

การคาดการณ์สภาวะที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX
จากอากาศบริเวณพื้นที่ทำงานโดยใช้ข้อมูลจากผลการตรวจวัดจริง
ร่วมกับโปรแกรม SPSS

PREDICTION OF OPTIMUM CONDITIONS TO BTEX GROUP
SAMPLING FROM WORKPLACE AIR BY USING ACTUAL
MEASUREMENT RESULTS TOGETHER WITH SPSS

ไม้ลัก ทองสอน
ศรัณย์ ศิริสุรพงศ์

สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีชีวภาพ)
ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การคาดการณ์สภาวะที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX
จากอากาศบริเวณพื้นที่ทำงานโดยใช้ข้อมูลจากผลการตรวจวัดจริง
ร่วมกับโปรแกรม SPSS

PREDICTION OF OPTIMUM CONDITIONS TO BTEX GROUP
SAMPLING FROM WORKPLACE AIR BY USING ACTUAL
MEASUREMENT RESULTS TOGETHER WITH SPSS

ไม้สั๊ก ทองสอน

ศรัณย์ ศิริสุรพงศ์

สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีชีวภาพ)

ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560




PREDICTION OF OPTIMUM CONDITIONS TO BTEX GROUP
SAMPLING FROM WORKPLACE AIR BY USING ACTUAL
MEASUREMENT RESULTS TOGETHER WITH SPSS

MAISAK THONGSON
SARAN SIRISURAPHONG

A COOPERATIVE EDUCATION SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (BIOTECHNOLOGY)
DEPARTMENT OF BIOLOGY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2017

หัวข้อสหกิจศึกษา	การคาดการณ์สภาวะที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX จากอากาศบริเวณพื้นที่ทำงานโดยใช้ข้อมูลจากผลการตรวจวัดจริงร่วมกับโปรแกรม SPSS Prediction of Optimum Conditions to BTEX Group Sampling from Workplace Air by Using Actual Measurement Results together with SPSS
ชื่อนักศึกษา	นายไม้สัก ทองสอน รหัสนักศึกษา 57050753 นายศรัณย์ ศิริสุรพงศ์ รหัสนักศึกษา 57050764
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีชีวภาพ)
ภาควิชา	ชีววิทยา
ปีการศึกษา	2560
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.มารีสา จาคูพรพิพัฒน์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีชีวภาพ) ประจำปีการศึกษา 2560

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.อารี ฤทธิบุรณ์ ประธานกรรมการ	
นายนิศ พงษ์วิรัชไชย กรรมการ	
รศ.ดร.มารีสา จาคูพรพิพัฒน์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อสหกิจศึกษา	การคาดการณ์สภาวะที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX จากอากาศบริเวณพื้นที่ทำงานโดยใช้ข้อมูลจากผลการตรวจวัดจริงร่วมกับโปรแกรม SPSS
ชื่อนักศึกษา	นายไม้สัก ทองสอน รหัสนักศึกษา 57050753 นายศรัณย์ ศิริสุรพงศ์ รหัสนักศึกษา 57050764
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เทคโนโลยีชีวภาพ)
ภาควิชา	ชีววิทยา
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2560
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.มารีสา จาตุพรพิพัฒน์

บทคัดย่อ

การตรวจวัดอากาศในบริเวณพื้นที่ทำงานเป็นสิ่งจำเป็นในการประเมินความเสี่ยงอันตรายจากสารเคมี ซึ่งในการตรวจวัดสาร BTEX จากอุปกรณ์เก็บอากาศแบบแอคทีฟโดยใช้หลอดดูดซับที่มีตัวดูดซับเป็น Coconut shell charcoal เนื่องจากในการเก็บประสบกับปัญหาต้องใช้ประสบการณ์ในการคาดเดาความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่ต้องการเก็บเพื่อให้ระยะเวลาที่เก็บสัมพันธ์กับสาร ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างอากาศและเพื่อใช้เป็นแนวทางในการเก็บตัวอย่าง โดยการใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดจริงตั้งแต่ปี 2014-2017 จากบริษัท เอสจีเอส (ประเทศไทย) จำกัด ซึ่ง จะทำการศึกษาและเปรียบเทียบค่าต่าง ๆ ได้แก่ อัตราการไหล เวลา ปริมาตร และความเข้มข้น ในระหว่างปี 2014-2017 โดยใช้โปรแกรม SPSS ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าอัตราการไหลอยู่ในช่วง 0.15-0.25 ลิตร/นาที เวลาที่ใช้อยู่ในช่วง 109-307 นาที ปริมาตรอยู่ในช่วง 17-72.67 ลิตร และความเข้มข้นโดยโหลอื่นมีความเข้มข้นมากที่สุด และทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าต่าง ๆ กับกลุ่มอุตสาหกรรม 5 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มอุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี กลุ่มอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล และกลุ่มอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติก พบว่า อัตราการไหลส่วนใหญ่อยู่ในระดับ 0.20 ลิตร/นาที เวลาที่ใช้อยู่ในช่วง 100-150 นาที ปริมาตรอยู่ในช่วง 20.27-57.41 ลิตร และผลของความเข้มข้นเฉลี่ยพบว่าในกลุ่มอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติกมีปริมาณความเข้มข้นของสารโหลอื่นสูงที่สุด

คำสำคัญ: สารวีไอซี สารกลุ่ม BTEX อากาศบริเวณพื้นที่ทำงาน ผลการตรวจวัดจริง อุตสาหกรรม

Title	Prediction of Optimum Conditions to BTEX Group Sampling from Workplace Air by Using Actual Measurement Results together with SPSS	
Students	Mr. Maisak Thongson	Student ID 57050753
	Mr. Saran Sirisuraphong	Student ID 57050764
Degree	Bachelor of Science (Biotechnology)	
Department	Biology	
Faculty	Science	
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
Academic Year	2017	
Advisor	Assoc. Prof. Dr. Marisa Jatupornpipat	

Abstract

Workplace air measurement is necessary to assess chemical risks which active sampling using sorbent tube that consist of coconut shell charcoal. Due to BTEX sampling faced with sampling officer haven't know concentration they predict concentration from experience by themselves for optimum time and concentration. Therefore this research we interest to find the optimum condition for guide line to sampling by using actual measurement results since 2014-2017 from SGS (Thailand) Co., Ltd. First we study and compare values such as flow, time, volume, concentration together with SPSS program to analyze the statistics information. We found that the flow rate, time, volume, concentration were in the range of 0.20 L/min, 109-307 min, 17-72.67 L and toluene is the most concentration among BTEX group respectively. Second we study compare values from five industrial group these found that the flow rate, time, volume, concentration were in the range of 0.20 L/min, 100-150 min, 20.27-57.41 L and toluene is the most concentration among BTEX group especially in Plastic products industrial respectively.

Keywords: VOCs, BTEX Group, Workplace air, Actual measurement results, Industrial

กิตติกรรมประกาศ

สหกิจศึกษานี้จัดทำขึ้นตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งได้สำเร็จด้วยความอนุเคราะห์และการช่วยเหลือจากผู้มีอุปการคุณทั้งหลายท่าน

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.มารีสา จาตุพรพิพัฒน์ และ รศ.อารี ฤทธิบุรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาสหกิจศึกษาที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำต่าง ๆ เกี่ยวกับการทำงานตลอดจนการตรวจทาน ตลอดจนชี้แนะข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น พร้อมทั้งช่วยชี้แนะแนวทางการแก้ไขปัญหา และข้อปรับปรุงแก่ผู้จัดทำ เพื่อให้สหกิจศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและถ่ายทอดความรู้ต่าง ๆ ที่ทำให้สหกิจศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ตลอดจน บุคลากร และพืนักวิทยาศาสตร์ประจำภาควิชาชีววิทยาทุกท่าน

ขอขอบคุณบริษัทเอสจีเอส (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้สถานที่ในการปฏิบัติงานอย่างดีในการทำสหกิจศึกษานี้ และขอขอบพระคุณ คุณนริศ พงษ์วิรัชไชย และเจ้าหน้าที่แผนก Environment Health and Safety บริษัทเอสจีเอส (ประเทศไทย) จำกัด ทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดความรู้ประสบการณ์และเป็นกำลังใจในการทำสหกิจศึกษานี้เสมอมา

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าสหกิจศึกษานี้จะเป็นประโยชน์ต่อบุคคลที่สนใจไม่มากก็น้อย หากมีข้อผิดพลาดประการใด ทางคณะผู้จัดทำต้องขออภัยมา ณ ที่นี้

ไม้สัก ทองสอน
ศรัณย์ ศิริสุรพงศ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญ/ที่มาของสหกิจศึกษา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของสหกิจศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตของสหกิจศึกษา.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 สารประกอบอินทรีย์ระเหยและประเภทโรงงานที่ก่อกำเนิด.....	4
2.1.1 การแบ่งประเภทตามลักษณะของโมเลกุล.....	5
2.1.1.1 Non-chlorinated VOCs หรือ Non-halogenated Hydrocarbons.....	5
2.1.1.2 Chlorinated VOCs หรือ Halogenated Hydrocarbons.....	5
2.1.2 การแบ่งประเภทตามลักษณะของโครงสร้าง.....	5
2.1.2.1 กลุ่มอะลิฟาติก ไฮโดรคาร์บอน (Aliphatic Hydrocarbons).....	5
2.1.2.2 กลุ่มอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน (Aromatic Hydrocarbons).....	5
2.1.2.3 กลุ่มออกซิเจน (Oxygenated).....	5
2.1.3 ประเภทอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพในการระบายสารอินทรีย์ระเหยง่าย.....	6
2.1.4 การประเมินปริมาณการรั่วซึมของสารประกอบอินทรีย์ระเหย (Fugitive and Stationary Sources).....	7
2.2 ผลกระทบที่เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ระเหย.....	8
2.2.1 ผลกระทบด้านคุณภาพอากาศ.....	8
2.2.2 ผลกระทบด้านคุณภาพน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน.....	8
2.2.3 ผลกระทบด้านคุณภาพดิน.....	8

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.3 ผลกระทบด้านคุณภาพดิน.....	8
2.2.4 ผลกระทบต่อพืชและระบบนิเวศน์.....	8
2.2.5 ผลกระทบต่อสุขภาพ.....	9
2.3 สารประกอบอินทรีย์ระเหยกลุ่มบีเทค (BTEX group).....	9
2.3.1 เบนซีน (Benzene).....	11
2.3.2 โทลูอีน (Toluene).....	15
2.3.3 เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene).....	19
2.3.4 ไซลีน (Xylene).....	21
2.4 กฎหมายที่เกี่ยวข้อง.....	25
2.4.1 ค่ามาตรฐานสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี และค่าเฝ้า ระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 24 ชั่วโมง.....	25
2.4.2 ค่ามาตรฐานของวีไอซีต่าง ๆ ที่อนุญาตให้มีในบรรยากาศ.....	27
2.4.3 สถิติสะสมจำนวนโรงงานที่ได้รับอนุญาตให้ประกอบกิจการ (เปิดดำเนินการ) ตาม พ.ร.บ. โรงงาน พ.ศ.2535 จำแนกรายหมวดอุตสาหกรรมที่สำคัญตามจำพวก ณ สิ้นปี 2555.....	30
2.4.4 มาตรฐานองค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (The U.S. Environmental Protection Agency, U.S.EPA).....	31
2.4.5 มาตรฐานสถาบันแห่งชาติเพื่อความปลอดภัยในการทำงานและสุขภาพ (The National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH).....	35
2.4.6 มาตรฐานคณะกรรมการบริหารงานความปลอดภัยและสุขภาพอนามัยการประกอบ อาชีพ (Occupational Safety and Health Administration, OSHA).....	48
2.5 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ระเหย.....	49
2.5.1 การตรวจวัดและวิธีการเก็บตัวอย่างสารวีไอซี.....	49
2.5.1.1 เครื่องมือตรวจวัดชนิดพกพา (Real time measurement).....	49
2.5.1.2 วิธีการการเก็บอากาศไว้ในภาชนะปิดสนิทหรือสารดูดซับแล้วนำไปวิเคราะห์ ภายหลัง.....	49
2.5.1.2.1 การเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ (Active air sampling).....	50

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.1.2.2 การเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ (Passive air sampling).....	52
2.6 การจำแนกชนิดของสารวีไอซีด้วยเครื่องมือวิเคราะห์.....	56
2.6.1 หลักการของแก๊สโครมาโตกราฟี.....	56
2.6.2 เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี.....	56
2.6.3 ส่วนประกอบของเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี.....	57
2.6.3.1 ก๊าซตัวพา (Carrier gas).....	57
2.6.3.2 ระบบฉีดสารตัวอย่าง (Sample Injection System).....	57
2.6.3.3 คอลัมน์ (Column).....	58
2.6.3.4 เตา (Oven).....	59
2.6.3.5 ดีเทคเตอร์ (Detector).....	59
2.6.4 การประยุกต์ใช้ในทางการวิเคราะห์.....	60
2.6.4.1 การวิเคราะห์ทางคุณภาพ (Qualitative Analysis).....	60
2.6.4.2 การวิเคราะห์ทางปริมาณ (Quantitative Analysis).....	60
2.6.5 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีคู่กับแมสสเปกโตรมิเตอร์ (GC/MS).....	61
2.6.6 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีคู่กับเฟรมไอออนไนท์เซชันดีเทคเตอร์ (GC/FID).....	62
2.6.7 การวิเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX.....	62
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	64
2.7.1 การประมาณระดับเบนซินที่ได้รับสัมผัสที่ปล่อยออกมาจากอุตสาหกรรมแต่ละชนิดในเกาหลี (Estimating Benzene Exposure Level over Time and by Industry Type through a Review of Literature on Korea).....	64
2.7.2 ภาพรวมข้อมูลการสัมผัสสารเบนซินจากอุตสาหกรรมในจีนที่ตีพิมพ์ในปี 1960-2003 (An overview of published benzene exposure data by industry in China, 1960-2003).....	65
2.7.3 การศึกษาปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมการพิมพ์พลาสติก (Quantitative study of VOC emission from plastic printing industry).....	67

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.7.4 การศึกษาการกระจายตัวของสารอินทรีย์ระเหยในโรงพิมพ์ (A study of volatile organic compounds distribution in a printing house).....	67
2.7.5 การศึกษาความเข้มข้นและการกระจายตัวของสารอินทรีย์ระเหยบริเวณแท่นพิมพ์ในโรงพิมพ์ขนาดใหญ่ (A study of concentration and distribution of volatile organic compounds in the press area in a large printing house).....	68
2.7.6 การกระจายเชิงพื้นที่ของเบนซีนและโทลูอีนในอากาศภายในสถานีบริการน้ำมัน (Spatial distribution of airborne benzene and toluene within a petrol station).....	69
2.7.7 ปัจจัยเสี่ยงสำหรับการเพิ่มการสัมผัส BTEX ในสี่เมืองในออสเตรเลีย (Risk factors for increased BTEX exposure in four Australian cities).....	69
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	70
3.1 การเก็บตัวอย่างอากาศที่เป็นก๊าซและไอในสถานที่ทำงานโดยใช้ตัวกลางตามมาตรฐาน NIOSH และ OSHA.....	70
3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์.....	70
3.1.2 วิธีการเก็บตัวอย่าง.....	73
3.1.3 การควบคุมคุณภาพ.....	77
3.2 การศึกษาข้อมูล.....	77
3.2.1 การคาดการณ์การเก็บตัวอย่างภายในปี 2014-2017.....	77
3.2.2 การคาดการณ์การเก็บตัวอย่างจำแนกตามประเภทของอุตสาหกรรมหลักภายในปี 2014-2017.....	78
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	79
4.1 ผลการตรวจวัดจริงจากบริษัทและภาคอุตสาหกรรมหลักในปี 2014-2017.....	79
4.1.1 ผลของอัตราการไหลอากาศในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในปี 2014-2017.....	79
4.1.2 ผลของเวลาในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในปี 2014-2017.....	80
4.1.3 ผลของปริมาตรจากการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในปี 2014-2017.....	82

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.4 ผลของความเข้มข้นสารจากการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในปี 2014-2017.....	83
4.2 ผลการตรวจวัดจริงจำแนกตามประเภทของภาคอุตสาหกรรมหลักในปี 2014-2017.....	84
4.2.1 ผลของอัตราการไหลอากาศในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ของ 5 ภาค อุตสาหกรรม.....	85
4.2.2 ผลของเวลาในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ของ 5 ภาคอุตสาหกรรม.....	87
4.2.3 ผลของปริมาตรจากการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ของ 5 ภาคอุตสาหกรรม.....	89
4.2.4 ผลของความเข้มข้นจากการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ของ 5 ภาคอุตสาหกรรม.....	91
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	94
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	94
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	97
เอกสารอ้างอิง.....	98
ภาคผนวก.....	104
ภาคผนวก ก ข้อมูลผลการทดลองและการคำนวณทางสถิติ.....	105
ภาคผนวก ข ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม.....	129

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่ามาตรฐานสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี.....	25
2.2 ค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 24 ชั่วโมง.....	25
2.3 ค่ามาตรฐานของวีไอซีที่อนุญาตให้มีในสถานประกอบการ.....	27
2.4 วิธีการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างตามพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยมาตรฐานองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่ง สหรัฐอเมริกา (U.S. EPA).....	31
2.5 แนวทางการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างตามพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยมาตรฐานสถาบันแห่งชาติเพื่อความปลอดภัยในการทำงานและสุขภาพ (NIOSH).....	35
2.6 ตัวดูดซับและตัวสกัดที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง/วิเคราะห์สารกลุ่ม BTEX และเทคนิคในการวิเคราะห์	54
2.7 อัตราการไหล ปริมาตร ความจุ ช่วงการเก็บ ร้อยละความผิดพลาดและความแม่นยำทั้งหมดตาม มาตรฐานสถาบันแห่งชาติเพื่อความปลอดภัยในการทำงานและสุขภาพ (NIOSH Method 1501).....	54
2.8 สรุประดับการรับสัมผัสสารเบนซินแบ่งตามประเภทอุตสาหกรรมในการเก็บตัวอย่างมากกว่า 1 ชั่วโมง ในเกาหลี่.....	64
2.9 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของเบนซินเฉลี่ย (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร) จากกลุ่มอุตสาหกรรม	66
4.1 ค่าทางสถิติของอัตราการไหลอากาศในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในปี 2014-2017.....	80
4.2 ค่าทางสถิติของเวลาในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในปี 2014-2017.....	81
4.3 ค่าทางสถิติของปริมาตรที่ได้จากการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในปี 2014-2017.....	82
4.4 ค่าทางสถิติของความเข้มข้นสารจากการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในปี 2014-2017.....	83
4.5 อัตราการไหลอากาศในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ของ 5 ภาคอุตสาหกรรม.....	86
4.6 เวลาในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ของ 5 ภาคอุตสาหกรรม.....	88
4.7 ปริมาตรในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ของ 5 ภาคอุตสาหกรรม.....	90
4.8 ความเข้มข้นสารในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ของ 5 ภาคอุตสาหกรรม.....	92
5.1 สรุข้อมูลทางสถิติที่วิเคราะห์ได้จากผลการตรวจวัดจริงตั้งแต่ปี 2014-2017.....	94

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.2 สรุปข้อมูลทางสถิติที่วิเคราะห์ได้จากผลการตรวจวัดจริงโดยจำแนกตามกลุ่มอุตสาหกรรม.....	95
1ก ค่าทางสถิติของอัตราการไหลในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในปี 2014-2017.....	105
2ก ค่าทางสถิติของเวลาในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในปี 2014-2017.....	106
3ก ค่าทางสถิติของปริมาตรในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในปี 2014-2017.....	107
4ก ค่าทางสถิติของความเข้มข้นในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในปี 2014-2017.....	108
5ก ค่าทางสถิติของอัตราการไหลในการเก็บตัวอย่างสารเบนซีนของ 5 ภาคอุตสาหกรรม.....	109
6ก ค่าทางสถิติของอัตราการไหลในการเก็บตัวอย่างสารโทลูอีนของ 5 ภาคอุตสาหกรรม.....	110
7ก ค่าทางสถิติของอัตราการไหลในการเก็บตัวอย่างสารเอทิลเบนซีนของ 5 ภาคอุตสาหกรรม.....	111
8ก ค่าทางสถิติของอัตราการไหลในการเก็บตัวอย่างสารไซลีนของ 5 ภาคอุตสาหกรรม.....	112
9ก ค่าทางสถิติของเวลาในการเก็บตัวอย่างสารเบนซีนของ 5 ภาคอุตสาหกรรม.....	113
10ก ค่าทางสถิติของเวลาในการเก็บตัวอย่างสารโทลูอีนของ 5 ภาคอุตสาหกรรม.....	115
11ก ค่าทางสถิติของเวลาในการเก็บตัวอย่างสารเอทิลเบนซีนของ 5 ภาคอุตสาหกรรม.....	117
12ก ค่าทางสถิติของเวลาในการเก็บตัวอย่างสารไซลีนของ 5 ภาคอุตสาหกรรม.....	119
13ก ค่าทางสถิติของปริมาตรในการเก็บตัวอย่างสารเบนซีนของ 5 ภาคอุตสาหกรรม.....	121
14ก ค่าทางสถิติของปริมาตรในการเก็บตัวอย่างสารโทลูอีนของ 5 ภาคอุตสาหกรรม.....	122
15ก ค่าทางสถิติของปริมาตรในการเก็บตัวอย่างสารเอทิลเบนซีนของ 5 ภาคอุตสาหกรรม.....	123
16ก ค่าทางสถิติของปริมาตรในการเก็บตัวอย่างสารไซลีนของ 5 ภาคอุตสาหกรรม.....	124
17ก ค่าทางสถิติของความเข้มข้นในการเก็บตัวอย่างสารเบนซีนของ 5 ภาคอุตสาหกรรม.....	125
18ก ค่าทางสถิติของความเข้มข้นในการเก็บตัวอย่างสารโทลูอีนของ 5 ภาคอุตสาหกรรม.....	126
19ก ค่าทางสถิติของความเข้มข้นในการเก็บตัวอย่างสารเอทิลเบนซีนของ 5 ภาคอุตสาหกรรม.....	127
20ก ค่าทางสถิติของความเข้มข้นในการเก็บตัวอย่างสารไซลีนของ 5 ภาคอุตสาหกรรม.....	128

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แหล่งกำเนิดสารประกอบอินทรีย์ระเหยในชีวิตประจำวัน.....	6
2.2 สัดส่วนการรั่วระเหยของสารประกอบอินทรีย์ระเหยจากอุปกรณ์.....	7
2.3 ผลกระทบของสารประกอบอินทรีย์ระเหยต่อสิ่งแวดล้อม.....	9
2.4 ร้อยละของแหล่งกำเนิดสารประกอบอินทรีย์ระเหยโดยแยกตามแหล่งกำเนิด.....	10
2.5 โครงสร้างของสารเบนซีน.....	11
2.6 โครงสร้างของสารโทลูอีน.....	15
2.7 โครงสร้างของสารเอทิลเบนซีน.....	19
2.8 โครงสร้างของสารไซลีน.....	21
2.9 สารประกอบอินทรีย์ระเหยเป็นต้นเหตุของการเกิดโอโซน.....	30
2.10 ถังแคปัสเตอร์สำหรับเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหย.....	50
2.11 องค์กรประกอบหลอดดูดซับ.....	51
2.12 การเก็บตัวอย่างโดยวิธี SPME.....	53
2.13 ส่วนประกอบหลักของเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี.....	57
2.14 ส่วนประกอบของระบบฉีดสารตัวอย่างของ GC.....	58
2.15 ชนิดของคอลัมน์ที่ใช้ใน GC.....	59
2.16 ลักษณะโครมาโตแกรมของ GC.....	60
2.17 เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี (GC/MS).....	61
2.18 หลักการของ Flame ionization detector (FID)	62
2.19 ลำดับการวิเคราะห์สารวีไอซี.....	63
3.1 ปัมป์เก็บตัวอย่างแบบพกพา (Personal sampling pump).....	71
3.2 หลอดดูดซับ (Sorbent tube).....	71
3.3 ชุดสายเก็บตัวอย่าง.....	71
3.4 พาราฟิล์ม (Parafilm).....	72
3.5 อลูมิเนียมฟอยล์.....	72
3.6 ขาตั้งกลิ้ง.....	72
3.7 ชุดอุปกรณ์ปรับเทียบปั๊มเก็บตัวอย่างแบบพกพา.....	73
3.8 หลอดดูดซับที่หักปลายทั้งสองด้านแล้ว.....	73

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.9 หลอดดูดซับที่มีการพันพาราฟิล์ม.....	74
3.10 หลอดดูดซับที่ติดตั้งกับชุดเก็บตัวอย่าง.....	74
3.11 หลอดดูดซับที่ติดตั้งกับชุดเก็บตัวอย่างพร้อมฝาครอบปิดกันแสง.....	74
3.12 ชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างภาพรวม.....	75
3.13 หลอดดูดซับที่ปิดด้วย Sealing cap.....	76
3.14 หลอดดูดซับที่ปิดด้วย Sealing cap แล้วห่อด้วยอลูมิเนียมฟอยล์.....	76
4.1 อัตราการไหลอากาศในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในปี 2014-2017.....	79
4.2 เวลาในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในปี 2014-2017.....	80
4.3 ปริมาตรในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในปี 2014-2017.....	82
4.4 ความเข้มข้นสารในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในปี 2014-2017.....	83
4.5 อัตราการไหลอากาศในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ของ 5 ภาคอุตสาหกรรม.....	85
4.6 เวลาในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ของ 5 ภาคอุตสาหกรรม.....	87
4.7 ปริมาตรในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ของ 5 ภาคอุตสาหกรรม.....	89
4.8 ความเข้มข้นสารในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ของ 5 ภาคอุตสาหกรรม.....	91

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ/ที่มาของสหกิจศึกษา

สภาพอากาศภายในบริเวณพื้นที่ทำงานที่มีมลพิษนั้นย่อมมีผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงานหรือพนักงานที่ทำงานอยู่บริเวณพื้นที่นั้นซึ่งส่วนใหญ่จะมีการทำงานประมาณ 8 ชั่วโมงต่อวัน บริษัทหรือโรงงานอุตสาหกรรมหลายแห่งต้องมีมาตรการในการควบคุมมลพิษทางอากาศโดยเฉพาะกับการควบคุมมลพิษอากาศบริเวณพื้นที่ทำงานของผู้ปฏิบัติงาน ทั้งนี้เพื่อพนักงานของบริษัทนั้นจะได้ทำงานได้อย่างมีความปลอดภัยโดยไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพหรือมีผลต่อสุขภาพน้อยที่สุดและไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานหรือพนักงานที่ทำงานบริเวณดังกล่าว ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจวัดมาตรฐานคุณภาพอากาศขึ้น นั่นคือการตรวจวัดคุณภาพอากาศในบริเวณพื้นที่ทำงาน (workplace air sampling) การตรวจวัดในบริเวณพื้นที่ทำงานเป็นสิ่งจำเป็นในการที่จะระบุและประเมินความเสี่ยงอันตรายจากสารเคมี ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดมีความสำคัญอย่างมากในการควบคุมความปลอดภัย และอาชีวอนามัยของผู้ปฏิบัติงาน สามารถนำไปประเมินความเสี่ยงอันตรายต่อสุขภาพ การตรวจสอบทางการแพทย์ การใช้เครื่องมือป้องกันส่วนบุคคล (Stebounova. *et al.*, 2011)

การผลิตในภาคอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มีการใช้สารเคมี วัสดุ เครื่องมือ และเครื่องจักร ซึ่งสิ่งเหล่านี้อาจทำให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพอย่างร้ายแรง ในภาคอุตสาหกรรมบางประเภทสารประกอบทางเคมี เช่น สารประกอบอินทรีย์ระเหย (VOCs) ได้แก่ สารประกอบคาร์บอนิล คือ เบนซีน (benzene) โทลูอีน (toluene) เอทิลเบนซีน (ethylbenzene) ไซลีน (xylene) หรือที่เรียกว่ากลุ่ม BTEX จะถูกปล่อยออกสู่สภาพแวดล้อมการทำงานโดยตรง เบนซีน เป็นตัวทำละลายที่ใช้ในอุตสาหกรรมสี แลคเกอร์ กาว น้ำมัน เบนซีน สีย้อม ยาฆ่าแมลง และพลาสติก โทลูอีนมีการใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและเป็นตัวทำละลายในสี ละอองลอย ยาทาเล็บ กาว ทินเนอร์ และเรซิน ไซลีนในทางการค้ามักพบในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม และถูกใช้ในการผลิตพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (polyethylene terephthalate, PET) และใช้ในการผลิตสีหมึกและผงซักฟอก (Duarte. *et al.*, 2014)

การเก็บตัวอย่างอากาศที่เป็นก๊าซและไอในสถานที่ทำงานโดยใช้ตัวกลางจะใช้มาตรฐานอ้างอิงคือ NIOSH Manual of Analytical Methods และ OSHA Technical Manual โดยหลักการการเก็บตัวอย่างอากาศที่เป็นก๊าซและไอจะใช้หลักการการดูดตัวอย่างอากาศผ่านตัวกลางด้วยอัตราการไหลคงที่ในเวลาที่กำหนด โดยที่ก๊าซและไอจะถูกดูดซับหรือดูดกลืนไว้ที่ตัวกลางและนำตัวกลางที่ใช้เก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณสารเคมีต่อไป ทั้งนี้มลพิษทางอากาศที่เป็นก๊าซและไอนั้นมีหลายชนิด แต่ละชนิดมี

คุณสมบัติที่แตกต่างกัน การเลือกตัวกลางที่จะมาใช้ในการเก็บตัวอย่างนั้นต้องคำนึงถึงชนิดของก๊าซและไอที่ต้องการเก็บตัวอย่างด้วย ต้องเลือกชนิดของตัวกลางให้เหมาะสมกับชนิดของก๊าซและไอที่ต้องการตรวจสอบด้วย (National Institute for Occupational Safety and Health, 2017)

ลักษณะแหล่งกำเนิด เช่น โรงงานอุตสาหกรรมเป็นเพียงข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีของมลพิษที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิด เพื่อพัฒนาแหล่งข้อมูลเกี่ยวกับชนิดของสารและความเข้มข้นของสารมลพิษเพื่อนำไปใช้ในการทำนายความเข้มข้นของสารมลพิษในภาคอุตสาหกรรมเฉพาะ ซึ่งลักษณะแหล่งกำเนิดได้รับการพัฒนาอย่างกว้างขวางและใช้ในสหรัฐอเมริกา โดยผลของประเภทลักษณะแหล่งกำเนิดที่ครอบคลุมและมาตรฐานที่ใช้ในการเก็บสารตัวอย่างทั้งหมดถูกรวบรวมในฐานข้อมูล เช่น ASTM, NIOSH, OSHA, EPA SPECIATE (U.S. Environmental Protection Agency, 2011) ลักษณะแหล่งกำเนิดที่ปล่อยมลพิษออกมาได้รับการระบุในหลายพื้นที่ทั่วโลก (Zheng. *et al.*, 2013) การเก็บตัวอย่างอากาศในพื้นที่ทำงานจะมีการใช้มาตรฐานเหล่านี้ในการเก็บตัวอย่างแต่เนื่องจากสารบางชนิดไม่สามารถใช้มาตรฐานในการเก็บได้ เช่น สารจำพวกกลุ่ม BTEX ที่ใช้มาตรฐาน NIOSH 1501 คือพวกไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbons) อะโรมาติก (aromatic) คือ เบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน และไซลีน ซึ่งในการเก็บตัวอย่างสารเหล่านี้ผู้เก็บจำเป็นต้องใช้ประสบการณ์ที่ผ่านมาในการเลือกความเหมาะสม เช่น การสัมผัสสารจากการไต่กลิ่นเพื่อพิจารณาใช้อัตราการไหล เวลาที่เหมาะสม ให้ได้ปริมาตรและความเข้มข้นที่ไม่ทำให้เกิด breakthrough

ในการศึกษาครั้งนี้เราสนใจผลจากการตรวจวัดจริงของ บริษัท เอสจีเอส (ประเทศไทย) จำกัด ในปี 2014-2017 และแบ่งผลการตรวจวัดจริงตามภาคอุตสาหกรรมหลักที่มีการปล่อยสารจำพวกกลุ่ม BTEX โดยจำแนกประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมหลักตามสถิติสะสมจำนวนโรงงานที่ได้รับอนุญาตให้ประกอบกิจการ (เปิดดำเนินการ) ตาม พ.ร.บ.โรงงาน พ.ศ.2535 (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2535) และทำการรวบรวมข้อมูลผลการตรวจวัดจริงจากการเก็บตัวอย่างอากาศในพื้นที่ทำงานของแต่ละภาคอุตสาหกรรมหลักจากบริษัท เอสจีเอส (ประเทศไทย) จำกัด มาวิเคราะห์ตามหลักสถิติพร้อมงานวิจัยสนับสนุนความเป็นไปได้ในการคาดการณ์สภาวะที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX จากอากาศในบริเวณพื้นที่ทำงานในแต่ละภาคอุตสาหกรรมหลักเพื่อเป็นแนวทางในการกำหนด มาตรฐาน (Agency Standard) ปริมาตร อัตราการไหลต่อเวลา และเวลา ในการเก็บตัวอย่างที่เหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์ของสหกิจศึกษา

- 1) เพื่อให้รู้ถึงความสำคัญของลักษณะแหล่งกำเนิดสารกลุ่ม BTEX ที่มีอยู่ในแต่ละภาคอุตสาหกรรมหลักที่เกี่ยวข้อง

- 2) ตรวจสอบลักษณะเฉพาะของแหล่งกำเนิด BTEX ในแต่ละภาคอุตสาหกรรมหลักที่เกี่ยวข้อง
- 3) เพื่อพัฒนาแหล่งข้อมูลเกี่ยวกับชนิดของสารกลุ่ม BTEX จากข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง เพื่อนำไปใช้ในการคาดการณ์ความเหมาะสมในการใช้เครื่องมือเก็บตัวอย่างสารจากอากาศภายในพื้นที่ทำงานโดยกำหนด ปริมาตร อัตราการไหล เวลา อย่างเหมาะสม
- 4) เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการพัฒนาการเก็บตัวอย่างอากาศภายในพื้นที่ทำงานให้มีความเหมาะสมและถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

1.3 ขอบเขตของสหกิจศึกษา

- 1) ศึกษาข้อมูลการตรวจวัดจากแหล่งกำเนิดสาร BTEX ตามภาคอุตสาหกรรมหลักที่เกี่ยวข้อง ซึ่งการเก็บตัวอย่างจากแหล่งกำเนิดจัดกลุ่มตัวอย่างเป็นตัวอย่างเป็นตัวอย่างอากาศภายในพื้นที่ทำงาน
- 2) ข้อมูลจากภาคอุตสาหกรรมหลักทั้งหมด 5 ภาคอุตสาหกรรมได้รับเลือกเป็นตัวแทนในการทำนายลักษณะการปล่อยสารกลุ่ม BTEX คือ กลุ่มอุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี (Chemical and Chemical products) กลุ่มอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม (Petroleum and Petroleum products) กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ (Electrical Machinery and Supplies) กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล (Machinery) และกลุ่มอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติก (Plastic products)
- 3) คาดการณ์สภาวะที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX จากอากาศในบริเวณพื้นที่ทำงาน จากการรวบรวมข้อมูลผลการตรวจวัดจริงร่วมกับโปรแกรม Statistical Package for the Social Science for Windows (SPSS) และค้นหางานวิจัยสนับสนุนผลการตรวจวัดที่เป็นไปได้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบถึงข้อมูลของสารกลุ่ม BTEX จากแหล่งกำเนิดในภาคอุตสาหกรรมหลักที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นแนวทางในการเก็บตัวอย่างอากาศภายในพื้นที่ทำงานให้มีความแม่นยำเหมาะสมมากยิ่งขึ้น ไม่สิ้นเปลืองเวลา ประหยัดค่าใช้จ่าย และผู้ทำการเก็บตัวอย่างสามารถคาดการณ์สภาวะที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างได้
- 2) สามารถนำข้อมูลผลการตรวจวัดจริงที่รวบรวมมาวิเคราะห์แล้วจากการศึกษานี้ไปเปรียบเทียบกับการศึกษาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อกำหนดลักษณะเฉพาะสารกลุ่ม BTEX ในภาคอุตสาหกรรมหลักได้แม่นยำมากขึ้นต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สารประกอบอินทรีย์ระเหยและประเภทโรงงานที่ก่อกำเนิด (สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม, 2555)

สารประกอบอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds, VOCs) คือสารประกอบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก มีไฮโดรเจน ออกซิเจน ฟลูออไรด์ คลอไรด์ โบรไมด์ ซัลเฟอร์ และไนโตรเจน ประกอบกันมีทั้งพวกที่เป็นพวกอะลิฟาติก (Aliphatic) อะโรมาติก (Aromatic) รวมถึงพวกคาร์บอนิล (Aldehyde, Ketone) และกลุ่มแอลกอฮอล์ สารประกอบอินทรีย์ระเหยเหล่านี้สามารถระเหยกลายเป็นไอหรือก๊าซได้ง่ายที่อุณหภูมิห้อง และมีความดันไอมากกว่า 0.14 มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ใช้เป็นตัวทำละลายที่ดี โดยทั่วไปจะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนคาร์บอน 2-12 อะตอม สารประกอบอินทรีย์ระเหยในบรรยากาศนั้นอาจเกิดมาจากการเผาไหม้ เช่น น้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ หรือเกิดจากการปลดปล่อยออกมาจากกระบวนการของภาคอุตสาหกรรมการผลิตซึ่งมีการใช้ตัวทำละลายที่มีสารประกอบอินทรีย์ระเหยเป็นองค์ประกอบ แหล่งกำเนิดที่สำคัญของสารประกอบอินทรีย์ระเหย เช่น ยานพาหนะ โรงงานอุตสาหกรรม และแหล่งกำจัดขยะ ตัวอย่างเช่น เบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน ไซลีน เป็นต้น นอกจากนี้สารประกอบอินทรีย์ระเหยได้ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมสี ยาง ทินเนอร์ แลคเกอร์ น้ำยาทาเนื้อไม้ กาว น้ำยาดับกลิ่น สารทำความสะอาด และน้ำยาซักแห้ง เป็นต้น เนื่องจากสารประกอบอินทรีย์ระเหยมีคุณสมบัติระเหยกลายเป็นไอได้ง่ายที่อุณหภูมิห้อง จึงนิยมนำไปใช้เป็นสารเคลือบผิว สารประกอบอินทรีย์ระเหยที่นำไปใช้ในอุตสาหกรรมมักจะมีปัญหาเรื่องกลิ่นและเกิดการร้องเรียนขึ้นซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดการร้องเรียนอย่างมาก โดยมีผลกระทบทั้งอารมณ์และจิตใจของมนุษย์ ในชีวิตประจำวันเราได้รับสารประกอบอินทรีย์ระเหยจากผลิตภัณฑ์หลายอย่าง เช่น สีทาบ้านภายในภายนอก ควันบุหรี่ น้ำยาฟอกสี สารตัวทำละลายในหมึกพิมพ์ โรงงานอุตสาหกรรม น้ำยาซักแห้ง น้ำยาย้อมผม ยาฆ่าแมลง น้ำมันเชื้อเพลิง สารที่เกิดจากการเผาไหม้และปะปนในอากาศ เครื่องดื่ม อาหารต่าง ๆ เป็นต้น ไอระเหยที่สะสมไว้เป็นเวลานานจะมีผลกระทบทางชีวภาพและเป็นอันตรายต่อสุขภาพ นอกจากนี้สารประกอบอินทรีย์ระเหยยังมีผลต่อชั้นโอโซนที่อยู่ใกล้โลกทำให้เกิดปฏิกิริยาหมอกผสมควัน (Photochemical Smog) ขึ้นซึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบอินทรีย์ระเหย ไนโตรเจนออกไซด์ ฝุ่นละออง และออกซิเจน โดยมีแสงแดดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ โอโซนที่อยู่ในบรรยากาศชั้นสูงทำหน้าที่ในการกรองแสงอัลตราไวโอเล็ตช่วงคลื่นสั้นที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตไม่ให้เกิดกลุ่มพื้นโลก แต่โอโซนที่อยู่ในบรรยากาศชั้น

ใกล้โลกกลับเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต ถ้าได้รับเป็นเวลานานจะทำให้เนื้อเยื่อปอดถูกทำลายอย่างถาวร และส่งผลกระทบต่อระบบภูมิคุ้มกันของมนุษย์ ทั้งนี้โอโซนยังเป็นตัวออกซิไดส์อย่างแรง ทำให้โครงสร้างสิ่งก่อสร้างชำรุด เป็นตัวพอกสีทำให้สีจาง และมีผลต่อผลผลิตทางการเกษตรทำให้ผลผลิตตกต่ำ ดังนั้นปัญหาโอโซนนี้จึงมีสารประกอบอินทรีย์ระเหยเป็นตัวการสำคัญ

2.1.1 การแบ่งประเภทตามลักษณะของโมเลกุล

2.1.1.1 Non-chlorinated VOCs (Non-halogenated Hydrocarbons)

เป็นกลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยที่ไม่มีคลอรีนอยู่ในโมเลกุลประกอบไปด้วย Aliphatic Hydrocarbons เช่น น้ำมันเชื้อเพลิง ก๊าซโซลีน เฮกเซน ตัวทำละลายอินทรีย์ ในอุตสาหกรรม แอลกอฮอล์ แอลดีไฮด์ คีโตน เฮกเซน และกลุ่มสาร Aromatic hydrocarbons เช่น สารตัวทำละลาย เบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน ไซลีน สไตลีน และฟีนอล เป็นต้น สารประกอบอินทรีย์ระเหยกลุ่มนี้มาจากสิ่งแวดล้อม การเผาไหม้ กองขยะ พลาสติก สารตัวทำละลาย สีทาวาสต์ และวัสดุอื่น ๆ เป็นต้น

2.1.1.2 Chlorinated VOCs หรือ Halogenated Hydrocarbons

เป็นกลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยที่มีคลอรีนในโมเลกุล ได้แก่ พวกสารเคมีที่สังเคราะห์ใช้ในอุตสาหกรรมสารเคมี สารประกอบอินทรีย์ระเหยกลุ่ม Chlorinated นี้มีความเป็นพิษมากกว่าและมีความเสถียรในสิ่งแวดล้อมมากกว่าสารกลุ่ม Non-Chlorinated VOCs เพราะมีโครงสร้างที่มีพันธะระหว่างคาร์บอนและธาตุกลุ่มฮาโลเจนที่ทนทานมากควมคงตัวสูงและสะสมได้นาน ซึ่งยากต่อการสลายตัวทั้งในธรรมชาติ ชีวภาพ กายภาพ หรือโดยวิธีทางเคมีทั่วไป ครอบคลุมการทำงานของสารพันธุกรรมคือไปยับยั้งปฏิกิริยาทางชีวเคมีในเซลล์ และมีฤทธิ์ก่อมะเร็ง หรือกระตุ้นการเกิดมะเร็งได้

2.1.2 การแบ่งประเภทตามลักษณะของโครงสร้าง

2.1.2.1 กลุ่มอะลิฟาติก ไฮโดรคาร์บอน (Aliphatic Hydrocarbons)

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีอะตอมของคาร์บอนต่อกันเป็นสายโซ่เปิด อาจต่อกันเป็นสายยาวไม่มีกิ่ง เรียกว่า โซ่ตรง หรือต่อกับคาร์บอนในสายยาวเรียกว่า โซ่กิ่ง เช่น สารเฮกเซน (Hexane)

2.1.2.2 กลุ่มอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน (Aromatic Hydrocarbons)

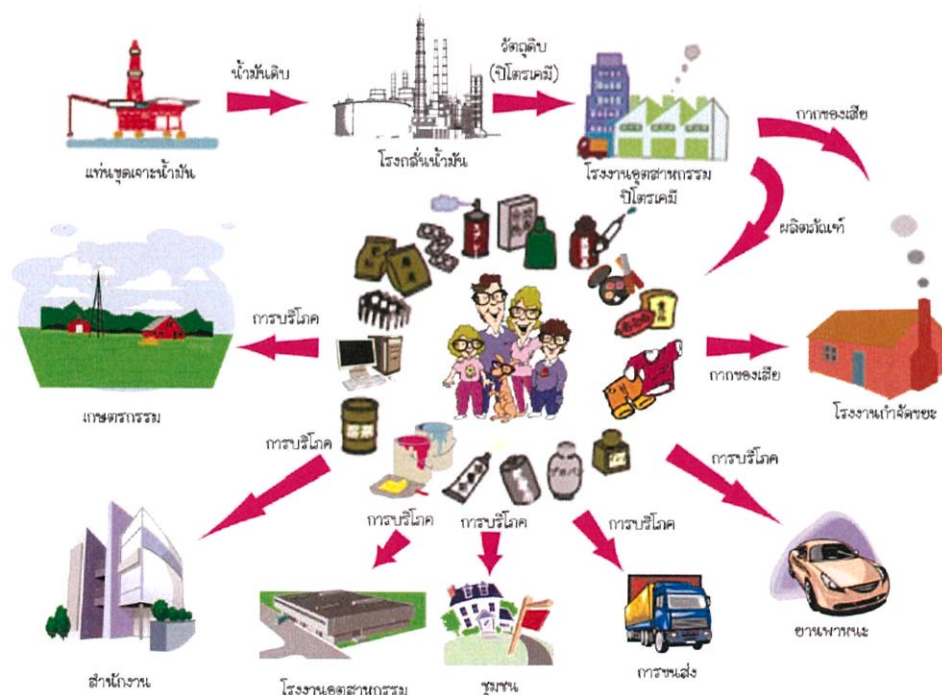
สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยวงของเบนซีนตั้งแต่ 2 วงขึ้นไปจัดเรียงเป็นเส้นตรง เป็นมุม หรือเป็นกลุ่ม ซึ่งมีเฉพาะในอะตอมของไฮโดรเจนและคาร์บอน ส่วนใหญ่ไม่ละลายน้ำ เช่น สารเบนซีน (Benzene) สารโทลูอีน (Toluene) และสารไซลีน (Xylenes) เช่นเดียวกันสารกลุ่ม BTEX จัดอยู่ในกลุ่มอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอนนี้

2.1.2.3 กลุ่มออกซิเจน (Oxygenated) หมายถึง สารที่มีอะตอมของออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น สารอะซิโตน (Acetone) และสารคีโตน (Ketones) ซึ่งจากการพิจารณาอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพในการระบายสารประกอบอินทรีย์ระเหย (ตามประกาศกรมควบคุมมลพิษ เรื่อง กำหนดค่าเฝ้าระวังสำหรับ

สารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 24 ชั่วโมง) ส่วนใหญ่มาจากการใช้วัตถุอันตรายเคมีภัณฑ์ที่นำมาใช้ในขั้นตอนต่าง ๆ ของกระบวนการผลิต

2.1.3 ประเภทอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพในการระบายสารประกอบอินทรีย์ระเหย

- 1) อุตสาหกรรมประเภทอู่ซ่อมรถยนต์ ฟันสีรถยนต์
- 2) อุตสาหกรรมประเภทเฟอร์นิเจอร์ไม้ และทำเครื่องไม้
- 3) อุตสาหกรรมประเภทพลาสติก
- 4) อุตสาหกรรมประเภทเบญจรงค์ และเซรามิก
- 5) อุตสาหกรรมประเภทฟอกย้อมและฟอกสีและสิ่งทอ
- 6) อุตสาหกรรมประเภทสิ่งพิมพ์
- 7) อุตสาหกรรมประเภทผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
- 8) อุตสาหกรรมประเภทล้างทำความสะอาดโลหะ เครื่องจักร
- 9) อุตสาหกรรมประเภทบรรจุตัวทำละลาย และเคมีภัณฑ์
- 10) อุตสาหกรรม ประเภทผลิตปุ๋ย ยาฆ่าแมลง ยากำจัดศัตรูพืช
- 11) อุตสาหกรรมประเภทบำบัดคัดแยกกากของเสีย
- 12) อุตสาหกรรมประเภทซักรีด



รูปที่ 2.1 แหล่งกำเนิดสารประกอบอินทรีย์ระเหยในชีวิตประจำวัน

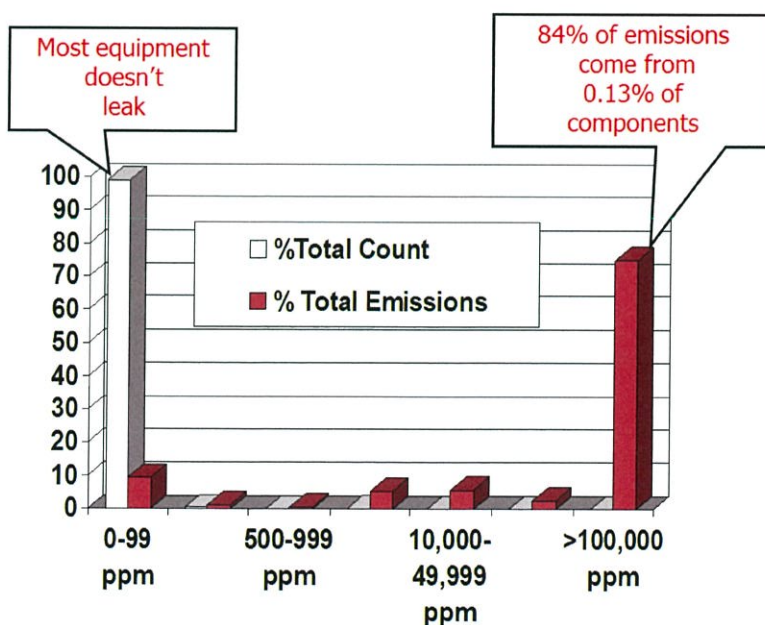
ที่มา: สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม, 2555

2.1.4 การประเมินปริมาณการรั่วซึมของสารประกอบอินทรีย์ระเหย (Fugitive and Stationery Sources) (วรารุช และจิราวรรณ, 2555)

โดยทั่วไป แหล่งกำเนิดการปล่อย VOCs จำแนกออกเป็น 6 แหล่งกำเนิด ใหญ่ๆ คือ

- 1) การรั่วระเหยจากอุปกรณ์ (Fugitives Sources)
- 2) ถังกักเก็บ (Tank Farm)
- 3) การขนถ่าย (Transportation & Marketing)
- 4) การเผาไหม้ (Combustion)
- 5) ระบบเผาทิ้ง (Flares)
- 6) ระบบบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Treatment Plant)

เนื่องจากในโรงงานที่มีการใช้สารหรือการผลิตที่เกี่ยวข้องกับสารประกอบอินทรีย์ระเหย มักพบการรั่วระเหยมาจากอุปกรณ์มากที่สุด โดยมากกว่าร้อยละ 75 ของปริมาณการรั่วไหลทั้งหมด ดังนั้นจึงมีมาตรการการจัดการกับสารประกอบอินทรีย์ระเหยในส่วนนี้ โดยเฉพาะในสหรัฐอเมริกามีการสำรวจพบว่า โดยทั่วไปในโรงงานหรือกิจการที่มีการใช้สารประกอบอินทรีย์ระเหยที่มีการควบคุมอยู่ในระดับดี มักจะมีจำนวนอุปกรณ์ ที่มีการรั่วระเหยมากกว่าเกณฑ์ที่ควรจะเป็น อยู่ประมาณ 3 อุปกรณ์ใน 1000 อุปกรณ์ (ประมาณ 0.3 %) ซึ่งใน 0.3 % มีการปลดปล่อยสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้งหมดสู่บรรยากาศ ประมาณ 85% ดังแสดงในรูป 2.2



รูปที่ 2.2 สัดส่วนการรั่วระเหยของสารประกอบอินทรีย์ระเหยจากอุปกรณ์

ที่มา: วรารุช และจิราวรรณ, 2555

2.2 ผลกระทบที่เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ระเหย (สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม, 2555)

2.2.1 ผลกระทบด้านคุณภาพอากาศ

การแพร่กระจายของสารประกอบอินทรีย์ระเหยนั่นก่อให้เกิดปัญหาต่อคุณภาพอากาศ โดยการปนเปื้อนของสารประกอบอินทรีย์ระเหยในอากาศนอกจากจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพและเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์แล้ว สารประกอบอินทรีย์ระเหยยังเป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่มีการดูดซับพลังงานแสง ทำให้เกิดสภาพที่เรียกว่า หมอกผสมควัน (Photochemical Smog) เนื่องจากการรวมตัวของสารประกอบอินทรีย์ระเหยกับออกไซด์ของไนโตรเจน (NOx) ซึ่งถูกกระตุ้นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เกิดเป็นสารออกซิแดนท์ เช่น แอลดีไฮด์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เปอร์ออกซิอะซีติลไนเตรท (PAN) กรดอินทรีย์และกรดอินทรีย์ รวมทั้งอนุภาคขนาดเล็ก โดยเฉพาะอย่างยิ่งโอโซนซึ่งเป็นสารที่มีความเข้มข้นและก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ นอกจากนี้หากปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำจะทำให้การใช้ประโยชน์ของแหล่งน้ำเสียไป เป็นต้น

2.2.2 ผลกระทบด้านคุณภาพน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน

เมื่อสารประกอบอินทรีย์ระเหยถูกปล่อยทิ้งหรือเกิดการรั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำผิวดินหรืออาจเกิดจากน้ำฝนชะละลายสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่ปนเปื้อนอยู่ในอากาศลงสู่แหล่งน้ำผิวดิน ทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารประกอบอินทรีย์ระเหยลงสู่แหล่งน้ำผิวดิน และส่งผลกระทบต่อคุณภาพของแหล่งน้ำธรรมชาติ ทำให้เกิดความเป็นพิษขึ้น ซึ่งพืชและสัตว์น้ำไม่สามารถอาศัยอยู่ได้ ส่งผลให้ความอุดมสมบูรณ์ของระบบนิเวศในแหล่งน้ำลดลง ในบางกรณีมีการเคลื่อนย้ายสารประกอบอินทรีย์ระเหยผ่านชั้นดินปนเปื้อนแหล่งน้ำใต้ดินทำให้น้ำใต้ดินมีสารพิษที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภค

2.2.3 ผลกระทบด้านคุณภาพดิน

เมื่อสารประกอบอินทรีย์ระเหยถูกปล่อยทิ้งหรือหกรั่วไหลบนผิวดินจะเคลื่อนที่ผ่านชั้นดินและจะเกิดการดูดซับและสะสมไว้ในดิน นอกจากนี้เมื่อฝนตกจะชะละลายสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่ปนเปื้อนอยู่ในอากาศลงสู่ดิน ทำให้น้ำใต้ดินปนเปื้อน ส่งผลกระทบต่อคุณภาพและการใช้ประโยชน์ของดิน นอกจากนี้สารเคมีในกลุ่มยาฆ่าแมลงและยาปราบศัตรูพืชบางชนิดมีความคงทนในดิน เพราะแทรกอยู่ในตะกอนหรือดินเหนียวได้ดี ทำให้แบคทีเรียย่อยสลายได้ยาก เช่น ยาปราบวัชพืชบางชนิด ยาฆ่าแมลงประเภทดีดีทีและดีดีดี เป็นต้น

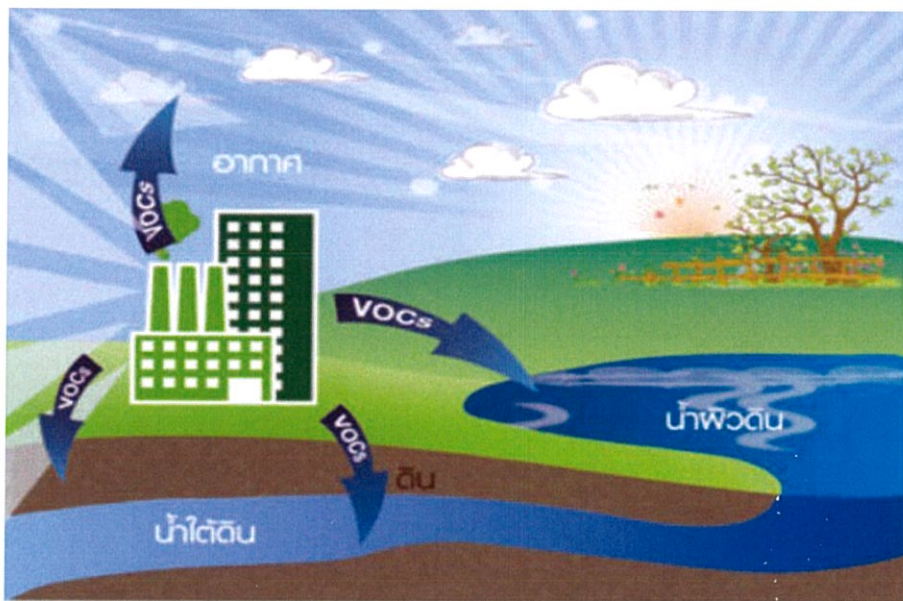
2.2.4 ผลกระทบต่อพืชและระบบนิเวศน์

สารประกอบอินทรีย์ระเหยอาจทำให้การเจริญเติบโตของพืชชะงัก ทำลายคลอโรฟิลล์และการสังเคราะห์แสง มักจะแคระแกร็นมีการเจริญเติบโตช้าหรืออาจตายได้ นอกจากนี้สารประกอบอินทรีย์ระเหยยังมีส่วนในการทำให้ระบบนิเวศในธรรมชาติเสียสมดุล โดยเมื่อฝนตกจะชะละลายสารประกอบ

อินทรีย์ระเหยที่ปนเปื้อนอยู่ในอากาศลงสู่ดินหรือแหล่งน้ำ ส่งผลให้เกิดความเป็นพิษขึ้น พืชและสัตว์ไม่สามารถอยู่ได้ การเจริญเติบโตของพืชลดลง ป่าไม้ไม่เจริญงอกงามความสมบูรณ์ของระบบนิเวศป่าลดลง

2.2.5 ผลกระทบต่อสุขภาพ

สารประกอบอินทรีย์ระเหยสามารถเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ได้ 3 ทางคือ การหายใจเข้าทางปอด การกินหรือกลืนเข้าทางปาก และการสัมผัสทางผิวหนัง ซึ่งเมื่อได้รับเข้าไปในร่างกายแล้วจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัย (Health Effect) แตกต่างกันไปตามชนิดของสารวีไอซี

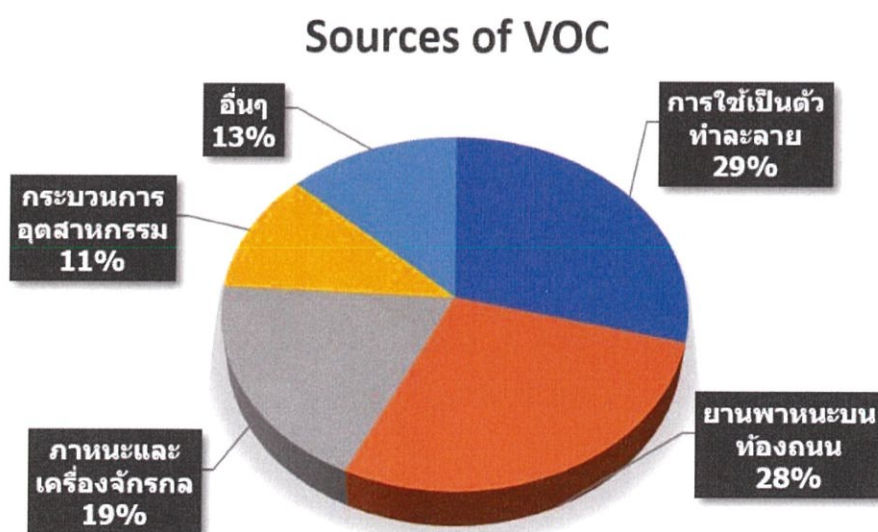


รูปที่ 2.3 ผลกระทบของสารประกอบอินทรีย์ระเหยต่อสิ่งแวดล้อม
ที่มา: สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม, 2555

2.3 สารประกอบอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX

สารบีเทค (BTEX) ประกอบด้วยสาร 4 ชนิด คือ เบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีน และแบ่งย่อยได้ 3 ไอโซเมอร์คือ เมตาไซลีน พาราไซลีน และออร์โทไซลีน สารบีเทคถูกนำมาใช้มากในหลายภาคอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมสิ่งทอ (Phumeechanya, 2008) และพบว่าเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันปิโตรเลียม ได้แก่ น้ำมันดิบ น้ำมันเบนซิน และน้ำมันดีเซล สารบีเทคจัดเป็นสารประกอบอินทรีย์ระเหย (volatile organic compounds) สามารถพบสารกลุ่มนี้แพร่กระจายอยู่ตามโรงงานอุตสาหกรรมและพื้นที่ใกล้เคียง รวมถึงบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่น

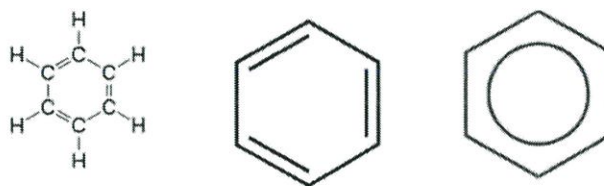
การรับสัมผัสสารบีเทคในปริมาณมากโดยเฉพาะกับผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่เสี่ยงต่อการสัมผัสสารบีเทคสามารถก่อให้เกิดการระคายเคือง ส่งผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง และระบบทางเดินหายใจ หากได้รับสัมผัสสารติดต่อกันเป็นเวลานานติดต่อกันจะทำให้เกิดการสะสมในร่างกาย ส่งผลต่อระบบเลือด หัวใจ ปอด และระบบประสาท เป็นต้น องค์การวิจัยโรคมะเร็งนานาชาติ (International Agency for Research on Cancer: IARC) จัดให้สารเบนซินเป็นสารก่อมะเร็งกลุ่ม 1 ที่สามารถส่งผลทำให้เกิดมะเร็งเม็ดเลือดขาว (leukemia) และสารเอทิลเบนซินเป็นสารก่อมะเร็งกลุ่ม 2B คือกลุ่มที่น่าจะเป็นสารก่อมะเร็งในคน ผลการทดลองมีการสรุปว่าเป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ เช่น หนู แต่ไม่มีข้อมูลเพียงพอว่าเป็นสารก่อให้เกิดมะเร็งในคน (IARC, 2010) สารบีเทคจึงเป็นสารมลพิษทางอากาศที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคของผู้ที่รับสัมผัส จากการศึกษาของหนึ่งได้พบว่าไอเสียจากเครื่องยนต์และไอน้ำมันที่ระเหยออกมาจากน้ำมันเชื้อเพลิงนั้นถือเป็นแหล่งกำเนิดหลักที่สำคัญของการสัมผัสสารประกอบอินทรีย์ระเหย (volatile organic compounds: VOCs) โดยเฉพาะสารบีเทค (ศศิธร และคณะ, 2556) ดังนั้น การประกอบอาชีพที่เกี่ยวข้องกับการใช้เชื้อเพลิง และยานพาหนะย่อมมีโอกาสสัมผัสสารดังกล่าวได้โดยตรง (Tsai *et al.*, 2002)



รูปที่ 2.4 ร้อยละของแหล่งกำเนิดสารประกอบอินทรีย์ระเหยโดยแยกตามแหล่งกำเนิด

ที่มา: Profast, 2018

2.3.1 เบนซีน (Benzene) (วิวัฒน์, 2555)



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของสารเบนซีน

ที่มา: Maha, 2018

- 1) ชื่อ เบนซีน (Benzene)
- 2) ชื่ออื่น Phenyl hydride, Cyclohexatriene, 1,3,5-Cyclohexatriene, Cyclohexa-1,3,5-triene, Benzohexatriene, Benzol, Pyrobenzole, Coal naphtha
- 3) สูตรโมเลกุล C_6H_6
- 4) น้ำหนักโมเลกุล 78.1
- 5) CAS Number 71-43-2
- 6) UN Number 1114
- 7) ลักษณะทางกายภาพ ของเหลว ไม่มีสี มีกลิ่นหอมโรมาติก ระเหยเป็นไอได้ง่าย
- 8) คำอธิบาย เบนซีน (Benzene) เป็นตัวทำละลายกลุ่มอโรมาติกชนิดหนึ่ง ลักษณะใสไม่มีสี ที่ความเข้มข้นต่ำ ๆ จะมีกลิ่นหอม ในอดีตนิยมใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรมหลายชนิด สารเบนซีนมีคุณสมบัติกัดไขกระดูก และก่อมะเร็งเม็ดเลือดขาวในมนุษย์ ปัจจุบันจึงมีการใช้น้อยลง แต่ยังสามารถพบได้ในอุตสาหกรรมบางประเภท และการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม
- 9) ค่ามาตรฐานในสถานที่ทำงาน ACGIH TLV – TWA 0.5 ppm, STEL 2.5 ppm , NIOSH REL – Ca, TWA 0.1 ppm, STEL 1 ppm , OSHA PEL – TWA 1 ppm, STEL 5 ppm , IDLH 500 ppm , กฎหมายแรงงานไทย TWA 10 ppm, Ceiling 25 ppm, สูงสุด 50 ppm ใน 10 นาที
- 10) ค่ามาตรฐานในสิ่งแวดล้อม EPA NAAQS – N/A, กฎหมายสิ่งแวดล้อมไทย – มาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศทั่วไปในเวลา 1 ปี ต้องไม่เกิน $1.7 \mu g/m^3$

- 11) ค่ามาตรฐานในร่างกาย ACGIH BEI – S-Phenylmercapturic acid ในปีสภาวะหลังเลิกงาน 25 ug/g Cr, t,t-Muconic acid ในปีสภาวะหลังเลิกงาน 500 ug/g Cr
- 12) คุณสมบัติก่อมะเร็ง IARC Group 1, ACGIH A1 Carcinogenicity
- 13) แหล่งที่พบในธรรมชาติ โดยปกติไม่พบในธรรมชาติทั่วไป เบนซีนเป็นส่วนผสมหนึ่งอยู่ในน้ำมันดิบ เป็นผลผลิตที่ได้จากกระบวนการปิโตรเคมี แต่อาจพบปนเปื้อนในธรรมชาติได้ และสามารถพบได้ในมวลบุนหรี
- 14) อุตสาหกรรมที่ใช้ เป็นสารที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมัน แก๊สธรรมชาติ และน้ำมันดิบ เป็นส่วนผสมอยู่ในน้ำมันแก๊สโซลีน (gasoline) ในอดีตเป็นตัวทำละลายที่ผสมอยู่ในผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น สี หมึก ทินเนอร์ ยาฆ่าแมลง น้ำยาลบสี แต่เนื่องจากมีคุณสมบัติก่อมะเร็ง ทำให้ปัจจุบันมีการใช้เบนซีนเป็นตัวทำละลายในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ น้อยลง ผู้ผลิตส่วนใหญ่จะเปลี่ยนมาใช้ตัวทำละลายตัวอื่นที่ปลอดภัยกว่า เช่น โทลูอีน หรือ ไซลีน แทน อย่างไรก็ตามในผลิตภัณฑ์บางประเภทก็ยังคงมีการใช้เป็นส่วนผสมอยู่ (จะทราบได้ต้องดูที่ฉลากส่วนผสมเป็นสำคัญ) โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในครัวเรือนหากผลิตจากผู้ผลิตที่มีคุณภาพจะไม่มีการใช้สารเบนซีน ในหลายประเทศมีการออกกฎหมายห้ามใช้เบนซีนผสมในผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในครัวเรือน ใช้เป็นสารตัวกลาง (intermediate) ในการผลิตสารเคมีอื่นหลายชนิด เช่น สไตรีน ฟีนอล ไฮโดรเจนซัลไฟด์ สารเคมีที่ใช้ในการผลิตสารซักฟอก ยาฆ่าแมลง ยา น้ำหอม วัตถุระเบิด และน้ำยาลบสี ในโรงงานอุตสาหกรรมที่ไม่มีการดำเนินการด้านสุขภาพและความปลอดภัยของพนักงาน หรือโรงงานขนาดเล็กที่ไม่มีคุณภาพ เรายังอาจพบมีการใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีเบนซีนผสมอยู่ได้ เช่น โรงงานรองเท้าที่ใช้กาวที่มีเบนซีน กิจการซักรีดที่ใช้น้ำยาซักแห้งที่มีเบนซีน โรงงานเหล่านี้หากมีการพัฒนาคุณภาพด้านความปลอดภัยของพนักงานแล้ว ในปัจจุบันมักจะเปลี่ยนมาใช้ตัวทำละลายอื่นที่ปลอดภัยกว่าแทน เช่น โทลูอีน ไซลีน เมทิล เอทิล คีโตน (MEK) เป็นต้น เนื่องจากเป็นส่วนผสมอยู่ในน้ำมันแก๊สโซลีน ทำให้คนที่ทำงานเกี่ยวข้องกับน้ำมันและรถ เช่น พนักงานโรงกลั่น เด็กปั๊ม ช่างซ่อมรถ ตำรวจจราจร เสี่ยงได้รับสัมผัสในการทำงานไปด้วย เบนซีน (benzene) มักถูกเรียกสับสนกับน้ำมันเบนซิน (benzine) สองอย่างนี้มีความแตกต่างกัน เบนซีนเป็นตัวทำละลายชนิดหนึ่งและเป็นส่วนผสมในน้ำมัน ส่วนเบนซินเป็นชื่อของสูตรน้ำมัน (เช่นเดียวกับชื่อ ดีเซล แก๊สโซฮอล์ โซล่า เหล่านี้เป็นต้น)
- 15) กลไกการก่อโรค ออกฤทธิ์กดระบบประสาทเช่นเดียวกับตัวทำละลายกลุ่มอโรมาติกตัวอื่นๆ ทำให้หัวใจเต้นผิดจังหวะ กลไกการก่อมะเร็งเชื่อว่าเกิดจากสารเมตาโบไลต์ที่เป็นพิษของเบนซีนคือ benzene epoxide

- 16) การเตรียมตัวเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน เบนซินเป็นสารไวไฟ ระเบิดได้ดีมาก (NFPA Code: H2 F3 R0) เมื่อลุกไหม้อาจเกิดการระเบิดได้ง่าย ไอของสารนี้หนักกว่าอากาศ การเข้าไปกู้ภัยชุดนี้ต้องทนไฟ และเนื่องจากเป็นสารก่อมะเร็ง ระดับของชุดควรเป็นชุดป้องกันชนิดที่มีถังบรรจุอากาศในตัว (Self-contained breathing apparatus, SCBA) เท่านั้น
- 17) อาการทางคลินิก อาการเฉียบพลัน ทางเข้าสู่ร่างกายของเบนซินนั้น สามารถเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางการหายใจ ทางการกิน และซึมผ่านผิวหนัง หากได้รับเข้าไปปริมาณมากจะมีฤทธิ์กดสมองอย่างทันทีทันใด ทำให้ปวดหัว คลื่นไส้ วิงเวียน จนถึงชัก และโคมาได้ ฤทธิ์ระคายเคืองเยื่อบุจะ ทำให้เคืองตา จมูก คอ ไอ แน่นหน้าอก และอาจมีปอดบวมน้ำ ฤทธิ์กระตุ้นกล้ามเนื้อหัวใจทำให้หัวใจเต้นผิดจังหวะ (ทำให้กล้ามเนื้อหัวใจไวต่อฤทธิ์ของ catecholamine เพิ่มขึ้น) หัวใจจึงเต้นเร็วผิดปกติ การสัมผัสทางผิวหนังทำให้ผิวหนังไหม้ เป็นผื่นแดงอักเสบได้ ส่วนอาการระยะยาว การสัมผัสในระยะยาวมีผลกดไขกระดูก ทำให้เกิดความผิดปกติทางระบบเลือดได้คือ pancytopenia, aplastic anemia และที่สำคัญคือก่อมะเร็งเม็ดเลือดขาวชนิด acute myelogenous leukemia (AML) นอกจากนี้ยังมีรายงานพบความสัมพันธ์กับการเกิดมะเร็งเม็ดเลือดขาวชนิด chronic myelogenous leukemia (CML), multiple myeloma (MM), Hodgkin's disease และภาวะ paroxysmal nocturnal hemoglobinuria อีกด้วย ส่วนการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของการสัมผัสเบนซินกับมะเร็งเม็ดเลือดขาวชนิด acute lymphoblastic leukemia (ALL), ภาวะ myelofibrosis และมะเร็งน้ำเหลือง (lymphoma) ยังไม่มีพบความสัมพันธ์ที่ชัดเจน
- 18) การตรวจทางห้องปฏิบัติการ การตรวจเพื่อยืนยันการสัมผัสทำได้หลายอย่าง คือ ระดับ ฟีนอล ในปัสสาวะ ระดับกรด t,t-muconic (TTMA) ในปัสสาวะ ระดับกรด s-phenylmercapturic (S-PMA) ในปัสสาวะ และระดับเบนซินในเลือด (blood benzene) การตรวจระดับฟีนอลในปัสสาวะเป็นเมตาโบไลต์ที่สามารถตรวจเพื่อบ่งชี้การสัมผัสเบนซินในระดับสูงได้ดี (เมื่อระดับเบนซินในอากาศสูงกว่า 5 ppm) แต่มีปัจจัยรบกวนจาก ผู้ที่สูบบุหรี่ ผู้ที่ทำงานสัมผัสสารฟีนอล และการกินอาหารบางอย่างที่ได้เมตาโบไลต์เป็นฟีนอล เช่น เนื้อมะนาว ปลารมควัน ในปัจจุบันนี้ องค์การ ACGIH ได้ยกเลิกการใช้ฟีนอล ในปัสสาวะเป็นตัวบ่งชี้การสัมผัสสาร เบนซินแล้ว เนื่องจากเหตุผลความจำเพาะต่ำ และค่ามาตรฐานระดับเบนซินในอากาศของประเทศที่พัฒนาแล้วส่วนใหญ่ก็ลดลง (จนระดับเบนซินในอากาศมักจะต่ำกว่า 5 ppm) ผลจากการสัมผัสเบนซินในระดับที่ต่ำลงทำให้ค่า background phenol ในปัสสาวะคนทั่วไปสูงกว่าค่าฟีนอลที่เกิดจากการสัมผัสในงาน ทำให้นำมาแปลผลไม่ได้ อย่างไรก็ตามหากพบสถานที่ทำงานใดที่มีระดับเบนซิน

ในอากาศสูงมาก (มากกว่า 5 ppm) ก็ยังพอสามารถให้การตรวจนี้เป็นตัวบ่งชี้การสัมผัสเบนซินได้

การตรวจ TTMA ในปัสสาวะ ซึ่งเป็นการตรวจที่จำเพาะมากขึ้นจึงเข้ามาแทนที่การตรวจฟินอลในปัจจุบัน การตรวจ TTMA นี้เหมาะสำหรับบ่งชี้การสัมผัสเบนซินแม้ว่าระดับเบนซินในอากาศจะต่ำก็ตาม แต่อาจมีผลบวกหลงได้จาก ผู้ที่สูบบุหรี่ ผู้ที่กินอาหารที่มี sorbic acid เป็นสารกันบูด (มักพบในอาหารที่ต้องการกันไม่ให้ราขึ้น เช่น ซีส น้ำเชื่อม เยลลี่ เค้ก ผลไม้อบแห้ง) อีกทั้งมีค่าครึ่งชีวิตในปัสสาวะสั้นเพียง 5 ชั่วโมง จึงต้องระมัดระวังในการแปลผล TTMA อย่างมากเช่นกัน

การตรวจ S-PMA ในปัสสาวะเป็นการตรวจที่จำเพาะขึ้น เนื่องจากสารนี้ไม่เกิดขึ้นจากการกินอาหาร จึงไม่ถูกปัจจัยรบกวนจากการกินอาหารประเภทต่าง ๆ แต่ยังคงมีผลบวกหลงได้ในคนที่สูบบุหรี่เช่นกัน ค่าครึ่งชีวิตของสารนี้ในปัสสาวะเท่ากับ 9 ชั่วโมง ทำให้เหมาะที่จะเก็บตรวจหลังเลิกกะ อย่างไรก็ตามปัจจุบัน (พ.ศ. 2554) ยังไม่มีห้องปฏิบัติการที่สามารถตรวจสารนี้ได้ในประเทศไทย

การตรวจระดับเบนซินในเลือด (blood benzene) เป็นการตรวจยืนยันการสัมผัสที่ดี เนื่องจากมีความจำเพาะกับการสัมผัสสารเบนซินสูงสุด ถ้าให้ได้ผลดีต้องตรวจหลังการสัมผัสไม่นานมาก เนื่องจากเบนซินค่าครึ่งชีวิตในเลือดเพียงประมาณ 8 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามยังอาจมีผลบวกหลงจากการสูบบุหรี่ได้เช่นกัน

กรณีสงสัยเป็นโรคพิษเบนซินเฉียบพลัน การวินิจฉัยให้ขึ้นกับประวัติและการตรวจร่างกายเป็นสำคัญ การตรวจเพื่อยืนยันการสัมผัสที่มีประโยชน์ถ้าทำได้คือระดับเบนซินในเลือด (blood benzene) ซึ่งต้องเจาะตรวจหลังจากสัมผัสทันที แต่มีข้อจำกัดคือพบผลบวกหลงในผู้ที่สูบบุหรี่จัดได้ การตรวจที่ช่วยในการรักษาอื่น ๆ คือการตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (EKG) ภาพรังสีทรวงอก (Chest X-ray) ความสมบูรณ์ของเม็ดเลือด (CBC) ระดับเกลือแร่ในเลือด (electrolyte) การทำงานของตับ (liver function test) และการทำงานของไต (BUN, creatinine)

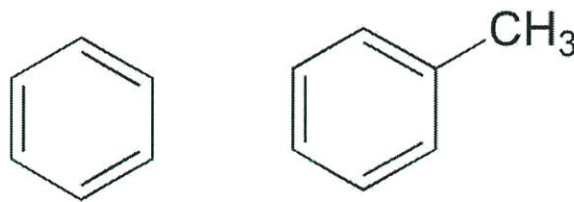
การตรวจที่ช่วยในการวินิจฉัยและรักษาในกรณีพิษเบนซินเรื้อรัง คือการตรวจความสมบูรณ์ของเม็ดเลือด (Complete blood count, CBC) ซึ่งอาจพบค่าระดับเม็ดเลือดทั้งเม็ดเลือดขาว เม็ดเลือดแดง และเกร็ดเลือดสูงขึ้นก่อนในระยะแรก ก่อนจะเกิดภาวะ aplastic anemia ตามมา

การดูแลรักษา ปฐมพยาบาล กรณีสารเคมีรั่วไหล นำผู้ป่วยออกจากจุดเกิดเหตุให้เร็วที่สุด ให้อยู่ในที่อากาศถ่ายเท ถอดเสื้อผ้าออก ล้างตัวด้วยน้ำเปล่าให้มากที่สุด ถ้าเข้าตาให้ล้างตาด้วย สังเกตสัญญาณชีพ ใส่ท่อช่วยหายใจถ้าไม่หายใจ ให้ออกซิเจนเสริม การรักษาระยะ

เฉียบพลัน ทำการล้างตัว (decontamination) ทั้งที่จุดเกิดเหตุและที่โรงพยาบาล ช่วยการหายใจให้ออกซิเจน ถ้ามีภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะ โคม่า หรือปอดบวมน้ำ ให้รักษาตามอาการที่เกิดขึ้น หลีกเลี่ยงการให้ยากลุ่ม adrenergic agents เช่น epinephrine เพราะจะทำให้อาการหัวใจเต้นเร็วผิดจังหวะแย่ลง ควรสังเกตอาการโดยเฉพาะเรื่องหัวใจเต้นผิดจังหวะและปอดบวม น้ำอย่างน้อย 12 – 24 ชั่วโมงหลังการสัมผัสเบนซีน ไม่มียาต้านพิษ (antidote) สำหรับเบนซีน ส่วนการดูแลระยะยาว เนื่องจากสารนี้เป็นสารก่อมะเร็ง จึงต้องดูแลผู้ที่สัมผัสสารนี้ในระยะยาวด้วย โดยการรับจัดทำทะเบียนผู้สัมผัส ให้ความรู้ถึงอันตรายระยะยาวของสารนี้แก่ผู้สัมผัสทุกคน รวมถึงหน่วยกู้ภัยและบุคลากรทางการแพทย์ที่มีแนวโน้มปนเปื้อนการสัมผัสด้วย

การเฝ้าระวัง กรณีอุบัติเหตุภัยสารเคมีต้องรับจัดทำทะเบียนผู้สัมผัสสารนี้ให้ครบถ้วน เนื่องจากเป็นสารก่อมะเร็งเม็ดเลือดขาว ควรทำการตรวจติดตามผู้สัมผัสสารเหล่านี้ไปอย่างน้อย 10 – 20 ปี ทำการตรวจ complete blood count (CBC) อย่างน้อยปีละครั้ง เพื่อดูระดับและรูปร่างเม็ดเลือดขาวและเกร็ดเลือด ชักประวัติความผิดปกติทางระบบเลือด เช่น เลือดออกง่าย จำเลือดตามตัว ถ้าผิดปกติต้องรีบส่งไปตรวจวินิจฉัยยืนยัน

2.3.2 โทลูอิน (Toluene) (วิวัฒน์, 2555)



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของสารโทลูอิน

ที่มา: Nissa, 2018

- 1) ชื่อ โทลูอิน (Toluene)
- 2) ชื่ออื่น Methylbenzene, Methylbenzol, Phenylmethane, Toluol
- 3) สูตรโมเลกุล $C_6H_5CH_3$ หรือ C_7H_8
- 4) น้ำหนักโมเลกุล 92.1

- 5) CAS Number 108 -88 -3
- 6) UN Number 1294
- 7) ลักษณะทางกายภาพ ของเหลว ไม่มีสี มีกลิ่นหอมอโรมาติก ระเหยเป็นไอได้
- 8) คำอธิบาย โทลูอินเป็นตัวทำละลายอินทรีย์กลุ่มอโรมาติกที่ผสมอยู่ในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ อย่างมากมาย เช่น สี กาว ทินเนอร์ แลคเกอร์ หมึกพิมพ์ เป็นต้น ลักษณะทางกายภาพสารนี้เป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นหอม อโรมาติก เป็นสารปิโตรเคมีที่ได้จากการกลั่นน้ำมันและแก๊สธรรมชาติ พิษของโทลูอินคือทำให้เกิดการระคายเคืองเยื่อเยื่อ กดประสาท ทำให้หัวใจเต้นผิดจังหวะ เป็นพิษต่อดับและไต
- 9) ค่ามาตรฐานในสถานที่ทำงาน ACGIH TLV (2006) – TWA 20 ppm, NIOSH REL – TWA 100 ppm (375 mg/m³), STEL 150 ppm (560 mg/m³), OSHA PEL 200 ppm, Ceiling 300 ppm, maximum 500 ppm in 10 minutes, IDLH – 500 ppm, กฎหมายแรงงานไทย TWA 200 ppm, Ceiling 300 ppm, สูงสุด 500 ppm ใน 10 นาที
- 10) ค่ามาตรฐานในสิ่งแวดล้อม EPA NAAQS – N/A , กฎหมายสิ่งแวดล้อมไทย – N/A
- 11) ค่ามาตรฐานในร่างกาย ACGIH BEI (2009) – กรด Hippuric ในปัสสาวะหลังเลิกงานไม่เกิน 1.6 g/g creatinine, *o*-Cresol ในปัสสาวะหลังเลิกงานไม่เกิน 0.5 mg/L โทลูอินในเลือดก่อนเข้างานวันสุดท้ายของสัปดาห์ไม่เกิน 0.05 mg/L ACGIH BEI (2011) ได้ยกเลิกการกำหนดมาตรฐานการตรวจกรด Hippuric ในปัสสาวะหลังเลิกงาน และเปลี่ยนมาเป็นการตรวจโทลูอินในปัสสาวะหลังเลิกงานแทน (ค่ามาตรฐานไม่เกิน 0.03 mg/L) ส่วนมาตรฐานการตรวจ *o*-Cresol ในปัสสาวะ และโทลูอินในเลือดยังคงเดิม
- 12) คุณสมบัติก่อมะเร็ง IARC = Group 3, ACGIH Carcinogenicity = A4
- 13) แหล่งที่พบในธรรมชาติ โดยปกติไม่พบในธรรมชาติ เนื่องจากเป็นสารสังเคราะห์จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี แต่อาจพบปนเปื้อนในธรรมชาติได้
- 14) อุตสาหกรรมที่ใช้ เป็นสารที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันและแก๊สธรรมชาติ เป็นส่วนผสมอยู่ในน้ำมันแก๊สโซลีน (gasoline) เป็นตัวทำละลายที่ผสมอยู่ในผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น ทินเนอร์ แลคเกอร์ กาว สีทาบ้าน สีวาดรูป หมึกพิมพ์ น้ำมันวานิช น้ำมันเคลือบเงา ยาทาเล็บ ยาล้างเล็บ น้ำยาลบสี น้ำยาทำความสะอาด ยาฆ่าแมลง น้ำยาล้างคราบมัน (เนื่องจากผลิตภัณฑ์ของแต่ละบริษัทจะมีสูตรเฉพาะของตนเอง การที่เราจะทราบได้ว่าผลิตภัณฑ์ใดมีส่วนผสมของโทลูอินอยู่บ้างนั้นต้องอ่านจากฉลากบรรจุภัณฑ์เป็นหลัก) อยู่ในรูปสารประกอบกับสารไอโซไซยาเนต (isocyanate) เช่น 2,4-toluene diisocyanate (TDI) หรือ toluene 2,6-diisocyanate ใช้ในการพ่นเคลือบสีรถยนต์ เครื่องบิน เครื่องเรือน พื้นไม้

- 15) กลไกการก่อโรค ออกฤทธิ์กดสมอง ทำให้มีมึนง ซึม คล้ายคนเมา กระตุ้นกล้ามเนื้อหัวใจทำให้หัวใจเต้นผิดจังหวะ ระบายเคืองต่อเยื่อ เช่น ตา ช่องปาก ทางเดินอาหาร เป็นพิษต่อดับและไต
- 16) การเตรียมตัวเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน เช่นเดียวกับตัวทำลายอินทรีย์อื่น ๆ โทลูอินติดไฟได้ง่าย (NFPA Code: H2 F3 R0) ระเหยเป็นไอได้ดีทำให้กระจายไปในอากาศได้มาก การเตรียมตัวสำหรับหน่วยกู้ภัยชุดที่ใส่ต้องเป็นชุดทนไฟ ระดับการป้องกันจะใส่ชุดระดับใดนั้นขึ้นกับสถานการณ์ แต่เนื่องจากเป็นสารไวไฟ กรณีที่มีการรั่วไหลและมีไฟไหม้ด้วยแนะนำให้ใส่ชุดป้องกันชนิดที่มีถังบรรจุอากาศในตัว (Self-contained breathing apparatus, SCBA) จะดีที่สุด
- 17) อาการทางคลินิก อาการเฉียบพลัน โทลูอินเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งจากการหายใจ การกิน และซึมผ่านผิวหนัง ไอร์ระเหยทำให้ระคายเคือง จมูก คอ ทางเดินหายใจ ไอ หลอดลมตีบ แน่นหน้าอก และปอดบวม น้ำ การสัมผัสที่ผิวหนังทำให้ผิวหนังแดง เกิดผื่นแพ้ และตุ่มน้ำขึ้นได้ หากเข้าตาจะทำให้ระคายเคืองตา ถ้าเป็นมากอาจเกิดเยื่อตาขาวบวม (conjunctival hyperaemia) และกระจกตาบวมได้ (corneal edema) ฤทธิ์ต่อกล้ามเนื้อหัวใจทำให้หัวใจเต้นผิดจังหวะ เป็นเหตุให้ผู้สัมผัสปริมาณสูงอาจเสียชีวิตแบบฉับพลันได้ (sudden death) ฤทธิ์กดประสาททำให้ ง่วง ซึม มึนง คลื่นไส้ อาเจียน ความรู้สึกตัวลดลง ชัก ความดันตก และหมดสติได้ การศึกษาทางระบาดวิทยาพบว่าการสัมผัสเสียงดังร่วมกับโทลูอิน จะทำให้มีโอกาสเกิดประสาทหูเสื่อมจากเสียงดังได้มากขึ้น ส่วนอาการระยะยาว การสัมผัสในระยะยาว เช่น ในคนตมกาว หรือจากการทำงานที่ไม่มีการควบคุมสภาพแวดล้อมที่ดีพอ จะทำให้มีอาการมีนเมา อ่อนเพลีย ปวดหัว วิงเวียน เบื่ออาหาร ความจำไม่ดี ความสามารถในการคิดคำนวณไม่ดี อาการทางสมอนี้สามารถเป็นอย่างถาวรได้ กล้ามเนื้ออ่อนแรง ดับเสื่อม ไตเสื่อม (renal tubular acidosis) ระดับเกลือแร่ในเลือดผิดปกติ (hypokalemia) การดื่มสุรา (ethyl alcohol) จะทำให้การกำจัดโทลูอินออกจากร่างกายทำได้น้อยลง ในคนงานที่ทำงานสัมผัสโทลูอินจึงไม่ควรดื่มสุราจัด เพราะจะเป็นการเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดพิษโทลูอินได้
- 18) การตรวจทางห้องปฏิบัติการ การตรวจตัวบ่งชี้การสัมผัสสารโทลูอินทำได้หลายวิธี ที่นิยมคือการตรวจกรด hippuric ในปัสสาวะ o-cresol ในปัสสาวะ และโทลูอินในเลือด การตรวจกรด hippuric ในปัสสาวะ เป็นการตรวจที่นิยมอย่างแพร่หลายกรด hippuric เป็นเมตาโบลิตสำคัญตัวหนึ่งที่เกิดขึ้นเมื่อได้รับโทลูอินเข้าสู่ร่างกาย ค่าครึ่งชีวิตของสารนี้ในปัสสาวะเท่ากับ 5 – 40 ชั่วโมง ข้อควรระวังในการแปลผลการตรวจนี้คือกรด hippuric จะเกิดขึ้นได้จากการบริโภคอาหารที่ใช้กรด benzoic หรือเกลือ benzoate เช่น sodium benzoate เป็นสารกันบูดได้ด้วย ส่วนใหญ่อาหารกลุ่มนี้จะเป็นอาหารที่มีสภาวะเป็นกรด รสเค็มหรือเปรี้ยว เช่น น้ำผลไม้กระป๋อง น้ำอัดลม น้ำซ่า (sparkling) อาหารกระป๋องดอง (pickle) เป็นต้น hippuric acid เกิดขึ้นได้จาก

การสัมผัส styrene เช่นกัน การสัมผัสกับตัวทำละลายตัวอื่น เช่น ไซลีน หรือการดื่มสุรา (ethyl alcohol) จะลดประสิทธิภาพของการกำจัดโทลูอินออกจากร่างกาย จึงอาจตรวจกรด hippuric ในปัสสาวะได้ต่ำแม้ว่าจะสัมผัสโทลูอินในปริมาณสูง

การตรวจ o-cresol ในปัสสาวะ มีค่าครึ่งชีวิตประมาณ 5 – 40 ชั่วโมงเช่นกัน การแปลผลต้องระวังในกรณีที่สัมผัสตัวทำละลายหลายชนิดพร้อมกัน และในคนที่ดื่มสุราเช่นกัน แต่มีข้อดีกว่าการตรวจกรด hippuric คือไม่ถูกรบกวนจากการกินอาหารที่มีกรด benzoic และเกลือ benzoate

การตรวจโทลูอินในเลือด (toluene in blood) มีค่าครึ่งชีวิตสั้นเพียงไม่เกิน 5 ชั่วโมง จึงเหมาะจะใช้ตรวจเพื่อยืนยันการสัมผัสและควรตรวจหลังการสัมผัสมาเป็นเวลาไม่นาน การแปลผลต้องระวังในกรณีที่สัมผัสตัวทำละลายหลายชนิดพร้อมกัน และในคนที่ดื่มสุราเช่นกัน

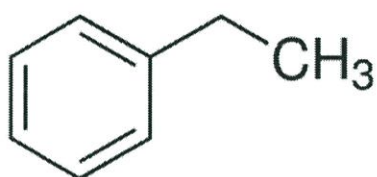
การตรวจโทลูอินในปัสสาวะ (toluene in urine) เป็นมาตรฐานตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ สำหรับการสัมผัสโทลูอินตัวใหม่ ที่องค์กร ACGIH ได้กำหนดเพิ่มเติมขึ้นในปี ค.ศ. 2011 (พ.ศ. 2554) มีข้อดีคือมีความจำเพาะมากกว่าการตรวจ hippuric ในปัสสาวะ สามารถส่งตรวจได้หากมีห้องปฏิบัติการรองรับ

การตรวจที่ช่วยในการรักษากรณีพิษจากโทลูอิน ได้แก่ การตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (EKG) ระดับเอนไซม์กล้ามเนื้อหัวใจ (cardiac enzyme) ภาพรังสีทรวงอก (CXR) ระดับเกลือแร่ในเลือด (electrolyte) ระดับแก๊สในหลอดเลือดแดง (arterial blood gas) การทำงานของตับ (liver function test) และการทำงานของไต (BUN, creatinine)

- 19) การดูแลรักษา ปฐมพยาบาล กรณีอุบัติเหตุสารเคมีรั่วไหลให้รีบนำผู้ป่วยออกจากจุดเกิดเหตุให้เร็วที่สุด ทำการล้างตัวด้วยน้ำเปล่าให้มากที่สุด ถ้าเข้าตาให้ล้างตาด้วย สังเกตระบบหายใจ ใส่ท่อช่วยหายใจถ้าหยุดหายใจ การรักษา ทำการล้างตัว ดูแลสัญญาณชีพ ให้ออกซิเจนเสริม ใส่ท่อช่วยหายใจถ้าหยุดหายใจ ตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจอย่างรวดเร็ว ให้การรักษาถ้ามีหัวใจเต้นผิดจังหวะ ถ้าเต้นผิดจังหวะแบบ tachyarrhythmia ให้การรักษาด้วย propanolol 1 – 2 mg IV สังเกตอาการปอดบวม น้ำ รักษาตามอาการ ไม่มียาต้านพิษสำหรับโทลูอิน
- 20) การเฝ้าระวัง การป้องกัน ลดการสัมผัส ลดการใช้ มาตรการทางความปลอดภัยและสุขภาพ ลดการสัมผัสตามหลักอาชีวอนามัย การเฝ้าระวังทางการแพทย์ ตรวจผื่นแพ้ การทำงานของตับและไต ตรวจตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ เช่น โทลูอินในเลือด ทุกปี การเตรียมตัวเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน เช่นเดียวกับตัวทำละลายอินทรีย์อื่น ๆ โทลูอินติดไฟได้ง่าย (NFPA Code: H2 F3 R0) ระเหยเป็นไอได้ดีทำให้กระจายไปในอากาศได้มาก ส่วนการเตรียมตัวสำหรับหน่วยกู้ภัยชุดที่ใส่ต้องเป็นชุดทนไฟ ระดับการป้องกันจะใส่ชุดระดับใดนั้นขึ้นกับสถานการณ์ แต่เนื่องจากเป็นสารไวไฟ

กรณีที่มีการรั่วไหลและมีไฟไหม้ด้วยแนะนำให้ใส่ชุดป้องกันชนิดที่มีถังบรรจุอากาศในตัว (Self-contained breathing apparatus, SCBA) จะดีที่สุด

2.3.3 เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene) (วิวัฒน์, 2555)



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของสารเอทิลเบนซีน

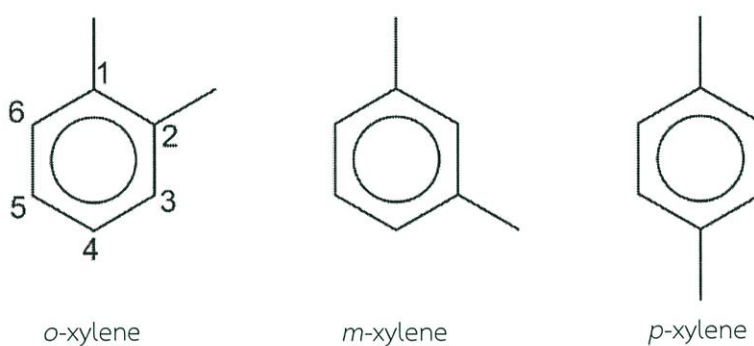
ที่มา: National Institute of Standards and Technology, 2018

- 1) ชื่อ เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene)
- 2) ชื่ออื่น Aethylbenzol, Ethylbenzeen, Ethylbenzol, Etilbenzene, Etylobenzen, NCI-C56393, Phenylethane
- 3) สูตรโมเลกุล C_8H_{10}
- 4) น้ำหนักโมเลกุล 106.17
- 5) CAS Number 100-41-4
- 6) UN Number 1175
- 7) ลักษณะทางกายภาพ ของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นหอมอโรมาติก ติดไฟได้ง่าย ระเหยได้เร็ว
- 8) ค่ามาตรฐานในสถานที่ทำงาน ACGIH TLV (2006) – TWA 20 ppm, NIOSH REL – TWA 100 ppm (375 mg/m³), OSHA PEL 100 ppm, IDLH – 800 ppm
- 9) คุณสมบัติก่อมะเร็ง IARC = Group 2B, ACGIH Carcinogenicity = A3
- 10) แหล่งที่พบในธรรมชาติ โดยปกติไม่พบในธรรมชาติ เนื่องจากเป็นสารสังเคราะห์จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี แต่อาจพบปนเปื้อนในธรรมชาติได้

- 11) อุตสาหกรรมที่ใช้ ส่วนใหญ่ใช้ในกระบวนการผลิตสไตรีน (Styrene) เป็นส่วนประกอบของยางมะตอย ใช้ใส่น้ำมันรถยนต์เพื่อเป็นสารป้องกันการน็อกของเครื่องยนต์ ใช้เป็นตัวทำละลาย ในผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น ยาฆ่าแมลง ยางสังเคราะห์ สี หมึก แล็คเกอร์ สารขัดเงา เป็นต้น
- 12) กลไกการก่อโรค ทางรับสัมผัสทางหลักคือทางการหายใจ โดย 40-60% คงอยู่ในปอด ส่วนที่ถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดเกือบทั้งหมดถูกเมตาบอลิต์เป็นกรด Mandelic และกรด Phenylglyoxylic สารเอทิลเบนซีนมีพิษในระดับต่ำต่อมนุษย์และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ทั้งในระยะเฉียบพลันและเรื้อรัง โดยมีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง และ ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อตาและเนื้อเยื่อเมือก (Mucous membrane)
- 13) อาการทางคลินิก อาการเฉียบพลันคือระคายเคืองต่อตา ในระดับสูงทำให้น้ำตาไหล ระคายเคืองทางเดินหายใจส่วนต้น น้ำมูกไหล เจ็บคอ มีผลต่อระบบประสาท เช่น มึนงง ปวดศีรษะ เดินเซ อาการเรื้อรังมีการศึกษาในสัตว์ทดลองพบผลต่อระบบโลหิต และตับ แต่การศึกษาในมนุษย์ไม่พบพิษต่อตับ ส่วนผลต่อระบบโลหิตยังไม่ชัดเจน
- 14) การตรวจทางห้องปฏิบัติการ เนื่องจากไม่มีเกณฑ์การวินิจฉัยโรคที่แน่นอนหรือเป็นที่ยอมรับกันทั่วไป จึงใช้เกณฑ์การวินิจฉัยโรคทางอาชีวเวชศาสตร์เป็นหลัก ได้แก่ มีอาการและอาการแสดงของโรคชัดเจน มีประวัติการสัมผัส มีการตรวจทางห้องปฏิบัติการแสดงอาการของโรค หรือแสดงว่ามีการสัมผัส มีข้อมูลสิ่งแวดล้อมสนับสนุน มีข้อมูลทางระบาดวิทยาของเพื่อนร่วมงานสนับสนุน และมีการวินิจฉัยแยกโรคอื่นแล้ว
- 15) การดูแลรักษา กรณีได้รับทางการกินไม่ควรกระตุ้นให้อาเจียน พิจารณาทำ Gastric lavage หากมาภายใน 1 ชั่วโมงหลังกลืนกินสาร และให้ Activated Charcoal ได้ โดยควรใช้ความระมัดระวังการเกิดการสำลักสารนี้ เนื่องจากอาจเกิดการระคายเคืองที่รุนแรงต่อทางเดินหายใจ โดยอาจให้ผู้ป่วยนอนในท่า Head down left lateral decubitus หรือพิจารณาใส่ ET tube ติดตามอาการระคายเคืองของทางเดินอาหาร หรือการเกิด chemical burn ของทางเดินอาหาร หากมีอาการพิจารณาทำ endoscope เพื่อประเมิน กรณีได้รับทางการหายใจควรนำผู้ป่วยออกมาในที่อากาศบริสุทธิ์ ให้ออกซิเจน หากมีอาการหลอดลมตีบอาจพิจารณาให้ beta2 agonist และ corticosteroids หากมีภาวะ Acute Lung Injury อาจต้องใช้เครื่องช่วยหายใจ ให้ออกซิเจน และติดตามระดับออกซิเจนในเลือด หากสัมผัสทางตา ควรล้างด้วยน้ำสะอาดมากๆ อย่างน้อย 15 นาที และพบจักษุแพทย์ หากสัมผัสทางผิวหนังควรล้างด้วยน้ำสะอาดมากๆ และนำเสื้อผ้าที่เป็นสารออก
- 16) การเฝ้าระวัง จัดระบบการระบายอากาศในที่ทำงาน ใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล เช่น หน้ากาก ถุงมือ เสื้อกันเปื้อน แวนตานิรภัย และไม่ควรมีเครื่องตี/รับประทานอาหาร หรือสูบบุหรี่ขณะ

ทำงานกับสารนี้ – ตรวจกรด Mandelic และกรด Phenylglyoxylic ในปัสสาวะ (หลังเลิกงาน วันสุดท้ายของสัปดาห์การทำงาน) และตรวจอาการผิดปกติของอวัยวะเป้าหมาย ได้แก่ ระบบประสาท ระบบทางเดินหายใจ ตา และ ผิวหนัง

2.3.4 ไซลีน (Xylene) (วิวัฒน์, 2555)



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของสารไซลีน

ที่มา: Amit, 2018

- 1) ชื่อ ไซลีน (Xylene)
- 2) ชื่ออื่น Dimethylbenzene, Methyl toluene, Xylol
- 3) ไอโซเมอร์ มี 3 ไอโซเมอร์คือ *o*-xylene, *m*-xylene และ *p*-xylene
- 4) ชื่ออื่น *o*-xylene อาจเรียก *o*-methyltoluene หรือ 1,2-dimethylbenzene, *m*-xylene อาจเรียก *m*-methyltoluene หรือ 1,3-dimethylbenzene, *p*-xylene อาจเรียก *p*-methyltoluene หรือ 1,4-dimethylbenzene
- 5) สูตรโมเลกุล $C_6H_4(CH_3)_2$ หรือ C_8H_{10}
- 6) น้ำหนักโมเลกุล 106.2
- 7) CAS Number xylene (mixed) 1330-20-7, *o*-xylene 95-47-6, *m*-xylene 108-38-3, *p*-xylene 106-42-3
- 8) UN Number xylene (mixed) ไม่มี, *o*-xylene 1307, *m*-xylene 1307, *p*-xylene 1307
- 9) ลักษณะทางกายภาพ ของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นหอมอโรมาติกคล้ายกลิ่นเบนซีน ระเหยเป็นไอได้

- 10) คำอธิบาย ไซลีนเป็นตัวทำละลายในกลุ่มอโรมาติกชนิดหนึ่ง ระเหยได้ในอุณหภูมิห้อง ใช้ในอุตสาหกรรมหลายชนิด ไอรเหยของสารชนิดนี้ทำให้เกิดอาการระคายเคืองตา เยื่อบุทางเดินหายใจ และกดระบบประสาทได้ การสัมผัสในรูปของเหลวทำให้ระคายเคืองผิวหนัง การกินเข้าไปทำให้ระคายเคืองทางเดินอาหาร
- 11) ค่ามาตรฐานในสถานที่ทำงาน ACGIH TLV (1992) – TWA 100 ppm, STEL 150 ppm, NIOSH REL – TWA 100 ppm (435 mg/m³), STEL 150 ppm (655 mg/m³), OSHA PEL – TWA 100 ppm (435 mg/m³) IDLH 900 ppm, กฎหมายแรงงานไทย TWA 100 ppm (435 mg/m³)
- 12) ค่ามาตรฐานในสิ่งแวดล้อม EPA NAAQS – N/A, กฎหมายสิ่งแวดล้อมไทย – มาตรฐานอากาศเสียที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2549 ระดับไซลีนที่ปล่อยจากกระบวนการผลิตทั่วไปต้องไม่เกิน 200 ppm
- 13) ค่ามาตรฐานในร่างกาย ACGIH BEI (2009) – Methylhippuric acid ในปัสสาวะหลังเลิกงาน 1.5 g/g Cr
- 14) คุณสมบัติก่อมะเร็ง IARC Group 3, ACGIH A4 Carcinogenicity
- 15) แหล่งที่พบในธรรมชาติ โดยปกติไม่พบในธรรมชาติ เนื่องจากเป็นสารสังเคราะห์จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี อาจพบปนเปื้อนในธรรมชาติได้ แต่โอกาสสะสมในสิ่งแวดล้อมมีไม่มากนัก เนื่องจากสลายตัวในอากาศได้เร็วภายใน 1 – 2 วัน ไม่ละลายในน้ำและสลายตัวในแหล่งน้ำภายใน 3 ชั่วโมง การสะสมในสิ่งมีชีวิตเกิดได้น้อย
- 16) อุตสาหกรรมที่ใช้ เป็นตัวทำละลายที่ผสมอยู่ในผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น ทินเนอร์ แลคเกอร์ กาว สีทาบ้าน สีวาดรูป หมึกพิมพ์ น้ำมันวานิช น้ำมันเคลือบเงา ยาทาเล็บ ยาล้างเล็บ น้ำยาลบสนิม น้ำยาทำความสะอาด ยาฆ่าแมลง น้ำยาล้างคราบมัน (เนื่องจากผลิตภัณฑ์ของแต่ละบริษัทจะมีสูตรเฉพาะของตนเอง การที่เราจะทราบได้ว่าผลิตภัณฑ์ใดมีส่วนผสมของไซลีนอยู่บ้างนั้นต้องอ่านจากฉลากบรรจุภัณฑ์เป็นหลัก) เป็นสารที่เกิดจากกระบวนการกลั่นน้ำมันและแก๊สธรรมชาติ จึงเป็นสารตัวกลาง (intermediate) ในกระบวนการทางปิโตรเคมี ใช้เป็นส่วนผสมในบางสูตรของน้ำมันเติมเครื่องบิน เป็นสารตัวกลาง (intermediate) ในกระบวนการสังเคราะห์เส้นใย Polyester
- 17) กลไกการก่อโรค ในการกล่าวถึงพิษของไซลีนนั้น จะกล่าวรวมกันไปทั้ง 3 ไอโซเมอร์เนื่องจากทุกไอโซเมอร์ก่อให้เกิดอาการพิษแบบเดียวกัน ไซลีนออกฤทธิ์กดสมองได้เช่นเดียวกับตัวทำละลายกลุ่มอโรมาติกตัวอื่น ๆ ออกฤทธิ์กระตุ้นกล้ามเนื้อหัวใจทำให้หัวใจเต้นผิดจังหวะ ระคายเคืองต่อ

- เยื่อ เช่น ตา ช่องปาก และทางเดินอาหาร การรับสัมผัสในปริมาณมากจะทำให้เป็นพิษต่อดับและไต
- 18) การเตรียมตัวเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน ไอร์ระเหยของไซลีนหนักกว่าอากาศและติดไฟง่าย (NFPA Code: H2 F3 R0) ระดับเริ่มได้กลิ่นของสารนี้อยู่ที่ 1 ppm ซึ่งต่ำกว่าระดับ ACGIH TLV ถึง 100 เท่า การได้กลิ่นสารนี้จึงไม่ได้จำเป็นว่าจะต้องเป็นพิษเสมอไป แต่ถ้าได้กลิ่นแรงขึ้นก็เป็นเครื่องช่วยเตือนถึงอันตรายได้ การเตรียมตัวสำหรับหน่วยกู้ภัยชุดที่ใส่ต้องเป็นชุดทนไฟ ระดับการป้องกันจะใส่ชุดระดับใดนั้นขึ้นกับสถานการณ์ เนื่องจากเป็นสารไวไฟ กรณีที่มีการรั่วไหลและมีไฟไหม้ด้วยแนะนำให้ใส่ชุดป้องกันชนิดที่มีถังบรรจุอากาศในตัว (Self-contained breathing apparatus, SCBA) จะดีที่สุด
- 19) อาการทางคลินิก อาการเฉียบพลัน เนื่องจากเป็นตัวทำละลายที่ระเหยได้ดี การสัมผัสเข้าสู่ร่างกายจึงเกิดได้ดีทั้งทางการกิน ซึมผ่านผิวหนัง และทางการหายใจ การกินเข้าไปจะทำให้รู้สึกแสบร้อนในทางเดินอาหาร ระคายเคืองต่อเยื่อ การสัมผัสทางผิวหนังทำให้เกิดระคายเคืองผิวหนัง เป็นผื่นแพ้ผิวหนัง (defatting) สัมผัสนาน ๆ อาจทำให้เกิดตุ่มน้ำและเนื้อตายได้ การหายใจไอร์ระเหยเข้าไปในปริมาณสูงทำให้ระคายเคืองทางเดินหายใจ อาจทำให้ปอดบวมน้ำภายใน 48 ชั่วโมงหลังการสัมผัส ทั้งการกิน การซึมผ่านผิวหนัง และสูดหายใจเข้าไปปริมาณมาก ๆ จะทำให้เกิดอาการทางระบบ ที่สำคัญคือฤทธิ์กดประสาท (CNS depression) ซึ่งถ้าสัมผัสเข้าไปมากจะมีอาการอย่างรวดเร็ว ทำให้เวียนศีรษะ อาจกระวนกระวายหรือซึมลง เดินเซ ความจำไม่ดี คลื่นไส้ ถ้ารุนแรงมากอาจเกิดการหายใจ สับสน และทำให้โคม่าได้ อาจทำให้เกิดภาวะ metabolic acidosis, hypokalemia, hypobicarbonataemia หรือ hypophosphataemia อาจทำให้เกิดภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะอันจะนำไปสู่การเสียชีวิตได้ ทำให้ดับอีกเสบและไตวายเฉียบพลัน ส่วนอาการระยะยาว การสัมผัสที่ผิวหนังระยะยาวจะทำให้เกิดผื่นแพ้ ตุ่มน้ำ ผิวลอกและเนื้อตาย การสูดดมระยะยาวจะทำให้เมา (อาการเหมือนคนดมกาว) คือ อารมณ์ดีผิดปกติ (euphoria) ความจำไม่ดี อารมณ์แปรปรวน อาจระคายเคืองทางเดินหายใจทำให้ไอบ่อย หลอดลมอักเสบได้ หากได้รับไซลีนร่วมกับแอลกอฮอล์การกำจัดไซลีนออกจากร่างกายจะทำได้ช้าลง 50 % ดังนั้นในผู้ที่ทำงานสัมผัสสารนี้จึงไม่ควรดื่มสุราเป็นประจำจะทำให้มีความเสี่ยงต่อการเป็นพิษไซลีนมากขึ้น
- 20) การตรวจทางห้องปฏิบัติการ การตรวจตัวบ่งชี้การสัมผัส (biomarker) ทำได้โดยการตรวจกรด methylhippuric ในปัสสาวะ ซึ่งสารนี้จะจำเพาะกับการสัมผัสไซลีนมาก ไม่มีตัวบ่งชี้จากการสัมผัสสารเคมีอื่น จึงบ่งบอกการสัมผัสไซลีนได้ค่อนข้างชัดเจน ปริมาณของกรด methylhippuric ที่ตรวจพบในปัสสาวะจะสัมพันธ์กับปริมาณไซลีนที่สัมผัสเข้าไปค่อนข้างมาก

- (quantitative interpretation) กรณีผู้ป่วยจากอุบัติเหตุสารเคมี เมื่อเกิดอาการพิษควรตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (EKG) เอนไซม์กล้ามเนื้อหัวใจ (cardiac enzyme) ภาพรังสีทรวงอก (Chest X-ray) ระดับเกลือแร่ในเลือด (electrolyte) ระดับแก๊สในเลือด (blood gas) การทำงานของตับ (liver function test) และการทำงานของไต (BUN, creatinine)
- 21) การดูแลรักษา การปฐมพยาบาล กรณีรั่วไหลต้องรีบนำผู้ป่วยออกจากบริเวณที่สัมผัสสารให้เร็วที่สุด ถอดเสื้อผ้า ทำการล้างตัว (decontamination) ด้วยน้ำสะอาดให้มากที่สุด ถ้าเข้าตาต้องล้างน้ำอย่างน้อย 15 นาที ทำการล้างตัวทั้งที่จุดเกิดเหตุและที่โรงพยาบาล หากหยุดหายใจให้ใส่ท่อช่วยหายใจและทำการช่วยหายใจ การรักษาระยะเฉียบพลัน ดูแลการหายใจ หากหยุดหายใจให้ใส่ท่อช่วยหายใจ ให้ออกซิเจนเสริม ตรวจภาพรังสีทรวงอกเพื่อประเมินภาวะปอดบวมน้ำที่อาจเกิดขึ้นได้ หากกินเข้าไปอย่าทำให้อาเจียน จะสำลักแล้วทำให้ปอดอักเสบรุนแรงได้ รักษาตามอาการ ให้พัก ตรวจดูภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะ ถ้ามีให้รีบทำการรักษา ถ้าเป็นแบบหัวใจเต้นเร็ว (tachyarrhythmia) ให้การรักษาด้วย propranolol 1 – 2 mg IV ตรวจดูภาวะเกลือแร่ในเลือดผิดปกติ เฝ้าระวังภาวะตับอักเสบและไตวายที่อาจเกิดขึ้นได้ ปัจจุบันยังไม่มียาต้านพิษสำหรับสารไซลีน ส่วนการดูแลระยะยาว วิธีการรักษาผู้ที่เป็นพิษเรื้อรังจากสารไซลีนที่ดีที่สุดคือหยุดหรือลดการสัมผัส ถ้าเป็นการสัมผัสในงานควรให้ย้ายงาน อย่างไรก็ตามอาการสมองเสื่อมคล้ายคนเมากาวอาจเป็นอย่างถาวรและไม่กลับมาเป็นปกติได้อีก ในคนงานที่ทำงานสัมผัสสารนี้ ควรมีการลดการสัมผัสตามหลักอาชีวอนามัย ไม่ควรดื่มสุราเป็นประจำเพราะจะทำให้เสี่ยงต่อการเกิดพิษมากขึ้น
- 22) การเฝ้าระวัง การเฝ้าระวังกรณีอุบัติเหตุสารเคมีให้ขึ้นกับอาการพิษที่เป็น ในกรณีคนทำงานสัมผัสสารไซลีน ควรเฝ้าระวังการสัมผัสโดยตรวจวัดระดับไซลีนในบรรยากาศการทำงาน (environmental monitoring) เป็นหลัก หากมีระดับในบรรยากาศการทำงานสูงอาจตรวจตัวบ่งชี้การสัมผัส (biomarker) ร่วมด้วย ให้ความรู้แก่คนงาน ดำเนินการตามหลักอาชีวอนามัย การตรวจสุขภาพประจำปีควรเน้นที่การตรวจระบบประสาท ตรวจผิวหนัง และตรวจระดับการทำงานของตับและไต

2.4 กฎหมายที่เกี่ยวข้อง

กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศสำหรับประเทศไทย กรมควบคุมมลพิษ ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศดังนี้

2.4.1 ค่ามาตรฐานสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี และค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 24 ชั่วโมง (สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม, 2555)

ตารางที่ 2.1 ค่ามาตรฐานสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี

สารมลพิษ	ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Benzene	ไม่เกิน 1.7
Vinyl Chloride	ไม่เกิน 10
1,2 - Dichloroethane	ไม่เกิน 0.4
Trichloroethylene	ไม่เกิน 23
Dichloromethane	ไม่เกิน 22
1,2 - Dichloropropane	ไม่เกิน 4
Tetrachloroethylene	ไม่เกิน 200
Chloroform	ไม่เกิน 0.43
1,3 - Butadiene	ไม่เกิน 0.33

ที่มา: สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม, 2555

ตารางที่ 2.2 ค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 24 ชั่วโมง

ประเภทสารวีไอซี	ค่าเฝ้าระวัง 24 ชั่วโมง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Acetaldehyde	860
Acrylonitrile	10
Benzene	7.6

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) ค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 24 ชั่วโมง

ประเภทสารวีไอซี	ค่าเฝ้าระวัง 24 ชั่วโมง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Benzyl Chloride	12
1,3-Butadiene	5.3
Bromomethane	190
Carbon Tetrachloride	150
Chloroform	57
1,2-Dibromoethane	370
1,4-Dichlorobenzene	1500
1,2-Dichloroethane	48
Dichloromethane	210
1,2-Dichloropropane	82
1,4-Dioxane	860
2-Propenal/acrolein	0.55
Tetrachloroethylene	400
1,1,2,2-Tetrachloroethane	83
Trichloroethylene	130
Vinyl Chloride	20

ที่มา: สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม, 2555

จากมาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปีและค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 24 ชั่วโมง เป็นค่ามาตรฐานที่ใช้ในการเฝ้าระวังสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศเท่านั้น ซึ่งหากจะตรวจวิเคราะห์เพื่อตัดสินว่าเป็นกลิ่นที่ก่อให้เกิดเหตุรำคาญหรือไม่ เจ้าหน้าที่อาจใช้เครื่องมือ Gas Detector ในการตรวจหาความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายและนำข้อมูลที่ได้มาเทียบกับค่ามาตรฐาน (Odor Threshold) ของ US EPA เพื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นต่ำสุดที่ทำให้ผู้รับกลิ่นสามารถระบุชนิดของกลิ่นได้ หรืออีกวิธีหนึ่งอาจใช้ประสาทสัมผัสของมนุษย์ในการดมกลิ่นโดยตรงเพื่อพิจารณาว่ากลิ่นนั้นกลิ่นที่ก่อให้เกิดเหตุรำคาญหรือไม่ โดยใช้จำนวนคนที่ได้รับกลิ่นเป็นเกณฑ์ในการตัดสิน ทั้งนี้เจ้าหน้าที่หรือบุคคลที่ได้รับการคัดเลือกให้มาทำการประเมินกลิ่นเบื้องต้น ต้องเป็นบุคคลที่มีสุขภาพดี ไม่สูบบุหรี่ ไม่ดื่มเหล้า และไม่ใช้เครื่องหอมประเภทต่าง ๆ โดยจะมีแบบประเมินการได้รับกลิ่นเบื้องต้นซึ่งจะมีระดับความแรงของกลิ่นที่กำหนดขึ้นเทียบเคียง

จากงานวิจัยการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารที่มีกลิ่นกับความแรงของกลิ่น โดยมี ความหมายแต่ละระดับจาก 0 ถึง 5 ดังนี้

- 0 หมายถึง ปราศจากกลิ่นโดยสิ้นเชิง
- 1 หมายถึง มีกลิ่นอ่อน เพียงรับรู้ว่ามีกลิ่น
- 2 หมายถึง มีกลิ่นอ่อน สามารถจำแนกชนิด ประเภทของกลิ่นได้
- 3 หมายถึง มีกลิ่นปานกลาง สามารถรับรู้และแยกแยะความชอบและไม่ชอบได้
- 4 หมายถึง มีกลิ่นแรง รู้สึกเดือดร้อนรำคาญ
- 5 หมายถึง มีกลิ่นรุนแรงมาก จนทนอยู่ในพื้นที่ไม่ได้

2.4.2 ค่ามาตรฐานของวีไอซีต่าง ๆ ที่อนุญาตให้มีในบรรยากาศ (ไพลิน, 2551)

การกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศของวีไอซีในแต่ละประเทศมีรูปแบบที่แตกต่างกัน ประเทศญี่ปุ่นได้กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศของเบนซินโดยมีค่าเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 3 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร ส่วนในยุโรปกำหนดไว้ที่ 5 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร ส่วนวีไอซีภายในอาคาร ได้แก่ โทลูอิน และไซลีน กระทรวงสาธารณสุขของญี่ปุ่นได้กำหนดมาตรฐานไว้ที่ระดับ 260 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร และ 870 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

การกำหนดค่ามาตรฐานของสารวีไอซีในสถานประกอบการเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้เป็นแนวทางบนพื้นฐานของความเสี่ยงต่อการก่อให้เกิดมะเร็ง โดยค่ามาตรฐานที่อนุญาตให้มีสารอินทรีย์ระเหยในสถานประกอบการของแต่ละหน่วยงาน แต่เป็นวีไอซีบางชนิดเท่านั้นที่มีค่ามาตรฐาน ได้รวบรวมไว้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ค่ามาตรฐานของวีไอซีที่อนุญาตให้มีในสถานประกอบการ

สารประกอบ	หน่วยงาน	ปริมาณความเข้มข้น	ปริมาณความเข้มข้น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
BENZENE	ACGIH	0.5 ppm (TWA/8 hr)	1.5×10^3
		2.5 ppm (STEL)	7.9×10^3
	NIOSH	0.1 ppm (TWA/10 hr)	3.1×10^2
		1 ppm (STEL/15 min)	3.1×10^3
	NIOSH	500 ppm (IDLH)	1.5×10^6
	OSHA	1 ppm (TWA/8 hr)	3.1×10^3
5 ppm (STEL/15 min)		1.5×10^4	
CHLOROFORM	ACGIH	10 ppm (TWA)	1.8×10^5

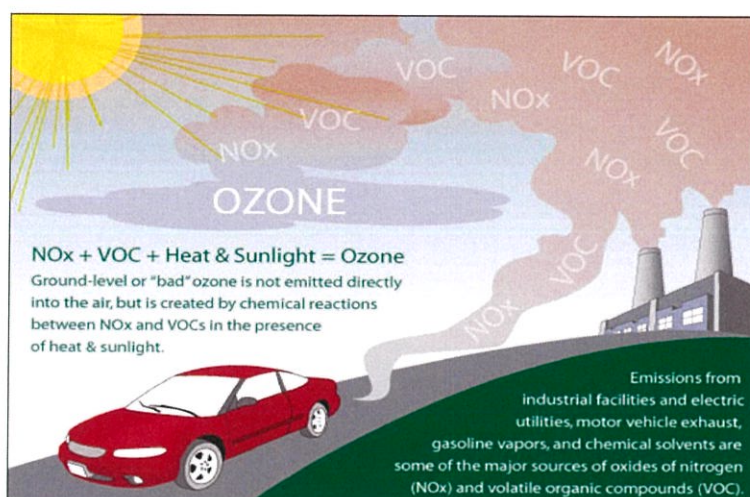
ตารางที่ 2.3 (ต่อ) ค่ามาตรฐานของวิโอดีที่อนุญาตให้มีในสถานประกอบการ

สารประกอบ	หน่วยงาน	ปริมาณความเข้มข้น	ปริมาณความเข้มข้น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	NIOSH	2 ppm (STEL/60	9.78×10^3
	NIOSH	min)	2.4×10^6
	OSHA	500 ppm (IDLH)	2.4×10^5
		50 ppm	
Trichloroethylene	ACGIH	50 ppm (TWA)	2.68×10^5
		200 ppm (STEL)	1.07×10^5
	NIOSH	25 ppm	1.34×10^5
		2 ppm (1 hr)	1.07×10^4
	OSHA	100 ppm (3 hr)	5.37×10^5
		200 ppm (15 min)	1.07×10^6
		600 ppm (5 min)	3.22×10^6
Styrene	ACGIH	20 ppm (TWA)	8.52×10^4
		40 ppm (STEL)	1.7×10^5
	NIOSH	50 ppm (TWA)	2.15×10^5
		100 ppm (STEL)	4.25×10^5
	NIOSH	700 ppm (IDLH)	2.98×10^6
		100 ppm (3 hr)	4.25×10^5
	OSHA	200 ppm (15 min)	8.52×10^5
		600 ppm (5 min)	2.55×10^6
Tetrachloroethylene	ACGIH	50 ppm (TWA)	2.87×10^5
		200 ppm (STEL)	11.46×10^5
	NIOSH	150 ppm (IDLH)	17.22×10^5
	OSHA	100 ppm (8 hr)	11.46×10^5
		200 ppm (15 min)	22.96×10^5
Toluene	ACGIH	100 ppm (TWA)	4.35×10^5
	NIOSH	150 ppm (STEL)	6.55×10^5
		100 ppm (TWA)	4.35×10^5

ตารางที่ 2.3 (ต่อ) ค่ามาตรฐานของวีไอซีที่อนุญาตให้มีในสถานประกอบการ

สารประกอบ	หน่วยงาน	ปริมาณความเข้มข้น	ปริมาณความเข้มข้น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	NIOSH	150 ppm (STEL)	6.52×10^5
	OSHA	900 ppm (IDLH)	3.91×10^5
		100 ppm (TWA)	4.35×10^5
	EU OEL	50 ppm (TWA)	2.17×10^5
			4.35×10^5
<i>p</i> -Xylene	ACGIH	100 ppm (TWA)	4.35×10^5
		150 ppm (STEL)	6.55×10^5
	NIOSH	100 ppm (TWA)	4.35×10^5
		150 ppm (STEL)	6.52×10^5
	NIOSH	900 ppm (IDLH)	3.91×10^5
	OSHA	100 ppm (TWA)	4.35×10^5
	EU OEL	50 ppm (TWA)	2.17×10^5
<i>m</i> -Xylene	ACGIH	100 ppm (TWA)	4.35×10^5
		150 ppm (STEL)	6.55×10^5
	NIOSH	100 ppm (TWA)	4.35×10^5
		150 ppm (STEL)	6.52×10^5
	NIOSH	900 ppm (IDLH)	3.91×10^5
	OSHA	100 ppm (TWA)	4.35×10^5
	EU OEL	50 ppm (TWA)	2.17×10^5
<i>o</i> -Xylene	ACGIH	100 ppm (TWA)	4.35×10^5
		150 ppm (STEL)	6.55×10^5
	NIOSH	100 ppm (TWA)	4.35×10^5
		150 ppm (STEL)	6.52×10^5
	NIOSH	900 ppm (IDLH)	3.91×10^5
	OSHA	100 ppm (TWA)	4.35×10^5
	EU OEL	50 ppm (TWA)	2.17×10^5
		100 ppm (STEL)	4.35×10^5

ที่มา: โพลีน, 2551



รูปที่ 2.9 สารประกอบอินทรีย์ระเหยเป็นต้นเหตุของการเกิดโอโซน
ที่มา: Lewis, 2018

2.4.3 สถิติสะสมจำนวนโรงงานที่ได้รับอนุญาตให้ประกอบกิจการ (เปิดดำเนินการ) ตาม พ.ร.บ.โรงงาน พ.ศ.2535 จำแนกรายหมวดอุตสาหกรรมที่สำคัญตามจำพวก ณ สิ้นปี 2555 (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2535)

- 1) ผลิตภัณฑ์จากพืช (Basic agro-Industry)
- 2) อุตสาหกรรมอาหาร (Food)
- 3) อุตสาหกรรมเครื่องดื่ม (Beverage)
- 4) สิ่งทอ (Textile)
- 5) อุตสาหกรรมเครื่องแต่งกายยกเว้นรองเท้า (Wearing Apparel)
- 6) ผลิตภัณฑ์หนังสัตว์และผลิตภัณฑ์จากหนังสัตว์ (Leather products & Footwear)
- 7) แปรรูปไม้และผลิตภัณฑ์จากไม้ (Wood & Wood products)
- 8) เครื่องเรือนหรือเครื่องตกแต่งในอาคารจากไม้ แก้ว ยาง หรือโลหะอื่น (Furniture & Fixture)
- 9) ผลิตภัณฑ์กระดาษและผลิตภัณฑ์จากกระดาษ (Paper & Paper products)
- 10) การพิมพ์ การเย็บเล่ม ทำปกหรือการทำแม่พิมพ์ (Printing, Publishing, Allied products)
- 11) เคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี (Chemical and Chemical products)
- 12) ปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม (Petroleum and Petroleum products)
- 13) ยางและผลิตภัณฑ์ยาง (Rubber products)
- 14) ผลิตภัณฑ์พลาสติก (Plastic products)
- 15) ผลิตภัณฑ์อโลหะ (Non-metal products)

- 16) ผลิตภัณฑ์โลหะขั้นมูลฐาน (Basic metal products)
- 17) ผลิตภัณฑ์โลหะ (Fabricated products)
- 18) ผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล (Machinery)
- 19) ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ (Electrical Machinery and Supplies)
- 20) ผลิตยานพาหนะและอุปกรณ์ รวมทั้งการซ่อมยานพาหนะและอุปกรณ์ (Transport Equipment)
- 21) การผลิตอื่นๆ (Other Manufacturing Industries)

2.4.4 มาตรฐานองค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (The U.S. Environmental Protection Agency, U.S. EPA) (U.S. Environmental Protection Agency, 1999)

องค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกาถูกมอบหมายหน้าที่โดยรัฐสภาเพื่อปกป้องทรัพยากรของแผ่นดินไม่ว่าจะเป็นแหล่งดิน แหล่งอากาศ และแหล่งน้ำ ภายใต้อำนาจของกฎหมายสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ องค์กรพยายามที่จะกำหนดและดำเนินการการกระทำเพื่อนำไปสู่ความสมดุลระหว่างกิจกรรมของมนุษย์และความสามารถของระบบทรัพยากรที่จะสนับสนุนการใช้ชีวิตของมนุษย์และเพื่อตอบสนองอำนาจของกฎหมายนี้โปรแกรมวิจัยขององค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกาเสนอข้อมูลและวิธีการทางเทคนิคสนับสนุนการแก้ปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันและสร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์เพื่อเป็นพื้นฐานที่จำเป็นในการจัดการทรัพยากรในระบบนิเวศอย่างชาญฉลาด เข้าใจถึงมลพิษที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพและป้องกันหรือลดความเสี่ยงทางสิ่งแวดล้อมในอนาคต โดยวิธีการจะแบ่งเป็นทั้งหมด 17 วิธี

ตารางที่ 2.4 วิธีการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างตามพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยมาตรฐานองค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (U.S. EPA)

วิธีการ	พารามิเตอร์ / เครื่องมือวิเคราะห์
Method TO-1	วิธีการสำหรับการตรวจวัดสารประกอบอินทรีย์ระเหย (VOCs) ในอากาศบริเวณรอบทั่วไป (Ambient Air) โดยการใช้ตัวดูดซับ Tenax และแก๊สโครมาโตกราฟี/แมสสเปกโตรเมตรี (GC/MS)
Method TO-2	วิธีการสำหรับการตรวจวัดสารประกอบอินทรีย์ระเหย (VOCs) ในอากาศบริเวณรอบทั่วไป (Ambient Air) โดยการใช้ตัวดูดซับที่เป็นโครงสร้างที่มีรูพรุนของคาร์บอน (Carbon Molecular Sieve) และแก๊สโครมาโตกราฟี/แมสสเปกโตรเมตรี (GC/MS)

ตารางที่ 2.4 (ต่อ) วิธีการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างตามพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยมาตรฐานองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (U.S. EPA)

วิธีการ	พารามิเตอร์ / เครื่องมือวิเคราะห์
Method TO-3	วิธีการสำหรับการตรวจวัดสารประกอบอินทรีย์ระเหย (VOCs) ในอากาศบริเวณรอบทั่วไป (Ambient Air) โดยการใช้โดยการใช้เทคนิคการเพิ่มความเข้มข้นโดยเทคนิคไครโอเจนิค (Cryogenic Preconcentration Techniques) และแก๊สโครมาโตกราฟีคู่กับ Flame Ionization และวิธีการ Electron Capture
Method TO-4A	วิธีการสำหรับการตรวจวัดยาฆ่าแมลง (Pesticides) และ โพลีคลอริเนต ไบฟีนิล (Polychlorinated Biphenyls) ในอากาศบริเวณรอบทั่วไป (Ambient Air) โดยการเก็บตัวอย่างโดยใช้โฟมโพลียูรีเทนปริมาตรสูง (PUF) จากนั้นนำไปวิเคราะห์โดยใช้แก๊สโครมาโตกราฟี/การตรวจวัดด้วยมวลดีทีเทคเตอร์ (GC/MD)
Method TO-5	วิธีการสำหรับการตรวจวัดสารแอลดีไฮด์และคีโตนในอากาศบริเวณรอบทั่วไป (Ambient Air) โดยการใช้วิธีวิเคราะห์โดยโครมาโตกราฟีของเหลวประสิทธิภาพสูง (HPLC)
Method TO-6	วิธีการสำหรับการตรวจวัดฟอสจีนในอากาศบริเวณรอบทั่วไป (Ambient Air) โดยการใช้วิธีวิเคราะห์โดยโครมาโตกราฟีของเหลวประสิทธิภาพสูง (HPLC)
Method TO-7	วิธีการสำหรับการตรวจวัด N-nitrosodimethylamine (NDMA) ในอากาศบริเวณรอบทั่วไป (Ambient Air) โดยใช้ GC

ตารางที่ 2.4 (ต่อ) วิธีการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างตามพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยมาตรฐานองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (U.S. EPA)

วิธีการ	พารามิเตอร์ / เครื่องมือวิเคราะห์
Method TO-8	วิธีการสำหรับการตรวจวัดฟีนอลและเมทิลฟีนอล (Cresols) ในอากาศบริเวณรอบทั่วไป (Ambient Air) โดยการใช้วิธีวิเคราะห์โดยโครมาโตกราฟีของเหลวประสิทธิภาพสูง (HPLC)
Method TO-9A	วิธีการสำหรับการตรวจวัดพอลิคลอรีเนต (Polychlorinated), พอลิโบรมิเนต (Polybrominated) และ Brominated/Chlorinated Dibenzo-p-Dioxins และ ไดเบนโซฟูราน (Dibenzofurans) ในอากาศบริเวณรอบทั่วไป (Ambient Air) โดยการใช้วิธีวิเคราะห์โดยโครมาโตกราฟีของเหลวประสิทธิภาพสูง (HPLC)
Method TO-10A	วิธีการสำหรับการตรวจวัดยาฆ่าแมลง (Pesticides) และ โพลีคลอรีเนต ไบฟีนิล (Polychlorinated Biphenyls) ในอากาศบริเวณรอบทั่วไป (Ambient Air) โดยการเก็บตัวอย่างโดยใช้โฟมโพลียูรีเทนปริมาตรต่ำ (PUF) จากนั้นนำไปวิเคราะห์โดยใช้แก๊สโครมาโตกราฟี/การตรวจวัดด้วยมวลดีทีทีเคเตอร์ (GC/MD)
Method TO-11A	วิธีการสำหรับการตรวจวัดพอมัลดีไฮด์ในอากาศบริเวณรอบทั่วไป (Ambient Air) โดยการใช้ Cartridge ดูดซับแล้วไปวิเคราะห์ด้วยโครมาโตกราฟีของเหลวประสิทธิภาพสูง (HPLC)
Method TO-12	วิธีการสำหรับการตรวจวัดสารประกอบอินทรีย์ non-methane (NMOC) ในอากาศบริเวณรอบทั่วไป (Ambient Air) โดยการใช้เทคนิคการเพิ่มความเข้มข้นโดยโคโอดิจนิก

ตารางที่ 2.4 (ต่อ) วิธีการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างตามพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยมาตรฐานองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (U.S. EPA)

	(Cryogenic Preconcentration Techniques) และการตรวจวัดโดยใช้ Direct Flame Ionization (PDFID)
Method TO-13A	วิธีการสำหรับการตรวจวัดสารประเภท Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) ในอากาศบริเวณรอบทั่วไป (Ambient Air) โดยการใช้แก๊สโครมาโตกราฟี/แมสสเปกโตรเมทรี (GC/MS)
Method TO-14A	วิธีการสำหรับการตรวจวัดสารประกอบอินทรีย์ระเหย (VOCs) ในอากาศบริเวณรอบทั่วไป (Ambient Air) โดยการใช้การเตรียมถังคานิสเตอร์แบบพิเศษเพื่อนำมาวิเคราะห์ภายหลังด้วยแก๊สโครมาโตกราฟี
Method TO-15	วิธีการสำหรับการตรวจวัดสารประกอบอินทรีย์ระเหย (VOCs) ในอากาศที่ถูกเก็บมาด้วยถังคานิสเตอร์ที่เตรียมแบบพิเศษนำมาวิเคราะห์โดยการใช้แก๊สโครมาโตกราฟี/แมสสเปกโตรเมทรี (GC/MS)
Method TO-16	การแปลง Long-Path Open-Path Fourier การตรวจวัดก๊าซ Atmospheric ด้วยอินฟราเรด
Method TO-17	วิธีการสำหรับการตรวจวัดสารประกอบอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds ,VOCs) ในอากาศบริเวณรอบทั่วไป (Ambient Air) โดยการใช้การเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟสุ่หลอดดูดซับ

ที่มา: U.S. Environmental Protection Agency, 1999

2.4.5 มาตรฐานสถาบันแห่งชาติเพื่อความปลอดภัยในการทำงานและสุขภาพ (The National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH) (National Institute for Occupational Safety and Health, 2017)

มาตรฐานสถาบันแห่งชาติเพื่อความปลอดภัยในการทำงานและสุขภาพ (NIOSH) เป็นหน่วยงานกลางของรัฐบาลสหรัฐที่ทำหน้าที่รับผิดชอบดำเนินการวิจัยและสร้างความคุ้มครองป้องกันงานที่เสี่ยงต่อการบาดเจ็บและสุขภาพ NIOSH เป็นส่วนหนึ่งของศูนย์ควบคุมโรคและป้องกันโรค (CDC) ในกรมอนามัยและบริการมนุษย์ สหรัฐอเมริกา คู่มือหลักการการวิเคราะห์ของ NIOSH คือการรวบรวมการเก็บตัวอย่างที่สมบูรณ์และหลักการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ใช้กันทั่วโลกสำหรับการประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสารของพนักงานที่ประกอบอาชีพในภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ วิธีการเหล่านี้จะอยู่ในคู่มือ NMAM ซึ่งได้รับการประเมินและพิสูจน์เพื่อความถูกต้องในการตรวจวัดพื้นที่ทำงานแล้ว วิธีการของ NIOSH ส่วนใหญ่แล้วจะสนใจในส่วนของการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์อากาศในพื้นที่ทำงาน แต่เช่นเดียวกัน NMAM ยังประกอบไปด้วยหลักการทางชีวภาพ ผิว ผิวหนัง และกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ ภายใน NMAM แต่จะแยกออกจากวิธีการเก็บตัวอย่างอากาศในบริเวณพื้นที่ทำงาน ซึ่งจะแยกออกเป็นบทต่าง ๆ ซึ่งเป็นการอธิบายการประกันคุณภาพในการเก็บตัวอย่าง การพัฒนาวิธีการเก็บตัวอย่างและการประเมินผล การรวบรวมละออง และอื่น ๆ เหล่านี้เป็นข้อมูลที่มีประโยชน์แก่ผู้ใช้วิธีการของ NIOSH ทั้งสิ้น ในแต่ละบทของ NMAM แสดงให้เห็นข้อมูลทางเทคนิคต่าง ๆ ที่สามารถใช้ได้ โดยวิธีการเก็บตัวอย่างแต่ละชนิดแบ่งได้ดังนี้

ตารางที่ 2.5 แนวทางการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างตามพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยมาตรฐานสถาบันแห่งชาติเพื่อความปลอดภัยในการทำงานและสุขภาพ (NIOSH)

วิธีการ	พารามิเตอร์
Method 0500	Particulates not otherwise regulated, total
Method 0501	Particulates N.O.R., total
Method 0600	Particulates not otherwise regulated, respirable
Method 1000	Allyl chloride
Method 1001	Methyl chloride
Method 1002	β -Chloroprene
Method 1003	Hydrocarbons, Halogenated
Method 1004	Dichloroethyl ether

ตารางที่ 2.5 (ต่อ) แนวทางการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างตามพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยมาตรฐานสถาบันแห่งชาติเพื่อความปลอดภัยในการทำงานและสุขภาพ (NIOSH)

วิธีการ	พารามิเตอร์
Method 1005	Methylene chloride
Method 1006	Fluorotrichloromethane
Method 1007	Vinyl chloride
Method 1008	Ethylene dibromide
Method 1009	Vinyl bromide
Method 1010	Epichlorohydrin
Method 1011	Ethyl bromide
Method 1012	Difluorodibromomethane
Method 1013	Propylene dichloride
Method 1014	Methyl iodide
Method 1015	Vinylidene chloride
Method 1016	1,1,1 ,2-Tetrachloro-2,2-difluoroethane and 1,1 ,2,2-tetrachloro-1 ,2-difluoroethane
Method 1017	Trifluorobromomethane
Method 1018	Dichlorodifluoromethane, 1,2-Dichlorotetrafluoroethane, and Chlorodifluoromethane, and Chlorodifluoromethane
Method 1019	1,1,2,2-tetrachloroethane
Method 1020	1,1,2-trichloro-1 ,2,2-trifluoroethane
Method 1022	trichloroethylene
Method 1024	1,3-butadiene
Method 1300	Ketones I (desorption in CS ₂)
Method 1301	Ketones II (desorption in 99:1 CS ₂ :methanol)

ตารางที่ 2.5 (ต่อ) แนวทางการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างตามพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยมาตรฐานสถาบันแห่งชาติเพื่อความปลอดภัยในการทำงานและสุขภาพ (NIOSH)

วิธีการ	พารามิเตอร์
Method 1400	Alcohols I (desorption in 99:1 CS ₂ :2-butanol)
Method 1401	Alcohols II (desorption in 99:1 CS ₂ :2-propanol)
Method 1402	Alcohols III (desorption in 95:5 CS ₂ :2-propanol)
Method 1403	Alcohols IV (desorption in 95:5 CH ₂ Cl ₂ :methanol)
Method 1404	Methylcyclohexanol
Method 1450	Ester I
Method 1451	Methyl cellosolve acetate
Method 1452	Ethyl formate
Method 1453	Vinyl acetate
Method 1454	Isopropyl acetate
Method 1457	Ethyl acetate
Method 1458	Methyl acetate
Method 1459	Methyl acrylate
Method 1500	Hydrocarbons, BP 36 - 126 °c
Method 1501	Hydrocarbons, aromatic
Method 1550	Naphthas
Method 1551	Turpentine
Method 1552	Terpenes
Method 1600	Carbon disulfide
Method 1601	1,1-dichloro-1-nitroethane
Method 1602	Dioxane
Method 1603	Acetic acid

ตารางที่ 2.5 (ต่อ) แนวทางการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างตามพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยมาตรฐานสถาบันแห่งชาติเพื่อความปลอดภัยในการทำงานและสุขภาพ (NIOSH)

วิธีการ	พารามิเตอร์
Method 1604	Acrylonitrile
Method 1606	Acetonitrile
Method 1608	Glycidol
Method 1609	Tetrahydrofuran
Method 1610	Ethyl ether
Method 1611	Methylal
Method 1612	Propylene oxide
Method 1613	Pyridine
Method 1614	Ethylene oxide
Method 1615	Methyl tert-butyl ether (mtbe)
Method 1616	N-butyl glycidyl ether
Method 1617	Phenyl ether
Method 1618	Isopropyl ether
Method 1619	Phenyl glycidyl ether
Method 1620	Isopropyl glycidyl ether
Method 2000	Methanol
Method 2002	Amines, aromatic
Method 2003	1,1,2,2-Tetrabromoethane
Method 2004	Dimethylacetamine And dimethylformamide
Method 2005	Nitroaromatic compounds
Method 2007	Aminoethanol compounds I
Method 2008	Chloroacetic acid
Method 2010	Amines, aliphatic
Method 2011	Formic acid by IC
Method 2012	N-butylamine

ตารางที่ 2.5 (ต่อ) แนวทางการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างตามพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยมาตรฐานสถาบันแห่งชาติเพื่อความปลอดภัยในการทำงานและสุขภาพ (NIOSH)

วิธีการ	พารามิเตอร์
Method 2013	Phenyl ether-diphenyl mix
Method 2014	<i>p</i> -chlorophenol
Method 2015	Chloroacetaldehyde
Method 2016	Formaldehyde
Method 2027	Ketones
Method 2500	Methyl ethyl ketone
Method 2501	Acrolein
Method 2504	Tetraethyl pyrophosphate (TEEP)
Method 2505	Furfuryl alcohol
Method 2506	Acetone cyanohydrin
Method 2507	Nitroglycerin/egdn
Method 2508	Isophorone
Method 2510	1-Octanethiol
Method 2513	Ethylene chlorohydrin
Method 2514	Anisidine
Method 2515	Diazomethane
Method 2516	Dichlorofluoromethane
Method 2517	Pentachloroethane
Method 2518	Hexachloro-1,3-cyclopentadiene
Method 2519	Ethyl chloride
Method 2520	Methyl bromide
Method 2521	Methylcyclohexanone
Method 2522	Nitrosamines
Method 2523	1,3-cyclopentadiene
Method 2524	Dimethyl sulfide
Method 2525	n-Butyl mercaptan

ตารางที่ 2.5 (ต่อ) แนวทางการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างตามพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยมาตรฐานสถาบันแห่งชาติเพื่อความปลอดภัยในการทำงานและสุขภาพ (NIOSH)

วิธีการ	พารามิเตอร์
Method 2526	Nitroethane
Method 2527	Nitromethane
Method 2528	2-Nitropropane
Method 2529	Furfural
Method 2530	Diphenyl
Method 2531	Glutaraldehyde
Method 2532	Glutaraldehyde by HPLC/UV
Method 2533	Tetraethyl lead
Method 2534	Tetramethyl lead
Method 2535	Toluene-2,4-diisocyanate (TDI)
Method 2536	Valeraldehyde
Method 2538	Acetaldehyde by GC
Method 2539	Aldehyde, Screening
Method 2540	Ethylenediamine, Diethylenetriamine, & Triethylenetetramine
Method 2541	Formaldehyde [2-(hydroxymethyl)piperidine] by GC
Method 2542	Mercaptans, Methyl-, Ethyl-, n-Butyl-
Method 2543	Hexachlorobutadiene
Method 2544	Nicotine
Method 2545	Allyl glycidyl ether
Method 2546	Cresols and phenol
Method 2549	Volatile organic compounds (screening)
Method 3500	Formaldehyde (chromotropic acid) by VIS
Method 3503	Hydrazine

ตารางที่ 2.5 (ต่อ) แนวทางการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างตามพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยมาตรฐานสถาบันแห่งชาติเพื่อความปลอดภัยในการทำงานและสุขภาพ (NIOSH)

วิธีการ	พารามิเตอร์
Method 3505	Tetramethyl thiourea
Method 3506	Acetic anhydride
Method 3507	Acetaldehyde by HPLC
Method 3508	Methyl Ethyl Ketone peroxide
Method 3509	Aminoethanol compounds ii
Method 3510	Monomethylhydrazine
Method 3511	Monomethylaniline
Method 3512	Maleic anhydride
Method 3513	Tetranitromethane
Method 3514	Ethylenimine
Method 3515	1,1-dimethylhydrazine
Method 3516	Crotonaldehyde
Method 3518	Phenylhydrazine
Method 3700	Benzene by portable GC
Method 3701	Trichloroethylene (portable GC)
Method 3702	Ethylene Oxide (portable GC)
Method 3800	Organic & inorganic gases by extractive spectrometry
Method 4000	Tetranitromethane
Method 5000	Carbon black
Method 5001	2,4-d and 2,4,5-t
Method 5002	Warfarin
Method 5003	Paraquat
Method 5004	Hydroquinone
Method 5005	Thiram
Method 5006	Carbaryl

ตารางที่ 2.5 (ต่อ) แนวทางการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างตามพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยมาตรฐานสถาบันแห่งชาติเพื่อความปลอดภัยในการทำงานและสุขภาพ (NIOSH)

วิธีการ	พารามิเตอร์
Method 5007	Rotenone
Method 5008	Pyrethrum
Method 5009	Benzoyl peroxide
Method 5010	Bromoxynil and bromoxynil octanoate
Method 5011	Ethylene thiourea
Method 5012	EPN
Method 5013	Dyes, Benzidine, o-Dianisidine, and o-Tolidine
Method 5016	Strychnine
Method 5017	Dibutyl phosphate
Method 5018	2,4,7-Trinitrofluoren-9-one
Method 5019	Azelaic acid
Method 5020	Dibutyl phthalate and di(2-ethylhexyl) phthalate
Method 5021	o-terphenyl
Method 5022	Arsenic, organo
Method 5026	Oil mist, mineral
Method 5027	Ribavirin
Method 5029	4,4'-Methylenedianiline (MDA)
Method 5030	Cyanuric acid
Method 5031	Aspartame
Method 5032	Pentamidine isethionate
Method 5033	p-Nitroaniline
Method 5034	Tributyl phosphate
Method 5035	Super absorbent polymer

ตารางที่ 2.5 (ต่อ) แนวทางการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างตามพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยมาตรฐานสถาบันแห่งชาติเพื่อความปลอดภัยในการทำงานและสุขภาพ (NIOSH)

วิธีการ	พารามิเตอร์
Method 5036	Trimellitic anhydride
Method 5037	Triorthocresylphosphate
Method 5038	Triphenyl phosphate
Method 5039	Chlorinated camphene
Method 5040	Diesel particulate matter (as elemental carbon)
Method 5041	Capsaicin and dihydrocapsaicin
Method 5100	Carbon black
Method 5502	Aldrin and lindane
Method 5503	Polychlorobiphenyls
Method 5504	Organotin compounds (as Sn)
Method 5506	Polynuclear aromatic hydrocarbons (HPLC)
Method 5508	Kepone
Method 5509	Benzidine and 3,3'-dichlorobenzidine
Method 5510	Chlordane
Method 5512	Pentachlorophenol
Method 5514	Demeton
Method 5515	Polynuclear aromatic hydrocarbons (GS)
Method 5516	2,4- & 2,6-Toluenediamine (TDA)
Method 5517	Polychlorobenzenes
Method 5518	Naphthylamines
Method 5519	Endrin
Method 5521	Isocyanatés, monomeric
Method 5522	Isocyanates (fluorescence detection)

ตารางที่ 2.5 (ต่อ) แนวทางการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างตามพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยมาตรฐานสถาบันแห่งชาติเพื่อความปลอดภัยในการทำงานและสุขภาพ (NIOSH)

วิธีการ	พารามิเตอร์
Method 5523	Glycols
Method 5524	Metalworking fluids (MWF) all categories
Method 5526	Methyltin chlorides
Method 5600	Organophosphorus pesticides
Method 5601	Organonitrogen pesticides
Method 5700	Formaldehyde on dust (textile or wood)
Method 6001	Arsine
Method 6002	Phosphine
Method 6004	Sulfur dioxide
Method 6005	Iodine
Method 6006	Diborane
Method 6007	Nickel carbonyl
Method 6008	Stibine
Method 6009	Mercury
Method 6010	Hydrogen cyanide
Method 6011	Chlorine and bromine
Method 6012	Sulfuryl fluoride
Method 6013	Hydrogen sulfide by IC
Method 6014	Nitric oxide and nitrogen dioxide
Method 6015	Ammonia
Method 6016	Ammonia by IC
Method 6402	Phosphorus trichloride
Method 6600	Nitrous oxide (field-readable)
Method 6601	Oxygen (field-readable)

ตารางที่ 2.5 (ต่อ) แนวทางการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างตามพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยมาตรฐานสถาบันแห่งชาติเพื่อความปลอดภัยในการทำงานและสุขภาพ (NIOSH)

วิธีการ	พารามิเตอร์
Method 6602	Sulfur hexafluoride by portable gc
Method 6603	Carbon dioxide
Method 6604	Carbon monoxide
Method 7013	Aluminum
Method 7020	Calcium
Method 7024	Chromium by faas
Method 7027	Cobalt
Method 7029	Copper (dust and fume)
Method 7030	Zinc
Method 7048	Cadmium by faas
Method 7056	Barium, soluble compounds
Method 7074	Tungsten (soluble and insoluble)
Method 7082	Lead by flame aas
Method 7102	Beryllium
Method 7105	Lead by GFAAS
Method 7300	Elements by ICP
Method 7302	Elements by ICP (microwave digestion)
Method 7304	Elements by ICP (microwave digestion)
Method 7306	Elements by cellulosic internal capsule sampler
Method 7400	Asbestos and other fibers by PCM
Method 7401	Alkaline dusts
Method 7402	Asbestos fibers by TEM
Method 7500	Silica, crystalline, respirable, by XRD
Method 7501	Silica, amorphous
Method 7502	Zinc oxide

ตารางที่ 2.5 (ต่อ) แนวทางการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างตามพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยมาตรฐานสถาบันแห่งชาติเพื่อความปลอดภัยในการทำงานและสุขภาพ (NIOSH)

วิธีการ	พารามิเตอร์
Method 7504	Vanadium oxides
Method 7505	Lead sulfide
Method 7506	Boron carbide
Method 7600	Chromium, hexavalent
Method 7601	Silica, Crystalline by VIS
Method 7602	Silica, Respirable Crystalline, by IR (KBr pellet)
Method 7603	Quartz In Respirable Coal Mine Dust, by IR (Redeposition)
Method 7604	Chromium, Hexavalent, by IC
Method 7605	Chromium, Hexavalent by Ion Chromatography
Method 7700	Lead in air by chemical spot test
Method 7701	Lead by portable ultrasonic extraction/ASV
Method 7703	Chromium, hexavalent by field-portable spectrophotometry
Method 7704	Beryllium in air by fluorometry
Method 7900	Arsenic (hydride AAS)
Method 7901	Arsenic trioxide (GFAAS)
Method 7902	Fluorides by ISE
Method 7903	Acids, inorganic
Method 7904	Cyanides (aerosol and gas) by ISE
Method 7905	Phosphorus

ตารางที่ 2.5 (ต่อ) แนวทางการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างตามพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยมาตรฐานสถาบันแห่งชาติเพื่อความปลอดภัยในการทำงานและสุขภาพ (NIOSH)

วิธีการ	พารามิเตอร์
Method 7906	Particulate fluorides and hydrofluoric acid by ion chromatography
Method 7907	Volatile acids by ion chromatography
Method 7908	Non-volatile acids - (sulfuric acid and phosphoric acid)
Method 8001	Pentachlorophenol in blood
Method 8002	Methyl ethyl ketone, ethanol and toluene in blood
Method 8003	Lead in blood and urine
Method 8004	Polychlorobiphenyls in serum
Method 8005	Elements in blood or tissue
Method 8007	Toluene in blood
Method 8300	Hippuric acid in urine (VIS)
Method 8301	Hippuric and methyl hippuric acids in urine (HPLC)
Method 8302	Mboca in urine
Method 8303	Pentachlorophenol in urine
Method 8305	Phenol and p-cresol in urine
Method 8306	Benzidine in urine (GC)
Method 8308	Fluoride in urine
Method 8310	Metals in urine (ICP)
Method 8318	2,5-Hexanedione in urine
Method 8319	Acetone and methyl ethyl ketone in urine

ตารางที่ 2.5 (ต่อ) แนวทางการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างตามพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยมาตรฐานสถาบันแห่งชาติเพื่อความปลอดภัยในการทำงานและสุขภาพ (NIOSH)

วิธีการ	พารามิเตอร์
Method 8321	o-Cresol in urine
Method 8322	Trichloroacetic acid in urine
Method 8324	3-Bromopropionic acid in urine
Method 8326	S-benzylmercapturic acid and s-phenylmercapturic acid in urine
Method 9000	Asbestos, chrysotile by XRD
Method 9002	Asbestos (bulk) by PLM
Method 9100	Lead in surface wipe samples
Method 9101	Chromium, hexavalent, in settled dust samples
Method 9106	Methamphetamine and illicit drugs, precursors and adulterants on wipes by liquid-liquid extraction
Method 9109	Methamphetamine and illicit drugs, precursors and adulterants on wipes by solid-phase extraction
Method 9110	Beryllium in surface wipes by fluorometry
Method 9111	Methamphetamine on wipes by LC/MS

ที่มา: National Institute for Occupational Safety and Health, 2017

2.4.6 มาตรฐานคณะกรรมการบริหารงานความปลอดภัยและสุขภาพอนามัยการประกอบอาชีพ (Occupational Safety and Health Administration, OSHA) (Occupational Safety & Health Administration, 2016)

ในปี ค.ศ.1970 รัฐสภาสหรัฐอเมริกาและประธานาธิบดี ริชาร์ด นิกสัน ได้สร้างมาตรฐานคณะกรรมการบริหารงานความปลอดภัยและสุขภาพอนามัยการประกอบอาชีพ (OSHA) ขึ้น หน่วยงานสาธารณสุขได้ทุ่มเทให้กับเรื่องพื้นฐานที่ว่าไม่มีคนงานใดๆควรจะต้องเลือกระหว่างชีวิตและงานของพวกเขา ซึ่งได้ผ่านการสนับสนุนและสร้าง OSHA ขึ้นเป็นช่วงเวลาแห่งประวัติศาสตร์ของการร่วมมือก่อตั้งขึ้น

กฎของ OSHA ระบุชัดเจนถึงสถานที่หรือพื้นที่ทำงานที่มีความปลอดภัยซึ่งเป็นสิทธิขั้นพื้นฐานของมนุษย์ เป้าหมายของ OSHA นั้นรัฐสภาสหรัฐอเมริกาได้สร้าง OSHA ขึ้นเพื่อรับรองความปลอดภัยและสุขภาพที่ดีในการทำงานของมนุษย์ไม่ส่าจะเป็นผู้ขายหรือผู้หญิงโดยกำหนดและบังคับใช้มาตรฐานและสนับสนุนด้านการอบรมความรู้ การศึกษา และการช่วยเหลือ

ในส่วนของคู่มือทางเทคนิคของ OSHA ที่เกี่ยวข้องกับการเก็บตัวอย่างอากาศที่ปนเปื้อนแหล่งอ้างอิงอื่น ๆ คือข้อมูลการเก็บตัวอย่างทางเคมีของ OSHA (CSI) และเป็นคู่มือการทำงานภาคสนามของ OSHA (FOM) การเก็บตัวอย่างและวิธีวิเคราะห์ตัวอย่างได้รับการตรวจสอบโดย OSHA หรือสถาบันแห่งชาติเพื่อความปลอดภัยในการทำงานและสุขภาพ (NIOSH) บางครั้งศูนย์เทคนิค Salt Lake (Salt Lake Technical Center, SLTC) ก็จะมีอนุมัติการใช้วิธีการที่พัฒนามาจากองค์กรอื่น ๆ ด้วยเช่นกัน ขั้นตอนในการเก็บตัวอย่างที่เกี่ยวข้องกับโครงการพิเศษนี้คือสารกลุ่ม BTEX จะอยู่ในส่วนของการเก็บตัวอย่างไอระเหยอินทรีย์และก๊าซ

2.5 การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ระเหย (รัฐเขต, 2552)

การวิเคราะห์สารวีไอซีแบ่งได้เป็น 2 วิธีใหญ่ ๆ คือการตรวจวัดแบบทราบผลทันที (real time measurement) และการเก็บอากาศไว้ในภาชนะปิดสนิทหรือสารดูดซับแล้วนำไปวิเคราะห์ในภายหลัง

2.5.1 การตรวจวัดและวิธีการเก็บตัวอย่างสารวีไอซี

2.5.1.1 เครื่องมือตรวจวัดชนิดพกพา (real time measurement)

เป็นเครื่องมือที่สามารถตรวจวัดสารวีไอซีในบริเวณที่มีการปนเปื้อนของสารวีไอซี ณ เวลานั้น ๆ ซึ่งสามารถทราบผลได้อย่างรวดเร็ว เครื่องมือตรวจวัดชนิดพกพา ได้แก่ เครื่องตรวจวัดสารวีไอซีชนิดแก๊สโครมาโตกราฟี/แมสสเปกโตรมิเตอร์แบบพกพา (field-portable gas chromatograph/ mass spectrometer (GC/MS) เครื่องตรวจวัดชนิดโฟโตอะคูสติก สเปกโตรสโคปี (photoacoustic spectroscopy, PAS) เครื่องมือตรวจวัดชนิดอินฟราเรด สเปกโตรสโคปี (IR spectroscopy) เครื่องมือเหล่านี้ได้ถูกเรียกว่าจุ่มกือเล็กทรอนิกส์

ข้อดี สามารถทราบค่าความเข้มข้นของสารวีไอซีในบริเวณที่ทำการตรวจวัดได้ทันที

ข้อเสีย ต้องทำการปรับเทียบเครื่องมือกับสารวีไอซีที่ต้องการจะวัดทุกครั้งที่จะทำการวิเคราะห์ เครื่องมือมีราคาสูงมาก ในการตรวจวัดในระดับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยต่ำ ๆ จะไม่สามารถตรวจพบเมื่อเทียบกับการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

2.5.1.2 วิธีการเก็บอากาศไว้ในภาชนะปิดสนิทหรือสารดูดซับแล้วนำไปวิเคราะห์ในภายหลัง

การเก็บตัวอย่างสามารถทำได้โดยใช้เทคนิคในการเก็บตัวอย่าง ได้แก่ การเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ (active air sampling) หรือการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ (passive air sampling) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.5.1.2.1 การเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟ (Active air sampling)

การเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟเป็นการเก็บกำหนดปริมาตรของอากาศที่ต้องการให้ไหลผ่านสารดูดซับที่บรรจุภายในหลอดเก็บตัวอย่างอากาศหรือภาชนะปิดสนิท โดยการปรับอัตราการไหลของอากาศจากปั๊มดูดอากาศเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการเก็บตัวอย่างสารไวโอลซีภายในอาคาร วิธีการเก็บตัวอย่างแบบแอคทีฟแบ่งได้ดังนี้

1) การเก็บตัวอย่างอากาศทั้งหมด (Whole air sampling)

เป็นการเก็บตัวอย่างโดยการใช้ปั๊มดูดอากาศในปริมาณที่ต้องการเข้าไปเก็บในภาชนะปิดสนิท ได้แก่ ถุงโพลีเมอร์ (Tedlar, Teflon or Mylar) หรือถังแคนิสเตอร์ (เช่น SUMMA หรือ silocan canisters) การดูดอากาศเข้ามายังภาชนะบรรจุเป็นวิธีที่สะดวกรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเก็บตัวอย่างอากาศที่ไม่กำหนดช่วงเวลาในการเก็บ

ข้อดี สามารถทำการวิเคราะห์สารซ้ำได้ด้วยตัวอย่างเดียว ไม่มีการเกิดการรั่วไหลออกจากภาชนะที่เก็บตัวอย่าง (breakthrough) ไม่ต้องใช้ไฟฟ้าเนื่องจากการดูดอากาศด้วยกระบวนการสุญญากาศสามารถวิเคราะห์หาสารไวโอลซีได้ในช่วงกว้าง

ข้อเสีย การเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารไวโอลซีภายในถัง การดูดติดบนผนังของภาชนะ และการควบแน่นของน้ำในภาชนะที่เก็บตัวอย่าง ทำให้สารไวโอลซีบางชนิดหายไป (Hsieh and Tsai, 2003) ปัญหาเหล่านี้แก้ไขโดยถุงเก็บอากาศชนิดเทดลาร์ (Tedlar bag) จะต้องมีวัสดุที่หีบคลุมทับไว้ ส่วนพื้นผิวด้านในของแคนิสเตอร์ควรเคลือบผิวด้วยกระบวนการอิเล็กโทรโรลซีส (electroplated) หรือเคลือบด้วยซิลอกเซน (siloxane) และมีราคาสูงและการเคลื่อนย้ายใช้พื้นที่มาก



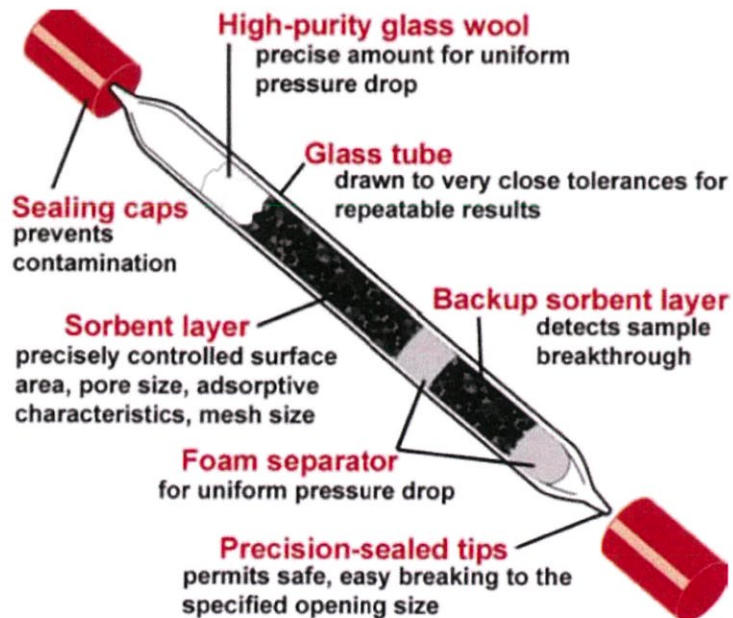
รูปที่ 2.10 ถังแคนิสเตอร์สำหรับเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหย

ที่มา: Holt, 2018

แม้ว่าการเก็บตัวอย่างลักษณะนี้จะมีข้อเสียอยู่บ้าง แต่ก็ยังเป็นทางเลือกหนึ่งในการเก็บตัวอย่างและกักเก็บสารวิโอซีที่มีคาร์บอนสูง (สารประกอบที่มี C_2-C_4) และสารประกอบที่เกิดปฏิกิริยาได้ง่าย เช่น เทอร์พีน (terpene) และ แอลดีไฮด์ (aldehyde) (Betterman. *et al.*, 1998) มีการศึกษาการเก็บตัวอย่างสารวิโอซีจำนวน 56 ชนิด ประกอบด้วยสารกลุ่มแอลคีนที่มีความไวในการเกิดปฏิกิริยาด้วยถังคาร์นิสเตอร์ชนิด SUMMA และถุงเตตลาร์เป็นระยะเวลา 30 วัน โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารวิโอซีภายในถัง (Hsieh and Tsai, 2003)

2) การเก็บตัวอย่างด้วยหลอดเก็บตัวอย่างอากาศที่ภายในบรรจุสารดูดซับ (Sampling onto Sorbent Tube)

การเก็บตัวอย่างอากาศด้วยหลอดเก็บตัวอย่างอากาศที่บรรจุด้วยสารดูดซับ โดยการดูดอากาศผ่านสารดูดซับด้วยปั๊มดูดอากาศในอัตราคงที่ทำให้ทราบปริมาณอากาศที่แน่นอนขณะที่อากาศผ่านสารดูดซับ อากาศจะถูกดูดซับไว้บนสารดูดซับด้วยแรงระหว่างโมเลกุล สารดูดซับที่นิยมใช้ในการเก็บสารวิโอซีแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ สารดูดซับชนิดโพลิเมอร์ที่มีรูพรุน (porous polymer-based sorbent) เป็นสารดูดซับที่เป็นประจุลบ ได้แก่ Tenax และ Chromosorb และสารดูดซับชนิดคาร์บอน (carbon-based sorbents) เป็นสารดูดซับที่ไม่มีขั้ว ได้แก่ activated charcoal, graphited carbon blacks, carbotraps, anasorb, carboxens และ carbosieve และสารดูดซับชนิดซิลิกาเจล (silica gels) เป็นสารดูดซับที่เป็นประจุบวก ได้แก่ activated silica gel



รูปที่ 2.11 องค์ประกอบหลอดดูดซับ

ที่มา: รัฐเขต, 2552

สารดูดซับชนิดโพลิเมอร์ที่มีรูพรุนและสารดูดซับชนิดคาร์บอนนิยมใช้ในการเก็บตัวอย่างสารไวโอสี การเลือกใช้สารดูดซับต้องดูประสิทธิภาพในการดูดซับและการขับหลุดออกจากผิว (desorption) สำหรับการดูดซับสารไวโอสีที่ต้องการทราบ อีกทั้งยังต้องดูเสถียรของสารไวโอสีที่ดูดซับไว้บนสารดูดซับด้วย ปริมาณสารไวโอสีที่ถูกดูดซับไว้บนสารดูดซับขึ้นอยู่กับปริมาณสารดูดซับที่บรรจุภายในหลอดเก็บตัวอย่าง ซึ่งหลอดเก็บตัวอย่างมาตรฐานจะมีความยาว 16 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 6 มม. และมีปริมาณสารดูดซับภายในหลอดหนัก 0.1 – 1 กรัม (Mattinen. *et al.*, 1995) วัสดุที่ใช้ทำหลอดเก็บอาจเป็นสแตนเลสสตีลหรือแก้วพารามเตอร์ที่ต้องพิจารณาในการเลือกใช้สารดูดซับอีกก็คือ การไม่ดูดซับน้ำ (hydrophobicity) การทนความร้อน (thermostability) และความสามารถในการดูดซับ (loadability) ความชื้นส่งผลต่อการดูดซับเนื่องจากสารดูดซับจะดูดความชื้นไว้ที่ผิวทำให้ความเข้มข้นที่ได้ต่ำกว่าที่ควรเป็น อีกสิ่งหนึ่งที่ต้องตระหนักก็คือไม่ควรเกิด breakthrough หรือการอิ่มตัวของสารดูดซับภายในหลอดเก็บตัวอย่าง เนื่องจากจะทำให้ผลการวิเคราะห์คลาดเคลื่อนได้ การตรวจสอบการหลุดออกของสาร (breakthrough) ของหลอดเก็บตัวอย่างทำโดยการต่อหลอดเก็บตัวอย่าง 2 หลอดต่อกัน เมื่อนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารที่วิเคราะห์ได้ในหลอดที่ 2 (back up tube) ต้องไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ของหลอดแรกจึงจะเป็นที่ยอมรับได้ (U.S. Environmental Protection Agency, 1999) สารดูดซับที่นิยมใช้ในการเก็บสารไวโอสีคือ เทเน็กซ์ (Tenax-TA poly (2,6-diphenyl-*p*-phenylene oxide)) ซึ่งมีคุณสมบัติในการทนความร้อนสูง ไม่ดูดซับน้ำ และมีประสิทธิภาพในการขับหลุดออกจากผิวที่ดีและดูดซับสารไวโอสีได้ในช่วงคาร์บอนกว้าง (C₅-C₆, ถึง C₁₈) การใช้ Tenax-TA จะต้องระวังการทำปฏิกิริยากับโอโซนและ NO_x ซึ่งจะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของสารดูดซับและเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกับสารไวโอสีบนสารดูดซับทำให้ได้ผลผิดจากความจริง การแก้ไขสามารถทำได้โดยใช้เครื่องกำจัดโอโซน (ozone scrubber) ต่อก่อนเข้าหลอดเก็บตัวอย่างอากาศ ในบางครั้งสารดูดซับชนิดเดียวอาจไม่ครอบคลุมช่วงกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการทราบดังนั้นจึงมีการใช้สารดูดซับ 2 ชนิดร่วมกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับสารไวโอสีได้ ในช่วงที่กว้างกว่าเดิม ตัวอย่างเช่น Anasorb GCB1, Carbotrap, Carbopack C และ Carbosieve SIII เป็นต้น (Zuraimi. *et al.*, 2003 และ Wu. *et al.*, 2002)

2.5.1.2.2 การเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ (Passive air sampling)

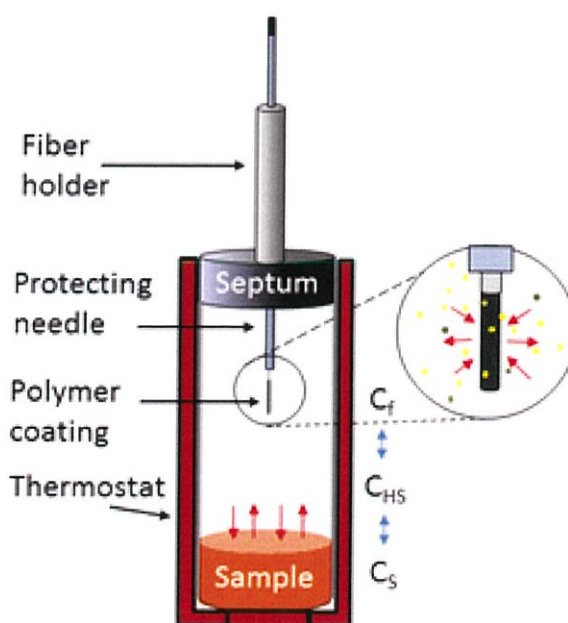
การเก็บตัวอย่างโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของโมเลกุลแก๊สจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ ณ สภาวะ steady state โดยอาศัยการดูดซึมทางเคีหรือการดูดซับด้านกายภาพบนตัวกลาง (medium) (สาวิตรี, 2548) ดังนั้นวิธีการเก็บอากาศแบบพาสซีฟนี้จึงไม่ต้องใช้ปั๊มในการดูดอากาศให้ผ่านตัวกลาง วิธีการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟแบ่งได้ดังนี้

- 1) การเก็บตัวอย่างด้วยหลอดเก็บตัวอย่างอากาศที่บรรจุสารดูดซับ (Passive Sampling onto Sorbent Tubes)

การเก็บตัวอย่างอากาศด้วยหลอดเก็บตัวอย่างอากาศที่ภายในบรรจุสารดูดซับนี้แตกต่างกับวิธีการเก็บแบบแอกทีฟคือ วิธีพาสซีฟนี้จะไม่ใช้ปั๊มในการดูดอากาศผ่านหลอดเก็บตัวอย่างที่บรรจุสารดูดซับ แต่จะเป็นการปล่อยให้อากาศไหลผ่านสารดูดซับโดยกระบวนการแพร่ของโมเลกุลของแก๊สแทน ประเภทของสารดูดซับจะเหมือนกับสารดูดซับในการเก็บแบบแอกทีฟทุกประการ อัตราการแพร่ของแก๊สเข้าสู่หลอดเก็บตัวอย่างที่เก็บภายในอาคารด้วยสารดูดซับต่างชนิดกันนี้อัตราการแพร่ของแก๊สเข้าสู่หลอดเก็บตัวอย่างอยู่ในช่วง 0.8 – 15 นน.ก. พีพีเอ็ม⁻¹ นาที่⁻¹ การเก็บตัวอย่างด้วยวิธีนี้ค่อนข้างจะใช้เวลาหลายชั่วโมงหรือหลายวันแต่ก็ยังเป็นวิธีที่นิยมในการศึกษาการรับสัมผัสสารวิโอซีของผู้คน เนื่องจากสะดวกในการติดตั้งและสามารถเก็บตัวอย่างในการศึกษาได้มากแต่ข้อจำกัดของวิธีนี้ คือเราไม่สามารถทราบปริมาณของอากาศที่ผ่านเข้าหลอดเก็บตัวอย่างอากาศ และยังมีปัจจัยที่ส่งผลต่อผลการวิเคราะห์ที่ได้แก่ ระยะเวลาในการเก็บ ความเร็วลม ณ เวลาเก็บ ความชื้น อุณหภูมิ เป็นต้น

2) Solid-Phase Microextraction (SPME)

การเก็บตัวอย่างโดยวิธี SPME เป็นการเก็บตัวอย่างสารวิโอซีที่อยู่ในรูปของแก๊ส ของแข็ง และของเหลว โดยอาศัยการแพร่ของแก๊สเข้ามายังผิวของโพลิเมอร์ที่เคลือบไว้บนเส้นใยซิลิกาไฟเบอร์ (silica fiber) ที่ทำหน้าที่ดูดสารวิโอซีไปเก็บไว้ในขวดเก็บตัวอย่าง ชนิดของโพลิเมอร์ที่เคลือบผิว เช่น polydimethylsiloxane (PDMS), PDMS/divinylbenzene และ corboxen/PDMS



รูปที่ 2.12 การเก็บตัวอย่างโดยวิธี SPME

ที่มา: รัฐเขต, 2552

ตารางที่ 2.6 ตัวดูดซับและตัวสกัดที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง/วิเคราะห์สารกลุ่ม BTEX และเทคนิคในการวิเคราะห์

สารเคมี	วิธีการ	ตัวกลางดูดซับสาร	ตัวสกัด	เทคนิคการวิเคราะห์
เบนซีน (benzene)	NIOSH 1501	Coconut shell charcoal	Carbon disulfide (CS ₂)	GC-FID
โทลูอีน (toluene)	NIOSH 1501	Coconut shell charcoal	Carbon disulfide (CS ₂)	GC-FID
เอทิลเบนซีน (ethylbenzene)	NIOSH 1501	Coconut shell charcoal	Carbon disulfide (CS ₂)	GC-FID
ไซลีน (xylene)	NIOSH 1501	Coconut shell charcoal	Carbon disulfide (CS ₂)	GC-FID

ที่มา: National Institute for Occupational Safety and Health, 1996

ตารางที่ 2.7 อัตราการไหล ปริมาตร ความจุ ช่วงการเก็บ ร้อยละความผิดพลาดและความแม่นยำทั้งหมดตามมาตรฐาน NIOSH Method 1501

สาร	การเก็บตัวอย่าง		การทะลุผ่าน		ช่วงการเก็บที่ ปริมาณ - นาที่ (มก./ ลบ.ม.)	ทั้งหมด		ความถูกต้อง ± (%)	
	อัตราการไหล ^a (ลิตร/ นาที่)	ปริมาตร ^b (ลิตร)		ปริมาตร ณ ความเข้มข้น		ความคลาด เคลื่อน (%)	ความแม่นยำ (%)		
		น้อย สุด	มาก สุด	(ลิตร)					(มก./ ลบ. ม.)
เบนซีน	≤0.20	5	30	>45	149	42 - 165	-0.4	0.059	11.4
p-tert- บิวทิลโทลู อีน	≤0.20	1	29	44	112	29 - 119	-10.3	0.071 ^c	20.7
คิวมีน	≤0.20	1	30	>45	480	120 - 480	5.6	0.059	15.2
เอทิลเบน ซีน	≤0.20	1	24	35	917	222-884	-7.6	0.089 ^c	17.1

ตารางที่ 2.7 (ต่อ) อัตราการไหล ปริมาตร ความจุ ช่วงการเก็บ ร้อยละความผิดพลาดและความแม่นยำทั้งหมด ตามมาตรฐาน NIOSH Method 1501

สาร	การเก็บตัวอย่าง		การทะลุผ่าน		ช่วงการเก็บที่ ปริมาตร - นาที่ (มก./ ลบ.ม.)	ทั้งหมด		ความ ถูกต้อง ± (%)	
	อัตราการ ไหล ^a (ลิตร/ นาที่)	ปริมาตร ^b (ลิตร)		ปริมาตร ณ ความเข้มข้น		ความคลาด เคลื่อน (%)	ความ แม่นยำ (%)		
		น้อย สุด	มาก สุด	(ลิตร)					(มก./ ลบ. ม.)
เอทิลเบน ซีน	≤0.20	1	24	35	917	222 - 884	-7.6	0.089 ^c	17.1
α- เมทิลสไต รีน	≤0.20	1	30	>45	940	236 - 943	-7.6	0.061 ^c	16.9
β- เมทิลสไต รีน	≤0.20	1	30	>45	940	236 - 943	-7.6	0.061	16.9
โทลูอีน	≤0.20	1	8	12	2294	548 - 2190	1.6	0.052	10.9
ไซลีน (o- ,m-,p-)	≤0.20	2	23	35	870	218 - 870	-1.2	0.060	12.2
สไตรีน	≤1.00	1	14	21	1710	426 - 1710	-7.9	0.058 ^c	16.7

ที่มา: National Institute for Occupational Safety and Health, 1996

^a อัตราการไหลที่แนะนำต่ำสุดคือ 0.01 ลิตร/นาที่

^b V_{Min} = ปริมาตรตัวอย่างต่ำสุด @ OSHA TWA;

V_{Max} = ปริมาตรตัวอย่างมากที่สุด @ OSHA TWA

^c ค่าที่รวบรวมได้คำนวณจากข้อมูลอ้างอิง 5

2.6 การจำแนกชนิดของสารวิโอซีด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ (ธนัญญา, 2557)

เทคนิค แก๊สโครมาโตกราฟีเป็นเทคนิคหนึ่งของการวิเคราะห์ด้วยวิธีโครมาโตกราฟีที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เพราะมีความสามารถแยกและวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีองค์ประกอบซับซ้อนได้ และยังให้ผลเที่ยงตรงรวดเร็วกว่า ลิกวิดโครมาโตกราฟี และ แก๊สโครมาโตกราฟี มีเทคนิคในการวิเคราะห์ 3 วิธี (ชุตินา, 2546) คือ

- 1) การใช้เฟสอยู่กับที่เป็นของแข็ง เรียกว่า “gas-solid chromatography” (GSC)
- 2) การใช้เฟสอยู่กับที่เป็นของเหลว เรียกว่า “gas-liquid chromatography” (GLC)
- 3) การใช้เฟสอยู่กับที่เป็นสารอินทรีย์ที่สร้างพันธะกับพื้นผิวของแข็ง เรียกว่า “gas-bonded phase chromatography”

ซึ่งทั้งสามวิธีนี้มีเฟสเคลื่อนที่ได้เป็นก๊าซ เทคนิคทั้งสามได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ โดยเทคนิคของ GLC เป็นที่นิยมมากที่สุด แก๊สโครมาโตกราฟีใช้กับสารที่สามารถระเหยกลายเป็นไอได้ อนุกรมของคอลัมน์เท่านั้น ดังนั้นวิธีการของ แก๊สโครมาโตกราฟีจึงเป็นเทคนิคที่ใช้ในการแยกสารประกอบอินทรีย์เท่านั้น เพราะสารประกอบอินทรีย์สามารถกลายเป็นไอได้ง่าย แต่ใช้ไม่ได้สำหรับการวิเคราะห์สารประกอบอินทรีย์เพราะสารประกอบอินทรีย์ไม่สามารถกลายเป็นไอได้ในอุณหภูมิปกติ (ที่ทำการทดลอง) ของคอลัมน์ นอกจากนี้วิธี แก๊สโครมาโตกราฟีสามารถใช้ในการวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ ซึ่งเครื่องมือวิเคราะห์ที่ใช้สำหรับบ่งบอกชนิดของสารวิโอซีมีหลายประเภท ส่วนใหญ่จะใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี คู่กับเฟรมไอออนไนท์เซชันดีเทกเตอร์ (Flame-ionization detectors, FID) อิเล็กตรอนแคปเจอร์ดีเทกเตอร์ (Electron Capture Detector, ECD) หรือแมสสเปกโตรมิเตอร์ (Mass Spectrometer) GC/MS

2.6.1 หลักการของแก๊สโครมาโตกราฟี

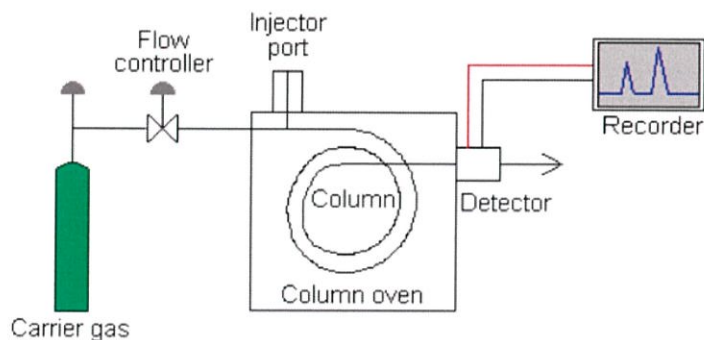
หลักการของ แก๊สโครมาโตกราฟี คือ เฟสเคลื่อนที่ต้องเป็นก๊าซและสารตัวอย่างที่ฉีดลงในคอลัมน์ต้องมีสภาพเป็นไอตั้งแต่บริเวณส่วนบนสุดของคอลัมน์ สารตัวอย่างออกจากคอลัมน์โดยเฟสเคลื่อนที่ เรียกว่า ตัวพา (carrier) สำหรับตัวพาที่ใช้ต้องเป็นก๊าซเฉื่อย เช่น ไนโตรเจน หรือ ฮีเลียม อัตราเร็วของการเคลื่อนที่ของสารตัวอย่างแต่ละชนิดในคอลัมน์ขึ้นอยู่กับอัตราการละลายของสารตัวอย่างนั้น ๆ ในเฟสอยู่กับที่หรือขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์ของการกระจาย

2.6.2 เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี

เครื่องมือ แก๊สโครมาโตกราฟีมีส่วนประกอบหลายส่วนโดยแบบ GSC และ GLC จะมีส่วนประกอบต่างๆ เหมือนกัน แตกต่างกันเฉพาะชนิดของสารที่บรรจุในคอลัมน์ส่วนประกอบหลักๆของเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี คือ ต้องมีแก๊สตัวพา ตัวควบคุมการไหลของแก๊ส บริเวณที่ฉีดตัวอย่างเข้าสู่

คอลัมน์ คอลัมน์ที่ใช้ในการแยกที่อยู่ในตัวควบคุมอุณหภูมิ และจะมีตัวตรวจวัดที่คอยแปลงค่าที่วัดได้ แสดงออกมาในรูปของโครมาโตแกรมให้เห็นดังแสดงรูปที่ 2.13

ก๊าซตัวพาบรรจุไว้ในถังที่สามารถควบคุมความดันของก๊าซที่ปล่อยออกมาได้ สารตัวอย่างที่ถูกฉีดเข้าไปในเครื่องก่อนเข้าสู่คอลัมน์ต้องถูกความร้อนทำให้กลายเป็นไอ หลังจากนั้นจะผ่านเข้าไปในคอลัมน์ โดยมีก๊าซเป็นตัวพา หลังจากนั้นสารตัวอย่างออกจากคอลัมน์โดยก๊าซตัวพาเข้าสู่เครื่องตรวจดีเทคเตอร์ (Detector) ดีเทคเตอร์จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณของสารตัวอย่างให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า และแสดงผลออกมาทางหน้าจอคอมพิวเตอร์หรือส่งไปยังเครื่องบันทึกเครื่องบันทึกจะบันทึกเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับสัญญาณที่ได้รับจากเครื่องดีเทคเตอร์ (Detector Response) แปรผลออกมาเป็นโครมาโตแกรม



รูปที่ 2.13 ส่วนประกอบหลักของเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี

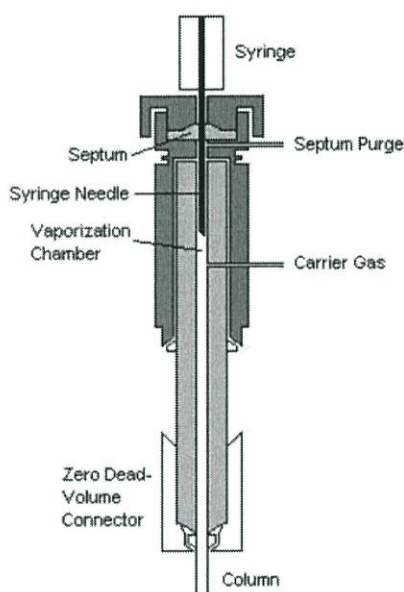
ที่มา: Pandey, 2018

2.6.3 ส่วนประกอบของเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (จันคณา, 2543)

2.6.3.1 ก๊าซตัวพา (Carrier Gas) ก๊าซที่เป็นก๊าซตัวพาต้องเป็นก๊าซเฉื่อยที่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารตัวอย่าง โดยทั่วไปก๊าซที่ใช้ คือ ฮีเลียม ไนโตรเจน และอาร์กอน ก๊าซเหล่านี้ไม่เป็นพิษต่อผู้ทดลอง ความเป็นจริงแล้วก๊าซไฮโดรเจนใช้ได้ผลดีที่สุดแต่ไม่ค่อยนิยมใช้เพราะเกิดอันตรายได้ง่าย สำหรับอัตราการไหลของก๊าซตัวพามีความสำคัญคือมีผลต่อค่าเวลาเอกลิคซ์ (retention time) ขององค์ประกอบของสารตัวอย่างที่ผ่านในคอลัมน์ ถ้าอัตราการไหลเร็วจะทำให้องค์ประกอบของสารออกจากคอลัมน์ได้เร็ว และลักษณะพีคจะกว้าง แต่ถ้าไหลช้าจะทำให้ความสูงของพีคเพิ่มขึ้นดังนั้นการควบคุมการไหลของก๊าซตัวพาจึงเป็นสิ่งสำคัญมาก การควบคุมการไหลของก๊าซทำได้โดยการควบคุมความดัน

2.6.3.2 ระบบฉีดสารตัวอย่าง (Sample Injection System) การฉีดสารตัวอย่างลงสู่คอลัมน์ต้องใส่ให้มีปริมาณน้อยที่สุดและรวดเร็วที่สุด สารตัวอย่างจะมีคุณลักษณะเป็นก๊าซหรือของเหลวก็ได้ ถ้าเป็น

ของเหลวจะต้องถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซก่อนที่จะเข้าคอลัมน์ด้วยความร้อนตรงส่วนที่ฉีดสารตัวอย่าง เทคนิคในการนำสารตัวอย่างเข้าไปในคอลัมน์ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของสารตัวอย่าง เช่น สารตัวอย่างเป็นของเหลวนำเข้าสู่คอลัมน์โดยใช้ไซริงค์ (Syringe) โดย ไซริงค์ที่ใช้ต้องเป็นชนิด ไมโคร (Micro) เมื่อฉีดสารตัวอย่างก่อนเข้าสู่คอลัมน์จะถูกเปลี่ยนให้เป็นไออย่างรวดเร็ว ณ บริเวณที่เรียกว่า Sample chamber ซึ่งบริเวณนี้ต้องมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของสารตัวอย่างแต่ต้องไม่สูงจนทำให้สารตัวอย่างเกิดการสลายตัวได้จากนั้นก๊าซตัวพาจะพาสารตัวอย่างเข้าสู่คอลัมน์ดังแสดงรูปที่ 2.14

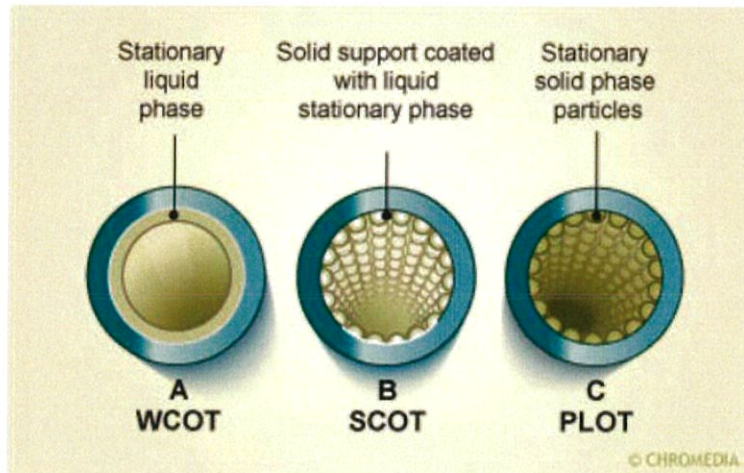


รูปที่ 2.14 ส่วนประกอบของระบบฉีดสารตัวอย่างของ GC

ที่มา: Thet and Woo, 2018

2.6.3.3 คอลัมน์ (COLUMN) คอลัมน์ที่ใช้มี 2 ชนิด ได้แก่ Packed column คอลัมน์ชนิดนี้มีทั้งแบบที่ทำด้วยแก้วและโลหะ มีลักษณะเป็นหลอดที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในประมาณ 1- 8 mm มีความยาว 2 - 20 m ถ้ามีความยาวมาก ๆ หลอดคอลัมน์จะถูกขดเป็น coil เพื่อให้บรรจุลงในเตา (oven) ได้ และ Capillary column คอลัมน์ชนิดนี้ใช้ได้เฉพาะการวิเคราะห์แบบ GLC เท่านั้น ความยาวของคอลัมน์มีค่ามากตั้งแต่ 10 - 100 m หรือมากกว่า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.2 - 0.5 mm Capillary column ทำด้วยหลอดแก้ว เพราะที่อุณหภูมิสูงๆ โลหะสามารถเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีได้หลายชนิด ตามปกติอุณหภูมิของคอลัมน์ต้องสูงกว่าจุดเดือดของสารตัวอย่าง 10 °C - 25 °C การใช้ Capillary column ในการทำ GLC ไม่ต้องใช้ Solid Support โดยเฟสอยู่หนึ่งจะฉาบที่ผิวของคอลัมน์เป็นฟิล์มบางๆ ที่มีความหนาน้อยกว่า 1 ไมโครเมตร ความหนาของแผ่นฟิล์มของเหลวนั้นจะมีผลต่อการแยกด้วย คอลัมน์

ชนิดนี้มีประสิทธิภาพในการแยกสูงกว่า packed column ถึง 100 เท่า และสามารถใช้กับขนาดของสารตัวอย่างที่น้อยกว่า 0.01 ไมโครลิตร ความจุของ Capillary column สามารถเพิ่มขึ้นได้โดยฉาบผิวของคอลัมน์แก้วด้วยวัสดุที่มีรูพรุน เช่น แกรไฟต์ โลหะออกไซด์ และซิลิเกต เสียก่อนให้มีลักษณะเป็น thin layer ซึ่งจะทำให้พื้นที่ผิวที่จะให้ของเหลวมาฉาบอยู่มีมากขึ้น เป็นการเพิ่มความจุของคอลัมน์การใช้ Capillary column ชนิดของคอลัมน์แสดงดังรูปที่ 2.15

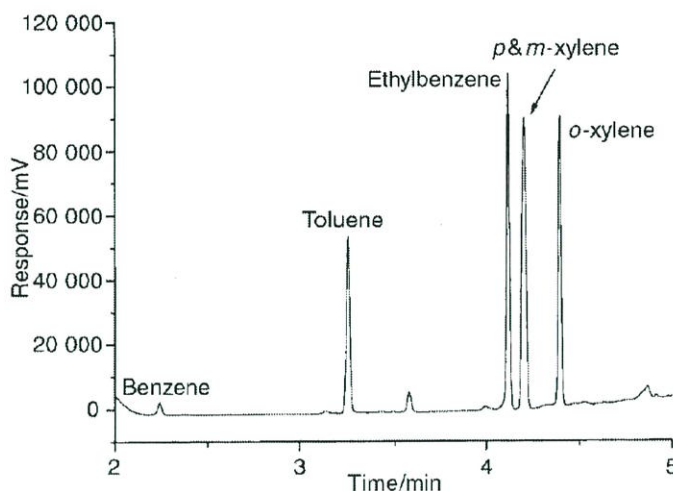


รูปที่ 2.15 ชนิดของคอลัมน์ที่ใช้ใน GC

ที่มา: Harold, 2018

2.6.3.4 เตา (oven) คอลัมน์จะถูกบรรจุอยู่ในเตา (oven) ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ เพื่อที่จะทำให้คอลัมน์มีอุณหภูมิสูงพอที่จะทำให้สารตัวอย่างกลายเป็นไออยู่ตลอดเวลา อุณหภูมิที่ใช้ต้องไม่สูงเกินไปจนทำให้เฟสอยู่หนึ่งของเหลวกลายเป็นไอ ปกติอุณหภูมิที่ใช้จะต่ำกว่าระบบฉีดสารตัวอย่าง (Sample injection system) ประมาณ 10 °C อุณหภูมิของคอลัมน์จะมีผลต่อค่า Retention time และการแยกอย่างมาก ที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ไอของสารตัวอย่างส่วนใหญ่อยู่ในเฟสเคลื่อนที่ เพราะการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้การละลายของสารตัวอย่างในเฟสอยู่กับที่ลดลง จึงทำให้สารตัวอย่างออกมาได้อย่างรวดเร็ว ถ้ามีสารผสมอยู่หลายตัวก็จะทำให้สารเหล่านั้นถูกแยกออกจากคอลัมน์ได้ในเวลาใกล้เคียงกัน

2.6.3.5 ดีเทคเตอร์ (Detector) ทำหน้าที่ตรวจสอบสารที่ออกจากคอลัมน์ว่ามีปริมาณมากน้อยเท่าไร ดังนั้น ต้องมีความไวต่อสารมาก และมี reproducibility ด้วย สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ เมื่อสารตัวอย่างออกจากคอลัมน์แล้วเข้าเครื่องดีเทคเตอร์ที่สามารถวัดปริมาณได้โดยตรง เมื่อสารตัวอย่างออกจากคอลัมน์เข้าเครื่องดีเทคเตอร์ ดีเทคเตอร์จะทำหน้าที่ตรวจวัดขนาดแล้วเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าส่งไปยังเครื่องบันทึกออกมาเป็นโครมาโตแกรมหรือพิกให้เราเห็นดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.16 ลักษณะโครมาโตแกรมของ GC
ที่มา: Gholivand. *et al.*, 2014

2.6.4 การประยุกต์ใช้ในทางการวิเคราะห์

สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในทางการวิเคราะห์ได้ทั้งสองแบบ คือ การวิเคราะห์ทางคุณภาพ (Qualitative analysis) และการวิเคราะห์ทางปริมาณ (Quantitative analysis) มีหลักการดังต่อไปนี้

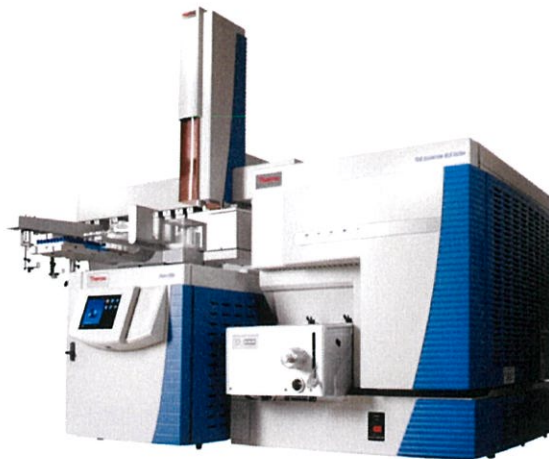
2.6.4.1 การวิเคราะห์ทางคุณภาพ (Qualitative analysis) สามารถทำได้โดยเปรียบเทียบค่า Retention time ของสารตัวอย่างกับสารมาตรฐานที่ทราบค่าเวลาเอกลักษณ์ (Retention time) แล้ว โดยที่สภาวะการทดลองเหมือนกันทุกประการ การวิเคราะห์เป็นเพียงการยืนยันว่าสารตัวอย่างที่มีอยู่ใช่สารตัวอย่างที่เราสงสัยหรือไม่ ถ้าเราไม่มีข้อมูลหรือเดาไม่ได้เลยว่าสารตัวอย่างควรเป็นอะไร การวิเคราะห์แบบนี้ไม่สามารถทำได้ เพราะไม่ทราบว่าเราจะเลือกสารเป็นสารมาตรฐาน

2.6.4.2 การวิเคราะห์ทางปริมาณ (Quantitative Analysis) เพื่อคำนวณหาปริมาณของสารตัวอย่างที่ฉีดเข้าไปจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดของพีค ซึ่งสามารถวัดได้ 2 แบบ คือ วัดค่าความสูงของพีค และวัดพื้นที่ทั้งหมดของพีค วัดค่าความสูงของพีค วัดได้จากลากเส้นฐาน (base line) ของพีค แล้วลากเส้นตรงจากส่วนยอดของพีคตามแนวตั้งจนถึงเส้นฐานระยะทางของเส้นตรงจากฐานถึงส่วนยอดของพีค คือความสูงของพีค ความถูกต้องของปริมาณที่ได้ขึ้นอยู่กับความถูกต้องของการวัดความสูงของพีคนั้นเอง ถ้าวัดพื้นที่ใต้พีคสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีกรใช้อินทิเกรเตอร์ (Integrator method) บอกขนาดของพื้นที่ใต้พีคจะทำให้สามารถวิเคราะห์หาปริมาณของสารตัวอย่างได้ ยกตัวอย่างเช่น วิธีเทียบกับสารมาตรฐาน โดยใช้สารมาตรฐานอ้างอิงฉีดเข้าเครื่อง แก๊สโครมาโตกราฟที่จะได้โครมาโตแกรมและขนาดของพื้นที่ใต้พีค จากนั้นนำสารตัวอย่างฉีดเข้าเครื่องเช่นเดียวกันจะได้โครมาโตแกรมและขนาดของพื้นที่ใต้พีค วิธีการคำนวณทำได้โดยเทียบบัญญัติโดยตรงก็จะสามารถคำนวณหาความเข้มข้นของสาร

ตัวอย่างได้ โดยทำการทดลองในสภาวะเดียวกันทุกประการ หรือ วิธีสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration curve) โดยการนำสารมาตรฐานอ้างอิงที่ทราบปริมาณแน่นอนหลาย ๆ ความเข้มข้นมาฉีดเข้าเครื่อง แก๊สโครมาโตกราฟที่จะได้โครมาโตแกรมและขนาดของพื้นที่ใต้พีค จากนั้นนำมาสร้างกราฟมาตรฐานโดยการพลอตระหว่างค่าพื้นที่ใต้พีคกับปริมาณความเข้มข้นของสารมาตรฐานอ้างอิง หลังจากนั้นนำพื้นที่ใต้พีคสารตัวอย่างที่ได้มาอ่านค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่างจากกราฟมาตรฐานได้ เป็นต้น โดยสาเหตุที่ทำให้การหาปริมาณผิดพลาด เนื่องจากสัญญาณที่ออกจากเครื่องดีเทคเตอร์ต้องมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงกับปริมาณของสาร และอัตราการไหลของก๊าซตัวพาต้องคงที่ ดังนั้นจึงต้องระมัดระวังและควบคุมให้ดี

2.6.5 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟคู่กับแมสสเปกโตรมิเตอร์ (GC/MS)

เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่นิยมใช้เนื่องจากสามารถทราบข้อมูลทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพได้อย่างถูกต้องโดยอาศัยการเปรียบเทียบกับลักษณะเฉพาะ (Fingerprint) ของสารกับเลขมวลของสารตัวอย่างกับฐานข้อมูลที่มีอยู่แล้ว เครื่อง GC/MS จะทำการแยกสารตัวอย่างเป็นองค์ประกอบต่าง ๆ ผ่านคอลัมน์ (column) ที่อยู่ภายใน oven โดยจะทำการแยกสารให้ออกตามช่วงจุดเดือดของแต่ละชนิดเข้าสู่เครื่อง MS ซึ่งมีสถานะเป็นสุญญากาศแล้วเข้าสู่ ion source ซึ่งจะเกิดกระบวนการไอออนไนเซชัน (ionization) เปลี่ยนสารที่เข้ามาให้กลายเป็นประจุ จากนั้นประจุจะไหลผ่านเครื่องคัดเลือกและแยกขนาดของประจุ (mass analyzer) ก่อนที่จะเข้าสู่เครื่องตรวจวัด (detector) เพื่อทำการตรวจหาปริมาณของประจุแล้วแปรผลออกมาเป็นปริมาณขององค์ประกอบแต่ละตัวที่ประกอบอยู่ในสารตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ และจะใช้เครื่องเพิ่มความเข้มข้นของสารวิโอสีคือ Preconcentrator ในการทำให้เข้มข้นก่อนจะนำเข้าสู่การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS ส่วนการวิเคราะห์

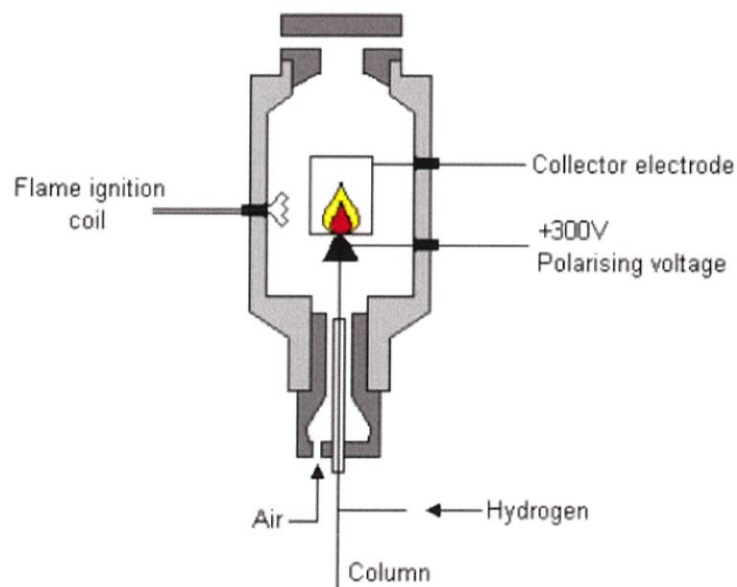


รูปที่ 2.17 เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟคู่กับแมสสเปกโตรมิเตอร์ (GC/MS)

ที่มา: Pelia, 2018

2.6.6 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีคู่กับกับเฟรมไอออนไนท์เซชันดีเทคเตอร์ (GC/FID)

ดีเทคเตอร์ Flame ionization detector (FID) ใช้วิเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ทุกชนิดที่สามารถเกิดการไอออไนซ์ (ionization) ได้ในเปลวไฟ โดยทำให้เกิดกระแสของไอออนที่สะสมอยู่ระหว่างขั้วที่มีประจุตรงข้ามกัน 2 ขั้วตามปริมาณของไอออนที่เกิดขึ้น และถ้ากระแสที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยจะต้องใช้เครื่องอิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อนขึ้นสำหรับขยายให้กระแสมีปริมาณไฟฟ้ามากขึ้นเพื่อที่จะสามารถตรวจวัดได้ โดยโครงสร้างของดีเทคเตอร์มีรูปร่างดังแสดงรูปที่ 2.18 เครื่องดีเทคเตอร์ชนิด FID มีความสามารถในการตรวจวัดสารตัวอย่างอินทรีย์ที่สามารถระเหยเป็นไอได้เกือบทุกชนิด ยกเว้นสารประกอบที่ถูกออกซิไดซ์มาแล้ว เช่น Carbonyl และ Carboxyl group ส่วนสารประกอบอินทรีย์จะไม่สามารถวัดได้ด้วยดีเทคเตอร์ชนิดนี้

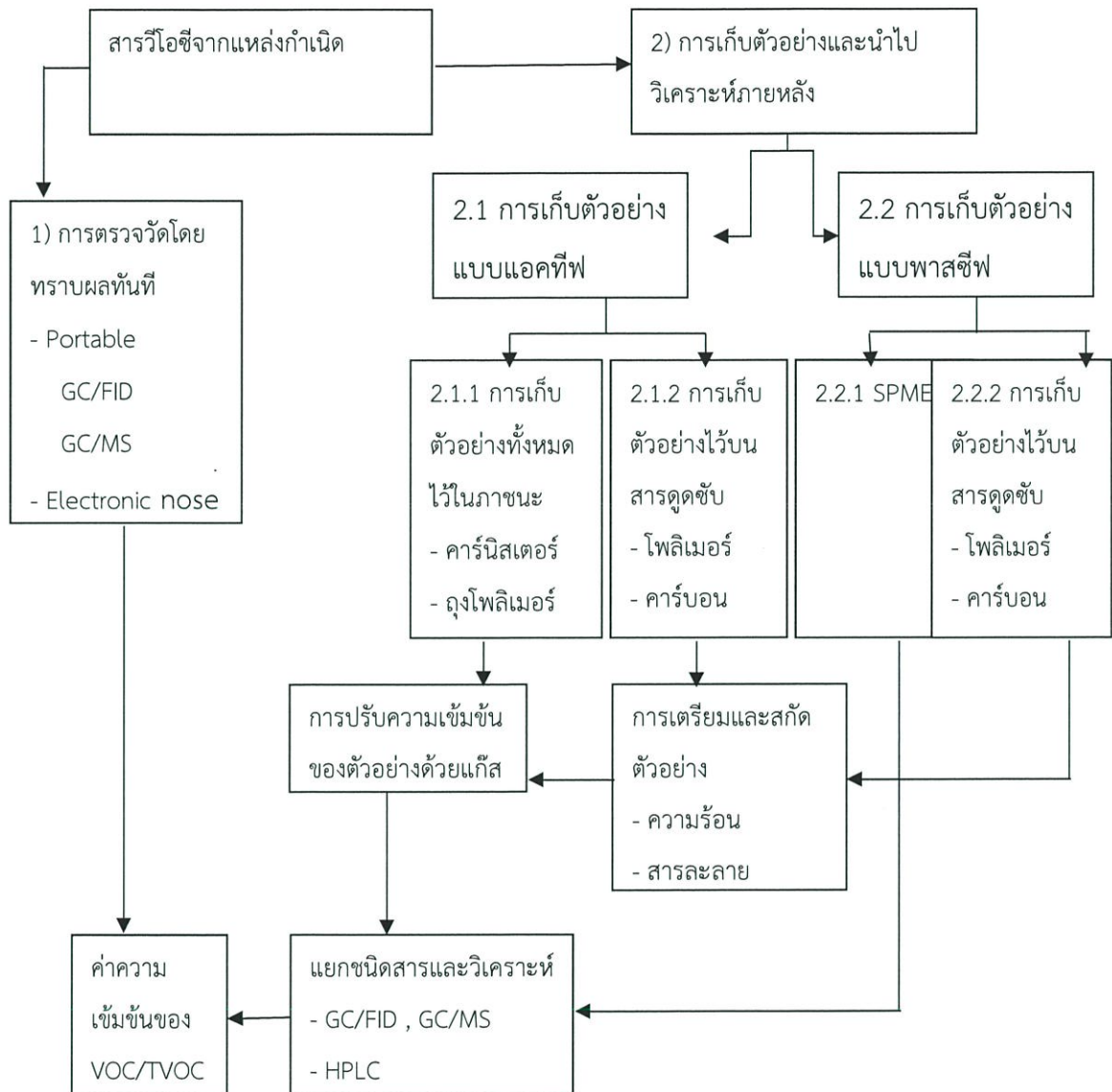


รูปที่ 2.18 หลักการของ Flame ionization detector (FID)

ที่มา: Syaikhoni, 2018

2.6.7 การวิเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX

ฉีดยาละลายมาตรฐาน BTEX ด้วยไมโครไซริง ในปริมาณต่าง ๆ ลงบนเม็ดคาร์บอน จากนั้นทำการชะ BTEX ออกจากเม็ดคาร์บอนด้วยตัวทำละลายคาร์บอนไดออกไซด์ (กรณีเก็บสาร BTEX ใน Sorbent Tube ก็ต้องใช้ CS₂ ในการชะสาร BTEX ออกมา) แล้วฉีดยาละลายเข้าเครื่อง GC/FID ตามวิธีการใช้เครื่อง GC-FID ที่กล่าวไว้ข้างต้น และทำการการวิเคราะห์และสร้างกราฟมาตรฐานต่อไป



รูปที่ 2.19 ลำดับการวิเคราะห์สารวีไอซี

ที่มา: Batterman. *et al.*, 2004

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 การประมาณระดับเบนซีนที่ได้รับสัมผัสที่ปล่อยออกมาจากอุตสาหกรรมแต่ละชนิดในเกาหลี (Estimating Benzene Exposure Level over Time and by Industry Type through a Review of Literature on Korea) (Park. *et al.*, 2015)

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์หลักเพื่อสร้างการประเมินสารเบนซีนจากอุตสาหกรรมต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาที่มีการตรวจสอบมาในเกาหลี ซึ่งการตรวจวัดเบนซีนในอากาศเคยมีการรายงานใน 34 บทความที่ได้รับการตรวจสอบมาแล้ว และจากงานวิจัยเหล่านั้นจะใช้วิธีการเก็บตัวอย่างแบบใช้หลอดดูดซับที่บรรจุด้วยถ่านกัมมันต์กับเครื่องมือเก็บตัวอย่าง (ปั๊ม, การเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ, หรือ หลอดตรวจวัด) งานวิจัยนี้ทำการรวบรวมข้อมูล 15,729 ข้อมูลตามประเภทอุตสาหกรรม อุตสาหกรรมถูกจัดประเภทตามมาตรฐานการจำแนกประเภทอุตสาหกรรมของเกาหลี (Korea Standard Industrial Classification, KSIC) โดยรวบรวมข้อมูลและใช้ข้อมูลที่ผ่านมาการตรวจสอบมา ผลของการวิจัยและสรุปผลชี้ให้เห็นความเข้มข้นโดยเฉลี่ยในแต่ละภาคอุตสาหกรรมดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.8 สรุประดับการสัมผัสสารเบนซีนแบ่งตามประเภทอุตสาหกรรมในการเก็บตัวอย่างมากกว่า 1 ชั่วโมงในเกาหลี

มาตรฐานการจำแนกประเภทอุตสาหกรรมของเกาหลี (sub-major code)	มาตรฐานการจำแนกประเภทอุตสาหกรรมของเกาหลี (minor code)	ความเข้มข้น (ppm)
การผลิตสารเคมีและผลิตภัณฑ์จากเคมี ยกเว้นทางยาและการแพทย์ (1994)	ไม่มีข้อมูล	0.33
การผลิตผลิตภัณฑ์ยางและพลาสติก (1994)	การผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติก	2.50-12.20
การพิมพ์และการทำสำเนา (1994)	การพิมพ์และกิจกรรมบริการที่เกี่ยวข้องกับการพิมพ์	0.70
การผลิตสารเคมีและผลิตภัณฑ์จากเคมี ยกเว้นทางยาและการแพทย์ (1994)	การผลิตผลิตภัณฑ์เคมีอื่นๆ	1.60
การผลิตสารเคมีและผลิตภัณฑ์จากเคมี ยกเว้นทางยาและการแพทย์ (1997)	การผลิตสารเคมีพื้นฐาน	ND-1.45
การผลิตสารเคมีและผลิตภัณฑ์จากเคมี ยกเว้นทางยาและการแพทย์ (1997)	การผลิตสารเคมีพื้นฐาน	ND

ตารางที่ 2.8 (ต่อ) สรุประดับการรับสัมผัสสารเบนซีนแบ่งตามประเภทอุตสาหกรรมในการเก็บตัวอย่างมากกว่า 1 ชั่วโมงในเกาหลี

มาตรฐานการจำแนกประเภทอุตสาหกรรมของเกาหลี (sub-major code)	มาตรฐานการจำแนกประเภทอุตสาหกรรมของเกาหลี (minor code)	ความเข้มข้น (ppm)
การผลิตสารเคมีและผลิตภัณฑ์จากเคมี ยกเว้นทางยาและทางการแพทย์ (2003)	การผลิตสารเคมีทั่วไป	ND-7.20
การผลิตสารเคมีและผลิตภัณฑ์จากเคมี ยกเว้นทางยาและทางการแพทย์ (2005)	การผลิตผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม	0.51
การผลิตสารเคมีและผลิตภัณฑ์จากเคมี ยกเว้นทางยาและทางการแพทย์ (2005)	การผลิตสารเคมีพื้นฐาน	0.01-1.08
การผลิตสารเคมีและผลิตภัณฑ์จากเคมี ยกเว้นทางยาและทางการแพทย์ (2007)	การผลิตสารเคมีพื้นฐาน	0.01-99.73
การผลิตสารเคมีและผลิตภัณฑ์จากเคมี ยกเว้นทางยาและทางการแพทย์ (2008)	การผลิตสารเคมีพื้นฐาน	0.42
การผลิตสารเคมีและผลิตภัณฑ์จากเคมี ยกเว้นทางยาและทางการแพทย์ (2009)	การผลิตสารเคมีพื้นฐาน	ND-1.28
การผลิตสารเคมีและผลิตภัณฑ์จากเคมี ยกเว้นทางยาและทางการแพทย์ (2010)	การผลิตสารเคมีพื้นฐาน	0.02-1.17
การผลิตสารเคมีและผลิตภัณฑ์จากเคมี ยกเว้นทางยาและทางการแพทย์ (2010)	การผลิตสารเคมีพื้นฐาน	0.21-2.59

ที่มา: Park. *et al.*, 2015

2.7.2 ภาพรวมข้อมูลการสัมผัสสารเบนซีนจากอุตสาหกรรมในจีนที่ตีพิมพ์ในปี 1960-2003 (An overview of published benzene exposure data by industry in China, 1960–2003) (Liang. *et al.*, 2005)

งานวิจัยนี้รวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยทางการแพทย์เกี่ยวกับการรับสัมผัสสารเบนซีนในประเทศจีน ซึ่งมีการตีพิมพ์มาก่อนในวารสารการแพทย์จีน (Chinese medical journals) ซึ่งเป็นข้อมูลที่เฝ้าติดตามและดึงข้อมูลมาเมื่อใดก็ตามที่มีอุตสาหกรรม อาชีพ การทำงาน ระดับของเบนซีน พื้นที่ที่ทำการเก็บตัวอย่าง คำอธิบายบริเวณพื้นที่ทำงานสำหรับการรายงานวิจัยทางการแพทย์ แต่ละงานวิจัยในนี้เสนอ

ชุดเซ็ทของข้อมูลเบนซิน ซึ่งแต่ละเซ็ทบอกถึงพื้นที่ที่ทำการเก็บตัวอย่าง หรือ ชื่อของงานที่ทำบริเวณนั้น ๆ ซึ่งมีการตรวจวัดที่หลากหลายรวมถึงการตรวจวัดความเข้มข้นสารเบนซินในพื้นที่ที่มีการหายใจ และการเฝ้าระวังติดตามส่วนบุคคล

ตารางที่ 2.9 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของเบนซินเฉลี่ย (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร) จากกลุ่มอุตสาหกรรม

ชนิดของอุตสาหกรรม	ค่าเฉลี่ย (ช่วงความเข้มข้น) มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร
ผลิตภัณฑ์จากหนังสือตัว	124.1 (3.7-267.8)
การผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	120.2 (4.5-254.9)
การผลิตเครื่องจักรกล	75.6 (4.2-152.7)
การผลิตรองเท้าจากหนังสือตัว	149.9 (1.3-1488.6)
พัสตูลำบากงานและอุปกรณ์กีฬา	79.4 (10.7-256.0)
การพ่นสี	53.4 (0-226.8)
การผลิตเฟอร์นิเจอร์	36.6 (2.0-72.0)
การผลิตผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์	50.5 (3.0-105.6)
การผลิตรถยนต์	56.8 (0-196.1)
อุตสาหกรรมเคมีอินทรีย์	39.3 (12.8-130.5)
การผลิตผลิตภัณฑ์จากยาง	114.6 (0.1-633.6)
อุตสาหกรรมอื่น ๆ	23.8 (2.2-85.5)
อุตสาหกรรมผลิตสี	23.9 (1.0-127.5)
อุตสาหกรรมเคมี	19.3 (0-123.9)
อุตสาหกรรมการพิมพ์	7.2 (0-23.6)
กระบวนการทางผลิตภัณฑ์โลหะ	7.5 (0-38.0)
การผลิตของเล่น	132.9 (1.5-264.3)
การผลิตผลิตภัณฑ์จากถ่านหิน	79.8 (12.8-130.5)
กระบวนการผลิตน้ำมันดิบ	54.4 (7.4-93.2)
ปิโตรเลียมและการสำรวจทางธรณีวิทยา	41.9 (5.8-62.6)
อุตสาหกรรมสิ่งทออื่นๆ/การพิมพ์และย้อมสี	26.2
วิศวกรรมโยธาและโครงสร้าง	122.2 (1.2-345.2)
การผลิตผลิตภัณฑ์หม้อและเครื่องถ้วยชาม	22.4 (7.1-40.0)

ตารางที่ 2.9 (ต่อ) การเปรียบเทียบความเข้มข้นของเบนซีนเฉลี่ย (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร) จากกลุ่มอุตสาหกรรม

ชนิดของอุตสาหกรรม	ค่าเฉลี่ย (ช่วงความเข้มข้น) มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร
การผลิตวงจรไฟฟ้า	22.4 (7.1-40.0)
การผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติก	15.2 (2.3-28.2)
การผลิตเครื่องมือวัดความแม่นยำอื่นๆ	14.3 (8.7-19.9)
การผลิตอุปกรณ์โลหะในครัวเรือน	2.3

ที่มา: Liang, *et al.*, 2005

2.7.3 การศึกษาปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมการพิมพ์พลาสติก (Quantitative study of VOC emission from plastic printing industry) (พฤษ์, 2546)

ในอุตสาหกรรมการพิมพ์พลาสติกที่ใช้สำหรับบรรจุภัณฑ์หรือหีบห่อเพื่อใช้ในการห่อหุ้มสินค้าพบว่าปัญหาหนึ่งที่เกิดขึ้นกับอุตสาหกรรมประเภทนี้คือ เกิดกลิ่นการฟุ้งกระจายของสารอินทรีย์ระเหยที่เกิดขึ้นภายในโรงงานจากระบบการพิมพ์ ซึ่งอาจส่งผลเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานในโรงงาน งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาเพื่อหาปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยที่เกิดขึ้นในระหว่างการผลิตพลาสติก โดยทำการศึกษาสารอินทรีย์ระเหยคือ โทลูอีน ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ และ เอทิลอะซิเตท และทำการวิเคราะห์สัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่ทำการเก็บตัวอย่างอากาศจำนวน 82 ครั้งโดยใช้โปรแกรม minitab ในการวิเคราะห์ ได้รายงานผลการวิเคราะห์ว่า จำนวนสีที่ใช้พิมพ์ จำนวนเครื่องจักร และขนาดของพื้นที่โรงงาน เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่เกิดขึ้นในโรงงาน โดยที่ขนาดพื้นที่โรงงานมีผลกระทบน้อยมาก และในโรงงานที่ใช้สีพิมพ์มากกว่า 2 ชนิด และเครื่องจักรมากกว่า 1 เครื่อง มีปริมาณสารอินทรีย์ระเหยมีค่าเกินกว่าค่ามาตรฐานในการทำงาน ส่วนโรงงานที่ใช้สีพิมพ์น้อยกว่า 2 สี และเครื่องจักรน้อยกว่า 2 เครื่อง มีค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยไม่เกินมาตรฐาน

2.7.4 การศึกษาการกระจายตัวของสารอินทรีย์ระเหยในโรงพิมพ์ (A study of volatile organic compounds distribution in a printing house) (จันทร์เพ็ญ, 2546)

งานวิจัยนี้ศึกษาชนิดและปริมาณของสารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds: VOCs) ในบริเวณเป็นโรงพิมพ์ของสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหงซึ่งเป็นการพิมพ์ระบบออฟเซต (Offset printing) ด้วยวิธี Diffusive sampling โดยตัวอย่าง VOCs ถูกเก็บโดยหลอดเก็บตัวอย่างซึ่งบรรจุสารดูดซับชนิด Carbopack B แล้วนำมาวิเคราะห์ปริมาณ VOCs ด้วยเครื่อง GC/FID ทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 4 ครั้ง ครั้งละ 8 ชั่วโมง รวมทั้งตัวอย่างหมึกพิมพ์และน้ำยาที่ใช้ในโรงพิมพ์ซึ่งจะถูกนำไปวิเคราะห์ไอระเหย เพื่อหาชนิดของสาร VOCs สำหรับตัวอย่างหมึกพิมพ์ จะถูกนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณปริมาณ

VOCs ที่คาดว่าสูญหายไประหว่างการพิมพ์ด้วย ซึ่งได้รายงานผลการวิเคราะห์ตัวอย่างว่า พบสาร VOCs ที่วิเคราะห์ได้อยู่ 16 ชนิดจากเกือบทุกตัวอย่าง และอีก 5 ชนิดที่ไม่สามารถระบุชนิดได้ (Unknown) ปริมาณความเข้มข้นของสาร VOCs ที่วัดได้อยู่ในระดับ ppb และมีค่าอยู่ในช่วง 11 ถึง 1,247 ppb ปริมาณความเข้มข้นของสาร VOCs ในบรรยากาศจะแปรตามปริมาณการพิมพ์ VOCs 16 ชนิดที่วิเคราะห์ได้นี้ มีสารที่มีปริมาณความเข้มข้นสูงสุดในบรรยากาศอยู่ 5 ชนิด ได้แก่ 1,1,1-Trichloroethane, Carbon tetrachloride, cis-1,2-Dichloroethene, Toluene และ 1,2-Dichloropropane ซึ่งคิดเป็นปริมาณความเข้มข้นรวมมากกว่า 70% ของปริมาณความเข้มข้นของสาร VOCs ทั้งหมดจากตัวอย่าง อย่างไรก็ตามปริมาณความเข้มข้นของ VOCs ที่ตรวจวัดได้ทุกตัว มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานปกติ 8 ชั่วโมง ที่กำหนดโดย Occupational Safety and Health Association: OSHA และได้มีการนำผลการวิเคราะห์มาสรุปทิศทางการกระจายตัวของสาร VOCs ในโรงพิมพ์

2.7.5 การศึกษาความเข้มข้นและการกระจายตัวของสารอินทรีย์ระเหยบริเวณแท่นพิมพ์ในโรงพิมพ์ขนาดใหญ่ (A study of concentration and distribution of volatile organic compounds in the press area in a large printing house) (ธัญญา, 2548)

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความเข้มข้นและการกระจายตัวของสารอินทรีย์ระเหยบริเวณแท่นพิมพ์ในโรงพิมพ์ขนาดใหญ่ โดยทำการเก็บตัวอย่างอากาศบริเวณแท่นพิมพ์ด้วยวิธี Passive ใช้หลอดเก็บตัวอย่างที่บรรจุสารดูดซับชนิด Carbopack BTM เก็บตัวอย่างอากาศบริเวณแท่นพิมพ์ 4 จุด และห่างจากแท่นพิมพ์ 5.4 เมตรอีก 4 จุดในแนวเดียวกับ 4 จุดแรกเพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัวของสารอินทรีย์ระเหย ในการเก็บตัวอย่างจะแขวนหลอดเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 8 ชั่วโมง/วัน และนำไปวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยด้วยเครื่อง Thermal Desorption Unit ร่วมกับเครื่อง Gas Chromatograph/Mass spectrometer ผลการวิเคราะห์พบสารอินทรีย์ระเหยจากตัวอย่างอากาศ 14 ชนิด ได้แก่ 1,1,2-Trichloro-1,2,2-Trifluoroethane, Hexane, 1,1-Dichloroethane, Hexanal, 1,1,2,2-Tetrachloroethane, Cyclohexane, Ethyl benzene, Carbontetrachloride, Benzene, 1,2-Dichloroethane, Trichloroethylene, Toluene, p-Xylene และ o-Xylene และพบว่าสารที่มีอยู่ในปริมาณมาก 5 อันดับแรก ได้แก่ Toluene, Hexane, Cyclohexane, Benzene และ Carbontetrachloride ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากการใช้น้ำมันทำความสะอาด และจากหมึกพิมพ์ และพบว่า Benzene มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานของ National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) และ Time Weighted Average (TWA) แต่มีค่าเกินมาตรฐานของ Occupational Safety and Health Administration (OSHA)

2.7.6 การกระจายเชิงพื้นที่ของเบนซีนและโทลูอินในอากาศภายในสถานีบริการน้ำมัน (Spatial Distribution of Airborne Benzene and Toluene within a Patrol Station) (ธีรพงศ์ และคณะ, 2558)

งานวิจัยนี้ทำการตรวจวัดและศึกษาลักษณะการกระจายความเข้มข้นของเบนซีน โทลูอิน เอธิลเบนซีน และ เอ็มพีไซลีน ในอากาศภายในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงแห่งหนึ่งในจังหวัดร้อยเอ็ด ทั้ง 3 ฤดูกาล ในช่วงพฤศจิกายน 2556 ถึงกรกฎาคม 2557 ทำการเก็บตัวอย่างอากาศ 13 จุดในสถานีด้วยหลอดดูดซับซาร์โคล ตั้งแต่ 8.00-16.00 น. ของวันทำงาน วิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยด้วยเครื่องก๊าซโครมาโทกราฟีแมสสเปกโตรมิเตอร์ และสร้างแผนที่เส้นชั้นความเข้มข้นจากพิกัดจุดเก็บตัวอย่างอากาศ และชุดข้อมูลความเข้มข้นที่วัดได้ด้วยโปรแกรมอโต้แคตแลนด์ตีวิลอปเมนต์ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นเบนซีนสูงสุด มีค่าเฉลี่ยในช่วง 14-1315 มค.ก./ลบ.ม. โทลูอินมีค่าเฉลี่ยในช่วง 11-72 มค.ก./ลบ.ม. ส่วนเอธิลเบนซีน และ เอ็มพีไซลีน พบในระดับต่ำกว่า 10 มค.ก./ลบ.ม. ลักษณะการกระจายของเบนซีนและโทลูอินมีความเข้มข้นมากบริเวณหัวจ่ายน้ำมันและบริเวณจุดจอดพักด้านหลังโดยแหล่งกำเนิดที่มาจากภาระเหยของไอน้ำมันจะส่งผลลดลงเมื่อมีระยะห่างจากหัวจ่ายออกไป นอกจากนี้คาดว่ายังมีแหล่งกำเนิดสารอินทรีย์ระเหยอื่นที่ส่งผลร่วมด้วย

2.7.7 ปัจจัยเสี่ยงสำหรับการเพิ่มการสัมผัส BTEX ในสี่เมืองในออสเตรเลีย (Risk factors for increased BTEX exposure in four Australian cities) (Hinwood. *et al.*, 2007)

ทำการศึกษาแบบตัดขวางโดยทำตรวจสอบการสัมผัสกับ BTEX ในกลุ่มผู้ที่ไม่สูบบุหรี่จำนวน 204 รายซึ่งเป็นบุคคลที่ไม่ได้รับการรักษาพยาบาลจาก 4 เมืองในออสเตรเลีย โดยติดตั้งตัวเก็บตัวอย่างสาร BTEX แบบพาสซีฟมากกว่า 24 ชั่วโมงติดต่อกัน 5 วันในฤดูหนาวและฤดูร้อนและได้กรอกแบบสอบถามแหล่งที่มาของสารตะกั่วในแต่ละฤดูกาลและในแต่ละวันของการตรวจสอบ ซึ่งพบว่าค่ามัชฌิมเรขาคณิต (GM) และช่วงของความเข้มข้นของ BTEX ในแต่ละวันสำหรับประชากรที่ศึกษามีค่าของเบนซีน 0.80 (0.04-23.8 ppb); โทลูอิน 2.83 (0.03-2120 ppb); เอธิลเบนซีน 0.49 (0.03-119 ppb); และ xylenes 2.36 (0.04-697 ppb) และใช้แบบจำลองเชิงเส้นแบบทั่วไปได้ใช้เพื่อตรวจสอบปัจจัยเสี่ยงที่สำคัญสำหรับการสัมผัสกับ BTEX ที่เพิ่มขึ้น ในแต่กิจกรรมและสถานที่พบว่าการสัมผัสสารที่เพิ่มขึ้นส่วนบุคคล มาจากการซ่อมแซมยานพาหนะและการใช้เครื่องจักรการเติมน้ำมันยานยนต์อยู่ในที่จอดรถที่ปิดสนิทและ เวลาที่ใช้ศิลปะและงานฝีมือ มีความแตกต่างอย่างมากของค่าเฉลี่ยในการได้รับการสัมผัสในแต่ละเมืองทั้งสี่เนื่องจากความแตกต่างในองค์ประกอบของเชื้อเพลิง และความหนาแน่นของอุตสาหกรรม ความหนาแน่นของยานยนต์และอุตุนิยมวิทยาทางอากาศ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การทดลองคาดการณ์สภาวะที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในอากาศ จะทำการศึกษาข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างของบริษัท เอสจีเอส (ประเทศไทย) จำกัด โดยจะแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 กลุ่ม คือ การศึกษากลุ่มข้อมูล อัตราการไหล เวลา ปริมาตร และความเข้มข้น ของสาร BTEX ภายในปี 2014-2017 และ เป็นการศึกษา อัตราการไหล เวลา ปริมาตร และความเข้มข้น ของสาร BTEX จำแนกตามอุตสาหกรรม

3.1 การเก็บตัวอย่างอากาศที่เป็นก๊าซและไอในสถานที่ทำงานโดยใช้ตัวกลางตามมาตรฐาน NIOSH และ OSHA

มาตรฐานอ้างอิงที่ใช้คือ NIOSH Manual of Analytical Methods และ OSHA Technical Manual หลักการการเก็บตัวอย่างอากาศที่เป็นก๊าซและไอจะใช้หลักการดูดตัวอย่างอากาศผ่านตัวกลางในอัตราไหลคงที่ในเวลาที่กำหนด โดยที่ก๊าซและไอนั้นจะถูกดูดซับกับตัวกลางและนำตัวกลางที่มีก๊าซไอของสารติดอยู่ไปทำการวิเคราะห์ปริมาณสารต่อไป ทั้งนี้มลพิษทางอากาศที่เป็นก๊าซและไอนั้นมีหลากหลายชนิดแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน การเลือกตัวกลางที่จะมาใช้ในการเก็บตัวอย่างนั้น ต้องคำนึงถึงชนิดของตัวกลางที่ใช้เก็บด้วยคือต้องเลือกชนิดของตัวกลางที่จะใช้ดูดซับให้เหมาะสมกับชนิดตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ โดยแนวทางในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX จะอยู่ในส่วนของ NIOSH Method 1501 คือกลุ่ม Hydrocarbons, Aromatic เพื่อทำการเก็บตัวอย่างมลสารที่เกิดขึ้นในบรรยากาศด้วยตัวกลางที่เป็นหลอดดูดซับ มลสารทางอากาศที่เป็นก๊าซและไอ จะถูกแยกออกจากตัวอย่างอากาศโดยการดูดซับไว้ด้วยตัวกลางที่มีสมบัติในการดูดซับ และไม่ทำปฏิกิริยากับตัวมลพิษ หลักจากนั้นมลพิษทางอากาศที่เป็นก๊าซและไอจะถูกแยกออกจากตัวดูดซับเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

3.1.1 อุปกรณ์

- 1) ปัมป์เก็บตัวอย่างแบบพกพา (Personal sampling pump)
- 2) หลอดดูดซับ (Sorbent tube)
- 3) ชุดสายเก็บตัวอย่าง
- 4) พาราฟิล์ม
- 5) อลูมิเนียมฟอยล์
- 6) ขาตั้งกล่อง



รูปที่ 3.1 ปัมป์เก็บตัวอย่างแบบพกพา (Personal sampling pump)
(ที่มา: ศรัณย์ ศิริสุรพงศ์. 2561.)



รูปที่ 3.2 หลอดดูดซับ (Sorbent tube)
(ที่มา: ศรัณย์ ศิริสุรพงศ์. 2561.)



รูปที่ 3.3 ชุดสายเก็บตัวอย่าง
(ที่มา: ศรัณย์ ศิริสุรพงศ์. 2561.)



รูปที่ 3.4 พาราฟิล์ม (Parafilm)
(ที่มา: ศรัณย์ ศิริสุรพงศ์. 2561.)



รูปที่ 3.5 อลูมิเนียมฟอยล์
(ที่มา: ศรัณย์ ศิริสุรพงศ์. 2561.)



รูปที่ 3.6 ขาตั้งกล้อง
(ที่มา: ศรัณย์ ศิริสุรพงศ์. 2561.)

3.1.2 วิธีการเก็บตัวอย่าง

- 1) ก่อนเก็บตัวอย่างต้องทำการ Calibrate Personal Sampling Pump โดยต่อกับตัวกลางชนิดเดียวกันกับที่จะใช้ในการเก็บตัวอย่างแล้วทำการ Calibrate ตามคู่มือการ Calibrate Personal Sampling Pump โดยให้ flow อยู่ในช่วงที่เหมาะสมตามมาตรฐานที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างชนิดนั้น



รูปที่ 3.7 ชุดอุปกรณ์ปรับเทียบปั๊มเก็บตัวอย่างแบบพกพา
(ที่มา: ศรัณย์ ศิริสุรพงศ์. 2561.)

- 2) Sorbent Tube ที่จะใช้ในการเก็บตัวอย่างจะถูกเตรียมในห้องปฏิบัติการ
- 3) ในการเก็บตัวอย่าง เปิดปลายทั้งสองด้านของ Sorbent Tube แล้วต่อสายยางเชื่อมระหว่างปลายด้านหนึ่งของ Tube กับ Personal Sampling Pump ทันที



รูปที่ 3.8 หลอดดูดซับที่หักปลายทั้งสองด้านแล้ว
(ที่มา: ศรัณย์ ศิริสุรพงศ์. 2561.)

4) ทำการพัน Parafilm ระหว่างรอยต่อเพื่อป้องกันการรั่ว



รูปที่ 3.9 หลอดดูดซับที่มีการพันพาราฟิล์ม
(ที่มา: ศรัณย์ ศิริสุรพงศ์. 2561.)



รูปที่ 3.10 หลอดดูดซับที่ติดตั้งกับชุดเก็บตัวอย่าง
(ที่มา: ศรัณย์ ศิริสุรพงศ์. 2561.)



รูปที่ 3.11 หลอดดูดซับที่ติดตั้งกับชุดเก็บตัวอย่างพร้อมฝาครอบปิดกันแสง
(ที่มา: ศรัณย์ ศิริสุรพงศ์. 2561.)

- 5) เก็บตัวอย่างโดยการเปิด Personal Sampling Pump ให้ได้ปริมาตรเป็นไปตามมาตรฐาน



รูปที่ 3.12 ชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างภาพรวม
(ที่มา: ศรัณย์ ศิริสุรพงศ์, 2561.)

- 6) หลังเก็บตัวอย่างใช้ Sealing Cap ปิดหัวท้ายของหลอดดูดซับแล้วพันด้วย Parafilm ทับรอยต่ออีกครั้ง ห่อด้วยอลูมิเนียมฟอยล์เพื่อป้องกันการสัมผัสแสงติดฉลากแล้วนำไปแช่เย็นก่อนส่งทำการวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 3.13 หลอดดูดซับที่ปิดด้วย Sealing cap
(ที่มา: ศรีณย์ ศิริสุรพงศ์. 2561.)



รูปที่ 3.14 หลอดดูดซับที่ปิดด้วย Sealing cap แล้วห่อด้วยอลูมิเนียมฟอยล์
(ที่มา: ศรีณย์ ศิริสุรพงศ์. 2561.)

- 7) เตรียม Blank ด้วยโดยใช้ Sorbent Tube ที่ผลิตชุดเดียวกันกับที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง หักปลายทั้งสองด้านแล้วปิดหัวท้ายของ Sorbent Tube จากนั้นพันด้วย Parafilm หักรอยต่ออีกครั้งห่อด้วยอลูมิเนียมฟอยล์เพื่อป้องกันการสัมผัสแสงแดด Label แล้วนำไปแช่เย็นก่อนส่งทำการวิเคราะห์พร้อมกับตัวอย่าง และวิธีการคำนวณความเข้มข้นของตัวอย่าง และความเข้มข้นของ Blank ทำได้ดังสมการนี้

$$C = \frac{(W_f + W_b - B_f - B_b) \times 10^3}{V}, \text{ mg/m}^3$$

C = ความเข้มข้นของตัวอย่าง (mg/m³)

W_f = ความเข้มข้นของตัวอย่างส่วนหน้า (mg)

W_b = ความเข้มข้นของตัวอย่างส่วนหลัง (mg)

B_f = ความเข้มข้นของ Blank ส่วนหน้า (mg)

B_b = ความเข้มข้นของ Blank ส่วนหลัง (mg)

V = ปริมาตรอากาศ (L)

3.1.3 การควบคุมคุณภาพ

สำหรับการควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์สารประกอบอินทรีย์กลุ่ม BTEX นั้นก่อนจะทำการเก็บตัวอย่างจะมีการสอบถามข้อมูลจากที่ที่ไปทำการเก็บ เช่น ปริมาณสารที่เคยตรวจวัดได้ ลักษณะพื้นที่ที่ไปทำการตรวจวัด เป็นต้น เมื่อทำการเก็บตัวอย่างมาแล้วจะนำหลอดดูดซับที่มีสารไปทำการสกัดหรือจะสารออกการยอมรับปริมาณสารตัวอย่างที่ผ่านการชะออกมาจำเป็นต้องตรวจสอบการ breakthrough ของสารตัวอย่างแต่ละหลอดโดยปริมาณสารที่วิเคราะห์ได้จากส่วนหน้าของหลอดดูดซับ (front) และส่วนหลังของหลอดดูดซับ (back) โดยในส่วนหลังของหลอดดูดซับต้องไม่เกิน 10% ของส่วนหน้าของหลอดดูดซับ ถ้าเกินจะต้องทำการเก็บตัวอย่างใหม่เพราะเกิดการ breakthrough โดยครั้งใหม่จะลดเวลาที่ใช้ในการเก็บลง (ศศิธร และคณะ, 2556)

3.2 การศึกษาข้อมูล

3.2.1 การคาดการณ์การเก็บตัวอย่างภายในปี 2014-2017

สำหรับการคาดการณ์หาสภาวะที่เหมาะสม คือ อัตราการไหล เวลา ปริมาตร เพื่อให้ได้ความเข้มข้นที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างอากาศในพื้นที่ทำงาน จะใช้โปรแกรม SPSS (Statistics Packing for the Social Sciences) ในการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติต่าง ๆ ของสารกลุ่ม BTEX คือ เบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีน ทำการจำแนกกลุ่มสารที่ต้องการศึกษาจากการคำนวณเบื้องต้น ได้ขนาดตัวอย่าง 1743 ตัวอย่าง พบว่ามีกลุ่มตัวอย่างจำนวนทั้งสิ้น 567 ตัวอย่าง และเป็นสารโทลูอินซึ่งมากที่สุด (ร้อยละ 32.53) รองลงมาได้แก่ เบนซีน ไซลีน และ เอทิลเบนซีน (ร้อยละ 32.10 26.22 และ 9.18) ตามลำดับ โดยจะทำการศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติระหว่างปีกับสาร BTEX

3.2.2 การคาดการณ์การเก็บตัวอย่างจำแนกตามประเภทของภาคอุตสาหกรรมหลัก ภายในปี 2014-2017

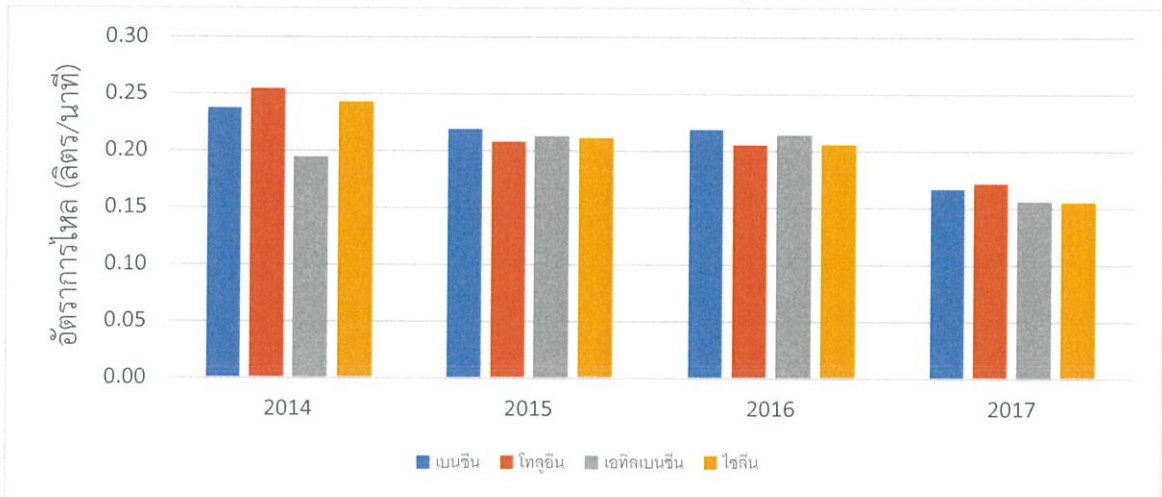
ทำการจำแนกกลุ่มอุตสาหกรรมตั้งแต่ปี 2014-2017 ซึ่งเป็นกลุ่มอุตสาหกรรมที่ส่วนใหญ่มีการใช้สาร BTEX จากข้อมูลการตรวจวัดจากบริษัท เอสจีเอส (ประเทศไทย) จำกัด โดยจะมีภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ ทั้งหมด 5 ภาคอุตสาหกรรมได้แก่ กลุ่มอุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี (Chemical & Chemical products) กลุ่มอุตสาหกรรมปิโตรเลียม (Petroleum products) กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ (Electrical Machinery and Supplies) กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล (Machinery) และกลุ่มอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติก (Plastic products) และจะใช้โปรแกรม SPSS (Statistics Packing for the Social Sciences) ในการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติต่าง ๆ และ จะทำการศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติระหว่างกลุ่มอุตสาหกรรมกับสาร BTEX

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 ผลการตรวจวัดจริงจากบริษัทและภาคอุตสาหกรรมหลักในปี 2014-2017

4.1.1 ผลของอัตราการไหลอากาศในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในปี 2014-2017



รูปที่ 4.1 อัตราการไหลอากาศในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในปี 2014-2017

จากผลของอัตราการไหลแสดงในรูปที่ 4.1 พบว่าในปี 2014 โทลูอีนเป็นสารที่มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ ไซลีน เบนซิน และเอทิลเบนซิน (0.25 0.24 0.23 และ 0.20 ลิตร/นาที) ตามลำดับ ในปี 2015 มีค่าลดลงจากปี 2014 เล็กน้อย เบนซินเป็นสารที่มีค่ามากที่สุดรองลงมาคือ เอทิลเบนซิน ไซลีน และโทลูอีน (0.22 0.21 0.21 และ 0.20) ตามลำดับ ในปี 2016 มีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกับปี 2015 ซึ่งยังคงเป็นเบนซินที่มีค่ามากที่สุดรองลงมาคือ ไซลีน เอทิลเบนซิน และโทลูอีน (0.22 0.21 0.21 และ 0.20 ลิตร/นาที) ตามลำดับ ในปี 2017 มีค่าลดลงต่ำมากที่สุดกว่าทุกปีที่กล่าวมาข้างต้น โดยโทลูอีนเป็นสารที่มีค่ามากที่สุด เบนซินเอทิลเบนซิน และไซลีน (0.17 0.17 0.16 และ 0.15) ลดลงตามลำดับ และเมื่อดูผลการทดลองในแต่ละปีจะพบว่าแนวโน้มที่ใช้อัตราการไหลเฉลี่ยลดลงอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ปี 2014-2017 ซึ่งเกิดจากจุดเก็บที่แตกต่างกันในแต่ละโรงงาน สภาพอากาศในขณะที่เก็บตัวอย่าง หรือชนิดของสารอื่นที่มีการเก็บตัวอย่างรวมด้วย เช่น สารประกอบอินทรีย์ระเหยอื่น ๆ รวมถึงสถานที่หรืออุตสาหกรรมที่ไปทำการเก็บตัวอย่างนั้นมีปริมาณความเข้มข้นสารที่ไม่เหมือนกันซึ่งแตกต่างกันไปตามกิจกรรมของอุตสาหกรรมนั้น ๆ และจะเห็นได้ว่าอัตราการไหลส่วนใหญ่จะใช้ที่ 0.20 ลิตร/นาที ตามมาตรฐาน NIOSH Method 1501 ซึ่งกำหนดให้ใช้อัตราการไหลในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX อยู่ที่ ≤ 0.20 ดังนั้นอัตราการไหลอาจไม่ใช่ปัจจัยสำคัญในการทำนายสถานะที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างเนื่องจากใช้อัตราการไหลไม่แตกต่างกัน แต่อาจมีแตกต่างกันมากในบางครั้งที่ทำการเก็บเนื่องจากบริษัทที่ไปทำการตรวจวัด

เป็นคนกำหนดอัตราการไหลเอง โดยถ้ากำหนดอัตราการไหลมากอาจใช้เวลาในการเก็บน้อยลง แต่ถ้ากำหนดอัตราการไหลน้อยอาจใช้เวลามากขึ้นทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสม ณ หน้านงานนั้นและความต้องการของบริษัท

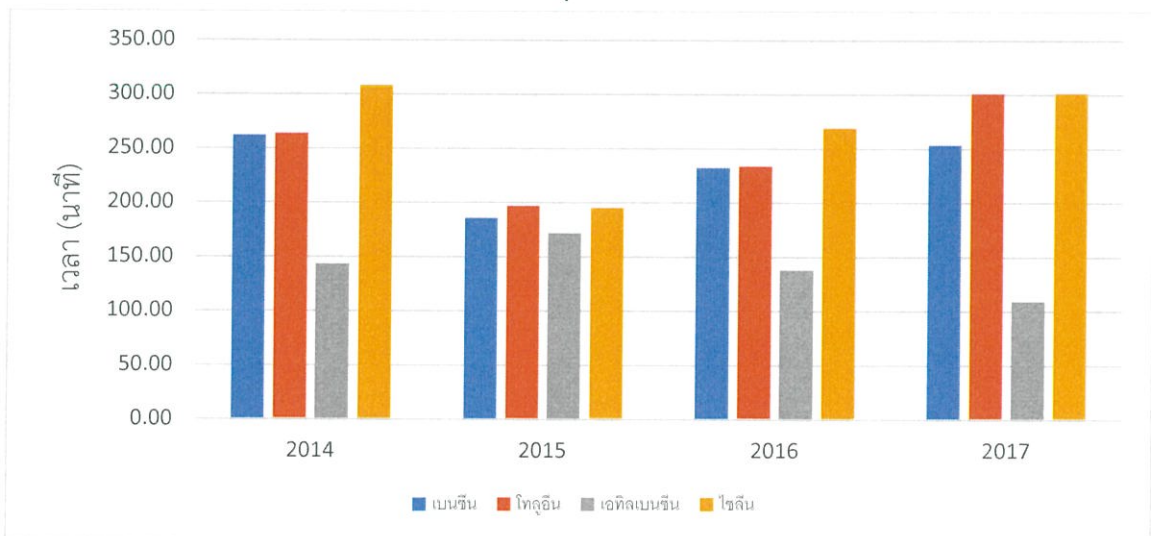
ตารางที่ 4.1 ค่าทางสถิติของผลของอัตราการไหลอากาศในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในปี 2014-2017

สารกลุ่ม BTEX	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)
เอทิลเบนซีน	$0.19^a \pm 0.03$
ไซลีน	$0.20^a \pm 0.04$
โทลูอิน	$0.21^a \pm 0.03$
เบนซีน	$0.21^a \pm 0.03$

หมายเหตุ ในแต่ละสดมภ์ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยการวิเคราะห์ Duncan ค่าเฉลี่ย \pm ค่าความแปรปรวน จากการวิเคราะห์ 4 ซ้ำ

เมื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างสารอินทรีย์ BTEX 4 ชนิด ได้แก่ เบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีน มาทำการเปรียบเทียบค่าของอัตราการไหล พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของการใช้อัตราการไหลในการเก็บตัวอย่างระหว่างสารทั้ง 4 ชนิด ที่ระดับความเชื่อมั่น ($P < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.1

4.1.2 ผลของเวลาในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในปี 2014-2017



รูปที่ 4.2 เวลาในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในปี 2014-2017

จากผลการทดลองของเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง แสดงในรูปที่ 4.2 พบว่าสาร BTEX ทั้ง 4 ชนิดมีการใช้เวลาในการเก็บตัวอย่างสูงสุดไปต่ำสุดไม่แตกต่างกัน ซึ่งในปี 2014 2016 และ 2017 ไซลีน เป็นสารที่ใช้เวลามากที่สุดอยู่ในช่วง 269-307 นาที รองลงมาคือ โทลูอิน เบนซีน และเอทิลเบนซีน อยู่ใน ช่วง 234-301, 232-262 และ 109-172 นาที ตามลำดับ ส่วนในปี 2015 มีการใช้เวลาที่แตกต่างกันไปจาก 3 ปีก่อนหน้านี้ ซึ่งโทลูอินเป็นสารที่ใช้เวลามากที่สุดเท่ากับ 197 นาที รองลงมาคือไซลีน เบนซีน และเอทิล เบนซีน เท่ากับ 195 186 และ 172 นาที ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าในปี 2015 มีลำดับการใช้เวลาของสาร จากมากไปน้อยแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ดังนั้นช่วงเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างที่เหมาะสมของสาร เบน ซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีน จะอยู่ในช่วง 186-232, 197-301, 109-172 และ 195-307 นาที ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ค่าทางสถิติของเวลาในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในปี 2014-2017

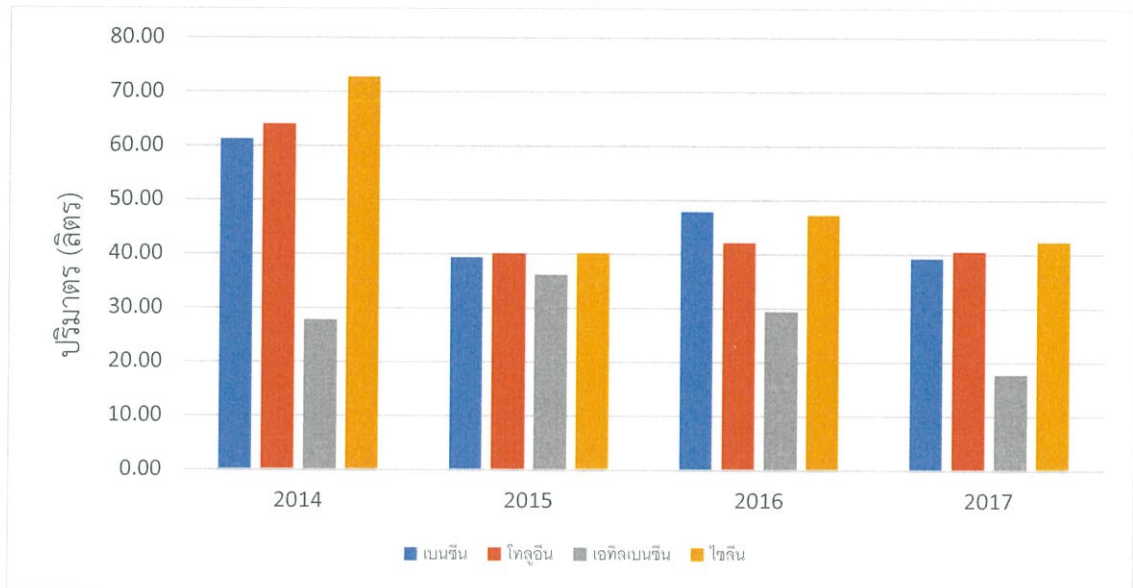
สารกลุ่ม BTEX	เวลา (นาที)
เอทิลเบนซีน	140.26 ^b ± 25.71
เบนซีน	233.48 ^a ± 34.04
โทลูอิน	248.67 ^a ± 44.25
ไซลีน	268.23 ^a ± 51.69

หมายเหตุ ในแต่ละสมรค์ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P < 0.05) โดยการวิเคราะห์ Duncan ค่าเฉลี่ย ± ค่าความแปรปรวน จากการวิเคราะห์ 4 ซ้ำ

เมื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างสารอินทรีย์ทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ เบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีน มาทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของเวลา พบว่าเอทิลเบนซีนมีความแตกต่าง กับเบนซีน โทลูอิน และ ไซลีน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น (P > 0.05) โดยเอทิลเบนซีนมีค่าเวลาน้อยที่สุด แสดงในตารางที่ 4.2 และในการเก็บตัวอย่างอากาศในบริเวณพื้นที่ทำงาน (Workplace air sampling) ส่วนใหญ่จะเก็บตามเวลาทำงานของพนักงานคือ 8 ชั่วโมง โดยใช้วิธีการเก็บตาม NIOSH Method 1501 และเนื่องมาจากสถานที่ในอุตสาหกรรมที่ไปทำการตรวจวัดสาร ณ บริเวณนั้นมีความเข้มข้นของเอทิลเบน ซีนในปริมาณสูงผู้ทำการเก็บตัวอย่างจึงทำการลดเวลาในการเก็บลงเพื่อไม่ให้เกิดการทะลุผ่านจากส่วน หน้าที่ของหลอดดูดซับไปยังส่วนหลังของหลอดดูดซับ (Breakthrough) เนื่องจากมีผลต่อคุณภาพในการ วิเคราะห์ความเข้มข้นสาร (ศศิธร และคณะ, 2556) เพราะฉะนั้นใน 8 ชั่วโมงที่ทำการเก็บตัวอย่างอยู่จาก ผลการทดลองดังตาราง 4.2 สารแต่ละตัวคือ เบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีน จึงควรเปลี่ยนหลอด ดูดซับเมื่อถึงเวลาดังตารางจนครบ 8 ชั่วโมง หรือตามที่บริษัทที่จ้างตรวจเป็นคนกำหนดเวลาให้ทำการ

ตรวจวัดซึ่งแตกต่างกันไปตามแต่ละอุตสาหกรรมและตำแหน่งหน้าที่ของพนักงานในพื้นที่นั้น ๆ ที่เสี่ยงต่อการรับสัมผัสสาร

4.1.3 ผลของปริมาณในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในปี 2014-2017



รูปที่ 4.3 ปริมาณในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในปี 2014-2017

จากผลการทดลองของปริมาณที่ได้จากการเก็บตัวอย่างแสดงในรูปที่ 4.3 พบว่าในปี 2014 2015 และ 2016 มีปริมาณของไซลีนมากที่สุด รองลงมาคือ เบนซีน ไซลีน และเอทิลเบนซีน ตามลำดับ แต่ในปี 2016 พบว่า สารที่มีปริมาณมากที่สุดจะแตกต่างจาก 3 ปีที่กล่าวมา โดยสารที่มีปริมาณมากที่สุดคือ เบนซีน ไซลีน โทลูอีน และเอทิลเบนซีน ตามลำดับ ซึ่งแม้ในปี 2016 จะมีความแตกต่างจากปีอื่น ๆ แต่ผลของปริมาณนั้นสอดคล้องกับผลของเวลาก่อนหน้านี้ที่สารไซลีนเป็นสารที่มีการใช้เวลามากที่สุดรองลงมาคือ โทลูอีน เบนซีน และเอทิลเบนซีน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณจะแปรผันตามเวลาของการเก็บตัวอย่าง

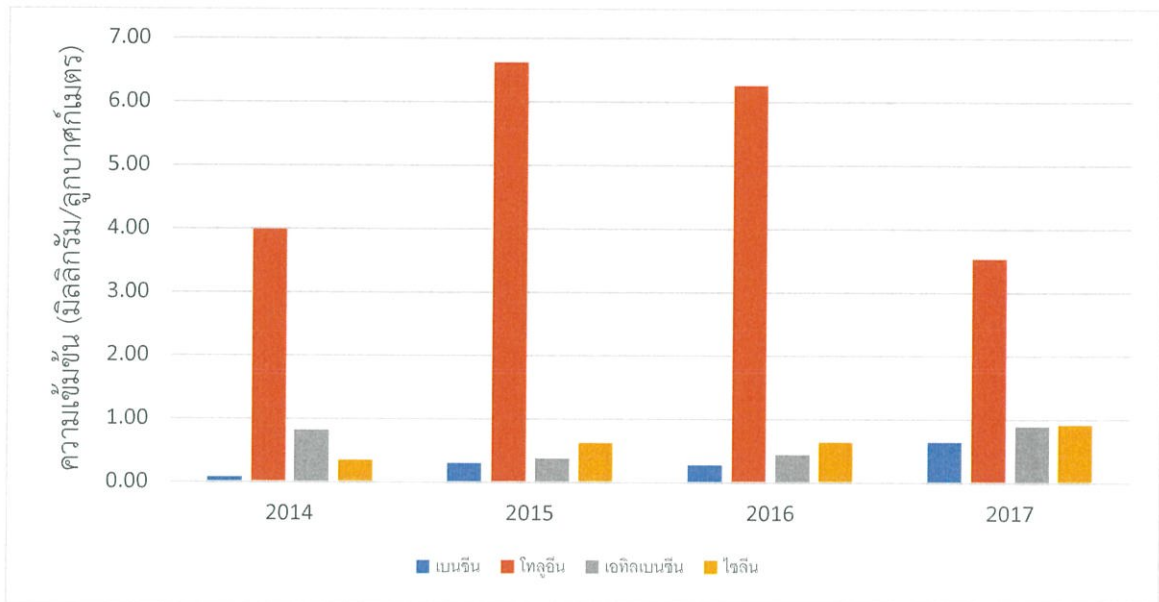
ตารางที่ 4.3 ค่าทางสถิติของปริมาณในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในปี 2014-2017

สารกลุ่ม BTEX	ปริมาณ (ลิตร)
เอทิลเบนซีน	27.77 ^b ± 7.61
โทลูอีน	46.66 ^a ± 11.55
เบนซีน	46.91 ^a ± 10.34
ไซลีน	50.59 ^a ± 15.02

หมายเหตุ ในแต่ละสดมภ์ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยการวิเคราะห์ Duncan ค่าเฉลี่ย ± ค่าความแปรปรวน จากการวิเคราะห์ 4 ซ้ำ

เมื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างสารอินทรีย์ระเหยทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ เบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีน มาทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณ พบว่าเอทิลเบนซีนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($P > 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับเวลาที่ใช้ในการเก็บสารเอทิลเบนซีนเช่นเดียวกัน โดยเอทิลเบนซีนมีปริมาณน้อยที่สุดแสดงในตารางที่ 4.3

4.1.4 ผลของความเข้มข้นสารในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในปี 2014-2017



รูปที่ 4.4 ความเข้มข้นสารในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในปี 2014-2017

จากผลการทดลองของความเข้มข้นของตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในแต่ละปี แสดงในรูปที่ 4.4 พบว่า ตั้งแต่ปี 2014-2017 สาร เบนซีน เอทิลเบนซีน และไซลีน มีความเข้มข้นไม่เกิน 1 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร แต่สารโทลูอิน ตั้งแต่ปี 2014-2017 มีค่าความเข้มข้นมากกว่าสารอื่นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งในปี 2015 เป็นปีที่มีความเข้มข้นของ โทลูอินมากที่สุดซึ่งมีค่ามากถึง 6.61 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 4.4 ค่าทางสถิติของความเข้มข้นสารในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในปี 2014-2017

สารกลุ่ม BTEX	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
เบนซีน	$0.33^b \pm 0.23$
เอทิลเบนซีน	$0.63^b \pm 0.26$
ไซลีน	$0.63^b \pm 0.23$
โทลูอิน	$5.09^a \pm 1.56$

หมายเหตุ ในแต่ละสมรภ์ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยการวิเคราะห์ Duncan ค่าเฉลี่ย \pm ค่าความแปรปรวน จากการวิเคราะห์ 4 ซ้ำ

เมื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างสารกลุ่ม BTEX ทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ เบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีน มาทำการเปรียบเทียบความแตกต่าง พบว่าโทลูอินมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แสดงในตารางที่ 4.4 ทั้งนี้ความเข้มข้นที่สูงของโทลูอินในงานวิจัยนี้เกิดจากการทำการตรวจวัดโดยทำการเก็บตัวอย่างในอุตสาหกรรมที่มีความเข้มข้นของโทลูอินสูงในปี 2014-2017 ซึ่งรวมถึงพื้นที่ที่ไปทำการเก็บตัวอย่างสารในอุตสาหกรรมนั้นๆอีกด้วยจึงมีผลต่อความเข้มข้นของโทลูอินโดยตรง

สารโทลูอินโดยลำพังจะระเหยง่าย แต่โทลูอินสามารถอยู่ในชั้นบรรยากาศที่มีโอโซนและแสงแดด ได้นานถึง 27,950 วัน หรือประมาณ 76 ปี ซึ่งจากข้อมูลการสะสมของโทลูอินอาจเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้สารโทลูอินมีปริมาณการสะสมในบรรยากาศ และสารเคมีชนิดนี้นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรม โดยส่วนมากจะนำสารโทลูอินมาใช้เป็นตัวทำละลาย ใช้เป็นตัวทำความสะอาดโลหะ ใช้ในการล้างคราบมันบนผิวโลหะ ใช้เป็นตัวทำละลายและเจือจางตัวทำละลาย ใช้เป็นตัวทำละลายสารไฮโดรคาร์บอน และ ใช้เป็นตัวทำละลายคล้ายทินเนอร์ (สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม, 2555) และซึ่งสิ่งต่างๆ เหล่านี้เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้สารโทลูอินมีความเข้มข้นมากกว่าสารอื่นในแต่ละปีซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าที่มีการรายงานผลการตรวจวัดปริมาณสารกลุ่ม BTEX ในอาคารบริเวณชุมชนเมืองของประเทศออสเตรเลีย 4 แห่ง พบว่าโทลูอินมีความเข้มข้นมากกว่า เบนซีน เอทิลเบนซีน และไซลีน (Hinwood. *et al.*, 2007) ดังนั้นในการเก็บตัวอย่างสารโทลูอิน ควรระวังในเรื่องระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างไม่ให้มากเกินไป

4.2 ผลการตรวจวัดจริงจำแนกตามประเภทของภาคอุตสาหกรรมหลักในปี 2014-2017

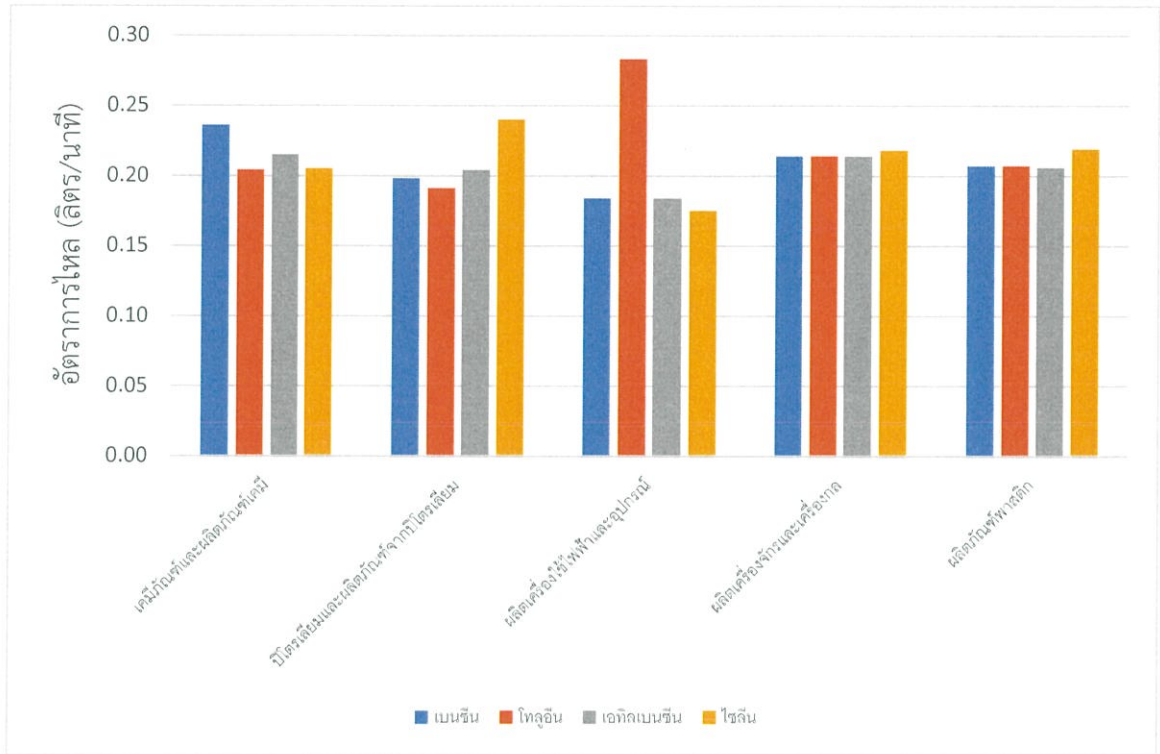
ประเภทของอุตสาหกรรมหลักที่ทำการตรวจวัดสารประกอบอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จากอากาศในพื้นที่ทำงาน (Workplace air sampling) มีดังนี้

- 1) กลุ่มอุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี (Chemical & Chemical products)
- 2) กลุ่มอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม (Petroleum and Petroleum products)
- 3) กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ (Electrical Machinery and Supplies)
- 4) กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล (Machinery)
- 5) กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติก (Plastic products)

ซึ่งในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมข้างต้นที่ทำการตรวจวัดสารประกอบอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX นั้นในแต่ละบริเวณพื้นที่ที่ทำการตรวจวัดสารนั้นไม่เหมือนกันอาจแตกต่างกันไปในแต่ละปี ซึ่งขึ้นอยู่กับบริษัทที่ทำการว่าจ้างว่าปีนั้นจะให้ทำการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ไหน ซึ่งมีทั้งบริเวณทำการตรวจวัดเดิม และ

บริเวณใหม่ ผลการตรวจวัดจริงโดยศึกษาปัจจัยของ อัตราการไหล เวลา ปริมาตร และความเข้มข้น โดยแบ่งตามภาคอุตสาหกรรมดังนี้

4.2.1 ผลของอัตราการไหลอากาศในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ของ 5 ภาคอุตสาหกรรม



รูปที่ 4.5 อัตราการไหลอากาศในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ของ 5 ภาคอุตสาหกรรม

เมื่อทำการเปรียบเทียบระดับการใช้อัตราการไหลในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX โดยการจำแนกตามภาคอุตสาหกรรม พบว่าอัตราการไหลที่ใช้เก็บตัวอย่างในทุกภาคอุตสาหกรรมมีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ซึ่งจะอยู่ในระดับ 0.20 ลิตร/นาที จะมีเพียงกลุ่มอุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ มีค่าแตกต่างไปจากกลุ่มอุตสาหกรรมอื่น โดยสารโทลูอีนเป็นสารที่มีการใช้อัตราการไหลในการเก็บตัวอย่างมากที่สุดเก็บตัวอย่างในกลุ่มอุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ แสดงดังรูปที่ 4.5 ซึ่งใช้อัตราการไหลประมาณ 0.28 ลิตรต่อนาที ซึ่งผลของอัตราการไหลที่แตกต่างกันไม่ได้เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเก็บตัวอย่างสาร BTEX เนื่องจากการเก็บตัวอย่างอัตราการไหลที่ใช้เก็บสามารถยืดหยุ่นได้ตามเวลาของการเก็บตัวอย่าง และบางครั้งในการตรวจวัดบริษัทผู้ว่าจ้างเป็นคนกำหนดอัตราการไหลเอง แต่ทั้งนี้โดยทั่วไปแล้วจะยึดตามมาตรฐานการเก็บตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX ตาม NIOSH Method 1501 ซึ่งกำหนดให้ใช้อัตราการไหล ≤ 0.20 ในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX และขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ตรวจวัดว่าจะกำหนดอัตราการไหลแบบไหนที่เหมาะสมกับหน้างาน โดย

พิจารณาจากบริเวณพื้นที่ทำการเก็บตัวอย่างสารว่ามีความเข้มข้นของสารตัวอย่างมากน้อยเพียงใด รวมถึงสภาพอากาศในขณะเก็บตัวอย่าง สารประกอบอินทรีย์ระเหยอื่น ๆ ที่มีการเก็บตัวอย่างรวมด้วย

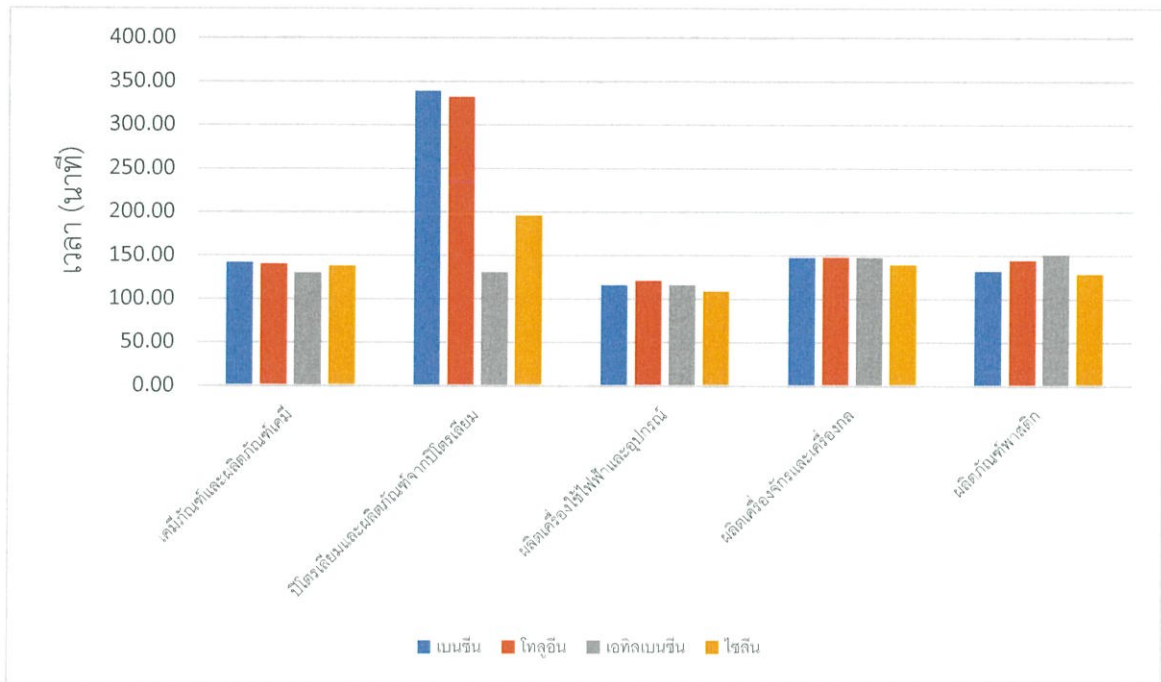
ตารางที่ 4.5 อัตราการไหลอากาศในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ของ 5 ภาคอุตสาหกรรม

กลุ่มอุตสาหกรรม	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)			
	เบนซีน	โทลูอิน	เอทิลเบนซีน	ไซลีน
เคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี	0.25 ^a ± 0.07	0.20 ^a ± 0.03	0.21 ^a ± 0.00	0.20 ^a ± 0.03
ปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม	0.20 ^a ± 0.05	0.19 ^a ± 0.06	0.18 ^a ± 0.05	0.19 ^a ± 0.06
ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์	0.19 ^a ± 0.02	0.30 ^a ± 0.20	0.19 ^a ± 0.02	0.20 ^a ± 0.05
ผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล	0.22 ^a ± 0.02	0.22 ^a ± 0.02	0.22 ^a ± 0.02	0.22 ^a ± 0.01
ผลิตภัณฑ์พลาสติก	0.21 ^a ± 0.03	0.19 ^a ± 0.05	0.21 ^a ± 0.00	0.22 ^a ± 0.01

หมายเหตุ ในแต่ละสดมภ์ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยการวิเคราะห์ Duncan ค่าเฉลี่ย ± ค่าความแปรปรวน จากการวิเคราะห์ 4 ซ้ำ

เมื่อดูความสัมพันธ์ของสารประกอบอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX คือ เบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน ไซลีน ใน 5 ภาคอุตสาหกรรม คือ กลุ่มอุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์ กลุ่มอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติก มาเปรียบเทียบอัตราการไหลอากาศที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างพบว่าในภาคอุตสาหกรรมทั้ง 5 จากตารางที่ 4.5 สาร BTEX ทั้ง 4 ตัวใช้อัตราการไหลอากาศในการเก็บตัวอย่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($P < 0.05$) โดยสารประกอบอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX คือ เบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และ ไซลีน ของทั้ง 5 ภาคอุตสาหกรรมจะใช้อัตราการไหลในการเก็บตัวอย่างสารอยู่ในช่วง 0.19-0.25, 0.19-0.30, 0.18-0.22 และ 0.19-0.22 ตามลำดับ

4.2.2 ผลของเวลาในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ของ 5 ภาคอุตสาหกรรม



รูปที่ 4.6 เวลาในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ของ 5 ภาคอุตสาหกรรม

ผลของเวลาเฉลี่ยในการเก็บตัวอย่างสารแสดงให้เห็นว่า เวลาส่วนใหญ่ในการเก็บตัวอย่างของ 4 ภาคอุตสาหกรรมได้แก่ อุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี อุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ และผลิตภัณฑ์พลาสติก และอุตสาหกรรมผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล ใช้ระยะเวลาในการเก็บที่ใกล้เคียงกัน โดยระยะเวลาส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 100-150 นาที แต่ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมใช้เวลาในการเก็บตัวอย่างมากกว่าในอุตสาหกรรมอื่นๆ ทั้ง 4 กลุ่มที่กล่าวมาข้างต้น แสดงในรูปที่ 4.6 ซึ่งเบนซินและโทลูอินใช้เวลาในการเก็บมากที่สุด โดยเบนซินใช้เวลาเฉลี่ยประมาณ 339 นาที และโทลูอินใช้เวลาประมาณ 332 นาที ส่วนในสารไซลีนเป็นสารที่ใช้เวลาในการเก็บประมาณ 195 นาที ซึ่งแม้จะใช้เวลาในการเก็บตัวอย่างน้อยในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมแต่ก็ยังมากกว่าในอุตสาหกรรมอื่น ๆ ทั้งอุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ และผลิตภัณฑ์พลาสติก แสดงให้เห็นว่าในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมมีการใช้เวลาที่มากในการเก็บตัวอย่างสาร BTEX ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ซึ่งทำการศึกษาเกี่ยวกับระดับเบนซินและโทลูอินในอากาศภายในสถานีบริการน้ำมันมีค่าการใช้เวลาในการเก็บตัวอย่างใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมค่อนข้างใช้เวลาในการเก็บตัวอย่างเป็นเวลานาน (ธีรพงศ์ และคณะ, 2558)

ตารางที่ 4.6 เวลาในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ของ 5 ภาคอุตสาหกรรม

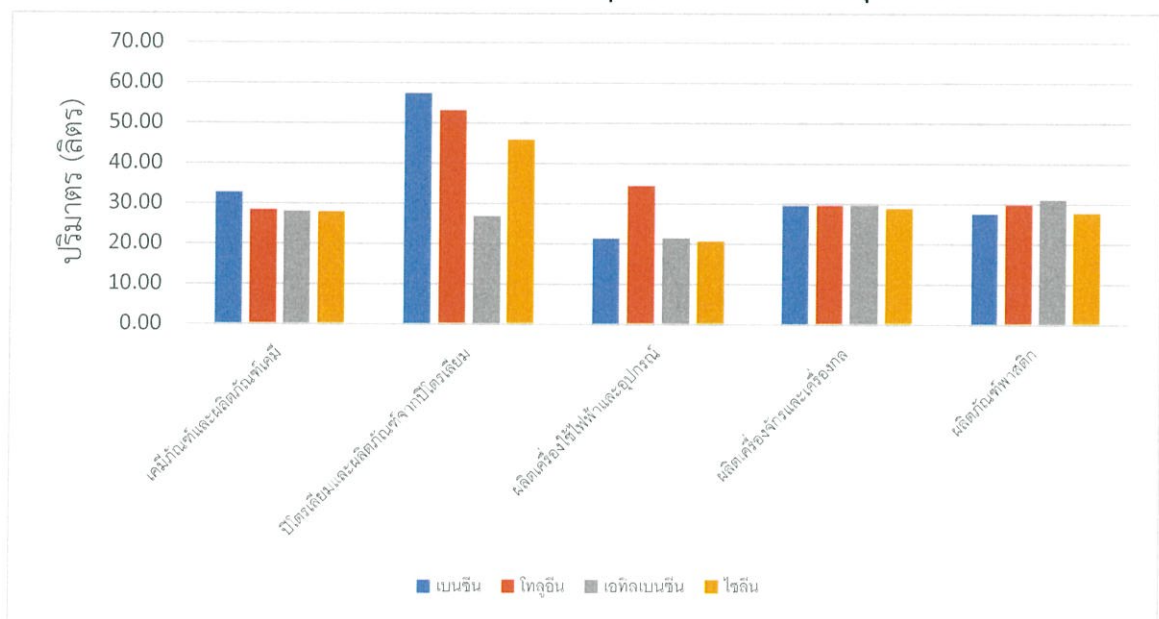
กลุ่มอุตสาหกรรม	เวลา (นาที)			
	เบนซีน	โทลูอิน	เอทิลเบนซีน	ไซลีน
เคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี	138.91 ^b ± 16.73	134.78 ^b ± 20.12	128.47 ^{ab} ± 2.16	139.35 ^b ± 11.95
ปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม	334.96 ^a ± 134.24	335.45 ^a ± 137.30	122.78 ^b ± 16.84	333.70 ^a ± 143.14
ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์	115.00 ^b ± 7.41	120.78 ^b ± 2.17	115.00 ^b ± 7.41	115.75 ^b ± 17.74
ผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล	138.63 ^b ± 29.78	138.63 ^b ± 29.78	138.63 ^{ab} ± 29.78	138.71 ^b ± 29.71
ผลิตภัณฑ์พลาสติก	132.65 ^b ± 7.03	138.89 ^b ± 13.14	152.00 ^a ± 1.29	133.93 ^b ± 12.85

หมายเหตุ ในแต่ละสตรัม ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยการวิเคราะห์ Duncan ค่าเฉลี่ย ± ค่าความแปรปรวน จากการวิเคราะห์ 4 ซ้ำ

เมื่อดูความสัมพันธ์ของสารประกอบอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX คือ เบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน ไซลีน ใน 5 ภาคอุตสาหกรรม คือ กลุ่มอุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์ กลุ่มอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติก มาเปรียบเทียบการใช้เวลาในการเก็บตัวอย่างพบว่าในภาคอุตสาหกรรมทั้ง 5 จากตารางที่ 4.6 พบว่าสารเบนซีนในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมมีการใช้เวลาในการเก็บมากที่สุดซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($P > 0.05$) ส่วนอุตสาหกรรมอื่นคือ เคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ ผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล ผลิตภัณฑ์พลาสติก ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($P < 0.05$) โดยทั้ง 4 ภาคอุตสาหกรรมนี้ใช้ช่วงเวลาในการเก็บสารเบนซีนอยู่ในช่วง 115-139 นาที และสารโทลูอินในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมมีการใช้เวลาในการเก็บมากที่สุดเช่นเดียวกับสารเบนซีนซึ่งมีความ

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($P > 0.05$) ส่วนอุตสาหกรรมอื่นๆนอกจากอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($P < 0.05$) โดยใช้เวลาการเก็บอยู่ในช่วง 121-139 นาที ส่วนสารเอทิลเบนซีนในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติกมีการใช้เวลาในการเก็บมากที่สุดอยู่ที่ 152 นาทีซึ่งใช้เวลาที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($P > 0.05$) ซึ่งแตกต่างจากอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม และอุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($P < 0.05$) กับอุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมีกับอุตสาหกรรมผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล ส่วนในอุตสาหกรรมอื่น ๆ ยกเว้นผลิตภัณฑ์พลาสติกไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($P < 0.05$) โดยใช้เวลาในการเก็บอยู่ในช่วง 115-139 นาที และสารไซลีนซึ่งมีแนวโน้มเดียวกับสารเบนซีนและโทลูอิน คือ ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียมมีการใช้เวลาในการเก็บมากที่สุดคือ 334 นาที ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($P > 0.05$) ส่วนอุตสาหกรรมอื่นๆยกเว้นอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียมใช้เวลาในการเก็บนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($P < 0.05$) โดยใช้เวลาการเก็บอยู่ในช่วง 116-139 นาที

4.2.3 ผลของปริมาตรในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ของ 5 ภาคอุตสาหกรรม



รูปที่ 4.7 ปริมาตรในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ของ 5 ภาคอุตสาหกรรม

จากผลปริมาตรเฉลี่ยตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX จำแนกตามกลุ่มอุตสาหกรรม แสดงในรูปที่ 4.7 พบว่าในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมเป็นกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีปริมาตรเฉลี่ยมากกว่ากลุ่มอุตสาหกรรมอื่น ซึ่ง

สารเบนซีน โทลูอิน และไซลีนเป็นสารที่มีปริมาณมากที่สุด ส่วนในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติก ในอุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์ และอุตสาหกรรมผลิตเครื่องจักรและเครื่องกลมีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน โดยที่กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าเป็นกลุ่มที่มีปริมาณน้อยที่สุด แสดงในรูป 4.6 ซึ่งทั้งหมดสอดคล้องกับผลของเวลาเฉลี่ยก่อนหน้านี้นี้เนื่องจากการเก็บโดยใช้อัตราการไหลอากาศหนึ่งมีหน่วยเป็น ลิตร/นาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณจะแปรผันตรงกับเวลาในการเก็บตัวอย่าง ดังนั้นปริมาณไม่ได้เป็นปัจจัยสำคัญที่จะส่งผลต่อการเก็บตัวอย่างในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม

เมื่อดูความสัมพันธ์ของสารประกอบอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX ใน 5 ภาคอุตสาหกรรมมาเปรียบเทียบปริมาณที่ได้จากการเก็บตัวอย่างพบว่าในภาคอุตสาหกรรมทั้ง 5 จากตารางที่ 4.7 พบว่าปริมาณของสารเบนซีนในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียมมีค่ามากที่สุดอยู่ที่ 58.87 ลิตร ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($P > 0.05$) จากอุตสาหกรรมอื่น ๆ และสังเกตได้ว่าแปรผันตรงกับเวลาที่ใช้ในการเก็บสารเบนซีนในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียมดังตารางที่ 4.6 สารโทลูอินปริมาณมากที่สุดอยู่ที่อุตสาหกรรมปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียมมีปริมาณคือ 54.28 ลิตร ซึ่งแปรผันตรงกับเวลาที่ใช้ในการเก็บเหมือนกันและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($P > 0.05$) กับอุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี อุตสาหกรรมผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติก แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($P < 0.05$) กับอุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ ปริมาณที่ได้ยกเว้นอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียมได้ปริมาณอยู่ในช่วง 25.66-36.78 ลิตร ซึ่งสัมพันธ์กับช่วงเวลาในหัวข้อที่ 4.2.2 คือ 116-139 นาที

ตารางที่ 4.7 ปริมาณในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ของ 5 ภาคอุตสาหกรรม

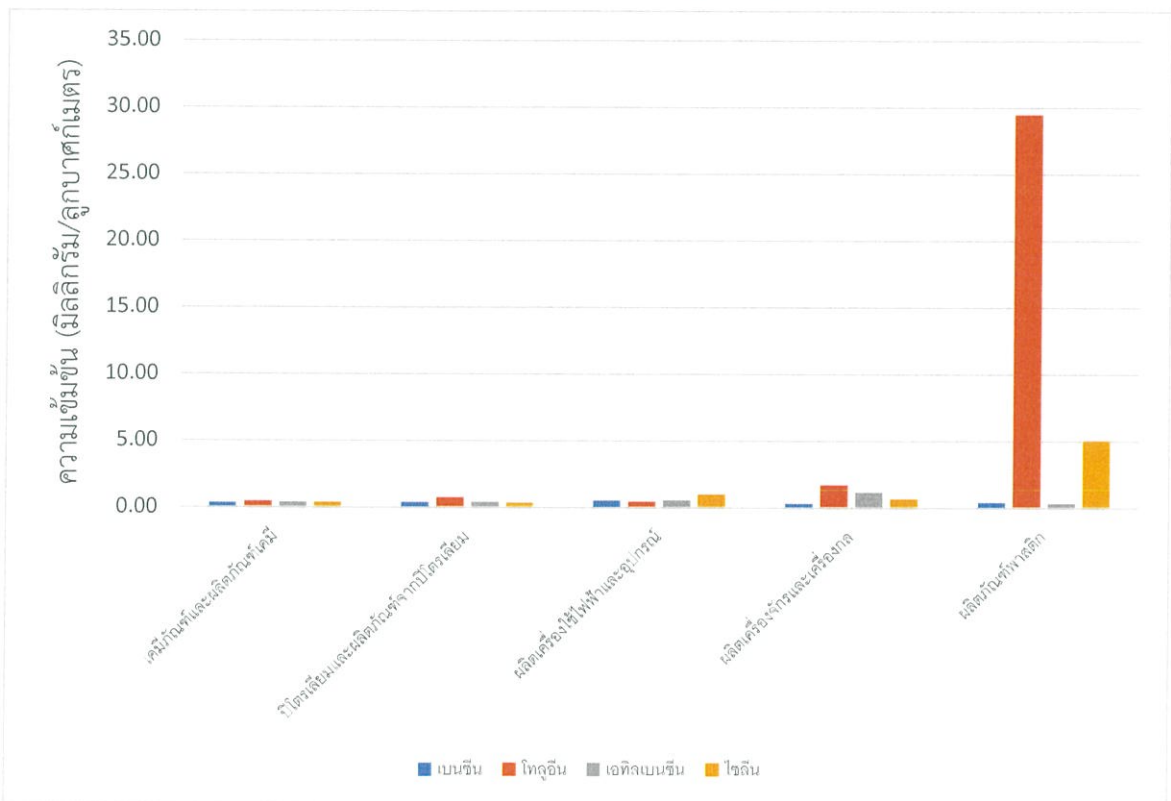
กลุ่มอุตสาหกรรม	ปริมาณ (ลิตร)			
	เบนซีน	โทลูอิน	เอทิลเบนซีน	ไซลีน
เคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี	33.64 ^b ± 6.35	26.37 ^b ± 8.56	28.00 ^{abc} ± 0.19	27.55 ^b ± 4.52
ปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม	58.87 ^a ± 13.84	54.28 ^a ± 11.12	23.13 ^{bc} ± 8.07	53.56 ^a ± 10.46
ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์	22.07 ^b ± 2.58	36.78 ^{ab} ± 24.73	22.07 ^c ± 2.58	24.06 ^b ± 7.45

ตารางที่ 4.7 (ต่อ) ปริมาณในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ของ 5 ภาคอุตสาหกรรม

กลุ่มอุตสาหกรรม	ปริมาณ (ลิตร)			
	เบนซีน	โทลูอิน	เอทิลเบนซีน	ไซลีน
ผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล	29.01 ^b ± 3.38	29.01 ^b ± 3.38	29.01 ^{ab} ± 3.38	28.60 ^b ± 3.42
ผลิตภัณฑ์พลาสติก	27.85 ^b ± 2.52	25.66 ^b ± 7.74	32.00 ^a ± 1.28	28.54 ^b ± 1.86

หมายเหตุ ในแต่ละสดมภ์ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยการวิเคราะห์ Duncan ค่าเฉลี่ย ± ค่าความแปรปรวน จากการวิเคราะห์ 4 ซ้ำ

4.2.4 ผลของความเข้มข้นสารในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX



รูปที่ 4.8 ความเข้มข้นสารในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ของ 5 ภาคอุตสาหกรรม

จากผลของความเข้มข้นเฉลี่ยในการเก็บตัวอย่างเมื่อจำแนกตามกลุ่มอุตสาหกรรม พบว่าในกลุ่มอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติกมีปริมาณความเข้มข้นของสารโทลูอินที่สูงกว่ากลุ่มอุตสาหกรรมอื่นอย่าง

มากอย่างเห็นได้ชัดรวมถึงไซรีนในกลุ่มอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติกก็มีความเข้มข้นสูงเช่นเดียวกัน แต่ในอุตสาหกรรมอื่นมีความเข้มข้นมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารโทลูอินที่มีความเข้มข้นมากที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัยที่ทำการศึกษาระดับปริญญาโทประกอบอินทรีย์ระเหยที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมการพิมพ์พลาสติกโดยได้รายงานวาทะโทลูอินเป็นสารที่มีความเข้มข้นมากที่สุดเนื่องจากสัดส่วนของการผสมในสีมากกว่าตัวทำละลายชนิดอื่น (พฤษ, 2546) ซึ่งในเรื่องของความเข้มข้นนี้ปัจจัยสำคัญที่สัมพันธ์กันคือเรื่องของเวลาซึ่งแปรผันตรงกันแต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาถึงบริเวณพื้นที่ที่ทำการเก็บตัวอย่างด้วยว่า ณ จุดนั้นผู้ทำการเก็บตัวอย่างคาดว่าจะมีความเข้มข้นมากน้อยเพียงใด โดยถ้าคาดว่าความเข้มข้นบริเวณนั้นมีมากก็อาจปรับเวลาการเก็บให้น้อยลงถ้าทำการเก็บตัวอย่าง 8 ชั่วโมงต่อเนื่องคือเวลาทำงานของพนักงาน โดยทั่วไปก็ควรจะเปลี่ยนหลอดดูดซับตามเวลาที่เหมาะสม เพื่อไม่ให้เกิดการ break through เนื่องจากมีความเข้มข้นของสารมากเกินไปและใช้เวลาที่มากเกินไป ในทางกลับกันกรณีในพื้นที่นั้นดูมีความเข้มข้นของสารที่สนใจไม่มากก็อาจทำการเก็บตัวอย่างต่อเนื่องเลยที่ 8 ชั่วโมงเนื่องจากไม่จำเป็นต้องทำการเปลี่ยนหลอดดูดซับ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ทำการตรวจวัดในการกำหนดสภาวะที่เหมาะสมกับความเข้มข้นที่คาดการณ์ไว้ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญมาก

ตารางที่ 4.8 ความเข้มข้นสารในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ของ 5 ภาคอุตสาหกรรม

กลุ่มอุตสาหกรรม	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)			
	เบนซีน	โทลูอิน	เอทิลเบนซีน	ไซลีน
เคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี	0.35 ^a ± 0.38	0.52 ^a ± 0.36	0.36 ^a ± 0.01	0.39 ^b ± 0.08
ปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม	0.38 ^a ± 0.22	0.72 ^a ± 0.49	0.51 ^a ± 0.25	0.41 ^b ± 0.19
ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์	0.51 ^a ± 0.12	0.44 ^a ± 0.16	0.51 ^a ± 0.12	0.72 ^b ± 0.66
ผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล	0.34 ^a ± 0.04	1.48 ^a ± 1.27	1.00 ^a ± 0.87	0.83 ^b ± 0.62
ผลิตภัณฑ์พลาสติก	0.40 ^a ± 0.15	76.39 ^a ± 122.44	0.33 ^a ± 0.01	3.96 ^a ± 3.07

หมายเหตุ ในแต่ละสดมภ์ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยการวิเคราะห์ Duncan ค่าเฉลี่ย ± ค่าความแปรปรวน จากการวิเคราะห์ 4 ซ้ำ

เมื่อดูความสัมพันธ์ของสารประกอบอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX คือ เบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน ไชลีน ใน 5 ภาคอุตสาหกรรม คือ กลุ่มอุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์ กลุ่มอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติก มาเปรียบเทียบความเข้มข้นที่ได้จากการเก็บตัวอย่างพบว่าในภาคอุตสาหกรรมทั้ง 5 จากตารางที่ 4.8 สำหรับสารเบนซีนไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($P < 0.05$) คือทั้ง 5 ภาคอุตสาหกรรมจากผลการตรวจและวิเคราะห์ความเข้มข้นมีค่าอยู่ที่ระดับเท่า ๆ กัน ส่วนสารโทลูอินจะเห็นได้ชัดเจนว่าอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติกมีความเข้มข้นที่สูงมากถึง 76.39 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมากกับอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่เหลือ แต่ว่าผลการวิเคราะห์ออกมาว่ามีความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($P < 0.05$) ทั้งนี้อาจเกิดจากข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์นี้ไม่ใช่ข้อมูลเชิงการทดลองแต่เป็นข้อมูลที่ได้จากการปฏิบัติงานจริง และค่าความเข้มข้นของโทลูอินที่สูงมากของอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติกเกิดจาก ณ บริเวณจุดเก็บตัวอย่างของบริษัท A เป็นบริเวณของเครื่องพิมพ์พลาสติกซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ทำการศึกษาระดับปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมการพิมพ์พลาสติก โดยได้รายงานว่าสารอินทรีย์เกิดจากกระบวนการผลิตมากที่สุดคือ โทลูอิน ส่วนสารเอทิลเบนซีนนั้นจากการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของทั้ง 5 ภาคอุตสาหกรรมไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($P < 0.05$) และสารไชลีนจากการนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นมีความเข้มข้นของไชลีนที่สูงถึง 3.96 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($P > 0.05$) ส่วนกลุ่มอุตสาหกรรมอื่นๆนอกจากอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติกมีความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ($P < 0.05$)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในอากาศบริเวณพื้นที่ทำงาน จำแนกการศึกษาเป็น 2 กลุ่ม คือ การศึกษาเปรียบเทียบระหว่างสารในระหว่างปี 2014-2017 และ การศึกษาเปรียบเทียบกันระหว่างสารกับกลุ่มอุตสาหกรรม

ในการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างสารตั้งแต่ปี 2014-2017 โดยใช้โปรแกรม SPSS วิเคราะห์ข้อมูล ทางสถิติ โดยทำการศึกษาสภาวะ 4 สภาวะที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างได้แก่ อัตราการไหล เวลา ปริมาตร และความเข้มข้น ซึ่งอัตราการไหลส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 0.15-0.25 ลิตร/นาที เวลาอยู่ในช่วง 109-307 นาที และปริมาตรอยู่ในช่วง 17-72.67 ลิตร ส่วนความเข้มข้นโทลูอินเป็นสารที่มีความเข้มข้นมากกว่าสารอื่น อย่างเห็นได้ชัด โดยมีค่าอยู่ในช่วง 3.53-6.61 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งในสารอื่นมีค่าไม่เกิน 1 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ดังตาราง 5.1

ตารางที่ 5.1 สรุปข้อมูลทางสถิติที่วิเคราะห์ได้จากการผลการตรวจวัดจริงตั้งแต่ปี 2014-2017

สาร	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	เวลา (นาที)	ปริมาตร (ลิตร)	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ ลูกบาศก์เมตร)
เบนซีน	0.17 - 0.24	186 - 262	39.22 - 61.21	0.08 - 0.64
โทลูอิน	0.17 - 0.25	197 - 301	40.10 - 63.94	3.53 - 6.61
เอทิลเบนซีน	0.16 - 0.21	109 - 171	40.15 - 72.67	0.31 - 0.89
ไซลีน	0.15 - 0.24	195 - 307	17.76 - 36.10	0.35 - 0.92

สำหรับการเปรียบเทียบระหว่างสารประกอบอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX กับกลุ่มอุตสาหกรรม โดย จำแนกออกเป็น 5 กลุ่มอุตสาหกรรม ได้แก่

- 1) กลุ่มอุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี (Chemical & Chemical products)
- 2) กลุ่มอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม (Petroleum and Petroleum products)
- 3) กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ (Electrical Machinery and Supplies)
- 4) กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล (Machinery)

5) กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติก (Plastic products)

โดยใช้โปรแกรม SPSS วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า อัตราการไหลกลุ่มอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะอยู่ในระดับ 0.20 ลิตร/นาที่ แต่ในกลุ่มอุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์จะมีค่าแตกต่างกันไปจากกลุ่มอุตสาหกรรมอื่น โดยสารที่ใช้อัตราการไหลในการเก็บตัวอย่างมากที่สุดคือโทลูอิน ส่วนระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกัน โดยระยะเวลาส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 100-150 นาที ซึ่งเบนซีนและโทลูอินใช้เวลาในการเก็บมากที่สุด สำหรับปริมาณ อุตสาหกรรมปิโตรเลียมเป็นกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีปริมาณเฉลี่ยมากกว่ากลุ่มอุตสาหกรรมอื่น และผลของความเข้มข้นเฉลี่ยในกลุ่มอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติกมีปริมาณความเข้มข้นของสารโทลูอินที่สูงกว่ากลุ่มอุตสาหกรรมอื่นมากอย่างเห็นได้ชัดรวมถึงโซลีนในกลุ่มอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติกก็มีความเข้มข้นสูงเช่นเดียวกัน ดังตาราง 5.2

ตารางที่ 5.2 สรุปข้อมูลทางสถิติที่วิเคราะห์ได้จากการผลการตรวจวัดจริงโดยจำแนกตามกลุ่มอุตสาหกรรม

กลุ่มอุตสาหกรรม	สาร	อัตราการไหล (ลิตร/นาที่)	เวลา (นาที่)	ปริมาตร (ลิตร)	ความ เข้มข้น (มิลลิกรัม/ ลูกบาศก์ เมตร)
เคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี	เบนซีน	0.23	142	32.82	0.35
	โทลูอิน	0.20	140	28.40	0.44
	เอทิลเบนซีน	0.22	130	28.02	0.37
	โซลีน	0.21	138	27.94	0.38
ปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม	เบนซีน	0.20	338	57.41	0.41
	โทลูอิน	0.19	332	53.12	0.74
	เอทิลเบนซีน	0.20	131	26.78	0.41
	โซลีน	0.24	195	45.83	0.35
ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์	เบนซีน	0.18	116	21.34	0.55
	โทลูอิน	0.28	120	34.36	0.44
	เอทิลเบนซีน	0.18	116	21.37	0.55
	โซลีน	0.18	108	20.71	1.01

ตารางที่ 5.2 (ต่อ) สรุปข้อมูลทางสถิติที่วิเคราะห์ได้จากการผลการตรวจวัดจริงโดยจำแนกตามกลุ่มอุตสาหกรรม

กลุ่มอุตสาหกรรม	สาร	อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	เวลา (นาที)	ปริมาตร (ลิตร)	ความ เข้มข้น (มิลลิกรัม/ ลูกบาศก์ เมตร)
ผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล	เบนซีน	0.21	148	29.59	0.33
	โทลูอีน	0.21	148	29.59	1.71
	เอทิลเบนซีน	0.21	148	29.59	1.14
	ไซลีน	0.21	139	28.91	0.67
ผลิตภัณฑ์พลาสติก	เบนซีน	0.20	132	27.60	0.42
	โทลูอีน	0.20	144	29.83	29.46
	เอทิลเบนซีน	0.20	151	31.02	0.32
	ไซลีน	0.22	128	27.75	5.03

ดังนั้นข้อมูลจากการวิเคราะห์ทางสถิติไปใช้ประกอบการพิจารณาเก็บตัวอย่างอากาศบริเวณพื้นที่ทำงาน (Workplace air sampling) โดยเก็บสารประกอบอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX ณ บริเวณหน้างานจริงได้อย่างแม่นยำครอบคลุม และมีความเหมาะสมมากขึ้น โดยดูจากแนวโน้มในการเก็บตัวอย่างรายปี 2014-2017 ซึ่งเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการเก็บตัวอย่างได้ โดยเฉพาะการเก็บตามภาคอุตสาหกรรมที่ได้ทำการทดลองแบ่งประเภททั้ง 5 ภาคอุตสาหกรรมคือ อุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี อุตสาหกรรมปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ อุตสาหกรรมผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล และอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติก ซึ่งเป็นข้อมูลที่ให้ความสำคัญในส่วนที่ผู้ทำการเก็บตัวอย่างสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยดูจากภาคอุตสาหกรรมที่เข้าไปทำการเก็บตัวอย่างประกอบกับข้อมูลการวิจัยเพื่อพิจารณาการเก็บได้ง่ายขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรมีการศึกษาถึงปริมาณการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX ที่ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดที่มีความแตกต่างกันเพื่อศึกษาการกระจายตัวของสาร เนื่องจากการทดลองนี้เป็นการเก็บตัวอย่างที่ระยะห่างของจุดเก็บมีความแตกต่างกัน
- 2) ควรมีการศึกษาปริมาณสารที่มีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นในระหว่างฤดูการของประเทศไทย
- 3) ควรมีการศึกษาปัจจัยอื่นๆที่ส่งผลต่อความเข้มข้นสาร เช่น อุณหภูมิ ความเข้มแสง สภาพพื้นที่ โดยรอบ เช่น ความหนาแน่นของการจราจร
- 4) ควรมีการศึกษาความชุกของโรงงานในบริเวณพื้นที่ที่ทำการตรวจวัดเนื่องจากสารอินทรีย์ระเหยที่ตรวจวัดได้อาจมาจากบริเวณอื่น ๆ ของโรงงานรอบข้างร่วมด้วย

เอกสารอ้างอิง

- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2535. สถิติสะสมจำนวนโรงงานที่ได้รับอนุญาตให้ประกอบกิจการ (เปิดดำเนินการ) ตาม พ.ร.บ.โรงงาน พ.ศ.2535. [Online]. Available : <http://www.diw.go.th/hawk/content.php?mode=spss60>.
- จันคนา บุรณะโอสถ. 2543. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแก๊สโครมาโตกราฟี. นครปฐม : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- จันทร์เพ็ญ ฤกษ์ชนะ. 2546. “การศึกษาการกระจายตัวของสารอินทรีย์ระเหยในโรงพิมพ์.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ชุติมา ศรีวิบูลย์. 2546. การวิเคราะห์โดยเครื่องโครมาโตกราฟี. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- ชญัญญา ล้อมลิ้ม. 2548. “การศึกษาความเข้มข้นและการกระจายตัวของสารอินทรีย์ระเหยบริเวณแท่นพิมพ์ ในโรงพิมพ์ขนาดใหญ่.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ชญัญญา ศูนย์คุ้ม. 2557. “การตรวจพิสูจน์น้ำมันเบนซินบนฝ่ามือและเสื้อผ้าของผู้วางเพลิงโดยเทคนิค Gas Chromatography – Flame Ionization Detector (GC-FID).” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- ธีรพงศ์ สายรัตน์, มณีรัตน์ องค์กรธรณี และสหลาภ หอมวุฒิมังค์. 2558. “การกระจายเชิงพื้นที่ของเบนซินและโทลูอีนในอากาศภายในสถานีบริการน้ำมัน”. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- พฤกษ์ ศิโรรัตน์เศรษฐ์. 2546. “การศึกษาปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมการพิมพ์พลาสติก.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมความปลอดภัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ไพลิน ทวีวงศ์. 2551. “การรับสัมผัสสารประกอบอินทรีย์ระเหยจากสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงในกรุงเทพมหานคร.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- รัฐเขต มุลินรัตน์. 2552. “แหล่งกำเนิดและความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยในอาคารสำนักงาน ในกรุงเทพมหานคร.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิญญู จิตสัมพันธ์เวช, วินัย สมบูรณ์, ภรณ์ทิรา เกตุแก้ว, ประภา เทพสินธพสกุล และอภิษฎา มุ่งพัฒนกิจ. 2550. “เทคนิควิเคราะห์ปริมาณสาร BTEX จากอุปกรณ์เก็บอากาศแบบพาสซีฟ.” *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ฉบับพิเศษ*. 30(4) : 633-640.
- วรารุช เสือดี และจิราวรรณ จำปานิล, (ผู้รวบรวม). 2555. *แนวทางการจัดการสารอินทรีย์ระเหย Volatile Organic Compounds (VOCs) Management Guideline*. ระยอง : มาบตาพุดการพิมพ์.
- วิวัฒน์ เอกบูรณะวัฒน์. 2555. Benzene Toluene Ethylbenzene Xylene. [online]. Available : http://www.summacheeva.org/index_occtox.htm.
- ศศิธร เรืองตระกูล, ทรรศนีย์ พลุกษาสิริ และเดซี่ หมอกน้อย. 2556. “การประเมินความเสี่ยงจากการสัมผัสสารปิโตรเลียมผ่านทางหายใจของพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษ ในเขตกรุงเทพมหานคร.” *วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม*. 9(1) : 1-3.
- สาวิตรี พูลมา. 2548. “การรับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยจากสิ่งแวดล้อมของผู้พักอาศัยในเขตกรุงเทพมหานคร.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. 2555. *คู่มือวิชาการ เรื่อง สารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ (Volatile Organic Compounds : VOCs)*. กรุงเทพฯ : สำนักงานกิจการโรงพิมพ์.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). 2013. *TLVs and BEIs*. Cincinnati : American Conference of Governmental Industrial Hygienists.
- Amit, P. 2018. *Xylene Market Report Presents an Overall Analysis, Development Trends, Driving Forces, Opportunities & Future Potential 2022*. [online]. Available : <http://newshawktime.com/xylene-market-report-presents-an-overall-analysis-development-trends-driving-forces-opportunities-future-potential-2022/>.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Batterman, S.A., Jia, C., and Godwin, C. 2004. "Sources and significance of VOC exposures In microenvironments: Schools, offices, residences, outdoors and vehicles." In *Proceedings of A&WMA 's 97th Annual Conference & Exhibition Indianapolis*. Indiana.
- Duarte, K., Justino, C., Freitas, A., Duarte, A., and Rocha-Santos, T. 2014. "Direct-reading methods for analysis of volatile organic compounds and nanoparticles in workplace air." *Trends in Analytical Chemistry*. 53 : 21-32.
- Gholivand, M.B., Shamsipur, M., Shamizadeh, M., Moradian, R., and Astinchap, B. 2014. "Cobalt oxide nanoparticles as a novel high-efficiency fiber coating for solid phase microextraction of benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene from aqueous solutions." *Analytica Chimica Acta*. 822 : 30-36.
- Harold, M. 2018. **Introduction to GC**. [online]. Available : [https://chem.libretexts.org/Core/Analytical_Chemistry/Chromedia/01Gas_Chromotography_\(GC\)/Gas_Chromotography%3A_Basic_Theory/01Introduction_to_GC](https://chem.libretexts.org/Core/Analytical_Chemistry/Chromedia/01Gas_Chromotography_(GC)/Gas_Chromotography%3A_Basic_Theory/01Introduction_to_GC)
- Hinwood, L.A., Rodriguez, C., Runnion, T., Farrar, D., Murray, F., Horton, A., Glass, D., Sheppard, V., Edwards, J.W., Denison, L., Whitworth, T., Eiser, C., Bulsara, M., Gillett, R.W., Powell, J., Lawson, S., Weeks, I., and Galbally, I. 2007. "Risk factors for increased BTEX exposure in four Australian cities." *Chemosphere*. 66 : 533-541.
- Holt, J. 2018. **Enhanced air monitoring for preschool, church**. [online]. Available : <https://signalscv.com/2017/12/enhanced-air-monitoring-preschool-church/>.
- Hsieh, C.C. and Tsai, J.H. 2003. "VOC concentration characteristics in Southern Taiwan." *Chemosphere*. 50 : 545-556.
- Lauwerys, R.R., and Hoet, P. 2001. **Industrial chemical exposure: Guidelines for biological monitoring**. 3rd ed. Florida : CRC Press.
- Lewis, H. 2018. **EPA Makes Additional Designations for the 2015 Ozone Standards**. [online]. Available : <https://gaspgroup.org/epa-makes-additional-designations-for-the-2015-ozone-standards/>.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Liang, Y.X., Wong, O., Armstrong, T., Ye, X.B., Miao, L.Z., Zhou, Y.M., Wu, Q.E., Qian, H.J. and Fu, Hua. 2005. "An overview of published benzene exposure data by industry in China, 1960-2003." *Chemico-Biological Interactions*. 153-154 : 55-64.
- Maha, N. 2018. **Aromatic Compounds**. [online]. Available : <https://orgowithmaha.wordpress.com/>.
- Mattinen, M.L., Tuominen, J. and Saarela, K. 1995. "Analysis of TVOC and Certain Selected Compounds from Indoor Air using GC/FID-RIM Technique." *Indoor Air*. 5 : 29-56
- Morata, T.C., Dunn, D.E., Kretschmer L.W., Lemasters, G.K., and Keith, R.W. 1993. "Effects of occupational exposure to organic solvents and noise on hearing." *Scand J Work Environ Health*. 19 : 45-54.
- National Institute for Occupational Safety and Health. 1996. **NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAMTM)**. 4th ed. United States : Centers for Disease Control and Prevention.
- National Institute for Occupational Safety and Health. 2017. **NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM)**. 5th ed. United States : Centers for Disease Control and Prevention.
- National Institute of Standards and Technology. 2018. **NIST Chemistry WebBook, SRD 69**. [online]. Available : <https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=100-41-4>.
- Nissa, G. 2018. **What is Toluene? – Structure, Uses & Formula**. [online]. Available : <https://study.com/academy/lesson/what-is-toluene-structure-uses-formula.html>.
- Olson, K.R., Anderson, I.B., Benowitz, N.L., Blanc, P.D., Clark, R.F., and Kearney, T.E. 2004. **Poisoning & drug overdose**. 5th ed. New York : McGraw-Hill.
- Occupational Safety & Health Administration. 2016. **All about OSHA**. Boston : U.S. Department of Labor.
- Occupational Safety & Health Administration. 2018. **OSHA Technical manual**. [online]. Available : https://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_ii/otm_ii_1.html.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Occupational Safety & Health Administration. 2018. **Chemical Sampling Information.** [online]. Available : https://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/toc/toc_chemsamp.html.
- Pandey, A. 2018. **Gas Chromatography (GC).** [online]. Available : <http://mytutorial.srtcube.com/gas-chromatography-gc/environment-science/693-520#7899>.
- Pelia, S. 2018. **The Complete GC-MS Workflow.** [online]. Available : <http://analyteguru.com/the-complete-gc-ms-workflow/>.
- Phumeechanya, P. 2008. “Production of adsorbent from paper sludge to adsorb BTEX in air.” Master’s Thesis. Program in Environmental, Science Graduate School, Silpakorn University.
- Profast. 2018. **สาร VOCs คืออะไร.** [online]. Available : <http://www.profastasia.com/สาร-vocs-คืออะไร/>.
- Park, D., Choi, S., Ha, K., Jung, H., Yoon, C., Koh D.H., Ryu, S., Kim, S., Kang, D., and Yoo, K. 2015. “Estimating Benzene Exposure Level over Time and by Industry Type through a Review of Literature on Korea.” *Safety and Health at Work*. 6 : 174-183.
- Stebounova, L., Hallie M., Vicki H. Grassian., and Brenner, S. 2011. “Health and safety implications of occupational exposure to engineered nanomaterials.” *WIREs Nanomedicine and Nanobiotechnology*. 4 : 310-321.
- Stellman, J.M. 1998. **ILO encyclopaedia of occupational health and safety.** 4th ed. Geneva : International Labour Office.
- Syaikhoni, A.R. 2018. **GC (Gas Chromatography).** [online]. Available : <http://onijagadlab.blogspot.com/2016/11/gc-gas-chromatography.html>.
- Thet, K., and Woo, N. 2018. **Gas Chromatography.** [online]. Available : https://chem.libretexts.org/Core/Analytical_Chemistry/Instrumental_Analysis/Chromatography/Gas_Chromatography.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Tsai, P.J., Lee, C.C., Chen, M.R., Shih, T.S., Lai, C.H. and Liou, S.H. 2002. "Predicting the contents of BTEX and MTBE for the three types of tollbooth at a highway toll station via the direct and indirect approaches." *The Atmospheric Environmental*. 36 : 5961-5969.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1999. **Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air**. 2rd ed. Cincinnati : Center for Environmental Research Information.
- U.S. Environmental Protection Agency. 2011. **SPECIATE 4.3**. [Online]. Available : <http://www.epa.gov/ttn/chief/software/speciate/2011>.
- U.S. National Library of Medicine. 2018. **Hazardous Substances Data Bank (HSDB)**. [online]. Available : <http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/htmlgen?HSDB>.
- Wheeler, H., Bates, N., Farrow, C., and Murray, V. 2000. **The chemical incident management handbook**. London : The Stationary Office.
- Wu, C.H., Lu, J.T., and Lo, J.G. 2002. "Analysis of volatile organic compounds in wastewater during various stages of treatment for high-tech industries." *Chromatographia*. 56 : 91-98.
- Zheng, J., Yu, Y., Mo, Z., Zhang, Z., Wang, X., Yin, S., Peng, K., Yang, Y., Feng, X., and Cai, H. 2013. "Industrial sector-based volatile Organic compound (VOC) source profiles measured in manufacturing facilities in the Pearl River Delta, China." *Science of the Total Environment*. 456-457 : 127-136.
- Zuraimi, M.S., Tham, K.W., and Sekhar, S.C. 2003. "The effects of ventilation operations in determining contributions if VOCs sources in air-conditioned tropical buildings." *Building and Environment*. 38 : 23-32.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลผลการทดลองและการคำนวณทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 1ก ค่าทางสถิติของอัตราการไหลของตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX ในปี 2014-2017

Descriptives

Flow

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
เบนซีน	4	.21050	.030216	.015108	.16242	.25858	.167	.237
โทลูอิน	4	.20975	.033708	.016854	.15611	.26339	.172	.254
เอทิลเบนซีน	4	.19425	.027109	.013555	.15111	.23739	.156	.214
ไซลีน	4	.20375	.036399	.018200	.14583	.26167	.155	.243
Total	16	.20456	.029444	.007361	.18887	.22025	.155	.254

Flow

Duncan^a

BTEX	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	
เอทิลเบนซีน	4	.19425	
ไซลีน	4	.20375	
โทลูอิน	4	.20975	
เบนซีน	4	.21050	
Sig.		.519	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

ตารางภาคผนวกที่ 2ก ค่าทางสถิติของเวลาของสารกลุ่ม BTEX ในปี 2014-2017

Descriptives

Time

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
เบนซีน	4	233.47500	34.043545	17.021773	179.30412	287.64588	185.920	261.960
โทลูอีน	4	248.67250	44.247341	22.123671	178.26511	319.07989	196.670	300.890
เอทิลเบนซีน	4	140.25750	25.708631	12.854315	99.34933	181.16567	108.830	171.570
ไซลีน	4	268.23250	51.693230	25.846615	185.97704	350.48796	195.010	307.910
Total	16	222.65937	62.178398	15.544600	189.52685	255.79190	108.830	307.910

Time

Duncan^a

BTEX	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
เอทิลเบนซีน	4	140.25750	
เบนซีน	4		233.47500
โทลูอีน	4		248.67250
ไซลีน	4		268.23250
Sig.		1.000	.267

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

ตารางภาคผนวกที่ 3ก ค่าทางสถิติของปริมาตรของสารกลุ่ม BTEX ในปี 2014-2017

Descriptives

Volume

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
เบนซีน	4	46.91125	10.343943	5.171971	30.45173	63.37077	39.219	61.206
โทลูอีน	4	46.66200	11.551252	5.775626	28.28138	65.04262	40.097	63.940
เอทิลเบนซีน	4	27.77250	7.607062	3.803531	15.66797	39.87703	17.759	36.180
ไซลีน	4	50.58775	15.018241	7.509121	26.69038	74.48512	40.154	72.673
Total	16	42.98338	13.769923	3.442481	35.64590	50.32085	17.759	72.673

Volume

Duncan^a

BTEX	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
เอทิลเบนซีน	4	27.77250	
โทลูอีน	4		46.66200
เบนซีน	4		46.91125
ไซลีน	4		50.58775
Sig.		1.000	.653

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

ตารางภาคผนวกที่ 4ก ค่าทางสถิติของความเข้มข้นของสารกลุ่ม BTEX ในปี 2014-2017

Descriptives

Concentration

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
เบนซีน	4	.32600	.231534	.115767	-.04242	.69442	.082	.640
โทลูอีน	4	5.09300	1.564385	.782192	2.60371	7.58229	3.526	6.614
เอทิลเบนซีน	4	.63075	.261555	.130777	.21456	1.04694	.373	.891
ไซลีน	4	.63225	.232414	.116207	.26243	1.00207	.349	.918
Total	16	1.67050	2.169346	.542336	.51454	2.82646	.082	6.614

Concentration

Duncan^a

BTEX	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
เบนซีน	4	.32600	
เอทิลเบนซีน	4	.63075	
ไซลีน	4	.63225	
โทลูอีน	4		5.09300
Sig.		.620	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

ตารางภาคผนวกที่ 5ก ค่าทางสถิติของอัตราการไหลของตัวอย่างสารเบนซีนใน 5 ภาคอุตสาหกรรม

Descriptives

Flow

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Mini mum	Maxi mum
					Lower Bound	Upper Bound		
เคมีภัณฑ์และ ผลิตภัณฑ์เคมี	4	.2471	.06853	.03426	.1381	.3561	.21	.35
ปิโตรเลียมและ ผลิตภัณฑ์จาก ปิโตรเลียม	4	.2006	.05336	.02668	.1157	.2855	.13	.26
ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า และอุปกรณ์	4	.1947	.02297	.01148	.1582	.2313	.16	.21
ผลิตเครื่องจักรและ เครื่องกล	4	.2201	.01702	.00851	.1930	.2472	.21	.24
ผลิตภัณฑ์พลาสติก	4	.2088	.03191	.01596	.1580	.2596	.16	.24
Total	20	.2143	.04291	.00959	.1942	.2344	.13	.35

Flow

Duncan^a

Industry	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	
ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์	4		.1947
ปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม	4		.2006
ผลิตภัณฑ์พลาสติก	4		.2088
ผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล	4		.2201
เคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี	4		.2471
Sig.			.142

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

ตารางภาคผนวกที่ 6ก ค่าทางสถิติของอัตราการไหลของตัวอย่างสารโพลูอินใน 5 ภาคอุตสาหกรรม

Descriptives

Flow

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean			
					Lower Bound	Upper Bound	Minimum	Maximum
เคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี	4	.1976	.03082	.01541	.1485	.2466	.15	.22
ปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม	4	.1908	.05981	.02990	.0956	.2860	.12	.26
ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์	4	.3019	.19702	.09851	-.0116	.6154	.18	.60
ผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล	4	.2201	.01702	.00851	.1930	.2472	.21	.24
ผลิตภัณฑ์พลาสติก	4	.1873	.05142	.02571	.1055	.2691	.11	.21
Total	20	.2195	.09607	.02148	.1746	.2645	.11	.60

Flow

Duncan^a

Industry	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	
ผลิตภัณฑ์พลาสติก	4		.1873
ปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม	4		.1908
เคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี	4		.1976
ผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล	4		.2201
ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์	4		.3019
Sig.			.147

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

ตารางภาคผนวกที่ 7ก ค่าทางสถิติของอัตราการไหลของตัวอย่างสารเอทิลเบนซีนใน 5 ภาคอุตสาหกรรม

Descriptives

Flow

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean			
					Lower Bound	Upper Bound	Minimum	Maximum
เคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี	4	.2144	.00086	.00043	.2131	.2158	.21	.22
ปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม	4	.1839	.04959	.02480	.1050	.2628	.11	.21
ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์	4	.1940	.02261	.01130	.1580	.2300	.16	.21
ผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล	4	.2201	.01702	.00851	.1930	.2472	.21	.24
ผลิตภัณฑ์พลาสติก	4	.2072	.00281	.00141	.2027	.2117	.21	.21
Total	20	.2039	.02650	.00593	.1915	.2163	.11	.24

Flow

Duncan^a

Industry	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	
ปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม	4		.1839
ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์	4		.1940
ผลิตภัณฑ์พลาสติก	4		.2072
เคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี	4		.2144
ผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล	4		.2201
Sig.			.089

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

ตารางภาคผนวกที่ 8k ค่าทางสถิติของอัตราการไหลของตัวอย่างสารโซลีนใน 5 ภาคอุตสาหกรรม

Descriptives

Flow

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Mini mum	Maxi mum
					Lower Bound	Upper Bound		
เคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี	4	.1997	.03103	.01551	.1504	.2491	.15	.22
ปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม	4	.1910	.06072	.03036	.0944	.2876	.11	.26
ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์	4	.1970	.04723	.02362	.1219	.2722	.13	.24
ผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล	4	.2162	.00964	.00482	.2008	.2315	.21	.23
ผลิตภัณฑ์พลาสติก	4	.2153	.00910	.00455	.2009	.2298	.21	.23
Total	20	.2039	.03496	.00782	.1875	.2202	.11	.26

Flow

Duncan^a

Industry	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	
ปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม	4		.1910
ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์	4		.1970
เคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี	4		.1997
ผลิตภัณฑ์พลาสติก	4		.2153
ผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล	4		.2162
Sig.			.405

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

ตารางภาคผนวกที่ 9ก ค่าทางสถิติของเวลาของตัวอย่างสารเบนซีนใน 5 ภาคอุตสาหกรรม

Descriptives

Time

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
เคมีภัณฑ์และ ผลิตภัณฑ์เคมี	4	138.9125	16.73014	8.36507	112.2911	165.5339	122.57	154.89
ปิโตรเลียม และ ผลิตภัณฑ์จาก ปิโตรเลียม	4	334.9575	134.24293	67.12147	121.3470	548.5680	219.59	514.47
ผลิต เครื่องใช้ไฟฟ้า และอุปกรณ์	4	115.0033	7.40870	3.70435	103.2144	126.7922	104.67	121.67
ผลิต เครื่องจักร และเครื่องกล	4	138.6250	29.77520	14.88760	91.2460	186.0040	117.00	181.50
ผลิตภัณฑ์ พลาสติก	4	132.6450	7.03459	3.51730	121.4514	143.8386	125.24	140.21
Total	20	172.0287	100.55661	22.48514	124.9667	219.0906	104.67	514.47

Time

Duncan^a

Industry	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์	4	115.0033	
ผลิตภัณฑ์พลาสติก	4	132.6450	
ผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล	4	138.6250	
เคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี	4	138.9125	
ปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม	4		334.9575
Sig.		.624	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

ตารางภาคผนวกที่ 10ก ค่าทางสถิติของเวลาของตัวอย่างสารโพลูอินใน 5 ภาคอุตสาหกรรม

Descriptives

Time

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
เคมีภัณฑ์และ ผลิตภัณฑ์ เคมี	4	134.7775	20.11663	10.05831	102.7675	166.7875	109.00	153.25
ปิโตรเลียม และ ผลิตภัณฑ์ จาก ปิโตรเลียม	4	335.4500	137.29707	68.64853	116.9797	553.9203	199.95	506.88
ผลิต เครื่องใช้ไฟฟ้า และอุปกรณ์	4	120.7750	2.16946	1.08473	117.3229	124.2271	119.29	124.00
ผลิต เครื่องจักร และเครื่องกล	4	138.6250	29.77520	14.88760	91.2460	186.0040	117.00	181.50
ผลิตภัณฑ์ พลาสติก	4	138.8875	13.14093	6.57046	117.9774	159.7976	120.00	148.80
Total	20	173.7030	100.69295	22.51563	126.5772	220.8288	109.00	506.88

Time

Duncan^a

Industry	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์	4	120.7750	
เคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี	4	134.7775	
ผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล	4	138.6250	
ผลิตภัณฑ์พลาสติก	4	138.8875	
ปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม	4		335.4500
		.717	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

ตารางภาคผนวกที่ 11ก ค่าทางสถิติของเวลาของตัวอย่างสารเอทิลเบนซีนใน 5 ภาคอุตสาหกรรม

Descriptives

Time

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
เคมีภัณฑ์และ ผลิตภัณฑ์เคมี	4	128.4700	2.16375	1.08187	125.0270	131.9130	125.41	130.00
ปิโตรเลียม และ ผลิตภัณฑ์ จาก ปิโตรเลียม	4	122.7825	16.83516	8.41758	95.9940	149.5710	101.50	142.13
ผลิต เครื่องใช้ไฟฟ้า และอุปกรณ์	4	115.0033	7.40870	3.70435	103.2144	126.7922	104.67	121.67
ผลิต เครื่องจักร และเครื่องกล	4	138.6250	29.77520	14.88760	91.2460	186.0040	117.00	181.50
ผลิตภัณฑ์ พลาสติก	4	151.5000	1.29099	.64550	149.4457	153.5543	150.00	153.00
Total	20	131.2762	19.09118	4.26892	122.3412	140.2111	101.50	181.50

Time

Duncan^a

Industry	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์	4	115.0033	
ปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม	4	122.7825	
เคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี	4	128.4700	128.4700
ผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล	4	138.6250	138.6250
ผลิตภัณฑ์พลาสติก	4		151.5000
Sig.		.067	.067

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

ตารางภาคผนวกที่ 12ก ค่าทางสถิติของเวลาของตัวอย่างสารโซลีนใน 5 ภาคอุตสาหกรรม

Descriptives

Time

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
เคมีภัณฑ์และ ผลิตภัณฑ์เคมี	4	139.3525	11.94938	5.97469	120.3384	158.3666	126.33	155.00
ปิโตรเลียม และ ผลิตภัณฑ์จาก ปิโตรเลียม	4	333.6950	143.13532	71.56766	105.9348	561.4552	199.48	513.89
ผลิต เครื่องใช้ไฟฟ้า และอุปกรณ์	4	115.7525	17.74450	8.87225	87.5170	143.9880	98.67	138.00
ผลิต เครื่องจักร และเครื่องกล	4	138.7075	29.70677	14.85339	91.4374	185.9776	117.00	181.50
ผลิตภัณฑ์ พลาสติก	4	133.9325	12.84817	6.42409	113.4882	154.3768	120.00	151.00
Total	20	172.2880	102.00798	22.80968	124.5468	220.0292	98.67	513.89

Time

Duncan^a

Industry	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์	4	115.7525	
ผลิตภัณฑพลาสติก	4	133.9325	
ผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล	4	138.7075	
เคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑเคมี	4	139.3525	
ปิโตรเลียมและผลิตภัณฑจากปิโตรเลียม	4		333.6950
Sig.		.650	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

ตารางภาคผนวกที่ 13ก ค่าทางสถิติของปริมาณของตัวอย่างสารเบนซีนใน 5 ภาคอุตสาหกรรม

Descriptives

Volume

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean			
					Lower Bound	Upper Bound	Mini mum	Maxi mum
เคมีภัณฑ์และ ผลิตภัณฑ์เคมี	4	33.6385	6.34553	3.17276	23.5413	43.7356	27.53	42.56
ปิโตรเลียมและ ผลิตภัณฑ์จาก ปิโตรเลียม	4	58.8707	13.83557	6.91779	36.8552	80.8861	43.84	77.29
ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและ อุปกรณ์	4	22.0662	2.57927	1.28963	17.9620	26.1704	19.27	25.49
ผลิตเครื่องจักรและ เครื่องกล	4	29.0066	3.37815	1.68907	23.6312	34.3820	25.28	33.39
ผลิตภัณฑ์พลาสติก	4	27.8475	2.51500	1.25750	23.8456	31.8495	24.18	29.91
Total	20	34.2859	14.62178	3.26953	27.4427	41.1291	19.27	77.29

Volume

Duncan^a

Industry	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์	4	22.0662	
ผลิตภัณฑ์พลาสติก	4	27.8475	
ผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล	4	29.0066	
เคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี	4	33.6385	
ปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม	4		58.8707
Sig.		.051	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

ตารางภาคผนวกที่ 14ก ค่าทางสถิติของปริมาตรของตัวอย่างสารโพลูอินใน 5 ภาคอุตสาหกรรม

Descriptives

Volume

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean			
					Lower Bound	Upper Bound	Mini mum	Maxi mum
เคมีภัณฑ์และ ผลิตภัณฑ์เคมี	4	26.3735	8.56052	4.28026	12.7519	39.9952	13.89	32.88
ปิโตรเลียมและ ผลิตภัณฑ์จาก ปิโตรเลียม	4	54.2771	11.12498	5.56249	36.5748	71.9794	40.49	64.82
ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า และอุปกรณ์	4	36.7763	24.72747	12.36373	-2.5706	76.1232	21.81	73.74
ผลิตเครื่องจักรและ เครื่องกล	4	29.0066	3.37815	1.68907	23.6312	34.3820	25.28	33.39
ผลิตภัณฑ์พลาสติก	4	25.6634	7.74116	3.87058	13.3455	37.9813	15.43	31.77
Total	20	34.4194	16.09484	3.59892	26.8868	41.9520	13.89	73.74

Volume

Duncan^a

Industry	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
ผลิตภัณฑ์พลาสติก	4	25.6634	
เคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี	4	26.3735	
ผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล	4	29.0066	
ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์	4	36.7763	36.7763
ปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม	4		54.2771
Sig.		.292	.082

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

ตารางภาคผนวกที่ 15ก ค่าทางสถิติของปริมาณของตัวอย่างสารเอทิลเบนซีนใน 5 ภาคอุตสาหกรรม

Descriptives

Volume

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Mini mum	Maxi mum
					Lower Bound	Upper Bound		
เคมีภัณฑ์และ ผลิตภัณฑ์เคมี	4	27.9925	.19032	.09516	27.6897	28.2953	27.78	28.16
ปิโตรเลียมและ ผลิตภัณฑ์จาก ปิโตรเลียม	4	23.1292	8.06829	4.03414	10.2907	35.9676	11.16	28.69
ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า และอุปกรณ์	4	22.0662	2.57927	1.28963	17.9620	26.1704	19.27	25.49
ผลิตเครื่องจักรและ เครื่องกล	4	29.0066	3.37815	1.68907	23.6312	34.3820	25.28	33.39
ผลิตภัณฑ์พลาสติก	4	31.8497	1.27684	.63842	29.8180	33.8814	30.04	33.03
Total	20	26.8088	5.25748	1.17561	24.3483	29.2694	11.16	33.39

Volume

Duncan^a

Industry	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์	4	22.0662		
ปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม	4	23.1292	23.1292	
เคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี	4	27.9925	27.9925	27.9925
ผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล	4		29.0066	29.0066
ผลิตภัณฑ์พลาสติก	4			31.8497
Sig.		.072	.074	.228

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

ตารางภาคผนวกที่ 16ก ค่าทางสถิติของปริมาตรในการเก็บตัวอย่างสารโซลีนของ 5 ภาคอุตสาหกรรม

Descriptives

Volume

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean			
					Lower Bound	Upper Bound	Mini mum	Maxi mum
เคมีภัณฑ์และ ผลิตภัณฑ์เคมี	4	27.5506	4.52455	2.26227	20.3511	34.7502	21.18	31.51
ปิโตรเลียมและ ผลิตภัณฑ์จาก ปิโตรเลียม	4	53.5597	10.45522	5.22761	36.9231	70.1963	40.39	64.79
ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและ อุปกรณ์	4	24.0631	7.44609	3.72304	12.2147	35.9115	15.81	33.51
ผลิตเครื่องจักรและ เครื่องกล	4	28.6003	3.41832	1.70916	23.1610	34.0396	25.28	33.39
ผลิตภัณฑ์พลาสติก	4	28.5406	1.85842	.92921	25.5835	31.4978	26.55	31.02
Total	20	32.4629	12.31464	2.75364	26.6994	38.2263	15.81	64.79

Volume

Duncan^a

Industry	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์	4	24.0631	
เคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี	4	27.5506	
ผลิตภัณฑ์พลาสติก	4	28.5406	
ผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล	4	28.6003	
ปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม	4		53.5597
Sig.		.365	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

ตารางภาคผนวกที่ 17ก ค่าทางสถิติของความเข้มข้นของตัวอย่างสารเบนซีนใน 5 ภาคอุตสาหกรรม

Descriptives

Concentration

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Mini mum	Maxi mum
					Lower Bound	Upper Bound		
เคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี	4	.3542	.03769	.01885	.2942	.4142	.32	.40
ปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม	4	.3806	.21772	.10886	.0341	.7270	.18	.69
ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์	4	.5116	.11755	.05877	.3246	.6987	.39	.67
ผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล	4	.3372	.04218	.02109	.2701	.4043	.30	.40
ผลิตภัณฑ์พลาสติก	4	.3997	.15359	.07679	.1553	.6441	.28	.63
Total	20	.3967	.13364	.02988	.3341	.4592	.18	.69

Concentration

Duncan^a

Industry	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	
ผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล	4	.3372	
เคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี	4	.3542	
ปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม	4	.3806	
ผลิตภัณฑ์พลาสติก	4	.3997	
ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์	4	.5116	
Sig.		.112	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

ตารางภาคผนวกที่ 18ก ค่าทางสถิติของความเข้มข้นของตัวอย่างสารโพลีอินใน 5 ภาคอุตสาหกรรม

Descriptives

Concentration

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Mini mum	Maxim um
					Lower Bound	Upper Bound		
เคมีภัณฑ์และ ผลิตภัณฑ์เคมี	4	.5217	.36313	.18156	-.0561	1.0996	.29	1.06
ปิโตรเลียมและ ผลิตภัณฑ์จาก ปิโตรเลียม	4	.7234	.49251	.24625	-.0603	1.5071	.32	1.44
ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและ อุปกรณ์	4	.4382	.15667	.07833	.1889	.6875	.24	.57
ผลิตเครื่องจักรและ เครื่องกล	4	1.4802	1.26725	.63363	-.5363	3.4967	.34	3.06
ผลิตภัณฑ์พลาสติก	4	76.3909	122.43977	61.21989	-118.4381	271.2199	.32	259.27
Total	20	15.9109	57.70723	12.90373	-11.0969	42.9187	.24	259.27

Concentration

Duncan^a

Industry	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	
ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์	4	.4382	
เคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี	4	.5217	
ปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม	4	.7234	
ผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล	4	1.4802	
ผลิตภัณฑ์พลาสติก	4	76.3909	
Sig.			.095

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

ตารางภาคผนวกที่ 19ก ค่าทางสถิติความเข้มข้นของตัวอย่างสารเอทิลเบนซีนใน 5 ภาคอุตสาหกรรม

Descriptives

Concentration

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Mini mum	Maxi mum
					Lower Bound	Upper Bound		
เคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี	4	.3612	.00723	.00362	.3496	.3727	.35	.37
ปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม	4	.5142	.25493	.12747	.1085	.9198	.37	.90
ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์	4	.5116	.11755	.05877	.3246	.6987	.39	.67
ผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล	4	.9961	.86679	.43340	-.3831	2.3754	.30	2.13
ผลิตภัณฑ์พลาสติก	4	.3318	.00818	.00409	.3188	.3448	.32	.34
Total	20	.5430	.43710	.09774	.3384	.7475	.30	2.13

Concentration

Duncan^a

Industry	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	
ผลิตภัณฑ์พลาสติก	4		.3318
เคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี	4		.3612
ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์	4		.5116
ปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม	4		.5142
ผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล	4		.9961
Sig.			.053

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

ตารางภาคผนวกที่ 20ก ค่าทางสถิติของความเข้มข้นของตัวอย่างสารไซลีนใน 5 ภาคอุตสาหกรรม

Descriptives

Concentration

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Mini m	Max imu m
					Lower Bound	Upper Bound		
เคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี	4	.3875	.08304	.04152	.2554	.5197	.33	.51
ปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม	4	.4081	.18933	.09467	.1068	.7094	.30	.69
ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์	4	.7158	.66092	.33046	-.3359	1.7675	.30	1.70
ผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล	4	.8263	.62223	.31112	-.1638	1.8164	.30	1.62
ผลิตภัณฑ์พลาสติก	4	3.9637	3.06638	1.53319	-.9156	8.8430	.32	7.82
Total	20	1.2603	1.89088	.42281	.3753	2.1453	.30	7.82

Concentration

Duncan^a

Industry	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
เคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี	4	.3875	
ปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม	4	.4081	
ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์	4	.7158	
ผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล	4	.8263	
ผลิตภัณฑ์พลาสติก	4		3.9637
Sig.		.696	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

ภาคผนวก ข

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

หน้า ๓๔

เล่ม ๑๓๔ ตอนพิเศษ ๑๙๘ ง

ราชกิจจานุเบกษา

๓ สิงหาคม ๒๕๖๐

ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน

เรื่อง ชี้แจงจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตราย

อาศัยอำนาจตามความในข้อ ๒๘ แห่งกฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับสารเคมีอันตราย พ.ศ. ๒๕๕๖ อธิบดีกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน จึงออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ประกาศนี้เรียกว่า “ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง ชี้แจงจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตราย”

ข้อ ๒ ประกาศนี้ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ข้อ ๓ ชี้แจงจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตรายในบรรยากาศของสถานที่ทำงานและสถานที่เก็บรักษาสารเคมีอันตราย ให้เป็นไปตามท้ายประกาศนี้

ประกาศ ณ วันที่ ๒๘ มิถุนายน พ.ศ. ๒๕๖๐

สุเมธ มโหสถ

อธิบดีกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน

ขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตราย

ลำดับ ที่	ชื่อสารเคมีอันตราย (ไทย)	ชื่อสารเคมีอันตราย (อังกฤษ)	CAS No.	ขีดจำกัดความเข้มข้น ของสารเคมีอันตราย เฉลี่ยตลอดระยะเวลา การทำงานปกติ	ขีดจำกัดความเข้มข้น ของสารเคมีอันตรายสำหรับ การสัมผัสในระยะเวลาสั้นๆ		ขีดจำกัด ความเข้มข้น ของสารเคมี อันตรายสูงสุด ไม่ว่าเวลาใดๆ ในระหว่าง ทำงาน
					ขีดจำกัด ความเข้มข้น	ระยะเวลา ที่กำหนด ให้ทำงานได้	
1	อะเซตัลดีไฮด์	acetaldehyde	75-07-0	200 ppm	-	-	-
2	กรดอะซิติก (กรดน้ำส้ม)	acetic acid	64-19-7	10 ppm	-	-	-
3	อะซิติก แอนไฮไดรด์	acetic anhydride	108-24-7	5 ppm	-	-	-
4	อะซีโตน	acetone	67-64-1	1000 ppm	-	-	-
5	อะซีโตน ไฮยาโนไฮดริน ในรูปของ ไฮยาโนน	acetone cyanohydrin, as CN	75-86-5	-	-	-	5 mg/m ³
6	อะซิโตไนโตรล์	acetonitrile	75-05-8	40 ppm	-	-	-
7	อะโครลีน	acrolein	107-02-8	0.1 ppm	-	-	-
8	อะคริลามิด	acrylamide	79-06-1	0.3 mg/m ³	-	-	-
9	กรดอะคริลิก	acrylic acid	79-10-7	2 ppm	-	-	-
10	อะครีโลไนไตรล์	acrylonitrile	107-13-1	2 ppm	10 ppm	15 min	-
11	กรดอะดิพิค	adipic acid	124-04-9	5 mg/m ³	-	-	-
12	อัลดริน	aldrin	309-00-2	0.25 mg/m ³	-	-	-
13	อัลลิล แอลกอฮอล์	allyl alcohol	107-18-6	2 ppm	-	-	-
14	อัลลิล คลอไรด์	allyl chloride	107-05-1	1 ppm	-	-	-
15	อัลลิล ไกลซิไดล อีเธอร์	allyl glycidyl ether	106-92-3	-	-	-	10 ppm
16	อัลลิล โพรพิล ไดซัลไฟด์	allyl propyl disulfide	2179-59-1	2 ppm	-	-	-
17	โลหะอะลูมิเนียม ในรูปของ อะลูมิเนียม	aluminium metal, as Al	7429-90-5				
	- อนุภาคทุกขนาดที่อาจสูดเข้าสู่ ระบบทางเดินหายใจได้	- inhalable dust		15 mg/m ³	-	-	-
	- อนุภาคขนาดเล็กที่อาจสูดเข้าสู่ ระบบทางเดินหายใจได้	- respirable dust		5 mg/m ³	-	-	-
18	แอลฟา-อะลูมินา	alpha-alumina	1344-28-1				
	- อนุภาคทุกขนาดที่อาจสูดเข้าสู่ ระบบทางเดินหายใจได้	- inhalable dust		15 mg/m ³	-	-	-
	- อนุภาคขนาดเล็กที่อาจสูดเข้าสู่ ระบบทางเดินหายใจได้	- respirable dust		5 mg/m ³	-	-	-
19	2-อะมีโนไพริดีน	2-aminopyridine	504-29-0	0.5 ppm	-	-	-
20	อะมีโทรอล	amitrole	61-82-5	0.2 mg/m ³	-	-	-
21	แอมโมเนีย	ammonia	7664-41-7	50 ppm	-	-	-

ลำดับ ที่	ชื่อสารเคมีอันตราย (ไทย)	ชื่อสารเคมีอันตราย (อังกฤษ)	CAS No.	ขีดจำกัดความเข้มข้น ของสารเคมีอันตราย เฉลี่ยตลอดระยะเวลา การทำงานปกติ	ขีดจำกัดความเข้มข้น ของสารเคมีอันตรายสำหรับ การสัมผัสในระยะเวลาสั้นๆ		ขีดจำกัด ความเข้มข้น ของสารเคมี อันตรายสูงสุด ไม่ว่าเวลาใดๆ ในระหว่าง ทำงาน
					ขีดจำกัด ความเข้มข้น	ระยะเวลา ที่กำหนด ให้ทำงานได้	
22	ฟุ้งของแอมโมเนียมคลอไรด์	ammonium chloride, fume	12125-02-9	10 mg/m ³	20 mg/m ³	15 min	-
23	แอมโมเนียม ซัลฟาเมท	ammonium sulfamate	7773-06-0				
	- อนุภาคทุกขนาดที่อาจสูดเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้	- inhalable dust		15 mg/m ³	-	-	-
	- อนุภาคขนาดเล็กที่อาจสูดเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้	- respirable dust		5 mg/m ³	-	-	-
24	นอร์มอล-เอมีล อะซิเตท	n-amyl acetate	628-63-7	100 ppm	-	-	-
25	เซค-เอมีล อะซิเตท	sec-amyl acetate	626-38-0	125 ppm	-	-	-
26	อะนิลีน และโฮโมโลกซ์	aniline and homologs	62-53-3	5 ppm	-	-	-
27	อะนิซิดีน (ออโท-, พารา- ไอโซเมอร์)	anisidine (o-, p- isomers)	29191-52-4	0.5 mg/m ³	-	-	-
28	แอนติโมนีและสารประกอบ ในรูปของแอนติโมนี	antimony and compounds, as Sb	7440-36-0	0.5 mg/m ³	-	-	-
29	อะเซนิค (สารหนู) สารประกอบ อินทรีย์ ในรูปของอะเซนิค (สารหนู)	arsenic, inorganic compounds, as As	7440-38-2	0.01 mg/m ³	-	-	-
30	อะเซนิค (สารหนู) สารประกอบ อินทรีย์ ในรูปของอะเซนิค (สารหนู)	arsenic, organic compounds, as As	7440-38-2	0.5 mg/m ³	-	-	-
31	อาร์ซีน	arsine	7784-42-1	0.05 ppm	-	-	-
32	แอสเบสทอส ชนิดโครโซไทล์	asbestos (chrysotile form)	77536-68-6	0.1 f/cm ³	-	-	-
33	แอสฟัลท์ (บิทูเมน) ในรูปของ ละอองสารละลายเบนซิน	asphalt (bitumen), as benzene soluble aerosol	8052-42-4	0.5 mg/m ³	-	-	-
34	อะทราซีน	atrazine	1912-24-9	5 mg/m ³	-	-	-
35	อะซีนฟอส เมทิล	aziphos-methyl	86-50-0	0.2 mg/m ³	-	-	-
36	แบเรียม สารประกอบที่ละลายได้ ในรูปของแบเรียม	barium, soluble compounds, as Ba	7440-39-3	0.5 mg/m ³	-	-	-
37	แบเรียม ซัลเฟต	barium sulfate	7727-43-7				
	- อนุภาคทุกขนาดที่อาจสูดเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้	- inhalable dust		15 mg/m ³	-	-	-
	- อนุภาคขนาดเล็กที่อาจสูดเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้	- respirable dust		5 mg/m ³	-	-	-
38	เบนโนมิล	benomyl	17804-35-2				
	- อนุภาคทุกขนาดที่อาจสูดเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้	- inhalable dust		15 mg/m ³	-	-	-
	- อนุภาคขนาดเล็กที่อาจสูดเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้	- respirable dust		5 mg/m ³	-	-	-

ลำดับ ที่	ชื่อสารเคมีอันตราย (ไทย)	ชื่อสารเคมีอันตราย (อังกฤษ)	CAS No.	ขีดจำกัดความเข้มข้น ของสารเคมีอันตราย เฉลี่ยตลอดระยะเวลา การทำงานปกติ	ขีดจำกัดความเข้มข้น ของสารเคมีอันตรายสำหรับ การสัมผัสในระยะเวลาสั้นๆ		ขีดจำกัด ความเข้มข้น ของสารเคมี อันตรายสูงสุด ไม่ว่าเวลาใดๆ ในระหว่าง ทำงาน
					ขีดจำกัด ความเข้มข้น	ระยะเวลา ที่กำหนด ให้ทำงานได้	
39	เบนซีน	benzene	71-43-2	1 ppm	5 ppm	15 min	-
40	เบนโซอิล เพอร์ออกไซด์	benzoyl peroxide	94-36-0	5 mg/m ³	-	-	-
41	เบนซิล คลอไรด์	benzyl chloride	100-44-7	1 ppm	-	-	-
42	เบริลเลียมและสารประกอบของ เบริลเลียม ในรูปของเบริลเลียม	beryllium and beryllium compounds, as Be	7440-41-7	0.002 mg/m ³	0.025 mg/m ³	30 min	0.005 mg/m ³
43	ไบฟีนิล (ไดฟีนิล)	biphenyl (diphenyl)	92-52-4	0.2 ppm	-	-	-
44	บิสมัท เทลลูไรด์ อันโด๊ป	bismuth telluride, undoped	1304-82-1				
	- อนุภาคทุกขนาดที่อาจสูดเข้าสู่ ระบบทางเดินหายใจได้	- inhalable dust		15 mg/m ³	-	-	-
	- อนุภาคขนาดเล็กที่อาจสูดเข้าสู่ ระบบทางเดินหายใจได้	- respirable dust		5 mg/m ³	-	-	-
45	บอเรตส์ เตตรา เฮกซะไฮเดรต	borates, tetra, sodium salts					
	- แอนไฮดรัส	- anhydrous	1330-43-4	1 mg/m ³	-	-	-
	- เดคาไฮเดรต	- decahydrate	1303-96-4	5 mg/m ³	-	-	-
	- เพนตะไฮเดรต	- pentahydrate	12179-04-3	1 mg/m ³	-	-	-
46	โบรอน ไตรโบไรด์	boron tribromide	10294-33-4	-	-	-	1 ppm
47	โบรอน ไตรฟลูออไรด์	boron trifluoride	7637-07-2	-	-	-	1 ppm
48	โบรมาซิล	bromacil	314-40-9	10 mg/m ³	-	-	-
49	โบรมีน เพนตะฟลูออไรด์	bromine pentafluoride	7789-30-2	0.1 ppm	-	-	-
50	โบรโมฟอร์ม	bromoform	75-25-2	0.5 ppm	-	-	-
51	1,3-บิวตะไดอีน	1,3-butadiene	106-99-0	1 ppm	5 ppm	15 min	-
52	บิวทีน ไอโซเมอร์ทุกรูป	butenes, all isomers		250 ppm	-	-	-
53	นอร์มอล-บิวทานอล	n-butanol	71-36-3	100 ppm	-	-	-
54	เซค-บิวทานอล	sec-butanol	78-92-2	150 ppm	-	-	-
55	เทอร์ท-บิวทานอล	tert-butanol	75-65-0	100 ppm	-	-	-
56	2-บิวทอกซีเอทานอล	2-butoxyethanol	111-76-2	50 ppm	-	-	-
57	เทอร์ท-บิวทิล อะซิเตท	tert-butyl acetate	540-88-5	200 ppm	-	-	-
58	นอร์มอล-บิวทิล อะครีเลท	n-butyl acrylate	141-32-2	2 ppm	-	-	-
59	บิวทิลอะมีน	butylamine	109-73-9	-	-	-	5 ppm
60	นอร์มอล-บิวทิล ไกลซิซิล อีเธอร์ (บีจีอี)	n-butyl glycidyl ether (BGE)	2426-08-6	50 ppm	-	-	-

ลำดับ ที่	ชื่อสารเคมีอันตราย (ไทย)	ชื่อสารเคมีอันตราย (อังกฤษ)	CAS No.	ขีดจำกัดความเข้มข้น ของสารเคมีอันตราย เฉลี่ยตลอดระยะเวลา การทำงานปกติ	ขีดจำกัดความเข้มข้น ของสารเคมีอันตรายสำหรับ การสัมผัสในระยะเวลาสั้นๆ		ขีดจำกัด ความเข้มข้น ของสารเคมี อันตรายสูงสุด ไม่ว่าเวลาใดๆ ในระหว่าง ทำงาน
					ขีดจำกัด ความเข้มข้น	ระยะเวลา ที่กำหนด ให้ทำงานได้	
61	นอร์มอล-บิวทิล แลคเตท	n-butyl lactate	138-22-7	5 ppm	-	-	-
62	บิวทิล เมอร์แคปแทน	butyl mercaptan	109-79-5	10 ppm	-	-	-
63	ออโท-เซค-บิวทิลฟีนอล	o-sec-butylphenol	89-72-5	5 ppm	-	-	-
64	พารา-เทอร์ท-บิวทิลทอลูอิน	p-tert-butyltoluene	98-51-1	10 ppm	-	-	-
65	แคดเมียม ในรูปของแคดเมียม	cadmium, as Cd	7440-43-9	0.005 mg/m ³	-	-	-
66	แคลเซียม คาร์บอเนท	calcium carbonate	1317-65-3				
	- อนุภาคทุกขนาดที่อาจสูดเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้	- inhalable dust		15 mg/m ³	-	-	-
	- อนุภาคขนาดเล็กที่อาจสูดเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้	- respirable dust		5 mg/m ³	-	-	-
67	แคลเซียม โครเมท ในรูปของโครเมียม	calcium chromate, as Cr	13765-19-0	0.001 mg/m ³	-	-	-
68	แคลเซียม ไซยานาไมด์	calcium cyanamide	156-62-7	0.5 mg/m ³	-	-	-
69	แคลเซียม ไฮดรอกไซด์	calcium hydroxide	1305-62-0				
	- อนุภาคทุกขนาดที่อาจสูดเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้	- inhalable dust		15 mg/m ³	-	-	-
	- อนุภาคขนาดเล็กที่อาจสูดเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้	- respirable dust		5 mg/m ³	-	-	-
70	แคลเซียม ออกไซด์	calcium oxide	1305-78-8	5 mg/m ³	-	-	-
71	คาร์บาริล (เซวิน)	carbaryl (sevin)	63-25-2	5 mg/m ³	-	-	-
72	คาร์โบฟูแรน	carbofuran	1563-66-2	0.1 mg/m ³	-	-	-
73	คาร์บอน ไดซัลไฟด์	carbon disulfide	75-15-0	20 ppm	100 ppm	30 min	30 ppm
74	คาร์บอน มอนอกไซด์	carbon monoxide	630-08-0	50 ppm	-	-	-
75	คาร์บอนเตตระคลอไรด์	carbon tetrachloride	56-23-5	10 ppm	200 ppm	5 min in any 3 hr	25 ppm
76	ซีเซียม ไฮดรอกไซด์	cesium hydroxide	21351-79-1	2 mg/m ³	-	-	-
77	คลอร์เดน	chlordan	57-74-9	0.5 mg/m ³	-	-	-
78	คลอรีเนเทด แคมฟิน	chlorinated camphene	8001-35-2	0.5 mg/m ³	-	-	-
79	คลอรีน	chlorine	7782-50-5	-	-	-	1 ppm
80	คลอโรอะซีทิล คลอไรด์	chloroacetyl chloride	79-04-9	0.05 ppm	-	-	-
81	คลอโรเบนซีน	chlorobenzene	108-90-7	75 ppm	-	-	-
82	คลอโรไดฟลูออโรมีเทน	chlorodifluoromethane	75-45-6	1000 ppm	-	-	-

ลำดับ ที่	ชื่อสารเคมีอันตราย (ไทย)	ชื่อสารเคมีอันตราย (อังกฤษ)	CAS No.	ขีดจำกัดความเข้มข้น ของสารเคมีอันตราย เฉลี่ยตลอดระยะเวลา การทำงานปกติ	ขีดจำกัดความเข้มข้น ของสารเคมีอันตรายสำหรับ การสัมผัสในระยะเวลาสั้นๆ		ขีดจำกัด ความเข้มข้น ของสารเคมี อันตรายสูงสุด ไม่ว่าเวลาใดๆ ในระหว่าง ทำงาน
					ขีดจำกัด ความเข้มข้น	ระยะเวลา ที่กำหนด ให้ทำงานได้	
83	คลอโรฟอร์ม (ไตรคลอโรมีเทน)	chloroform (trichloromethane)	67-66-3	-	-	-	50 ppm
84	1-คลอโร-1-ไนโตรโพรเพน	1-chloro-1-nitropropane	600-25-9	20 ppm	-	-	-
85	คลอโรเพนตะฟลูออโรอีเทน	chloropentafluoroethane	76-15-3	1000 ppm	-	-	-
86	คลอโรพิกรีน	chloropicrin	76-06-2	0.1 ppm	-	-	-
87	บีตา-คลอโรพรีน	β -chloroprene	126-99-8	25 ppm	-	-	-
88	กรด 2-คลอโรโพรพีนอิก	2-chloropropionic acid	598-78-7	0.1 ppm	-	-	-
89	ออโท-คลอโรสไตรีน	<i>o</i> -chlorostyrene	2039-87-4	50 ppm	75 ppm	15 min	-
90	ออโท-คลอโรโทลูอีน	<i>o</i> -chlorotoluene	95-49-8	50 ppm	-	-	-
91	คลอโรไพริฟอส	chlorpyrifos	2921-88-2	0.1 mg/m ³	-	-	-
92	โคล ดัส (ฝุ่นถ่านหิน)	coal dust					
	- แอนทราไซด์ อนุภาคขนาดเล็กที่ อาจสูดเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้	- anthracite ,respirable dust)		0.4 mg/m ³	-	-	-
	- บิทูมินัส หรือ ลิกไนต์ อนุภาคขนาดเล็กที่อาจสูดเข้าสู่ ระบบทางเดินหายใจได้	- bituminous or lignite , respirable dust		0.9 mg/m ³	-	-	-
93	โคล ทาร์ พิช วอลาไทล์ ในรูปของ ละอองสารละลายเบนซีน	coal tar pitch volatiles, as benzene soluble aerosol	65996-93-2	0.2 mg/m ³	-	-	-
94	โคบอลท์ คาร์บอนิล ในรูปของ โคบอลท์	cobalt carbonyl, as Co	10210-68-1	0.1 mg/m ³	-	-	-
95	โคบอลท์ ไฮโดรคาร์บอนิล ในรูป ของโคบอลท์	cobalt hydrocarbonyl, as Co	16842-03-8	0.1 mg/m ³	-	-	-
96	โลหะโคบอลท์ ฝุ่น และฟุ้ง ในรูป ของโคบอลท์	cobalt metal, dust, and fume, as Co	7440-48-4	0.1 mg/m ³	-	-	-
97	ฝุ่นฝ้ายดิบ (ยังไม่ปรับสภาพ)	cotton dust, raw, untreated		1 mg/m ³	-	-	-
98	คิวมิน (ไอโซโพรพิล เบนซีน)	cumene (isopropyl benzene)	98-82-8	50 ppm	-	-	-
99	ไซยานาไมด์	cyanamide	420-04-2	2 mg/m ³	-	-	-
100	ไซโคลเฮกเซน	cyclohexane	110-82-7	300 ppm	-	-	-
101	ไซโคลเฮกซานอล	cyclohexanol	108-93-0	50 ppm	-	-	-
102	ไซโคลเฮกซาโนน	cyclohexanone	108-94-1	50 ppm	-	-	-
103	ไซโคลเฮกซิลอะมีน	cyclohexylamine	108-91-8	10 ppm	-	-	-
104	ไซโคลเพนเทน	cyclopentane	287-92-3	600 ppm	-	-	-

๖

ลำดับ ที่	ชื่อสารเคมีอันตราย (ไทย)	ชื่อสารเคมีอันตราย (อังกฤษ)	CAS No.	ขีดจำกัดความเข้มข้น ของสารเคมีอันตราย เฉลี่ยตลอดระยะเวลา การทำงานปกติ	ขีดจำกัดความเข้มข้น ของสารเคมีอันตรายสำหรับ การสัมผัสในระยะเวลาสั้นๆ		ขีดจำกัด ความเข้มข้น ของสารเคมี อันตรายสูงสุด ไม่ว่าเวลาใดๆ ในระหว่าง ทำงาน
					ขีดจำกัด ความเข้มข้น	ระยะเวลา ที่กำหนด ให้ทำงานได้	
105	ไซเฮกซะดิน (ไตรไซโคลเฮกซิลทินไฮดรอกไซด์)	cyhexatin (tricyclohexyltin hydroxide)	13121-70-5	5 mg/m ³	-	-	-
106	ดีดีที (ไดคลอโรไดฟีนิลไตรคลอโรอีเทน)	DDT (dichlorodiphenyltrichloro ethane)	50-29-3	1 mg/m ³	-	-	-
107	ดีมีทอน (ซิสท็อก)	demeton (systox)	8065-48-3	0.1 mg/m ³	-	-	-
108	ไดอะซีนอน	diazinon	333-41-5	0.01 mg/m ³	-	-	-
109	ออโท-ไดคลอโรเบนซีน	o-dichlorobenzene	95-50-1	-	-	-	50 ppm
110	พารา-ไดคลอโรเบนซีน	p-dichlorobenzene	106-46-7	75 ppm	-	-	-
111	1,1-ไดคลอโรอีเทน	1,1-dichloroethane	75-34-3	100 ppm	-	-	-
112	1,2-ไดคลอโรเอทิลีน	1,2-dichloroethylene	540-59-0	200 ppm	-	-	-
113	2,4-ดี (กรด 2,4-ไดคลอโรฟีนอกซีอะซิติก)	2,4-D (2,4 dichlorophenoxyacetic acid)	94-75-7	10 mg/m ³	-	-	-
114	1,1-ไดคลอโร-1-ไนโตรอีเทน	1,1-dichloro-1-nitroethane	594-72-9	-	-	-	10 ppm
115	ไดคลอรวอส (ดีดีวีพี)	dichlorvos (DDVP)	62-73-7	1 mg/m ³	-	-	-
116	ไดโครโทฟอส	dicrotophos	141-66-2	0.05 mg/m ³	-	-	-
117	ดีลด์ริน	dieldrin	60-57-1	0.25 mg/m ³	-	-	-
118	ไดเอทานอลามีน	diethanolamine	111-42-2	1 mg/m ³	-	-	-
119	2-ไดเอทิลอะมิโนเอทานอล	2-diethylaminoethanol	100-37-8	10 ppm	-	-	-
120	ไดเอทิลีน ไตรอะมีน	diethylene triamine	111-40-0	1 ppm	-	-	-
121	ไดเอทิล คีโตน	diethyl ketone	96-22-0	200 ppm	-	-	-
122	ไดไอโซบิวทิล คีโตน	diisobutyl ketone	108-83-8	50 ppm	-	-	-
123	ไดไอโซโพรพิลอะมีน	diisopropylamine	108-18-9	5 ppm	-	-	-
124	ไดเมทิลอะนิลีน (เอ็น,เอ็น-ไดเมทิลอะนิลีน)	dimethylaniline (N,N-dimethylaniline)	121-69-7	5 ppm	-	-	-
125	ไดเมทิล ฟอร์มามิด	dimethylformamide	68-12-2	10 ppm	-	-	-
126	1,1-ไดเมทิลไฮดราซีน	1,1-dimethylhydrazine	57-14-7	0.5 ppm	-	-	-
127	ไดเมทิล ซัลเฟต	dimethyl sulfate	77-78-1	1 ppm	-	-	-
128	ไดไนโตรเบนซีน ไอโซเมอร์ทุกรูป	dinitrobenzene, all isomers					
	ออโท	ortho-	528-29-0	1 mg/m ³	-	-	-
	เมตา	meta-	99-65-0	1 mg/m ³	-	-	-
	พารา	para-	100-25-4	1 mg/m ³	-	-	-

ลำดับ ที่	ชื่อสารเคมีอันตราย (ไทย)	ชื่อสารเคมีอันตราย (อังกฤษ)	CAS No.	ขีดจำกัดความเข้มข้น ของสารเคมีอันตราย เฉลี่ยตลอดระยะเวลา การทำงานปกติ	ขีดจำกัดความเข้มข้น ของสารเคมีอันตรายสำหรับ การสัมผัสในระยะเวลานั้นๆ		ขีดจำกัด ความเข้มข้น ไม่ว่าเวลาใดๆ ในระหว่าง ทำงาน
					ขีดจำกัด ความเข้มข้น	ระยะเวลา ที่กำหนด ให้ทำงานได้	
129	ไดโนโตร-ออโท-ครีซอล	dinitro-o-cresol	534-52-1	0.2 mg/m ³	-	-	-
130	ไดโนโตรโทลูอีน	dinitrotoluene	25321-14-6	1.5 mg/m ³	-	-	-
131	ไดออกเซน (ไดเอทิลลีน ไดออกไซด์)	dioxane (diethylene dioxide)	123-91-1	100 ppm	-	-	-
132	ไดออกซะไรออน	dioxathion	78-34-2	0.1 mg/m ³	-	-	-
133	ไดฟีนิลอะมีน	diphenylamine	122-39-4	10 mg/m ³	-	-	-
134	ไดโพรพิล คีโตน	dipropyl ketone	123-19-3	50 ppm	-	-	-
135	ไดควอท	diquat	85-00-7 2764-72-9 6385-62-2				
	- อนุภาคทุกขนาดที่อาจสูดเข้าสู่ ระบบทางเดินหายใจได้	- inhalable dust		0.5 mg/m ³	-	-	-
	- อนุภาคขนาดเล็กที่อาจสูดเข้าสู่ ระบบทางเดินหายใจได้	- respirable dust		0.1 mg/m ³	-	-	-
136	ไดยูรอน	diuron	330-54-1	10 mg/m ³	-	-	-
137	เอ็นโดซัลแฟน	endosulfan	115-29-7	0.1 mg/m ³	-	-	-
138	เอ็นดริน	endrin	72-20-8	0.1 mg/m ³	-	-	-
139	อีพิคลอโรไฮดริน (1-คลอโร-2,3-อีพอกซีโพรเพน)	epichlorohydrin (1-chloro-2, 3-epoxypropane)	106-89-8	5 ppm	-	-	-
140	อีพีเอ็น (เอทิล พารา-ไนโตรฟีนิล)	EPN (ethyl <i>p</i> -nitrophenyl)	2104-64-5	0.5 mg/m ³	-	-	-
141	เอทานอล (เอทิล แอลกอฮอล์)	ethanol (ethyl alcohol)	64-17-5	1000 ppm	-	-	-
142	เอทานอลามีน	ethanolamine	141-43-5	3 ppm	-	-	-
143	เอทไธออน	ethion	563-12-2	0.05 mg/m ³	-	-	-
144	2-เอทอ็อกซีเอทานอล (เซลโล โซลฟ)	2-ethoxyethanol (cellosolve)	110-80-5	200 ppm	-	-	-
145	2-เอทอ็อกซีเอทิล อะซิเตท (เซลโลโซลฟ อะซิเตท)	2-ethoxyethyl acetate (cellosolve acetate)	111-15-9	100 ppm	-	-	-
146	เอทิล อะซิเตท	ethyl acetate	141-78-6	400 ppm	-	-	-
147	เอทิล อะคริเลท	ethyl acrylate	140-88-5	25 ppm	-	-	-
148	เอทิลอะมีน	ethylamine	75-04-7	10 ppm	-	-	-
149	เอทิล เบนซีน	ethyl benzene	100-41--4	100 ppm	-	-	-
150	เอทิล โบรไมด์	ethyl bromide	74-96-4	200 ppm	-	-	-
151	เอทิล คลอไรด์	ethyl chloride	75-00-3	1000 ppm	-	-	-

ลำดับ ที่	ชื่อสารเคมีอันตราย (ไทย)	ชื่อสารเคมีอันตราย (อังกฤษ)	CAS No.	ขีดจำกัดความเข้มข้น ของสารเคมีอันตราย เฉลี่ยตลอดระยะเวลา การทำงานปกติ	ขีดจำกัดความเข้มข้น ของสารเคมีอันตรายสำหรับ การสัมผัสในระยะเวลาสั้นๆ		ขีดจำกัด ความเข้มข้น ของสารเคมี อันตรายสูงสุด ไม่ว่าเวลาใดๆ ในระหว่าง ทำงาน
					ขีดจำกัด ความเข้มข้น	ระยะเวลา ที่กำหนด ให้ทำงานได้	
152	เอทิลีน คลอโรไฮดริน	ethylene chlorohydrin	107-07-3	5 ppm	-	-	-
153	เอทิลีนไดอะมีน	ethylenediamine	107-15-3	10 ppm	-	-	-
154	เอทิลีน ไดโบรไมด์	ethylene dibromide	106-93-4	20 ppm	50 ppm	5 min	30 ppm
155	เอทิลีน ไดคลอไรด์ (1,2-ไดคลอโรอีเทน)	ethylene dichloride (1,2-dichloroethane)	107-06-2	50 ppm	200 ppm	5 min in any 3 hr	100 ppm
156	เอทิลีน ไกลคอล	ethylene glycol	107-21-1	-	-	-	100 mg/m ³
157	เอทิลีน ไกลคอล ไดไนเตรท	ethylene glycol dinitrate	628-96-6	-	-	-	0.2 ppm
158	เอทิลีน ออกไซด์	ethylene oxide	75-21-8	1 ppm	5 ppm	15 min	-
159	เอทิล อีเธอร์	ethyl ether	60-29-7	400 ppm	-	-	-
160	เอทิล ฟอร์มเมท	ethyl formate	109-94-4	100 ppm	-	-	-
161	เอทิล เมอร์แคปแทน	ethyl mercaptan	75-08-1	-	-	-	10 ppm
162	เอทิล ซิลิเคท	ethyl silicate	78-10-4	100 ppm	-	-	-
163	เฟนซิลไฟโรออน	fensulfothion	115-90-2	0.01 mg/m ³	-	-	-
164	เฟนโรออน	fenthion	55-38-9	0.05 mg/m ³	-	-	-
165	ฟลูออรีน	fluorine	7782-41-4	0.1 ppm	-	-	-
166	ฟลูออไรด์ ในรูปของฟลูออรีน	fluorides, as F		2.5 mg/m ³	-	-	-
167	โฟโนฟอส	fonofos	944-22-9	0.1 mg/m ³	-	-	-
168	ฟอร์มัลดีไฮด์	formaldehyde	50-00-0	0.75 ppm	2 ppm	15 min	-
169	กรดฟอร์มิก	formic acid	64-18-6	5 ppm	-	-	-
170	เฟอร์ฟูรัล	furfural	98-01-1	5 ppm	-	-	-
171	เฟอร์ฟูรัล แอลกอฮอล์	furfuryl alcohol	98-00-0	50 ppm	-	-	-
172	ไกลซิโดล	glycidol	556-52-5	50 ppm	-	-	-
173	เฮปตะคลอรั	heptachlor	76-44-8	0.5 mg/m ³	-	-	-
174	เฮปเทน (นอร์มอล-เฮปเทน)	heptane (n-heptane)	142-82-5	500 ppm	-	-	-
175	เฮกซะเมทิลีน-ได-ไอโซไซยาเนท	hexamethylene diisocyanate	822-06-0	0.005 ppm	-	-	-
176	นอร์มอล-เฮกเซน	n-hexane	110-54-3	500 ppm	-	-	-
177	ไฮดราซีน	hydrazine	302-01-2	1 ppm	-	-	-
178	ไฮโดรเจน โบรไมด์	hydrogen bromide	10035-10-6	3 ppm	-	-	-
179	ไฮโดรเจน คลอไรด์	hydrogen chloride	7647-01-0	-	-	-	5 ppm

ลำดับ ที่	ชื่อสารเคมีอันตราย (ไทย)	ชื่อสารเคมีอันตราย (อังกฤษ)	CAS No.	ขีดจำกัดความเข้มข้น ของสารเคมีอันตราย เฉลี่ยตลอดระยะเวลา การทำงานปกติ	ขีดจำกัดความเข้มข้น ของสารเคมีอันตรายสำหรับ การสัมผัสในระยะเวลาสั้นๆ		ขีดจำกัด ความเข้มข้น ของสารเคมี อันตรายสูงสุด ไม่ว่าเวลาใดๆ ในระหว่าง ทำงาน
					ขีดจำกัด ความเข้มข้น	ระยะเวลา ที่กำหนด ให้ทำงานได้	
180	ไฮโดรเจน ไซยาไนด์	hydrogen cyanide	74-90-8	10 ppm	-	-	-
181	ไฮโดรเจน ฟลูออไรด์ ในรูปของ ฟลูออรีน	hydrogen fluoride, as F	7664-39-3	3 ppm	-	-	-
182	ไฮโดรเจน เพอร์ออกไซด์	hydrogen peroxide	7722-84-1	1 ppm	-	-	-
183	ไฮโดรเจน ซัลไฟด์	hydrogen sulfide	7783-06-4	-	50 ppm	10 min	20 ppm
184	ไฮโดรควิโนน	hydroquinone	123-31-9	2 mg/m ³	-	-	-
185	2-ไฮดรอกซีโพรพิล อะครีเลท	2-hydroxypropyl acrylate	999-61-1	0.5 ppm	-	-	-
186	ไอโอดีน	iodine	7553-56-2	-	-	-	0.1 ppm
187	ไอโซบิวทิล อะซิเตต	isobutyl acetate	110-19-0	150 ppm	-	-	-
188	ไอโซฟอโรน	isophorone	78-59-1	25 ppm	-	-	-
189	ไอโซฟอโรน ไดไอโซไซยานน	isophorone diisocyanate	4098-71-9	0.005 ppm	-	-	-
190	2-ไอโซโพรพอกซีเอทานอล	2-isopropoxyethanol	109-59-1	25 ppm	-	-	-
191	ไอโซโพรพิล อะซิเตท	isopropyl acetate	108-21-4	250 ppm	-	-	-
192	ไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์ (ไอพีเอ)	isopropyl alcohol (IPA)	67-63-0	400 ppm	-	-	-
193	ไอโซโพรพิลอะมีน	isopropylamine	75-31-0	5 ppm	-	-	-
194	ตะกั่วอนินทรีย์ ในรูปของตะกั่ว	lead inorganic, as Pb	7439-92-1	0.05 mg/m ³	-	-	-
195	เลด โครเมท	lead chromate	7758-97-6				
	- ในรูปของตะกั่ว	- as Pb		0.05 mg/m ³	-	-	-
	- ในรูปของโครเมียม	- as Cr		0.012 mg/m ³	-	-	-
196	แอล.พี.จี. (ก๊าซปิโตรเลียมเหลว)	L.P.G. liquified petroleum gas)	68476-85-7	1000 ppm	-	-	-
197	เมอร์คิวรี (ปรอท)	mercury	7439-97-6	-	-	-	0.1 mg/m ³
198	ออร์กาน (อัลคิล) เมอร์คิวรี	organo (alkyl) mercury	7439-97-6	0.01 mg/m ³	-	-	0.04 mg/m ³
199	เมทิล นอร์มอล-บิวทิลคีโตน	methyl n-butyl ketone	591-78-6	100 ppm	-	-	-
200	เมทิล คลอไรด์	methyl chloride	74-87-3	100 ppm	300 ppm	5 min in any 3 hr	200 ppm
201	เมทิลไซโคลเฮกเซน	methylcyclohexane	108-87-2	500 ppm	-	-	-
202	เมทิลไซโคลเฮกเซนอล	methylcyclohexanol	25639-42-3	100 ppm	-	-	-
203	ออโท- เมทิลไซโคลเฮกซะโนน	o-methylcyclohexanone	583-60-8	100 ppm	-	-	-
204	เมทิลีน คลอไรด์	methylene chloride	75-09-2	25 ppm	125 ppm	15 min	-

ลำดับ ที่	ชื่อสารเคมีอันตราย (ไทย)	ชื่อสารเคมีอันตราย (อังกฤษ)	CAS No.	ขีดจำกัดความเข้มข้น ของสารเคมีอันตราย เฉลี่ยตลอดระยะเวลา การทำงานปกติ	ขีดจำกัดความเข้มข้น ของสารเคมีอันตรายสำหรับ การสัมผัสในระยะเวลาสั้นๆ		ขีดจำกัด ความเข้มข้น ของสารเคมี อันตรายสูงสุด ไม่ว่าเวลาใดๆ ในระหว่าง ทำงาน
					ขีดจำกัด ความเข้มข้น	ระยะเวลา ที่กำหนด ให้ทำงานได้	
205	4,4-เมทิลีนไดอะนิลีน	4,4-methylene dianiline	101-77-9	0.1 ppm	-	-	-
206	เมทิล เอทิล คีโตน (เอ็มอีเค)	methyl ethyl ketone (MEK)	78-93-3	200 ppm	-	-	-
207	เมทิล เอทิล คีโตน เพอร์ออกไซด์	methyl ethyl ketone peroxide	1338-23-4	-	-	-	0.2 ppm
208	เมทิล ฟอร์มเมท	methyl formate	107-31-3	100 ppm	-	-	-
209	เมทิล ไอโอไดด์	methyl iodide	74-88-4	5 ppm	-	-	-
210	เมทิล ไอโซอามิล คีโตน	methyl isoamyl ketone	110-12-3	100 ppm	-	-	-
211	เมทิล ไอโซบิวทิล คาร์บิโนล	methyl isobutyl carbinol	108-11-2	25 ppm	-	-	-
212	เมทิล ไอโซบิวทิล คีโตน	methyl isobutyl ketone	108-10-1	100 ppm	-	-	-
213	เมทิล ไอโซโพรพิล คีโตน	methyl isopropyl ketone	563-80-4	20 ppm	-	-	-
214	เมทิล เมอร์แคปแทน	methyl mercaptan	74-93-1	-	-	-	10 ppm
215	เมทิล เมทาครีเลท	methyl methacrylate	80-62-6	100 ppm	-	-	-
216	เมทิล พาราไรออน	methyl parathion	298-00-0	0.02 mg/m ³	-	-	-
217	แอลฟา-เมทิล สไตรีน	alpha-methyl styrene	98-83-9	-	-	-	100 ppm
218	เมวินฟอส (ฟอสดริน)	mevinphos (phosdrin)	7786-34-7	0.01 mg/m ³	-	-	-
219	ไมกา อนุภาคขนาดเล็กที่อาจสูด เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้	mica, respirable dust	12001-26-2	3 mg/m ³	-	-	-
220	โมนโนโครโทฟอส	monocrotophos	6923-22-4	0.05 mg/m ³	-	-	-
221	มอร์โฟไลน์	morpholine	110-91-8	20 ppm	-	-	-
222	นิกเกิล	nickel	7440-02-0				
	- โลหะ และสารประกอบที่ ไม่ละลาย ในรูปของนิกเกิล	- metal and insoluble compounds, as Ni		1 mg/m ³	-	-	-
	- สารประกอบที่ละลายได้ ในรูปของนิกเกิล	- soluble compounds, as Ni		1 mg/m ³	-	-	-
223	นิโคติน	nicotine	54-11-5	0.5 mg/m ³	-	-	-
224	กรดไนตริก	nitric acid	7697-37-2	2 ppm	-	-	-
225	ไนตรัสออกไซด์	nitrous oxide	10024-97-2	50 ppm	-	-	-
226	ไนตริก ออกไซด์	nitric oxide	10102-43-9	25 ppm	-	-	-
227	ไนโตรเบนซีน	nitrobenzene	98-95-3	1 ppm	-	-	-
228	ไนโตรอีเทน	nitroethane	79-24-3	100 ppm	-	-	-
229	ไนโตรเจน ไดออกไซด์	nitrogen dioxide	10102-44-0	-	-	-	5 ppm

ลำดับ ที่	ชื่อสารเคมีอันตราย (ไทย)	ชื่อสารเคมีอันตราย (อังกฤษ)	CAS No.	ขีดจำกัดความเข้มข้น ของสารเคมีอันตราย เฉลี่ยตลอดระยะเวลา การทำงานปกติ	ขีดจำกัดความเข้มข้น ของสารเคมีอันตรายสำหรับ การสัมผัสในระยะเวลาสั้นๆ		ขีดจำกัด ความเข้มข้น ของสารเคมี อันตรายสูงสุด ไม่ว่าเวลาใดๆ ในระหว่าง ทำงาน
					ขีดจำกัด ความเข้มข้น	ระยะเวลา ที่กำหนด ให้ทำงานได้	
230	ไนโตรกลีเซอริน	nitroglycerin	55-63-0	-	-	-	0.2 ppm
231	ไนโตรมีเทน	nitromethane	75-52-5	100 ppm	-	-	-
232	1-ไนโตรโพรเพน	1-nitropropane	108-03-2	25 ppm	-	-	-
233	2-ไนโตรโพรเพน	2-nitropropane	79-46-9	25 ppm	-	-	-
234	ไนโตรโทลูอีน ทุกไอโซเมอร์	nitrotoluene, all isomers	88-72-2, 99-08-1, 99-99-0	5 ppm	-	-	-
235	ออกเทน	octane	111-65-9	500 ppm	-	-	-
236	ออสเมียม เตตระออกไซด์ ในรูปของ ออสเมียม	osmium tetroxide, as Os	20816-12-0	0.002 mg/m ³	-	-	-
237	กรดออกซาลิก	oxalic acid	144-62-7	1 mg/m ³	-	-	-
238	ออกซิเจน ไดฟลูออไรด์	oxygen difluoride	7783-41-7	0.05 ppm	-	-	-
239	พาราควอต อนุภาคขนาดเล็กที่อาจ สูดเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้	paraquat, respirable dust	4685-14-7	0.5 mg/m ³	-	-	-
240	พาราธาออน	parathion	56-38-2	0.1 mg/m ³	-	-	-
241	เพนตะบอเรน	pentaborane	19624-22-7	0.005 ppm	-	-	-
242	เพนตะคลอโรนพธาเลน	pentachloronaphthalene	1321-64-8	0.5 mg/m ³	-	-	-
243	เพนตะคลอโรฟีนอล	pentachlorophenol	87-86-5	0.5 mg/m ³	-	-	-
244	เพนเทน	pentane	109-66-0	1000 ppm	-	-	-
245	เพอร์คลอโรเอทิลีน (เตตระคลอโรเอทิลีน)	perchloroethylene (tetrachloroethylene)	127-18-4	100 ppm	300 ppm	5 min in any 3 hr	200 ppm
246	ฟีนอล	phenol	108-95-2	5 ppm	-	-	-
247	ออโท-ฟีนิลีนไดอะมีน	<i>o</i> -phenylenediamine	95-54-5	0.1 mg/m ³	-	-	-
248	เมตา-ฟีนิลีนไดอะมีน	<i>m</i> -phenylene diamine	108-45-2	0.1 mg/m ³	-	-	-
249	พารา-ฟีนิลีนไดอะมีน	<i>p</i> -phenylene diamine	106-50-3	0.1 mg/m ³	-	-	-
250	โฟเรท	phorate	298-02-2	0.05 mg/m ³	-	-	-
251	ฟอสจีน (คาร์บอนิล คลอไรด์)	phosgene (carbonyl chloride)	75-44-5	0.1 ppm	-	-	-
252	กรดฟอสฟอริก	phosphoric acid	7664-38-2	1 mg/m ³	-	-	-
253	ฟอสฟอรัส (เหลือง)	phosphorus (yellow)	7723-14-0	0.1 mg/m ³	-	-	-
254	ฟอสฟอรัส ออกซิคลอไรด์	phosphorus oxychloride	10025-87-3	0.1 ppm	-	-	-
255	ฟอสฟอรัส เพนตะคลอไรด์	phosphorus pentachloride	10026-13-8	1 mg/m ³	-	-	-

๑๒

ลำดับ ที่	ชื่อสารเคมีอันตราย (ไทย)	ชื่อสารเคมีอันตราย (อังกฤษ)	CAS No.	ขีดจำกัดความเข้มข้น ของสารเคมีอันตราย เฉลี่ยตลอดระยะเวลา การทำงานปกติ	ขีดจำกัดความเข้มข้น ของสารเคมีอันตรายสำหรับ การสัมผัสในระยะเวลานั้นๆ		ขีดจำกัด ความเข้มข้น ของสารเคมี อันตรายสูงสุด ไม่ว่าเวลาใดๆ ในระหว่าง ทำงาน
					ขีดจำกัด ความเข้มข้น	ระยะเวลา ที่กำหนด ให้ทำงานได้	
256	ฟอสฟอรัส เพนตะซัลไฟด์	phosphorus pentasulfide	1314-80-3	1 mg/m ³	-	-	-
257	ฟอสฟอรัส ไตรคลอไรด์	phosphorus trichloride	7719-12-2	0.5 ppm	-	-	-
258	พธาลิก แอนไฮไดรด์	phthalic anhydride	85-44-9	2 ppm	-	-	-
259	กรดพิคริก	picric acid	88-89-1	0.1 mg/m ³	-	-	-
260	พินโดเน (2-ไพวาอิล-1,3-อินเดนไดโอน)	bindone (2-pivalyl-1,3-indandione)	83-26-1	0.1 mg/m ³	-	-	-
261	โปแตสเซียม ไฮดรอกไซด์	potassium hydroxide	1310-58-3	-	-	-	2 mg/m ³
262	โพรพาร์กิล แอลกอฮอล์	propargyl alcohol	107-19-7	1 ppm	-	-	-
263	1,3-ไพโรไพโอแลคโตน	1,3-propiolactone	57-57-8	0.5 ppm	-	-	-
264	กรดโพรพิโอนิก	propionic acid	79-09-4	10 ppm	-	-	-
265	โพรพอกเซอร์	propoxur	114-26-1	0.5 mg/m ³	-	-	-
266	นอร์มอล-โพรพิล อะซิเตท	n-propyl acetate	109-60-4	200 ppm	-	-	-
267	นอร์มอล-โพรพิล แอลกอฮอล์	n-propyl alcohol	71-23-8	200 ppm	-	-	-
268	โพรพิลีน อิมีน	propylene imine	75-55-8	2 ppm	-	-	-
269	โพรพิลีน ออกไซด์	propylene oxide	75-56-9	100 ppm	-	-	-
270	ไพริดีน	pyridine	110-86-1	5 ppm	-	-	-
271	ควิโนน	quinone	106-51-4	0.1 ppm	-	-	-
272	รีซอร์ซินอล	resorcinol	108-46-3	10 ppm	-	-	-
273	โรทีโนน	rotenone	83-79-4	5 mg/m ³	-	-	-
274	เฮลเลเนียม เฮกซะฟลูออไรด์ ในรูป ของเฮลเลเนียม	selenium hexafluoride, as Se	7783-79-1	0.05 ppm	-	-	-
275	สารประกอบเฮลเลเนียม ในรูปของ เฮลเลเนียม	selenium compounds ,as Se	7782-49-2	0.2 mg/m ³	-	-	-
276	ซิลิกา คริสตัลลีน	silica, crystalline					
	- คริสโตบาไลต์ อนุภาคขนาดเล็กที่ อาจสูดเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้	- cristobalite, respirable dust	14464-46-1	0.025 mg/m ³	-	-	-
	- แอลฟา-ควอร์ซ อนุภาคขนาดเล็กที่ อาจสูดเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้	- α-quartz, respirable dust	1317-95-9, 14808-60-7	0.025 mg/m ³	-	-	-
277	โซเดียม อะไซด์	sodium azide	26628-22-8				
	- ในรูปของโซเดียม อะไซด์	as sodium azide		-	-	-	0.29 mg/m ³
	- ในรูปไอของกรดไฮไดรอะซิก	as hydrazoic acid vapour		-	-	-	0.11 ppm

๑๓

ลำดับ ที่	ชื่อสารเคมีอันตราย (ไทย)	ชื่อสารเคมีอันตราย (อังกฤษ)	CAS No.	ขีดจำกัดความเข้มข้น ของสารเคมีอันตราย เฉลี่ยตลอดระยะเวลา การทำงานปกติ	ขีดจำกัดความเข้มข้น ของสารเคมีอันตรายสำหรับ การสัมผัสในระยะเวลาสั้นๆ		ขีดจำกัด ความเข้มข้น ของสารเคมี อันตรายสูงสุด ไม่ว่าเวลาใดๆ ในระหว่าง ทำงาน
					ขีดจำกัด ความเข้มข้น	ระยะเวลา ที่กำหนด ให้ทำงานได้	
278	โซเดียม ไบซัลไฟต์	sodium bisulfite	7631-90-5	5 mg/m ³	-	-	-
279	โซเดียม ไฮดรอกไซด์	sodium hydroxide	1310-73-2	2 mg/m ³	-	-	-
280	สตรอนเทียม โครเมท ในรูปของ โครเมียม	strontium chromate, as Cr	7789-06-2	0.0005 mg/m ³	-	-	-
281	สตริควินิน	strychnine	57-24-9	0.15 mg/m ³	-	-	-
282	สไตรีน	styrene	100-42-5	100 ppm	600 ppm	5 min in any 3 hr	200 ppm
283	ซัลโฟเทป	sulfotep	3689-24-5	0.1 mg/m ³	-	-	-
284	ซัลเฟอร์ ไดออกไซด์	sulfur dioxide	7446-09-5	5 ppm	-	-	-
285	กรดซัลฟูริก	sulfuric acid	7664-93-9	1 mg/m ³	-	-	-
286	ทัลก์	talc	14807-96-6				
	- ที่ไม่มีส่วนประกอบของเส้นใย แอสเบสตอส อนุภาคขนาดเล็กที่ อาจสูดเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้	- containing no asbestos fibres, respirable dust		2 mg/m ³	-	-	-
	- ที่มีส่วนประกอบของเส้นใยแอส เบสตอส อนุภาคขนาดเล็กที่อาจสูด เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้	- containing asbestos fibres, respirable dust		0.1 f/cm ³	-	-	-
287	ทีอีพีพี (เตตระเอทิล ไพโร ฟอสเฟต)	TEPP (tetraethyl pyrophosphate)	107-49-3	0.05 mg/m ³	-	-	-
288	เทลลูเรียม เฮกซะฟลูออไรด์ ในรูปของเทลลูเรียม	tellurium hexafluoride, as Te	7783-80-4	0.02 ppm	-	-	-
289	1,1,2,2-เตตระคลอโรอีเทน	1,1,2,2-tetrachloroethane	79-34-5	5 ppm	-	-	-
290	เตตระเอทิล เลด ในรูปของตะกั่ว	tetraethyl lead, as Pb	78-00-2	0.075 mg/m ³	-	-	-
291	เตตระไฮโดรฟูแรน	tetrahydrofuran	109-99-9	200 ppm	-	-	-
292	เตตระเมทิล เลด ในรูปของตะกั่ว	tetramethyl lead, as Pb	75-74-1	0.075 mg/m ³	-	-	-
293	เทลลูเรียม สารประกอบที่ละลาย ในรูปของเทลลูเรียม	thallium, soluble compounds, as Tl	7440-28-0	0.1 mg/m ³	-	-	-
294	กรดไฮโอไกลิโคลิก	thioglycolic acid	68-11-1	1 ppm	-	-	-
295	ไธโอนิล คลอไรด์	thionyl chloride	7719-09-7	-	-	-	0.2 ppm
296	ไธแรม	thiram	137-26-8	5 mg/m ³	-	-	-
297	โทลูอิน	toluene	108-88-3	200 ppm	500 ppm	10 min	300 ppm
298	โทลูอิน-2,4-ไดไอโซไซยานเอท (ทีดีไอ)	toluene - 2,4-diisocyanate (TDI)	584-84-9	-	-	-	0.02 ppm

๑๔

ลำดับ ที่	ชื่อสารเคมีอันตราย (ไทย)	ชื่อสารเคมีอันตราย (อังกฤษ)	CAS No.	ขีดจำกัดความเข้มข้น ของสารเคมีอันตราย เฉลี่ยตลอดระยะเวลา การทำงานปกติ	ขีดจำกัดความเข้มข้น ของสารเคมีอันตรายสำหรับ การสัมผัสในระยะเวลาสั้นๆ		ขีดจำกัด ความเข้มข้น ของสารเคมี อันตรายสูงสุด ไม่ว่าเวลาใดๆ ในระหว่าง ทำงาน
					ขีดจำกัด ความเข้มข้น	ระยะเวลา ที่กำหนด ให้ทำงานได้	
299	ออโท-โทลูอิดีน	<i>o</i> -toluidine	95-53-4	5 ppm	-	-	-
300	ไตรบิวทิล ฟอสเฟต	tributyl phosphate	126-73-8	5 mg/m ³	-	-	-
301	กรดไตรคลอโรอะซิติก	trichloroacetic acid	76-03-9	0.5 ppm	-	-	-
302	1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน (เมทิลคลอโรฟอร์ม)	1,1,1-trichloroethane (methyl chloroform)	71-55-6	350 ppm	-	-	-
303	1,1,2-ไตรคลอโรอีเทน	1,1,2-trichloroethane	79-00-5	10 ppm	-	-	-
304	ไตรคลอโรเอทิลีน	trichloroethylene	79-01-6	100 ppm	300 ppm	5 min in any 2 hr	200 ppm
305	1,2,3-ไตรคลอโรโพรเพน	1,2,3-trichloropropane	96-18-4	50 ppm	-	-	-
306	2,4,5 ที (กรด 2,4,5-ไตรคลอโร ฟีนอกซีอะซิติก)	2,4,5 T (2,4,5- trichlorophenoxyacetic acid)	93-76-5	10 mg/m ³	-	-	-
307	ไตรเอทิลอะมีน	triethylamine	121-44-8	25 ppm	-	-	-
308	เทอร์เพนทิน	turpentine	8006-64-2	100 ppm	-	-	-
309	ยูเรเนียม ในรูปของยูเรเนียม	uranium, as U	7440-61-1				
	- สารประกอบที่ละลายได้	- soluble compounds		0.05 mg/m ³	-	-	-
	- สารประกอบที่ไม่ละลาย	- insoluble compounds		0.25 mg/m ³	-	-	-
310	วานาเดียม	vanadium	1314-62-1				
	- อนุภาคขนาดเล็กที่อาจสูดเข้าสู่ ระบบทางเดินหายใจได้ ในรูปของ ไดวานาเดียมเพนออกไซด์	- respirable dust, as V ₂ O ₅		-	-	-	0.5 mg/m ³
	- ฟุ้ง ในรูปของไดวานาเดียม เพนออกไซด์	- fume, as V ₂ O ₅		-	-	-	0.1 mg/m ³
311	ไวนิล อะซิเตท	vinyl acetate	108-05-4	10 ppm	-	-	-
312	ไวนิล โบรไมด์	vinyl bromide	593-60-2	0.5 ppm	-	-	-
313	ไวนิล คลอไรด์	vinyl chloride	75-01-4	1 ppm	5 ppm	15 min	-
314	ไวนิลิดีน คลอไรด์	vinylidene chloride	75-35-4	5 ppm	-	-	-
315	ไวนิล โทลูอีน	vinyl toluene	25013-15-4	100 ppm	-	-	-
316	วาร์ฟาริน	warfarin	81-81-2	0.1 mg/m ³	-	-	-
317	ไซลีน (ออโอ เมตา พารา ไอโซ เมอร์)	xylene (<i>o</i> -, <i>m</i> -, <i>p</i> - isomers)	1330-20-7	100 ppm	-	-	-
318	ไซลิดีน	xylylene	1300-73-8	5 ppm	-	-	-
319	ฟุ้งของสังกะสีคลอไรด์	zinc chloride fume	7646-85-7	1 mg/m ³	-	-	-

๑๕

ลำดับ ที่	ชื่อสารเคมีอันตราย (ไทย)	ชื่อสารเคมีอันตราย (อังกฤษ)	CAS No.	ขีดจำกัดความเข้มข้น ของสารเคมีอันตราย เฉลี่ยตลอดระยะเวลา การทำงานปกติ	ขีดจำกัดความเข้มข้น ของสารเคมีอันตรายสำหรับ การสัมผัสในระยะเวลาสั้นๆ		ขีดจำกัด ความเข้มข้น ของสารเคมี อันตรายสูงสุด ไม่ว่าเวลาใดๆ ในระหว่าง ทำงาน
					ขีดจำกัด ความเข้มข้น	ระยะเวลา ที่กำหนด ให้ทำงานได้	
320	ซิงค์ โครเมท ในรูปของโครเมียม	zinc chromates, as Cr	13530-65-9, 11103-86-9, 37300-23-5	0.01 mg/m ³	-	-	-
321	ซิงค์ สเตียเรท	zinc stearate	557-05-1				
	- อนุภาคทุกขนาดที่อาจสูดเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้	- inhalable dust		15 mg/m ³	-	-	-
	- อนุภาคขนาดเล็กที่อาจสูดเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้	- respirable dust		5 mg/m ³	-	-	-
322	สังกะสี ออกไซด์	zinc oxide	1314-13-2				
	- อนุภาคทุกขนาดที่อาจสูดเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้	- inhalable dust		15 mg/m ³	-	-	-
	- อนุภาคขนาดเล็กที่อาจสูดเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้	- respirable dust		5 mg/m ³	-	-	-
323	ฟุ้งของสังกะสี ออกไซด์	zinc oxide fume	1314-13-2	5 mg/m ³	-	-	-
324	สารประกอบ เซอร์โคเนียม ในรูปของเซอร์โคเนียม	zirconium compounds, as Zr	7440-67-7	5 mg/m ³	-	-	-

หมายเหตุ

“ขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตรายเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานปกติ” หมายถึง ระดับความเข้มข้นของสารเคมีอันตรายเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานปกติภายในสถานประกอบการที่ลูกจ้างซึ่งมีสุขภาพปกติทำงานสามารถสัมผัสหรือได้รับเข้าสู่ร่างกายได้ทุกวันตลอดเวลาที่ทำงานโดยไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ

“ขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตรายสำหรับการสัมผัสในระยะเวลาสั้นๆ” หมายถึง ระดับความเข้มข้นของสารเคมีอันตรายที่ลูกจ้างสัมผัสอย่างต่อเนื่องในระยะเวลาสั้นๆ ตามที่กำหนด โดยไม่มีอาการระคายเคือง เนื้อเยื่อถูกทำลายอย่างถาวรหรืออย่างเรื้อรัง มีนเมา หลับ หรือรังวงซึมจนอาจทำให้เกิดอุบัติเหตุ หรือไม่สามารถช่วยตนเองได้ หรือประสิทธิภาพการทำงานลดลงอย่างมาก

“ขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตรายสูงสุดไม่ว่าเวลาใดๆ ในระหว่างทำงาน” หมายถึง ระดับความเข้มข้นของสารเคมีอันตรายสูงสุดซึ่งต้องไม่เกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ไม่ว่าเวลาใดๆ ในระหว่างทำงาน

“อนุภาคทุกขนาดที่อาจสูดเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ (inhalable dust)” หมายถึง อนุภาคขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ ๑๐๐ ไมครอนเมตร แขนงลอยในอากาศที่อาจสูดเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้

“อนุภาคขนาดเล็กที่อาจสูดเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ (respirable dust)” หมายถึง อนุภาคขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ ๑๐ ไมครอนเมตร แขนงลอยในอากาศที่อาจสูดเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ และสามารถเข้าถึงและสะสมในบริเวณพื้นที่แลกเปลี่ยนอากาศของปอด

mg/m ³	หมายถึง	มิลลิกรัมต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เมตร
f/cm ³	หมายถึง	จำนวนเส้นใยต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์เซนติเมตร
ppm	หมายถึง	ส่วนในล้านส่วนโดยปริมาตร

เล่ม ๑๒๙ ตอนพิเศษ ๑๖๘ ง ราชกิจจานุเบกษา ๕ พฤศจิกายน ๒๕๕๕

หน้า ๒

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ ๔๔๔๑ (พ.ศ. ๒๕๕๕)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. ๒๕๑๑

เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ข้อกำหนดการประเมินการสัมผัสสารเคมีอันตรายในสิ่งแวดล้อมของสถานที่ทำงาน

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๑๕ แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. ๒๕๑๑ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ข้อกำหนดการประเมินการสัมผัสสารเคมีอันตรายในสิ่งแวดล้อมของสถานที่ทำงาน มาตรฐานเลขที่ มอก. 2536 - 2555 ไว้ ดังมีรายละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ทั้งนี้ ให้มีผลตั้งแต่วันที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ ๑๗ สิงหาคม พ.ศ. ๒๕๕๕

หม่อมราชวงศ์พงษ์สวัสดิ์ สวัสดิวัตน์

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ข้อกำหนดการประเมินการสัมผัสสารเคมีอันตราย

ในสิ่งแวดล้อมของสถานที่ทำงาน

1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดการประเมินการสัมผัสสารเคมีอันตราย จัดลำดับความสำคัญในการเก็บตัวอย่างอากาศ การแปลผลข้อมูล การจัดทำรายงาน การกำหนดเวลาการประเมินซ้ำ และพิจารณาแนวทางในการคุ้มครองสุขภาพและความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน
- 1.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้เป็นแนวทางการปฏิบัติสำหรับนักวิทยาศาสตร์อุตสาหกรรม หรือผู้ที่มีความรู้ ความเข้าใจในวิทยาการด้านอุตสาหกรรม

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ให้เป็นไปตาม มอก. 2535-2555 และมีดังต่อไปนี้

- 2.1 การเก็บตัวอย่างอากาศบริเวณที่ทำงาน (area sampling) หมายถึง การเก็บตัวอย่างอากาศโดยการตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างไว้ ที่จุดใดจุดหนึ่งในบริเวณที่ทำงาน
- 2.2 การเก็บตัวอย่างอากาศที่ตัวบุคคล (personal sampling) หมายถึง การเก็บตัวอย่างอากาศโดยติดตั้งอุปกรณ์ที่บุคคล ให้อุปกรณ์ดังกล่าวอยู่ในระดับหายใจในรัศมี 30 cm รอบจมูก
- 2.3 การสุ่มตัวอย่าง (random sampling) หมายถึง การเลือกเก็บตัวอย่างอากาศจากกลุ่มประชากร โดยที่แต่ละตัวอย่างมีโอกาสที่จะถูกเลือกเท่าเทียมกันเป็นกระบวนการที่ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ
 - (1) กำหนดกลุ่มประชากรของตัวอย่างที่เกี่ยวข้อง
 - (2) สุ่มตัวอย่างจากกลุ่มประชากร
 - (3) ยืนยันว่าตัวอย่างเหล่านั้นได้มาจากกลุ่มผู้ปฏิบัติงานที่สัมผัสสารอันตรายคล้ายกัน (similar exposure group, SEG)
- 2.4 ความเป็นพิษ (toxicity) หมายถึง สมบัติของสารเคมีอันตรายที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพและความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน

มอก. 2536-2555

- 2.5 เครื่องมืออ่านค่าโดยตรง (direct reading) หมายถึง เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่เก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศ และแสดงค่าความเข้มข้นของสารเคมีอันตรายหรือกลุ่มสารเคมีอันตรายนั้น โดยอาจอ่านค่าในขณะนั้น ๆ (real time) หรือค่าเฉลี่ยที่เวลาใดเวลาหนึ่ง แสดงผลเป็นตัวเลข หรือเข็มชี้ หรือการเปลี่ยนแปลงสีของสารตรวจวัด เช่น ความยาวของแถบสีหรือความเข้มของสีที่เปลี่ยนไป ตามหลักการและสมรรถนะของเครื่องมือ นั้น ๆ
- 2.6 ตัวอย่างที่ระดับหายใจ (breathing zone sample) หมายถึง ตัวอย่างที่เก็บในรัศมีห่างจากจมูกของผู้ถูกเก็บ ตัวอย่าง 30 cm และในการเก็บตัวอย่างนี้ไม่คำนึงว่าผู้ปฏิบัติงานจะสวมอุปกรณ์ปกป้องทางเดินหายใจ หรือไม่
- 2.7 เบรกทรู (breakthrough) หมายถึง การชะหรือพิศพาตัวอย่างซึ่งถูกดักเก็บไว้โดยสารดูดซับในหลอดเก็บ ตัวอย่างออกไปจากหลอดในขณะที่เก็บตัวอย่าง ระบุโดยการพบสารเคมีอันตรายในส่วนหลังของหลอดเก็บ ตัวอย่างมากกว่าหรือเท่ากับ 5% ของสารเคมีอันตรายที่พบในส่วนหน้าของหลอดเก็บตัวอย่าง
- 2.8 โปรแกรมการตรวจติดตาม (monitoring program) หมายถึง การตรวจประเมินในช่วงระหว่างรอบ เพื่อให้ เกิดความเชื่อมั่นว่าระบบนั้นยังคงดำเนินไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้
- 2.9 แผนกลยุทธ์ในการเก็บตัวอย่างอากาศ (air sampling strategy) หมายถึง แผนการใช้ทรัพยากรการเก็บ ตัวอย่างอากาศที่มีอยู่อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อประมาณความเข้มข้นของสารเคมีอันตรายในอากาศ และการสัมผัสสารเคมีอันตรายของผู้ปฏิบัติงาน
- 2.10 ระดับปฏิบัติการ (action level, AL) หมายถึง ระดับที่ผู้ที่ทำหน้าที่รับผิดชอบต้องเริ่มดำเนินการอย่างใด อย่างหนึ่ง เพื่อควบคุมและป้องกันการสัมผัสสารอันตรายของผู้ปฏิบัติงาน ในที่นี้เสนอให้ AL คือ 50% ของ ระดับการสัมผัสกับสารเคมีอันตรายของผู้ปฏิบัติงานที่ยอมรับได้ ทั้งนี้ เนื่องจากความแตกต่างระหว่าง บุคคล ในสถานที่ทำงานใด ๆ อาจมีคนส่วนน้อยที่ไวต่อสารเคมีอันตรายนั้น ๆ มากกว่าคนอื่น ๆ ฉะนั้นเพื่อ ปกป้องคนส่วนน้อยนี้จึงควรกำหนดแนวทางป้องกันและดำเนินการเมื่อมีสารอันตรายในระดับ AL
- 2.11 อันตรายเฉียบพลันต่อชีวิตและสุขภาพ (immediately dangerous to life and health, IDLH) หมายถึง ระดับ ความเข้มข้นของสารเคมีอันตรายในอากาศซึ่งอยู่ในระดับที่ทำให้เกิดอันตรายรุนแรงเฉียบพลันถึงขั้น เสียชีวิตหรือพิการถาวรได้
- 2.12 ค่าขอบเขตล่างของช่วงความเชื่อมั่น (lower confidential limit, LCL) หมายถึง ขอบเขตล่างของช่วงความ เชื่อมั่น 95%
- 2.13 ค่าขอบเขตบนของช่วงความเชื่อมั่น (upper confidential limit, UCL) หมายถึง ขอบเขตบนของช่วงความ เชื่อมั่น 95%

3. ข้อกำหนด

3.1 หลักการ

- 3.1.1 การสำรวจขั้นต้น (preliminary survey หรือ walk-through survey) ผู้ประเมินการสัมผัสสารเคมีอันตราย ในสิ่งแวดล้อมของสถานที่ทำงานต้องสำรวจสถานที่ เก็บรวบรวมข้อมูลและสังเกตการทำงาน ค้นหา ปัจจัยเสี่ยงที่แฝงอยู่ในสิ่งแวดล้อมของสถานที่ทำงาน เพื่อวางแผนการเตรียมอุปกรณ์เครื่องมือ เทคนิค และวิธีการเก็บตัวอย่าง
- 3.1.2 การวิเคราะห์กระบวนการผลิตและการทำงาน (process analysis and operation) เพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับการสัมผัสสารเคมีอันตรายของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งอาจเป็นวัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์ ผลผลิต ผลพลอยได้จากการผลิต และกากของเสีย ที่อาจฟุ้งกระจายหรือถูกปลดปล่อยออกสู่อากาศในขณะที่มีการใช้ การขนย้าย การจัดเก็บ หรือการกำจัด กิจกรรมในขณะที่ซ่อมบำรุงเครื่องจักร การทกรั่วไหลและการเกิดอุบัติเหตุ ความถี่ในการซ่อมบำรุง สถิติการทกรั่วไหลของสารเคมีอันตรายและอุบัติเหตุ ลักษณะการสัมผัสและ สถานะของสารเคมีอันตราย รวมทั้งรวบรวมรายชื่อสารเคมีอันตรายและวัตถุดิบที่ใช้ในโรงงาน ปัจจัย เสริมเกี่ยวกับทางเข้าสู่ร่างกายของสารเคมีอันตรายที่ควรพิจารณา รายชื่อของผลผลิตและผลพลอยได้ วิธีและมาตรการในการควบคุมที่มีอยู่จำนวนผู้ปฏิบัติงานในแต่ละแผนก
- 3.1.3 การศึกษาทางระบาดวิทยา (epidemiologic study) เป็นการนำข้อมูลทางสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานที่สัมผัส กับสารเคมีอันตรายในระดับต่าง ๆ มาวิเคราะห์หาความรุนแรงของผลกระทบต่อสุขภาพ เพื่อให้ทราบ ถึงกลุ่มเสี่ยงซึ่งอาจเป็นกลุ่มผู้ปฏิบัติงานจำนวนเพียงไม่กี่คน ทั้งนี้ เนื่องจากความแตกต่างของแต่ละ บุคคลในการตอบสนองต่อสารเคมีอันตราย ข้อมูลปริมาณการสัมผัสอย่างเดียวยังอาจไม่เพียงพอที่จะ บอกถึงอันตรายในผู้ปฏิบัติงานทุกคนได้ แหล่งของข้อมูลที่นำมาใช้ ได้แก่ ข้อมูลจากฝ่ายการแพทย์ของ โรงงาน ซึ่งรวมถึงประวัติสุขภาพ ประวัติการทำงาน รายงานการตรวจร่างกาย และจากการสอบถาม พนักงาน ส่วนข้อมูลที่ต้องพิจารณาคือ ลักษณะงาน สภาพแวดล้อมในการทำงาน การเปลี่ยนแปลงการ ทำงาน สถานที่พักอาศัย และสิ่งแวดล้อม
- 3.1.4 การประเมินความเสี่ยงและจัดลำดับการเก็บตัวอย่าง ให้ดำเนินการตาม มอก. 2535-2555
- 3.1.5 เครื่องมือ วิธีการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง ให้พิจารณาดำเนินการตามมาตรฐานต่อไปนี้
- (1) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการเก็บและวิเคราะห์อนุภาคแขวนลอยในอากาศใน สิ่งแวดล้อมการทำงาน ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม (ในกรณีที่ยังมิได้มีการประกาศ กำหนดมาตรฐานดังกล่าว ให้เป็นไปตาม NIOSH Manual of Analytical Methods : method number 0500 และ method number 0600)

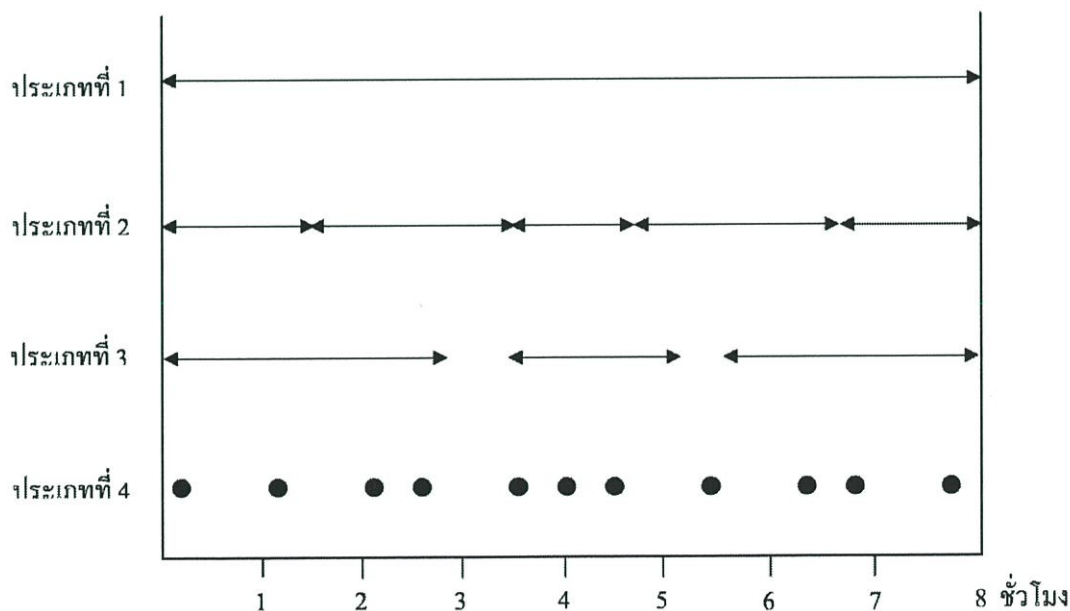
มอก. 2536-2555

- (2) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการเก็บและวิเคราะห์ไอระเหยในสิ่งแวดล้อมการทำงาน ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม (ในกรณีที่ยังมิได้มีการประกาศกำหนดมาตรฐานดังกล่าว ให้เป็นไปตาม NIOSH Manual of Analytical Methods : method number 1501)
- 3.1.6 แบบบันทึกข้อมูลการตรวจวัด การเก็บตัวอย่างอากาศ และการส่งตัวอย่างอากาศเพื่อวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ คูภาคผนวก ข.
- 3.1.7 การเก็บตัวอย่างและการตรวจวัดมี 3 ลักษณะ คือ
- 3.1.7.1 การเก็บตัวอย่างอากาศและการตรวจวัดอากาศบริเวณสถานที่ทำงาน
- 3.1.7.2 การเก็บตัวอย่างอากาศและการตรวจวัดอากาศที่ตัวบุคคล
- 3.1.7.3 การเก็บตัวอย่างอากาศที่ระดับหายใจ (breathing zone sampling)
- 3.1.8 กลยุทธ์ในการเก็บตัวอย่าง (sampling strategy) มี 6 ขั้นตอน คือ
- (1) การรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสถานที่ทำงาน
 - (2) การประเมินความเสี่ยงและจัดลำดับความสำคัญในการเก็บตัวอย่างอากาศ
 - (3) การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง
 - (4) การแปลผลข้อมูล
 - (5) การเสนอแนะและจัดทำรายงาน
 - (6) การกำหนดเวลาการประเมินซ้ำ
- 3.1.8.1 ปัจจัยที่ใช้กำหนดแผนกลยุทธ์ในการเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อประเมินการสัมผัสสารเคมีอันตรายจากการประกอบอาชีพ ได้แก่
- (1) วิธีในการเก็บตัวอย่างและการตรวจวัดอากาศ แบ่งตามวัตถุประสงค์มี 4 ประเภท (ดูรูปที่ 1) ได้แก่
 - (1.1) เก็บหนึ่งตัวอย่างตลอด 8 h หรือตลอดเวลาการทำงาน (single sample for full period) ความเข้มข้นของสารเคมีอันตรายที่วัดได้จากการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีนี้จะสะท้อนถึงความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเคมีอันตรายที่ผู้ปฏิบัติงานสัมผัสหรือหายใจเข้าไปตลอดเวลาการทำงาน
 - (1.2) การเก็บหลายตัวอย่างต่อเนื่อง 8 h หรือตลอดเวลาการทำงาน (consecutive samples for full period) วิธีนี้ช่วยแก้ปัญหาการอดค้นของฝุ่นบนกระดาดกรอง หรือการเบรคทรวงของสารในสถานะก๊าซเมื่อเก็บตัวอย่างด้วยหลอดเก็บตัวอย่าง หากสารเคมี

มอก. 2536-2555

อันตรายในอากาศมีความเข้มข้นสูง ซึ่งปัญหานี้อาจเกิดขึ้นกับการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีในข้อ 3.1.8.1(1.1) และยังทำให้ทราบถึงความเข้มข้นของสารเคมีอันตรายในแต่ละช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างด้วย ขณะเดียวกันยังคงข้อดี คือ สะท้อนความเข้มข้นของสารเคมีอันตรายที่ผู้ปฏิบัติงานสัมผัสหรือหายใจเข้าไปตลอดเวลาการทำงาน

- (1.3) การเก็บตัวอย่างต่อเนื่องมากกว่าหนึ่งตัวอย่างโดยระยะเวลาการเก็บตัวอย่างทั้งหมดน้อยกว่า 8 h (consecutive samples for partial period) แม้ว่าการเก็บตัวอย่างอากาศตามข้อ 3.1.8.1(1.2) จะเหมาะสมที่สุด แต่ค่าใช้จ่ายสูง จึงอาจสุ่มเก็บตัวอย่างในบางช่วงของการทำงานได้ ทั้งนี้ ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างรวมต้องไม่น้อยกว่า 70% ของเวลาที่ผู้ปฏิบัติงานทำงานสัมผัสกับสารเคมีอันตรายนั้น
- (1.4) การเก็บตัวอย่างในระยะเวลาสั้นหลายตัวอย่าง (grab sampling) เป็นการเก็บตัวอย่างอากาศในระยะเวลาสั้น ๆ ซึ่งอาจใช้เวลาไม่กี่วินาทีและไม่เกินตัวอย่างละ 15 min เพื่อประเมินการสัมผัสสารในช่วงเวลานั้น ๆ โดยเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับค่า OEL (short-term exposure limit, STEL)



รูปที่ 1 วิธีการเก็บตัวอย่าง 4 ประเภท

(ข้อ 3.1.8.1)

- (2) ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง (sampling duration) ควรเก็บตัวอย่างนานพอที่จะรวบรวมสารเคมีอันตรายสำหรับวิเคราะห์แต่ต้องไม่มากจนเกิดการเบรคทิว สำหรับหลอดเก็บตัวอย่างหรือเกิดการอุดตันกระดาศกรอง ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างให้พิจารณาปัจจัยต่อไปนี้

มอก. 2536-2555

- (2.1) ความไว (sensitivity) เป็นปริมาณน้อยที่สุดของสารอันตรายที่วิธีวิเคราะห์หรือเครื่องมือตรวจพบสารได้อย่างถูกต้อง
 - (2.2) ความเข้มข้นของสารเคมีอันตราย ถ้าความเข้มข้นของสารเคมีอันตรายในอากาศสูง ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างจะสั้นกว่าเมื่อความเข้มข้นของสารในอากาศต่ำ
 - (2.3) ค่ามาตรฐานที่ต้องการเปรียบเทียบ เช่น ค่า OEL-TWA OEL-STEL OEL-C และ IDLH
 - (3) ช่วงเวลาของวัน ให้พิจารณาภาระการทำงานโดยคำนึงถึงปริมาณการผลิตในแต่ละกะการทำงาน และอุณหภูมิในช่วงเวลาของวัน เนื่องจากมีผลต่อระดับความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในอากาศแตกต่างกัน
 - (4) ฤดูกาล ในแต่ละฤดูกาลปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นสารเคมีอันตรายในอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น และกระแสลม อาจมีความแตกต่างกัน
 - (5) ความต้องการของตลาด ในช่วงที่ความต้องการของตลาดสูง ปริมาณการผลิตจะเพิ่มขึ้น ซึ่งหมายถึงการเพิ่มปริมาณของวัตถุดิบ และอาจส่งผลให้สารเคมีอันตรายในอากาศเพิ่มสูงขึ้นด้วย
- 3.1.9 จำนวนคนที่ต้องเก็บตัวอย่าง เมื่อกำหนด SEG แล้วให้พิจารณากลุ่มผู้ปฏิบัติงานที่สัมผัสกับสารเคมีอันตรายมากกว่าหรือสูงที่สุดในกลุ่ม โดยพิจารณาจากลักษณะการทำงาน เช่น การใช้สารเคมีอันตรายในปริมาณมาก อยู่ใกล้แหล่งกำเนิดสารเคมีอันตราย ทำหน้าที่พิเศษแตกต่างจากผู้ปฏิบัติงานอื่น สถานที่ทำงานและจุดที่ทำงาน เช่น อยู่เหนือลม อยู่ใต้ลม มุมอับอากาศ หากระบุไม่ได้ว่าใครเป็นผู้มีความเสี่ยงเนื่องจากมีลักษณะงานและวิธีการทำงานเหมือนกันทั้งหมด ให้ใช้วิธีการสุ่มเลือกผู้ปฏิบัติงานใน SEG ตามจำนวนดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งคำนวณด้วยวิธีทางสถิติที่ให้ความเชื่อมั่น 90% ว่า ในกลุ่มคนงานที่สุ่มมานี้ อย่างน้อยหนึ่งคนเป็นคนที่อยู่ในกลุ่ม 10% ของผู้ปฏิบัติงานที่สัมผัสสารเคมีอันตรายสูงที่สุด

ตารางที่ 1 จำนวนผู้ปฏิบัติงานที่ต้องสุ่มเลือกจากแต่ละ SEG

(ข้อ 3.1.9)

จำนวนคนงานในกลุ่มงาน (คน)	จำนวนคนงานสุ่มเลือก (คน)	จำนวนคนงานในกลุ่มงาน (คน)	จำนวนคนงาน สุ่มเลือก (คน)
7	7	18 ถึง 20	13
8	7	21 ถึง 24	14
9	8	25 ถึง 29	15
10	9	30 ถึง 37	16
11 ถึง 12	10	38 ถึง 49	17
13 ถึง 14	11	50	18
15 ถึง 17	12		

3.1.10 การแปลผล แบ่งลักษณะของการสัมผัสเป็น 3 ลักษณะ คือ

3.1.10.1 การสัมผัสอยู่ในระดับยอมรับได้ (ต่ำกว่า OEL)

3.1.10.2 การสัมผัสอยู่ในระดับยอมรับไม่ได้ (สูงกว่า OEL)

3.1.10.3 ข้อมูลไม่เพียงพอสำหรับการตัดสินใจ เนื่องจาก ข้อมูลการสัมผัสหรือข้อมูลเกี่ยวกับผลกระทบต่อสุขภาพ ให้ค้นคว้าหรือเก็บตัวอย่างอากาศเพิ่มเติมเพื่อสรุปผลตามข้อ 3.1.10.1 หรือ ข้อ 3.1.10.2

3.2 การคำนวณความเข้มข้นเฉลี่ย

การคำนวณความเข้มข้นของสารเคมีอันตรายในอากาศของแต่ละตัวอย่าง โดยดำเนินการตาม

- (1) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการเก็บและวิเคราะห์อนุภาคแขวนลอยในอากาศในสิ่งแวดล้อมการทำงาน ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม (ในกรณีซึ่งมิได้มีการประกาศกำหนดมาตรฐานดังกล่าว ให้เป็นไปตาม NIOSH Manual of Analytical Method : method number 0500 และ method number 0600)
- (2) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการเก็บและวิเคราะห์ไอระเหยในสิ่งแวดล้อมการทำงานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม (ในกรณีซึ่งมิได้มีการประกาศกำหนดมาตรฐานดังกล่าว ให้เป็นไปตาม NIOSH Manual of Analytical Method : method number 1501)

หลังจากนั้นนำค่าความเข้มข้นของสารเคมีอันตรายในอากาศมาคำนวณค่าขอบเขตบนของช่วงความเชื่อมั่น และค่าขอบเขตล่างของช่วงความเชื่อมั่น ตามลักษณะของการเก็บตัวอย่าง ดังภาคผนวก ก.

มอก. 2536-2555

3.3 ความถี่ในการประเมินการสัมผัสสาร

ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเคมีอันตรายในอากาศซึ่งสะท้อนระดับการสัมผัสสารของผู้ปฏิบัติงาน เป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้ในการพิจารณาความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานตาม มอก. 2535-2555 จากผลการประเมินความเสี่ยงดังกล่าว นำมาสู่การประเมินซ้ำ เพื่อการเฝ้าระวังการสัมผัสสารเคมีอันตรายของผู้ปฏิบัติงานซึ่งมีเกณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความถี่ในการประเมินซ้ำ พิจารณาจากความเสี่ยง
(ข้อ 3.3)

ระดับความเสี่ยง	ความถี่ในการประเมินซ้ำ
สูงมาก	ติดตามตรวจวัดอย่างต่อเนื่อง
สูง	ทุก 1-3 เดือน
ปานกลาง	ทุก 3-12 เดือน
ต่ำ	1-3 ปี
ไม่สำคัญ	3-5 ปี

ภาคผนวก ก.

การคำนวณความเข้มข้นเฉลี่ยและตัวอย่าง

(ข้อ 3.1.6 และข้อ 3.2)

ก.1 ขอบเขตช่วงความเชื่อมั่น (confidence interval limits)

การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศมีโอกาสดคลาดเคลื่อนไปจากการสัมผัสจริงของผู้ปฏิบัติงาน เนื่องจากความแปรปรวน (variation) ของเครื่องมือและอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง ความผิดพลาดในการสุ่มเก็บตัวอย่าง การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างและความแปรปรวนของสิ่งแวดล้อมในการทำงานแต่ละกะ จึงต้องใช้วิธีการทางสถิติช่วยเพื่อประมาณการสัมผัสของผู้ปฏิบัติงานในช่วงความเชื่อมั่นที่กำหนด นั่นคือ ค่าการสัมผัสเฉลี่ยที่แท้จริงของผู้ปฏิบัติงานอยู่ในช่วงความเชื่อมั่นซึ่งคำนวณจาก $\bar{X} \pm S.E.$

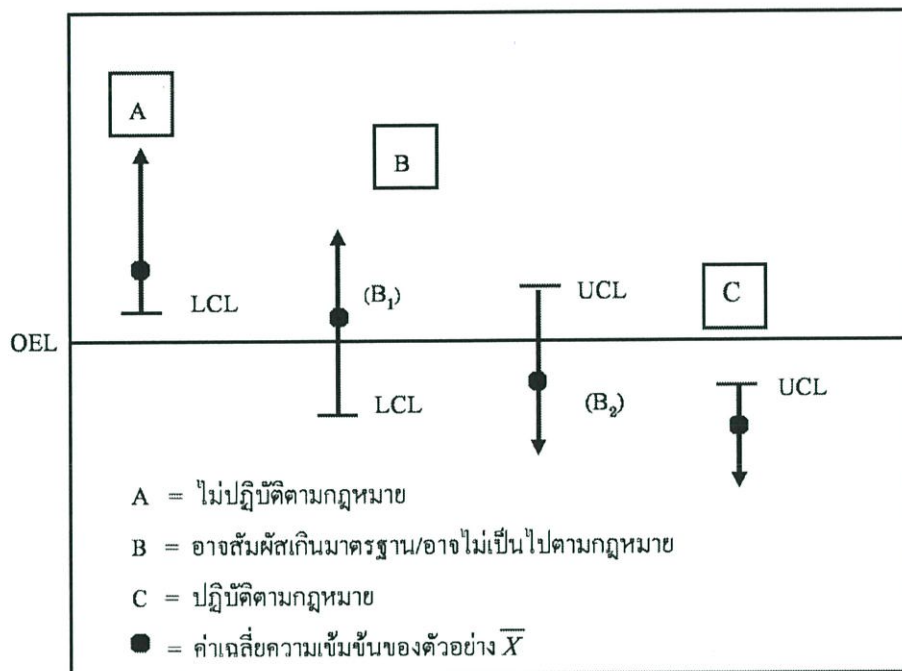
เมื่อ \bar{X} คือ ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสาร

S.E. คือ ค่าผิดพลาดมาตรฐาน (standard error)

การคำนวณทางสถิติเพื่อหาช่วงของค่าที่เชื่อว่าครอบคลุมค่าการสัมผัสที่แท้จริง ซึ่งในที่นี้กำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ช่วงค่าดังกล่าวเรียกว่า ช่วงความเชื่อมั่น โดยค่าขอบเขตบนของช่วงความเชื่อมั่น คือ UCL และค่าขอบเขตล่างของช่วงความเชื่อมั่น คือ LCL การคำนวณช่วงความเชื่อมั่น ในที่นี้เป็นแบบปลายเดียว (one-tail interval) ซึ่งอาจเป็น UCL หรือ LCL อย่างใดอย่างหนึ่ง ทั้งนี้เนื่องจากสมมติฐานที่ต้องการทดสอบ คือ การสัมผัสสารของผู้ปฏิบัติงานสูงเกินมาตรฐานหรือไม่ หรือการสัมผัสสารของผู้ปฏิบัติงานอยู่ในระดับที่ยอมรับได้หรือไม่ ทั้งนี้ เจ้าหน้าที่ของรัฐทดสอบการไม่ปฏิบัติตามกฎหมาย ขณะที่เจ้าของสถานประกอบการ หรือผู้มีหน้าที่รับผิดชอบทดสอบการปฏิบัติตามกฎหมาย ซึ่งจัดประเภทของผลการทดสอบได้ ดังนี้ (ดูรูปที่ ก.1)

- ก.1.1 กรณี A; LCL สูงกว่า OEL หมายความว่า ด้วยความเชื่อมั่น 95% ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารเคมีอันตรายที่ผู้ปฏิบัติงานสัมผัสสูงกว่าค่า OEL นั่นคือ การสัมผัสสารของผู้ปฏิบัติงานไม่เป็นไปตามกฎหมาย
- ก.1.2 กรณี C; UCL ต่ำกว่า OEL หมายความว่า ด้วยความเชื่อมั่น 95% ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารเคมีอันตรายที่ผู้ปฏิบัติงานสัมผัสต่ำกว่า OEL นั่นคือ การสัมผัสสารของผู้ปฏิบัติงานเป็นไปตามกฎหมาย
- ก.1.3 กรณี B₁ และ B₂; UCL สูงกว่ามาตรฐานแต่ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสารต่ำกว่าค่ามาตรฐาน หรือ LCL ต่ำกว่ามาตรฐานแต่ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสารสูงกว่ามาตรฐาน นั่นคือ ผู้ปฏิบัติงานอาจสัมผัสสารเคมีอันตรายสูงหรือต่ำกว่าค่า OEL

มอก. 2536-2555

รูปที่ ก.1 UCL_{95%} และ LCL_{95%}

(ข้อ ก.1)

ก.2 การคำนวณเพื่อจัดประเภทการสัมผัสสารเคมีอันตรายของผู้ปฏิบัติงาน

เนื่องจากการสัมผัสสารเคมีอันตรายของผู้ปฏิบัติงานแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

- (1) สูงกว่ามาตรฐาน
- (2) ต่ำกว่ามาตรฐาน
- (3) อาจสูงหรือต่ำกว่ามาตรฐาน

เพื่อให้มั่นใจในการจัดประเภทดังกล่าว จึงได้นำวิธีการทางสถิติมาใช้ในการตัดสินใจ ซึ่งมีวิธีการคำนวณแตกต่างกันตามประเภทของค่า OEL ดังต่อไปนี้

ก.2.1 เมื่อเปรียบเทียบกับค่า OEL สำหรับการสัมผัสสารเฉลี่ย 8 h OEL (TWA) จากวิธีในการเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานสำหรับการทำงาน 8 h/d มี 4 วิธี ตามที่ได้กล่าวไว้ในข้อ 3.1.8.1 (1) สามารถคำนวณเพื่อจัดประเภทการสัมผัสสำหรับแต่ละวิธีเหล่านี้แตกต่างกัน ดังนี้

ก.2.1.1 การเก็บหนึ่งตัวอย่างตลอด 8 h หรือตลอดเวลาการทำงาน มีขั้นตอนการคำนวณดังแสดงด้วยตัวอย่างต่อไปนี้

มอก. 2536-2555

ตัวอย่างที่ 1 จากการเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อวิเคราะห์หาอัลฟาคลอโรอะซิโตน (alpha - chloroacetophenone) ด้วยหลอดเก็บตัวอย่างชนิดบรรจุผงถ่าน (charcoal tube) โดยเก็บตัวอย่างอากาศด้วยอัตราการไหลของอากาศ $100 \text{ cm}^3/\text{min}$ หนึ่งตัวอย่างต่อเนื่องนาน 8 h ผลการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการพบว่าสารมีความเข้มข้น $0.2 \text{ mg}/\text{m}^3$ และค่าประมาณความถูกต้องที่ยังตรงรวม (estimate of overall precision, S_r) ซึ่งได้รวมความคลาดเคลื่อนของเครื่องสูดอากาศไว้ด้วยแล้วเท่ากับ 0.09 และ ค่า OEL-TWA = $0.3 \text{ mg}/\text{m}^3$ การสัมผัสสารของผู้ปฏิบัติงานจัดอยู่ในประเภทใด

ขั้นตอนการคำนวณ

- (ก) เมื่อ X หมายถึง ความเข้มข้นของสารในตัวอย่างอากาศ
 S_{td} หมายถึง ค่ามาตรฐาน (OEL-TWA)
 S_r หมายถึง ความถูกต้องที่ยังตรงรวม คำนวณจากสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของการเก็บตัวอย่าง/วิธีวิเคราะห์ ซึ่งได้จากข้อมูลในอดีตหรือการทดลอง หรือจากวิธีการวิเคราะห์ เช่น วิธีการของ NIOSH method
- (ข) หาค่าความเข้มข้นสารเคมีอันตรายในตัวอย่างอากาศ (X) ด้วยค่ามาตรฐาน (S_{td}) เพื่อให้ได้ค่า x นั่นคือ $x = X/S_{td}$ ทำให้ x เป็นค่าที่ไม่มีหน่วย ในการเปรียบเทียบกับ LCL และ UCL จึงเปรียบเทียบกับ 1 เสมอ ไม่ว่าค่ามาตรฐานจะเป็นเท่าใดหรือหน่วยใด นั่นคือ
- $$x = \frac{0.2 \text{ mg}/\text{m}^3}{0.3 \text{ mg}/\text{m}^3} = 0.67$$
- (ค) คำนวณหา LCL และ UCL
 สำหรับเจ้าหน้าที่ทดสอบการไม่ปฏิบัติตามกฎหมาย คำนวณ LCL (95%)
- $$\begin{aligned} \text{LCL (95\%)} &= x - (1.645) \times (S_r) \\ \text{LCL} &= 0.67 - (1.645) \times (0.09) = 0.52 \end{aligned}$$
- สำหรับนายจ้างทดสอบการปฏิบัติตามกฎหมาย คำนวณ UCL (95%)
- $$\begin{aligned} \text{UCL (95\%)} &= x + (1.645) \times (S_r) \\ \text{UCL} &= 0.67 + (1.645) \times (0.09) = 0.82 \end{aligned}$$
- (ง) การจัดประเภทของการสัมผัส
- (ง.1) สำหรับเจ้าหน้าที่ทดสอบโดยคำนวณ LCL ผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ คือ
- ถ้า $\text{LCL} > 1$ หมายถึง การสัมผัสสารเคมีอันตรายของผู้ปฏิบัติงานไม่
 เป็นไปตามกฎหมาย
- ถ้า $x > 1$ และ $\text{LCL} \leq 1$ หมายถึง การสัมผัสสารเคมีอันตรายของผู้ปฏิบัติงานอาจไม่
 เป็นไปตามกฎหมาย

มอก. 2536-2555

ถ้า $x \leq 1$ หมายถึง ไม่ต้องทดสอบทางสถิติเพราะค่า LCL ย่อมต่ำกว่า 1 การสัมผัสสารเคมีอันตรายของผู้ปฏิบัติงานเป็นไปตามกฎหมาย

ดังนั้น เมื่อ $x = 0.67$ การสัมผัสสารเคมีอันตรายของผู้ปฏิบัติงานจึงเป็นไปตามกฎหมาย ด้วยความเชื่อมั่น 95%

(ง.2) สำหรับนายจ้าง ทดสอบโดยคำนวณ UCL ผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ คือ

ถ้า $UCL \leq 1$ หมายถึง การสัมผัสเป็นไปตามกฎหมาย

ถ้า $UCL > 1$ หมายถึง อาจสัมผัสเกินค่ามาตรฐาน

ถ้า $x > 1$ หมายถึง ไม่ต้องทดสอบทางสถิติ เพราะ UCL ย่อมมากกว่า 1

ดังนั้น เมื่อ $UCL = 0.82$ การสัมผัสสารเคมีอันตรายของผู้ปฏิบัติงานจึงเป็นไปตามกฎหมายด้วยความเชื่อมั่น 95%

ก.2.1.2 การเก็บหลายตัวอย่างต่อเนื่อง 8 h หรือตลอดเวลาการทำงาน เนื่องจากความเข้มข้นใน 8 h การทำงานอาจมีความแปรปรวนมากน้อยต่างกัน ซึ่งความแตกต่างมากน้อยดังกล่าวนี้ มีอิทธิพลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของค่าที่วิเคราะห์ได้จากค่าที่แท้จริง ดังนั้น เพื่อให้การจัดประเภทการสัมผัสถูกต้องที่สุด จึงแบ่งการสัมผัสออกเป็นกรเก็บตัวอย่างเต็มเวลาเมื่อการสัมผัสสารเคมีอันตรายของผู้ปฏิบัติงานคงที่ (uniform exposure) ตลอดเวลาการทำงาน นั่นคือกรณีที่ความเข้มข้นของสารเคมีอันตรายตลอด 8 h ค่อนข้างคงที่ ถ้าการสัมผัสสารเคมีอันตรายแปรผันมากในวันหนึ่งๆ จัดเป็นการเก็บตัวอย่างเต็มเวลาเมื่อการสัมผัสสารเคมีอันตรายไม่คงที่ เพราะการจัดแบบแรกจะทำให้ค่าประมาณการสัมผัสต่ำกว่าค่าที่แท้จริง เพราะค่าผิดพลาดมาตรฐานของค่าเฉลี่ย มีขนาดเล็กกว่า ซึ่งเป็นการเพิ่มโอกาสที่เจ้าหน้าที่จะตัดสินใจว่านายจ้างไม่ปฏิบัติตามกฎหมาย และสำหรับนายจ้างอาจตัดสินใจว่าการสัมผัสสารเคมีอันตรายของลูกจ้างต่ำกว่าค่ามาตรฐานหรือค่าเสนอแนะได้ ในขณะที่วิธีการสัมผัสสารเคมีอันตรายไม่คงที่ ค่า LCL ต่ำกว่าและ UCL สูงกว่าที่คำนวณโดยวิธีการสัมผัสสารเคมีอันตรายของคงที่

(1) การเก็บตัวอย่างเต็มเวลาเมื่อมีการสัมผัสสารคงที่มีขั้นตอนการคำนวณดังตัวอย่าง ดังนี้

ตัวอย่างที่ 2 เก็บตัวอย่างอากาศโดยหลอดเก็บตัวอย่างชนิดบรรจุผงถ่าน 3 ตัวอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราการไหลของอากาศ $50 \text{ cm}^3/\text{min}$ เพื่อวิเคราะห์หาสารไอโซเอมิล แอลกอฮอล์ (isoamyl alcohol) พบว่าการสัมผัสสารเคมีอันตรายของผู้ปฏิบัติงานคงที่ เนื่องจากมีผลการวิเคราะห์ ดังนี้ $X_1 = 325 \text{ mg/m}^3$ $X_2 = 505 \text{ mg/m}^3$ $X_3 = 397 \text{ mg/m}^3$ จากการเก็บตัวอย่างนาน $T_1 = 150 \text{ min}$ $T_2 = 100 \text{ min}$ $T_3 = 230 \text{ min}$ ทั้งนี้ วิธีเก็บและวิเคราะห์มาตรฐานของสารระบุว่าค่า $Sr_i = 0.08$ และค่ามาตรฐาน (Std. TWA) = 360 mg/m^3

ขั้นตอนการคำนวณ

- (ก) เมื่อ X_1, X_2, \dots, X_n หมายถึง ความเข้มข้นของตัวอย่างที่เก็บได้ในกะหนึ่ง
 T_1, T_2, \dots, T_n หมายถึง ระยะเวลาที่เก็บตัวอย่าง
 Sr_t หมายถึง ความถูกต้องที่ยังตรงรวม

(ข) คำนวณหา TWA จากสูตร $TWA = \sum X_i T_i / 480$
 นั่นคือ $TWA = ((150 \times 325) + (100 \times 505) + (230 \times 397)) / 480$
 $= 397 \text{ mg/m}^3$

- (ค) หาค่าความเข้มข้นสารในตัวอย่างอากาศ (X) ด้วยค่ามาตรฐาน (Std.) เพื่อให้ได้ค่า x
 นั่นคือ $x = X/Std.$ ทำให้ x เป็นค่าที่ไม่มีหน่วย ในการเปรียบเทียบกับ LCL และ UCL
 จึงเปรียบเทียบกับ 1 เสมอไม่ว่าค่ามาตรฐานจะเป็นเท่าใดหรือหน่วยใด นั่นคือ

$$x = \frac{397}{360}$$

$$x = 1.10$$

- (ง) คำนวณ LCL หรือ UCL จาก

$$LCL (95\%) = x - 1.645(S_{\pi}) \left(\frac{\sqrt{\sum T_i^2}}{\sum T} \right) \quad \text{และ}$$

$$UCL (95\%) = x + 1.645(S_{\pi}) \left(\frac{\sqrt{\sum T_i^2}}{\sum T} \right)$$

ถ้าระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างเท่ากันทั้งหมด สามารถใช้สูตร

$$LCL (95\%) = x - 1.645 \frac{(S_{\pi})}{\sqrt{n}}$$

$$UCL (95\%) = x + 1.645 \frac{(S_{\pi})}{\sqrt{n}}$$

เมื่อ n = จำนวนตัวอย่าง

นั่นคือ LCL (95%) สำหรับเจ้าหน้าที่

$$LCL = 1.10 - (1.645)(0.08) \frac{(\sqrt{(150)^2 + (100)^2 + (230)^2})}{150 + 100 + 250}$$

$$= 1.10 - 0.08 = 1.02$$

ในขณะที่ UCL สำหรับนายจ้างไม่จำเป็นต้องทดสอบเพราะ $x > 1$

- (จ) จัดประเภทการสัมผัส

(จ.1) สำหรับเจ้าหน้าที่

$$LCL > 1 \quad \text{หมายถึง ไม่ปฏิบัติตามกฎหมาย}$$

มอก. 2536-2555

$x > 1$ และ $LCL \leq 1$ หมายถึง อาจสัมผัสสารมากกว่ามาตรฐาน
 $x \leq 1$ หมายถึง ไม่ต้องทดสอบทางสถิติเพื่อดูว่าปฏิบัติตาม
 กฎหมายหรือไม่

เนื่องจาก $LCL = 1.02$ จึงจัดอยู่ในกลุ่มไม่ปฏิบัติตามกฎหมายที่ระดับความ
 เชื่อมั่น 95%

(จ.2) สำหรับนายจ้าง

$UCL \leq 1$ หมายถึง เป็นไปตามกฎหมาย
 $UCL > 1$ หมายถึง อาจสัมผัสสารมากกว่ามาตรฐาน
 $x > 1$ หมายถึง ไม่ต้องทดสอบ เพราะ UCL ย่อมมากกว่า 1

- (2) การเก็บตัวอย่างเต็มเวลาเมื่อการสัมผัสสารไม่คงที่ในกรณีที่มีความแปรปรวนในสิ่งแวดล้อม
 สูงเป็นเหตุให้ความเข้มข้นของสารหรือการสัมผัสสารของผู้ปฏิบัติงานแปรปรวนสูงขึ้น
 การคำนวณค่า LCL และ UCL เพื่อจัดประเภทควรใช้วิธีการคำนวณต่อไปนี้ ซึ่งจะทำให้ได้ค่า
 คลาดเคลื่อนใกล้เคียงความเป็นจริงมากกว่า

ตัวอย่างที่ 3 เก็บตัวอย่างอากาศเพื่อประเมินการสัมผัสไอโซเอมิลแอลกอฮอล์ของ
 ผู้ปฏิบัติงานด้วยหลอดเก็บตัวอย่างชนิดบรรจุผงถ่าน 2 ตัวอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราการไหล
 ของอากาศ $50 \text{ cm}^3/\text{min}$ เมื่อส่งวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการพบว่ามีความเข้มข้นของสาร ดังนี้
 $X_1 = 108 \text{ mg}/\text{m}^3$ และ $X_2 = 505 \text{ mg}/\text{m}^3$ จากการเก็บตัวอย่างนาน $T_1 = 300 \text{ min}$ และ $T_2 = 180$
 min ตามลำดับ ค่า $Sr_f = 0.08$ และค่ามาตรฐาน Std. (OEL-TWA) = $360 \text{ mg}/\text{m}^3$ การสัมผัสสาร
 ของผู้ปฏิบัติงานจัดอยู่ในประเภทใด

ขั้นตอนการคำนวณ

- (ก) เมื่อ X_1, X_2, \dots, X_n หมายถึง ความเข้มข้นของสารในตัวอย่าง
 T_1, T_2, \dots, T_n หมายถึง ระยะเวลาที่เก็บตัวอย่าง
 Sr_f หมายถึง ความถูกต้องเที่ยงตรงรวม

- (ข) คำนวณหาค่า TWA จากสูตร $TWA = \frac{(\sum T_i X_i)}{\sum T_i}$

$$TWA = \frac{(300 \times 108) + (180 \times 505)}{300 + 180}$$

$$= 257 \text{ mg}/\text{m}^3$$

- (ค) หาค่าความเข้มข้นสารในตัวอย่างอากาศ (X) ด้วยค่ามาตรฐาน (Std) เพื่อให้ได้ค่า x นั่นคือ $x = X/Std$. ทำให้ x เป็นค่าที่ไม่มีหน่วย ในการเปรียบเทียบกับ LCL และ UCL จึงเปรียบเทียบกับ 1 เสมอไม่ว่าค่ามาตรฐานจะเป็นเท่าใดหรือหน่วยใด นั่นคือ

$$x = \frac{TWA}{Std}$$

$$x = \frac{257}{360}$$

$$x = 0.71$$

- (ง) คำนวณหา LCL และ UCL

(ง.1) สำหรับเจ้าหน้าที่

$$LCL(95\%) = x - (1.645)(S_n) \left(\frac{\sqrt{\sum T_i^2 X_i^2}}{Std(\sum T_i) \sqrt{1 + S_n^2}} \right)$$

เนื่องจาก $x < 1$ ไม่จำเป็นต้องทดสอบ LCL

(ง.2) สำหรับนายจ้าง

$$UCL(95\%) = x + (1.645)(S_n) \left(\frac{\sqrt{\sum T_i^2 X_i^2}}{Std(\sum T_i) \sqrt{1 + S_n^2}} \right)$$

$$UCL(95\%) = 0.71 + (1.645)(0.08) \left(\frac{\sqrt{300^2 * 30^2 + 180^2 * 140^2}}{100(300 + 180) * \sqrt{1 + 0.08^2}} \right)$$

$$UCL(95\%) = 0.71 + 0.07 = 0.78$$

ถ้าระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างเท่ากันทั้งหมด สามารถใช้สูตร

$$LCL(95\%) = x - (1.645)(S_n) \left(\frac{\sqrt{\sum X_i^2}}{Std(n) \sqrt{1 + S_n^2}} \right)$$

$$UCL(95\%) = x + (1.645)(S_n) \left(\frac{\sqrt{\sum X_i^2}}{Std(n) \sqrt{1 + S_n^2}} \right)$$

- (จ) จัดประเภทการสัมผัส

(จ.1) สำหรับเจ้าหน้าที่

$LCL > 1$ หมายถึง ไม่ปฏิบัติตามกฎหมาย

$x > 1$ และ $LCL \leq 1$ หมายถึง อาจสัมผัสสารเกินมาตรฐาน

$x \leq 1$ หมายถึง ไม่ต้องทดสอบทางสถิติ

เนื่องจาก $x = 0.71$ เจ้าหน้าที่ไม่ต้องทดสอบทางสถิติ

มอก. 2536-2555

(จ.2) สำหรับนายจ้าง

$UCL \leq 1$	หมายถึง ปฏิบัติตามกฎหมาย
$UCL > 1$	หมายถึง อาจสัมผัสสารมากกว่ามาตรฐาน
$x > 1$	หมายถึง ไม่ต้องทดสอบทางสถิติ

เนื่องจาก $UCL = 0.78$ ค่า TWA จึงน้อยกว่ามาตรฐาน ฉะนั้น การสัมผัสจึงเป็นไปตามมาตรฐาน

ก.2.1.3 การเก็บตัวอย่างต่อเนื่องมากกว่าหนึ่งตัวอย่างโดยระยะเวลาการเก็บตัวอย่างทั้งหมดน้อยกว่า 8 h สำหรับเจ้าหน้าที่ประเมินการปฏิบัติตามกฎหมายเท่านั้น ซึ่งอาจไม่สามารถทำการเก็บตัวอย่างตลอดระยะเวลา 8 h หรือตลอดกะนั้น ๆ ได้ วิธีการคำนวณมีหลักการเช่นเดียวกับข้อ ก.2.1.2 แต่สำหรับวิธีนี้ ในการคำนวณหาค่าการสัมผัสเฉลี่ยให้สมมติว่า ในช่วงเวลาที่ไม่ได้เก็บตัวอย่างอากาศนั้น การสัมผัสสารเคมีอันตรายของผู้ปฏิบัติงานเท่ากับศูนย์ ฉะนั้น จึงต้องปรับค่ามาตรฐานหรือขีดจำกัดให้เหมาะสมสำหรับเงื่อนไขดังกล่าวโดยการคำนวณหาค่าขีดจำกัดสำหรับบางช่วงเวลา (partial period limit, PPL) จากสูตรต่อไปนี้

$$PPL = \frac{\text{ระยะเวลาสำหรับ Std. (OEL-TWA 8 ชั่วโมง)}}{\text{ระยะเวลาทั้งหมดที่เก็บตัวอย่าง}}$$

ตัวอย่างที่ 4 เจ้าหน้าที่จากกระทรวงแรงงานเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อประเมินการสัมผัสไอโซเอมิก แอลกอฮอล์ของผู้ปฏิบัติงานด้วยหลอดเก็บตัวอย่างชนิดบรรจุผงถ่าน 3 ตัวอย่าง ต่อเนื่องด้วย อัตราการไหลของอากาศ $50 \text{ cm}^3/\text{min}$ เมื่อส่งวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ พบว่ามีความเข้มข้นของสารค่อนข้างคงที่ นั่นคือ มีความเข้มข้นของสาร ดังนี้ $X_1 = 325$ $X_2 = 505$ $X_3 = 397 \text{ mg/m}^3$ จากการเก็บตัวอย่างนาน $T_1 = 100$ $T_2 = 100$ $T_3 = 200 \text{ min}$ ตามลำดับ ค่า $Sr_i = 0.08$ และค่ามาตรฐาน Std. (OEL-TWA) = 360 mg/m^3 การสัมผัสสารเคมีอันตรายของผู้ปฏิบัติงานจัดอยู่ในประเภทใด

ขั้นตอนการคำนวณ

$$(ก) \text{ คำนวณหา PPL} = \frac{480 \text{ min}}{400 \text{ min}} \\ = 1.2$$

$$(ข) \text{ คำนวณหาค่าเฉลี่ยการสัมผัสสาร (TWA)} = \frac{\sum X_i T_i}{480} \\ \text{นั่นคือ TWA} = \frac{((325 \times 100) + (505 \times 100) + (397 \times 200))}{480} \\ = 338 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{ดังนั้น } x = \frac{\text{TWA}}{\text{Std.}}$$

$$= \frac{338}{360}$$

$$x = 0.9375$$

- (ค) คำนวณหาค่า LCL และ UCL โดยใช้สูตรเดียวกับข้อ ก.2.1.2 โดยพิจารณาว่าความเข้มข้นของสารเคมีอันตรายที่คนงานสัมผัสนั้นแปรปรวนมากหรือค่อนข้างคงที่แล้วเลือกวิธีการคำนวณให้เหมาะสม ซึ่งในตัวอย่างนี้ความเข้มข้นค่อนข้างคงที่ดังนั้น

$$LCL (95\%) = x - 1.645(S_{rt}) \left(\frac{\sqrt{\sum T_i^2}}{\sum T_i} \right)$$

- (ง) จากนั้นพิจารณาว่าค่าการสัมผัสเฉลี่ยที่คำนวณได้เป็นไปตามกฎหมายหรือไม่ ให้พิจารณาจาก
- | | |
|-----------------------|------------------------------------|
| LCL > PPL | หมายถึง ไม่เป็นไปตามกฎหมาย |
| x > PPL และ LCL ≤ PPL | หมายถึง อาจสัมผัสสารเกินมาตรฐาน |
| x ≤ PPL | หมายถึง ไม่จำเป็นต้องทดสอบทางสถิติ |

เนื่องจาก x = 0.9375 น้อยกว่า PPL ซึ่งเท่ากับ 1.2 จึงไม่จำเป็นต้องคำนวณหา LCL อย่างไรก็ตาม เพื่อให้เข้าใจขั้นตอนการคำนวณ ในที่นี้จึงได้แสดงวิธีการคำนวณหาค่า LCL ดังนี้

$$LCL = 0.9375 - \frac{1.645(0.08)(100^2 + 100^2 + 200^2)^{1/2}}{400}$$

$$LCL = 0.9375 - 0.08 = 0.86$$

และเนื่องจากการเก็บตัวอย่างอากาศในลักษณะนี้เป็นวิธีการสำหรับเจ้าหน้าที่เท่านั้น จึงไม่จำเป็นต้องคำนวณหา UCL สำหรับนายจ้างเพื่อทดสอบการปฏิบัติตามกฎหมาย

- ก.2.1.4 การเก็บตัวอย่างในระยะเวลาสั้นหลายตัวอย่าง ไม่ควรเก็บตัวอย่างให้กระจุกอยู่ในชั่วโมงสั้น ๆ เช่น 2 h ชุดท้ายของกะแต่ละควรเก็บตัวอย่างหลายตัวอย่างกระจายตลอด 8 h การทำงาน โดยสุ่มเก็บตัวอย่างและไม่ลำเอียงในการเลือกเวลาเก็บ วิธีการนี้ใช้กับข้อมูลที่มีค่า = 0 ไม่ได้ เนื่องจากจำนวนตัวอย่างมีผลต่อค่าผิดพลาดมาตรฐาน จึงแบ่งการคำนวณเพื่อจัดประเภทการสัมผัสเป็น 2 วิธีตามขนาดของตัวอย่าง คือ

- (1) จำนวนตัวอย่างน้อยกว่า 30 ตัวอย่าง แสดงวิธีการคำนวณจากตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่างที่ 5 เก็บตัวอย่างอากาศเพื่อวิเคราะห์หาเอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) โดยใช้หลอดเก็บตัวอย่างชนิดบรรจุผงถ่านด้วยอัตราการไหลอากาศ 25 cm³/min เก็บตัวอย่างอากาศทั้งสิ้น 8 ตัวอย่าง นาน 20 min ต่อตัวอย่าง ค่า OEL-TWA (Std.) = 1 900 mg/m³ S_{rt} = 0.06 ผลการวิเคราะห์ คือ X₁ = 2 315 mg/m³ X₂ = 1 512 mg/m³ X₃ = 2 117 mg/m³ X₄ = 2 759 mg/m³ X₅ = 1 843 mg/m³ X₆ = 1 852 mg/m³ X₇ = 992 mg/m³ และ X₈ = 2 438 mg/m³

มอก. 2536-2555

ขั้นตอนการคำนวณ

- (ก) หาค่าความเข้มข้นสารในตัวอย่างอากาศ (X) ด้วยค่ามาตรฐาน (Std) เพื่อให้ได้ค่า x นั่นคือ $x = X/Std$. ทำให้ x เป็นค่าที่ไม่มีหน่วย ในการเปรียบเทียบกับ LCL และ UCL จึงเปรียบเทียบกับ 1 เสมอไม่ว่าค่ามาตรฐานจะเป็นเท่าใดหรือหน่วยใด นั่นคือ

$$x = \frac{X_i}{Std}$$

ทำให้ x เป็นค่าที่ไม่มีหน่วย จากนั้น คำนวณหาค่า $y_i = \log x_i$

X_i (mg/m ³)	x_i	y_i
2 328	1.23	0.0881
1 520	0.80	-0.0969
2 128	1.12	0.0492
2 774	1.46	0.1644
1 853	0.98	-0.0110
1 862	0.98	-0.0088
998	0.53	-0.2798
2 451	1.29	0.1106

- (ข) คำนวณหาค่าตัวแปรที่ใช้ในการจัดประเภทการสัมผัส (classification variables)

$$\bar{y} = \text{ค่าเฉลี่ยของ } \sum y_i = (\sum y_i) / n$$

$$= 0.002$$

$$s = \text{ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ } y_i$$

$$= \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}$$

$$= 0.140$$

$$n = \text{จำนวนตัวอย่าง}$$

$$= 8$$

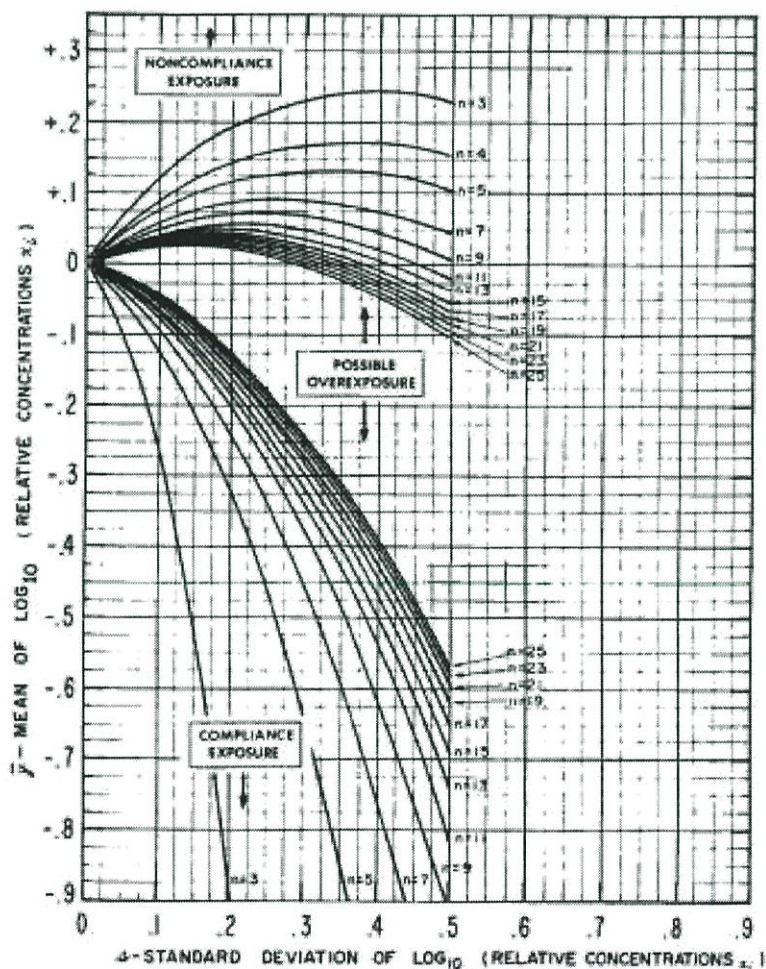
- (ค) เขียนจุด (plot) \bar{y} และ s บนแผนภูมิจำแนกประเภท (classification chart) ดังรูปที่ ก.2 เส้นกราฟแต่ละเส้นสำหรับ n แต่ละค่า ซึ่งในแผนภูมิจำแนกประเภท มีค่า n เท่ากับ 3 ถึง 25 ดังนี้

(ค.1) เขียนจุด \bar{y} และ s บนแผนภูมิจำแนกประเภทดังรูปที่ ก.2

(ค.2) ถ้าจุดที่ได้อยู่บนหรือเหนือเส้นโค้งบน (upper curve) ซึ่งแสดงจำนวน n หมายความว่า การสัมผัสของผู้ปฏิบัติงานไม่เป็นไปตามกฎหมาย

มอก. 2536-2555

- (ค.3) ถ้าจุดที่ได้ต่ำกว่าเส้นโค้งล่าง (lower curve) ซึ่งแสดงจำนวน n หมายความว่า การสัมผัสของผู้ปฏิบัติงานเป็นไปตามกฎหมาย
- (ค.4) ถ้าจุดที่ได้อยู่ระหว่างเส้นโค้งบนและเส้นโค้งล่างหมายความว่า อาจสัมผัสเกินมาตรฐาน
- (ค.5) ถ้าค่า $s > 0.5$ แปลว่ามี x_i หนึ่งค่าหรือมากกว่าเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยมาก ฉะนั้น ต้องเก็บตัวอย่างเพิ่มสำหรับผู้ปฏิบัติงานกลุ่มนั้น ๆ ในกรณีนี้ค่า $\bar{y} = 0.002 s = 0.140 n = 8$ อยู่ระหว่างเส้นโค้งบนและเส้นโค้งล่าง ดังนั้น ผู้ปฏิบัติงานทั้งกลุ่ม อาจสัมผัสสารเคมีอันตรายเกินมาตรฐาน



รูปที่ ก.2 แผนภูมิจำแนกประเภท

(ข้อ ก.2.1.4 (ค))

มอก. 2536-2555

- (ง) การคำนวณเพื่อประมาณค่าการสัมพัทธ์ที่ดีที่สุด (\bar{X}^*) ค่าตัวแปรและ s ถูกนำมาใช้ การคำนวณค่าการสัมพัทธ์ที่ดีที่สุด รูปที่ ก.3 จาก $\frac{\bar{X}^*}{Std.}$ โดยการ

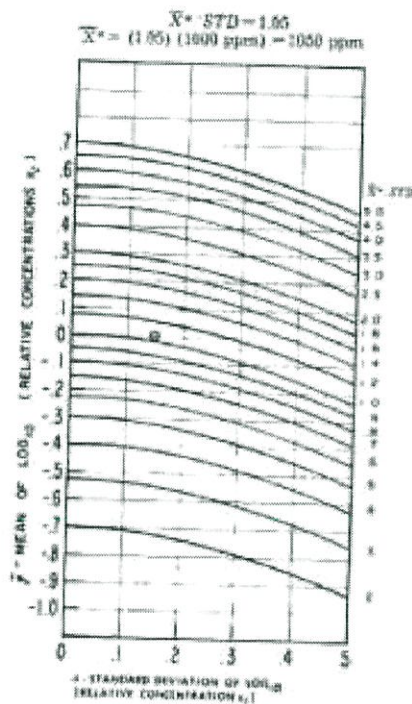
เขียนค่า \bar{y} และ s ลงบนแผ่นกราฟ มีขั้นตอน คือ

(ง.1) เขียนจุด \bar{y} และ s

(ง.2) ลากเส้นตามกราฟไปหาแกน $\frac{\bar{X}^*}{Std.}$

(ง.3) คูณค่า $\frac{\bar{X}^*}{Std.}$ ด้วย Std. ก็จะได้ค่า \bar{X}^*

ถ้าค่า s อยู่นอกช่วงของค่าที่ระบุในรูปที่ 3 ให้ใช้สูตร $\frac{\bar{X}^*}{Std.} = \frac{1}{n} (\sum x_i)$ ในการคำนวณ



รูปที่ ก.3 แผนภูมิจำแนกประเภท

(ข้อ ก.2.1.4 (ง))

- (2) จำนวนตัวอย่างมากกว่า 30 ตัวอย่าง เมื่อเก็บตัวอย่างจำนวนมากขึ้น ทำให้การกระจายของค่าเฉลี่ยการสัมพัทธ์เป็นแบบปกติ (normal distribution) มากกว่า ดังนั้น จึงสามารถใช้ค่าเฉลี่ยเลขคณิตประมาณการสัมพัทธ์สารเคมีอันตรายเฉลี่ยได้ ดังแสดงในตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่างที่ 6 ใช้เครื่องมืออ่านค่าโดยตรงตรวจวัดไอโอโซนและบันทึกผลการตรวจวัดค่า 8 h - TWA ของไอโอโซน = 0.2 mg/m³ และค่าที่สุ่มเลือกจากบันทึกผลการอ่านค่าของเครื่องมือตรวจวัด 35 ค่า คือ

0.165	0.122	0.249	0.112	0.198	0.141	0.151
0.284	0.165	0.198	0.206	0.245	0.149	0.084
0.155	0.153	0.131	0.143	0.135	0.165	0.120
0.129	0.172	0.157	0.139	0.202	0.147	0.137
0.094	0.180	0.129	0.214	0.216	1.117	0.210

(ก) X_1, \dots, X_n ซึ่ง $n > 30$ (X เป็นค่าความเข้มข้นที่เก็บแบบสุ่มตลอดเวลาตามความเหมาะสม) จะเปรียบเทียบกับ OEL ชนิดใด วิธีการนี้สามารถใช้ได้ แม้ว่ามีข้อมูลที่มีค่า = 0)

(ข) หาค่าความเข้มข้นสารในตัวอย่างอากาศ (X) ด้วยค่ามาตรฐาน (Sd) เพื่อให้ได้ค่า x นั่นคือ $x = X/Sd$. ทำให้ x เป็นค่าที่ไม่มีหน่วย ในการเปรียบเทียบกับ LCL และ UCL จึงเปรียบเทียบกับ 1 เสมอไม่ว่าค่ามาตรฐานจะเป็นเท่าใดหรือหน่วยใด ผลการคำนวณดังนี้

0.84	0.62	1.27	0.57	1.01	0.72	0.77	1.45	0.84	1.01
1.05	1.25	0.76	0.43	0.79	0.78	0.67	0.73	0.69	0.84
0.61	0.66	0.85	0.80	0.71	1.03	0.75	0.70	0.48	0.92
0.66	1.09	1.10	0.57	1.07					

(ค) คำนวณหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต (arithmetic mean, \bar{x}) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, s) ของค่าตัวอย่างดังต่อไปนี้

$$\bar{x} = 0.831$$

$$s = 0.230$$

$$n = 35$$

(ง) คำนวณ LCL และ UCL

(ง.1) สำหรับเจ้าหน้าที่ LCL (95%)

$$LCL = \bar{x} - \frac{1.645(s)}{\sqrt{n}}$$

(ง.2) สำหรับนายจ้าง UCL (95%)

$$UCL = \bar{x} + \frac{1.645(s)}{\sqrt{n}}$$

มอก. 2536-2555

เนื่องจาก $\bar{x} < 1$ ไม่ต้องทดสอบ (\bar{x} คือ mean ของ X_i)
Std.

$$UCL = 0.831 + \frac{(1.645)(0.230)}{\sqrt{35}} = 0.89$$

(จ) จัดกลุ่มค่า TWA ว่าอยู่ประเภทใด

(จ.1) สำหรับเจ้าหน้าที่

$LCL > 1$ หมายถึง ไม่เป็นไปตามกฎหมาย
 $\bar{x} > 1$ และ $LCL \leq$ หมายถึง ผู้ปฏิบัติอาจสัมผัสเกินมาตรฐาน
 $\bar{x} \leq 1$ หมายถึง ไม่ต้องทดสอบทางสถิติ

(จ.2) สำหรับนายจ้าง

$UCL \leq 1$ หมายถึง ปฏิบัติตามกฎหมาย
 $UCL > 1$ หมายถึง อาจสัมผัสสารเกินมาตรฐาน
 $\bar{x} > 1$ หมายถึง ไม่ต้องทดสอบทางสถิติ

เนื่องจาก $UCL=0.89$ ซึ่งน้อยกว่า 1 จัดอยู่ในประเภทการสัมผัสสารเป็นไปตามกฎหมายด้วยความเชื่อมั่น 95%

ก.2.2 การคำนวณเพื่อจัดประเภทการสัมผัสสารของผู้ปฏิบัติงานเมื่อเปรียบเทียบการสัมผัสสารกับ OEL-C ในกรณีนี้มีหลักการจัดการข้อมูลเช่นเดียวกับการเปรียบเทียบค่ามาตรฐาน OEL-TWA อย่างไรก็ตาม การเก็บตัวอย่างในสองลักษณะนี้แตกต่างกัน คือ การเก็บตัวอย่างเพื่อเปรียบเทียบ OEL-C นั้นเก็บในช่วงเวลาสั้นกว่ามาก และมักเลือกเก็บในช่วงเวลาที่คาดว่าผู้ปฏิบัติงานสัมผัสสารสูงสุด การคำนวณเพื่อจัดประเภทการสัมผัสนี้ แบ่งออกเป็น 2 วิธีดังต่อไปนี้

ก.2.2.1 จัดประเภทการสัมผัสบนพื้นฐานของการตรวจวัดในระหว่างที่คาดว่าจะมีความเข้มข้นสูง

ตัวอย่างที่ 7 ผู้ปฏิบัติงานต้องสัมผัสกับไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เป็นช่วงเวลาสั้น ๆ 16 ครั้งต่อ 1 กะ OEL-C ของ $H_2S = 30 \text{ mg/m}^3$ เก็บตัวอย่างอากาศโดยใช้มิทเจทอิมพินเจอร์ (midjet impinge) ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 0.2 l/min เป็นเวลา 10 min ต่อตัวอย่าง ค่า S_T ของวิธีเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ตัวอย่างนี้ = 0.12 ได้ทำการเก็บตัวอย่าง 5 ตัวอย่าง โดยการสุ่มเลือกจากการสัมผัส 16 ครั้ง ความเข้มข้น $X_1 = 17 \text{ mg/m}^3$ $X_2 = 20 \text{ mg/m}^3$ $X_3 = 18 \text{ mg/m}^3$ $X_4 = 22 \text{ mg/m}^3$ และ $X_5 = 21 \text{ mg/m}^3$ การสัมผัสจัดอยู่ในประเภทใด

ขั้นตอนการคำนวณ

(1) $X_1 X_2 \dots X_n$ เป็นการตรวจวัดค่าความเข้มข้นสูงสุด ซึ่งอาจมีมากกว่า 1 ตัวอย่าง เลือกความเข้มข้นสูงสุดและกำหนดให้เป็น X ซึ่งได้แก่ $X = 22 \text{ mg/m}^3$

- (2) คำนวณหาค่า x คือ $OEL-C$ นั่นคือ $= 22/30 = 0.80$
- (3) การคำนวณหา LCL, UCL จัดประเภทในลักษณะเดียวกับข้อ ก.2.1.1 หรือ ข้อ ก.2.1.2 และถ้าการจัดประเภทอยู่ในกลุ่มการสัมผัสเป็นไปตามกฎหมาย ให้คำนวณตามข้อ ก.2.1.2 ต่อไปเพื่อยืนยันผล แต่ถ้าจัดเป็นประเภทไม่ปฏิบัติตามกฎหมายให้ถือว่าการจัดประเภทเสร็จสิ้นแล้ว

$UCL(95\%) = 0.80 + (1.645)(0.12) = 0.997$ และ $0.997 < 1$ จัดเป็นการสัมผัสที่เป็นไปตามกฎหมาย ดังนั้นจึงต้องคำนวณตามข้อ ก.2.1.2 ต่อไป เพื่อให้มั่นใจว่าการสัมผัสเป็นไปตามกฎหมายจริง

คำนวณช่วงเวลาที่ไม่ได้ตรวจวัด ซึ่งคาดว่ามีการสัมผัสสารสูง วิธีนี้ใช้สำหรับกรณีที่ไม่ได้เก็บตัวอย่างบางช่วงเวลาและมีแนวโน้มว่าในช่วงดังกล่าวผู้ปฏิบัติงานอาจสัมผัสสารเกินมาตรฐานเป็นการใช้สถิติในการวิจัยเพื่อปกป้องผู้ปฏิบัติงาน มีวิธีการดังนี้

ตัวอย่างที่ 8 โจทย์เดียวกับตัวอย่างที่ 7

ขั้นตอนการคำนวณ

- (ก) คำนวณหาค่า x จาก $x_i = X_i/Sid-C$ และ $y_i = \log_{(10)} x_i$ ได้ดังนี้

X_i (mg/m^3)	x_i	y_i
12	0.600	-0.2218
14	0.700	-0.1549
13	0.650	-0.1871
16	0.800	-0.0969
15	0.750	-0.1249

- (ข) คำนวณหาค่าเฉลี่ยของ $y_i = \bar{y}$ และค่า s ของ y_i ซึ่งอาจใช้สมการ

$$\begin{aligned}\bar{y} &= \frac{\sum y_i}{n} = \frac{(y_1 + y_2 + \dots + y_n)}{n} \\ &= -0.1571 \\ s &= \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \\ &= 0.0494\end{aligned}$$

- (ค) คำนวณหาค่าความเป็นไปได้ ณ ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งที่ไม่ได้เก็บตัวอย่าง คนงานอาจสัมผัสสารสูงกว่ามาตรฐาน (β) โดยใช้สูตรจาก $z_y = \frac{|\bar{y}|}{s}$ และคำนวณ β โดยหา Prop z

มอก. 2536-2555

หาได้จาก ตารางที่ ก.1 ถ้า $\bar{y} < 0$; $\beta = 1 - (\text{prop } z \text{ จากตารางที่ ก.1})$ ถ้า $\bar{y} \geq 0$; $\beta =$
ค่าที่ได้จากตารางที่ 2

$$\text{นั่นคือ } Z_y = \frac{|-0.1517|}{0.0494} = 3.18$$

จากตารางที่ ก.1 เมื่อ $z_y = 3.18$ ค่าความเป็นไปได้ = 0.9993

- (ง) นำค่าความเป็นไปได้นี้มาคำนวณหา β เนื่องจาก $\bar{y} < 0$ ดังนั้น

$$\beta = 1 - 0.9993 = 0.0007$$

ซึ่งหมายความว่า มีความเป็นไปได้เพียง 0.07% ที่ ณ เวลาใด ๆ ที่ไม่ได้เก็บตัวอย่างความ
เข้มข้นของสารจะสูงเกิน Std-C

- (จ) จัดประเภทการสัมผัสของคนงาน สำหรับช่วงเวลาที่ไม่ได้เก็บตัวอย่างเมื่อเป็นค่าความ
เป็นไปได้ที่การสัมผัส ณ เวลาใด ๆ ที่ไม่ได้เก็บตัวอย่างนั้นจะเกินค่ามาตรฐาน นั่นคือ β
คือ ความเป็นไปได้ที่การสัมผัสไม่เป็นไปตามกฎหมาย ฉะนั้น $(1-\beta)$ คือ ความเป็นไป
ได้สำหรับการสัมผัสที่เป็นไปตามกฎหมายในช่วงเวลาใด ๆ ที่ไม่ได้เก็บตัวอย่างอากาศ
ความเป็นไปได้นี้จะเป็นไปตามกฎหมายสำหรับทุกช่วง K ที่ไม่ได้เก็บตัวอย่างในช่วงที่
คาดว่าจะการสัมผัสสูง คำนวณจาก

$$P_c = (1 - \beta)^K$$

ในกรณีที่ไม่ทราบว่าจะช่วงที่อาจมีการสัมผัสสูงๆ และไม่ได้ตรวจวัดนั้นมีกี่ครั้ง ให้ถือว่า
เวลาที่เหลือแบ่งเป็นช่วงเท่า ๆ กันของเวลาทำงาน 8 h ช่วงเก็บตัวอย่าง 15 min (คิดเป็น
480 min / 15 min = 32 ช่วง) ถ้าตรวจวัด 5 ช่วง เวลาที่เหลือคือ 32-5 = 27 ช่วง ฉะนั้น
ค่า K = 27 จากตัวอย่างที่ 8

$$(1 - \beta) = 1 - 0.0007 = 0.9993$$

$$K = 16 - 5 = 11$$

$$P_c = (0.9993)^{11} = 0.992$$

นั่นคือ ความเป็นไปได้ที่ช่วงเวลาที่ไม่ได้เก็บตัวอย่างทั้งหมด 11 ช่วงนั้น การสัมผัสจะ
เป็นไปตามกฎหมาย คือ 99.2%

การจัดประเภทได้เป็น

$P_c > 0.9$ หมายถึง การสัมผัสเป็นไปตามกฎหมาย

$P_c < 0.1$ หมายถึง การสัมผัสไม่เป็นไปตามกฎหมาย

$0.1 \leq P_c \leq 0.9$ หมายถึง อาจสัมผัสเกินมาตรฐาน

ฉะนั้น ในที่นี้ $P_c = 0.992$ ถือว่าเป็นไปตามกฎหมาย

ตารางที่ ก.1 ตารางความน่าจะเป็นแซด (Z-table)

(ข้อ ก.2.2.1)

z_p	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998

มอก. 2536-2555

ภาคผนวก ข.

ตัวอย่างแบบบันทึกข้อมูลการตรวจวัด การเก็บตัวอย่างอากาศ และการส่งตัวอย่างอากาศ
เพื่อวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ
(ข้อ 3.1.6)

ข.1 แบบบันทึกข้อมูลการตรวจวัด การเก็บตัวอย่างอากาศ

แบบบันทึกข้อมูลการตรวจวัดและการเก็บตัวอย่างอากาศ	
1. ชื่อสถานประกอบการ.....	
2. ที่อยู่..... โทรศัพท์.....	
แผนก.....วันที่เก็บตัวอย่าง.....ตัวอย่างเลขที่.....	
3. หมายเลขเครื่องคู่อากาศ.....สอบเทียบวันที่.....	
อัตราการไหลอากาศ.....l/min ผู้รับเทียบความถูกต้อง.....	
4. อุปกรณ์เก็บตัวอย่าง <input type="checkbox"/> กระดาษกรองชนิด.....Lot No.....	
<input type="checkbox"/> หลอดเก็บตัวอย่างชนิด.....Lot No.....	
5. เก็บตัวอย่างแบบ <input type="checkbox"/> พื้นที่ <input type="checkbox"/> บุคคล ชื่อ-สกุล.....	
หน้าที่.....อายุงาน.....ปี	
6. ระยะเวลาเก็บตัวอย่าง ภาคเช้าเริ่มเวลา.....หยุดเวลา.....รวมเวลา.....min	
ภาคบ่ายเริ่มเวลา.....หยุดเวลา.....รวมเวลา.....min	
7. สภาพแวดล้อมการทำงาน อุณหภูมิ.....°C ความชื้น.....%RH	
ความดันบรรยากาศ.....Pa	
8. หมายเหตุ มาตรการการควบคุมการสัมผัสที่ใช้อยู่.....	
.....	
.....	
.....	
ลงชื่อ.....ผู้เก็บตัวอย่าง	

ข.2 แบบการส่งตัวอย่างอากาศเพื่อวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

แบบการส่งตัวอย่างอากาศเพื่อวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

ชื่อผู้ส่งตัวอย่าง.....

ที่อยู่.....

โทรศัพท์.....ชื่อผู้ที่สามารถติดต่อได้.....

ชื่อสถานประกอบการที่เก็บตัวอย่าง.....

อุปกรณ์เก็บตัวอย่าง กระดาษกรอง จำนวน.....ตัวอย่าง

หลอดเก็บตัวอย่างชนิด.....

จำนวน.....ตัวอย่าง

ตัวอย่างเลขที่	ชนิดอุปกรณ์เก็บ	ปริมาตรอากาศ	สารที่ต้องการวิเคราะห์			

วันที่ส่งตัวอย่าง.....

ผู้รับตัวอย่าง.....



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คำรับรองเล่มสหกิจศึกษา

วันที่ 28 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2561

ข้าพเจ้า นายไม้สัก ทองสอน รหัสประจำตัว 57050753

นายศรัณย์ ศิริสุรพงษ์ รหัสประจำตัว 57050764

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาชีววิทยา

ขอรับรองว่าสหกิจศึกษา เรื่อง

ชื่อภาษาไทย การคาดการณ์สภาวะที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างสารกลุ่ม BTEX จากอากาศ
บริเวณพื้นที่ทำงานโดยใช้ข้อมูลจากผลการตรวจวัดจริงร่วมกับโปรแกรม SPSS

ชื่อภาษาอังกฤษ Prediction of Optimum Conditions to BTEX Group Sampling from
Workplace Air by Using Actual Measurement Results together with
SPSS

ปีการศึกษา 2560

เป็นผลงานวิจัยที่มีได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อน
เรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่ม
สหกิจศึกษามบับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์..... 0.88% หรือโปรแกรม Turnitin.....%

ลงชื่อ ไม้สัก ทองสอน

(นายไม้สัก ทองสอน)

นักศึกษา

ลงชื่อ ศรัณย์ ศิริสุรพงษ์

(นายศรัณย์ ศิริสุรพงษ์)

นักศึกษา

ข้าพเจ้า รศ.ดร.มารีสา จาตุพรพิพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาสหกิจศึกษา ได้ตรวจสอบสหกิจศึกษาของ
นักศึกษาข้างต้น แล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้
เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ.....  ลงชื่อ.....  ลงชื่อ..... 

(รศ.อารี ฤทธิบูรณ์) (นายนริศ พงษ์วีรัชไชย) (รศ.ดร.มารีสา จาตุพรพิพัฒน์)

Plagiarism Checking Report

Created on Jun 22, 2018 at 12:46 PM

Submission Information

ID	SUBMISSION DATE	SUBMITTED BY	ORGANIZATION	FILENAME	STATUS	SIMILARITY INDEX
875854	Jun 22, 2018 at 12:46 PM	57050753@kmitl.ac.th	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	Prediction of optimum conditions to BTEX group sampling from workplace air by using actual measurement results together with SPSS.docx	Completed	0.88 %

Match Overview

NO.	TITLE	AUTHOR(S)	SOURCE	SIMILARITY INDEX
1	การศึกษาความเข้มข้นและการกระจายตัวของสารอินทรีย์ระเหยบริเวณแท่นพิมพ์ในโรงพิมพ์ขนาดใหญ่ ,A Study of Concentration and Distribution of Volatile Organic Compounds in the Press Area in a Large Printing House	ธัญญา ล้อมลิ้ม,Thananya Lomlim	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	0.35 %
2	การผลิตน้ำมันชีวภาพจากขี้เลื่อยยูคาลิปตัสโดยไพโรไลซิสแบบต่อเนื่อง\,BIO-OIL PRODUCTION FROM EUCALYPTUS SAWDUST BY CONTINUOUS PYROLYSIS	ศิริข ฐระหงษ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	0.19 %
3	การกำจัดกลิ่นในน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์โดยใช้ถ่านกัมมันต์,The Removal of Flavour from Virgin Coconut Oil Using Activated Carbon	ทรงชัย ยิ่งยวด,Songchai Yingyuad	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	0.18 %
4	การประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสารเคมีในบรรยากาศภายในโรงหล่อซิงค์,Risk assessment of ambient air exposure In zinc die cast plant	กชภู จันทรแสง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	0.17 %

Match Details

TEXT FROM SUBMITTED DOCUMENT

มากกว่าและมีความเสถียรในสิ่งแวดล้อมมากกว่าสารกลุ่ม Non Chlorinated VOCs เพราะมีโครงสร้างที่มีพันธะระหว่างคาร์บอนและธาตุกลุ่มฮาโลเจนที่ทนทานมากกว่าความคงตัวสูงและสะสมได้นานซึ่งยากต่อการสลายตัวทั้งในธรรมชาติชีวภาพกายภาพหรือโดยวิธีทางเคมีทั่วไปมีปริมาณการทำงานของสารพิษรุนแรงคือไปยังยังปฏิบัติทางชีวเคมีในเซลล์และมีฤทธิ์ก่อมะเร็งหรือก่อมะเร็งได้ 2 1 2 การแบ่งประเภทตามลักษณะของโครงสร้าง 2 1 2 1 กลุ่ม

ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์โดยเทคนิคของ GLC เป็นที่นิยมมากที่สุด แก๊สโครมาโตกราฟีใช้ได้กับสารที่สามารถระเหยกลายเป็นไอได้คุณสมบัติของคอลัมน์ที่นั่นตั้งนั้นวิธีการของแก๊สโครมาโตกราฟีจึงเป็นเทคนิคที่ใช้ในการแยกสารประกอบอินทรีย์ที่นั่นเพราะสารประกอบอินทรีย์สามารถกลายเป็นไอได้ง่ายแต่ใช้ไม่ได้สำหรับการวิเคราะห์สารประกอบอนินทรีย์เพราะสารประกอบอนินทรีย์ไม่สามารถกลายเป็นไอได้ในอุณหภูมิปกติที่ทำการทดลองของคอลัมน์นอกจากนี้

อุณหภูมิสูงๆโลหะสามารถเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีได้หลายชนิดตามปกติ อุณหภูมิของคอลัมน์ต้องสูงกว่าจุดเดือดของสารตัวอย่าง 10 °C 25 °C การใช้ Capillary column ในการทำ GLC ไม่ต้องใช้ Solid Support โดยเฟสอยู่ผนังจะฉาบที่ผิวของคอลัมน์เป็นฟิล์มบางๆที่มีความหนาน้อยกว่า 1 ไมโครเมตร ความหนาของแผ่นฟิล์มของเหลวนั้นจะมีผลต่อการแยกด้วยคอลัมน์ชนิดนี้ มีประสิทธิภาพในการแยกสูงกว่า packed column ถึง 100 เท่าและสามารถใช้กับขนาดของสารตัวอย่าง

แท่นพิมพ์ในโรงพิมพ์ขนาดใหญ่ A study of concentration and distribution of volatile organic compounds in the press area in a large printing house ธานีญา 2548 งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความเข้มข้นและการกระจายตัวของสารอินทรีย์ระเหยบริเวณแท่นพิมพ์ในโรงพิมพ์ขนาดใหญ่โดยทำการเก็บตัวอย่างอากาศบริเวณแท่นพิมพ์ด้วยวิธี Passive ใช้หลอดเก็บตัวอย่างที่บรรจุสารดูดซับชนิด Carbopack BTM เก็บตัวอย่างอากาศบริเวณแท่นพิมพ์ 4 จุดและห่างจากแท่นพิมพ์ 5 4 เมตรอีก 4 จุดในแนวเดียวกันกับ 4 จุดแรกเพื่อศึกษา

TEXT FROM SOURCE DOCUMENT(S)

ไหม้จะทำให้เกิดควันไฟที่เป็นพิษต่อ ระบบทางเดินหายใจเช่น benzene \, toluene \, naphthalene propene และ 1 \, 3 - butadiene \, \ nxy lens \, propane \, 2 - methylbenzene \, naphthalene \, isopropybenzene \n1.5.2 Chlorinated VOCs หรือ halogenated hydrocarbons ได้แก่ ไฮโดรคาร์บอน \ n ระเหยที่มีธาตุคลอรีนในโมเลกุลได้แก่สารเคมีที่สังเคราะห์ใช้ในอุตสาหกรรมสาร chlorinated \ n 11 \ nVOCs นี้มีความเป็นพิษมากกว่าและเสถียรตัวในสิ่งแวดล้อมมากกว่าสารกลุ่มแรก \ n (Non-chlorinated VOCs) เพราะมีโครงสร้างที่มีพันธะระหว่างคาร์บอนและธาตุกลุ่มฮาโลเจนที่ \ n ทนทานมากกว่าต่อการสลายตัวในธรรมชาติทางชีวภาพทางกายภาพหรือโดยทางวิธีเคมีทั่วไป \ n มีความคงตัวสูงและสะสมได้นานสลายตัวทางชีวภาพได้ยากปริมาณการทำงานของสารพิษรุนแรง \ n หรือไปยังปฏิบัติทางชีวเคมีในเซลล์และมีฤทธิ์ในการก่อมะเร็งหรือก่อมะเร็งได้ \ n การวิเคราะห์น้ำประปาพบว่าในน้ำประปามีการปนเปื้อนของสารกลุ่ม Chlorinated VOCs \ n น้ำประปายังใช้คลอรีนในการฆ่าเชื้อเชื่อกันว่าจะยังมีสาร halogenated hydrocarbons มากขึ้นเช่น \ n

เฟสอยู่กับที่เป็นของเหลว \ n เรียกว่า "gas-liquid chromatography "(GLC) ซึ่งทั้งสองวิธีนี้มีเฟสเคลื่อนที่ที่เป็นแก๊สเทคนิคทั้ง \ n สองได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์โดยที่เทคนิคของ GLC เป็นที่นิยมมากกว่าแก๊สโครมาโตกราฟี \ n ใช้ได้กับสารที่สามารถระเหยกลายเป็นไอได้คุณสมบัติของคอลัมน์ที่นั่นตั้งนั้นวิธีการของแก๊สโคร \ n มาโทกราฟีจึงเป็นเทคนิคที่ใช้ในการแยกสารประกอบอินทรีย์ที่นั่นเพราะสารประกอบอินทรีย์ \ n สามารถกลายเป็นแก๊สได้ง่ายจะไม่ใช้วิธีแก๊สโครมาโตกราฟีสำหรับการวิเคราะห์สารประกอบอนินทรีย์ \ n เพราะสารประกอบอนินทรีย์ไม่สามารถกลายเป็นแก๊สได้ในอุณหภูมิปกติ(ที่ทำการทดลอง) \ n ของคอลัมน์วิธีแก๊สโครมาโตกราฟีสามารถใช้ในการวิเคราะห์ได้ทั้งทางคุณภาพและทางปริมาณ \ n \ n \ n \ n โดยทั่วไปมีส่วนประกอบดังนี้ \ n \ n 1 .แก๊สที่ใช้งานกับเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีมี 3 ชนิดคือ \ n \ n 1.1แก๊สเฉื่อยได้แก๊สฮีเลียมอาร์กอนหรือไนโตรเจนซึ่งใช้เป็นแก๊สพา (Carrier Gases)เพื่อ \ n จะใช้ทำไอของสารหรือแก๊สตัวอย่างเข้าคอลัมน์ \ n \ n 1.2แก๊สไฮโดรเจนเพื่อใช้ใน Flame Ionization Detector (FID) \ n \ n 1.3อากาศเพื่อใช้ผสมกับไฮโดรเจน

ใหญ่ทำด้วย \ n ท่อซิลิกาหลอม(fused silica)สาเหตุที่ไม่ทำด้วยโลหะเพราะโลหะสามารถเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีได้ \ n หลายชนิดและเมื่อใช้ที่อุณหภูมิสูงอาจทำให้โลหะเกิดปฏิกิริยาบางอย่างในคอลัมน์ได้ตามปกติ \ n อุณหภูมิของคอลัมน์ต้องสูงกว่าจุดเดือดของสารตัวอย่าง 10 ถึง 25 องศาเซลเซียส การเตรียมคอลัมน์ \ n ทำได้โดยใช้ของเหลวซึ่งทำหน้าที่เป็นวัฏภาคหนึ่งใส่ในแคปิลลารีคอลัมน์ของเหลวจะเคลือบที่ผิวของ \ n คอลัมน์เป็นฟิล์มบางๆที่มีความหนาน้อยกว่า 1 ไมโครเมตรความหนาของแผ่นฟิล์มของเหลวมีผล \ n ต่อการแยกคอลัมน์ชนิดนี้มีประสิทธิภาพในการแยกสูงกว่าแพคคอลัมน์ถึง 100 เท่าและสามารถใช้ \ n กับขนาดของสารตัวอย่างที่น้อยกว่า 0.01 ไมโครลิตรความจุของแคปิลลารีคอลัมน์สามารถเพิ่มขึ้น \ n ได้โดยเคลือบผิวของคอลัมน์แก้วด้วยวัสดุที่มีพรุนเช่นแกรไฟต์โลหะออกไซด์และซิลิเกตซึ่ง \ n พบว่ามีผลต่อการลดลงของความดัน(pressure drop)น้อยมากและอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของ \ n วัฏภาคหนึ่งต่อปริมาตรของวัฏภาคเคลื่อนที่ของคอลัมน์ชนิดนี้มีค่าในช่วง 100 ถึง 300 ซึ่งอยู่ในช่วงที่มี \ n ประสิทธิภาพสูงสุดของเหลวที่สามารถ

การศึกษาความเข้มข้นและการกระจายตัวของสารอินทรีย์ระเหยบริเวณแท่นพิมพ์ \ n ในโรงพิมพ์ขนาดใหญ่ \ n นางสาวธนัญญา ล้อมลิ้ม \ n โครงการการศึกษาวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาด้านหลักสูตร \ n ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม \ n คณะพลังงานและวัสดุ \ n มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี \ n พ.ศ. 2548 \ n ISBN 974 - 184 - 501 - 4 \ n \ n \ n หัวข้อโครงการการศึกษาวิจัยการศึกษาความเข้มข้นและการกระจายตัวของสารอินทรีย์ระเหย \ n บริเวณแท่นพิมพ์ในโรงพิมพ์ขนาดใหญ่ \ n หน่วยกิต 6 \ n ผู้เขียนนางสาวธนัญญา ล้อมลิ้ม \ n อาจารย์ที่ปรึกษา ร.ดร.พจนีย์ ชุมมงคล \ n ดร.จารุทัศน์ สันติศิริสมบุญ \ n หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต \ n สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม \ n สายวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม \ n คณะพลังงานและวัสดุ \ n พ.ศ. 2548 \ n บทคัดย่อ \ n โครงการการศึกษาวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเข้มข้นและการกระจายตัวของสารอินทรีย์ระเหยบริเวณ \ n แท่นพิมพ์ในโรงพิมพ์ขนาดใหญ่โดยทำการเก็บตัวอย่างอากาศบริเวณแท่นพิมพ์ด้วยวิธี Passive \ n ใช้หลอดเก็บตัวอย่างที่บรรจุสารดูดซับชนิด Carbopack BTM เก็บตัวอย่างอากาศบริเวณแท่นพิมพ์ 4 จุด \ n และห่างจากแท่นพิมพ์ 5.4 เมตรอีก 4 จุดในแนวเดียวกันกับ 4 จุดแรกเพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัว \ n

ลักษณะการกระจายตัวของสารอินทรีย์ระเหยในการเก็บตัวอย่างจะแขวนลอย
เก็บตัวอย่างเป็นเวลา 8 ชั่วโมงวันและนำไปวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของ
สารอินทรีย์ระเหยด้วยเครื่อง Thermal Desorption Unit ร่วมกับเครื่อง Gas
Chromatograph Mass spectrometer ผลการวิเคราะห์พบสารอินทรีย์ระเหย
จากตัวอย่างอากาศ 14 ชนิดได้แก่ 1,1,2-Trichloroethane, 1,1,2,2-Tetrafluoroethane,
Hexane, 1,1-Dichloroethane, Hexanal, 1,1,2,2-Tetrachloroethane,
Cyclohexane, Ethyl benzene, Carbontetrachloride, Benzene, 1,2-Dichloroethane,
Trichloroethylene, Toluene, p-Xylene และ o-Xylene
และพบว่าสารที่มีอยู่

หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต\ n สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม\ n สาย
วิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม\ n คณะพลังงานและวัสดุ\ n พ.ศ. 2548\ n
บทคัดย่อ\ n โครงการการศึกษาริวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเข้มข้นและการกระจาย
ตัวของสารอินทรีย์ระเหยบริเวณ\ n แทนพิมพ์ในโรงพิมพ์ขนาดใหญ่โดยทำ
การเก็บตัวอย่างอากาศบริเวณแทนพิมพ์ด้วยวิธี Passive \ n ไขหลอดเก็บ
ตัวอย่างที่บรรจุสารดูดซับชนิด Carbopack BTM เก็บตัวอย่างอากาศบริเวณ
แทนพิมพ์ 4 จุด\ n และห่างจากแทนพิมพ์ 5.4 เมตรอีก 4 จุดในแนวเดียวกับ 4
จุดแรกเพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัว\ n ของสารอินทรีย์ระเหยในการเก็บตัว
อย่างจะแขวนลอยเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 8 ชั่วโมง/วันและนำไป\ n
วิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยด้วยเครื่อง Thermal
Desorption Unit ร่วมกับ\ n เครื่อง Gas Chromatograph / Mass
spectrometer ผลการวิเคราะห์พบสารอินทรีย์ระเหยจากตัวอย่าง\ n อากาศ
14 ชนิดได้แก่ 1,1,2-Trichloroethane, 1,1,2,2-Tetrafluoroethane,
Hexane, 1,1-Dichloroethane, Hexanal, 1,1,2,2-Tetrachloroethane,
Cyclohexane, Ethyl benzene,
Carbontetrachloride, Benzene, 1,2-Dichloroethane,
Trichloroethylene, Toluene, p-Xylene และ o-Xylene สารอินทรีย์ระเหยที่
พบว่ามีอยู่\ n ในปริมาณมาก 5 อันดับแรกได้แก่ Toluene