



การประเมินความสัมพันธ์ของมลพิษทางอากาศบนถนนหลวงรอบ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา

Relationship Assessment of Air Pollution from the Highways around Mahidol University (Salaya Campus), Thailand

ต้องชนะ สกุลเกียรติปัญญา สวรรยา แซ่แต้ และชัชฌพงษ์ ประทุม

Tongchana Sakulkiatpanya Sawanya Saetae and Chitsanuphong Pratum

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University

Corresponding author; E-mail: chitsanuphong.pra@mahidol.ac.th ; enchitsanu@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการสำรวจค่าดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index : AQI) และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า AQI ของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) กับค่า AQI ของแก๊สมลพิษ (CO, SO₂, NO₂ และ O₃) ผลการศึกษาพบว่าค่า AQI ของ PM₁₀ (66.85±18.89), SO₂ (38.85±24.32) และ NO₂ (19.87±7.67) มีค่าสูงสุดในบริเวณสถานีตรวจวัดที่ประตู 3 มหาวิทยาลัยมหิดล (MS-MU 3) เมื่อเปรียบเทียบกับสถานีตรวจวัดอื่นๆ ในส่วนของความสัมพันธ์ระหว่างค่า AQI ของสารมลพิษทางอากาศ CO มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทางบวกกับ PM₁₀ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ p-value<0.01 ในทุกสถานีตรวจวัดในขณะเดียวกัน NO₂ ยังมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทางบวกกับ PM₁₀ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ p-value<0.01 ที่บริเวณสถานีตรวจวัดประตู 1 มหาวิทยาลัยมหิดล (MS-MU 1) และ MS-MU 3 นอกจากนี้ NO₂ ยังมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทางบวกกับ PM₁₀ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ p-value<0.05 ที่บริเวณสถานีตรวจวัดประตู 5 มหาวิทยาลัยมหิดล (MS-MU 5) ในกรณีความสัมพันธ์เชิงลบ O₃ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับ PM₁₀ ที่ p-value <0.05 ในบริเวณ MS-MU 5 สุดท้าย SO₂ ไม่มีความสัมพันธ์กับ PM₁₀ ในทุกสถานีตรวจวัดการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า PM₁₀ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของมลพิษทางอากาศโดยเฉพาะอย่างยิ่ง CO

คำสำคัญ : ค่าดัชนีคุณภาพอากาศ ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอนแก๊สมลพิษทางอากาศ



Abstract

This research investigated the Air Quality Index (AQI) and analyzed the relationship between the AQI values of particulate matter with an aerodynamic diameter less than or equal to a nominal 10 micrometers (PM_{10}) and the AQI values of gaseous pollutants (namely; CO , SO_2 , NO_2 , and O_3). The results showed that the AQI values of PM_{10} (66.85 ± 18.89), SO_2 (38.85 ± 24.32), and NO_2 (19.87 ± 7.67) were highest at the monitoring station located at Mahidol University Gate 3 (MS-MU 3) when compared to other monitoring stations. In part of the relationship between the AQI values of air pollutants, CO had a positive correlation coefficient with PM_{10} statistically significant at p -value < 0.01 in all the monitoring stations. At the same time, NO_2 also had a positive correlation coefficient with PM_{10} statistically significant (p -value < 0.01) at the monitoring stations located at Mahidol University Gate 1 (MS-MU 1) and MS-MU 3. In addition, NO_2 had a positive correlation coefficient with PM_{10} at p -value < 0.05 in Mahidol University Gate 5 (MS-MU 5). In the case of a negative correlation, O_3 had a correlation coefficient with PM_{10} at p -value < 0.05 at Mahidol University Gate 5 (MS-MU 5). Finally, SO_2 did not correlate with PM_{10} at all the monitoring stations. This study indicates that PM_{10} is likely to rise following the increase of gaseous pollutants, especially CO .

Keywords : Air quality index : AQI Particulate matter: PM_{10} Gaseous pollutants

บทนำ

มลพิษทางอากาศเป็นอีกปัญหาที่มีความสำคัญ และเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของสิ่งมีชีวิต โดยมลพิษทางอากาศที่เกิดการเผาไหม้ของน้ำมันเบนซิน และน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ เช่น รถยนต์ รถจักรยานยนต์และรถสามล้อเครื่อง เป็นต้น จะปล่อยสารพิษ ไอควัน และแก๊สต่าง ๆ หลายชนิดออกมาทางท่อไอเสียสู่อากาศ นอกจากนี้รถยนต์ยังเป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดอากาศเสียอันสำคัญ และควบคุมแก้ไขได้ยากยิ่ง [1] เนื่องจากปัจจุบันรถยนต์มีความสำคัญต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์ จากสถิติของกรมการขนส่งทางบกในปี พ.ศ. 2558 ถึง 2559 พบว่าจำนวนรถจดทะเบียนใหม่ทั่วประเทศ ตามกฎหมายว่าด้วยรถยนต์ และกฎหมายว่าด้วยการขนส่งทางบกมีแนวโน้มสูงขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 3.07

ในขณะที่เดียวกันจำนวนรถที่เข้ารับการตรวจสภาพยังมีการเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย คิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 6.13 [2] ดังนั้นบางส่วนของรถยนต์ที่วิ่งตามท้องถนนจึงมีโอกาสสูงที่จะเป็นรถยนต์เก่าและไม่ผ่านการเข้ารับการตรวจสภาพหรือการบำรุงรักษาเครื่องยนต์ ซึ่งทำให้มีโอกาสสูงที่จะเกิดการเผาไหม้อย่างไม่สมบูรณ์ และปลดปล่อยสารมลพิษต่างๆ ออกสู่อากาศ ได้แก่ (1) แก๊สมลพิษทางอากาศ (Gaseous pollutants) ชนิดต่างๆ เช่น คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอน (HC) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) เป็นต้น และ (2) ฝุ่นละออง (Suspended Particulate Matter: SPM) ทั้งฝุ่นละอองรวมและฝุ่นละอองขนาดเล็ก เป็นต้น [1, 3] นอกจากนี้พฤติกรรมการขับขี่ยานยนต์ยังเป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่สำคัญต่อการเกิดปัญหามลพิษทางอากาศ



โดยการระบายสารมลพิษตั้งแต่การติดเครื่องยนต์ การเร่งเครื่องยนต์อย่างรวดเร็ว การหยุดรถยนต์อย่างกะทันหัน หรือการบรรทุกน้ำหนักเกินพิกัด เป็นต้น ซึ่งล้วนมีผลต่อปริมาณการระบายสารมลพิษจากที่ไอเสียรถยนต์ออกสู่สิ่งแวดล้อมทั้งสิ้น [4] ฝุ่นละอองจัดเป็นหนึ่งในสารมลพิษจากไอเสียรถยนต์ที่เป็นปัญหารุนแรงที่สุด และพบได้ในทุกภูมิภาคของประเทศไทย โดยระดับความรุนแรงของอาการป่วยจากฝุ่นละอองจะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณและขนาดของฝุ่นละออง [5] ทั้งนี้ปริมาณการว่าร้อยละ 60 ของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) เกิดจากรถประจำทางและรถบรรทุกที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล บางส่วนมาจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยส่วนมากจะพบอยู่ในเขตเมือง เขตอุตสาหกรรม และเขตกิ่งชนบท [6] จากงานวิจัยของ Lenschow et al. [7] ทำให้ทราบว่าบริเวณถนนสายหลักมีความเข้มข้นของ PM₁₀ สูงมากกว่าร้อยละ 40 เมื่อเปรียบเทียบกับถนนสายรอง นอกจากนี้ไอเสียจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงยังเกิดสารมลพิษในรูปของแก๊สชนิดต่างๆ ที่ก่อให้เกิดเป็นมลพิษทางอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแก๊ส CO ซึ่งถือว่าเป็นสารที่อาจก่อให้เกิดโรคมะเร็ง หรือเป็นอันตรายต่อชีวิตได้ หากได้รับสารนี้เข้าไปในร่างกายปริมาณมาก [8] ในส่วนของ O₃ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ O₃ ในชั้นสตราโตสเฟียร์ (Stratosphere ozone) เป็น O₃ ที่ป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ โดยป้องกันได้สูงสุดถึงร้อยละ 99 ก่อนถึงพื้นโลก ส่วน O₃ ในชั้นโทรโพสเฟียร์ (Troposphere ozone) จะเป็นแก๊สพิษที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย โดย O₃ ในชั้นนี้จะเกิดขึ้นบนพื้นโลก ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้มลชีวภาพและการสันดาปของเครื่องยนต์และเครื่องจักร [9]

จากปัญหาของสารมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของรถยนต์และการปลดปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศ จึงทำให้คณะผู้วิจัยสนใจการสำรวจและ

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสารมลพิษทางอากาศชนิดต่างๆ บนท้องถนนบริเวณโดยรอบมหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา โดยแปรผลการตรวจวัดสารมลพิษทางอากาศออกเป็น ค่าดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index: AQI) ทั้งนี้ค่า AQI ถือเป็นารายงานข้อมูลคุณภาพอากาศในรูปแบบที่ง่ายต่อความเข้าใจของประชาชนทั่วไป เพื่อเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนได้รับทราบถึงสถานการณ์มลพิษทางอากาศในแต่ละพื้นที่ว่าอยู่ในระดับใด มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยหรือไม่ ทั้งนี้ AQI เป็นรูปแบบสากลที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ อาทิ สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย สิงคโปร์ มาเลเซีย และประเทศไทย เป็นต้น [10] โดยข้อมูลที่ได้จากการวิจัยอาจเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และใช้เป็นแนวทางในการป้องกันแก้ไข และปัญหาที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศต่อไป

วิธีการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษา

มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ตั้งอยู่ที่ ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม มีเนื้อที่ประมาณ 1,240 ไร่ โดยมีประตูที่สามารถใช้ในการเข้าออกทั้งสิ้น 7 ประตู และมีประตูหลักที่ใช้ในการเข้าออก 3 ประตู ได้แก่ (1) มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ประตู 1 ตั้งอยู่ที่บริเวณทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 338 (ถนนบรมราชชนนี) (2) มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ประตู 3 ตั้งอยู่ที่บริเวณทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3310 (ถนนพุทธมณฑลสาย 4) และสุดท้าย (3) มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ประตู 5 ตั้งอยู่ที่บริเวณทางหลวงชนบท นครปฐม 4006 (ถนนศาลายา-นครชัยศรี) [11] คณะผู้วิจัยจึงดำเนินการตั้งรถตรวจวัดคุณภาพอากาศในบริเวณประตูหลักทั้ง 3 ประตู ได้แก่ สถานีตรวจวัดที่ 1 ลานจอดรถชั่วคราว 2 ตั้งอยู่ที่บริเวณมหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ประตู

1 สถานีตรวจวัดที่ 2 หน้าสำนักงานอธิการบดี ตั้งอยู่ที่บริเวณมหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ประตู 3 และสุดท้าย สถานีตรวจวัดที่ 3 ตั้งสถานีตรวจวัดที่สถานีตำรวจภูธร อำเภอฟุทธมณฑล ศาลายา ตั้งอยู่ที่บริเวณมหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ประตู 5 ทั้งนี้ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างคุณภาพอากาศแสดงให้เห็นใน Figure 1



Figure 1. The air pollution monitoring station of this research;

- (1) Mahidol University Gate 1 (MS-MU 1)
- (2) Mahidol University Gate 3 (MS-MU 3)
- (3) Mahidol University Gate 5 (MS-MU 5)

2. การสุ่มตัวอย่างคุณภาพอากาศ

ด้วยงานวิจัยนี้อยู่ในโครงการ EN CSR 4.0 : Air & Water Quality Monitoring Program เพื่อคุณภาพชีวิตของชุมชนโดยรอบมหาวิทยาลัยมหิดล ซึ่งส่วนหนึ่งของโครงการจะเป็นการถ่ายทอดองค์ความรู้เชิงปฏิบัติการด้านการตรวจวิเคราะห์และเฝ้าระวังคุณภาพสิ่งแวดล้อมให้กับนักศึกษาปริญญาตรี ชั้นปีที่ 1 และ 2 จึงต้องมีกำหนดช่วงระยะเวลา (เดือน) การเก็บตัวอย่างให้ส่งผลกระทบต่อการศึกษาของนักศึกษาในที่สุด นอกจากนี้ยังต้องมีความสัมพันธ์การแพร่กระจายของมลพิษทาง

อากาศ โดยการแพร่กระจายมลพิษทางอากาศในระยะไกลจะสอดคล้องสัมพันธ์กับการเคลื่อนไหวของกระแสอากาศ โดยฤดูที่ได้ส่งผลกระทบต่อชัดเจนคือ ฤดูหนาว และฤดูใบไม้ผลิ ในการศึกษาการแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศในระยะทางไกล ชนิดของมลพิษที่มักใช้กันบ่อยคือ CO ซึ่งเป็นสารมลพิษปฐมภูมิที่มีช่วงอายุยาวนานพอที่จะกระจายไปในระดับภาคพื้นทวีปและระดับโลกได้ และอีกชนิดคือ O₃ ซึ่งเป็นสารมลพิษทุติยภูมิแต่ก็สามารถแพร่กระจายได้เป็นระยะไกลในฤดูหนาวมากกว่าฤดูร้อน [12]

ในการนี้ จึงเลือกช่วงระยะเวลาเดือนกันยายน พ.ศ. 2559 และเดือนมกราคมกับเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560 ในการเก็บตัวอย่าง ซึ่งอยู่ในช่วงต้นของการเปิดภาคเรียนจึงไม่ส่งผลกระทบต่อการศึกษา [13] ทั้งยังอยู่ในช่วงต้นและปลายฤดูหนาวตามข้อมูลภูมิอากาศจังหวัดนครปฐมของกรมอุตุนิยมวิทยา [14] โดยทำการเก็บตัวอย่างอากาศในพื้นที่ศึกษาต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง รายละเอียดการสุ่มตัวอย่างคุณภาพอากาศตาม Table 1

Table 1. Air pollution sampling schedule

Period (Month)	Number (Day)
September, 2016	6
January, 2017	6
February, 2017	6

3. การตรวจวัดคุณภาพอากาศ

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดและวิเคราะห์คุณภาพอากาศแบ่งออกเป็น 5 พารามิเตอร์ ดังนี้

1. ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (Particulate matter: PM₁₀) โดยใช้เครื่องตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดเล็กในบรรยากาศแบบอัตโนมัติ ยี่ห้อ Teledyne API รุ่น 602 Beta plus [15] โดยใช้หลักการฉายรังสีเบต้า



(Beta Ray) ซึ่งอ้างอิงการรับรองมาตรฐานการวิเคราะห์ ตาม US EPA PM₁₀ Federal Equivalent Method No. EQPM-0912-205 แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) โดยใช้เครื่องตรวจวัดแก๊ส SO₂ ในบรรยากาศ ยี่ห้อ Teledyne API รุ่น T100 [16] โดยใช้หลักการยูวีฟลูออเรสเซนซ์ (UV Fluorescence) ซึ่งอ้างอิงการรับรองมาตรฐานการวิเคราะห์ตาม US EPA Federal Equivalent Method No. EQSA-0495-100

2. แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) โดยใช้เครื่องตรวจวัดแก๊สออกไซด์ของไนโตรเจนในบรรยากาศ ยี่ห้อ Teledyne API รุ่น T200 [17] โดยใช้หลักการเคมีลูมิเนสเซนส์ (Chemiluminescence) ซึ่งอ้างอิงการรับรองมาตรฐานการวิเคราะห์ตาม US EPA Federal Equivalent Method No. RFNA-1194-099

3. แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) โดยใช้เครื่องตรวจวัดแก๊ส CO ในบรรยากาศ ยี่ห้อ Teledyne API รุ่น T300 [18] โดยใช้ระบบเอนดีโออาร์ (Non-Dispersive Infrared Detection: NDIR) ซึ่งอ้างอิงการรับรองมาตรฐานการวิเคราะห์ตาม US EPA Federal Equivalent Method No. RFCA-1093-093

4. แก๊สโอโซน (O₃) โดยใช้เครื่องตรวจวัดแก๊ส O₃ ในบรรยากาศ ยี่ห้อ Teledyne API รุ่น T400 [19] โดยใช้หลักการ UV Absorption ซึ่งอ้างอิงการรับรองมาตรฐานการวิเคราะห์ตาม US EPA Federal Equivalent Method No. EQOA-0992-087

โดยปกติการคำนวณค่า AQI จะเทียบจากมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปของสารมลพิษทางอากาศ 5 ประเภท ได้แก่ O₃ เฉลี่ย 1 ชั่วโมง NO₂ เฉลี่ย 1 ชั่วโมง CO เฉลี่ย 8 ชั่วโมง SO₂ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง และ PM₁₀ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง [20] ทั้งนี้ คณะผู้วิจัยต้องเห็นภาพการเปลี่ยนแปลง และแนวโน้มการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของสารมลพิษทางอากาศในพื้นที่

ศึกษาเป็นรายชั่วโมง จึงประยุกต์ใช้หลักการคำนวณค่า AQI มาคำนวณสารมลพิษทางอากาศทั้ง 5 ประเภทเป็นรายชั่วโมง โดยสูตรการคำนวณมีรายละเอียดตามสมการที่ (1)

$$AQI = \frac{I_{high} - I_{low}}{X_{high} - X_{low}} + (X - X_{low}) + I_{low} \quad (1)$$

where :

AQI = the Air Quality index

X = the pollutant concentration

X_{low} = the concentration breakpoint that is ≤ X

X_{high} = the concentration breakpoint that is ≥ X

I_{low} = the index breakpoint corresponding to X_{low}

I_{high} = the index breakpoint corresponding to X_{high}

จากนั้นทำการเปรียบเทียบกับเกณฑ์ของดัชนีคุณภาพอากาศสำหรับประเทศไทยทั้งนี้ดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทยแบ่งเป็น 5 ระดับ คือตั้งแต่ 0 ถึงมากกว่า 300 รายละเอียดตาม Table 2

Table 2. Thailand AQI

AQI	Health implications
0-50	Does not affect health
51-100	Does not affect health
101-200	Unhealthy
201-300	Very unhealthy
>300	Hazardous

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ (2560)

ค่า AQI 100 เทียบเท่ากับมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป หากค่า AQI สูงเกินกว่า 100 แสดงว่าค่าความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศมีค่าเกินมาตรฐานและคุณภาพอากาศในวันนั้นจะเริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน [20] โดยการตรวจวัด

คุณภาพอากาศในงานวิจัยนี้ใช้ตรวจวัดคุณภาพอากาศ ดัง Figure 2

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้มีการวิเคราะห์สหสัมพันธ์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของค่าดัชนีคุณภาพอากาศของสารมลพิษทางอากาศแต่ละชนิดบนท้องถนนบริเวณโดยรอบมหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา โดยแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ (1) สร้างแผนภูมิการกระจาย (Scatter Diagram) สำหรับ 2 ตัวแปร และ (2) วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient : r) ที่เป็นตัวบ่งชี้ของข้อมูลว่ามีความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใด โดยค่า r ที่ใช้วัดขนาดของตัวแปร มี 2 ลักษณะ ได้แก่ $-1 \leq r \leq 1$ และ $0 \leq r \leq 1$ หากค่าสัมประสิทธิ์มีค่าเข้าใกล้ -1 หรือ 1 แสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนั้นๆ มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง ในทางกลับกัน หากค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพัทธ์ระหว่างตัวแปรนั้นๆ มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันน้อย หรือไม่มีเลย [21]



Figure 2. Mobile air-quality testing

ผลการวิจัย

1. ดัชนีคุณภาพอากาศในพื้นที่ศึกษา

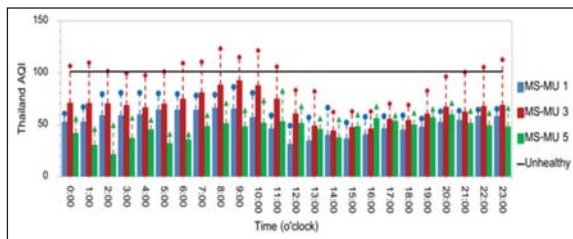
ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ย AQI ของ PM_{10} สูงสุดอยู่บริเวณพื้นที่มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ประตู่ 3 โดยพบค่า AQI สูงสุดที่มีผลกระทบต่อสุขภาพ

(ค่า AQI สูงเกินกว่า 100) อยู่ในช่วงเวลา 0:00 น. 1:00 น. 2:00 น. 6:00 น. 7:00 น. 8:00 น. 9:00 น. 10:00 น. 11:00 น. 22:00 น. และ 23:00 น. ซึ่งมีค่าเฉลี่ย AQI อยู่ที่ 106.52 109.57 101.30 109.13 110.43 123.04 114.78 121.30 105.65 105.22 และ 112.61 ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ย AQI ในบรรยากาศบริเวณพื้นที่ศึกษาอื่นๆ ได้แก่ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ประตู่ 1 และประตู่ 5 ค่า AQI ต่ำกว่า 100 ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ ส่วน CO SO_2 และ NO_2 มีค่าเฉลี่ย AQI สูงสุดอยู่บริเวณพื้นที่มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ประตู่ 3 โดยในทุกพื้นที่ ตรวจวัดคุณภาพอากาศ ไม่พบว่าค่า AQI สูงเกินกว่า 100 ซึ่งมีผลกระทบต่อสุขภาพ รายละเอียดตาม Figure 3

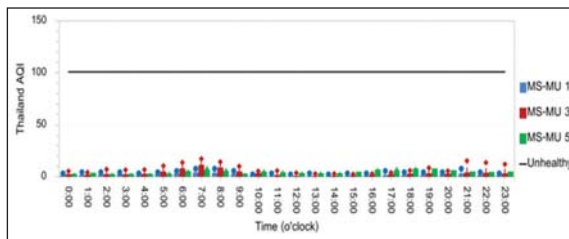
ในขณะที่ค่าเฉลี่ย AQI ของ O_3 สูงสุดอยู่บริเวณพื้นที่มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ประตู่ 1 แต่ไม่มีพบค่า AQI สูงสุดที่มีผลกระทบต่อสุขภาพ (ค่า AQI สูงเกินกว่า 100) ทั้งนี้พบค่า AQI ของ O_3 (รายชั่วโมง) ที่สูงจนมีผลกระทบต่อสุขภาพโดยอยู่ในช่วงเวลา 12:00 น. 13:00 น. 14:00 น. 15:00 น. และ 16:00 น. ซึ่งมีค่า AQI อยู่ที่ 118.25 129.90 130.49 133.11 และ 116.70 ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ย AQI ในบรรยากาศบริเวณพื้นที่มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ประตู่ 5 มีค่าเฉลี่ย AQI ต่ำที่สุด

2. ความสัมพันธ์ของดัชนีคุณภาพอากาศ

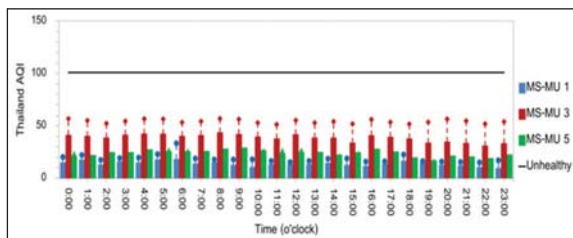
การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีคุณภาพอากาศของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) กับค่าดัชนีคุณภาพอากาศของแก๊สมลพิษทางอากาศ (CO , SO_2 , NO_2 และ O_3) โดยใช้วิธีการทางสถิติแบบการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) โดยใช้วิธีการทางสถิติแบบการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation analysis) ซึ่งผลของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของดัชนีคุณภาพอากาศในแต่ละสถานีตรวจวัดตาม Table 3



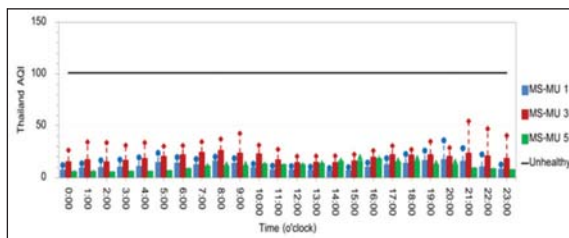
(Thailand AQI value of PM₁₀)



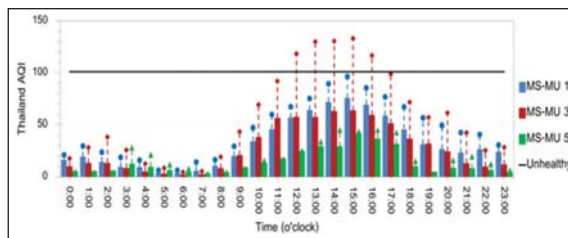
(Thailand AQI value of CO)



(Thailand AQI value of SO₂)



(Thailand AQI value of NO₂)



(Thailand AQI value of O₃)

Figure 3. Thailand AQI at each monitoring station

Table 3. Correlation coefficient of AQI between PM₁₀ and gaseous pollutants

Monitoring station	Correlation coefficient (<i>r</i>)			
	CO	O ₃	SO ₂	NO ₂
MS-MU1	0.771**	-0.906**	0.191	0.507*
MS-MU3	0.631**	-0.626**	0.334	0.514*
MS-MU5	0.650**	0.244	0.206	0.615**

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

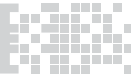
ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า CO มีสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์กับ PM_{10} โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติที่ระดับ 0.01 ในทุกสถานีตรวจวัด ส่วน O_3 มี สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับ PM_{10} โดยมีความแตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ในสถานีตรวจวัด ที่มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ประตู่ 1 และ ประตู่ 3 ในขณะที่ O_3 ไม่มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับ PM_{10} ใน สถานีตรวจวัดที่มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ประตู่ 5 เช่นเดียวกัน SO_2 ที่ไม่มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับ PM_{10} ในทุกสถานีตรวจวัด ส่วนท้าย NO_2 มีสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์กับ PM_{10} โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติที่ระดับ 0.05 ในสถานีตรวจวัดที่มหาวิทยาลัย มหิดล ศาลายา ประตู่ 1 และ ประตู่ 3 และความแตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ในสถานีตรวจวัดที่ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ประตู่ 5

เมื่อวิเคราะห์ถึงทิศทางความสัมพันธ์ ทำให้ทราบว่า CO และ NO_2 มีทิศทางความสัมพันธ์ทาง บวกกับ PM_{10} ในทุกสถานีตรวจวัดตาม Figure 4 ในขณะที่ Figure 5 พบว่า O_3 มีทิศทางความสัมพันธ์ทางลบกับ PM_{10} ในสถานีตรวจวัดที่มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ประตู่ 1 และ ประตู่ 3 แต่ O_3 ไม่มีทิศทางความสัมพันธ์ กับ PM_{10} ในสถานีตรวจวัดที่มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ประตู่ 5 เช่นเดียวกับ SO_2 ที่ไม่มีทิศทางความสัมพันธ์กับ PM_{10} ในทุกสถานีตรวจวัด

อภิปรายผลการวิจัย

จากการสำรวจค่า AQI ของสารมลพิษทางอากาศ ชนิดต่างๆ ทำให้ทราบว่าบริเวณสถานีตรวจวัดที่มหาวิทยาลัย มหิดลศาลายา ประตู่ 3 มีค่า AQI ของ PM_{10} SO_2 NO_2 และ O_3 สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณสถานีตรวจวัด

อื่นๆ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 66.85 ± 18.89 38.85 ± 24.32 19.87 ± 7.67 และ 32.98 ± 11.29 ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ย AQI ของ CO มีค่าใกล้เคียงกับอีก 2 สถานี ตรวจวัด โดยอยู่ที่ 4.67 ± 1.92 สาเหตุหลักที่ค่า AQI ของสารมลพิษทางอากาศชนิดต่างๆ ในบริเวณพื้นที่ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ประตู่ 3 มีค่าสูงกว่าสถานี ตรวจวัดอื่นที่ทำการศึกษาและในบางช่วงเวลา PM_{10} และ O_3 และ มีค่า AQI สูงเกินกว่า 100 ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพ อาจเป็นเพราะลักษณะทางกายภาพของถนน ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3310 (ถนนพุทธมณฑล สาย 4) ที่ตั้งอยู่ใกล้กับมหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ประตู่ 3 ซึ่ง ถนนในช่วงนี้จะเป็นปลายสายที่มีจุดกลับรถเพื่อจะมุ่งหน้า ไปยังถนนพุทธมณฑล สาย 4 (ทางเข้า) และทางหลวงแผ่นดิน หมายเลข 338 (ถนนบรมราชชนนี) และยังสามารถ เชื่อมต่อกับทางหลวงชนบทนครปฐม 40064 (ถนนศาลายา -นครชัยศรี) จึงทำให้เกิดการสะสมตัวของรถยนต์ใน บริเวณถนนเส้นดังกล่าวเป็นจำนวนมากซึ่งอาจส่งผล โดยตรงต่อการเพิ่มขึ้นกับสารมลพิษทางอากาศชนิดต่างๆ ส่วนบริเวณพื้นที่มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ประตู่ 3 จากรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม (EIA) ของ โครงการก่อสร้างอาคารศูนย์การแพทย์กาญจนาภิเษก ระยะเวลาที่ 2 [22] ได้มีการสำรวจปริมาณรถยนต์บนถนน พุทธมณฑล สาย 4 (ใกล้กับมหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ประตู่ 3) พบว่า ปริมาณการจราจรต่อชั่วโมงมีความหนาแน่น สูงสุดทั้งในขาเข้าและขาออกอยู่ที่ 2 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงเวลาเช้าตั้งแต่เวลา 7:00 น. ถึง 11:00 น. (มีปริมาณ การจราจรต่อชั่วโมงเฉลี่ยอยู่ที่ 3,924 คัน) และ ช่วงเวลาเย็นตั้งแต่เวลา 15:00 น. ถึง 18:00 น. (มีปริมาณการจราจรต่อชั่วโมงเฉลี่ยอยู่ที่ 3,885 คัน) ดังนั้นอาจเป็นไปได้ว่าค่าดัชนีคุณภาพอากาศในส่วนของ



PM₁₀ มีค่าสูงกว่า 100 มาจากปริมาณรถยนต์ที่สะสมบนท้องถนนพุทธมณฑล สาย 4 และจากงานวิจัยของ Lenschow et al. [7]; Abu-Allaban et al. [23] ยังทำให้ทราบว่า PM_{2.5} ส่วนใหญ่มาจากไอเสียรถยนต์ ขณะที่ PM₁₀ ส่วนใหญ่เกิดจากการสึกหรอของยาง และการสึกหรอของเบรกรถยนต์ เป็นต้นนอกจากนี้งานวิจัยของ Ferm and Sjöberg [24] ยังพบว่าในฤดูฝน ปริมาณ PM₁₀ บนท้องถนนจะลดลงมากกว่าในฤดูใบไม้ผลิ เนื่องจากน้ำฝนจะเป็นตัวดูดซับและลดการฟุ้งกระจายของ PM₁₀ บนท้องถนนได้เป็นอย่างดี เช่นเดียวกับ PM₁₀ การจราจรที่หนาแน่นบริเวณมหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ประตู่ 3 ยังส่งผลกระทบต่อ O₃ ซึ่งพบว่าในช่วงเวลา ค่า AQI สูงเกินกว่า 100 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bachtiar et al. [25] ที่พบว่าในพื้นที่ที่การจราจรหนาแน่น จะส่งผลให้ความเข้มข้นของ O₃ สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ (เช่น อุณหภูมิ ความเร็วลม และรังสีดวงอาทิตย์ เป็นต้น) ยังมีผลต่อความเข้มข้นของ O₃ เช่นเดียวกันนอกจากการจราจรที่หนาแน่นบริเวณมหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ประตู่ 3 จะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของ PM₁₀ และ O₃ แล้วยังส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของ SO₂ เช่นเดียวกัน โดยส่วนใหญ่เกิดจากการสันดาปเชื้อเพลิงที่มีกำมะถัน [26] ซึ่งการสูดดม SO₂ เป็นเวลานานอาจทำให้เกิดโรคหลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับระบบหายใจการทำงานของปอด และยังทำให้เกิดการระคายเคืองนัยน์ตาและเยื่อจมูก [27]

จากผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่าง PM₁₀ กับแก๊สมลพิษทางอากาศ ทำให้ทราบว่า PM₁₀ จะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของ CO และ NO₂ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพิ่มขึ้นของ CO จะส่งกระทบโดยตรงต่อการเพิ่มขึ้นของ PM₁₀ และในบางช่วงเวลา

พบค่า AQI ของ PM₁₀ สูงมากกว่า 100 ซึ่งเริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ (ตาม Table1) ทั้งนี้ CO เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ที่ไม่สมบูรณ์และถูกปล่อยออกมาทางท่อไอเสีย CO จะลอยปะปนอยู่ในอากาศเป็นจำนวนมากเมื่อมีการจราจรคับคั่ง และการที่เครื่องยนต์เผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงไม่สมบูรณ์ยังผลิตอนุภาคคาร์บอนเป็นจำนวนมากซึ่งอยู่ในรูปฝุ่นละออง [28] โดยรถยนต์เครื่องดีเซลที่มีการปล่อย CO มากที่สุดคือ รถประจำทาง และรถบรรทุกที่บรรทุกน้ำหนักมากเกินไป ในส่วนของรถยนต์เครื่องเบนซินช่วงที่มีการปล่อย CO มากที่สุดคือ ช่วงที่รถยนต์อยู่ระหว่างเบรเครื่องและจอดติดเครื่องขณะรถติดหรือจอดรอสัญญาณไฟ [28] จากการศึกษาของ Schumacher and van Gerpen [29] ทำให้ทราบว่าไอเสียที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ไบโอดีเซลเพื่อเป็นเชื้อเพลิงมี NO_x ในปริมาณเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับ CO, HC และ PM ที่มีปริมาณใกล้เคียงกันมาก

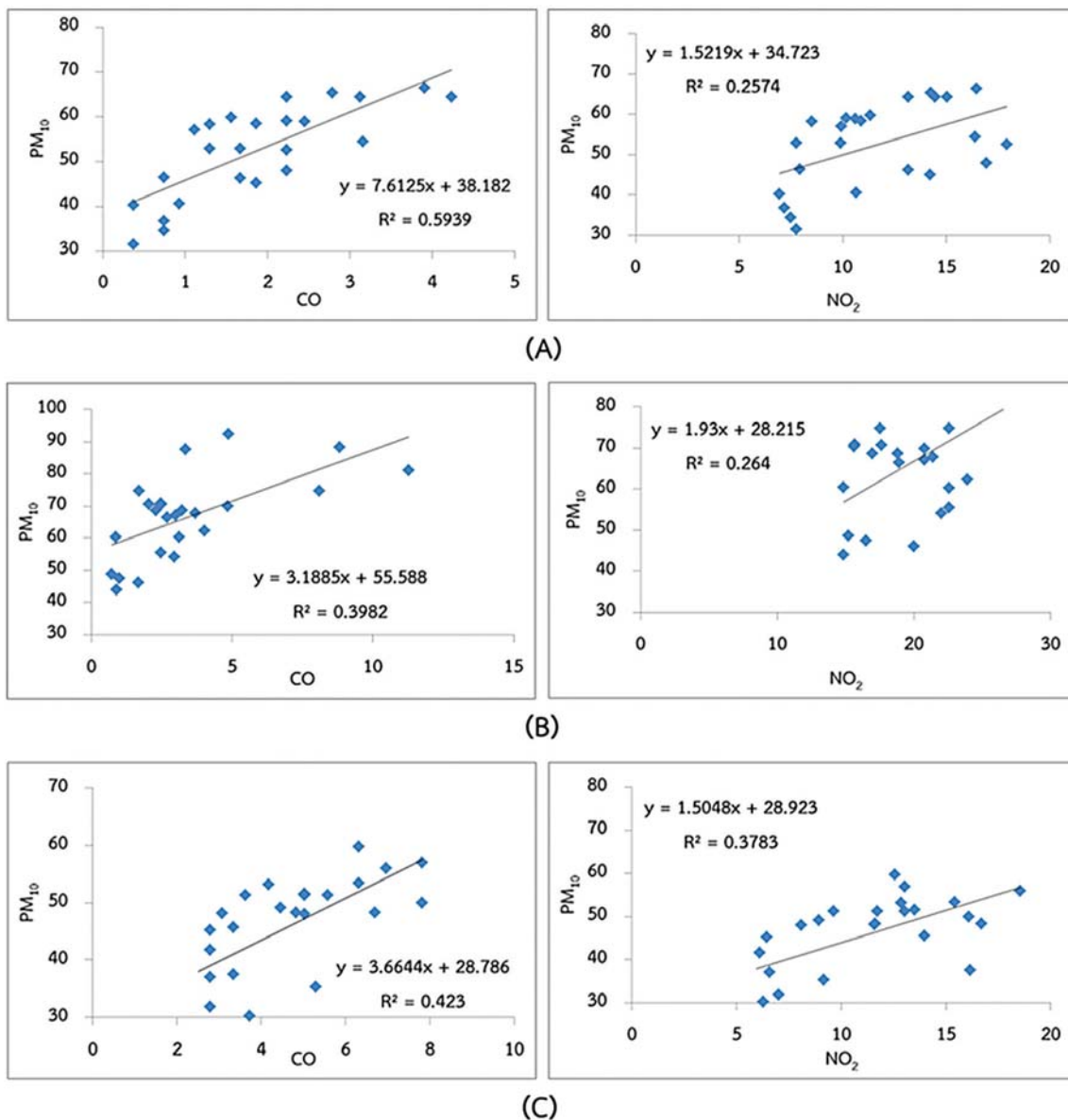
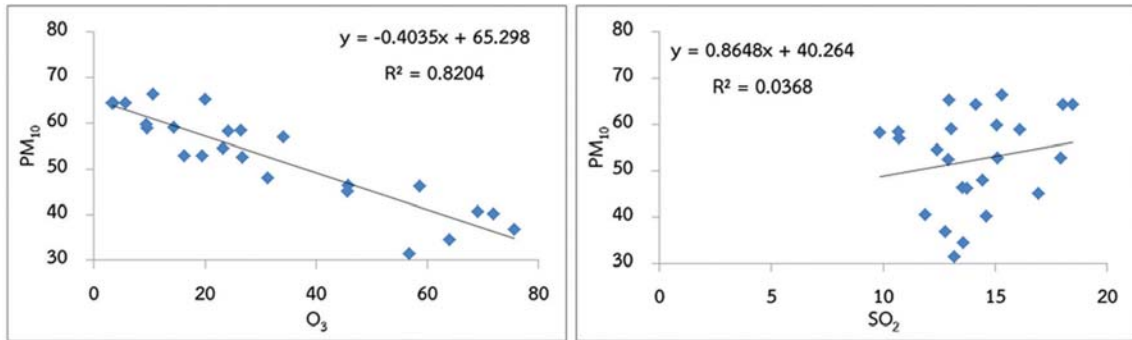
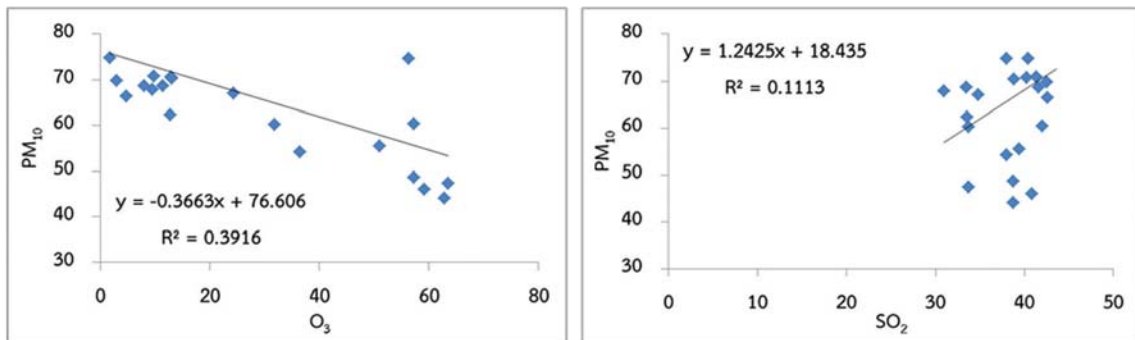


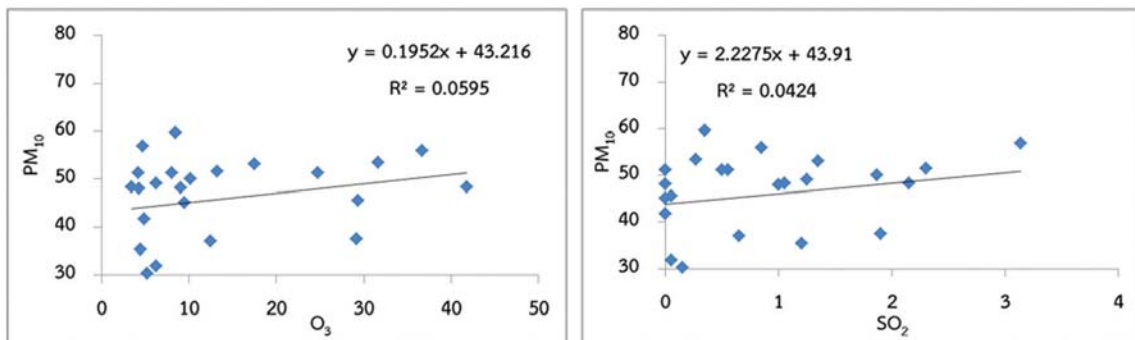
Figure 4. Scatter plot diagram of the relationship between CO and NO₂ with PM₁₀ at the monitoring station; (A) Mahidol University Gate 1 (MS-MU 1), (B) Mahidol University Gate 3 (MS-MU 3), and (C) Mahidol University Gate 5 (MS-MU 5)



(A)



(B)



(C)

Figure 5. Scatter plot diagram of the relationship between O_3 and SO_2 with PM_{10} at the monitoring station; (A) Mahidol University Gate 1 (MS-MU 1), (B) Mahidol University Gate 3 (MS-MU 3), and (C) Mahidol University Gate 5 (MS-MU 5)

นอกจากนี้ Vijayabalan and Nagarajan [30], Kaleemuddin and Rao [31] และ Rao et al. [32] ยังรายงานว่าการปล่อย CO สูงสุดในช่วงเครื่องยนต์เดินรอบต่ำๆ ทั้งนี้ CO ถือเป็นหนึ่งในสารที่อาจก่อโรคมะเร็งหากได้รับสารนี้เข้าไปในร่างกายปริมาณมาก [33] จากการวิจัยของภักพงศ์ [12] เผยให้เห็นว่าความหนาแน่นของรถยนต์ส่วนบุคคลที่วิ่งในเขตเมือง ยกตัวอย่างเช่นกรุงเทพมหานครนั้น ส่งผลให้เกิดมลพิษทางอากาศเข้าขั้นวิกฤติจากการเพิ่มสูงขึ้นของปริมาณ PM₁₀ และแก๊สมลพิษอื่นๆ เช่น CO, NO₂ และ O₃ เป็นต้น ซึ่งสารมลพิษดังกล่าวส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์เมื่อมีการสูดดมเข้าไปในปอด โดยสถิติผู้ป่วยด้วยโรกระบบทางเดินหายใจในกลุ่มโรคต่าง ๆ พบว่ามีจำนวนเพิ่มขึ้นเฉลี่ยในทุกปีร้อยละ 20.98 (นับจาก พ.ศ. 2551 ถึง พ.ศ. 2554) ทั้งนี้ยังเป็นรูปธรรมจากความเจ็บป่วยของโรกระบบทางเดินหายใจมีสัมพันธ์กับมลพิษทางอากาศที่มาจากปัญหาการจราจรหนาแน่นในเขตพื้นที่เมือง อย่างเช่นกรุงเทพมหานคร เป็นต้น [34]

สรุปผลการวิจัย

ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน มีค่าเฉลี่ย AQI สูงสุดอยู่บริเวณพื้นที่มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ประตู 3 โดยพบค่า AQI สูงสุดที่มีผลกระทบต่อสุขภาพ (ค่า AQI สูงเกินกว่า 100) อยู่ในช่วงเวลา 0:00 น. 1:00 น. 2:00 น. 6:00 น. 7:00 น. 8:00 น. 9:00 น. 10:00 น. 11:00 น. 22:00 น. และ 23:00 น. ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 106.52 109.57 101.30 109.13 110.43 123.04 114.78 121.30 105.65 105.22 และ 112.61 ตามลำดับ ส่วน CO SO₂ และ NO₂ ไม่พบว่าเฉลี่ย AQI สูงเกินค่า AQI สูงสุดที่มีผลกระทบต่อสุขภาพ O₃ ที่บริเวณพื้นที่มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ประตู 1 มีค่า AQI ที่มีผลกระทบต่อสุขภาพ ซึ่งอยู่ในช่วงเวลา 12:00 น. 13:00 น. 14:00 น. 15:00 น. และ 16:00 น. โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 118.25 129.90 130.49 133.11 และ 116.70 ตามลำดับ การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า AQI ของ PM₁₀ กับค่า

AQI ของ CO SO₂ NO₂ และ O₃ ทำให้ทราบว่า CO และ NO₂ มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในทิศทางบวกกับ PM₁₀ ในทุกสถานีตรวจวัด ส่วน O₃ มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในทิศทางลบกับ PM₁₀ ในสถานีตรวจวัดที่มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ประตู 1 และ ประตู 3 ในขณะที่ O₃ ไม่มีทิศทางสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับ PM₁₀ ในสถานีตรวจวัดที่มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ประตู 5 เช่นเดียวกัน SO₂ ที่ไม่มีทิศทางสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับ PM₁₀ ในทุกสถานีตรวจวัด

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

ผลจากการวิจัยนี้สามารถถูกนำมาใช้เป็นหนึ่ง ในองค์ประกอบเพื่อใช้ในการจัดการด้านการจราจร ซึ่งจะช่วยลดระดับมลพิษในพื้นที่ได้ นอกจากนี้ยังใช้เป็นข้อมูลเผยแพร่เพื่อให้เกิดการเฝ้าระวังและติดตามปัญหามลพิษอากาศของชุมชนในพื้นที่

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการ EN CSR 4.0 : Air & Water Quality Monitoring Program เพื่อคุณภาพชีวิตของชุมชนโดยรอบมหาวิทยาลัยมหิดล ซึ่งเป็นการเฝ้าระวังและติดตามปัญหามลพิษทางน้ำและอากาศ พร้อมสร้างแนวทางการป้องกันอย่างยั่งยืนด้วยการเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น คณะผู้วิจัยทำจึงขอขอบขอบคุณทุกหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. วิจิตร บุญยะโหดระ. 2538. *ชีวิตและสิ่งแวดล้อม พิมพ์ครั้งที่ 2*. กรุงเทพมหานคร: ธรรมสารการพิมพ์. กรุงเทพมหานคร. 332 น.
2. กรมการขนส่งทางบก รายงานสถิติการขนส่ง ประจำปี 2559. [online] available: <https://bit.ly/2Jct-SoT.2559>.



3. นพภาพร พานิช. 2550. *ตำราระบบบำบัดมลพิษทางอากาศ พิมพ์ครั้งที่ 2*. กรุงเทพมหานคร: กรมโรงงานอุตสาหกรรม.
4. นุชจรีญา อรัญศรี. 2557. พฤติกรรมการขับขีรถยนต์กับปัญหามลพิษทางอากาศ. *วารสารข่าวสารอากาศและเสียง*. 3 (25):1-16.
5. รัชนีกร กระจงกลาง และ กาญจนา นาดะพินธุ. 2555. สถานการณ์คุณภาพอากาศในพื้นที่อำเภอกุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี. *วารสารวิจัย มข. (ฉบับบัณฑิตศึกษา)*. 12(1):80-91.
6. รวีวรรณ ลิ้มพิบูลย์. 2558. *การศึกษาปริมาณฝุ่นละอองรวมและฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในบรรยากาศภายในมหาวิทยาลัยนครสวรรค์ พิษณุโลก*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยนครสวรรค์.
7. Lenschow, P., Abraham, H.J., Kutzner, K., Lutz, M., Preu, J.D. and Reichenbacher, W., 2001. Some ideas about the sources of PM₁₀. *Atmospheric Environment*. 35(1): S23-S33.
8. พิมพ์นันทน์ เอื้ออวยพร, เลิศธรรมไชย รัตนเศรษฐโสภณและวีรานันท์ พงศาภักดี. 2557. ปัจจัยเสี่ยงที่ผลกระทบต่อระดับอันตรายของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์จากรถจักรยานยนต์ภายใต้ตัวแบบลอจิสติก 2 กลุ่ม และ 3 กลุ่ม. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 22(2):207-216.
9. ปริศญารัตน์ สังกะเพศ. 2555. การพิทักษ์ชั้นโอโซนในบรรยากาศ. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข.* 40(2): 436-443.
10. U.S. Environmental Protection Agency. Air Quality Index - A Guide to Air Quality and Your Health. [online] available: <https://bit.ly/1SUWjGV>. 2014.
11. แผนที่เส้นทางภายในมหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา. [online] available: <https://bit.ly/2QNRsfd>. 2557.
12. ภัคพงศ์ พจนารถ. 2559. สถานการณ์ของปัญหามลพิษทางอากาศที่เกิดในเมืองใหญ่ของประเทศไทย: กรณีศึกษากรุงเทพมหานคร เชียงใหม่ และ ระยอง. *วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม*. 12(1): 115-133.
13. ปฏิทินการศึกษามหาวิทยาลัยมหิดล. [online] available: <https://bit.ly/2OH1aP5>. 2560.
14. กรมอุตุนิยมวิทยา. ภูมิอากาศจังหวัดนครปฐม. [online] available: <https://bit.ly/2QOQtWu>. 2560.
15. Teledyne Technologies Incorporated. Operation manual model 602 BETA^{PLUS}, Particle Measurement System. [online] available: <https://bit.ly/2O2Rq4G>. 2012.
16. Teledyne Technologies Incorporated. Operation manual model T100, UV Fluorescence SO₂ Analyze. [online] available: <https://bit.ly/2NCLS1t>. 2018.
17. Teledyne Technologies Incorporated. Operation Manual Model T200, NO/NO₂/NO_x Analyzer. [online] available: <https://bit.ly/2QUtT4j>. 2015.
18. Teledyne Technologies Incorporated. Operation Manual Model T300/T300M, Carbon Monoxide Analyzer. [online] available: <https://bit.ly/2IalGFq>. 2018.
19. Teledyne Technologies Incorporated. Operation manual model T400, Photometric Ozone Analyzer. [online] available: <https://bit.ly/2O4FqzH>. 2016.
20. กรมควบคุมมลพิษ. ดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index: AQI). [online] available: <https://bit.ly/2GvRh1h>. 2560.



21. จุฬาลักษณ์ สมวันดี และมัลลิกา สุกิจปานินิจ. การประเมินความสัมพันธ์ปริมาณฝุ่นละออง (PM_{10}) ที่ได้จากการติดตามตรวจสอบภาคพื้นดินและข้อมูลดาวเทียม MODIS ในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย. ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย [online] available: <https://bit.ly/2GTyv4t>. 2560.
22. คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์. 2561. รายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม (ฉบับสมบูรณ์) โครงการก่อสร้างอาคารศูนย์การแพทย์กาญจนาภิเษก ระยะที่ 2. มหาวิทยาลัยมหิดล.
23. Abu-Allaban, M., Gillies, J.A., Gertler, A.W., Clayton, R. and Proffitt, D., 2003. Tailpipe, resuspended road dust, and brake-wear emission factors from on-road vehicles. *Atmospheric Environment*. 37(37): 5,283-5,293.
24. Ferm, M., & Sjöberg, K. 2015. Concentrations and emission factors for $PM_{2.5}$ and PM_{10} from road traffic in Sweden. *Atmospheric Environment*. 119: 211-219.
25. Bachtiar, V.S., Raharjo, S., Ruslinda, Y., Hayati, F., and Komala, D. R. 2015. Mapping of ozone gas (O_3) concentrations in Padang city. *Procedia Engineering*, 125: 291-297.
26. กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. คลังความรู้ อากาศ : มลพิษทางอากาศ. [online] available: <https://bit.ly/2Lqxm7S>. 2558.
27. สภาวิศวกร. ระบบควบคุมมลพิษทางอากาศ. [online] available: <https://bit.ly/2I9lo0g>. 2560.
28. นัตรชัย สิงห์อุตร และ ทศวรรษ โอสุวรรณกุล. 2556. *เครื่องบำบัดควันพิษในไอเสียรถยนต์*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
29. Schumacher, L.G. and van Gerpen, J.H. 1996. Research needs resulting from experiences of fueling of diesel engines with biodiesel. *Proceedings of the Third Liquid Fuel Conference*, the American Society of Agricultural Engineers (ASAE), USA.
30. Vijayabalan, P. and Nagarajan, G. 2009. Performance, Emission and Combustion of LPG Diesel Dual Fuel Engine using Glow Plug. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*. 3(2): 105-110.
31. Kaleemuddin, S. and Rao, G.A.P. 2009. Development of Dual Fuel Single Cylinder Natural Gas Engine an Analysis and Experimental Investigation for Performance and Emission. *American Journal of Applied Sciences*. 6(5): 929-936.
32. Rao, G.A., Raju, A.V.S., GovindaRajulu, K., and Mohan Rao, C.V. 2010. Performance evaluation of a dual fuel engine (Diesel+ LPG). *Indian Journal of science and Technology*. 3(3): 235-237.
33. ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์, วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล, ชิดาโอะ คานาโอกะ และ จุฑามาศ เกตุทัต. 2549. *มลภาวะอากาศพิมพ์ครั้งที่ 3*. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
34. บัญหาคนกรุง!มลพิษทางอากาศ. [online] available: <https://bit.ly/2LirPAs>. 2555.