

การตรวจวัดความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์ในพื้นที่การจราจรของจังหวัดนครศรีธรรมราช และการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

รุ่งเรือง จันทา* จุฑามาศ รัตติกาลสุขะ และ เจนจิรา แก้วรัตน์

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

สุรศักดิ์ สีชุม

สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0 7567 2385 อีเมล: rungruang.ja@mail.wu.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2020.06.006

รับเมื่อ 17 สิงหาคม 2562 แก้ไขเมื่อ 29 พฤศจิกายน 2562 ตอรับเมื่อ 9 ธันวาคม 2562 เผยแพร่ออนไลน์ 22 มิถุนายน 2563

© 2020 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

ไนโตรเจนไดออกไซด์เป็นหนึ่งในมลพิษทางอากาศที่สำคัญที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์ แก๊สชนิดนี้นอกจากจะทำให้เกิดการอักเสบของทางเดินหายใจโดยตรง ยังเป็นสารตั้งต้นของโอโซนระดับผิวพื้นและฝุ่นละอองขนาดเล็กซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพประชาชนทางอ้อม นอกจากนี้ไนโตรเจนไดออกไซด์ยังเป็นสาเหตุของฝนกรดที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศอีกด้วย จังหวัดนครศรีธรรมราชเป็นจังหวัดที่มีการเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็วจากการส่งเสริมการท่องเที่ยว ทำให้ความหนาแน่นของการจราจรเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้มลพิษทางอากาศจากการจราจรเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ในพื้นที่การจราจรในอำเภอเมืองนครศรีธรรมราชในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน โดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบแพสซิฟ จากนั้นความเข้มข้นสารมลพิษมาประยุกต์ใช้ในการประเมินความเสี่ยงต่อการสัมผัสไนโตรเจนไดออกไซด์สำหรับประชาชนที่อาศัยอยู่ใกล้พื้นที่การจราจร ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ในพื้นที่ชุมชนเมืองมีค่าอยู่ในช่วง 27.4–63.3 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงกว่าความเข้มข้นในพื้นที่ชานเมือง (13.6–17.5 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร) ประมาณ 4 และ 2 เท่า ในฤดูร้อนและฤดูฝนตามลำดับ และพบว่าปัจจัยของความชื้นในอากาศ และปริมาณน้ำฝนที่สูงในฤดูฝนส่งผลทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศมีค่าลดลง อย่างไรก็ตาม ผลการประเมินความเสี่ยงด้านพิษวิทยาชี้ให้เห็นว่าผู้ที่อาศัยอยู่ในชุมชนเมืองสัมผัสไนโตรเจนไดออกไซด์ในระดับที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ

คำสำคัญ: ไนโตรเจนไดออกไซด์ การเก็บตัวอย่างแบบแพสซิฟ มลพิษทางอากาศ การประเมินความเสี่ยง



Measurement of Nitrogen Dioxide Concentration in Traffic Areas of Nakhon Si Thammarat Province and Health Risk Assessment

Rungruang Janta*, Jenjira Kaewrat and Chuthamat Rattikansukha

School of Engineering and Technology, Walailak University, Nakhon Si Thammarat, Thailand

Surasak Sichum

School of Science, Walailak University, Nakhon Si Thammarat, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 0 7567 2385, E-mail: rungruang.ja@mail.wu.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2020.06.006

Received 17 August 2019; Revised 29 November 2019; Accepted 9 December 2019; Published online: 22 June 2020

© 2020 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

Nitrogen dioxide is one of the important air pollutants emitted from the internal combustion of a vehicle. This gas is a direct cause of inflammation in the respiratory tract, and it is a precursor of ground-level ozone and particulate matter, which are indirectly associated with adverse health effects. Nitrogen dioxide is also a source of acid rain which damages the ecological system. Nakhon Si Thammarat province is the rapid growth of the economy because of tourism promotion. Traffic density in Nakhon Si Thammarat has increased, then traffic air pollutants also become greater in this province. This study aims to measure the concentration of nitrogen dioxide in traffic areas of Mueang Nakhon Si Thammarat District in summer and rainy season by using a passive sampler. The concentration is then applied to assess risk of nitrogen dioxide exposure for residents living near road. The result shows that concentrations of the gas in urban areas were in the range 27.4–63.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. They were greater than that at the sub-urban area (13.6–17.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) for 4 and 2 times in summer and rainy season, respectively. The high relative humidity and rainfall were removed air pollutants in the rainy season. However, the toxicological risk quotients distinguished urban residents exposed to nitrogen dioxide over the recommended limits to human health.

Keywords: Nitrogen Dioxide, Passive Sampling, Air Pollution, Risk Assessment

Please cite this article as: R. Janta, J. Kaewrat, C. Rattikansukha, and S. Sichum, "Measurement of nitrogen dioxide concentration in traffic areas of Nakhon Si Thammarat province and health risk assessment," *The Journal of KMUTNB*, vol. 30, no. 3, pp. 481–494, Jul.-Sep. 2020 (in Thai).

1. บทนำ

มลพิษทางอากาศที่ปล่อยออกมาจากการจราจรเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้คุณภาพอากาศในเขตเมืองแย่ลง โดยเฉพาะบริเวณพื้นที่การจราจร ปริมาณสารมลพิษทางอากาศที่ถูกปล่อยออกมา เช่น ฝุ่นละออง สารอินทรีย์ระเหยง่าย และไนโตรเจนไดออกไซด์ มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับปริมาณการจราจร [1], [2] ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ในพื้นที่เขตเมืองส่วนใหญ่จะถูกปล่อยออกมาจากยานพาหนะ โดยกระบวนการเผาไหม้ภายในของเครื่องยนต์ ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างแก๊สไนโตรเจนและแก๊สออกซิเจนภายใต้อุณหภูมิสูงขณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ และปลดปล่อยไนตริกออกไซด์ (NO) ออกมา จากนั้นแก๊สดังกล่าวจะถูกเปลี่ยนเป็นไนโตรเจนไดออกไซด์อย่างรวดเร็ว ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาแสดงดังสมการที่ (1)–(4) [3]



จากปฏิกิริยาดังกล่าวแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์จึงมักถูกพิจารณาให้เป็นตัวบ่งชี้ถึงการเผาไหม้ที่มาจากจราจร [4]

ไนโตรเจนไดออกไซด์มีผลกระทบต่อสุขภาพ โดยเป็นสาเหตุของโรคหัวใจหลอดเลือด และโรคหลอดเลือดสมอง งานวิจัยของ Collart และคณะ [5] แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ในทิศทางบวกกับจำนวนผู้ป่วยในโรงพยาบาล โดยไนโตรเจนไดออกไซด์เป็นสารตั้งต้นของการเกิดโอโซนในชั้นโทรโพสเฟียร์ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของการเกิดปรากฏการณ์โฟโตเคมีคอลสมอก (Photochemical Smog) นอกจากนี้เมื่อไนโตรเจนไดออกไซด์รวมตัวกับความชื้นในอากาศจะกลายเป็นกรดไนตริกซึ่งเป็นสาเหตุของฝนกรด ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศเกิดความเสียหาย [6], [7] เพื่อป้องกันผลกระทบต่อประชาชน และสิ่งแวดล้อม หน่วยงานต่างๆ ได้กำหนดค่ามาตรฐานความเข้มข้น

ไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศทั่วไปที่ระยะเวลา 1 ปี ไว้ โดยคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 33 (พ.ศ. 2552) กำหนดค่ามาตรฐานไม่เกิน 57 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร องค์การอนามัยโลก (WHO) กำหนดค่ามาตรฐานไม่เกิน 40 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร และองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา (US.-EPA) กำหนดค่ามาตรฐานไม่เกิน 100 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร [8]–[10]

Hien และคณะ [11] ทำการตรวจวัดไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศบริเวณพื้นที่ทางแยกในเมืองฮานอย ประเทศเวียดนาม พบว่า ค่าความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์เฉลี่ยตลอดปีประมาณ 45–80 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร และมีปริมาณสูงกว่าพื้นที่ชนบทประมาณ 3 เท่า ใกล้เคียงกับการศึกษาในประเทศไทยไนโตรเจนไดออกไซด์ในพื้นที่การจราจรอยู่ในช่วง 33–97 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งความเข้มข้นสูงกว่าพื้นที่ชุมชน 3–4 เท่า [12], [13] Bae และคณะ [14] ศึกษาความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศบริเวณย่านธุรกิจและการจราจรหนาแน่นใน 32 อำเภอ กรุงโซล ประเทศเกาหลีใต้พบความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศภายนอกอาคารในช่วงเวลาทำงาน อยู่ในช่วง 41–181 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร และความเข้มข้นความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับความเข้มข้นภายในอาคารร้านค้า ($R = 0.803$) และยังพบว่า ความเข้มข้นของสองพื้นที่จะเพิ่มความหนาแน่นของการจราจรในพื้นที่ การขาดการบำรุงรักษาเครื่องยนต์และลักษณะถนนแคบทำให้การไหลของยานพาหนะได้ช้าในเวลาเร่งด่วนเป็นสาเหตุทำให้ความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์ในประเทศกำลังพัฒนามีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและสูงกว่าประเทศที่พัฒนาแล้ว [15] ซึ่งแสดงให้เห็นถึงพื้นที่ชุมชนที่มีการจราจรหนาแน่นมีโอกาสได้รับผลกระทบจากการรับสัมผัสไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศสูง

โดยผลการศึกษาของ Kamińska [16] พบว่า นอกจากลักษณะของการจราจรในพื้นที่แล้วความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศยังมีความสัมพันธ์กับสถานะทางอุณหภูมิตามพื้นที่ โดยพื้นที่ที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศน้อยความเข้มข้นของมลพิษจะได้รับอิทธิพลจากความเร็วลม และทิศทางลมสูง



ในขณะที่ในพื้นที่ที่ความเข้มข้นมลพิษสูงกว่าปัจจัยของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จะมีอิทธิพลมากขึ้น ปัจจัยของความเร็วลมและทิศทางลมทำให้เกิดการปั่นป่วนของกระแสอากาศ (Turbulence) ทำให้มลพิษในพื้นที่ที่มีการกระจายตัวและเจือจางมลพิษในพื้นที่ [16], [17] ในวันที่ที่มีแสงแดดยาวนานและอุณหภูมิสูงจะส่งผลทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ลดลง เนื่องจากแสงแดดช่วยส่งเสริมอุณหภูมิสูงช่วยลดโอกาสการเกิดสภาวะอุณหภูมิแปรผกผัน (Temperature Inversion) ซึ่งมีผลทำให้การกระจายตัวของมลพิษได้น้อย [17] นอกจากนี้ ปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ยังมีความผันแปรตามฤดูกาลโดยฤดูฝนจะมีความเข้มข้นของมลพิษน้อยกว่าฤดูแล้งเนื่องจากน้ำฝนจะทำหน้าที่ชะล้างมลพิษในบรรยากาศลงสู่พื้นดิน [12] ดังนั้นการพิจารณาตรวจติดตามความเข้มข้นของมลพิษในอากาศควรนำเอาปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาประกอบในการพิจารณาด้วย

จากแคมเปญ “Amazing Thailand Go Local” ที่มุ่งส่งเสริมการท่องเที่ยวเมืองรองเพื่อรองรับการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ การเพิ่มขึ้นของเมืองและการพัฒนาทางเศรษฐกิจในหลายจังหวัดของประเทศไทยทำให้ปริมาณรถยนต์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จังหวัดนครศรีธรรมราชเป็นหนึ่งในเมืองท่องเที่ยวรองที่เป็นที่นิยม เนื่องจากจังหวัดนครศรีธรรมราชมีสถานที่ท่องเที่ยวที่หลากหลายทั้งทางวัฒนธรรม และธรรมชาติ ส่งผลให้จำนวนนักท่องเที่ยวเพิ่มขึ้น โดยจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณการจราจรในจังหวัดที่เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ดังนั้นปริมาณมลพิษที่ปล่อยออกมาจากการจราจร โดยเฉพาะอย่างยิ่งไนโตรเจนไดออกไซด์จึงน่าจะมีปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นทุกปี ประกอบกับในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราชยังไม่มี การติดตั้งสถานีตรวจวัดมลพิษทางอากาศ จึงทำให้ข้อมูลของมลพิษทางอากาศในพื้นที่จังหวัดยังมีน้อยมาก การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ในพื้นที่การจราจรของจังหวัดนครศรีธรรมราช เพื่อนำความเข้มข้นที่ได้ไปใช้ในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ที่อาศัยอยู่ใกล้พื้นที่การจราจรจากการรับสัมผัสไนโตรเจนไดออกไซด์ ข้อมูลจากการศึกษาจะเป็นประโยชน์

สำหรับเจ้าหน้าที่ และหน่วยงานภาครัฐในพื้นที่เพื่อนำไปใช้ในการจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางอากาศเพื่อลดความเสี่ยงต่อสุขภาพ และปรับปรุงคุณภาพชีวิตของประชาชนในพื้นที่ต่อไป

2. วิธีการวิจัย

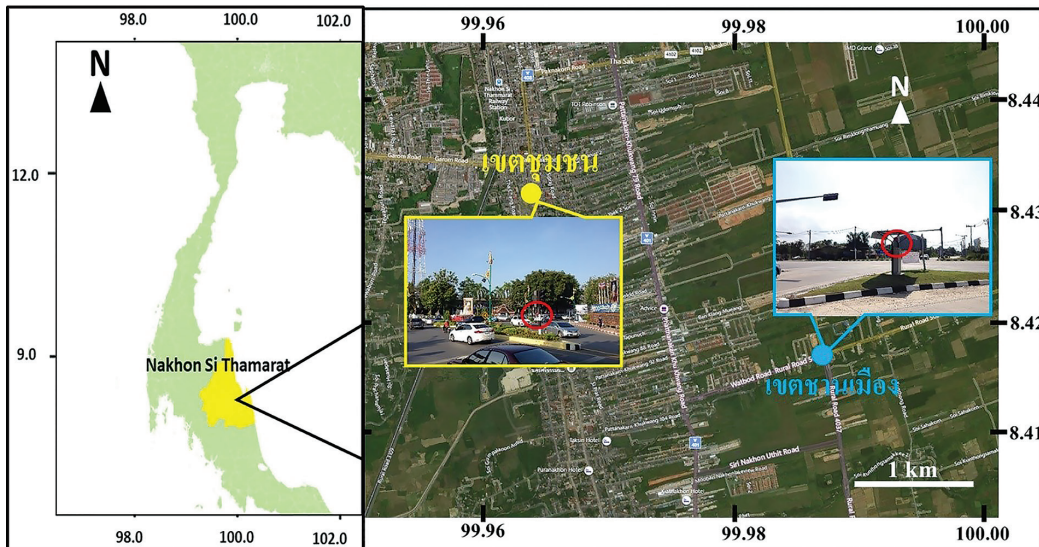
2.1. พื้นที่ศึกษา

จังหวัดนครศรีธรรมราชตั้งอยู่ทางภาคใต้ฝั่งตะวันออกติดอ่าวไทย เป็นจังหวัดที่มีพื้นที่ใหญ่เป็นอันดับสองในภาคใต้ของประเทศไทย สภาพทางอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้จังหวัดนี้มีเพียง 2 ฤดู คือ ฤดูร้อน (กุมภาพันธ์-พฤษภาคม) และฤดูฝน (มิถุนายน- มกราคม) อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี และปริมาณน้ำฝนมีค่าประมาณ 27 องศาเซลเซียส และ 2,500 มิลลิเมตร ตามลำดับ [18]

พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยสถานที่ตรวจวัดไนโตรเจนไดออกไซด์เลือกจากพื้นที่ทางแยก จำนวน 2 พื้นที่ ในเขตเทศบาลนครนครศรีธรรมราช (รูปที่ 1) สถานที่เก็บตัวอย่างจุดที่ 1 (เขตชุมชน) มีลักษณะเป็นชุมชนเมืองตั้งอยู่บริเวณสี่แยกถนนสายหลักในพื้นที่เมือง ซึ่งเป็นที่ตั้งของโรงเรียนประถม และโรงเรียนมัธยมประจำจังหวัด และบริเวณใกล้เคียงยังเป็นพื้นที่สวนสาธารณะ และสถานีตำรวจ ส่งผลให้บริเวณนี้มีปริมาณการจราจรค่อนข้างสูงโดยเฉพาะช่วงเช้าและเย็น ส่วนสถานที่เก็บตัวอย่างจุดที่ 2 (เขตชานเมือง) ตั้งอยู่บริเวณสี่แยกในเขตชานเมืองของจังหวัดนครศรีธรรมราช ความหนาแน่นของการจราจร และอาคารค่อนข้างน้อย การระบายอากาศค่อนข้างดีเมื่อเทียบกับจุดเก็บตัวอย่างแรก

2.2 การเก็บตัวอย่างไนโตรเจนไดออกไซด์

ในการศึกษาครั้งนี้ทำการเก็บตัวอย่างไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศด้วยวิธีการแบบแพสซิฟ ซึ่งเป็นวิธีที่ให้อากาศไหลอย่างอิสระมารวมในหลอดเก็บตัวอย่าง และไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศจะถูกดูดซับบนสารเคมีที่เคลือบบนกระดาษกรองที่บรรจุอยู่ในหลอดเก็บตัวอย่าง วิธีนี้มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย มีค่าใช้จ่ายน้อย น้ำหนักเบา และ



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษาในจังหวัดนครศรีธรรมราช

สามารถขนย้ายได้สะดวกเพราะไม่ต้องใช้ปั๊มในการดูดอากาศ ซึ่งเป็นวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแอ็กทิฟ นอกจากนี้ ปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ตรวจวัดได้ด้วยวิธีการแบบแพสซิฟยังมีความสัมพันธ์กับผลที่ตรวจวัดได้จากการเก็บด้วยเครื่องตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบอัตโนมัติของกรมควบคุมมลพิษในระดับที่ยอมรับได้ [12] ซึ่งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้ได้รับการพัฒนาโดยห้องปฏิบัติการวิจัยเคมีสิ่งแวดล้อม (ECRL) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ในการศึกษานี้ทำการเก็บตัวอย่างไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศ ในช่วง 2 ฤดูกาล คือ ฤดูร้อน (กุมภาพันธ์-มีนาคม พ.ศ. 2561) และฤดูฝน (กันยายน-พฤศจิกายน พ.ศ. 2561) โดยทำการเก็บตัวอย่างฤดูกาลละ 3 ครั้ง

2.2.1 การเตรียมหลอดเก็บตัวอย่าง

หลอดสำหรับเก็บตัวอย่างไนโตรเจนไดออกไซด์เตรียมมาจากการตัดหลอดชนิดยาพอลิพร็อพิลีน ขนาด 10 มิลลิเมตร มีความยาว 7.2 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่น จำนวน 2 ครั้ง ตามด้วยน้ำปราศจากไอออน แล้วนำหลอดเก็บตัวอย่างไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิท

กระดาษกรองสำหรับดูดซับไนโตรเจนไดออกไซด์เตรียม

จากการตัดกระดาษกรองแบบใยแก้ว (GF/A) (Whatman) ให้มีขนาดพอดีกับพื้นที่หน้าตัดของหลอดเก็บตัวอย่าง จากนั้นทำความสะอาดด้วยน้ำปราศจากไอออนแล้วเขย่า 5 นาที และเทน้ำทิ้ง ทำซ้ำอีกจนกระทั่งน้ำที่ล้างมีสีใส แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิท จากนั้นบรรจุกระดาษกรองที่เตรียมไว้ลงในหลอดเก็บตัวอย่าง หยอดสารละลายไตรเอทานอลามีน (TEA) จำนวน 2 หยด ลงบนกระดาษกรอง แล้วปิดฝาครอบหลอดและพันด้วยพาราฟิล์ม

ในการเก็บตัวอย่างแต่ละพื้นที่ใช้หลอดเก็บตัวอย่างจำนวน 8 หลอด โดยแต่ละหลอดถูกนำไปยึดติดกับกล่องวางตัวอย่าง (Shelter) เพื่อลดผลกระทบจากลม แสงแดด และฝน แขนงไว้ที่ความสูงจากพื้นดิน 1.5-2.0 เมตร บริเวณเกาะกลางและขอบถนน เพื่อลดผลกระทบของทิศทางลมที่ลดลงตามระยะห่างจากถนน [19] กล่องวางตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 2 ประกอบด้วยหลอดเก็บตัวอย่างไนโตรเจนไดออกไซด์ จำนวน 5 หลอด (เปิดฝาครอบหลอดตลอดเวลาที่เก็บตัวอย่าง) และหลอดเปรียบเทียบกับ จำนวน 3 หลอด (ปิดฝาครอบหลอดตลอดเวลา) และเมื่อครบเวลา 7 วัน หลอดเก็บตัวอย่างไนโตรเจนไดออกไซด์จะถูกปิดฝาและพันพาราฟิล์ม และนำไปแช่เย็นเพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป (ปรับปรุงจาก [20]-[22])



รูปที่ 2 อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศ

2.2.2 การเตรียมสารละลาย

1) สารละลายดูดจับไนโตรเจนไดออกไซด์

เปิด TEA ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลาย TEA เข้มข้น 20%

2) สารละลายสำหรับการวิเคราะห์ไนโตรเจนไดออกไซด์ สารละลายซัลฟานิลาไมด์: ชั่งสารซัลฟานิลาไมด์น้ำหนัก 10.75 กรัม และละลายในน้ำปราศจากไอออน เกล็ดในขวดปริมาตร 500 มิลลิลิตร เติมกรดฟอสฟอริก 28 มิลลิลิตร เพื่อให้ซัลฟานิลาไมด์ละลาย จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

สารละลายสารเอ็น-วัน-แนพทิลเอทิลีนไดเอมีน ไตไฮโดรคลอไรด์ (NEDA): ชั่งสาร NEDAหนัก 0.152 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำปราศจากไอออน

สารละลายซอลท์ซันนั: เตรียมจากการผสมสารละลายซัลฟานิลาไมด์และสารละลาย NEDA ในอัตราส่วน 10:1 เก็บไว้ในที่เย็นและทึบแสง

โดยวิธีการเตรียมสารเคมีในงานวิจัยนี้อ้างอิงจากงานวิจัยของ Chalermrom [20]

3) การเตรียมสารสำหรับทำกราฟมาตรฐาน

เตรียมสารมาตรฐานโซเดียมไนไตรท์เข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร โดยชั่งสารโซเดียมไนไตรท์ 0.15 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนและปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายโซเดียมไนไตรท์เข้มข้น มาเจือจางให้มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.01–1.00 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

2.2.3 การทำกราฟมาตรฐานของสารละลายไนไตรท์

เปิดสารละลายโซเดียมไนไตรท์ที่มีความเข้มข้น 0.01–1.00 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ความเข้มข้นละ 1 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายซอลท์ซันนั 2 มิลลิลิตร เขย่าและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาที จะได้สารละลายสีชมพูอมม่วง แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่มีความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร จากนั้นสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลายไนไตรท์ เพื่อใช้ในการคำนวณหาความเข้มข้นของไนไตรท์ในตัวอย่างต่อไป

2.2.4 การสกัดและการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศ

การสกัดไนโตรเจนไดออกไซด์ ทำโดยการเติมน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 2 มิลลิลิตร ลงในหลอดเก็บตัวอย่างทุกหลอด เขย่าและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำสารละลายที่สกัดได้กรองผ่านตัวกรอง (Syringe Filter) ขนาด 0.45 ไมโครเมตร แล้วนำสารละลายที่ผ่านการกรอง 1 มิลลิลิตร มาทำให้เกิดสีโดยการเติมสารเช่นเดียวกับหัวข้อ 2.3 และหาความเข้มข้นของไนไตรท์ในสารละลายโดยเทียบค่าการดูดกลืนแสงกับกราฟมาตรฐาน (ปรับจาก [23])

การคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (5)

$$C = \frac{Q \times L}{A \times t \times D} \quad (5)$$

โดยที่

C คือ ความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศ (ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

L คือ ความยาวของหลอดเก็บตัวอย่าง (เมตร)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของหลอดเก็บตัวอย่าง (ตารางเมตร)

t คือ เวลาในการเก็บตัวอย่าง (วินาที)

D คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของไนโตรเจนไดออกไซด์มีค่า 1.54×10^{-5} (ตารางเมตร/วินาที) [24]

Q คือ ปริมาณของไนโตรเจน (ไมโครกรัม) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (6)

$$Q = N \times V \quad (6)$$

โดย N คือ ความเข้มข้นไนโตรเจนในสารละลายที่สกัดได้ (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)

V คือ ปริมาตรน้ำปราศจากไอออนที่สกัด (มิลลิลิตร)

2.2.5 การประเมินความเสี่ยงด้านพิษวิทยา

การวิเคราะห์ความเสี่ยงมุ่งเน้นไปที่ผลกระทบระยะยาวจากการได้รับสัมผัสสารไนโตรเจนไดออกไซด์ผ่านทางหายใจ โดยพิจารณาสำหรับผู้ที่อยู่ในพื้นที่ศึกษา 4 กลุ่มตามวัยและระยะเวลาการรับสัมผัสในแต่ละวัน คือ เด็กที่เรียนนอกพื้นที่ศึกษา (G1) ที่เรียนในโรงเรียนในพื้นที่ (G2) ผู้ใหญ่ทำงานนอกพื้นที่ (G3) ผู้ใหญ่ทำงานในพื้นที่ (G4) ในการศึกษาที่ตั้งข้อสมมุติฐานว่าความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์เฉลี่ยรายปีที่ประชากรได้รับสัมผัสคำนวณจากค่าเฉลี่ยความเข้มข้นในฤดูร้อนและฤดูฝน ดังแสดงในสมการ

ที่ (7) และพิจารณาที่อยู่อาศัยแบบเปิดโล่ง ดังนั้นความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ภายในและภายนอกอาคารมีค่าใกล้เคียงกัน ในอาคารเท่ากับในร่ม ดังสมการที่ (7)

$$C_{avg} = \frac{(C_s \times M_s) \times (C_r \times M_r)}{12} \quad (7)$$

โดยที่

C_{avg} คือ ความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์เฉลี่ยรายปีในอากาศ (ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

C_s และ C_r คือ ความเข้มข้นเฉลี่ยไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศในฤดูร้อนและฤดูฝนตามลำดับ (ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

M_s และ M_r คือ จำนวนเดือนในฤดูร้อนและฤดูฝนตามลำดับ (เดือน)

สำหรับปริมาณที่ประชาชนในพื้นที่ที่ได้รับสัมผัสไนโตรเจนไดออกไซด์ (Chronic Daily Intake; CDI) คำนวณได้จากสมการที่ (8) [25] และปัจจัยการรับสัมผัสได้อธิบายไว้ในตารางที่ 1

$$CDI = \frac{C \times IR \times ED \times EF}{BW} \times \frac{1}{AT} \quad (8)$$

ตารางที่ 1 ปัจจัยการได้รับสัมผัสไนโตรเจนไดออกไซด์สำหรับเด็กและผู้ใหญ่ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ศึกษา

ปัจจัยการได้รับสัมผัส	สัญลักษณ์	หน่วย	เด็ก (6-12 ปี)		ผู้ใหญ่ ¹ (> 12 ปี)		อ้างอิง	
			G1	G2	G3	G4		
ความเข้มข้น NO ₂ ในอากาศ	ชุมชน	C_{avg}	มค.ก./ลบ.ม.	39.36	39.36	39.36	39.36	งานวิจัยนี้
	ชานเมือง	C_{avg}	มค.ก./ลบ.ม.	14.96	14.96	14.96	14.96	งานวิจัยนี้
น้ำหนักตัว	BW	กิโลกรัม	26	26	55	55	[26]	
ระยะเวลาสัมผัสเฉลี่ย	AT	วัน/ปี	ED	ED	ED	ED	[27]	
ระยะเวลาที่สัมผัส	ED	วัน/ปี	365	365	365	365	-	
ความถี่ในการสัมผัส	EF	ชั่วโมง/วัน	16 ²	24	16 ²	24	-	
อัตราการหายใจ	IR	ลบ.ม./ชั่วโมง	0.46	0.46	0.83	0.83	[28]	

หมายเหตุ: ¹ผู้ใหญ่ หมายถึง ประชากรที่มีอายุมากกว่า 12 ปี (US EPA, 1989 อ้างโดย [26])

²เวลาที่เด็กนักเรียนและผู้ใหญ่อยู่บ้าน คำนวณจากเวลา 24 ชั่วโมง ลบ 8 ชั่วโมง จากเวลาที่อยู่ในโรงเรียนหรือที่ทำงานนอกพื้นที่ศึกษา

ในกรณีการประเมินความเสี่ยงจากการสัมผัสสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งทำโดยการเปรียบเทียบระดับการสัมผัสอ้างอิง (Reference Dose; RfD) ซึ่ง RfD ของไนโตรเจนไดออกไซด์คือ 1.1×10^{-2} มิลลิกรัม/กิโลกรัม-วัน [25] และหากอัตราส่วนของการได้รับสารพิษ (Hazard Quotient; HQ) มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงถึงสารมลพิษไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพจากการรับสัมผัส การคำนวณแสดงดังสมการที่ (9) [25]

$$HQ = \frac{CDI}{RfD} \quad (9)$$

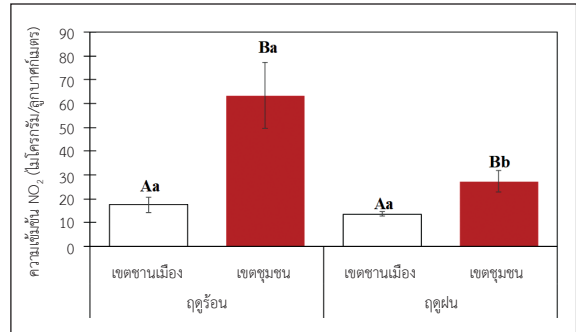
2.2.6 การประเมินการเคลื่อนที่ของมวลอากาศ

ในการศึกษาคั้งนี้ได้นำการเคลื่อนที่ของมวลอากาศมาช่วยในการประเมินพื้นที่ที่มีความเสี่ยงในการได้รับมลพิษจากการจราจรในพื้นที่ชุมชนเมือง (เขตชุมชน) ในพื้นที่ได้ใช้การคำนวณ Forward Trajectory เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากแหล่งกำเนิดโดยใช้โปรแกรม TrajStat ซึ่งพัฒนาโดย Wang และคณะ [29] ในปี ค.ศ. 2008 โปรแกรมนี้ใช้แบบจำลอง Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLIT) ในการคำนวณ และใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาขนาด $1^\circ \times 1^\circ$ โดยในการคำนวณทำที่เวลา 7:00 น. และ 19:00 น. ตามเวลาประเทศไทย ที่ระดับความสูง 10 เมตร แยกตามเวลาที่เก็บตัวอย่างในช่วงฤดูร้อน (กุมภาพันธ์-มีนาคม 2561) และฤดูฝน (ตุลาคม-พฤศจิกายน 2561) จากนั้นทำการจัดกลุ่มเส้นทางการไหลของมวลอากาศจากแหล่งกำเนิดมลพิษด้วยวิธี มาตรการวัดระยะทางแบบยูคลิดีเนียน (Euclidean Distance) ต่อไป

3. ผลการวิจัย

3.1 ระดับความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ในพื้นที่การจราจร

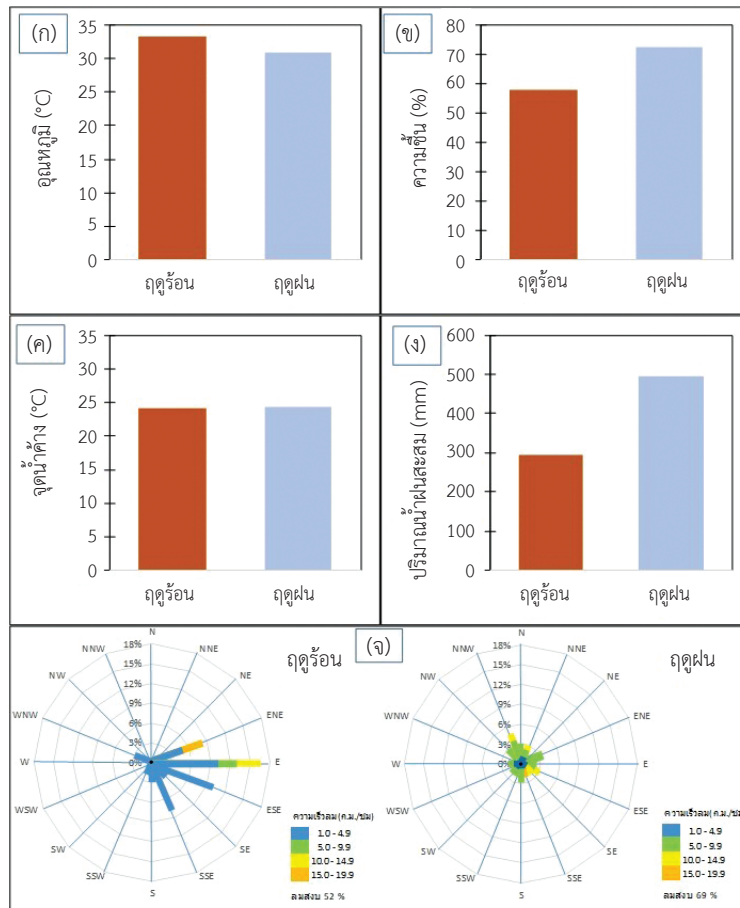
ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์ในช่วงฤดูร้อนของพื้นที่การจราจรบริเวณเขตชุมชน (ในเมือง) และเขตชานเมือง มีค่าเท่ากับ 63.31 ± 13.87 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร และ 17.53 ± 3.23 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร



หมายเหตุ: อักษรพิมพ์ใหญ่และพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างพื้นที่ศึกษาและระหว่างฤดูกาลตามลำดับ

รูปที่ 3 การเปรียบเทียบความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์จากการจราจรในนครศรีธรรมราช

ตามลำดับ ในขณะที่ความเข้มข้นในช่วงฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 27.39 ± 4.50 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร และ 13.65 ± 0.95 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ (รูปที่ 3) ซึ่งระดับมลพิษในพื้นที่เขตชุมชนมีค่าสูงกว่าระดับมลพิษชานเมืองอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$) ทั้งสองฤดูกาล (2-4 เท่า) เนื่องจากในพื้นที่ชุมชนมีปริมาณรถซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของไนโตรเจนไดออกไซด์มากกว่า โดยปริมาณยานพาหนะในช่วง 8:00-16:00 น. ในพื้นที่ชุมชนมีจำนวนยานพาหนะประมาณ 15,600 คัน สูงกว่าพื้นที่ชานเมือง (11,400 คัน) ประกอบกับบริเวณหน้าโรงเรียนมีการจอดรถรับ-ส่งนักเรียน จึงทำให้มีการปล่อยไนโตรเจนไดออกไซด์จากการจราจรในพื้นที่สูง และในพื้นที่เมืองเป็นพื้นที่ชุมชน มีอาคารสิ่งก่อสร้างของโรงเรียนบริเวณทิศตะวันออกของพื้นที่ทำให้บริเวณดังกล่าวมีการระบายอากาศได้น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ชานเมือง ผลของลักษณะพื้นที่ต่อความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์ในงานวิจัยนี้กับความสอดคล้องกับงานวิจัยในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่และชลบุรีที่ใช้อุปกรณ์แบบแพสซิฟในการเก็บตัวอย่างพบว่า ความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์ในพื้นที่การจราจรในเขตชุมชน (11-85 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร) มีค่าสูงกว่าพื้นที่ชานเมือง (9-35 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร) [23] เช่นเดียวกับข้อมูลความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์ในพื้นที่เมืองประเทศเวียดนามที่มีความเข้มข้นสูงกว่าปริมาณ



รูปที่ 4 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเปรียบเทียบระหว่างฤดูร้อนและฤดูฝนปี พ.ศ. 2561 (ก) อุณหภูมิ (ข) ความชื้น (ค) จุดน้ำค้าง (ง) ปริมาณน้ำฝนสะสม และ (จ) พังลมในฤดูร้อนและฤดูฝน

ในพบในพื้นที่ชนบทถึง 3 เท่า [11] ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์มีความสัมพันธ์กับปริมาณการจราจรและการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ โดยพื้นที่การจราจรคับคั่งจะพบปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์สูง นอกจากนั้นลักษณะสิ่งก่อสร้างในพื้นที่ยังเป็นปัจจัยเสริมในการเก็บกักมลพิษอากาศในพื้นที่ด้วยเช่นกัน [30] นอกจากนั้นผลการศึกษาของ Jit และคณะ [31] พบว่า ความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ลดลงเมื่อระดับความสูงเหนือแหล่งกำเนิดมากขึ้น ซึ่งให้เห็นถึงโอกาสในการสัมผัสพิษของประชาชนที่อาศัยบนอาคารสูงมีโอกาสสัมผัสปริมาณมลพิษทางอากาศน้อยกว่าประชาชนที่อาศัยในอาคารชั้นเดียว

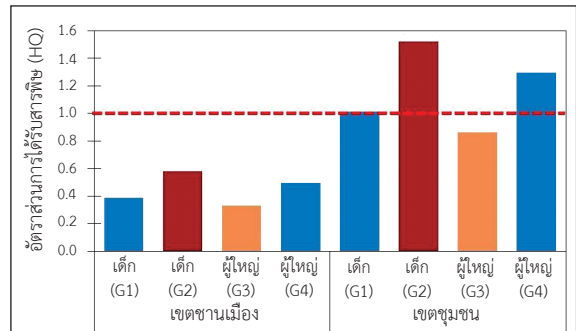
3.2 ความผันแปรของความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศในแต่ละฤดู

ความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ในพื้นที่ชุมชนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยความเข้มข้นในฤดูร้อนมีค่ามากกว่าในฤดูฝน 2.3 เท่า ในขณะที่ในพื้นที่ชานเมืองไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของทั้ง 2 ฤดูกาล (รูปที่ 3) เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่บันทึกขณะเก็บตัวอย่าง ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น และข้อมูลความเร็วลม ทิศทางลม และปริมาณน้ำฝนสะสม ได้ข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยานครศรีธรรมราช (รูปที่ 4) โดยพบว่า ปริมาณของไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศ

มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำฝน ซึ่งสัมพันธ์กับงานวิจัยของ Cros และคณะ [32] ที่ทำการศึกษาระดับปริญญาโทซึ่งมีผลต่อการลดปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศ โดยพบว่า ปริมาณความชื้นในอากาศเมื่อได้รับแสงจากดวงอาทิตย์จะเกิดการแตกตัวของโมเลกุลของน้ำในอากาศ (ความชื้น) ทำให้เกิดเป็นสารอนุมูลอิสระของไฮดรอกซิล (Hydroxyl Radical; $\cdot\text{OH}$) และเมื่อทำปฏิกิริยากับไนโตรเจนไดออกไซด์ จะได้ผลิตภัณฑ์คือ กรดไนตริก (HNO_3) ในขณะที่ปริมาณน้ำฝนที่มากขึ้นในฤดูฝนจะช่วยชะปริมาณมลพิษในอากาศให้ตกลงสู่พื้น ส่งผลทำให้ปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศลดลงได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของโสภณธรรมและรุ่งเรือง [12] ที่พบปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับปริมาณน้ำฝนในพื้นที่จังหวัดลำปาง ประเทศไทย (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าระหว่าง -0.586 ถึง -0.727) และเมื่อพิจารณาทิศทางของลมที่เข้าสู่นครศรีธรรมราชจะเห็นว่าความเร็วลมในช่วงฤดูร้อนสูงกว่าในช่วงฤดูฝน แต่ทิศทางของลมจะเปลี่ยนที่มาจากทิศตะวันออก ซึ่งในพื้นที่ศึกษาในชุมชนเมืองจะถูกบังด้วยอาคารและสิ่งก่อสร้างทำให้มลพิษยังคงสะสมในพื้นที่จึงเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ในเขตชุมชนมีค่ามากในช่วงฤดูร้อน

3.3 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชากรในพื้นที่

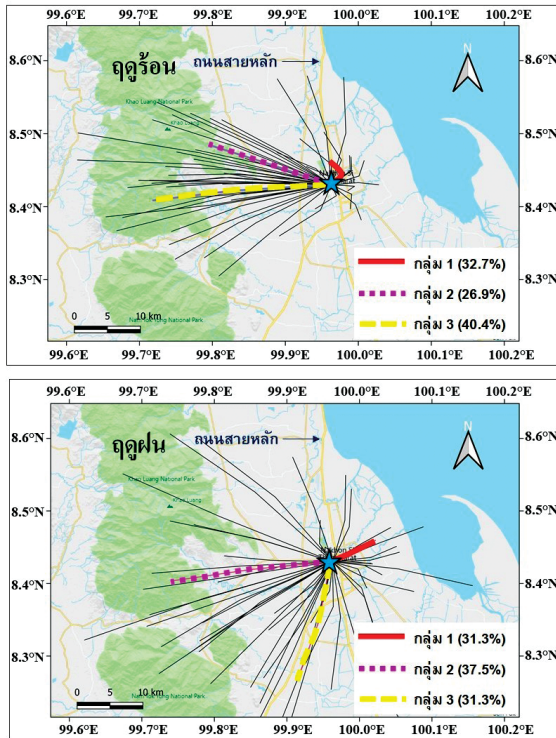
ในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ศึกษา ทำการพิจารณาแยกกลุ่มของเด็กนักเรียนและผู้ใหญ่ และพิจารณาผลกระทบระยะยาวของสารที่ไม่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งจากการรับสัมผัสโดยการหายใจ โดยความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่นำมาพิจารณาคำนวณจากค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนไดออกไซด์รายปีตั้งการคำนวณตามสมการที่ (7) พบว่า ความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์เฉลี่ยในพื้นที่ชุมชนและชานเมือง มีค่าเท่ากับ 39.4 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร และ 15.0 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งสามารถนำมาประเมินอัตราส่วนของการได้รับสารพิษจากการสัมผัสไนโตรเจนไดออกไซด์ในพื้นที่ชุมชน และชานเมืองของเด็กนักเรียน และผู้ใหญ่ที่อาศัยในพื้นที่ศึกษาได้ ดังรูปที่ 5



หมายเหตุ: เส้นประสีแดงแสดงถึงเกณฑ์การประเมินการได้รับและไม่ได้รับผลกระทบจากการสัมผัสมลพิษที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง

รูปที่ 5 ค่าอัตราส่วนการได้รับสารพิษต่อประชาชนในพื้นที่ชุมชนเมืองและชานเมือง

อัตราส่วนการได้รับสารพิษ (HQ) ของประชาชนทั้งเด็กและผู้ใหญ่ในพื้นที่ชานเมือง มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงถึงไม่ได้รับผลกระทบจากการสัมผัสไนโตรเจนไดออกไซด์ ในขณะที่อัตราส่วนของการได้รับสารพิษของประชาชนในพื้นที่ชุมชน แสดงให้เห็นว่าประชาชนผู้ใหญ่ที่อาศัยในพื้นที่ตลอด 24 ชั่วโมง ได้แก่ ผู้สูงอายุ ผู้ป่วย และผู้ที่ทำงานในพื้นที่มีโอกาสได้รับผลกระทบต่อสุขภาพจากการสัมผัสไนโตรเจนไดออกไซด์จากการจราจรในพื้นที่ แต่เมื่อพิจารณากรณีที่ผู้ใหญ่ที่ทำงานนอกพื้นที่ 8 ชั่วโมง/วัน (ความถี่ในการสัมผัส 16 ชั่วโมง/วัน) จะไม่ได้รับผลกระทบจากการสัมผัสไนโตรเจนไดออกไซด์ ($\text{HQ} = 0.86$) สำหรับเด็กนักเรียนพบว่า เด็กทั้งที่เรียนในโรงเรียนในพื้นที่ชุมชนและนอกพื้นที่ ต่างได้รับผลกระทบจากการสัมผัสไนโตรเจนไดออกไซด์ในพื้นที่ ($\text{HQ} > 1$) และพบว่า เด็กนักเรียนที่เรียนในพื้นที่ที่มีโอกาสได้รับผลกระทบสูงสุด เนื่องจากอัตราการหายใจต่อน้ำหนักตัวของเด็กนักเรียนสูงกว่าผู้ใหญ่ ซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของศุภิระ และคณะ [23] และ Morakinyo และคณะ [33] พบว่า เด็กอายุในช่วง 6-12 ปี มีความเสี่ยงในการได้รับผลกระทบจากการได้รับสัมผัสสารพิษผ่านกระบวนการหายใจ (HQ) สูงกว่าผู้ใหญ่ (19-75 ปี) ประมาณ 1.2-4 เท่า โดยเพศหญิงจะมีความเสี่ยงจากการสัมผัสมลพิษทางอากาศสูงกว่าเพศชายที่อายุเท่ากันเนื่องจากน้ำหนักของผู้ชายมากกว่าผู้หญิง [34]



รูปที่ 6 การเคลื่อนที่ของมวลอากาศแบบไปด้านหน้า (Forward Trajectory) ในเวลา 2 ชั่วโมง ในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน

3.4 การเคลื่อนที่ของมวลอากาศจากแหล่งกำเนิดมลพิษ

การเคลื่อนที่ของมวลอากาศจะช่วยพาแก๊สมลพิษเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดไปตามทิศทางการไหลของมวลอากาศ รูปที่ 6 แสดงถึงทิศทางการเคลื่อนที่ของมวลอากาศจากแหล่งกำเนิดไปยังพื้นที่ต่างๆ โดยรอบ โดยใช้โปรแกรม TrajStat ในการคำนวณ เส้นสีดำแต่ละเส้นแสดงถึงเส้นทางการเคลื่อนที่ของมวลอากาศ (Trajectory) จากแหล่งกำเนิดในพื้นที่ศึกษาในเขตชุมชนในช่วงเวลา 2 ชั่วโมง โดยเปรียบเทียบลักษณะการเคลื่อนที่ที่มวลอากาศในฤดูร้อนและฤดูฝนพบว่า การเคลื่อนที่ของมวลอากาศของทั้ง 2 ฤดูมีลักษณะกระจายตัวที่แตกต่างกัน โดยในฤดูร้อนการเคลื่อนที่ของอากาศส่วนใหญ่จะเคลื่อนที่จากทิศตะวันออกไปสู่ทิศตะวันตกโดยได้รับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ในขณะที่ฤดูฝนพื้นที่ดังกล่าวอยู่ในช่วงการเปลี่ยน

อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้เป็นลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมจากทะเลอ่าวไทย [8] ดังนั้นการเคลื่อนที่ของมวลอากาศค่อนข้างจะกระจายในทุกทิศทาง และจากการจัดกลุ่มการเคลื่อนที่ของมวลอากาศโดยใช้โปรแกรม TrajStat พบว่า ทั้ง 2 ฤดูสามารถจัดกลุ่มการเคลื่อนที่ของมวลอากาศได้ 3 กลุ่ม (เส้นสีแดง เส้นประสีชมพู และเส้นประสีเหลือง) พบว่า มวลอากาศส่วนใหญ่ 40% ในฤดูร้อนและ 37% ในฤดูฝน มีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางตะวันตกของพื้นที่ แสดงถึงพื้นที่ในทิศดังกล่าวจะมีโอกาสได้รับผลกระทบจากไนโตรเจนไดออกไซด์จากการจราจรในพื้นที่ศึกษามากที่สุด โดยในการศึกษานี้พื้นที่ดังกล่าวพื้นที่สวนสาธารณะ ดังนั้นผู้ที่มาออกกำลังกายในพื้นที่ดังกล่าวควรมีการป้องกันส่วนบุคคล เพื่อป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพจากการสัมผัสไนโตรเจนไดออกไซด์ จากพิจารณาทิศทางการไหลของมวลอากาศในพื้นที่ชุมชนเมืองของจังหวัดนครศรีธรรมราช แสดงให้เห็นถึงประชาชนที่อาศัยอยู่ในทิศตะวันตกของถนนเส้นหลักที่ตัดผ่านพื้นที่อำเภอเมืองนครศรีธรรมราช มีโอกาสได้รับผลกระทบจากการรับสัมผัสแก๊สมลพิษจากการจราจรสูงกว่าประชาชนที่อาศัยอยู่ด้านทิศตะวันออกของถนนสายหลักในชุมชนเมือง หน่วยงานที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ควรเฝ้าระวังและแนะนำประชาชนถึงแนวทางการป้องกันตนเองจากการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศในพื้นที่โดยเฉพาะในช่วงฤดูร้อนที่มีปริมาณมลพิษทางอากาศสูง และควรวางแผนจัดการพื้นที่ โดยเฉพาะบริเวณพื้นที่ใกล้แหล่งสถานศึกษา เช่น การจัดการพื้นที่รับส่งนักเรียนในบริเวณที่มีการระบายอากาศดี หรือการจัดการเดินรถทางเดียวเพื่อลดความหนาแน่นของการจราจรในพื้นที่ต่อไป

4. สรุป

การศึกษาหาความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์จากการจราจร ซึ่งปล่อยมาจากกระบวนการเผาไหม้ภายในของเครื่องยนต์ ด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างแบบแพสซิฟในพื้นที่ชุมชนและชานเมืองของจังหวัดนครศรีธรรมราช ในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝนพบว่า ความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์ในพื้นที่ชุมชน และชานเมืองของนครศรีธรรมราชมีค่าไม่เกิน



ค่ามาตรฐานไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ 24 ชั่วโมง ของประเทศ ญี่ปุ่น (113 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร) เมื่อเปรียบเทียบ ระหว่างพื้นที่พบว่า ความความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์ ในพื้นที่เขตชุมชนมีค่าสูงกว่าพื้นที่เขตชานเมืองประมาณ 2-4 เท่า เนื่องจากปริมาณการจราจรและสิ่งก่อสร้างในพื้นที่หนาแน่นกว่า ทำให้การระบายมลพิษในพื้นที่ชุมชนเมือง จึงน้อยกว่าพื้นที่ชานเมือง และยังพบว่า ความเข้มข้นของ ไนโตรเจนไดออกไซด์ในพื้นที่เขตชุมชนในฤดูร้อนมีค่าสูงกว่า ในฤดูฝน 2.3 เท่า เนื่องจากอิทธิพลของปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำฝนที่สูงกว่าในฤดูฝน จึงทำให้เกิดการชะมลพิษในพื้นที่ให้ลดลงได้ และเมื่อนำความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์ใน 2 พื้นที่ มาประเมินความเสี่ยง ต่อการรับสัมผัสไนโตรเจนไดออกไซด์ผ่านการหายใจ พบว่า ประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ชุมชนเมือง ทั้งเด็ก กลุ่มผู้สูงอายุ ผู้ป่วย และผู้ที่ทำงานที่บ้านมีความเสี่ยงในการเกิดผลกระทบ ต่อสุขภาพที่ไม่ใช่โรคมะเร็งจากการสัมผัสไนโตรเจนไดออกไซด์ ผ่านกระบวนการหายใจ ซึ่งหน่วยงานในพื้นที่ควรเร่งดำเนินการ จัดการแก้ไขอย่างเร่งด่วน

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ (WU61301) และศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือวิเคราะห์ที่ใช้ในการวิจัย จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] B. Beckerman, M. Jerrett, J. R. Brook, K. D. Verma, M. A. Arain, and M. M. Finkelsteine, "Correlation of nitrogen dioxide with other traffic pollutants near a major expressway," *Atmospheric Environment*, vol. 42, no. 2, pp. 275-290, 2008.
- [2] L. Smith, S. Mukerjee, K. Kovalcik, E. Sams, C. Stallings, E. Hudgens, J. Scott, T. Krantz, and L. Neas, "Near-road measurements for nitrogen dioxide and its association with traffic exposure zones," *Atmospheric Pollution Research*, vol. 6, no. 6, pp. 1082-1086, 2015.
- [3] S. Siratprapa, "Development of passive samplers for nitrogen dioxide gas monitoring" M.S. thesis, Department of Environmental Science, Graduate School, Silpakorn University, 2012 (in Thai).
- [4] M. Stranger, A. Krata, K.V. Deutsch, L. Bencs, F. Deutsch, A. Worobiec, I. Naveau, E. Roekens, and V. R. Grieken, "Monitoring of NO₂ in the ambient air with passive samplers before and after a road reconstruction event," *Microchemical Journal*, vol. 90, no. 2, pp. 93-98, 2008.
- [5] Ph. Collart, D. Dubourg, D. A. Levêque, N. B. Sierra, and Y. Coppieters, "Data on short-term effect of nitrogen dioxide on cardiovascular health in Wallonia, Belgium," *Data in Brief*, vol. 17, pp. 172-179, 2018.
- [6] S. Buteau, M. Hatzopoulou, L. D. Crouse, A. Smargiassi, R. T. Burnett, T. Logan, L. D. Cavellin, and M.S. Goldberg, "Comparison of spatiotemporal prediction models of daily exposure of individuals to ambient nitrogen dioxide and ozone in Montreal, Canada," *Environmental Research*, vol. 156, pp. 201-230, 2017.
- [7] E. Du, D. Dong, X. Zeng, Z. Sun, X. Jiang, and W. Vries, "Direct effect of acid rain on leaf chlorophyll content of terrestrial plants in China," *Science of the Total Environment*, vol. 605-606, pp. 764-769, 2017.
- [8] Pollution Control Department (PCD). (2009, Aug 14). Air quality and noise standards. Pollution Control Department. Bangkok, Thailand



- [Online]. Available: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_airsnd01.html (in Thai).
- [9] WHO air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, World Health Organization (WHO) Denmark, 2005, pp. 16–17.
- [10] United States Environmental Protection Agency (US-EPA). (2019, Nov 5). *National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) Table, US-EPA, United State*. [Online]. Available: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_airsnd01.html
- [11] P. D. Hien, M. Hangartner, P. M. Tan, and S. Fabian, “Concentrations of NO₂, SO₂, and benzene across Hanoi measured by passive diffusion samplers,” *Atmospheric Environment*, vol. 88, pp. 66–73, 2014.
- [12] 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).
- [13] 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, 2019 (in Thai).
- [14] H. Bae, W. Yang, and M. Chung, “Indoor and outdoor concentrations of RSP, NO₂ and selected volatile organic compounds at 32 shoe stalls located near busy roadways in Seoul, Korea,” *Science of the Total Environment*, vol. 323, no. 1–3, pp. 99–105, 2004.
- [15] X. Han and L. P. Naehar, “A review of traffic-related air pollution exposure assessment studies in the developing world,” *Environment International*, vol. 32, no. 1, pp 106–120, 2006.
- [16] J. A. Kamińska, “A random forest partition model for predicting NO₂ concentrations from traffic flow and meteorological conditions,” *Science of the Total Environment*, vol. 651(Pt 1), pp. 475–483, 2019.
- [17] Y. Zhang, “Dynamic effect analysis of meteorological conditions on air pollution: A case study from Beijing,” *Science of the Total Environment*, vol. 684, pp. 178–185, 2019.
- [18] Meteorological Department of Thailand. (2019, Jan.). *The Climate of Nakhon Si Thammarat, Thailand*. Available: http://www.marine.tmd.go.th/thai/tus_type/
- [19] N. L. Gilbert, S. Woodhouse, D. M. Stieb, and J. R. Brook, “Ambient nitrogen dioxide and distance from a major highway,” *Science of the Total Environment*, vol. 312, no. 1–3, pp 43–46, 2003.
- [20] P. Chalermrom, “Development of test kit for determination of nitrogen dioxide in ambient air using passive sampling technique,” M.S. thesis, Faculty of Science, Chiang Mai University, 2008 (in Thai).
- [21] S. Bootdee, “Application of air passive sampler test kit for monitoring of nitrogen dioxide levels in Chiang Mai province,” M.S. thesis, Faculty of Science, Chiang Mai University, 2009 (in Thai).
- [22] C. Khamkaew, “Seasonal variation of nitrogen dioxide, PM10 and its major ion composition in Chiang Mai province,” M.S. thesis, Faculty of Science, Chiang Mai University, 2010 (in Thai).
- [23] S. Bootdee, P. Chalermrom, and S. Chantara, “Validation and field application of tailor-made nitrogen dioxide passive samplers,” *International*



- Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 9, no. 3, pp. 515–526, 2012.
- [24] E. D. Palms, R. M. Burton, K. Ravishankar, and J. J. Solomon, “A simple mathematical model for diffusional sampler operation,” *American Industrial Hygiene Association Journal*, vol. 47, no. 7, pp. 418–420, 1986.
- [25] V. Garbero, A. Montaldo, N. Lazovic, P. Salizzoni, S. Berrone, and L. Soulhac, “The impact of the urban air pollution on the human health: A case-study in Turin,” *Air Pollution Modeling and its Application*, vol. 11, pp. 729–732, 2011.
- [26] R. Onchang, and P. Hemwat, “Students’ perception of industrial environmental stimuli: Focus on particulate matter,” *Science and Technology Silpakorn University*, vol. 3, no. 6, pp. 349–362, 2016 (in Thai).
- [27] B. F. A. De Oliveira, E. Igotti, P. Artzxo, P. H. N. Saldiva, W. L. Juger, and S. Hacon, “Risk assessment of PM 2.5 to child residents in Brazilian Amazon region with biofuel production,” *Environmental Health*, vol. 11 no. 64, 2012.
- [28] R.V. Dí az and E. R. Dominguez, “Health risk by inhalation of PM 2.5 in the metropolitan zone of the City of Mexico,” *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 72, no. 3, pp. 866–871, 2009.
- [29] Y.Q. Wang, X.Y. Zhang, and R. R. Draxler, “TrajStat: GIS-based software that uses various trajectory statistical analysis methods to identify potential sources from long-term air pollution measurement data,” *Environmental Modelling & Software*, vol. 24, no. 8, pp. 938–939, 2009.
- [30] C. Yuan, E. Ng, and L. K. Norford, “Improving air quality in high-density cities by understanding the relationship between air pollutant dispersion and urban morphologies,” *Building and Environment*, vol. 71, pp. 245–258, 2014.
- [31] L. Jin, J. D. Berman, J. L. Warren, J. I. Levy, G. Thurston, Y. Zhang, X. Xu, S. Wang, Y. Zhang, and M. L. Bell, “A land use regression model of nitrogen dioxide and fine particulate matter in a complex urban core in Lanzhou, China,” *Environmental Research*, vol. 177, pp. 108597, 2019.
- [32] C. J. Cros, A. L. Terpeluk, N. E. Crain, M. C. Juenger, and R. L. Corsi, “Influence of environmental factors on removal of oxides of nitrogen by a photocatalytic coating,” *Journal of the Air & Waste Management Association*, vol. 65, no. 8, pp. 937–947, 2015.
- [33] O. M. Morakinyo, A. S. Adebawale, M. I. Mokgobu, and M. S. Mukhola, “Health risk of inhalation exposure to sub-10 μ m particulate matter and gaseous pollutants in an urban-industrial area in South Africa: An ecological study,” *BMJ Open*, vol. 7, no. 3, pp. 1–9, 2017.
- [34] A. G.-Kosowska, “Assessment of the Kraków inhabitants’ health risk caused by the exposure to inhalation of outdoor air contaminants,” *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, vol. 32, no. 2, pp. 485–499, 2018.