

การสัมผัสแนฟทาไลน์จากการประกอบอาชีพและการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ ในพนักงานขับรถโดยสารประจำทางในเขตเมือง

Occupational Naphthalene Exposure and Health Risk Assessment among Urban Bus Drivers

(Received: August 14, 2026; Revised: August 16, 2026 ; Accepted: August 18, 2026)

ศศิธร ศรีมีชัย¹

Sasithorn Srimeechai¹

บทคัดย่อ

การวิจัยเชิงสำรวจแบบภาคตัดขวางนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการสัมผัสและความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสแนฟทาไลน์ทางการหายใจของพนักงานขับรถโดยสารประจำทางในเขตเมือง เก็บตัวอย่างแนฟทาไลน์ในอากาศบริเวณการหายใจของพนักงานตลอดช่วงเวลาการทำงาน จำนวน 36 ตัวอย่าง ร่วมกับการเก็บข้อมูลส่วนบุคคล ลักษณะการทำงาน และลักษณะของรถโดยสาร และประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพตามแนวทางขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา

ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของแนฟทาไลน์ในอากาศบริเวณการหายใจมีค่า $159.76 \pm 196.73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ระดับความเข้มข้นของการสัมผัสแนฟทาไลน์ (exposure concentration: EC) สำหรับการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพที่ไม่ใช่มะเร็งและความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง มีค่า 48.94 และ $11.19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ ค่าความเสี่ยงต่อสุขภาพที่ไม่ใช่มะเร็ง (hazard quotient: HQ) เท่ากับ 16.31 และความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งมีค่า 3.80×10^{-4}

คำสำคัญ: การสัมผัสจากการประกอบอาชีพ, การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ, แนฟทาไลน์, พนักงานขับรถโดยสาร

Abstract

This survey research by cross-sectional study aimed to assess occupational exposure to naphthalene and the associated health risks among urban bus drivers. Thirty-six full-shift personal breathing-zone air sample were collected for naphthalene analysis. Information on personal characteristics, work characteristics and bus characteristics was also collected. Non-cancer and cancer risks associated with inhalation exposure to naphthalene were assessed according to the US Environmental Protection Agency (US EPA) framework.

The results showed that the mean naphthalene concentration in breathing-zone was $159.76 \pm 196.73 \mu\text{g}/\text{m}^3$. The exposure concentrations (ECs) used to assessed non-cancer and cancer risks were 48.94 and $11.19 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. The hazard quotient (HQ) for non-cancer effects was 16.31, and the estimated lifetime cancer risk was 3.80×10^{-4} .

Keywords: Bus drivers; Health risk assessment; Naphthalene; Occupational Exposure

บทนำ

แนฟทาไลน์ (naphthalene) เป็นสารอินทรีย์ที่พบองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ถ่านหิน น้ำมันดิบและน้ำมันเชื้อเพลิง รวมทั้งเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงและสารอินทรีย์ จึงสามารถพบได้ในไอ

เสียจากยานพาหนะ แนฟทาไลน์เข้าสู่ร่างกายทางได้ทางการหายใจ การกินและการซึมผ่านผิวหนัง โดยการสัมผัสจากการประกอบอาชีพเกิดทางการหายใจเป็นหลัก โดยเฉพาะในกลุ่มอาชีพที่เกี่ยวข้องกับไอเสียและ

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ เช่น พลังงานขับเคลื่อน คอนกรีตอัดแรง และตัวกรองอากาศ¹

การสัมผัสกับมลพิษทางอากาศทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพทั้งการสัมผัสระยะสั้นและระยะยาว โดยเฉพาะภาวะโลหิตจางจากเม็ดเลือดแดงแตก (hemolytic anemia) การศึกษาในสัตว์ทดลองพบว่า การสัมผัสผ่านทางหายใจอย่างต่อเนื่องสัมพันธ์กับการอักเสบเรื้อรังของปอดและจมูก รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของเยื่อทางเดินหายใจ² แม้หลักฐานการก่อมะเร็งในมนุษย์ยังมีจำกัด แต่พบหลักฐานการเกิดเนื้องอกจากการสัมผัสทางหายใจในสัตว์ทดลอง โดยองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา (US Environmental Protection Agency: US EPA) จัดแนฟทาไลน์เป็นสารที่อาจก่อมะเร็งในมนุษย์ (Group C: possible human carcinogen)³ และ IARC (the International Agency for Research on Cancer) จัดอยู่ในกลุ่ม 2B (possibly carcinogenic to humans)⁴ ขณะที่ National Toxicology Program (NTP) จัดแนฟทาไลน์เป็นสารที่คาดว่าจะสมเหตุสมผลว่าอาจก่อมะเร็งในมนุษย์ (reasonably anticipated to be a human carcinogen) โดยพิจารณาจากหลักฐานที่เพียงพอในสัตว์ทดลอง⁵

การศึกษาที่ผ่านมาพบแนฟทาไลน์และสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC) หลายชนิดในสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการขนส่ง ทั้งภายในรถยนต์ อยู่ซ่อมรถ และสถานีรถโดยสาร โดยระดับความเข้มข้นของสารมลพิษภายในห้องโดยสารอาจได้รับอิทธิพลจากการปล่อยมลพิษของยานพาหนะ ชนิดเชื้อเพลิงและการระบายอากาศภายในรถ^{6,7,8,9,10, 11} การศึกษาของ Besis et al. (2023) ซึ่งตรวจวัดสาร VOC หลายชนิดภายในรถในสภาวะการเดินทางจริงพบว่า แนฟทาไลน์เป็นสารที่มีค่าความเสี่ยงในการก่อมะเร็งสูงสุดในบรรดาสารก่อมะเร็งที่ประเมิน ได้แก่ แนฟทาไลน์ เบนซีน และเอทิลเบนซีน¹¹ อย่างไรก็ตาม ข้อมูลการสัมผัสกับแนฟทาไลน์ระหว่างการปฏิบัติงาน

ของพนักงานขับรถโดยสารในประเทศไทยยังมีจำกัด และประเทศไทยยังไม่ได้มีการกำหนดค่าขีดจำกัดการสัมผัสกับแนฟทาไลน์ในบรรยากาศการทำงาน การประเมินการสัมผัสและความเสี่ยงสุขภาพในกลุ่มอาชีพดังกล่าวจึงมีความสำคัญต่อการป้องกันผลกระทบจากสารเคมีในการทำงานและการส่งเสริมสภาพแวดล้อมการทำงานที่ปลอดภัย สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนด้านสุขภาพและการทำงานที่มีคุณค่า (SDG 3.9 และ 8.8)¹² การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการสัมผัสและความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสกับแนฟทาไลน์ทางการหายใจของพนักงานขับรถโดยสารประจำทาง

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อประเมินระดับการสัมผัสและความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสกับแนฟทาไลน์ทางการหายใจของพนักงานขับรถโดยสารประจำทาง ในเขตเมือง

วิธีการวิจัย

รูปแบบการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงสำรวจแบบภาคตัดขวาง (survey research by cross-sectional study) โดยตรวจวัดระดับความเข้มข้นของแนฟทาไลน์ในอากาศบริเวณการหายใจของพนักงานขับรถโดยสารประจำทางตลอดช่วงเวลาการทำงาน เพื่อประเมินการสัมผัสกับแนฟทาไลน์ทางการหายใจจากการทำงาน ร่วมกับการเก็บข้อมูลส่วนบุคคลและลักษณะการทำงานของพนักงานขับรถโดยสารประจำทาง ตลอดจนการสังเกตสภาพแวดล้อมการทำงานและลักษณะของรถโดยสาร เพื่อนำข้อมูลมาประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสกับแนฟทาไลน์ทางการหายใจ เก็บข้อมูลระหว่างเดือนมกราคม ถึง กรกฎาคม 2561 และได้รับการรับรองจริยธรรมการวิจัยในคน รหัสโครงการที่ 062/2559 จากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรในการศึกษา ได้แก่ พนักงานขับรถโดยสารประจำทางที่ปฏิบัติงานในเส้นทางเดินรถในเขตกรุงเทพมหานคร

คำนวณขนาดตัวอย่างจากสูตรประมาณค่าเฉลี่ย
$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 \sigma^2}{e^2}$$
 โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($Z=1.96$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการศึกษา ก่อนหน้า¹³ (σ) มีค่า 5.8 และความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (e) มีค่า 1.74 ได้ขนาดตัวอย่างจำนวน 36 คน จากนั้นคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้นตามประเภทของรถโดยสาร แบ่งเป็นพนักงานขับรถโดยสารปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ กลุ่มละ 18 คน เกณฑ์คัดเข้า ได้แก่ เป็นพนักงานขับรถโดยสารประจำทางที่ปฏิบัติหน้าที่ในเส้นทางที่ศึกษาและยินยอมเข้าร่วมการวิจัย ส่วนเกณฑ์คัดออก ได้แก่ ไม่มาปฏิบัติงานหรือไม่ได้ปฏิบัติหน้าที่ขับรถในวันที่เก็บข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยเครื่องมือสำหรับเก็บรวบรวมข้อมูลส่วนบุคคลและลักษณะการทำงาน การสังเกตสภาพแวดล้อมการทำงานและลักษณะรถโดยสาร และการเก็บตัวอย่างแนฟทาไลน์ในอากาศ ดังนี้

1. แบบบันทึกข้อมูลส่วนบุคคลและลักษณะการทำงาน ใช้สำหรับเก็บรวบรวมข้อมูลจากการสอบถามพนักงานขับรถโดยสาร ประกอบด้วยข้อมูลส่วนบุคคลและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน ได้แก่ อายุ น้ำหนัก ประวัติการสูบบุหรี่ โรคประจำตัว ระยะเวลาการทำงานต่อวัน อายุงานในการขับรถโดยสาร และการใช้อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล

2. แบบบันทึกการสังเกตสภาพแวดล้อมการทำงานและลักษณะรถโดยสาร ใช้สำหรับบันทึกข้อมูลจากการสังเกตสภาพแวดล้อมขณะปฏิบัติงานและลักษณะของรถโดยสาร ได้แก่ ประเภทของรถโดยสาร ชนิดเชื้อเพลิง ระบบปรับอากาศและการระบายอากาศ

ลักษณะการเปิด-ปิดประตูและหน้าต่าง และสภาพการจราจรในช่วงเก็บตัวอย่าง

3. เครื่องมือและอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศ ประกอบด้วยปั๊มดูดอากาศแบบติดตัวบุคคล (personal air sampling pump) และหลอดดูดซับ XAD-2 และกระดาษกรองชนิด PTFE ขนาด 37 มิลลิเมตร สำหรับเก็บตัวอย่างอากาศบริเวณการหายใจของพนักงานขับรถโดยสาร ตามวิธีมาตรฐาน NIOSH 5515¹⁴

ขั้นตอนการวิจัย

การศึกษาดำเนินการภายหลังได้รับอนุญาตจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและได้รับความยินยอมจากกลุ่มตัวอย่าง โดยมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. เก็บรวบรวมข้อมูลส่วนบุคคลและลักษณะการทำงานของพนักงานขับรถโดยสารประจำทางโดยใช้แบบสอบถาม ประกอบด้วยข้อมูลส่วนบุคคล ประวัติการทำงาน ระยะเวลาการทำงานต่อวัน อายุงานในการขับรถโดยสาร ตลอดจนข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการสัมผัสแนฟทาไลน์จากการทำงาน เพื่อนำข้อมูลที่เกี่ยวข้องมาใช้ประกอบการประเมินการสัมผัสและความเสี่ยงต่อสุขภาพ

2. สังเกตและสังเกตสภาพแวดล้อมการทำงานและลักษณะของรถโดยสาร โดยบันทึกข้อมูลประเภทของรถโดยสาร ชนิดเชื้อเพลิง ระบบปรับอากาศและการระบายอากาศ การเปิด-ปิดประตูและหน้าต่าง ตลอดจนสภาพการจราจรในช่วงที่ดำเนินการเก็บตัวอย่าง เพื่อใช้ประกอบการอธิบายลักษณะการสัมผัสแนฟทาไลน์ของพนักงานขับรถโดยสาร

3. ตรวจวัดระดับความเข้มข้นของแนฟทาไลน์โดยเก็บตัวอย่างอากาศบริเวณการหายใจของพนักงานขับรถโดยสารตลอดช่วงเวลาการปฏิบัติงาน จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแนฟทาไลน์ตามวิธีมาตรฐาน NIOSH 5515¹⁴

4. ประเมินการสัมผัสแนฟทาไลน์ทางการหายใจโดยประมาณค่าความเข้มข้นของการสัมผัส (Exposure Concentration; EC)

5. ประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสเนฟทาลินทางการหายใจ โดยประเมินทั้งผลกระทบต่อสุขภาพที่ไม่ใช่มะเร็งและความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง

การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศ

เก็บตัวอย่างอากาศเพื่อประเมินการสัมผัสเนฟทาลินทางการหายใจของพนักงานขับรถโดยสารประจำทาง โดยติดตั้งชุดเก็บตัวอย่างอากาศบริเวณการหายใจ (breathing zone) ของพนักงานขับรถ และเก็บตัวอย่างตลอดช่วงเวลาการปฏิบัติงานในวันที่ทำการตรวจวัด ใช้ปั๊มดูดอากาศแบบติดตัวบุคคล ที่อัตราการไหลของอากาศ 2.0 ลิตรต่อนาที ร่วมกับหลอดดูดซับ XAD-2 และกระดาศกรอง PTFE ขนาด 37 มิลลิเมตร โดยปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศได้รับการสอบเทียบอัตราการไหลก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง และใช้ field blank ไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 ของจำนวนตัวอย่างเพื่อควบคุมคุณภาพการเก็บตัวอย่าง ตัวอย่างอากาศที่เก็บได้ถูกนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของเนฟทาลินด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (Gas Chromatography-Mass Spectrometry; GC-MS) ตามวิธี NIOSH Method 5515

การประเมินการสัมผัสและความเสี่ยงสุขภาพ

การประเมินการรับสัมผัสเนฟทาลินทางการหายใจดำเนินการตามกรอบการประเมินการสัมผัสทางการหายใจของ U.S. EPA โดยนำค่าความเข้มข้นของเนฟทาลินในอากาศที่ตรวจวัดบริเวณการหายใจของพนักงานขับรถโดยสารประจำทาง ร่วมกับข้อมูลระยะเวลาและความถี่ของการสัมผัส มาคำนวณค่าความเข้มข้นของการสัมผัส (Exposure Concentration; EC) ตามแนวทาง Risk Assessment Guidance for Superfund: Part F ของ U.S. EPA¹⁵

$$EC = \frac{(CA \times ET \times EF \times ED)}{AT}$$

โดยที่

EC คือ ความเข้มข้นของการสัมผัส ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

CA คือ ความเข้มข้นของเนฟทาลินในอากาศที่ตรวจวัดบริเวณการหายใจ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

ET คือ ระยะเวลาการสัมผัส (ชั่วโมง/วัน)

EF คือ ความถี่ของการสัมผัส (วัน/ปี)

ED คือ ระยะเวลาการสัมผัส (ปี)

AT คือ ระยะเวลาเฉลี่ยของการสัมผัส (ชั่วโมง)

การศึกษานี้กำหนด ET จากระยะเวลาการทำงานเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 8.6 ชั่วโมงต่อวัน EF เท่ากับ 312 วันต่อปี และ ED เท่ากับ 16 ปี โดยประมาณจากอายุงานเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างสำหรับการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพที่ไม่ใช่มะเร็ง กำหนด AT เท่ากับ $ED \times 365 \text{ วันต่อปี} \times 24 \text{ ชั่วโมงต่อวัน}$ ส่วนการประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง กำหนด AT เท่ากับ $70 \text{ ปี} \times 365 \text{ วันต่อปี} \times 24 \text{ ชั่วโมงต่อวัน}$

สำหรับการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพที่ไม่ใช่มะเร็ง คำนวณค่าดัชนีความเสี่ยง (Hazard Quotient; HQ) จากอัตราส่วนระหว่างค่าความเข้มข้นของการสัมผัสกับค่าความเข้มข้นอ้างอิง (Reference Concentration; RfC) ตามสมการ¹⁵

$$HQ = \frac{EC}{RfC \times 1000 \mu\text{g}/\text{mg}}$$

โดยใช้ค่า RfC ของเนฟทาลินเท่ากับ 0.003 mg/m^3 ตามที่กำหนดโดย U.S. EPA ในกรณีที่ค่า HQ มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 คาดว่าการสัมผัสนั้น ๆ จะไม่เพิ่มความเสี่ยงต่อสุขภาพต่อผู้รับสัมผัส หาก HQ มากกว่า 1 แสดงว่าการสัมผัสสูงกว่าระดับอ้างอิง และมีความเสี่ยงสุขภาพ

สำหรับการประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง คำนวณจากค่าความเข้มข้นของการสัมผัสที่ปรับเฉลี่ยตลอดช่วงชีวิตร่วมกับค่าความเสี่ยงมะเร็งต่อหน่วยการสัมผัสทางการหายใจ (Inhalation Unit Risk; IUR) ตามสมการ¹⁵

$$\text{cancer risk} = IUR \times EC$$

โดยที่

Cancer Risk คือ ค่าประมาณความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง

EC หรือ Exposure concentration คือ ความเข้มข้นของการสัมผัสเฉลี่ยตลอดช่วงชีวิต ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

IUR หรือ Inhalation Unit Risk คือ ค่าความเสี่ยงมะเร็งต่อหน่วยการสัมผัสทางหายใจ ($[\mu\text{g}/\text{m}^3]$)¹ การศึกษานี้ใช้ค่า IUR ของแนฟทาไลน์เท่ากับ 3.4×10^{-5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)¹ ซึ่งกำหนดโดยสำนักงานประเมินอันตรายต่อสุขภาพจากสิ่งแวดล้อม สำนักงานพิทักษ์สิ่งแวดล้อมรัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา (OEHHA)¹⁶

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลส่วนบุคคล ลักษณะงาน และระดับการสัมผัส PAHs ของพนักงานขับรถโดยสารด้วยสถิติเชิงพรรณนา โดยอธิบายความถี่ ร้อยละค่าเฉลี่ยเลขคณิต ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุด-ต่ำสุด รวมทั้งวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับการสัมผัสแนฟทาไลน์ตามปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น ชนิดของรถโดยสาร ชนิดของเชื้อเพลิง ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

ผลการศึกษา

1. ลักษณะส่วนบุคคลและการทำงานของกลุ่มตัวอย่าง พนักงานขับรถโดยสารประจำทางจำนวน 36 คน ส่วนใหญ่เป็นเพศชาย (ร้อยละ 94.4) มีอายุเฉลี่ย 46.83 ± 8.29 ปี ร้อยละ 36.1 สูบบุหรี่ มีระยะเวลาการทำงานเฉลี่ย 8.61 ± 1.08 ชั่วโมงต่อวัน และมีอายุงานขับรถโดยสารเฉลี่ย 15.82 ± 10.34 ปี โดยพนักงานส่วนใหญ่ไม่ได้ใช้หน้ากากอนามัยหรืออุปกรณ์คุ้มครองส่วนบุคคลขณะปฏิบัติงาน (ร้อยละ 80.6)

2. ลักษณะรถโดยสารและสภาพแวดล้อมขณะตรวจวัด รถโดยสารที่ตรวจวัดแบ่งเป็นรถปรับอากาศและไม่ปรับอากาศประเภทละ 18 คัน ส่วนใหญ่ใช้เชื้อเพลิงดีเซล (ร้อยละ 77.8) รถโดยสารร้อยละ 52.8 มีสภาพภายในสะอาด และร้อยละ 72.2 มีสภาพทางกายภาพดี ในช่วงการตรวจวัดส่วนใหญ่พบสภาพการจราจรเคลื่อนตัวได้ดีและติดขัดสลับกัน (ร้อยละ 86.1) รถโดยสารร้อยละ 47.2 เปิดหน้าต่าง และร้อยละ 22.2 เปิดช่องระบายอากาศขณะขับขี่ จำนวนผู้โดยสารเฉลี่ย 46.08 ± 13.45 คน ทั้งนี้ การตรวจวัดทั้งหมดดำเนินการในสภาพอากาศปกติ พนักงานส่วนใหญ่มีลักษณะการขับขี่ปกติ (ร้อยละ 91.7) และปิดประตูขณะขับขี่ (ร้อยละ 97.2) รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1

3. ระดับความเข้มข้นของแนฟทาไลน์ ผลการตรวจวัดระดับความเข้มข้นของแนฟทาไลน์ในอากาศที่ระดับการหายใจของพนักงานขับรถจำนวน 36 ตัวอย่างพบความเข้มข้นเฉลี่ย $159.76 \pm 196.73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ มีมาตรฐาน $104.86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (พิสัยระหว่างควอไทล์ (interquartile range: IQR $52.43-209.72 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (geometric mean: GM) $75.50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GSD 4.47) โดยมีค่าความเข้มข้นระหว่าง $5.24-1,101.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ หากเปรียบเทียบตามประเภทของรถโดยสาร พบว่ารถปรับอากาศมีค่ามัธยฐานความเข้มข้นของแนฟทาไลน์ $131.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ขณะที่รถไม่ปรับอากาศมีค่ามัธยฐาน $104.86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างรถทั้งสองประเภท (Mann-Whitney U = 105.5, $p=0.073$) (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 1 ลักษณะรถโดยสารและสภาพแวดล้อมขณะตรวจวัด (n=36)

ลักษณะ	จำนวน (ร้อยละ) / ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ประเภทของรถโดยสาร	
ไม่ปรับอากาศ	18 (50.0)
ปรับอากาศ	18 (50.0)
ชนิดเชื้อเพลิง	

ตารางที่ 1 ลักษณะรถโดยสารและสภาพแวดล้อมขณะตรวจวัด (n=36)

ลักษณะ	จำนวน (ร้อยละ) / ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ดีเซล	28 (77.8)
NGV	7 (19.4)
ไบโอดีเซล	1 (2.8)
สภาพความสะอาดภายในรถโดยสาร	
สะอาด	19 (52.8)
มีคราบน้ำมัน	1 (2.8)
มีฝุ่น	11 (30.6)
มีขยะ	3 (8.3)
มีฝุ่นและคราบน้ำมัน	2 (5.6)
สภาพทางกายภาพของรถโดยสาร	
สภาพดี	26 (72.2)
ชำรุด	10 (27.8)
สภาพการจราจรระหว่างการตรวจวัด	
เคลื่อนตัวได้ดี	2 (5.6)
ติดขัด	3 (8.3)
เคลื่อนตัวได้ดีและติดขัดสลับกัน	31 (86.1)
หน้าต่างขณะขับ	
ปิด	19 (52.8)
เปิด	17 (47.2)
ช่องระบายอากาศขณะขับ	
ปิด	28 (77.8)
เปิด	8 (22.2)
จำนวนผู้โดยสาร (คน)	46.08 $\pm$ 13.45
ฟิลล์	20-80

ตารางที่ 2 ระดับความเข้มข้นของแอมฟาทาลีนในอากาศ จากการตรวจวัดที่ระดับการหายใจของพนักงานขับรถโดยสารประจำทาง (n=36)

ประเภทรถ	n	AM $\pm$ SD ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Median (IQR) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	GM (GSD) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Min-Max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
ไม่ปรับอากาศ	18	103.99 $\pm$ 103.51	104.86 (5.24-157.29)	40.52 (5.61)	5.24-367.01
ปรับอากาศ	18	215.54 $\pm$ 249.76	131.07 (52.43-262.15)	140.66 (2.48)	52.43-1,101.02
รวม	36	159.76 $\pm$ 196.73	104.86 (52.43-209.72)	75.50 (4.47)	5.24-1,101.02

หมายเหตุ SD = standard deviation; IQR = interquartile range; GM = geometric mean; GSD = geometric standard deviation

4. ระดับการสัมผัสและความเสี่ยงสุขภาพ
จากการประเมินการสัมผัสแอมฟาทาลีนทางการหายใจ

พบว่า ความเข้มข้นของการสัมผัส ($\text{EC}_{\text{non-cancer}}$) สำหรับ
ประเมินผลกระทบต่อสุขภาพในลักษณะอื่น ๆ ที่ไม่ใช่

มะเร็ง ของพนักงานขับรถทั้งหมดมีค่า $48.94 \mu\text{g}/\text{m}^3$ โดยมีค่า HQ เท่ากับ 16.31 ซึ่งสูงกว่าระดับอ้างอิงสำหรับผลกระทบต่อสุขภาพที่ไม่ใช่มะเร็ง จึงบ่งชี้ถึงความเป็นไปได้ของการได้รับผลกระทบจากการสัมผัสเนฟทาลินทางการหายใจเรื้อรัง โดยเฉพาะต่อเยื่อบุผิวบริเวณโพรงจมูก ซึ่งเป็นอวัยวะเป้าหมายที่ใช้เป็นฐานในการกำหนดค่า RfC

สำหรับการประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง พบว่า ความเข้มข้นของการสัมผัส (EC_{cancer}) ที่ปรับเฉลี่ย

ตลอดช่วงชีวิต มีค่า $11.19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และมีค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งตลอดช่วงชีวิตเท่ากับ 3.80×10^{-4} หรือประมาณ 380 รายต่อประชากรหนึ่งล้านคน ซึ่งสูงกว่าขอบบนของช่วงความเสี่ยง 1×10^{-6} – 1×10^{-4} ที่ U.S. EPA โดยทั่วไปใช้เป็นกรอบในการบริหารจัดการความเสี่ยงมะเร็ง จึงบ่งชี้ว่าความเสี่ยงจากการสัมผัสเนฟทาลินภายใต้สมมติฐานที่ใช้ในการศึกษานี้อยู่ในระดับที่ควรให้ความสำคัญในการจัดการความเสี่ยง (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ระดับการรับสัมผัสและความเสี่ยงสุขภาพ

กลุ่มพนักงานขับรถ	$EC_{\text{non-cancer}}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	HQ	EC_{cancer} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cancer risk
ไม่ปรับอากาศ (n=18)	56.56	18.85	12.93	4.40×10^{-4}
ปรับอากาศ (n=18)	41.31	13.77	9.44	3.21×10^{-4}
รวม (n=36)	48.94	16.31	11.19	3.80×10^{-4}

หมายเหตุ $EC_{\text{non-cancer}}$ หมายถึง ความเข้มข้นของการสัมผัสสำหรับประเมินผลกระทบต่อสุขภาพในลักษณะอื่น ๆ ที่ไม่ใช่มะเร็ง; HQ หมายถึง ค่าดัชนีความเสี่ยง; EC_{cancer} หมายถึง ความเข้มข้นของการสัมผัสที่ปรับเฉลี่ยตลอดช่วงชีวิตสำหรับประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง; Cancer risk หมายถึง ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง

สรุปและอภิปรายผล

ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของเนฟทาลินที่ตรวจวัดได้ทุกตัวอย่างต่ำกว่าค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสทางอาชีวอนามัยที่เสนอแนะโดยสมาคมนักสุขศาสตร์อุตสาหกรรมแห่งสหรัฐอเมริกา¹⁹ อย่างไรก็ตามค่า HQ ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า 1 บ่งชี้ว่าระดับการสัมผัสสูงกว่าค่าอ้างอิงสำหรับผลกระทบต่อสุขภาพที่ไม่ใช่มะเร็ง โดยผลกระทบสำคัญที่ใช้เป็นฐานในการกำหนดค่า RfC ของเนฟทาลิน ได้แก่ การเพิ่มจำนวนของเซลล์เยื่อบุผิวทางเดินหายใจและการเปลี่ยนแปลงชนิดของเซลล์เยื่อบุผิวบริเวณโพรงจมูก ดังนั้นแม้ระดับความเข้มข้นของเนฟทาลินที่ตรวจวัดได้จะไม่เกินค่าขีดจำกัดการสัมผัสทางอาชีวอนามัยแต่การสัมผัสอย่างต่อเนื่องในระยะยาวยังเป็นประเด็นที่ควรให้ความสำคัญ

การศึกษานี้พบความเข้มข้นเฉลี่ยของเนฟทาลินในบรรยากาศการทำงานของพนักงานขับรถ

โดยสารมีค่า $159.76 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งสูงกว่าที่รายงานจากการศึกษาในสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับยานพาหนะหลายการศึกษา ได้แก่ ภายในห้องโดยสารรถยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลและแก๊สโซลีน 1.3 และ $0.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ⁸ ความเข้มข้นภายในรถยนต์ในประเทศญี่ปุ่น <0.05 – $5.94 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ⁹ และ ความเข้มข้นภายในสถานีรถโดยสารระหว่างเมือง 1.01 – $2.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และภายนอกสถานี $0.89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ¹⁰ อย่างไรก็ตามการเปรียบเทียบผลระหว่างการศึกษาคควรพิจารณาความแตกต่างของลักษณะแหล่งกำเนิด สภาพแวดล้อมและการจราจร ตลอดจนวิธีการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง ซึ่งล้วนมีผลต่อระดับความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้ไม่พบความแตกต่างของระดับความเข้มข้นของเนฟทาลินระหว่างรถโดยสารปรับอากาศและไม่ปรับอากาศอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้การเปิดประตูรับ-ส่งผู้โดยสารเป็นระยะตลอดเส้นทางอาจทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนอากาศระหว่าง

ภายในและภายนอก และทำให้มลพิษจากภายนอกเข้าสู่ห้องโดยสารได้^{11,17} เช่นเดียวกับการเปรียบเทียบตามชนิดเชื้อเพลิง ซึ่งไม่พบความแตกต่างของระดับความเข้มข้นของแวนทาลีนระหว่างรถโดยสารที่ใช้ น้ำมันดีเซลและก๊าซธรรมชาติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.672$) ทั้งนี้ผลของชนิดเชื้อเพลิงต่อระดับสาร VOC ภายในห้องโดยสารอาจแตกต่างกันตามชนิดของสาร โดย Besis et al. (2023) พบว่าระดับความเข้มข้นของสาร VOCs บางกลุ่มในรถยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลสูงกว่ารถที่ใช้ LPG และน้ำมันเบนซิน ขณะที่สารกลุ่มอะโรมาติกส์ (aromatic hydrocarbon) รวมถึง เบนซิน โทลูอีน เอธิลเบนซินและไซลีน (BTEX) กลับพบระดับสูงกว่าในรถที่ใช้ LPG¹¹ จึงสะท้อนว่าชนิดเชื้อเพลิงเพียงปัจจัยเดียวอาจไม่สามารถอธิบายระดับสารมลพิษภายในห้องโดยสารได้ทั้งหมด นอกจากนี้จำนวนตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้มีค่อนข้างจำกัด การไม่พบความแตกต่างทางสถิติจึงยังไม่เพียงพอที่จะสรุปว่าประเภทหรือชนิดเชื้อเพลิงไม่มีผลต่อระดับการรับสัมผัสแวนทาลีน

ระดับความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งที่พบในการศึกษาครั้งนี้มีค่า 3.80×10^{-4} ซึ่งสูงกว่าระดับ 1×10^{-4} ที่ใช้เป็นระดับอ้างอิงในการศึกษาครั้งนี้ โดยระดับความเสี่ยงที่พบนี้ใกล้เคียงกับการศึกษาของ Lin et al. (2020) ซึ่งรายงานความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งตลอดช่วงชีวิตจากการรับสัมผัสแวนทาลีนของพนักงานในสถานีรถโดยสารเท่ากับ 4.95×10^{-6} อย่างไรก็ตามลักษณะการรับสัมผัสและสมมติฐานที่ใช้ในการประเมินของทั้งสองการศึกษาแตกต่างกัน จึงควรระมัดระวังในการเปรียบเทียบค่าความเสี่ยงโดยตรง อนึ่งค่า IUR ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้อาศัยข้อมูลการเกิดเนื้องอกในสัตว์ทดลองเพื่อประมาณความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งในมนุษย์ ซึ่งยังมีความไม่แน่นอนในการนำข้อมูลการเกิดเนื้องอกในระบบทางเดินหายใจของสัตว์ทดลองมาใช้ในการประเมินความเสี่ยงมะเร็งในมนุษย์เชิงปริมาณ ดังนั้นค่าความเสี่ยงที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้จึงควรพิจารณา

เป็นค่าประมาณภายใต้สมมติฐานและข้อจำกัดของการประเมินความเสี่ยง อย่างไรก็ตามผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า การพิจารณาระดับความเข้มข้นเทียบกับค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสจากการทำงานเพียงอย่างเดียวอาจไม่สะท้อนความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสะสมในระยะยาว โดยเฉพาะความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง จึงควรมีการลดและควบคุมการรับสัมผัสเพื่อสุขภาพอนามัยของกลุ่มพนักงานขับรถโดยสาร

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย

ผลการประเมินการรับสัมผัสและความเสี่ยงสุขภาพจากการรับสัมผัสระยะยาวแสดงให้เห็นถึงความจำเป็นในการลดและควบคุมระดับการสัมผัสแวนทาลีนด้วยมาตรการต่าง ๆ อาทิ การใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิงพลังงานสะอาดที่ไม่ปลดปล่อยแวนทาลีนและสารเคมีอันตรายชนิดอื่น ๆ หรือเครื่องยนต์ที่ปลดปล่อยมลพิษน้อย การดูแลบำรุงรักษาเครื่องยนต์และรถโดยสารอย่างสม่ำเสมอ การปรับปรุงระบบการระบายอากาศและติดตั้งอุปกรณ์กรองอากาศภายในห้องโดยสาร การให้ความรู้กับพนักงานเกี่ยวกับอันตรายและความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากการรับสัมผัสแวนทาลีนจากการปฏิบัติงาน รวมทั้งวิธีป้องกันการรับสัมผัส การดูแลสุขภาพอนามัย การจัดชั่วโมงการทำงานที่เหมาะสม พนักงานขับรถควรได้รับการเฝ้าระวังสุขภาพ เช่น การตรวจสุขภาพประจำปี การตรวจสุขภาพตามปัจจัยเสี่ยง รายการตรวจสุขภาพสำหรับผู้สัมผัสแวนทาลีนจากการประกอบอาชีพ เช่น การตรวจตาและสมรรถภาพการมองเห็น การตรวจนับเม็ดเลือด (complete blood count: CBC) การทดสอบหน้าที่การทำงานของตับและไต (Liver and kidney function tests)

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรเพิ่มจำนวนตัวอย่างและขยายขอบเขตการศึกษาให้ครอบคลุมเส้นทางการเดินทาง ประเภทของรถ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นตัวแทนที่มากขึ้น

2. ควรศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการรับสัมผัสเนฟทาไลน์ของพนักงานขับรถโดยสาร โดยอาจพิจารณาใช้เครื่องมือและเทคนิคการตรวจวัดแบบอ่านค่าทันที เพื่อให้เห็นความเชื่อมโยงระหว่างระดับความเข้มข้นของเนฟทาไลน์กับระดับของปัจจัยที่ศึกษา ณ ช่วงเวลาต่างๆ เพื่อประโยชน์ในการควบคุมการรับสัมผัส

3. ควรศึกษาการรับสัมผัสและประเมินความต่อเสียดสุขภาพจากการรับสัมผัสสารเคมีหลายชนิดที่เกิดขึ้นขณะปฏิบัติงาน

4. ควรมีการประเมินระดับการสัมผัสของพนักงานตำแหน่งอื่น เช่น พนักงานเก็บค่าโดยสาร นาย

ท่าและนายช่างซ่อมบำรุงด้วย เนื่องจากมีโอกาสสัมผัสสารในกลุ่มนี้เช่นกัน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณกลุ่มพนักงานขับรถโดยสารประจำทางอาสาสมัครและหน่วยงานต้นสังกัดที่ให้ความอนุเคราะห์ในการศึกษารั้งนี้ งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนวิจัยคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

เอกสารอ้างอิง

1. Preuss R, Angerer J, Drexler H.(2003). Naphthalene—an environmental and occupational toxicant. *Int Arch Occup Environ Health*. 2003;76(8):556-76. doi:10.1007/s00420-003-0458-1.
2. International Programme on Chemical Safety. Naphthalene.(2000). Poisons Information Monograph 363. Geneva: World Health Organization; 2000.
3. US Environmental Protection Agency.(1998). Toxicological review of naphthalene (CAS No. 91-20-3) in support of summary information on the Integrated Risk Information System (IRIS). Washington, DC: US Environmental Protection Agency; 1998
4. International Agency for Research on Cancer.(2002). Some traditional herbal medicines, some mycotoxins, naphthalene and styrene. *IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum*. 2002;82:1-556.
5. National Toxicology Program. Naphthalene. In: Report on carcinogens. 15th ed. Research Triangle Park (NC): US Department of Health and Human Services; 2021.
6. ล้อมพงศ์ ศ.(2020). การศึกษาการประเมินการรับสัมผัสสารโพลีอินและอาการแสดงที่มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการทำงานของพนักงานขับรถโดยสารธรรมดาในเขตกรุงเทพมหานคร. PHJ BUU [อินเทอร์เน็ต]. 3 ตุลาคม 2020
7. พลอย ฌบ, พลตงนอก ข, เทพทอง บ, นิลผาย ะ, ทินาคะ ข.(2023). การปฏิบัติงาน สารเคมีในอากาศ และอาการทางสุขภาพ ของพนักงานขับรถโดยสารประจำทางแบบไม่ปรับอากาศ. *J Offic Dis Prev Control* 7 [อินเทอร์เน็ต]. 1 พฤษภาคม 2023
8. Jo WK, Lee JH.(2009). In-vehicle levels of naphthalene and monocyclic aromatic compounds according to vehicle type. *Environ Eng Res*. 2009;14(3):180-5.
9. Tokumura M, Hatayama R, Tatsu K, Naito T, Takeda T, Raknuzzaman M, et al.(2016). Car indoor air pollution by volatile organic compounds and aldehydes in Japan. *AIMS Environ Sci*. 2016;3(3):362-81.
10. Lin CC, Yen GW, Cheng YH, Shie RH.(2020). Exposure levels of volatile organic compounds and potential health risks for passengers and workers at an intercity bus terminal. *Atmos Pollut Res*. 2020;11:1820-8.
11. Besis A, Katsaros T, Samara C.(2023). Concentrations of volatile organic compounds in vehicular cabin air—implications to commuter exposure. *Environ Pollut*. 2023;330:121763. doi:10.1016/j.envpol.2023.121763.
12. United Nations General Assembly.(2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Resolution A/RES/70/1. New York: United Nations; 2015.

13. Tuntawiroon J, Mahidol C, Navasumrit P, Autrup H, Ruchirawat M.(2007). Increased health risk in Bangkok children exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons from traffic-related sources. *Carcinogenesis*. 2007;28(4):816-22.
14. National Institute for Occupational Safety and Health.(1994). Polynuclear aromatic hydrocarbons by GC: Method 5515. Issue 2. In: NIOSH manual of analytical methods. 4th ed. Cincinnati (OH): US Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health; 1994.
15. US Environmental Protection Agency.(2009). Risk assessment guidance for Superfund. Volume I: Human health evaluation manual (Part F, supplemental guidance for inhalation risk assessment). EPA-540-R-070-002. Washington, DC: US Environmental Protection Agency; 2009.
16. Office of Environmental Health Hazard Assessment.(2009). Technical support document for cancer potency factors: Appendix B. Chemical-specific summaries of the information used to derive unit risk and cancer potency values. Oakland (CA): California Environmental Protection Agency; 2009.
17. Zhu X, Lei L, Han J, Wang P, Liang F, Wang X.(2020). Passenger comfort and ozone pollution exposure in an air-conditioned bus microenvironment. *Environ Monit Assess*. 2020;192(8):496.
18. American Conference of Governmental Industrial Hygienists.(2026). TLVs and BEIs: threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. Cincinnati (OH): ACGIH; 2026.