

นิพนธ์ต้นฉบับ

Original Article

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂)
ภายในอาคารของด่านพรมแดน กรณีศึกษา ด่านพรมแดนสะพานมิตรภาพไทย-ลาว
แห่งที่ 4 (เชียงของ-ห้วยทราย) จังหวัดเชียงราย

Health risk assessment of indoor nitrogen dioxide (NO₂) exposure at border
checkpoint: case study of the 4th Thai-Lao Friendship Bridge (Chiang Khong-
Huay Xai), Chiang Rai Province

ปิยะพันธ์ เชื้อเมืองพาน¹Piyapan Chuamuangpan¹ธิตพงษ์ พลอยเหลียง¹Thitipong Ployleuang¹โสภิตา สุโพธิณะ¹Sopida Supotina¹กัญจรัตน์ ปวงบุตร¹Kunyarat Pongbut¹ศุภิระ บุตรดี²Susira Bootdee²¹ด่านควบคุมโรคติดต่อระหว่างประเทศ¹The 4th Thai-Lao Friendship Bridge (Chiang

สะพานมิตรภาพ 4 เชียงของ

Khong), Office of Disease Prevention

สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 1

and Control, Region 1,

เชียงใหม่ กรมควบคุมโรค

Chiang Mai, Department of Disease

Control

²มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า²King Mongkut's University of Technology North

พระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง

Bangkok (Rayong campus)

DOI: 10.14456/dcj.2024.24

Received: December 5, 2023 | Revised: March 3, 2024 | Accepted: March 28, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ภายในอาคารของด่านพรมแดนสะพานมิตรภาพไทย-ลาว แห่งที่ 4 (เชียงของ-ห้วยทราย) จังหวัดเชียงราย ในฤดูกาลท่องเที่ยว และการประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ รูปแบบการศึกษาเป็นการวิจัยเชิงสำรวจ โดยใช้วิธีการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ (passive sampling methods) เครื่องมือที่ใช้คือหลอดพาสซีฟ (passive sampler) พื้นที่และจุดเก็บตัวอย่าง ได้แก่ ด่านควบคุมโรคติดต่อระหว่างประเทศ (BC1) จุดตรวจสอบเอกสารผู้เดินทางขาเข้าประเทศ ด่านตรวจคนเข้าเมือง และด่านศุลกากร (BC2) ห้องสำนักงานด่านตรวจคนเข้าเมืองผู้เดินทางขาเข้าประเทศ (BC3) ห้องสำนักงานด่านตรวจคนเข้าเมืองผู้เดินทางขาออกประเทศ (BC4) และจุดตรวจสอบเอกสารผู้เดินทางขาออกประเทศ ด่านตรวจคนเข้าเมืองและด่านศุลกากร (BC5) ทำการเก็บตัวอย่างในช่วงเดือนมกราคม ถึงเมษายน 2566 ทุก ๆ 1 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ภายในอาคารอยู่ในช่วง 15.1 (SD 2.3) ถึง 88.3 (SD 30.6) ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (µg/m³) และมีค่ามัธยฐาน

อยู่ในช่วง 15.3 ถึง 93.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ โดยพบว่าแต่ละจุดเก็บตัวอย่างต่างกันอย่างมีนัยสำคัญและจุดตรวจสอบเอกสารผู้เดินทางขาเข้าประเทศ ด้านตรวจคนเข้าเมือง และด่านศุลกากร (BC2) มีค่าสูงที่สุด ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับจำนวนรถบรรทุกอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อทำการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพด้วยการคำนวณจากค่าสัดส่วนความเสี่ยงรับสัมผัส (hazard quotient: HQ) พบว่าค่าเฉลี่ย HQ ของการรับสัมผัสก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ของวัยเด็กมีค่ามากกว่าวัยผู้ใหญ่มีค่าเกิน 1.0 แสดงว่ามีความเสี่ยงต่อสุขภาพจากสิ่งคุกคามที่ไม่ก่อมะเร็ง

ติดต่อผู้พิมพ์ : ศุภิระ บุตรดี

อีเมล : susira.b@sciee.kmutnb.ac.th

Abstract

This research aims to monitor indoor NO₂ concentrations at the 4th Thai–Laos Friendship Bridge (Chiang Khong–Huay Xai) border checkpoint in Chiang Rai Province during high season and conduct health risk assessments. The study design is survey research. Indoor NO₂ samples were collected by the passive sampling method using a diffusion tube sampler. The area and sampling sites consist of the International Health and Quarantine Office (BC1), Immigration and Customs Checkpoint Arrival (BC2), Immigration Office Arrival (BC3), Immigration Office Departure (BC4), and Immigration and Customs Checkpoint Departure (BC5). The samplings were done from January to April 2023, after 1 week exposure. The mean and median indoor NO₂ concentrations at the border checkpoint ranged from 15.1 (SD 2.3) to 88.3 (SD 30.6) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 15.3 to 93.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. Indoor NO₂ concentrations at all sampling sites were significantly different, and the immigration and customs checkpoint arrival site (BC2) had the highest values measured. Additionally, a moderate correlation was found between the indoor NO₂ levels and the number of trucks. Non-carcinogenic risk assessments of indoor NO₂ exposure were calculated by hazard quotient (HQ). The results showed that the average HQ values of children were higher than those of male and female adults, exceeding 1.0, indicating potential health risks

Correspondence: Susira Bootdee

E-mail: susira.b@sciee.kmutnb.ac.th

คำสำคัญ

ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์, การเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ, มลพิษทางอากาศภายในอาคาร, การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

Keywords

nitrogen dioxide, passive sampling, indoor air pollution, health risk assessment

บทนำ

ผู้คนทั่วโลกใช้เวลาส่วนใหญ่อยู่ในบ้าน ประมาณร้อยละ 80–90 เป็นผลให้มีโอกาสรับสัมผัสสารมลพิษทางอากาศภายในอาคารมากกว่าภายนอกอาคาร⁽¹⁾ จากการรายงานขององค์การอนามัยโลก (World Health

Organization: WHO) พบว่ามลพิษทางอากาศภายในอาคารทำให้มีผู้เสียชีวิตประมาณ 3.2 ล้านคนต่อปี ในปี ค.ศ. 2020 โดยเฉพาะเด็กที่มีอายุต่ำกว่า 5 ปี เสียชีวิตมากถึง 237,000 ราย⁽¹⁾ ซึ่งนักวิจัยทั่วโลกกำลังสนใจก๊าซมลพิษทางอากาศที่อาจจะส่งผลต่อสุขภาพ

ต่อผู้อยู่อาศัยภายในอาคารได้ โดยเฉพาะการสัมผัสก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (nitrogen dioxide: NO_2) ซึ่งเป็นก๊าซในกลุ่มของออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และเป็นก๊าซมลพิษทางอากาศที่สำคัญ มีแหล่งกำเนิดหลักมาจากการจราจรและอุตสาหกรรม และภายในอาคาร เช่น การทำความร้อน การทำอาหารจากเตาแก๊สและชีวมวล และการสูบบุหรี่ เป็นต้น⁽²⁾ ออกไซด์ของไนโตรเจนมักจะอยู่ในรูปก๊าซไนตริกออกไซด์ (NO) และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เมื่อก๊าซไนตริกออกไซด์ปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศ จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (O_2) กลายเป็นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์⁽³⁾ จากการศึกษาของ Trinh et al.⁽⁴⁾ พบว่ายานพาหนะที่ใช้ใช้น้ำมันดีเซล (diesel) จะปลดปล่อยก๊าซไนตริกออกไซด์ประมาณ 0.33–0.71 กรัมต่อกิโลเมตร ซึ่งมากกว่าน้ำมันเบนซิน (gasoline) ที่มีค่าประมาณ 0.003–0.07 กรัมต่อกิโลเมตร และจากการศึกษาแบบจำลองสำหรับคาดการณ์การปลดปล่อยก๊าซไนตริกออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์แบบต่อเนื่อง (real-time) ตลอดทั้งวัน จากถนนที่มีการจราจรหนาแน่นในเขตพาณิชย์ในเมืองลอนดอน ประเทศสหราชอาณาจักร (อังกฤษ) ซึ่งมีปริมาณยานพาหนะประมาณ 90,000 คันต่อวัน พบว่ามีค่าความเข้มข้นของก๊าซไนตริกออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์อยู่ระหว่าง 0.02 ถึง 726 และ 0.06 ถึง 291 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ตามลำดับ⁽⁵⁾ มีนักวิจัยทำการศึกษาการปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์จากเมืองราวัลปินดี (Rawalpindi) ประเทศปากีสถาน พบว่าเส้นทางหลวงมีค่าอยู่ในช่วง 22.8 (SD 1.3) ถึง 37.5 (SD 1.7) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ขณะที่ถนนย่อยอยู่ในช่วง 22.4 (SD 1.3) ถึง 38.1 (SD 1.4) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ อีกทั้งถนนสายเล็กอยู่ในช่วง 22.4 ± 1.0 ถึง 37.1 ± 1.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และพื้นที่โรงพยาบาลและพื้นที่สถาบันการศึกษาอยู่ในช่วง 23.5 (SD 1.6) ถึง 38.7 (SD 1.6) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ⁽⁶⁾ มีการศึกษาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในพื้นที่เขตเมือง พื้นที่เขตอุตสาหกรรม และพื้นที่ควบคุม (background area) ในจังหวัดระยอง ประเทศไทย พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 13.9 ถึง 43.0, 10.4 ถึง 34.0 และ 5.8 ถึง 35.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตาม

ลำดับ นอกจากนี้ พบว่าพื้นที่เขตเมืองและเขตอุตสาหกรรมมีค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มากกว่าพื้นที่เขตควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการจราจรที่หนาแน่นในพื้นที่เขตเมืองและพื้นที่เขตอุตสาหกรรม⁽⁷⁾ ดังนั้นแหล่งกำเนิดที่สำคัญของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของรถยนต์

เนื่องจากการรับสัมผัสก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เข้าสู่ร่างกายมีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ ซึ่งอาจจะแสดงอาการในระยะสั้นหรือเฉียบพลัน (short-term or acute effect) เช่น ระคายเคืองตา (eye irritation) ตาแดง (pink eye) เจ็บคอ (sore throat) อาการไอ (cough) เป็นต้น และแสดงอาการระยะยาวหรือเรื้อรัง (long-term or chronic effect) เช่น การกระตุ้นแสดงอาการโรคหอบหืด (asthma) โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (chronic obstructive pulmonary disease: COPD) และเพิ่มอัตราการตายจากระบบทางเดินหายใจผิดปกติ (respiratory mortality) เป็นต้น⁽⁸⁻¹⁰⁾ โดยค่ามาตรฐานความเข้มข้นเฉลี่ยรายปีของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศของกรมควบคุมมลพิษ (Pollution Control Department: PCD) มีค่าไม่เกิน 57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ส่วนองค์การอนามัยโลกกำหนดให้ไม่เกิน 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (United States–Environmental Protection Agency: US–EPA) กำหนดให้ไม่เกิน 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ⁽¹¹⁻¹³⁾

ด้านพรมแดนสะพานมิตรภาพไทย–ลาว แห่งที่ 4 (เชียงของ–ห้วยทราย) อำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย เปิดทำการตั้งแต่ปี 2556 เพื่อสร้างศักยภาพของเส้นทาง R3A ที่เชื่อมระหว่างประเทศไทย ที่อำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย ผ่านแขวงบ่อแก้ว ผ่านบ่อเต็น แขวงหลวงน้ำทา สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว (สปป.ลาว) ไปยัง บ่อหาน เขตปกครองตนเองสิบสองปันนา คุณหมิง มณฑลยูนนาน สาธารณรัฐประชาชนจีน ซึ่งเป็นการเชื่อมโยงระบบการขนส่งสินค้าและโลจิสติกส์ อีกทั้งเป็นการส่งเสริมการท่องเที่ยวระหว่างประเทศ⁽¹⁴⁾ ในปี 2565 มีรายงานสถิติทางด้านเศรษฐกิจมูลค้ำรวมการนำเข้าและส่งออกการค้าบริเวณด่านพรมแดน

สะพานมิตรภาพไทย-ลาว แห่งที่ 4 พบว่ามีมูลค่ารวมการส่งออก ประมาณ 47,956 ล้านบาท และมูลค่ารวมการนำเข้า ประมาณ 18,146 ล้านบาท นอกจากนี้ทางด้านการท่องเที่ยวมีนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างประเทศสะสมตลอดทั้งปีที่ผ่านมาเข้า-ออกผ่านด่านพรมแดน ประมาณ 183,900 คน และ 197,616 คน ตามลำดับ ขณะที่มียานพาหนะเดินทางเข้าและออกสะสมตลอดทั้งปี จำนวน 201,101 คัน และ 199,360 คัน⁽¹⁵⁾ ซึ่งตั้งอยู่ในทำเลยุทธศาสตร์ที่อาจจะส่งเสริมการลงทุนและการพัฒนาการท่องเที่ยวในจังหวัดเชียงรายและจังหวัดใกล้เคียงในปัจจุบันและอนาคตได้ อย่างไรก็ตาม การที่มีจำนวนยานพาหนะผ่านเข้า-ออกด่านพรมแดนเป็นจำนวนมาก อาจส่งผลต่อการรับสัมผัสจากก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยมาจากยานพาหนะดังกล่าวได้ โดยเฉพาะช่วงเทศกาลหรือฤดูกาลการท่องเที่ยวของประเทศไทยที่จะต้องตระหนักและความสำคัญต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานที่ให้บริการบริเวณด่านพรมแดนสะพานมิตรภาพไทย-ลาว แห่งที่ 4 (เชียงใหม่-หัวทราย)

ด้วยเหตุปัจจัยดังกล่าว จึงมีความจำเป็นต้องมีการประเมินและเฝ้าระวังสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานในอาคารด่านพรมแดน โดยการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคารที่มีผู้ปฏิบัติงานตลอดทั้งวันจึงมีความสำคัญ เนื่องจากมีจำนวนนักท่องเที่ยวและยานพาหนะที่ผ่านเข้า-ออกพื้นที่เป็นจำนวนมาก อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานได้ ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามตรวจสอบความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ภายในอาคารของด่านพรมแดนสะพานมิตรภาพไทย-ลาว แห่งที่ 4 (เชียงใหม่-หัวทราย) จังหวัดเชียงราย ในช่วงฤดูกาลท่องเที่ยว และประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

วัสดุและวิธีการศึกษา

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ (survey research) และการวิจัยแบบทดลอง (experimental

research) มีการเก็บตัวอย่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ (passive sampling methods) เครื่องมือใช้เก็บตัวอย่าง ได้แก่ หลอดพาสซีฟพื้นที่และจุดเก็บตัวอย่าง 5 แห่ง ในบริเวณด้านที่เจ้าหน้าที่ทำงาน ตามสูตรการคำนวณของ Fick's first law และการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปี (spectroscopy method) ส่วนการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพได้ทำการประเมินจากวิธีมาตรฐานขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (US.-EPA)⁽¹⁶⁾ โดยอ้างอิงข้อมูลด้านเพศ อายุเฉลี่ย น้ำหนักเฉลี่ย อัตราการรับสัมผัสสิ่งคุกคามต่อหน่วยเวลา ความถี่ในการรับสัมผัสระยะเวลาที่รับสัมผัส และระยะเวลาที่ใช้ในการเฉลี่ยจากงานวิจัยของ Liang et al.⁽¹⁷⁾

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หลังจากการวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ครบถ้วนและถูกต้องแล้ว โดยศึกษาเปรียบเทียบค่ามัธยฐานความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์จากจุดเก็บตัวอย่าง 5 จุด และตลอดระยะเวลาเก็บตัวอย่างจำนวน 4 เดือน ด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติแบบไม่อิงพารามิเตอร์ (Nonparametric statistics) ด้วยวิธีการทดสอบ Kruskal-Wallis test และ Mann-Whitney test นอกจากนี้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างประเภทยานพาหนะกับการปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ภายในอาคารของด่านพรมแดนโดยวิเคราะห์ด้วยสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson's correlation)

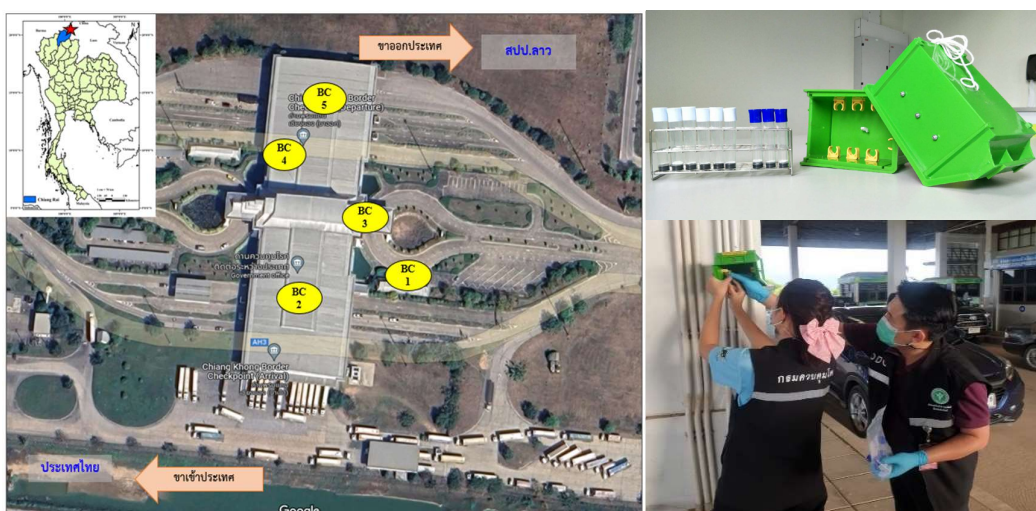
พื้นที่ศึกษา

ภายในอาคารของด่านพรมแดนสะพานมิตรภาพไทย-ลาว แห่งที่ 4 (เชียงใหม่-หัวทราย) พิกัดที่ละติจูด (Latitude) 20°12'57.8592"N และลองจิจูด (Longitude) 100°26'7.1196"E โดยทำการเก็บตัวอย่างแบบสำรวจและสุ่ม (survey and random sampling) จำนวน 5 แห่ง โดยกระจายจุดเก็บตัวอย่างตามประเภทยานพาหนะที่ผ่านด่านพรมแดนและพื้นที่ที่มีผู้ปฏิบัติงานภายในด่านพรมแดน ดังแสดงในภาพที่ 1 และตารางที่ 1

การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

การเก็บตัวอย่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ใช้หลักการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ (passive sampling) ที่พัฒนามาจากห้องปฏิบัติการวิจัยเคมีสิ่งแวดล้อม (Environmental Chemistry Research Laboratory: ECRL) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่⁽¹⁸⁾ โดยประกอบด้วยหลอดพาสซีฟ (passive sampler) บรรจุกระดาษกรองแบบใยแก้ว (GF/A) ที่

หยด 20%v/v สารไตรเอทานอลามีน (Triethanolamine: TEA) ปริมาตร 50 ไมโครลิตร จากนั้นนำหลอดเก็บตัวอย่างที่เตรียมไว้ไปยึดติดไว้กับกล่องวางตัวอย่าง (shelter) และนำไปแขวนในที่จุดเก็บตัวอย่างให้สูงจากพื้นดินประมาณ 1.5–2.0 เมตร ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์แบบต่อเนื่องเป็นเวลา 1 สัปดาห์ (7 วัน) เริ่มตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเมษายน 2566 ซึ่งเป็นฤดูกาลท่องเที่ยว (high season) ของจังหวัดเชียงราย ประเทศไทย



ภาพที่ 1 จุดเก็บตัวอย่างของด่านพรมแดนสะพานมิตรภาพไทย-ลาว แห่งที่ 4 (เชียงของ-ห้วยทราย) จังหวัดเชียงราย

Figure 1 Map of the 4th Thai-Lao Friendship Bridge (Chiang Khong-Huay Xai), Chiang Rai Province

ตารางที่ 1 จุดเก็บตัวอย่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ โดยวิธีการเก็บแบบพาสซีฟ

Table 1 Sampling site for NO₂ concentration by passive sampling method

จุดเก็บตัวอย่าง	รหัส	พื้นที่เก็บตัวอย่าง
จุดที่ 1	BC1	ด่านควบคุมโรคติดต่อระหว่างประเทศ (International Health and Quarantine Office)
จุดที่ 2	BC2	จุดตรวจสอบเอกสารผู้เดินทางขาเข้าประเทศ ด่านตรวจคนเข้าเมือง และด่านศุลกากร (Immigration and Custom Checkpoint Arrival)
จุดที่ 3	BC3	ห้องสำนักงานด่านตรวจคนเข้าเมืองผู้เดินทางขาเข้าประเทศ (Immigration Office Arrival)
จุดที่ 4	BC4	ห้องสำนักงานด่านตรวจคนเข้าเมืองผู้เดินทางขาออกประเทศ (Immigration Office Departure)
จุดที่ 5	BC5	จุดตรวจสอบเอกสารผู้เดินทางขาออกประเทศ ด่านตรวจคนเข้าเมืองและด่านศุลกากร (Immigration and Custom Checkpoint Departure)

หลังจากเก็บตัวอย่าง ทำการตรวจวัดด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปี (spectroscopy method) ทำการสกัดตัวอย่างด้วยน้ำปราศจากไอออน (De-ionization water: DI water) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสาร (vertex mixer GENIE 2) จากนั้นตั้งทิ้งไว้ 15 นาที แล้วดูดสารละลายตัวอย่างมา 1 มิลลิลิตรผ่านตัวกรองในลอน (syring filter 0.45 ไมครอน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร) ใส่ในหลอดทดลอง จากนั้นเติมสารละลายซอลท์ซมันน์รีเอเจนท์ (Saltzman reagent) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เพื่อให้สารละลายเกิดสีชมพูอมม่วง นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารตั้งทิ้งไว้ 10 นาที แล้วทำวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยการวัดปริมาณไนโตรที่ไอออน (NO₂) ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (ThermoScientific GENESYS 150, USA) ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร จากนั้นนำข้อมูลไปคำนวณหาปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ตามสูตรสมการของ Fick's first law⁽¹⁸⁻¹⁹⁾ แสดงดังสมการที่ 1

$$C = \frac{Q \times L}{A \times T \times D} \quad (\text{สมการที่ 1})$$

C = ความเข้มข้นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Q = ปริมาณของไนโตรที่ไอออนที่ได้จากกราฟสารละลายมาตรฐาน (ไมโครกรัม : μg)

L = ความยาวของหลอดแพสซีฟแซมเพลอร์ (เมตร : m)

A = พื้นที่หน้าตัดของหลอดแพสซีฟแซมเพลอร์ (ตารางเมตร : m^2)

T = ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง (วินาที : s)

D = สัมประสิทธิ์การแพร่ของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เท่ากับ 1.54×10^5 (ตารางเมตรต่อวินาที ; m^2/s)

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ภายในอาคาร

การศึกษาประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากสิ่งคุกคามที่ไม่ก่อมะเร็ง (non-carcinogenic risk assessment) สามารถคำนวณได้จากค่าสัดส่วนความเสี่ยงรับสัมผัส หรือ ค่า hazard quotient (HQ) จากการรับสัมผัสก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ทางการหายใจ (inhalation intake) ซึ่งเป็นวิธีการประเมินค่า หรือวัดปริมาณสิ่งคุกคามที่มนุษย์หรือประชากรที่อยู่ในพื้นที่ได้รับสารมลพิษจากสิ่งแวดล้อม และวิธีที่ใช้ประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ที่อาจจะก่อโรคอื่นๆ ที่ไม่ใช่การก่อโรคมะเร็ง อ้างอิงมาจากองค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (US.-EPA)⁽¹⁶⁾ ได้อาศัยการคำนวณจากสมการอัตราส่วนระหว่างค่าการปริมาณสิ่งคุกคามที่ได้รับการหายใจในแต่ละวัน (average daily dose: ADD) และค่าความเข้มข้นอ้างอิงมาตรฐาน (reference dose; RfD) จากการได้รับสัมผัสก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยการหายใจ ดังแสดงในสมการที่ 2

$$HQ = \frac{ADD}{RfD} \quad (\text{สมการที่ 2})$$

HQ คือ ค่าสัดส่วนความเสี่ยงรับสัมผัส (hazard quotient)

ADD คือ ปริมาณสิ่งคุกคามที่ได้รับ ($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{day}$)

RfD คือ inhalation reference dose หรือค่าความเข้มข้นอ้างอิงมาตรฐาน ($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{day}$)

การคำนวณปริมาณสิ่งคุกคามที่ได้รับจากการหายใจในแต่ละวัน (average daily dose: ADD) เป็นการประเมินสารมลพิษทางอากาศที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ ดังแสดงสมการที่ 3 และมีการคำนวณปริมาณสิ่งคุกคามที่ได้รับจากการหายใจในแต่ละวัน (ADD) ตามช่วงอายุ ได้แก่ วัยเด็ก (children) วัยผู้ใหญ่เพศชาย (male adults) และวัยผู้ใหญ่เพศหญิง (female adults) โดยอ้างอิงจากปัจจัยการได้รับการสัมผัส

(exposure factors)⁽¹⁷⁾ ดังแสดงในตารางที่ 2

$$= \frac{C_i \times \text{InhR} \times \text{EF} \times \text{ED}}{\text{BW} \times \text{AT}} \quad (\text{สมการที่ 3})$$

ADD คือ ปริมาณสิ่งคุกคามที่ได้รับ (µg/kg-day)

C_i คือ ความเข้มข้นเฉลี่ยของสิ่งคุกคามที่รับสัมผัส (µg/m³)InhR คือ inhalation rate หรืออัตราการรับสัมผัสสิ่งคุกคามต่อหน่วยเวลา (m³/day)

EF คือ exposure frequency หรือความถี่ในการรับสัมผัส (day/year; 365 days/year)

ED คือ exposure duration หรือระยะเวลาที่

รับสัมผัส (year)

BW คือ body weight หรือน้ำหนักร่างกายเฉลี่ย (kg)

AT คือ averaging time หรือระยะเวลาที่ใช้ในการเฉลี่ย (day)=ED X 365 days/year

สำหรับค่า RfD หรือค่าความเข้มข้นอ้างอิงมาตรฐานจากการได้รับสัมผัสก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยการหายใจ มีค่าเท่ากับ 1.1×10⁻² mg/kg-day⁽²⁰⁾ ถ้าค่า HQ<1.0 บ่งชี้ว่าไม่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพจากสิ่งคุกคามที่ไม่ก่อมะเร็ง และ HQ≥1.0 แสดงว่ามีความเสี่ยงต่อสุขภาพจากสิ่งคุกคามที่ไม่ก่อมะเร็ง

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์จากการรับสัมผัสก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เพื่อประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากสิ่งคุกคามที่ไม่ก่อมะเร็ง⁽¹⁷⁾Table 2 Parameter of indoor NO₂ exposure estimate for non-carcinogenic risk assessment.

พารามิเตอร์	วัยเด็ก	วัยผู้ใหญ่	
		เพศชาย	เพศหญิง
BW (Kg)	15	67.3	57.5
EF (days/year)	365	365	365
ED (years)	18	30	30
InhR (m ³ /day)	8.6	16.6	13.5
AT (EDX365 days/year=days)	4,380	10,950	10,950

ผลการศึกษา

ส่วนที่ 1 : ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ภายในอาคาร

ค่าเฉลี่ยและค่ามัธยฐานความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ภายในอาคารของด่านพรมแดนสะพานมิตรภาพไทย-ลาว แห่งที่ 4 (เชียงของ-ห้วยทราย) อำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย ในช่วงฤดูการท่องเที่ยว (มกราคม-เมษายน 2566) ดังแสดงตารางที่ 3 และภาพที่ 2 ค่าเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เรียงจากความเข้มข้นมากไปหาน้อย คือ จุดตรวจสอบเอกสารผู้เดินทางขาเข้าประเทศ ด่านตรวจคนเข้าเมืองและด่านศุลกากร (BC2) 46.8 (SD 30.9) µg/m³ จุดตรวจสอบเอกสารผู้เดินทางขาออกประเทศด่านตรวจคนเข้าเมืองและด่านศุลกากร (BC5) 34.1 (SD 23.7) µg/m³

ด้านควบคุมโรคติดต่อระหว่างประเทศ (BC1) 29.8 (SD 14.7) µg/m³ ห้องสำนักงานด่านตรวจคนเข้าเมืองผู้เดินทางขาออกประเทศ (BC4) 27.1 (SD 16.5) µg/m³ ห้องสำนักงานด่านตรวจคนเข้าเมืองผู้เดินทางขาเข้าประเทศ (BC3) 21.2 (SD 6.7) µg/m³ และค่ามัธยฐานของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เรียงจากมากไปหาน้อยมีผลเช่นเดียวกัน (ตารางที่ 3) นอกจากนี้ พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ภายในอาคารทุกจุดเก็บตัวอย่าง มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานเฉลี่ยรายปีของกรมควบคุมมลพิษ (57 µg/m³) และองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (100 µg/m³) อย่างไรก็ตาม มีค่าเกินมาตรฐานเฉลี่ยรายปีขององค์การอนามัยโลก (40 µg/m³) ในจุดเก็บตัวอย่าง BC2 นอกจากนี้ เมื่อศึกษาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในแต่ละ

เดือน พบว่าค่าเฉลี่ยและค่ามัธยฐานความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่มีค่ามากที่สุด คือ เดือนเมษายน 2566 (55.0 (SD 28.5) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และ 46.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) และมีค่าน้อยที่สุด คือ เดือนกุมภาพันธ์ 2566 (21.2 (SD 7.8) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และ 20.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ดังแสดงในตารางที่ 3

เนื่องจากข้อมูลความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ภายในอาคารของด่านพรมแดนฯ ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างและในแต่ละเดือนมาทดสอบสถิติมีการแจกแจงไม่ปกติ จึงทำการทดสอบสถิติไม่อิงพารามิเตอร์ (Nonparametric statistics)

ทดสอบสถิติของค่ามัธยฐานความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ภายในอาคารของด่านพรมแดนฯ ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง ด้วยวิธีทดสอบ Kruskal-Wallis test พบว่า ค่ามัธยฐานปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์แต่ละจุดเก็บตัวอย่างแตกต่างกัน อย่างน้อยหนึ่งจุดเก็บตัวอย่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\chi^2=14.816$ $p=0.005$) และมีการเปรียบเทียบด้วยวิธี Mann-Whitney test พบว่า มีค่ามัธยฐานความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในแต่ละจุดมีแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนี้

จุด BC1 และ BC2 ($U=64.000$;
 $Z=-2.012$; $p=0.044$)

จุด BC1 และ BC3 ($U=60.000$;
 $Z=-2.178$; $p=0.029$)

จุด BC2 และ BC3 ($U=26.000$;
 $Z=-3.588$; $p<0.001$)

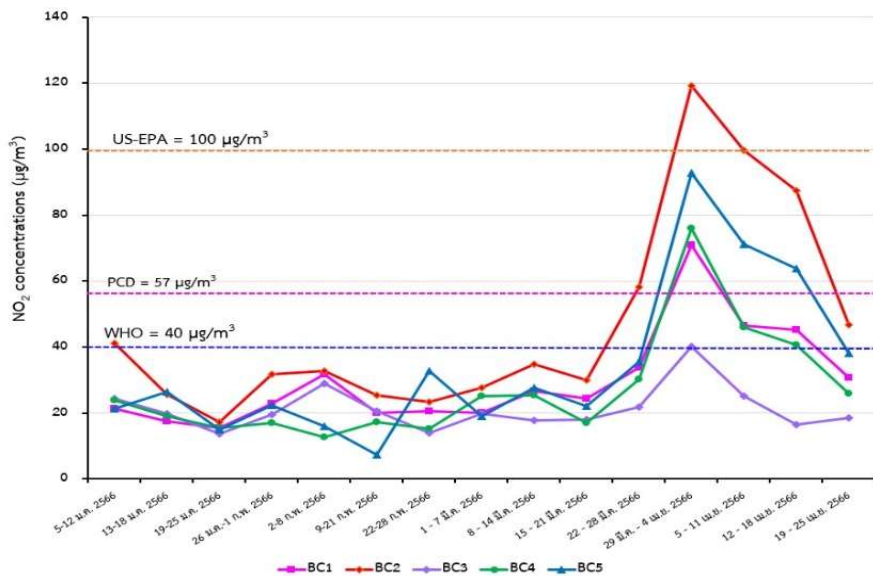
จุด BC2 และ BC4 ($U=48.000$;
 $Z=-2.675$; $p=0.007$)

ทดสอบสถิติของค่ามัธยฐานความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ภายในอาคารของด่านพรมแดนฯ ในแต่ละเดือน ด้วยวิธีทดสอบ Kruskal-Wallis test พบว่าค่ามัธยฐานของปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์แต่ละเดือนแตกต่างกันอย่างน้อยหนึ่งเดือน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\chi^2=12.513$ $p=0.006$) และมีการเปรียบเทียบด้วยวิธี Mann-Whitney test พบว่า มีค่ามัธยฐานความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ภายในอาคารของด่านพรมแดนฯ ในเดือนเมษายน พ.ศ. 2566 มีความแตกต่างกันกับเดือนอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนี้

เดือนเมษายนและเดือนมกราคม ($U=39.000$;
 $Z=-3.049$; $p=0.002$)

เดือนเมษายนและเดือนกุมภาพันธ์
($U=47.000$; $Z=-2.717$; $p=0.007$)

เดือนเมษายนและเดือนมีนาคม ($U=53.000$;
 $Z=-2.468$; $p=0.014$)



ภาพที่ 2 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ภายในอาคารของแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง ในช่วงฤดูกาลท่องเที่ยว

Figure 2 Concentration of indoor NO_2 in sampling site during high season

ตารางที่ 3 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ($\mu\text{g}/\text{m}^3 \pm \text{SD}$) ภายในอาคารด่านพรมแดนเชียงของ จังหวัดเชียงราย (n=15)

Table 3 Mean indoor NO_2 concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3 \pm \text{SD}$) at Chiang Khong border checkpoint, Chiang Rai Province (n=15)

เส้นทาง	รหัส	ผลการวิจัย	มกราคม ^a (n=4)	กุมภาพันธ์ ^a (n=3)	มีนาคม ^a (n=4)	เมษายน ^b (n=4)	รวมจุดเก็บ ตัวอย่าง (n=15)
ขาเข้า	BC1 ^A	ค่าเฉลี่ย	19.3±3.3	24.1±6.6	26.2±5.8	48.3±16.7	29.8±14.7
		ค่ามัธยฐาน	19.5	20.5	25.5	45.9	24.3
	BC2 ^b	ค่าเฉลี่ย	29.0±10.0	27.2±5.0	37.7±14.0	88.3±30.6	46.8±30.9
		ค่ามัธยฐาน	28.7	25.3	32.5	93.6	32.9
	BC3 ^C	ค่าเฉลี่ย	19.4±4.4	21.2±7.5	19.3±1.9	25.1±10.8	21.2±6.7
		ค่ามัธยฐาน	19.6	20.5	18.9	21.9	19.7
ขาออก	BC4 ^A	ค่าเฉลี่ย	18.8±3.7	15.1±2.3	24.4±5.5 ^A	47.1±21.1	27.1±16.5
		ค่ามัธยฐาน	18.0	15.3	25.2	43.3	23.9
	BC5 ^{Ab}	ค่าเฉลี่ย	21.3±4.8	18.7±13.0	26.1±7.3	66.4±22.5	34.1±23.7
		ค่ามัธยฐาน	21.8	15.9	24.9	67.4	26.5
รวมรายเดือน		ค่าเฉลี่ย	21.6±6.4	21.2±7.8	26.7±9.4	55.0±28.5	
		ค่ามัธยฐาน	20.5	20.5	25.2	46.3	

หมายเหตุ : A, B, C แสดงค่าการวิเคราะห์ความแตกต่างของแต่ละจุดเก็บตัวอย่างที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

a, b แสดงค่าการวิเคราะห์ความแตกต่างของแต่ละเดือนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 4 จำนวนนักท่องเที่ยวและยานพาหนะที่ผ่านขาเข้าและขาออกนอกประเทศ ของด่านพรมแดนเชียงของ จังหวัดเชียงราย

Table 4 Number of tourists and vehicles including arrival and departure at Chiang Khong border checkpoint, Chiang Rai

เส้นทาง	เดือน	ขาเข้า					ขาออก				
		ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	รวม	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	รวม
นักท่องเที่ยว (คน)	ชาวไทย	11,261	8,807	8,053	10,014	38,135	11,284	8,444	8,239	10,216	38,183
	ชาวต่างชาติ	13,131	21,494	12,163	19,712	66,500	20,340	17,665	16,604	22,567	77,176
	รวม	25,435	20,301	20,216	29,726	95,678	30,487	26,109	24,843	32,873	114,312
ยานพาหนะ (คัน)	รถบรรทุก	6,503	3,171	3,753	9,589	23,016	6,506	3,135	3,569	9,633	22,843
	รถยนต์*	879	706	805	956	3,346	891	734	835	971	3,431
	รถกระบะ	948	813	910	1,047	3,718	903	791	896	1,061	3,651
	รถตู้	75	49	52	49	225	73	53	39	43	208
	รถโดยสาร	36	27	28	28	119	34	28	28	28	118
	รถจักรยานยนต์	72	80	35	82	269	145	104	66	54	369
	รวม	8,513	4,846	5,583	11,751	30,693	8,552	4,845	5,433	11,790	30,620

ที่มา: สำนักงานตรวจคนเข้าเมืองเชียงของ สะพานมิตรภาพ 4 (เชียงของ-ห้วยทราย); * หมายถึง รถยนต์ส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน

จากตารางที่ 4 แสดงข้อมูลจำนวนนักท่องเที่ยว (ชาวไทยและชาวต่างชาติ) และประเภทของยานพาหนะ ได้แก่ รถบรรทุก รถยนต์ รถกระบะ รถตู้ รถโดยสารหรือรถนำเที่ยว และรถจักรยานยนต์ ที่ผ่านเข้า-ออกด่านพรมแดนสะพานมิตรภาพไทย-ลาว แห่งที่ 4 (เชียงของ-ห้วยทราย) อำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย ในช่วงฤดูกาลท่องเที่ยว (เดือนมกราคม ถึงเดือนเมษายน 2566) เมื่อนำค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ภายในอาคารมาหาความสัมพันธ์ทางสถิติกับจำนวนนักท่องเที่ยวและประเภทของยานพาหนะ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson's

correlation) พบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันต่ำกับรถบรรทุกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r=0.497$, $p<0.05$) นอกจากนี้ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนยานพาหนะแต่ละประเภทกับจำนวนนักท่องเที่ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทิศทางเดียวกันสูงกับรถยนต์ ($r=0.819$, $p<0.05$) และรถกระบะ ($r=0.843$, $p<0.05$) ขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันปานกลางของจำนวนนักท่องเที่ยวกับรถโดยสาร ($r=0.640$, $p<0.05$) และรถจักรยานยนต์ ($r=0.525$, $p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเพียร์สันระหว่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ นักท่องเที่ยว และยานพาหนะที่ด่านพรมแดนเชียงของ จังหวัดเชียงราย

Table 5 Pearson's correlation between NO₂, number of tourists and vehicles at Chiang Khong border checkpoint, Chiang Rai

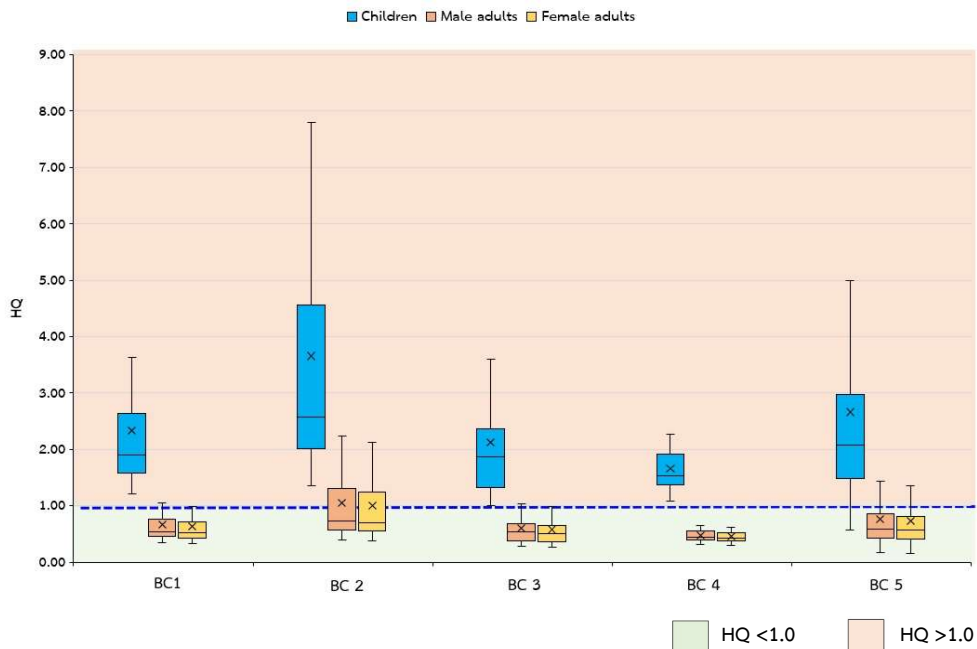
	NO ₂	นักท่องเที่ยว	รถบรรทุก	รถยนต์	รถกระบะ	รถตู้	รถโดยสาร	รถจักรยานยนต์
NO ₂	1.000							
นักท่องเที่ยว	0.048	1.000						
รถบรรทุก	0.497	0.455	1.000					
รถยนต์	0.051	0.819	0.405	1.000				
รถกระบะ	0.089	0.843	0.352	0.896	1.000			
รถตู้	-0.283	0.150	-0.137	0.296	0.265	1.000		
รถโดยสาร	-0.170	0.640	0.031	0.669	0.787	0.652	1.000	
รถจักรยานยนต์	-0.134	0.525	-0.036	0.325	0.445	0.331	0.574	1.000

หมายเหตุ: ตัวหนาแสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ส่วนที่ 2 : การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ภายในอาคาร

ค่าสัดส่วนความเสี่ยงสัมผัส (HQ) จากการรับสัมผัสก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ทางการหายใจของวัยเด็ก วัยผู้ใหญ่เพศชาย และเพศหญิง ภายในอาคารของด่านพรมแดนสะพานมิตรภาพไทย-ลาว แห่งที่ 4 (เชียงของ-ห้วยทราย) อำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย ในช่วงฤดูกาลท่องเที่ยว (มกราคม-เมษายน 2566) พบว่าค่าเฉลี่ย HQ ของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ของวัยเด็กของจุดที่ BC1-BC5 มีค่า 2.33 (SD 1.15), 3.66

(SD 2.42), 2.12 (SD 1.29), 1.66 (SD 0.52), และ 2.66 (SD 1.86) ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าวัยผู้ใหญ่ทั้งเพศชายและเพศหญิง และมีค่า HQ>1.0 แสดงว่ามีความเสี่ยงต่อสุขภาพจากสิ่งคุกคามที่ไม่ก่อมะเร็ง ขณะที่ค่าเฉลี่ย HQ ของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ของวัยผู้ใหญ่เพศชาย (0.48 (SD 0.15) ถึง 1.05 (SD 0.69) มากกว่าวัยผู้ใหญ่เพศหญิง (0.45 (SD 0.14) ถึง 1.00 (SD 0.66)) แต่อย่างไรก็ตาม ส่วนใหญ่ค่าเฉลี่ย HQ ของวัยผู้ใหญ่ทั้งสองเพศ มีค่า HQ<1.0 บ่งชี้ว่าไม่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพจากสิ่งคุกคามที่ไม่ก่อมะเร็ง ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ค่าสัดส่วนความเสี่ยงสัมผัส (HQ) จากการรับสัมผัสก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ภายในอาคาร

Figure 3 Hazard quotient (HQ) of indoor NO₂ exposure

วิจารณ์

จากการศึกษาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ภายในอาคารของด่านพรมแดนสะพานมิตรภาพไทย-ลาว แห่งที่ 4 (เชียงของ-ห้วยทราย) จังหวัดเชียงราย ในช่วงฤดูกาลท่องเที่ยว (มกราคม-เมษายน 2566) ค่าเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์อยู่ในช่วง 15.1 (SD 2.3) ถึง 88.3 (SD 30.6) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และค่ามัธยฐานอยู่ในช่วง 15.3 ถึง 93.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ นอกจากนี้ ค่า

มัธยฐานความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในจุด BC2 มีค่าสูงที่สุดและความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะเดือนเมษายน 2566 เนื่องจากเป็นช่วงเทศกาลสงกรานต์ของประเทศไทย และมีค่าเกินมาตรฐานเฉลี่ยรายปีขององค์การอนามัยโลก (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) เนื่องจากมีจำนวนยานพาหนะผ่านด่านและจำนวนนักท่องเที่ยวเพิ่มสูงขึ้น ประกอบกับขั้นตอนการตรวจเช็คเอกสารทำให้การจราจรมีการชะลอ ซึ่งอาจจะส่งผลมี

การปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์สูงตามไปด้วย จากการศึกษาแบบจำลองสำหรับคาดการณ์การปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์จากถนนที่มีการจราจรหนาแน่น พบว่ามีค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์อยู่ในช่วง 0.02 ถึง 726 และ 0.06 ถึง 291 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ตามลำดับ⁽⁶⁾ เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ในประเทศไทย การศึกษาในครั้งนี้ มีค่ามากกว่าการศึกษาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในพื้นที่เขตเมือง พื้นที่เขตอุตสาหกรรม และพื้นที่ควบคุม (background area) ในจังหวัดระยอง พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 13.9–43.0 10.4–34.0 และ 5.8–35.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ⁽⁷⁾ และมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบริเวณการจราจรหนาแน่นของพื้นที่เขตเมืองและชานเมืองของอำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 27.4–63.3 และ 13.6–17.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ⁽¹⁹⁾ ดังนั้นในช่วงเวลาที่มีเทศกาลอาจจะต้องมีการระมัดระวังและป้องกันการรับสัมผัสก๊าซมลพิษทางอากาศ ควรมีการจัดการระบบระบายอากาศบริเวณที่มีการตรวจเช็คเอกสารผ่านแดน เนื่องจากเป็นจุดที่มีจำนวนยานพาหนะหนาแน่น และเพิ่มจุดตรวจเช็คเอกสารเพื่อช่วยระบายยานพาหนะที่หนาแน่น และผู้ปฏิบัติงานที่มีโอกาสรับสัมผัสก๊าซมลพิษทางอากาศ ควรมีการป้องกันด้วยใส่หน้ากากประเภทสามารถป้องกันก๊าซมลพิษ และมีการสับเปลี่ยนผู้ปฏิบัติงาน เพื่อป้องกันการรับสัมผัสก๊าซมลพิษที่มากเกินไปและการสะสมสารมลพิษภายในร่างกาย

จากการวิเคราะห์ พบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับรถบรรทุกทุกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ต่ำ ($r=0.497$) อาจจะมาจากปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นภายในอาคารของด่านมาจากรถบรรทุกที่มีจำนวนมากเพื่อขนส่งสินค้าอุปโภคและบริโภค อีกทั้งรถบรรทุกส่วนใหญ่ใช้น้ำมัน

เชื้อเพลิงประเภทดีเซล ซึ่งอาจจะมีการปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ออกมาปริมาณมาก เมื่อทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนในบรรยากาศทำให้เกิดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ได้⁽³⁾ และจากรายงานการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่ายานพาหนะที่ใช้น้ำมันดีเซล (diesel) จะปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO) ประมาณ 0.33–0.71 กรัมต่อกิโลเมตร ซึ่งมากกว่าน้ำมันเบนซิน (gasoline) ที่มีค่าประมาณ 0.003–0.07 กรัมต่อกิโลเมตร⁽⁴⁾ ดังนั้นบริเวณด่านพรมแดนที่มีรถบรรทุกผ่านจำนวนมาก ควรมีการจัดการระบบระบายอากาศหรือกำจัดก๊าซมลพิษ และจัดการระบบขนส่งและโลจิสติกส์ด้วยระบบรางรถไฟที่เชื่อมต่อด่านพรมแดน เพื่อลดจำนวนยานพาหนะที่ใช้น้ำมันดีเซลในการขนส่ง

จากการศึกษาประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากสิ่งคุกคามที่ไม่ก่อมะเร็ง (non-carcinogenic risk assessment) ด้วยการคำนวณจากค่าสัดส่วนความเสี่ยงรับสัมผัส (HQ) จากการรับสัมผัสก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ทางการหายใจ พบว่าค่าเฉลี่ย HQ ของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ของวัยเด็กมีค่าสูงกว่าวัยผู้ใหญ่ทั้งเพศชายและเพศหญิง และทุกจุดการศึกษามีค่า HQ > 1.0 แสดงว่ามีความเสี่ยงต่อสุขภาพจากสิ่งคุกคามที่ไม่ก่อมะเร็ง ซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจากปัจจัยสำคัญคือ สรีรวิทยาระหว่างผู้ใหญ่และเด็กที่แตกต่างกัน เนื่องจากเด็กมีความต้องการออกซิเจนที่สูงขึ้นจึงทำให้อัตราการหายใจสูงขึ้นด้วย (ต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัว) ซึ่งอัตราการหายใจเข้าเฉลี่ยของเด็กจะเป็นสามเท่าของผู้ใหญ่ ดังนั้นช่วงระยะสั้นหรือการเฉียบพลัน เด็กที่มีโรคประจำตัวเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ หรือโรคหอบหืด อาจจะต้องระมัดระวังก๊าซมลพิษที่จะมีผลกระทบต่อการแสดงอาการของโรค⁽²¹⁾ ระยะยาวเด็กจะดูดซึมก๊าซมลพิษทางอากาศเข้าสู่ทางเดินหายใจมากกว่าผู้ใหญ่^(22–23) นอกจากนี้ ค่าเฉลี่ย HQ ของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ของวัยผู้ใหญ่เพศชายมากกว่าวัยผู้ใหญ่เพศหญิง เนื่องจากมีอัตราการหายใจที่สัมพันธ์กับน้ำหนักตัวต่อหน่วยเวลาในผู้ใหญ่เพศชายมีค่าสูงกว่าเพศหญิง

สรุป

จากการศึกษาค่าเฉลี่ยและค่ามัธยฐานความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ภายในอาคารของด่านพรมแดนสะพานมิตรภาพไทย-ลาว แห่งที่ 4 (เชียงของ-ห้วยทราย) จังหวัดเชียงราย ในช่วงฤดูการท่องเที่ยว (มกราคม-เมษายน 2566) จากการเปรียบเทียบค่ามาตรฐานเฉลี่ยรายปีขององค์การอนามัยโลกมีค่าเกินมาตรฐาน ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ในช่วงเดือนเมษายน ซึ่งเป็นช่วงเทศกาลสงกรานต์ ดังนั้นในช่วงเวลาที่มีเทศกาล อาจจะต้องมีการระมัดระวังและป้องกันการรับสัมผัสก๊าซมลพิษทางอากาศ ส่วนการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์จากการรับสัมผัสก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ภายในอาคาร พบว่าวัยเด็กมีความเสี่ยงต่อสุขภาพจากสิ่งคุกคามที่ไม่ก่อมะเร็ง อาจเนื่องมาจากอัตราการหายใจเข้าเฉลี่ยของเด็กจะเป็นสามเท่าของผู้ใหญ่ ดังนั้นในระยะยาววัยเด็กจะมีโอกาสรับสัมผัสก๊าซมลพิษทางอากาศได้มากกว่าผู้ใหญ่

ข้อจำกัดของการศึกษา

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาพื้นที่เดียว กลุ่มตัวอย่างน้อย จึงไม่มีกลุ่มควบคุมเพื่อทำการเปรียบเทียบ และการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพได้ใช้ข้อมูลอ้างอิงจากงานวิจัยก่อนหน้า โดยไม่ได้ทำการเก็บข้อมูลจากผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่ศึกษา จึงทำให้ผลการศึกษายังไม่ครอบคลุมหลายประเด็น เนื่องจากการศึกษาวิจัยแบบทดลอง ต้องใช้งบประมาณค่อนข้างสูง

ข้อเสนอแนะ

1) ควรมีการขยายขอบเขตการศึกษาไปยังทุกด่านพรมแดน เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้กำหนดนโยบายหรือแผนการบริหารจัดการ ควบคุม ป้องกัน และประเมินความเสี่ยงต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นกับผู้ปฏิบัติงานภายในด่านพรมแดน

2) ควรมีการศึกษาสารมลพิษทุกประเภทตามมาตรฐานคุณภาพอากาศภายในและภายนอกอาคารของทุกด่านพรมแดน เพื่อเป็นข้อมูลการบริหารจัดการ ควบคุม ป้องกัน และประเมินความเสี่ยง

3) ควรมีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดคุณภาพอากาศที่รายงานผลแบบอัตโนมัติหรือต่อเนื่องภายในอาคารของด่านพรมแดน เพื่อเป็นข้อมูลในการเฝ้าระวังความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานและผู้ผ่านเข้า-ออกด่านพรมแดนเป็นประจำ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์ พลังงาน และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง ที่สนับสนุนห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์เพื่อทำวิจัย และขอขอบคุณด้านควบคุมโรคติดต่อระหว่างประเทศสะพานมิตรภาพ 4 เชียงของ สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 1 เชียงใหม่ กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข ด้านสะพานมิตรภาพ 4 (เชียงของ-ห้วยทราย) แขวงทางหลวงเชียงรายที่ 2 กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม และสำนักงานด้านตรวจคนเข้าเมืองเชียงราย สะพานมิตรภาพ 4 (เชียงของ-ห้วยทราย) สำนักงานตำรวจแห่งชาติ ได้ให้ความช่วยเหลือและข้อมูลในการทำงาน จนทำให้งานวิจัยครั้งนี้เสร็จสมบูรณ์ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ทุกประการ

เอกสารอ้างอิง

1. World Health Organization (WHO). Household air pollution [Internet]. 2022 [cited 2023 Oct 20]. Available from: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health?gclid=Cj0KC-QiA67CrBhC1ARIsACKAa8TRuFNNOSCY-A0ah3Ln6sGqbUI09fedimjGaibL8Fc-34QVYv4vtmYUsaAm10EALw_wcB
2. Salonen H, Salthammer T, Morawska L. Human exposure to NO₂ in school and office indoor environments. Environ Int 2019;130:104887. doi: 10.1016/j.envint.2019.05.081.

3. Raffee LA, Alawneh KZ, Ibdah RK, Rawashdeh SI, Zoghoul S, Ewais AS, et al. Prevalence, clinical characteristics, and risk among patients with ischemic heart disease in the young Jordanian population. *Open Access Emerg Med* 2020;12:389-97.
4. Trinh HT, Imanishi K, Morikawa T, Hagino H, Takenaka N. Gaseous nitrous acid (HONO) and nitrogen oxides (NO_x) emission from gasoline and diesel vehicles under real-world driving test cycles. *J Air Waste Manag. Assoc* 2017;67(4):412-20.
5. Alamar MZM, Fetitah O, Almanjahie IM, Attouch MK. Modern functional statistical analysis: Application to air pollutant in London Marylebone road. *Chiang Mai J Sci* 2022;49(2):511-23.
6. Ahmad SS, Bliker P, Emberson L, Shabbir R. Monitoring nitrogen dioxide levels in urban areas in Rawalpindi, Pakistan. *Water Air Soil Pollut* 2011;220:141-50.
7. Sillapapiromsuk S, Koontoop G, Bootdee S. Health risk assessment of ambient nitrogen dioxide concentrations in urban and industrial area in Rayong Province, Thailand. *Trends Sci* 2022; 19(11):4476.
8. Phantu S, Bootdee S. Nitrogen dioxide exposure and health risk assessments of students in elementary schools in the vicinities of an industrial estate, located in Rayong Province, Thailand. *Environ Engi Res* 2022;27(5):210377. doi: 10.4491/eer.2021.377.
9. World Health Organization (WHO). WHO global air quality guidelines. Bonn: Germany; 2021:111-25.
10. Kattan M, Gergen PJ, Eggleston P, Visness CM, Mitchell HE. Health effects of indoor nitrogen dioxide and passive smoking on urban asthmatic children. *J of Allergy Clin Immunol* 2007;120(3):618-24.
11. World Health Organization (WHO). WHO guidelines for indoor air quality; Selected pollutants [Internet]. 2010 [cited 2023 Oct 20]. Available from: <https://www.who.int/publications/i/item/9789289002134>
12. Pollution Control Department (TH). Air quality standards [Internet]. 2022 [cited 2023 Oct 20]. Available from: <https://www.pcd.go.th/laws/2806>
13. US-EPA National Ambient Air Quality Standards (NAAQS). NAAQS Table [Internet]. 2018 [cited 2023 Oct 20]. Available from: <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table#2>
14. Charoenpanyaying S, Rudjanakanoknad J. Study of Cross-border trade and transportation capability after the opening of the 4th Thai-Lao friendship bridge (Chiangkhong-Huay Xai). *Transportation Institute: Chulalongkorn University*; 2017. p. 143. (in Thai)
15. Chiang Khong Customs House. Statistics of the imports and exports in Chiang Khong [Internet]. 2023. [cited 2023 Nov 2]. Available from: https://chiangkhong.customs.go.th/list_strc_download.php?ini_content=statistic_and_report_180205_01&lang=th&root_left_menu=menu_report_and_news&left_menu=menu_statistics_report
16. United States-Environmental Protection Agency (US-EPA). Risk assessment guidance for

- Superfund Volume I: Human health evaluation manual [Internet]. 2009 [cited 2023 Nov 2]. Available from: <https://semspub.epa.gov/work/HQ/140530.pdf>
17. Liang B, Li X-L, Ma K, Liang S-X. Pollution characteristics of metal pollutants in PM_{2.5} and comparison of risk on human health in heating and non-heating seasons in Baoding, China. *Ecotoxicol Environ Saf* 2019;170:166-71.
18. Bootdee S, Chalermrom P, Chantara S. Validation and field application of tailor-made nitrogen dioxide passive sampler. *Int J Environ Sci Technol* 2012;9:515-26.
19. Janta R, Kaewrat J, Rattikansukha C. Measurement of nitrogen dioxide concentration in traffic areas of Nakhon Si Thammarat Province and health risk assessment. *J KMUTNB* 2020;30(3):481-94. (in Thai)
20. Garbero V, Montalto A, Lazovic N, Salizzoni P, Berrone S, Soulhac L. The impact of the urban air pollution on the human health: A case-study in Turin. In; Steyn DG, Castelli ST, Editors. *Air Pollution Modeling and its Application XXI*. 1st ed. Berlin: Springer Dordrecht; 2011. p. 729-32.
21. World Health Organization (WHO). Air pollution and child health [Internet]. 2022 [cited 2024 Feb 18]. Available from: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/275545/WHO-CED-PHE-18.01-eng.pdf?sequence=2>
22. United States-Environmental Protection Agency (U.S.-EPA). *Exposure Factors Handbook*: 2011 edition; National Center for Environmental Assessment. Washington, DC [Internet]. 2011 [cited 2023 Nov 2]. Available from: <https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=236252>
23. Miller MD, Marty MA, Arcus A, Brown J, Morry D, Sandy M. Differences between Children and Adults: implications for Risk Assessment at California EPA. *Int J Toxicol* 2002; 21:403-18.