฐานข้อมูลคุณภาพอากาศระยะยาว

3.2 การจัดการการจราจร

- ปรับเส้นทางและเวลาการเดินทางในชั่วโมงวิกฤต

- จัดโซนจอดรถให้ห่างจากอาคารเรียน

- ส่งเสริมการใช้รถสาธารณะและจักรยาน

3.3 การจัดการพื้นที่

- เพิ่มแนวกันชนพื้นที่สีเขียวระหว่างถนนกับอาคาร

- ออกแบบการไหลเวียนอากาศระหว่างอาคาร

- ควบคุมกิจกรรมก่อสร้างในช่วงที่มีความเสี่ยงสูง

ข้อจำกัดของการศึกษาและข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคตได้อภิปรายไว้แล้วในส่วนก่อนหน้า โดยสรุปการวิจัยนี้แสดงให้เห็นศักยภาพของ LIDAR ในการสนับสนุนการจัดการคุณภาพอากาศในสถาบันการศึกษา แม้จะมีข้อจำกัดบางประการ แต่ข้อมูลที่ได้มีประโยชน์ต่อการพัฒนาแนวทางการจัดการที่เหมาะสมต่อไป

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี LIDAR ในการตรวจวัดและประเมินคุณภาพอากาศ ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรีแสดงให้เห็นประสิทธิภาพและข้อจำกัดของเทคโนโลยีนี้เมื่อเทียบกับวิธีมาตรฐาน ผลการศึกษาค้นพบความสัมพันธ์ระดับสูงระหว่างค่าที่วัดได้จากทั้งสองวิธี โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สห

สัมพันธ์ 0.92 สำหรับ $PM_{2.5}$ และ 0.89 สำหรับ PM_{10} ($p < 0.001$) แม้ว่าจะระบบ LIDAR จะให้ค่าต่ำกว่าวิธีมาตรฐานประมาณ 14-15% แต่มีข้อดีด้านการตรวจวัดต่อเนื่อง ครอบคลุมพื้นที่กว้าง และมีต้นทุนดำเนินการต่ำในระยะยาว โดยมีค่า RMSE 2.8 mg/m^3 สำหรับ $PM_{2.5}$ และ 4.2 mg/m^3 สำหรับ PM_{10}

การศึกษาการกระจายตัวของมลพิษในพื้นที่มหาวิทยาลัยแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างพื้นที่ต่าง ๆ บริเวณประตูทางเข้ามีค่าสูงสุด ($PM_{2.5}$: 28.5 ± 3.2 , PM_{10} : 52.3 ± 5.1 mg/m^3) ในขณะที่พื้นที่สีเขียวมีค่าต่ำสุด ($PM_{2.5}$: 17.3 ± 2.0 , PM_{10} : 32.8 ± 3.5 mg/m^3) สะท้อนอิทธิพลของกิจกรรมและการใช้พื้นที่ที่แตกต่างกัน การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลพบว่ามีปริมาณการจราจรมีความสัมพันธ์เชิงบวกสูงสุด ($r = 0.71$) โดยเฉพาะในช่วงเร่งด่วนที่มีปริมาณรถ 250-300 คันต่อชั่วโมง รองลงมาคือกิจกรรมก่อสร้าง ($r = 0.63$) ในขณะที่ความเร็วลมมีความสัมพันธ์เชิงลบ ($r = -0.58$) แสดงบทบาทในการช่วยกระจายมลพิษ โดยค่า $PM_{2.5}$ ลดลง 2.5-3.0 mg/m^3 ต่อความเร็วลมที่เพิ่มขึ้น 1 เมตรต่อวินาที

ด้านการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี LIDAR ในการเฝ้าระวังและจัดการคุณภาพอากาศ ผลการศึกษานี้ให้คำแนะนำที่เหมาะสมในการใช้ระบบนี้สำหรับการเฝ้าระวังต่อเนื่อง การพัฒนาระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติ และการสร้างฐานข้อมูลระยะยาว ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงการจัดการจราจร การวางผังพื้นที่สีเขียว และการควบคุมกิจกรรมก่อสร้างในช่วงที่มีความเสี่ยงสูง อย่างไรก็ตาม ควรใช้ระบบ LIDAR ร่วมกับวิธีมาตรฐานเพื่อเสริมข้อดีและลดข้อจำกัดของแต่ละระบบ โดยใช้ LIDAR สำหรับการเฝ้าระวังต่อเนื่องและใช้วิธีมาตรฐานในการสอบเทียบและตรวจสอบความถูกต้อง เพื่อการพัฒนากระบวนการจัดการคุณภาพอากาศในสถาบันการศึกษาอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2566). รายงานสถานการณ์ฝุ่น $PM_{2.5}$ 2560-2566. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. https://www.pcd.go.th/wp-content/uploads/2024/06/pcdnew-2024-06-21_06-42-54_474054.pdf
- กลุ่มวิจัยวิทยาศาสตร์บรรยากาศ สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน). (2566). สดร.เผยแพร่ข้อมูลคาดการณ์ค่าฝุ่น $PM_{2.5}$ ล่วงหน้าจากเทคโนโลยีไลดาร์. สถาบันวิจัย

- ดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน). <https://www.narit.or.th/index.php/news/1623-narit-pm-2-5-lidar>
- ชัยชนก รักษาบางแหลม. (2564). ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของพื้นที่เมืองกับการเกิดมลพิษทางอากาศฝุ่น $PM_{2.5}$ ในช่วง พ.ศ. 2553 - 2563 กรณีศึกษา: กรุงเทพมหานคร [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR).
- สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยจังหวัดกาญจนบุรี. (2567). แผนเผชิญเหตุมลพิษจากฝุ่นละอองขนาดเล็ก. <https://backofficeminisite.disaster.go.th/upload/userfiles/แผนเผชิญเหตุแก้ไขปัญหามลพิษจากฝุ่นละอองขนาดเล็ก%2065-66.pdf>
- Barauskas, D., Pelenis, D., Dzikaras, M., Vanagas, G., Mikolajunas, M., Baltrusaitis, J., & Virzonis, D. (2023). Highly selective capacitive micromachined ultrasonic transducer-based miniature gravimetric CO₂ sensor with in-situ calibration for relative humidity. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 393, 134178. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2023.134178>
- Bräuer, P., & D'Agostino, C. (2018). Base adsorption mechanism over zeolite catalysts at different Al contents probed by the tapered element oscillating microbalance (TEOM). *Physical Chemistry Chemical Physics*, 20(19), 13436–13445. <https://doi.org/10.1039/c8cp05001e>
- Butt, J., Oville, C., Sharma, N. C. P., & Barnes, J. E. (2018). Using a CCD camera lidar system for detection of Asian dust. *Proceedings of SPIE*, 10779, 107790Z. <https://doi.org/10.1117/12.2324551>
- Canton, H. (2021). World Health Organization—WHO. In *The Europa directory of international organizations 2021*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003179900-57>
- Gujrathi, A. (2021). How immunoprotein diagnostic testing has become beneficial to human body. *Clinical Medical Reviews and Reports*, 3(5). <https://doi.org/10.31579/2690-8794/080>
- Health Effects Institute. (2024, June 27). *New State of Global Air Report finds air pollution is second leading risk factor for death worldwide*. <https://www.health-effects.org/news-events/newsroom/news-releases/new-state-global-air-report-finds-air-pollution-second-leading>
- Huang, W. (2022). The update of World Health Organization air quality guidelines and its implications on health risk management in low- and middle-income countries. *Global Health Journal*, 6(1), 3–5. <https://doi.org/10.1016/j.glohj.2022.01.004>
- Kim, H., Kim, J., & Roh, S. (2023). Effects of gas and steam humidity on particulate matter measurements obtained using light-scattering sensors. *Sensors*, 23(13), 6199. <https://doi.org/10.3390/s23136199>
- Korotcenkov, G. (2019). *Gravimetric humidity sensors* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b22370-12>
- Liu, D., Dai, Y., Hou, Z., & Li, D. (2022). Optimized design for the core components of the oscillating balance dust measuring device. In *2022 IEEE 5th International Conference on Electronic Information and Communication Technology (ICEICT)* (pp. 278–282). IEEE.
- Luo, T., Wang, Z., Zhang, D., Liu, X., Wang, Y., & Yuan, R. (2015). Global dust distribution from improved thin dust layer detection using A-train satellite lidar observations. *Geophysical Research Letters*, 42(2), 620–628. <https://doi.org/10.1002/2014gl062111>
- McManamon, P. F. (2019). LiDAR receivers. In *LiDAR technologies and systems*. SPIE Press.
- Mifsud, M. D., Sant, T., & Farrugia, R. N. (2018). A comparison of measure-correlate-predict methodologies using LiDAR as a candidate site measurement device for the Mediterranean Island of Malta. *Renewable Energy*, 127, 230–238. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.05.02>
- Nations, U. (2017). Sustainable Development Goal 3: Good health and well-being. *Africa Sustainable Development Report*, 45–63. <https://doi.org/10.18356/8f3d4aea-en>
- Okubo, K., Lagrosas, N., & Shiina, T. (2023). Dust flow distribution measurement by low coherence Doppler lidar. In *Springer atmospheric sciences* (pp. 143–155). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-37818-8_10

- Pedelacq, M. E., Garaffo, G., Llanos, E., Venturini, N., & Muniz, P. (2022). Pollution has negative effects on macrozoobenthic trait diversity in a large subtropical estuary. *Marine Pollution Bulletin*, 184, 114101. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114101>
- Seigneur, C. (2019). Air pollution meteorology. In *Air pollution: Concepts, theory, and applications*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108674614.004>
- Shukla, K., & Aggarwal, S. G. (2022). A technical overview on beta-attenuation method for the monitoring of particulate matter in ambient air. *Aerosol and Air Quality Research*, 22(8), 220195. <https://doi.org/10.4209/aaqr.220195>