บทความวิจัย

การผันแปรเชิงพื้นที่และฤดูกาลของความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศเมืองพัทยา จังหวัดชลบุรี

ศุษิระ บุตรดี* ศศิธร วงศ์ทิม และ นลพรรษ เกิดทวี
สาขาวิชากระบวนการอุตสาหกรรมเคมีและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ พลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง
สุกัญญา พันธุ และ นิสญา เชื้อทอง
สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงานและการจัดการ คณะวิทยาศาสตร์ พลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 3570 4960 อีเมล: susira.b@sciee.kmutnb.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2019.04.005
รับเมื่อ 20 ธันวาคม 2561 แก้ไขเมื่อ 15 กุมภาพันธ์ 2562 ตอบรับเมื่อ 20 กุมภาพันธ์ 2562 เผยแพร่ออนไลน์ 10 เมษายน 2562
© 2019 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

การได้รับก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ ซึ่งแหล่งกำเนิดหลักของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มาจากการจราจรที่หนาแน่น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อนของพื้นที่เขตพาณิชยกรรม เขตที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก เขตที่อยู่อาศัยหนาแน่นน้อย และพื้นที่ตัวแทนค่าพื้นฐานในเมืองพัทยา จังหวัดชลบุรี โดยใช้วิธีการเก็บตัวอย่างด้วยหลอดเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2560 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ. 2561 ทุกๆ 1 สัปดาห์ พบว่า ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในแต่ละพื้นที่อยู่ในช่วง 9.80–41.71, 8.36–29.01, 8.06–21.86 และ 5.14–27.19 ppbv ตามลำดับ โดยพื้นที่เขตพาณิชยกรรมมีค่าสูงที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ซึ่งมีธุรกิจโรงแรม สถานบันเทิง และร้านอาหาร ฯลฯ ทำให้มีการจราจรหนาแน่น นอกจากนี้ ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อนไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มีความสัมพันธ์ตรงกันข้ามกับความเร็วลม (r = –0.498 ถึง –0.625) ขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์โดยตรงสูง (r = 0.422 ถึง 0.600) อย่างไรก็ตาม การผันแปรเชิงพื้นที่และฤดูกาลของความเข้มข้นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์อาจได้รับผลจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การจราจรที่หนาแน่นมากกว่าปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา

คำสำคัญ: ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ การเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ มลพิษทางอากาศ

การอ้างอิงบทความ: ศุษิระ บุตรดี ศศิธร วงศ์ทิม นลพรรษ เกิดทวี สุกัญญา พันธุ และ นิสญา เชื้อทอง, "การผันแปรเชิงพื้นที่และฤดูกาลของความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศเมืองพัทยา จังหวัดชลบุรี," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 29, ฉบับที่ 3, หน้า 481–494, ก.ค.–ก.ย. 2562.

Research Article

Spatial and Temporal Variation of Ambient Nitrogen Dioxide Concentrations in Pattaya City, Chon Buri Province

Susira Bootdee*, Sasithorn Wongtim and Nonlapat Kerdtawee
Industrial Chemical Process and Environment Program, Faculty of Science, Energy and Environment, King Monkut's University of Technology North Bangkok, Rayong Campus, Rayong, Thailand
Suganya Phantu and Nissaya Chuathong
Energy Technology and Management Program, Faculty of Science, Energy and Environment, King Monkut's University of Technology North Bangkok, Rayong Campus, Rayong, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08 3570 4960, E–mail: susira.b@sciee.kmutnb.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2019.04.005
Received 20 December 2018; Revised 15 February 2019; Accepted 20 February 2019; Published online: 10 April 2019
© 2019 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

Breathing in raised levels of nitrogen dioxide (NO_2) concentrations can increase the likelihood of specific health effects. The main source of this kind of pollutant gas is attributed to the traffic-related vehicle emission. This research aims to monitor ambient NO_2 concentrations during the winter and summer seasons in 4 targeted areas including the commercial areas, high density residential areas, low density residential areas and representative background sites of Pattaya city, Chon Buri province. NO_2 samples were collected by the tube-type passive sampling technique, carried out during November 2017 to April 2018, operated at the weekly exposure time. The nitrogen dioxide (NO_2) concentrations within the 4 aforesaid areas were revealed to range from 9.80–41.71, 8.36–29.01, 8.06–21.86 and 5.14–27.19 ppbv, respectively. The NO_2 concentrations within commercial areas were significantly higher than those derived from the counterpart ones (p<0.05). This is in part due to traffic-impacted conditions affected by emerging hotels, businesses, restaurants and entertainment venues. The levels of ambient NO_2 concentrations were not significantly influenced by seasons. In terms of a meteorological parameter, a significantly negative correlation was observed between NO_2 concentrations and wind speed (r = –0.498 to –0.625), while a positive one was uncovered between NO_2 values and relative humidity (r = 0.422 to 0.600). In brief, spatial and temporal variations in atmospheric NO_2 are largely attributable to traffic density parameters rather than the periodic changes of meteorological factors.

Keywords: Nitrogen Dioxide, Passive Sampling, Air Pollution

Please cite this article as: S. Bootdee, S. Wongtim, N. Kerdtawee, S. Phantu, and N. Chuathong, "Spatial and temporal variation of ambient nitrogen dioxide concentrations in Pattaya city, Chon Buri province," *The Journal of KMUTNB*, vol. 29, no. 3, pp. 481–494, Jul.–Sep. 2019 (in Thai).

1. บทนำ

ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เป็นก๊าซในกลุ่มของออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ลักษณะก๊าซเป็นสีน้ำตาลแดงและมีกลิ่นเหม็นฉุน ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่อุณหภูมิสูง โดยมีแหล่งกำเนิดหลักมาจากการจราจร และบางส่วนมาจากโรงงานอุตสาหกรรม อีกทั้งก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ยังเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศ (Air Quality Index) ที่สำคัญ โดยใช้กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในทุกองค์กร และทุกประเทศทั่วโลก เนื่องจากการได้รับก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เข้าสู่ร่างกายอาจมีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ เช่น การทำงานของระบบหัวใจและปอดบกพร่อง (Cardiorespiratory Illness) การกระตุ้นแสดงอาการโรคหอบหืด (Asthma) เพิ่มอัตราการตาย (Mortality) เป็นต้น [1]–[3] โดยค่ามาตรฐานความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ระยะเวลา 1 ปี ที่กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ มีค่าไม่เกิน 30 ppbv (57 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร) องค์กรอนามัยโลก (WHO) กำหนดค่ามาตรฐานไม่เกิน 21 ppbv (40 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร) และองค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา (US.-EPA) กำหนดค่ามาตรฐานไม่เกิน 53 ppbv (100 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร) [4]–[6]

การตรวจวัดหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศนั้น มีวิธีการมาตรฐานที่กำหนดโดยองค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อม สหรัฐอเมริกา ซึ่งผลจากการตรวจวัดต้องมีค่าที่ถูกต้องและแม่นยำ สามารถทำการตรวจวัดได้อย่างต่อเนื่อง เก็บบันทึกข้อมูล ส่งผ่านข้อมูลทางออนไลน์ได้ เช่น Chemiluminescence และ Ultra-violet (UV) Photometry แต่มีข้อจำกัด คือ ต้องใช้เครื่องมือที่มีราคาแพง สามารถติดตั้งได้จำนวนน้อย ซึ่งใช้เป็นเทคนิคอ้างอิง หรือเป็นการเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ (Active Sampling) ที่ต้องใช้ปั๊มในการดูดอากาศ นอกจากนี้ยังมีวิธีการเทียบเท่าที่ยอมรับได้ คือวิธีการตรวจวัดโดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ (Passive Sampler) เพื่อตรวจวัดสารมลพิษอากาศที่อาศัยการไหลอย่างอิสระของอากาศ [7] ซึ่งวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟมีข้อดี คือ สามารถติดตั้งกระจายจุดศึกษาได้ทั่วถึง เนื่องจากการเคลื่อนย้ายง่าย มีน้ำหนักเบา เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ง่าย ไม่ต้องใช้ปั๊มดูดอากาศ ไม่ต้องใช้ไฟฟ้า และมีราคาถูก จึงถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย [8]

ในประเทศเวียดนาม Hien *et al*. [9] ตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์บริเวณทางแยกหลายจุดของเมืองฮานอย โดยใช้วิธีการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ ใช้ระยะเวลาเก็บตัวอย่าง 2 วัน เป็นเวลา 2 เดือน พบว่า มีค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เฉลี่ยตลอดปีประมาณ 9.5–35.0 ppbv Artun *et al*. [10] ติดตามตรวจสอบก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ โดยการใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ ในพื้นที่อุตสาหกรรมของประเทศตุรกี พบว่า ค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในช่วงฤดูหนาว (0.94 ถึง 30.23 ppbv) สูงกว่าช่วงฤดูร้อน (0.67 ถึง 11.36 ppbv) นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาเรื่องการสัมผัสก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ของผู้โดยสารและผู้ขับขี่ยานพาหนะบนท้องถนนจำนวน 6 กลุ่มตัวอย่าง โดยวิธีการแบบแพสซีฟ คือ ผู้ขับรถยนต์ในเมือง ผู้ขับรถโดยสารในเมือง คนเดินเท้าในเมือง ผู้ขับรถยนต์ชานเมือง ผู้ขับรถโดยสารชานเมือง และคนเดินเท้าชานเมือง ตามเส้นทางที่สำคัญๆ ของประเทศโปแลนด์ซึ่งพบว่า ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ของผู้ขับรถยนต์กลางเมืองสูงกว่าผู้ขับรถยนต์ชานเมือง 15% ผู้ขับรถโดยสารในเมืองสูงกว่าผู้ขับรถโดยสารชานเมือง 60% และคนเดินเท้าในเมืองสูงกว่าคนเดินเท้าชานเมือง 80% เมื่อพิจารณาจากผู้ใช้ถนน [11] ดังนั้นจะเห็นได้ว่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มีผลกระทบต่อคุณภาพอากาศในเขตเมืองที่มีการจราจรที่หนาแน่น ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อชีวิตความเป็นอยู่และสุขภาพของประชากรที่อาศัยอยู่ในเขตเมือง

เมืองพัทยา จังหวัดชลบุรี เป็นแหล่งเศรษฐกิจการท่องเที่ยวที่สำคัญของประเทศไทย เนื่องจากมีธรรมชาติทางทะเลและทรายหาดที่สวยงามและใกล้กับกรุงเทพมหานคร โดยเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่นักท่องเที่ยวชาวต่างชาติทั่วโลกรู้จักกันดี ในปี 2018 บริษัทวิจัยตลาดของอังกฤษ หรือ Euromonitor International [12] ได้จัดอันดับ 100 เมืองปลายทางการท่องเที่ยวชั้นนำของโลก (City Destination Ranking 2018) โดยเมืองพัทยาเป็นอันดับที่ 25 ของโลก และ

เป็นอันดับที่ 3 ของประเทศไทย รองจากกรุงเทพมหานคร (อันดับที่ 2 ของโลก) และภูเก็ต (อันดับที่ 11 ของโลก) จากการสำรวจจำนวนนักท่องเที่ยวในเมืองพัทยา ปี 2018 พบว่ามีจำนวนท่องเที่ยวประมาณ 8.6 ล้านคน เพิ่มคนจากปี 2017 ประมาณ 1.2 ล้านคน ด้วยเหตุที่จำนวนนักท่องเที่ยวเพิ่มขึ้นส่งผลให้ในปัจจุบันผลจากการท่องเที่ยวทำให้เมืองพัทยามีการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจการท่องเที่ยว ทำให้มีการดึงดูดนักลงทุนทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติมาลงทุนธุรกิจต่างๆ เช่น ธุรกิจโรงแรม ธุรกิจการท่องเที่ยว ธุรกิจอาหารและเครื่องดื่ม ธุรกิจการคมนาคม เป็นต้น ส่งผลต่อการขยายตัวของเมือง สิ่งแวดล้อม และความเป็นอยู่ของชาวเมืองพัทยา [13] จากรายงานข้อมูลด้านแรงงานพบว่า จังหวัดชลบุรีมีแรงงานชาวต่างชาติระดับแรงงานคุณภาพหรือแรงงานส่งเสริมการลงทุน (มาตรา 62) ได้รับใบอนุญาตการเข้าทำงานในประเทศ ประมาณ 3,695 คน เป็นรองกรุงเทพมหานคร เมื่อรวมแรงงานต่างชาติตามมาตรา 59 และ 63 มีจำนวนประมาณ 103,696 คน (ข้อมูลเมื่อ ตุลาคม 2561) [14] นอกจากนี้ เมืองพัทยา จังหวัดชลบุรี ยังเป็นเมืองที่อยู่ภายใต้แผนการพัฒนาพื้นที่ระเบียงเศรษฐกิจพิเศษ (Eastern Economic Corridor; EEC) ที่มุ่งเน้นพัฒนาเศรษฐกิจการท่องเที่ยวและการลงทุนโลจิสติกส์ ฉะนั้นจะเห็นได้ว่าเมืองพัทยามีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและการพัฒนาอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของเมืองพัทยาตามมาด้วย

ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามตรวจสอบความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศซึ่งเป็นผลมาจากการจราจรในเมืองพัทยา จังหวัดชลบุรี โดยมีการศึกษาช่วงฤดูกาลและปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ รวมถึงการเปรียบเทียบความแตกต่างของวิธีการเก็บตัวอย่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ระหว่างการเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟและแบบแพสซีฟ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดการและรับมือกับมลพิษทางอากาศที่จะตามมากับการพัฒนาเศรษฐกิจการท่องเที่ยวในอนาคตและเพื่อเป็นแนวทางจัดการให้เมืองพัทยาเป็นเมืองท่องเที่ยวที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมต่อไป

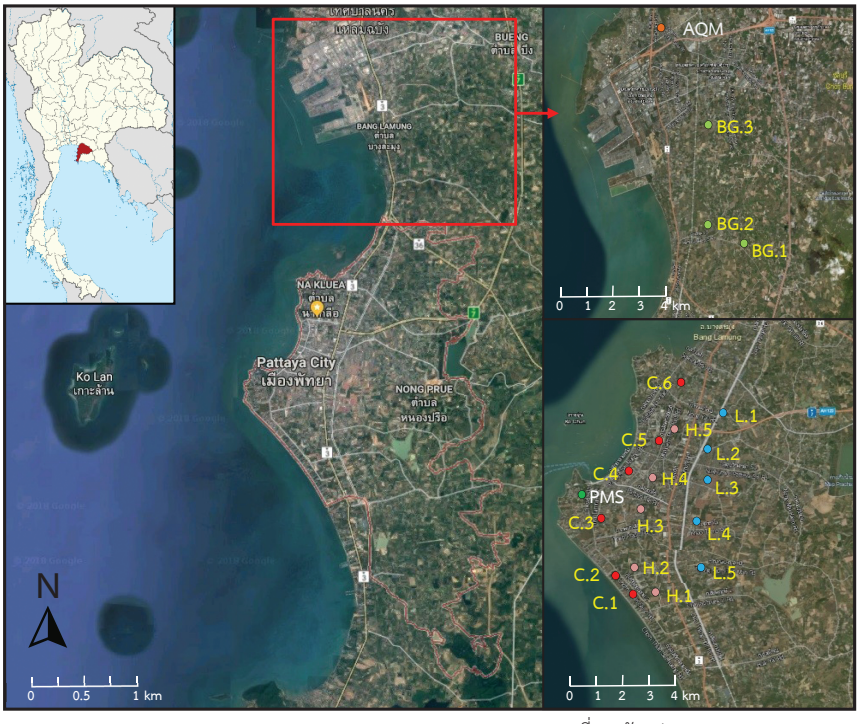
2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1. การเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ใช้หลอดเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ หรือหลอดแพสซีฟแซมเปลอร์ ที่พัฒนามาจากห้องปฏิบัติการวิจัยเคมีสิ่งแวดล้อม (Environmental Chemistry Research Laboratory; ECRL) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ [15] โดยภายในหลอดบรรจุกระดาษกรองแบบใยแก้ว (GF/A) ใน 1 ชุดเก็บตัวอย่างประกอบด้วย หลอดเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟจำนวน 8 หลอด ใช้เก็บตัวอย่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (Samples) จำนวน 5 หลอด และหลอดเปรียบเทียบ (Blank) จำนวน 3 หลอด โดยเมื่อนำมาคำนวณหาค่าผลต่างเฉลี่ยของหลอดเก็บตัวอย่าง (N_S = 5) และหลอดเปรียบเทียบ (N_B = 3) จะได้ค่าที่เป็นตัวแทนของปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ 1 ตัวอย่าง

การเตรียมหลอดเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟจะนำหลอดเก็บตัวอย่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มาหยด 20%v/v สารไตรเอทาโนลามีน (Triethanolamine; TEA) ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ลงบนกระดาษกรอง จากนั้นนำหลอดเก็บตัวอย่างที่เตรียมไว้ไปยึดติดไว้กับกล่องวางตัวอย่าง (Shelter) เพื่อลดผลกระทบจากสภาวะอุตุนิยมวิทยา เช่น ลม แสงแดด และฝน แล้วนำไปแขวนที่จุดเก็บตัวอย่างให้สูงจากพื้นดินประมาณ 1.5–2.0 เมตร โดยทำการเก็บตัวอย่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์แบบต่อเนื่องเป็นเวลา 1 สัปดาห์ (7 วัน)

หลังจากเก็บตัวอย่างเสร็จ นำมาทำการสกัดตัวอย่างด้วยน้ำปราศจากไอออน (DI) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสาร (Vortex) และตั้งทิ้งไว้ 15 นาที หลังจากนั้นดูดสารละลายปริมาตร 1 มิลลิลิตร มากรองผ่านตัวกรองเซลลูโลสอะซิเตท ขนาด 0.45 ไมโครเมตร (Syringe Filter) แล้วเติมสารละลายซอลท์ซมันน์รีเอเจนท์ (Saltzmann Reagent) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสาร ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที เพื่อทำให้เกิดสีชมพูอมม่วง เพื่อนำไปตรวจวัดหาปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยการวัดปริมาณไนไตรท์ไอออน (NO_2^-) ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร



ที่มา: ดัดแปลงมาจาก Google map

รูปที่ 1 แผนที่จุดเก็บตัวอย่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศโดยรอบ เมืองพัทยา จังหวัดชลบุรี

2.2 จุดเก็บตัวอย่างและช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง

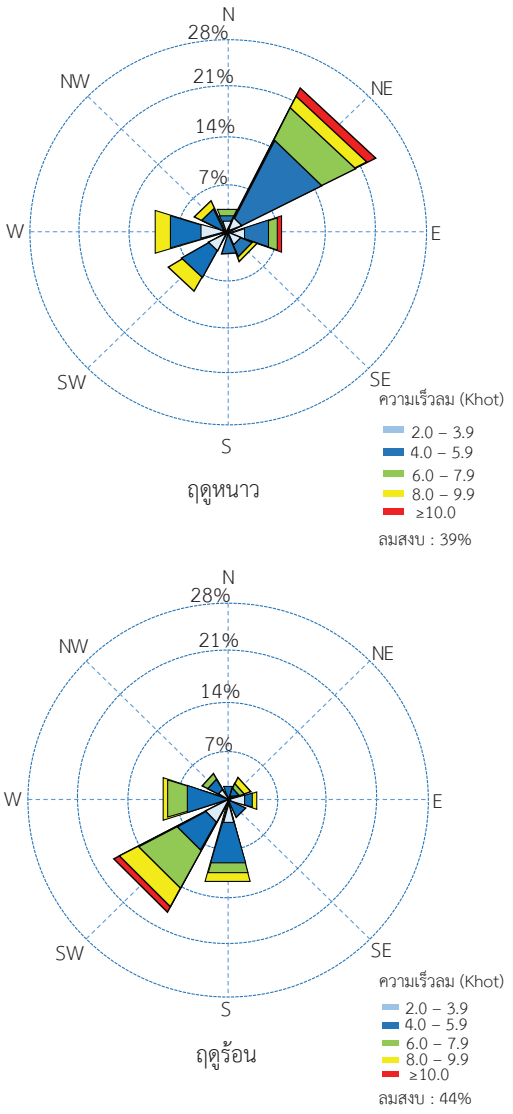
ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในพื้นที่เมืองพัทยา จังหวัดชลบุรี จำนวนทั้งหมด 19 จุด โดยแบ่งพื้นที่เก็บตัวอย่างตามแผนผังกำหนดการใช้ประโยชน์ที่ดินตามผังเมืองรวมเมืองพัทยา จังหวัดชลบุรี พ.ศ. 2558 [16] ได้แก่ พื้นที่เขตพาณิชยกรรม (Commercial Area; C) จำนวน 6 จุด พื้นที่เขตที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก (High Density Residential Area; H) จำนวน 5 จุด พื้นที่เขตที่อยู่อาศัยหนาแน่นน้อยมาก (Low Density Residential Area; L) จำนวน 5 จุด และพื้นที่ตัวแทนค่าพื้นฐาน (Background Sites; BG) จำนวน 3 จุด รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1 และรูปที่ 1

ทำการเก็บตัวอย่างเป็นระยะเวลา 6 เดือน และเก็บตัวอย่างต่อเนื่องทุกๆ 1 สัปดาห์ ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2560–เมษายน พ.ศ. 2561 แบ่งเป็นช่วงฤดูหนาว (พฤศจิกายน พ.ศ. 2560–กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561) และช่วง

ตารางที่ 1 จุดเก็บตัวอย่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ โดยวิธีการเก็บแบบแพสซีฟ

พื้นที่เก็บตัวอย่าง	จุดเก็บตัวอย่าง	ลักษณะจุดเก็บตัวอย่าง
ที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก (N = 5)	H1 – H5	เป็นชุมชน ธุรกิจหมู่บ้านจัดสรร ธุรกิจห้องเช่า มีอะพาร์ตเมนต์และคอนโดมิเนียม มีตลาด และโรงเรียน
พาณิชยกรรม (N = 6)	C1 – C6	พื้นที่ติดชายหาด มีธุรกิจโรงแรม รีสอร์ท ร้านอาหาร สถานบันเทิง ห้องเช่า อะพาร์ตเมนต์ คอนโดมิเนียม และธุรกิจนำเที่ยว
ที่อยู่อาศัยหนาแน่นน้อย (N = 5)	L1 – L5	เป็นหมู่บ้าน ธุรกิจหมู่บ้านจัดสรร มีพื้นที่รกร้างและไม่ได้ใช้ประโยชน์
พื้นที่ตัวแทนค่าพื้นฐาน (N = 3)	BG1 – BG3	พื้นที่ทางการเกษตรและสวนผลไม้ มีชุมชนหรือหมู่บ้านปลูกห่างๆ กัน

N คือ จำนวนจุดเก็บตัวอย่างแต่ละพื้นที่



รูปที่ 2 ผังลม (Wind Rose) แสดงทิศทางลมที่พัดผ่านเมืองพัทยา จังหวัดชลบุรี ในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน

ฤดูร้อน (มีนาคม–เมษายน พ.ศ. 2561) ตามประกาศของกรมอุตุนิยมวิทยา โดยช่วงฤดูหนาวจะมีลมตะวันออกเฉียงเหนือและในช่วงฤดูร้อนมีลมตะวันตกเฉียงใต้พัดผ่านเมืองพัทยา ดังแสดงในรูปที่ 2

ส่วนการศึกษาปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศของเมืองพัทยา โดยมีปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่ศึกษา ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน ความเร็วลม ทิศทางลม อุณหภูมิอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ ซึ่งได้รับข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยาพัทยา (Pattaya Meteorological Station; PMS)

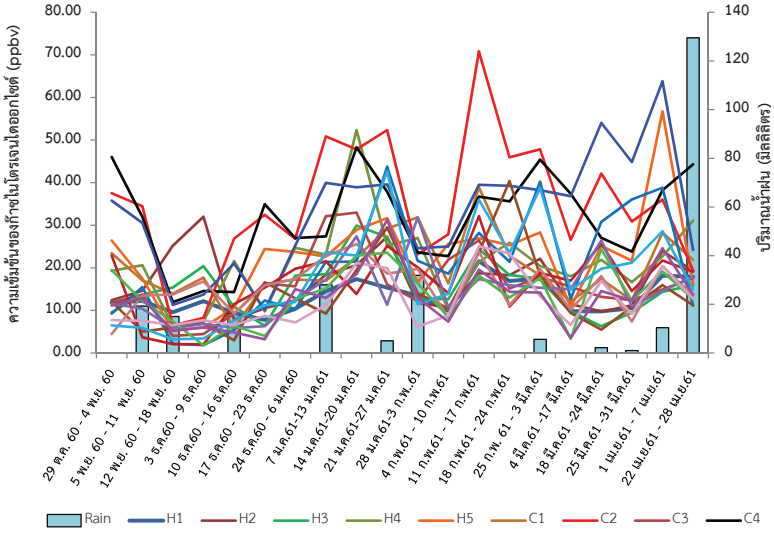
นอกจากนี้ มีการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยใช้วิธีการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ (Passive Sampling) นำไปเปรียบเทียบค่าจากเครื่องวิเคราะห์แบบอัตโนมัติหรือวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ (Active Sampling) ซึ่งใช้เทคนิคการตรวจวัดแบบ Chemiluminesscence ของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ (Air Quality Monitoring Station; AQM) ของกรมควบคุมมลพิษ (Pollution Control Department; PCD) ซึ่งทั้งสองวิธีของการเก็บตัวอย่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ได้ติดตั้งอยู่ที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ตำบลทุ่งสุขลา อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี (32t) ดังแสดงรูปที่ 1

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในเชิงพื้นที่เมืองพัทยา

ผลค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศของพื้นที่เขตที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก (H) เขตพาณิชยกรรม (C) เขตที่อยู่อาศัยหนาแน่นน้อย (L) และพื้นที่ตัวแทนค่าพื้นฐาน (BG) ของเมืองพัทยา จังหวัดชลบุรี และข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ค่าเฉลี่ยความเร็วลม ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ค่าผลรวมปริมาณน้ำฝน และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศ แสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศรายสัปดาห์ของแต่ละจุดเก็บตัวอย่างและปริมาณน้ำฝน

จากการตรวจวัดค่าเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์พบว่า พื้นที่เขตที่อยู่อาศัยหนาแน่นมากมีค่าอยู่ในช่วง 8.46–29.01 ppbv พื้นที่เขตพาณิชยกรรมมีค่าอยู่ในช่วง 9.80–41.71 ppbv พื้นที่เขตที่อยู่อาศัยหนาแน่นน้อยมีค่าอยู่ในช่วง 8.06–21.86 ppbv และพื้นที่ค่าตัวแทนพื้นฐานมีค่าอยู่ในช่วง 5.14–27.19 ppbv



รูปที่ 3 การเปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์รายสัปดาห์แต่ละจุดเก็บตัวอย่างและปริมาณน้ำฝน

ตารางที่ 2 ค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์และข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2560 ถึงเดือนเมษายน 2561 ในแต่ละพื้นที่ของเมืองพัทยา จังหวัดชลบุรี

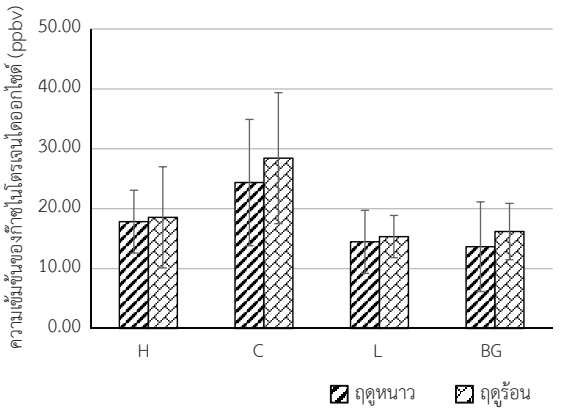
จุดเก็บตัวอย่าง		ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (ppbv±SD)					
		พ.ย.-60 n=3	ธ.ค.-60 n=4	ม.ค.-61 n=4	ก.พ.-61 n=4	มี.ค.-61 n=3	เม.ย.-61 n=2
ที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก[B] N = 5	ค่าสูงสุด	17.40	16.19	31.93	26.55	19.18	36.39
	ค่าต่ำสุด	11.21	9.93	15.18	16.47	8.53	15.15
	ค่าเฉลี่ย (±SD)	14.66±2.56[c]	14.33±2.61[c]	22.74±6.27[c]	19.63±4.02[c]	13.48±5.12[a]	23.61±8.38[b]
พาณิชยกรรม[A] N = 6	ค่าสูงสุด	29.99	23.58	43.54	48.11	45.22	44.04
	ค่าต่ำสุด	8.95	7.47	23.34	20.35	13.71	16.29
	ค่าเฉลี่ย (±SD)	19.83±8.95[a]	16.15±6.35[a]	31.52±7.72[a]	31.71±10.0[a]	27.00±12.0[a]	29.89±10.6[a]
ที่อยู่อาศัยหนาแน่นน้อย[B] N = 5	ค่าสูงสุด	13.03	14.85	21.93	23.13	19.07	20.40
	ค่าต่ำสุด	7.69	6.23	18.07	14.32	8.57	13.57
	ค่าเฉลี่ย (±SD)	10.03±1.97[a]	10.19±3.42[a]	20.26±1.60[b]	17.40±3.67[b]	14.07±4.25[c]	16.61±2.47[b]
พื้นที่ตัวแทนค่าพื้นฐาน[C] N = 3	ค่าสูงสุด	9.74	8.56	25.17	28.03	18.61	21.77
	ค่าต่ำสุด	5.20	7.25	14.63	13.87	10.16	16.56
	ค่าเฉลี่ย (±SD)	7.41±2.27[a]	7.79±0.69[a]	19.57±5.30[b]	19.86±7.33[b]	13.22±4.69[c]	19.17±2.60[b]
ปริมาณน้ำฝนรวม (มม.)		34.3	16.2	64.9	5.6	3.2	139.9
ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ (%)		77.43±10.03	71.05±10.31	81.66±5.92	78.32±6.44	80.74±1.01	83.45±1.14
ค่าเฉลี่ยความเร็วลม (Knots)		3.03±1.07	3.54±1.61	2.24±0.68	2.47±0.33	2.60±0.30	2.94±1.00
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศ (°C)		28.4±1.4	27.9±2.3	28.1±0.8	29.1±1.1	30.5±0.4	30.3±0.6

หมายเหตุ: [A, B, C] แสดงค่าการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแต่ละพื้นที่ของเมืองพัทยามีค่านัยสำคัญที่ $p<0.05$
[a, b, c] แสดงค่าการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแต่ละเดือนมีค่านัยสำคัญที่ $p<0.05$
ppbv คือ หนึ่งในพันล้านส่วนของปริมาตรอากาศ และ SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
N คือ จำนวนจุดเก็บตัวอย่างแต่ละพื้นที่
n คือ จำนวนสัปดาห์ที่ทำการเก็บตัวอย่างของแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง

เมื่อนำความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในแต่ละพื้นที่มาทดสอบสถิติด้วยวิธี One-way ANOVA ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ (Normality Distribution) เมื่อมีการแปลงข้อมูลเป็นรากที่สอง (Square Root) พบว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยพื้นที่เขตพาณิชยกรรมมีค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์สูงที่สุด (9.80–41.71 ppbv) ส่วนพื้นที่เขตที่อยู่อาศัยหนาแน่นมากและเขตที่อยู่อาศัยหนาแน่นน้อยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม ค่าเฉลี่ยของความเข้มของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในพื้นที่เขตที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก (8.36–29.01 ppbv) ก็มีค่ามากกว่าพื้นที่เขตที่อยู่อาศัยหนาแน่นน้อย (8.06–21.86 ppbv) และพื้นที่ตัวแทนค่าพื้นฐานมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ต่ำที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกพื้นที่

เมื่อนำค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในพื้นที่เมืองพัทยามาเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ของโศภิษฐพรและรุ่งเรือง [19] ได้ศึกษาค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในพื้นที่แยกจราจร พื้นที่เขตชุมชน และพื้นที่ตัวแทนค่าพื้นฐาน ในเขตเมืองจังหวัดลำปาง โดยใช้วิธีการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟ เป็นเวลา 1 สัปดาห์ พบว่ามีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ของพื้นที่เขตชุมชน (7.4–9.1 ppbv) มีค่าน้อยกว่าพื้นที่เขตที่อยู่อาศัยหนาแน่นมากและที่อยู่อาศัยหนาแน่นน้อยของเมืองพัทยา ส่วนพื้นที่แยกจราจร (25.6–36.2 ppbv) ในจังหวัดลำปางมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ใกล้เคียงกับพื้นที่เขตพาณิชยกรรมของเมืองพัทยา แต่มีค่าสูงกว่าพื้นที่เขตเมืองเชียงใหม่ประมาณ 1–2 เท่า (6.0–30.6 ppbv) [15] นอกจากนั้นค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในพื้นที่ตัวแทนค่าพื้นฐานของเมืองพัทยาสูงกว่าของจังหวัดลำปาง (6.4 ppbv)

Alejo *et al*. [20] ทำการติดตามความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในพื้นที่ธุรกิจ (Business Center) ของเมือง Northern Santa Clara ประเทศสาธารณรัฐคิวบา



รูปที่ 4 ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในแต่ละพื้นที่ของเมืองพัทยา H คือ ที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก C คือ พื้นที่พาณิชยกรรม L คือ ที่อยู่อาศัยหนาแน่นน้อย BG คือ พื้นที่ตัวแทนค่าพื้นฐาน

โดยใช้วิธีการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟพบว่า ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ มีค่าอยู่ในช่วง 0.6–9.6 ppbv (1.1–18 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร) ซึ่งมีค่าน้อยกว่าประมาณเกือบ 4 เท่าของพื้นที่เขตพาณิชยกรรมของเมืองพัทยา (9.80–41.71 ppbv)

3.2 ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาว

จากรูปที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในพื้นที่เขตที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก พื้นที่เขตพาณิชยกรรม พื้นที่เขตที่อยู่อาศัยหนาแน่นน้อย และพื้นที่ตัวแทนค่าพื้นฐานของเมืองพัทยา ในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน ซึ่งผลการตรวจวัดพบว่า ในช่วงฤดูหนาวมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในพื้นที่เขตที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก พื้นที่เขตพาณิชยกรรม พื้นที่เขตที่อยู่อาศัยหนาแน่นน้อย และพื้นที่ตัวแทนค่าพื้นฐาน เท่ากับ 17.84±5.25, 24.37±10.6, 14.47±5.27 และ 13.65±7.48 ppbv ตามลำดับ ส่วนช่วงฤดูร้อนพบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มีค่า 18.55±8.45, 28.44±10.9, 15.34±3.54 และ 16.19±4.70 ppbv ตามลำดับ จากงานศึกษาวิจัยก่อนหน้า

ของ โศภิษฐพร และ รุ่งเรือง [19] ได้มีการศึกษาค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในพื้นที่ชุมชนและพื้นที่ตัวแทนค่าพื้นฐานของจังหวัดลำปางพบว่า ในช่วงฤดูร้อน (9.9–13.4 และ 8.2–14.7 ppbv) มีค่าสูงกว่าในช่วงฤดูหนาว (7.9–11.5 และ 2.0–6.4 ppbv) เช่นกัน

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2560 ถึงเดือนเมษายน 2561 ในแต่ละพื้นที่พบว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ของพื้นที่เขตพาณิชยกรรมไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) แต่ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในพื้นที่เขตที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก เขตที่อยู่อาศัยหนาแน่นน้อย และพื้นที่ตัวแทนค่าพื้นฐานในช่วงเดือนมีนาคมถึงเมษายนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) (ตารางที่ 2)

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ระหว่างในช่วงฤดูร้อนและในช่วงฤดูหนาว พบว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อนไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) แต่อย่างไรก็ตาม ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในช่วงฤดูร้อนมีค่าสูงกว่าในช่วงฤดูหนาวของทุกพื้นที่การศึกษา อาจเนื่องมาจากเมืองพัทยาเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่มีชื่อเสียงสำหรับชาวไทยและชาวต่างชาติ ในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม–เมษายน) เป็นฤดูกาลท่องเที่ยว (High Season) ของประเทศไทย ทำให้พื้นที่เขตพาณิชยกรรม ที่ประกอบด้วยธุรกิจโรงแรมและที่พัก สถานบันเทิง และร้านอาหาร มีนักท่องเที่ยวจำนวนมากตลอดทั้งกลางวันและกลางคืน โดยส่งผลต่อการจราจรที่อาจจะหนาแน่นขึ้น [9], [17], [18] ซึ่งเป็นสาเหตุหลักทำให้ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในช่วงฤดูร้อนสูงกว่าในช่วงฤดูหนาว อย่างไรก็ตาม ผลงานวิจัยนี้มีทิศทางตรงกันข้ามกับผลงานวิจัยอื่นๆ [20]–[22] โดยรายงานค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในช่วงฤดูหนาวมีค่าสูงกว่าในช่วงฤดูร้อน ซึ่งมีสาเหตุมาจากการใช้ชีวมวล เชื้อเพลิงฟอสซิล และก๊าซธรรมชาติ เพื่อให้ความอบอุ่นในช่วงฤดูหนาวร่วมกับการจราจร

3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์กับปัจจัยอุตุนิยมวิทยา ประกอบด้วย ปริมาณน้ำฝน ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และอุณหภูมิ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation) ซึ่งเป็นตัววัดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่สองตัวขึ้นไปว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่และมากน้อยเพียงใด การแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลสองชุด ซึ่งหาได้ในรูปสมการกำลังหนึ่งที่แสดงถึงความเป็นเส้นตรงและตัวบ่งชี้ถึงความสัมพันธ์นี้คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient; r) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง –1.000 ถึง +1.000 ถ้าค่าเข้าใกล้ –1.000 หมายความว่า ตัวแปรสองตัวมีความสัมพันธ์กันในเชิงผกผันอย่างมาก ถ้าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เข้าใกล้ +1.000 หมายความว่าตัวแปรสองตัวมีความสัมพันธ์กันแบบแปรผันตรงอย่างมาก และถ้าค่าเป็น 0 หมายความว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน [23] แต่ถ้าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ที่อยู่ในช่วง 0.500–1.000 หมายความว่า ตัวแปรสองตัวมีความสัมพันธ์กันสูง ส่วนตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันปานกลางมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในช่วง 0.300–0.499 และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในช่วง 0.000–0.299 หมายความว่า ตัวแปรสองตัวมีความสัมพันธ์กันน้อย [24]

เมื่อนำค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในแต่ละพื้นที่ของเมืองพัทยา จังหวัดชลบุรี นำมาหาความสัมพันธ์ทางสถิติกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ปริมาณน้ำฝน และอุณหภูมิอากาศ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson Correlation) ดังแสดงผลในตารางที่ 3 พบว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์กับความเร็วลมในทุกพื้นที่ของเมืองพัทยามีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นพื้นที่เขตที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก ซึ่งมีความสัมพันธ์กันในเชิงผกผันหรือทางตรงกันข้าม และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ปานกลางถึงสูง (–0.498 ถึง –0.625) Elminir *et al*. [25] ได้รายงานผลการวิจัยว่า สารมลพิษอากาศที่มีความสัมพันธ์กับการจราจร เช่น ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ จะมีความเข้มข้นสูงขึ้นเมื่อความเร็วลมลดลง และมีอีกสาเหตุหนึ่งคือลมในช่วงเวลากลางคืนจะสงบกว่าช่วงเวลากลางวัน ทำให้สภาพบรรยากาศในช่วงเวลากลางคืนเสถียรมากกว่าช่วงกลางวัน ซึ่งมีผลยับยั้งการสะสมของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ในบรรยากาศและทำให้สารมลพิษลอยสูงขึ้นถึง 25 เมตร

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในแต่ละพื้นที่ของเมืองพัทยากับข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา

พื้นที่ของเมืองพัทยา	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (*r*)			
	ความเร็วลม	ความชื้นสัมพัทธ์	ปริมาณน้ำฝน	อุณหภูมิ
พื้นที่เขตที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก	–0.314	0.422*	0.501**	0.067
พื้นที่เขตพาณิชยกรรม	–0.498**	0.468**	0.187	0.258
พื้นที่เขตที่อยู่อาศัยหนาแน่นน้อย	–0.679**	0.573**	0.296	0.161
พื้นที่ตัวแทนค่าพื้นฐาน	–0.625**	0.600**	0.355	0.097

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)
*Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์กับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศทุกพื้นที่ของเมืองพัทยา มีความสัมพันธ์แปรผันตรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติซึ่งพบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ปานกลางถึงสูง (0.422–0.600) อาจเป็นผลมาจากการที่ความชื้นในอากาศที่สูงจะดูดซับความร้อนจากแสง ทำให้อุณหภูมิใกล้พื้นผิวโลกลดลง และทำให้ชั้นบรรยากาศที่อยู่ใกล้ผิวโลกเย็นกว่าชั้นบรรยากาศข้างบน และมีผลให้สารมลพิษอากาศไม่สามารถลอยสูงขึ้น เป็นผลให้สารมลพิษเพิ่มสูงขึ้นด้วย นอกจากนี้การที่ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูงมีผลต่อการบดบังแสงที่จะส่องลงมาพื้นผิวโลก เนื่องจากก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์สามารถสลายตัวด้วยแสงหรือเรียกว่าปฏิกิริยาโฟโตเคมิคอล (Photochemical Reaction) กลายเป็นก๊าซโอโซน (O_3) ดังสมการที่ (1)–(2) อีกทั้งเมืองพัทยาติดชายฝั่งทะเลอ่าวไทย อาจทำให้มีการระเหยของไอน้ำสูง ทำให้ในอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้นด้วย [26]

$$NO_2 + hv \rightarrow NO + O^{\bullet} \quad (1)$$

$$O^{\bullet} + O_2 \rightarrow O_3 \quad (2)$$

เมื่อเปรียบเทียบผลการวิจัยกับ Ahmad *et al.* [17] ที่ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์กับความเร็วลมและความชื้นสัมพัทธ์ในเขตเมืองของประเทศปากีสถานพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์กับความเร็วลมเป็นเชิงผกผัน มีค่าสัมประสิทธิ์สหพันธ์สูง (–0.950) และความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์กับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเป็นแบบแปรผันตรง มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.945 ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผลการวิจัยในครั้งนี้

ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์กับปริมาณน้ำฝนพบว่า มีความสัมพันธ์แปรผันตรงทุกพื้นที่ของเมืองพัทยา มีเพียงพื้นที่เขตที่อยู่อาศัยหนาแน่นมากที่มีความสัมพันธ์แปรผันตรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง (0.501) แต่มีผลการศึกษาหลายงานวิจัยก่อนหน้า [17]–[19] ที่ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์กับปริมาณน้ำฝนพบว่า มีความสัมพันธ์เชิงผกผัน เนื่องจากน้ำฝนจะช่วยชะก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศลงมา และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับน้ำกลายเป็นกรดไนตริก ดังสมการที่ (3)

$$2NO_2 + H_2O \rightarrow HNO_3 + HNO_2 \quad (3)$$

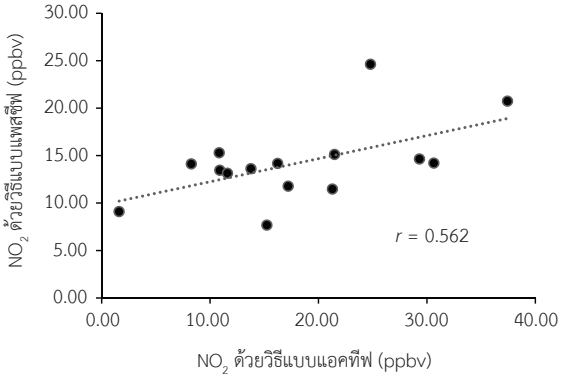
อย่างไรก็ตาม ผลการวิจัยครั้งนี้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์กับปริมาณน้ำฝน มีความสัมพันธ์แปรผันตรง ซึ่งไม่เป็นไปตามทฤษฎี อาจมีสาเหตุมาจากสถานีอุตุนิยมวิทยาพัทยาที่ทำการ

ตรวจวัดปริมาณน้ำฝนอยู่บนภูเขาที่ติดชายฝั่ง และยังห่างจากพื้นที่เก็บตัวอย่างค่อนข้างมาก จึงส่งผลให้ค่าที่เกิดขึ้นมีความผิดพลาด หากพิจารณาผลการศึกษาจากรูปที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศรายสัปดาห์ของแต่ละจุดเก็บตัวอย่างและปริมาณน้ำฝน พบว่า ในช่วงสัปดาห์ที่มีปริมาณน้ำฝนน้อย ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์จะมีค่าสูง และจะมีค่าลดลงเมื่อมีปริมาณน้ำฝนสูงขึ้น ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์กับอุณหภูมิอากาศไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากรูปที่ 2 แสดงผังลมของทิศทางลมที่พัดผ่านเมืองพัทยา จังหวัดชลบุรี ในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อนพบว่า อาจจะไม่มีผลต่อปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในพื้นที่ศึกษาต่างๆ ดังนั้น ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาอาจมีผลต่อปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์น้อยกว่ากิจกรรมของมนุษย์ในพื้นที่ โดยเฉพาะปริมาณการจราจร

3.4 การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ระหว่างการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟกับสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ กรมควบคุมมลพิษ (การเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ)

งานวิจัยนี้ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยวิธีแบบแพสซีฟ และนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ตรวจวัดจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ (AQM) ซึ่งเป็นการเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ โดยนำค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ตรวจวัดได้ทั้งสองวิธีมาทดสอบความแตกต่างทางสถิติด้วยวิธี Paired T-Test พบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์จากทั้งสองวิธีไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

นอกจากนั้น ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์จากวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟและแบบแอคทีฟมีความสัมพันธ์แปรผันตรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีค่าสัมประสิทธิ์สัมพันธ์สูง (0.562) ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์จากการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟและแบบแอคทีฟ

Bootdee *et al*. [15] ได้รายงานการเก็บตัวอย่างความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยวิธีแบบแพสซีฟกับสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่พบว่ามีความสัมพันธ์แปรผันตรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงเท่ากับ 0.924 และผลของงานวิจัยครั้งนี้มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้อยกว่ารายงานผลการวิจัยของโศภิษฐพร และ รุ่งเรือง [19] ได้ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยวิธีแบบแพสซีฟกับสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในพื้นที่จังหวัดลำปาง ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.762 และ 0.776 อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์ของการเก็บตัวอย่างความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยวิธีแบบแพสซีฟกับวิธีแบบแอคทีฟมีความสัมพันธ์แปรผันตรงสูง ซึ่งสามารถใช้วิธีการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศได้ และมีข้อดีที่สามารถใช้ได้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาได้มากกว่าวิธีการเก็บแบบแอคทีฟ

4. สรุป

เมืองพัทยา จังหวัดชลบุรี เป็นแหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติทางทะเลที่มีชื่อเสียงและสำคัญของประเทศไทย เป็นที่รู้จัก

ของนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างประเทศ ปัจจุบันเมืองพัทยากำลังจะได้รับการส่งเสริมและพัฒนาเป็นแหล่งท่องเที่ยวภายใต้แผนการพัฒนาพื้นที่ระเบียงเศรษฐกิจพิเศษ (EEC) ซึ่งมีวัตถุประสงค์ให้เมืองพัทยาเป็นแหล่งท่องเที่ยวพักผ่อนและสามารถทำงานหรือทำธุรกิจในคราวเดียวกัน ซึ่งจะมีการพัฒนาการคมนาคมและระบบโลจิสติกส์ ดังนั้นไม่สามารถหลีกเลี่ยงปัญหามลพิษต่างๆ ที่จะตามมาได้ และที่สำคัญคือมลพิษทางอากาศที่จะมาพร้อมกับการจราจรที่หนาแน่นขึ้นด้วย ซึ่งสารมลพิษหลักที่มาจากการจราจรคือ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศของแต่พื้นที่ของเมืองพัทยาพบว่า พื้นที่เขตพาณิชยกรรมมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์สูงที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับพื้นที่อื่นๆ ด้วย และยังพบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์บางเดือนของพื้นที่เขตพาณิชยกรรมมีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพอากาศ ระยะเวลา 1 ปี ของกรมควบคุมมลพิษที่กำหนดไม่เกิน 30 ppbv ซึ่งสาเหตุมาจากการจราจรที่หนาแน่นตลอดทั้งกลางวันและกลางคืน เนื่องจากเป็นพื้นที่ทำธุรกิจโรงแรมและที่พัก ธุรกิจสถานบันเทิง ร้านอาหาร เป็นต้น นอกจากนี้การศึกษาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในช่วงฤดูร้อนและช่วงฤดูหนาวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์กับข้อมูลอุตุนิยมวิทยา มีความสัมพันธ์กันสูงกับความเร็วลมและความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ อย่างไรก็ตาม กิจกรรมในพื้นที่อาจจะมีบทบาทสำคัญมากกว่าปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ได้จากวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแพสซีฟไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและมีความสัมพันธ์แปรผันตรงสูงกับค่าที่ได้จากวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์ พลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ (รหัสทุน: SCIEE 002/61) และขอขอบคุณ สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ สถานีอุตุนิยมวิทยาพัทยาที่เอื้อเฟื้อข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และอาจารย์ ดร.รุ่งเรือง จันทา อาจารย์ประจำมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ที่เอื้อเฟื้อจัดทำผังลม จนทำให้งานวิจัยครั้งนี้เสร็จสมบูรณ์ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ทุกประการ

เอกสารอ้างอิง

[1] World Health Organization (WHO), “Health risks of air pollution in Europe-HRAPLE project,” Denmark, 2005, pp. 1–54.

[2] F. Cibella, G. Cuttitta, R. D. Maggiore, S. Ruggieri, S. Panunzi, A. D. Gaetano, S. Bucchieri, G. Drago, M. R. Melis, S. L. Grutta, and G. Viegi, “Effect of indoor nitrogen dioxide on lung function in urban environment,” *Environmental Research*, vol. 138, pp. 8–16, 2015.

[3] M. Kattan, P.J. Gergen, P. Eggleston, C. M. Visness, and H. E. Mitchell, “Health effects of indoor nitrogen dioxide and passive smoking on urban asthmatic children,” *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, vol. 120, no. 3, pp. 618–624, 2007.

[4] Pollution Control Department; PCD. (14 August 2009). Air quality standards. Pollution Control Department. Bangkok, Thailand [Online]. Available: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_airsnd01.html.

[5] World Health Organization (WHO), “WHO air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide,” Denmark, 2005, pp. 16–17.

[6] US-EPA National Ambient Air Quality Standards (NAAQS). (2018, December 15). NAAQS Table.

Criteria Air Pollutants. North Carolina, The United States [Online]. Available: https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table#2.

[7] S. Choo-In, *Sampling and Measurment of Pollutants in Ambient Air*. Bangkok: Chulalongkorn university press: 2013, pp. 47–69.

[8] P. Martin, B. Cabanas, F. Villanueva, P. M. Gallego, I. Colmenar, and S. Salgado, "Ozone and nitrogen dioxide levels monitored in an urban area (Ciudad Real) in central-southern Spain," *Water Air & Soil Pollution*, vol. 208, no. 1–4, pp. 305–316, 2009.

[9] P. D. Hien, M. Hangartner, P. M. Tan, and S. Fabian, "Concentrations of NO_2, SO_2, and benzene across Hanoi measured by passive diffusion samplers," *Atmospheric Environment*, vol. 88, pp. 66–73, 2014.

[10] G. Artun, N. Polat, Z. Yay, O. Uzmez, A. Ari, T. Tuygun, T. Elbir, H. Altug, Y. Dumanoglu, T. Dogeroglu, A. Dawood, M. Odabasi, and E. Gaga, "An integrative approach for determination of air pollution and its health effects in a coal fired power plant area by passive sampling," *Atmospheric Environment*, vol. 150, pp. 331–345, 2017.

[11] M. Zak, E. Melaniuk-Wolny, and K. Widziewicz, "The exporsure of pedestrians, drivers and road transport passengers to nitrogen dioxide," *Atmospheric Pollution Research*, vol. 8, pp. 781–790, 2017.

[12] W. Geerts, "Top 100 cities destinations 2018," *Euromonitor International*, pp.19, 2018.

[13] S. Siengchin, T. Wareesangad, P. Haesakul, P. Boonyasopon, and J. Suwarat. "Investigation and analysis for Pattaya's progress in stepping towards," *The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, vol. 27, no. 2, pp. 379–391, 2017 (in Thai).

[14] Foreign Workers Administration office, (2018, October). Statistic of foreign works in Thailand, October 2018. Department of Employment, Ministry of Labour. Bangkok, Thailand [Online]. Available: https://www.doe.go.th/prd/alien/statistic/param/site/152/cat/82/sub/73/pull/sub_category/view/list-labell (in Thai).

[15] S. Bootdee, P. Chalemrom, and S. Chantara, "Validation and field application of tailor-made nitrogen dioxide passive sampler," *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 9, no.3, pp. 519–526, 2012.

[16] Department of Public Works and Town & Country Planning. (2015, April). *Ministerial regulation to enforce the city plan, Pattaya city, Chon Buri province*. (vol. 132, no. 26 ก., pp. 1–17.) [Online]. Available: http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2558/A/026/1.PDF (in Thai).

[17] S. S. Ahmad, P. Biiker, L. Emberson, and R. Shabbir, "Monitoring nitrogen dioxide levels in urban areas in Rawalpindi, Pakistan," *Water Air & Soil Pollution*, vol. 220, no. 1, pp. 141–150, 2011.

[18] S. S. Ahmad and N. Aziz, "Spatial and temporal analysis of ground level ozone and nitrogen dioxide concentration across the twin cities of Pakistan," *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 185, no. 4, pp. 3133–3147, 2013.

[19] S. Sillapapiromsuk and R. Janta, "Monitoring of ambient nitrogen dioxide concentrations in Lampang city by passive sampling," *Khon*

Kaen University Science Journal, vol. 46, no. 3, pp. 560–571, 2018 (in Thai).

[20] D. Alejo, M. C. Morales, J. B. Torre, R. Grau, L. Benes, R. V. Grieken, P. V. Espen, D. Sosa, and V. Nunez, "Seasonal trend of atmospheric nitrogen dioxide and sulfur dioxide over Nortg Santa Clara, Cuba," *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 185, no. 7, pp. 60233–6033, 2013.

[21] S. Caballero, R. Esclapez, N. Galindo, E. Mantilla, and J. Crespo, "Use of a passive sampling network for the determination of urban NO_2 spatiotemporal variations," *Atmospheric Environment*, vol. 63, pp. 148–155, 2012.

[22] Z. Bozkurt, ö.ö. Üzmez, T. Dögeroglu, G. Artun, and E. O. Gaga, "Atmospheric concentration of SO_2, NO_2, ozone and VOCs in Duzce, Turkey using passive air sampler: Source, spatial and seasonal variations and health risk estimation," *Atmospheric Pollution Research*, vol. 9, no. 6, pp. 1146–1156, 2018.

[23] Department of Mathematics and Computer Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University, *Probability and Statistics*, Bangkok: Pithak printing, 2012, pp. 254–259 (in Thai).

[24] Y. Xie, B., Zhao, L. Zhang, and R. Luo, "Spatiotemporal variations of $PM_{2.5}$ and PM_{10} concentrations between 31 Chinese cities and their relationships with SO_2, NO_2, CO, and O_3," *Particuology*, vol. 20, pp. 141–149, 2015.

[25] H. K. Elminir, "Dependence of urban air pollutants on meteorology," *Science of the Total Environment*, vol. 350, no. 1–3, pp. 225–237, 2005.

[26] R. Jayamurugan, B. Kumaraval, S. Palanivelraja, and M. P. Chockalingan, "Influence of temperature, relative humidity and seasonal variability on ambient air quality in a coastal urban area," *International Journal of Atmospheric Science*, vol. 2013, pp. 1–7, 2013.