การประเมินความเสี่ยงจากการสัมผัสสารบีเทคผ่านทางการหายใจของพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษ ในเขตกรุงเทพมหานคร

ศศิธร เรืองตระกูล[a] ทรรศนีย์ พฤกษาสิทธิ์[b,✉] เดซี่ หมอกน้อย[c]
[a]นิสิตมหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย
[b]อาจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
[c]นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม
เทคโนธานี คลองหลวง ปทุมธานี
✉tassanee.c@chula.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเสี่ยงต่อสุขภาพของพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษในเขตกรุงเทพมหานครที่รับสัมผัสสารบีเทค (เบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน และไซลีน) ผ่านทางการหายใจ พื้นที่ศึกษาคือด่านบางนาและอโศก 4 ทำการเก็บตัวอย่างระหว่างการทำงาน 8 ชั่วโมง (6.00 น. – 14.00 น.) ในวันศุกร์และวันอาทิตย์ในฤดูฝนและฤดูแล้งฝนของปี พ.ศ. 2554 – 2555 โดยใช้หลอด Charcoal glass tube ต่อเข้ากับเครื่องปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศชนิดพกพาด้วยอัตราการไหลเท่ากับ 100 ml/min และวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง GC/FID ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน เมตาไซลีน พาราไซลีน และออโธไซ-ลีน ที่พนักงานได้รับสัมผัสอยู่ในช่วง 9.40 - 221.78, 54.20 - 409.99, 3.25 - 58.84, 6.43 - 79.30 และ 3.20 - 23.72 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ ผลการประเมินความเสี่ยงพบว่า ค่า 95% Confidence interval ของค่าความเสี่ยงของการเกิดมะเร็ง (Lifetime cancer risks) ของสารเบนซินและเอทิลเบนซินมีค่าเท่ากับ 6.93×10^{-5} - 1.41×10^{-4} และ 2.15×10^{-6}- 4.52×10^{-6} ตามลำดับ ซึ่งเกินค่าที่ยอมรับได้ (1×10^{-6}) สำหรับสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งได้แก่ โทลูอีน เมตาพาราไซลีนและออโธไซลีน มีค่า hazard quotients น้อยกว่า 1 แสดงว่าการสัมผัสสารกลุ่มนี้ยังไม่มีความเสี่ยงของการเกิดโรคอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

คำสำคัญ: การประเมินความเสี่ยง; การรับสัมผัสผ่านทางการหายใจ; บีเทค; พนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษ

Health Risk Assessment of Tollway Station Workers Exposed to BTEX via Inhalation in Bangkok

Sasithorn Ruangtrakul[a] Tassanee Prueaksasit[b,✉] Daisy Morknoy[c]
[a]Graduate Student, Inter-Department of Environmental Science,
Graduate School, Chulalongkorn University
[b]Instructor, Department of Environmental Science,
Faculty of Science, Chulalongkorn University
[c]Technical specialist,
Environmental Research and Training Center Technopolis,
Klong Luang, Pathumthani
✉ tassanee.c@chula.ac.th

Abstract

The aim of this study was to assess the risk levels of tollway station workers in Bangkok exposed to BTEX (benzene, toluene, ethylbenzene and xylene) via inhalation. The tollway stations selected for this study were Bangna and Asoke 4 stations, Bangkok, Thailand. The sampling was carried out during 8 work hours (6 AM – 2 PM) on Friday and Sunday in the wet and dry season of the years 2011 - 2012. BTEX was collected by using a charcoal glass tube connected to a personal air pump with an air flow rate of 100 ml/min and the sample was analyzed by GC–FID. The average concentrations of the worker's exposure to benzene, toluene, ethylbenzene, m,p-xylene and o-xylene were in the range of 9.40 - 221.78, 54.20 - 409.99, 3.25 - 58.84, 6.43 - 79.30 and 3.20 - 23.72 $\mu g/m^3$, respectively. Regarding the lifetime cancer risks to the workers, the results showed a 95% confidence interval of 6.93×10^{-5} - 1.41×10^{-4} for benzene, and 2.15×10^{-6} - 4.52×10^{-6} for ethylbenzene, which were higher than the acceptable risks (1×10^{-6}), whereas the hazard quotients of non-carcinogenic compounds (toluene m,p-xylene and o-xylene) were in total less than 1, which indicated that there were no health risks of concern.

Keywords: Risk Assessment; Inhalation Exposure; BTEX; Tollway Station Workers

บทนำ

สารบีเทค (BTEX) ประกอบด้วยสาร 4 ชนิด ได้แก่ เบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน และไซลีนสามารถแบ่งย่อยออกได้ 3 ไอโซเมอร์ คือ เมตาไซลีน พาราไซลีน และออโธไซลีน สารบีเทคได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ในด้านอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมสิ่งทอ (Phumeechanya, 2008) และถือเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของน้ำมันปิโตรเลียม ได้แก่ น้ำมันดิบ น้ำมันดีเซล และน้ำมันเบนซิน สารบีเทคจัดเป็นสารอินทรีย์ระเหยง่าย (volatile organic compounds) จึงสามารถตรวจพบสารกลุ่มนี้แพร่กระจายอยู่ในเขตโรงงานอุตสาหกรรม พื้นที่ใกล้เคียง และบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่นการรับสัมผัสสารบีเทคในปริมาณมากสามารถก่อให้เกิดการระคายเคือง มีผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง และระบบทางเดินหายใจ หากได้รับสัมผัสสารติดต่อกันเป็นเวลานานติดต่อกันจะทำให้เกิดการสะสมในร่างกาย ส่งผลต่อระบบเลือด หัวใจ ปอด และระบบประสาท เป็นต้น องค์การวิจัยโรคมะเร็งนานาชาติ (International Agency for Research on Cancer: IARC) จัดให้สารเบนซินเป็นสารก่อมะเร็งกลุ่ม 1 ที่สามารถส่งผลทำให้เกิดมะเร็งเม็ดเลือดขาว (leukemia) และสารเอทิลเบนซินเป็นสารก่อมะเร็งกลุ่ม 2B คือกลุ่มที่น่าจะเป็นสารก่อมะเร็งในคน คือ มีข้อมูลแน่ชัดว่าเป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ทดลอง แต่ไม่มีข้อมูลเพียงพอว่าเป็นสารก่อให้เกิดมะเร็งในคน (IARC, 2010) จึงถือได้ว่าสารบีเทคเป็นสารมลพิษทางอากาศที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคของผู้ที่รับสัมผัสได้ จากการศึกษาของ Jo และ Song (2001) พบว่า การปล่อยไอเสียจากเครื่องยนต์และไอน้ำมันที่ระเหยออกมาจากน้ำมันเชื้อเพลิงถือเป็นแหล่งกำเนิดหลักที่สำคัญของการสัมผัสสารอินทรีย์ระเหย (volatile organic compounds: VOCs) โดยเฉพาะสารบีเทค ดังนั้น การประกอบอาชีพที่เกี่ยวข้องกับการใช้เชื้อเพลิง และยานพาหนะย่อมมีโอกาสสัมผัสสารดังกล่าวได้โดยตรง เช่น ช่างซ่อมรถยนต์ พนักงานสถานีบริการน้ำมัน พนักงานขับรถ เป็นต้น (Tsai et al., 2002) ดังตัวอย่างงานวิจัยเรื่องการรับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทคผ่านทางการหายใจ และการประเมินความเสี่ยงสุขภาพของพนักงานในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่า ค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจากการสัมผัสสารเบนซินของพนักงานในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าสูงเกินค่าที่ยอมรับได้ (Kitwattanavong, 2010) หากพิจารณากลุ่มอาชีพอื่นที่มีโอกาสสัมผัสสารบีเทคในปริมาณสูงแล้ว พนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษถือเป็นอีกกลุ่มอาชีพที่มีโอกาสเสี่ยงจากการสัมผัสสารมลพิษประเภทสารบีเทคได้เช่นกัน เนื่องจากในแต่ละวันมีปริมาณรถที่ใช้บริการเป็นจำนวนมาก ดังข้อมูลปริมาณรถที่ใช้บริการการทางพิเศษแห่งประเทศไทยพบว่าในปี 2553 มีปริมาณรถที่ใช้บริการเฉลี่ย 1,320,918 คันต่อวัน โดยเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.5 จากในปี 2552 ซึ่งมีปริมาณรถที่ใช้บริการเฉลี่ย 1,239,948 คันต่อวัน (Expressway Authority of Thailand, 2011)

ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้จึงมุ่งเน้นทำการตรวจวัดปริมาณการสัมผัสสารบีเทคของพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษในกลุ่มที่มีโอกาสในการสัมผัสสารบีเทคสูง โดยคัดเลือกด่านเก็บค่าผ่านทางที่มีปริมาณรถใช้บริการค่อนข้างสูงในแต่ละวัน พร้อมทั้งนำค่าที่ตรวจวัดได้มาประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของพนักงานเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานที่จะใช้เป็นแนวทางในการวางแผนป้องกันและลดผลกระทบที่จะเกิดต่อสุขภาพของพนักงานในขณะปฏิบัติงานต่อไป

ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ที่ทำการตรวจวัดปริมาณสารบีเทคในการศึกษาครั้งนี้คือ ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษในเขตกรุงเทพมหาครที่มีปริมาณรถใช้บริการสูงสุด 2 ด่าน ได้แก่ ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนา เป็นด่านที่เป็นเส้นทางหลักในการเดินทางเข้าเขตเมือง และเป็นด่านที่ปริมาณการจราจรหนาแน่นที่สุด ในปี พ.ศ. 2553 มีปริมาณรถใช้บริการเฉลี่ย 57,247 คัน/วัน และด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษอโศก 4 เป็นด่านที่อยู่บนทางพิเศษยกระดับตั้งอยู่บริเวณย่านใจกลางเมือง และมีปริมาณการจราจรที่หนาแน่นรองลงมา โดยในปี พ.ศ. 2553 มีปริมาณรถใช้บริการเฉลี่ย 54,278 คัน/วัน (Expressway Authority of Thailand, 2011) ในแต่ละด่านจะทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 4 ตัวอย่าง ได้แก่ (1) ตัวอย่างการรับสัมผัสของพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่ตู้เก็บค่าบริการรถยนต์/รถบรรทุก (P1) และ (2) ตู้เก็บค่าบริการรถยนต์ส่วนบุคคล (P2) (3) ตัวอย่างในบริเวณช่อง Easy Pass (E) และ (4) ตัวอย่างที่เก็บในบรรยากาศทั่วไปบริเวณด่าน (A) (โดยติดตั้งเครื่องหลังด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษระยะห่างประมาณ 2-3 เมตร)

ระยะเวลาศึกษา

ทำการศึกษาโดยเปรียบเทียบระหว่าง 2 ฤดูกาล คือ เดือนกันยายน – ตุลาคม พ.ศ. 2554 เป็นตัวแทนฤดูฝน และเดือนกุมภาพันธ์ – มีนาคม พ.ศ. 2555 เป็นตัวแทนฤดูแล้ง ในแต่ละฤดูทำการเก็บตัวอย่างสารบีเทคทั้ง 4 ตัวอย่างในช่วง 2 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 2 วัน คือวันศุกร์และวันอาทิตย์ ซึ่งเป็นวันที่มีปริมาณรถสูงสุด และต่ำสุดของสัปดาห์ ช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างเป็นช่วงเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมงของพนักงานอยู่ระหว่าง 6.00 - 14.00 น. และถือเป็นช่วงเวลาที่มีปริมาณรถสูงสุดในแต่ละวัน

การเก็บตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างสารบีเทคตามวิธีมาตรฐาน NIOSH 1501 โดยใช้หลอด charcoal glass tube ที่ผลิตโดยบริษัท Sibata Scientific Technology เป็นหลอดแก้วที่บรรจุ activated charcoal ขนาด 20 - 40 mesh แยกเป็น 2 ส่วน ส่วนหน้าบรรจุ 400 mg และส่วนหลังบรรจุ 200 mg นำหลอด charcoal glass tube ต่อเข้ากับเครื่องปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศชนิดพกพา

Minipump รุ่น MP-Sigma 30 ผลิตโดยบริษัท Sibata Scientific Technology ที่มีอัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 100 ml/min (NIOSH, 2003) ทำการติดตั้งเครื่องตามลักษณะตัวอย่างที่กำหนด โดยติดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างไว้บริเวณเหนือหน้าอกของพนักงานซึ่งถือเป็นตำแหน่งที่เป็นตัวแทนของอากาศที่พนักงานหายใจ (ลักษณะการเก็บตัวอย่าง P1 และ P2) ซึ่งค่าที่ได้จะนำไปใช้ในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของพนักงานในขั้นตอนต่อไป ส่วนตัวอย่างช่อง Easy Pass และที่บรรยากาศทั่วไป ทำการติดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างสูงจากพื้นประมาณ 1.5 เมตร เก็บตัวอย่างตลอดระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมงดังกล่าวข้างต้น รวมจำนวนตัวอย่างทั้งหมดในการศึกษาครั้งนี้ 64 ตัวอย่าง

หลังจากเก็บตัวอย่างเสร็จแล้วทำการเก็บรักษาตัวอย่างโดยนำ charcoal glass tube มาปิดจุกใส่ลงในถุงซิบล็อกปิดให้สนิท แช่ในกล่องโฟมที่ควบคุมความเย็น เพื่อนำตัวอย่างจากบริเวณพื้นที่เก็บตัวอย่างไปยังห้องปฏิบัติการเพื่อรอวิเคราะห์ เมื่อถึงห้องปฏิบัติการนำตัวอย่างแช่ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C และวิเคราะห์ภายใน 30 วัน

ทำการเก็บข้อมูลเพิ่มเติม โดยใช้แบบสอบถามเพื่อสอบถามข้อมูลทั่วไป ข้อมูลในระหว่างการปฏิบัติงานข้อมูลเกี่ยวกับสุขภาพ และข้อมูลการใช้อุปกรณ์ป้องกันในระหว่างปฏิบัติงาน เพื่อนำข้อมูลจากการตอบแบบสอบถามของพนักงานไปใช้ในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของพนักงานในขั้นต่อไป การศึกษาในครั้งนี้ได้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (COA NO. 095/2555)

การสกัดตัวอย่างและวิเคราะห์ตัวอย่าง

การสกัดตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารบีเทคเป็นไปตามวิธีมาตรฐานของ U.S.EPA Compendium Method TO -17 (U.S.EPA, 1999) และ NIOSH 1501 (NIOSH, 2003) โดยนำ activated charcoal ใน charcoal glass tube ใส่ในหลอดทดลองโดยแยกส่วนหน้าและส่วนหลัง ในการสกัดได้ฉีด (spiked) สารละลายมาตรฐาน toluene – d8 ความเข้มข้น 127,000 ng/ml ปริมาตร 100 µl ลงในหลอดทดลองข้างต้น ปิดฝาแล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที เติมสาร carbon disulfide (CS_2) ปริมาตร 2 ml และ 1 ml ลงในหลอดทดลองที่บรรจุ activated charcoal ส่วนหน้าและส่วนหลัง ตามลำดับ ปิดฝาแล้วเขย่าให้สารทำปฏิกิริยาประมาณ 5 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง แยกสารละลายส่วนใสที่ผ่านกระบวนการสกัดแล้วมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatograph/flame ionization detector (GC/FID) ยี่ห้อ Agilent รุ่น HP 6890N คอลัมน์ที่ใช้เป็นชนิด capillary column รุ่น HP-5 ขนาด 30 m × 0.32 mm × 0.25 µm

การควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์

การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์สารบีเทคได้ดำเนินการโดยสกัดและวิเคราะห์สารบีเทคในหลอด blank (หลอด charcoal gas tube ที่ไม่ได้เก็บตัวอย่าง) เพื่อตรวจสอบการ

ปนเปื้อนของหลอดที่นำมาเก็บตัวอย่างและการปนเปื้อนในขณะที่ทำการสกัดและวิเคราะห์ตัวอย่าง การยอมรับปริมาณสารตัวอย่างที่ผ่านการสกัดจำเป็นต้องตรวจสอบการ breakthrough ของสารตัวอย่างในแต่ละหลอดที่ทำการเก็บตัวอย่าง โดยต้องมีความเข้มข้นของสารบีเทคในส่วนหลังไม่เกินร้อยละ 10 ของส่วนหน้าของหลอด charcoal glass tube ทำการหาปริมาณสารตัวอย่างโดยเทียบกับกราฟสารละลายมาตรฐานที่เตรียมขึ้นจากความเข้มข้น 125, 250, 500, 1,000, 2,000, 4,000 และ 8,000 ng/ml ในแต่ละความเข้มข้นมีสารละลายมาตรฐาน toluene d-8 (internal standard) ผสมอยู่ด้วย โดยค่า r^2 ของกราฟมาตรฐานบีเทคมีค่าอยู่ในช่วง 0.991 -0.999

การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS โดยวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นสารบีเทคในระหว่างวันและระหว่างฤดูด้วยวิธี paired samples t-test วิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของสารบีเทคในระหว่างด่านเก็บค่าผ่านทางด้วยวิธี independent samples t-test และวิเคราะห์ความแตกต่างของความเข้มข้นของสารบีเทคในแต่ละตำแหน่งที่ทำการเก็บตัวอย่างด้วยวิธี one way ANOVA: post hoc multiple comparison - LSD

การประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสารบีเทค

การประเมินโอกาสที่จะเกิดผลเสียต่อสุขภาพอนามัยของพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษจากการได้รับสัมผัสสารบีเทคผ่านทางการหายใจ สามารถประเมินได้ตามวิธีของ United States Environmental Protection Agency (U.S.EPA) ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ

1. Hazard identification ขั้นตอนการระบุความเป็นอันตรายของสารมลพิษที่พนักงานสัมผัสที่จะก่อให้เกิดความเสี่ยงด้านสุขภาพ โดยจำแนกบีเทคตามลักษณะของอันตรายที่เกิดขึ้นได้เป็น 2 กลุ่ม คือสารเบนซีน และเอทิลเบนซีนเป็นสารก่อมะเร็ง (carcinogenic) สำหรับสารโทลูอีน เมตาไซลีน พาราไซลีน และออโธไซลีน เป็นสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง (noncarcinogenic)

2. Dose-response assessment ขั้นตอนการประเมินการตอบสนองต่อปริมาณสารที่สัมผัส ในขั้นตอนนี้จำเป็นต้องใช้ค่าความสัมพันธ์การตอบสนองต่อปริมาณสารที่สัมผัสมาใช้ในการคำนวณค่าความเสี่ยง โดยสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งใช้ค่า CSF_i (inhalation cancer slope factor) ตามวิธีอ้างอิง RAGS part A (U.S.EPA, 1989) และสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งใช้ค่า RfC (reference concentrations) ตามวิธีอ้างอิง (U.S.EPA, 2009) ซึ่งค่าที่ใช้คำนวณดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่า CSF_i (inhalation cancer slope factor) และ R_fC (reference concentrations) ของสารบีเทค

ชนิดสาร	CSF_i $(mg/kg - day)^{-1}$	R_fC (mg/m^3)	แหล่งอ้างอิง
Benzene	2.73×10^{-2}	-	RAIS, 2009
Ethyl benzene	3.85×10^{-3}	-	RAIS, 2009
Toluene	-	5	U.S.EPA, 2012
Xylenes	-	0.1	U.S.EPA, 2012

3. Exposure assessment ขั้นตอนการประเมินปริมาณสารเคมีที่พนักงานได้รับจากสิ่งแวดล้อมใน 1 วัน โดยใช้ข้อมูลจากทั้งแบบสอบถาม และค่าอ้างอิงจาก U.S.EPA ซึ่งสามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาคำนวณปริมาณการรับสัมผัสใน 1 วันของพนักงานได้ดังนี้

1) สารก่อเกิดมะเร็ง สามารถคำนวณได้จากค่า CDI (chronic daily intake) ตามวิธี RAGS part A (U.S.EPA, 1989) เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณการสัมผัสสารบีเทคสำหรับสารก่อเกิดมะเร็งมีหน่วยเป็น (mg/kg BW-day) การคำนวณปริมาณการสัมผัสสารบีเทคใน 1 วัน แสดงดังสมการที่ (1) และความหมายของตัวแปรรวบรวมไว้ในตารางที่ 2

$$CDI = (CA \times IR \times EF \times ET \times ED) / (BW \times AT) \quad (1)$$

2) สารไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง สามารถคำนวณได้จากค่า EC (exposure concentration) ตามวิธี RAGS part F (U.S.EPA, 2009) เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณความเข้มข้นของสารไม่ก่อเกิดมะเร็งที่พนักงานได้รับสัมผัส มีหน่วยเป็น $\mu g / m^3$ การคำนวณแสดงดังสมการที่ (2) และความหมายของตัวแปรรวบรวมไว้ในตารางที่ 2

$$EC = (CA \times EF \times ET \times ED) / AT \quad (2)$$

ตารางที่ 2 ความหมายของตัวแปรที่ใช้แทนค่าในสมการที่ 1 และ 2

ตัวแปร	ความหมาย	แหล่งอ้างอิง
CA	ความเข้มข้นของสารบีเทคที่บุคคลสัมผัสในอากาศ (µg /m^3)	การศึกษาครั้งนี้
ET	เวลาในการสัมผัสสารเท่ากับ 8 hr/day	แบบสอบถาม
IR	อัตราการหายใจเท่ากับ 0.875 m^3/ hr	U.S.EPA, 1991 RAGS Vol.1
EF	ความถี่ของการสัมผัสสารเท่ากับ 250 days/year	
ED	ระยะเวลาที่สัมผัสสารเท่ากับ 25 years	
BW	น้ำหนักตัวในหน่วย kg	แบบสอบถาม
AT	ระยะเวลาสัมผัสเฉลี่ย 70 × 365 days สำหรับสารก่อมะเร็ง	U.S.EPA, 1991 RAGS Vol.1
	ระยะเวลาสัมผัสเฉลี่ย ED × 365 × 24 hr สำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง	

4. Risk characterization การระบุค่าความเสี่ยงโดยนำข้อมูลและผลการวิเคราะห์จากขั้นตอนข้างต้นมาใช้คำนวณความเสี่ยงหรือโอกาสที่จะเกิดผลกระทบต่อพนักงานจากการได้รับสารบีเทค โดยแยกการคำนวณตามประเภทความเป็นอันตรายของสารดังนี้

1) การวิเคราะห์ค่าความเสี่ยงจากการสัมผัสสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง คำนวณจากสมการที่ 3

$$\text{Cancer Risk} = \text{CDI} \times \text{CSF}_i \quad (3)$$

เมื่อ CSF_i = Inhalation cancer slope factor $(\text{mg/kg - day})^{-1}$

ในกรณีที่ cancer risk มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1×10^{-6} สามารถยอมรับได้ คือ ไม่เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสาร

2) การวิเคราะห์ค่าความเสี่ยงจากการสัมผัสสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง คำนวณจากสมการที่ 4

$$\text{HQ} = \text{EC} / (\text{R}_f\text{C} \times 1000\ \mu\text{g/mg}) \quad (4)$$

เมื่อ R_fC = Reference concentrations (mg/m^3)

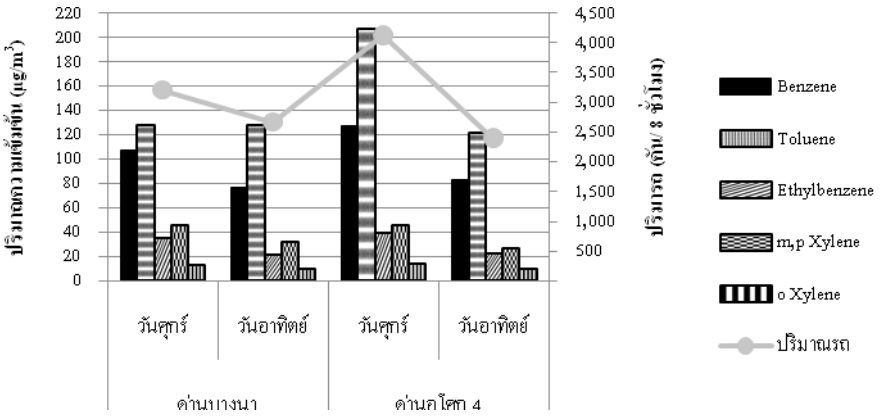
ในกรณีที่ ค่า hazard quotients (HQ) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 คาดว่าจะไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสสาร

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

ปริมาณความเข้มข้นของสารบีเทค

จากการเก็บตัวอย่างการสัมผัสสารบีเทคในด่านบางนาและด่านอโศก 4 ที่ทำการตรวจวัดเปรียบเทียบระหว่าง 2 ฤดูกาล คือ เดือนกันยายน – ตุลาคม พ.ศ. 2554 เป็นตัวแทนฤดูฝน และเดือนกุมภาพันธ์ – มีนาคม พ.ศ. 2555 เป็นตัวแทนฤดูแล้ง ช่วงละ 2 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 2 วัน คือ วันศุกร์ และวันอาทิตย์ ซึ่งเป็นวันที่มีปริมาณรถสูงสุด และต่ำสุดของสัปดาห์ เก็บตัวอย่างตลอดระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมง ระหว่าง 6.00 - 14.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีปริมาณรถสูงสุดในแต่ละวัน ในแต่ละด่านจะทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 4 ตัวอย่าง ได้แก่ (1) ตัวอย่างการสัมผัสของพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่ตู้เก็บค่าบริการรถยนต์/รถบรรทุก (P1) และ (2) ตู้เก็บค่าบริการรถยนต์ส่วนบุคคล (P2) (3) ตัวอย่างในบริเวณช่อง Easy Pass (E) และ (4) ตัวอย่างที่เก็บในบรรยากาศทั่วไปบริเวณด่าน (A) ผลการศึกษาเป็นดังนี้

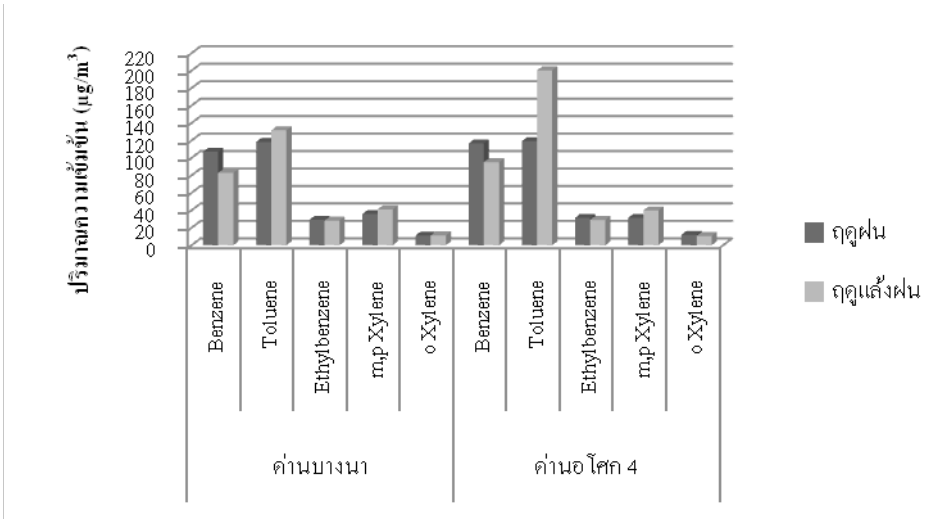
ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารบีเทคในวันศุกร์และวันอาทิตย์ ที่ได้จากตรวจวัดในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งของด่านบางนาและด่านอโศก 4 พบปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน เมตาไซลีน พาราไซลีน และออโธไซลีน ในวันศุกร์ที่ด่านบางนามีค่าเท่ากับ 106.95 ± 46.45, 127.62 ± 26.30, 35.38 ± 11.14, 45.02 ± 13.15 และ 13.14 ± 4.26 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ วันอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 76.82 ± 44.23, 127.32 ± 50.01, 21.67 ± 10.36, 31.47 ± 12.89 และ 9.53±4.19 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ สำหรับที่ด่านอโศก 4 ในวันศุกร์มีค่าเท่ากับ 127.85 ± 65.12, 206.41 ± 82.80, 39.63 ± 10.12, 45.35 ± 15.62 และ 13.73 ± 5.22 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ วันอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 82.88 ± 50.59, 121.70 ± 53.82, 22.47 ± 8.75, 26.95 ± 10.47 และ 9.31 ± 5.09 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารบีเทคดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารบีเทคที่ด่านบางนาและด่านอโศก 4 ในวันศุกร์และวันอาทิตย์ (n=16)

เมื่อนำค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารบีเทคที่ด่านบางนาและด่านอโศก 4 ในวันศุกร์และวันอาทิตย์มาทดสอบทางสถิติ พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน เมตาไซลีน พาราไซลีน และออโธไซลีนในวันศุกร์มีค่าสูงกว่าในวันอาทิตย์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) ยกเว้นสารโทลูอีนในด่านบางนาที่ไม่พบความแตกต่างกัน เนื่องจากในวันศุกร์เป็นวันทำงานซึ่งมีปริมาณรถที่ใช้บริการด่านเก็บค่าผ่านทางสูงกว่าในอาทิตย์ จากสถิติปริมาณรถที่ใช้บริการด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษพบว่า วันศุกร์มีปริมาณรถใช้บริการสูงสุดในรอบสัปดาห์ ปริมาณรถที่ใช้บริการที่ด่านบางนาและด่านอโศก 4 ในช่วงเก็บตัวอย่างวันศุกร์มีเฉลี่ย 3,200 และ 4,121 คันต่อ 8 ชั่วโมง และวันอาทิตย์มีเฉลี่ย 2,653 และ 2,382 คันต่อ 8 ชั่วโมง (Expressway Authority of Thailand, 2012; Bangkok Expressway Public Company Limited, 2012) แสดงให้เห็นว่าปริมาณรถที่ใช้บริการมีความสัมพันธ์กับปริมาณการปล่อยสารบีเทคจากไอเสียและไอระเหยของน้ำมันจากรถยนต์โดยตรง ผลการศึกษาในครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Truc and Oanh (2007) และ Wang and Zhao (2008) ที่พบว่า ปริมาณสารบีเทคในวันธรรมดาสูงกว่าวันหยุด ปริมาณสารบีเทคในวันศุกร์และอาทิตย์ของด่านเก็บค่าผ่านทางทั้ง 2 แห่งในการศึกษาครั้งนี้สูงกว่าค่าที่ตรวจพบได้ในบริเวณพื้นที่ทั่วไป บริเวณริมถนน และบริเวณที่อยู่อาศัยในเขตกรุงเทพมหานคร โดยปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน เมตาไซลีน พาราไซลีน และออโธไซลีน ที่ตรวจพบได้ในบริเวณพื้นที่ทั่วไป มีค่าเท่ากับ 2.9, 35, 7.3, 13 และ 3.8 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ บริเวณริมถนนมีค่าเท่ากับ 3.9, 32, 2.4, 5.4 และ 1.8 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ และบริเวณที่อยู่อาศัยมีค่าเท่ากับ 8.8, 44, 4.8,13 และ 4.5 $\mu g/m^3$ตามลำดับ (ERTC, 2008)

ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน เมตาไซลีน พาราไซลีน และออโธไซลีน ในด่านบางนาช่วงฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 107.07 ± 47.7, 118.36 ± 24.07, 29.06 ± 12.51, 35.78 ± 11.61 และ 11.16 ± 5.60 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ ช่วงฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 78.59 ± 43.68, 136.02 ± 48.21, 28.45 ± 13.23, 40.98 ± 16.83 และ 11.61 ± 3.44 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ และปริมาณค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน เมตาไซลีน พาราไซลีน และออโธไซลีน ในด่านอโศก 4 ช่วงฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 116.69 ± 67.01, 119.28 ± 50.03, 31.43 ± 13.10, 31.43 ± 13.09 และ 11.97 ± 6.62 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ ช่วงฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 95.15 ± 67.01, 200.31 ± 83.96, 29.04 ± 11.92, 39.91 ± 15.95 และ 10.65 ± 4.10 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารบีเทคที่ด่านบางนาและด่านอโศก 4 ในฤดูฝนและฤดูแล้ง

ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเบนซินทั้งสองฤดูที่ด่านบางนาและด่านอโศก 4 มีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในขณะที่สารเอทิลเบนซินเมื่อทดสอบทางสถิติแล้วพบว่า ทั้งสองฤดูไม่แตกต่างกัน ส่วนสารโทลูอีน เมตาและพาราไซลีน เฉพาะที่ด่านอโศก 4 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารดังกล่าวในทั้งสองฤดูแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนค่าความเข้มข้นของสารออโธไซลีนของทั้งสองด่านระหว่างฤดูฝนและฤดูแล้งไม่แตกต่างกัน

จากผลการศึกษาครั้งนี้ยังไม่สามารถอธิบายผลของฤดูกาลที่มีต่อความเข้มข้นของสารเอทิลเบนซิน เมตา พาราไซลีนและออโธไซลีนบริเวณด่านบางนาและด่านอโศก 4 ได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้อาจเนื่องจากเป็นสารที่ไม่ได้เป็นสารประกอบหลักของน้ำมันเชื้อเพลิง จึงทำให้ปล่อยออกมาจากไอเสียและไอระเหยในปริมาณน้อย (Singla et al., 2011) ส่วนปริมาณความเข้มข้นของสารโทลูอีนที่แตกต่างกันของทั้งสองฤดูในด่านบางนาและด่านอโศก 4 อาจเป็นผลเนื่องมาจากแหล่งกำเนิดคือ ไอเสียจากรถที่เข้าใช้บริการด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ เนื่องจากปริมาณรถในช่วงฤดูแล้งมากกว่าฤดูฝนดังแสดงในตารางที่ 3 เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Ongwandee and Chavalparit (2010) ที่พบว่าปริมาณความเข้มข้นของสารบีเทคในทั้งสองฤดูไม่แตกต่างกันทางสถิติ อาจเป็นผลเนื่องมาจากข้อจำกัดของจำนวนตัวอย่างและปัจจัยอื่น โดยกล่าวว่าสภาพการจราจรอาจมีผลต่อระดับปริมาณสารบีเทคมากกว่าสภาพทางอุตุนิยมวิทยา

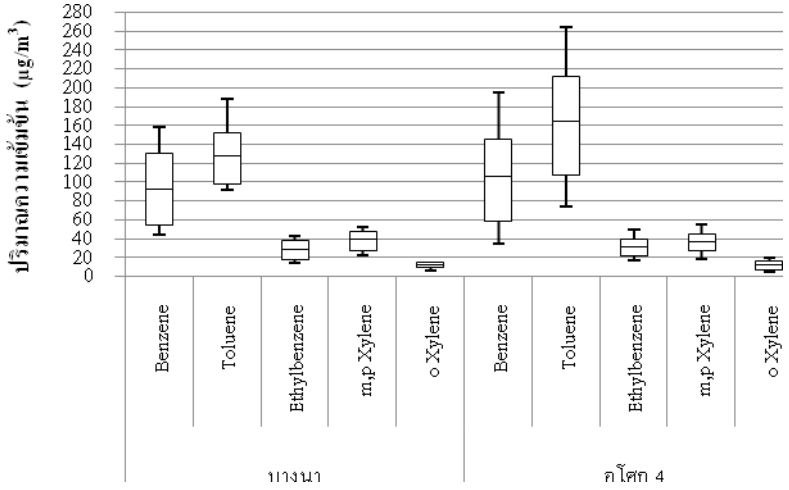
ตารางที่ 3 ข้อมูลปริมาณรถและลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาที่ด่านบางนาและด่านอโศก 4 ในฤดูฝนและฤดูแล้ง

ด่าน	ฤดู	ปริมาณรถ[2] (คัน/8 ช.ม.)	ลักษณะทางอุตุนิยมวิทยา[1]					
			อุณหภูมิ			ความเร็วลม (น็อต)	ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)	ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)
			สูงสุด (°C)	เฉลี่ย (°C)	ต่ำสุด (°C)			
บางนา	ฝน	2,900	34±0.3	30±0.2	26±0.3	2±2	ไม่พบ	73±12
	แล้งฝน	2,953	34±0.8	30±1.2	26±1.2	3±2	ไม่พบ	74±13
อโศก 4	ฝน	3,143	34±0.3	29±0.3	25±0.3	2±2	1±3	81±12
	แล้งฝน	3,359	34±0.3	30±1.4	26±1.4	2±3	ไม่พบ	72±14

ที่มา: [1]Thai Metreological Department (2012)

[2] Express Way Autority of Thailand (2012)

เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของสารบีเทคในด่านเก็บค่าผ่านทางบางนาและอโศก 4 พบว่าในด่านบางนามีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน เมตาไซลีน พาราไซลีน และออโธไซลีน เท่ากับ 92.37 ± 47.18, 127.48 ± 38.90, 28.75 ± 12.67, 38.46 ± 14.54 และ 11.39 ± 4.54 µg/m^3 ตามลำดับ และผลการตรวจวัดที่ด่านอโศก 4 มีค่าเท่ากับ 105.99 ± 62.04, 164.06 ± 81.06, 31.05 ± 12.75, 36.15 ± 16.08 และ 11.52 ± 5.55 µg/m^3 ตามลำดับ (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารบีเทคระหว่างด่านบางนาและด่านอโศก 4

เมื่อนำปริมาณค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารบีเทคมาทดสอบทางสถิติ พบว่า มีเพียงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารโทลูอีนที่พบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) โดยพบว่า ปริมาณรถที่ใช้บริการด่านเก็บค่าผ่านทางอโศก 4 สูงกว่าด่านเก็บค่าผ่านทางบางนา และลักษณะที่ตั้งของด่านเก็บค่าผ่านทางอโศก 4 เป็นด่านที่ยกตัวสูงจากพื้นดิน ตั้งอยู่ใจกลางเมือง และเป็นด่านที่ตั้งเชื่อมต่อกับด่านเก็บค่าผ่านทางอโศก 3 ต่อกันเป็นแนวยาว โดยด่านอโศก 3 และ 4 มีจำนวนตู้ให้บริการที่เรียงต่อกันรวม 20 ตู้ ดังนั้นปัจจัยดังกล่าวจึงอาจส่งผลให้ด่านเก็บค่าผ่านทางอโศก 4 มีปริมาณความเข้มข้นของสารสูงกว่าในด่านเก็บค่าผ่านทางบางนา

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างตำแหน่งที่ทำการเก็บตัวอย่างซึ่งมีทั้งหมด 4 ตำแหน่ง ได้แก่ (1) ตัวอย่างการรับสัมผัสของพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่ตู้เก็บค่าบริการรถยนต์/รถบรรทุก (P1) และ (2) ตู้เก็บค่าบริการรถยนต์ส่วนบุคคล (P2) (3) ตัวอย่างในบริเวณช่อง Easy Pass (E) และ (4) ตัวอย่างที่เก็บในบรรยากาศทั่วไปบริเวณด่าน (A) ปริมาณความเข้มข้นของสารเบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน เมตาไซลีน พาราไซลีน และออโธไซลีน ในแต่ละตำแหน่งของทั้งสองด่านได้แสดงไว้ในตารางที่ 4 และเมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารบีเทคที่ตรวจวัดแต่ละตำแหน่งทั้งในด่านบางนาและด่านอโศก 4 สามารถเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ตามตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ความเข้มข้นของสารบีเทคในแต่ละตำแหน่งในด่านเก็บค่าผ่านทางบางนาและด่านอโศก 4

ด่าน	สาร	ค่าเฉลี่ย±SD (µg/m^3)			
		P1	P2	E	A
บางนา	Benzene	112.32 ± 40.00^{a}	133.85 ± 39.00^{a}	52.55 ± 20.62^{b}	65.79 ± 35.19^{b}
	Toluene	124.85 ± 40.53^{a}	137.74 ± 33.57^{a}	112.96 ± 41.24^{a}	132.55 ± 43.47^{a}
	Ethylbenzene	25.85 ± 11.82^{a}	33.47 ± 14.16^{a}	25.80 ± 13.81^{a}	28.17 ± 10.76^{a}
	m,p-Xylene	37.57 ± 14.41^{ab}	46.85 ± 19.15^{a}	31.68 ± 9.23^{b}	36.92 ± 11.34^{ab}
	o-Xylene	9.01 ± 3.35^{a}	12.68 ± 4.34^{a}	11.20 ± 4.58^{a}	12.65 ± 5.48^{a}
อโศก 4	Benzene	136.04 ± 54.41^{a}	167.99 ± 41.58^{a}	43.99 ± 27.78^{b}	75.65 ± 27.54^{b}
	Toluene	175.21 ± 95.88^{a}	180.32±105.89^{a}	156.54 ± 63.46^{a}	127.12 ± 39.40^{a}
	Ethylbenzene	31.58 ± 13.56^{ab}	37.88 ± 13.38^{a}	23.56 ± 11.24^{b}	27.91 ± 7.96^{b}
	m,p-Xylene	36.82 ± 11.34^{ab}	47.88 ± 16.48^{a}	25.95 ± 13.09^{b}	32.02 ± 11.27^{b}
	o-Xylene	10.93 ± 4.73^{a}	14.02 ± 6.60^{a}	9.50 ± 4.68^{a}	10.79 ± 5.60^{a}

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบในแนวนอน

ตารางที่ 5 ลำดับตามความมากน้อยของปริมาณสารบีเทคในตำแหน่งต่างๆ ของด่านเก็บค่าผ่านทางบางนาและอโศก 4

สาร	ด่านบางนา	ด่านอโศก 4
Benzene	$P2^{a} > P1^{a} > A^{b} > E^{b}$	$P2^{a} > P1^{a} > A^{b} > E^{b}$
Toluene	$P2^{a} > A^{a} > P1^{a} > E^{a}$	$P2^{a} > P1^{a} > E^{a} > A^{a}$
Ethlybenzene	$P2^{a} > A^{a} > P1^{a} > E^{a}$	$P2^{a} > P1^{ab} > A^{ab} > E^{b}$
m,p Xylene	$P2^{a} > P1^{ab} > A^{ab} > E^{b}$	$P2^{a} > P1^{ab} > A^{b} > E^{b}$
o-Xylene	$P2^{a} > A^{a} > E^{a} > P1^{a}$	$P2^{a} > P1^{a} > A^{a} > E^{a}$

หมายเหตุ: ตัวอักษรต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบในแนวนอน

จากตารางที่ 5 พบว่า ทั้งด่านบางนาและด่านอโศก 4 ในจุด P2 พบปริมาณสารบีเทคสูงสุดเนื่องจากเป็นช่องเก็บค่าบริการจากรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์เบนซินเป็นส่วนใหญ่ แต่ในช่อง P1 รถยนต์ที่เข้าใช้บริการส่วนใหญ่เป็นรถยนต์เครื่องยนต์ดีเซล เช่น รถบรรทุก รถโดยสารประจำทาง เป็นต้น เนื่องจากเครื่องยนต์เบนซินจะปล่อยสารบีเทคออกมาในปริมาณสูงกว่าเครื่องยนต์ดีเซล (Pollution Control Department, 2000 อ้างถึงใน Meengoen, 2001; Nguyen, 2009) ส่วนช่อง E เป็นจุดเก็บตัวอย่างบริเวณตู้ Easy Pass รถที่เข้าใช้บริการในช่องนี้มีอัตราการวิ่งผ่านที่เร็วกว่าในช่องอื่นๆ เนื่องจากไม่ต้องหยุดรถเพื่อชำระค่าบริการจึงส่งผลให้พบสารบีเทคในจุดนี้มีค่าน้อย สำหรับจุด A เป็นจุดที่ติดตั้งอุปกรณ์เก็บสารบีเทคในบรรยากาศบริเวณด่าน ซึ่งตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างห่างจากตู้เก็บค่าผ่านทางออกมาประมาณ 2-3 เมตร และรถที่ผ่านในจุดนี้ขับผ่านไปโดยไม่มีการหยุดจอดและไม่มีการชะลอตัวจึงอาจเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้พบปริมาณสารบีเทคที่ลดลงจากจุด P2 ส่วนด่านบางนาจุดที่ตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอยู่ใกล้กับตู้เก็บค่าผ่านทางรถยนต์เครื่องยนต์เบนซินมากกว่าด่านอโศก 4 เนื่องจากสภาพพื้นที่ในการตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างไม่อำนวยจึงอาจส่งผลให้ปริมาณสารบีเทคในจุด A ของด่านเก็บค่าผ่านทางบางนามีปริมาณสูงกว่าในจุด P1

เปรียบเทียบปริมาณการสัมผัสของพนักงานกับค่ามาตรฐานในสถานประกอบการ

ค่ามาตรฐานในสถานประกอบการ ที่คำนวณค่าเฉลี่ยในการสัมผัสแบบ time weighted average (TWA) โดยเป็นค่าความเข้มข้นของสารเคมีในอากาศที่ปลอดภัยสำหรับผู้ปฏิบัติงานในระยะเวลาไม่เกิน 8 ชั่วโมง/ วัน เป็นเวลา 5 วันต่อสัปดาห์ หรือ 40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ ที่พนักงานเกือบทั้งหมดสัมผัสสารเคมีดังกล่าวซ้ำๆ วันแล้ววันเล่าโดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย เมื่อนำค่าเฉลี่ยการสัมผัสสารบีเทคแบบ TWA มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานในสถานประกอบการต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 6 ไม่พบค่าใดที่เกินมาตรฐาน

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบปริมาณเฉลี่ยสารบีเทคที่พนักงานสัมผัสกับค่ามาตรฐานในสถานประกอบการ

สาร	ปริมาณสารที่พนักงานสัมผัสตลอดระยะเวลา 8 ชั่วโมง (µg/m^3)			Standard Limits (µg/m^3)			
	TWA (n=63)	MAX	MIN	TLV[1] TWA	REL[2] TWA	PEL[3] TWA	กฎหมายไทย[4]
Benzene	99.29	221.78	9.40	1,600	320	3,200	3×10^4
Toluene	146.06	409.99	54.20	1.88×10^5	3.75×10^5	7.50×10^5	7.50×10^5
Ethylbenzene	29.92	58.84	3.25	4.35×10^5	4.35×10^5	4.35×10^5	4.35×10^5
Xylene	48.75*	103.02*	9.63*	4.35×10^5	4.35×10^5	4.35×10^5	4.35×10^5

หมายเหตุ: * ผลรวมของ m,p และ o -Xylene

ที่มา: [1]ACGIH (2012), [2]NIOSH (2012), [3]OSHA (2010), [5]Ministry of Interior (1977)

การประเมินความเสี่ยงจากการสัมผัสสารบีเทค

เมื่อพิจารณาความเป็นพิษของสารบีเทค สามารถแบ่งตามระบบขององค์การวิจัยโรคมะเร็งนานาชาติได้เป็น 2 กลุ่มดังนี้ กลุ่มสารก่อมะเร็ง ได้แก่ เบนซิน เอทิลเบนซิน และสารไม่ก่อมะเร็ง ได้แก่ โทลูอีน และไซลีน (IARC, 2010) ซึ่งค่าปริมาณสารเบนซิน เอทิล-เบนซินที่พนักงานได้รับสัมผัสใน 1 วันและค่าความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสารที่ได้จากการคำนวณแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่า CDI และค่า cancer risk ของสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งซึ่งแสดงในช่วงค่าต่ำ – สูง และค่า 95% confidence interval

สาร	สถานี	CDI (mg/kg BW-day)	Cancer risk	95% Confidence interval ของค่า cancer risk
Benzene	ด่านบางนา	1.03×10^{-3}- 4.76×10^{-3}	2.82×10^{-5}- 1.3×10^{-4}	6.93×10^{-5}- 1.04×10^{-4}
	ด่านอโศก 4	1.21×10^{-3}- 6.70×10^{-3}	3.31×10^{-5}-1.83×10^{-4}	9.53×10^{-5}- 1.41×10^{-4}
Ethylbenzene	ด่านบางนา	2.52×10^{-4}- 1.68×10^{-3}	9.69×10^{-7}- 6.47×10^{-6}	2.15×10^{-6}- 3.83×10^{-6}
	ด่านอโศก 4	5.13×10^{-4}- 1.65×10^{-3}	1.97×10^{-6}- 6.36×10^{-6}	2.97×10^{-6}- 4.52×10^{-6}

ปริมาณการสัมผัสสารเบนซินใน 1 วันมีค่าอยู่ในช่วง 1.03×10^{-3} - 6.70×10^{-3} mg/kg BW-day และสำหรับสารเอทิลเบนซินมีค่าอยู่ในช่วง 2.52×10^{-4}- 1.68×10^{-3} mg/kg BW-day จากการพิจารณาค่าความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดมะเร็ง (cancer risk) กับค่าที่ยอมรับได้คือ 1×10^{-6} (ซึ่งหมายถึงประชากรหนึ่งคนจากล้านคนมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง) พบว่า สารเบนซินและเอทิลเบนซินมีค่าเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ ดังนั้นพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษจึงมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งโดยมีค่า 95% Confidence interval อยู่ในช่วง 6.93×10^{-5}- 1.41×10^{-4} สำหรับสารเบนซิน และ 2.15×10^{-6} - 4.52×10^{-6} สำหรับสารเบนซินเอทิลเบนซิน และค่าปริมาณสารโทลูอีน เมตาไซลีน พาราไซลีน และออโธไซลีน ที่พนักงานได้รับสัมผัส ที่ได้จากการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่า EC และค่า hazard quotient ของสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งซึ่งแสดงเป็นช่วงค่าต่ำสุด - สูงสุด และค่า 95% confidence interval

สาร	สถานี	EC ($\mu g/m^3$)	Hazard Quotient	95% Confidence interval ของค่า HQ
Toluene	ด่านบางนา	18.92 – 47.22	0.004 - 0.009	0.005 - 0.007
	ด่านอโศก 4	15.90 – 93.60	0.003 - 0.019	0.006 - 0.01
m,p-Xylene	ด่านบางนา	4.28 – 18.10	0.043 - 0.181	0.076 - 0.117
	ด่านอโศก 4	5.15 – 18.09	0.052 - 0.181	0.079 – 0.115
o-Xylene	ด่านบางนา	0.73 – 3.94	0.007 - 0.039	0.02 - 0.03
	ด่านอโศก 4	1.20 – 5.42	0.012 - 0.054	0.021 – 0.036

จากตารางที่ 8 ค่า 95% Confidence interval ของค่า Hazard Quotients (HQ) อยู่ในช่วง 0.005 - 0.01 สำหรับสารโทลูอีน 0.076 - 0.117 สำหรับสารเมตาไซลีน พาราไซลีน และ 0.02 - 0.036 สำหรับสารออโธไซลีน ซึ่งทั้งหมดมีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าสารดังกล่าวยังไม่พบโอกาสที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงการเกิดโรคอื่นๆ ต่อสุขภาพจากการสัมผัส

จากการสำรวจด้วยแบบสอบถามในกลุ่มผู้ที่ปฏิบัติงานในด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ จำนวน 43 คนเกี่ยวกับอาการที่เกิดขึ้นในระหว่างปฏิบัติงาน ซึ่งเป็นอาการเบื้องต้นจากการสัมผัสสารกลุ่มนี้ ดังแสดงในตารางที่ 9 ผลการสอบถามเกี่ยวกับการสวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลในขณะปฏิบัติงานได้แสดงในตารางที่ 10 หน้ากากที่พนักงานสวมในขณะปฏิบัติงานส่วนใหญ่เป็นหน้ากากชนิดผ้า รองลงมาคือหน้ากากอนามัย 3 ชั้น และหน้ากากอนามัยพร้อมชั้นกรองคาร์บอน

ตารางที่ 9 ความรู้สึกหรืออาการที่พบในขณะปฏิบัติงาน

ความรู้สึกหรืออาการ	ไม่เคย		นานๆครั้ง		บ่อยๆ	
	n	ร้อยละ	n	ร้อยละ	n	ร้อยละ
อาการที่เกิดขึ้นในขณะปฏิบัติงาน						
แสบตา/เคืองตา/น้ำตาไหล	13	30.2	27	62.8	3	7.0
แสบร้อนบริเวณผิวหนัง/ผิวหนังแสบไหม้บวมแดง/ผิวหนังเป็นผื่น	34	79.1	9	20.9	0	0
ปวดศีรษะ/วิงเวียนศรีษะ/หน้ามืด/มึนงง	6	14.0	32	74.4	5	11.6
รู้สึกอ่อนเพลีย/เมื่อยล้า	5	11.6	26	60.5	12	27.9
หายใจไม่สะดวก/หายใจติดขัด/รู้สึกแสบในขณะหายใจ	14	32.5	23	53.5	6	14.0
เป็นลม/หมดสติ	42	97.7	1	2.3	0	0

ตารางที่ 10 ข้อมูลเกี่ยวกับการสวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลในขณะปฏิบัติงาน

ข้อมูลทั่วไป	พนักงานด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ (n=43)	
	จำนวน	ร้อยละ
การสวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลขณะปฏิบัติงาน		
ไม่สวม	7	16.3
สวมเป็นบางครั้ง	12	27.9
สวมทุกครั้ง	24	55.8

การหาแนวทางในการลดความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสารดังกล่าวจึงควรพิจารณาประเด็นการหลีกเลี่ยงการสัมผัสสารปริมาณสูงโดยให้ผู้ปฏิบัติงานสวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลในระหว่างปฏิบัติงาน หากเลือกสวมหน้ากากชนิดที่เหมาะสมกับการทำงานบนท้องถนนและตรงตามมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกาเนื่องจากมีไส้กรองเป็นแบบ R-series ที่สามารถป้องกันอนุภาคและไอระเหยทั้งที่เป็นน้ำมันและไม่ใช่น้ำมันได้ และมีประสิทธิภาพการกรองไม่ต่ำกว่า 95 % ดังนั้น หน่วยงานควรสร้างความตระหนักให้กับพนักงานในการสวมอุปกรณ์ป้องกันที่เหมาะสมและเพียงพอต่อการป้องกันการรับสัมผัสสารในบีเทค และทำการติดแผ่นกรองสำหรับอากาศเข้าบนตู้สำหรับพนักงานเก็บเงินแบบ positive inlet air pressure

สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารบีเทคในวันศุกร์ทั้งที่ด่านเก็บค่าผ่านทางบางนาและด่านเก็บค่าผ่านทางอโศก 4 มีปริมาณความเข้มข้นสูงกว่าในวันอาทิตย์ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณที่ใช้บริการในวันศุกร์นั้นสูงกว่าในวันอาทิตย์ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของสารบีเทคในระหว่างฤดูแล้งฝนและฤดูฝน พบว่าลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาของทั้งช่วงที่ทำการเก็บตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกัน ดังนั้น สภาพทางอุตุนิยมวิทยาจึงไม่ได้ส่งผลต่อปริมาณความเข้มข้นของของสารที่ตรวจวัดได้อย่างชัดเจน และปริมาณความเข้มข้นของสารบีเทคในด่านเก็บค่าผ่านทางอโศก 4 มีปริมาณสูงกว่าในด่านบางนา โดยอาจเป็นผลเนื่องมาจากลักษณะของด่านที่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบสารบีเทคในแต่ละจุดที่ทำการเก็บตัวอย่างพบว่า จุดที่มีปริมาณความเข้มข้นของสารบีเทคสูงสุดคือ จุดที่เรียกเก็บค่าบริการจากรถยนต์ที่ส่วนใหญ่เป็นเครื่องยนต์เบนซิน จากการเปรียบเทียบปริมาณสารที่พนักงานได้รับสัมผัสสารโดยเฉลี่ยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานในสถานประกอบการขององค์กรต่างๆ ที่คำนวณแบบ Time Weighted Average ยังไม่พบค่าที่เกินจากมาตรฐานที่องค์กรต่างๆ กำหนดไว้ ส่วนค่าความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งจากการสัมผัสสารเบนซิน และเอทิลเบนซินอยู่ในระดับที่เกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ พนักงานที่ปฏิบัติงานควรสวมอุปกรณ์ป้องกันชนิดที่สามารถป้องกันการรับสัมผัสสารที่เกิดจากมลพิษจากรถยนต์ได้ ซึ่งถือเป็นแนวทางที่จะสามารถช่วยลดโอกาสเสี่ยงจากการรับสัมผัสสารบีเทคได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์จากการทางพิเศษแห่งประเทศไทย และบริษัท ทางด่วนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) ในการเข้าพื้นที่เพื่อทำการเก็บตัวอย่างและการอนุเคราะห์ข้อมูลปริมาณรถที่เข้าใช้บริการเพื่อใช้ประกอบในงานวิจัยนี้ รวมถึงศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม (ERTC) ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ตัวอย่าง นอกจากนี้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทบัณฑิตศึกษา จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปี 2556 จึงขอขอบพระคุณกองทุนดังกล่าว ที่มีส่วนสำคัญยิ่งในการช่วยให้การทำวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

American Conference of Governmental Industrial Hygienists [ACGIH]. (2012). *Browse Products.* Retrieved 24 June, 2010, from http://www.acgih.org/store/BrowseProducts.cfm?type=cat&id=16

Bangkok Expressway Public Company Limited. (2012). *Traffic volume statistic* 2011 – 2013 [in Thai].

Environmental Research and Training Centre [ERTC]. (2008). *Technical Report: Establishment of Appropriate Methodology for Ambient VOCs Monitoring in Thailand*.

Expressway Authority of Thailand. (2011). *Traffic volume statistic 2009 [in Thai]*. Retrieved 20 May, 2012, from http://www.exat.co.th

Expressway Authority of Thailand. (2012). *Traffic volume statistic 2011 – 2012* [in Thai].

International Agency for Research on Cancer [IARC]. (2010). *Agents classified by the IARC monographs, volumes1–100* Retrieved 10 July, 2011, from http://monographs.iarc.fr/ENG/ Classification/index.php

Kitwattanavong, M. (2010). *Inhalation exposure to carbonyl compound and BTEX and health risk assessment of gas station workers in Bangkok metropolitan*. Master's Thesis. Program in Environmental Management, Graduate School, Chulalongkorn University.

Meengoen, P. (2001). *Emission estimates and species of volatile organic compounds form motorcycles* [in Thai]. Master's Thesis. Program in Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University.

Ministry of Interior. (1977). *Notification of Ministry of Interior, Subject: Safety of work environment (chemicals)* [in Thai]. Royal Thai Government Gazette 94 Parts 64.

National Institute for Occupational Safety and Health [NIOSH]. (2003). Hydrocarbon, aromatic: Method 1501. *NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM)* 3, 1–7.

National Institute for Occupational Safety and Health [NIOSH]. (2012). *Index of chemical name* Retrieved 24 June, 2010, from http://www.cdc.gov/niosh/npg/npgsyn-a.html#a

Occupational Safety and Health Administration [OSHA]. 2010. *Chemical sampling information alphabetic index - b* [Online]. Retrieved 24 June, 2010, from http://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/toc/ chmn_B.html

Ongwandee, M. and Chavalparit, O. (2010). Commuter exposure to BTEX in public transportation modes in Bangkok, Thailand. *Journal of Environmental Sciences 22*(3), 397–404.

Phumeechanya, P. (2008). *Production of adsorbent from paper sludge to adsorb BTEX in air* [in Thai]. Master's Thesis. Program in Environmental, Science Graduate School, Silpakorn University.

Singla, V., Pachauri, T., Satsangi A., Kumari, K. M., & Lakhani, A. (2012). Comparison of BTX profiles and their mutagenicity assessment at two sites of Agra, India. *ScientificWorldJournal* DOI: 10.1100/2012/272853 Retrieved 20 September, 2012, from http://www.hindawi.com/ journals/tswj/2012/272853

Thai Meteorological Department. (2012). Meteorological Statistic Data 2012 – 2013 [in Thai].

The Risk Assessment Information System [RAIS]. 2009. *Chemical data profiles*. Retrieved 20 July, 2011, from http://rais.ornl.gov/tools/profile.php

Truc, V. Q., and Oanh, N. K. (2007). Roadside BTEX and other gaseous air pollutants in relation to emission sources. *Atmospheric Environment* 41: 7685–7697.

Nguyen, T.H.G. (2009). *Roadside PM2.5 and BTEX air quality in Ho Chi Minh city and inverse modeling for vehicle emission factor*. Retrieved 15 August, 2012, from http://www.dlu.edu.vn/FileUpload/ 20091131125501844.pdf

Tsai, P. J., Lee, C. C., Chen, M. R., Shih, T. S., Lai, C. H., & Liou, S. H. 2002. Predicting the contents of BTEX and MTBE for the three types of tollbooth at a highway toll station via the direct and indirect approaches. *The Atmospheric Environment* 36, 5961–5969.

US Environmental Protection Agency [U.S. EPA]. (1999). *Air monitoring methods: Toxic organic compendium method TO-17*. Retrieved 20 July, 2011, from http://www.epa.gov/ttn/amtic/files/ ambient/airtox/to-17r.pdf

US Environmental Protection Agency [U.S. EPA]. (2012). *Integrated risk information system [IRIS] A-Z list of substances*. Retrieved 20 July, 2011, from http:// cfpub.epa.gov/ncea/iris/index.cfm?fuseaction= iris.showSubstanceList

US Environmental Protection Agency [U.S. EPA]. (1989). *Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I Human Health Evaluation Manual (Part A) Interim Final. EPA/540/1-89/002*. Washington, D.C.: Office of Emergency and Remedial Response, Environmental Protection Agency.

US Environmental Protection Agency. (2009). *Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part F) Final. EPA-540-R-070-002*. Washington, D.C.: Office of Superfund Remediation and Technology Innovation, Environmental Protection Agency.

US Environmental Protection Agency. (1991). *Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual Supplemental Guidance "Standard Default Exposure Factors" Interim Final.* Washington, D.C.: Office of Emergency and Remedial Response Toxics Integration Branch U.S., Environmental Protection Agency.

Wang, P., and Zhao, W. (2008). Assessment of ambient volatile organic compounds (VOCs) near major roads in urban Nanjing, China. *Atmospheric Research*, 89, 289–297.