

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพในการสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทคผ่านทาง  
การหายใจของพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษ

นางสาวศศิธร เวืองตระกูล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)  
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

HEALTH RISK ASSESSMENT OF TOLLWAY STATION WORKERS EXPOSED TO  
CARBONYL COMPOUNDS AND BTEX VIA INHALATION

Miss Sasithorn Ruangtrakul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science

(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพในการรับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทคผ่านทางหายใจของพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษ

โดย

นางสาวศศิธร เรืองตระกูล

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

อาจารย์ ดร. ทวรรณีย์ พุกขาสลิล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ดร. เดชี่ หมออ่อน

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.อมร เพชรสม)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อัจจง ประทีตสุนทรสาร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ ดร. ทวรรณีย์ พุกขาสลิล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ดร. เดชี่ หมออ่อน)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วัฒนสิทธิ์ ศิริวงศ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฉลองขวัญ ตั้งบรรลือกาล)

ศศิธร เรื่องตระกูล : การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพในการรับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทคผ่านทางหายใจของพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษ. (HEALTH RISK ASSESSMENT OF TOLLWAY STATION WORKERS EXPOSED TO CARBONYL COMPOUNDS AND BTEX VIA INHALATION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อ. ดร. ทรรศนีย์ พฤกษาสัทธ, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ดร. เดซี่ หมอกน้อย, 156 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเสี่ยงต่อสุขภาพพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่รับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทคผ่านทางหายใจ พื้นที่ศึกษาคือ ด่านบางนาและอโศก 4 ทำการเก็บตัวอย่างใน 3 ช่องเก็บค่าผ่านทาง (ประกอบด้วย ช่องเก็บค่าบริการรถยนต์ส่วนบุคคล/รถบรรทุก ช่องเก็บค่าบริการรถยนต์ส่วนบุคคล และช่องเก็บค่าบริการอัตโนมัติ (easy pass) และในบรรยากาศบริเวณด่าน ระหว่างการทำงาน 8 ชั่วโมง (6.00 น. - 14.00 น.) ในวันศุกร์และวันอาทิตย์ในฤดูฝนและฤดูแล้งฝนของปี พ.ศ. 2554 - 2555 ทำการเก็บสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทค โดยใช้หลอด 2,4 DNPH cartridge และหลอด charcoal glass tube ที่ต่อเข้ากับเครื่องปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศชนิดพกพาด้วยอัตราการไหลเท่ากับ 100 มิลลิลิตรต่อนาที และวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง HPLC - UV และ GC/FID ตามลำดับ การศึกษาในครั้งนี้ตรวจพบสารประกอบคาร์บอนิล 10 ชนิด โดยความเข้มข้นเฉลี่ยของสารฟอร์มัลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ อะซีโตน โพรพิวาลดีไฮด์ โครโทนัลดีไฮด์ บิวทิลดีไฮด์ เบนซิลดีไฮด์ วาเลอรัลดีไฮด์ ออร์โทโทลูแอลดีไฮด์ และเฮกซานัลดีไฮด์ ที่พนักงานได้รับสัมผัสอยู่ในช่วง 0.61 - 18.52, 0.34 - 8.01, 1.44 - 114.14, 0.14 - 9.91, 0.09 - 5.98, 0.004 - 6.87, 0.034 - 2.29, 0.08 - 0.98, 0.02 - 6.76 และ 0.02 - 3.89 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรตามลำดับ ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน เมตาไซลีน พาราไซลีน และออร์โทไซลีนที่พนักงานได้รับสัมผัสอยู่ในช่วง 9.40 - 221.78, 54.20 - 409.99, 3.25 - 58.84, 6.43 - 79.30 และ 3.20 - 23.72 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ผลการประเมินความเสี่ยงตลอดอายุ 70 ปี (lifetime cancer risk) ของพนักงาน จากการรับสัมผัสสารก่อมะเร็ง ได้แก่ ฟอร์มัลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ เบนซิน และเอทิลเบนซิน เป็นเวลา 30 ปี มีค่า 95% CI เท่ากับ  $2.91 \times 10^{-5}$  -  $8.81 \times 10^{-5}$ ,  $8.16 \times 10^{-7}$  -  $1.64 \times 10^{-6}$ ,  $6.93 \times 10^{-5}$  -  $1.41 \times 10^{-4}$  และ  $2.15 \times 10^{-6}$  -  $4.52 \times 10^{-6}$  ซึ่งส่วนใหญ่เกินเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ( $10^{-6}$ ) แสดงถึงจากระยะการทำงานในลักษณะดังกล่าวพนักงานมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง สำหรับสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งได้แก่ โพรพิวาลดีไฮด์ โทลูอีน เมตาพาราไซลีน และออร์โทไซลีน มีค่า hazard quotient (HQ) น้อยกว่า 1 แสดงถึงการรับสัมผัสสารกลุ่มนี้ยังไม่พบโอกาสการเพิ่มความเสี่ยงของการเกิดโรคอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง จากผลการศึกษานี้หน่วยงานสามารถแนะนำให้พนักงานใช้อุปกรณ์ป้องกันการรับสัมผัสสารผ่านทางหายใจที่เหมาะสมขณะทำงาน เพื่อลดโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดผลกระทบต่อสุขภาพของพนักงานให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่อ.....  
 ปีการศึกษา 2555.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....  
 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

# # 5387226620 : MAJOR ENVIROMENTAL SCIENCE

KEYWORDS : BTEX / CARBONYL COMPOUND / INHALATION EXPOSURE / RISK ASSESSMENT  
/ TOLLWAY STATION WORKERS

SASITHORN RUANGTRAKUL : HEALTH RISK ASSESSMENT OF TOLLWAY  
STATION WORKERS EXPOSED TO CARBONYL COMPOUNDS AND BTEX VIA  
INHALATION. ADVISOR : TASSANEE PRUEKSASIT, Ph.D., CO-ADVISOR : DAISY  
MORKNOY, Ph.D., 156 pp.

The aim of this study was to assess the risk levels of tollway station workers in Bangkok exposed to carbonyl compounds and BTEX via inhalation. The tollway stations selected for this study were Bangna and Asoke 4 stations, Bangkok, Thailand. The samples were collected in three types of tollbooth (including bus/truck lane, passenger car using cash lane and Easy Pass lane) and ambient air at the tollway. The sampling was carried out during 8 working hours (6am – 2pm) on Friday and Sunday in wet and dry season of the year 2011 - 2012. BTEX and carbonyl compounds were collected by using a charcoal glass tube and a 2,4 DNPH cartridge connected to a personal air pump with the air flow rate of 100 ml/min, and the sample were analyzed by GC-FID and HPLC – UV, respectively. Ten carbonyl compounds were quantifiable in this study. The average concentrations of the worker exposure to formaldehyde, acetaldehyde, acetone, propionaldehyde, crotonaldehyde, butyraldehyde, benzaldehyde, valeraldehyde, o - tolualdehyde and hexanaldehyde were in the range of 0.61 - 18.52, 0.34 - 8.01, 1.44 - 114.14, 0.14 - 9.91, 0.09 - 5.98, 0.004 - 6.87, 0.034 - 2.29, 0.08 - 0.98, 0.02 - 6.76, and 0.02 - 3.89  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectively, and their 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  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectively. For the lifetime cancer risk (70 years) of the workers estimated for 30 years exposure , the result showed the 95% confidence interval of  $2.91 \times 10^{-6}$  -  $8.81 \times 10^{-6}$  for formaldehyde,  $8.16 \times 10^{-7}$  -  $1.64 \times 10^{-6}$  for acetaldehyde,  $6.93 \times 10^{-5}$  -  $1.41 \times 10^{-4}$  for benzene, and  $2.15 \times 10^{-6}$  -  $4.52 \times 10^{-6}$  for ethylbenzene which were mostly higher than an acceptable criteria defined as  $1.00 \times 10^{-6}$  and indicated that the workers have opportunity to get cancer risk from working as the scenario mentioned above. Whereas the hazard quotients of non carcinogenic compounds (propionaldehyde, toluene, m,p-xylene and o-xylene ) were totally less than 1 which indicated that no increase health risk of concern. As the result, the agency can advise the workers to wear appropriate personal protective equipment while they are working. Their potential cancer risk would then be decreased to an acceptable level.

Field of Study : ENVIRONMENTAL SCIENCE Student's Signature .....

Academic Year : 2012 Advisor's Signature .....

Co-advisor's Signature .....

## กิติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ดีด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณทุกๆ ท่านไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. ทรรศนีย์ พุกษาสลสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร. เดชี่ หมอกน้อย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งท่านได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่างๆ ดูแลแก้ไขปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้น จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อัจจง ประทีตสุนทรสาร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วัฒนสิทธิ์ ศิริวงศ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฉลองขวัญ ตั้งบรรลือกาล ที่ได้สละเวลาอันมีค่า เพื่อเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ และให้ข้อเสนอแนะเพื่อให้อาจารย์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณการทางพิเศษแห่งประเทศไทย และบริษัท ทางด่วนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) ในการเข้าพื้นที่เพื่อทำการเก็บตัวอย่างและการอนุเคราะห์ข้อมูลปริมาณรถที่ใช้บริการด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษเพื่อใช้ประกอบในงานวิจัยนี้ รวมถึงภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือในการเก็บตัวอย่างและห้องปฏิบัติการ และศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม (ERTC) ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ตัวอย่าง

ขอขอบพระคุณ คุณอรจิรียา ช่างเหล็ก ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือต่างๆ เกี่ยวกับเครื่องมือในการวิเคราะห์ตัวอย่างสารประกอบคาร์บอนิล

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่และพนักงานที่ประจำช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนาและโศภก 4 ที่อนุเคราะห์ให้ติดตั้งเครื่องมือเก็บตัวอย่าง และอำนวยความสะดวกในระหว่างการติดตั้งเครื่อง และเก็บตัวอย่างเป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในหลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมและขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่อำนวยความสะดวกและให้ความช่วยเหลือตลอดการทำวิจัย

นอกจากนี้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทบัณฑิตศึกษา จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปี 2556 จึงขอขอบพระคุณกองทุนดังกล่าว ที่มีส่วนสำคัญยิ่งในการช่วยให้การทำวิจัยลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนให้คำปรึกษา รวมทั้งให้กำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้ จนสำเร็จการศึกษาได้ด้วยดี

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญภาพ.....	ฒ

### บทที่

1 บทนำ.....	1
1.1 แนวเหตุผลและทฤษฎี.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 สารประกอบคาร์บอนิล.....	4
2.2 สารกลุ่มบีเทค.....	6
2.3 สมบัติทางกายภาพและเคมีของสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทคที่มีผลต่อการแพร่กระจายในสิ่งแวดล้อม.....	7
2.4 แหล่งกำเนิดของสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทค.....	8
2.5 การเกิดสารคาร์บอนิลและบีเทคจากปฏิกิริยาเคมีในบรรยากาศ.....	15
2.6 ปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการกระจายตัวของสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทค.....	19
2.7 การรับสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทคเข้าสู่ร่างกาย.....	21
2.8 ผลกระทบจากสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทค.....	22
2.9 หลักการเก็บตัวอย่างสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทค.....	27
2.10 ค่ามาตรฐานของสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทคที่อนุญาตให้มีในอากาศ.....	29
2.11 การประเมินความเสี่ยง (risk assessment).....	33
2.12 การป้องกันการรับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทคในระหว่างปฏิบัติงาน.....	34

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	35
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	43
3.1 ขั้นเตรียมการ.....	43
3.2 วิธีการดำเนินการ.....	52
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	55
3.4 การประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสารคาร์บอนิลและปีเทค.....	55
3.5 จริยธรรมการวิจัย.....	60
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	61
4.1 ผลการศึกษาเบื้องต้น.....	61
4.2 ชนิดและปริมาณของสารประกอบคาร์บอนิลและปีเทค.....	65
4.3 เปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิลและปีเทคในการศึกษาครั้งนี้กับกลุ่มผู้ที่ได้รับสัมผัสสารกลุ่มอื่นๆ.....	84
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรถที่ใช้บริการบริการด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษและปริมาณสารฟอร์มัลดีไฮด์และอะเซทัลดีไฮด์ที่พนักงานได้รับสัมผัส.....	88
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรถที่ใช้บริการบริการด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษและปริมาณสารปีเทคที่พนักงานได้รับสัมผัส.....	89
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบคาร์บอนิลและปีเทค.....	90
4.7 เปรียบเทียบปริมาณการรับสัมผัสของพนักงานกับค่ามาตรฐานในสถานประกอบการ.....	93
4.8 การประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิลและปีเทค.....	94
4.9 ข้อมูลสุขภาพ อาการผิดปกติ และการใช้อุปกรณ์ป้องกันของพนักงานเก็บค่าผ่านทาง.....	98
5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	102
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	102
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	105
รายการอ้างอิง.....	106



## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ภาคผนวก.....	118
ภาคผนวก ก ไบร่รับรองจริยธรรมและแบบสอบถาม.....	119
ภาคผนวก ข สรุปปริมาณรถที่ใช้บริการด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนาและอโศก 4 ในปี พ.ศ.2551-2553 .....	121
ภาคผนวก ค calibration curve.....	123
ภาคผนวก ง ปริมาณสารประกอบคาร์บอนิลที่ทำการเก็บตัวอย่างในช่วงฤดูฝนและ แล้งฝน.....	130
ภาคผนวก จ ปริมาณสารบีเทคที่ทำการเก็บตัวอย่างในช่วงฤดูฝนและแล้งฝน.....	135
ภาคผนวก ฉ ตัวอย่างการทดสอบทางสถิติ.....	138
ภาคผนวก ช การประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสารคาร์บอนิลและบีเทค ในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนาและอโศก 4.....	148
ภาคผนวก ซ ข้อมูลปริมาณรถที่ใช้บริการในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนาและ อโศก 4 และข้อมูลลักษณะทางอุตุนิยมหาวิทยาลัยบริเวณสถานีตรวจวัดที่ ใกล้ด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนาและอโศก 4.....	151
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	156

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของสารประกอบคาร์บอนิล.....	5
2.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของสารกลุ่มบีเทค.....	7
2.3 การแบ่งกลุ่มของตัวก่อมลพิษประเภทสารอินทรีย์และสารอินทรีย์ในอาคาร จาก WHO.....	11
2.4 แหล่งของ VOC ที่พบบ่อยในอาคาร.....	11
2.5 สารมลพิษจากมลพิษทางอากาศจากรถที่ใช้แก๊สโซฮอลล์ในประเทศไทย.....	14
2.6 ผลกระทบต่อสุขภาพของสารมลพิษเกี่ยวข้องกับโฟโตเคมีคัลสม็อก.....	17
2.7 การพิจารณาความเป็นพิษของสารก่อมะเร็งโดย IARC.....	26
2.8 การพิจารณาความเป็นพิษของสารก่อมะเร็งโดย IRIS.....	27
2.9 ความเป็นพิษในรูปของสารก่อมะเร็งสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทค.....	27
2.10 ค่ามาตรฐานของสารประกอบคาร์บอนิลที่อนุญาตให้มีในสถานที่ทำงาน.....	31
2.11 ค่ามาตรฐานของสารกลุ่มบีเทคที่อนุญาตให้มีในสถานที่ทำงาน.....	32
3.1 สภาวะของเครื่องในการวิเคราะห์สารประกอบคาร์บอนิล.....	47
3.2 สภาวะของเครื่องในการวิเคราะห์สารบีเทค.....	48
3.3 ค่าเปอร์เซ็นต์การคืนกลับของสารประกอบคาร์บอนิล.....	51
3.4 ค่าเปอร์เซ็นต์การคืนกลับของสารบีเทค.....	51
3.5 ผลกระทบต่อสุขภาพของสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทค.....	56
3.6 ค่า $CSF_i$ (Inhalation Slope Factor).....	57
3.7 ค่า $R_fC$ (Reference Concentrations).....	57
3.8 ความหมายของตัวแปรที่ใช้แทนค่าในสมการที่ 1 และ 2.....	58
4.1 ค่า retention time สารละลายมาตรฐานคาร์บอนิล.....	61
4.2 ค่า retention time สารละลายมาตรฐานบีเทค.....	62
4.3 การประกันคุณภาพและควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์ตัวอย่างสารประกอบ คาร์บอนิลและบีเทค.....	64
4.4 ชนิดของสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทคที่พบในด้านเก็บค่าผ่านทางบางนา และอโศก 4.....	66
4.5 ข้อมูลปริมาณรถและลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาที่ด้านบางนาและด้านอโศก 4 ใน ฤดูฝนและฤดูแล้งฝน.....	76

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.6 ปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิลในแต่ละตำแหน่งในด้านเก็บ ค่าผ่านทางบางนาและด่านอโศก 4.....	80
4.7 เปรียบเทียบปริมาณสารประกอบคาร์บอนิลในแต่ละตำแหน่งในด้านเก็บค่าผ่าน ทางบางนาและอโศก 4.....	81
4.8 ปริมาณความเข้มข้นของสารปีเทคในแต่ละตำแหน่งในด้านเก็บค่าผ่านทาง บางนาและด่านอโศก 4.....	82
4.9 เปรียบเทียบปริมาณสารปีเทคในแต่ละตำแหน่งในด้านเก็บค่าผ่านทางบางนา และอโศก 4.....	83
4.10 เปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิลในการศึกษารั้วนี้ กับกับกลุ่มผู้ที่ได้รับสัมผัสสารกลุ่มอื่นๆ.....	86
4.11 เปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของสารปีเทคในการศึกษารั้วนี้กับกับกลุ่ม ผู้ที่ได้รับสัมผัสสารกลุ่มอื่นๆ.....	87
4.12 เปรียบเทียบปริมาณสารปีเทคที่พนักงานได้รับสัมผัสกับค่ามาตรฐานในสถาน ประกอบการ.....	93
4.13 ค่า CDI และค่า cancer risk ของสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งซึ่งแสดงในช่วงค่า ต่ำ – สูง และค่า 95% confidence interval.....	94
4.14 ค่า EC และค่า non-cancer risk ของสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งซึ่งแสดงในช่วง ค่าต่ำ - สูง และค่า 95% confidence interval.....	96
4.15 จำนวนผู้ได้รับสัมผัสสารเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ของสารก่อมะเร็งและสารที่ ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง.....	97
4.16 ค่า Total Cancer risk ค่า HI (Hazard Index).....	98
4.17 ข้อมูลเกี่ยวกับความรู้สึกรหรืออาการในขณะปฏิบัติงาน.....	99
4.18 ข้อมูลเกี่ยวกับการสวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลในขณะปฏิบัติงาน....	100
4.19 ค่า cancer risk ที่ลดลงเมื่อลดระยะเวลาการสัมผัสหรือลดระยะเวลาการทำงานของ พนักงาน.....	100
4.20 ค่า cancer risk ที่ลดลงเมื่อพนักงานสวมหน้ากากที่มีประสิทธิภาพการกรองไม่ต่ำ กว่า 95 %.....	101

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 สารประกอบแอลดีไฮด์ และคีโตน.....	4
2.2 ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของสารประกอบคาร์บอนิล.....	4
2.3 ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของสารกลุ่ม BTEX.....	6
2.4 อัตราการระบายสารอินทรีย์ระเหยในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2540.....	8
2.5 ปริมาณองค์ประกอบในน้ำมันเบนซิน.....	9
2.6 แหล่งกำเนิดของสารอินทรีย์ระเหยที่ทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว (HRVOCs).....	10
2.7 เปรียบเทียบอัตราการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยกลุ่มบีเทคจากกองมูลฝอย เทกองกลางแจ้งและกองมูลฝอยที่มีหน้าดินกลบทับในฤดูแล้งและฤดูฝน.....	12
2.8 กระบวนการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลสม็อก (photochemical smog).....	16
2.9 ผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านสิ่งแวดล้อมของสารเบนซินในบรรยากาศ....	18
2.10 ผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านสิ่งแวดล้อมของสารเบนซินในบรรยากาศ....	18
2.11 ความเข้มข้นของสารฟอร์มาลดีไฮด์และอะเซทัลดีไฮด์ที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละ ฤดู.....	19
2.12 ความเข้มข้นของสารกลุ่มบีเทคเปรียบเทียบในแต่ละฤดู.....	20
3.1 ที่ตั้งด่านเก็บค่าผ่านทางที่ทำการเก็บตัวอย่าง.....	43
3.2 จุดเก็บตัวอย่างในด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ.....	44
3.3 ระยะเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างในช่วงฤดูฝนและแล้งฝน.....	45
3.4 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทค.....	46
3.5 เครื่องมือวิเคราะห์สารประกอบคาร์บอนิลและบีเทค.....	48
3.6 ชุดอุปกรณ์การปรับเทียบอัตราการไหลของปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศ.....	49
3.7 แสดงการติดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่ตัวพนักงาน.....	52
4.1 Chromatogram ของสารละลายมาตรฐานสารประกอบคาร์บอนิล 14 ชนิด ที่ ความเข้มข้น 0.10 ppm.....	62
4.2 Chromatogram ของสารละลายมาตรฐานสารบีเทค 5 ชนิด ที่ความเข้มข้น 8,000 ng/ml และสาร internal standard (Toluene d - 8).....	63
4.3 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารประกอบคาร์บอนิลที่ตรวจวัดที่ด่านบางนา และด่านอโศก 4 ในวันศุกร์และวันอาทิตย์.....	68

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.4 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารปีเทคที่ตรวจวัดที่ด้านบางนาและด้านอโศก 4 ในวันศุกร์และวันอาทิตย์.....	69
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเฉลี่ยของสารประกอบฟอร์มาลดีไฮด์และ อะเซทัลดีไฮด์กับปริมาณรถยนต์เฉลี่ยตลอดการเก็บตัวอย่าง.....	70
4.6 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารประกอบคาร์บอนิลที่ด้านบางนาและด้าน อโศก 4 ในฤดูฝนและฤดูแล้งฝน.....	72
4.7 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารปีเทคที่ด้านบางนาและด้านอโศก 4 ในฤดูฝน และฤดูแล้งฝน.....	73
4.8 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารในแต่ละฤดูของสารฟอร์มาลดีไฮด์และ อะเซทัลดีไฮด์ในกรุงเทพมหานคร.....	75
4.9 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารประกอบคาร์บอนิลระหว่างด้านบางนาและ ด้านอโศก 4.....	76
4.10 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารปีเทคระหว่างด้านบางนาและด้านอโศก 4.....	79
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรถที่ใช้บริการและปริมาณสารฟอร์มาลดีไฮด์และ อะเซทัลดีไฮด์ในช่อง P1 และ P2 (n=30).....	88
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรถที่ใช้บริการและปริมาณสารปีเทคในช่อง P1 และ P2 (n=32).....	89
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารเบนซินและปริมาณสารฟอร์มาลดีไฮด์ (n=59).....	90
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารโทลูอินและปริมาณสารเบนซัลดีไฮด์ (n=51) ..	91
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารออร์โทไซลีนและปริมาณสารออร์โท โทลูแอลดีไฮด์ (n=49).....	91
4.16 ผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านสิ่งแวดล้อมของสารเบนซินในบรรยากาศ....	92
4.17 เปอร์เซนต์ค่า acceptable risk และ unacceptable risk.....	97

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 แนวเหตุผลและทฤษฎี

สารประกอบคาร์บอนิลเป็นสารอินทรีย์ระเหยที่สามารถพบได้ในบรรยากาศเขตเมืองและทั่วไปในบรรยากาศของโลก (Feng และคณะ, 2005; Long และ Henderson, 2008) แหล่งกำเนิดสารประกอบคาร์บอนิลที่สำคัญในเขตชุมชนเมือง ได้แก่ การปล่อยไอเสียจากเครื่องยนต์ผ่านกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารไฮโดรคาร์บอน องค์ประกอบของน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งมีผลต่อการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ออกสู่บรรยากาศ โดยทั่วไปน้ำมันเบนซินจะประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนเป็นหลักและการเติมแอลกอฮอล์เข้าไปในน้ำมันเชื้อเพลิงมีผลทำให้เกิดการปล่อยสารมลพิษประเภทสารออกซิเจนเนท (oxygenated pollutants) เพิ่มขึ้น ยกตัวอย่างเช่น เชื้อเพลิงที่มีส่วนประกอบของเมทานอลหรือมีเทนจะปล่อยสารฟอร์มัลดีไฮด์ออกมาและเชื้อเพลิงที่มีเอทานอลเป็นสารประกอบ จะปล่อยสาร อะเซทัลดีไฮด์ออกมา (Daisy Morknoy, Pojanie Khummongkol และ Tassanee Prueaksasit, 2010) นอกจากนี้สารทั้งสองชนิดยังเกิดขึ้นจากการเกิดปฏิกิริยาไฟโตออกซิเดชันของสารอินทรีย์ระเหยในบรรยากาศ สารประกอบคาร์บอนิลมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อปฏิกิริยาเคมีในบรรยากาศ เนื่องจากสารเหล่านี้มีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาที่นำไปสู่การเกิดกรดไนตริก สารประกอบเปอร์ออกซิอะซีติลไนเตรท (peroxyacetyl nitrate: PAN) โอโซนและสารประกอบอื่นๆ (Corrêa, Martins และ Arbilla, 2003) การปนเปื้อนของสารประกอบคาร์บอนิลในบรรยากาศสามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ได้ ผลกระทบที่พบบ่อย ได้แก่ การเกิดการระคายเคืองต่อตา และปอด (Hao และ Lizhong, 2007) นอกจากนี้องค์การวิจัยโรคมะเร็งนานาชาติ (International Agency for Research on Cancer [IARC], 2010) ยังจัดให้สารฟอร์มัลดีไฮด์เป็นสารก่อมะเร็งกลุ่ม 1 คือที่สามารถส่งผลทำให้เกิดมะเร็งและสารอะเซทัลดีไฮด์เป็นสารก่อมะเร็งกลุ่ม 2B คือกลุ่มที่น่าจะเป็นสารก่อมะเร็งในคน คือ มีข้อมูลแน่ชัดว่าเป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ทดลอง แต่ไม่มีข้อมูลเพียงพอว่าเป็นสารก่อให้เกิดมะเร็งในคน

สารกลุ่มบีเทค (BTEX) ประกอบด้วยสาร 4 ชนิด ได้แก่ เบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน และไซลีน สามารถแบ่งย่อยออกได้ 3 ไอโซเมอร์ คือ เมตาไซลีน พาราไซลีน และออร์โทไซลีน สารกลุ่มบีเทคได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ในด้านอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมสิ่งทอ (ปนัดดาผู้มีจรรยา, 2551) และถือเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของน้ำมันปิโตรเลียม ได้แก่ น้ำมันดิบ น้ำมันดีเซล และน้ำมันเบนซิน สารกลุ่มบีเทคจัดเป็นสารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds: VOCs) ชนิดหนึ่ง จึงสามารถตรวจพบสารกลุ่มนี้แพร่กระจายอยู่ในเขตโรงงานอุตสาหกรรม พื้นที่ใกล้เคียงและบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่น การรับสัมผัสสารกลุ่มบีเทคในปริมาณมากสามารถก่อให้เกิดการระคายเคืองมีผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง และระบบทางเดินหายใจ หากได้รับสัมผัสสาร

ติดต่อกันเป็นเวลานานติดต่อกันจะทำให้เกิดการสะสมในร่างกาย ส่งผลต่อระบบเลือด หัวใจ ปอด และระบบประสาท เป็นต้น องค์การวิจัยโรคมะเร็งนานาชาติ (IARC) จัดให้สารเบนซินเป็นสารก่อมะเร็งกลุ่ม 1 ที่สามารถส่งผลทำให้เกิดมะเร็งเม็ดเลือดขาว (leukemia) และสารเอทิลเบนซินเป็นสารก่อมะเร็งกลุ่ม 2B (IARC, 2010) จึงถือได้ว่าสารบีเทคเป็นสารมลพิษทางอากาศที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคของผู้ที่รับสัมผัสได้ จากการศึกษาของ Jo และ Song (2001) พบว่าการปล่อยไอเสียจากเครื่องยนต์และไอน้ำมันที่ระเหยออกมาจากน้ำมันเชื้อเพลิงถือเป็นแหล่งกำเนิดหลักที่สำคัญของการได้รับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยโดยเฉพาะสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทค ดังนั้นการประกอบอาชีพที่เกี่ยวข้องกับการใช้เชื้อเพลิง และยานพาหนะย่อมมีโอกาสรับสัมผัสสารดังกล่าวได้โดยตรง เช่น ช่างซ่อมรถยนต์ พนักงานสถานีบริการน้ำมัน พนักงานขับรถ เป็นต้น (Tsai และคณะ, 2002) ดังตัวอย่างงานวิจัยเรื่องการรับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทคผ่านทางหายใจและการประเมินความเสี่ยงสุขภาพของพนักงานในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่าค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจากการรับสัมผัสสารเบนซินของพนักงานในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าสูง เกินค่าที่ยอมรับได้ (Mingkwon Kitwattanavong, 2010) หากพิจารณากลุ่มอาชีพอื่นที่มีโอกาสรับสัมผัสสารกลุ่มบีเทคในปริมาณสูงแล้ว พนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษถือเป็นอีกกลุ่มอาชีพที่มีโอกาสเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสารมลพิษประเภทสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทคได้เช่นกัน เนื่องจากในแต่ละวันมีปริมาณรถที่ใช้บริการเป็นจำนวนมากดังข้อมูลปริมาณรถที่ใช้บริการทางพิเศษแห่งประเทศไทยพบว่า ในปี 2553 มีปริมาณรถที่ใช้บริการเฉลี่ย 1,320,918 คันต่อวัน โดยเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.5 จากในปี 2552 ซึ่งมีปริมาณรถที่ใช้บริการเฉลี่ย 1,239,948 คันต่อวัน (การทางพิเศษแห่งประเทศไทย, 2554)

ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้จึงมุ่งเน้นที่จะทำการตรวจวัดปริมาณการได้รับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทคของพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษในกลุ่มที่มีโอกาสในการรับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทคสูง โดยคัดเลือกด่านเก็บค่าผ่านทางที่มีปริมาณรถใช้บริการค่อนข้างสูงในแต่ละวัน พร้อมทั้งนำค่าที่ตรวจวัดได้มาประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของพนักงานเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานที่จะใช้เป็นแนวทางในการวางแผนป้องกันและลดผลกระทบที่จะเกิดต่อสุขภาพของพนักงานในขณะปฏิบัติงานต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อหาปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทคในบรรยากาศบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ
- 2) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรถที่ใช้บริการด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษและปริมาณสารบีเทคที่พนักงานได้รับสัมผัส และความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทค

3) เพื่อประเมินระดับการได้รับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิลและพีเทคผ่านทางหายใจในหนึ่งวันของพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษ

4) เพื่อประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิลและพีเทคต่อสุขภาพของพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษ

### 1.3 ขอบเขตการวิจัย

1) พื้นที่ศึกษาสำหรับการทำการตรวจวัดและหาปริมาณสารประกอบคาร์บอนิลและพีเทคจะดำเนินการที่บริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ ได้แก่ ด่านเก็บค่าผ่านทางบางนา ด่านเก็บค่าผ่านทางอโศก 4

2) ระยะเวลาศึกษา

ทำการศึกษาโดยเปรียบเทียบระหว่าง 2 ฤดูกาล คือ เดือนกันยายนเป็นตัวแทนฤดูฝน และเดือนมกราคมเป็นตัวแทนฤดูแล้งฝน ในแต่ละฤดูทำการเก็บตัวอย่างสารประกอบคาร์บอนิลและพีเทคที่พนักงานได้รับสัมผัสในช่วง 2 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 2 วัน คือวันศุกร์และวันอาทิตย์ ซึ่งเป็นวันที่มีปริมาณรถสูงสุด และต่ำสุดของสัปดาห์ ช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างเป็นช่วงเวลาการทำงานระหว่าง 6.00 - 14.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ปริมาณรถสูงสุดในแต่ละวัน

3) การตรวจวัดการรับสัมผัสของบุคคล โดยเก็บตัวอย่างสารประกอบคาร์บอนิลและพีเทคด้วยเครื่องการเก็บตัวอย่างอากาศเฉพาะบุคคล (personal air sampler) ต่อกับ charcoal glass tube และ 2,4 dinitrophenylhydrazine (DNPH) cartridge

4) การวิเคราะห์ตัวอย่าง ทำการวิเคราะห์สารพีเทคด้วยเครื่อง Gas Chromatography/Flame Ionization Detector (GC/FID) และวิเคราะห์สารคาร์บอนิล ด้วยเครื่อง High Performance liquid Chromatography/UV Detector (HPLC/UV)

5) การเก็บข้อมูลเพิ่มเติม โดยใช้แบบสอบถามเพื่อสอบถามข้อมูลของพนักงานระหว่างปฏิบัติงานและข้อมูลเกี่ยวกับสุขภาพ ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 5 นาทีในการตอบแบบสอบถาม

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) เป็นข้อมูลพื้นฐานในการได้รับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิลและพีเทค ของพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษในด้านที่มีปริมาณผู้ใช้บริการสูง เพื่อนำข้อมูลนี้ไปใช้ในการศึกษา และทำวิจัยในพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษต่อไป

2) สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ไปใช้ในการหาแนวทางป้องกันและแก้ไขปัญหาสุขภาพให้กับพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษ

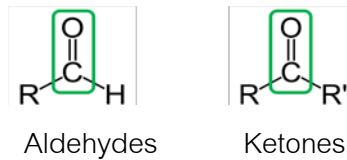


## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 สารประกอบคาร์บอนิล

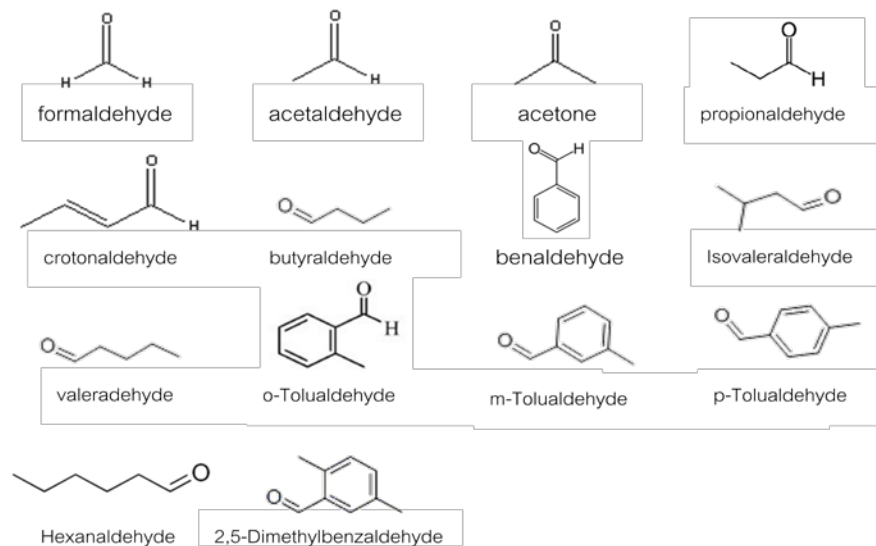
เป็นกลุ่มของสารประกอบแอลดีไฮด์และคีโตน ที่ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันคาร์บอนิล ( $-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-$ ) พันธะคู่ระหว่างออกซิเจน และคาร์บอน) แตกต่างกันว่าแอลดีไฮด์มีหมู่คาร์บอนิลอยู่ปลายแถวของโซ่ ส่วนคีโตนมีหมู่คาร์บอนิลอยู่ตรงกลางแถวของโซ่ดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 สารประกอบแอลดีไฮด์ และคีโตน

##### 2.1.1 ลักษณะและสมบัติของสารประกอบคาร์บอนิล

พันธะคู่ในกลุ่มคาร์บอนิลมีคุณสมบัติที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีมาก โดยสมบัติของแอลดีไฮด์เป็นโมเลกุลที่มีขั้วโดยเฉพาะที่มวลโมเลกุลต่ำจะละลายน้ำได้ดี แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเป็นแรงดึงดูดระหว่างขั้วสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำได้โดยเกิดสลักับโมเลกุลของน้ำ และคีโตนมีสมบัติเป็นโมเลกุลมีขั้วสารที่โมเลกุลต่ำละลายน้ำได้ แต่เมื่อจำนวนอะตอมคาร์บอนเพิ่มขึ้นจะละลายน้ำได้น้อยลง ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของสารประกอบคาร์บอนิลดังแสดงในภาพที่ 2.2 และสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารประกอบคาร์บอนิลดังแสดงในตารางที่ 2.1



ภาพที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของสารประกอบคาร์บอนิล

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของสารประกอบคาร์บอนิล

สาร	สมบัติทางกายภาพและเคมี						
	สูตรเคมี	น้ำหนัก โมเลกุล	จุดเดือด (° ซ.)	จุดหลอม เหลว (° ซ.)	ความดันไอ ที่ 20° ซ. (มม.ปรอท)	H* ที่ 25° ซ. (kPa.m <sup>3</sup> /mol)	Half-Life Photolysis
Formaldehyde	CH <sub>2</sub> O	30.03	-19.5	-117	5	6.41×10 <sup>-4</sup>	1-19 ช.ม.
Acetaldehyde	CH <sub>3</sub> CHO	44.05	21	-123	740	8.0×10 <sup>-3</sup>	1 - 13 วัน
Acetone	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	58.08	56.5	-94	181.7	4.3×10 <sup>-3</sup>	22 วัน
Propionaldehyde	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	58.08	49	-81	317 (25°C)	7.36×10 <sup>-3</sup>	19.6 ช.ม.
Crotonaldehyde	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O	70.09	104	-74	30	1.9×10 <sup>-3</sup>	11 ช.ม.
Butyraldehyde	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O	72.10	74.8	-99	88.5	1.2×10 <sup>-2</sup>	12 ช.ม.
Benzaldehyde	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O	106.12	179	-26	0.97	2.7×10 <sup>-3</sup>	2-17 วัน
Isovaleraldehyde	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	86.13	90	-60	30	-	1 - 10 วัน
Valeraldehyde	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	86.2	103	-92	26	1.5×10 <sup>-2</sup>	13.5 ช.ม.
<i>o</i> -Tolualdehyde	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O	120.15	199	-35	0.34 (25°C)	-	-
<i>m,p</i> -Tolualdehyde	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O	120.15	205	-6	0.25 (25°C)	1.7×10 <sup>-3</sup>	21 ช.ม.
Hexanaldehyde	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	100.18	128	-56	11.3 (25°C)	2.1×10 <sup>-2</sup>	49-63 ช.ม.
2,5-Dimethyl benzaldehyde	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O	134.18	106.4	-	-	-	-

หมายเหตุ \* H คือ Henry's law constant

- คือ ไม่พบข้อมูล

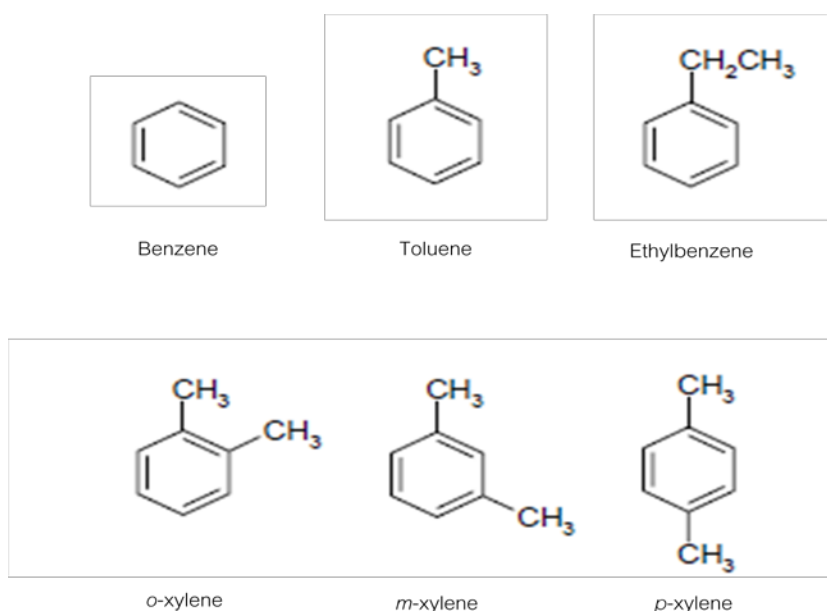
ที่มา: U.S.EPA (2010a: online)

## 2.2 สารกลุ่มบีเทค

บีเทค (BTEX) เป็นศัพท์ที่ใช้เรียก กลุ่มสารประกอบอะโรมาติกระเหย ไม่ได้เป็นสารเคมีชนิดใดชนิดหนึ่ง แต่สารกลุ่ม บีเทคประกอบด้วย สารเบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน และไซลีน ที่พบโดยทั่วไปในผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เช่น น้ำมันเบนซิน และน้ำมันดีเซล (U.S. Environmental Protection Agency [U.S. EPA], 2010b: online; European Environment Agency [EEA], 2010: online)

### 2.2.1 ลักษณะและสมบัติของสารกลุ่มบีเทค

สารกลุ่มบีเทคเป็นสารอินทรีย์ระเหยในกลุ่มโมโนอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (monoaromatic hydrocarbons) ที่มีคุณสมบัติ เป็นสารไวไฟ สถานะเป็นของเหลว ไม่มีสี มีกลิ่น ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของสารกลุ่มนี้จะมีลักษณะเป็นวงดังแสดงในภาพที่ 2.3 และสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารกลุ่มบีเทค ดังแสดงในตารางที่ 2.2



ภาพที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของสารกลุ่ม BTEX  
ที่มา: ATSDR (2004: online)

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของสารกลุ่มบีเทค

สาร	สมบัติทางกายภาพและเคมี						
	สูตรเคมี	น้ำหนักโมเลกุล	จุดเดือด (° ซ.)	จุดหลอมเหลว (° ซ.)	ความดันไอ ที่ 20 ° ซ. (มม.ปรอท)	H* ที่ 25 ° ซ. (kPa.cm <sup>3</sup> /mol)	Half-Life Photolysis
Benzene	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78.1	80.1	5.5	75	0.55	13.4 วัน
Toluene	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	92.13	110.6	-95.0	28.4	0.67	3 ช.ม.
Ethylbenzene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106.17	136.2	-94.4	9.6	0.80	0.5-24 ช.ม.
<i>o</i> -Xylene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106.2	144.4	-25.2	6.7	0.50	15 ช.ม.
<i>m</i> -Xylene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106.2	139.1	-47.9	8.4	0.70	10 ช.ม.
<i>p</i> -Xylene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106.2	138.4	13.3	8.8	0.71	18 ช.ม.

\* H คือ Henry's law constant

ที่มา: ดัดแปลงจาก ปนัดดา ผู้มีจรรยา (2551) และ สุदारัตน์ รัตนแสง (2547)

## 2.3 สมบัติทางกายภาพและเคมีของสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทคที่มีผลต่อการแพร่กระจายในสิ่งแวดล้อม

### 2.3.1 ความดันไอ

ความดันไอเป็นค่าความดันในสภาวะสมดุลของสารในสถานะแก๊สที่อุณหภูมิคงที่มีหน่วยเป็น มิลลิเมตรปรอท ความดันไอของสารเป็นค่าที่แสดงถึงแนวโน้มในการระเหยของสาร ถ้าค่าความดันไอสูงจะหมายถึงสารสามารถระเหยและอยู่ในสถานะแก๊สได้มาก โดยกรมควบคุมมลพิษ ได้จัดให้กลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ที่มีความดันไอกว่า 1 มิลลิเมตรปรอทเป็นสารอินทรีย์ระเหย (VOCs) (กรมควบคุมมลพิษ, 2554: ออนไลน์) โดยสารกลุ่มนี้สามารถระเหยเป็นไอกระจายตัวไปในอากาศได้ง่ายที่อุณหภูมิและความดันปกติ ไอเหล่านี้สามารถจะเปลี่ยนรูปกลับเป็นของเหลวหรือของแข็งตามสภาวะเดิมได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิหรือลดความดัน จากตารางที่ 2.1 ค่าความดันไอที่ 20 องศาเซลเซียสของสารกลุ่มคาร์บอนิลจะอยู่ในช่วง 5-740 มิลลิเมตรปรอท และจากจากตารางที่ 2.2 ค่าความดันไอที่ 20 องศาเซลเซียสของสารกลุ่มบีเทคอยู่ในช่วง 6.7-75 มิลลิเมตรปรอท ซึ่งมีค่าความดันไอกว่า 1 มิลลิเมตรปรอท ดังนั้นสารทั้งสองกลุ่มนี้จึงจัดอยู่ในกลุ่มของสารอินทรีย์ระเหย (ปนัดดา ผู้มีจรรยา, 2551)

### 2.3.2 ค่า Henry's law constant (H)

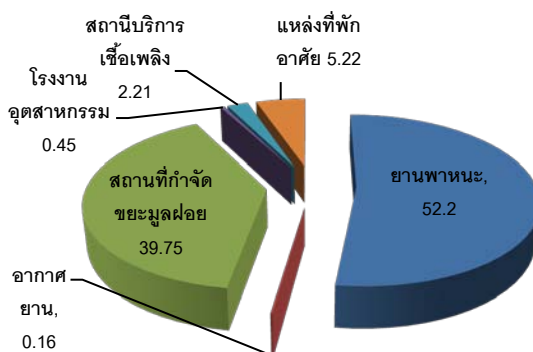
ค่าคงตัวของกาละลายกลายเป็นไอของสารที่ละลายในน้ำเป็นสมบัติของสารเคมีที่แสดงถึงการแบ่งส่วนระหว่างแก๊สกับของเหลวที่อุณหภูมิและความดันคงที่ ค่า H มักถูกนำไปใช้ในการอธิบายถึงการเคลื่อนที่ของสารจากน้ำสู่อากาศ ซึ่งจะช่วยทำนายพฤติกรรมของสารประกอบอินทรีย์ในสิ่งแวดล้อม ถ้าค่านี้สูงหมายถึง สารจะเคลื่อนที่เข้าสู่ส่วนที่เป็นอากาศได้มากกว่า (ปนัดดา ผู้มีจรรยา, 2551)

### 2.3.3 กระบวนการสลายตัวเนื่องจากแสงแดด (photolysis)

สารเคมีสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงได้โดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ (photo transform) การเกิด photo transform ของสารสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในอากาศ ดิน และน้ำ ผลของกระบวนการเปลี่ยนแปลงโดยพลังงานแสงอาทิตย์ (photolysis) ทำให้ปริมาณสารที่พบลดลงอย่างรวดเร็ว สำหรับการสลายตัวของสารอาจขึ้นอยู่กับกระบวนการอื่นอีก เช่น กระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในธรรมชาติ (hydrolysis) ระยะเวลาที่ทำให้สารเคมีมีปริมาณลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของปริมาณเริ่มต้น เรียกว่า ครึ่งชีวิต (half - life,  $t_{1/2}$ ) สำหรับอัตราการสลายตัวของสารเนื่องจากแสงแดดสามารถใช้กำหนดปริมาณของสารในสิ่งแวดล้อมได้ (Ney, 1990 อ้างถึงในปนัดดา ผู้มีจรรยา, 2551)

## 2.4 แหล่งกำเนิดของสารประกอบคาร์บอนิลและปีเทค

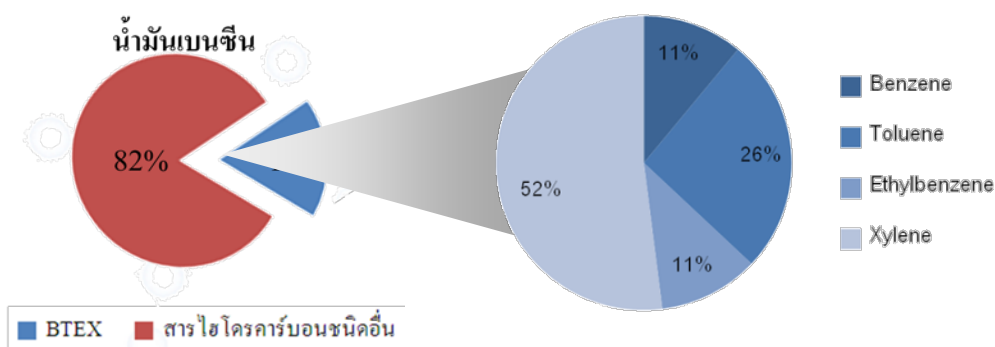
จากข้อมูลอัตราการระบายสารอินทรีย์ระเหยในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2540 พบว่าอัตราการระบายสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากยานพาหนะ สถานที่กำจัดขยะมูลฝอย แหล่งที่พักอาศัย สถานีบริการ เชื้อเพลิง โรงงาน อุตสาหกรรม และอากาศยาน คิดเป็น 52.2%, 39.75%, 5.22%, 2.21%, 0.45% และ 0.16% ตามลำดับ (กรมควบคุมมลพิษ, 2543 อ้างถึงใน วรธนา เลาวกุล และคณะ, 2554: ออนไลน์) ดังแสดงในภาพที่ 2.4 อย่างไรก็ตาม การปล่อยสารคาร์บอนิลและปีเทคออกสู่บรรยากาศสามารถเกิดได้จากทั้งกระบวนการทางธรรมชาติและการทำงานของมนุษย์ แต่โดยส่วนใหญ่สารประกอบคาร์บอนิลและปีเทคที่เกิดขึ้นจากการกระทำของมนุษย์ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า



ภาพที่ 2.4 อัตราการระบายสารอินทรีย์ระเหยในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2540  
ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2543)

### 2.4.1 แหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ (natural sources)

แหล่งกำเนิดตามกระบวนการทางธรรมชาติที่ไม่มีกิจกรรมกระทำของมนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้องที่ก่อให้เกิดสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทค ได้แก่ การเกิดสารประกอบคาร์บอนิลในบรรยากาศที่มาจาก การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารชีวมวล เชื้อเพลิงฟอสซิล และการปล่อยสารผ่านกระบวนการทางชีวภาพจากพืชบางชนิด (Feng และคณะ, 2005) การปล่อยก๊าซจากไฟฟ้า การย่อยสลายของซากพืช และการเปลี่ยนแปลงของสารเคมีต่างๆ ที่ปล่อยออกมาโดย ใบไม้ ส่งผลให้เกิด สารฟอร์มัลดีไฮด์ และอะเซทัลดีไฮด์ (The International Programme on Chemical Safety [IPCS], 1989: online) แหล่งกำเนิดตามธรรมชาติอื่นๆ เช่น การปล่อยก๊าซจากท้องทะเลทำให้เกิดสารอะซีโตนในบรรยากาศได้เช่นกัน (IPCS, 1998: online) และโดยธรรมชาติของสารบีเทคเป็นสารที่เป็นสารประกอบในน้ำมันดิบ ยกตัวอย่างเช่น สารเบนซินที่ถูกรับในน้ำมันปิโตรเลียมดิบมีปริมาณสูงถึง 4 กรัม/ลิตร จึงพบบีเทคในผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ผลิตจากน้ำมันปิโตรเลียมไม่ว่าจะเป็น น้ำมันดีเซล และน้ำมันเบนซิน เช่น ในน้ำมันเบนซิน จะพบสารบีเทคเป็นส่วนประกอบถึงร้อยละ 18 ดังภาพที่ 2.5 ซึ่งองค์ประกอบต่างๆ ของสารกลุ่มบีเทค ที่พบในน้ำมันเบนซินน้ำแบ่งเป็นสารเบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน และไซลีน อีกทั้งยังสามารถพบได้ในน้ำทะเล (0.8 ppb) ในบริเวณที่ใกล้เคียงกับจุดที่เป็นแหล่งกำเนิดก๊าซธรรมชาติและแหล่งกักเก็บปิโตรเลียม แหล่งกำเนิดตามธรรมชาติอื่นๆ ของสารกลุ่มบีเทค ได้แก่ การปล่อยก๊าซจากภูเขาไฟ และไฟฟ้า (Leusch และ Bartkow , 2010)



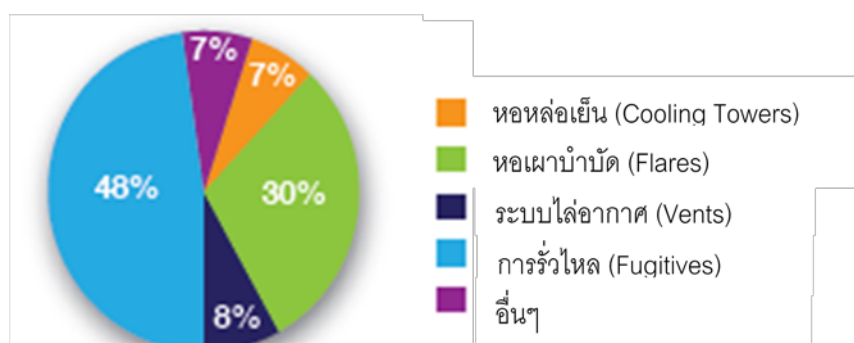
ภาพที่ 2.5 ปริมาณองค์ประกอบในน้ำมันเบนซิน

ที่มา: ดัดแปลงจาก The Ohio Department of Health [ODH] (2009: online)

### 2.4.2 แหล่งกำเนิดที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (human-made sources)

2.4.2.1 แหล่งกำเนิดที่อยู่กับที่ (stationary sources) หมายถึง แหล่งกำเนิดที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ เช่น โรงงานอุตสาหกรรม บ้านเรือนและภายในอาคาร ซึ่งสารมลพิษอากาศเกิดจากกระบวนการผลิต และเกิดจากการใช้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ รวมทั้งสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย เป็นต้น

1) อุตสาหกรรม สารทำลายในกระบวนการผลิตหรือสารที่ปลดปล่อยออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตนิคมอุตสาหกรรมก่อให้เกิดสารประกอบอินทรีย์ระเหย (Kantikwang, 2012) จากโครงการประเมินสถานการณ์ กลุ่มสารอินทรีย์ระเหยที่ทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว (Highly Reactive VOCs: HRVOCs) ได้แก่ 1,3-บิวทาไดอีน บิวทาไดอีนโพรพิลีนบิวเทน ฟอร์มาลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ โทลูอีน เพนทีน ไตรเมทิลเบนซีน ไซลีน และเอทิลโทลูอีน ของคณะกรรมการคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งมลรัฐเท็กซัส (Texas Commission on Environmental Quality: TCEQ) พบว่ากลุ่มสารอินทรีย์ระเหยที่ทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว ส่วนใหญ่ (ร้อยละ 48) มีแหล่งกำเนิดมาจากการรั่วซึมของไอสารอินทรีย์จากอุปกรณ์ในโรงงานอุตสาหกรรม ดังแสดงในภาพที่ 2.6 และจากการติดตามตรวจสอบพบว่าการระบายสารอินทรีย์ระเหยที่ทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว จากโรงงานอุตสาหกรรมในระยะเวลาเล็กน้อย จะทำให้อัตราการเกิดก๊าซโอโซน ในบรรยากาศเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว



ภาพที่ 2.6 แหล่งกำเนิดของสารอินทรีย์ระเหยที่ทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว (HRVOCs)  
ที่มา: ดัดแปลงจาก Forbes, (2003) อ้างถึงใน เกศศิณี อุระพานัก, (2553)

2) บ้านเรือนและภายในอาคาร ส่วนประกอบในวัสดุสิ่งก่อสร้าง และส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ใช้ในอาคารบ้านเรือน ถือเป็นแหล่งกำเนิดสารก่อมลพิษที่สำคัญภายในอาคาร โดยเฉพาะสารประกอบคาร์บอนิลและปีเทคที่ถูกจัดอยู่ในสารกลุ่มสารอินทรีย์ระเหย โดยองค์การอนามัยโลก (World Health Organization [WHO], 1987: online) ได้แบ่งกลุ่มสารก่อมลพิษประเภทอินทรีย์ และอินทรีย์ในอาคารดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การแบ่งกลุ่มของตัวก่อมลพิษประเภทสารอินทรีย์และสารอินทรีย์ในอาคารจาก WHO

ลักษณะ	ตัวย่อ	จุดเดือด (°C)	ตัวอย่างสารประกอบ
Very Volatile (gaseous) Organic Compounds	VVOC	<0 ถึง 50-100	propane, butane, methyl chloride
Volatile Organic Compounds	VOC	50-100 ถึง 240-260	formaldehyde, d - Limonene, toluene, acetone, toluene, ethanol (ethylalcohol), 2-propanol (isopropyl alcohol), hexanal
Semi Volatile Organic Compounds	SVOC	240-260 ถึง 380-400	pesticides (DDT, chlordane, plasticizers (phthalates), fire retardants (PCBs, PBB))

ที่มา: WHO (1987: online)

สารคาร์บอนิลและบีเทคที่ปล่อยจากผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทคดังแสดงในตาราง 2.4 ขณะที่ใช้งานและเก็บรักษาในบางครั้งอาจได้กลิ่นสารอินทรีย์ระเหยจากผลิตภัณฑ์เหล่านี้ ปริมาณสารในอากาศจะเพิ่มขึ้นในขณะที่ใช้ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ภายในอาคารและจะค่อยๆ ลดปริมาณลงหลังการใช้ ระยะเวลาที่สารอินทรีย์ระเหยจะคงอยู่ในอาคารขึ้นอยู่กับปริมาณสารเคมีที่ใช้และการระบายอากาศ

ตารางที่ 2.4 แหล่งของ VOC ที่พบบ่อยในอาคาร

สารประกอบ	แหล่ง
Benzene	สี กาวจากพรม particleboard ควันบุหรี่
Xylenes	สิ่งที่คุณพิมพ์ กาว กระดาษติดผนัง สี ควันบุหรี่
Toluene	สี กาว แลคเกอร์ น้ำยาทำความสะอาด ควันบุหรี่
Acetone	กาว พรม particleboard ฝักคลุม bioeffluents
Benzaldehyde	น้ำยาทำความสะอาด chipboard tenax

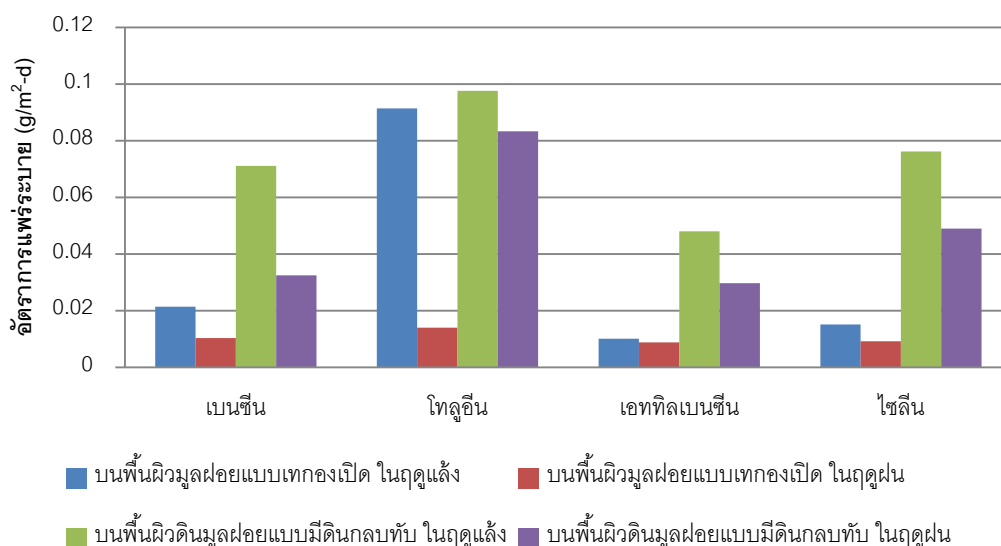
ที่มา: Lagoudi, Loizidou, และ Asimakopoulos (1996)

สารมลพิษในอากาศภายในอาคารถือเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพ เนื่องจากการวิจัยพบว่าประชากรจะใช้ชีวิตประมาณ 90% ในแต่ละวันอยู่ภายในอาคาร (Commission of the European Communities, 2006 อ้างถึงใน Fuselli, Zanetti และ Santarsiero, 2007)



3) สถานที่กำจัดขยะมูลฝอย สารอินทรีย์ระเหยกลุ่มบีเทคเป็นสารอินทรีย์ระเหย ซึ่งมีอยู่ในผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม น้ำมันเชื้อเพลิง และใช้เป็นวัตถุดิบการผลิตในกลุ่มอุตสาหกรรมเคมี พลาสติก สีเคลือบ สีสิ่งพิมพ์ กาว ยาฆ่าแมลง ยากำจัดวัชพืช สารชำระล้าง สารละลายกำจัดไขมันในอุตสาหกรรม ทำให้มีการปนเปื้อนอยู่ในมูลฝอยชุมชนจากเศษวัสดุที่ใช้แล้ว เช่น ภาชนะบรรจุ เศษซากวัสดุที่หมดอายุการใช้งาน จากกิจกรรมในชีวิตประจำวัน ตู้ซ่อมรถยนต์ การเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่อง และกิจกรรมทางการเกษตร เป็นต้น

จากงานวิจัยของ สรรสฤษฎ์ เขียวโพธิ์ภักษ์ (2551) ที่ตรวจวัดอัตราการแพร่ระบาดของสารอินทรีย์ระเหยกลุ่มบีเทคจากกองมูลฝอยใหม่ในสถานที่กำจัดมูลฝอยขององค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี พบว่าอัตราการแพร่ระบาดของสารอินทรีย์ระเหยกลุ่มบีเทคมีปริมาณความเข้มข้นสูงสุดบนพื้นผิวดินในฤดูแล้งโดยมีค่าเฉลี่ย  $7.11 \times 10^{-2}$ ,  $9.7 \times 10^{-2}$ ,  $4.8 \times 10^{-2}$  และ  $7.62 \times 10^{-2}$  g/m<sup>2</sup>-d ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่ากองมูลฝอยแบบเทกองกลางแจ้งและอัตราการแพร่ระบาดของในฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าในฤดูฝนดังแสดงในภาพที่ 2.7 อัตราการแพร่ระบาดของสารอินทรีย์ระเหยกลุ่มบีเทคจากกองมูลฝอยที่มีหน้าดินกลบทับมีค่าสูงกว่ากองมูลฝอยแบบเทกองกลางแจ้ง



ภาพที่ 2.7 เปรียบเทียบอัตราการแพร่ระบาดของสารอินทรีย์ระเหยกลุ่มบีเทคจากกองมูลฝอยเทกองกลางแจ้งและกองมูลฝอยที่มีหน้าดินกลบทับในฤดูแล้งและฤดูฝน  
ที่มา: สรรสฤษฎ์ เขียวโพธิ์ภักษ์ (2551)

เนื่องจากกองมูลฝอยที่มีหน้าดินกลบทับมีปฏิกิริยาการเกิดก๊าซมีเทนที่สูงกว่า ทำให้ความดันในกองมีค่าสูงทำให้การแพร่ระบาดของบีเทค มีค่าสูงตามความดันย่อยของก๊าซ สำหรับในฤดูฝนพบว่าอัตราการแพร่ระบาดของบีเทคมีค่าต่ำกว่าฤดูแล้ง เพราะมีน้ำเป็นตัวปิดกั้นและหน้าดินกลบทับที่มีความชื้นมีความสามารถในการลดอัตราการแพร่ระบาดของ

4) คลังน้ำมันและสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง การระเหยของสารอินทรีย์ระเหยจากระบบการกักเก็บและแหล่งจำหน่ายน้ำมันเชื้อเพลิงถือเป็นสาเหตุที่สำคัญของปัญหามลพิษทางอากาศโดยเฉพาะในเขตเมืองและเขตอุตสาหกรรมซึ่งกำลังเป็นปัญหาที่ขยายวงกว้างไปทุกแห่ง นอกจากนี้ยังพบว่าสารที่ระเหยจากน้ำมันเชื้อเพลิงและไอเสียรถยนต์ถือเป็นแหล่งกำเนิดสารอินทรีย์ระเหยที่สำคัญต่อกลุ่มคนทำงานและคนทั่วไปที่ได้รับสัมผัส จากงานวิจัยการรับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยของพนักงานสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงในเขตกรุงเทพมหานคร โดยสามารถรายงานค่าความเข้มข้นสารวีไอซี 10 ชนิดหลักที่พบในทุกพื้นที่ศึกษา ได้แก่ เมทิลเทอเทียรีบิวทิลอีเทอร์ เบนซิน ไอโซออกเทน เอ็นเฮปเทน โทลูอีน เอทิลเบนซิน เมตาไซลีน พาราไซลีน และออร์โทไซลีน สไตรีน เอทิลเบนซิน และดีคานาล (decanal) จากการนำสารเมทิลเทอเทียรีบิวทิลอีเทอร์ เบนซิน เอทิลเบนซิน โทลูอีน และไซลีน มาประเมินความเสี่ยงพบว่า พนักงานมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งเนื่องจากรับสัมผัสสารเมทิลเทอเทียรีบิวทิลอีเทอร์ และเบนซินที่สูงกว่าค่าที่ยอมรับได้ ขณะที่ระดับความเสี่ยงของสารเอทิลเบนซินอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (ไพลิน ทวีวงศ์, ศิริมา ปัญญาเมธิกุล และ ทรรตนิย์ พฤกษาสัทธี, 2553) จากการระเหยของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมในระหว่างการเก็บและการขนส่ง และจากเครื่องยนต์ที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ กระทรวงพลังงานจึงกำหนดให้มีการควบคุมการแพร่กระจายของไอน้ำมันไม่ให้ปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศ โดยให้มีการนำไอน้ำมันกลับมาเก็บที่คลังน้ำมันแล้วกำจัดโดยอุปกรณ์ควบคุมไอน้ำมันตามประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่องกำหนดเขตพื้นที่ให้มีการติดตั้งระบบควบคุมไอน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ. 2550 (กรมธุรกิจพลังงาน, 2550)

2.4.2.2 แหล่งกำเนิดที่เคลื่อนที่ได้ (mobile source) หน่วยงานคุ้มครองสิ่งแวดล้อมสหรัฐได้รายงานไว้ว่า 60% ของสารเบนซิน 39% ของอะเซทิลดีไฮด์ และ 33% ของฟอร์มาลดีไฮด์ที่ถูกปล่อยออกมาล้วนมาจากแหล่งกำเนิดที่เคลื่อนที่ได้ (U.S. EPA, 1993) ได้แก่

1) ยานพาหนะ จากการศึกษาลดส่วนแหล่งกำเนิดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่าแหล่งกำเนิดหลักที่มีการปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายออกสู่บรรยากาศอันดับแรกมาจากไอเสียของยานพาหนะ (Suwattiga, 2004 อ้างถึงใน รัฐเขต มูลรินตี๊ะ, 2552) เนื่องจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงของรถยนต์ประเภทต่างๆ ทำให้เกิดสารอินทรีย์ระเหย เช่น เบนซิน โทลูอีน และสารกลุ่มคาร์บอนิล โดยประมาณ 70% ของการปล่อยสารเบนซินจากแหล่งกำเนิดที่เคลื่อนที่มาจากยานพาหนะบนถนน (US.EPA, 1988) โดยรถยนต์จะมีแหล่งที่ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ 3 ทาง คือ จากไอน้ำมันที่ระเหยออกจากถังเก็บน้ำมันเชื้อเพลิง ไอน้ำมันจากเพลลาข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์ และไอเสียที่ออกจากเครื่องยนต์ (วรรณภา เลาวกุล, 2554)

ในปัจจุบันกระทรวงพลังงานมีนโยบายที่จะส่งเสริมการใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่เกิดจากการผสมระหว่างน้ำมันเบนซิน และเอทานอลแปลงสภาพ ในภาวะที่น้ำมันขาดแคลนและราคาน้ำมันสูงขึ้น น้ำมันแก๊สโซฮอล์ถือเป็นเชื้อเพลิงที่มีราคาถูกลง และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ยกตัวอย่างเช่น น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85 มีปริมาณสารมลพิษที่ปล่อยจากไอเสียเครื่องยนต์น้อยกว่าเมื่อเทียบกับน้ำมันเบนซิน โดยปกติเชื้อเพลิงชนิดนี้นิยมใช้อย่างแพร่หลายในประเทศแถบอเมริกาใต้ บราซิล สวีเดน และอเมริกา เนื่องจากเอทานอลเป็นพลังงานชีวภาพที่เผาไหม้สะอาด มีค่าออกเทนสูง และช่วยลดมลพิษจากรถยนต์ แต่จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า การใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85 ส่งผลกระทบทั้งต่อเครื่องยนต์ และเป็นแหล่งกำเนิดสารคาร์บอนิล ได้แก่ สารฟอร์มัลดีไฮด์ และอะเซทัลดีไฮด์ เป็นต้น (อิทธิพล พ่ออามาตย์, 2551: 11) ในการตรวจวัดมลพิษทางอากาศ เช่น สารกลุ่มบีเทค และคาร์บอนิลที่ปล่อยออกจากยานพาหนะที่ใช้แก๊สโซฮอล์เป็นเชื้อเพลิงของกรมควบคุมมลพิษที่ได้ทำการเก็บตัวอย่างสารมลพิษจากท่อไอเสียของยานพาหนะ พบว่าการปล่อยสารคาร์บอนมอนอกไซด์ เบนซิน และ 1,3 บิวทาไดอินจากรถยนต์ที่ใช้แก๊สโซฮอล์ลดลงเมื่อเทียบกับน้ำมันเบนซิน แต่สารไฮโดรคาร์บอน ออกไซด์ของไนโตรเจน (NOx) คาร์บอนไดออกไซด์ เอทิลเบนซิน ไซลีน โทลูอิน ฟอร์มัลดีไฮด์ และอะเซทัลดีไฮด์ มีปริมาณเพิ่มขึ้นดังแสดงในตารางที่ 2.5 (Morknoy, 2008 อ้างถึงใน Mingkwan Kitwattanavong, 2010)

ตารางที่ 2.5 สารมลพิษจากมลพิษทางอากาศจากรถที่ใช้แก๊สโซฮอล์ในประเทศไทย

air toxic pollutants	emission changes
Hydrocarbon	5.73%
Carbon monoxide (CO)	-14.97%
Oxide of Nitrogen (NOx)	12.20%
Carbon Dioxide (CO2)	3.93%
Benzene	-12.86%
1,3 Butadiene	-55.71%
Ethylbenzene	122.34%
Xylene	177.07%
Toluene	6.20%
Formaldehyde	20.72%
Acetaldehyde	127.27%

ที่มา: Mingkwan Kitwattanavong (2010)

จากการวิจัยของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (Environmental Research and Training Center: ERTC) ร่วมกับ JICA (Japan International Cooperation Agency) ภายใต้โครงการวิจัยเรื่อง “Capacity building for Environmental Research in Thailand with Emphasis on Volatile Organic Compounds (VOCs) air pollution measurement” เป็นระยะเวลา 3 ปี (2549-2551) ได้ทำการสำรวจอากาศทั่วกรุงเทพมหานคร ระหว่างปี 2549 -2551 โดยเก็บตัวอย่าง 50 จุด พบว่าปริมาณการแพร่กระจายของสารประกอบคาร์บอนิลในอากาศในเขตกรุงเทพมหานคร มีระดับความเข้มข้นของสารฟอร์มัลดีไฮด์เมื่อเปรียบเทียบกับค่าระดับความเข้มข้นของ OEHHA ที่ใช้ประเมินความเสี่ยงการเกิดมะเร็งสูงกว่าระดับของ OEHHA กำหนดถึง 5 เท่า และนอกจากนี้พบว่าในกรุงเทพมหานครสารฟอร์มัลดีไฮด์ และอะเซทัลดีไฮด์ บริเวณริมถนนมีค่าสูงกว่าบริเวณที่อยู่อาศัย ปริมาณสารฟอร์มัลดีไฮด์และอะเซทัลดีไฮด์ ในอากาศมีปริมาณสูงกว่าในบางประเทศ เช่น ญี่ปุ่น แต่ยังไม่สูงเทียบเท่าประเทศบราซิล ซึ่งมีการใช้น้ำมันแก๊สโซลีนทั้งหมดทั่วประเทศ สารทั้งสองชนิดนี้เป็นเมตาโบไลต์ของเอทานอลและเมทานอลที่มาจากน้ำมันแก๊สโซลีนซึ่งอาจจะส่งผลต่อสุขภาพของประชาชนในอนาคต (กรมอนามัย, 2554)

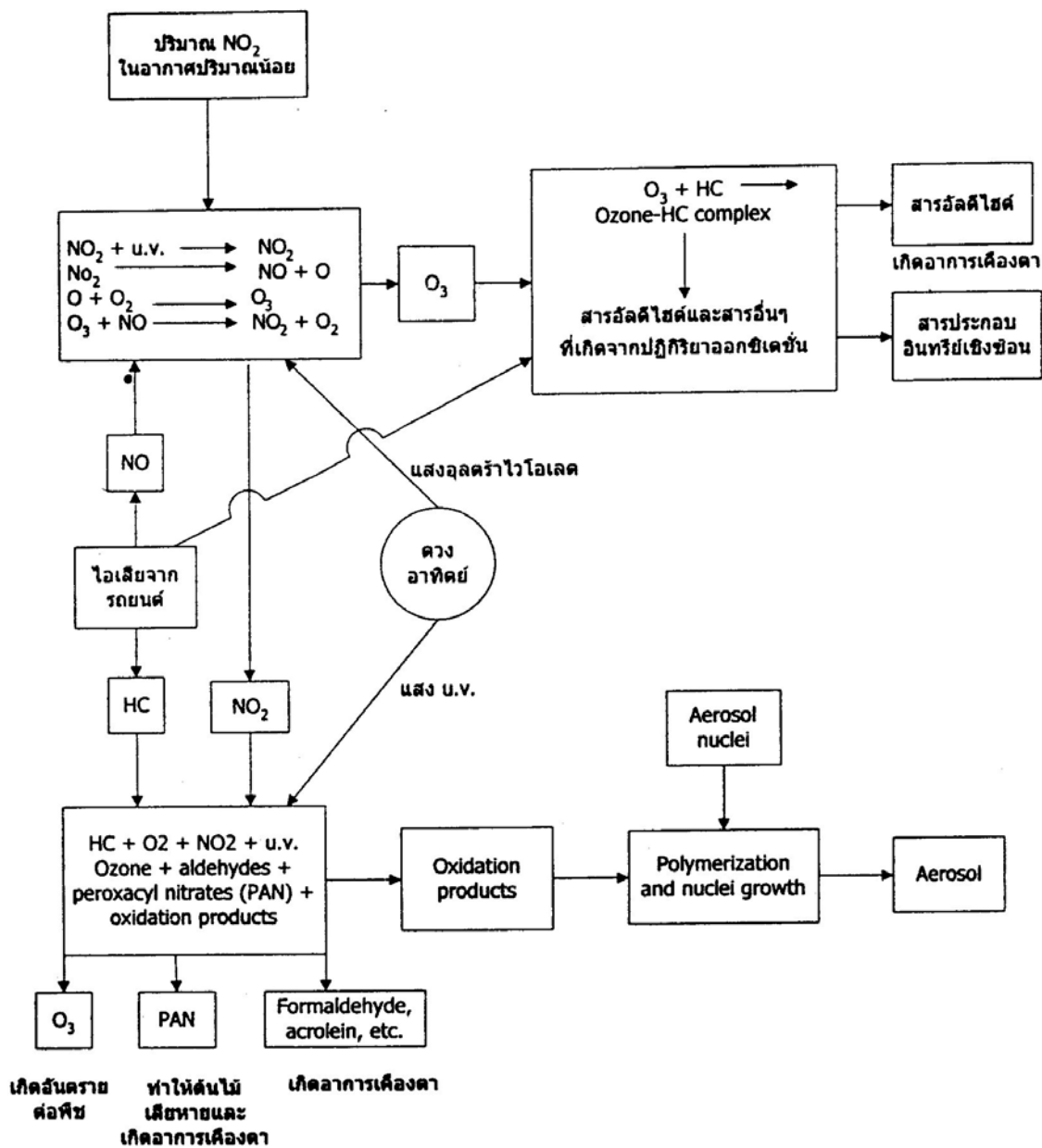
## 2.5 การเกิดสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทคจากปฏิกิริยาเคมีในบรรยากาศ

แหล่งกำเนิดของสารประกอบคาร์บอนิลและสารกลุ่มบีเทค นอกจากจะถูกปล่อยสู่บรรยากาศโดยตรงจากแหล่งกำเนิดที่อยู่กับที่และแหล่งกำเนิดเคลื่อนที่ แล้วยังสามารถเกิดได้จากปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลออกซิเดชันของสารไฮโดรคาร์บอนในสถานะก๊าซ (รวมทั้งสารประกอบคาร์บอนิลและสารกลุ่มบีเทคที่ถูกปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดทั้งโรงงานอุตสาหกรรมหรือไอเสียรถยนต์) กับก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ซึ่งสารที่ได้จากการทำปฏิกิริยา ได้แก่ ไนโตรเจนไดออกไซด์ โอโซน อัลดีไฮด์ เปอร์ออกซิอะซีติลไนเตรท และรวมถึงสารประกอบคาร์บอนิลและสารกลุ่มบีเทคด้วย ดังแสดงในภาพที่ 2.8 ซึ่งผลของปฏิกิริยาก่อให้เกิดสภาพที่เรียกว่า โฟโตเคมีคัลสม็อก (photochemical smog) สารเหล่านี้อาจเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมแม้แต่วันเดียวก็ตาม

การเกิดโฟโตเคมีคัลสม็อก ส่งผลกระทบต่อหลักที่เห็นได้อย่างชัดเจน คือหมอกควันสีน้ำตาลที่พบเหนือเมืองต่างๆ และยังส่งผลกระทบต่อ

1) ผลกระทบต่อพืช สารเคมี เช่น ไนโตรเจนออกไซด์ โอโซน และสารประกอบเปอร์ออกซิอะซีติลไนเตรท (PAN) สามารถส่งผลกระทบต่อพืช สารเหล่านี้อาจลดหรือแม้แต่ยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชได้โดยการลดการสังเคราะห์แสง

2) ผลกระทบต่อสุขภาพ โฟโตเคมีคัลสม็อกสามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ โดยผลกระทบที่เกิดขึ้นจาก สารมลพิษชนิดหลักและสารมลพิษรองของปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล ดังแสดงในตารางที่ 2.6



ภาพที่ 2.8 กระบวนการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลสม็อก  
ที่มา: Elson, D. (1987) อ้างถึงใน นพภาพร พานิช และคณะ (2550)

ตารางที่ 2.6 ผลกระทบต่อสุขภาพของสารมลพิษเกี่ยวข้องกับโฟโตเคมีคัลสม็อก

สารมลพิษ	ผลกระทบ
ไนโตรเจนไดออกไซด์	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ผลกระทบต่อระบบหัวใจและปอด</li> <li>● ความต้านทานต่อการติดเชื้อลดลง</li> </ul>
สารอินทรีย์ระเหย (VOCs)	ระคายเคืองตา ปัญหาทางเดินหายใจ สารบางสารก่อมะเร็ง
โอโซน	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ระคายเคืองตา</li> <li>● ระคายเคืองระบบทางเดินหายใจ (โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โรคหอบหืด)</li> </ul>
เปอร์ออกซิอะซีติลไนเตรต (PAN)	ระคายเคืองต่อดวงตา ปัญหาทางเดินหายใจ

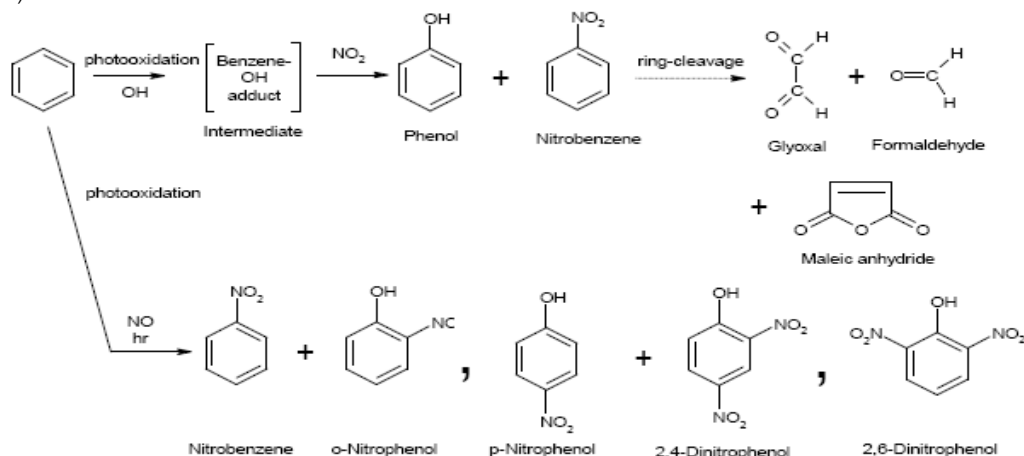
ที่มา: ดัดแปลงจาก U.S. EPA (2004)

3) ผลกระทบต่อวัสดุ โอโซนสามารถทำลายสารต่างๆ ได้ โดยสามารถทำให้เกิดการแตกของยาง การลดลงของแรงตึงผลิตภัณฑ์ เกิดการซีดจางของเส้นใยย้อม การแตกของสี และโอโซนสามารถส่งผลกระทบต่องานศิลปะได้อีกด้วย

จากการตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในเขตกรุงเทพมหานครระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2549 – เดือนกุมภาพันธ์ 2551 พบว่ามีสารอินทรีย์ระเหยบริเวณริมถนนบางชนิดเป็นตัวการสำคัญหรือมีศักยภาพก่อให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลออกซิแดนซ์ในบรรยากาศที่ทำให้เกิดก๊าซโอโซน 5 อันดับแรก ได้แก่ โพรเพน โทลูอิน เมตาไซลีน พาราไซลีน 1,2,4-ไตรเมทิลเบนซีน และออโรไซลีน เมื่อเปรียบเทียบสารในกลุ่มอะโรมาติกทั้งในบริเวณริมถนนและบริเวณที่อยู่อาศัย พบว่า โทลูอินและเมตาไซลีน พาราไซลีน มีบทบาทในการที่จะก่อให้เกิดก๊าซโอโซนในบรรยากาศสูงกว่าสารชนิดอื่นในกลุ่มอะโรมาติก (วรรณ เลาวกุล และคณะ, 2554)

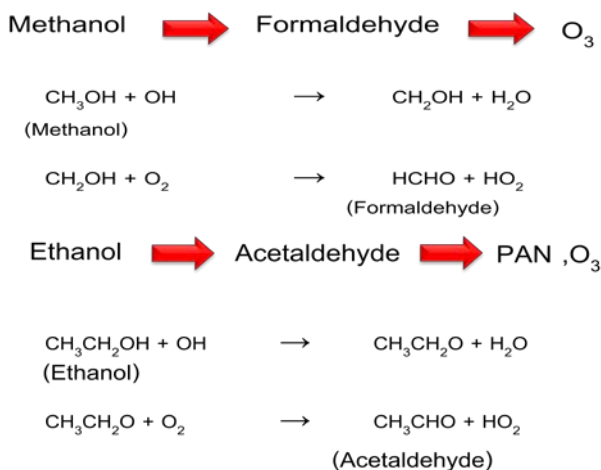
การเปลี่ยนแปลงของสารเบนซินที่อยู่ในบรรยากาศส่วนใหญ่จะอยู่ในสถานะไอ กระบวนการสลายตัวของสารเบนซินโดยส่วนใหญ่จะทำปฏิกิริยากับอนุมูลไฮดรอกซิล (hydroxyl radicals: OH) ในบรรยากาศ ATSDR (2007) ดังแสดงในภาพที่ 2.9 และสารเบนซินยังอาจทำปฏิกิริยากับสารอนุมูลอิสระในบรรยากาศอื่นๆ เช่น อนุมูลไนเตรต และโอโซน ผลิตภัณฑ์บางส่วนจากการเกิดปฏิกิริยาของสารเบนซิน กับ ก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ (ได้แก่ ไนโตรเบนซิน ออโรและพารา-ไนโตรฟีนอล และ 2,4 – และ 2,6 – ไดไนโตรฟีนอล) อาจซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้ส่งผลข้างเคียงต่อสุขภาพของมนุษย์ ปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลออกซิเดชัน (photochemical oxidation) ของสารเบนซินกับไนโตรเจนมอนอกไซด์หรือไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศ ทำให้เกิดสารฟอร์มัลดีไฮด์ กรดฟอร์ม

มิก มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (maleic anhydride) ฟีนอล ไนโตรเบนซีน และ ไกลออกซอล (glyoxal)



ภาพที่ 2.9 ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงทางด้านสิ่งแวดล้อมของสารเบนซีนในบรรยากาศ  
ที่มา: ATSDR (2007)

สารประกอบคาร์บอนิลที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ภายในของเครื่องยนต์เป็นผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนหรือออกซิเจนเนท โดยองค์ประกอบของเชื้อเพลิงจะมีอิทธิพลต่อการปล่อยสารมลพิษ น้ำมันเบนซินประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนเป็นพื้นฐาน แต่ในปัจจุบันได้มีการเพิ่มสารแอลกอฮอล์หรืออีเทอร์เมทิลเทอร์บิวทิล (MTBE) ในเชื้อเพลิงเพื่อลดไอเสียไฮโดรคาร์บอนและคาร์บอนมอนอกไซด์ สารเหล่านี้สามารถเพิ่มการปล่อยสารมลพิษที่เป็นสารออกซิเจนเนทบางชนิดสู่บรรยากาศ เช่น น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของเมทานอลทำให้เกิดสารฟอร์มัลดีไฮด์ น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของสารอีเทอร์เมทิลเทอร์บิวทิลทำให้เกิดสารอะซีโตน และอะโครลีน และการใช้เชื้อเพลิงเอทานอลนำไปสู่การปล่อยสารอะเซทัลดีไฮด์ ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของสารเปอร์ออกซิอะซีติลไนเตรท นอกจากนี้ยังนำไปสู่การก่อตัวของโอโซนและสารประกอบคาร์บอนิล (Zervas, Montagne และ Lahayes, 2002 อ้างถึงใน Daisy Morknoy และคณะ, 2010) ดังแสดงในภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงทางด้านสิ่งแวดล้อมของสารเบนซินในบรรยากาศ

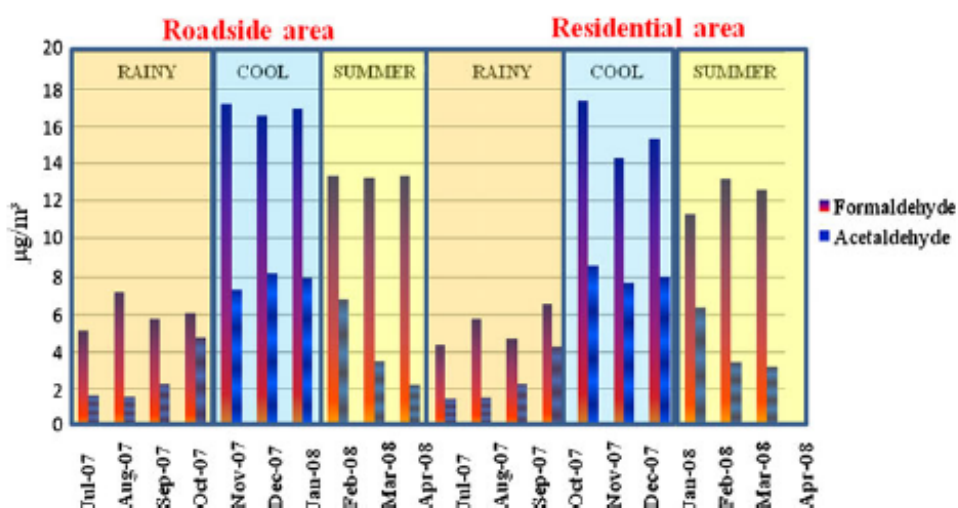
ที่มา: Corrêa, Martins และ Arbilla, 2003; Zervas, Montagne และ Lahayes, 2002 อ้างถึงใน Daisy Morknoy และคณะ, 2010

## 2.6 ปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยาที่เกี่ยวกับการกระจายตัวของสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทค

การแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยนอกจากจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างพันธะ และคุณสมบัติเฉพาะตัวของสารอินทรีย์ระเหยเองแล้ว ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกิดจากสภาพทางอุตุนิยมวิทยาที่จะทำให้อัตราการแพร่ของสารอินทรีย์ไม่เท่ากัน

### 2.6.1 อุณหภูมิและฤดูกาล

ความแตกต่างของอุณหภูมิมีผลต่อปริมาณความเข้มข้นของสารที่เกิดขึ้น จากการตรวจวัดระดับของสารประกอบคาร์บอนิลในบรรยากาศเขตกรุงเทพมหานคร ที่ตรวจวัดบริเวณริมถนนและบริเวณที่พักอาศัย พบว่าความเข้มข้นของสารฟอร์มาลดีไฮด์และอะเซทัลดีไฮด์ มีค่าต่ำในช่วงฤดูฝน (เดือนกรกฎาคม - ตุลาคม) เนื่องจากฝนจะชะล้างสารประกอบไปกับน้ำฝน และมีความเข้มข้นสูงในช่วงฤดูหนาว (เดือนพฤศจิกายน - กุมภาพันธ์) เนื่องจากสภาพทางอุตุนิยมวิทยามีสภาพที่เสถียรเหมาะต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล ซึ่งมีผลต่อความเข้มข้นของสารดังกล่าวในบรรยากาศ และความเข้มข้นจะลดลงเล็กน้อยในช่วงฤดูร้อน (เดือนมีนาคม - มิถุนายน) เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล หรือปฏิกิริยาโฟโตลิซิสของสารเหล่านี้ได้อยู่ภายใต้อุณหภูมิที่สูงในช่วงฤดูร้อน โดยปัจจัยที่มีผลต่อระยะเวลาของสารคาร์บอนิลที่อยู่ในบรรยากาศ ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาของวัน ความเข้มของแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิ (Daisy Morknoy และคณะ, 2010) ดังแสดงในภาพที่ 2.11

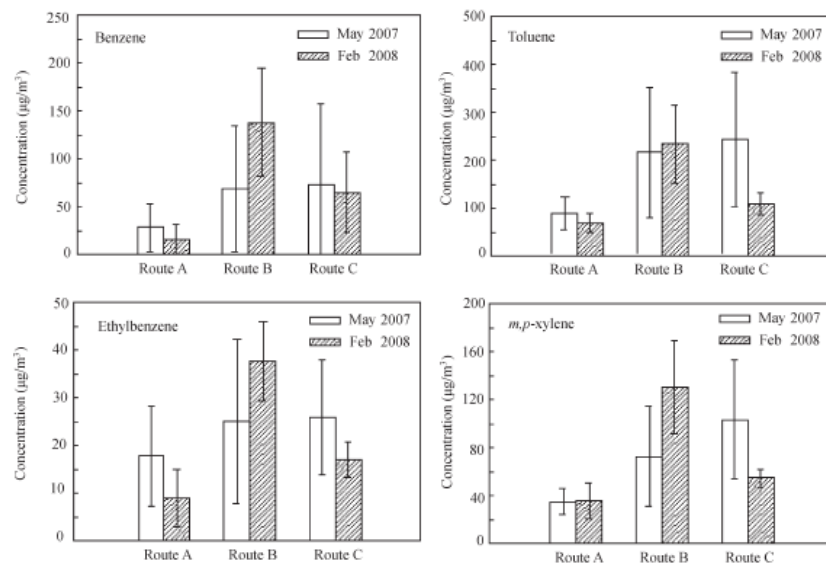


ภาพที่ 2.11 ความเข้มข้นของสารฟอร์มาลดีไฮด์และอะเซทัลดีไฮด์ที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละฤดู



ที่มา: Daisy Morknoy และคณะ (2010)

จากการตรวจวัดการรับสัมผัสสารบีเทคในผู้ใช้บริการรถโดยสารสาธารณะในช่วงฤดูลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (พฤษภาคม 2007) ลักษณะสภาพอากาศมีเมฆมาก ฝนตก และฤดูลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (กุมภาพันธ์ 2008) ลักษณะสภาพอากาศท้องฟ้าเปิด มีแดดแรง ซึ่งลักษณะสภาพอากาศเช่นนี้สามารถเพิ่มการกระจายตัวของสารได้ดีแต่การศึกษาในครั้งนี้ พบว่าปริมาณความเข้มข้นของสารบีเทคในเส้นทางการเดินรถ A และ C มีปริมาณความเข้มข้นของสารบีเทคในเดือนพฤษภาคม สูงกว่าเดือนกุมภาพันธ์ ยกเว้นปริมาณความเข้มข้นของสารไซลีนในเส้นทางการเดินรถ C และปริมาณความเข้มข้นของสารบีเทคในเส้นทางการเดินรถ B มีปริมาณความเข้มข้นของสารบีเทคในเดือนกุมภาพันธ์ สูงกว่าเดือนพฤษภาคม ดังแสดงในภาพ 2.12 เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าปริมาณความเข้มข้นของสารบีเทคในทั้งสองฤดูไม่แตกต่างกันทางสถิติ อาจเป็นผลเนื่องมาจากข้อจำกัดของจำนวนตัวอย่างและปัจจัยอื่น เช่น ปริมาณการจราจรอาจมีผลต่อปริมาณความเข้มข้นของสารมากกว่าลักษณะทางอุตุนิยมวิทยา (Maneerat Ongwandee และ Orathai Chavalparit, 2010)



ภาพที่ 2.12 ความเข้มข้นของสารกลุ่มบีเทคเปรียบเทียบในแต่ละฤดู  
ที่มา: Maneerat Ongwandee และ Orathai Chavalparit (2010)

## 2.6.2 ความชื้นสัมพัทธ์

ระดับความชื้นสัมพัทธ์จะส่งผลต่อระดับการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยที่แตกต่างกัน ปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยในอากาศจะขึ้นอยู่กับระดับความชื้นในอากาศ โดยถ้าระดับความชื้นในอากาศมีปริมาณมากจะส่งผลทำให้การระเหยของสารออกมามากขึ้นด้วย โดยจาก

การศึกษาศารมลพิษทางอากาศบริเวณถนนในช่วงการแข่งขันกีฬาโอลิมปิกที่ Beijing ปี 2008 ของ Wang, Zhu, Zheng และคณะ (2009) พบว่าอิทธิพลจากสภาพทางอุตุนิยมวิทยามีผลต่อปริมาณความเข้มข้นของสารมลพิษที่อยู่ในสถานกึ่งๆ โดยความสัมพันธ์เป็นหนึ่งในปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหย จากการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความสัมพันธ์และความเข้มข้นของสารเบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน และไซลีน พบว่ามีความสัมพันธ์ในเชิงบวก โดยถ้าความสัมพันธ์ในอากาศเพิ่มขึ้นปริมาณความเข้มข้นของสารเบนซิน เอทิลเบนซิน และไซลีนจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน

### 2.6.3. ความเร็วและทิศทางลม

จากการศึกษาศารมลพิษทางอากาศบริเวณถนนในช่วงการแข่งขันกีฬาโอลิมปิกที่ Beijing ปี 2008 ของ Wang, Zhu, Zheng และคณะ (2009) พบว่าความเร็วลมเป็นหนึ่งในอิทธิพลจากสภาพทางอุตุนิยมวิทยามีผลต่อปริมาณความเข้มข้นของสารมลพิษที่อยู่ในสถานกึ่งๆ โดยจากการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความเข้มข้นของสารเบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน และไซลีน พบว่ามีความสัมพันธ์ในเชิงลบ กล่าวคือถ้าความเร็วลมในอากาศเพิ่มขึ้นปริมาณความเข้มข้นของสารเบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน และไซลีนจะมีปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยลดลง

## 2.7 การรับสารประกอบคาร์บอนิลและปีเทคเข้าสู่ร่างกาย

การได้รับสัมผัสสารอินทรีย์ทั้ง 2 กลุ่มนี้เมื่อเข้าสู่ร่างกายแล้วจะกระจายตัวได้อย่างรวดเร็วทางกระแสเลือดและเข้าสู่อวัยวะที่มีเลือดและส่วนประกอบของไขมันมาก เช่น ระบบประสาทส่วนกลาง ไชกระดูก ไต หัวใจ กล้ามเนื้อ และตับ ซึ่งจะมีเอนไซม์และวิถีทางเมตาบอลิซึมหลากหลายแตกต่างกัน โดยการรับสัมผัสประกอบด้วย 3 ทาง

- (1) การหายใจ
- (2) การกิน-ดื่मทางปาก
- (3) การสัมผัสทางผิวหนัง

สารพิษเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกเปลี่ยนแปลงทางเมตาบอลิซึมในระยะแรกที่ตับ โดยอาศัยเอนไซม์ในระบบ นอกจากชนิดของเอนไซม์ที่ใช้จะแตกต่างกันแล้วชนิดของสารอินทรีย์ระเหยที่ได้รับที่มีความเป็นพิษต่อร่างกายจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

1) ช่วงครึ่งชีวิตของสารในร่างกาย ถ้ามีการตรวจวัดสารประกอบอินทรีย์ระเหยในเลือดจะสามารถบอกประวัติการได้รับ หรือการสัมผัสสารในประชากรได้

2) สภาวะภายในร่างกาย และปฏิกิริยา ชีวเคมีทางเมตาบอลิซึมในตับและเนื้อเยื่อ แปรสภาพให้เป็นพิษมากขึ้นหรือน้อยลงได้ และขึ้นอยู่กับปริมาณแอลกอฮอล์หรือสารเคมีอื่นในกระแสเลือด และเนื้อเยื่อด้วย ตัวอย่างเช่น การดื่มสุราหรือเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์จะทำให้ความสามารถในการกำจัด ไซลีนออกจากร่างกายได้ช้าลงประมาณร้อยละ 50

3) การขับสารพิษทิ้ง สารจะถูกขับโดยตรงผ่านไตออกมาทางปัสสาวะ ทางลมหายใจ และโดยทางอ้อมผ่านตับ และน้ำดี ถ้าสารนั้นถูกขับออกได้ง่าย ความเป็นพิษจะน้อยลงกว่าสารเคมีที่ถูกขับออกได้ยาก

## 2.8 ผลกระทบจากสารประกอบคาร์บอนิลและปีเทค

### 2.8.1 ผลกระทบต่อสุขภาพ

#### 2.8.1.1 ผลกระทบของสารฟอร์มัลดีไฮด์ (ATSDR, 1999; U.S.EPA, 2000a)

##### 1) ผลกระทบต่อสุขภาพแบบเฉียบพลัน

- การสัมผัสโดยการหายใจส่งผลต่อจมูก ลำคอ โพรงจมูก เกิดการระคายเคือง มีการไอ หายใจมีเสียง ปวดหน้าอก และเกิดโรคหลอดลมอักเสบ เป็นไปได้ว่าผู้ที่เป็โรคหอบหืดอาจจะมีควมไวต่อผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการสูดดมสารฟอร์มัลดีไฮด์

- การสัมผัสทางการกินส่งผลให้ระบบทางเดินอาหารเกิดการระคายเคืองและอักเสบ เป็นแผลบริเวณปาก หลอดอาหารและกระเพาะอาหาร เกิดการอาเจียน และอาจถึงขั้นเสียชีวิต

- การสัมผัสโดยตรงบริเวณตาและผิวหนัง จะเกิดพิษเฉียบพลันจากการสัมผัสทางผิวหนัง

##### 2) ผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรัง

ฟอร์มัลดีไฮด์ทำให้เกิดโรคหอบ หายใจติดขัดหรือหายใจลำบาก ไอ หรือแน่นหน้าอก จากศึกษาขององค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกาพบว่าการสูดอากาศที่มีฟอร์มัลดีไฮด์ปนเปื้อนที่ความเข้มข้น  $0.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เป็นระยะเวลาตลอดชีวิต (70 ปี) มีโอกาสหนึ่งในล้านที่จะเป็นมะเร็ง

#### 2.8.1.2 ผลกระทบของสารอะเซทัลดีไฮด์ (U.S.EPA, 2000b)

##### 1) ผลกระทบต่อสุขภาพแบบเฉียบพลัน

- การสัมผัสโดยการหายใจส่งผลให้เกิดการระคายเคืองระบบทางเดินหายใจ เมื่อได้รับในปริมาณสูงทำให้เกิดอาการ ไอ บวม น้ำที่ปอด เซลล์และเนื้อเยื่อตาย

- การสัมผัสทางการกินทำให้ผิวหนังบริเวณปาก คอ และท้องถูกทำลายอย่างรุนแรง

- การสัมผัสโดยตรงบริเวณตาและผิวหนัง บริเวณผิวหนังที่บอบบางอาจเกิดผื่นแดงและบวม

## 2) ผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรัง

จากการศึกษาขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกาพบว่าการสูดอากาศที่มีสารอะเซทัลดีไฮด์ปนเปื้อนที่ความเข้มข้น  $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  เป็นระยะเวลาตลอดชีวิต (70 ปี) มีโอกาสหนึ่งในล้านที่จะเป็นมะเร็ง

### 2.8.1.3 ผลกระทบจากสารเบนซิน (ATSDR, 2007a; กรมควบคุมมลพิษ, 2554)

เบนซินสามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้อย่างรวดเร็วโดยทางการหายใจ และการกลืนกินและกระจายสู่ส่วนต่าง ๆ ของร่างกายอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในเนื้อเยื่อไขมัน และเบนซินจะเกิด เมตาโบลิซึมขั้นแรกที่ตับและผ่านเข้าสู่ไขกระดูก และทำให้มีความเป็นพิษขึ้น ในมนุษย์ค่าครึ่งชีวิตของเบนซินคือ 1-2 วัน โดยสารนี้จะถูกปล่อยออกมาพร้อมกับลมหายใจออกผ่านทางปอด และขับออกมาพร้อมกับยูรีน

#### 1) ผลกระทบต่อสุขภาพแบบเฉียบพลัน

- การสัมผัสเบนซินที่ระดับความเข้มข้นสูงๆ โดยการหายใจส่งผลให้เกิดการกดประสาทส่วนกลางทำให้ หัวใจเต้นผิดจังหวะ เชื่องซึม หน้ามืด ตาลาย หายใจเร็ว ปวดศีรษะ ใจสั่น มึนงง หมดสติ และเสียชีวิตเนื่องจากการหายใจล้มเหลว

- การสัมผัสทางการกินที่ระดับความเข้มข้นสูงแต่ไม่สูงจนกระทั่งถึงชีวิตจะทำให้เกิดอาการเวียนศีรษะ การมองเห็นถูกรบกวน เกิดอาการคล้ายตื่นเต้น ซีด หน้าแดง หายใจขัด ปวดศีรษะ ล้า และง่วง

- การสัมผัสเบนซินโดยตรงทางผิวหนัง อาจทำให้เกิดรอยแดงแสบ ระคายเคืองตา ถ้าสัมผัสซ้ำๆ เป็นระยะเวลานาน มีความสัมพันธ์กับการเกิดผิวหนังแห้ง เป็นเกล็ดอักเสบ หรือเกิดการติดเชื้อร่วมด้วย ถ้าเบนซินสัมผัสกับดวงตาอาจก่อให้เกิดการระคายเคืองและทำลายกระจกตา

#### 2) ผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรัง

สารนี้จะก่อให้เกิดการลดลงของจำนวนเม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว และเกล็ดเลือด แต่ในระยะเวลานาน จะก่อให้เกิดภาวะโลหิตจางและเกิดความผิดปกติต่อเม็ดเลือดขาว (leukemia) เนื่องจากเบนซินจะไปทำลายไขกระดูกซึ่งมีหน้าที่ในการผลิตเม็ดเลือดจึงทำให้เกิดภาวะโลหิตจาง และเกิดความผิดปกติของเม็ดเลือดขาวขึ้น รวมทั้งจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบภูมิคุ้มกันนอกจากนั้นพบว่า เบนซินสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อปลายประสาทและไขสันหลังทำให้เกิดอาการปวดศีรษะ ปวดเมื่อย เมื่อยล้า นอนไม่หลับ และความจำเลอะเลือน

- เบนซินจะก่อให้เกิดมะเร็งต่อระบบน้ำเหลือง ปอด กระเพาะปัสสาวะ

- สารนี้สามารถแพร่ผ่านรกได้ แต่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อตัวอ่อนในครรภ์

- การสัมผัสกับเบนซินที่ความเข้มข้นสูง อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบสืบพันธุ์ และมีผลกระทบต่อประจำเดือนในเพศหญิงได้

- สารนี้สามารถก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลง/ก่อให้เกิดความผิดปกติของโครโมโซมในเม็ดเลือดขาว และก่อให้เกิดการทำลาย DNA ในเซลล์เม็ดเลือดได้

#### 2.8.1.4 ผลกระทบจากสารโทลูอีน (ATSDR, 2002; กรมควบคุมมลพิษ, 2544; วิจารณ์ เอกบุญระวัณณ์, 2553ก)

##### 1) ผลกระทบต่อสุขภาพแบบเฉียบพลัน

- การได้รับสัมผัสทางการหายใจ ไอระเหยทำให้ระคายเคือง จมูก คอ ทางเดินหายใจ เกิดอาการปวดศีรษะ วิงเวียนศีรษะ คลื่นไส้ และมีเมื่อย

- การสัมผัสทางการกินทำให้เกิดการระคายเคือง ทำให้ปวดท้อง ปวดศีรษะ วิงเวียน และมีเมื่อย

- การสัมผัสที่ผิวหนังทำให้เกิดการระคายเคือง ทำให้เกิดผื่นแดง ทำให้ตาแดง

##### 2) ผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรัง

การสัมผัสในระยะยาวจะทำให้มีอาการมึนเมา อ่อนเพลีย ปวดหัว วิงเวียน เบื่ออาหาร ความสามารถในการคิดคำนวณไม่ดี อาการทางสมองนี้สามารถเป็นอย่างถาวรได้ กล้ามเนื้ออ่อนแรง ตับเสื่อม ไตเสื่อม (renal tubular acidosis) ระดับเกลือแร่ในเลือดผิดปกติ (hypokalemia) การดื่มสุราจะทำให้การกำจัดโกลูอินออกจากร่างกายทำได้น้อยลง

#### 2.8.1.5 ผลกระทบจากสารเอทิลเบนซิน (ATSDR, 2007b ; วิจารณ์ เอกบุญระวัณณ์, 2553ข)

##### 1) ผลกระทบต่อสุขภาพแบบเฉียบพลัน

ช่องทางการดูดซึมสารเอทิลเบนซินเข้าสู่ร่างกายที่สำคัญที่สุดคือทางการหายใจ ทางผิวหนังสามารถดูดซึมได้เช่นเดียวกับตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ ส่วนทางการกินก็คาดว่าดูดซึมได้ดีเช่นกัน

- การได้รับสัมผัสทางการหายใจ การสัมผัสไอระเหยของสารเอทิลเบนซินที่ความเข้มข้นสูงทำให้เกิดการระคายเคืองต่อตา จมูก คอ ทางเดินหายใจ ไอ่ แ่นหน้าอก ปวดบวม น้ำ ฤทธิ์กดสมองทำให้ มีเมื่อย อ่อนเพลีย ซึม ความรู้สึกตัวลดลง จนถึงกับหมดสติได้ พิษต่อระบบประสาทการมองเห็น อาจทำให้เส้นประสาทตาอักเสบ (retrobulber optic neuritis) ภาพที่มองเห็นหายไปบางส่วน (central scotoma) และตาบอดสี (loss of color vision)

- การสัมผัสที่ผิวหนัง เอทิลเบนซินจะถูกดูดซึมผ่านทางผิวหนังได้ในรูปของสารละลาย ของเหลว และไอระเหย หลังจากดูดซึมเข้าสู่ร่างกายแล้วประมาณ 30 – 40 นาที เอทิล

เบนซินจะกระจายไปในอวัยวะต่างๆ ในเนื้อเยื่อที่มีไขมันมากจะมีการสะสมตัวของสารเอทิลเบนซินได้ดีกว่า เนื่องจากคุณสมบัติในการละลายได้ดีในไขมัน

## 2) ผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรัง

การสัมผัสที่ผิวหนังในระยะยาวทำให้เกิดผื่นแพ้ ผิวแห้งแตก คัน การสูดดมระยะยาวทำให้วิงเวียน มึนงง อ่อนเพลีย คลื่นไส้ เบื่ออาหาร ความจำไม่ดี ซาปลายมือปลายเท้า หัวใจเต้นผิดปกติ หงุดหงิด เคยมีรายงานว่าอาจทำให้เกิดโรคหอบหืดจากการสูดดมระยะยาวได้

### 2.8.1.6 ผลกระทบจากสารไซลีน (ATSDR, 2007c ; วิวัฒน์ เอกบุรณวัฒน์, 2553ค)

#### 1) ผลกระทบต่อสุขภาพแบบเฉียบพลัน

- การได้รับสัมผัสทางการหายใจไอระเหยเข้าไปในปริมาณสูงทำให้ระคายเคืองทางเดินหายใจ อาจทำให้ปอดบวม น้ำภายใน 48 ชั่วโมง หลังการสัมผัสทั้งการกิน การซึมผ่านผิวหนัง และสูดหายใจเข้าไปปริมาณมากๆ จะทำให้เกิดอาการทางระบบประสาทส่วนกลาง ซึ่งถ้าสัมผัสเข้าไปมากจะมีอาการอย่างรวดเร็ว ทำให้วิงเวียน อาจกระวนกระวายหรือซีดลง เดินเซ ความจำไม่ดี คลื่นไส้ ถ้ารุนแรงมากอาจเกิดการหายใจ สับสน และอาจทำให้เกิดภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะอันจะนำไปสู่การเสียชีวิตได้ ทำให้ตับอักเสบและไตวายเฉียบพลัน

- การได้รับสัมผัสทางการกินเข้าไปจะทำให้รู้สึกแสบร้อนในทางเดินอาหาร ระคายเคืองต่อเยื่อ

- การสัมผัสทางผิวหนังทำให้เกิดระคายเคืองผิวหนัง เป็นผื่นแพ้ผิวหนังสัมผัสนานๆ อาจทำให้เกิดตุ่มน้ำและเนื้อตายได้

#### 2) ผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรัง

การสัมผัสที่ผิวหนังระยะยาวจะทำให้เกิดผื่นแพ้ ตุ่มน้ำ ผิวลอก และเนื้อตาย การสูดดมระยะยาวจะทำให้เมา คือ อารมณ์ดีผิดปกติ ความจำไม่ดี อารมณ์แปรปรวน อาจระคายเคืองทางเดินหายใจทำให้ไอบ่อย หลอดลมอักเสบได้ หากได้รับไซลีนร่วมกับแอลกอฮอล์การกำจัดไซลีน ออกจากร่างกายจะทำได้ช้าลง 50 % ดังนั้นในผู้ที่ทำงานสัมผัสสารนี้จึงไม่ควรดื่มเครื่องดื่มประเภทเอทิลแอลกอฮอล์เป็นประจำจะทำให้มีความเสี่ยงต่อการเป็นพิษไซลีนมากขึ้น

### 2.8.2 ความเป็นพิษของสารประกอบคาร์บอนิลและปีเทคต่อมนุษย์

การพิจารณาความเป็นพิษของสารประกอบคาร์บอนิลและปีเทคในลักษณะการเป็นสารก่อมะเร็งดังแสดงในตารางที่ 2.9 โดยหน่วยงานที่เป็นแหล่งอ้างอิงคือ International Agency for Research on Cancer (IARC) ซึ่งเป็นหน่วยงานในสังกัดองค์การอนามัยโลก มีหน้าที่หลักในการพิจารณาว่าสารใดเป็นสารก่อมะเร็ง โดยอาศัยข้อมูลทั้งทางระบาดวิทยาและการทำวิจัยในห้องปฏิบัติการแบ่งเป็น 5 กลุ่มดังแสดงในตารางที่ 2.7 และ EPA's Integrated Risk Information

System (IRIS) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่สร้างโปรแกรมเกี่ยวกับการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์อาจเกิดจากการสัมผัสกับสารปนเปื้อนสิ่งแวดล้อมการจัดกลุ่มสารก่อมะเร็งของ IARC จำแนกออกเป็น 5 กลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.7 การพิจารณาความเป็นพิษของสารก่อมะเร็งโดย IARC

กลุ่ม	ชนิดสารก่อมะเร็ง	ลักษณะของการก่อมะเร็ง
1	ก่อมะเร็งในมนุษย์	สารกลุ่มนี้จำกัดอยู่ในกลุ่มสาร สารประกอบ หรือสถานการณ์ที่มีการสัมผัส ที่พบว่ามีหลักฐาน เพียงพอที่จะก่อให้เกิดมะเร็ง
2A	เป็นไปได้ที่จะก่อมะเร็งในมนุษย์	สารก่อมะเร็งในกลุ่มนี้ เป็นสารที่มีหลักฐานจำนวนน้อย ที่บ่งว่าทำให้เกิดมะเร็งในคน แต่เพียงพอที่จะสรุปได้ว่าทำให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลอง
2B	อาจจะก่อมะเร็งในมนุษย์	มีข้อมูลแน่ชัดว่าเป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ทดลอง แต่ไม่มีข้อมูลเพียงพอว่าเป็นสารก่อให้เกิดมะเร็งในคน
3	ยังจำแนกไม่ได้ว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์	สาร สารประกอบ สถานการณ์ที่มีการสัมผัส หรือส่วนผสมที่ไม่สามารถบ่งได้ว่าเป็นสารก่อมะเร็งในคน
4	ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์	สาร สารประกอบ สถานการณ์ที่มีการสัมผัส หรือส่วนผสมที่ค่อนข้างแน่ชัดว่าไม่ใช่สารก่อมะเร็งในคน

ตารางที่ 2.8 การพิจารณาความเป็นพิษของสารก่อมะเร็งโดย IRIS

กลุ่ม	ชนิดสารก่อมะเร็ง
A	เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์
B1 หรือ B2	มีความน่าจะเป็นว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ - กลุ่ม B1 ยังมีข้อจำกัดของข้อมูลในการทดสอบกับมนุษย์ - B2 จำแนกชัดเจนว่าเกิดพิษกับสัตว์ทดลอง แต่ยังมีข้อมูลไม่พอเพียงหรือยังไม่ชัดเจนพอสำหรับการเกิดพิษกับมนุษย์
C	มีโอกาสเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ได้

D	ไม่สามารถจำแนกได้ว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์
E	จำแนกได้ชัดเจนว่าไม่เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์

ตารางที่ 2.9 ความเป็นพิษในรูปของสารก่อมะเร็งสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทค

การจัดกลุ่มสารก่อมะเร็ง	สารประกอบ	IARC classification	US EPA classification
สารก่อมะเร็ง	Formaldehyde	1	B1
	Acetaldehyde	2B	B2
	Benzene	1	A
	Ethylbenzene	2B	B2
สารไม่ก่อมะเร็ง	Acetone	-	D
	Propionaldehyde	-	-
	Toluene	3	D
	Xylene	3	D

ที่มา: ดัดแปลงจาก IARC (2010) และ U.S.EPA (2012)

## 2.9 หลักการเก็บตัวอย่างสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทค

### 2.9.1 การเก็บตัวอย่างแบบแอกทีฟ (active sampling) (พรพิมล กองทิพย์, 2545)

การเก็บตัวอย่างแบบแอกทีฟ หมายถึง การเก็บตัวอย่างอากาศที่ต้องใช้ปั๊มในการดูดตัวอย่างอากาศให้ไหลผ่านภาชนะหรือหลอดเก็บตัวอย่างที่บรรจุตัวดูดซับชนิดต่างๆ ไว้เพื่อเก็บตัวอย่างสารที่ต้องการตรวจสอบสำหรับนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการต่อไป สำหรับการเก็บตัวอย่างจะอาศัยหลักการอย่างใดอย่างหนึ่งต่อไปนี้

1) การเข้าไปแทนที่อากาศ (air displacement) ตัวอย่างอากาศจะถูกดูดเข้าไปในภาชนะเก็บ (collector) เช่น ขวดหรือถุงสุญญากาศ ถังคานิสเตอร์ เป็นต้น

2) การควบแน่น (condensation) เป็นการเก็บตัวอย่างแก๊ส โดยดูดอากาศเข้าไปในอุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่แช่อยู่ในภาชนะที่บรรจุสารทำความเย็นชนิดต่างๆ เพื่อเป็นการลดอุณหภูมิของแก๊สที่ต้องการตรวจวัดให้ต่ำกว่าจุดเดือด หรือจุดเยือกแข็งทำให้แก๊สเกิดการควบแน่นก่อน



นำไปวิเคราะห์ ระบบควบแน่นต้องใช้อัตราการไหลค่อนข้างต่ำกว่า 10 ลิตร/นาที่ ซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพสูง หากใช้อัตราการไหลสูงขึ้นเวลาที่สัมผัสกับความเย็นจะน้อยลง และอาจนำละอองไอน้ำจากการควบแน่นออกไป หลักการควบแน่นเหมาะที่จะใช้กับตัวอย่าง ที่มีคุณสมบัติที่ระเหยได้ง่ายมาก หรือไม่คงตัวบนตัวดูดซับ

3) การดูดซึม (absorption) เป็นกระบวนการถ่ายเทหรือเคลื่อนย้ายสารในสถานะแก๊สในอากาศไปยังตัวกลางที่เป็นของเหลว (สารดูดซึม) ที่บรรจุอยู่ในขวดดักจับแก๊ส หรือ impinger เป็นเทคนิคที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนและราคาถูกแต่ไม่สะดวกในการเก็บตัวอย่างที่ตัวบุคคลในขณะที่ปฏิบัติงาน เนื่องจากสารละลายหรือตัวกลางซึ่งบรรจุอยู่ในอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอาจหกหรือไหล ขณะผู้ปฏิบัติงานเคลื่อนไหวทำงานของเขาได้

4) การดูดซับ (adsorption) การเก็บตัวอย่างแก๊สที่เป็นที่นิยมโดยก๊าซที่ต้องการเก็บจะถูกดูดติดกับผิวของตัวดูดซับ ที่เป็นของแข็ง โดยการดูดซับของก๊าซตัวอย่างจะเกิดขึ้นที่ผิวโดยที่โมเลกุลของก๊าซจะรวมตัวและดูดด้วยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลเข้าหาผิวของวัสดุที่ดูดจับตัวอย่าง ณ อุณหภูมิเดียวกัน ปริมาณก๊าซที่ถูกดูดจะเป็นสัดส่วนกับความดันของก๊าซ นอกจากนี้การดูดซับยังขึ้นกับพื้นที่ผิวของวัสดุที่ดูดปริมาณก๊าซต่างๆ ที่ดูดจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความสามารถในการระเหย โดยทั่วไปแล้ววัสดุที่ใช้เป็นสารดูดซับจะมีลักษณะเป็นรูพรุนเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิว ขนาดของรูพรุน (pore size) และขนาดของอนุภาคจะเป็นลักษณะสำคัญต่อการดูดซับ อะตอมหรือโมเลกุลที่ถูกดูดซับเรียกว่าสารดูดซับ ส่วนขบวนการที่ทำให้สารดูดซับหลุดออกจากผิวของตัวดูดซับเรียกว่าดีซอร์พชัน

ตัวดูดซับที่นิยมนำมาใช้ในการเก็บตัวอย่าง ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ alumina และ silica gel เป็นต้น ทั้งนี้ การเลือกใช้ตัวดูดซับในการเก็บตัวอย่างแก๊สนั้นจะต้องพิจารณาตามคุณสมบัติของตัวดูดซับแต่ละชนิดด้วย เช่น ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุประเภทไม่มีขั้วจึงชอบดูดซับสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่มีขั้ว เช่น aromatic hydrocarbon, chlorinated hydrocarbon เป็นต้น ส่วน alumina และ silica gel วัสดุประเภทมีขั้ว จึงชอบดูดซับแก๊สที่มีความเป็นขั้วสูงๆ

การเก็บตัวอย่างอากาศด้วยหลอดผงดำน ในกรณีที่สารเคมีมีความเข้มข้นสูง สารเคมีอาจจับอยู่ในส่วนหน้าของหลอดดำเต็มแล้ว ถ้าการเก็บตัวอย่างยังดำเนินต่อไปจะทำให้สารเคมีไปจับอยู่ที่ส่วนหลังของหลอดผงดำนเรียกว่าเกิด breakthrough ถ้าวิเคราะห์ตัวอย่างแล้วพบว่า สารเคมีจับอยู่ส่วนหลังมากกว่า 10 % ของสารเคมีที่จับอยู่ส่วนหน้า แสดงว่าเกิดการ breakthrough จะทำให้ไม่สามารถรายงานผลการวิเคราะห์ได้ เพราะอาจมีสารเคมีสูญหายไป

ระหว่างการเก็บตัวอย่าง ดังนั้นเมื่อจะเก็บตัวอย่างควรตรวจสอบด้วยว่าปริมาณอากาศสูงสุดที่กำหนดให้ใช้เป็นเท่าไร เพื่อป้องกันการเกิด breakthrough

### 2.9.2 การเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ (passive sampling) (สาวิตรี พูลมา, 2548)

เป็นการเก็บตัวอย่างโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของโมเลกุลแก๊สจากความเข้มข้นสูงไปสู่ความเข้มข้นต่ำ ณ สภาวะ steady state โดยการดูดซึมทางเคมีหรือการดูดซับทางด้านกายภาพบนตัวกลางที่ทำให้อมตัวด้วยสารประกอบที่มีความเฉพาะเจาะจงกับสารที่ตรวจวัด ซึ่งวิธีนี้ไม่ต้องใช้ปั๊มในการเก็บตัวอย่าง หลักการเก็บแบบ passive แบ่งได้เป็น 2 แบบ ดังนี้

#### 1) การเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่อาศัยการแพร่ของโมเลกุลแก๊ส

มวลของแก๊สที่เก็บได้จะถูกควบคุมโดยความยาว และเส้นผ่านศูนย์กลางของตัว passive และคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของแก๊สแต่ละชนิด อัตราการเก็บตัวอย่างจะขึ้นอยู่กับค่า diffusion coefficient ของแก๊สที่เก็บและพื้นที่หน้าตัดของตัวเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่อาศัยหลักการแพร่ ส่วนใหญ่นิยมใช้เป็นตัวหลอดที่มีตัวดูดซับที่มีฝาครอบเป็นช่องตะแกรงป้องกันผลกระทบของกระแสลมในขณะเก็บตัวอย่าง ความเข้มข้นของแก๊สสามารถคำนวณได้จากพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ระยะทางจากผิวหน้าของตัว passive ถึงสารดูดซับอัตราการเก็บตัวอย่างและประสิทธิภาพของ desorp

#### 2) การเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่อาศัยการซึมแทรกของโมเลกุลแก๊ส

มวลของแก๊สที่เก็บได้ถูกควบคุม โดยคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของ membrane และคุณสมบัติของแก๊ส มวลแก๊สที่เก็บได้ขึ้นโดยตรงกับอัตราการซึมผ่านของแก๊ส ความเข้มข้นของแก๊สในบรรยากาศ และระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง นอกจากนี้ตัวอย่างแก๊สที่ซึมผ่าน membrane ขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายของแก๊สใน membrane ซึ่งเคลือบด้วยสารที่สามารถละลายแก๊สได้ อาศัยหลักการซึมแทรกของโมเลกุลแก๊สจึงเลือกใช้ศึกษาเฉพาะแก๊สตัวใดตัวหนึ่ง

## 2.10 ค่ามาตรฐานของสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทคที่อนุญาตให้มีในอากาศ

### 2.10.1 ค่ามาตรฐานของสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทคที่อนุญาตให้มีในอากาศภายในสถานที่ทำงาน

สารเคมีทุกชนิดจะมีความเป็นพิษต่อบุคคลที่ได้รับสัมผัสหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับปริมาณการรับสัมผัส ถ้าได้รับเข้าสู่ร่างกายในปริมาณที่มากพอก็อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพได้ และสารเคมีแต่ละชนิดจะมีช่วงของความเข้มข้นหรือปริมาณที่จะทำให้เกิดพิษต่อร่างกายในระดับที่แตกต่างกันออกไป จึงได้มีการเสนอแนะค่ามาตรฐานของสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทคที่อนุญาตให้มีใน

สถานที่ทำงานออกมา ดังแสดงในตารางที่ 2.10 และ 2.11 ตามข้อกำหนดของหน่วยงานต่างๆ ซึ่งค่าที่กำหนดได้มีการอธิบายถึงรายละเอียดของมาตรฐานไว้ดังนี้

1) Threshold Limit Value (TLV) หมายถึง ค่าขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีในบรรยากาศการทำงาน ที่พนักงานเกือบทั้งหมดสัมผัสสารเคมีดังกล่าวซ้ำๆ วันแล้ววันเล่าโดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย กำหนดขึ้นโดย The American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) เพื่อเป็นแนวทางหรือข้อแนะนำในการควบคุมสภาพแวดล้อมในการทำงาน แบ่งออกเป็น

1.1) Threshold Limit Value - Time Weighted Average (TLV-TWA) หมายถึง ค่าความเข้มข้นของสารเคมีในอากาศที่ปลอดภัยสำหรับผู้ปฏิบัติงานจะได้รับในระยะเวลาไม่เกิน 8 ชั่วโมงทำงานติดต่อกันใน 1 วันเป็นเวลา 5 วันต่อสัปดาห์ หรือ 40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์

1.2) Threshold Limit Value - Short Term Exposure Limit (TLV-STEL) หมายถึง ค่าความเข้มข้นสูงสุดของสารเคมีในอากาศที่ปลอดภัยสำหรับผู้ปฏิบัติงานจะได้รับในระยะเวลา 15 นาที และได้รับซ้ำกันไม่เกิน 4 ครั้งใน 1 วัน แต่แต่ละครั้งต้องห่างกันอย่างน้อย 1 ชั่วโมง ถึงแม้ว่าปริมาณที่ได้รับรวมทั้งหมดจะไม่เกินค่า TLV-TWA ก็ตาม

1.3) Threshold Limit Value - Ceiling Exposure Limit (TLV-C) หมายถึง ค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ผู้ปฏิบัติงานจะได้รับขณะใดๆ ที่ปฏิบัติงาน ซึ่งจะสูงเกินกว่าค่าความเข้มข้นนี้ไม่ได้เลย

2) Permissible Exposure Limit (PEL) หมายถึง ปริมาณของสารเคมีที่ผู้ปฏิบัติงานจะสัมผัสกับสารเคมีได้อย่างปลอดภัยซึ่งมักมีค่าใกล้เคียงกับค่า TLV-TWA ตามกฎหมายความปลอดภัยและอาชีวอนามัยแห่งสหรัฐอเมริกา (Occupational Safety and Health Act: OSHA)

3) Recommended Exposure Limit (REL) หมายถึง ค่าความเข้มข้นของสารชนิดใดชนิดหนึ่งที่ NIOSH กำหนดให้เป็นค่าแนะนำให้ใช้เป็นขีดจำกัดความปลอดภัยในการทำงาน โดยในช่วงเวลาใดๆ ไม่ควรเกินค่านี้

หน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการกำหนดค่ามาตรฐานการรับสัมผัสสารในการทำงานประกอบด้วย

- 1) National Institute for Occupational Safety and Health: (NIOSH)
- 2) หน่วยงานตรวจแรงงานด้านความปลอดภัยและอาชีวอนามัย (Occupational Safety and Health Administration : OSHA)
- 3) หน่วยงานภาครัฐของอเมริกาที่กำกับดูแลความปลอดภัยในภาคอุตสาหกรรม (American Conference of Governmental Industrial Hygienists: ACGIH)
- 4) สถาบันความปลอดภัยในการทำงาน กรมแรงงาน กระทรวงมหาดไทย

ตารางที่ 2.10 ค่ามาตรฐานของสารประกอบคาร์บอนิลที่อนุญาตให้มีในสถานที่ทำงาน

สาร	หน่วยงานที่ออกมาตรฐาน	ปริมาณความเข้มข้น		อ้างอิง
		ppm	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
Formaldehyde	ACGIH TLV – TWA	0.3	370	NIOSH, 2010
	NIOSH REL – TWA	0.016	20	
	NIOSH STEL	0.1	130	
	OSHA PEL – TWA	0.75	930	
	กฎหมายไทย TWA	3	3,700	*
Acetaldehyde	ACGIH TLV – TWA	200	$3.6 \times 10^5$	OSHA, 2007a
Acetone	ACGIH TLV – TWA	500	$1.2 \times 10^6$	NIOSH, 1994
	ACGIH STEL	750	$1.8 \times 10^6$	
	NIOSH REL – TWA	250	$5.9 \times 10^5$	
	OSHA PEL – TWA	1,000	$2.4 \times 10^6$	
Acrolein	ACGIH TLV – TWA	0.1	0.23	OSHA, 2006
	NIOSH REL – TWA	0.1	0.25	
	NIOSH STEL	0.3	0.8	
	OSHA PEL – TWA	0.1	0.25	
Propionaldehyde	ACGIH TLV – TWA	20	$4.8 \times 10^4$	OSHA, 2008
Crotonaldehyde	ACGIH TLV – TWA	0.3	800	OSHA, 2010d
	NIOSH REL – TWA (10 ชม.)	2	5,700	
	OSHA PEL – TWA	2	5,700	
Valeraldehyde	ACGIH TLV – TWA	50	$1.76 \times 10^5$	OSHA, 2007b
	NIOSH REL – TWA	50	$1.76 \times 10^5$	

หมายเหตุ:\* ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อม (สารเคมี)

ตารางที่ 2.11 ค่ามาตรฐานของสารกลุ่มบีเทคที่อนุญาตให้มีในสถานที่ทำงาน

สาร	หน่วยงานที่ออกมาตรฐาน	ปริมาณความเข้มข้น		อ้างอิง
		ppm	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
Benzene	ACGIH TLV – TWA	0.5	1,600	OSHA, 2010a
	ACGIH STEL	2.5	8,000	
	NIOSH REL – TWA	0.1	320	
	NIOSH STEL	1	3,200	
	OSHA PEL – TWA	1	3,200	
	กฎหมายไทย TWA	10	$3 \times 10^4$	*
Toluene	ACGIH TLV – TWA	50	$1.88 \times 10^5$	OSHA, 2004
	NIOSH REL – TWA	100	$3.75 \times 10^5$	
	NIOSH STEL	150	$5.65 \times 10^5$	
	OSHA PEL	200	$7.50 \times 10^5$	
	กฎหมายไทย TWA	200	$7.50 \times 10^5$	*
Ethynylbenzene	ACGIH TLV – TWA	100	$4.35 \times 10^5$	OSHA, 2010b
	ACGIH STEL	150	$6.55 \times 10^5$	
	NIOSH REL – TWA (10 ชม.)	100	$4.35 \times 10^5$	
	NIOSH STEL	150	$6.55 \times 10^5$	
	OSHA PEL – TWA	100	$4.35 \times 10^5$	
	กฎหมายไทย TWA	100	$4.35 \times 10^5$	*
Xylene	ACGIH TLV – TWA	100	$4.35 \times 10^5$	OSHA, 2010c
	ACGIH STEL	150	$6.55 \times 10^5$	
	NIOSH REL – TWA	100	$4.35 \times 10^5$	
	NIOSH STEL	150	$6.55 \times 10^5$	

	OSHA PEL – TWA	100	$4.35 \times 10^5$	
	กฎหมายไทย TWA	100	$4.35 \times 10^5$	*

หมายเหตุ:\* ประกาศกระทรวงมหาดไทยเรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี)

## 2.11 การประเมินความเสี่ยง (risk assessment)

การประเมินความเสี่ยงมีวัตถุประสงค์เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการแก้ไขและลดผลกระทบของปัญหาด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อม โดยนำไปใช้เพื่อวิเคราะห์โอกาสเกิดความเสี่ยงด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อมจากการปนเปื้อนของสารเคมีจากแหล่งกำเนิดของสารมลพิษ สามารถนำไปใช้เปรียบเทียบเพื่อกำหนดทางเลือกในการป้องกันผลกระทบ ซึ่งหน่วยงานด้านการประเมินความเสี่ยง ได้แก่

1) U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency) เป็นหน่วยงานหลักที่ศึกษาเรื่องการประเมินความเสี่ยง ในขั้นตอน dose-response assessment นั้น U.S. EPA ได้รายงานค่าความปลอดภัยของสารไม่ก่อมะเร็งด้วยค่า Reference Dose ( $R_fD$ ) และ Reference Concentration ( $R_fC$ ) U.S. EPA ได้คำนวณค่า  $R_fD/R_fC$  ของสารเคมีมากกว่า 500 สารพร้อมทั้งรายละเอียดการคำนวณสามารถสืบค้นได้จากเว็บไซต์ <http://www.epa.gov/iris/>

2) ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) เป็นหน่วยงานหนึ่งของกระทรวงสาธารณสุขประเทศสหรัฐอเมริกาที่ศึกษาเรื่องการประเมินความเสี่ยงของสารไม่ก่อมะเร็งเท่านั้น สำหรับขั้นตอน dose-response assessment นั้น ATSDR รายงานค่าความปลอดภัยด้วยค่า Minimal Risk Level (MRL) ซึ่งหลักการคำนวณเช่นเดียวกับค่า reference dose ของ U.S. EPA ข้อแตกต่างระหว่างฐานข้อมูลของ ATSDR และของ U.S. EPA คือ ATSDR จัดทำ MRL ของสารเคมีเป็น 3 ระดับ คือ ระดับเฉียบพลัน (acute) ระดับปานกลาง (intermediate) และระดับเรื้อรัง (chronic) โดยค่า chronic MRL นั้นเทียบเท่ากับ  $R_fD$  ของ U.S. EPA ในกรณีที่มีข้อมูลการศึกษาด้านพิษวิทยาของสารเคมีที่มีระยะเวลาการศึกษาน้อยกว่าแบบ chronic ATSDR จึงจัดทำค่า MRL สำหรับ acute หรือ intermediate ขึ้นอยู่กับระยะเวลาการศึกษา โดยทั่วไปถ้าการศึกษาระยะสั้นน้อยกว่า 2 เดือน จะกำหนดเป็นค่า acute MRL ถ้าระยะเวลาการศึกษา 2 เดือน – 1 ปี จะกำหนดเป็นค่า intermediate MRL ทำให้การนำค่า MRL ไปใช้ได้กว้างขวางกว่าค่า  $R_fD$  ของ U.S. EPA ซึ่งใช้เฉพาะผลที่เกิดจากการได้รับสารเป็นเวลานาน (chronic effects) เท่านั้น

การประเมินความเสี่ยงประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก คือ

1) Hazard Identification การระบุความเป็นอันตรายของสารเป็นการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อสรุปว่าการได้รับสารเคมีที่กำลังสนใจมีผลเสียต่อสุขภาพอนามัยหรือไม่ เนื่องจากมีสารเคมีเพียงไม่กี่สารเท่านั้นที่มีข้อมูลความเป็นพิษในมนุษย์อย่างแน่ชัด ดังนั้น การระบุอันตรายของสารเคมีจึงรวมถึงผลการศึกษาในสัตว์ทดลองด้วย การประเมินความเสี่ยงจะหยุดเพียงแค่ขั้นตอนการระบุความเป็นอันตรายของสารเท่านั้น ถ้าไม่พบว่าการได้รับสารเคมีที่กำลังศึกษาอยู่นี้ทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์

2) Dose-response assessment เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารที่ได้รับและความรุนแรงของความเป็นพิษทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ ข้อมูลส่วนใหญ่ได้จากการศึกษาในสัตว์ทดลอง และอาจมีบางส่วนที่ได้จากการศึกษาในมนุษย์ การคำนวณความเสี่ยงจากการได้รับสารเคมีจะทำได้นั้น ต้องทราบความสัมพันธ์เชิงปริมาณระหว่างความเป็นพิษและปริมาณสารเคมีที่ได้รับด้วย ในขั้นตอนนี้แบ่งสารเคมีเป็น 2 กลุ่ม คือ

(1) สารไม่ก่อมะเร็ง (non-carcinogen) รวมถึงสารก่อมะเร็งที่ไม่มีผลต่อยีน (non-genetic carcinogen) และความเป็นพิษอย่างอื่นที่ไม่ใช่การเกิดมะเร็ง (non-carcinogenic effects) จากสารก่อมะเร็งแนวความคิดเกี่ยวกับสารไม่ก่อมะเร็งคือ สารเคมีกลุ่มนี้แสดง threshold ซึ่งหมายถึงปริมาณสารเคมีที่มากที่สุด เมื่อได้รับเข้าไปทุกวันแล้วจะไม่ทำให้เกิดความผิดปกติใดๆ

(2) สารก่อมะเร็งที่มีผลต่อยีน (genetic carcinogen) สำหรับสารก่อมะเร็งจะใช้แนวความคิดที่ว่าสารกลุ่มนี้ไม่มี threshold ซึ่งหมายความว่า ไม่ว่าจะได้รับสารก่อมะเร็งปริมาณเล็กน้อยเพียงใดก็ตามแม้เพียง 1 โมเลกุลก็มีโอกาสที่จะเกิดมะเร็งได้

3) Exposure assessment เป็นการประเมินปริมาณสารเคมีที่มนุษย์หนึ่งคนหรือประชากรหนึ่งกลุ่มได้รับจากสิ่งแวดล้อม ขั้นตอนนี้เน้นว่ามีความสำคัญอย่างมากของการประเมินความเสี่ยง ทั้งนี้เพราะความเป็นพิษของสารเคมีจะไม่เกิดขึ้นถ้าไม่ได้รับสารนั้น และความรุนแรงของความเป็นพิษขึ้นกับปริมาณของสารที่ได้รับ ดังนั้นถ้าการประเมินปริมาณสารที่ได้รับผิดพลาดจากความไม่เป็นจริง การคำนวณความเสี่ยงก็จะมีค่าที่ไม่แน่นอนสูง

4) Risk characterization เป็นการรวบรวมเอาข้อมูลและผลการวิเคราะห์ของสามขั้นตอน ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น มาใช้คำนวณความเสี่ยงหรือโอกาสที่จะเกิดผลเสียในมนุษย์จากการได้รับสารเคมี

## 2.12 การป้องกันการรับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิลและปิเทคในระหว่างปฏิบัติงาน

การดำเนินมาตรการป้องกันหรือแก้ไขปัญหาล้างสิ่งแวดล้อมในการทำงานเพื่อลดอันตรายที่อาจเกิดขึ้นต่อสุขภาพอนามัยของผู้ปฏิบัติงานลงให้น้อยที่สุด ซึ่งหลักการควบคุมและป้องกันการประกอบด้วย 3 หลัก การดังนี้

1) การควบคุมและป้องกันที่แหล่งกำเนิด (source) หรือต้นเหตุที่ทำให้เกิดอันตรายเป็นการควบคุมไม่ให้สารเป็นพิษหรือสิ่งคุกคามต่อสุขภาพอนามัยของผู้ปฏิบัติงานแพร่กระจายออกไปสู่บรรยากาศการทำงาน เช่น การเปลี่ยนแปลงระบบระบายอากาศ

2) การควบคุมและป้องกันที่ทางผ่านของอันตราย (path) เป็นการควบคุมอันตรายของสารเป็นพิษที่มาจากแหล่งกำเนิดโดยการใช้วิธีการระบายอากาศทั่วไป การตรวจสอบสภาพสิ่งแวดล้อมในการทำงานหรือการติดตั้งสัญญาณเตือนภัย

3) การควบคุมและป้องกันที่ตัวผู้ปฏิบัติงาน (receiver) เป็นการควบคุมไม่ให้ผู้ปฏิบัติงานได้รับ อันตรายจากการสัมผัสกับสารเป็นพิษจนเกิดความเจ็บป่วย เช่น การให้การศึกษาดูแลการตรวจสุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน และการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล (Personal Protective Equipment: PPE) อุปกรณ์สำหรับผู้ปฏิบัติงานสวมใส่ขณะทำงาน เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นมาจากสภาพและสิ่งแวดล้อมในการทำงานการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล เป็นหนึ่งวิธีในหลายวิธีการป้องกันอันตรายจากการทำงานโดยทั่วไปยึดหลักการป้องกันและควบคุมที่สิ่งแวดล้อมการทำงานก่อน ในกรณีที่ไม่สามารถดำเนินการได้ จึงนำกลวิธีการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลมาใช้ โดยควรเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะสารที่เป็นอันตรายที่ได้รับสัมผัสจากการปฏิบัติงาน อุปกรณ์ควรได้รับการตรวจสอบและรับรองมาตรฐาน มีประสิทธิภาพในการป้องกันอันตราย

### 2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สิริวรรณ เข้มสะอาด (2548) ศึกษาความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิลที่มีความสำคัญในบรรยากาศ ซึ่งได้แก่ สารฟอร์มัลดีไฮด์ และสารอะเซทัลดีไฮด์ บริเวณถนนสีลมซึ่งเป็นย่านธุรกิจของกรุงเทพมหานคร โดยทำการตรวจวัดตั้งแต่ เดือนตุลาคม 2548 - มีนาคม 2549 ในแต่ละเดือนทำการเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 7 วันติดต่อกัน ตั้งแต่เวลา 8.00 - 20.00 น. บริเวณพื้นที่ตรวจวัดเป็นบริเวณที่มีปริมาณการจราจรหนาแน่นโดยมีปริมาณรถประมาณ 10,000 คันต่อวัน ผลการตรวจวัดพบว่าความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของสารฟอร์มัลดีไฮด์สูงกว่าสารอะเซทัลดีไฮด์ โดยมีความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของสารฟอร์มัลดีไฮด์เท่ากับ 23 ppbv (จากช่วง 8 - 74 ppbv) และความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของสารอะเซทัลดีไฮด์ เท่ากับ 20 ppbv (จากช่วง 6 - 61 ppbv) ตามลำดับ ผลการศึกษาได้แสดงถึงอิทธิพลของอุณหภูมิต่อความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดของสารทั้งสองชนิดนี้ คือ ความเข้มข้นของสารฟอร์มัลดีไฮด์และอะเซทัลดีไฮด์ จะมีค่าสูงในเดือนที่มีอุณหภูมิสูงเนื่องจากปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลออกซิแดนซ์ ในบรรยากาศทำให้เกิดสารทั้งสองตัวมากกว่าเดือนที่มีอุณหภูมิต่ำ จากการเก็บตัวอย่างพบว่าในเดือนมีนาคมซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าเดือนมกราคมประมาณ 6 °C ทำให้ปริมาณของสารทั้งสองชนิดในเดือนมีนาคมสูงกว่าเดือนมกราคมประมาณ



10 ppbv นอกจากนี้ ผลการศึกษายังพบว่าในวันทำการจะมีความเข้มข้นของสารทั้งสองชนิดมากกว่าในวันหยุด โดยในวันจันทร์ - ศุกร์ ความเข้มข้นของสารฟอร์มัลดีไฮด์และอะเซทัลดีไฮด์มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนช่วงวันเสาร์ - อาทิตย์ ความเข้มข้นของสารทั้งสองตัวลดลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งบ่งชี้ให้เห็นว่าแหล่งกำเนิดหลักของสารทั้งสองชนิดมาจากการปล่อยไอเสียของรถยนต์ เนื่องจากในวันทำการปริมาณการจราจรบริเวณถนนสีลมมีความหนาแน่นและติดขัดมาก ซึ่งแตกต่างกับวันหยุดราชการซึ่งมีปริมาณการจราจรลดลง

Jo และ Song (2001) ได้ทำการตรวจวัดระดับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหย 6 ชนิด ได้แก่ เบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน เมตาไซลีน พาราไซลีน และออร์โทไซลีน ในอากาศบริเวณสถานที่ทำงาน (workplace air) หรืออากาศบริเวณพนักงานทำงาน (personal air) และตัวแทนอากาศที่พนักงานหายใจเข้าไป (breath samples) ในแต่ละอาชีพที่ได้รับสัมผัสสารระหว่างการทำงาน ได้แก่ ตำรวจจราจร ผู้ขายของอยู่บริเวณริมถนน ผู้ขายของอยู่บริเวณชั้นใต้ดิน พนักงานสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงและพนักงานที่ทำงานบริเวณที่จอดรถ โดยมีกลุ่มควบคุมคือนักศึกษา จากการศึกษาพบว่า ระดับความเข้มข้นของสาร VOCs ที่พนักงานหายใจเข้าไป (breath concentrations) หลังการทำงานมีค่าสูงกว่าระดับความเข้มข้นของสารที่พนักงานหายใจเข้าไปก่อนการทำงาน โดยขึ้นอยู่กับชนิดของสารประกอบและการประกอบอาชีพ โดยอาชีพที่ได้รับสัมผัสระดับความเข้มข้นของสารเบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน เมตาไซลีน พาราไซลีน และออร์โทไซลีน สูงที่สุดคือ พนักงานสถานีบริการน้ำมัน พบว่า ระดับความเข้มข้นของสารที่พนักงานหายใจเข้าไปในช่วงก่อนการทำงานมีค่าเท่ากับ  $26.6 \pm 14.5$ ,  $40.2 \pm 17.5$ ,  $6.1 \pm 2.8$ ,  $6.0 \pm 2.6$ ,  $3.5 \pm 2.0$  และ  $8.9 \pm 3.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ และระดับความเข้มข้นของสารที่พนักงานหายใจเข้าไปในช่วงหลังการทำงาน พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นดังนี้  $41.0 \pm 14.7$ ,  $63.6 \pm 18.8$ ,  $10.3 \pm 4.1$ ,  $11.0 \pm 6.1$ ,  $6.6 \pm 2.8$  และ  $16.1 \pm 5.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ และความเข้มข้นของสารโทลูอีน มีค่าสูงมากในผู้ขายของอยู่บริเวณริมถนน และผู้ขายของอยู่บริเวณชั้นใต้ดิน โดยมีค่าเท่ากับ  $83.6 \pm 48.2$  และ  $93.1 \pm 44.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ เป็นผลเนื่องมาจากแหล่งกำเนิดของสารโทลูอีน มาจากภายในร้านค้า ค่าความเข้มข้นของสารเบนซิน ที่ตำรวจจราจร และพนักงานที่ทำงานบริเวณที่จอดรถได้รับสัมผัส พบว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกัน คือ  $24.0 \pm 11.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และ  $24.9 \pm 11.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ค่าความเข้มข้นของสารเบนซิน ที่ผู้ขายของอยู่บริเวณริมถนนหายใจเข้าไปหลังทำงานมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทั้ง 5 อาชีพที่ทำการเก็บตัวอย่างโดยมีค่าเท่ากับ  $16.8 \pm 7.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ระดับความเข้มข้นของสารที่พนักงานหายใจเข้าไปทั้งก่อนและหลังการทำงาน พบว่ามีระดับสูงกว่ากลุ่มนักศึกษาที่เป็นกลุ่มควบคุม ซึ่งเป็นการยืนยันได้ว่าผู้ที่ทำงานประจำอยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดสาร VOCs เช่น ไอเสียจากยานพาหนะ และไอระเหยจากน้ำมัน จะได้รับสัมผัสกับสาร VOCs ในระดับสูงระหว่างปฏิบัติงาน

ระดับความเข้มข้นของสาร VOCs ที่พนักงานหายใจเข้าไปมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับความเข้มข้นของสาร VOCs ในอากาศบริเวณใกล้กับพนักงาน (ที่ค่า  $P < 0.05$ ) โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ระหว่าง 0.65 - 0.87

Tsai และคณะ (2002) ได้ทำการประเมินการรับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหย ได้แก่ สารกลุ่มบีเทค (เบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน และไซลีน) ของพนักงานที่ทำงานบริเวณช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษ ในช่องเก็บค่าผ่านทางรถประจำทาง/รถบรรทุก ช่องเก็บค่าผ่านทางรถยนต์ที่ใช้เงินสดและช่องเก็บค่าผ่านทางรถยนต์ที่ใช้บัตรเติมเงิน ใน 3 กะการทำงานประกอบด้วย กะกลางวัน (8.00 - 16.00 น.) กะค่ำ (16.00 - 24.00 น.) และกะดึก (24.00 - 8.00 น.) เก็บตัวอย่างด้วยวิธี active sampling ตาม NIOSH 1615 โดยใช้ SKC charcoal tube 100 mg/50 mg ต่อเข้ากับ low-flow sampling pump ที่อัตราการไหล 150 ml/min ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของสารบีเทคในช่องเก็บค่าผ่านทางทั้งสามประเภท ในช่วง 3 กะการทำงาน มีค่าอยู่ในช่วง 6.1 – 27.76, 27.7 – 92.03, 4.26 – 17.54, และ 10.33 – 45.68  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ โดยมีค่า สูงกว่าค่าที่พบในสภาพแวดล้อมทั่วไป ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.51 - 1.44, 1.58 – 3.47, 0.61 - 0.78, และ 1.35 – 2.17  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารในแต่ละช่องเก็บค่าผ่านทางในกะกลางวัน พบว่าปริมาณความเข้มข้นของสารบีเทค ในช่องเก็บค่าผ่านทางรถยนต์ที่ใช้บัตรเติมเงินมีค่าใกล้เคียงกับช่องเรียกเก็บค่าผ่านทางรถยนต์ที่ใช้เงินสด โดยมีค่าเท่ากับ 19.9, 82.64, 14.07, และ 37.17  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ในช่องเก็บค่าผ่านทางรถยนต์ที่ใช้บัตรเติมเงิน มีค่าเท่ากับ 19.1, 81.81, 14.11, และ 37.30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ในช่องเรียกเก็บค่าผ่านทางรถยนต์ที่ใช้เงินสด ตามลำดับ โดยทั้งสองช่องเก็บค่าผ่านทางดังกล่าวมีค่าความเข้มข้นของสารสูงกว่าในช่องเรียกเก็บค่าผ่านทางรถประจำทาง/รถบรรทุก โดยในช่องนี้มีค่าความเข้มข้นเท่ากับ 1.0, 52.42, 8.9, และ 19.63  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารในแต่ละกะการทำงานพบว่า ในช่องเก็บค่าผ่านทางทางรถยนต์ที่ใช้บัตรเติมเงิน ระหว่างกะกลางวันมีค่าความเข้มข้นเท่ากับ 19.9, 82.64, 14.07, และ 37.17  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  และในกะค่ำมีค่าความเข้มข้นเท่ากับ 21.76, 92.03, 17.54, และ 45.68  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  โดยทั้งสองกะมีค่าสูงกว่ากะดึก ในกะดึกมีค่าความเข้มข้นเท่ากับ 11.76, 45.71, 7.6, และ 21.32  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ในการศึกษาครั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการรับสัมผัสสารบีเทคของพนักงานที่ทำงานบริเวณช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษ ในช่องเก็บค่าผ่าน ทั้ง 3 ประเภท กับการศึกษาอื่นๆ ที่ศึกษาเกี่ยวกับการรับสัมผัสไอเสียจากเครื่องยนต์ ทั้งในผู้โดยสารรถประจำทางที่ศึกษาโดย Jo และ Choi (1996) มีค่าความเข้มข้นของสารบีเทค เท่ากับ 20.22, 75.97, 6.9 และ 39.73  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ในพนักงานขับรถที่ศึกษาโดย Chan และคณะ (1991) มีค่าความเข้มข้นของสารบีเทค เท่ากับ 11.62, 46.47, 8.81 และ 41.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  และในผู้รับสัมผัสอื่นๆ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

Corrêa, Martins และ Arbillia (2003) ได้ศึกษาในระดับสารฟอร์มาลดีไฮด์และอะเซทัลดีไฮด์ในบรรยากาศโดยรอบของเมืองรีโอเดจาเนโร ประเทศบราซิล โดยทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 28 ตัวอย่างในบริเวณย่านใจกลางเมืองที่มีการจราจรหนาแน่น ค่าที่ได้จากการตรวจวัด สารฟอร์มาลดีไฮด์ มีค่าอยู่ระหว่าง 2.74 ถึง 97.85  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  และสารอะเซทัลดีไฮด์ มีค่าระหว่าง 5.61 ถึง 129.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  อัตราส่วนระหว่างสารอะเซทัลดีไฮด์/ฟอร์มาลดีไฮด์ พบว่ามีค่าที่สูง (0.76 ถึง 1.61) โดยมีค่าที่สูงกว่าการตรวจในพื้นที่อื่นๆ ของโลก เป็นผลเนื่องมาจากการใช้เชื้อเพลิงที่มีสารออกซิเจนเนทในประเทศบราซิล มีลักษณะเฉพาะคือ ยานพาหนะจะใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิด hydrated ethanol (มากกว่า 4 ลิตรคันของยานพาหนะที่ใช้งานเบา) น้ำมันแก๊สโซฮอล์ (ส่วนผสมประกอบด้วยน้ำมันเบนซิน และเอทานอลร้อยละ 24) และน้ำมันดีเซล จากการวิเคราะห์ไอเสียจากรถยนต์ และแบบจำลองการคะเนคุณภาพอากาศในเดือนสิงหาคม และธันวาคม 1999 เป็นการยืนยันได้ว่าสารอะเซทัลดีไฮด์ ที่มีระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้นอาจมาจากการปล่อยสารโดยตรงจากยานพาหนะ และจากกระบวนการโฟโตเคมีคอลออกซิแดนซ์ขั้นต้นของสารประกอบอินทรีย์ โดยอัตราส่วนระหว่างสารอะเซทัลดีไฮด์/ฟอร์มาลดีไฮด์ จะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้นของแสงอาทิตย์ การปล่อยก๊าซจากรถยนต์ และอุณหภูมิ

Ho, Lee และ Tsai (2005) ได้ทำการตรวจวัดสารประกอบคาร์บอนิลในเมืองฮ่องกง บริเวณริมถนน Hong Kong Polytechnic University (HKPU) ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างเริ่มจาก 9.00 - 12.00 น. 12.00 - 15.00 น. 15.00 - 18.00 น. และ 18.00 - 21.00 น. พบว่าสารฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารแอลดีไฮด์ ที่พบมากที่สุดในบรรยากาศตามด้วยสารอะเซทัลดีไฮด์ โดยค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารฟอร์มาลดีไฮด์ มีค่าเท่ากับ 4.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (จากช่วง 3.0 - 9.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) และค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารอะเซทัลดีไฮด์ มีค่าเท่ากับ 3.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (จากช่วง 2.2 - 7.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ค่าความเข้มข้นของสารฟอร์มาลดีไฮด์และสารอะเซทัลดีไฮด์ มีค่าสูงสุดในช่วง 9.00 - 12.00 น. เนื่องจากเป็นช่วงที่มีปริมาณการจราจรสูงจึงมีการปล่อยไอเสียรถยนต์ในปริมาณสูง

Hinwood และคณะ (2007) ได้ทำการตรวจวัดปริมาณการรับสัมผัสสารปีเทค ในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ทำการเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 5 วัน ของผู้ที่อาศัยอยู่ในเมืองแอดิเลด เมลเบิร์น เพิร์ท และซิดนีย์ ประเทศออสเตรเลีย ในช่วงฤดูร้อน และฤดูหนาวโดยใช้หลอดเก็บตัวอย่างด้วยวิธีพาสซีฟ และทำการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง gas chromatograph (GC/FID) จากการศึกษา เบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน และไซลีน มีปริมาณเท่ากับ 76.03, 79.89, 51.67 และ 30.27  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารกลุ่มปีเทคของผู้เข้าร่วมเก็บข้อมูลในเมืองเพิร์ท มีค่าต่ำกว่าเมืองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากเมืองเพิร์ท เป็นเมืองที่มีขนาดเล็ก และการจราจรมีความหนาแน่นน้อยกว่าเมืองอื่นๆ และผลการศึกษาค้นคว้าความสัมพันธ์ระหว่างการได้รับสัมผัสสาร

ปีเทียบกับกิจกรรมของผู้เก็บตัวอย่าง พบว่าปริมาณการรับสัมผัสสารปีเทค ของบุคคลที่ทำงานเกี่ยวกับยานยนต์ กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการเติมน้ำมัน การซ่อมแซมรถยนต์ และการใช้เครื่องจักร มีแนวโน้มมากกว่ากลุ่มอื่นๆ

Truc และ Oanh (2007) ได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของสารปีเทค รวมทั้ง CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> รายชั่วโมงบริเวณริมถนน ควบคู่ไปกับปริมาณการจราจรในช่วงฤดูแล้งในปี 2004 ในเมืองฮานอย ประเทศเวียดนาม โดยเลือกศึกษาบริเวณถนน 3 สาย ประกอบด้วย ถนน Truong Chinh (TC) ถนน Dien Bien Phu (DBP) และถนน Nguyen Trai (NT) ซึ่งเป็นถนนที่มีปริมาณการจราจรสูง และเป็นเส้นทางที่ตัดผ่านนิคมอุตสาหกรรม โดยเรียงลำดับถนนที่มีปริมาณการจราจรสูงสุดไปต่ำสุดได้ดังนี้คือ ถนน NT ถนน TC และถนน DBP ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของปีเทค ในถนน TC มีค่าเท่ากับ 65, 62, 15, 43 และ 22 µg/m<sup>3</sup> ในถนน DBP มีค่าเท่ากับ 30, 38, 9, 26 และ 13 µg/m<sup>3</sup> และในถนน NT มีค่าเท่ากับ 123, 87, 24, 56 และ 30 µg/m<sup>3</sup> ซึ่งระดับความเข้มข้นของสารปีเทค บริเวณถนน NT มีค่าสูงสุดเป็นผลจาก ถนน NT เป็นถนนที่มีปริมาณการจราจรสูงสุด และได้รับอิทธิพลจากโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณการจราจรที่สูงขึ้น และการจราจรติดขัดในวันธรรมดาเป็นผลทำให้ระดับสารปีเทคเพิ่มขึ้น และพบในปริมาณที่มากกว่าวันอาทิตย์ ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารปีเทคในชั่วโมงเร่งด่วนที่เฉลี่ยในช่วงเช้า 7.00 – 09.00 น. และในช่วงบ่าย 16.00 - 19.00 น. ในวันธรรมดามีค่าสารปีเทคเท่ากับ 110, 112, 30, 88 และ 45 µg/m<sup>3</sup> และในวันหยุดมีค่าเท่ากับ 47, 71, 17, 51 และ 25 µg/m<sup>3</sup> สำหรับการตรวจวัดระดับสารมลพิษอื่นได้แก่ CO, NO<sub>x</sub> และ SO<sub>2</sub> โดยเครื่องมืออัตโนมัติ พบว่า มีค่าที่ต่ำ และไม่เกินมาตรฐานคุณภาพอากาศของประเทศเวียดนาม

Dutta และคณะ (2009) ได้ทำการเก็บตัวอย่างสารประกอบคาร์บอนิลและปีเทคในเมืองโกลกาตา ประเทศอินเดีย ทำการเก็บตัวอย่าง 12 ชั่วโมง ระหว่างกลางวัน และกลางคืน ในช่วงฤดูร้อนระหว่างเดือนมีนาคม - มิถุนายน 2006 โดยทำการศึกษาใน 3 พื้นที่ได้แก่ (1) New Alipore ตั้งอยู่ใกล้กับถนนที่มีการจราจรคับคั่ง ล้อมรอบด้วยโรงงานขนาดเล็ก (2) Gariahat เป็นเขตที่อยู่อาศัยห่างจากถนนที่มีการจราจรคับคั่ง และ (3) Shyambazar บริเวณริมถนนที่มีปริมาณการจราจรสูงสุดในสามสถานที่ที่เลือกศึกษา ผลการตรวจวัดของทั้ง 3 พื้นที่พบว่า สารฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารคาร์บอนิลที่พบมากที่สุด มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 14.07 - 326.12 µg/m<sup>3</sup> ตามด้วยสารอะเซทัลดีไฮด์ มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 7.60 - 18.67 µg/m<sup>3</sup> และ สารอะซิโตน มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 4.43 - 10.34 µg/m<sup>3</sup> สารกลุ่มปีเทค มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารโทลูอิน สูงสุดเท่ากับ 27.65 - 103.31 µg/m<sup>3</sup> ตามด้วย เบนซีนเท่ากับ 24.97 - 79.18 µg/m<sup>3</sup> ในเมือง โกลกาตา ระดับความเข้มข้นเฉลี่ยของสารคาร์บอนิลใน

บรรยากาศมีค่าค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาในประเทศอื่น ๆ ที่ใช้แก๊สไซซอลด์เป็นเชื้อเพลิง แหล่งกำเนิดหลักของสารคาร์บอนิล ในเมืองโกลกาตา มาจากกิจกรรมของมนุษย์ และระดับของสารปิเทคในเมืองโกลกาตา ยังมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับเมืองอื่นๆ เช่นกัน โดยส่วนใหญ่เกิดจากการใช้น้ำมันเบนซินที่มีส่วนประกอบของสารอะโรมาติกที่มีความเข้มข้นค่อนข้างสูง (เบนซินร้อยละ 3 ในช่วงระยะเวลาการศึกษา) ควบคู่กับปริมาณการจราจรที่หนาแน่นในขณะที่ถนนมีขนาดเล็ก และมาตรการในการควบคุมการปล่อยมลพิษยังไม่เพียงพอ เมื่อทำการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพทั้งสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง และสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งโดยมีการคำนวณจากการได้รับสัมผัสสารของประชาชน โดยสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง ได้แก่ เบนซิน เอทิลเบนซิน ฟอรัมาลดีไฮด์ และอะเซทัลดีไฮด์ การสัมผัสและประเมินความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งที่พบสูงสุดได้แก่ เบนซิน ตามด้วย ฟอรัมาลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ และเอทิลเบนซิน ในทั้ง 3 สถานที่ที่ทำการศึกษา จากการประเมินในพื้นที่ที่ 1, 2 และ 3 พบว่า ค่าความเสี่ยงจากการรับสัมผัสเบนซิน เท่ากับ  $2.81 \times 10^{-5}$ ,  $1.82 \times 10^{-5}$  และ  $3.63 \times 10^{-5}$  ตามลำดับ สำหรับฟอรัมาลดีไฮด์ มีค่าเท่ากับ  $1.73 \times 10^{-5}$ ,  $1.19 \times 10^{-5}$  และ  $2.14 \times 10^{-5}$  ตามลำดับ สำหรับอะเซทัลดีไฮด์ มีค่าเท่ากับ  $2.14 \times 10^{-6}$ ,  $1.25 \times 10^{-6}$  และ  $2.26 \times 10^{-6}$  ตามลำดับ และสำหรับเอทิลเบนซิน มีค่าเท่ากับ  $1.81 \times 10^{-6}$ ,  $6.33 \times 10^{-7}$  และ  $1.14 \times 10^{-6}$  ตามลำดับ ระดับความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งของสารดังกล่าวในพื้นที่ทั้ง 3 ยกเว้นเอทิลเบนซิน ในพื้นที่ที่ 2 มีค่าเกินมาตรฐานที่  $1 \times 10^{-6}$  แสดงให้เห็นถึงการเกิดความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสารอย่างมีนัยสำคัญ

Daisy Morknoy, Pojanie Khummongkol และ Tassanee Prueaksasit (2010) ได้ศึกษา ระดับความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิลในบรรยากาศเขตกรุงเทพมหานคร ที่ตรวจวัดบริเวณถนน 5 แห่ง และบริเวณที่พักอาศัย 5 แห่ง ในระหว่างเดือนกรกฎาคม 2007 - เมษายน 2008 สารฟอรัมาลดีไฮด์และอะเซทัลดีไฮด์ เป็นสารที่ตรวจพบมากที่สุดในกลุ่มสารคาร์บอนิลทั้งหมดในบรรยากาศเขตกรุงเทพฯ สารฟอรัมาลดีไฮด์ มีค่าความเข้มข้นในบรรยากาศบริเวณริมถนน อยู่ในช่วง  $5.14 - 17.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (เฉลี่ย  $11.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ในขณะที่ความเข้มข้นของสารฟอรัมาลดีไฮด์ ในบรรยากาศบริเวณที่อยู่อาศัย มีค่าอยู่ในช่วง  $3.06 - 19.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (เฉลี่ย  $9.65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ความเข้มข้นของสารอะเซทัลดีไฮด์ ในบรรยากาศบริเวณริมถนนมีค่าอยู่ในช่วง  $1.59 - 7.95 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (เฉลี่ย  $3.51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ในขณะที่ความเข้มข้นของสารอะเซทัลดีไฮด์ ในบรรยากาศบริเวณที่อยู่อาศัย มีค่าอยู่ในช่วง  $1.07 - 8.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (เฉลี่ย  $3.11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) สำหรับสารประกอบตัวอื่นๆ มีค่าความเข้มข้นอยู่ในระดับต่ำ ความเข้มข้นของสารฟอรัมาลดีไฮด์และอะเซทัลดีไฮด์ มีค่าต่ำในช่วงฤดูฝน (เดือนกรกฎาคม - ตุลาคม) เนื่องจากฝนจะชะล้างสารประกอบไปกับน้ำฝนและมีความเข้มข้นสูงในช่วงฤดูแล้ง (เดือนพฤศจิกายน - กุมภาพันธ์) เนื่องจากสภาพทาง

อุตุนิยมวิทยามีสภาวะที่เสถียรเหมาะต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล ซึ่งมีผลต่อความเข้มข้นของสารดังกล่าวในบรรยากาศ และความเข้มข้นจะลดลงเล็กน้อยในช่วงฤดูร้อน (เดือนมีนาคม - มิถุนายน) เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล หรือปฏิกิริยาโฟโตลิซิส ของสารเหล่านี้อยู่ภายใต้อุณหภูมิที่สูงในช่วงฤดูร้อน โดยปัจจัยที่มีผลต่อระยะเวลาของสารคาร์บอนิลที่อยู่ในบรรยากาศ ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาของวัน ความเข้มของแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิ จากการศึกษาพบว่าปริมาณความเข้มข้นของ สารฟอร์มัลดีไฮด์และอะเซทัลดีไฮด์ ในพื้นที่ริมถนนที่เพิ่มขึ้นเกี่ยวข้องกับปริมาณการจราจร โดยความเข้มข้นของสารฟอร์มัลดีไฮด์และอะเซทัลดีไฮด์จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ในช่วงชั่วโมงเร่งด่วน (06:00 - 10:00 น. และ 15:00 - 18:00 น.) และในพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่น อย่างเช่น ดินแดง และโชคชัย 4 ซึ่งเป็นผลมาจากปล่อยไอเสียของเครื่องยนต์ และผลจากปฏิกิริยาโฟโต เคมีคัลที่เกิดจากสารอินทรีย์ระเหย เชื้อเพลิงชนิดออกซิเจนเนท และเชื้อเพลิงทดแทนอื่นๆ และในบริเวณที่อยู่อาศัยพบว่าจะมีค่าความเข้มข้นของสารฟอร์มัลดีไฮด์และอะเซทัลดีไฮด์ ที่ต่ำเนื่องจากพื้นที่เหล่านี้อยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดสารมลพิษ

Mingkwan Kitwattanavong (2010) ได้ทำการศึกษารับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิล และปีเตอร์ผ่านการหายใจและการประเมินความเสี่ยงสุขภาพของพนักงานในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง ในกรุงเทพมหานคร การเก็บตัวอย่างช่วงแรกทำการเก็บตัวอย่างในสถานีบริการน้ำมัน 6 แห่ง ในเขตปทุมวัน ระหว่างเดือนพฤษภาคม - มิถุนายน 2010 และช่วงที่สองทำการเก็บตัวอย่างในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงจำนวน 6 แห่งในเขตต่างๆ ของพื้นที่กรุงเทพมหานครโดยรวม ในเดือนพฤศจิกายน 2010 เก็บตัวอย่างสารคาร์บอนิลและปีเตอร์โดยใช้ 2,4 dinitrophenylhydrazine (DNPH) cartridge และ charcoal glass tube ตามลำดับ โดยต่อหลอดทั้งสองชนิดเข้ากับเครื่องปั๊มดูดอากาศสำหรับบุคคลที่อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 100 ml/min เพื่อเก็บตัวอย่างการรับสัมผัสของบุคคล จากการศึกษาพบว่า พนักงานในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงได้รับสัมผัสสารเบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน เมตาไซลีน พาราไซลีน และออร์โทไซลีน ในการศึกษาทั้งสองครั้ง ในช่วงความเข้มข้นเท่ากับ 36.93 - 292.52, 69.21 - 490.38, 7.86 - 52.42, 22.33 - 154.14 และ 5.28 - 49.90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  และได้รับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิลหลักจำนวน 9 ชนิด ได้แก่ ฟอร์มัลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ อะซีโตน โพรพิวโนลดีไฮด์ โครโทนัลดีไฮด์ บิวทิลดีไฮด์ เบนซิลดีไฮด์ วาราลดีไฮด์ และเอ็กซานัลดีไฮด์ ในช่วงความเข้มข้นเท่ากับ 3.40 - 39.66, 1.59 - 35.33, 3.49 - 104.90, 0.27 - 4.78, 0.34 - 19.11, 0.12 - 7.57, 0.13 - 4.57, 0.04 - 3.09 และ 0.18 - 3.96  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพพนักงานสามารถประเมินได้เฉพาะสารประกอบ 8 ชนิด ได้แก่ เบนซิน เอทิลเบนซิน ฟอร์มัลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ โทลูอีน เมตาไซลีน พาราไซลีน ออร์โทไซลีน และโพรพิวโนลดีไฮด์ พบว่าพนักงานในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่า lifetime cancer risk จาก

การรับสัมผัสสารเบนซิน เอทิลเบนซิน ฟอร์มาลดีไฮด์ และอะเซทัลดีไฮด์ อยู่ในช่วง  $4.14 \times 10^{-5}$  -  $4.99 \times 10^{-4}$ ,  $4.28 \times 10^{-6}$  -  $5.72 \times 10^{-5}$ ,  $1.47 \times 10^{-6}$  -  $1.26 \times 10^{-5}$  และ  $8.64 \times 10^{-7}$  -  $2.03 \times 10^{-5}$  ตามลำดับ สารที่ไม่ก่อมะเร็งมีค่า hazard quotients ของการสัมผัส โทลูอีน เมตาไซลีน พาราไซลีน ออโทไซลีน และโพรพิวโนลดีไฮด์ อยู่ในช่วง 0.0044 - 0.0313, 0.0714 - 0.4927, 0.0169 - 0.1595 และ 0.0106 - 0.1910 ตามลำดับ ค่าความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งของพนักงานในสถานบริการน้ำมัน เชื้อเพลิงมีค่าสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งสาร เบนซิน ที่มีค่ามากกว่า  $10^{-6}$  และการรับสัมผัสสารกลุ่มที่ไม่ก่อมะเร็งอาจไม่เพิ่มความเสี่ยงของการเกิดโรคอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องเนื่องจากค่า Hazard Quotients (HQ) มีค่าน้อยกว่า 1

Sucot Nopparatbundit (2011) ได้ทำการประเมินความเสี่ยงสุขภาพจากการรับสัมผัสกลุ่มคาร์บอนิลผ่านทาง การรับสัมผัสทางการหายใจของพนักงานในสถานประกอบการน้ำมันใน กรุงเทพมหานคร ได้ดำเนินการศึกษาในเดือนกุมภาพันธ์ 2554 ใน 4 สถานประกอบการ คือ ในตัวเมืองจำนวน 2 สถานประกอบการและชานเมืองจำนวน 2 สถานประกอบการ และทำการสุ่มพนักงานในสถานประกอบการละ 2 คน พบว่า ค่าการรับสัมผัสสารกลุ่มคาร์บอนิลทางการหายใจต่อวันสำหรับสารกลุ่มที่อาจจะก่อให้เกิดมะเร็ง คือ ฟอร์มาลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ มีค่าอยู่ระหว่าง  $1.90 \times 10^{-5}$  ถึง  $4.11 \times 10^{-4}$  มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน ส่วนการบ่งชี้ความเสี่ยงการเกิดมะเร็งพบว่า พนักงานที่อาจจะมีความเสี่ยงอยู่ระหว่าง 2 คนในสิบล้านคน ถึง 2 คนในหนึ่งแสนคน สำหรับสารในกลุ่มที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง ได้แก่ ฟอร์มาลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ เบนซัลดีไฮด์ วาราลดีไฮด์ โพรพิวโนลดีไฮด์ และบิวทิรัลดีไฮด์ พบว่าค่าการรับสัมผัสสารกลุ่มคาร์บอนิลทางการหายใจมีค่าอยู่ระหว่าง  $4.88 \times 10^{-3}$  ถึง 1.16 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร พบว่ากลุ่มพนักงานอาจจะไม่ได้รับความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสารกลุ่มคาร์บอนิลทางการหายใจ เนื่องจากมีค่าดัชนีบ่งชี้อันตรายของพนักงานน้อยกว่า 1 (Hazard Index <1)

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1. ชั้นเตรียมการ

##### 3.1.1 พื้นที่ทำการศึกษา

##### 3.1.1.1 การกำหนดพื้นที่ทำการศึกษา

จากการศึกษาข้อมูลปริมาณรถที่ใช้บริการด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษย้อนหลังในปี พ.ศ.2551-2553 ในทุกด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ ได้แก่ ทางพิเศษเฉลิมมหานคร (ระบบทางด่วน ชั้นที่ 1) ทางพิเศษศรีรัช (ระบบทางด่วนชั้นที่ 2) และทางพิเศษสายบางพลี-สุขสวัสดิ์ พบว่าด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่มีผู้ใช้บริการสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ ด้านเก็บค่าผ่านทางบางนา (เฉลี่ย 56,092 คัน/วัน) ด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษอโศก 4 (เฉลี่ย 53,329 คัน/วัน) และด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษประชาชื่นขาเข้า (เฉลี่ย 52,630 คัน/วัน) ดังแสดงในภาคผนวก ข ดังนั้นจึงกำหนดพื้นที่ทำการศึกษาได้แก่ด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนา และด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษอโศก 4 ดังแสดงในภาพที่ 3.1 เพื่อเป็นตัวแทนการรับสัมผัสสารคาร์บอนิลและบีเทคของพนักงานที่ปฏิบัติงานในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่มีปริมาณรถใช้บริการสูงสุด



ภาพที่ 3.1 ที่ตั้งด้านเก็บค่าผ่านทางทำการเก็บตัวอย่าง  
ที่มา: การทางพิเศษแห่งประเทศไทย (2554)



### 3.1.1.2 ลักษณะของพื้นที่ที่ทำการศึกษา

พื้นที่ที่ทำการเก็บตัวอย่างประกอบด้วย ด้านเก็บค่าผ่านทางบางนาซึ่งเป็นด่านที่ตั้งอยู่ในบริเวณที่เป็นเส้นทางหลักในการเดินทางเข้าเขตเมือง และเป็นด่านที่ปริมาณการจราจรหนาแน่นที่สุด คือในปี พ.ศ. 2553 มีปริมาณรถใช้บริการเฉลี่ย 57,247 คัน/วัน และด้านเก็บค่าผ่านทางอโศก 4 เป็นด่านที่มีลักษณะเป็นด่านยกระดับตั้งอยู่บริเวณย่านใจกลางเมือง และมีปริมาณการจราจรที่หนาแน่นรองลงมาคือในปี พ.ศ. 2553 มีปริมาณรถใช้บริการเฉลี่ย 54,278 คัน/วัน

### 3.1.2 การกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง

ในแต่ละด่านจะทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 4 จุด โดยทำการเก็บตัวอย่างการรับสัมผัสของตัวพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษในตู้ที่มีการเปิดให้บริการเต็มเวลา 2 ตู้ ทำการเก็บตัวอย่างในบริเวณช่องเก็บค่าบริการอัตโนมัติ (easy pass) 1 ตู้ และเก็บตัวอย่างบรรยากาศบริเวณด่านอีก 1 จุด (ติดตั้งเครื่องหลังด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ ระยะห่างประมาณ 2-3 เมตร) ดังแสดงในภาพที่ 3.2



(ก) เก็บตัวอย่างด้านเก็บค่าผ่านทางอโศก 4

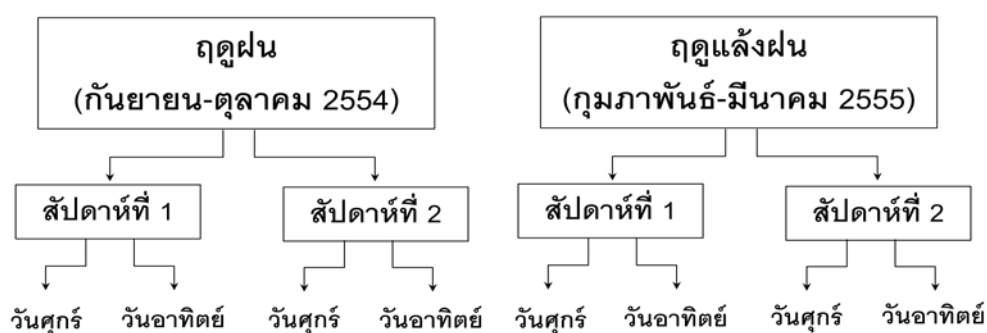


(ข) จุดเก็บตัวอย่างด้านเก็บค่าผ่านทางบางนา

ภาพที่ 3.2 จุดเก็บตัวอย่างในด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ

### 3.1.3 ช่วงเวลาที่ทำการศึกษา

ทำการศึกษาโดยเปรียบเทียบระหว่าง 2 ฤดูกาล คือ เดือนกันยายนเป็นตัวแทนฤดูฝน และเดือนมกราคมเป็นตัวแทนฤดูแล้งฝน (แต่ละด้านเก็บ 2 ซ้ำ ใน 1 ฤดู แต่ละซ้ำห่างกัน 2 สัปดาห์) การกำหนดวันและเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างโดยศึกษาจากข้อมูลปริมาณรถที่ใช้บริการด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษย้อนหลังทั้งในด้านบางนาและด้านอโศก 4 โดยใน 1 สัปดาห์เลือกเก็บตัวอย่างในวันที่มีปริมาณรถใช้บริการสูงสุดคือ วันวันศุกร์ และวันที่มีปริมาณรถใช้บริการต่ำสุดคือ วันอาทิตย์ และกะที่เลือกทำการเก็บตัวอย่างคือกะเช้า-กลางวัน (เวลา 06.00-14.00 น.) เป็นช่วงเวลาที่มียปริมาณรถสูงสุดดังแสดงในภาคผนวก ข แผนผังการเก็บตัวอย่างดังแสดงในภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ระยะเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างในช่วงฤดูฝนและแล้งฝน

### 3.1.4 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างและเครื่องมือวิเคราะห์สารประกอบคาร์บอนิลและบีเทค

#### 3.1.4.1 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทค

ทำการเก็บตัวอย่างสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทคโดยอาศัยหลักการแอคทีฟ (active sampling) ที่ต้องใช้ปั๊มเก็บอากาศชนิดพกพาในการดูดตัวอย่างอากาศให้ไหลผ่านหลอดเก็บตัวอย่างที่บรรจุตัวดูดซับไว้ด้วยอัตราการไหลคงที่ เพื่อเก็บตัวอย่างสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทคที่ต้องการตรวจสอบสำหรับนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการต่อไป สำหรับชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศ ประกอบด้วย

1) หลอด 2,4 dinitrophenylhydrazine (DNPH) cartridge (Presep - C DNPH (Short)) ภายในหลอดบรรจุ Silica gel ที่เคลือบด้วย 2,4-dinitrophenylhydrazine ผลิตโดยบริษัท Wako Pure chemical Industries ดังแสดงในภาพที่ 3.4 (ก)

2) หลอด charcoal glass tube ชนิด Jumbo ผลิตโดยบริษัท Sibata Scientific Technology เป็นหลอดแก้วที่บรรจุ activated charcoal ขนาด 20-40 mesh 2 ส่วน ส่วนหน้าบรรจุ 400 mg และส่วนหลังบรรจุ 200 mg ดังแสดงในภาพที่ 3.4 (ข)

3) เครื่องปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศชนิดพกพา minipump รุ่น MP-Sigma 30 ผลิตโดยบริษัท Sibata Scientific Technology ดังแสดงในภาพที่ 3.4 (ค) สามารถปรับอัตราการดูดอากาศในช่วง 0.1 - 0.5 L/min ทำการปรับเทียบอัตราการไหลด้วยเครื่อง Gilibrator-2 Air Flow Calibrator ผลิตโดยบริษัท Sensidyne Industrial Health & Safety



(ก) 2,4 DNPH cartridge (ข) charcoal glass tube (ค) ปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศชนิดพกพา

### ภาพที่ 3.4 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างสารประกอบคาร์บอนิลและปีเทค

#### 3.1.4.2 เครื่องมือวิเคราะห์สารประกอบคาร์บอนิลและปีเทค

1) วิเคราะห์หาปริมาณสารคาร์บอนิลโดยใช้ เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น SPD 20A โดย detector ที่ใช้คือ UV-detector สารที่ใช้เป็น mobile phase ประกอบด้วย acetonitrile-HPLC grade (ACN-HPLC grade) และน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 3.5 (ก) สารละลายมาตรฐานที่ใช้คือ T011/IP-6A Aldehyde/Ketone-DNPH Mix ผลิตโดยบริษัท Supelco ประกอบด้วยสารประกอบคาร์บอนิล 15 ชนิด ได้แก่ formaldehyde, acetaldehyde, acetone, acrolein, propionaldehyde, crotonaldehyde, butyraldehyde, benzaldehyde, isovaleraldehyde, valeraldehyde, o-tolualdehyde, m,p-tolualdehyde, hexanaldehyde และ 2,5-dimethylbenzaldehyde สภาวะของเครื่องในการวิเคราะห์สารประกอบคาร์บอนิลอ้างอิงตามวิธีของ Morknoy (2008) อ้างใน Mingkwan Kitwattanavong (2010) ดังแสดงในตารางที่ 3.1 โดยทำการวิเคราะห์ที่ศูนย์ฝึกอบรมและวิจัยด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Research and Training Centre: ERTC)

ตารางที่ 3.1 สภาวะของเครื่องในการวิเคราะห์สารประกอบคาร์บอนิล

Main Column	RP Amide Discovery C16 250 cm x 4.6 mm i.d. with 0.5 $\mu$ m packing
Pre- Column	RP Amide C16 2 cm x 4.0 mm i.d. with 0.5 $\mu$ m packing
Mobile Phase	A: water HPLC grade (45%) B: acetonitrile HPLC grade (55%)
Column Temperature	40°C
Flow rate	1.0 ml/min
Detector	UV detector
Wavelength	360 nm
Injection volume	25 $\mu$ L
Gradient Program	Time (min)
Acetonitrile : 55%	20
Acetonitrile : 65%	5
Acetonitrile : 55%	5

ที่มา: Daisy Morknoy (2008) อ้างถึงใน Mingkwan Kitwattanavong (2010)

2) การวิเคราะห์หาปริมาณสารปิเทคโดยใช้ เครื่อง Gas Chromatography (GC) ยี่ห้อ Agilent รุ่น HP 6890N โดย detector ที่ใช้คือ Flame Ionization Detector (FID) มี carrier gas คือ Helium (He), Nitrogen (N<sub>2</sub>), Hydrogen (H<sub>2</sub>), และ Air zero ดังแสดงในภาพที่ 3.5 (ข) สารละลายมาตรฐานที่ใช้คือ BTEX-Standard ผลิตโดยบริษัท Fluka ประกอบด้วยสารปิเทค 5 ชนิด ได้แก่ benzene, toluene, ethylbenzene, m,p-xylene และ o-xylene สภาวะของเครื่องในการวิเคราะห์สารประกอบคาร์บอนิลอ้างอิงตามวิธีของ Mingkwan Kitwattanavong (2010) ดังแสดงในตารางที่ 3.2 โดยทำการวิเคราะห์ที่ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย (ศสอ.) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ตารางที่ 3.2 สภาวะของเครื่องในการวิเคราะห์สารบีเทค

Capillary Column	HP-5 size 30 m × 0.32 mm × 0.25 μm (19091J-413)			
Carrier Gas	Nitrogen (N <sub>2</sub> ) Helium (He) Hydrogen (H <sub>2</sub> ) Air zero			
Flow rate of He	1.5 ml/min			
Type of Injection	Spiltless			
Injection volume	1 μL			
Injector Temperature	300 °C			
Detector	Flame Ionization Detector (FID)			
Detector Temperature	300 °C			
Oven Ramp	°C/min	Next °C	Hold (min)	Run Time (min)
Initial		35	0.00	0.00
Ramp 1	5.00	120	0.00	17.00
Ramp 2	20.00	230	5.00	27.50

ที่มา: Mingkwan Kitwattanavong (2010)



(ก) เครื่อง HPLC/UV



(ข) เครื่อง GC/FID

ภาพที่ 3.5 เครื่องมือวิเคราะห์สารประกอบคาร์บอนิลและบีเทค

### 3.1.5 การเตรียมปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศ

ปรับเทียบอัตราการไหลของเครื่องปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศชนิดพกพา ที่ต่อเข้ากับหลอด charcoal glass tube และ 2,4 DNPH cartridge ให้อัตรามีค่าเท่ากับ 100 ml/min โดยใช้เครื่อง Gilibrator-2 Air Flow Calibrator ดังแสดงในภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 ชุดอุปกรณ์การปรับเทียบอัตราการไหลของปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศ

### 3.1.6 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบคาร์บอนิลและปีเทค

#### 3.1.6.1 การสร้าง calibration curves

การสร้าง calibration curves ของสารประกอบคาร์บอนิลโดยการเตรียมสารละลายมาตรฐานคาร์บอนิลผสม 15 ชนิด ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 6 ความเข้มข้น ประกอบด้วย 0.005, 0.010, 0.050, 0.100, 0.500 และ 1.200  $\mu\text{g/ml}$  ( $1 \mu\text{g/ml} = 1 \text{ ppm}$ ) แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วย HPLC/UV ตามสภาวะที่เหมาะสมแล้วนำค่าพื้นที่ใต้กราฟไปสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างพื้นที่ใต้กราฟกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่เตรียม โดยค่า  $R^2 \leq 0.999$  ในสารทุกตัว

การสร้าง calibration curves ของสารประกอบปีเทคโดยการเตรียมสารละลายมาตรฐานปีเทคผสมที่ความเข้มข้น 250, 500, 1,000, 2,000, 4,000 และ 8,000  $\text{ng/ml}$  ( $1,000 \text{ ng/ml} = 1 \text{ ppm}$ ) ในแต่ละความเข้มข้นจะมีสารละลายมาตรฐาน toluene d-8 (internal standard) ผสมอยู่ด้วย แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วย GC/FID ตามสภาวะที่เหมาะสมและนำค่ามาที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐานเช่นกัน

#### 3.1.6.2 Limits of detection (LOD) และ Limit of quantification (LOQ)

ค่า Limits of detection (LOD) และ Limit of quantification (LOQ) ของเครื่อง HPLC/UV สามารถคำนวณจากการเตรียมสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นต่ำ โดยเตรียมที่ความเข้มข้น 0.05  $\text{mg/L}$  จำนวน 7 ขั้ว จากนั้นฉีดเข้าเครื่อง HPLC/UV ตามสภาวะที่เหมาะสมแล้วทำการคำนวณหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ซึ่งสามารถคำนวณหาค่า LOD ค่า LOQ และ % RSD ได้จากสมการที่ 3.1, 3.2, และ 3.5

$$\text{LOD} = 3 \times \text{ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน} \quad (3.1)$$

$$\text{LOQ} = 10 \times \text{ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน} \quad (3.2)$$

ค่า Limits of detection (LOD) และ Limit of quantification (LOQ) ของเครื่อง GC/FID สามารถคำนวณได้จากการเตรียมสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่ำ โดยเตรียมที่ความเข้มข้น 125 ng/ml จำนวน 3 ซ้ำ จากนั้นฉีดเข้าเครื่อง GC/FID ตามสภาวะที่เหมาะสม แล้วทำการคำนวณหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ซึ่งสามารถคำนวณหาค่า LOD ค่า LOQ และ % RSD ได้จากสมการที่ 3.3 และ 3.4 และ 3.5

$$\text{LOD} = (3 \times \text{ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ใช้} \times \text{ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน}) / \text{ค่าเฉลี่ย} \quad (3.3)$$

$$\text{LOQ} = (10 \times \text{ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ใช้} \times \text{ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน}) / \text{ค่าเฉลี่ย} \quad (3.4)$$

$$\% \text{ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ } \% \text{ RSD} = (\text{ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน} \times 100) / \text{ค่าเฉลี่ย} \quad (3.5)$$

### 3.1.6.3 การหาเปอร์เซ็นต์การคืนกลับการสกัดตัวอย่าง (recovery test)

วิธีการสกัดตัวอย่างคาร์บอนิลที่เก็บจากการใช้หลอด 2,4-DNPH cartridge ได้มีการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการสกัดโดยการหาเปอร์เซ็นต์การคืนกลับของการสกัดสารโดย Daisy Morknoy (2008) โดยหาเปอร์เซ็นต์การคืนกลับของสารด้วยการเติมสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.5 ppm ปริมาตร 100  $\mu\text{L}$  เข้าไปในหลอด 2,4-DNPH cartridge จากนั้นนำหลอดที่ฉีดสารละลายมาตรฐานและหลอดที่ไม่ได้ฉีดสารละลายมาตรฐาน (blank) สกัดและวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC/UV เหมือนการสกัดและวิเคราะห์ตัวอย่าง ผลการหาเปอร์เซ็นต์การคืนกลับของสารประกอบคาร์บอนิลทั้ง 14 ชนิดอยู่ในช่วง 69-103 % ดังแสดงในตารางที่ 3.3 ซึ่งวิธีการสกัดตัวอย่างและการวิเคราะห์สารตัวอย่างคาร์บอนิลในการศึกษาครั้งนี้ได้ดำเนินการตามวิธีดังกล่าวเช่นกัน

สำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการสกัดสารบีเทคนัน ไพลิน ทวีวงษ์ (2551) ได้ศึกษาวิเคราะห์โดยเติมสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้น 1,000 ng/ml เข้าไปในหลอด charcoal glass tube และนำมาสกัดด้วยสารละลายคาร์บอนไดออกไซด์แล้ววิเคราะห์ด้วย GC/FID เช่นเดียวกับวิธีการสกัดและวิเคราะห์ตัวอย่าง ผลการหาเปอร์เซ็นต์การคืนกลับของสารบีเทคพบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 86.4 - 120.4 % ดังแสดงในตารางที่ 3.4 ซึ่งวิธีการสกัดตัวอย่างและการวิเคราะห์สารตัวอย่างบีเทคในการศึกษาครั้งนี้ได้ดำเนินการตามวิธีดังกล่าวเช่นกัน

ตารางที่ 3.3 ค่าเปอร์เซ็นต์การคืนกลับของสารประกอบคาร์บอนิล

สาร	เปอร์เซ็นต์การคืนกลับ
Formaldehyde	101
Acetone	80
Acetaldehyde	103
Acrolein	84
Propionaldehyde	85
Crotonaldehyde	69
Butyraldehyde	72
Benzaldehyde	89
Isovaleraldehyde	90
Valeraldehyde	73
o-Tolualdehyde	84
m,p-Tolualdehyde	84
Hexanaldehyde	78
2,5-Dimethylbenzaldehyde	83

ที่มา: Daisy Morknoy (2008)

ตารางที่ 3.4 ค่าเปอร์เซ็นต์การคืนกลับของสารปิเทค

สาร	เปอร์เซ็นต์การคืนกลับ
Benzene	120.4
Toluene	96.0
Ethylbenzene	92.4
o Xylene	89.5
m,p Xylene	86.4

ที่มา: ไพลิน ทวีวงษ์ (2551)



### 3.2 วิธีการดำเนินการ

#### 3.2.1 การเก็บตัวอย่างสารประกอบคาร์บอนิลและปีเทค

##### 3.2.1.1 วิธีการเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างทั้งในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนาและด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ  
อโศก 4 จะทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 3 ลักษณะประกอบด้วย

##### 1) การเก็บตัวอย่างการรับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิลและปีเทคที่ตัวพนักงาน

โดยติดเครื่องปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศชนิดพกพาที่ต่อเข้ากับหลอด charcoal glass  
tube และ 2,4 DNPH cartridge ที่มีอัตราการไหลของอากาศที่ 100 ml/min ให้หลอดเก็บตัวอย่าง  
ทั้ง 2 ชนิดอยู่ในระดับบริเวณเหนือหน้าอกของพนักงานซึ่งถือเป็นตำแหน่งที่เป็นตัวแทนของอากาศ  
ที่พนักงานหายใจดังแสดงในภาพที่ 3.7 โดยเก็บตัวอย่างตลอดระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมง ซึ่ง  
จะติดอุปกรณ์ในลักษณะเดียวกันในพนักงานที่ปฏิบัติงานในตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษในตู้ที่มีการ  
เปิดให้บริการเต็มเวลา จำนวน 2 ตัวอย่างแบ่งออกเป็น ติดตั้งในตู้ที่ให้บริการรถประเภทรถยนต์  
และรถบรรทุก (P1) และตู้ที่ให้บริการรถประเภทรถยนต์เท่านั้น (P2)



ภาพที่ 3.7 การติดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่ตัวพนักงาน

2) การเก็บตัวอย่างปริมาณสารประกอบคาร์บอนิลและปีเทคบริเวณช่องเก็บค่าบริการ  
อัตโนมัติ (easy pass)

โดยติดเครื่องปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศชนิดพกพาที่ต่อเข้ากับหลอด charcoal glass  
tube และ 2,4 DNPH cartridge ที่มีอัตราการไหลของอากาศที่ 100 ml/min ให้หลอดเก็บตัวอย่าง  
ทั้ง 2 ชนิดสูงจากระดับพื้นประมาณ 1.5 เมตร ซึ่งจะติดตั้งไว้บริเวณหน้าต่างช่องเก็บค่าบริการ  
อัตโนมัติ (easy pass) (E) จำนวน 1 ตัวอย่าง

3) การเก็บตัวอย่างปริมาณสารประกอบคาร์บอนิลและปีเทคในบรรยากาศบริเวณด้าน  
เก็บค่าผ่านทางพิเศษ (A)

โดยติดเครื่องปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศชนิดพกพาที่ต่อเข้ากับหลอด charcoal glass tube และ 2,4 DNPH cartridge ที่มีอัตราการไหลของอากาศที่ 100 ml/min ให้หลอดเก็บตัวอย่าง ทั้ง 2 ชนิดสูงจากระดับพื้นประมาณ 1.5 เมตร ซึ่งจะติดตั้งเครื่องหลังด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ ระยะห่างจากตู้เก็บค่าผ่านทางประมาณ 2-3 เมตร จำนวน 1 ตัวอย่าง

เมื่อสิ้นสุดการเก็บตัวอย่างในทั้งสามลักษณะได้ทำการวัดค่าอัตราการไหลของเครื่องปั๊มหลังการเก็บตัวอย่าง

### 3.2.1.3 การเก็บรักษาตัวอย่าง

เก็บรักษาตัวอย่าง หลังจากเก็บตัวอย่างเสร็จแล้วโดยนำหลอด charcoal glass tube และ 2,4 DNPH cartridge ปิดจุกใส่ลงในถุงซิปล็อกปิดให้สนิท แหะในกล่องโฟมที่ควบคุมความเย็น เพื่อนำตัวอย่างจากบริเวณพื้นที่เก็บตัวอย่างไปยังห้องปฏิบัติการเพื่อวิเคราะห์ เมื่อถึงห้องปฏิบัติการนำตัวอย่างแช่ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C และวิเคราะห์ภายใน 30 วัน

### 3.2.2 การเก็บข้อมูลพนักงานเพิ่มเติม

การเก็บข้อมูลเพิ่มเติม โดยใช้แบบสอบถามเพื่อสอบถามข้อมูลทั่วไป ข้อมูลในระหว่างการปฏิบัติงานข้อมูลเกี่ยวกับสุขภาพ และข้อมูลการใช้อุปกรณ์ป้องกันในระหว่างปฏิบัติงาน โดยผู้วิจัย จะมอบแบบสอบถามที่ไม่มีการระบุชื่อและอธิบายรายละเอียดในแบบสอบถามให้พนักงานเป็นผู้ตอบแบบสอบถามด้วยตัวเองในช่วงเวลาพักโดยใช้เวลาประมาณ 5 นาที การตอบแบบสอบถาม จะเกี่ยวข้องกับข้อมูลทั่วไป ข้อมูลการปฏิบัติงาน ข้อมูลเกี่ยวกับสุขภาพ และข้อมูลการใช้อุปกรณ์ป้องกันในระหว่างปฏิบัติงาน จำนวน 43 ชุด เพื่อนำข้อมูลจากการตอบแบบสอบถามของพนักงานไปใช้ในการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของพนักงานในขั้นต่อไป

### 3.2.3 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์

3.2.3.1 การสกัดตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาสารคาร์บอนิลซึ่งเป็นตามวิธีของ US EPA Compendium Method TO - 11A (U.S.EPA, 1999)

- 1) นำหลอด DNPH silica cartridge ต่อเข้ากับ syringe
- 2) เติมน้ำ acetonitrile-HPLC grade ลงใน syringe 5 ml เพื่อสกัดสารที่อยู่ใน DNPH silica cartridge ให้ลงมาใน volumetric flask 5 ml และทำการปรับปริมาตรด้วยสาร acetonitrile-HPLC grade ให้สารละลายที่อยู่ใน volumetric flask ให้มีปริมาตรเท่ากับ 5 ml
- 3) เขย่าให้เข้ากันจากนั้นเทสารจาก volumetric flask ลงในขวดแก้วสีชา ปริมาตร 5 ml เก็บในตู้เย็นเพื่อรอการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC/UV

3.2.3.2 การสกัดตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาสารบีเทคซึ่งเป็นตามวิธีของ US EPA Compendium Method TO -17 (U.S.EPA, 1999) และ Method 1501 (NIOSH, 2003)

- 1) นำ activated charcoal ใน charcoal glass tube เเทลงในหลอดทดลอง โดยแยกส่วนหน้า และส่วนหลัง
- 2) ฉีด (spike) สารละลายมาตรฐาน toluene - d8 ความเข้มข้น 6350 ng/ml ปริมาตร 100  $\mu$ l ลงในหลอดทดลองข้างต้นปิดฝาแล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที เพื่อให้สารทำปฏิกิริยา
- 3) เติมสาร carbon disulfide ( $CS_2$ ) ปริมาตร 2 ml และ 1 ml ลงในหลอดทดลองที่บรรจุ activated charcoal ส่วนหน้า และส่วนหลัง ตามลำดับ ปิดฝาแล้วเขย่าให้สารทำปฏิกิริยาประมาณ 5 นาทีแล้วตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง
- 4) กรองสารละลายเพื่อนำส่วนที่ใสใส่ในขวด vial เพื่อรอการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/FID

### 3.2.4 การคำนวณปริมาณสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทค

#### 3.2.4.1 การคำนวณปริมาณสารประกอบคาร์บอนิล

การคำนวณหาปริมาณสารประกอบคาร์บอนิลที่พนักงานได้รับสัมผัสสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.6 โดยใช้ค่าความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้จากเครื่อง HPLC/UV

$$C_S = \frac{(X_A - X_B) \times V_S}{V_{air}} \quad (3.6)$$

$C_S$  = Concentration of carbonyl ( $\mu$ g/ $m^3$ )

$X_A$  = ความเข้มข้นของสารคาร์บอนิลในตัวอย่าง ( $\mu$ g/ml)

$X_B$  = ความเข้มข้นของสารคาร์บอนิลใน blank ( $\mu$ g/ml)

$V_S$  = ปริมาตรสารในตัวอย่าง 5 ml

$V_{air}$  = ปริมาตรอากาศ ( $m^3$ )

#### 3.2.4.2 การคำนวณปริมาณสารบีเทค

การคำนวณปริมาณสารบีเทคที่พนักงานได้รับสัมผัสทำได้โดยการนำค่าที่ตรวจวัดได้เทียบกับสารละลายมาตรฐานบีเทค ดังแสดงในสมการที่ 3.7

$$\text{ปริมาณความเข้มข้นของสารบีเทค } (\mu\text{g}/m^3) = \left( \frac{P_A - P_B}{P_S} \times C_S \times \frac{V_S}{V_I} \right) / V_{air} \quad (3.7)$$

$C_S$  = ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐาน 8000  $\mu\text{g/ml}$

$P_A$  = Peak area ของสารบีเทคในตัวอย่าง ต่อ peak area ของ Toluene d-8

$P_B$  = Peak area ของสารบีเทคใน blank ต่อ peak area ของ Toluene d-8

$P_S$  = Peak area ของสารบีเทคในสารละลายมาตรฐาน ต่อ peak area ของ Toluene d-8

$V_{\text{air}}$  = ปริมาตรอากาศ ( $\text{m}^3$ )

### 3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS statistics version 17.0 โดย

1) วิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นสารบีเทคในระหว่างวันและระหว่างฤดู ด้วยวิธี Paired samples T-test และใช้สถิติ nonparametric Wilcoxon signed ranks test ในกรณีที่ข้อมูลไม่มีการแจกแจงแบบปกติ (normal distribution)

2) วิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของสารบีเทคในระหว่างด้านเก็บค่าผ่านทางด้วยวิธี Independent samples T-test

3) วิเคราะห์ความแตกต่างของความเข้มข้นของสารบีเทคในแต่ละตำแหน่งที่ทำการเก็บตัวอย่างด้วยวิธี One Way ANOVA: post HOC Multiple Comparison – LSD

4) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบคาร์บอนิลและปริมาณรถ และความสัมพัทธ์ระหว่างสารชนิดปฐมภูมิกับสารชนิดทุติยภูมิด้วยวิธี Pearson's correlations

5) วิเคราะห์หาช่วงของค่าความเสี่ยงสำหรับสารก่อมะเร็งและสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งเบื้องต้นด้วย 95 % confidence interval

### 3.4 การประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสารคาร์บอนิลและบีเทค

การประเมินโอกาสที่จะเกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษจากการได้รับสัมผัสสารคาร์บอนิลและบีเทคผ่านทางหายใจสามารถประเมินได้ตามวิธีของ U.S. EPA การประเมินความเสี่ยงประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ

#### 3.4.1 Hazard Identification

สารประกอบคาร์บอนิลและบีเทค มีแหล่งกำเนิดมาจากไอเสียของรถยนต์ และสารในกลุ่มนี้ยังเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของน้ำมันเชื้อเพลิงจึงทำให้สารกลุ่มนี้สามารถปนเปื้อนสู่บรรยากาศได้จากการระเหยของไอน้ำมัน ดังนั้นพนักงานเก็บค่าผ่านทางจึงมีความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสารกลุ่มนี้ เนื่องจากพนักงานมีการปฏิบัติงานใกล้กับแหล่งกำเนิดของสารกลุ่มนี้ตลอดระยะเวลาการทำงาน ซึ่งผลกระทบต่อสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทค ดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ผลกระทบต่อสุขภาพของสารประกอบคาร์บอนิลและปีเทค

สาร	IARC classification	US EPA classification	Critical effect(s)	Hazard Index target(s)
ฟอร์มาลดีไฮด์ <sup>1</sup>	1	B1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ระคายเคืองระบบทางเดินหายใจ ส่วนบนและส่วนล่างและบริเวณดวงตา</li> <li>• เกิดการอักเสบของเยื่อจมูก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ระบบทางเดินหายใจ</li> <li>- ดวงตา</li> </ul>
อะเซทัลดีไฮด์ <sup>2</sup>	2B	B2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• เยื่อจมูกอักเสบและหลอดลมอักเสบ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ระบบทางเดินหายใจ</li> </ul>
โพรพิวาลดีไฮด์ <sup>3</sup>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• เยื่อจมูกอักเสบเกิดการฟุ้ง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ระบบทางเดินหายใจ</li> </ul>
เบนซีน <sup>4</sup>	1	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ระดับเม็ดเลือดแดงและเม็ดเลือดขาวลดลง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- กระบวนการการสร้างเม็ดเลือด (hematopoietic system)</li> <li>- การเจริญเติบโต</li> <li>- ระบบประสาท</li> </ul>
โทลูอีน <sup>5</sup>	3	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ส่งผลต่อระบบประสาท</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ระบบประสาท</li> <li>- ระบบทางเดินหายใจ</li> <li>- ผลต่อทารกในครรภ์ (teratogenicity)</li> </ul>
เอทิลเบนซีน <sup>6</sup>	2B	B2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ตับ</li> <li>• ไต</li> <li>• ต่อมไธมัส</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ระบบทางเดินอาหาร</li> <li>- ตับ, ไต</li> <li>- ระบบต่อมไร้ท่อ</li> </ul>
ไซลีน <sup>7</sup>	3	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ส่งผลระบบประสาทส่วนกลาง</li> <li>• ระคายเคืองต่อดวงตา จมูก และลำคอ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ระบบประสาท</li> <li>- ระบบทางเดินหายใจ</li> </ul>

ที่มา: <sup>1</sup> OEHHA, 2012a, <sup>2</sup> OEHHA, 2008, <sup>3</sup> IRIS, 2008, <sup>4</sup> OEHHA, 2012b

<sup>5</sup> OEHHA, 1999, <sup>6</sup> OEHHA, 2012c, <sup>7</sup> OEHHA, 1997

### 3.4.2 Dose-response assessment

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารมลพิษที่ได้รับสัมผัสและผลกระทบที่เกิดขึ้นของสารก่อมะเร็งจะใช้ค่า CSF<sub>i</sub> (Inhalation Cancer Slope Factor) ในการประมาณค่าความเสี่ยงของค่าความเป็นพิษสำหรับสารก่อมะเร็ง ซึ่งในการตรวจวัดสารประกอบคาร์บอนิลประกอบด้วย ฟอร์มาลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ อะซีโตน โพรพิวาลดีไฮด์ โครโทนัลดีไฮด์ บิวทิลดีไฮด์

เบนซิลดีไฮด์ วาราลดีไฮด์ และเอ็กซานัลดีไฮด์ และการตรวจวัดสารปีเทค ประกอบด้วย เบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน และไซลีน แต่สารที่มีข้อมูลค่า Inhalation Slope Factor ในการประมาณค่าความเสี่ยงของค่าความเป็นพิษของสารก่อมะเร็ง ได้แก่ สารฟอร์มัลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ เบนซิน เอทิลเบนซิน ดังแสดงในตารางที่ 3.6 และสารที่มีข้อมูลค่า Inhalation Reference Concentrations ในการประมาณค่าความเสี่ยงของค่าความเป็นพิษของสารไม่ก่อมะเร็ง ได้แก่ สารอะซีโตน โพรพิอานัลดีไฮด์ โทลูอีน และ ไซลีน ดังแสดงในตารางที่ 3.7 ซึ่งจะต้องนำอ้างอิงทั้ง 2 ค่านี้ไปใช้ในการคำนวณความเสี่ยงจากการสัมผัสผู้โดยสารต่อไป

ตารางที่ 3.6 ค่า  $CSF_i$  (Inhalation Slope Factor)

สารประกอบ	Inhalation Slope Factor (mg/kg-day) <sup>-1</sup>	
	RAIS <sup>(1)</sup>	OEHHA <sup>(2)</sup>
Formaldehyde	-	$2.1 \times 10^{-2}$
Acetaldehyde	-	$1.0 \times 10^{-2}$
Benzene	$2.73 \times 10^{-2}$	$1.0 \times 10^{-1}$
Ethylbenzene	$3.85 \times 10^{-3}$	$8.7 \times 10^{-3}$

ที่มา : <sup>(1)</sup> The Risk Assessment Information System [RAIS], 2009

<sup>(2)</sup> California Office of Environmental Health Hazard Assessment [OEHHA], 2009

ตารางที่ 3.7 ค่า  $R_fC$  (Reference Concentrations)

สารประกอบ	Inhalation $R_fCs$ (mg/m <sup>3</sup> )	
	IRIS <sup>(1)</sup>	ATSDR <sup>(2)</sup>
Acetone	-	$3.09 \times 10^1$
Propionaldehyde	$8 \times 10^{-3}$	-
Toluene	5	$3.01 \times 10^{-1}$
Xylenes	0.1	-

ที่มา : <sup>(1)</sup> U.S.EPA, 2012

<sup>(2)</sup> Agency for Toxic Substances and Disease Registry [ATSDR], 2012

## 3.4.3 Exposure assessment

การประเมินปริมาณสารเคมีที่พนักงานได้รับจากสิ่งแวดล้อมใน 1 วัน โดยใช้ข้อมูลจากทั้งแบบสอบถาม และอ้างอิงจาก U.S. EPA ซึ่งสามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาคำนวณปริมาณการรับสัมผัสใน 1 วันได้ดังนี้

1) สารก่อเกิดมะเร็ง สามารถคำนวณได้จากค่า CDI (Chronic Daily Intake) เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณการรับสัมผัสสารคาร์บอนิลและปีเทคสำหรับสารก่อเกิดมะเร็ง ดังสมการที่ (3.8)

$$CDI = (CA \times IR \times EF \times ET \times ED) / (BW \times AT) \quad (3.8)$$

2) สารไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง สามารถคำนวณได้จากค่า EC (Exposure Concentration) เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณการรับสัมผัสสารคาร์บอนิลและปีเทคสำหรับสารไม่ก่อเกิดมะเร็ง ดังสมการที่ (3.9)

$$EC = (CA \times EF \times ET \times ED) / AT \quad (3.9)$$

ตารางที่ 3.8 ความหมายของตัวแปรที่ใช้แทนค่าในสมการที่ 1 และ 2

ตัวแปร	ความหมาย	อ้างอิง
CID	ปริมาณการรับสัมผัสสารคาร์บอนิลและปีเทคใน 1 วัน (mg/kg BW-day)	-
EC	ความเข้มข้นของสารคาร์บอนิลและปีเทคที่บุคคลที่ได้รับสัมผัส ( $\mu\text{g} / \text{m}^3$ )	-
CA	ความเข้มข้นของสารคาร์บอนิลและปีเทคที่บุคคลได้รับสัมผัสในอากาศ ( $\mu\text{g} / \text{m}^3$ )	-
ET	เวลาในการรับสัมผัสสาร 8 hr/day	แบบสอบถาม
IR	อัตราการหายใจ $0.875 \text{ m}^3 / \text{hr}$	US EPA 1991 RAGS Vol.1
EF	ความถี่ของการรับสัมผัสสาร 250 days/year	
ED	ระยะเวลาที่ได้รับสัมผัสสาร 25 years	
BW	น้ำหนักตัว kg	แบบสอบถาม
AT	ระยะเวลาเฉลี่ยที่ได้รับสัมผัสสาร $70 \times 365$ days สำหรับสารก่อมะเร็ง	US EPA 1991
	ระยะเวลาเฉลี่ยที่ได้รับสัมผัสสาร $ED \times 365 \times 24$ hr สำหรับสารไม่ก่อมะเร็ง	RAGS Vol.1

### 3.4.4 Risk Characterization

การรวบรวมเอาข้อมูลและผลการวิเคราะห์ของสามขั้นตอนข้างต้นมาใช้คำนวณความเสี่ยงหรือโอกาสที่จะเกิดผลเสียต่อพนักงานจากการได้รับสาร

1) การวิเคราะห์ค่าความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งคำนวณได้จากสมการที่ 3.10

$$\text{Cancer Risk} = \text{CDI} \times \text{CSF}_i \quad (3.10)$$

เมื่อ  $\text{CSF}_i = \text{Inhalation Cancer Slope Factor (mg/kg - day)}$

ในกรณีที่ ค่า Cancer Risk มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ  $1 \times 10^{-6}$  สามารถยอมรับได้ คือ ไม่เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสาร

จากนั้นคำนวณค่าผลรวมของความเสี่ยงที่พนักงานได้รับสัมผัสสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งคำนวณได้จากสมการที่ 3.11

$$\text{Total Cancer Risk} = \sum \text{cancer risk} \quad (3.11)$$

เมื่อ total cancer risk = ค่าผลรวมของค่า cancer risk ที่พนักงานแต่ละคนได้รับสัมผัส

ในกรณีที่ ค่า total cancer risk มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ  $1 \times 10^{-6}$  สามารถยอมรับได้ คือ ไม่เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสาร

2) การวิเคราะห์ค่าความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งคำนวณได้จากสมการที่ 3.12

$$\text{HQ} = \text{EC} / (\text{R}_i\text{C} \times 1000 \mu\text{g}/\text{mg}) \quad (3.12)$$

เมื่อ  $\text{R}_i\text{C} = \text{Reference Concentrations (mg}/\text{m}^3)$

ในกรณีที่ ค่า Hazard Quotients (HQ) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 คาดว่าจะไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสาร

จากนั้นคำนวณค่า Hazard Index (HI) ผลรวมของค่า Hazard Quotients สำหรับสารที่ส่งผลกระทบต่ออวัยวะหรือระบบเป้าหมายที่คล้ายกันเนื่องจากสารมลพิษที่แตกต่างกันอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพที่เหมือนกัน (U.S. EPA, 2005) ซึ่งเป็นค่าผลรวมจากการที่พนักงานได้รับสัมผัสสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งคำนวณได้จากสมการที่ 3.13

$$\text{Hazard Index (HI)} = \sum \text{HQ} \quad (3.13)$$

เมื่อ HI = ค่าผลรวมของค่า Hazard Quotients (HQ) ที่พนักงานแต่ละคนได้รับสัมผัส

ในกรณีที่ ค่า Hazard Index (HI) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 คาดว่าจะไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสารไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง



หลังจากประเมินความเสี่ยงแล้ว หากพบว่าระดับการได้รับสัมผัสสารของพนักงานอยู่ในระดับที่เป็นอันตราย จะเสนอแนะแนวทางการป้องกันให้กับพนักงาน เช่น แนะนำชนิดอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลที่มีประสิทธิภาพ เพื่อป้องกันอันตรายจากการสัมผัสสารมลพิษในระหว่างปฏิบัติงาน

### 3.5 จริยธรรมการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้ได้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เลขรับรองที่ 095/2555

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

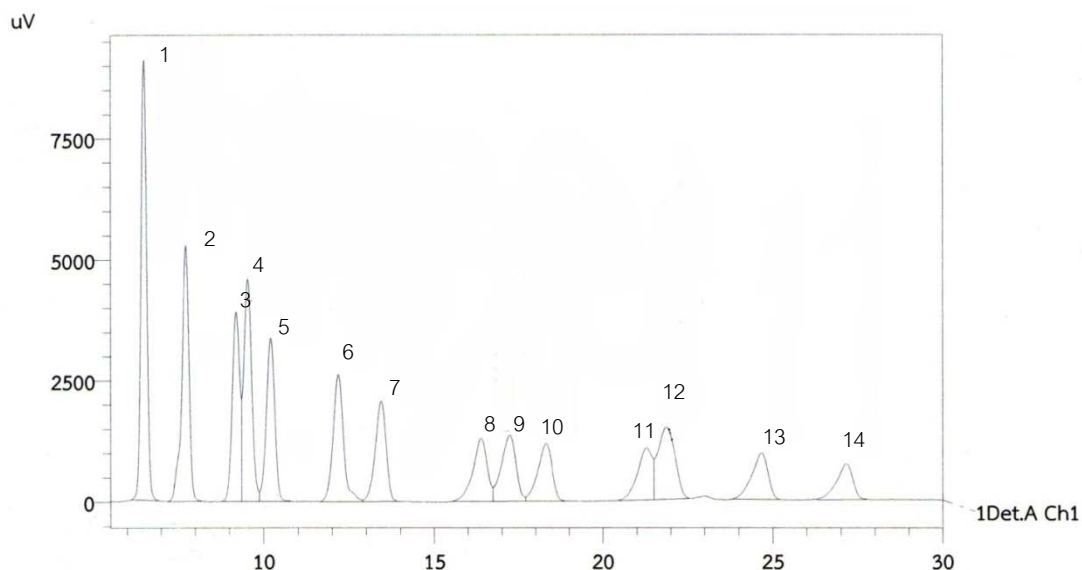
#### 4.1 ผลการศึกษาเบื้องต้น

##### 4.1.1 ค่า retention time ของสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทค

ค่า retention time ของสารละลายมาตรฐานคาร์บอนิล 14 ชนิดที่ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography/UV Detector (HPLC/UV) แสดงในตารางที่ 4.1 และในภาพที่ 4.1 แสดง chromatogram ที่ประกอบด้วย peak ของสารละลายมาตรฐานคาร์บอนิล ได้แก่ ฟอรัมาลดีไฮด์ (formaldehyde) อะเซทัลดีไฮด์ (acetaldehyde) อะซีโตน (acetone) อะโครลีน (acrolein) โพรพิวาลดีไฮด์ (propionaldehyde) โครโทนาลดีไฮด์ (crotonaldehyde) บิวทิรัลดีไฮด์ (butyraldehyde) เบนซัลดีไฮด์ (benzaldehyde) ไอโซวาเลอรัลดีไฮด์ (isovaleraldehyde) วาเลอรัลดีไฮด์ (valeraldehyde) ออร์โธโทลูแอลดีไฮด์ (o - tolualdehyde) เมตา, พาราโทลูแอลดีไฮด์ (m,p - tolualdehyde) เฮกซานัลดีไฮด์ (hexanaldehyde) และ 2,5 - ไดเมทิล เบนซัลดีไฮด์ (2,5 - dimethylbenzaldehyde)

ตารางที่ 4.1 ค่า retention time สารละลายมาตรฐานคาร์บอนิล

สารประกอบ	retention time (นาที)	สารประกอบ	retention time (นาที)
Formaldehyde	6.480	Benzaldehyde	16.382
Acetaldehyde	7.720	Isovaleraldehyde	17.232
Acetone	9.192	Valeraldehyde	18.305
Acrolein	9.528	o-Tolualdehyde	21.280
Propionaldehyde	10.204	m,p-Tolualdehyde	22.868
Crotonaldehyde	12.178	Hexanaldehyde	25.678
Butyraldehyde	13.430	2,5-Dimethylbenzaldehyde	27.152



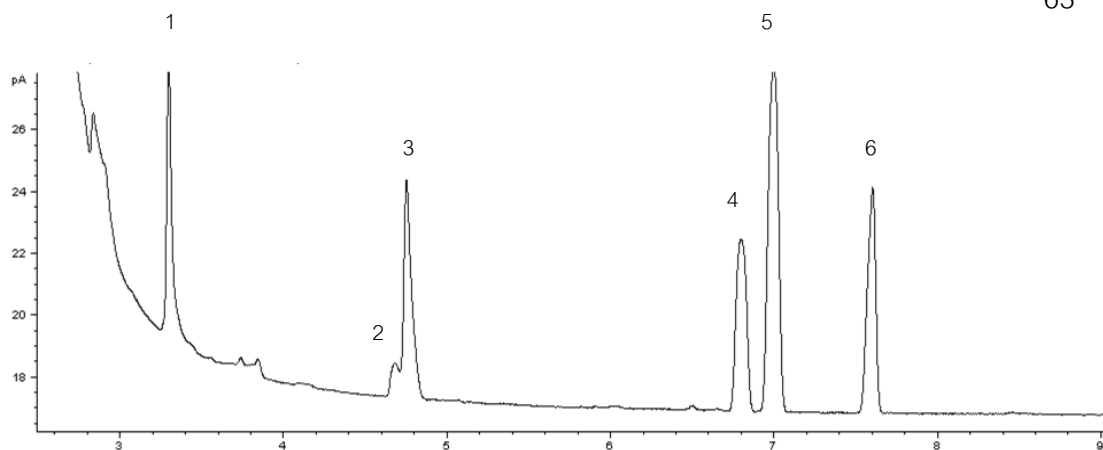
- |                            |                                       |                               |
|----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|
| 1. Formaldehyde (6.48)     | 2. Acetaldehyde (7.72)                | 3. Acetone (9.192)            |
| 4. Acrolein (9.528)        | 5. Propionaldehyde (10.204)           | 6. Crotonaldehyde (12.178)    |
| 7. Butyraldehyde (13.430)  | 8. Benzaldehyde (16.382)              | 9. Isovaleraldehyde (17.232)  |
| 10. Valeraldehyde (18.305) | 11. o-Tolualdehyde (21.28)            | 12. m,p-Tolualdehyde (22.868) |
| 13. Hexanaldehyde (25.678) | 14. 2,5-Dimethylbenzaldehyde (27.152) |                               |

ภาพที่ 4.1 Chromatogram ของสารละลายมาตรฐานสารประกอบคาร์บอนิล 14 ชนิด ที่ความเข้มข้น 0.10 ppm

ค่า retention times ของสารบีเทค และโทลูอิน ดี-8 (toluene d - 8) ที่ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatography/flame ionization detector (GC/FID) โดยการใช้สารละลายมาตรฐานบีเทคที่ประกอบด้วยสาร 5 ชนิด ได้แก่เบนซิน โทลูอิน เอทิลเบนซิน เมตาไซลีน พาราไซลีน และออร์โทไซลีน และมีโทลูอิน ดี - 8 (toluene d - 8) เป็น internal standard ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และ chromatogram ที่ประกอบด้วย peak ของสารละลายมาตรฐานบีเทคและโทลูอิน ดี - 8 แสดงดังภาพที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่า retention time สารละลายมาตรฐานบีเทค

สารประกอบ	retention time (นาที)
Benzene	3.294
Toluene d-8	4.651
Toluene	4.749
Ethylbenzene	6.796
m,p-Xylene	6.994
o-Xylene	7.600



- |                         |                        |                    |
|-------------------------|------------------------|--------------------|
| 1. Benzene (3.294)      | 2. Toluene d-8 (4.651) | 3. Toluene (4.749) |
| 4. Ethylbenzene (6.796) | 5. m,p-Xylene (6.994)  | 6. o-Xylene (7.60) |

ภาพที่ 4.2 Chromatogram ของสารละลายมาตรฐานสารปิเทค 5 ชนิด ที่ความเข้มข้น 8,000 ng/ml และสาร internal standard (toluene d - 8)

#### 4.1.2 การสร้าง calibration curve

การสร้าง calibration curves ของสารประกอบคาร์บอนิลโดยการเตรียมสารละลายมาตรฐานคาร์บอนิลที่ความเข้มข้น 0.01, 0.05, 0.10, 0.60 และ 1.00 mg/l แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วย HPLC/UV ตามสภาวะที่กำหนดดังรายละเอียดในบทที่ 3 (3.1) นำค่าพื้นที่ใต้กราฟที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างพื้นที่ใต้กราฟกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่เตรียม วิเคราะห์ค่า  $R^2$  ของกราฟมาตรฐานของสารคาร์บอนิลทั้ง 14 ชนิด พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.9994 - 0.9997 ดังแสดงในตารางที่ 4.3

การสร้าง calibration curves ของสารประกอบปิเทคโดยการเตรียมสารละลายมาตรฐานปิเทคที่ความเข้มข้น 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 และ 8000 ng/ml (1,000 ng/ml = 1 ppm) ซึ่งแต่ละความเข้มข้นจะประกอบด้วยสารละลายมาตรฐาน toluene d - 8 (internal standard) ผสมอยู่ด้วย จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/FID ตามสภาวะที่เหมาะสมแล้วนำค่าพื้นที่ใต้กราฟไปสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างพื้นที่ใต้กราฟกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่เตรียม โดยค่า  $R^2$  ของกราฟมาตรฐานสารปิเทคมีค่าอยู่ในช่วง 0.991 - 0.999 ดังแสดงในตารางที่ 4.3

#### 4.1.3 ค่า Limit of detection (LOD) และ Limit of quantitation (LOQ)

ค่า Limit of detection (LOD) และ Limit of quantitation (LOQ) สามารถหาได้จากการเตรียมสารละลายมาตรฐานสารประกอบคาร์บอนิล 0.05 mg/l จากนั้นนำสารละลายฉีดเข้าเครื่อง HPLC/UV detector จำนวน 7 ซ้ำ และนำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย อัตราส่วน

เบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และ % RSD โดยค่า LOD คำนวณจากการนำค่า SD ที่ได้มาคูณ 3 และค่า LOQ คำนวณจากการนำค่า SD ที่ได้มาคูณ 10 ผลที่ได้จากการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 4.3 ค่า LOD และ LOQ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.06 - 0.16  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  และ 0.16 - 0.52  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ

ค่า Limit of detection (LOD) และ Limit of quantitation (LOQ) ของเครื่อง GC/FID โดยอ้างอิงจากการศึกษาของ Mingkwan Kitwattanavong (2010) ที่ทำการเตรียมสารละลายมาตรฐานสารประเภทที่ความเข้มข้นต่ำ 125 ng/ml จำนวน 3 ขั้ว จากนั้นฉีดเข้าเครื่อง GC/FID และนำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์มาคำนวณหาอัตราส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) แล้วนำค่า SD ที่ได้มาคูณ 3 ค่าที่ได้คือค่า LOD และ นำค่า SD ที่ได้มาคูณ 10 ค่าที่ได้คือค่า LOQ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ค่า LOD และ LOQ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.05 - 0.79 และ of 0.17 - 2.62  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 การประกันคุณภาพและควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์ตัวอย่างสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทค

สารประกอบ	R <sup>2</sup> ของกราฟ Calibration curve	LOD		LOQ		% RSD
		mg/l	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ *	mg/l	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ *	
Formaldehyde	0.9996	0.007	0.16	0.025	0.52	4.845
Acetaldehyde	0.9995	0.006	0.12	0.019	0.39	3.646
Acetone	0.9995	0.007	0.14	0.023	0.48	4.438
Acrolein	0.9996	0.005	0.11	0.018	0.37	3.509
Propionaldehyde	0.9995	0.006	0.12	0.019	0.40	3.709
Crotonaldehyde	0.9996	0.004	0.09	0.015	0.30	2.878
Butyraldehyde	0.9995	0.004	0.07	0.012	0.25	2.298
Benzaldehyde	0.9994	0.005	0.11	0.018	0.37	3.549
Isovaleraldehyde	0.9995	0.005	0.11	0.018	0.37	3.549
Valeraldehyde	0.9994	0.007	0.15	0.023	0.49	4.487
o-Tolualdehyde	0.9997	0.003	0.06	0.010	0.21	2.033
m,p-Tolualdehyde	0.9994	0.002	0.05	0.008	0.16	1.503
Hexanaldehyde	0.9997	0.004	0.08	0.013	0.28	2.617
2,5-Dimethylbenzaldehyde	0.9994	0.005	0.11	0.018	0.38	3.591

หมายเหตุ: \* ขึ้นอยู่กับปริมาตรอากาศที่ศึกษา

ตารางที่ 4.3 การประกันคุณภาพและควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์ตัวอย่างสารประกอบคาร์บอนิลและปีเทค (ต่อ)

สารประกอบ	R <sup>2</sup> ของกราฟ Calibration curve	LOD		LOQ		% RSD
		ng/ml	µg/m <sup>3</sup> *	ng/ml	µg/m <sup>3</sup> *	
Benzene	0.9932	1.64	0.08	3.66	12.20	4.88
Toluene	0.9919	2.80	0.04	0.98	3.25	1.30
Ethylbenzene	0.9994	0.39	0.01	2.18	7.27	2.91
m,p-Xylene	0.9987	0.65	0.03	3.24	10.80	4.32
o-Xylene	0.9999	0.35	0.01	2.18	7.27	2.91

หมายเหตุ: \* ขึ้นอยู่กับปริมาตรอากาศที่ศึกษา

#### 4.2 ชนิดและปริมาณของสารประกอบคาร์บอนิลและปีเทค

จากการศึกษาการรับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิลและปีเทคในด้านบางนาและด้านอโศก 4 ที่ทำการตรวจวัดเปรียบเทียบระหว่าง 2 ฤดูกาล คือ เดือนกันยายน - ตุลาคม พ.ศ. 2554 เป็นตัวแทนฤดูฝน และเดือนกุมภาพันธ์ - มีนาคม พ.ศ. 2555 เป็นตัวแทนฤดูแล้งฝน ช่วงละ 2 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 2 วัน คือ วันศุกร์ และวันอาทิตย์ ซึ่งเป็นวันที่มีปริมาณรถสูงสุด และต่ำสุดของสัปดาห์ โดยเก็บตัวอย่างตลอดระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมง ระหว่าง 6.00 - 14.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มียปริมาณรถใช้บริการสูงสุดในแต่ละวัน โดยในแต่ละด้านจะทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 4 ตัวอย่าง ได้แก่ (1) ตัวอย่างการรับสัมผัสของพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่ตู้เก็บค่าบริการรถยนต์ส่วนบุคคล/รถบรรทุก (P1) และ (2) ตู้เก็บค่าบริการรถยนต์ส่วนบุคคล (P2) (3) ตัวอย่างในบริเวณช่องเก็บค่าบริการอัตโนมัติ (easy pass) (E) และ (4) ตัวอย่างที่เก็บในบรรยากาศทั่วไปบริเวณด้าน (A) ผลการศึกษาเป็นดังนี้

##### 4.2.1 ชนิดของสารประกอบคาร์บอนิลและปีเทคในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนาและอโศก 4

จากการเก็บตัวอย่างสารประกอบคาร์บอนิลและปีเทคที่พนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่ปฏิบัติงานในตู้เก็บค่าบริการรถยนต์/รถบรรทุก (P1) และตู้เก็บค่าบริการรถยนต์ส่วนบุคคล (P2) ในบริเวณช่องเก็บค่าบริการอัตโนมัติ (easy pass) (E) และตัวอย่างที่เก็บในบรรยากาศทั่วไปบริเวณด้าน (A) ในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนาและอโศก 4 ระหว่างฤดูแล้งฝนและฤดูฝน พบสารประกอบคาร์บอนิลจำนวน 14 ชนิด และสารปีเทคจำนวน 5 ชนิด โดยสารประกอบคาร์บอนิลชนิดหลักที่ตรวจพบในทั้งสองด้านเก็บค่าผ่านทางที่ทำการศึกษามีจำนวน 10 ชนิด ได้แก่ ฟอรัมาลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ อะซีโตน โพรพิลนัลดีไฮด์ โครโทนัลดีไฮด์ บิวทิลดีไฮด์ เบนซิลดีไฮด์

วาเลอรัลดีไฮด์ ออร์โทโทลูแอลดีไฮด์ และเฮกซานัลดีไฮด์ และสำหรับสารปีเทคชนิดหลักที่ตรวจพบจากการศึกษาครั้งนี้มีจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ เบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน เมตา-พารา ไซลีน และออร์โทไซลีน ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ชนิดของสารประกอบคาร์บอนิลและปีเทคที่พบในด้านเก็บค่าผ่านทางบางนาและอโศก 4

ชนิดสาร	ฤดูฝน				ฤดูแล้งฝน			
	ด้านบางนา		ด้านอโศก 4		ด้านบางนา		ด้านอโศก 4	
	ศุกร์	อาทิตย์	ศุกร์	อาทิตย์	ศุกร์	อาทิตย์	ศุกร์	อาทิตย์
Benzene	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA
Toluene	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA
Ethylbenzene	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA
m,p-Xylene	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA
o-Xylene	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA
Formaldehyde	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA
Acetaldehyde	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA
Acetone	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA
Acrolein	A	-	-	P	P	P	-	-
Propionaldehyde	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA
Crotonaldehyde	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA
Butyraldehyde	PEA	PEA	PEA	PEA	PE	PEA	PEA	PEA
Benzaldehyde	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA
Isovaleraldehyde	PEA	-	PE	-	PEA	PEA	E	P
Valeraldehyde	PEA	EA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA
o-Tolualdehyde	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA
m,p-Tolualdehyde	PA	E	P	-	PA	PA	-	P
Hexanaldehyde	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA	PEA
2,5-Dimethylbenzaldehyde	P	PEA	PE	P	-	-	P	P

หมายเหตุ: P คือ ปริมาณความเข้มข้นของสารที่ตรวจพบจากการรับสัมผัสของพนักงานเก็บค่าผ่านทาง

E คือ ปริมาณความเข้มข้นของสารที่ตรวจพบในจุด easy pass

A คือ ปริมาณความเข้มข้นของสารที่ตรวจพบในบรรยากาศทั่วไปของด้านเก็บค่าผ่านทาง

ผลการศึกษาคั้งนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาที่ผ่านมาในเขตกรุงเทพมหานคร ดังเช่น การศึกษาของ Daisy Morknoy และคณะ (2010) ที่ทำการศึกษเกี่ยวกับระดับความเข้มข้นของ สารประกอบคาร์บอนิลในบรรยากาศเขตกรุงเทพฯ ซึ่งตรวจวัดบริเวณถนน 5 แห่ง และบริเวณที่พักอาศัย 5 แห่ง ในระหว่างเดือนกรกฎาคม 2007 - เมษายน 2008 พบสารประกอบคาร์บอนิลจำนวน 10 ชนิด ได้แก่ ฟอร์มาลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ อะซีโตน บิวทิลดีไฮด์ โพรพินัลดีไฮด์ โครโทนัลดีไฮด์ เบนซัลดีไฮด์ ไอโซวาเลอรัลดีไฮด์ วาเลอรัลดีไฮด์ และเอ็กซานัลดีไฮด์ การศึกษาของ Mingkwan Kitwattanavong (2010) ที่ได้ทำการศึกษการรับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิลและปีเทคผ่านการหายใจและการประเมินความเสี่ยงสุขภาพของพนักงานในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง ใน กรุงเทพมหานครจากการศึกษาพบชนิดของสารประกอบคาร์บอนิลชนิดหลักที่ตรวจพบมีจำนวน 9 ชนิด ได้แก่ ฟอร์มาลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ อะซีโตน โพรพินัลดีไฮด์ โครโทนัล ดีไฮด์ บิวทิลดีไฮด์ เบนซัลดีไฮด์ วาเลอรัลดีไฮด์ และเอ็กซานัลดีไฮด์ และสารปีเทคจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ เบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน เมตาไซลีน พาราไซลีน และออร์โทไซลีน การศึกษาของ Sucot Nopparatbundit (2011) ที่ได้ทำการประเมินความเสี่ยงสุขภาพจากการรับสัมผัสกลุ่มคาร์บอนิลผ่านทาง การหายใจของคณงานในสถานประกอบการน้ำมันในกรุงเทพมหานครพบสารประกอบ คาร์บอนิลชนิดหลักที่ตรวจพบมีจำนวน 12 ชนิด ได้แก่ ฟอร์มาลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ อะซีโตน บิวทิลดีไฮด์ โพรพินัลดีไฮด์ โครโทนัล ดีไฮด์ เบนซัลดีไฮด์ ไอโซวาเลอรัลดีไฮด์ วาเลอรัลดีไฮด์ ออร์โธโทลูแอลดีไฮด์ เอ็กซานัลดีไฮด์ และ 2,5 - ไดเมทิลเบนซัลดีไฮด์ และการศึกษาของ Wanna Laowagul et al. (2008) ที่ทำการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของสารเบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน และไซลีน ในบรรยากาศของกรุงเทพมหานครระหว่างเดือนเมษายน - สิงหาคม 2007 ตรวจพบสาร ปีเทคจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ เบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน เมตา ไซลีน พาราไซลีน และออร์โทไซลีน

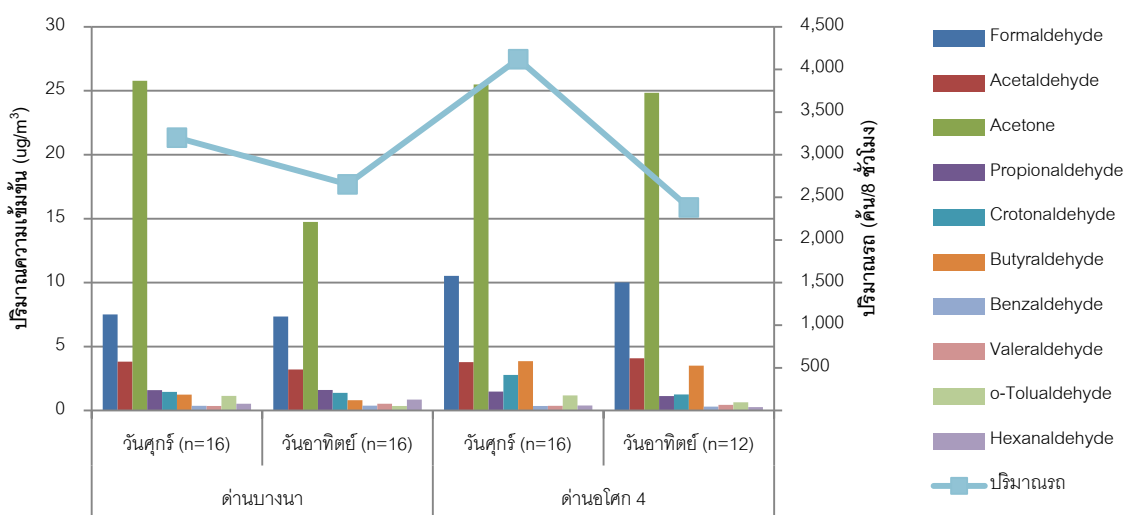
นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาวิจัยในต่างประเทศของ Huang และคณะ (2009) ที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับ สารประกอบคาร์บอนิลในบรรยากาศของเมืองเซียงไฮ้ ประเทศจีน โดยสารประกอบ คาร์บอนิลชนิดหลักที่ตรวจพบมีจำนวน 6 ชนิด ได้แก่ ฟอร์มาลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ อะซีโตน บิวทิลดีไฮด์ โพรพินัลดีไฮด์ และไซโครเฮกซาโนน

#### 4.2.2 ปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิลและปีเทคในวันศุกร์และวันอาทิตย์

ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารประกอบคาร์บอนิลในวันศุกร์และวันอาทิตย์ที่ได้จาก ตรวจวัดในช่วงฤดูฝนและแล้งฝนของด้านบางนาและด้านอโศก 4 พบปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ย ของสารฟอร์มาลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ อะซีโตน โพรพินัลดีไฮด์ โครโทนัลดีไฮด์ บิวทิลดีไฮด์ เบนซัลดีไฮด์ วาเลอรัลดีไฮด์ ออร์โธโทลูแอลดีไฮด์ และเอ็กซานัลดีไฮด์ในวันศุกร์ที่ด้านบางนา มีค่าเท่ากับ  $7.51 \pm 2.10$ ,  $3.81 \pm 1.78$ ,  $25.78 \pm 38.06$ ,  $1.59 \pm 1.50$ ,  $1.45 \pm 1.05$ ,  $1.25 \pm 1.60$ ,



0.36 ± 0.18, 0.35 ± 0.23, 1.14 ± 1.89, 0.53 ± 0.42  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ วันอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 7.35 ± 2.88, 3.21 ± 2.15, 14.74 ± 14.15, 1.60 ± 1.60, 1.38 ± 1.12, 0.81 ± 0.97, 0.38 ± 0.57, 0.53 ± 0.21, 0.35 ± 0.35 และ 0.85 ± 1.10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ สำหรับที่ด้านอโศก 4 ในวันศุกร์มีค่าเท่ากับ 10.53 ± 3.85, 3.78 ± 163, 25.49 ± 25.11, 1.48 ± 2.32, 2.78 ± 1.95, 3.85 ± 1.98, 0.35 ± 0.24, 0.36 ± 0.15, 1.18 ± 1.59 และ 0.39 ± 0.14  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ วันอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 10.02 ± 3.46, 4.08 ± 1.40, 24.84 ± 22.68, 1.13 ± 1.06, 1.25 ± 1.18, 3.50 ± 2.16, 0.30 ± 0.13, 0.44 ± 0.24, 0.64 ± 0.54 และ 0.27 ± 0.14  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับดังแสดงในภาพที่ 4.3

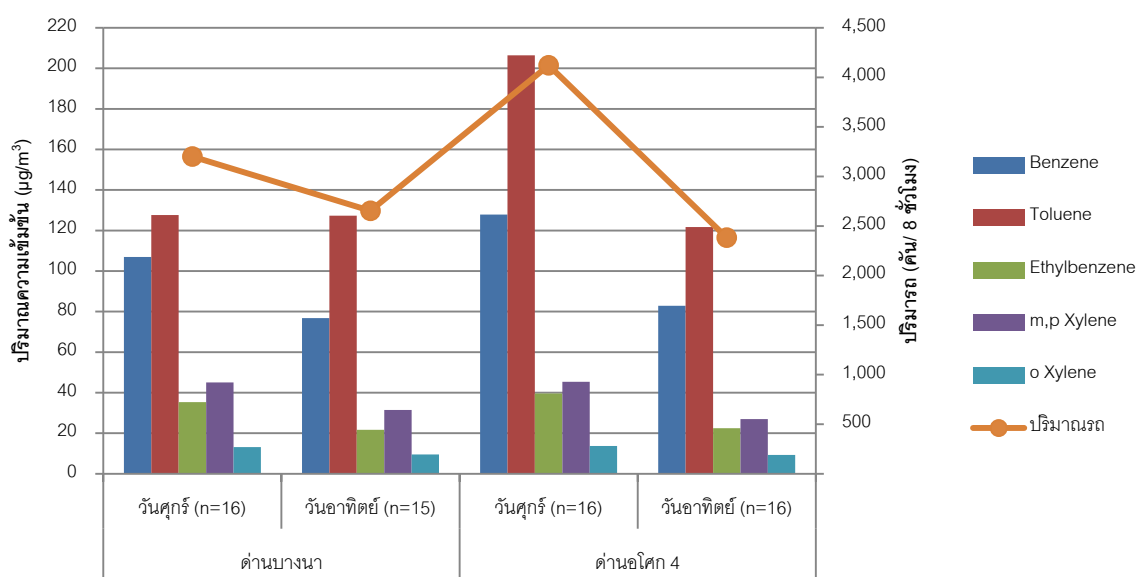


ภาพที่ 4.3 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารประกอบคาร์บอนิลที่ตรวจวัดที่ด้านบางนาและด้านอโศก 4 ในวันศุกร์และวันอาทิตย์

เมื่อนำปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารประกอบคาร์บอนิลในด้านบางนาและด้านอโศก 4 ที่ตรวจวัดในวันศุกร์และวันอาทิตย์มาทดสอบทางสถิติ พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารประกอบคาร์บอนิลระหว่างวันศุกร์และวันอาทิตย์ของด้านบางนา ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นสารวาเลอรัลดีไฮด์ที่มีค่าความเข้มข้นของสารระหว่างวันศุกร์และวันอาทิตย์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ส่วนค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารประกอบคาร์บอนิลระหว่างวันศุกร์และวันอาทิตย์ของด้านอโศก 4 ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นสารอะซีโตน และโครโทนัลดีไฮด์ ที่มีค่าความเข้มข้นของสารระหว่างวันศุกร์และวันอาทิตย์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารปีเทคในวันศุกร์และวันอาทิตย์ ที่ได้จากการตรวจวัดในช่วงฤดูฝนและแล้งฝนของด้านบางนาและด้านอโศก 4 พบปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเบนซิน

โทลูอีน เอทิลเบนซีน เมตาไซลีน พาราไซลีน และออร์โทไซลีน ในวันศุกร์ที่ด้านบางนามีค่าเท่ากับ  $106.95 \pm 46.45$ ,  $127.62 \pm 26.30$ ,  $35.38 \pm 11.14$ ,  $45.02 \pm 13.15$  และ  $13.14 \pm 4.26$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ วันอาทิตย์มีค่าเท่ากับ  $76.82 \pm 44.23$ ,  $127.32 \pm 50.01$ ,  $21.67 \pm 10.36$ ,  $31.47 \pm 12.89$  และ  $9.53 \pm 4.19$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ สำหรับที่ด้านอโศก 4 ในวันศุกร์มีค่าเท่ากับ  $127.85 \pm 65.12$ ,  $206.41 \pm 82.80$ ,  $39.63 \pm 10.12$ ,  $45.35 \pm 15.62$  และ  $13.73 \pm 5.22$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ วันอาทิตย์มีค่าเท่ากับ  $82.88 \pm 50.59$ ,  $121.70 \pm 53.82$ ,  $22.47 \pm 8.75$ ,  $26.95 \pm 10.47$  และ  $9.31 \pm 5.09$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารปีเทคดังแสดงในภาพที่ 4.4



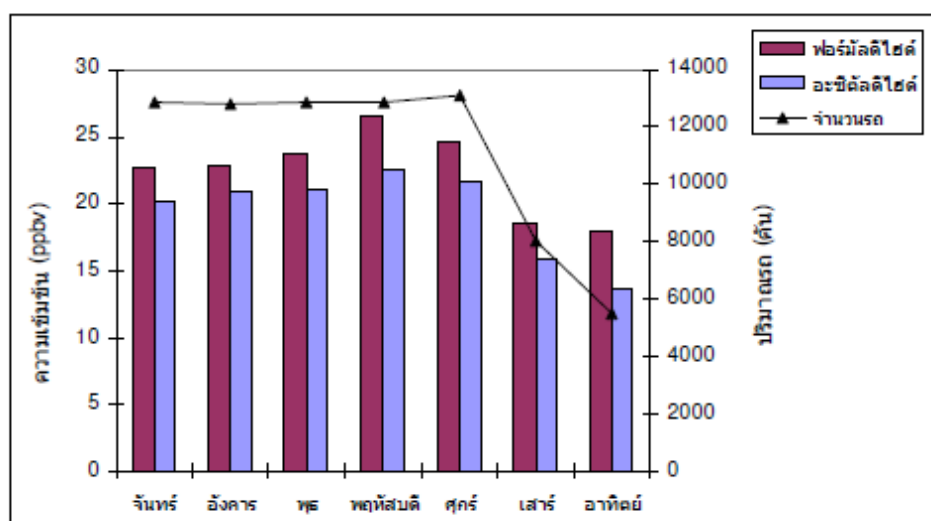
ภาพที่ 4.4 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารปีเทคที่ตรวจวัดที่ด้านบางนาและด้านอโศก 4 ในวันศุกร์และวันอาทิตย์

เมื่อนำปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารปีเทคในด้านบางนาและด้านอโศก 4 ที่ตรวจวัดในวันศุกร์และวันอาทิตย์มาทดสอบทางสถิติ พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน เมตา พาราไซลีน และออร์โทไซลีนระหว่างวันศุกร์และวันอาทิตย์ของด้านทั้งสอง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ยกเว้นสารโทลูอีนในด้านบางนาที่ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารประกอบคาร์บอนิลและปีเทคในวันศุกร์และวันอาทิตย์ของทั้งสองด้าน พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารประกอบคาร์บอนิลชนิดหลัก ได้แก่ ฟอร์มาลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ และอะซีโตน และสารกลุ่มปีเทคทุกสารในวันศุกร์มีค่าสูงกว่าในวันอาทิตย์ เนื่องจากในวันศุกร์เป็นวันทำงานซึ่งมีปริมาณรถที่ใช้บริการด้านเก็บค่าผ่านทางสูงกว่าในวันอาทิตย์ จากสถิติปริมาณรถที่ใช้บริการด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษพบว่าวันศุกร์จะมี

ปริมาณรถใช้บริการสูงสุดในรอบสัปดาห์ ซึ่งข้อมูลปริมาณรถที่ด้านบางนาและด้านอโศก 4 ในช่วงเก็บตัวอย่างมีปริมาณรถที่ให้บริการในวันศุกร์เฉลี่ย 3,200 และ 4,121 คันต่อ 8 ชั่วโมง และในวันอาทิตย์มีปริมาณเฉลี่ย 2,653 และ 2,382 คันต่อ 8 ชั่วโมง (การทางพิเศษแห่งประเทศไทย, 2555; บริษัท ทางด่วนกรุงเทพ จำกัด, 2555) แสดงให้เห็นว่าปริมาณรถที่ให้บริการมีผลต่อปริมาณการปล่อยสารประกอบคาร์บอนิลและสารกลุ่มบีเทคจากไอเสียและไอระเหยของน้ำมันจากรถยนต์โดยตรงจึงเป็นผลให้สารฟอร์มัลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ อะซีโตน และ บีเทคในวันศุกร์มีปริมาณความเข้มข้นสูงกว่าในวันอาทิตย์

ผลการศึกษาระบบการประกอบคาร์บอนิลระหว่างวันศุกร์และวันอาทิตย์ในครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ สิริวรรณ เอี่ยมสะอาด (2548) ที่ทำการศึกษาความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิลที่มีความสำคัญในบรรยากาศ ซึ่งได้แก่ สารฟอร์มัลดีไฮด์ และสารอะเซทัลดีไฮด์ บริเวณถนนสีลมซึ่งเป็นย่านธุรกิจของกรุงเทพมหานคร จากการศึกษาพบว่าในวันทำการจะมีความเข้มข้นของสารทั้งสองชนิดมากกว่าในวันหยุด โดยในวันจันทร์ - ศุกร์ ความเข้มข้นของสารฟอร์มัลดีไฮด์และอะเซทัลดีไฮด์มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนในช่วงวันเสาร์ - อาทิตย์ พบว่าความเข้มข้นของสารทั้งสองตัวมีปริมาณลดลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งบ่งชี้ให้เห็นว่าแหล่งกำเนิดหลักของสารทั้งสองชนิดมาจากการปล่อยไอเสียของรถยนต์ เนื่องจากในวันทำการปริมาณการจราจรบริเวณถนนสีลมมีความหนาแน่นและติดขัดมาก ซึ่งแตกต่างกับวันหยุดราชการซึ่งมีปริมาณการจราจรลดลง ดังแสดงในภาพที่ 4.5



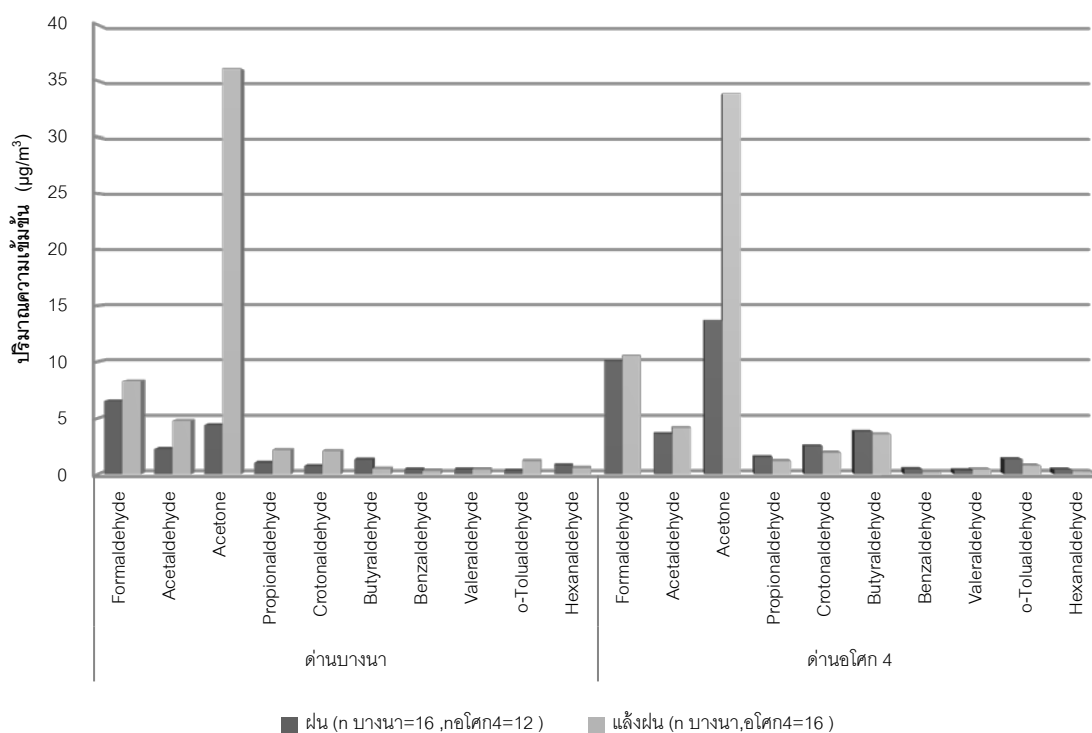
ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเฉลี่ยของสารประกอบฟอร์มัลดีไฮด์และอะเซทัลดีไฮด์กับปริมาณรถยนต์เฉลี่ยตลอดการเก็บตัวอย่าง  
ที่มา: สิริวรรณ เอี่ยมสะอาด (2548)

ผลการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของสารปีเทคระหว่างวันศุกร์และวันอาทิตย์ในครั้งนี้อยู่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Truc and Oanh (2007) ที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับความเข้มข้นของสารปีเทครายชั่วโมงบริเวณริมถนนควบคู่ไปกับปริมาณการจราจรในช่วงฤดูแล้งในปี 2004 ในเมืองฮานอย ประเทศเวียดนาม โดยเลือกศึกษาบริเวณถนน 3 สายซึ่งเป็นถนนที่มีปริมาณการจราจรสูงและเป็นเส้นทางที่ตัดผ่านนิคมอุตสาหกรรม ผลการศึกษาพบว่า การจราจรติดขัดในวันธรรมดาเป็นผลทำให้ระดับสารปีเทคเพิ่มขึ้น โดยในวันธรรมดาระหว่างชั่วโมงเร่งด่วนความเข้มข้นของสารเบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน เมตาไซลีน พาราไซลีน และออร์โทไซลีน มีค่าเท่ากับ 110, 112, 30, 88 และ 45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าในวันหยุดช่วงชั่วโมงเร่งด่วนที่มีค่าเท่ากับ 47, 71, 17, 51 และ 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wang and Zhao (2008) ที่ได้ทำการประเมินปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยบริเวณใกล้กับถนนในเมืองนานจิง (Nanjing) ประเทศจีน พบว่า ในวันธรรมดามีปริมาณรถเท่ากับ 4,224 คันต่อชั่วโมง ซึ่งสูงกว่าในวันหยุดที่มีปริมาณรถเท่ากับ 3,428 คันต่อชั่วโมง ส่งผลทำให้ปริมาณสารปีเทคในวันธรรมดาส่งผลทำให้ปริมาณสารปีเทคในวันธรรมดาส่งผลสูงกว่าวันหยุด โดยในวันธรรมดาพบปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน เมตาไซลีน พาราไซลีน และออร์โทไซลีนมีค่าเท่ากับ  $29.6 \pm 19.7$ ,  $74.5 \pm 29.1$ ,  $15.3 \pm 8.6$ ,  $18.3 \pm 12.4$  และ  $15.3 \pm 9.9$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ และในวันหยุดมีค่าเท่ากับ  $20.7 \pm 11.7$ ,  $58.3 \pm 27.9$ ,  $11.3 \pm 3.9$ ,  $16.2 \pm 7.2$ ,  $12.3 \pm 6.5$  และ  $3.9 \pm 2.1$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษปริมาณสารปีเทคที่ทำการตรวจวัดในวันศุกร์และอาทิตย์ของทั้ง 2 ด้านเก็บค่าผ่านทางในการศึกษาครั้งนี้กับผลการศึกษาของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Research and Training Centre: ERTC) ที่ทำการศึกษปริมาณความเข้มข้นของสารปีเทคบริเวณพื้นที่ทั่วไป บริเวณริมถนน และบริเวณที่อยู่อาศัย ในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่าการศึกษาในครั้งนี้มีปริมาณความเข้มข้นสูงกว่าค่าที่ตรวจวัดได้ในบริเวณพื้นที่ทั่วไป บริเวณริมถนน และบริเวณที่อยู่อาศัยในเขตกรุงเทพมหานคร โดยปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน เมตาไซลีน พาราไซลีน และออร์โทไซลีน ที่ตรวจพบได้ในบริเวณพื้นที่ทั่วไปมีค่าเท่ากับ 2.9, 35, 7.3, 13 และ 3.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ บริเวณริมถนนมีค่าเท่ากับ 3.9, 32, 2.4, 5.4 และ 1.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ และบริเวณที่อยู่อาศัยมีค่าเท่ากับ 8.8, 44, 4.8, 13 และ 4.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ (ERTC, 2008)

#### 4.2.3 ปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิลและปีเทคในฤดูฝนและฤดูแล้งฝน

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารประกอบคาร์บอนิลในฤดูฝนและฤดูแล้งฝนพบว่า ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารฟอร์มัลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ อะซีโตน โพรพิวาลดีไฮด์ โครโทนัลดีไฮด์ บิวทิลดีไฮด์ เบนซิลดีไฮด์ วาเลอรัลดีไฮด์ ออร์โทโทลูแอลดีไฮด์ และ

เฮกซานัลดีไฮด์ ในด้านบางนาช่วงฤดูฝนมีค่าเท่ากับ  $6.55 \pm 2.68$ ,  $2.26 \pm 1.29$ ,  $4.4 \pm 2.96$ ,  $1.03 \pm 0.64$ ,  $0.73 \pm 0.81$ ,  $1.31 \pm 1.57$ ,  $0.43 \pm 0.52$ ,  $0.43 \pm 0.15$ ,  $0.3 \pm 0.26$ ,  $0.8 \pm 0.94 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ ช่วงฤดูแล้งฝนมีค่าเท่ากับ  $8.32 \pm 1.96$ ,  $4.77 \pm 1.72$ ,  $36.12 \pm 34.18$ ,  $2.17 \pm 1.92$ ,  $2.07 \pm 0.85$ ,  $0.49 \pm 0.2$ ,  $0.3 \pm 0.2$ ,  $0.42 \pm 0.28$ ,  $1.18 \pm 1.88$ ,  $0.56 \pm 0.66 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ และปริมาณค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารฟอร์มัลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ อะซีโตน โพรพิวณัลดีไฮด์ โครโทนัลดีไฮด์ บิวทาลดีไฮด์ เบนซาลดีไฮด์ วาลเอร์อัลดีไฮด์ ออร์โทโทลูแอลดีไฮด์ และเฮกซานัลดีไฮด์ ในด้านอโศก 4 ช่วงฤดูฝนมีค่าเท่ากับ  $10.06 \pm 3.43$ ,  $3.61 \pm 1.68$ ,  $13.66 \pm 7.4$ ,  $1.54 \pm 2.66$ ,  $2.52 \pm 1.97$ ,  $3.81 \pm 2.11$ ,  $0.46 \pm 0.22$ ,  $0.34 \pm 0.18$ ,  $1.34 \pm 2.05$ ,  $0.42 \pm 0.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ ช่วงฤดูแล้งฝนมีค่าเท่ากับ  $10.50 \pm 3.89$ ,  $4.14 \pm 1.4$ ,  $33.88 \pm 27.94$ ,  $1.17 \pm 1.00$ ,  $1.91 \pm 1.73$ ,  $3.57 \pm 1.99$ ,  $0.21 \pm 0.09$ ,  $0.44 \pm 0.21$ ,  $0.77 \pm 0.53$ ,  $0.26 \pm 0.11 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.6

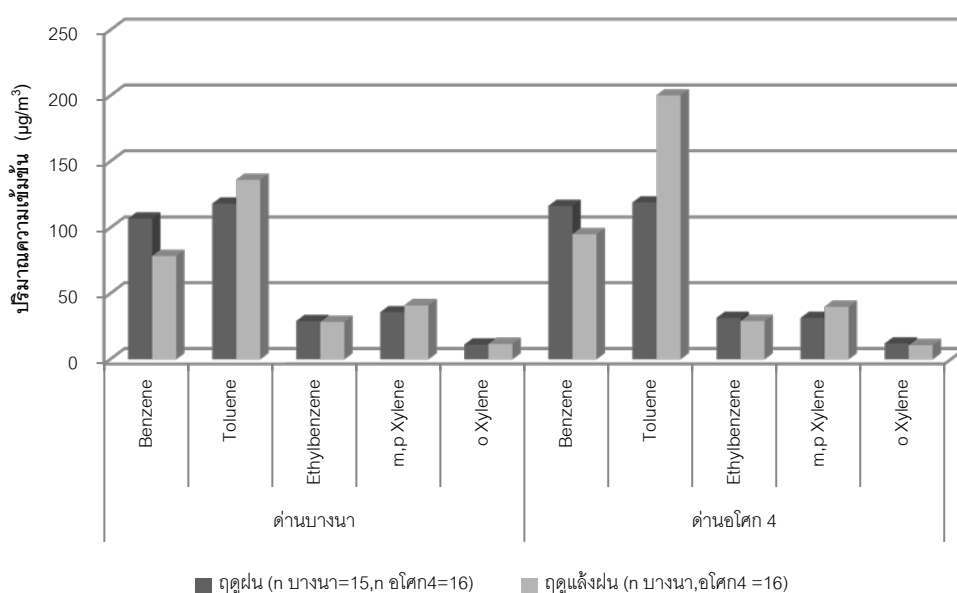


ภาพที่ 4.6 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารประกอบคาร์บอนิลที่ด้านบางนาและด้านอโศก 4 ในฤดูฝนและฤดูแล้งฝน

จากภาพที่ 4.6 ปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิลชนิดหลักได้แก่สารฟอร์มัลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ อะซีโตน โพรพิวณัลดีไฮด์ ในทั้งสองด้านมีลักษณะแนวโน้มที่คล้ายกันคือในช่วงฤดูแล้งฝนมีปริมาณสูงกว่าในช่วงฤดูฝน ยกเว้นสารโพรพิวณัลดีไฮด์ ที่ด้านอโศก 4 ที่พบปริมาณความเข้มข้นของสารในฤดูแล้งฝนต่ำกว่าฤดูฝน โดยเมื่อทดสอบทางสถิติพบว่า

ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพอร์มาลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ อะซีโตน โพรพิลนัลดีไฮด์ โครโทนัลดีไฮด์ ระหว่างฤดูฝนและแล้งฝนของด้านบางนา มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และในด้านอโศก 4 พบว่าปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารอะซีโตนและเบนซัลดีไฮด์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ส่วนสารประกอบคาร์บอนิลตัวอื่นๆ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารปีเทคในฤดูฝนและฤดูแล้งฝน พบว่าปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน เมตาไซลีน พาราไซลีน และออร์โทไซลีน ในด้านบางนาช่วงฤดูฝนมีค่าเท่ากับ  $107.07 \pm 47.7$ ,  $118.36 \pm 24.07$ ,  $29.06 \pm 12.51$ ,  $35.78 \pm 11.61$  และ  $11.16 \pm 5.60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ ช่วงฤดูแล้งฝนมีค่าเท่ากับ  $78.59 \pm 43.68$ ,  $136.02 \pm 48.21$ ,  $28.45 \pm 13.23$ ,  $40.98 \pm 16.83$  และ  $11.61 \pm 3.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ และปริมาณค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน เมตาไซลีน พาราไซลีน และออร์โทไซลีน ในด้านอโศก 4 ช่วงฤดูฝนมีค่าเท่ากับ  $116.69 \pm 67.01$ ,  $119.28 \pm 50.03$ ,  $31.43 \pm 13.10$ ,  $31.43 \pm 13.09$  และ  $11.97 \pm 6.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ ช่วงฤดูแล้งฝนมีค่าเท่ากับ  $95.15 \pm 67.01$ ,  $200.31 \pm 83.96$ ,  $29.04 \pm 11.92$ ,  $39.91 \pm 15.95$  และ  $10.65 \pm 4.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.7



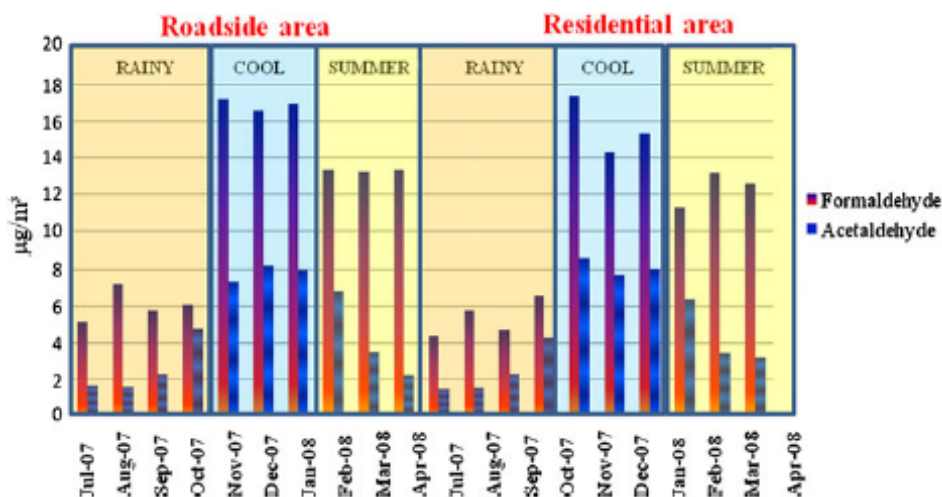
ภาพที่ 4.7 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารปีเทคที่ด้านบางนาและด้านอโศก 4 ในฤดูฝนและฤดูแล้งฝน

จากภาพที่ 4.7 ปริมาณความเข้มข้นของสารปีเทคในทั้งสองด้านมีลักษณะแนวโน้มที่คล้ายกัน คือในช่วงฤดูฝนสารเบนซินและเอทิลเบนซินมีปริมาณความเข้มข้นสูงกว่าในช่วงฤดูแล้งฝน โดยเมื่อ

ทดสอบทางสถิติพบว่า ในด้านบางนาและด้านอโคก 4 มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเบนซินทั้งสองฤดูแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ในขณะที่สารเอทิลเบนซินเมื่อทดสอบทางสถิติแล้วพบว่าทั้งสองฤดูไม่แตกต่างกัน ส่วนสารโทลูอิน เมตาและพาราไซลีนของทั้งสองด้านมีปริมาณความเข้มข้นในช่วงฤดูฝนต่ำกว่าในช่วงฤดูแล้งฝน แต่เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่า มีเฉพาะด้านอโคก 4 ที่มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารดังกล่าวในทั้งสองฤดูแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ส่วนค่าความเข้มข้นของสารอโรไซลีนของทั้งสองด้านมีแนวโน้มที่ต่างกัน คือ ด้านบางนาในช่วงฤดูฝนจะมีปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำกว่าในช่วงฤดูแล้งฝนเล็กน้อย ซึ่งแตกต่างจากด้านอโคก 4 ที่ช่วงฤดูฝนจะมีปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยสูงกว่าในช่วงฤดูแล้งฝนเล็กน้อย แต่เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารอโรไซลีนของทั้งสองด้านระหว่างฤดูฝนและฤดูแล้งฝนไม่แตกต่างกัน

จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิลระหว่างฤดูฝนและแล้งฝนในการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Daisy Morknoy และคณะ (2010) ที่ศึกษาระดับความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิลในบรรยากาศเขตกรุงเทพฯ ที่ตรวจวัดบริเวณถนน 5 แห่ง และบริเวณที่พักอาศัย 5 แห่ง ในระหว่างเดือนกรกฎาคม 2007 - เมษายน 2008 ซึ่งเปรียบเทียบระหว่าง 3 ฤดู ได้แก่ ฤดูฝน ฤดูร้อน และฤดูหนาว พบว่าความเข้มข้นของสารฟอร์มัลดีไฮด์และอะเซทัลดีไฮด์ มีค่าต่ำในช่วงฤดูฝน (เดือนกรกฎาคม - ตุลาคม) เนื่องจากฝนจะชะล้างสารประกอบไปกับน้ำฝนและมีความเข้มข้นสูงในช่วงฤดูหนาว (เดือนพฤศจิกายน - กุมภาพันธ์) ดังแสดงในภาพที่ 4.8 เนื่องจากสภาพทางอุตุนิยมวิทยามีสภาวะที่เสถียรเหมาะต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล ซึ่งมีผลต่อความเข้มข้นของสารดังกล่าวในบรรยากาศ ภายใต้สภาวะที่ท้องฟ้าเปิดในช่วงเวลานั้นสารฟอร์มัลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ส่วนใหญ่จะเกิดจากปฏิกิริยากับอนุมูลไฮดรอกซิล (Hydroxyl radicals: OH) และกระบวนการโฟโตไลซิส (US EPA, 1993 อ้างถึงใน Daisy Morknoy และคณะ, 2010) และความเข้มข้นจะลดลงเล็กน้อยในช่วงฤดูร้อน (เดือนมีนาคม - มิถุนายน) เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลหรือปฏิกิริยาโฟโตไลซิส ของสารเหล่านี้ได้อยู่ภายใต้อุณหภูมิที่สูงในช่วงฤดูร้อน โดยปัจจัยที่มีผลต่อระยะเวลาของสารคาร์บอนิลที่อยู่ในบรรยากาศ ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาของวัน ความเข้มของแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิ และจากการศึกษาของ Murillo, Marín, และ Román (2011) ที่ทำการศึกษปริมาณสารประกอบคาร์บอนิลและแหล่งกำเนิดของสารใน 3 พื้นที่ในเมือง Costa Rica แถบอเมริกากลาง พบว่าปริมาณสารประกอบคาร์บอนิลที่ตรวจพบปริมาณความเข้มข้นสูงสุด ได้แก่ สารอะซีโตน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 24 - 39 ของปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิลในบรรยากาศทั้งหมด โดยให้เหตุผลว่าปริมาณสารอะซีโตนที่มีปริมาณความเข้มข้นสูงนั้น อาจเป็นผลเนื่องมาจากการปล่อยสารออกมาจากแหล่งกำเนิดโดยตรงร่วมกับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ของ

สารไฮโดรคาร์บอน ซึ่งโดยส่วนมากเกิดในช่วงเวลากลางวัน ประกอบกับค่า lifetimes ของสารอะซีโตนที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของสารด้วยปฏิกิริยาโฟโตไลซิส และปฏิกิริยากับอนุมูลไฮดรอกซิล (hydroxyl radicals: OH) มีค่าประมาณ 40 และ 20 วัน ในบรรยากาศ ซึ่งต่างจากค่า lifetimes ของฟอร์มัลดีไฮด์และอะเซทัลดีไฮด์สำหรับปฏิกิริยากับอนุมูลไฮดรอกซิล (hydroxyl radicals: OH) มีค่าประมาณ 1.5 ชม. ถึง 1 วัน (Shepson และคณะ. 1991; Atkinson 2000 อ้างถึงใน Murillo และคณะ, 2011) ดังนั้นจึงอาจเป็นสาเหตุที่ส่งผลให้ตรวจพบสารอะซีโตนในปริมาณความเข้มข้นสูง



ภาพที่ 4. 8 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารในแต่ละฤดูของสารฟอร์มัลดีไฮด์และอะเซทัลดีไฮด์ในกรุงเทพมหานคร

ที่มา: Daisy Morknoy และคณะ (2010)

ส่วนสารในกลุ่มบีเทคจากผลการศึกษาคั้งนี้ยังไม่สามารถอธิบายผลของฤดูกาลที่มีต่อความเข้มข้นของสารเอทิลเบนซิน เมตา พาราไซลีนและออร์โทไซลีนบริเวณด้านบางนาและด้านอโศก 4 ได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้อาจเนื่องจากเป็นสารที่ไม่ได้เป็นสารประกอบหลักของน้ำมันเชื้อเพลิง จึงทำให้ปล่อยออกมาจากไอเสียและไอระเหยในปริมาณน้อย (Singla และคณะ, 2011) ส่วนปริมาณความเข้มข้นของสารโกลูอินที่แตกต่างกันของทั้งสองฤดูในด้านบางนาและด้านอโศก 4 อาจเป็นผลเนื่องมาจากแหล่งกำเนิดคือไอเสียจากรถที่เข้าใช้บริการด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ เนื่องจากปริมาณรถในช่วงฤดูแล้งฝนมากกว่าฤดูฝนดังแสดงในตารางที่ 4.5 เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Maneerat Ongwandee และ Orathai Chavalparit (2010) ที่ทำการตรวจวัดการรับสัมผัสสารบีเทคในผู้ใช้บริการรถโดยสารสาธารณะในช่วงฤดูลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (พฤษภาคม 2007) และฤดูลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (กุมภาพันธ์ 2008) พบว่าปริมาณความเข้มข้นของสารบีเทคในทั้งสองฤดูไม่แตกต่างกันทางสถิติ อาจเป็นผลเนื่องมาจากข้อจำกัดของจำนวนตัวอย่างและปัจจัยอื่น โดยกล่าวว่าคุณภาพการจราจรอาจมีผลต่อระดับปริมาณสารบีเทคมากกว่าสภาพทางอุตุนิยมวิทยา

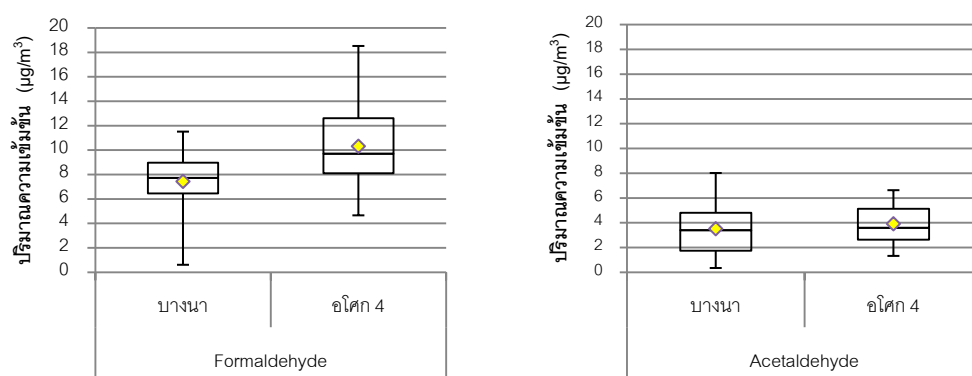


ตารางที่ 4.5 ข้อมูลปริมาณรถและลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาที่ด้านบางนาและด้านอโศก 4 ในฤดูฝนและฤดูแล้งฝน

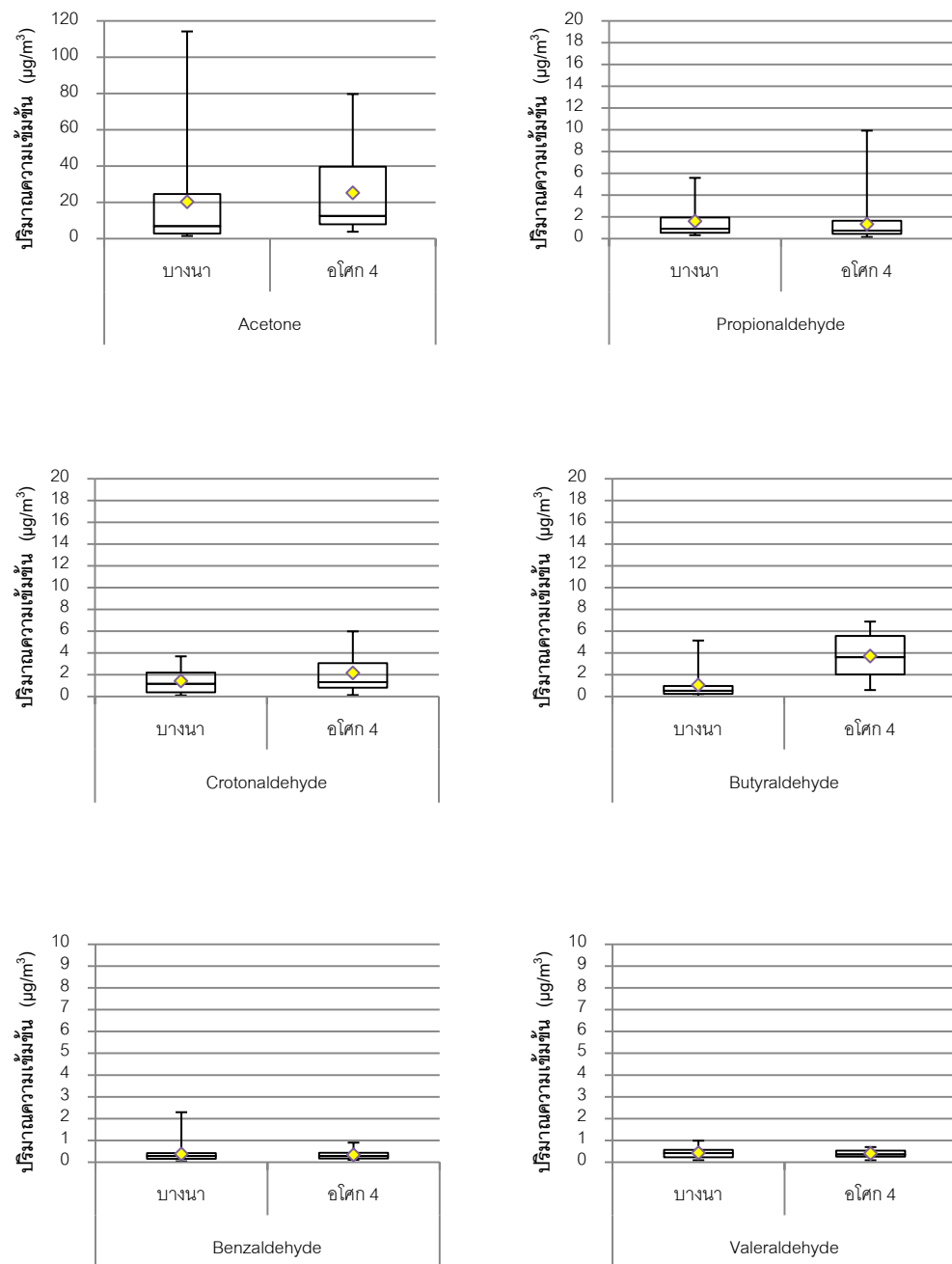
ด้าน	ฤดู	ปริมาณรถ <sup>1</sup> (คัน/8 ชม.)	ลักษณะทางอุตุนิยมวิทยา <sup>2</sup>					
			อุณหภูมิ			ความเร็วลม (น็อต)	ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)	ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)
			สูงสุด (°C)	เฉลี่ย (°C)	ต่ำสุด (°C)			
บางนา	ฝน	2,900	34±0.3	30±0.2	26±0.3	2±2	ไม่พบ	73±12
	แล้งฝน	2,954	34±0.8	30±1.2	26±1.2	3±2	ไม่พบ	74±13
อโศก 4	ฝน	3,143	34±0.3	29±0.3	25±0.3	2±2	1±3	81±12
	แล้งฝน	3,360	34±0.3	30±1.4	26±1.4	2±3	ไม่พบ	72±14

ที่มา: <sup>1</sup> การทางพิเศษแห่งประเทศไทย (2555), <sup>2</sup> อุตุนิยมวิทยา, กรม (2555)

4.2.4 ปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิลและปีเทระหว่างด้านบางนาและด้านอโศก 4 เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิลในด้านเก็บค่าผ่านทางบางนาและอโศก 4 พบว่าในด้านบางนามีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารฟอร์มัลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ อะซีโตน โพรพิวาลดีไฮด์ โครโทนัลดีไฮด์ บิวทิลดีไฮด์ เบนซิลดีไฮด์ วาเลอรัลดีไฮด์ ออร์โทโทลูแอล ดีไฮด์ และเอ็กซานัลดีไฮด์ เท่ากับ  $7.73 \pm 2.48$ ,  $3.51 \pm 1.97$ ,  $20.26 \pm 28.80$ ,  $1.60 \pm 1.52$ ,  $1.42 \pm 1.07$ ,  $1.05 \pm 1.34$ ,  $0.37 \pm 0.41$ ,  $0.43 \pm 0.24$ ,  $0.79 \pm 1.46$  และ  $0.59 \pm 0.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ และผลการตรวจวัดที่ด้านอโศก 4 มีค่าเท่ากับ  $10.31 \pm 3.64$ ,  $3.91 \pm 1.52$ ,  $25.51 \pm 23.66$ ,  $1.33 \pm 1.86$ ,  $2.16 \pm 1.82$ ,  $3.71 \pm 2.00$ ,  $0.33 \pm 0.21$ ,  $0.43 \pm 0.2$ ,  $0.99 \pm 1.33$  และ  $0.33 \pm 0.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.9

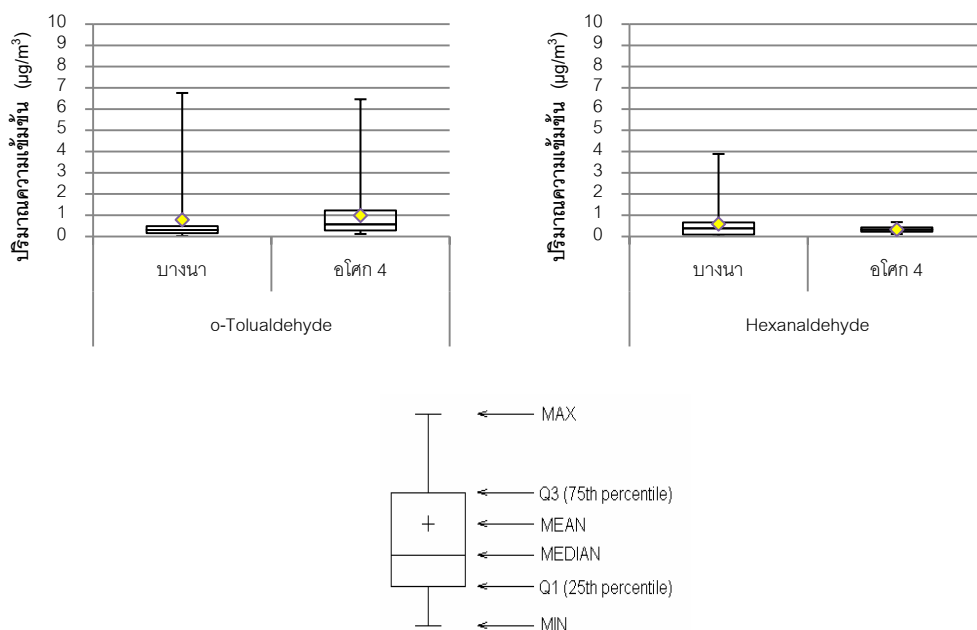


ภาพที่ 4.9 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารประกอบคาร์บอนิลระหว่างด้านบางนาและด้านอโศก 4



ภาพที่ 4.9 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารประกอบคาร์บอนีระหว่างด้านบางนาและด้านอโศก 4 (ต่อ)

หมายเหตุ: ค่าสูงสุดในแกน Y ของสาร acetone เท่ากับ  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และสาร benzaldehyde, valeraldehyde เท่ากับ  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$

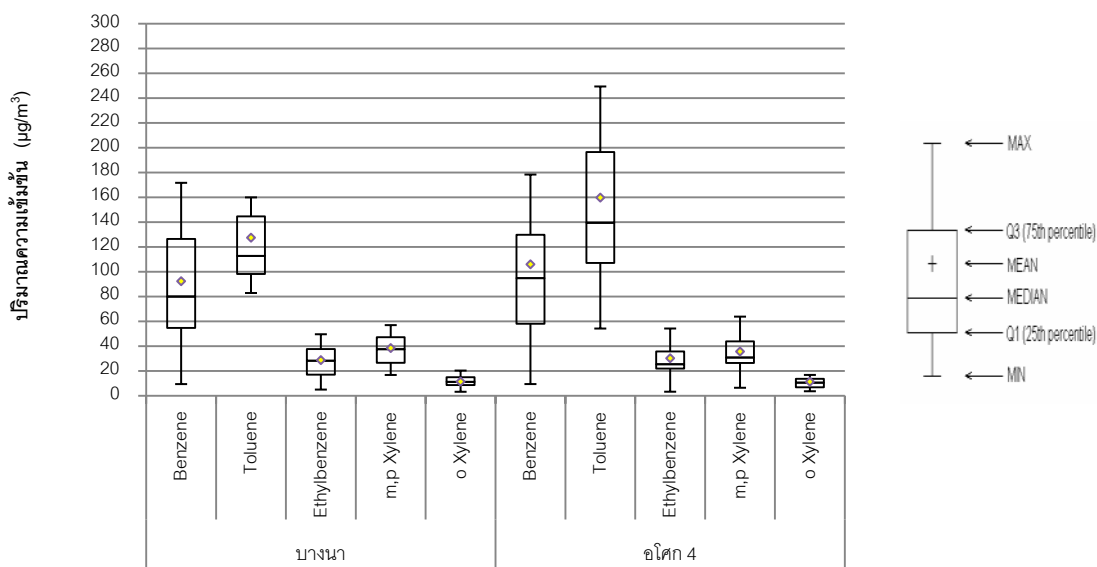


ภาพที่ 4.9 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารประกอบคาร์บอนิลระหว่างด้านบางนาและด้านอโศก 4 (ต่อ)

หมายเหตุ: ค่าสูงสุดในแกน Y ของสาร o-tolualdehyde, hexanaldehyde เท่ากับ  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$

จากภาพที่ 4.9 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารสารฟอร์มัลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ อะซีโตน โครโทนัลดีไฮด์ บิวทิลดีไฮด์ และออร์โทโทลูแอลดีไฮด์ ในด้านอโศก 4 มีปริมาณความเข้มข้นสูงกว่าในด้านบางนา และความเข้มข้นเฉลี่ยของสารโพพินัลดีไฮด์ เบนซิลดีไฮด์ วาเลอรัลดีไฮด์ และเอ็กซานัลดีไฮด์ ในด้านบางนามีปริมาณสูงกว่าในด้านอโศก 4 เมื่อนำปริมาณค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารประกอบคาร์บอนิลมาทดสอบทางสถิติ พบว่า มีเพียงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารฟอร์มัลดีไฮด์ บิวทิลดีไฮด์ และเอ็กซานัลดีไฮด์ที่พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของสารปีเทคในด้านเก็บค่าผ่านทางบางนาและอโศก 4 พบว่าในด้านบางนามีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน เมตาไซลีน พาราไซลีน และออร์โทไซลีน เท่ากับ  $92.37 \pm 47.18$ ,  $127.48 \pm 38.90$ ,  $28.75 \pm 12.67$ ,  $38.46 \pm 14.54$  และ  $11.39 \pm 4.54 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ และผลการตรวจวัดที่ด้านอโศก 4 มีค่าเท่ากับ  $105.99 \pm 62.04$ ,  $164.06 \pm 81.06$ ,  $31.05 \pm 12.75$ ,  $36.15 \pm 16.08$  และ  $11.52 \pm 5.55 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารบีเทระหว่างด้านบางนาและด้านอโศก 4

จากภาพที่ 4.10 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเบนซิน โทลูอิน เอทิลเบนซิน และออโทไซลีนในด้านอโศก 4 มีปริมาณสูงกว่าในด้านบางนา เมื่อนำปริมาณค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารบีเทมาทดสอบทางสถิติ พบว่า มีเพียงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารโทลูอินที่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เมื่อพิจารณาจากข้อมูลสถิติปริมาณรถพบว่า ปริมาณรถที่ใช้บริการด้านเก็บค่าผ่านทางอโศก 4 สูงกว่าด้านเก็บค่าผ่านทางบางนาดังแสดงในตารางที่ 4 และรวมถึงลักษณะที่ตั้งของด้านเก็บค่าผ่านทางอโศก 4 เป็นด้านที่ยกตัวสูงจากพื้นดิน ตั้งอยู่ใจกลางเมือง และเป็นด้านที่ตั้งเชื่อมต่อกับด้านเก็บค่าผ่านทางอโศก 3 ต่อกันเป็นแนวยาว โดยด้านอโศก 3 และ 4 มีจำนวนตู้ให้บริการที่เรียงต่อกันรวม 18 ตู้ ดังนั้นปัจจัยดังกล่าวจึงอาจส่งผลให้ด้านเก็บค่าผ่านทางอโศก 4 มีปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนชนิดหลักได้แก่ ฟอรัมาลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ และอะซีโตน และสารกลุ่มบีเทได้แก่ เบนซิน โทลูอิน เอทิลเบนซิน และออโทไซลีนสูงกว่าในด้านเก็บค่าผ่านทางบางนา

#### 4.2.5 ปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างของด้านบางนาและด้านอโศก 4

ปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทในแต่ละจุดที่ทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 4 ตำแหน่ง ได้แก่ (1) ตัวอย่างการสัมผัสผิวของพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่ตู้เก็บค่าบริการรถยนต์/รถบรรทุก (P1) และ (2) ตู้เก็บค่าบริการรถยนต์ส่วนบุคคล (P2) (3) ตัวอย่างในบริเวณช่องเก็บค่าบริการอัตโนมัติ (easy pass) (E) และ (4) ตัวอย่างที่เก็บในบรรยากาศทั่วไปบริเวณด้าน (A) ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทในแต่ละตำแหน่ง

ของทั้งสองด้านได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.6 และตารางที่ 4.8 และเมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทคที่ตรวจวัดแต่ละตำแหน่งทั้งในด้านบางนาและด้านอโศก 4 สามารถเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ตามตารางที่ 4.7 และตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.6 ปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิลในแต่ละตำแหน่งในด้านเก็บค่าผ่านทางบางนาและด้านอโศก 4

ด้าน	สาร	ค่าเฉลี่ย±SD ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			
		P1	P2	E	A
บางนา	Formaldehyde	6.03 ± 1.94 <sup>a</sup>	7.52 ± 2.16 <sup>a,b</sup>	6.66 ± 2.8 <sup>a</sup>	9.52 ± 1.74 <sup>b</sup>
	Acetaldehyde	3.41 ± 2.29 <sup>a</sup>	4.42 ± 2.33 <sup>a</sup>	2.68 ± 1.54 <sup>a</sup>	3.54 ± 1.52 <sup>a</sup>
	Acetone	21.59 ± 29.78 <sup>a</sup>	25.93 ± 37.19 <sup>a</sup>	16.39 ± 24.14 <sup>a</sup>	17.11 ± 27.45 <sup>a</sup>
	Propionaldehyde	1.85 ± 1.70 <sup>a,b</sup>	2.77 ± 1.96 <sup>a</sup>	0.86 ± 0.71 <sup>b</sup>	0.9 ± 0.48 <sup>b</sup>
	Crotonaldehyde	1.40 ± 1.43 <sup>a</sup>	1.31 ± 0.81 <sup>a</sup>	1.21 ± 0.90 <sup>a</sup>	1.8 ± 1.15 <sup>a</sup>
	Butyraldehyde	1.10 ± 1.99 <sup>a</sup>	1.34 ± 1.24 <sup>a</sup>	1.11 ± 1.26 <sup>a</sup>	0.42 ± 0.28 <sup>a</sup>
	Benzaldehyde	0.26 ± 0.12 <sup>a</sup>	0.35 ± 0.16 <sup>a</sup>	0.53 ± 0.87 <sup>a</sup>	0.38 ± 0.26 <sup>a</sup>
	Valeraldehyde	0.33 ± 0.17 <sup>a,b</sup>	0.24 ± 0.11 <sup>a</sup>	0.50 ± 0.28 <sup>b</sup>	0.57 ± 0.21 <sup>b</sup>
	o-Tolualdehyde	0.67 ± 0.97 <sup>a</sup>	1.36 ± 2.41 <sup>a</sup>	0.22 ± 0.16 <sup>a</sup>	0.87 ± 1.31 <sup>a</sup>
	Hexanaldehyde	0.61 ± 0.51 <sup>a</sup>	0.82 ± 0.81 <sup>a</sup>	0.79 ± 1.38 <sup>a</sup>	0.51 ± 0.25 <sup>a</sup>
อโศก 4	Formaldehyde	14.60 ± 3.29 <sup>a</sup>	11.25 ± 1.54 <sup>b</sup>	7.47 ± 1.79 <sup>c</sup>	7.91 ± 2.14 <sup>c</sup>
	Acetaldehyde	5.19 ± 1.30 <sup>a</sup>	4.8 ± 1.37 <sup>a</sup>	2.58 ± 0.37 <sup>b</sup>	3.05 ± 0.92 <sup>b</sup>
	Acetone	27.94 ± 26.32 <sup>a</sup>	29.56 ± 29.75 <sup>a</sup>	23.22 ± 21.35 <sup>a</sup>	20.15 ± 20.51 <sup>a</sup>
	Propionaldehyde	0.86 ± 0.72 <sup>a</sup>	1.45 ± 1.12 <sup>a</sup>	1.16 ± 0.72 <sup>a</sup>	1.84 ± 3.57 <sup>a</sup>
	Crotonaldehyde	3.37 ± 2.31 <sup>a</sup>	2.82 ± 2.08 <sup>a,b</sup>	1.42 ± 0.76 <sup>a,b</sup>	1.12 ± 0.90 <sup>b</sup>
	Butyraldehyde	6.21 ± 0.93 <sup>a</sup>	3.90 ± 0.30 <sup>a,b</sup>	3.17 ± 1.30 <sup>a,b</sup>	2.86 ± 1.09 <sup>b</sup>
	Benzaldehyde	0.29 ± 0.16 <sup>a</sup>	0.30 ± 0.13 <sup>a</sup>	0.44 ± 0.29 <sup>a</sup>	0.30 ± 0.23 <sup>a</sup>
	Valeraldehyde	0.17 ± 0.09 <sup>a</sup>	0.32 ± 0.08 <sup>a</sup>	0.52 ± 0.11 <sup>a</sup>	0.54 ± 0.21 <sup>a</sup>
	o-Tolualdehyde	1.60 ± 2.20 <sup>a</sup>	1.24 ± 0.63 <sup>a</sup>	0.38 ± 0.16 <sup>a</sup>	0.42 ± 0.51 <sup>a</sup>
	Hexanaldehyde	0.31 ± 0.21 <sup>a</sup>	0.26 ± 0.09 <sup>a</sup>	0.35 ± 0.15 <sup>a</sup>	0.40 ± 0.14 <sup>a</sup>

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a,b,c ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบปริมาณสารประกอบคาร์บอนิลในแต่ละตำแหน่งในด้านเก็บค่าผ่านทาง  
บางนาและอโศก 4

สาร	ด้านบางนา	ด้านอโศก 4
Formaldehyde	$A^b > P2^{a,b} > E^a > P1^a$	$P1^a > P2^b > A^c > E^c$
Acetaldehyde	$P2^a > A^a > P1^a > E^a$	$P1^a > P2^a > A^b > E^b$
Acetone	$P2^a > P1^a > A^a > E^a$	$P2^a > P1^a > E^a > A^a$
Propionaldehyde	$P2^a > P1^{a,b} > A^b > E^b$	$A^a > P2^a > E^a > P1^a$
Crotonaldehyde	$A^a > P1^a > P2^a > E^a$	$P1^a > P2^{a,b} > E^{a,b} > A^b$
Butyraldehyde	$P2^a > P1^a > A^a > E^a$	$P1^a > P2^{a,b} > E^{a,b} > A^b$
Benzaldehyde	$E^a > A^a > P2^a > P1^a$	$E^a > A^a > P2^a > P1^a$
Valeraldehyde	$A^b > E^b > P1^{a,b} > P2^a$	$A^a > E^a > P2^a > P1^a$
o-Tolualdehyde	$P2^a > A^a > P1^a > E^b$	$A^a > E^a > P1^a > P2^a$
Hexanaldehyde	$P2^a > E^a > P1^a > A^a$	$A^a > E^a > P1^a > P2^a$

หมายเหตุ: ตัวอักษร a,b,c ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความ  
เชื่อมั่น 95 % (ในแต่ละด้าน)

จากตารางที่ 4.8 ในด้านบางนาสารฟอร์มาลดีไฮด์ตรวจพบมากที่สุดที่จุด A และสาร  
อะเซทัลดีไฮด์ตรวจพบมากที่สุดที่จุด P2 และในด้านเก็บค่าผ่านทางอโศก 4 สารฟอร์มาลดีไฮด์  
และอะเซทัลดีไฮด์ตรวจพบมากที่สุดที่จุด P1 ซึ่งรถที่เข้าใช้บริการในช่องเก็บค่าผ่านทางช่องนี้  
ส่วนใหญ่เป็นรถยนต์เครื่องยนต์ดีเซล ยกตัวอย่างเช่น รถบรรทุก รถโดยสารประจำทาง เป็นต้น  
แต่รถขนาดเล็กที่ใช้เครื่องยนต์เบนซินก็สามารถเข้าใช้บริการในช่องเก็บค่าผ่านทาง P1 ได้ ส่วน  
ในจุด P2 เป็นช่องเก็บค่าบริการจากรถยนต์เครื่องยนต์เบนซินเป็นส่วนใหญ่ โดยรถที่มีขนาด  
ใหญ่ เช่น รถบรรทุก รถโดยสารประจำทาง จะไม่สามารถเข้าใช้บริการในช่องนี้ได้เนื่องจาก  
ขนาดของช่องมีขนาดเล็กกว่าในช่อง P1 จากการศึกษพบว่าแหล่งกำเนิดของสารประกอบ  
คาร์บอนิลนั้นถูกปล่อยออกมาจากยานพาหนะที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล เนื่องจากส่วนประกอบ  
บางส่วนของน้ำมันชนิดนี้สามารถปล่อยสารกลุ่มคาร์บอนิลออกมาโดยผ่านกระบวนการเผา  
ไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (Sagebiel และคณะ, 1996 อ้างถึงใน Feng และคณะ, 2005) และการปล่อย  
สารมลพิษออกซิเจนเนทบางชนิดสู่บรรยากาศ เช่น น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของเมทานอล  
ทำให้เกิดสารฟอร์มาลดีไฮด์ น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของสารอีเทอร์เมทิลเทอร์บิวทิลทำให้  
เกิดสารอะซีโตน และอะโครลีน และการใช้เชื้อเพลิงเอทานอลสามารถนำไปสู่การปล่อยสารอะ  
เซทัลดีไฮด์ ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของสารเปอร้ออกซิอะซีลไนเตรท นอกจากนั้นยังนำไปสู่การก่อ

ตัวของไอโซนและสารประกอบคาร์บอนิล (Zervas, Montagne และ Lahayes, 2002 อ้างถึงใน Daisy Morknoy และคณะ, 2010) นอกจากนี้จากการศึกษาของ Corrêa และ Arbilla (2005) ที่ทำการศึกษาสารฟอร์มัลดีไฮด์และอะเซทัลดีไฮด์ ที่เกี่ยวข้องกับกาใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะเครื่องยนต์เบา พบว่าปริมาณการปล่อยสารฟอร์มัลดีไฮด์และอะเซทัลดีไฮด์จากรถยนต์ 20 คันที่ขับเคลื่อนโดยก๊าซธรรมชาติ (CNG) มีค่าเฉลี่ยอัตราส่วนการปล่อยสารฟอร์มัลดีไฮด์/อะเซทัลดีไฮด์มีค่าเท่ากับ 3.42 สำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติ (CNG) และ 0.24 สำหรับยานพาหนะชนิดเดียวกันแต่น้ำมันแก๊สโซลีน และสารในกลุ่มนี้ยังสามารถเกิดได้จากแหล่งกำเนิดชนิดทุติยภูมิได้ ทำให้พบสารเหล่านี้กระจายอยู่ในทุกจุดโดยไม่พบมากในจุดใดจุดหนึ่งที่แน่นอนเนื่องจากสารในกลุ่มนี้มีแหล่งกำเนิดมาจากหลายแหล่งที่กระจายอยู่ทั่วทั้งด้านเก็บค่าผ่านทาง

ตารางที่ 4.8 ปริมาณความเข้มข้นของสารปิเทคในแต่ละตำแหน่งในด้านเก็บค่าผ่านทางบางา และด้านอโศก 4

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

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร a,b,c ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบปริมาณสารบีเทคในแต่ละตำแหน่งในด้านเก็บค่าผ่านทางบางนาและอโศก 4

สาร	ด้านบางนา	ด้านอโศก 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	$P2^a > A^a > P1^a > E^a$	$P2^a > P1^{a,b} > A^{a,b} > E^b$
m,p Xylene	$P2^a > P1^{a,b} > A^{a,b} > E^b$	$P2^a > P1^{a,b} > A^b > E^b$
o-Xylene	$P2^a > A^a > E^a > P1^a$	$P2^a > P1^a > A^a > E^a$

หมายเหตุ: ตัวอักษร a,b,c ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ในแต่ละด้าน)

จากตารางที่ 4.8 พบว่าทั้งด้านบางนาและด้านอโศก 4 ในจุด P2 พบปริมาณสารบีเทคสูงสุด เนื่องจากเป็นช่องเก็บค่าบริการจากรถยนต์เครื่องยนต์เบนซินเป็นส่วนใหญ่ แต่ในช่อง P1 รถที่เข้าใช้บริการส่วนใหญ่เป็นรถยนต์เครื่องยนต์ดีเซล ยกตัวอย่างเช่น รถบรรทุก รถโดยสารประจำทาง เป็นต้น เนื่องจากรถยนต์เครื่องยนต์เบนซินจะปล่อยสารบีเทคออกมาในปริมาณสูงกว่ารถยนต์เครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งจากการศึกษาของกรมควบคุมมลพิษที่ได้ศึกษาอัตราการระบายสารมลพิษจากแหล่งกำเนิดชนิดเคลื่อนที่จำแนกตามประเภท พบว่าอัตราการระบายสารไฮโดรคาร์บอนซึ่งรวมถึงสารอินทรีย์ระเหยในกลุ่มบีเทคในรถยนต์เครื่องยนต์เบนซิน มีอัตราการระบายสารไฮโดรคาร์บอน 35,886 ตัน/ปี ซึ่งสูงกว่ารถยนต์เครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ที่มีอัตราการระบาย 17,671 ตัน/ปี และรถยนต์เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กมีอัตราการระบาย 15,739 ตัน/ปี (กรมควบคุมมลพิษ, 2543 อ้างถึงใน ภาวธา มีเงิน, 2554) และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tran และ Giang (2009) ที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณความเข้มข้นฝุ่น PM<sub>2.5</sub> และสารกลุ่มบีเทคในบรรยากาศบริเวณริมถนนในเมืองโฮจิมินห์ ประเทศเวียดนาม และสร้างแบบจำลองเกี่ยวกับปัจจัยของยานพาหนะที่ปล่อยสารมลพิษ โดยพบว่า รถยนต์เครื่องยนต์เบนซินจะมีอัตราการปล่อยสารบีเทคที่สูงกว่ารถยนต์เครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งรถยนต์เครื่องยนต์เบนซินพบปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน เมตาไซลีน พาราไซลีน และออร์โทไซลีนที่ปล่อยออกมามีค่าเท่ากับ  $22 \pm 0.1$ ,  $68 \pm 0.3$ ,  $8 \pm 0.1$ ,  $22 \pm 0.1$  และ  $8 \pm 0.1$  ตามลำดับ และรถยนต์เครื่องยนต์ดีเซลมีค่าเท่ากับ  $17.53 \pm 5.3$ ,  $61 \pm 22.2$ ,  $4 \pm 3.3$ ,  $20 \pm 5.5$  และ  $5 \pm 2.9$  ตามลำดับ ส่วนช่อง E เป็นจุดเก็บตัวอย่างบริเวณช่องเก็บค่าบริการอัตโนมัติ (easy pass) รถที่เข้าใช้บริการในช่องนี้จะมีอัตราการวิ่งผ่านที่เร็วกว่าในช่องอื่นๆ เนื่องจากไม่ต้องหยุดรถเพื่อชำระค่าบริการจึงส่งผลให้พบสารบีเทคในจุดนี้มีค่าน้อยเพราะเกิดการแพร่ของสารออกมาจากรถในขณะหยุดน้อยกว่าในจุด P1 และ P2 สำหรับจุด A เป็นจุดที่ติดตั้งอุปกรณ์เก็บสารบีเทคในบรรยากาศบริเวณด้าน ซึ่งจะตั้ง



อุปกรณ์เก็บตัวอย่างห่างจากตู้เก็บค่าผ่านทางออกมาประมาณ 2-3 เมตร และรถที่ผ่านในจุดนี้จะขับผ่านไปโดยไม่มีการหยุดจอดและไม่มีการชะลอตัวจึงอาจเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้พบปริมาณสารบีเทคที่ลดลงจากจุด P2 แต่ในด้านบางนาจุดที่ตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างจะใกล้กับตู้เก็บค่าผ่านทางรถยนต์เครื่องยนต์เบนซินมากกว่าด่านอโศก 4 เนื่องจากสภาพพื้นที่ในการตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างไม่อำนวยจึงอาจส่งผลให้ปริมาณสารบีเทคในจุด A ของด่านเก็บค่าผ่านทางบางนามีปริมาณสูงกว่าในจุด P1 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tsai และคณะ (2002) ที่ได้ทำการประเมินการรับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหย ได้แก่ สารกลุ่มบีเทค (เบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน และไซลีน) และเมทิลเทอเทียรีบิวทิลอีเทอร์ ของพนักงานที่ทำงานบริเวณช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษ ประเทศไต้หวัน ในช่องเก็บค่าผ่านทางรถประจำทาง/รถบรรทุก ช่องเก็บค่าผ่านทางรถยนต์ที่ใช้เงินสด และช่องเก็บค่าผ่านทางรถยนต์ที่ใช้บัตรเครดิต พบว่าปริมาณความเข้มข้นของสารบีเทค (เบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน และไซลีน) ในช่องเก็บค่าผ่านทางรถยนต์ที่ใช้บัตรเครดิต และช่องเรียกเก็บค่าผ่านทางรถยนต์ที่ใช้เงินสด ทั้งสองช่องเก็บค่าผ่านทางมีค่าความเข้มข้นของสารสูงกว่าในช่องเรียกเก็บค่าผ่านทางรถประจำทาง/รถบรรทุก

#### 4.3 เปรียบเทียบปริมาณสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทคที่ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษกับผลการศึกษานอื่น ๆ

เมื่อนำค่าปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทคที่พนักงานที่ปฏิบัติงานในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษได้รับสัมผัส ปริมาณความเข้มข้นของสารที่ตรวจพบในบริเวณช่องเก็บค่าบริการอัตโนมัติ (easy pass) และ ปริมาณความเข้มข้นของสารในบรรยากาศทั่วไปบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ มาเปรียบเทียบกับกลุ่มผู้ปฏิบัติงานในอาชีพอื่นๆ และในจุดเก็บตัวอย่างอื่นๆ พบว่า

ปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิลที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ ที่พนักงานที่ปฏิบัติงานในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษได้รับสัมผัส ปริมาณความเข้มข้นของสารที่ตรวจพบในบริเวณช่องเก็บค่าบริการอัตโนมัติ (easy pass) และปริมาณความเข้มข้นของสารในบรรยากาศทั่วไปบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ พบว่ามีค่าปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิลมีค่าต่ำกว่าปริมาณความเข้มข้นที่ตรวจวัดในพนักงานสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง ในบรรยากาศทั่วไปของเมืองโกลกกาตา ประเทศอินเดีย (24 ชั่วโมง) และ บรรยากาศทั่วไปของเมืองเซี่ยงไฮ้ ประเทศจีน (10 ชั่วโมง) ในปริมาณเล็กน้อย แต่มีปริมาณความเข้มข้นของสารฟอร์มาลดีไฮด์ต่ำกว่าที่ตรวจวัดในบริเวณ ป้ายรถเมล์ในเมืองกวางโจว ประเทศจีน (2 ชั่วโมง) ถึง 6.9 เท่า ยกเว้นสารอะซีโตนที่มีปริมาณความเข้มข้นกว่าในทั้ง 3 จุดที่ทำการเก็บตัวอย่าง และในการตรวจวัดครั้งนี้มีปริมาณ

ความเข้มข้นของสารใกล้เคียงกับบริเวณพื้นที่ริมถนน บริเวณที่พักอาศัย ที่ตรวจวัดในเขต กรุงเทพมหานคร (24 ชั่วโมง) ดังข้อมูลสารประกอบคาร์บอนิลที่รวบรวมในตารางที่ 4.10

ปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่มปีเทจากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า ในจุดเก็บตัวอย่างที่ พนักงานปฏิบัติงานในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษได้รับสัมผัสมีปริมาณความเข้มข้นของสารเบนซินสูงกว่าในกลุ่มผู้ชายเสื้อฟ้าและอาหารปิ้งย่างริมถนนถึง 1.5 เท่า แต่ปริมาณความเข้มข้นของสารเบนซินที่ตรวจพบในบริเวณช่องเก็บค่าบริการอัตโนมัติ (easy pass) และในบรรยากาศทั่วไปบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษมีปริมาณต่ำกว่าในกลุ่มผู้ชายเสื้อฟ้าและอาหารปิ้งย่างริมถนน และในทุกจุดที่ทำการเก็บตัวอย่างมีปริมาณสารเบนซินต่ำกว่าที่ตรวจวัดในพนักงานที่ปฏิบัติงานในสถานีบริการน้ำมัน เชื้อเพลิง และพนักงานที่ปฏิบัติงานในโรงงานปิโตรเคมี ประมาณ 2 - 3 เท่า ที่ทำการศึกษาโดย Panida Navasumrit, Mathuros Ruchirawat และ Chulabhorn Mahidol (2005) ส่วนเมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารปีเทที่พนักงานที่ปฏิบัติงานในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษได้รับสัมผัส กับพนักงานที่ปฏิบัติงานในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงที่ศึกษาโดย Mingkwan Kitwattanavong (2010) พบว่าพนักงานที่ปฏิบัติงานในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษได้รับสัมผัสสาร ปีเทน้อยกว่าพนักงานที่ปฏิบัติงานในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงที่ทำการศึกษาในครั้งที่ 1 แต่พนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษได้รับสัมผัสสารปีเทในปริมาณสูงกว่าเมื่อเทียบกับการศึกษาในครั้งที่ 2 (ยกเว้นสารโทลูอีน) ส่วนปริมาณความเข้มข้นของสารปีเทในช่องเก็บค่าบริการอัตโนมัติ (easy pass) และในบรรยากาศทั่วไปบริเวณด่านพบว่ามีความเข้มข้นต่ำกว่าปริมาณสารปีเทที่พนักงานในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงได้รับสัมผัสทั้งใน ทั้ง 2 ครั้งที่ทำการศึกษา เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณความเข้มข้นของสารปีเทที่พนักงานที่ปฏิบัติงานในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษของประเทศไต้หวันได้รับสัมผัสที่ทำการศึกษาโดย Lee และคณะ (2002) พบว่าการศึกษาในครั้งนี้ตรวจพบปริมาณสารปีเทในปริมาณที่สูงกว่าค่าสูงสุดที่ตรวจวัดได้ของการศึกษาในประเทศไต้หวันถึงกว่า 1 - 3 เท่า และเมื่อเทียบกับผู้โดยสารรถเมล์ปรับอากาศ ผู้โดยสารรถเมล์ไม่ปรับอากาศ ผู้โดยสารรถไฟฟ้า และผู้โดยสารทางเรือ (4 ชั่วโมง) พบว่าพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษได้รับสัมผัสสารปีเทในปริมาณที่สูงกว่าผู้โดยสารแบบต่างๆ ดังข้อมูลสารปีเทที่รวบรวมในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิลในการศึกษานี้กับกลุ่มผู้ที่ได้รับสัมผัสสารกลุ่มอื่นๆ

กลุ่มผู้ได้รับสัมผัส	ระยะเวลาเก็บตัวอย่าง	ประเทศ	ปริมาณสาร ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )				Ref.
			Formaldehyde	Acetaldehyde	Acetone	Propionaldehyde	
พนักงานปฏิบัติงานในด้านเก็บค่าผ่านทาง	8 ชั่วโมง	กรุงเทพ, ไทย	9.65	4.43	26.09	1.77	การศึกษานี้
ช่องเก็บค่าบริการอัตโนมัติ			7.04	2.63	19.58	1.00	
บรรยากาศทั่วไปบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทาง			8.77	3.31	18.53	1.34	
พนักงานสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง <sup>1</sup>	8 ชั่วโมง	กรุงเทพ, ไทย	12.17	5.34	12.46	3.55	Mingkwon Kitwattanavong (2010)
พนักงานสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง <sup>2</sup>			10.95	8.87	12.15	1.03	
พนักงานสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง	8 ชั่วโมง	กรุงเทพ, ไทย	15.18	9.34	18.52	1.85	Sucot Nopparatbundit (2010)
บริเวณพื้นที่ริมถนน			15.72	7.31	13.02	1.44	
บริเวณพื้นที่ริมถนน	17:00- 05:00 น.	กรุงเทพ, ไทย	11.58	3.51	-	-	Daisy Morknoy และคณะ (2010)
บริเวณที่พักอาศัย			9.65	3.11	-	-	
บรรยากาศทั่วไป	24 ชั่วโมง	Kolkata, India	19.75	13.68	-	-	Dutta และคณะ (2009)
บรรยากาศทั่วไป	8.00 – 18.00 น.	Shanghai, China	19.40 ± 12.00	15.92 ± 12.07	11.86 ± 7.04	-	Huang และคณะ (2009)
ป้ายรถเมล์	11:00 -13:00 น.	Guangzhou, China	66.97	23.15	15.61	4.05	Feng และคณะ (2005)
บริเวณกลาง high way	ช่วงกลางวัน กลางคืน	Kuopio, Finland	2.58 - 38.44	2.52 – 14.59	-	-	Viskari และคณะ (2000)
บรรยากาศห่างจาก high way 200 m			1.11 – 2.58	1.08 – 3.42	-	-	

หมายเหตุ: <sup>1</sup> การศึกษาในช่วงที่ 1, <sup>2</sup> การศึกษาในช่วงที่ 2

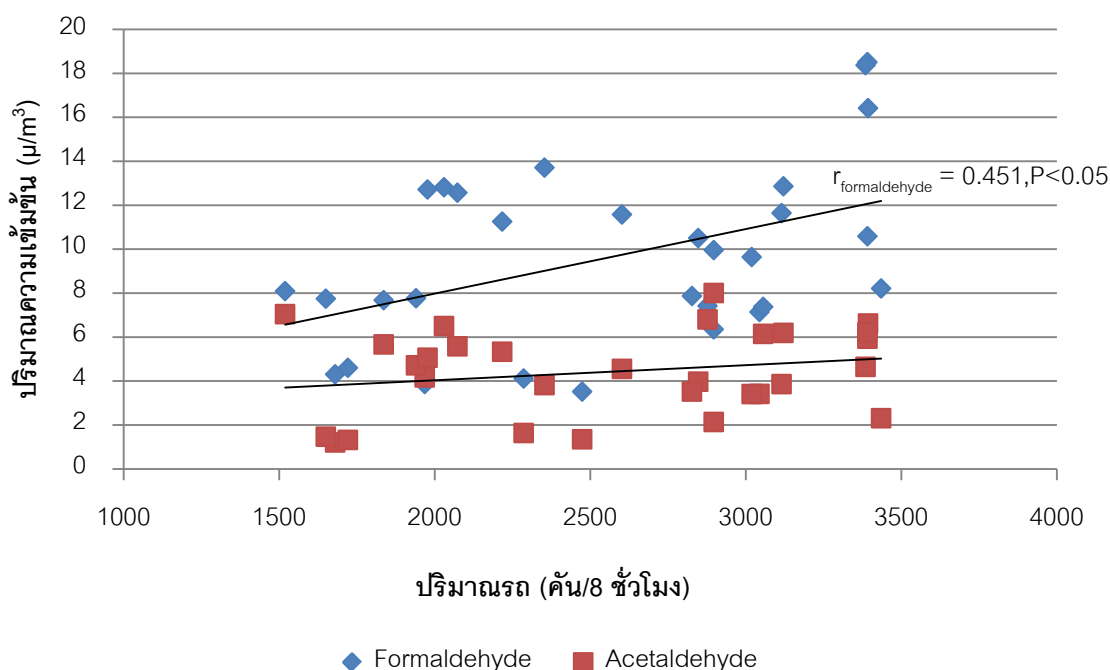
ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของสารปิเทคเทคในการศึกษารังนี้กับกลุ่มผู้ที่ได้รับสัมผัสสารกลุ่มอื่นๆ

จุดเก็บตัวอย่าง	ระยะเวลาเก็บตัวอย่าง	ประเทศ	ปริมาณสาร ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )					Ref.
			Benzene	Toluene	Ethylbenzene	m,p-Xylene	o-Xylene	
พนักงานปฏิบัติงานในด้านเก็บค่าผ่านทาง	8 ชั่วโมง	กรุงเทพ, ไทย	137.55	154.53	32.20	42.28	11.66	การศึกษารังนี้
ช่องเก็บค่าบริการอัตโนมัติ			47.98	136.20	25.31	28.62	10.29	
บรรยากาศทั่วไปบริเวณด้านเก็บค่าผ่านทาง			70.87	129.83	28.04	34.47	11.72	
ผู้โดยสารรถเมล์ปรับอากาศ	2 ชั่วโมง	กรุงเทพ, ไทย	11.7	103	11.7	42.8		Maneerat Ongwadee และ Orathai Chavalparit (2010)
ผู้โดยสารรถเมล์ไม่ปรับอากาศ	(ช่วงเช้า),		37.1	174	14.7	55.4		
ผู้โดยสารรถไฟฟ้า	2 ชั่วโมง		2	36.9	0.5	0.5		
ผู้โดยสารทางเรือ	(ช่วงบ่าย)		3.1	58.5	0.5	6.2		
พนักงานสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง <sup>1</sup>	8 ชั่วโมง	กรุงเทพ, ไทย	220.29	297.03	34.96	109.89		Mingkwon Kitwattanavong (2010)
พนักงานสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง <sup>2</sup>			123.7	188.39	12.20	44.58		
ผู้ขายเสื้อผ้าริมถนน	8 ชั่วโมง	กรุงเทพ, ไทย	72.23	-	-	-	-	Panida Navasumrit และคณะ (2005)
ผู้ขายอาหารปิ้งย่าง			90.06	-	-	-	-	
พนักงานสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง			388.70	-	-	-	-	
พนักงานในโรงงานปิโตรเคมี			234.97	-	-	-	-	
พนักงานปฏิบัติงานในด้านเก็บค่าผ่านทาง	8 ชั่วโมง	ไต้หวัน	6.55 - 28.34	37.57 - 117.31	6.51 - 19.97	13.46 - 53.06		Lee และคณะ (2002)

หมายเหตุ: <sup>1</sup> การศึกษารังนี้ในช่วงที่ 1, <sup>2</sup>การศึกษารังนี้ในช่วงที่ 2

#### 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรถที่ใช้บริการด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษและปริมาณสารฟอร์มัลดีไฮด์และอะเซทัลดีไฮด์ที่พนักงานได้รับสัมผัส

ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (Pearson's correlations) ระหว่างปริมาณรถที่ใช้บริการด้านเก็บค่าผ่านทางบางนาและด้านเก็บค่าผ่านทางอโศก 4 และปริมาณสารฟอร์มัลดีไฮด์และอะเซทัลดีไฮด์ที่พนักงานได้รับสัมผัสตลอดระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมง โดยพิจารณาจากการเก็บตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของพนักงานที่ปฏิบัติงานในช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษ 2 ช่อง ได้แก่ พนักงานที่ปฏิบัติงานในช่อง P1 และ P2 ทั้งในวันศุกร์และวันอาทิตย์ (n=30) ดังแสดงในภาพที่ 4.11



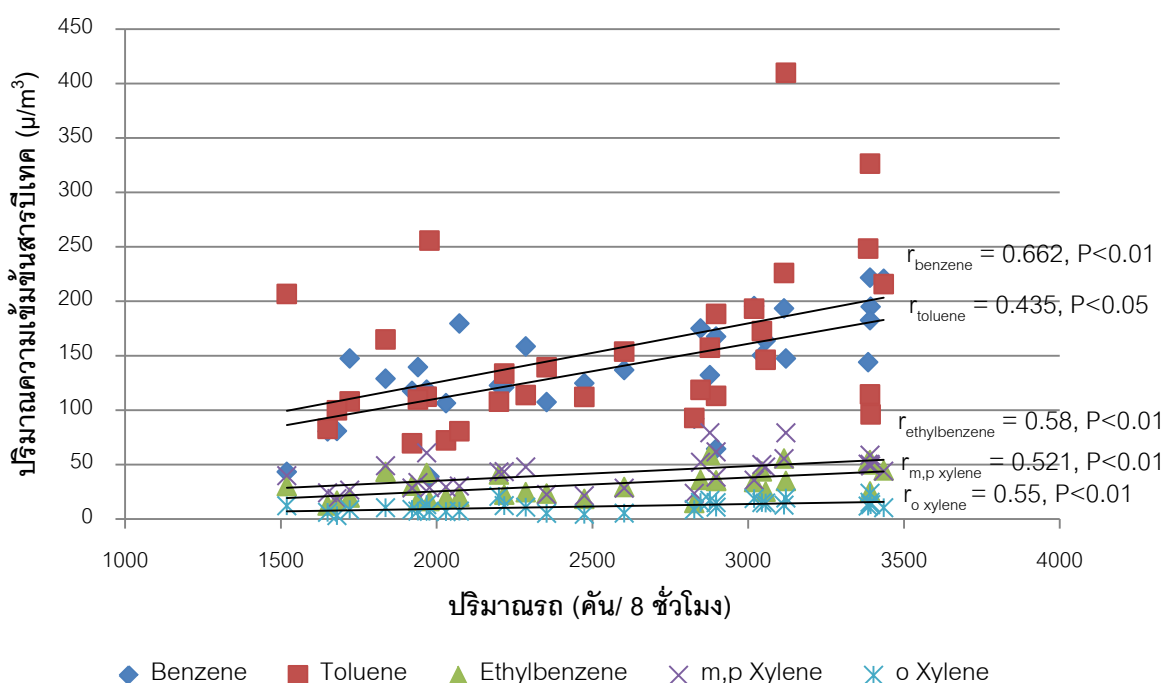
ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรถที่ใช้บริการและปริมาณสารฟอร์มัลดีไฮด์และอะเซทัลดีไฮด์ในช่อง P1 และ P2 (n=30)

เมื่อนำความความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรถที่ใช้บริการด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษและปริมาณสารฟอร์มัลดีไฮด์และอะเซทัลดีไฮด์ที่พนักงานได้รับสัมผัสมาทดสอบหาความสัมพันธ์ทางสถิติพบว่าปริมาณรถที่ใช้บริการด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษและปริมาณสารฟอร์มัลดีไฮด์ มีความสัมพันธ์กันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และมีค่า  $r = 0.451$  จึงสรุปได้ว่าปริมาณรถที่ใช้บริการด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณสารฟอร์มัลดีไฮด์ที่พนักงานได้รับสัมผัสเพิ่มสูงขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Facundo และคณะ (2012) ที่หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของสารมลพิษชนิดต่างๆ กับปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิล ซึ่งพบว่าในช่วงเวลาเช้าสารฟอร์มัลดีไฮด์กับปริมาณสารคาร์บอนมอนอกไซด์มีความสัมพันธ์ในเชิงบวก ( $r =$

0.858) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารฟอร์มาลดีไฮด์ที่ตรวจพบมีแหล่งกำเนิดมาจากการปล่อยของเครื่องยนต์ และจากการศึกษาของ Morknoy และคณะ (2011) พบว่า ปริมาณความเข้มข้นสารฟอร์มาลดีไฮด์กับปริมาณความเข้มข้นของสารคาร์บอนมอนอกไซด์มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกเช่นกัน ( $r = 0.796$ ) แสดงให้เห็นอิทธิพลที่มีต่อสารฟอร์มาลดีไฮด์มาจากการปล่อยของยานพาหนะ ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรถที่ใช้บริการด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษกับปริมาณสารอะเซทัลดีไฮด์ที่พนักงานได้รับสัมผัสเมื่อทดสอบทางสถิติแล้ว ไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

#### 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรถที่ใช้บริการด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษและปริมาณสารบีเทคที่พนักงานได้รับสัมผัส

ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (Pearson's correlations) ระหว่างปริมาณรถที่ใช้บริการด้านเก็บค่าผ่านทางบางนาและด้านเก็บค่าผ่านทางอโศก 4 และปริมาณสารสารบีเทคที่พนักงานได้รับสัมผัสตลอดระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมง โดยพิจารณาการเก็บตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของพนักงานที่ปฏิบัติงานในช่องเก็บค่าผ่านทางพิเศษ 2 ช่อง ได้แก่ พนักงานที่ปฏิบัติงานในช่อง P1 และ P2 ทั้งในวันศุกร์และวันอาทิตย์ ( $n=32$ ) ดังแสดงในภาพที่ 4.12



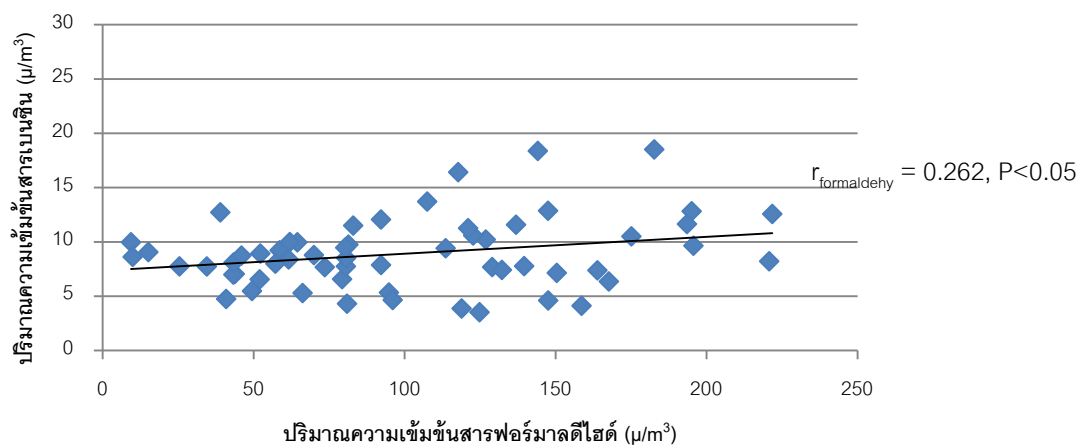
ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรถที่ใช้บริการและปริมาณสารบีเทคในช่อง P1 และ P2 ( $n=32$ )

เมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรถที่ใช้บริการด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษและปริมาณสารบีเทคที่พนักงานได้รับสัมผัสมาทดสอบหาความสัมพันธ์ทางสถิติ พบว่าปริมาณรถที่ใช้บริการด้านเก็บค่า

ผ่านทางพิเศษและปริมาณสารเบนซิน เอทิลเบนซิน เมตาไซลีน พาราไซลีน และออร์โทไซลีน มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % และมีค่า  $r = 0.662, 0.581, 0.521$  และ  $0.55$  ตามลำดับ ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรถที่ใช้บริการด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษและสารโพลูอิน มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และมีค่า  $r = 0.435$  จึงสรุปได้ว่าปริมาณรถที่ใช้บริการด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณสารปีเทคที่พนักงานได้รับสัมผัสเพิ่มสูงขึ้น เช่นเดียวกับสารประกอบคาร์บอนิล (ฟอร์มัลดีไฮด์) Madhoun และคณะ (2010) ได้กล่าวว่าสารเบนซิน เป็นสารในกลุ่มของสารก่อมะเร็งที่มีแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่มาจากรถยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ดังนั้นจึงทำให้พบได้ทั่วไปในทุกๆ พื้นที่เขตเมือง โดยแหล่งกำเนิดหลักของสารกลุ่มปีเทคได้แก่ ไอเสียที่ปล่อยจากเครื่องยนต์และการระเหยจากการผลิตพลาสติก สี กาวตัวทำละลาย ฯลฯ และจากการศึกษาในระดับความเข้มข้นของสารเบนซินที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์ ในสถานที่ต่างๆ ในเมืองนิงเตอบาล ประเทศมาเลเซีย ซึ่งพบว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ด้วยวิธี Pearson's correlation แสดงให้เห็นว่ามีความสัมพันธ์ซึ่งกัน ะหว่างความเข้มข้นของเบนซิน และการปล่อย CO โดยมีค่า  $r > 0.75$  ซึ่งชี้ให้เห็นว่าไอเสียที่มาจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซิน อาจเป็นแหล่งกำเนิดหลักของสารเบนซิน และจากงานวิจัยของ Mingkwan Kitwattanavong (2010) พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรถที่เข้าใช้บริการสถานีบริการน้ำมันกับปริมาณความเข้มข้นของสารกลุ่มปีเทคและสารประกอบคาร์บอนิลที่ทำการทดสอบทางสถิติด้วยวิธี Pearson's correlation มีความสัมพันธ์กัน โดยพบว่าเมื่อปริมาณรถที่ใช้บริการสถานีบริการน้ำมันเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ปริมาณสารปีเทคเพิ่มขึ้นด้วย

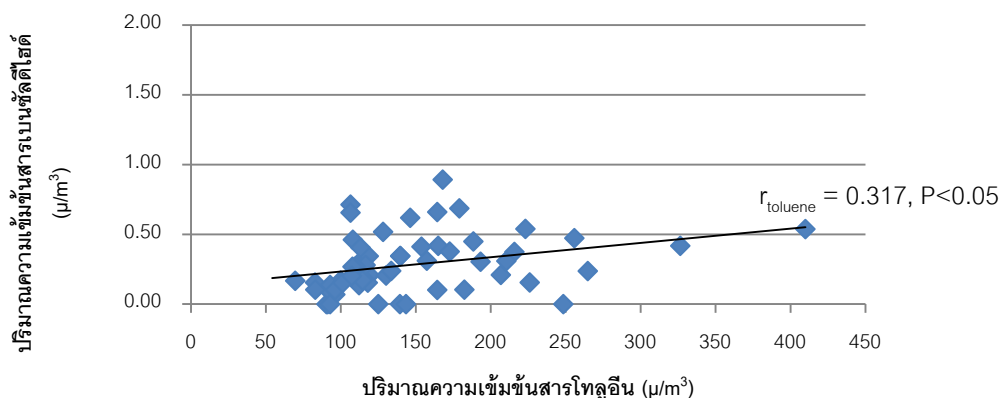
#### 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบคาร์บอนิลและปีเทค

ทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ (Pearson's correlations) ระหว่างปริมาณสารเบนซินและปริมาณสารฟอร์มัลดีไฮด์ ( $n = 59$ ) ปริมาณสารโพลูอินและสารเบนซัลดีไฮด์ ( $n = 51$ ) และปริมาณสารออร์โทไซลีนและสารออร์โทโพลูแอลดีไฮด์ ( $n = 49$ ) ที่ตรวจวัดใน 4 จุดเก็บตัวอย่างในวันศุกร์และวันอาทิตย์ทั้ง 2 จุดที่ด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนาและอโศก 4 ดังแสดงในภาพที่ 4.14, 4.15, และ 4.16



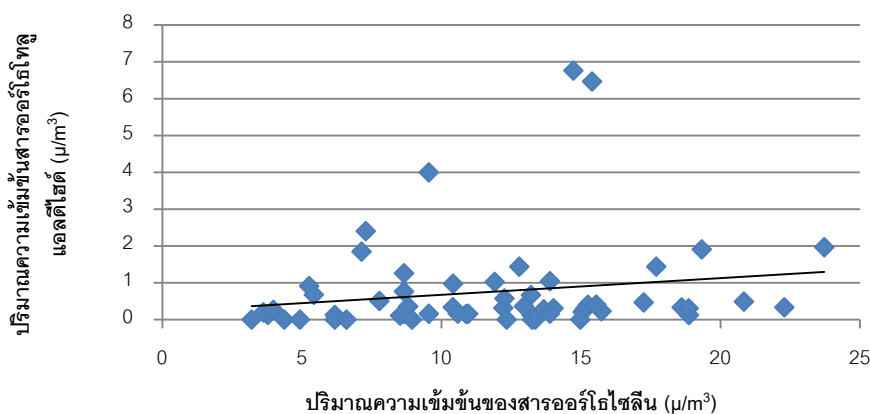
ภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารเบนซินและปริมาณสารฟอร์มัลดีไฮด์ ( $n = 59$ )

เมื่อนำความความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารเบนซินและปริมาณสารฟอร์มาลดีไฮด์มาทดสอบหาความสัมพันธ์ทางสถิติ พบว่าปริมาณสารเบนซินและปริมาณสารฟอร์มาลดีไฮด์ มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % แต่มีค่า  $r = 0.262$  ซึ่งมีค่าค่อนข้างน้อยจึงอาจกล่าวได้ว่าเมื่อปริมาณสารเบนซินเพิ่มขึ้นอาจส่งผลต่อปริมาณสารฟอร์มาลดีไฮด์ที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารโทลูอีนและปริมาณสารเบนซัลดีไฮด์ (n=51)

เมื่อนำความความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารโทลูอีนและปริมาณสารเบนซัลดีไฮด์มาทดสอบหาความสัมพันธ์ทางสถิติ พบว่าปริมาณสารโทลูอีนและปริมาณสารเบนซัลดีไฮด์ มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และมีค่า  $r = 0.317$  ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่า  $r$  ที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารเบนซินและปริมาณสารฟอร์มาลดีไฮด์จึงอาจกล่าวได้ว่าปริมาณสารโทลูอีนเพิ่มขึ้น ปริมาณสารเบนซัลดีไฮด์จะเพิ่มสูงขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ho, Lee, และ Tsai (2005) ที่พบว่า ปริมาณสารโทลูอีนปริมาณมากที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงถือว่าเป็นสาเหตุทำให้ปริมาณสารเบนซัลดีไฮด์เพิ่มสูงขึ้นในพื้นที่ Central (CT) ซึ่งเกิดขึ้นโดยผ่านกระบวนการไฟโตเคมีคัลออกซิเดชันของสารโทลูอีน

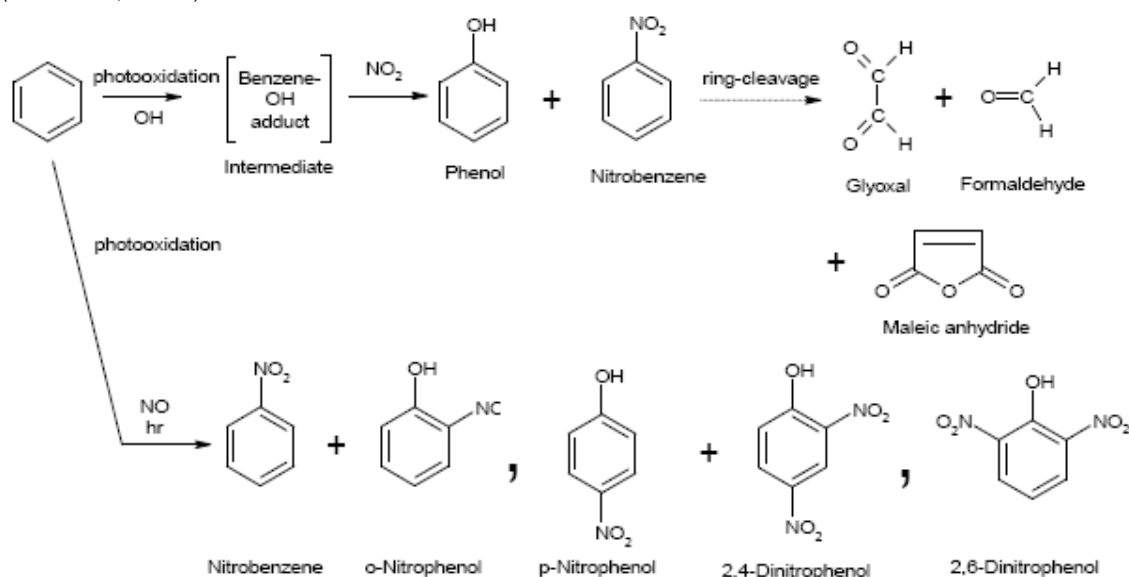


ภาพที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารออร์โทไซลีนและปริมาณสารออร์โทโทลูออลดีไฮด์ (n=49)



เมื่อนำความความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารออร์โทไคลีนและปริมาณสารออร์โทโทลูแอลดีไฮด์ มาทดสอบหาความสัมพันธ์ทางสถิติ พบว่าปริมาณสารออร์โทไคลีนและปริมาณสารออร์โทโทลูแอลดีไฮด์ ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

จากผลการศึกษาในเบื้องต้นพบว่าเมื่อปริมาณสารบีเทคมีปริมาณเพิ่มขึ้นปริมาณสารประกอบคาร์บอนิลก็มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกันซึ่งลักษณะเช่นนี้อาจเนื่องมาจากสารประกอบคาร์บอนิลที่ตรวจพบมีแหล่งกำเนิดที่ปล่อยออกมาจากไอเสียและไอระเหยของยานพาหนะซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแบบปฐมภูมิ และที่มาจากปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล ที่ก่อตัวจากสารไฮโดรคาร์บอน โดยการเพิ่มขึ้นของแสงอาทิตย์จะทำให้เพิ่มการก่อตัวของสารประกอบคาร์บอนิลโดยเฉพาะสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเพิ่มขึ้น จากกระบวนการโฟโตออกซิเดชัน ของสารอินทรีย์ระเหยโดยเฉพาะสารกลุ่มบีเทคซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแบบทุติยภูมิ โดยจากงานวิจัยของ Dutta และคณะ (2009) ได้ทำการเก็บตัวอย่างสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทค ในเมืองโกลกาตา ประเทศอินเดีย โดยทำการเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ระหว่างช่วงเวลากลางวัน และกลางคืน พบว่าปริมาณสารประกอบคาร์บอนิลมีค่าสูงในช่วงเวลาเช้ามากกว่าในช่วงเวลากลางคืน โดยในช่วงเวลากลางวันแหล่งกำเนิดของสารประกอบคาร์บอนิลจะประกอบไปด้วย แหล่งกำเนิดแบบปฐมภูมิ ที่มาจากยานยนต์ และแหล่งกำเนิดแบบทุติยภูมิ จากปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลออกซิเดชันของสารเบนซินกับไนโตรเจนมอนอกไซด์หรือไนโตรเจนไดออกไซด์ในอากาศสามารถทำให้เกิดสารฟอร์มาลดีไฮด์ (ATSDR, 2007) ดังแสดงในภาพที่ 4.13 รวมถึงสารโทลูอินก่อนให้เกิดสารเบนซิลดีไฮด์ ส่วนเมตาไคลีน พาราไคลีนก่อให้เกิดสารเมตาโทลู แอลดีไฮด์ พาราโทลูแอลดีไฮด์ และออร์โทไคลีนก่อให้เกิดสารออร์โทโทลูแอลดีไฮด์ (Atkinson, 2007)



ภาพที่ 4.16 ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงทางด้านสิ่งแวดล้อมของสารเบนซินในบรรยากาศ  
ที่มา: ATSDR, 2007

#### 4.7 เปรียบเทียบปริมาณการรับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิลและปีเทคของพนักงานกับค่ามาตรฐานในสถานประกอบการ

การเปรียบเทียบปริมาณการรับสัมผัสของพนักงานกับค่ามาตรฐานในสถานประกอบการโดยเปรียบเทียบกับค่า Time Weighted Average (TWA) ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นของสารเคมีในอากาศที่ปลอดภัยสำหรับผู้ปฏิบัติงานจะได้รับในระยะเวลาไม่เกิน 8 ชั่วโมงทำงานติดต่อกันใน 1 วันเป็นเวลา 5 วันต่อสัปดาห์ หรือ 40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ ที่พนักงานเกือบทั้งหมดสัมผัสสารเคมีดังกล่าวซ้ำๆ วันแล้ววันเล่าโดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย เมื่อนำค่าสูงสุดและต่ำสุดจากการรับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิลและปีเทคมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานในสถานประกอบการต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.12 ไม่พบค่าใดที่เกินมาตรฐาน

ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบปริมาณสารปีเทคที่พนักงานได้รับสัมผัสกับค่ามาตรฐานในสถานประกอบการ

สาร	ปริมาณสารที่พนักงานได้รับสัมผัสตลอดระยะเวลา 8 ชั่วโมง ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			TWA ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			
	เฉลี่ย	MAX	MIN	ACGIH TLV <sup>1</sup>	NIOSH REL <sup>2</sup>	OSHA PEL <sup>3</sup>	กฎหมายไทย <sup>4</sup>
Formaldehyde	8.77	18.52	0.61	370	20	930	3,700
Acetaldehyde	3.69	8.01	0.34	$3.6 \times 10^5$	-	-	
Acetone	22.57	114.14	1.44	$1.2 \times 10^6$	$5.9 \times 10^5$	$2.4 \times 10^6$	-
Propionaldehyde	1.47	9.91	0.14	$4.8 \times 10^4$	-	-	-
Crotonaldehyde	1.76	5.98	0.09	800	5,700 (10 ชม.)	5,700	-
Valeraldehyde	0.41	0.98	0.08	$1.76 \times 10^5$	$1.76 \times 10^5$	-	-
Benzene	99.29	221.78	9.40	1,600	320	3,200	$3 \times 10^4$
Toluene	146.06	409.99	54.20	$1.88 \times 10^5$	$3.75 \times 10^5$	$7.50 \times 10^5$	$7.50 \times 10^5$
Ethynylbenzene	29.92	58.84	3.25	$4.35 \times 10^5$	$4.35 \times 10^5$	$4.35 \times 10^5$	$4.35 \times 10^5$
Xylene	48.75 <sup>*</sup>	103.02 <sup>*</sup>	9.63 <sup>*</sup>	$4.35 \times 10^5$	$4.35 \times 10^5$	$4.35 \times 10^5$	$4.35 \times 10^5$

หมายเหตุ: <sup>\*</sup> ผลรวมของ m,p และ o-Xylene

ที่มา: <sup>1</sup>ACGIH (2012), <sup>2</sup>NIOSH (2010), <sup>3</sup>OSHA (2010), <sup>5</sup>ประกาศกระทรวงมหาดไทยเรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี)

#### 4.8 การประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทค

จากการเปรียบเทียบปริมาณการรับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทคที่พนักงานได้รับสัมผัสกับค่ามาตรฐานในสถานประกอบการโดยเปรียบเทียบกับค่า TWA ถึงแม้ว่าค่าปริมาณการรับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทคตลอดระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมงจะไม่เกินค่ามาตรฐานในสถานประกอบการที่หน่วยงานต่างๆ ได้เสนอแนะไว้ แต่เมื่อคำนวณค่าการประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทคตามการพิจารณาความเป็นพิษของประกอบคาร์บอนิลและบีเทคตามระบบขององค์การวิจัยโรคมะเร็งนานาชาติซึ่งแบ่งสารออกเป็น 2 กลุ่มดังนี้ กลุ่มสารก่อมะเร็ง ได้แก่ สารฟอร์มาลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ เบนซิน เอทิลเบนซิน และสารไม่ก่อมะเร็ง ได้แก่ โทลูอีน และไซลีน (IARC, 2010) พบว่าเมื่อประเมินการรับสัมผัสสารในกลุ่มสารก่อมะเร็งในช่วงตลอดระยะเวลาเฉลี่ยที่ได้รับสัมผัสสาร 70 ปีตามข้อเสนอแนะของ US EPA RAGS Vol.1 (U.S. EPA, 1991) สารที่ก่อให้เกิดมะเร็งทุกชนิดมีค่าเกินกว่าค่ามาตรฐาน ส่วนสารที่ไม่ก่อมะเร็งที่ทำการประเมินการรับสัมผัสสารในกลุ่มนี้ตลอดช่วงระยะเวลาเฉลี่ยที่ได้รับสัมผัสสาร 25 ปีตามข้อเสนอแนะของ US EPA RAGS Vol.1 (U.S. EPA, 1991) นั้นไม่พบค่าที่เกินค่ามาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 4.13 ส่วนสารไม่ก่อมะเร็ง

ตารางที่ 4.13 ค่า CDI และค่า cancer risk ของสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งซึ่งแสดงในช่วงค่าต่ำ - สูงและค่า 95% Confidence interval

สาร	ด้าน	CDI (mg/kg BW-day)	Cancer risk	95% confidence interval ของค่า cancer risk
Formaldehyde	บางนา	$6.42 \times 10^{-5}$ - $3.22 \times 10^{-4}$	$1.35 \times 10^{-6}$ - $6.76 \times 10^{-6}$	$2.91 \times 10^{-6}$ - $4.64 \times 10^{-6}$
	อโศก 4	$1.44 \times 10^{-4}$ - $6.29 \times 10^{-4}$	$3.02 \times 10^{-6}$ - $1.32 \times 10^{-5}$	$6.03 \times 10^{-6}$ - $8.81 \times 10^{-6}$
Acetaldehyde	บางนา	$1.80 \times 10^{-5}$ - $2.59 \times 10^{-4}$	$1.8 \times 10^{-7}$ - $2.59 \times 10^{-6}$	$8.16 \times 10^{-7}$ - $1.64 \times 10^{-6}$
	อโศก 4	$5.08 \times 10^{-5}$ - $2.23 \times 10^{-4}$	$5.08 \times 10^{-7}$ - $2.23 \times 10^{-6}$	$1.10 \times 10^{-6}$ - $1.64 \times 10^{-6}$
Benzene	บางนา	$1.03 \times 10^{-3}$ - $4.76 \times 10^{-3}$	$2.82 \times 10^{-5}$ - $1.3 \times 10^{-4}$	$6.93 \times 10^{-5}$ - $1.04 \times 10^{-4}$
	อโศก 4	$1.21 \times 10^{-3}$ - $6.70 \times 10^{-3}$	$3.31 \times 10^{-5}$ - $1.83 \times 10^{-4}$	$9.53 \times 10^{-5}$ - $1.41 \times 10^{-4}$
Ethylbenzene	บางนา	$2.52 \times 10^{-4}$ - $1.68 \times 10^{-3}$	$9.69 \times 10^{-7}$ - $6.47 \times 10^{-6}$	$2.15 \times 10^{-6}$ - $3.83 \times 10^{-6}$
	อโศก 4	$5.13 \times 10^{-4}$ - $1.65 \times 10^{-3}$	$1.97 \times 10^{-6}$ - $6.36 \times 10^{-6}$	$2.97 \times 10^{-6}$ - $4.52 \times 10^{-6}$

ค่าปริมาณการรับสัมผัสของสารฟอร์มาลดีไฮด์ใน 1 วันมีค่าอยู่ในช่วง  $6.42 \times 10^{-5}$  -  $6.29 \times 10^{-4}$  mg/kg BW-day และสารอะเซทัลดีไฮด์มีค่าอยู่ในช่วง  $1.80 \times 10^{-5}$  -  $2.59 \times 10^{-4}$  mg/kg BW-day สำหรับค่าปริมาณการรับสัมผัสสารเบนซินใน 1 วัน มีค่าอยู่ในช่วง  $1.03 \times 10^{-3}$  -  $6.70 \times 10^{-3}$  mg/kg BW-day และสารเอทิลเบนซินมีค่าอยู่ในช่วง  $2.52 \times 10^{-4}$  -  $1.68 \times 10^{-3}$  mg/kg BW-day จากการพิจารณาค่าความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดมะเร็ง (cancer risk) กับค่าที่ยอมรับได้คือ  $1 \times 10^{-6}$  (ซึ่งหมายถึงประชากรหนึ่งคนจากล้านคนมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง) พบว่าสารฟอร์มาลดีไฮด์และเบนซิน มีค่าเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ ดังนั้นพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษจึงมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งโดยมีค่า 95% confidence interval อยู่ในช่วงตั้งแต่  $2.91 \times 10^{-6}$  -  $8.81 \times 10^{-6}$  สำหรับสารฟอร์มาลดีไฮด์ และในช่วง  $16.93 \times 10^{-5}$  -  $1.41 \times 10^{-4}$  สำหรับสารเบนซิน ส่วนค่าความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดมะเร็งเมื่อพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษได้รับสัมผัสสารอะเซทัลดีไฮด์และเอทิลเบนซิน พบว่ามีพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษเพียงบางส่วนเท่านั้นที่ได้รับสัมผัสสารทั้งสองชนิดเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ โดยสามารถคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.16 ซึ่งสารอะเซทัลดีไฮด์และเอทิลเบนซินมีค่า 95% confidence interval อยู่ในช่วงตั้งแต่  $8.16 \times 10^{-7}$  -  $1.64 \times 10^{-6}$  และ  $2.15 \times 10^{-6}$  -  $4.52 \times 10^{-6}$  ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Mingkwan Kitwattanavong (2010) ที่ทำการศึกษาในพนักงานสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงพบว่าการศึกษาในครั้งนี้พนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งน้อยกว่าพนักงานที่ปฏิบัติงานในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง โดยค่าความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดมะเร็งของพนักงานที่ปฏิบัติงานในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าอยู่ในช่วง  $4.28 \times 10^{-6}$  -  $5.72 \times 10^{-5}$  สำหรับสารฟอร์มาลดีไฮด์  $8.46 \times 10^{-7}$  -  $2.03 \times 10^{-5}$  สำหรับสารอะเซทัลดีไฮด์  $4.14 \times 10^{-5}$  -  $4.99 \times 10^{-4}$  สำหรับสารเบนซิน  $1.47 \times 10^{-6}$  -  $1.26 \times 10^{-5}$  สำหรับเอทิลเบนซิน และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดมะเร็งของบุคคลที่อยู่อาศัยในบริเวณเมืองโกลกาตา ประเทศอินเดียที่รับสัมผัสสารก่อมะเร็งตลอดระยะเวลา 15 ปี (ED=15) พบว่าสารเบนซินในทุกจุดและสารเอทิลเบนซินในบางจุดที่ทำการศึกษา มีค่าเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้โดยมีค่าอยู่ในช่วง  $8.3 \times 10^{-6}$  -  $2.8 \times 10^{-5}$  สำหรับสารเบนซิน  $6.3 \times 10^{-7}$  -  $1.3 \times 10^{-6}$  สำหรับเอทิลเบนซิน แต่ผู้ที่อาศัยในเมืองโกลกาตา ประเทศอินเดีย Majumdar และ Mukherjee (2011) จะมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งน้อยกว่าพนักงานที่ปฏิบัติงานในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ

สำหรับสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งพบว่า ค่าปริมาณสารโพพิทอนัลดีไฮด์ ไทลูอิน เมตาไซลีน พาราไซลีน และออโรไซลีน ที่พนักงานได้รับสัมผัส ที่ได้จากการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ค่า EC และค่า non-cancer risk ของสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งซึ่งแสดงในช่วงค่าต่ำ - สูง และค่า 95% confidence interval

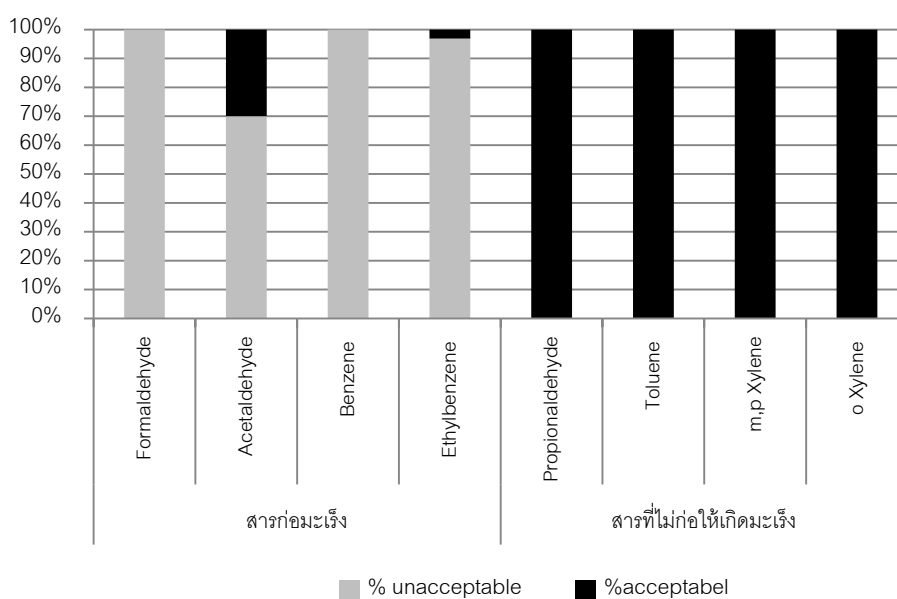
สาร	ด้าน	EC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Non-cancer risk (HQ)	95% Confidence interval ของค่า HQ
Propionaldehyde	บางนา	0.09 – 1.27	0.012 - 0.159	0.038 – 0.094
	อโศก 4	0.06 – 0.85	0.008 - 0.107	0.017 – 0.048
Toluene	บางนา	18.92 – 47.22	0.004 - 0.009	0.005 - 0.007
	อโศก 4	15.90 – 93.60	0.003 - 0.019	0.006 - 0.01
m,p Xylene	บางนา	4.28 – 18.10	0.043 - 0.181	0.076 - 0.117
	อโศก 4	5.15 – 18.09	0.052 - 0.181	0.079 – 0.115
o Xylene	บางนา	0.73 – 3.94	0.007 - 0.039	0.02 - 0.03
	อโศก 4	1.20 – 5.42	0.012 - 0.054	0.021 – 0.036

จากตารางที่ 4.14 พบว่าค่า 95% confidence interval ของค่า Hazard Quotients (HQ) อยู่ในช่วง 0.017 – 0.094 สำหรับสารโพรพิวัลดีไฮด์ 0.005 - 0.01 สำหรับสารโทลูอีน 0.076 - 0.117 สำหรับสารเมตาไซลีน พาราไซลีน และ 0.02 - 0.036 สำหรับสารอโธไซลีน ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 ซึ่งคาดว่าสารดังกล่าวจะไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงการเกิดโรคต่อสุขภาพจากการได้รับสัมผัสโดยไม่พบว่ามีพนักงานงานคนใดที่ได้รับสัมผัสสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็งเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.15 และในภาพที่ 4.17 และจากศึกษาของ Mingkwan Kitwattanavong (2010) ที่ทำการศึกษารับสัมผัสสารโพรพิวัลดีไฮด์ โทลูอีน เมตาไซลีน พาราไซลีน และอโธไซลีนในพนักงานสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง และ การศึกษาของ Majumdar และ Mukherjeea (2011) ที่ทำการศึกษารับสัมผัสสาร โทลูอีน และไซลีน ในบุคคลที่อยู่อาศัยในบริเวณเมืองโกลกาตา ประเทศอินเดีย พบว่า ค่า Hazard Quotients (HQ) ของสารที่ไม่ก่อมะเร็งมีค่าน้อยกว่า 1 เช่นกัน

ตารางที่ 4.15 จำนวนพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่ได้รับสัมผัสสารเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ของสารก่อมะเร็งและสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง

ชนิดสาร	สาร	จำนวนผู้ได้รับสัมผัสสารเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ (n=32)	% unacceptable risk
สารก่อมะเร็ง	Formaldehyde	30 *	100
	Acetaldehyde	21*	70
	Benzene	32	100
	Ethylbenzene	31	96.88
สารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง	Propionaldehyde	ไม่พบ*	0
	Toluene	ไม่พบ	0
	m,p Xylene	ไม่พบ	0
	o Xylene	ไม่พบ	0

หมายเหตุ : \* n = 30



ภาพที่ 4.17 เปรูเซ็นค่า acceptable risk และ unacceptable risk

จากการพิจารณาค่าความเสี่ยงรวมของสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งที่แสดงด้วยค่า total cancer risk ที่พนักงานแต่ละคนได้รับสัมผัสสารก่อมะเร็ง (ฟอร์มาลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ เบนซิน และเอทิลเบนซิน) พบว่า ค่า total cancer risk มีค่าอยู่ระหว่าง  $3.54 \times 10^{-5}$  -  $3.5 \times 10^{-4}$  กับค่าค่าที่ยอมรับได้คือ  $1 \times 10^{-6}$  พบว่า มีค่าเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ ดังนั้นพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษจึงมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง จากการรับสัมผัสสารในกลุ่มของสารก่อมะเร็ง โดยมีค่า 95% confidence interval อยู่ในช่วงตั้งแต่  $1.4 \times 10^{-4}$  -  $2.0 \times 10^{-4}$  และสำหรับสารที่ไม่ก่อมะเร็งที่แสดงด้วยค่า Hazard Index (HI) ซึ่งเป็นผลรวมของค่า HQ ของสารไม่ก่อมะเร็ง (โพรพิวาลดีไฮด์ โทลูอิน เมตาไซลีน พาราไซลีน และ สารออโทไซลีน) ที่พนักงานแต่ละคนได้รับสัมผัสพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.081 - 0.387 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 ซึ่งคาดว่าสารดังกล่าวจะไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงการเกิดโรคต่อสุขภาพจากการได้รับสัมผัสโดยมีค่า 95% confidence interval อยู่ในช่วง 0.153 - 0.203 ดังแสดงในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ค่า total cancer risk และค่า HI (Hazard Index)

ค่า/ชนิดสาร	สารก่อมะเร็ง	สารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง	95% confidence interval	
			lower	upper
Total Cancer risk	$3.54 \times 10^{-5}$ - $3.5 \times 10^{-4}$	-	$1.4 \times 10^{-4}$	$2.0 \times 10^{-4}$
HI (Hazard Index)	-	0.081 - 0.387	0.153	0.203

#### 4.9 ข้อมูลสุขภาพ อาการผิดปกติ และการใช้อุปกรณ์ป้องกันของพนักงานเก็บค่าผ่านทาง

การรับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่ายสามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ได้รับสัมผัส โดยเฉพาะสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทค ที่มีฤทธิ์ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง และดวงตา เช่น ทำให้เกิดอาการแสบร้อนบริเวณผิวหนัง ผิวหนังสเปกไหม้บวมแดง ผิวหนังเป็นผื่น แสบตา เคืองตาน้ำตาไหล (ฟอร์มาลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ เบนซิน โทลูอิน เอทิลเบนซิน และไซลีน) ส่งผลกระทบต่อระบบประสาท เช่น ทำให้เกิดอากาศปวดศีรษะ วิงเวียนศีรษะ หน้ามืด มึนงง รู้สึกอ่อนเพลีย เมื่อยล้า เป็นลม หมดสติ(อะเซทัลดีไฮด์ เบนซิน โทลูอิน เอทิลเบนซิน และไซลีน) ส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ เช่น ทำให้หายใจไม่สะดวก หายใจติดขัด รู้สึกแสบในขณะหายใจ (ฟอร์มาลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ โพรพิวาลดีไฮด์ เบนซิน โทลูอิน และเอทิลเบนซิน) (ATSDR, 1999,2002, 2007b, 2007c ; U.S.EPA, 2000a,2000b ; กรมควบคุมมลพิษ, 2554; วิวัฒน์ เอกบุรณะวัฒน์, 2553ก, 2553ข, 2553ค) จากการเก็บแบบสอบถามในกลุ่มผู้ที่ปฏิบัติงานในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษจำนวน 43 คน เกี่ยวกับลักษณะอาการที่เกิดขึ้นในระหว่างปฏิบัติงาน ซึ่งอาการ

เหล่านี้เป็นลักษณะอาการเบื้องต้นจากการรับสัมผัสสารกลุ่มนี้ พบว่าอาการผิดปกติที่เกิดขึ้นบ่อยๆ กับพนักงานที่พบมากที่สุด คือ รู้สึกอ่อนเพลีย/เมื่อยล้า (ร้อยละ 27.9) รองลงมาคือหายใจไม่สะดวก/หายใจติดขัด/รู้สึกแสบในขณะหายใจ (ร้อยละ 14.0) ปวดศีรษะ/วิงเวียนศีรษะ/หน้ามืด/มึนงง (ร้อยละ 11.6) และแสบตา/เคืองตา/น้ำตาไหล (ร้อยละ 7.0) ส่วนอาการผิดปกติที่เกิดขึ้นกับพนักงานอื่นๆ ครั้งที่พบมากที่สุดคือ ปวดศีรษะ/วิงเวียนศีรษะ/หน้ามืด/มึนงง (ร้อยละ 74.4) รองลงมาคือแสบตา/เคืองตา/น้ำตาไหล (ร้อยละ 62.8) รู้สึกอ่อนเพลีย/เมื่อยล้า (ร้อยละ 60.5) หายใจไม่สะดวก/หายใจติดขัด/รู้สึกแสบในขณะหายใจ (ร้อยละ 53.5) แสบร้อนบริเวณผิวหนัง/ผิวหนังแสบไหม้บวมแดง/ผิวหนังเป็นผื่น (ร้อยละ 20.9) และเป็นลม/หมดสติ (ร้อยละ 2.3) ดังผลที่รวบรวมในตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ข้อมูลเกี่ยวกับความรู้สึกหรืออาการในขณะปฏิบัติงาน

ความรู้สึกหรืออาการ	ไม่เคย		นานๆครั้ง		บ่อยๆ	
	n	ร้อยละ	n	ร้อยละ	n	ร้อยละ
<b>อาการที่เกิดขึ้นในขณะปฏิบัติงาน</b>						
แสบตา/เคืองตา/น้ำตาไหล	13	30.2	27	62.8	3	7.0
แสบร้อนบริเวณผิวหนัง/ผิวหนังแสบไหม้บวมแดง/ผิวหนังเป็นผื่น	34	79.1	9	20.9	0	0
ปวดศีรษะ/วิงเวียนศีรษะ/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

จากการสอบถามเกี่ยวกับการสวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลในขณะปฏิบัติงานพบว่า พนักงานร้อยละ 55.8 สวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลทุกครั้งที่ปฏิบัติงาน รองลงมาร้อยละ 27.9 พบว่าพนักงานสวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลในขณะปฏิบัติงานเป็นบางครั้ง และมีพนักงานที่ไม่ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลในขณะปฏิบัติงาน ร้อยละ 16.3 โดยหน้าากที่พนักงานสวมขณะปฏิบัติงานส่วนใหญ่ พบว่าเป็นหน้าากชนิดผ้า (ร้อยละ 46.15) รองลงมาคือหน้าากอนามัย 3 ชั้น (ร้อยละ 30.78) และหน้าากอนามัยพร้อมชั้นกรองคาร์บอน (ร้อยละ 23.07) ดังผลการให้ข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 4.18



ตารางที่ 4.18 ข้อมูลเกี่ยวกับการสวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลในขณะปฏิบัติงาน

ข้อมูลทั่วไป	พนักงานด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ (n=43)	
	จำนวน	ร้อยละ
<b>การสวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลขณะปฏิบัติงาน</b>		
ไม่สวม	7	16.3
สวมเป็นบางครั้ง	12	27.9
สวมทุกครั้ง	24	55.8

เมื่อพิจารณาผลการประเมินความเสี่ยงที่แสดงถึงการได้รับสัมผัสสารฟอร์มัลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ เบนซิน และเอทิลเบนซินเป็นระยะเวลา 25 ปี จะเห็นว่าพนักงานมีโอกาสเกิดความเสี่ยงในการเป็นโรคมะเร็ง ดังนั้น การหาแนวทางในการลดความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสารดังกล่าวจึงได้พิจารณาจากสูตรการคำนวณค่าความเสี่ยงที่มีปัจจัยสำคัญ 2 ปัจจัย ได้แก่ (1) ความเป็นอันตรายจากสารเคมี (hazard) ซึ่งถือเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ยาก และ (2) การรับสัมผัส (exposure) ซึ่งการรับสัมผัสเป็นปัจจัยที่นำมาพิจารณาเพื่อลดความเสี่ยงได้ เมื่อพิจารณาสูตรการคำนวณปริมาณการรับสัมผัสหรือ CDI ดังแสดงในสมการที่ 4.1 และ 4.2

$$\text{Risk} = \text{Hazard} \times \text{Exposure} \quad (4.1)$$

$$\text{CDI} = (\text{CA} \times \text{IR} \times \text{EF} \times \text{ET} \times \text{ED}) / (\text{BW} \times \text{AT}) \quad (4.2)$$

จากสมการตัวแปรหลักที่ทำให้ลดความเสี่ยงได้คือ การลดระยะเวลาการสัมผัสหรือลดระยะเวลาการทำงานของพนักงาน และการหลีกเลี่ยงการสัมผัสสารปริมาณสูง เมื่อวิเคราะห์ผลความเสี่ยงในกรณีที่ลดระยะเวลาการทำงานพบว่า ถึงแม้จะลดระยะเวลาการทำงานจาก 25 ปี เป็น 5 ปี และลดระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมงการทำงานต่อวันเป็น 4 ชั่วโมงต่อวัน จะสามารถลดระดับความเสี่ยงได้น้อย และระดับความเสี่ยงยังคงเกินค่าที่ยอมรับได้ ( $1 \times 10^{-6}$ ) ดังตัวอย่างที่แสดงในตารางที่ 4.19 ตารางที่ 4.19 ค่า cancer risk ที่ลดลงเมื่อลดระยะเวลาการสัมผัสหรือลดระยะเวลาการทำงานของพนักงาน

ตัวแปร	ความหมาย	ปริมาณการรับสัมผัสที่ลดลง	% cancer risk ที่ลดลง	ค่า cancer risk ที่ลดลง
ET	เวลาในการรับสัมผัสสาร 8 hr/day	4 hr/day	50	$1.46 \times 10^{-6}$ - $4.41 \times 10^{-6}$
ED	ระยะเวลาที่ได้รับสัมผัสสาร 25 years	5 years	80	$5.82 \times 10^{-7}$ - $1.76 \times 10^{-6}$

หมายเหตุ: ยกตัวอย่างโดยคำนวณจากการได้รับสัมผัสสารฟอร์มัลดีไฮด์ของพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษ

เมื่อพิจารณาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการหลีกเลี่ยงการสัมผัสสารปริมาณสูงหรือค่า CA โดยกำหนดให้ผู้ปฏิบัติงานสวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลในระหว่างปฏิบัติงาน หากเลือกสวมหน้ากากชนิดที่เหมาะสมกับการทำงานบนท้องถนนและตรงตามมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา เนื่องจากมีได้กรองเป็นแบบ R-series ที่สามารถป้องกันอนุภาคและไอระเหยทั้งที่เป็นน้ำมันและไม่ใช่น้ำมันได้ และมีประสิทธิภาพการกรองไม่ต่ำกว่า 95 % ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์มีส่วนช่วยลดระดับสารที่พนักงานรับสัมผัสได้ และมีผลต่อการลดโอกาสการเกิดความเสี่ยงได้เช่นกัน ดังตัวอย่างที่แสดงในตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ค่า cancer risk ที่ลดลงเมื่อพนักงานสวมหน้ากากที่มีประสิทธิภาพการกรองไม่ต่ำกว่า 95 %

ตัวแปร	ความหมาย	ปริมาณการรับสัมผัสที่ลดลง	% cancer risk ที่ลดลง	ค่า cancer risk ที่ลดลง
CA	ความเข้มข้นของสารที่พนักงานได้รับสัมผัสในอากาศ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	95% ของสารที่ได้รับสัมผัส	95	$1.46 \times 10^{-7}$ - $4.41 \times 10^{-7}$

หมายเหตุ: ยกตัวอย่างโดยคำนวณจากการได้รับสัมผัสสารฟอร์มาลดีไฮด์ของพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษ

ดังนั้น จากผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญในการสร้างความตระหนักให้กับพนักงาน โดยหน่วยงานควรแนะนำให้พนักงานสวมอุปกรณ์ป้องกันที่เหมาะสมในขณะปฏิบัติงาน และจัดให้มีอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลที่เพียงพอต่อการป้องกันการรับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิลและสารกลุ่มบีเทค เพื่อเป็นการป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพของพนักงานอันอาจเกิดจากการปฏิบัติหน้าที่

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการเก็บตัวอย่างการรับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิลและปีเทคของพนักงานเก็บค่าผ่านทางที่ด่านบางนาและด่านอโศก 4 โดยทำการเปรียบเทียบระหว่าง 2 ฤดูกาล คือ เดือนกันยายน – ตุลาคม เป็นตัวแทนฤดูฝน และเดือนกุมภาพันธ์ – มีนาคม เป็นตัวแทนฤดูแล้งฝน ช่วงละ 2 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 2 วัน คือ วันศุกร์ และวันอาทิตย์ ซึ่งเป็นวันที่มีปริมาณรถสูงสุด และต่ำสุดของสัปดาห์ ทำการเก็บตัวอย่างตลอดระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมง ระหว่าง 6.00 - 14.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ปริมาณรถใช้บริการสูงสุดในแต่ละวัน ในแต่ละด่านจะทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 4 ลักษณะตัวอย่าง ได้แก่ (1) ตัวอย่างการรับสัมผัสของพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่ตู้เก็บค่าบริการรถยนต์ส่วนบุคคล/รถบรรทุก (P1) และ (2) ตู้เก็บค่าบริการรถยนต์ส่วนบุคคล (P2) (3) ตัวอย่างในบริเวณช่องเก็บค่าบริการอัตโนมัติ (easy pass) และ (4) ตัวอย่างที่เก็บในบรรยากาศทั่วไปบริเวณด่าน (A) จากการศึกษาสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1) สารประกอบคาร์บอนิลชนิดหลักที่ตรวจพบในทั้งสองด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษมีจำนวน 10 ชนิด ได้แก่ ฟอร์มาลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ อะซีโตน โพรพิวัลดีไฮด์ โครโทนัลดีไฮด์ บิวทิลดีไฮด์ เบนซิลดีไฮด์ วาเลอรัลดีไฮด์ ออร์โธโทลูเอลดีไฮด์ และเฮกซานัลดีไฮด์ และสารปีเทค 5 ชนิด ได้แก่ เบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน เมตาพาราไซลีน และออร์โธไซลีน

2) ปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิลชนิดหลัก ได้แก่ ฟอร์มาลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ อะซีโตน ที่ด่านเก็บค่าผ่านทางบางนาในวันศุกร์เท่ากับ 7.51, 3.81, 25.78  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  และวันอาทิตย์เท่ากับ 7.35, 3.21, 14.74  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ส่วนที่ด่านเก็บค่าผ่านทางอโศก 4 ในวันศุกร์เท่ากับ 10.53, 3.78, 25.49  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  และวันอาทิตย์เท่ากับ 10.02, 4.08, 24.84  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  และเฉพาะสารอะซีโตนที่ด่านอโศก 4 ที่มีค่าความเข้มข้นของสารระหว่างวันศุกร์และวันอาทิตย์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

3) ปริมาณความเข้มข้นของสารเบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน เมตาไซลีน พาราไซลีน และออร์โธไซลีน ในวันศุกร์ที่ด่านบางนามีค่าเท่ากับ 106.95, 127.62, 35.38, 45.02 และ 13.14  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ และวันอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 76.82, 127.32, 21.67, 31.47 และ 9.53  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ สำหรับในวันศุกร์ที่ด่านอโศก 4 มีค่าเท่ากับ 127.85, 206.41, 39.63, 45.35 และ 13.73  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ และวันอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 82.88, 121.70, 22.47, 26.95 และ 9.31  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ สารกลุ่มปีเทคทุกสารในวันศุกร์มีปริมาณสูงกว่าในวันอาทิตย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ยกเว้น สารโทลูอีนที่ด่านบางนาที่ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร

4) ปริมาณความเข้มข้นของสารฟอร์มาลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ อะซีโตน โพรพิวาลดีไฮด์ โทลูอีน เมตาและพาราไซลีนของทั้งสองด้านมีลักษณะแนวโน้มที่คล้ายกันคือ ในช่วงฤดูแล้งฝนมีปริมาณสูงกว่าในช่วงฤดูฝน ยกเว้นสารโพรพิวาลดีไฮด์ ที่ด้านอโศก 4 สารเบนซินและเอทิลเบนซินของทั้งสองด้านที่พบปริมาณความเข้มข้นของสารในฤดูแล้งฝนต่ำกว่าฤดูฝน เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารฟอร์มาลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ อะซีโตน โพรพิวาลดีไฮด์ และสารเบนซินระหว่างฤดูฝนและแล้งฝนของด้านบางนามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และในด้านอโศก 4 พบว่า ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารอะซีโตน โทลูอีน เมตาและพาราไซลีน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

5) ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารฟอร์มาลดีไฮด์ อะเซทัลดีไฮด์ อะซีโตน ที่ด้านเก็บค่าผ่านทางอโศก 4 เท่ากับ 7.73, 3.51 และ 20.26  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  และที่ด้านเก็บค่าผ่านทางบางนาเท่ากับ 10.31, 3.91, 25.51  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน เมตาไซลีน พาราไซลีน และออโรไซลีนที่ด้านบางนามีค่าเท่ากับ 92.37, 127.48, 28.75, 38.46 และ 11.39  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ และผลการตรวจวัดที่ด้านอโศก 4 มีค่าเท่ากับ 105.99, 164.06, 31.05, 36.15 และ 11.52  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  โดยส่วนใหญ่สารที่ตรวจพบที่ด้านเก็บค่าผ่านทางอโศก 4 มีความเข้มข้นสูงกว่าที่ด้านเก็บค่าผ่านทางบางนา(ยกเว้นสารเมตา พาราไซลีน) เมื่อทดสอบทางสถิติ พบว่า มีเพียงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารฟอร์มาลดีไฮด์ และโทลูอีน ที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

6) ปริมาณสารประกอบคาร์บอนิลที่ตรวจพบในแต่ละตำแหน่งมีการกระจายตัวอยู่ในทุกจุดเก็บตัวอย่างโดยส่วนใหญ่ตรวจพบสารประกอบคาร์บอนิลสูงสุดในจุดเก็บตัวอย่างการรับสัมผัสสารของพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่ตู้เก็บค่าบริการรถยนต์ส่วนบุคคล/รถบรรทุก (P1) และจุดเก็บตัวอย่างการรับสัมผัสสารของพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่ตู้เก็บค่าบริการรถยนต์ส่วนบุคคล (P2) รองลงมาได้แก่ จุดเก็บตัวอย่างในบรรยากาศทั่วไปบริเวณด้าน (A) ส่วนจุดเก็บตัวอย่างบริเวณช่องเก็บค่าบริการอัตโนมัติ (easy pass) ตรวจพบปริมาณสารประกอบคาร์บอนิลในปริมาณต่ำ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารปีเทคในแต่ละตำแหน่งในด้านเก็บค่าผ่านทางบางนาและอโศก 4 พบว่า ทั้งด้านบางนาและด้านอโศก 4 ในจุดเก็บตัวอย่างการรับสัมผัสสารของพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่ตู้เก็บค่าบริการรถยนต์ส่วนบุคคล (P2) พบปริมาณสารปีเทคสูงสุด รองลงมาได้แก่จุดเก็บตัวอย่างการรับสัมผัสสารของพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่ ตู้เก็บค่าบริการรถยนต์ส่วนบุคคล/รถบรรทุก (P1) และจุดเก็บตัวอย่างในบรรยากาศทั่วไปบริเวณด้าน (A) ส่วนจุดเก็บตัวอย่างบริเวณช่องเก็บค่าบริการอัตโนมัติ (easy pass) ตรวจพบปริมาณสารปีเทคในปริมาณต่ำ

7) ปริมาณรถที่ใช้บริการด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษและปริมาณสารฟอร์มาลดีไฮด์ที่พนักงานได้รับสัมผัสมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และมีค่า r เท่ากับ 0.451 และ

ปริมาณรถที่ใช้บริการด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษและปริมาณสารบีเทค (สารเบนซิน เอทิลเบนซิน เมตาพาราไซลีน และออร์โทไซลีน) ที่พนักงานได้รับสัมผัส มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % และมีค่า r เท่ากับ 0.662, 0.581, 0.521 และ 0.55 ตามลำดับ ส่วนสารโทลูอีน มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และมีค่า r เท่ากับ 0.435

8) ปริมาณสารเบนซินมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารฟอร์มาลดีไฮด์ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และมีค่า r เท่ากับ 0.262 และปริมาณสารโทลูอีนมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารเบนซัลดีไฮด์ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % มีค่า r เท่ากับ 0.317

9) เมื่อนำค่าสูงสุดและต่ำสุดจากการรับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทคมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานในสถานประกอบการต่างๆ ไม่พบค่าใดที่เกินมาตรฐาน แต่เมื่อคำนวณค่าการประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทคตามลักษณะความเป็นพิษของสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทค พบว่า สารที่ก่อให้เกิดมะเร็งทุกชนิดมีค่าเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ ( $10^{-6}$ ) โดยมีค่า 95% confidence interval ของค่า lifetime cancer risk ของสารฟอร์มาลดีไฮด์อยู่ในช่วงตั้งแต่  $2.91 \times 10^{-6}$  -  $8.81 \times 10^{-6}$  สารอะเซทัลดีไฮด์  $8.16 \times 10^{-7}$  -  $1.64 \times 10^{-6}$  สารเบนซิน  $16.93 \times 10^{-5}$  -  $1.41 \times 10^{-4}$  และสารเอทิลเบนซิน  $2.15 \times 10^{-6}$  -  $4.52 \times 10^{-6}$  จากการพิจารณาค่าความเสี่ยงรวมของสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งที่แสดงด้วยค่า total cancer risk ที่พนักงานแต่ละคนได้รับสัมผัสสารก่อมะเร็ง พบว่า ค่า total cancer risk มีค่าอยู่ระหว่าง  $3.54 \times 10^{-5}$  -  $3.5 \times 10^{-4}$  ซึ่งมีค่าเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ ส่วนสารที่ไม่ก่อมะเร็งนั้นไม่พบค่า Hazard quotient (HQ) และ Hazard Index (HI) (อยู่ระหว่าง 0.081 - 0.387) ที่เกินค่าที่ยอมรับได้ ( $\leq 1$ )

10) อาการผิดปกติซึ่งอาจเป็นอาการเบื้องต้นจากการรับสัมผัสสารสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทคที่เกิดขึ้นกับพนักงานที่พบมากที่สุด คือ รู้สึกอ่อนเพลีย/เมื่อยล้า รองลงมาคือหายใจไม่สะดวก/หายใจติดขัด/รู้สึกแสบในขณะหายใจ ปวดศีรษะ/เวียนศีรษะ/หน้ามืด/มึนงง และแสบตา/เคืองตา/น้ำตาไหล สำหรับการสวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายของพนักงานในขณะปฏิบัติงานพบว่า ส่วนใหญ่สวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายทุกครั้งปฏิบัติงาน โดยหน้ากากที่พนักงานสวมในขณะปฏิบัติงานส่วนใหญ่เป็นหน้ากากชนิดผ้า รองลงมาคือ หน้ากากอนามัย 3 ชั้น และหน้ากากอนามัยพร้อมชั้นกรองคาร์บอน ซึ่งผลการศึกษาแนวทางการลดความเสี่ยงต่อสุขภาพของพนักงาน สามารถดำเนินการได้โดยหน่วยงานควรสร้างความตระหนักให้พนักงานสวมอุปกรณ์ป้องกันที่มีประสิทธิภาพและเพียงพอต่อการป้องกันการรับสัมผัสสาร

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ควรมีการศึกษาปัจจัยแวดล้อมหรือพฤติกรรมอื่นๆ ของพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษ เช่น การสูบบุหรี่ การดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ ที่พักอาศัย การได้รับควันบุหรี่จากผู้อื่น เป็นต้น ซึ่งปัจจัยดังกล่าวอาจส่งเสริมการเกิดโรคจากได้รับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทคได้ ตามที่ได้ อ้างถึงใน ATSDR (1999)

2) ควรมีการศึกษาสารประกอบคาร์บอนิลและบีเทคจากการรับสัมผัสในกลุ่มอื่นๆ ที่มีความเสี่ยงสูงจากการรับสัมผัสสาร เนื่องจากสารเหล่านี้มีความเป็นพิษต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน

3) ทำการศึกษาสารตกค้างในมนุษย์ เช่น ในปัสสาวะ เลือด เพื่อนำข้อมูลมาประกอบในการ ประเมินความเสี่ยง

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- การทางพิเศษแห่งประเทศไทย. สถิติข้อมูลปริมาณรถปี 2552 [ออนไลน์]. 2554. แหล่งที่มา: <http://www.exat.co.th> [20 พฤษภาคม 2554]
- การทางพิเศษแห่งประเทศไทย. สถิติข้อมูลปริมาณรถปี 2552. [ออนไลน์]. 2554. แหล่งที่มา: <http://www.exat.co.th> [20 พฤษภาคม 2554]
- การทางพิเศษแห่งประเทศไทย. สถิติข้อมูลปริมาณรถปี 2554 - 2555. กรุงเทพมหานคร: การทางพิเศษแห่งประเทศไทย. 2555. (อัดสำเนา)
- เกศศิณี อุณะพันธ์. สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย. ข่าวสารอากาศและเสียง 3 (มกราคม - มีนาคม 2553): 10-11.
- ควบคุมมลพิษ, กรม. รายงานฉบับสมบูรณ์การปรับปรุงฐานข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศและประเมินผลกระทบต่อคุณภาพอากาศในเขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 2543.
- ควบคุมมลพิษ, กรม. สารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC: Volatile Organic Compound) [ออนไลน์]. 2554. แหล่งที่มา : <http://aqnis.pcd.go.th/VOCold/index.html> [21 มิถุนายน 2555]
- ควบคุมมลพิษ, กรม. เอกสารข้อมูลความปลอดภัย (MSDS): benzene [ออนไลน์]. 2554. แหล่งที่มา: <http://msds.pcd.go.th/pdf/2413.pdf> [21 มิถุนายน 2555]
- ควบคุมมลพิษ, กรม. เอกสารข้อมูลความปลอดภัย (MSDS): toluene [ออนไลน์]. 2544. แหล่งที่มา: <http://msds.pcd.go.th/pdf/61.pdf> [21 มิถุนายน 2555]
- ธุรกิจพลังงาน, กรม. ระบบควบคุมไอน้ำมันเชื้อเพลิง. 2550. (แผ่นพับ)
- นภาพร พาณิช และคนอื่นๆ. ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.
- บริษัท ทางด่วนกรุงเทพ จำกัด. สถิติข้อมูลปริมาณรถปี 2554 - 2555. กรุงเทพมหานคร: ทางด่วนกรุงเทพ. 2555. (อัดสำเนา)
- ปนัดดา ผู้มีจรรยา. การทำตัวดูดซับสารกลุ่ม BTEX ในอากาศจากตะกอนเยื่อกระดาษ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2551.
- พรพิมล กองทิพย์. สุขศาสตร์อุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์นำอักษรการพิมพ์, 2545.

- ไพลิน ทวีวงษ์. การรับสัมผัสสารประกอบอินทรีย์ระเหยจากสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงใน กรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.
- ไพลิน ทวีวงษ์, ศิริมา ปัญญาเมธีกุล และทรรศนีย์ พุกษาสลธิ. การประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหย (สารวีไอซี) ของพนักงานสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงในเขต กรุงเทพมหานคร. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ 2 (2553) : 1-12.
- ภาครดา มีเงิน. ปริมาณการปล่อยและชนิดของสารประกอบอินทรีย์ระเหยได้จากรถจักรยานยนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.
- มหาดไทย, กระทรวง. ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี). ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 94 ตอนที่ 64, 2520.
- รัฐเขต มูลรินดี. แหล่งกำเนิดและความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยในอาคารสำนักงานในกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552
- วรรณา เลาวกุล. การประเมินการระบายสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากไอระเหยน้ำมันของรถยนต์ที่ใช้น้ำมันแก๊สโซลล์. [ออนไลน์]. 2554. แหล่งที่มา:  
[http://www.deqp.go.th/website/20/index.php?option=com\\_content&view=article&id=4573%3A2011-09-09-07-29-05&catid=117%3A2010-06-01-02-45-36&Itemid=89&lang=th](http://www.deqp.go.th/website/20/index.php?option=com_content&view=article&id=4573%3A2011-09-09-07-29-05&catid=117%3A2010-06-01-02-45-36&Itemid=89&lang=th) [21 มิถุนายน 2555]
- วิวัฒน์ เอกบุรณะวัฒน์. พิษของ โทลูอีน [ออนไลน์]. 2553ก. แหล่งที่มา:  
<http://www.gotoknow.org/posts/416081> [21 มิถุนายน 2555]
- วิวัฒน์ เอกบุรณะวัฒน์. พิษของ สไตรีน [ออนไลน์]. 2553ข. แหล่งที่มา:  
<http://www.gotoknow.org/posts/416081> [21 มิถุนายน 2555]
- วิวัฒน์ เอกบุรณะวัฒน์. พิษของ ไซลีน [ออนไลน์]. 2553ค. แหล่งที่มา:  
<http://www.gotoknow.org/posts/416568> [21 มิถุนายน 2555]
- สรรสฤษฏ์ เขียวโพธิ์ภักษ์. การประเมินการแพร่กระจายของก๊าซมีเทน สารอินทรีย์ระเหย และกลิ่นจากสถานีกำจัดมูลฝอยชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2551



สาวิตรี พูลมา. การสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยจากสิ่งแวดล้อมของผู้พักอาศัยในเขตกรุงเทพมหานคร.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

สิริวรรณ เขียมสะอาด. อิทธิพลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพอากาศที่มีต่อความ  
เข้มข้นของสารประกอบฟอร์มัลดีไฮด์และอะเซทอลดีไฮด์ในเขตชุมชนเมือง. วิทยานิพนธ์  
ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2548.

สุดารัตน์ รัตนแสง. การศึกษาปัจจัยที่มีต่อความเข้มข้นของสารระเหยอินทรีย์ในกระบวนการผลิต  
สี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัย ภาควิชา  
โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,  
2551.

อิทธิพล พ่ออามาตย์. E85 พร้อมทั้งจะเป็นพลังงานทดแทนสำหรับประเทศไทยแล้วจริงหรือ.  
ข่าวสารอากาศและเสียง 1 (ตุลาคม - ธันวาคม 2551) : 11-12.

อนามัย, กรม. รายงานการจัดทำข้อมูลสถานการณ์แนวโน้มและประเด็นวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการ  
ดำเนินงานด้านส่งเสริมสุขภาพและอนามัยสิ่งแวดล้อมของประเทศไทยเพื่อเป็นปัจจัย  
นำเข้าของการประชุมวิชาการส่งเสริมสุขภาพและอนามัยสิ่งแวดล้อมชาติประจำปี 2554.  
ในประชุมวิชาการส่งเสริมสุขภาพและอนามัยสิ่งแวดล้อมชาติประจำปี 2554, หน้า 316,  
2554.

อุตุนิยมวิทยา, กรม. สถิติข้อมูลลักษณะอุตุนิยมวิทยา 2554 - 2555. กรุงเทพมหานคร: กรม  
อุตุนิยมวิทยา, 2554. (อัดสำเนา)

## ภาษาอังกฤษ

Agency for Toxic Substances and Disease Registry [ ATSDR]. ToxFAQs™: Formaldehyde  
[Online]. 1999. Available from : <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts111.pdf> [2013,  
March 29]

Agency for Toxic Substances and Disease Registry [ ATSDR]. ToxFAQs™: Toluene [Online].  
2002. Available from : <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp3.pdf> [2013, March  
29]

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry [ ATSDR]. Interaction profile for: Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylenes (BTEX) [Online]. 2004. Available from : <http://www.atsdr.cdc.gov/interactionprofiles/ip-btex/ip05.pdf> [2010, June 22]
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry [ATSDR]. 2007a. Toxicological Profile for Benzene. U.S. Department of Public Health and Human Services, Public Health Service. Atlanta, GA.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry [ATSDR]. ToxFAQs™: Ethylbenzene [Online]. 2007b. Available from : <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts110.pdf> [2013, March 29]
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry [ATSDR]. ToxFAQs™: Xylene [Online]. 2007c. Available from : <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts71.pdf> [2013, March 29]
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry [ ATSDR]. Minimal Risk Levels (MRLs) for Hazardous Substances. 2012. Available from : <http://www.atsdr.cdc.gov/mrls/mrllist.asp> [2011, July 28]
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists [ACGIH]. Browse Products [Online]. 2012. Available from: <http://www.acgih.org/store/BrowseProducts.cfm?type=cat&id=16> [2010, June 24]
- Andrea, L., et al. Risk factors for increased BTEX exposure in four Australian cities. Chemosphere 66 (2007): 533–541.
- Atkinson, R., Gas-phase Tropospheric chemistry of organic compounds: a review. Atmospheric Environment 41 (2007) : S200–S240.
- California Office of Environment Health Hazard Assessment [OEHHA]. Chronic Toxicity summary xylene. 1997. Available from: [http://oehha.ca.gov/air/chronic\\_rels/pdf/xylenesREL.pdf](http://oehha.ca.gov/air/chronic_rels/pdf/xylenesREL.pdf) [2011, July 20]
- California Office of Environment Health Hazard Assessment [OEHHA]. Chronic Toxicity summary toluene. 1999. Available from: [http://oehha.ca.gov/air/chronic\\_rels/pdf/108883.pdf](http://oehha.ca.gov/air/chronic_rels/pdf/108883.pdf) [2011, July 20]
- California Office of Environment Health Hazard Assessment [OEHHA]. Appendix D. Individual Acute, 8-Hour, and Chronic Reference Exposure Level

Summaries. 2008. Available from:

[http://oehha.ca.gov/air/hot\\_spots/2008/AppendixD1\\_final.pdf#page=42](http://oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD1_final.pdf#page=42) [2011, July 20]

California Office of Environmental Health Hazard Assessment [OEHHA]. OEHHA Toxicity

Criteria Database. 2009. Available from:

<http://www.oehha.ca.gov/risk/ChemicalDB/index.asp> [2011, July 28]

California Office of Environment Health Hazard Assessment [OEHHA]. Chronic Toxicity

summary formaldehyde. [Online]. 2012a. Available from:

[http://oehha.ca.gov/air/chronic\\_rels/pdf/50000.pdf](http://oehha.ca.gov/air/chronic_rels/pdf/50000.pdf) [2011, July 20]

California Office of Environment Health Hazard Assessment [OEHHA]. Chronic Toxicity

summary benzene. 2012b. Available from:

[http://oehha.ca.gov/air/chronic\\_rels/pdf/71432.pdf](http://oehha.ca.gov/air/chronic_rels/pdf/71432.pdf) [2011, July 20]

California Office of Environment Health Hazard Assessment [OEHHA]. Chronic Toxicity

summary ethylbenzene. 2012c. Available from:

[http://oehha.ca.gov/air/chronic\\_rels/pdf/100414.pdf](http://oehha.ca.gov/air/chronic_rels/pdf/100414.pdf) [2011, July 20]

Cavalcante, M. R., Campelo, C. S., Barbosa, M. J., Silveira, E. R., Carvalho, T. V., and Nascimento, R. F. Determination of carbonyl compounds in air and cancer risk assessment in an academic institute in Fortaleza, Brazil. Atmospheric Environment 40. (2006) : 5701-5711.

Corrêa, S. M., Martins, E. M., and Arbilla, G. Formaldehyde and acetaldehyde in a high traffic street of Rio de Janeiro, Brazil. Atmospheric Environment 37 (2003) : 23-29.

Dutta, C., Som, D., Chatterjee, A., Mukherjee, K. A., Jana, K. T., and Sen, S. Mixing ratios of carbonyls and BTEX in ambient air of Kolkata, India and their associated health risk. Environment Monitoring and Assessment 148 (2009) : 97-107.

European Environment Agency [EEA]. Benzene, toluene, ethylbenzene, xylene (as BTEX): Environmental Terminology and Discovery Service (ETDS) [Online]. 2010. Available from : [http://glossary.eea.europa.eu/terminology/concept\\_html?term=benzene, toluene, ethylbenzene, xylenes \(as btex\)](http://glossary.eea.europa.eu/terminology/concept_html?term=benzene, toluene, ethylbenzene, xylenes (as btex)) [2010, June 20]

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

- Fuselli, S., Zanetti, C., and Santarsiero, a. residential indoor and outdoor air concentration of carbonyl compounds. Ecological Chemistry and Engineering 14 (2007) : 47-56.
- Feng, Y., *et al.* Ambient levels of carbonyl compounds and their sources in Guangzhou, China. Atmospheric Environment. 39 (2005) : 1789-1800.
- Facundo, D. M., *et al.* Measurement of Carbonyls and its relation with Criteria Pollutants in an Urban Site within the Metropolitan Area of Monterrey, Mexico during spring, 2011. Environment and Ecology. Latest Advances in Biology.
- Hao, L., and Lizhong Z. Pollution survey of carbonyl compounds in train air. Frontiers of environmental science and engineering in China. 1 (2007) : 125-128.
- Ho, K. F., Lee, S. C., and Tsai, W. Y. Carbonyl compound in the roadside environment of Hong Kong. Journal of Hazardous Materials 133 (2006) : 24-29.
- Hinwood, L. A., *et al.* Risk factors for increased BTEX exposure in four Australian cities. Chemosphere. 66 (2007) : 533-541.
- Huang, J., *et al.* Characteristics of carbonyl compounds in ambient air of Shanghai, China (doi). Journals of the Atmospheric Sciences. (2009).
- International Agency for Research on Cancer [IARC]. Agents Classified by the IARC Monographs, Volumes 1-100. [Online]. 2010. Available from: <http://monographs.iarc.fr/ENG>
- Jo, W. K., and Song, K. B. Exposure to volatile organic compounds for individuals with occupations associated with potential exposure to motor vehicle exhaust and/or gasoline vapor emissions. Journal of The Science of the Total Environment 269 (2001) : 25-37.
- Kantikwang. แหล่งกำเนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs). [ออนไลน์]. 2012. Available from: <http://kantikwang.blogspot.com/2012/02/vocs.html> [2010, June 10]
- Kitwattanavong, M. Inhalation exposure to carbonyl compound and BTEX and health risk assessment of gas station workers in Bangkok metropoltan. Master's Thesis. Program in Environmental Management, Graduate School, Chulalongkorn University, 2010

- Lagoudi, A., Loizidou, M., and Asimakopoulos, D. Volatile organic compounds in office building, 2. Identification of pollution sources in indoor air. Indoor and Built Environment. 5 (1996) 348-354.
- Laowagul, W., Garivait, H., Limpaseni, W., and Yoshizumi, K. Ambient Air Concentrations of Benzene, Toluene, Ethylbenzene and Xylene in Bangkok, Thailand during April-August in 2007(doi). Journal of Atmospheric Environment. 2-1. (2008) : 14-25.
- Lee, C. C., Chen, M. R., Shih, T. S., Tsai, P. J., Lai, C. H., and L, S. H. Exposure Assessment on Volatile Organic Compounds(VOCs) for Tollway Staion Workers via Direct and Indirect Approaches. Journal of Occupational Health. 44 (2002) : 294-300.
- Leusch, F., and Bartkow, M. A short primer on benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes (BTEX) in the environment and in hydraulic fracturing fluids. Griffith University – Smart Water Research Centre. (2010).
- Long W. J., and Henderson J. W. Rapid Separation and Identification of Carbonyl Compounds by HPLC. Agilent Technologies. (2008).
- Madhoun, W. A. A., Ramli, N. A., Yahaya, A. S., & Yusuf, N. M., Ghazali, A. N., Sansuddin, N. Levels of benzene concentrations emitted from motor vehicles in various sites in Nibong Tebal, Malaysia. (DOI) Air Quality Atmosphere Health. (2010)
- Majumdar, D., Mukherjeea, A. K., and Sen, S. BTEX in Ambient Air of a Metropolitan City. Journal of Environmental Protection. 2 (2011) : 11-20
- Morknoy, D., Carbonyl Compounds in Bangkok Ambient Air Associated with Gasohol. Doctoral dissertation, Program in Enviromental Management, Graduate School, Chulalongkorn University. 2008.
- Morknoy, D., Khummongkol, P., and Prueaksasit T. Seasonal and Diurnal Concentrations of Ambient Formaldehyde and Acetaldehyde in Bangkok. Water Air Soil Pollution 216 (2011) : 693-702.
- Murillo, J. H., Marín, J. F. R., and Román, S. R. Determination of carbonyls and their sources in three sites of the metropolitan area of Costa Rica, Central America. Environment Monitoring Assessment. 184 (2012) : 53-61

- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Hydrocarbon, Aromatic: Method 1501. In Manual of Analytical Methods. NIOSH. Cincinnati, 2003.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Index of chemical name. [Online]. 2012. Available from: <http://www.cdc.gov/niosh/npg/npgsyn-a.html#a> [2010, June 24]
- National Institute for Occupational Safety and Health [NIOSH]. NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards formaldehyde. [Online]. 2010. Available from : <http://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0293.html> [2010, June 24]
- National Institute for Occupational Safety and Health [NIOSH]. NIOSH Publications and Products Acetone. [Online]. 1994. Available from : <http://www.cdc.gov/niosh/idlh/67641.HTML> [2010, June 24]
- Nopparatbundit, S. Health risk assessment associated with inhalation exposure of carbonyl compounds to gasoline workers in Bangkok, Thailand. Master's Thesis, College of Public Health Sciences, Graduate School, Chulalongkorn University, 2011.
- Occupational Safety and Health Administration [OSHA]. Chemical sampling information alphabetic index – b. [Online]. 2010. Available from: [http://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/toc/chmn\\_B.html](http://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/toc/chmn_B.html) [2010, June 24]
- Occupational Safety and Health Administration [OSHA]. Safety and Health Topics: Toluene. [Online]. 2004. Available from : [http://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH\\_272200.html](http://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_272200.html) [2010, June 24]
- Occupational Safety and Health Administration [OSHA]. Chemical Sampling Information Acrolein. [Online]. 2006. Available from : [http://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH\\_217100.html](http://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_217100.html) [2010, June 24]
- Occupational Safety and Health Administration [OSHA]. Chemical Sampling Information Acetaldehyde. [Online]. 2007a. Available from : [http://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH\\_216300.html](http://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_216300.html) [2010, June 24]
- Occupational Safety and Health Administration [OSHA]. Chemical Sampling Information n-Valeraldehyde. [Online]. 2007b. Available from : [http://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH\\_274960.html](http://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_274960.html) [2010, June 24]

- Occupational Safety and Health Administration [OSHA]. Chemical Sampling Information Benzene. [Online]. 2010a. Available from : [http://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH\\_220100.html](http://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_220100.html) [2010, June 24]
- Occupational Safety and Health Administration [OSHA]. Occupational Safety and Health Guideline for EthylBenzene. [Online]. 2010b. Available from : <http://www.osha.gov/SLTC/healthguidelines/ethylbenzene/recognition.html> [2010, June 24]
- Occupational Safety and Health Administration [OSHA]. Occupational Safety and Health Guideline for Xylene. [Online]. 2010c. Available from : <http://www.osha.gov/SLTC/healthguidelines/xylene/recognition.html> [2010, June 24]
- Occupational Safety and Health Administration [OSHA]. Occupational Safety and Health Guideline for Crotonaldehyde. [Online]. 2010d. Available from : <https://www.osha.gov/SLTC/healthguidelines/crotonaldehyde/recognition.html> [2010, June 24]
- Ongwandee, M. and Chavalparit, O. Commuter exposure to BTEX in public transportation modes in Bangkok, Thailand. Journal of Environmental Sciences. 22 (3) (2010) : 397–404.
- Navasumrit, P., Ruchirawat, M., and Mahidol, C. Environmental and Occupational Exposure to Benzene in Thailand. Chemico-Biological Interactions. 153-154 (2005) : 75-83.
- Singla, V., Pachauri, T., Satsangi A., Kumari, K. M., and Lakhani, A. Comparison of BTX Profiles and Their Mutagenicity Assessment at Two Sites of Agra, India. The Scientific World Journal. 2011.
- The International Programme on Chemical Safety [IPCS]. Environmental health criteria 89 formaldehyde. [Online]. 1989. Available from: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc89.htm#SectionNumber:1.2> [2010, June 10]
- The International Programme on Chemical Safety [IPCS]. Environmental health criteria 207 acetone. [Online]. 1998. Available from: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc207.htm#PartNumber:3> [2010, June 10]

- The Ohio Department of Health [ODH]. Bureau of Environmental Health Health Assessment Section: BTEX Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylenes. [Online]. 2009. Available from : <http://www.odh.ohio.gov/~media/ODH/ASSETS/Files/eh/health%20assessment%20section/btex.ashx> [2010, June 10]
- The Risk Assessment Information System [RAIS]. 2009. Chemical Data Profiles [Online]. Available from: <http://rais.ornl.gov/tools/profile.php> [2011, July 20]
- Tran, N., and Giang, H. Roadside PM2.5 and BTEX air quality in Ho Chi Minh city and inverse modeling for vehicle emission factor. [Online]. 2009. Available from: <http://www.dlu.edu.vn/FileUpload/20091131125501844.pdf> [2012, August 15]
- Truc, V. Q., and Oanh, N. K. Roadside BTEX and other gaseous air pollutants in relation to emission sources. The Atmospheric Environment. 41 (2007) : 7685-7697.
- Tsa, P. J., Lee, C. C., Chen, M. R., Shih, T. S., Lai, C. H., and Liou, S. H. 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 (2002) : 5961–5969.
- Tsai, P. J., Lee, C. C., Chen, M. R., Shih, T. S., Lai, C. H., and Liou, S. H. 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 (2002) : 5961–5969.
- U.S. Environmental Protection Agency [U.S.EPA]. Motor Vehicle-Related Air Toxics Study. [Online]. 1993. Available from: <http://www.epa.gov/oms/regs/toxics/airtox1a.pdf>
- U.S. Environmental Protection Agency [U.S.EPA]. 1987. The Risk Assessment Guidelines of 1986. EPA/600/8-87/045. Office of Health and Environmental Assessment, Environmental Protection Agency. Washington, D.C.
- U.S. Environmental Protection Agency [EPA]. BENZENE. [Online]. 1988. Available from: [www.epa.gov/oms/regs/toxics/airtox1b.pdf](http://www.epa.gov/oms/regs/toxics/airtox1b.pdf) [2010, June 24]



- U.S. 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. Office of Emergency and Remedial Response, Environmental Protection Agency. Washington, D.C.
- U.S. Environmental Protection Agency [U.S.EPA]. 1991. Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual Supplemental Guidance "Standard Default Exposure Factors" Interim Final. Office of Emergency and Remedial Response Toxics Integration Branch U.S., Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- U.S. Environmental Protection Agency [U.S.EPA]. Air Monitoring Methods: Toxic Organic Compendium Method TO-11A. [Online]. 1999. Available from: <http://www.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/airtox/to-17r.pdf> [2011, July 20]
- U.S. Environmental Protection Agency [U.S. EPA]. Air Monitoring Methods: Toxic Organic Compendium Method TO-17. [Online]. 1999. Available from: <http://www.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/airtox/to-17r.pdf> [2011, July 20]
- U.S. Environmental Protection Agency [U.S.EPA]. Formaldehyde. 2000a. Available from: <http://www.epa.gov/ttnatw01/hlthef/formalde.html> [2013, March 29]
- U.S. Environmental Protection Agency [U.S.EPA]. Formaldehyde. 2000b. Available from: <http://www.epa.gov/ttnatw01/hlthef/acetalde.html> [2013, March 29]
- U.S. Environmental Protection Agency [U.S.EPA]. Photochemical smog - what it means for us. [Online]. 2004. Available from: [http://www.epa.sa.gov.au/xstd\\_files/Air/Information%20sheet/info\\_photosmog.pdf](http://www.epa.sa.gov.au/xstd_files/Air/Information%20sheet/info_photosmog.pdf) [2010, June 21]
- U.S. Environmental Protection Agency [U.S.EPA]. Propionaldehyde. 2008. Available from: <http://www.epa.gov/iris/subst/1011.htm> [2011, July 20]
- U.S. Environmental Protection Agency [U.S.EPA]. 2009. Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part F) Final. EPA-540-R-070-002. Office of Superfund Remediation and Technology Innovation, Environmental Protection Agency. Washington, D.C.

- U.S. Environmental Protection Agency [U.S.EPA]. Chemicals In the Environment: OPPT Chemical Fact Sheets. [Online]. 2010a. Available from: <http://epa.gov/chemfact/> [2010, June 24]
- U.S. Environmental Protection Agency [U.S.EPA]. Waste and Cleanup Risk Assessment : Waste and cleanup risk assesment glossary . [Online]. 2010b. Available from : <http://www.epa.gov/oswer/riskassessment/glossary.htm> [2010, June 20]
- U.S. Environmental Protection Agency [U.S. EPA]. Integrated Risk Information System [IRIS] A-Z List of Substances. [Online]. 2012. Available from: <http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/index.cfm?fuseaction=iris.showSubstanceList> [2011, July 20]
- Viskari, E. L., Vartiainen, M., and Pasanen, P. Seasonal and diurnal variation in formaldehyde and acetaldehyde concentrations along a highway in Eastern Finland. Atmospheric Environment. 34 (2000) : 917-923.
- Wang, M., Zhu, T., Zheng, J., Zhang, Y. R., Zhang, Q. S., Xie, X. X., and Han, Q. Y. Use of a mobile laboratory to evaluate changes in on-road air pollutants during the Beijing 2008 Summer Olympics. Atmospheric Chemistry and Physics. 9 (2009) : 8247-8263.
- Wang, P., and Zhao, W. Assessment of ambient volatile organic compounds (VOCs) near major roads in urban Nanjing, China. Atmospheric Research. 89 (2008) : 289-297.
- World Health Organization [WHO]. "Indoor air quality: organic pollutants. [Online]. 1987 Available from : [http://whqlibdoc.who.int/euro/r&s/EURO\\_R&S\\_111.pdf](http://whqlibdoc.who.int/euro/r&s/EURO_R&S_111.pdf) [2010, June 10]
- Zervas, E., Montagne, X., and Lahaye, J. Emission of Alcohols and Carbonyl Compounds from a Spark Ignition Engine. Influence of Fuel and Air/Fuel Equivalence Ratio. Environmental Science & Technology. 36 (2002) : 2414-2421.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
ใบรับรองจริยธรรมและแบบสอบถาม

### แบบสอบถามข้อมูลพนักงานที่ปฏิบัติงานในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ

ด้านเก็บค่าผ่านทาง.....

วันที่ทำการเก็บข้อมูล...../...../.....

#### 1. ข้อมูลทั่วไป

เพศ  ชาย  หญิง

อายุ.....ปี

น้ำหนัก.....กิโลกรัม

#### 2. ข้อมูลเกี่ยวกับการปฏิบัติงาน

- หมายเลขช่องเก็บค่าผ่านทางที่ท่านปฏิบัติงาน.....

- ท่านปฏิบัติงานในตำแหน่งพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษมาเป็นระยะเวลา.....ปี.....เดือน

- จำนวนวันที่ปฏิบัติงานกัวันต่อสัปดาห์.....วัน/สัปดาห์

- ระยะเวลาปฏิบัติงานที่ชั่วโมงต่อวัน.....ชั่วโมง

- ท่านเริ่มปฏิบัติงานเวลา.....น. ถึง.....น.

- ช่วงพักเวลา.....น.ถึง.....น.

- ช่วงพักเวลา.....น.ถึง.....น. กิจกรรมระหว่างพัก.....

#### 3. ข้อมูลเกี่ยวกับสุขภาพ

- ท่านตรวจสุขภาพประจำปีหรือไม่  ไม่เคย  เคย

- ท่านตรวจสุขภาพครั้งล่าสุด  ต่ำกว่า 3 เดือน  3 เดือน - 6 เดือน

7 เดือน-1ปี  มากกว่า 1 ปี

- ท่านมีโรคประจำตัวหรือไม่  ไม่มี  มีระบุ.....

#### 4. ข้อมูลเกี่ยวกับความรู้สึกหรืออาการในขณะปฏิบัติงาน

ความรู้สึกหรืออาการ	ไม่เคย	นานๆครั้ง	บ่อยๆ
ในขณะปฏิบัติงานท่านเคยมีอาการต่อไปนี้บ้างหรือไม่			
1. แสบตา/เคืองตา/น้ำตาไหล			
2. แสบร้อนบริเวณผิวหนัง/ผิวหนังแสบไหม้/ผิวหนังบวมแดง/ผิวหนังเป็นตุ่ม			
3. ปวดศีรษะ/เวียนศีรษะ/หน้ามืด/มึนงง			
4. รู้สึกอ่อนเพลีย/เมื่อยล้า			
5. หายใจไม่สะดวก/หายใจติดขัด/รู้สึกแสบในขณะหายใจ			
6. เป็นลม/หมดสติ			

5. ท่านคาดว่าจะปฏิบัติงานในตำแหน่งนี้อีกกี่ปี.....ปี

#### 6. ข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์ป้องกัน

- ท่านสวมหน้ากากป้องกันสารมลพิษในขณะปฏิบัติงานหรือไม่  ไม่สวม  สวมเป็นบางครั้ง  สวมทุกครั้ง

- ชนิดหน้ากากที่ท่านใช้สวมป้องกันสารมลพิษในขณะปฏิบัติงาน.....



เลขที่โครงการวิจัย 057-2/55

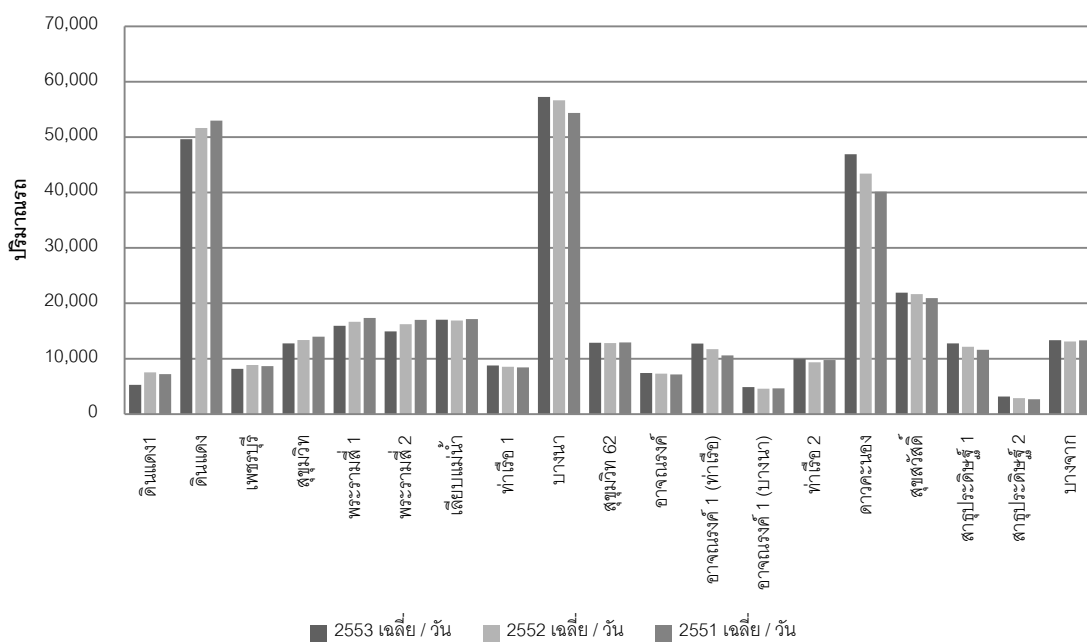
วันที่รับรอง 25 ส.ย. 2555

วันหมดอายุ 24 ส.ย. 2556

ภาคผนวก ข  
สรุปข้อมูลปริมาณรถที่ใช้บริการด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนาและอโศก 4  
ในปี พ.ศ.2551-2553

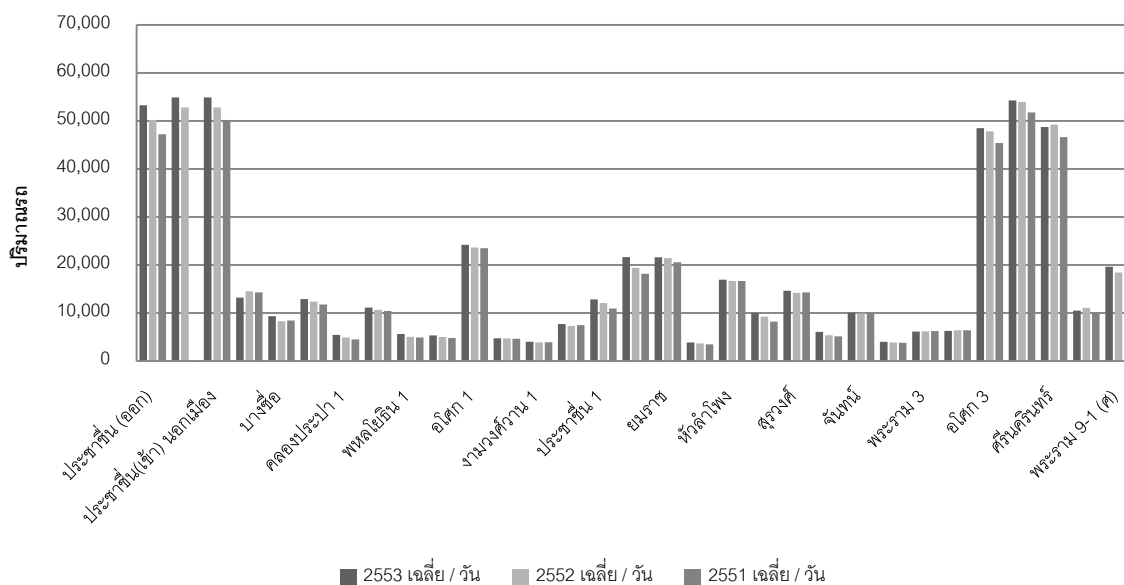
ข.1 ปริมาณรถที่ใช้บริการด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบ่งตามระบบทางด่วน

ทางพิเศษเฉลิมมหานคร (ระบบทางด่วนขั้นที่ 1)



ภาพที่ ข.1 ปริมาณรถที่ใช้บริการด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษระบบทางด่วนขั้นที่ 1

ทางพิเศษศรีรัช (ระบบทางด่วนขั้นที่ 2)



ภาพที่ ข.2 ปริมาณรถที่ใช้บริการด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษระบบทางด่วนขั้นที่ 2

ภาคผนวก ค  
Calibration curve

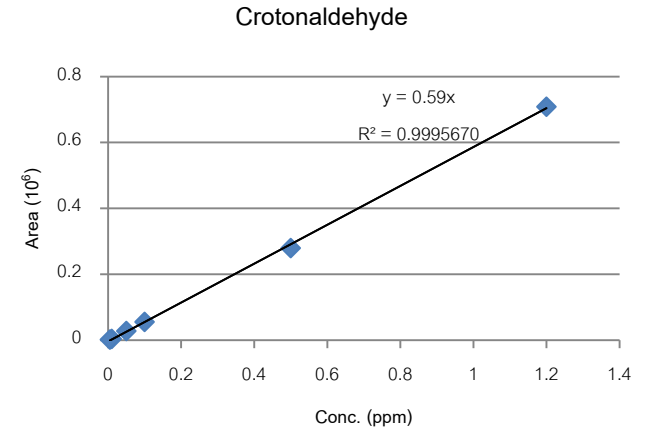
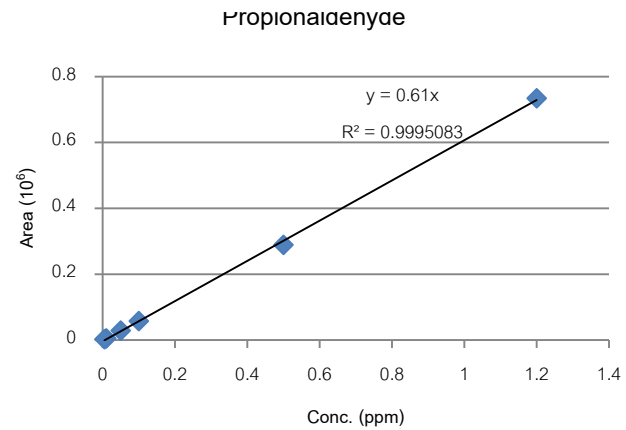
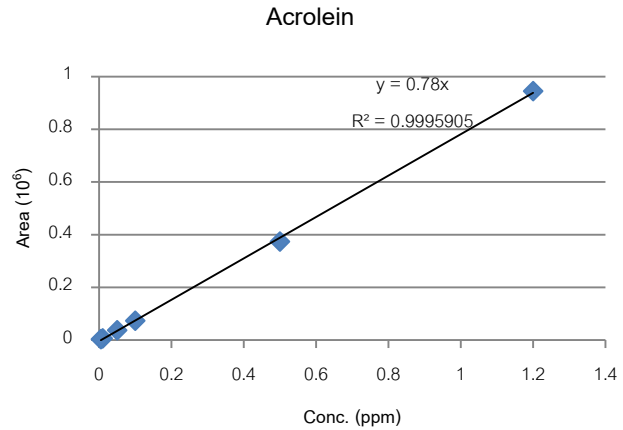
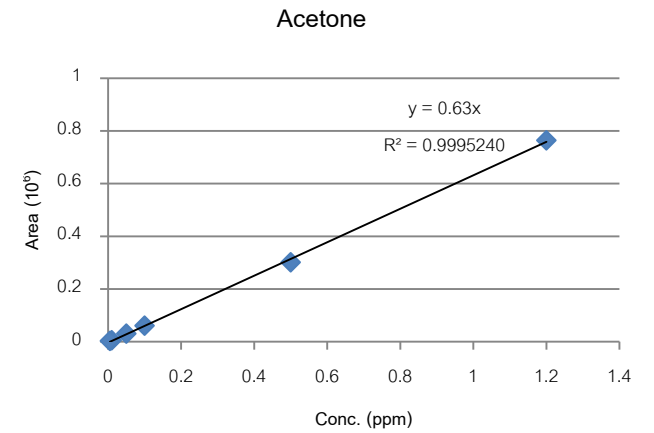
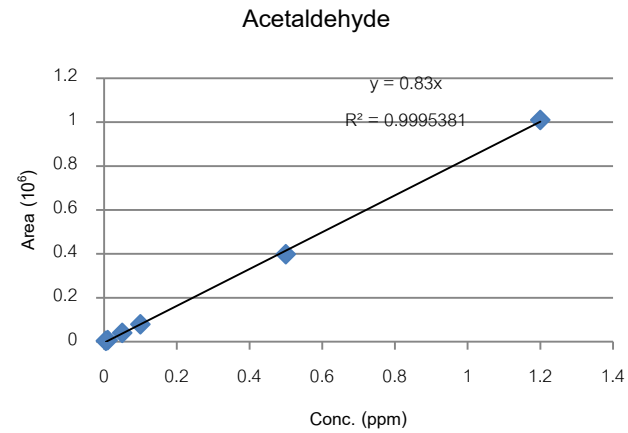
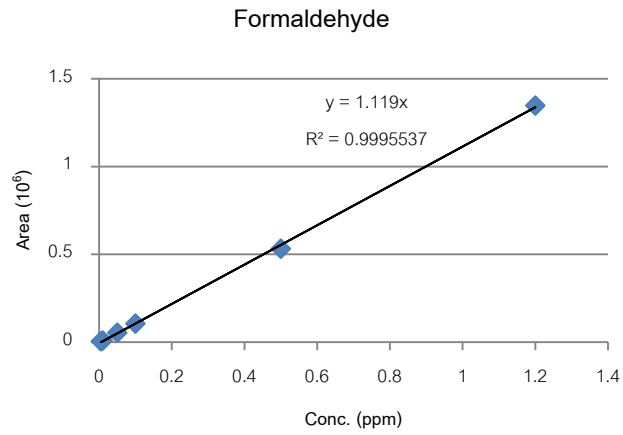


ตารางที่ ค.1 ค่าพื้นที่ใต้พีคของสารมาตรฐานบีเทค

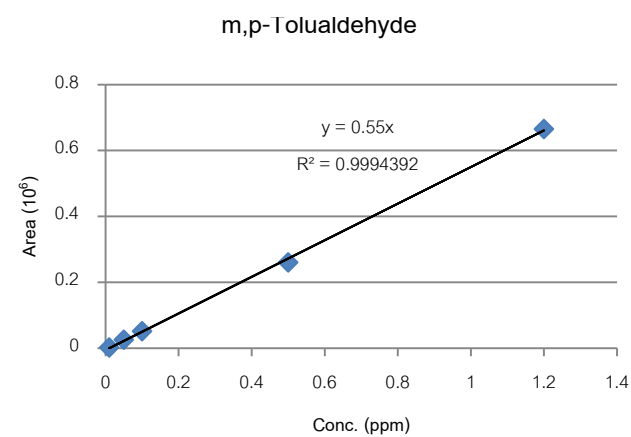
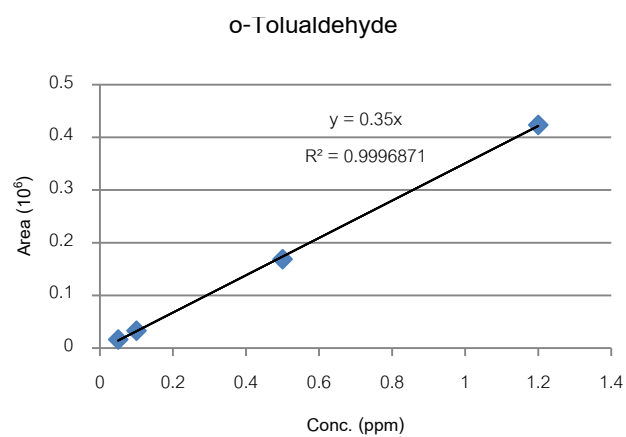
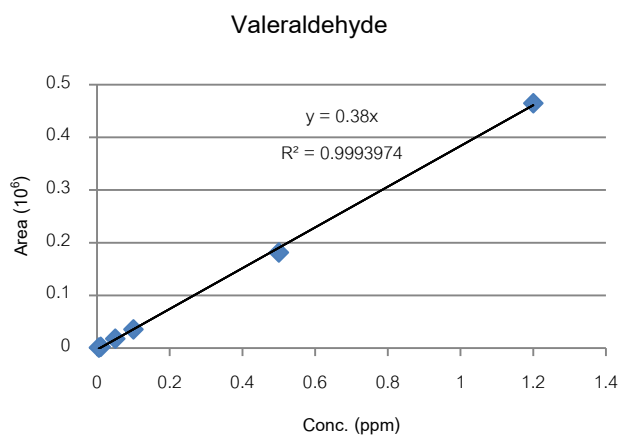
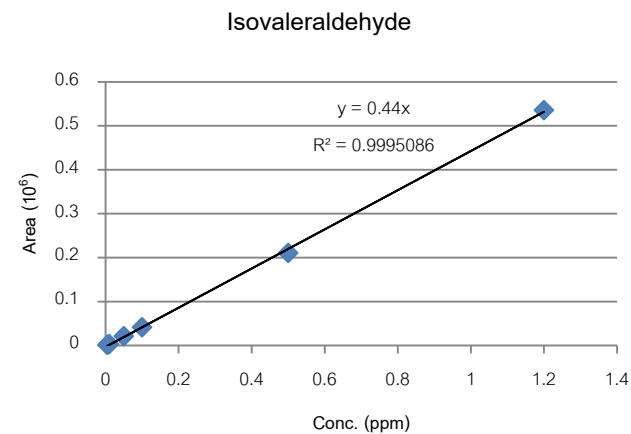
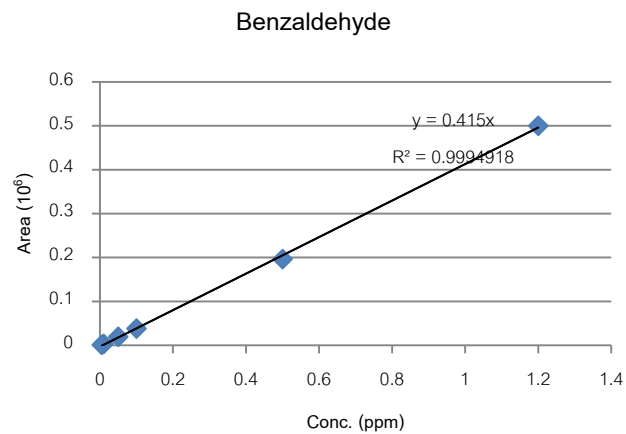
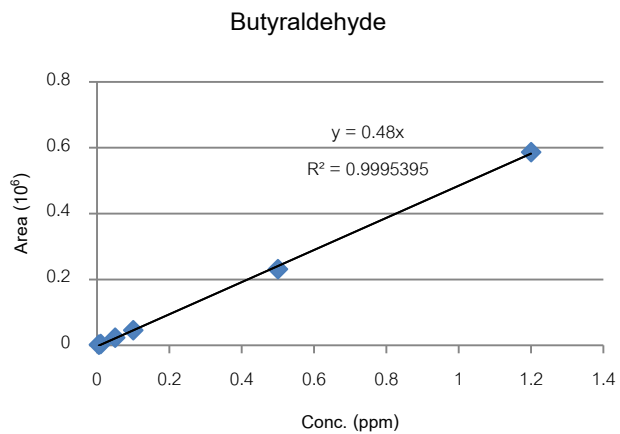
ความเข้มข้นของสาร มาตรฐานบีเทค (ng/ml)	พื้นที่ใต้พีค					
	250	500	1000	2000	4000	8000
Benzene	0.75	0.94	2.29	4.69	10.53	18.28
Toluene	0.63	1.45	3.3	6.84	13.69	23.73
Ethylbenzene	0.94	1.51	3.2	6.48	12.67	24.53
m,p Xylene	1.77	3.21	6.31	13.14	25.12	48.1
o Xylene	0.9	1.49	3.16	6.46	13.13	25.91

ตารางที่ ค.2 ค่าพื้นที่ใต้พีคของสารมาตรฐานคาร์บอนิล

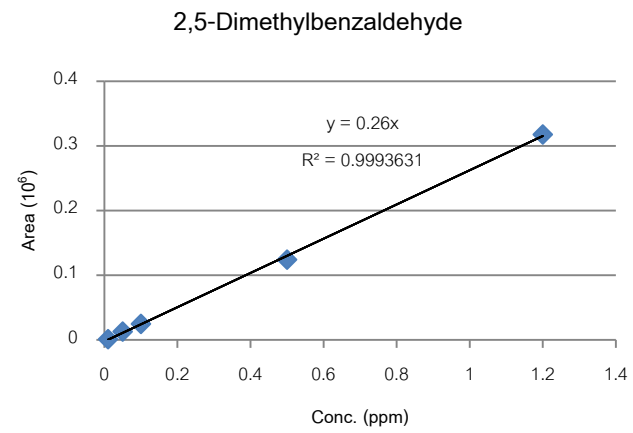
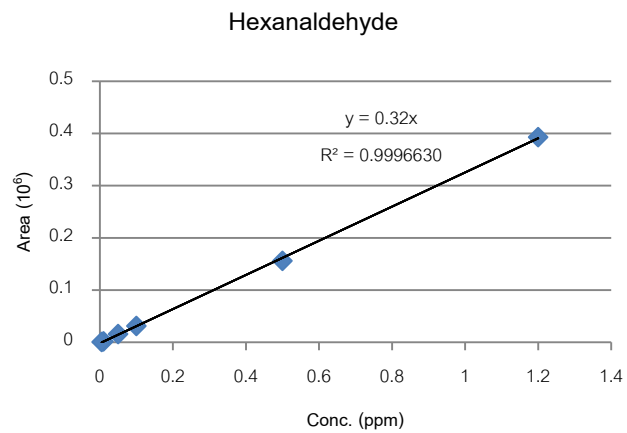
ความเข้มข้นของสารมาตรฐาน คาร์บอนิล (ppm)	พื้นที่ใต้พีค					
	0.005	0.01	0.05	0.1	0.5	1.2
Formaldehyde	4879	9169	53552	105481	531626	1346486
Acetone	2672	5215	30304	60527	300981	763698
Acetaldehyde	3489	6804	39805	78876	397979	1009206
Acrolein	3340	6359	37183	73309	373694	944562
Propionaldehyde	2547	4955	28689	57573	288864	733864
Crotonaldehyde	2023	4074	28046	55643	279693	708568
Butyraldehyde	1761	3805	23006	45637	231080	586222
Benzaldehyde	996	3089	19282	38064	196213	499629
Isovaleraldehyde	1317	3132	20914	41314	210489	535332
Valeraldehyde	1000	2428	17878	35553	181435	464601
o-Tolualdehyde	-	-	16324	33055	168699	423405
m,p-Tolualdehyde	-	2360	25858	51795	260575	665274
Hexanaldehyde	710	1844	15873	31336	156010	392910
2,5-Dimethylbenzaldehyde	-	1065	12796	24672	124053	317592



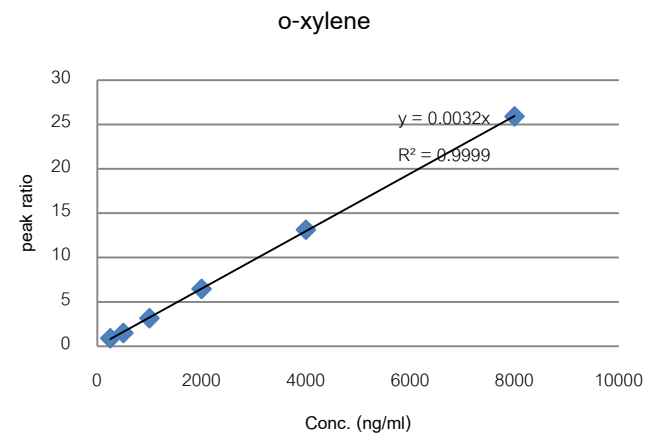
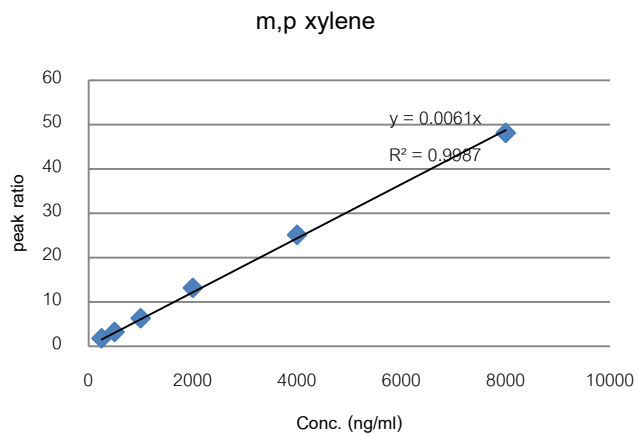
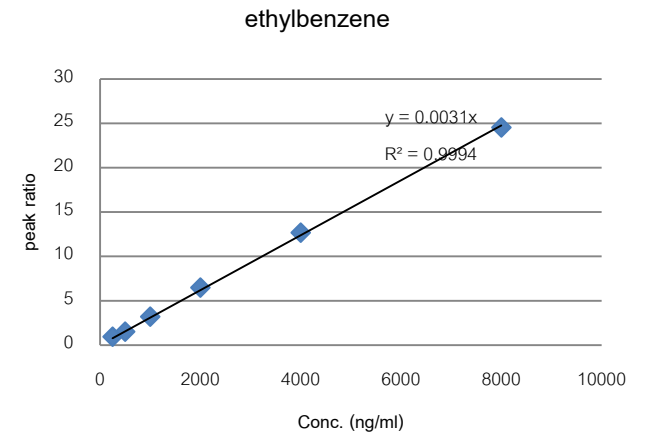
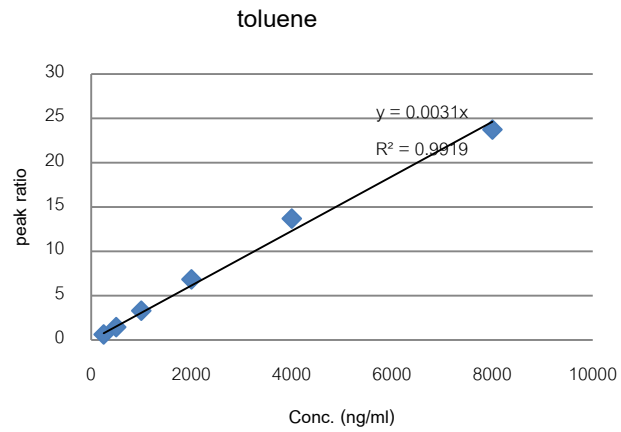
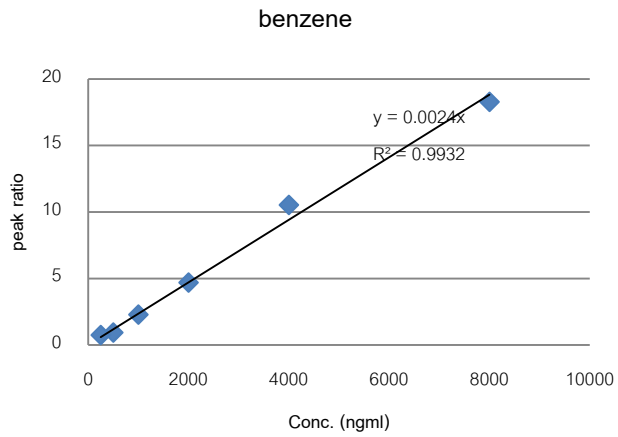
ภาพที่ ค.1 Calibration curve ของสารละลายมาตรฐานประกอบคาร์บอนิลทั้ง 14 ชนิด



ภาพที่ ค.1 Calibration curve ของสารละลายมาตรฐานประกอบคาร์บอนิลทั้ง 14 ชนิด (ต่อ)



ภาพที่ ค.1 Calibration curve ของสารละลายมาตรฐานประกอบคาร์บอนิลทั้ง 14 ชนิด (ต่อ)



ภาพที่ ค.2 Calibration curve ของสารละลายมาตรฐานปีเทคทั้ง 5 ชนิด

ตารางที่ ค.3 ค่า LOD และ LOQ ของสารประกอบคาร์บอนิลจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

สาร	ความเข้มข้น (0.05 mg/l)							เฉลี่ย	SD	LDL (mg/l)	LQL (mg/l)	% RSD
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)					
Formaldehyde	0.05	0.05	0.048	0.050	0.055	0.053	0.054	0.051	0.002	0.007	0.025	4.845
Acetone	0.05	0.049	0.050	0.050	0.054	0.052	0.053	0.051	0.002	0.006	0.019	3.646
Acetaldehyde	0.05	0.049	0.050	0.050	0.055	0.053	0.054	0.051	0.002	0.007	0.023	4.438
Acrolein	0.05	0.049	0.051	0.050	0.054	0.052	0.053	0.051	0.002	0.005	0.018	3.509
Propionaldehyde	0.05	0.051	0.051	0.050	0.055	0.053	0.054	0.052	0.002	0.006	0.019	3.709
Crotonaldehyde	0.05	0.053	0.053	0.050	0.050	0.050	0.050	0.051	0.001	0.004	0.015	2.878
Butyraldehyde	0.05	0.05	0.051	0.051	0.053	0.052	0.053	0.051	0.001	0.004	0.012	2.298
Benzaldehyde	0.05	0.049	0.048	0.050	0.053	0.052	0.052	0.051	0.002	0.005	0.018	3.549
Isovaleraldehyde	0.05	0.048	0.049	0.050	0.053	0.052	0.052	0.051	0.002	0.005	0.018	3.549
Valeraldehyde	0.051	0.05	0.051	0.050	0.056	0.053	0.055	0.052	0.002	0.007	0.023	4.487
o-Tolualdehyde	0.05	0.049	0.051	0.050	0.052	0.051	0.052	0.051	0.001	0.003	0.010	2.033
m,p-Tolualdehyde	0.05	0.05	0.052	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.001	0.002	0.008	1.503
Hexanaldehyde	0.051	0.049	0.051	0.050	0.053	0.052	0.052	0.051	0.001	0.004	0.013	2.617
2,5-Dimethylbenzaldehyde	0.05	0.047	0.049	0.051	0.052	0.052	0.052	0.050	0.002	0.005	0.018	3.591

ตารางที่ ค.4 ค่า LOD และ LOQ ของสารบีเทคจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC

สาร	ความเข้มข้น (250 ng/ml)			เฉลี่ย	SD	LDL (ng/l)	LQL (ng/l)	% RSD
	(1)	(2)	(3)					
Benzene	1.60	1.59	1.73	1.64	0.080	1.64	3.66	4.88
Toluene	2.78	2.78	2.84	2.80	0.036	2.80	0.98	1.30
Ethylbenzene	0.39	0.37	0.40	0.39	0.011	0.39	2.18	2.91
m,p Xylene	0.62	0.67	0.66	0.65	0.028	0.65		4.32
o Xylene	0.35	0.34	0.36	0.35	0.010	0.35		2.91

ภาคผนวก ง

ปริมาณสารประกอบคาร์บอนิลที่ทำการเก็บตัวอย่างในช่วงฤดูฝนและแล้งฝน

ง.1 ปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิลที่ตรวจพบในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนาและอโศก 4

ตารางที่ ง.1 ปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิลที่พนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษได้รับสัมผัส ปริมาณสารบริเวณช่อง easy pass และปริมาณสารในบรรยากาศบริเวณด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนาในช่วงฤดูฝน

สาร	ปริมาณความเข้มข้นของสารที่ได้รับสัมผัส ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )																Average $\pm$ SD ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
	Fri(16/09/54)				Sun(18/09/54)				Fri (27/07/55)				P1 - Sun(29/07/55)				
	P1	P2	E	A	P1	P2	E	A	P1	P2	E	A	P1	P2	E	A	
Formaldehyde	7.69	7.15	5.48	8.93	4.31	3.53	0.61	7.05	4.12	10.51	6.58	10.22	4.61	6.36	9.23	8.39	6.55 $\pm$ 2.68
Acetaldehyde	5.67	3.42	1.40	2.03	1.21	1.36	0.34	2.79	1.64	3.98	1.54	1.84	1.33	2.14	2.82	2.62	2.26 $\pm$ 1.29
Acetone	10.97	9.69	2.68	2.11	6.28	2.82	1.44	2.35	4.37	5.26	1.82	1.98	1.82	7.43	6.09	3.24	4.40 $\pm$ 2.96
Acrolein	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.1	nd	nd	nd	nd	0.1
Propionaldehyde	2.44	1.82	2.20	0.90	0.91	1.67	0.79	1.07	4.05	5.57	0.34	0.41	4.71	4.57	0.54	0.55	2.03 $\pm$ 1.74
Crotonaldehyde	0.09	2.08	1.60	2.89	0.33	0.67	0.09	nd	0.97	1.54	1.29	1.06	3.68	2.12	2.1	3.2	1.58 $\pm$ 1.14
Butyraldehyde	5.13	3.46	2.58	0.69	0.004	2.11	0.18	0.04	0.39	0.66	0.24	0.38	0.73	0.68	0.31	nd	1.17 $\pm$ 1.47
Benzaldehyde	0.42	0.38	0.34	0.35	0.17	0.14	0.03	0.07	0.2	0.34	nd	0.21	0.46	0.41	nd	0.15	0.26 $\pm$ 0.16
Isovaleraldehyde	nd	nd	0.03	nd	0.1	nd	nd	nd	nd	0.10	0.21	0.24	nd	nd	nd	nd	0.14 $\pm$ 0.08
Valeraldehyde	0.50	0.19	0.56	0.50	nd	nd	nd	0.67	0.14	0.19	0.15	0.22	0.34	0.29	0.46	0.49	0.36 $\pm$ 0.22
o-Tolualdehyde	0.34	0.30	0.13	0.13	nd	nd	0.02	0.13	0.15	0.40	0.33	0.33	0.15	0.16	0.16	0.23	0.21 $\pm$ 0.13
m,p-Tolualdehyde	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.21	0.42	nd	0.16	nd	nd	nd	0.23	0.26 $\pm$ 0.12
Hexanaldehyde	0.99	0.43	0.26	0.54	nd	0.05	nd	0.47	0.34	1.53	0.16	0.33	1.40	2.18	0.53	0.60	0.70 $\pm$ 0.62
2,5-Dimethylbenzaldehyde	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.207	nd	nd	0.98	3.53	1.30	15.10	4.22 $\pm$ 3.79



ตารางที่ ง.2 ปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิลที่พนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษได้รับสัมผัส ปริมาณสารบริเวณช่อง easy pass และปริมาณสารในบรรยากาศบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษอโศก 4 ในช่วงฤดูฝน

สาร	ปริมาณความเข้มข้นของสารที่ได้รับสัมผัส ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )																Average $\pm$ SD ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
	Fri(23/09/54)				Sun(25/09/54)*				Fri (7/10/54)				P1 - Sun(9/10/54)				
	P1	P2	E	A	P1	P2	E	A	P1	P2	E	A	P1	P2	E	A	
Formaldehyde	9.65	8.22	7.68	5.34	-	-	-	-	18.52	12.87	7.75	8.52	12.72	11.26	8.74	9.42	10.06 $\pm$ 5.37
Acetaldehyde	3.41	2.32	2.06	1.32	-	-	-	-	6.23	6.2	2.3	3.34	5.07	5.34	2.64	3.07	3.61 $\pm$ 2.16
Acetone	9.83	5.27	5.63	3.76	-	-	-	-	23.12	22.74	21.97	22.34	16.01	12.96	12.15	8.12	13.66 $\pm$ 8.8
Acrolein	nd	nd	nd	nd	-	-	-	-	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Propionaldehyde	1.01	1.09	1.72	9.91	-	-	-	-	0.94	0.62	0.38	0.41	0.74	0.54	0.48	0.59	1.54 $\pm$ 2.38
Crotonaldehyde	4.04	1.32	1.98	1.65	-	-	-	-	5.77	5.52	0.74	0.82	4.14	nd	0.81	0.89	2.52 $\pm$ 2.01
Butyraldehyde	nd	1.50	2.03	1.59	-	-	-	-	6.87	6.14	3.61	2.32	nd	6.87	3.5	3.67	3.81 $\pm$ 2.51
Benzaldehyde	0.30	0.37	0.69	0.10	-	-	-	-	0.42	0.51	0.89	0.66	0.47	0.24	0.31	0.52	0.46 $\pm$ 0.28
Isovaleraldehyde	nd	0.41	0.46	nd	-	-	-	-	nd	nd	0.1	nd	nd	nd	nd	nd	0.32 $\pm$ 0.15
Valeraldehyde	0.15	0.25	0.60	0.36	-	-	-	-	0.09	0.26	0.53	0.53	0.08	0.46	0.46	0.33	0.34 $\pm$ 0.22
o-Tolualdehyde	0.12	0.98	0.20	0.27	-	-	-	-	6.47	1.91	nd	0.16	1.85	nd	nd	0.16	1.35 $\pm$ 1.65
m,p-Tolualdehyde	0.64	nd	nd	nd	-	-	-	-	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.64 $\pm$ 0.16
Hexanaldehyde	0.42	0.26	0.57	0.54	-	-	-	-	0.68	0.33	0.23	0.4	0.26	0.33	0.47	0.57	0.42 $\pm$ 0.23
2,5-Dimethylbenzaldehyde	0.84	nd	nd	nd	-	-	-	-	0.03	nd	0.03	nd	0.13	nd	0.03	nd	0.21 $\pm$ 0.21

หมายเหตุ : \* ไม่มีข้อมูลเนื่องจากตัวอย่างเสียหายจากเหตุการณ์อุทกภัยในระหว่างรอการวิเคราะห์

ตารางที่ ง.3 ปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิลที่พนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษได้รับสัมผัส ปริมาณสารบริเวณช่อง easy pass และปริมาณสารในบรรยากาศบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนา ในช่วงฤดูแล้งฝน

สาร	ปริมาณความเข้มข้นของสารที่ได้รับสัมผัส ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )																Average $\pm$ SD ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
	Fri(10/02/55)				Sun(12/02/55)				Fri (24/02/55)				P1 - Sun(26/02/55)				
	P1	P2	E	A	P1	P2	E	A	P1	P2	E	A	P1	P2	E	A	
Formaldehyde	3.87	7.42	6.99	8.00	8.10	9.96	9.06	9.97	7.77	7.38	6.55	11.51	7.75	7.88	8.79	12.07	8.32 $\pm$ 1.96
Acetaldehyde	4.17	6.81	3.91	4.21	7.05	8.01	5.16	5.05	4.72	6.15	3.38	6.15	1.47	3.53	2.89	3.61	4.77 $\pm$ 1.72
Acetone	6.33	11.18	2.88	2.83	16.98	21.27	9.04	10.63	90.29	114.14	66.69	79.23	35.73	35.67	40.51	34.55	36.12 $\pm$ 34.18
Acrolein	0.42	0.62	nd	nd	0.49	0.51	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.51 $\pm$ 0.23
Propionaldehyde	0.42	0.73	0.42	0.49	0.69	0.62	0.56	0.69	1.19	2.27	0.31	1.87	0.41	4.94	1.73	1.21	1.16 $\pm$ 1.17
Crotonaldehyde	0.21	0.35	0.35	0.24	0.59	0.38	0.42	0.62	3.29	2.33	2.68	2.29	2.12	1.00	1.16	2.28	1.27 $\pm$ 1.04
Butyraldehyde	0.24	0.10	0.49	0.56	0.11	1.04	2.89	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.77 $\pm$ 0.74
Benzaldehyde	0.21	0.31	0.28	0.66	0.21	0.45	2.29	0.54	0.27	0.62	0.10	0.71	0.16	0.14	0.10	nd	0.47 $\pm$ 0.54
Isovaleraldehyde	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.10	0.10	nd	nd	nd	0.31	nd	0.34	nd	nd	0.21 $\pm$ 0.11
Valeraldehyde	0.24	0.41	0.24	0.42	nd	nd	0.46	0.58	0.20	0.08	0.67	0.93	0.56	0.26	0.98	0.72	0.48 $\pm$ 0.30
o-Tolualdehyde	nd	0.47	0.28	1.04	0.31	0.21	nd	0.31	2.40	6.76	0.11	4.00	nd	1.26	0.51	0.76	1.42 $\pm$ 1.83
m,p-Tolualdehyde	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.17	nd	0.40	0.29 $\pm$ 0.11
Hexanaldehyde	0.63	1.07	0.52	0.76	0.21	0.41	3.89	0.92	nd	0.02	0.09	0.26	0.09	nd	0.09	0.19	0.65 $\pm$ 0.95
2,5-Dimethylbenzaldehyde	nd	0.03	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.03

ตารางที่ ง.4 ปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิลที่พนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษได้รับสัมผัส ปริมาณสารบริเวณช่อง easy pass และปริมาณสารในบรรยากาศบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษอโศก 4 ในช่วงฤดูแล้งฝน

สาร	ปริมาณความเข้มข้นของสารที่ได้รับสัมผัส ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )																Average $\pm$ SD ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
	Fri(17/02/55)				Sun(19/02/55)				Fri (9/03/55)				P1 - Sun(11/03/55)				
	P1	P2	E	A	P1	P2	E	A	P1	P2	E	A	P1	P2	E	A	
Formaldehyde	12.82	12.57	5.29	9.75	16.42	10.59	4.75	4.65	18.38	11.65	9.47	9.98	13.72	11.58	8.62	7.74	10.5 $\pm$ 3.89
Acetaldehyde	6.51	5.59	2.48	4.19	6.62	5.93	3.05	3.78	4.65	3.87	3.05	3.02	3.82	4.56	2.48	2.63	4.14 $\pm$ 1.4
Acetone	9.77	10.57	6.82	5.23	5.72	11.47	9.05	7.32	67.53	79.62	55.10	58.58	63.59	64.27	51.78	35.68	33.88 $\pm$ 27.94
Acrolein	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Propionaldehyde	0.34	1.70	1.62	0.34	2.34	1.74	1.56	1.05	0.39	0.72	2.00	0.47	0.27	3.74	0.35	0.14	1.17 $\pm$ 1.0
Crotonaldehyde	0.12	3.23	2.09	0.81	0.62	0.69	0.79	0.19	5.977	4.991	2.562	2.903	2.891	1.155	0.990	0.611	1.91 $\pm$ 1.73
Butyraldehyde	nd	5.73	4.93	3.86	5.56	2.55	1.75	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.587	nd	nd	3.57 $\pm$ 2.22
Benzaldehyde	0.10	0.17	0.34	0.20	0.17	0.27	0.15	0.20	nd	0.155	0.237	0.102	nd	0.412	nd	nd	0.21 $\pm$ 0.12
Isovaleraldehyde	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.1	nd	nd	nd	0.15	nd	0.13 $\pm$ 0.04
Valeraldehyde	nd	0.25	0.36	0.42	0.25	0.30	0.66	0.69	0.303	0.360	0.421	0.557	0.152	0.358	0.603	0.915	0.44 $\pm$ 0.23
o-Tolualdehyde	0.67	1.97	0.57	1.44	0.36	0.49	0.41	0.31	1.024	1.437	0.361	0.158	0.911	0.675	nd	nd	0.77 $\pm$ 0.56
m,p-Tolualdehyde	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.1	nd	nd	0.1
Hexanaldehyde	nd	0.19	nd	0.43	0.19	0.12	0.24	0.29	0.188	0.364	0.391	0.425	0.121	nd	0.226	0.158	0.26 $\pm$ 0.14
2,5-Dimethylbenzaldehyde	0.13	nd	nd	nd	nd	0.06	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.06	nd	nd	nd	0.08 $\pm$ 0.04

ภาคผนวก จ  
ปริมาณสารปีเทคที่ทำการเก็บตัวอย่างในช่วงฤดูฝนและแล้งฝน

จ.1 ปริมาณความเข้มข้นของสารปิเทคที่ตรวจพบในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนาและอโศก 4

ตารางที่ จ.1 ปริมาณความเข้มข้นของสารปิเทคที่พนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษได้รับสัมผัส ปริมาณสารบริเวณช่อง easy pass และปริมาณสารในบรรยากาศ บริเวณด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนาในช่วงฤดูฝน

สาร	ปริมาณความเข้มข้นของสารที่ได้รับสัมผัส ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )																Average $\pm$ SD ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
	Fri(16/09/54)				Sun(18/09/54)				Fri (30/09/54)				P1 - Sun(2/10/54)				
	P1	P2	E	A	P1	P2	E	A	P1	P2	E	A	P1	P2	E	A	
Benzene	129.01	150.41	49.46	52.24	80.94	124.83	-	43.77	158.62	175.12	79.31	126.9	147.56	167.65	58.62	61.61	107.07 $\pm$ 47.71
Toluene	165.02	172.69	116.56	139.68	99.93	112.2	-	96.39	113.95	118.69	91.29	119.27	108.07	113.18	90.45	118.04	118.36 $\pm$ 24.07
Ethlybenzene	43.39	43.83	38.96	39.06	16.9	18.56	-	10.66	24.72	36.02	42.26	33.65	19.8	35.53	4.97	27.56	29.058 $\pm$ 12.51
m,p Xylene	49.01	50.06	33.86	42.07	18.75	21.5	-	16.87	47.89	52.21	27.29	38.34	26.6	38.5	33.52	40.23	35.78 $\pm$ 11.61
o-Xylene	10.41	15.15	6.18	13.23	3.2	4.37	-	3.78	10.89	15.25	18.61	22.29	8.67	10.96	8.66	15.74	11.15 $\pm$ 5.60

ตารางที่ จ.2 ปริมาณความเข้มข้นของสารปิเทคที่พนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษได้รับสัมผัส ปริมาณสารบริเวณช่อง easy pass และปริมาณสารในบรรยากาศ บริเวณด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษอโศก 4 ในช่วงฤดูฝน

สาร	ปริมาณความเข้มข้นของสารที่ได้รับสัมผัส ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )																Average $\pm$ SD ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
	Fri (23/09/54)				Sun (25/09/54)				Fri (7/10/54)				Sun (9/10/54)				
	P1	P2	E	A	P1	P2	E	A	P1	P2	E	A	P1	P2	E	A	
Benzene	195.67	220.75	73.58	94.82	106.51	179.67	9.42	44.62	195.08	221.78	66.23	81.4	117.76	122.71	40.91	96.06	116.69 $\pm$ 67.01
Toluene	193.29	215.86	179.12	182.48	72.29	80.7	63.84	54.2	96.17	114.54	139.74	130.24	69.62	107.84	101.26	107.34	119.28 $\pm$ 50.03
Ethlybenzene	34.02	44.73	29.16	31.08	19.37	20.59	3.25	15.52	50.19	54.21	34.54	35.99	30.7	40.94	23.26	35.29	31.43 $\pm$ 13.10
m,p Xylene	35.75	44.01	30.78	37.1	29.42	30.32	6.43	16.86	48.8	58.71	23.88	27.29	28.55	43.31	18.00	23.6	31.43 $\pm$ 13.07
o-Xylene	18.87	10.42	3.62	3.98	6.85	7.29	4.37	5.16	13.21	23.72	12.26	17.7	8.81	20.84	15.55	18.86	11.97 $\pm$ 6.62

ตารางที่ ๑.3 ปริมาณความเข้มข้นของสารบีเทคที่พนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษได้รับสัมผัส ปริมาณสารบริเวณช่อง easy pass และปริมาณสารในบรรยากาศ บริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนาในช่วงฤดูแล้งฝน

สาร	ปริมาณความเข้มข้นของสารที่ได้รับสัมผัส ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )																Average $\pm$ SD ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
	Fri (10/02/55)				Sun (12/02/55)				Fri (24/02/55)				Sun (26/02/55)				
	P1	P2	E	A	P1	P2	E	A	P1	P2	E	A	P1	P2	E	A	
Benzene	118.89	132.23	43.3	57.21	43.37	64.5	15.15	9.4	139.6	163.87	52.01	82.99	80.57	92.2	69.98	92.2	78.59 $\pm$ 43.68
Toluene	112.39	157.42	116.59	164.38	206.81	188.48	201.47	223.19	109.8	146.33	91.34	106.52	82.86	92.89	82.99	92.89	136.02 $\pm$ 48.21
Ethlybenzene	42.34	58.84	42.16	36.73	30.33	35	31.3	37.87	16.88	25.17	17.05	25.02	12.46	14.82	14.46	14.82	28.45 $\pm$ 13.23
m,p Xylene	60.81	79.3	45.38	49.69	39.86	61.75	38.48	47.86	33.53	47.8	26.44	36.64	24.12	23.64	16.76	23.64	40.98 $\pm$ 16.83
o-Xylene	13.25	17.25	13.67	13.89	12.22	15.06	14.98	14.02	7.29	14.73	8.52	9.55	6.18	8.66	7.78	8.66	11.61 $\pm$ 3.44

ตารางที่ ๑.4 ปริมาณความเข้มข้นของสารบีเทคที่พนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษได้รับสัมผัส ปริมาณสารบริเวณช่อง easy pass และปริมาณสารในบรรยากาศ บริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษอโศก 4 ในช่วงฤดูแล้งฝน

สาร	ปริมาณความเข้มข้นของสารที่ได้รับสัมผัส ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )																Average $\pm$ SD ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
	Fri (17/02/55)				Sun (19/02/55)				Fri (9/03/55)				Sun (11/03/55)				
	P1	P2	E	A	P1	P2	E	A	P1	P2	E	A	P1	P2	E	A	
Benzene	182.69	147.52	25.45	80.64	38.98	121.04	45.98	113.61	144.13	193.53	80.35	61.99	107.49	136.92	9.96	34.51	95.30 $\pm$ 56.74
Toluene	326.51	409.99	168.01	106.52	255.85	133.67	210.47	128.25	248.49	226.07	264.8	164.38	139.48	153.85	125.05	143.52	200.31 $\pm$ 83.96
Ethlybenzene	25.39	35.03	24.36	36.73	16.59	22.45	15.27	21.82	52.94	55.63	38.9	25.02	23.44	29.48	19.74	21.84	29.04 $\pm$ 11.92
m,p Xylene	50.23	79.23	48.55	49.69	28.83	43.58	31.69	42.65	50.43	55.47	33.52	36.64	22.56	28.38	14.71	22.35	39.91 $\pm$ 15.95
o-Xylene	15.4	19.33	13.36	13.89	7.14	12.34	8.95	10.59	11.91	12.79	12.96	9.55	5.26	5.43	4.93	6.6	10.65 $\pm$ 4.10

ภาคผนวก จ  
ตัวอย่างการทดสอบทางสถิติ

ตารางที่ ๑.1 การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลสารประกอบคาร์บอนิลในวันศุกร์และวันอาทิตย์  
ในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนา

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

	Formaldehyde	Formaldehyde	Acetaldehyde	Acetaldehyde	Acetone	Acetone	Propionaldehyde	Propionaldehyde	
	ฝน	แล้งฝน	ฝน	แล้งฝน	ฝน	แล้งฝน	ฝน	แล้งฝน	
N	16	16	16	16	16	16	16	16	
Normal Parameters(a,b)	Mean	6.5466	8.3169	2.2587	4.7669	4.39	36.12	1.0259	2.1663
	Std. Deviation	2.67793	1.96280	1.29147	1.72341	2.96	34.18	.64273	1.92184
Most Extreme Differences	Absolute	.097	.169	.161	.127	.215	.199	.258	.191
	Positive	.078	.169	.161	.127	.215	.199	.258	.191
	Negative	-.097	-.129	-.146	-.101	-.159	-.165	-.173	-.167
Kolmogorov-Smirnov Z	.388	.676	.643	.507	.859	.796	1.031	.762	
Asymptotic Significance (2-tailed)	.998	.751	.803	.959	.452	.551	.238	.606	

a Test Distribution is Normal

b Calculated from data

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

	Crotonaldehyde	Crotonaldehyde	Benzaldehyde	Benzaldehyde	Butyraldehyde	Butyraldehyde	
	ฝน	แล้งฝน	ฝน	แล้งฝน	ฝน	แล้งฝน	
N	15	16	16	13	15	7	
Normal Parameters(a,b)	Mean	.7273	2.0700	.4274	.2969	1.3081	.4857
	Std. Deviation	.81335	.85605	.52369	.19985	1.56629	.19899
Most Extreme Differences	Absolute	.329	.139	.296	.207	.252	.238
	Positive	.329	.131	.296	.207	.252	.238
	Negative	-.217	-.139	-.226	-.162	-.203	-.238
Kolmogorov-Smirnov Z	1.273	.556	1.184	.745	.978	.630	
Asymptotic Significance (2-tailed)	.078	.917	.121	.635	.294	.822	

a Test Distribution is Normal

b Calculated from data

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

	o-Tolualdehyde	o-Tolualdehyde	Valeraldehyde	Valeraldehyde	Hexanaldehyde	Hexanaldehyde	
	ฝน	แล้งฝน	ฝน	แล้งฝน	ฝน	แล้งฝน	
N	12	15	11	16	14	14	
Normal Parameters(a,b)	Mean	.3047	1.1807	.4346	.4175	.7980	.5579
	Std. Deviation	.26237	1.88058	.15421	.28394	.93828	.66308
Most Extreme Differences	Absolute	.284	.322	.177	.173	.314	.272
	Positive	.284	.322	.163	.173	.314	.272
	Negative	-.165	-.285	-.177	-.117	-.214	-.209
Kolmogorov-Smirnov Z	.985	1.246	.586	.693	1.174	1.016	
Asymptotic Significance (2-tailed)	.287	.089	.883	.723	.127	.253	

a Test Distribution is Normal

b Calculated from data



ตารางที่ ๑.2 การทดสอบทางสถิติด้วย Paired sample T-test ของการรับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิลในวันศุกร์และวันอาทิตย์ในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนา

## Paired Samples Statistics

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean	
Pair 1	formaldehyde ศุกร์	7.5100	16	2.09393	.52348
	formaldehyde อาทิตย์	7.3535	16	2.88056	.72014
Pair 2	acetaldehyde ศุกร์	3.8144	16	1.78121	.44530
	acetaldehyde อาทิตย์	3.2112	16	2.15088	.53772
Pair 3	acetone ศุกร์	25.7775	16	38.06548	9.51637
	actone อาทิตย์	14.7406	16	14.15098	3.53775
Pair 4	propinaldehyde ศุกร์	1.5875	16	1.49348	.37337
	propinaldehyde อาทิตย์	1.6047	16	1.60294	.40073
Pair 5	Crotonaldehyde ศุกร์	1.3588	15	1.01309	.26158
	Crotonaldehyde อาทิตย์	1.3840	15	1.12158	.28959
Pair 6	Butyraldehyde ศุกร์	1.4007	10	1.72633	.54592
	Butyraldehyde อาทิตย์	.8078	10	.97067	.30695
Pair 7	Benzaldehyde ศุกร์	.3346	14	.15398	.04115
	Benzaldehyde อาทิตย์	.3789	14	.57330	.15322
Pair 8	Valeraldehyde ศุกร์	.3401	11	.26409	.07963
	Valeraldehyde อาทิตย์	.5280	11	.20981	.06326
Pair 9	o-Tolualdehyde ศุกร์	1.2585	11	2.14539	.64686
	o-Tolualdehyde อาทิตย์	.3541	11	.36429	.10984
Pair 10	Hexanaldehyde ศุกร์	.5557	12	.40904	.11808
	Hexanaldehyde อาทิตย์	.9126	12	1.12127	.32368

## Paired Samples Correlations

	N	Correlation	Significance	
Pair 1	formaldehyde ศุกร์ and formaldehyde อาทิตย์	16	.403	.122
Pair 2	acetaldehyde ศุกร์ and acetaldehyde อาทิตย์	16	.479	.060
Pair 3	acetone ศุกร์ and actone อาทิตย์	16	.895	.000
Pair 4	propinaldehyde ศุกร์ and propinaldehyde อาทิตย์	16	.777	.000
Pair 5	Crotonaldehyde ศุกร์ and Crotonaldehyde อาทิตย์	15	.283	.306
Pair 6	Butyraldehyde ศุกร์ and Butyraldehyde อาทิตย์	10	-.076	.836
Pair 7	Benzaldehyde ศุกร์ and Benzaldehyde อาทิตย์	14	-.032	.913
Pair 8	Valeraldehyde ศุกร์ and Valeraldehyde อาทิตย์	11	.815	.002
Pair 9	o-Tolualdehyde ศุกร์ and o-Tolualdehyde อาทิตย์	11	.942	.000
Pair 10	Hexanaldehyde ศุกร์ and Hexanaldehyde อาทิตย์	12	.331	.294

ตารางที่ ๑.2 การทดสอบทางสถิติด้วย Paired sample T-test ของการรับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิลในวันศุกร์และวันอาทิตย์ในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนา (ต่อ)

	Paired Differences					t	df	Sig (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 Formal ฟูร์ - formal อาทิตย์	.1565	2.79691	.69923	-1.3339	1.6469	.224	15	.826
Pair 2 acetal ฟูร์ - acetal อาทิตย์	.6033	2.03099	.50775	-.4790	1.6855	1.188	15	.253
Pair 3 acetone ฟูร์ - acetone อาทิตย์	11.0369	26.18250	6.54563	-2.9147	24.9886	1.686	15	.112
Pair 4 propinal ฟูร์ - propinal อาทิตย์	-.0172	1.03939	.25985	-.5710	.5367	-.066	15	.948
Pair 5 Crotonal ฟูร์ - Crotonal อาทิตย์	-.0252	1.28086	.33072	-.7345	.6841	-.076	14	.940
Pair 6 Butyral ฟูร์ - Butyral อาทิตย์	.5929	2.04345	.64620	-.8689	2.0547	.918	9	.383
Pair 7 Benzal ฟูร์ - Benzal อาทิตย์	-.0444	.59839	.15993	-.3899	.3011	-.277	13	.786
Pair 8 Valeral ฟูร์ - Valeral อาทิตย์	-.1879	.15297	.04612	-.2907	-.0851	-4.074	10	.002
Pair 9 o-Tolual ฟูร์ - o-Tolual อาทิตย์	.9044	1.80626	.54461	-.3091	2.1178	1.661	10	.128
Pair 10 Hexanal ฟูร์ - Hexanal อาทิตย์	-.3569	1.05895	.30569	-1.0297	.3159	-1.168	11	.268

ตารางที่ ๓.3 การทดสอบทางสถิติด้วย Independents sample T-test ของการรับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิลในวันศุกร์และวันอาทิตย์ในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนา

Group Statistics					
STATION		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Benzene	บางนา	31	92.3716	47.17633	8.47312
	อโศก 4	32	105.9925	62.03667	10.96664
Toluene	บางนา	31	127.4761	38.89705	6.98612
	อโศก 4	32	164.0569	81.06353	14.33014
Ethylbenzene	บางนา	31	28.7458	12.67464	2.27643
	อโศก 4	32	31.0513	12.75203	2.25426
m,p Xylene	บางนา	31	38.4645	14.54026	2.61151
	อโศก 4	32	36.1500	16.07547	2.84177
o, Xylen	บางนา	31	11.39032	4.538074	.815062
	อโศก 4	32	11.51844	5.545582	.980330

Indep Test										
		Levene Test		t-test for Equality						
		F	Significance	t	df	Sig (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Diff	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Benzene	Equal variances	1.907	.172	-.979	61	.332	-13.6209	13.91847	-41.45258	14.2108
	Not Equal variances			-.983	57.781	.330	-13.6209	13.85860	-41.36413	14.1223
Toluene	Equal variances	10.729	.002	-2.272	61	.027	-36.5807	16.10408	-68.78285	-4.37864
	Not Equal variances			-2.295	44.868	.026	-36.5807	15.94236	-68.69292	-4.46857
Ethylbenzene	Equal variances	.067	.797	-.720	61	.475	-2.3054	3.20404	-8.71231	4.10143
	Not Equal variances			-.720	60.958	.475	-2.3054	3.20372	-8.71177	4.10089
m,p Xylene	Equal variances	.343	.560	.599	61	.552	2.3145	3.86572	-5.41546	10.0445
	Not Equal variances			.600	60.720	.551	2.3145	3.85948	-5.40372	10.0327
o, Xylene	Equal variances	1.389	.243	-.100	61	.921	-1.2811	1.278977	-2.685587	2.42935
	Not Equal variances			-.100	59.361	.920	-1.2811	1.274901	-2.678862	2.42263

ตารางที่ ๑.4 การทดสอบทางด้วยสถิติ Oneway Anova ของการรับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิล  
ในแต่ละตำแหน่งในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนา

## ONEWAY Descriptives

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
Benzene	P1	8	112.3200	39.99703	14.14109	78.8816	145.7584	43.37	158.62
	P2	8	133.8513	39.00406	13.79002	101.243	166.4595	64.50	175.12
	E	7	52.5471	20.61920	7.79333	33.4776	71.6167	15.15	79.31
	A	8	65.7900	35.18759	12.44069	36.3724	95.2076	9.40	126.90
	Total	31	92.3716	47.17633	8.47312	75.0672	109.6760	9.40	175.12
Toluene	P1	8	124.8538	40.52754	14.32865	90.9719	158.7356	82.86	206.81
	P2	8	137.7350	33.56667	11.86761	109.672	165.7974	92.89	188.48
	E	7	112.9557	41.23524	15.58546	74.8195	151.0920	82.99	201.47
	A	8	132.5450	43.46512	15.36724	96.2073	168.8827	92.89	223.19
	Total	31	127.4761	38.89705	6.98612	113.208	141.7437	82.86	223.19
Ethylbenzene	P1	8	25.8525	11.81631	4.17770	15.9738	35.7312	12.46	43.39
	P2	8	33.4713	14.15765	5.00549	21.6352	45.3073	14.82	58.84
	E	7	25.7957	13.81176	5.22036	13.0220	38.5695	4.97	42.16
	A	8	28.1713	10.76438	3.80578	19.1720	37.1705	10.66	39.06
	Total	31	28.4042	12.43878	2.23407	23.8416	32.9668	4.97	58.84
m,p Xylene	P1	8	37.5713	14.41465	5.09635	25.5203	49.6222	18.75	60.81
	P2	8	46.8450	19.14605	6.76915	30.8385	62.8515	21.50	79.30
	E	7	31.6757	9.23223	3.48945	23.1373	40.2141	16.76	45.38
	A	8	36.9175	11.34328	4.01046	27.4343	46.4007	16.87	49.69
	Total	31	38.4645	14.54026	2.61151	33.1311	43.7979	16.76	79.30
o Xylene	P1	8	9.0138	3.35123	1.18484	6.2121	11.8154	3.20	13.25
	P2	8	12.6787	4.33643	1.53316	9.0534	16.3041	4.37	17.25
	E	7	11.2000	4.57945	1.73087	6.9647	15.4353	6.18	18.61
	A	8	12.6450	5.48290	1.93850	8.0612	17.2288	3.78	22.29
	Total	31	11.3903	4.53807	.81506	9.7257	13.0549	3.20	22.29

ตารางที่ ๑.4 การทดสอบทางสถิติด้วย Oneway Anova ของการรับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิล  
ในแต่ละตำแหน่งในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนา (ต่อ)

Test of Homogeneity of Variances

	Levene Statistic	df1	df2	Significance
Benzene	1.342	3	27	.281
Toluene	.067	3	27	.977
Ethylbenzene	.287	3	27	.834
m,p Xylene	1.235	3	27	.316
o Xylene	.484	3	27	.696

ONEWAY ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Significance
Benzene	Between Groups	33702.564	3	11234.188	9.173	.000
	Within Groups	33065.627	27	1224.653		
	Total	66768.190	30			
Toluene	Between Groups	2578.415	3	859.472	.542	.658
	Within Groups	42811.007	27	1585.593		
	Total	45389.422	30			
Ethylbenzene	Between Groups	305.553	3	101.851	.634	.599
	Within Groups	4336.143	27	160.598		
	Total	4641.696	30			
m,p Xylene	Between Groups	910.004	3	303.335	1.508	.235
	Within Groups	5432.567	27	201.206		
	Total	6342.572	30			
o Xylene	Between Groups	71.312	3	23.771	1.174	.338
	Within Groups	546.511	27	20.241		
	Total	617.823	30			

ตารางที่ ๑.3 การทดสอบทางสถิติด้วย Oneway Anova ของการรับสัมผัสฝุ่นสารประกอบคาร์บอนิล  
ในแต่ละตำแหน่งในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนา (ต่อ)

Multiple Comparisons								
Dependent Variable		(I) BOOTH	(J) BOOTH	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
							Lower Bound	Upper Bound
Benzene	LSD	P1	P2	-21.5313	17.4975	.229	-57.4332	14.3707
			E	59.7729(*)	18.1116	.003	22.6108	96.9349
			A	46.5300(*)	17.4975	.013	10.6281	82.4319
		P2	P1	21.5313	17.4975	.229	-14.3707	57.4332
			E	81.3041(*)	18.1115	.000	44.1421	118.4662
			A	68.0612(*)	17.4975	.001	32.1593	103.9632
		E	P1	-59.7729(*)	18.1116	.003	-96.9349	-22.6108
			P2	-81.3041(*)	18.1116	.000	-118.4662	-44.1421
			A	-13.2429	18.1116	.471	-50.4049	23.9192
		A	P1	-46.5300(*)	17.4975	.013	-82.4319	-10.6281
			P2	-68.0612(*)	17.4975	.001	-103.9632	-32.1593
			E	13.2429	18.1116	.471	-23.9192	50.4049
Toluene	LSD	P1	P2	-12.8813	19.9097	.523	-53.7327	27.9702
			E	11.8980	20.6085	.568	-30.3872	54.1833
			A	-7.6913	19.9095	.702	-48.5427	33.1602
		P2	P1	12.8813	19.9097	.523	-27.9702	53.7327
			E	24.7793	20.6085	.240	-17.5060	67.0645
			A	5.1900	19.9097	.796	-35.6614	46.0414
		E	P1	-11.8980	20.6085	.568	-54.1833	30.3872
			P2	-24.7793	20.6085	.240	-67.0645	17.5060
			A	-19.5893	20.6085	.350	-61.8745	22.6960
		A	P1	7.6913	19.9097	.702	-33.1602	48.5427
			P2	-5.1900	19.9097	.796	-46.0414	35.6614
			E	19.5893	20.6085	.350	-22.6960	61.8745
Ethylbenzene	LSD	P1	P2	-7.6188	6.33636	.240	-20.6199	5.3824
			E	.0568	6.55876	.993	-13.4007	13.5142
			A	-2.3188	6.33636	.717	-15.3199	10.6824
		P2	P1	7.6188	6.33636	.240	-5.3824	20.6199
			E	7.6755	6.55876	.252	-5.7819	21.1330
			A	5.3000	6.33636	.410	-7.7011	18.3011
		E	P1	-.0568	6.55876	.993	-13.5142	13.4007
			P2	-7.6755	6.55876	.252	-21.1330	5.7819
			A	-2.3755	6.55876	.720	-15.8330	11.0819

ตารางที่ ๑.3 การทดสอบทางสถิติด้วย Oneway Anova ของการรับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนิล  
ในแต่ละตำแหน่งในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนา (ต่อ)

Dependent Variable	(I) BOOTH	(J) BOOTH	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Significance	95% Confidence Interval		
						Lower Bound	Lower Bound	
	A	P1	2.3188	6.3363	.717	-10.6824	15.3199	
		P2	-5.3000	6.3363	.410	-18.3011	7.7011	
		E	2.3755	6.5587	.720	-11.0819	15.8330	
m,p Xylene	LSD	P1	P2	-9.2738	7.0923	.202	-23.8261	5.2786
			E	5.8955	7.3412	.429	-9.1675	20.9586
			A	.6538	7.0923	.927	-13.8986	15.2061
		P2	P1	9.2738	7.0923	.202	-5.2786	23.8261
			E	15.169(*)	7.3412	.049	.1062	30.2324
			A	9.9275	7.0923	.173	-4.6248	24.4798
		E	P1	-5.8955	7.3412	.429	-20.9586	9.1675
			P2	-15.19(*)	7.3412	.049	-30.2324	-.1062
			A	-5.2418	7.3412	.481	-20.3049	9.8213
		A	P1	-.6538	7.0923	.927	-15.2061	13.8986
			P2	-9.9275	7.0923	.173	-24.4798	4.6248
			E	5.2418	7.3412	.481	-9.8213	20.3049
o Xylene	LSD	P1	P2	-3.6650	2.2495	.115	-8.2806	.9506
			E	-2.1862	2.3284	.356	-6.9639	2.5914
			A	-3.6312	2.2495	.118	-8.2469	.9844
		P2	P1	3.6650	2.2495	.115	-.9506	8.2806
			E	1.4787	2.3284	.531	-3.2989	6.2564
			A	.0337	2.2495	.988	-4.5819	4.6494
		E	P1	2.1862	2.3284	.356	-2.5914	6.9639
			P2	-1.4787	2.3284	.531	-6.2564	3.2989
			A	-1.4450	2.3284	.540	-6.2226	3.3326
		A	P1	3.6312	2.2495	.118	-.9844	8.2469
			P2	-.0337	2.2495	.988	-4.6494	4.5819
			E	1.4450	2.3284	.540	-3.3326	6.2226

\* Mean difference is significant at .05

ตารางที่ ๑.4 การทดสอบทางสถิติด้วย Correlations ของการรับสัมผัสสารประกอบคาร์บอนใน  
แต่ละตำแหน่งในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนา

## Correlations

		ปริมาณรถ	benzene	Toluene	Ethylbenzene	m,p Xylene	o Xylene
ปริมาณรถ	Pearson Correlation	1	.499(*)	.226	.438	.497	.625(**)
	Significance(2-tailed)	.	.049	.401	.089	.050	.010
	N	16	16	16	16	16	16
benzene	Pearson Correlation	.499(*)	1	-.256	.229	.208	.266
	Significance(2-tailed)	.049	.	.339	.393	.440	.319
	N	16	16	16	16	16	16
Toluene	Pearson Correlation	.226	-.256	1	.591(*)	.567(*)	.622(*)
	Significance(2-tailed)	.401	.339	.	.016	.022	.010
	N	16	16	16	16	16	16
Ethylbenzene	Pearson Correlation	.438	.229	.591(*)	1	.887(**)	.790(**)
	Significance(2-tailed)	.089	.393	.016	.	.000	.000
	N	16	16	16	16	16	16
m,p Xylene	Pearson Correlation	.497	.208	.567(*)	.887(**)	1	.895(**)
	Significance(2-tailed)	.050	.440	.022	.000	.	.000
	N	16	16	16	16	16	16
o Xylene	Pearson Correlation	.625(**)	.266	.622(*)	.790(**)	.895(**)	1
	Significance(2-tailed)	.010	.319	.010	.000	.000	.
	N	16	16	16	16	16	16

\* Correlation at 0.05(2-tailed)

\*\* Correlation at 0.01(2-tailed)

## Correlations

		benzene	formaldehyde
benzene	Pearson Correlation	1	.262(*)
	Significance(2-tailed)	.	.045
	N	63	59
formaldehyde	Pearson Correlation	.262(*)	1
	Significance(2-tailed)	.045	.
	N	59	60

\* Correlation at 0.05(2-tailed)



ภาคผนวก ช  
การประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสารคาร์บอนิลและปีเทค  
ในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนาและอโศก 4

ข. 1 การประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสารคาร์บอนิลและบีเทคในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนา  
 ตารางที่ ข.1 ความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง (Cancer risk) ของพนักงานในด้านเก็บ  
 ค่าผ่านทางพิเศษบางนาในช่วงฤดูฝน

สาร	FRI 1		SUN 1		FRI 2		SUN 2	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Benzene	$5.24 \times 10^{-5}$	$1.08 \times 10^{-4}$	$3.29 \times 10^{-5}$	$7.29 \times 10^{-5}$	$9.89 \times 10^{-5}$	$1.30 \times 10^{-4}$	$9.20 \times 10^{-5}$	$1.21 \times 10^{-4}$
Ethylbenzene	$2.49 \times 10^{-6}$	$4.45 \times 10^{-6}$	$9.69 \times 10^{-7}$	$1.53 \times 10^{-6}$	$2.17 \times 10^{-6}$	$3.77 \times 10^{-6}$	$1.74 \times 10^{-6}$	$3.60 \times 10^{-6}$
Formaldehyde	$2.40 \times 10^{-6}$	$3.95 \times 10^{-6}$	$1.35 \times 10^{-6}$	$1.58 \times 10^{-6}$	$1.98 \times 10^{-6}$	$6.00 \times 10^{-6}$	$2.21 \times 10^{-6}$	$3.52 \times 10^{-6}$
acetaldehyde	$8.45 \times 10^{-7}$	$9.01 \times 10^{-7}$	$1.80 \times 10^{-7}$	$2.90 \times 10^{-7}$	$3.75 \times 10^{-7}$	$1.08 \times 10^{-6}$	$3.03 \times 10^{-7}$	$5.64 \times 10^{-7}$
total cancer risk	$5.82 \times 10^{-5}$	$1.17 \times 10^{-4}$	$3.54 \times 10^{-5}$	$7.63 \times 10^{-5}$	$1.03 \times 10^{-4}$	$1.41 \times 10^{-4}$	$9.62 \times 10^{-5}$	$1.28 \times 10^{-4}$

ตารางที่ ข.2 ความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง (Cancer risk) ของพนักงานในด้านเก็บ  
 ค่าผ่านทางพิเศษบางนาในช่วงฤดูแล้งฝน

สาร	FRI 1		SUN 1		FRI 2		SUN 2	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Benzene	$1.11 \times 10^{-4}$	$1.03 \times 10^{-4}$	$2.82 \times 10^{-5}$	$5.69 \times 10^{-5}$	$1.23 \times 10^{-4}$	$1.20 \times 10^{-4}$	$7.11 \times 10^{-5}$	$6.73 \times 10^{-5}$
Ethylbenzene	$5.58 \times 10^{-6}$	$6.47 \times 10^{-6}$	$2.78 \times 10^{-6}$	$4.35 \times 10^{-6}$	$2.23 \times 10^{-6}$	$2.59 \times 10^{-6}$	$1.55 \times 10^{-6}$	$1.53 \times 10^{-6}$
Formaldehyde	$2.78 \times 10^{-6}$	$4.45 \times 10^{-6}$	$4.04 \times 10^{-6}$	$6.76 \times 10^{-6}$	$5.59 \times 10^{-6}$	$4.15 \times 10^{-6}$	$5.26 \times 10^{-6}$	$4.43 \times 10^{-6}$
acetaldehyde	$1.43 \times 10^{-6}$	$1.94 \times 10^{-6}$	$1.68 \times 10^{-6}$	$2.59 \times 10^{-6}$	$2.23 \times 10^{-6}$	$1.49 \times 10^{-6}$	$2.14 \times 10^{-6}$	$1.59 \times 10^{-6}$
total cancer risk	$1.21 \times 10^{-4}$	$2.33 \times 10^{-4}$	$7.21 \times 10^{-5}$	$1.47 \times 10^{-4}$	$2.37 \times 10^{-4}$	$2.69 \times 10^{-4}$	$1.76 \times 10^{-4}$	$2.03 \times 10^{-4}$

ตารางที่ ข.3 ความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง (Non-Cancer risk) ของพนักงานในด้าน  
 เก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนาในช่วงฤดูฝน

สาร	FRI 1		SUN 1		FRI 2		SUN 2	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Toluene	0.0075	0.0079	0.0046	0.0051	0.0052	0.0054	0.0049	0.0052
m,p Xylene	0.1119	0.1388	0.0428	0.0910	0.1093	0.0765	0.0607	0.0551
o Xylene	0.0238	0.0346	0.0073	0.0100	0.0249	0.0348	0.0198	0.0250
Propionaldehyde	0.0696	0.0518	0.0260	0.0476	0.0120	0.0207	0.0199	0.0178
HI (Hazard Index)	0.2128	0.2331	0.0807	0.1537	0.1514	0.1375	0.1054	0.103

ตารางที่ ข.5 ความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง (Non-Cancer risk) ของพนักงานในด้าน  
 เก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนาในช่วงฤดูแล้งฝน

สาร	FRI 1		SUN 1		FRI 2		SUN 2	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Toluene	0.0051	0.0072	0.0094	0.0086	0.0050	0.0067	0.0038	0.0042
m,p Xylene	0.1143	0.1810	0.0491	0.1410	0.1192	0.1091	0.0879	0.0540
o Xylene	0.0302	0.0394	0.0279	0.0344	0.0166	0.0336	0.0141	0.0198
Propionaldehyde	0.1154	0.1591	0.1345	0.1303	0.0340	0.0648	0.0118	0.1409
HI (Hazard Index)	0.2651	0.3867	0.221	0.3143	0.1748	0.2142	0.1175	0.2189

ข.2 การประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสารคาร์บอนิลและปิเทคในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษโคก 4 ตารางที่ ข.6 ความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง (Cancer risk) ของพนักงานในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษโคก 4 ในช่วงฤดูฝน

สาร	FRI 1		SUN 1		FRI 2		SUN 2	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Benzene	$1.83 \times 10^{-4}$	$1.52 \times 10^{-4}$	$9.39 \times 10^{-5}$	$1.26 \times 10^{-4}$	$1.75 \times 10^{-4}$	$1.48 \times 10^{-4}$	$1.04 \times 10^{-4}$	$8.08 \times 10^{-5}$
Ethylbenzene	$4.49 \times 10^{-6}$	$4.34 \times 10^{-6}$	$2.41 \times 10^{-6}$	$2.04 \times 10^{-6}$	$6.36 \times 10^{-6}$	$5.11 \times 10^{-6}$	$3.82 \times 10^{-6}$	$3.80 \times 10^{-6}$
Formaldehyde	$3.02 \times 10^{-6}$	$4.55 \times 10^{-6}$	nd	nd	$8.88 \times 10^{-6}$	$7.34 \times 10^{-6}$	$6.1 \times 10^{-6}$	$6.23 \times 10^{-6}$
acetaldehyde	$5.08 \times 10^{-7}$	$6.10 \times 10^{-7}$	nd	nd	$1.42 \times 10^{-6}$	$1.68 \times 10^{-6}$	$1.16 \times 10^{-6}$	$1.41 \times 10^{-6}$
total cancer risk	$1.91 \times 10^{-4}$	$1.61 \times 10^{-4}$	$9.64 \times 10^{-5}$	$1.28 \times 10^{-4}$	$1.92 \times 10^{-4}$	$1.62 \times 10^{-4}$	$1.15 \times 10^{-4}$	$9.22 \times 10^{-5}$

ตารางที่ ข.7 ความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง (Cancer risk) ของพนักงานในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษโคก 4 ในช่วงฤดูแล้งฝน

สาร	FRI 1		SUN 1		FRI 2		SUN 2	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Benzene	$1.42 \times 10^{-4}$	$1.03 \times 10^{-4}$	$3.31 \times 10^{-5}$	$7.54 \times 10^{-5}$	$9.91 \times 10^{-5}$	$1.74 \times 10^{-4}$	$7.39 \times 10^{-5}$	$1.23 \times 10^{-4}$
Ethylbenzene	$2.79 \times 10^{-6}$	$3.45 \times 10^{-6}$	$1.99 \times 10^{-6}$	$1.97 \times 10^{-6}$	$5.21 \times 10^{-6}$	$6.11 \times 10^{-6}$	$2.27 \times 10^{-6}$	$3.74 \times 10^{-6}$
Formaldehyde	$9.22 \times 10^{-6}$	$7.54 \times 10^{-6}$	$8.2 \times 10^{-6}$	$7.19 \times 10^{-6}$	$1.32 \times 10^{-5}$	$6.54 \times 10^{-6}$	$9.31 \times 10^{-6}$	$6.51 \times 10^{-6}$
acetaldehyde	$2.23 \times 10^{-6}$	$1.59 \times 10^{-6}$	$1.58 \times 10^{-6}$	$1.92 \times 10^{-6}$	$1.59 \times 10^{-6}$	$1.03 \times 10^{-6}$	$1.23 \times 10^{-6}$	$1.22 \times 10^{-6}$
total cancer risk	$3.48 \times 10^{-4}$	$2.77 \times 10^{-4}$	$1.41 \times 10^{-4}$	$2.15 \times 10^{-4}$	$3.11 \times 10^{-4}$	$3.5 \times 10^{-4}$	$2.02 \times 10^{-4}$	$2.27 \times 10^{-4}$

ตารางที่ ข.8 ความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง (Non-Cancer risk) ของพนักงานในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษโคก 4 ในช่วงฤดูฝน

สาร	FRI 1		SUN 1		FRI 2		SUN 2	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Toluene	0.0088	0.0099	0.0033	0.0037	0.0044	0.0052	0.0032	0.0049
m,p Xylene	0.0816	0.1147	0.0672	0.0658	0.1114	0.1151	0.0652	0.0515
o Xylene	0.0431	0.0238	0.0156	0.0167	0.0302	0.0542	0.0201	0.0476
Propionaldehyde	0.0289	0.0311	nd	nd	0.0268	0.0176	0.0212	0.0155
HI (Hazard Index)	0.1624	0.1794	0.0861	0.0862	0.1728	0.1921	0.1097	0.1195

ตารางที่ ข.9 ความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง (Non-Cancer risk) ของพนักงานในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษโคก 4 ในช่วงฤดูแล้งฝน

สาร	FRI 1		SUN 1		FRI 2		SUN 2	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Toluene	0.0149	0.0187	0.0117	0.0061	0.0113	0.0103	0.0064	0.0070
m,p Xylene	0.1005	0.1809	0.0692	0.0995	0.1340	0.1266	0.0989	0.0648
o Xylene	0.0352	0.0441	0.0163	0.0282	0.0272	0.0292	0.0120	0.0124
Propionaldehyde	0.0097	0.0486	0.0668	0.0497	0.0111	0.0207	0.0078	0.1067
HI (Hazard Index)	0.1602	0.2924	0.1640	0.1835	0.1837	0.1868	0.1231	0.1909

ภาคผนวก ช

ข้อมูลปริมาณรถที่ใช้บริการในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนาและอโศก 4  
ข้อมูลลักษณะทางอุตุนิยมหาวิทยาลัยบริเวณสถานีตรวจวัดที่ใกล้ด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบาง  
นาและอโศก 4 และ ข้อมูลจากแบบสอบถาม

ข. 1 ข้อมูลปริมาณรถที่ใช้บริการในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนาและอโศก 4

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลปริมาณรถที่ใช้บริการในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนาตลอดระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมง (6.00 - 14.00 น.) ในช่วงฤดูฝน

วันเก็บตัวอย่าง	ปริมาณรถ (คัน/ 8 ชม.)			
	P1(ช่อง5)	P2(ช่อง12)	E (ช่อง8)	A (ช่อง9)
วันศุกร์ที่ 16/09/54	1,836	3,044	5,284	2,814
วันอาทิตย์ที่ 18/09/54	1,680	2,474	3,804	2,310
วันศุกร์ที่ 30/09/54	2,286	2,847	4,690	2,628
วันอาทิตย์ที่ 2/10/54	1,721	2,897	3,770	2,317
เฉลี่ย	2,900			

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลปริมาณรถที่ใช้บริการในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษอโศก 4 ตลอดระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมง (6.00 - 14.00 น.) ในช่วงฤดูฝน

วันเก็บตัวอย่าง	ปริมาณรถ (คัน/ 8 ชม.)			
	P1(ช่อง1)	P2(ช่อง4)	E (ช่อง6)	A (ช่อง6)
วันศุกร์ที่ 23/09/54	3,019	3,435	4,898	4,898
วันอาทิตย์ที่ 25/09/54	2,030	2,073	2,425	2,425
วันศุกร์ที่ 7/10/54	3,393	3,391	4,764	4,764
วันอาทิตย์ที่ 9/10/54	1,921	2,200	2,329	2,329
เฉลี่ย	3,143			

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลปริมาณรถที่ใช้บริการในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนาตลอดระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมง (6.00 - 14.00 น.) ในช่วงฤดูแล้งฝน

ปริมาณรถ	ช่องเก็บ			
	P1(ช่อง5)	P2(ช่อง12)	E (ช่อง8)	A (ช่อง9)
วันศุกร์ที่ 10/02/55	1,968	2,877	5,272	2,729
วันอาทิตย์ที่ 12/02/55	1,519	2,897	4,116	2,050
วันศุกร์ที่ 24/02/55	1,940	3,056	5,420	2,520
วันอาทิตย์ที่ 26/02/55	1,650	2,827	4,106	2,310
เฉลี่ย	2,954			

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลปริมาณรถที่ใช้บริการในด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษอโศก 4 ตลอดระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมง (6.00 - 14.00 น.) ในช่วงฤดูแล้งฝน

ปริมาณรถ	ช่องเก็บ			
	P1(ช่อง1)	P2(ช่อง4)	E (ช่อง6)	A (ช่อง6)
วันศุกร์ที่ 17/02/55	3,391	3,121	5,105	5,105
วันอาทิตย์ที่ 19/02/55	1,977	2,217	2,796	2,796
วันศุกร์ที่ 9/03/55	3,385	3,115	5,076	5,076
วันอาทิตย์ที่ 11/03/55	2,353	2,602	2,822	2,822
เฉลี่ย	3,360			

๗. 2 ข้อมูลลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาบริเวณสถานีตรวจวัดที่ใกล้ด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนาและอโศก 4

ตารางที่ ๗.5 ข้อมูลลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาบริเวณสถานีตรวจวัดที่ใกล้ด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนาในช่วงฤดูฝน

วันที่	ลักษณะทางอุตุนิยมวิทยา																
	อุณหภูมิ(°C)		ความเร็วลม (น็อต)					ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)					ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)				
	สูงสุด	ต่ำสุด	4.00 น.	7.00 น.	10.00 น.	13.00 น.	16.00 น.	4.00 น.	7.00 น.	10.00 น.	13.00 น.	16.00 น.	4.00 น.	7.00 น.	10.00 น.	13.00 น.	16.00 น.
วันศุกร์ 16/09/54	33.7	25.3	0	0	5	3	5	0	0	0	0	0	85	89	63	65	63
วันอาทิตย์ 18/09/54	34.2	25.6	0	0	4	5	4	0	0	0	0	0	78	84	62	59	64
วันศุกร์ 30/09/54	33.5	25.5	0	0	4	6	5	0	0	0	0	0	93	93	68	62	71
วันอาทิตย์ 2/10/54	33.6	25.9	0	0	5	5	5	0	0	0	0	0	81	83	62	60	65
เฉลี่ย	34	26	2					0					73				
Std.	0.31	0.25	2					0					12				

ตารางที่ ๗.6 ข้อมูลลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาบริเวณสถานีตรวจวัดที่ใกล้ด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษอโศก 4 ในช่วงฤดูฝน

วันที่	ลักษณะทางอุตุนิยมวิทยา																
	อุณหภูมิ(°C)		ความเร็วลม (น็อต)					ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)					ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)				
	สูงสุด	ต่ำสุด	4.00 น.	7.00 น.	10.00 น.	13.00 น.	16.00 น.	4.00 น.	7.00 น.	10.00 น.	13.00 น.	16.00 น.	4.00 น.	7.00 น.	10.00 น.	13.00 น.	16.00 น.
วันศุกร์ 23/09/54	31.7	25.5	0	0	3	2	7	0	0	0	0	0	97	93	79	73	75
วันอาทิตย์ 25/09/54	34.5	25.1	0	0	7	2	4	0	0	0	0	0	85	88	74	63	58
วันศุกร์ 7/10/54	32	25.2	0	0	3	2	0	0	0	0	0	0	88	90	74	69	72
วันอาทิตย์ 9/10/54	32.2	24.9	0	0	0	2	0	5.3	0.7	0	0	13	97	97	81	72	90
เฉลี่ย	33	25	2					1					81				
Std.	1.28	0.25	2					3					12				

ตารางที่ ๗.7 ข้อมูลลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาบริเวณสถานีตรวจวัดที่ใกล้ด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษบางนาในช่วงฤดูแล้งฝน

วันที่	ลักษณะทางอุตุนิยมวิทยา																
	อุณหภูมิ(°C)		ความเร็วลม (น็อต)					ปริมาณน้ำฝน (มิลิเมตร)					ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)				
	สูงสุด	ต่ำสุด	4.00 น.	7.00 น.	10.00 น.	13.00 น.	16.00 น.	4.00 น.	7.00 น.	10.00 น.	13.00 น.	16.00 น.	4.00 น.	7.00 น.	10.00 น.	13.00 น.	16.00 น.
วันศุกร์ 10/02/55	32.9	26.2	3	0	6	7	6	0	0	0	0	0	83	89	70	60	65
วันอาทิตย์ 12/02/55	33.3	24.7	0	0	2	4	2	0	0	0	0	0	92	96	79	67	55
วันศุกร์ 24/02/55	34.4	24.7	4	0	4	6	5	0	0	0	0	0	85	90	69	60	58
วันอาทิตย์ 26/02/55	34.4	27.1	0	0	4	5	4	0	0	0	0	0	85	86	68	62	58
เฉลี่ย	34	26	3					0					74				
Std.	0.77	1.18	2					0					13				

ตารางที่ ๗.8 ข้อมูลลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาบริเวณสถานีตรวจวัดที่ใกล้ด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษคอโคก 4 ในช่วงฤดูแล้งฝน

วันที่	ลักษณะทางอุตุนิยมวิทยา																
	อุณหภูมิ(°C)		ความเร็วลม (น็อต)					ปริมาณน้ำฝน (มิลิเมตร)					ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)				
	สูงสุด	ต่ำสุด	4.00 น.	7.00 น.	10.00 น.	13.00 น.	16.00 น.	4.00 น.	7.00 น.	10.00 น.	13.00 น.	16.00 น.	4.00 น.	7.00 น.	10.00 น.	13.00 น.	16.00 น.
วันศุกร์ 17/02/55	35.8	26.5	0	0	2	2	8	0	0	0	0	0	92	93	70	57	67
วันอาทิตย์ 19/02/55	32.1	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85	88	70	58	53
วันศุกร์ 9/03/55	35.7	26.9	0	0	3	7	5	0	0	0	0	0	84	87	69	61	52
วันอาทิตย์ 11/03/55	34.3	27.1	0	3	8	3	0	0	0	0	0	0	87	83	74	60	56
เฉลี่ย	34	26	2					0					72				
Std.	1.73	1.44	3					0					14				

ตารางที่ ๗.๙ ข้อมูลจากแบบสอบถาม

ลักษณะ	จำนวน (43)	ร้อยละ
<b>เพศ</b>		
ชาย	32	74.4
หญิง	11	25.6
<b>อายุ (ปี)</b>		
≤ 30	10	23.3
31-40	28	65.1
≥ 41	5	11.6
<b>น้ำหนัก (กิโลกรัม)</b>		
ช่วง = 43 – 115		
ค่าเฉลี่ย±SD = 64.19±12.2		
<b>ระยะเวลาปฏิบัติงานที่ผ่านมา</b>		
ช่วง = 12 ปี 8 เดือน – 15 ปี 9 เดือน		
ค่าเฉลี่ย±SD = 8 ปี 5 เดือน±4 ปี 8 เดือน		
<b>การตรวจสุขภาพประจำปี</b>		
เคยตรวจ	43	100
ไม่เคยตรวจ	0	0
<b>การตรวจสุขภาพครั้งล่าสุด</b>		
ต่ำกว่า 3 เดือน	8	18.6
3 - 6 เดือน	10	23.3
6 เดือน – 1 ปี	20	46.5
มากกว่า 1 ปี	5	11.6
<b>การสูบบุหรี่</b>		
สูบ	10	23.3
ไม่สูบ	33	76.7



## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

### ประวัติการศึกษา

นางสาวศศิธร เรืองตระกูล เกิดเมื่อวันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2531 ที่จังหวัดราชบุรี สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (สาธารณสุขศาสตร์) สาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ปีการศึกษา 2552 และเข้าศึกษาต่อใน หลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553

### การรับทุนสนับสนุนการวิจัย

การทำศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทบัณฑิตศึกษา จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปี 2556

### การเผยแพร่ผลงาน

ศศิธร เรืองตระกูล ทวรรณีย์ พฤกษาสีทธิ และ เตชี หมอกน้อย. การประเมินความเสี่ยง จากการรับสัมผัสสารบีเทคผ่านทางกายหายใจของพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษในเขต กรุงเทพมหานคร. วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม. ปีที่ 9 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม – มิถุนายน 2556.