

บริเวณขอบรั้วของสถานีบริการน้ำมันและบริเวณทางแยกจราจรในฤดูร้อนและในฤดูหนาวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ดังในรูปที่ 8

ตารางที่ 9 ผลลัพธ์ของการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของสาร MTBE (mg/m^3) กับค่าของปัจจัยต่างๆ

พื้นที่ศึกษา	ปัจจัยที่ศึกษา	Regression	r^2	p-value
พื้นที่จราจร บริเวณทางแยก	ปริมาณการจราจร	$-0.0000002X + 0.07$	0.099	0.924
	ความเร็วจราจร	$-0.0006X + 0.07$	0.435	0.092
	ความกว้างของถนน	$-0.0003X + 0.07$	0.189	0.674
	ความเร็วลม	$-0.024X + 0.09$	0.122	0.143
	อุณหภูมิ	$-0.011X + 0.43$	0.130	0.135
	ความชื้นสัมพัทธ์	$-0.0011X + 0.12$	0.017	0.387
สถานีบริการ				
เกาะจำหน่าย น้ำมันเชื้อเพลิง	น้ำมันเบนซิน-91	$0.003X - 0.13$	0.475	0.024*
	น้ำมันเบนซิน-95	$0.003X - 0.16$	0.644	0.006*
	91 + 95	$0.002X - 0.17$	0.590	0.009*
	จำนวนรถใน 1 ชม.	$0.012X - 0.31$	0.503	0.020*
	ความเร็วลม	$0.284X + 0.24$	0.122	0.731
	อุณหภูมิ	$0.033X - 0.69$	0.060	0.846
	ความชื้นสัมพัทธ์	$-0.072X + 4.24$	0.163	0.054
ขอบรั้วสถานี	น้ำมันเบนซิน-91	$0.00015X + 0.02$	0.579	0.010*
	น้ำมันเบนซิน-95	$0.00018X + 0.01$	0.522	0.017*
	91 + 95	$0.00008X + 0.01$	0.577	0.011*
	จำนวนรถใน 1 ชม.	$0.00063X + 0.005$	0.506	0.019*
	พื้นที่ของสถานี	$-0.00001X + 0.064$	0.190	0.133
	ความเร็วลม	$-0.0059X + 0.050$	0.139	0.899
	อุณหภูมิ	$0.0022X - 0.034$	0.054	0.717
	ความชื้นสัมพัทธ์	$-0.0038X + 0.246$	0.253	0.019*
คลังน้ำมัน				
เกาะจำหน่ายน้ำมัน เหนือลม	น้ำมันเบนซิน-91	$0.0000001X + 0.31$	0.333	0.976
	น้ำมันเบนซิน-95	$0.000001X + 0.18$	0.253	0.960
	91 + 95	$0.0000006X + 0.16$	0.283	0.753
ใต้ลม	น้ำมันเบนซิน-91	$0.0002X - 10.06$	0.325	0.064
	น้ำมันเบนซิน-95	$0.0001X - 4.83$	0.581	0.017*
	91 + 95	$0.00008X - 11.23$	0.752	0.002*
พื้นที่โดยรอบ	น้ำมันเบนซิน-91	$-0.00003X + 5.12$	0.087	0.226
	น้ำมันเบนซิน-95	$-0.00003X + 5.06$	0.090	0.578
	91 + 95	$-0.00002X + 5.74$	0.001	0.358

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ถดถอยระหว่างความเข้มข้นของสาร MTBE (mg/m^3) ในอากาศกับปัจจัยต่างๆ ที่แสดงไว้ในตารางที่ 9 พบว่า ความเข้มข้นของสาร MTBE ในอากาศบริเวณพื้นที่จราจรกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด (ปริมาณการจราจร ความเร็วจราจร ความกว้างของถนน ความเร็วลม อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์) ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสาร MTBE ในอากาศบริเวณสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง (ที่เกาะจำหน่ายน้ำมันและที่ขอบรั้วสถานี) กับ ยอดจำหน่ายน้ำมันเบนซิน และจำนวนรถยนต์ที่เข้ามาในสถานีมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์อยู่ในช่วง 0.475 ถึง 0.644 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าความเข้มข้นของสาร MTBE ในอากาศบริเวณเกาะจำหน่ายน้ำมันและที่ขอบรั้วสถานี แปรผันตามยอดจำหน่ายน้ำมันเบนซิน และจำนวนรถยนต์ที่เข้ามาในสถานีบริการจำหน่ายน้ำมัน

ปริมาณของสาร MTBE ในอากาศที่ได้ลม บริเวณเกาะจ่ายน้ำมันในคลังน้ำมันเชื้อเพลิง มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำมันเบนซินที่ถูกจ่ายอย่างมาก ($r^2=0.752$, $p=0.002$) ส่วนบริเวณเหนือลมและบริเวณโดยรอบพบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ยของสัดส่วนของสาร MTBE กับสารอินทรีย์ระเหยที่สำคัญบางชนิด [สารประกอบเบนซิน (B) โทลูอิน (T) เอทิลเบนซิน (E) และ ไซลีน (X)]

พื้นที่ศึกษา	M : B	M : T	BTEX : M
พื้นที่จราจร	3.66	0.66	4.27
สถานีบริการ			
เกาะจำหน่ายน้ำมัน	3.99	1.29	3.05
ขอบรั้วสถานี	5.88	1.59	2.21
คลังน้ำมัน			
เกาะจ่ายน้ำมัน			
เหนือลม	4.93	4.52	0.63
ใต้ลม	5.71	2.55	0.89
พื้นที่โดยรอบ	5.04	2.60	1.37
สวนสาธารณะ	1.45	1.94	3.39

ค่าสัดส่วนของสาร MTBE กับสารประกอบเบนซิน โทลูอิน เอทิลเบนซิน และ ไซลีน ในตารางที่ 10 แสดงให้เห็นว่าปริมาณสาร MTBE ในอากาศในบริเวณคลังน้ำมันมีสัดส่วนมากกว่าในบริเวณสถานีบริการน้ำมันและในพื้นที่จราจร และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสถานีบริการน้ำมันกับพื้นที่จราจรพบว่า ปริมาณสาร MTBE ในอากาศบริเวณสถานีบริการน้ำมันมีสัดส่วนมากกว่าในพื้นที่จราจร

2. การประเมินความเสี่ยงต่ออันตรายจากสาร MTBE ในสิ่งแวดล้อม

2.1 การบ่งชี้อันตรายของสาร MTBE (Hazard identification)

2.1.1 ชนิดและสัดส่วนของสารออกซิเจนเนต (Oxygenates) ในน้ำมันเบนซินในประเทศไทย

ในประเทศไทยมีการใช้สารออกซิเจนเนตผสมลงในน้ำมันเบนซินทั้งชนิดออกเทน 91 และชนิดออกเทน 95 ที่มาแทนการผสมสารประกอบตะกั่ว (เช่น สาร tetra-ethyl lead) คือ สารประกอบ Methyl Tertiary Butyl ether (MTBE) และ Ethanol สำหรับ Ethanol ยังมีการนำมาใช้ในปริมาณที่น้อยมาก (ในประเทศไทยมีเพียงสองสถานีบริการน้ำมันเท่านั้น ที่มีการจำหน่ายน้ำมันเบนซินที่ผสมด้วย Ethanol ที่เรียกว่า Gasohol) ดังนั้นคงพอจะกล่าวได้ว่าในปัจจุบันสาร MTBE เป็นสารออกซิเจนเนตที่ถูกใช้ผสมลงในน้ำมันเบนซินที่ใช้ในประเทศไทย โดยมีปริมาณการผสมตามประกาศกระทรวงพาณิชย์ ฉบับที่ 1 (พ.ศ.2541) เรื่อง กำหนดคุณภาพของน้ำมันเบนซินดังนี้

น้ำมันเบนซินไร้สารตะกั่ว ชนิดออกเทน 91 สามารถมีสารออกซิเจนเนตผสมได้ตั้งแต่ร้อยละ 0 - 11.0 โดยปริมาตร สำหรับชนิดออกเทน 95 สามารถมีสารออกซิเจนเนตผสมได้ตั้งแต่ร้อยละ 5.5 - 11.0 โดยปริมาตร

2.1.2 ลักษณะและคุณสมบัติของสาร MTBE

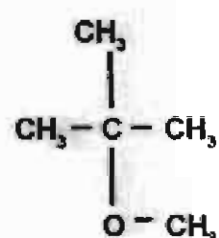
สารประกอบ Methyl Tertiary Butyl ether (MTBE) เป็นสารประกอบอินทรีย์ระเหย ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างสาร isobutene กับ methanol [2, 21, 22]

CAS Registry Number: 1634-04-4

ICSC: 1164

สูตรเคมี: $\text{CH}_3\text{OC}(\text{CH}_3)_3$

สูตรโครงสร้าง:



น้ำหนักโมเลกุล: 88.15

คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ

MTBE เป็นสารระเหย มีคุณสมบัติจุดไฟติด สามารถละลายได้ทั้งในน้ำมันเบนซิน ในแอลกอฮอล์ ในอีเธอร์ และในน้ำ เป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นคล้ายสาร terpene [4, 22]

จุดเดือด: 55.2°C

ความดันไอ: 245 mmHg ที่ 25°C

การละลายน้ำ: 48,000 mg/l ที่ 25°C (หรือ 6.9% โดยปริมาตร)

ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (น้ำ =1):	0.74 ที่ 20 °C
ความหนาแน่นไอ (air=1):	3.0 ที่ 20 °C
ค่าคงที่ของ Henry's Law (H):	$5.28 \times 10^{-4} \text{ atm}\cdot\text{m}^3/\text{g}\cdot\text{mol}$ ที่ 25°C
ค่าสัมประสิทธิ์ระหว่าง Octanol - water (log Kow):	1.2
ค่าสัมประสิทธิ์ระหว่าง Organic-carbon (log Koc):	1.05

2.1.3 อันตรายและความเป็นพิษของสาร MTBE

สารเคมีที่สามารถเข้าสู่ร่างกายและทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้ 3 ทางคือ

- 1) ทางปาก โดยการดื่มน้ำและรับประทานอาหาร
- 2) ทางเยื่อผิวหนัง โดยการสัมผัสและซึมผ่านผิวหนัง หรือเยื่อผิวหนังภายนอกร่างกาย
- 3) ทางจมูก โดยการสูดดมหรือหายใจเข้าไปสู่ระบบหายใจของร่างกาย

อันตรายที่มีผลต่อร่างกายโดยทั่วไป

อันตรายของสาร MTBE ที่มีผลต่อร่างกายในด้านต่างๆที่ไม่ใช่การเกิดมะเร็ง สามารถเกิดจากการเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งสามทางคือ

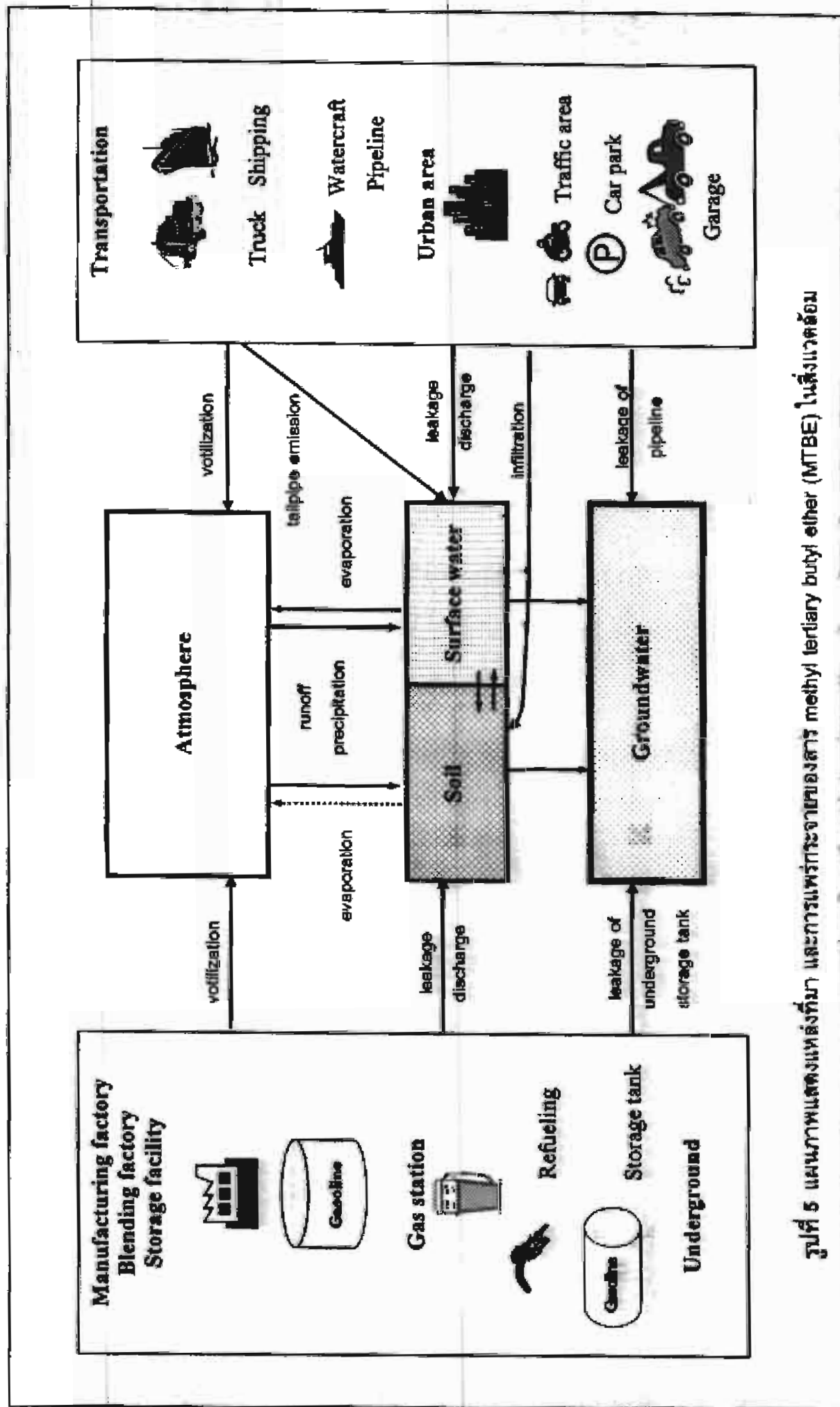
การหายใจ:

รายงานเกี่ยวกับเหตุการณ์ที่มนุษย์ได้รับสาร MTBE ทางระบบทางเดินหายใจเข้าไป จนทำให้เกิดอันตรายถึงชีวิตนั้นยังไม่มีปรากฏ และจากการทดสอบความเป็นพิษของสาร MTBE กับสัตว์ทดลองที่ระดับความเข้มข้นมากกว่า 8,000 ppmv ในเวลา 6 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 5 วันต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ ก็ไม่มีผลทำให้สัตว์ทดลองตาย

ถึงแม้ว่ายังไม่มีรายงานเกี่ยวกับอันตรายถึงชีวิตจากการสูดดมสาร MTBE แต่พบว่าสาร MTBE มีผลต่อร่างกายจากการการสูดดมเข้าไปคือ ทำให้มีอาการเวียนศีรษะ ปวดศีรษะ และมีอาการคลื่นไส้ได้ [1, 2]

จากการทดสอบพิษของสาร MTBE ในสัตว์ทดลองพบว่า สาร MTBE ในอากาศที่ความเข้มข้น $10,800 \text{ mg/m}^3$ มีผลทำให้น้ำหนักแรกเกิดของหนูลดลง เพิ่มอัตราการแท้งของหนู ก่อให้เกิดเนื้องอกในไตและในอวัยวะของหนูมากขึ้น การรับสาร MTBE ทั้งจากการหายใจ และจากการกิน ทำให้เพิ่มโอกาสการเป็นมะเร็ง มะเร็งต่อมน้ำเหลือง และมะเร็งเม็ดเลือดขาวในหนูทดลอง จากข้อมูลการศึกษาถึงผลของสาร MTBE ที่ก่อให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลองต่างๆ สำนักงานวิจัยและการพัฒนา (ORD) ขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อม ได้พิจารณาให้สาร MTBE จัดอยู่ในระดับการก่อให้เกิดมะเร็งในกลุ่ม C (Group C) คือ เป็นสารที่สามารถก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ได้ โดยมีข้อมูลการเกิดมะเร็งในสัตว์ทดลองเท่านั้น [1, 23, 24, 25]

นอกจากนี้แล้ว เมื่อสาร MTBE สลายตัวจะกลายเป็นสาร Tertiary butyl alcohol (TBA) และ Formaldehyde ซึ่งล้วนเป็นสารเคมีที่มีพิษต่อร่างกาย และเกี่ยวข้องกับการเกิดหมอกพิษ (Photochemical smog) อีกด้วย [3]



รูปที่ 5 แผนภาพแสดงแหล่งที่มา และการแพร่กระจายของสาร methyl tertiary butyl ether (MTBE) ในสิ่งแวดล้อม

2.1.4 แหล่งปนเปื้อนและการกระจายของสาร MTBE ในสิ่งแวดล้อม

พื้นที่ที่มีการปนเปื้อนสาร MTBE จะเป็นพื้นที่ที่เกี่ยวข้องกับน้ำมันเบนซินไร้สารตะกั่ว ที่ผสมสาร MTBE เป็นสารออกซิเจนเนเตชั่น สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง คลังน้ำมันเชื้อเพลิง ตู้ซ่อมรถ พื้นที่จราจร แนวท่อส่งน้ำมัน และบริเวณที่มีการรั่วไหลของน้ำมัน

สาร MTBE สามารถปนเปื้อนในอากาศได้ ทั้งจากการระเหยเข้าสู่อากาศโดยตรง ในระหว่างขั้นตอนผลิตสาร MTBE ขั้นตอนการผสมในน้ำมันเชื้อเพลิง การขนถ่ายน้ำมัน และทั้งจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงที่มีสาร MTBE ผสมอยู่ ที่มาจากยานพาหนะต่างๆ

สาร MTBE ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำได้สองลักษณะ ลักษณะแรกเกิดจากการระเหยของสาร MTBE ในอากาศ และแพร่กระจายลงสู่แหล่งน้ำผิวดินโดยตรง หรือถูกน้ำฝนชะล้างจากอากาศลงสู่แหล่งน้ำผิวดิน และซึมลงสู่ดิน แพร่กระจายลงสู่แหล่งน้ำใต้ดินได้อีกด้วย ลักษณะที่สองเป็นการรั่วไหลของสาร MTBE หรือของน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีสาร MTBE ผสมอยู่ลงสู่แหล่งน้ำโดยตรงเช่น การรั่วไหลจากเรือยนต์ เรือบรรทุกน้ำมัน รถบรรทุกน้ำมัน หรือการรั่วไหลจากถังกักเก็บน้ำมันใต้ดินจากท่อขนส่งน้ำมัน แพร่กระจายลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน [4] (รูปที่ 9)

2.1.5 ปริมาณและลักษณะการจำหน่ายน้ำมันเบนซินในกรุงเทพมหานคร

ตารางที่ 11 ปริมาณการจำหน่ายน้ำมันเบนซินในประเทศไทยในปีพ.ศ.2543 และ พ.ศ.2544 (ล้านลิตร)

พื้นที่จำหน่าย	พ.ศ.2543		พ.ศ.2544	
	เบนซิน-91	เบนซิน-95	เบนซิน-91	เบนซิน-95
- กรุงเทพมหานคร	1,042.806	1,384.107	1,256.671	1,232.547
- ทั่วประเทศไทย ยกเว้น กรุงเทพมหานคร	3,286.076	3,427.088	3,846.728	2,999.467

แหล่งที่มา: กรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์

ตารางที่ 12 ลักษณะและสัดส่วนการจำหน่ายน้ำมันเบนซินแยกตามประเภทธุรกิจในปีพ.ศ.2544

ลักษณะการจำหน่าย	สัดส่วนการจำหน่ายน้ำมันเบนซิน (%)	
	เบนซิน-91	เบนซิน-95
1. ร้านค้าน้ำมัน	0.4	0.3
2. ผู้ค้าส่ง	22.2	12.2
3. อุตสาหกรรม	0.2	0.4
4. สถานีบริการ	74.3	84.8
5. การขนส่ง	0.1	0.1
6. อื่นๆ	2.8	2.2

แหล่งที่มา: กรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์

ในปีพ.ศ.2544 มีปริมาณการจำหน่ายน้ำมันเบนซินออกเทน 91 และ ออกเทน 95 เฉพาะในพื้นที่กรุงเทพฯ มีปริมาณถึง 1,200 กว่าล้านลิตร ซึ่งมีปริมาณมากเกือบจะครึ่งหนึ่งของที่จำหน่าย

ทั่วประเทศไทย (ตารางที่ 11) ในการจำหน่ายน้ำมันเบนซินมีในหลายรูปแบบดังแสดงในตารางที่ 12 และพบว่าสัดส่วนการจำหน่ายปลีกในสถานบริการน้ำมันมีปริมาณมากที่สุดถึงร้อยละ 70-80 ของรูปแบบการจำหน่ายทั้งหมด

2.1.6 จำนวนสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิง และถังน้ำมันใต้ดินในเขตกรุงเทพฯ

ตามประกาศกรมโยธาธิการ ว่าด้วยมาตรฐานความปลอดภัยของสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิง ในประเทศไทยมีสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิง 2 ประเภทคือ

สถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทที่ 1 คือ สถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิงที่ตั้งอยู่ในที่ดินที่ติดเขตทางหลวงหรือถนนสาธารณะที่มีความกว้างของถนนไม่น้อยกว่า 12 เมตร หรือถนนส่วนบุคคลที่มีความกว้างของถนนไม่น้อยกว่า 10 เมตรที่เชื่อมต่อกับทางหลวงหรือถนนสาธารณะ

สถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทที่ 2 คือ สถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิงที่ตั้งอยู่ในที่ดินที่ติดเขตทางหลวงหรือถนนสาธารณะที่มีความกว้างของถนนไม่น้อยกว่า 8 เมตรไม่น้อยกว่า 12 เมตร หรือถนนส่วนบุคคลที่มีความกว้างของถนนไม่น้อยกว่า 8 เมตรไม่น้อยกว่า 10 เมตรที่เชื่อมต่อกับทางหลวงหรือถนนสาธารณะ

ตารางที่ 13 จำนวนสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิงในเขตกรุงเทพมหานคร ณ วันที่ 31 ธันวาคม 2544

จำนวนสถานบริการน้ำมัน			
ปตท.	154	เอสโซ่	148
เชลล์	155	คาสเท็กซ์	125
บางจาก	141	ซีสโก้	9
คอสโม	2	MP	7
คิวเอท	53	PT	4
TPI	15	Jet	15
อิสระ	41		
รวม			869

แหล่งที่มา: กรมการคลังภายใน กระทรวงพาณิชย์

ในพื้นที่กรุงเทพฯ มีสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทที่ 1 จำนวน 853 สถานี และมีสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทที่ 2 จำนวน 16 สถานี รวมทั้งสิ้น 869 สถานี (ตารางที่ 13)

ในสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิงมีการกักเก็บน้ำมันเชื้อเพลิงไว้ในถังเก็บใต้พื้นดินซึ่งมี 2 ชนิดคือ ถังที่มีผนังชั้นเดียว และถังสองชั้น โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เมตร และมีความจุตั้งแต่ 5,000 ลิตรถึง 30,000 ลิตร ถังน้ำมันจะถูกฝังใต้ดินที่ระดับความลึกประมาณ 50 เซนติเมตร

ข้อมูลในปีพ.ศ.2543 ในพื้นที่กรุงเทพฯมีถังน้ำมันใต้ดินตามสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิงที่เป็นถังชั้นเดียวจำนวน 1,794 ถัง และถังสองชั้นจำนวน 166 ถัง สำหรับปริมาณน้ำมันเบนซินชนิดออกเทน 95 สามารถถูกกักเก็บไว้ใต้ดินในพื้นที่ของกรุงเทพฯได้ถึง 32.9 ล้านลิตรโดยประมาณ และในแต่ละเขตของกรุงเทพฯ มีจำนวนถังน้ำมันเชื้อเพลิงใต้ดินและปริมาณน้ำมันเบนซินที่สามารถกักเก็บไว้ใต้ดินแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ดึงเก็บน้ำมันใต้ดินในเขตต่างๆของพื้นที่กรุงเทพมหานคร และปริมาณน้ำมันที่สามารถบรรจุได้โดยประมาณ จากข้อมูลปีพ.ศ.2543

เขต	จำนวนถัง หนึ่งชั้น เดียว	ปริมาณน้ำมันเบนซินออก เทน-95 ที่สามารถบรรจุได้ โดยประมาณ (ลิตร)	จำนวนถัง หนึ่งสองชั้น	ปริมาณน้ำมันเบนซินออก เทน-95 ที่สามารถบรรจุได้ โดยประมาณ (ลิตร)
บางเขน	42	678,000	3	70,000
บางขุนเทียน	57	1,010,000	6	140,000
บางบอน	20	315,000	4	110,000
บางกอกแฟลชม	16	234,000	3	60,000
หนองแขม	26	489,000	8	210,000
ภาษีเจริญ	81	1,049,000	4	100,000
ราษฎร์บูรณะ	52	812,500	1	25,000
จอมทอง	16	285,000	4	100,000
ทุ่งครุ	7	134,000	3	80,000
บางนา	45	858,000	0	0
วัฒนา	25	401,000	0	0
ลาดกระบัง	26	479,000	1	25,000
ยานนาวา	45	745,000	8	170,000
สาทร	49	834,000	0	0
คลองสาน	17	314,000	2	50,000
ธนบุรี	31	441,500	5	125,000
บางรัก	22	222,000	0	0
บางกอกน้อย	18	285,000	4	100,000
บางกอกใหญ่	20	314,000	0	0
บางพลัด	46	706,000	3	80,000
คลองสามวา	6	110,000	0	0
คลองจั่น	55	975,000	10	230,000
ทวีวัฒนา	20	380,000	0	0
บึงกุ่ม	103	1,628,000	2	50,000
คันนายาว	13	175,000	4	120,000
สะพานสูง	21	393,000	0	0
หนองจอก	27	500,000	2	60,000
มีนบุรี	48	850,000	2	60,000
บางเขน	69	1,070,000	8	190,000
สายไหม	11	210,000	0	0
หลักสี่	21	305,000	2	50,000
ดอนเมือง	32	585,000	0	0
ประเวศ	48	689,000	2	60,000
สวนหลวง	71	1,042,000	0	0
พระโขนง	41	651,000	7	160,000
คลองเตย	48	689,000	10	220,000
พระนคร	18	191,000	6	40,000
ป้อมปราบ	19	217,000	0	0
ปทุมวัน	19	237,000	0	0
ดุสิต	25	290,000	8	84,000
พญาไท	28	483,000	3	75,000
ราชเทวี	30	391,000	0	0
ดินแดง	23	381,000	2	50,000
บางซื่อ	37	625,000	3	75,000
จตุจักร	68	1,079,000	16	370,000
ห้วยขวาง	53	909,500	5	110,000
ลาดพร้าว	80	1,544,000	3	75,000
วังทองหลาง	29	540,000	7	140,000
บางกะปิ	69	1,409,000	5	135,000
รวม	1,794	29,153,500	165	3,749,000

แหล่งที่มา: ฝ่ายควบคุมความปลอดภัยก๊าซและน้ำมันเชื้อเพลิง กรมโยธาธิการ กระทรวงมหาดไทย

คลังน้ำมันเชื้อเพลิงในพื้นที่กรุงเทพฯ

คลังน้ำมันเชื้อเพลิงในพื้นที่กรุงเทพมหานครมี 9 แห่งดังนี้

- 1) การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย เขตคลองเตย
- 2) การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย เขตพระโขนง
- 3) บริษัท เชลล์แห่งประเทศไทย จำกัด เขตคลองเตย
- 4) บริษัท เอสโซ่ (ประเทศไทย) จำกัด เขตยานนาวา
- 5) บริษัท น้ำมันกาลเท็กซ์ (ไทย) จำกัด เขตยานนาวา
- 6) บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด เขตพระโขนง
- 7) บริษัท สยามสหบริการ จำกัด เขตราชบุรีบูรณะ
- 8) บริษัท อุตสาหกรรมแก๊สสยาม จำกัด เขตยานนาวา
- 9) บริษัท บริการเชื้อเพลิงการบินกรุงเทพ จำกัด เขตดอนเมือง

2.1.7 ลักษณะทางธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่กรุงเทพมหานคร

บริเวณพื้นที่ของกรุงเทพมหานครอยู่ในบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง ซึ่งเกิดจากการทับถมของตะกอนดินทรายจากแม่น้ำและทะเล ตะกอนดินที่พบอยู่ระดับบนสุดประกอบด้วยดินเหนียวซึ่งเกิดจากการสะสมของตะกอนละเอียดจากแม่น้ำและจากทะเล ดินเหนียวที่พบในบริเวณกรุงเทพฯเป็นดินเหนียวที่อมน้ำเก็บอยู่ แบ่งได้เป็นสองช่วง ช่วงล่างเป็นดินเหนียวเนื้อแน่นสีเทาอมน้ำตาลไปจนถึงสีน้ำตาลอมเหลือง วางตัวอยู่บนชั้นดินทราย พบตั้งแต่ระดับความลึกเฉลี่ยประมาณ 15 เมตรลงไปจนถึงความลึกเฉลี่ยประมาณ 23 เมตร (บางแห่งลงไปถึง 30 เมตร) เรียกว่า Bangkok stiff clay ส่วนช่วงบนเป็นดินเหนียวปนโคลนตมสีเทาถึงดำ พบตั้งแต่ระดับผิวดินไปจนถึงดินเหนียวช่วงล่าง เรียกว่าดินเหนียวช่วงบนนี้ว่า Bangkok soft clay ดินเหนียวทั้งสองช่วงนี้รวมเรียกกันว่า "ดินกรุงเทพ" (Bangkok clay)

เนื่องจากบริเวณที่ราบภาคกลางเป็นพื้นที่ที่เกิดจากตะกอนที่พัดพามาจากแม่น้ำ ตะกอนดินคอนลุ่มเหนียว และตะกอนจากทะเล มีตะกอนดินทรายและดินสะสมกันหนาแน่นมาก และได้แยกกันอยู่เป็นชั้นๆ และชั้นของตะกอนกรวดทรายเหล่านี้จะมีช่องว่างสำหรับกักเก็บน้ำใต้ดินที่ซึมลงมาเป็นชั้นน้ำใต้ดิน ระหว่างชั้นน้ำจะถูกคั่นด้วยดินเหนียวในลักษณะเป็นหินกั้นน้ำ (Confining bed) ทำให้มีลักษณะชั้นน้ำใต้ดินเกิดขึ้นเป็นหลายๆชั้น แต่ละชั้นน้ำมีปริมาณและคุณภาพของน้ำใต้ดินเหมือนกันบ้างต่างกันบ้าง ตามสภาพธรณีวิทยาและอุทกวิทยา

จากการศึกษาของกองน้ำบาดาล กรมทรัพยากรธรณีโดยใช้ข้อมูลจากการทดสอบด้วยเครื่องหยั่งธรณี (Well Logging Techniques) เป็นเกณฑ์และข้อมูลจากการเจาะบ่อน้ำบาดาลเป็นตัวอย่างประกอบ โดยชั้นน้ำแต่ละชั้นจะไม่มีควมสัมพันธ์ในเชิงเวลาศาสตร์ แต่แต่ละชั้นน้ำมีการแผ่ขยายออกไปในแนวราบอย่างกว้างขวางและมีคุณสมบัติทางอุทกธรณีวิทยาเฉพาะตัว สามารถแบ่งชั้นน้ำออกได้เป็น 8 ชั้น นับจากระดับตื้นที่สุดลึกลงไปจนถึงประมาณ 650 เมตร [20, 26] ดังนี้

- 1) **ชั้นน้ำกรุงเทพ** มีความลึกประมาณ 50 เมตร เป็นชั้นบนสุดประกอบด้วยดินเหนียว ดอนบนหนาเฉลี่ย 22 เมตร ประกอบด้วยกรวดทรายและชั้นดินเหนียวบาง ๆ ชั้นน้ำหนา ประมาณ 20-26 เมตร มีปริมาณน้ำมากแต่ส่วนใหญ่เป็นน้ำเค็มและน้ำกร่อย
- 2) **ชั้นน้ำพระประแดง** มีความลึกประมาณ 100 เมตร เป็นชั้นน้ำที่อยู่ถัดจากชั้นน้ำ กรุงเทพลงไป โดยถูกคั่นด้วยชั้นดินเหนียวเนื้อแน่นหนาไม่น้อยกว่า 10 เมตร มักมีชั้น ทรายบาง ๆ แทรกอยู่ ชั้นน้ำหนาประมาณ 20-50 เมตร ปริมาณน้ำในชั้นนี้มีมากแต่ส่วนใหญ่เป็นน้ำกร่อย
- 3) **ชั้นน้ำนครหลวง** มีความลึกประมาณ 150 เมตร เป็นชั้นน้ำที่อยู่ถัดจากชั้นน้ำพระ ประแดงลงไป โดยมีดินเหนียวเนื้อแน่นสีน้ำตาลหนา 3-10 เมตรกั้นอยู่ ชั้นน้ำหนา 50-70 เมตร ชั้นน้ำประกอบด้วยกรวดทราย เป็นชั้นน้ำที่มีการสูบขึ้นมาใช้มากที่สุดในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นชั้นน้ำระดับต้นที่ดีทั้งปริมาณและคุณภาพ
- 4) **ชั้นน้ำนนทบุรี** มีความลึกประมาณ 200 เมตร เป็นชั้นน้ำที่ประกอบด้วยกรวดทรายและ ชั้นดินเหนียวบาง ๆ แทรกอยู่ ชั้นน้ำหนา 30-70 เมตร สภาพน้ำคล้ายคลึงกับชั้นน้ำนคร หลวง ในปัจจุบันบ่อน้ำบาดาลขนาดใหญ่ของการประปาานครหลวง และโรงงาน อุตสาหกรรมขนาดใหญ่ใช้น้ำในชั้นนี้
- 5) **ชั้นน้ำสามโคก** มีความลึกประมาณ 300 เมตร เป็นชั้นน้ำที่ประกอบด้วยทรายบาง ๆ หลาย ๆ ชั้นเรียงตัวสลับกับชั้นดินเหนียว ชั้นน้ำหนาประมาณ 40-80 เมตร คุณภาพน้ำ ใกล้เคียงกับน้ำนนทบุรีแต่มีปริมาณน้ำน้อยกว่า
- 6) **ชั้นน้ำพญาไท** มีความลึกประมาณ 350 เมตร มีลักษณะทางธรณีวิทยาคล้ายกับชั้นน้ำ สามโคก ชั้นน้ำหนาประมาณ 40-80 เมตร ลักษณะน้ำส่วนใหญ่เป็นน้ำจืด ยกเว้นทาง ใต้ของกรุงเทพฯจะเป็นน้ำกร่อย
- 7) **ชั้นน้ำธนบุรี** มีความลึกประมาณ 450 เมตร วางตัวอยู่ใต้ชั้นน้ำพญาไทโดยมีชั้นดิน เหนียวกั้นอยู่มีความหนาตั้งแต่ 1-30 เมตร ชั้นน้ำประกอบด้วยชั้นทรายหนา ๆ โดยมีชั้น ดินเหนียวแทรกอยู่ ชั้นน้ำหนาประมาณ 50-100 เมตร ลักษณะน้ำส่วนใหญ่เป็นน้ำจืด ยกเว้นทางใต้ของกรุงเทพฯจะเป็นน้ำกร่อย
- 8) **ชั้นน้ำปากน้ำ** มีความลึกประมาณ 550 เมตร เป็นชั้นน้ำที่ลึกที่สุด ให้น้ำจืดทุกบริเวณ ชั้นน้ำประกอบด้วยชั้นทรายหนา ๆ ระดับบนสุดของชั้นน้ำอยู่ที่ความลึกประมาณ 470-500 เมตร [20, 26]

2.1.8 บ่อน้ำบาดาลและการสูบน้ำบาดาลในกรุงเทพมหานคร

ในประเทศไทยมีหน่วยงานที่รับผิดชอบดูแลเกี่ยวกับการขุดเจาะน้ำบาดาลหลาย หน่วยงานเช่น กรมโยธาธิการ กรมทรัพยากรธรณี การประปานครหลวง นิคมอุตสาหกรรม เป็นต้น หน่วยงานที่รับผิดชอบดูแลการขุดเจาะและการใช้น้ำบาดาลของภาคเอกชนคือ กรมทรัพยากรธรณี จากข้อมูลในปีพ.ศ.2540 มีจำนวนบ่อน้ำบาดาลในเขตกรุงเทพฯทั้งหมด 6,059 บ่อ เป็นบ่อน้ำของ

เอกชนจำนวน 5,852 บ่อ และมีอัตราการสูบน้ำบาดาลที่ได้รับอนุญาตใช้ได้ประมาณ หนึ่งด้าน ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (ตารางที่ 15)

ตารางที่ 15 จำนวนบ่อน้ำบาดาลในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร และปริมาณน้ำบาดาลที่อนุญาตให้สูบน้ำขึ้นมาได้ จากข้อมูลปีพ.ศ.2540 [26]

ผู้ดูแล / เจ้าของ	จำนวนบ่อน้ำบาดาล	ปริมาณน้ำบาดาลที่อนุญาตให้สูบน้ำขึ้นมาได้ (ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)
กรมทรัพยากรธรณี	58	3,184
กรมโยธาธิการ	13	4,110
การประปา	122	153,039
นิคมอุตสาหกรรม	14	26,341
เอกชน	5,852	879,652
รวม	6,059	1,066,326

แหล่งที่มา: คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, แนวโน้มการจัดการน้ำใช้เพื่ออุตสาหกรรมในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล (พ.ศ.2542)

2.2 การประเมินการสัมผัสและรับสาร MTBE (Exposure assessment)

การประเมินการรับสาร MTBE จากอากาศ

การวิเคราะห์หาปริมาณสาร MTBE ในอากาศที่เข้าสู่ร่างกายทางการหายใจ ทำโดยนำข้อมูลปริมาณสาร MTBE ในอากาศในพื้นที่ศึกษาในหัวข้อที่ 1.1.4 และ 1.1.5 มาประเมินด้วยวิธี

ตารางที่ 16 การจำแนกกลุ่มของข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์หาปริมาณการรับสาร MTBE ในอากาศ

เพศ	ช่วงอายุ (ปี)	พื้นที่ศึกษา	ระยะเวลาที่มีโอกาสสัมผัสสารเคมี (ชั่วโมง/วัน)
ชาย	0-1	1. สถานีบริการจำหน่ายน้ำมันในแต่ละกลุ่ม (3 กลุ่ม) 1.1 บริเวณเกาะจ่ายน้ำมัน 1.2 บริเวณรอบรั้วของสถานี (กลุ่ม 1 - สถานีบริการประเภทที่ 1 ที่มียอดจำหน่ายน้ำมันมาก, กลุ่ม 2 - สถานีบริการประเภทที่ 1 ที่มียอดจำหน่ายน้ำมันน้อย, กลุ่ม 3 - สถานีบริการประเภทที่ 2)	ที่เกาะจ่ายน้ำมัน = 8 ที่ขอบรั้วของสถานี = 12 บริเวณทางแยกจราจร = 12
	1-2		
	2-6		
	6-12		
	12-20		
หญิง	20-30	2. พื้นที่จราจรในแต่ละกลุ่ม (2 กลุ่ม) (กลุ่ม 1 - ทางแยกจราจรที่ไม่มีสัญญาณไฟจราจร กลุ่ม 2 - ทางแยกจราจรที่มีสัญญาณไฟจราจร)	
	30-40		
	40-50		
	50-60		
	60 ขึ้นไป		

การวิเคราะห์ความไม่แน่นอน (Uncertainty analysis) และใช้โปรแกรม @Risk ในการวิเคราะห์ และในการวิเคราะห์ข้อมูลได้จำแนกข้อมูลเป็นกลุ่มๆตามเพศ ช่วงอายุของคน และตามกลุ่มพื้นที่ศึกษา ในระยะเวลาที่มีโอกาสสัมผัสสารเคมี 8 และ 12 ชั่วโมงต่อวัน ดังแสดงในตารางที่ 16

สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณสาร MTBE ในอากาศที่คนในแต่ละช่วงอายุมีโอกาสได้รับในแต่ละพื้นที่ศึกษา ถูกวิเคราะห์ได้เป็นค่าปริมาณต่ำสุด ค่าปริมาณสูงสุด และค่าเฉลี่ย โดยแสดงไว้ในภาคผนวก ข

จากผลการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณสาร MTBE ที่คนในช่วงอายุ 12 ถึง 80 ปีขึ้นไป มีโอกาสได้รับมีปริมาณใกล้เคียงกัน จึงทำการประมวลผลเป็นค่าเฉลี่ยของปริมาณสาร MTBE ในอากาศที่คนมีอายุตั้งแต่ 12 ปีขึ้นไปมีโอกาสได้รับเข้าสู่ร่างกาย

ตารางที่ 17 ค่าสูงสุดของปริมาณสาร MTBE ในอากาศ ที่ผู้หญิงในช่วงอายุต่างๆ มีโอกาสได้รับทางการหายใจในพื้นที่ศึกษา (มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน)

พื้นที่ศึกษา	ผู้หญิง				
	ช่วงอายุ (ปี)				
	0-1	1-2	2-6	6-12	12 ปีขึ้นไป
สถานีบริการจำหน่ายน้ำมันเชื้อเพลิงที่เกาะจ่ายน้ำมัน ^ก					
กลุ่มที่ 1 (178-650 ลิตร/ก) ^ข	5.410	3.643	1.659	2.269	1.966
กลุ่มที่ 2 (14-70 ลิตร/ก) ^ข	0.066	0.036	0.036	0.030	0.027
กลุ่มที่ 3 (30-335 ลิตร/ก) ^ข	0.991	0.460	0.305	0.319	0.455
ที่ขอมริ้วของสถานี ^ก					
กลุ่มที่ 1 (178-650 ลิตร/ก) ^ข	0.728	0.213	0.171	0.155	0.072
กลุ่มที่ 2 (14-70 ลิตร/ก) ^ข	0.042	0.028	0.275	0.019	0.007
กลุ่มที่ 3 (30-335 ลิตร/ก) ^ข	0.224	0.136	0.083	0.072	0.033
ทางแยกจราจร ^ก					
กลุ่มที่ 1 (ไม่มีสัญญาณไฟจราจร)	0.364	0.106	0.091	0.055	0.078
กลุ่มที่ 2 (มีสัญญาณไฟจราจร)	0.724	0.304	0.160	0.160	0.157

^ก จำนวนจากระยะเวลาสัมผัส 8 ชั่วโมงต่อวัน

^ข จำนวนจากระยะเวลาสัมผัส 12 ชั่วโมงต่อวัน

^ค ยอดจำหน่ายน้ำมันเบนซิน-95

ตารางที่ 17 และ 18 เป็นตารางแสดงค่าสูงสุดของปริมาณสาร MTBE ในอากาศที่ผู้หญิงและผู้ชายในแต่ละช่วงอายุมีโอกาสได้รับเข้าสู่ร่างกาย (มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน) ในแต่ละพื้นที่ศึกษาตามลำดับผลการวิเคราะห์พบว่า ในระยะเวลาการสัมผัสที่เท่ากัน เด็กทั้งหญิงและชายมีโอกาสได้รับสาร MTBE ในอากาศมากกว่าผู้ใหญ่ และปริมาณที่ได้รับจะมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามอายุเด็กที่ลดลง

สำหรับการได้รับสาร MTBE ในบริเวณสถานีบริการจำหน่ายน้ำมันพบว่า คนที่อยู่ในสถานบริการฯ ในกลุ่มที่มีปริมาณการจำหน่ายน้ำมันเบนซินมาก จะมีโอกาสได้รับสาร MTBE มากกว่าในสถานบริการฯที่มีการจำหน่ายน้ำมันเบนซินน้อยกว่า และในสถานบริการฯแต่ละกลุ่มพบว่า ปริมาณการ

ได้รับสาร MTBE ในบริเวณเกาะจ่ายน้ำมัน (เวลาสัมผัส 8 ชั่วโมงต่อวัน) จะสูงกว่าในบริเวณขอบรั้วของ สถานีจำหน่ายน้ำมัน (เวลาสัมผัส 12 ชั่วโมงต่อวัน)

การได้รับสาร MTBE ในบริเวณพื้นที่จราจรพบว่า คนที่อยู่ในบริเวณทางแยกจราจรที่มีสัญญาณ ไฟจราจรมีโอกาสได้รับสาร MTBE มากกว่าคนที่อยู่ในบริเวณทางแยกจราจรที่ไม่มีสัญญาณ ถึงแม้จะมี ปริมาณการจราจรมากกว่าก็ตาม

ตารางที่ 18 ค่าสูงสุดของปริมาณสาร MTBE ในอากาศ ที่ผู้ขายในช่วงอายุต่างๆ มีโอกาสได้รับทางการ หายใจในพื้นที่ศึกษา (มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน)

พื้นที่ศึกษา	ผู้ขาย				
	ช่วงอายุ (ปี)				
	0-1	1-2	2-6	6-12	12 ปีขึ้นไป
สถานีบริการจำหน่ายน้ำมัน เชลล์ ที่เกาะจ่ายน้ำมัน ^ก					
กลุ่มที่ 1 (178-650 ลิตร/ก) ^ข	4.392	3.965	1.599	2.293	1.873
กลุ่มที่ 2 (14-70 ลิตร/ก) ^ข	0.059	0.045	0.026	0.025	0.029
กลุ่มที่ 3 (30-335 ลิตร/ก) ^ข	0.880	0.845	0.288	0.567	0.311
ที่ขอบรั้วของสถานี ^ข					
กลุ่มที่ 1 (178-650 ลิตร/ก) ^ข	0.353	0.212	0.242	0.226	0.082
กลุ่มที่ 2 (14-70 ลิตร/ก) ^ข	0.037	0.026	0.019	0.016	0.008
กลุ่มที่ 3 (30-335 ลิตร/ก) ^ข	0.328	0.108	0.071	0.087	0.036
ทางแยกจราจร ^ข					
กลุ่มที่ 1 (ไม่มีสัญญาณไฟจราจร)	0.234	0.122	0.087	0.081	0.084
กลุ่มที่ 2 (มีสัญญาณไฟจราจร)	0.745	0.249	0.188	0.182	0.177

^ก ค่าจากภาวะระยะเวลาสัมผัส 8 ชั่วโมงต่อวัน

^ข ค่าจากภาวะระยะเวลาสัมผัส 12 ชั่วโมงต่อวัน

^ค ยอดจำหน่ายน้ำมันเบนซิน-95

2.3 การประเมินขนาดกับการตอบสนอง (Dose-response assessment)

จากการสืบค้นข้อมูล จากฐานข้อมูลของระบบข้อมูลการประเมินความเสี่ยงขององค์การ พิทักษ์สิ่งแวดล้อม [EPA Integrated Risk Information System (IRIS)] ค่า Reference concentration (RfC , mg/m^3) ของสาร MTBE มีค่าดังแสดงในตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ข้อมูลการประเมินขนาดของสารเคมีกับการตอบสนองร่างกาย

No.	สารเคมี	CAS #	Weight of Evidence		Chronic Inhalation Reference	Acute Inhalation Reference	Inhalation Unit Risk
			EPA ^a	IARC ^b	mg/m ³	mg/m ³	(mg/m ³) ⁻¹
1	MTBE	1634044	C		3 IR	7.2 AT	7.80E-06 IR
2	Benzene	71432	A	1	0.06 CA	0.8 CA	
3	Toluene	108883	D	3	0.4 IR	40 CA	
4	Ethyl benzene	100414	D		1 IR	350 M	
5	Xylene (mixed)	1330207	D		0.43 AT	2 CA	

Source: IR = EPA Integrated Risk Information System (IRIS)

AT = ATSDR Minimum Risk Level (MRL)

CA = California EPA

NI = NIOSH Immediately Dangerous to life or Health

a: Potential for carcinogenicity classified by EPA

A = a known human carcinogen

B1 = a probable human carcinogen, limited human evidence

B2 = a probable human carcinogen, sufficient evidence in animals and inadequate or no evidence in humans

C = a possible human carcinogen, based on limited evidence in animals

D = Not classified as to human carcinogenicity

E = No evidence of carcinogenicity in humans

b: Potential for carcinogenicity classified by IARC (International Agency for Research on Cancer)

1 = a known human carcinogen

2A = a probable human carcinogen, limited human evidence

2B = a possible human carcinogen, sufficient evidence in animals and inadequate or no evidence in humans

3 = Not classified as to human carcinogenicity

4 = No evidence of carcinogenicity in humans

2.4 การอธิบายความเสี่ยงจากการได้รับสาร MTBE (Risk characterization)

การวิเคราะห์หาค่าความเสี่ยงต่อสาร MTBE ที่มีต่อคนในพื้นที่ศึกษา ทำโดยคำนวณหาค่าความเสี่ยงที่ไม่ใช่มะเร็ง [Hazard quotient (HQ)] ที่มีผลต่อร่างกายทั้งในระยะเฉียบพลัน ($RfC = 7.2 \text{ mg/m}^3$) และในระยะยาว ($RfC = 3.0 \text{ mg/m}^3$) ดังแสดงไว้ในหัวข้อวิธีการทดลอง

ค่าความเสี่ยงที่ไม่ใช่มะเร็ง [Hazard quotient (HQ)] ที่วิเคราะห์ได้ คำนวณมาจากค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของปริมาณสาร MTBE ที่ร่างกายมีโอกาสได้รับในแต่ละเพศ แต่ละช่วงอายุ และในแต่ละพื้นที่ศึกษา ผลจากการวิเคราะห์ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก

สำหรับตารางที่ 20 และ 21 เป็นตารางแสดงค่าความเสี่ยงสูงสุดต่ออันตรายที่ไม่ใช่มะเร็ง (HQ) ของสาร MTBE ในอากาศที่มีต่อคนในแต่ละช่วงอายุในพื้นที่ศึกษา ทั้งในระยะเฉียบพลันและในระยะยาวตามลำดับ

ตารางที่ 20 ค่าความเสี่ยงสูงสุดของอันตรายที่ไม่ใช่ระเบิด [Hazard quotient (HQ)] ของสาร MTBE ในอากาศ ที่มีต่อคนในแต่ละช่วงอายุในพื้นที่ศึกษาในระยะเฉียบพลัน

ค่า HQ สูงสุดของอันตรายในระยะเฉียบพลัน					
พื้นที่ศึกษา	ช่วงอายุ (ปี)				
	0-1	1-2	2-6	6-12	12 ปีขึ้นไป
สถานีบริการจำหน่ายน้ำมัน เชื้อเพลิง ที่เกาะจ่ายน้ำมัน ^a	ผู้หญิง				
กลุ่มที่ 1 (178-650 ลิตร/ก) ^b	0.877	0.843	0.676	0.810	0.823
กลุ่มที่ 2 (14-70 ลิตร/ก) ^b	0.011	0.009	0.013	0.011	0.011
กลุ่มที่ 3 (30-335 ลิตร/ก) ^b	0.161	0.104	0.106	0.114	0.191
ที่ขอบรั้วของสถานี ^c					
กลุ่มที่ 1 (178-650 ลิตร/ก) ^b	0.118	0.049	0.059	0.056	0.030
กลุ่มที่ 2 (14-70 ลิตร/ก) ^b	0.007	0.007	0.010	0.007	0.003
กลุ่มที่ 3 (30-335 ลิตร/ก) ^b	0.036	0.031	0.029	0.026	0.014
ทางแยกจราจร ^c					
กลุ่มที่ 1 (ไม่มีสัญญาณไฟจราจร)	0.059	0.024	0.032	0.020	0.033
กลุ่มที่ 2 (มีสัญญาณไฟจราจร)	0.117	0.070	0.055	0.057	0.066
สถานีบริการจำหน่ายน้ำมัน เชื้อเพลิง ที่เกาะจ่ายน้ำมัน ^a	ผู้ชาย				
กลุ่มที่ 1 (178-650 ลิตร/ก) ^b	0.712	0.918	0.555	0.822	0.784
กลุ่มที่ 2 (14-70 ลิตร/ก) ^b	0.010	0.011	0.009	0.009	0.012
กลุ่มที่ 3 (30-335 ลิตร/ก) ^b	0.110	0.149	0.100	0.203	0.130
ที่ขอบรั้วของสถานี ^c					
กลุ่มที่ 1 (178-650 ลิตร/ก) ^b	0.067	0.049	0.084	0.081	0.034
กลุ่มที่ 2 (14-70 ลิตร/ก) ^b	0.006	0.006	0.007	0.006	0.003
กลุ่มที่ 3 (30-335 ลิตร/ก) ^b	0.053	0.024	0.025	0.031	0.015
ทางแยกจราจร ^c					
กลุ่มที่ 1 (ไม่มีสัญญาณไฟจราจร)	0.038	0.028	0.030	0.029	0.035
กลุ่มที่ 2 (มีสัญญาณไฟจราจร)	0.121	0.058	0.085	0.065	0.074

^a จำนวนจากระยะเวลาสัมผัส 8 ชั่วโมงต่อวัน

^b จำนวนจากระยะเวลาสัมผัส 12 ชั่วโมงต่อวัน

^c ยอดจำหน่ายน้ำมันเบนซิน-85

อันตรายในระยะเฉียบพลัน

จากการวิเคราะห์สำหรับพื้นที่ในสถานีบริการจำหน่ายน้ำมันที่เกาะจ่ายน้ำมันพบว่า ค่าความเสี่ยงสูงสุดในระยะเฉียบพลันที่ไม่ใช่ระเบิด (HQ) ของสาร MTBE ในอากาศต่อคนทุกวัยที่ได้สัมผัสสาร MTBE ในระยะเวลา 8 หรือ 12 ชั่วโมงต่อวันมีค่าตั้งแต่ต่ำกว่า 0.1 ถึง 0.918 สำหรับ

บริเวณที่ขอบรั้วของสถานี และในพื้นที่จราจรมีค่า HQ น้อยกว่า 0.12 ดังนั้นค่า HQ สูงสุดในระยะเยียบพลันของสาร MTBE ในพื้นที่ศึกษาทั้งหมดมีค่าน้อยกว่า 1 (ตารางที่ 20) แสดงว่า ปริมาณสาร MTBE ในอากาศบริเวณสถานีบริการจำหน่ายน้ำมัน และในพื้นที่จราจรมีปริมาณไม่มาก และไม่ก่อให้เกิดอันตรายในระยะเยียบพลันต่อร่างกายได้เช่น อาการเวียนศีรษะ ปวดศีรษะ และคลื่นไส้อาเจียน เป็นต้น

ตารางที่ 21 ค่าความเสี่ยงสูงสุดของอันตรายที่ไม่รุนแรง [Hazard quotient (HQ)] ของสาร MTBE ในอากาศ ที่มีต่อคนในแต่ละช่วงอายุในพื้นที่ศึกษาในระยะยาว

ค่า HQ สูงสุดของอันตรายในระยะยาว					
พื้นที่ศึกษา	ช่วงอายุ (ปี)				
	0-1	1-2	2-6	6-12	12 ปีขึ้นไป
สถานีบริการจำหน่ายน้ำมัน เชลล์ ที่เกาะอำเภอน้ำมัน ^ก	ผู้หญิง				
กลุ่มที่ 1 (178-650 ลิตร/ก) ^ข	2.104	2.024	1.383	1.944	1.974
กลุ่มที่ 2 (14-70 ลิตร/ก) ^ข	0.026	0.021	0.030	0.026	0.027
กลุ่มที่ 3 (30-336 ลิตร/ก) ^ข	0.385	0.250	0.254	0.275	0.467
ที่ขอบรั้วของสถานี ^ก					
กลุ่มที่ 1 (178-650 ลิตร/ก) ^ข	0.283	0.118	0.143	0.134	0.073
กลุ่มที่ 2 (14-70 ลิตร/ก) ^ข	0.016	0.016	0.023	0.016	0.007
กลุ่มที่ 3 (30-336 ลิตร/ก) ^ข	0.087	0.075	0.069	0.062	0.033
ทางแยกจราจร ^ก					
กลุ่มที่ 1 (ไม่มีสัญญาณไฟจราจร)	0.141	0.058	0.076	0.047	0.079
กลุ่มที่ 2 (มีสัญญาณไฟจราจร)	0.281	0.169	0.133	0.138	0.157
สถานีบริการจำหน่ายน้ำมัน เชลล์ ที่เกาะอำเภอน้ำมัน ^ก	ผู้ชาย				
กลุ่มที่ 1 (178-650 ลิตร/ก) ^ข	1.708	2.203	1.333	1.974	1.881
กลุ่มที่ 2 (14-70 ลิตร/ก) ^ข	0.023	0.025	0.022	0.021	0.029
กลุ่มที่ 3 (30-336 ลิตร/ก) ^ข	0.264	0.359	0.240	0.488	0.312
ที่ขอบรั้วของสถานี ^ก					
กลุ่มที่ 1 (178-650 ลิตร/ก) ^ข	0.137	0.118	0.201	0.194	0.082
กลุ่มที่ 2 (14-70 ลิตร/ก) ^ข	0.014	0.014	0.016	0.014	0.008
กลุ่มที่ 3 (30-336 ลิตร/ก) ^ข	0.128	0.059	0.059	0.075	0.036
ทางแยกจราจร ^ก					
กลุ่มที่ 1 (ไม่มีสัญญาณไฟจราจร)	0.091	0.068	0.072	0.070	0.085
กลุ่มที่ 2 (มีสัญญาณไฟจราจร)	0.290	0.138	0.156	0.157	0.178

^ก คำนวณจากระยะเวลาสัมผัส 8 ชั่วโมงต่อวัน

^ข คำนวณจากระยะเวลาสัมผัส 12 ชั่วโมงต่อวัน

^ค ยอดจำหน่ายน้ำมันเบนซิน-95

อันตรายในระยะยาว

จากการวิเคราะห์สำหรับพื้นที่ในสถานบริการจำหน่ายน้ำมันที่เกาะจ่ายน้ำมันพบว่า ค่าความเสี่ยงสูงสุดต่ออันตรายในระยะยาวที่ไม่ใช่มะเร็ง (HQ) ของสาร MTBE ในอากาศต่อคนทุกวัยที่ได้สัมผัสสาร MTBE ในระยะเวลา 8 ชั่วโมงต่อวันมีค่าตั้งแต่น้อยกว่า 0.1 ถึง 2.203 สำหรับที่ขอบรั้วของสถานีฯ มีค่า HQ ตั้งแต่น้อยกว่า 0.1 ถึง 0.283 และในพื้นที่จราจรมีค่า HQ ตั้งแต่น้อยกว่า 0.1 ถึง 0.29 (ตารางที่ 21)

สำหรับในพื้นที่ที่มีค่าความเสี่ยงสูงสุด (HQ) ต่อการสัมผัสสาร MTBE ในอากาศที่มีค่าน้อยกว่า 1 ได้แก่ บริเวณเกาะจ่ายน้ำมันในสถานีที่มีการจำหน่ายน้ำมันน้อย บริเวณขอบรั้วของสถานีจำหน่ายน้ำมัน และในพื้นที่จราจรแสดงว่าปริมาณสาร MTBE ที่ปนเปื้อนในอากาศในพื้นที่ดังกล่าวไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายในระยะยาวของคนทุกวัยที่อยู่ในพื้นที่นั้นเฉลี่ย 12 ชั่วโมงต่อวัน

สำหรับพื้นที่บริเวณเกาะจ่ายน้ำมันในสถานบริการที่มีการจำหน่ายน้ำมันมาก (กลุ่ม 1) พบว่าค่าความเสี่ยงสูงสุด (HQ) ต่อสุขภาพในระยะยาวมีค่ามากกว่า 1 (1.33 ถึง 2.20) แสดงว่าสาร MTBE ที่ปนเปื้อนในอากาศบริเวณเกาะจ่ายน้ำมันในสถานบริการที่มีการจำหน่ายน้ำมันมากสามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายในระยะยาวได้

สำหรับพื้นที่บริเวณเกาะจ่ายน้ำมันในสถานบริการที่มีการจำหน่ายน้ำมันน้อย (กลุ่ม 2 และ กลุ่ม 3) พบว่าค่าความเสี่ยงสูงสุด (HQ) ของคนทุกวัยที่สัมผัสสาร MTBE ในระยะเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน แล้วมีโอกาสได้รับอันตรายต่อสุขภาพในระยะยาว มีค่าน้อยกว่า 1 (น้อยกว่า 0.1 ถึง 0.488) แสดงว่าสาร MTBE ที่ปนเปื้อนในอากาศบริเวณเกาะจ่ายน้ำมัน ของสถานบริการที่มีการจำหน่ายน้ำมันน้อย (กลุ่ม 2 และ กลุ่ม 3) ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายในระยะยาว ของคนทุกวัยที่อยู่ในพื้นที่นั้นเฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อวัน แต่อย่างไรก็ตามก็ต้องคำนึงถึงอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นได้ จากการเพิ่มฤทธิ์กันของสารอินทรีย์ระเหยชนิดอื่นที่ออกมาจากน้ำมันเชื้อเพลิงด้วย

บทวิจารณ์

1. การตรวจวัดปริมาณสาร MTBE ในสิ่งแวดล้อม

1.1 ปริมาณสาร MTBE ในแหล่งน้ำใต้ดิน

ผลการตรวจหาสาร MTBE ในน้ำบาดาลจากบ่อน้ำบาดาลจำนวน 25 บ่อในเขตกรุงเทพมหานคร (ตารางที่ 1) เป็นน้ำจากชั้นน้ำกรุงเทพจำนวน 3 บ่อ (ความลึก 50 เมตร) และชั้นน้ำพระประแดงจำนวน 22 บ่อ (ความลึก 100 เมตร) พบว่าไม่มีสาร MTBE ปนเปื้อนอยู่ในตัวอย่างน้ำบาดาลทั้งหมดที่นำมาวิเคราะห์ ประกอบกับข้อมูลทางธรณีวิทยาแสดงให้เห็นว่า ชั้นบนสุดของพื้นที่ในกรุงเทพมหานครเป็นชั้นดินเหนียวหนาเฉลี่ยถึง 22 เมตร ซึ่งการแพร่ซึมผ่านของน้ำในชั้นดินเหนียวจะช้ามากกว่าชั้นดินชนิดอื่น ดังนั้นชั้นดินเหนียวที่หนา และระยะเวลา 8 ปีที่มีการใช้สาร MTBE ในประเทศไทยซึ่งยังไม่นานมาก น่าจะเป็นสาเหตุที่ทำให้สาร MTBE ยังแพร่ซึมผ่านลงมาไม่ถึงแหล่งน้ำใต้ดิน

1.2 ปริมาณสาร MTBE ในอากาศ

ผลการตรวจวัดปริมาณสาร MTBE ในอากาศ ในสถานีบริการน้ำมันและพื้นที่จราจรบริเวณทางแยก แสดงให้เห็นว่าบริเวณเกาะจ่ายน้ำมันในสถานีบริการฯ เป็นบริเวณที่มีปริมาณสาร MTBE ปนเปื้อนอยู่ในอากาศมากกว่าบริเวณขอบรั้วของสถานีฯ และบริเวณทางแยกจราจร (ตารางที่ 6 และ 7) ส่วนปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปริมาณสาร MTBE ในอากาศ ในสถานีบริการฯ โดยเฉพาะบริเวณเกาะจ่ายน้ำมันคือ ปริมาณน้ำมันเบนซินที่ถูกจำหน่ายในขณะนั้นๆ (ตารางที่ 9)

นอกจากนี้จากผลการศึกษาเปรียบเทียบพบว่าปริมาณสาร MTBE ในอากาศที่ตรวจวัดในช่วงฤดูร้อนและในฤดูหนาวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และความดันไอของสาร MTBE จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (319 และ 1,019 mBar ที่อุณหภูมิ 20°C และ 55°C ตามลำดับ) [29] จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของอากาศก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณสาร MTBE ที่ปนเปื้อนอยู่ในอากาศบริเวณเกาะจ่ายน้ำมัน (รูปที่ 8)

สำหรับพื้นที่จราจรบริเวณทางแยกพบว่า ปริมาณสาร MTBE ในอากาศบริเวณทางแยกที่ไม่มีสัญญาณไฟมีปริมาณน้อยกว่าบริเวณทางแยกที่มีสัญญาณไฟ (ตารางที่ 7) นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณสาร MTBE ในอากาศบริเวณทางแยกมีความสัมพันธ์อย่างมากกับการเคลื่อนตัวของจราจร ($r^2=0.74$) แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณการจราจร ($r^2=0.18$) (ตารางที่ 9) เนื่องจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในขณะที่ยอดคันมีการเคลื่อนที่ มีการเผาไหม้ได้สมบูรณ์มากกว่าขณะรถคันอยู่กับที่ ทำให้รถยนต์ที่จอดอยู่มีการปล่อยสาร MTBE ออกมามากกว่าขณะที่เคลื่อนที่ ดังนั้นบริเวณทางแยกจราจรที่มีสัญญาณไฟและมีการจราจรติดขัดมาก น่าจะเป็นพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนสาร MTBE ในอากาศมากขึ้นด้วย

สำหรับพื้นที่ในคลังน้ำมันบริเวณเกาะจ่ายน้ำมันพบว่า ปริมาณสาร MTBE ในอากาศที่ตำแหน่งใต้ลมมีปริมาณมากกว่าที่ตำแหน่งเหนือลม (ตารางที่ 8) รวมทั้งปริมาณการจ่ายน้ำมันก็เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปริมาณสาร MTBE ในอากาศในพื้นที่คลังน้ำมัน ($r^2=0.75$) (ตารางที่ 9) และ

จากการพิจารณาสัดส่วนของสารอินทรีย์ระเหยที่ตรวจวัดในอากาศ (ตารางที่ 10) แสดงให้เห็นว่า ปริมาณสาร MTBE ที่ปนเปื้อนในอากาศ มาจากการระเหยออกจากร้าน้ำมันเบนซินที่มีสาร MTBE ผสมอยู่ในขณะที่มีการจ่ายน้ำมัน มากกว่ามาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในรถยนต์

2. การประเมินความเสี่ยงต่ออันตรายจากสาร MTBE ในสิ่งแวดล้อม

2.1 การบ่งชี้อันตรายของสาร MTBE (Hazard Identification)

สารประกอบ Methyl tertiary butyl ether (MTBE) เป็นสารออกซิเจน (Oxygenate) ที่ถูกนำมาเติมลงในน้ำมันเบนซินทั้งชนิดออกเทน 91 (สัดส่วนการเติมได้ร้อยละ 0 ถึง 11.0) และชนิดออกเทน 95 (สัดส่วนการเติมได้ร้อยละ 5.5 ถึง 11.0) เพื่อช่วยให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีขึ้น

เนื่องจากคุณสมบัติทางเคมีของสาร MTBE ที่เป็นสารอินทรีย์ระเหยที่มีความดันไอสูงเมื่อเทียบกับสารอินทรีย์ระเหยในน้ำมันเบนซินชนิดอื่น (ตารางข้างล่าง) แสดงให้เห็นว่าสาร MTBE สามารถระเหยออกมาจากน้ำมันเชื้อเพลิงได้มากกว่าสารอินทรีย์ระเหยชนิดอื่น [27] นอกจากนี้ความสามารถในการละลายน้ำที่ต่ำของสาร MTBE ยังทำให้สาร MTBE สามารถแพร่กระจายลงสู่แหล่งน้ำได้มากทั้งแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดิน

ความดันไอ (mBar) ที่อุณหภูมิ 20°C				
MTBE	Benzene	Toluene	Ethyl benzene	Xylene
319	99.5	29	9.3	6.7 - 8.2

จากข้อมูลทางพิษวิทยาของสาร MTBE แสดงให้เห็นว่าสาร MTBE มีพิษทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพทั้งในระยะเฉียบพลันเช่น ทำให้เกิดอาการระคายเคืองต่อเยื่อเมือกของร่างกาย มีผลต่อระบบประสาท ทำให้เกิดอาการวิงเวียน ปวดศีรษะ และคลื่นไส้อาเจียนได้ และมีผลต่อสุขภาพร่างกายในระยะยาวได้เช่น มีผลต่อระบบการหายใจในระยะยาว เพิ่มความเสี่ยงและความรุนแรงของโรคหอบได้ เพิ่มความเสี่ยงต่ออันตรายของทารกในครรภ์เช่น การแท้ง ความแข็งแรงของทารกในครรภ์ นอกจากนี้สาร MTBE ยังทำให้เกิดเนื้องอกในไตและในอัณฑะ มะเร็งต่อมน้ำเหลือง มะเร็งเม็ดเลือดขาวในสัตว์ทดลองด้วย สำหรับในคนยังไม่มีรายงานที่พบว่าสาร MTBE ทำให้เกิดเนื้องอกหรือมะเร็งในคน มีแต่ผลจากการทดสอบในสัตว์ทดลองเท่านั้น และปริมาณสาร MTBE ที่ใช้ทดสอบและทำให้เกิดเนื้องอกและมะเร็งในสัตว์ทดลองเป็นปริมาณที่มีความเข้มข้นสูงมาก ดังนั้นสาร MTBE จึงถูกจัดระดับการก่อให้เกิดมะเร็งในกลุ่ม C เท่านั้น [1, 2, 23, 24, 25]

จากข้อมูลของกรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์พบว่า การจำหน่ายน้ำมันเบนซินในพื้นที่กรุงเทพมหานครมีปริมาณถึงหนึ่งในสามของการจำหน่ายทั่วประเทศ (ตารางที่ 11) และร้อยละ 80 การจำหน่ายน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งหมด เป็นการจำหน่ายแบบขายปลีกในสถานีบริการจำหน่ายน้ำมัน (ตารางที่ 12) รวมทั้งในเขตกรุงเทพมหานครมีสถานีบริการจำหน่ายน้ำมันเชื้อเพลิงมากถึง

869 แห่ง นอกจากนั้นกรุงเทพมหานครยังเป็นพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่นมาก (จำนวนรถที่ขึ้นทะเบียนมีมากถึงประมาณ 3 ล้านกว่าคัน) ข้อมูลทั้งหมดนี้แสดงให้เห็นว่า กรุงเทพมหานครเป็นพื้นที่ที่มีแหล่งปล่อยสาร MTBE ซึ่งผสมอยู่ในน้ำมันเบนซินออกมาสู่สิ่งแวดล้อมได้จำนวนมาก ทั้งในสถานบริการจำหน่ายน้ำมันเชื้อเพลิง ที่เกิดจากการรั่วไหลของน้ำมันออกจากถังเก็บน้ำมันใต้ดิน และจากการระเหยออกมาขณะขนถ่ายและจำหน่ายน้ำมัน และจากรถยนต์ที่มีการใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิง ดังนั้นกรุงเทพมหานครจึงเป็นพื้นที่ที่มีโอกาสปนเปื้อนสาร MTBE ได้มากทั้งในแหล่งน้ำและในอากาศ

2.2 การประเมินการสัมผัสและรับสาร MTBE (Exposure assessment)

การได้รับสาร MTBE จากแหล่งน้ำบาดาล

จากข้อมูลปีพ.ศ.2543 ของกรมโยธาธิการ กระทรวงมหาดไทย พบว่า สถานีบริการจำหน่ายน้ำมันมีการเก็บน้ำมันไว้ในถังใต้ดินเพื่อไว้จำหน่ายปลีกแห่งละ 1 ถึง 3 ถัง ในปัจจุบันมีการใช้ถังเก็บน้ำมันอยู่ 2 ชนิดคือ ถังผนังชั้นเดียว และถังผนังสองชั้น ซึ่งถังเก็บน้ำมันใต้ดินในสถานีบริการส่วนใหญ่ในพื้นที่กรุงเทพมหานครเป็นถังผนังชั้นเดียว (ตารางที่ 14) ประกอบกับอายุการใช้งานของถังและสภาพพื้นที่ลุ่มของกรุงเทพมหานคร ทำให้ถังใต้ดินมีโอกาสเกิดการผุกร่อนได้มาก และโอกาสที่จะมีน้ำมันรั่วไหลออกจากถัง และมีสาร MTBE แพร่กระจายลงสู่ดินและแหล่งน้ำจึงเป็นไปได้มาก

นอกจากนั้นจากข้อมูลปีพ.ศ.2540 ของกรมทรัพยากรธรณีแสดงให้เห็นว่า มีการสูบน้ำบาดาลในพื้นที่กรุงเทพมหานครขึ้นมาใช้ถึงประมาณ 6,000 บ่อ (ตารางที่ 15) และถ้ามีการรั่วไหลของสาร MTBE ลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน สาร MTBE ก็จะสามารถเข้าสู่ร่างกายของประชาชนได้จากการใช้น้ำบาดาลได้ แต่จากผลการตรวจสอบสาร MTBE ในน้ำบาดาลจากบ่อน้ำบาดาลจำนวน 25 บ่อในเขตกรุงเทพมหานคร (ตารางที่ 1) พบว่าไม่มีสาร MTBE ปนเปื้อนอยู่ในตัวอย่างน้ำบาดาลทั้งหมดที่นำมาวิเคราะห์ ประกอบกับข้อมูลทางธรณีวิทยาแสดงให้เห็นว่า ชั้นบนสุดของพื้นที่ในกรุงเทพมหานครเป็นชั้นดินเหนียวหนาเฉลี่ยถึง 22 เมตร ซึ่งการแพร่ซึมผ่านของน้ำในชั้นดินเหนียวจะช้ามากกว่าชั้นดินชนิดอื่น ดังนั้นชั้นดินเหนียวที่หนา และระยะเวลา 8 ปีที่มีการใช้สาร MTBE ในประเทศไทยซึ่งยังไม่นานมาก น่าจะเป็นสาเหตุที่ทำให้สาร MTBE ยังแพร่ซึมผ่านลงมาไม่ถึงแหล่งน้ำใต้ดิน

การได้รับสาร MTBE ในอากาศ

จากผลจากการประเมินการได้รับสาร MTBE ในอากาศพบว่า ปริมาณการได้รับสาร MTBE ในอากาศของคนในแต่ละช่วงอายุในพื้นที่เดียวกัน เด็กจะได้รับสาร MTBE มากกว่าผู้ใหญ่ โดยปริมาณการได้รับจะมีแนวโน้มมากขึ้นตามอายุที่น้อยลง เนื่องจากน้ำหนักตัวเป็นปัจจัยที่จะสัมพันธ์กับอายุ ดังนั้นอายุจึงมีผลต่อปริมาณการได้รับสารด้วย ถ้าน้ำหนักตัวมากปริมาณการได้รับสารต่อน้ำหนักตัวก็จะน้อยลง นอกจากนั้นพื้นที่ที่มีปริมาณสาร MTBE ในอากาศมาก ก็จะเป็นพื้นที่ที่ร่างกายมีโอกาสจะได้รับสาร MTBE มากขึ้นด้วย ในระยะเวลาสัมผัสที่เท่ากัน

ดังนั้นการหลีกเลี่ยงในพื้นที่ที่มีสาร MTBE ปนเปื้อนอยู่มาก หรืออยู่ในพื้นที่เท่าที่จำเป็นก็จะสามารถลดปริมาณสาร MTBE ที่จะเข้าสู่ร่างกายได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเด็กซึ่งมีน้ำหนักตัวน้อยกว่าผู้ใหญ่ ยังต้องหลีกเลี่ยงที่จะเข้าไปในพื้นที่ที่มีสาร MTBE ปนเปื้อนในอากาศ เพื่อลดปริมาณการรับสาร MTBE เข้าสู่ร่างกายเช่น บริเวณแกะจ่ายน้ำมันในสถานีบริการฯ สถานีบริการน้ำมัน และพื้นที่จราจรที่มีการจราจรติดขัดมาก เป็นต้น

2.3 ความเสี่ยงต่อการได้รับอันตรายจากสาร MTBE ในอากาศ

อันตรายในระยะเฉียบพลัน

ถึงแม้ว่าค่าความเสี่ยงสูงสุดในระยะเฉียบพลันที่ไม่ใช่มะเร็ง (HQ) ของสาร MTBE ในอากาศต่อคนทุกวัยที่ได้สัมผัสสาร MTBE ในระยะเวลา 8 หรือ 12 ชั่วโมงต่อวัน ทั้งในสถานีบริการจำหน่ายน้ำมันที่ และในพื้นที่จราจรมีค่า HQ น้อยกว่า 1 แต่ค่า HQ ที่ได้เป็นค่าที่มาจากการประเมินของสาร MTBE เพียงชนิดเดียว ซึ่งโดยความเป็นจริงแล้ว ในพื้นที่ศึกษายังมีไอระเหยของสารอินทรีย์ชนิดอื่นที่มาจากน้ำมันเชื้อเพลิงปนเปื้อนในอากาศอีกหลายชนิด ซึ่งล้วนแล้วแต่มีฤทธิ์ก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายของคนได้ทั้งสิ้น ดังนั้นในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยในอากาศจำนวนมากชนิดซึ่งมีพิษร่วมกัน สามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายเพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากฤทธิ์ที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณรวมของสารเคมีหลายชนิดที่ปนเปื้อนอยู่ในอากาศด้วยกัน

ดังนั้นถึงแม้ค่า HQ ที่ประเมินจากการปนเปื้อนของสาร MTBE มีค่าต่ำกว่า 1 แต่คนที่อยู่ในพื้นที่ดังกล่าวอาจไม่ปลอดภัย เนื่องจากมีโอกาสได้รับอันตรายจากสารพิษหลายชนิดที่ปนเปื้อนรวมกันอยู่ในอากาศซึ่งมีสาร MTBE รวมอยู่ด้วย

โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่า HQ สูงสุดของสาร MTBE ในอากาศบริเวณแกะจ่ายน้ำมันของสถานีบริการฯที่มีการจำหน่ายน้ำมันมาก มีค่าสูงใกล้ 1 เช่น ค่า HQ สูงสุดคนที่อายุตั้งแต่ 12 ปีขึ้นไปมีค่าประมาณ 0.8 (ตารางที่ 20) ซึ่งนอกจากคนเหล่านั้นจะได้รับสาร MTBE แล้ว ยังมีสารอินทรีย์ระเหยในอากาศบริเวณดังกล่าวอีกหลายชนิด ที่มีพิษทำให้เกิดอันตรายต่อร่างกายได้เช่นกัน ดังนั้นถึงแม้ว่าค่า HQ ดังกล่าวจะมีค่าต่ำกว่า 1 แต่ไม่ใช่ทุกคนที่อยู่ในพื้นที่เหล่านั้นจะปลอดภัยเสมอไป และยิ่งค่า HQ มีค่าใกล้ 1 มาก โอกาสที่จะได้รับอันตรายจากสารเคมีชนิดอื่นร่วมกับสาร MTBE ด้วยยิ่งมีมากขึ้น

อันตรายในระยะยาว

สำหรับพื้นที่จราจรบริเวณทางแยกที่มีสัญญาณไฟจราจรมีค่า HQ สูงสุด (0.13 - 0.29) มากกว่าบริเวณทางแยกที่ไม่มีสัญญาณไฟจราจร (0.05 - 0.14) แสดงว่าโอกาสเสี่ยงต่ออันตรายจากสาร MTBE ในอากาศบริเวณทางแยกที่มีสัญญาณไฟจราจรมีสูงกว่าบริเวณทางแยกที่ไม่มีสัญญาณไฟจราจร และในความเป็นจริงของพื้นที่กรุงเทพมหานคร บริเวณทางแยกที่มีสัญญาณไฟจราจรส่วนใหญ่ จะมีกลุ่มคนสองกลุ่มที่อยู่ในบริเวณนี้เป็นระยะเวลานาน นอกเหนือจากคนที่มึนที่พักอาศัยอยู่บริเวณทางแยกคือ ตำรวจจราจร และพ่อค้าแม่ค้าหาบเร่แผงลอย ที่มีโอกาสเสี่ยงต่ออันตรายจากสาร MTBE ในอากาศมากกว่าคนกลุ่มอื่น ถึงแม้ว่าจากผลค่า HQ ที่น้อยกว่า 1 (0.13 -

0.29) แสดงว่าสาร MTBE ที่ปนเปื้อนในอากาศในพื้นที่ดังกล่าว ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายในระยะยาว แต่ในความเป็นจริง โอกาสที่ร่างกายจะได้รับอันตรายในระยะยาวจากสาร MTBE ร่วมกับสารมลพิษอื่นๆที่มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในรถยนต์ก็อาจเกิดขึ้นได้

สำหรับพื้นที่บริเวณเกาะจ่ายน้ำมันในสถานีบริการฯที่มีการจำหน่ายน้ำมันมาก (กลุ่ม 1) ที่พบว่าค่าความเสี่ยงสูงสุด (HQ) ต่อสุขภาพในระยะยาวมีค่ามากกว่า 1 (1.33 ถึง 2.20) ซึ่งบ่งชี้ว่าเป็นพื้นที่ที่มีปริมาณสาร MTBE ในอากาศที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพในระยะยาวได้ แต่ในความเป็นจริงโอกาสที่เด็กอายุต่ำกว่า 12 ปี จะอยู่บริเวณเกาะจ่ายน้ำมันเป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 5 วันต่อสัปดาห์มีน้อยมาก ดังนั้นโอกาสที่เด็กอายุต่ำกว่า 12 ปีจะได้รับอันตรายในระยะยาวจากสาร MTBE ในอากาศในบริเวณดังกล่าวคงมีน้อยมาก แต่กลุ่มคนที่มีโอกาสอยู่ในพื้นที่บริเวณเกาะจ่ายน้ำมันในสถานีบริการฯเป็นเวลานานถึง 8 ชั่วโมงต่อวันอย่างสม่ำเสมอคือ พนักงานของสถานีบริการจำหน่ายน้ำมัน ซึ่งคงจะเป็นคนที่มีอายุมากกว่า 12 ปีขึ้นไป และจากการวิเคราะห์พบว่า มีค่าความเสี่ยงสูงสุดต่ออันตรายจากสาร MTBE ในระยะยาวมากกว่า 1 ($HQ = 1.97$ และ 1.88)

ดังนั้นในสถานีบริการน้ำมันที่มีการจำหน่ายน้ำมันมาก บริเวณเกาะจ่ายน้ำมันจึงเป็นพื้นที่เสี่ยงต่ออันตรายในระยะยาวจากสาร MTBE ที่ระเหยออกมาขณะมีการจ่ายน้ำมัน สถานีบริการในกลุ่มนี้จึงควรมีระบบป้องกันโอโซนพิษจากน้ำมันขณะที่มีการจ่ายน้ำมัน เพื่อลดปริมาณสาร MTBE ในอากาศ รวมทั้งสารอินทรีย์ระเหยชนิดอื่นที่ล้วนเป็นอันตรายต่อสุขภาพ และสามารถระเหยออกมาจากน้ำมันเชื้อเพลิงได้เช่นกัน

หนังสืออ้างอิง

- [1] U.S.EP, Assessment of Potential Health Risks of Gasoline Oxygenated with Methyl Tertiary Butyl Ether (MTBE). Report no.EPA 600/R-93/206, Office of Research and Development, U.S.Environmental Protection Agency. Washington, D.C., 1993.
- [2] U.S.EPA, United Air Toxics Website (UATW) on Methyl tert-Butyl Ether. U.S.Environmental Protection Agency. 1998.
Available from <http://www.epa.gov/tth/uatw/hlthef/methylte.html> [Accessed 2000 Sep]
- [3] Idriss H., Miller A., and Seebauer E.G., Catalysis Today, 33, 215-225 (1997)
- [4] Squillace P.J., Pankow J.F., Korte N.E., and Zogorski J.S., Environmental Toxicology and Chemistry, 16: 9, 1839-1844 (1997)
- [5] Hartley W.R., Englands Jr. A.J., Harrington D.J., Water Science Technology, 39:10-11, 305-310 (1999)
- [6] Squillace P.J., Zogorski J.S., Wilber M.G., and Price C.V., Environmental Science and Technology, 30: 1721-1730 (1996)
- [7] Asante-Duah K., Risk Assessment in Environmental Management, A guide for managing chemical contamination problems., John Wiley & Sons Ltd., England., 1998.
- [8] Kolluru R.V., Bartell S.M., Pitblado R.M., and Stricoff R.S., Risk Assessment and Management Handbook for Environment, Health, and Safety Professionals, McGraw-Hill, Inc., 1996.
- [9] Benjamin S.L. and Belluck D.A., A Practical Guide to Understanding, Managing, and Reviewing Environmental Risk Assessment Reports, CRC Press LLC., 2001.
- [10] APHA, AWWA, and WEF., Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed., American Public Health Association, Washington D.C., 1998.
- [11] Woolfenden E.A. and McClenny W.A., Compendium Method TO-17 for Determination of Volatile Organic Compounds in Ambient Air Using Active Sampling onto Sorbent Tubes, U.S. EPA 1999.
- [12] Naughton V.J., Preparation of Gas Phase Standards for Ambient Air Analysis, Tekmar-DOHRMANN, Ohio, USA 1998.
- [13] Harrington D., Introduction to Air Toxics Analyses, Tekmar-DOHRMANN, Ohio, USA 1998.
- [14] Winberry W.T., Carhart B.S., Randall A.J., and Decker D.L., Compendium Method TO-14A for Determination of Volatile Organic Compounds (VOCs) in Ambient Air Using Specially Prepared Canisters With Subsequent Analysis By Gas Chromatography, U.S. EPA 1999.
- [15] Vainiotalo S., Peltonen Y., and Pfafeli P., Atmospheric Environment, 32: 20, 3503-3509 (1998)

- [16] Vainiotalo S., Peltonen Y., Ruonakangas A. and Pfafeli P., Environmental Health Perspectives, 107: 2, 133-140 (1999)
- [17] Palisade Corporation, Guide to using @RISK: Risk analysis and simulation Version 4.5, Palisade Corporation, New York, USA, 2002.
- [18] กรมอนามัย, รายงานการสำรวจภาวะอาหารและโภชนาการของประเทศไทย ครั้งที่ 4 พ.ศ. 2538. กระทรวงสาธารณสุข
- [19] กระทรวงสาธารณสุข, สถิติสาธารณสุข พ.ศ.2541.
- [20] Mitigation of groundwater crisis and land subsidence in Bangkok project, Records of Groundwater Monitoring Wells in Bangkok and Adjacent Provinces, Department of Mineral Resources, Ministry of Industry, Bangkok. 1992.
- [21] Ancillotti F. and Fattore V., Fuel Processing Technology, 57: 163-194 (1998)
- [22] NIOSH, International Chemical Safety Cards on MTBE, National Institute for Occupational Safety and Health. 1993.
Available from <http://www.cdc.gov/niosh/ipcsneng/ipcsneng1164.html> [Accessed 2000 Sep]
- [23] Belpoggi F., Soffritti M., and Maltoni C., Toxicological Industrial Health, 11: 119-149 (1995)
- [24] U.S.EPA, Health Risk Perspectives on Fuel Oxygenates, Report no.EPA 600/R-94/217, Office of Research and Development, U.S.Environmental Protection Agency. Washington, D.C., 1994.
- [25] U.S.EPA, Oxyfuels Information Needs, Report no.EPA 600/R-96/069, U.S.Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC 27711, Washington, D.C.1996.
- [26] ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, รายงานเรื่อง แนวทางการจัดการน้ำเพื่ออุตสาหกรรม ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล (ฉบับสมบูรณ์) กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ.2542
- [27] Martel B., Chemical Risk Analysis, Bell and Bain Ltd., Grate Britain, 1997.

Output จากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สกว.

1. การเสนอผลงานในที่ประชุมวิชาการ

การประชุมวิชาการ "Regional Conference on Energy Technology Towards a Clean Environment" ในหัวข้อ "Concentrations of MTBE, Benzene, Toluene, Ethyl-benzene, and Xylene in Ambient Air at Gas Stations and Traffic Area in Bangkok" เมื่อวันที่ 12-14 กุมภาพันธ์ 2546 ที่ Novotel Phuket Resort, Phuket. (Oral)

การประชุมวิชาการ "RGJ-Ph.D. Congress IV" ในหัวข้อ "Concentrations of MTBE, Benzene, Toluene, Ethyl-benzene, and Xylene in Ambient Air at Gas Stations and Traffic Area in Bangkok" เมื่อวันที่ 25-27 เมษายน 2546 ที่ Jom Thein Plam Beach, Chon Buri. (Poster)

การประชุมวิชาการ "The ninth International Joint Seminar on the Regional Deposition Processes in the Atmosphere" เมื่อวันที่ 1 -3 ธันวาคม 2546 ที่ กรุงเทพมหานคร

2. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ผลการวิเคราะห์หาสาร MTBE ในน้ำบาดาลในโครงการวิจัยนี้ ถูกใช้เป็นข้อมูลประกอบในการวางแผนสำหรับ "โครงการสำรวจปริมาณสาร MTBE ในแหล่งน้ำบาดาลในประเทศไทย" ของกรมควบคุมมลพิษ และกรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

ผลการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์ระเหยในอากาศในโครงการวิจัยนี้ ถูกใช้เป็นข้อมูลประกอบในการประชุมเรื่อง "การปรับปรุงและกำหนดคุณภาพน้ำมันเบนซินที่ใช้ในประเทศไทย" ของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

ภาคผนวก ก

ก.1 ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณสาร MTBE ในอากาศที่สามารถเข้าสู่ร่างกาย

จากสูตรการประเมินหา ปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยในอากาศที่เข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจ
ดังแสดงไว้ในวิธีการทดลองดังนี้

$$INH_{av} = \frac{(C_{av} \times IR \times RR \times ABS_s \times ET \times EF \times ED)}{(BW \times AT)}$$

- INH_{av}* = ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่ร่างกายได้รับจากการหายใจ (mg/kg/day)
C_{av} = ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยในอากาศ (mg/m³)
IR = อัตราการหายใจของมนุษย์ (m³/h)
RR = สัดส่วนของอากาศที่หายใจเข้าไปค้างอยู่ในปอด (%)
ABS_s = ความสามารถของสารเคมีที่ถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด (%)
ET = ระยะเวลาที่มีโอกาสได้รับสารเคมีใน 1 วัน (ชั่วโมงต่อวัน)
EF = ความถี่ที่มีโอกาสได้รับสารเคมีใน 1 ปี (วันต่อปี)
ED = ระยะเวลาทั้งหมดที่มีโอกาสได้รับสารเคมีตลอดชีวิต (ปี)
BW = น้ำหนักของร่างกาย (กิโลกรัม)
AT = ระยะเวลาทั้งหมดที่มีโอกาสได้รับสารเคมีตลอดชีวิตเฉลี่ยเป็นวัน (วัน)
 สำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง = *ED* × 365 วัน

ตัวอย่างกลุ่มคนและค่าที่ใช้ในการประเมิน

ความเข้มข้นของสารในอากาศ (mg/m ³)	0.20
คนอายุ 20-30 ปี	
อัตราการหายใจ (m ³ /h)	0.83
สัดส่วนของอากาศที่ค้างในปอด (%)	1
การดูดซึมสารเข้ากระแสเลือด (%)	0.788
ระยะเวลาสัมผัสใน 1 วัน (ชั่วโมงต่อวัน)	8
ความถี่ที่ได้รับใน 1 ปี (วันใน 1 ปี)	260
ระยะเวลาที่มีโอกาสได้รับสาร (ปี)	10
น้ำหนักตัว (กิโลกรัม)	50
ระยะเวลาที่มีโอกาสได้รับสาร (ปีเฉลี่ยเป็นวัน)	10 × 365

$$INH_{av} = \frac{0.20 \times 0.83 \times 1 \times 0.788 \times 8 \times 260 \times 10}{50 \times 10 \times 365}$$

ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่ร่างกายได้รับจากการหายใจ (mg/kg-day)	0.0149
--	--------

ก.2 ตัวอย่างการคำนวณหาค่าความเสี่ยงอันตรายที่ไม่ใช่มะเร็ง [Hazard quotient (HQ)]

จากสูตรการประเมินหาค่าความเสี่ยงอันตรายที่ไม่ใช่มะเร็ง [Hazard quotient (HQ)] ดังแสดงไว้ในวิธีการทดลองดังนี้

$$HQ = \frac{E}{RfD}$$

E เป็นปริมาณของสารอันตรายที่ได้รับเข้าสู่ร่างกาย (mg/kg-day)

RfD เป็นค่า Reference dose (mg/kg-day)

การแปลค่า RfC เป็น RfD

ทำโดยใช้สูตร $RfD = (IR / BW) \times RfC$

IR = อัตราการหายใจ (m³/day) BW = น้ำหนักร่างกาย (กิโลกรัม)

ดังนั้น ค่า $RfD = (19.92/50) \times RfC$

ค่า RfC ของสาร MTBE สำหรับอันตรายในระยะเฉียบพลัน = 7.2 mg/m³

ดังนั้น

ค่า RfD ของสาร MTBE สำหรับอันตรายในระยะเฉียบพลันคือ

$$\begin{aligned} RfD \text{ (MTBE)} &= (19.92/50) \times 7.2 \\ &= 2.868 \text{ mg/kg-day} \end{aligned}$$

E (ปริมาณสารอันตรายที่ร่างกายได้รับจากการหายใจ , mg/kg-day)	0.0149
RfC (mg/m ³)	7.2
RfD (mg/kg-day)	2.868
$HQ = E / RfD = 0.0149 / 2.868$	0.0052

ภาคผนวก ข

ปริมาณสาร MTBE ในอากาศที่สามารถเข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจ

ตารางที่ ข-1 ปริมาณสาร MATBE ในอากาศที่คนอายุตั้งแต่ 12 ปีขึ้นไป สามารถรับเข้าสู่ร่างกายทางหายใจ ในช่วงระยะเวลาสัมผัส 8 หรือ 12 ชั่วโมงต่อวัน ในแต่ละพื้นที่ศึกษา (มิลลิกรัมกิโลกรัมวัน)

พื้นที่ศึกษา	ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำมันที่จำหน่าย (ลิตรต่อชั่วโมง)	ผู้หญิง			ผู้ชาย		
		ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย
สถานีบริการน้ำมันในกลุ่มที่ 1 ที่เกาะชายน่าน ^๓	177.91 - 860.00	0.00096	1.96616	0.07323	0.00111	1.87306	0.07709
ที่จอดรถของสถานีบริการ ^๓		0.00023	0.07222	0.00667	0.00028	0.08202	0.00598
สถานีบริการน้ำมันในกลุ่มที่ 2 ที่เกาะชายน่าน ^๓	13.98 - 70.08	0.00034	0.02687	0.00359	0.00039	0.02838	0.00377
ที่จอดรถของสถานีบริการ ^๓		0.00002	0.00734	0.00052	0.00002	0.00832	0.00068
สถานีบริการน้ำมันในกลุ่มที่ 3 ที่เกาะชายน่าน ^๓	29.98 - 334.99	0.00013	0.45548	0.01168	0.00013	0.31079	0.01217
ที่จอดรถของสถานีบริการ ^๓		0.00056	0.03269	0.00235	0.00008	0.03668	0.00262
ทางแยกจอรจร							
กลุ่มที่ 1 ไม่มีสัญญาณไฟจราจร ^๓	--	0.00023	0.07824	0.00582	0.00028	0.08427	0.00595
กลุ่มที่ 2 มีสัญญาณไฟจราจร ^๓		0.00045	0.15659	0.01080	0.00043	0.17718	0.01157

^๓ จำนวนจากระยะเวลาสัมผัส 8 ชั่วโมงต่อวัน

^๔ จำนวนจากระยะเวลาสัมผัส 12 ชั่วโมงต่อวัน

ตารางที่ ข-2 ปริมาณสาร MATBE ในอากาศที่เด็กแรกเกิดถึงอายุ 1 ปี สามารถรับเข้าสู่ร่างกายทางการหายใจ ในช่วงระยะเวลาสัมผัส 8 หรือ 12 ชั่วโมงต่อวัน ในแต่ละพื้นที่ศึกษา (มิลลิกรัมกิโลกรัมวัน)

พื้นที่ศึกษา	ค่าเฉลี่ยปริมาณ น้ำมันที่จำหน่าย (ลิตรต่อชั่วโมง)	ผู้หญิง			ผู้ชาย		
		ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย
สถานีบริการน้ำมันในกลุ่มที่ 1 ที่เกาะชายน่าน ^๖ ที่ขอรับของสถานีบริการ ^๗	177.91 - 650.00	0.00272 0.00107	5.41016 0.72803	0.18057 0.03021	0.00264 0.00077	4.39188 0.35318	0.18614 0.03016
สถานีบริการน้ำมันในกลุ่มที่ 2 ที่เกาะชายน่าน ^๖ ที่ขอรับของสถานีบริการ ^๗	13.98 - 70.08	0.00098 0.00007	0.08624 0.04170	0.00883 0.00286	0.00087 0.00011	0.06912 0.03724	0.00827 0.00296
สถานีบริการน้ำมันในกลุ่มที่ 3 ที่เกาะชายน่าน ^๖ ที่ขอรับของสถานีบริการ ^๗	29.98 - 334.99	0.00036 0.00029	0.99069 0.22357	0.02871 0.01286	0.00051 0.00048	0.67963 0.32810	0.02928 0.01325
ทางแยกจากร กลุ่มที่ 1 ไม่มีสัญญาณไฟจราจร ^๖ กลุ่มที่ 2 มีสัญญาณไฟจราจร ^๖	--	0.00041 0.00062	0.36367 0.72349	0.01383 0.02672	0.00054 0.00099	0.23399 0.74631	0.01412 0.02774

^๖ จำนวนจากระยะเวลาสัมผัส 8 ชั่วโมงต่อวัน

^๗ จำนวนจากระยะเวลาสัมผัส 12 ชั่วโมงต่อวัน