

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

**การตรวจวัดหาปริมาณสารประกอบอินทรีย์ระเหย (VOCs) ในน้ำดื่ม
โดยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีร่วมกับวิธีการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็ง**



**นางสาวธิดิมา สงแจ้ง
นางสาวรัตนา แสนพวง**

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....**107873**
วัน,เดือน,ปี.....**8 ส.ย. 2553**

b.....**12213639**
i.....

**โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาเคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Determination of volatile organic compounds in drinking water
by gas chromatography coupled with solid-phase extraction method**



**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement
for the Degree of Bachelor of Science**

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การตรวจวัดหาสารประกอบอินทรีย์ระเหย (VOCs) ในน้ำดื่มโดยเทคนิค
แก๊สโครมาโทกราฟีร่วมกับวิธีการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็ง

นักศึกษา นางสาวชิตติมา สงแจ้ง
นางสาวรัตนา แสนพวง

ภาควิชา เคมี

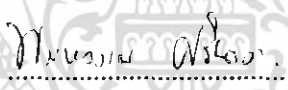

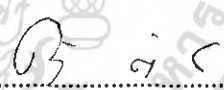
สาขา เคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์

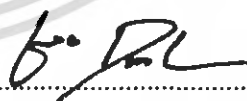
ปีการศึกษา 2550

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.คณิตา ดังคณานุรักษ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.นงนุช ศิวะภิญโญยศ

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ผศ.พรพรพรรณ ศรีนาค	
กรรมการ อ.ปีตมา ลีพหาวงศ์	
กรรมการ รศ.คณิตา ดังคณานุรักษ์	



(ผศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การตรวจวัดหาสารประกอบอินทรีย์ระเหย(VOCs)ในน้ำดื่ม โดยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีร่วมกับวิธีการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็ง
นักศึกษา	นางสาวธิดิมา สงแจ้ง นางสาวรัตนา แสนพวง
ภาควิชา	เคมี
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์
ปีการศึกษา	2550
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.คณิตา ดังคณานุกรมย์

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาปริมาณสารประกอบอินทรีย์ระเหย 5 ชนิด คือ คลอโรฟอร์ม, 1,2-ไดคลอโรอีเทน, เบนซีน, โบรโมไดคลอโรมีเทน, และโทลูอิน ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำดื่ม โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีควบคู่ไปกับเทคนิคการสกัดด้วยเฟสของแข็ง การแยกสารประกอบใช้คอลัมน์คาพิลลารีชนิด RTX-5 ขนาด 30 ม. x 0.25 มม. และใช้แก๊สฮีเลียมเป็นเฟสเคลื่อนที่ ตัวตรวจวัดเฟลมไอออไนเซชัน ตั้งไว้ที่อุณหภูมิ 220° C โดยสารละลายมาตรฐานคลอโรฟอร์ม, 1,2-ไดคลอโรอีเทน, เบนซีน, โบรโมไดคลอโรมีเทน และโทลูอิน ออกมาที่เวลา 1.689, 1.933, 2.044, 2.591 และ 3.749 นาที ตามลำดับ การศึกษาความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ พบว่า ความเที่ยงแสดงมาในรูปของมีค่าร้อยละของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์(%RSD)เท่ากับ 0.8415, 1.0717, 0.6141 และ 1.2405 สำหรับการตรวจวัดปริมาณคลอโรฟอร์มที่ระดับความเข้มข้น 444, 888, 1332 และ 1776 µg/mL ความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ ให้ค่าร้อยละการคืนกลับเท่ากับ 88-110% ความสัมพันธ์เชิงเส้นของวิธีวิเคราะห์ ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(R²)เท่ากับ 0.995, 0.995, 0.998, 0.976 และ 0.984 สำหรับคลอโรฟอร์ม, 1,2-ไดคลอโรอีเทน, เบนซีน, โบรโมไดคลอโรมีเทน, และโทลูอิน ตามลำดับ ค่าขีดจำกัดของการตรวจวัด(LOD)และค่าขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ(LOQ)เท่ากับ 15.1839 and 50.6131 µg/mL ตามลำดับ ซึ่งค่าในเชิงสถิติทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ตัวอย่างน้ำดื่ม A, B, C และ D ที่ได้จากบริเวณคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีปริมาณคลอโรฟอร์มที่ตรวจพบได้มีค่าเท่ากับ 13.7356 ± 1.2311, 39.3096 ± 1.1146, 8.2071 ± 0.4808 และ 46.8816 ± 1.7661 µg/mL ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Determination of volatile organic compounds in drinking water by gas chromatography coupled with solid-phase extraction method
Name	Miss Thitima songjang Miss Rattana Sanpaung
Department	Chemistry
Program	Industrial chemistry-analytical instrument
Acedemic year	2007
Special Project Advisor	Assoc.Prof. Kanita Tungkananurak

Abstract

The objective of this project was to study the determination of 5 volatile organic compounds, VOCs (Chloroform, 1,2-Dichloroethane, Benzene, Bromodichloromethane and Toluene) this contaminate in drinking water by gas chromatography with solid-phase extraction. Chromatographic separation were perform on capillary column RTX-5 (size 30 m. x 0.25 mm. id.), using helium gas mobile phase and detected by flame ionization detector at 220⁰C. Chloroform, 1,2-dichloroethane, benzene, bromodichloromethane and toluene were separated determine at 1.689, 1.933, 2.044, 2.591 and 3.749 minute (retention time) respectively. The analytical was validated. Precision of method in term of the relative standard deviation were 0.8415, 1.0717, 0.6141, 1.2405 for the concentration of chloroform at 444, 888, 1332 and 1776 µg/mL, respectively. Accuracy expressed in term of recoveries percentage was in range 88-110%. The correlation coefficient (R^2) found were 0.995, 0.995, 0.998, 0.976 and 0.984 for chloroform, 1,2-dichloroethane, benzene, bromodichloromethane and toluene respectively. The limit of detection (LOD) and limit of quantification (LOQ) for chloroform were 15.1839 and 50.6131 µg/mL . Statistic values mention previously were in conscription to agree. For sample of drinking water in the science faculty of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang were analyzed for VOCs. The chloroform was only one compound with can determined. The mean value of the quantity of chloroform obtained from science faculty of King Mongkut's Institute of technology Ladkrabang were 13.7356 ± 1.2311, 39.3096 ± 1.1146, 8.2071 ± 0.4808 and 46.8816 ± 1.7661 µg/mL for sample A, sample B, sample C and sample D respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ได้รับความร่วมมือ การดูแลเอาใจใส่ ช่วยเหลือ แนะนำ และความเมตตากรุณาของทุก ๆ ท่าน ประกอบด้วยอาจารย์ที่ปรึกษา คณะกรรมการ และผู้ที่เกี่ยวข้อง จนสำเร็จโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.คณิตา คังคมานุรักษ์ เป็นอย่างสูงที่ให้คำแนะนำ คิดตาม และได้รับการดูแลเอาใจใส่ตลอดมา รวมไปถึงให้คำแนะนำและแก้ไขการทำรายงาน โครงการพิเศษเล่มนี้

ขอขอบพระคุณ อ.ปีพามา ลีพหาวงศ์, ศศ.พรพรพรรณ ศรีนาค และศศ.นงนุช ศิวะภิญโญยศ คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษนี้ ที่ให้คำแนะนำข้อมูลที่ต้องแกผู้จัดทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณคุณวราณี บัวลา และคุณนิลุบล นิมสกุล ที่ให้คำปรึกษา และดูแลการใช้เครื่องโครมาโทกราฟ พร้อมทั้งยังช่วยแก้ไขปัญหาโครงการพิเศษกับผู้จัดทำ

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาเคมี ทุกท่าน ที่คอยอำนวยความสะดวก และจัดหาเครื่องมือและอุปกรณ์ให้กับผู้จัดทำ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และเพื่อนๆ ทุกคน ที่คอยเป็นกำลังใจ และให้คำปรึกษาแนะนำกับผู้จัดทำตลอดการทำโครงการพิเศษนี้

นางสาวธิติมา สงแจ้ง
นางสาวรัตนา แสนพวง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อโครงการพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
- 1.1 บทนำ	1
- 1.2 วัตถุประสงค์	2
- 1.3 ขอบเขตโครงการพิเศษ	2
- 1.4 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินการ	3
- 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
- 2.1 น้ำ	4
- 2.2 การกำหนดมาตรฐานของน้ำ	5
- 2.3 สารประกอบอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds; VOCs)	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

- 2.4 การจัดการกับสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่เป็นตัวทำละลายในโรงงาน	28
- 2.5 ประเภทของการสูญเสียจากการระเหยของตัวทำละลาย	28
- 2.6 ขั้นตอนที่ต้องจัดการควบคุม	29
- 2.7 ระบบการนำไอระเหยกลับมาใช้ใหม่ (Vapor Recovery)	30
- 2.8 มาตรการที่ต้องปฏิบัติในการขนถ่ายและการจัดเก็บตัวทำละลายที่จัดเป็น	31
สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย	
- 2.9 ข้อเสนอแนะในการจัดเก็บ	32
- 2.10 สารอินทรีย์ไอระเหย (Volatile Organic Compounds) กับสุขภาพ	34
- 2.11 การเตรียมตัวอย่างโดยใช้เทคนิค Solid Phase Extraction	41
- 2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	47
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	
- 3.1 สารเคมี อุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่	50
- 3.2 การเตรียมสารละลาย	51
- 3.3 การเตรียมกราฟมาตรฐานของสารประกอบอินทรีย์ระเหย	52
- 3.4 การตรวจวัดปริมาณสารประกอบอินทรีย์ระเหย	53
- 3.5 การตรวจวัดปริมาณสารประกอบอินทรีย์ระเหยใน spiked sample	53
- 3.6 การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ (Validation of Analytical Method)	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

- 4.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหย 5 ชนิด 56
- 4.2 การตรวจวัดปริมาณสารประกอบอินทรีย์ระเหยในน้ำดื่ม 4 ยี่ห้อ 59
- 4.3 ศึกษาความเที่ยง (Precision) 60
- 4.4 ศึกษาความแม่นยำ (Accuracy) 61
- 4.5 การศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (Limit Of Detection ; LOD) 62

และขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ โดยมีความถูกต้อง

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 63

เอกสารอ้างอิง 65

ภาคผนวก

- ก- เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ 68
- ก-1 องค์ประกอบของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ 68
- ก-2 แก๊สพา (Carrier Gas) 69
- ก-3 ระบบฉีดสารตัวอย่าง (Injection port) 72
- ข-1 แสดงการวิเคราะห์ 74
- ค-1 กราฟโครมาโทแกรมมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหย 77
- ง-1 กราฟความเข้มข้นของสารคลอโรฟอร์มในน้ำดื่ม 4 ยี่ห้อ 86

และคำนวณค่า \bar{x} , SD, %RSD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จ-1 กราฟ spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลงในตัวอย่าง

92

น้ำดื่ม 4 ยี่ห้อ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค	5
ตารางที่ 2.2 มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท	8
ตารางที่ 2.3 มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค	11
ตารางที่ 2.4 ความเป็นพิษแบบเฉียบพลันที่มีต่อคน	17
ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างของ halogenated hydrocarbons ที่พบในสิ่งแวดล้อม	21
ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างสาร VOCs ที่เป็นสารก่อมะเร็ง (Carcinogen) และสารส่งเสริม การเกิดเนื้องอก (tumor promoter) และชนิดมะเร็งที่พบ	37
ตารางที่ 2.7 ตัวอย่างสาร VOCs บางชนิด ผลกระทบต่อระบบเนื้อเยื่อและเป็นอันตราย ต่อสุขภาพ	38
ตารางที่ 2.8 แนะนำการเลือกใช้ Sep – Pak Cartridges	43
ตารางที่ 4.1 ความเข้มข้นของแต่ละองค์ประกอบของสารประกอบอินทรีย์ระเหย	56
ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยในน้ำดื่ม 4 ยี่ห้อ	60
ตารางที่ 4.3 แสดงความเข้มข้นของสารมาตรฐาน 30 μ L	60
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และค่าร้อยละของการเบี่ยงเบน มาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD)	61
ตารางที่ 4.5 แสดงความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มเมื่อทำการ spiked sample (μ g/mL)	61
ตาราง ก-1 ค่าพื้นที่พีคของความเข้มข้นปริมาตร 30 μ L ของการทดลอง 3 ซ้ำ	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค	5
ตารางที่ 2.2 มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท	8
ตารางที่ 2.3 มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค	11
ตารางที่ 2.4 ความเป็นพิษแบบเฉียบพลันที่มีต่อคน	17
ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างของ halogenated hydrocarbons ที่พบในสิ่งแวดล้อม	21
ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างสาร VOCs ที่เป็นสารก่อมะเร็ง (Carcinogen) และสารส่งเสริม การเกิดเนื้องอก (tumor promoter) และชนิดมะเร็งที่พบ	37
ตารางที่ 2.7 ตัวอย่างสาร VOCs บางชนิด ผลกระทบต่อระบบเนื้อเยื่อและเป็นอันตราย ต่อสุขภาพ	38
ตารางที่ 2.8 แนะนำการเลือกใช้ Sep - Pak Cartridges	43
ตารางที่ 4.1 ความเข้มข้นของแต่ละองค์ประกอบของสารประกอบอินทรีย์ระเหย	56
ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยในน้ำดื่ม 4 ยี่ห้อ	60
ตารางที่ 4.3 แสดงความเข้มข้นของสารมาตรฐาน 30 μ L	60
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และค่าร้อยละของการเบี่ยงเบน มาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD)	61
ตารางที่ 4.5 แสดงความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มเมื่อทำการ spiked sample (μ g/mL)	61
ตาราง ก-1 ค่าพื้นที่พีคของความเข้มข้นปริมาตร 30 μ L ของการทดลอง 3 ซ้ำ	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตาราง ก-2 ค่าพื้นที่ที่พิศของความเข้มข้นปริมาตร 60 μ L ของการทดลอง 3 ซ้ำ	80
ตาราง ก-3 ค่าพื้นที่ที่พิศของความเข้มข้นปริมาตร 90 μ L ของการทดลอง 3 ซ้ำ	82
ตาราง ก-4 ค่าพื้นที่ที่พิศของความเข้มข้นปริมาตร 120 μ L ของการทดลอง 3 ซ้ำ	84
ตาราง ง-1 ความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มที่มีในน้ำดื่มยี่ห้อ A	86
ตาราง ง-2 ความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มที่มีในน้ำดื่มยี่ห้อ B	87
ตาราง ง-3 ความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มที่มีในน้ำดื่มยี่ห้อ C	88
ตาราง ง-4 ความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มที่มีในน้ำดื่มยี่ห้อ D	89
ตาราง จ-1 ความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มที่มีในน้ำดื่มยี่ห้อ A	94
ตาราง จ-2 ความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มที่มีในน้ำดื่มยี่ห้อ B	97
ตาราง จ-3 ความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มที่มีในน้ำดื่มยี่ห้อ C	100
ตาราง จ-4 ความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มที่มีในน้ำดื่มยี่ห้อ D	103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 รูปโครงสร้างโทลูอิน	15
รูปที่ 2.2 รูปโครงสร้างเบนซีน	19
รูปที่ 2.3 รูปโครงสร้างคลอโรฟอร์ม	22
รูปที่ 2.4 รูปโครงสร้างไดคลอโรมีเทน	24
รูปที่ 2.5 รูปโครงสร้าง 1,2 -Dichloroethane	26
รูปที่ 4.1 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่ปริมาตร 30 μL	56
รูปที่ 4.2ก กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานคลอโรฟอร์ม	57
รูปที่ 4.2ข กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐาน 1,2-ไดคลอโรอีเทน	57
รูปที่ 4.2ค กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานเบนซีน	58
รูปที่ 4.2ง กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐาน โบร โม ไดคลอโรมีเทน	58
รูปที่ 4.2จ กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐาน โทลูอิน	59
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน คลอโรฟอร์มกับความเข้มข้นของคลอโรฟอร์ม	62
รูปก-1 องค์ประกอบของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ	68
รูปก-2 : Bubble flow meter	69
รูปก-3 : Two-Stage gas Regulator	69
รูปก-4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบแก๊สดัฟฟาทัง 3 ชนิด	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป ก-5 แสดงลักษณะของ Flame Ionization Detector	71
รูป ข-1 กราฟเส้นตรงแสดงการหาค่า LOD และ LOQ	75
รูป ค-1 กราฟโครมาโทแกรมสารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหย ที่ปริมาตร 30 μ L ครั้งที่ 1	77
รูป ค-2 กราฟโครมาโทแกรมสารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหย ที่ปริมาตร 30 μ L ครั้งที่ 2	77
รูป ค-3 กราฟโครมาโทแกรมสารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหย ที่ปริมาตร 30 μ L ครั้งที่ 3	78
รูป ค-4 กราฟโครมาโทแกรมสารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหย ที่ปริมาตร 60 μ L ครั้งที่ 1	79
รูป ค-5 กราฟโครมาโทแกรมสารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหย ที่ปริมาตร 60 μ L ครั้งที่ 2	79
รูป ค-6 กราฟโครมาโทแกรมสารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหย ที่ปริมาตร 60 μ L ครั้งที่ 3	80
รูป ค-7 กราฟโครมาโทแกรมสารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหย ที่ปริมาตร 90 μ L ครั้งที่ 1	81
รูป ค-8 กราฟโครมาโทแกรมสารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหย ที่ปริมาตร 90 μ L ครั้งที่ 2	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป ค-9 กราฟโครมาโทแกรมสารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหย ที่ปริมาตร 90 μ L ครั้งที่ 3	82
รูป ค-10 กราฟโครมาโทแกรมสารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหย ที่ปริมาตร 120 μ L ครั้งที่ 1	83
รูป ค-11 กราฟโครมาโทแกรมสารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหย ที่ปริมาตร 120 μ L ครั้งที่ 2	83
รูป ค-12 กราฟโครมาโทแกรมสารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหย ที่ปริมาตร 120 μ L ครั้งที่ 3	84
รูป ง-1 แสดงโครมาโทแกรมของสารคลอโรฟอร์มในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ A	86
รูป ง-2 โครมาโทแกรมของสารคลอโรฟอร์มในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ B	87
รูป ง-3 โครมาโทแกรมของสารคลอโรฟอร์มในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ C	88
รูป ง-4 แสดงโครมาโทแกรมของสารคลอโรฟอร์มในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ D	89
รูป จ-1 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลง ในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ A ครั้งที่ 1	92
รูป จ-2 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลง ในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ A ครั้งที่ 2	92
รูป จ-3 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลง ในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ A ครั้งที่ 3	93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป จ-4 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลง ในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ A ครั้งที่ 4	93
รูป จ-5 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลง ในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ A ครั้งที่ 5	94
รูป จ-6 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลง ในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ B ครั้งที่ 1	95
รูป จ-7 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลง ในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ B ครั้งที่ 2	95
รูป จ-8 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลง ในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ B ครั้งที่ 3	96
รูป จ-9 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลง ในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ B ครั้งที่ 4	96
รูป จ-10 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลง ในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ B ครั้งที่ 5	97
รูป จ-11 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลง ในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ C ครั้งที่ 1	98
รูป จ-12 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลง ในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ C ครั้งที่ 2	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป จ-13 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลง ในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ C ครั้งที่ 3	99
รูป จ-14 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลง ในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ C ครั้งที่ 4	99
รูป จ-15 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลง ในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ C ครั้งที่ 5	100
รูป จ-16 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลง ในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ D ครั้งที่ 1	101
รูป จ-17 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลง ในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ D ครั้งที่ 2	101
รูป จ-18 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลง ในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ D ครั้งที่ 3	102
รูป จ-19 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลง ในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ D ครั้งที่ 4	102
รูป จ-20 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลง ในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ D ครั้งที่ 5	103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย

เนื่องจากในปัจจุบันนี้ภาวะสารอันตรายต่างๆในชีวิตประจำวันเป็นสิ่งสำคัญ และเราไม่ควรมองข้าม โดยเฉพาะการอุปโภคบริโภคของมนุษย์ สาเหตุที่มีโครงการวิจัยนี้เกิดขึ้นเพราะได้สังเกตเห็นความสำคัญและพิษภัยอันตรายของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำ ไม่ว่าจะเป็นแหล่งน้ำตามแม่น้ำ ลำคลอง น้ำประปา หรือน้ำดื่มที่เราใช้บริโภคกันในปัจจุบันนี้ ถึงแม้ว่าทางกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานเพื่อรักษาคุณภาพน้ำให้เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์การจัดแบ่งลักษณะการใช้ประโยชน์ของแหล่งน้ำ และการกำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการตรวจสอบคุณภาพน้ำ ที่ปะปนอยู่ในน้ำแล้วก็ตาม แต่ยังมีน้ำดื่มบางประเภทที่การปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยง่ายอยู่ใน ปริมาณที่มากกว่ากำหนด โดยเราไม่สามารถรับรู้ได้ว่ากระบวนการผลิตของน้ำดื่มแต่ละชนิดนั้นมีขั้นตอนการกำจัดสารเหล่านี้ได้มากน้อยแค่ไหน การให้ความสำคัญกับเรื่องนี้เป็นสิ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากการวิจัยพบว่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นอันตรายต่อมนุษย์อย่างยิ่ง และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยตรง ซึ่งในมนุษย์นั้นเป็นสารก่อมะเร็งที่มีผลกระทบอย่างรุนแรง สำหรับผลกระทบต่อด้านสิ่งแวดล้อมมีผลต่อชั้นโอโซนของโลก เมื่อโอโซน(O₃) อยู่ในบรรยากาศชั้นสูงโอโซนทำหน้าที่กรองแสงอุลตราไวโอเล็ตคลื่นสั้นที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตไม่ให้ตกสู่พื้นโลก แต่เมื่อโอโซนอยู่ในบรรยากาศชั้นใกล้โลก กลับเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต กล่าวคือ โอโซนสามารถทำให้เกิดอันตรายเฉียบพลันต่อสุขภาพ ทำให้เจ็บไข้ ไม่สบาย เกิดอาการเจ็บคอ หายใจไม่สะดวก เกิดการระคายเคืองต่อสายตา แก้วตา จมูก คอ ทรวงอก หรือมีอาการไอ ปวดศีรษะ เป็นต้น

สรุปอย่างง่ายได้ว่าสารประกอบอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds, VOCs) คือกลุ่ม สารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยเป็นไอกระจายตัวไปในอากาศ ได้ในที่อุณหภูมิและความดันปกติ โมเลกุลส่วนใหญ่ประกอบด้วยอะตอมคาร์บอนและไฮโดรเจน อาจมีออกซิเจนหรือ คลอรีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร่วมด้วย สามารถระเหยเป็นไอได้ที่อุณหภูมิห้อง ในชีวิตประจำวันเราได้รับ VOCs จากผลิตภัณฑ์หลายอย่าง เช่น สีทาบ้าน, ควันบุหรี่, น้ำยาฟอกสี, สารตัวทำละลายในพิมพ์, จากอุปกรณ์เครื่องใช้, โรงงานอุตสาหกรรม, น้ำยาซักแห้ง, น้ำยาสำหรับขัดผมและน้ำยาดัดผม, สารฆ่าแมลง, สารที่เกิดจากเผาไหม้ และปะปนในอากาศ น้ำดื่ม เครื่องดื่ม อาหาร สารอินทรีย์ ไอระเหยที่สะสมไว้มากนาน ๆ จะมีผลกระทบต่อสุขภาพและเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญของปริมาณสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายที่ปะปนในน้ำดื่ม และยี่ห้อ จึงทำการศึกษาการตรวจวัดปริมาณสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่เบนซีน, คลอโรฟอร์ม, โทลูอิน, 1,2-ไดคลอโรอีเทน และโบรโมไดคลอโรมีเทน ในน้ำดื่มด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีโดยใช้วิธี Internal standard ร่วมกับการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็ง เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้เป็นแนวทางในการเลือกบริโภคน้ำดื่มต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

1.2.1 ศึกษาการตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำดื่ม ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีร่วมกับวิธีการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็ง

1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

1.3.1 ตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำดื่มทั้งหมด 4 ยี่ห้อ

ได้แก่น้ำดื่มจากขวดพลาสติก, น้ำดื่มจากตู้ น้ำดื่มสแตนเลส, น้ำดื่มจากตู้ น้ำดื่มหยอดเหรียญอัตโนมัติ และน้ำประปา

1.3.2 ทดสอบความใช้ได้ของวิธีแก๊สโครมาโทกราฟีในการตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหย(เบนซีน, คลอโรฟอร์ม, โทลูอิน, 1,2-ไดคลอโรอีเทน และโบรโมไดคลอโรมีเทน)ในน้ำดื่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการวิจัย และวิธีดำเนินงาน

1.4.1 สืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเรื่องที่ทำทั้งหมด

1.4.2 ศึกษาสภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ร่วมกับวิธีการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็ง

1.4.3 เตรียมสารละลายมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหย (VOCs)

1.4.4 เตรียมสารตัวอย่างโดยวิธีการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็ง

1.4.5 วิเคราะห์สารละลายมาตรฐานและสารละลายตัวอย่างด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ
ร่วมกับวิธีการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็ง

1.4.6 ประเมินผลข้อมูลโดยใช้หลักทางสถิติ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ที่ปะปนในน้ำดื่ม และวางขายตาม
ท้องตลาดเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเลือกบริโภค

1.5.2 ผู้วิจัยได้เข้าใจถึงการใช้เครื่องโครมาโทแกรม และวิธีการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็งได้
เพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 น้ำ

น้ำจัดเป็นอาหารซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยสี่ในการดำรงชีวิตและจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับร่างกาย นอกจากเป็นส่วนประกอบของร่างกายแล้ว น้ำยังช่วยในการควบคุมอุณหภูมิของร่างกายอีกด้วย ตามปกติคนเราต้องการดื่มน้ำ ประมาณ 6-8 แก้ว หรือ 1.5 – 2 ลิตรต่อวัน น้ำดื่มควรเป็นน้ำสะอาด ปราศจากเชื้อโรค และสิ่งเจือปนต่างๆหากร่างกายได้รับน้ำที่มีสารพิษ อาจก่อให้เกิดโรคที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพทั้งในระยะสั้นและระยะยาว สารพิษบางตัวก่อให้เกิดโรคมะเร็ง และโรคภัยต่างๆที่ยากแก่การรักษา

ในปัจจุบันน้ำดื่มที่ได้รับความนิยมมากคือน้ำประปาผ่านเครื่องกรองน้ำดื่มบรรจุขวด ซึ่งน้ำแต่ละชนิดมีสมบัติแตกต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งผลิตและกรรมวิธีการผลิต กล่าวคือน้ำประปาบางแหล่งก็มีสมบัติเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภค บางแหล่งก็ไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำผ่านเครื่องกรอง และน้ำดื่มบรรจุขวดบางยี่ห้อได้รับการจดทะเบียนอาหารถูกต้องตามกฎหมาย บางยี่ห้อก็ไม่ได้ขึ้นทะเบียนอาหาร จึงเป็นหน้าที่ของผู้ผลิตที่จะต้องมีการบรรณาธิและยอมรับผิดชอบในการผลิต และจัดจำหน่ายรวมทั้งต้องมีหน่วยราชการที่คอยตรวจสอบคุณภาพน้ำดื่มให้เป็นไปตามเกณฑ์กำหนด เพื่อให้ผู้บริโภคได้บริโภคน้ำดื่มที่สะอาด ปลอดภัย และยังสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนามาตรฐานน้ำดื่มให้สูงขึ้น มาตรฐานของน้ำดื่มซึ่งเป็นที่ยอมรับเช่น

1. ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 64 (พ.ศ. 2524) และฉบับที่ 135 (พ.ศ. 2534) ซึ่ง

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) ยึดถือเป็นมาตรฐานเพื่อประกอบการขอขึ้น

ทะเบียนอาหาร

2. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค มอก. 257 (2521)

ทั้ง 2 มาตรฐานนี้มีรายการตรวจวิเคราะห์และเกณฑ์กำหนดใกล้เคียงกับน้ำดื่มที่จะขอขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทะเบียนอาหารหรือขอใช้ฉลากอาหารจาก อย. ต้องผ่านการตรวจสอบคุณภาพตามประกาศ
กระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 64 และฉบับที่ 135

2.2 การกำหนดมาตรฐานของน้ำ

2.2.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค				
คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	มาตรฐาน	
			เกณฑ์กำหนด สูงสุด (Maximum Accepttable Concentration)	เกณฑ์อนุโลม สูงสุด ^a (Maximum Allowable Concentration)
ทางกายภาพ	1.สี (Colour)	แพลตินัม-โค บอลด์ (Platinum- Cobalt)	5	15
	2.รส (Taste)	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ	ไม่เป็นที่รังเกียจ
	3.กลิ่น (Odour)	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ	ไม่เป็นที่รังเกียจ
	4.ความขุ่น (Turbidity)	ซิลิกา สเกล ยูนิต (Silica scale unit)	5	20
ทางเคมี	5.ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	6.5-8.5	9.2
	6.ปริมาณสาร ทั้งหมด (Total solids)	มก./ล.	500	1,500
	7.เหล็ก (Fe)	มก./ล.	0.5	1.0
	8.แมงกานีส (Mn)	มก./ล.	0.3	0.5
	9.เหล็กและแมงกานีส (Fe & Mn)	มก./ล.	0.5	1.0
	10.ทองแดง (Cu)	มก./ล.	1.0	1.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง (ต่อ)

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค				
คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	มาตรฐาน	
			เกณฑ์กำหนดสูงสุด (Maximum Acceptable Concentration)	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด ^a (Maximum Allowable Concentration)
ทางเคมี	11.สังกะสี (Zn)	มก./ล.	5.0	15.0
	12.คัลเซียม (Ca)	มก./ล.	75 ^b	200
	13.แมกนีเซียม (Mg)	มก./ล.	50	150
	14.ซัลเฟต (SO ₄)	มก./ล.	200	250 ^c
	15.คลอไรด์ (Cl)	มก./ล.	250	600
	16.ฟลูออไรด์ (F)	มก./ล.	0.7	1.0
	17.ไนเตรต (NO ₃)	มก./ล.	45	45
	18.อัลคิลเบนซีสัลโฟเนต (Alkylbenzyl Sulfonate, ABS)	มก./ล.	0.5	1.0
	19.ฟีโนลิกซับสแตนซ์ (Phenolic substances as phenol)	มก./ล.	0.001	0.002
สารเป็นพิษ	20.ปรอท (Hg)	มก./ล.	0.001	-
	21.ตะกั่ว (Pb)	มก./ล.	0.05	-
	22.อาร์เซนิก (As)	มก./ล.	0.05	-
	23.ซีลีเนียม (Se)	มก./ล.	0.01	-
	24.โครเมียม (Cr hexavalent)	มก./ล.	0.05	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง(ต่อ)

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค				
คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	มาตรฐาน	
			เกณฑ์กำหนดสูงสุด (Maximum Acceptable Concentration)	เกณฑ์อนุ โลมสูงสุด ^a (Maximum Allowable Concentration)
สารเป็นพิษ	25.ไซยาไนด์ (CN)	มก./ล.	0.2	-
	26.แคดเมียม (Cd)	มก./ล.	0.01	-
	27.แบเรียม (Ba)	มก./ล.	1.0	-
ทางจุลชีววิทยา	28.แสดงคาร์คเพลด เคานต์ (Standard Plate Count)	โคโลนีต่อลูกบาศก์ เซนติเมตร (colonies/ cm ³)	500	-
	29.เอ็มพีเอ็น (MPN)	โคลิฟอร์มอร์แกนีส จับต่อ 100 ลูกบาศก์ เซนติเมตร (Coliform Organism/100 cm ³)	น้อยกว่า12.2	-
	30.อีโคไล (E.coli)		ไม่มี	-

หมายเหตุ : ^a เกณฑ์ที่อนุ โลมให้สูงสุดเป็นเกณฑ์ที่อนุญาตให้สำหรับน้ำประปาหรือน้ำบาดาล
ที่มี

ความจำเป็นต้อง ใช้บริโภคเป็นการชั่วคราวและน้ำที่มีคุณลักษณะอยู่ในระหว่าง
เกณฑ์กำหนดสูงสุด กับเกณฑ์อนุ โลมสูงสุดนั้น ไม่ใช่ น้ำที่ ให้เครื่องหมาย

มาตรฐานได้

^b หากคลอรีนมีปริมาณสูงกว่าที่กำหนด และมักเนเซียม มีปริมาณต่ำกว่าที่กำหนด
ใน มาตรฐานให้พิจารณาคลอรีนและมักเนเซียมในทอมของความกระด้าง
ทั้งหมด (Total Hardness) ถ้าวรวมความกระด้างทั้งหมดเมื่อคำนวณเป็นคลอรีน
คาร์บอเนต มี ปริมาณต่ำกว่า 300 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ถือว่าน้ำนั้นเป็นไปตามมาตรฐานการแบ่งระดับความกระด้างของน้ำ
ดังต่อไปนี้

0 ถึง 75 มิลลิกรัมต่อลิตร เรียกว่า น้ำอ่อน

75 ถึง 150 มิลลิกรัมต่อลิตร เรียก น้ำกระด้างปานกลาง

150 ถึง 300 มิลลิกรัมต่อลิตร เรียก น้ำกระด้าง

300 มิลลิกรัมต่อลิตรขึ้นไป เรียก น้ำกระด้างมาก

^c หากซัลเฟต มีปริมาณถึง 250 มิลลิกรัมต่อลิตร แมกเนเซียม ต้องมีปริมาณไม่
เกิน 30 มิลลิกรัมต่อลิตร (มิลลิกรัมต่อลิตร = มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร)

2.2.3 มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท

มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท			
คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน (เกณฑ์อนุโลม สูงสุด)
ทางกายภาพ	1.สี (Colour)	ฮาเซนยูนิต (Hazen)	20
	2.กลิ่น (Odour)	-	ไม่มีกลิ่น(ไม่รวมกลิ่น คลอรีน)
	3.ความขุ่น (Turbidity)	ซิติกาสเกลยูนิต (Sifics scale unit)	5
	4.ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	6.5-8.5
ทางเคมี	5.ปริมาณสารทั้งหมด (Total solids)	มก./ล.	500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง(ต่อ)

มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท			
คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน (เกณฑ์อนุโลมสูงสุด)
ทางเคมี	6.ความกระด้างทั้งหมด (Total Hardness)	มก./ล.	100
	7.สารหนู (As)	มก./ล.	0.05
	8.แบเรียม (Ba)	มก./ล.	1.0
	9.แคดเมียม (Cd)	มก./ล.	0.005
	10.คลอไรด์ (Cl, คำนวณเป็นคลอไรน์)	มก./ล.	250
	11.โครเมียม (Cr)	มก./ล.	0.05
	12.ทองแดง (Cu)	มก./ล.	1.0
	13.เหล็ก (Fe)	มก./ล.	0.3
	14.ตะกั่ว (Pb)	มก./ล.	0.05
	15.แมงกานีส (Mn)	มก./ล.	0.05
	16.ปรอท (Hg)	มก./ล.	0.002
	17.ไนเตรต ((NO ₃ -N, คำนวณเป็นไนโตรเจน)	มก./ล.	4.0
	18.ฟีนอล (Phenols)	มก./ล.	0.001
	19.ซีลีเนียม (Se)	มก./ล.	0.01
	20.เงิน (Ag)	มก./ล.	0.05
	21.ซัลเฟต (SO ₄)	มก./ล.	250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง(ต่อ)

มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท			
คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน (เกณฑ์อนุโลมสูงสุด)
ทางเคมี	23.ฟลูออไรด์ (F) (คำนวณเป็นฟลูออรีน)	มก./ล.	1.5
	24.อะลูมิเนียม	มก./ล.	0.2
	25.เอทิลเบนโซส (Akylbenzene Sulfonate)	มก./ล.	0.2
	26.ไซยาไนด์	มก./ล.	0.1
ทางแบคทีเรีย	27.โคลิฟอร์ม (Coliform)	เอ็ม.พี.เอ็น/100 มล.	2.2
	28.อี. โคไล (E.coli)	เอ็ม.พี.เอ็น/100 มล.	ตรวจไม่พบ
	29.จุลินทรีย์ทำให้เกิดโรค (Disease-Causing bacteria)	เอ็ม.พี.เอ็น/100 มล.	ตรวจไม่พบ

แหล่งที่มา: ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61 (พ.ศ. 2524) เรื่องน้ำบริโภคในภาชนะที่ปิดสนิท ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 98 ตอนที่ 157 (ฉบับพิเศษ) ลงวันที่ 24 กันยายน 2524 ซึ่งได้แก้ไขเพิ่มเติมโดย ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 135 (พ.ศ. 2534) เรื่อง น้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท (ฉบับที่ 2) ลงวันที่ 26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2534 ตีพิมพ์ในหนังสือราชกิจจานุเบกษา เล่ม 108 ตอนที่ 61 ลงวันที่ 2 เมษายน 2534

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค

มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค				
คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด
			เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม	
ทางกายภาพ	1.สี (Colour)	ปลาตินัม-โคบอลต์	5	15
	2.ความขุ่น (Turbidity)	หน่วยความขุ่น	5	20
	3.ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	7.0-8.5	6.5-9.2
ทางเคมี	4.เหล็ก (Fe)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 0.5	1.0
	5.แมงกานีส (Mn)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 0.3	0.5
	6.ทองแดง (Cu)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 1.0	1.5
	7.สังกะสี (Zn)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 5.0	15
	8.ซัลเฟต (SO ₄)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 200	250
	9.คลอไรด์ (Cl)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 250	600
	10.ฟลูออไรด์ (F)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 0.7	1.0
	11.ไนเตรต(NO ₃)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 45	45
	12.ความกระด้างทั้งหมด (Total Hardness as CaCO ₃)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 300	500
	13.ความกระด้างถาวร (Non carbonate hardness as CaCO ₃)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 200	250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง(ต่อ)

มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค					
	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน เกณฑ์กำหนดที่ เหมาะสม	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด	
คุณลักษณะ สารพิษ	14.ปริมาณสารทั้งหมดที่ ละลายได้	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 600	1,200	
	15.สารหนู (As)	มก./ล.	ต้องไม่มีเลข	0.05	
	16.ไซยาไนด์ (CN)	มก./ล.	ต้องไม่มีเลข	0.1	
	17.ตะกั่ว (Pb)	มก./ล.	ต้องไม่มีเลข	0.05	
	18.ปรอท (Hg)	มก./ล.	ต้องไม่มีเลข	0.001	
	19.แคดเมียม (Cd)	มก./ล.	ต้องไม่มีเลข	0.01	
	20.ซีลีเนียม (Se)	มก./ล.	ต้องไม่มีเลข	0.01	
	21.บักเตรีที่ตรวจพบ โดยวิธี Standrd plate count	โคโลนีต่อ ลบ.ซม.	ไม่เกินกว่า 500	-	
	ทางบักเตรี	22.บักเตรีที่ตรวจพบ โดยวิธี Most Problem Number (MPN)	เอ็ม.พี.เอ็น ต่อ 100 ลบ. ซม.	น้อยกว่า 2.2	-
		23.อี.โคไล (E.coli)	-	ต้องไม่มีเลข	-

แหล่งที่มา: ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2542) ออกตามความในพระราชบัญญัติน้ำบาดาล พ.ศ. 2520 เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการสำหรับการป้องกันด้านสาธารณสุขและป้องกันสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 112 ตอนที่ 29 ง ลงวันที่ 13 เมษายน 254

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 สารประกอบอินทรีย์ระเหย(Volatile Organic Compounds : VOCs)

สารประกอบอินทรีย์ระเหย(Volatile Organic Compounds : VOCs) ซึ่งมีอันตรายต่อมนุษย์ และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม กล่าวคือสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย มีผลต่อชั้นโอโซนของโลก เมื่อโอโซน(O₃) อยู่ในบรรยากาศชั้นสูงโอโซนทำหน้าที่กรองแสงอุลตราไวโอเล็ตคลื่นสั้นที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตไม่ให้ตกสู่พื้นโลก แต่เมื่อโอโซนอยู่ในบรรยากาศชั้นใกล้โลกกลับเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต กล่าวคือ O₃ สามารถทำให้เกิดอันตรายเฉียบพลันต่อสุขภาพ ทำให้เจ็บไข้ ไม่สบาย เกิดอาการเจ็บคอ หายใจไม่สะดวก เกิดการระคายเคืองต่อสายตา แก้วตา จมูก คอ ทรวงอก หรือมีอาการไอ ปวดศีรษะ เป็นต้น ถ้าได้รับเป็นเวลานานเนื้อเยื่อปอดจะถูกทำลายอย่างถาวรและมีผลกระทบต่อระบบภูมิคุ้มกันของมนุษย์ นอกจากนี้โอโซนยังเป็นตัวออกซิไดส์อย่างแรง ทำให้สิ่งก่อสร้างชำรุด เป็นตัวฟอกสี และทำให้ผลผลิตทางการเกษตรตกต่ำอีกด้วย สารประกอบอินทรีย์ระเหยจะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก และมีไฮโดรเจน, ออกซิเจน, ฟลูออไรด์, คลอไรด์, โบรไมด์, ซัลเฟอร์ หรือไนโตรเจน ประกอบกันเป็นพวก

อะลิฟาติก(Aliphatic) หรืออะโรมาติก(Aromatic) รวมถึงกลุ่มคาร์บอนิล(อัลดีไฮด์ คีโตน)และกลุ่มอัลกอฮอล์ มีความดันไอมากกว่า 0.14 มม.ปรอทที่ 25 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปจะเป็น สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนคาร์บอน 2 ถึง 12 อะตอม ระเหยกลายเป็นไอหรือก๊าซได้ง่ายที่อุณหภูมิห้องมีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลายที่ดี สารประกอบอินทรีย์ระเหย หรือVOCs ในบรรยากาศ จัดเป็นอากาศพิษ (Toxic Air) จึงต้องมีการควบคุม ดูแลอย่างเคร่งครัดเมื่อมีการทำงานที่เกี่ยวข้องกับ VOCs ตัวอย่างของ ตัวทำละลายที่จัดเป็นสารประกอบอินทรีย์ระเหย เช่น เบนซีน ไชลีน โทลูอิน สไตรีน ฟอรั่มัลดีไฮด์ เปอร์คลอโรเอทธิลีน Rubber Solvent และ White Spirit เป็นต้น ในกระบวนการผลิตตัวทำละลาย ดังกล่าว ส่วนใหญ่เป็นระบบปิดทั้งหมด กล่าวคือเป็นหอกถัน การส่งสารละลายและวัตถุดิบผ่านในแต่ละขั้นตอน ใช้ระบบท่อและวาล์วทั้งหมด ในขั้นตอนการผลิตจึงไม่มีไอระเหยของ VOCs ที่ก่อให้เกิดอันตรายเล็ดลอดออกสู่อากาศได้

สรุปอย่างง่ายได้ว่าสารอินทรีย์ไอระเหย (Volatile Organic Compounds, VOCs) คือกลุ่ม สารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยเป็นไอกระจายตัวไปในอากาศ ได้ในที่อุณหภูมิและความดันปกติ โมเลกุลส่วนใหญ่ประกอบด้วยอะตอมคาร์บอนและไฮโดรเจน อาจมีออกซิเจนหรือ คลอรีน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร่วมด้วย สามารถระเหยเป็นไอได้ที่อุณหภูมิห้อง ในชีวิตประจำวันเราได้รับ VOCs จากผลิตภัณฑ์หลายอย่าง เช่น สีทาบ้าน, ควันบุหรี่, น้ำยาฟอกสี, สารตัวทำละลายในพิมพ์, จากอุปกรณ์เครื่องใช้, โรงงานอุตสาหกรรม, น้ำยาซักแห้ง, น้ำยาสำหรับขัดผมและน้ำยาดัดผม, สารฆ่าแมลง, สารที่เกิดจากเผาไหม้ และปะปนในอากาศ น้ำดื่ม เครื่องดื่ม อาหาร สารอินทรีย์ ไอร์ระเหยที่สะสมไว้มากนาน ๆ จะมีผลกระทบทางชีวภาพและเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

2.3.1 เราแบ่ง VOCs ออกตามลักษณะของโมเลกุล เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

2.3.1.1. Non-chlorinated Vocs หรือ Non-halogenated hydrocarbons ได้แก่ กลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยที่ไม่มีธาตุคลอรีนในโมเลกุล ประกอบด้วย aliphatic hydrocarbons (เช่น fuel oils, ก๊าซโซลีน(gasoline) ,hexane , industrial solvents, ในอุตสาหกรรม alcohols, aldehydes, ketone, hexane) และกลุ่มสาร aromatic hydrocarbons (เช่นสารตัวทำละลาย - toluene, benzene, ethylbenzene, xylenes, styrene, phenol) สาร VOCs กลุ่มนี้มาจากสิ่งแวดล้อม การเผาไหม้ของขยะพลาสติก วัสดุ สารตัวทำละลาย สีทาวัสดุ เป็นต้น มีผลเสียต่อสุขภาพ ดังนี้ พนักงานดับเพลิง คนงานเผาขยะ คนเผาถ่าน มักป่วยด้วยโรค ทางเดินลมหายใจบ่อยเพราะได้รับ VOCs ประมาณ 144 ชนิด เป็นประจำจากควันไฟและเชื้อเพลิง ในรูปของ benzene, toluene, naphthalene propene, และ 1,3-butadiene, styrene และ alkyl-substituted benzene compounds อื่นๆ xylenes, 1-butene/2-methylpropene, propane, 2-methylbutane, ethylbenzene, naphthalene, isopropylbenzene รวมกันในปริมาณสูงถึง 76.8 %ของ VOCs ทั้งหมดที่วัดได้

VOCs ชนิด Non-chlorinate ในกลุ่มของ aromatic hydrocarbon ดังนี้

โทลูอิน (Toluene)

คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี

สูตรโมเลกุล C_7H_8

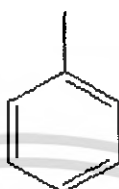
น้ำหนักโมเลกุล 92.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CAS No. 108-88-3

ชื่ออื่นๆ Toluene; Phenyl methane

สูตรโครงสร้าง



รูปที่ 2.1 โครงสร้างโทลูอิน

สถานะ : ของเหลว สี :ใส ไม่มีสี กลิ่น : เฉพาะตัว อะโรมาติก
 จุดเดือด : 110.6 °C ความถ่วงจำเพาะ(น้ำ=1) : 0.87
 จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง (°C) : -126 ความหนาแน่นไอ(อากาศ=1) : 3.2
 ความหนืด(mPa.sec) : 0.59 ความดันไอ(มม.ปรอท) : 22 ที่ 20 °C
 ความสามารถในการละลายน้ำที่ (กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร) : 0.054-0.058 ที่ - องศาเซลเซียส
 ความเป็นกรดต่าง - ที่ 25 องศาเซลเซียส

การเข้าสู่สิ่งแวดล้อม (pathways into the environment)

แหล่งสำคัญที่แพร่กระจาย toluene ออกสู่สิ่งแวดล้อม ได้แก่ แหล่งอุตสาหกรรมที่มีการใช้ toluene ทำให้ toluene พุ้งกระจายอยู่ในบรรยากาศ และบางส่วนก็ปนเปื้อนมากับน้ำทิ้ง

การแพร่กระจายของสารเคมีทางชีววิทยา (Chemobiokinetics)

1. การดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย (absorbtion)

การเข้าสู่ร่างกายของสาร toluene ส่วนใหญ่ผ่านเข้าไปโดยผ่านการหายใจและสามารถผ่านเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

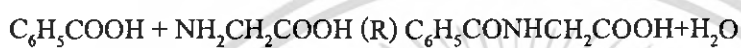
ไปโดยผ่านทางผิวหนัง ถึงแม้ว่าผิวหนังจะดูดซึมได้ช้าแต่ก็ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังได้

2. เมตาโบลิซึม (metabolism)

toluene ที่เข้าสู่ร่างกายส่วนใหญ่มักจะถูกออกซิไดซ์ไปเป็น benzoic acid ($\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$)

3. การขับออกจากร่างกาย (excretion)

เมื่อ toluene ถูกออกซิไดซ์ไปเป็น benzoic acid จะรวมกับ glycine ขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะในรูปของ hippuric acid ดังสมการข้างล่าง



Benzoic acid glycine hippuric acid

ปริมาณของ hippuric acid ที่ขับออกมากับปัสสาวะในคนปกติทั่วไป จะขึ้นอยู่กับแต่ละบุคคลและอาหารที่รับประทาน ซึ่งรายงานการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณ hippuric acid ที่ขับออกมากับปัสสาวะในคนปกติทั่วไป ประมาณ 0.7 กรัมต่อวัน

สำหรับในคนงานที่ต้องสัมผัสกับ toluene ที่ฟุ้งกระจายอยู่ในบรรยากาศการทำงาน ปริมาณ hippuric acid ที่ขับออกมากับปัสสาวะจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณความเข้มข้นของ toluene ในอากาศคือ ถ้าคนงานต้องสูดหายใจเอา toluene ในอากาศที่เข้มข้น ในช่วง 100-600 ppm เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ปริมาณ hippuric acid ที่ขับออกมากับปัสสาวะประมาณ 1.2 กรัมต่อวัน ซึ่งสูงกว่าในคนงานที่สูดหายใจ toluene ในอากาศที่เข้มข้นประมาณ 100 ppm และจะขับ hippuric acid ออกมากับปัสสาวะประมาณ 0.367 mg/l

ความเป็นพิษ (toxicity)

1. ความเป็นพิษเฉียบพลัน (acute toxicity)

toluene เป็นสารที่ทำให้ผู้สูดหายใจเข้าไปเกิดอาการมึนงงและมีความเป็นพิษแบบเฉียบพลันรุนแรงกว่า benzene ซึ่งปริมาณความเข้มข้นที่ก่อให้เกิดพิษแบบเฉียบพลันต่อคน ดังแสดงในตาราง

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตารางที่ 2.4 ความเป็นพิษแบบเฉียบพลันที่มีต่อคน

ปริมาณความเข้มข้น (ppm)	ระยะเวลาที่สัมผัส (ชั่วโมง)	ผลที่เกิดขึ้น (effect)
50 - 100	-	ไม่สังเกตเห็นอาการความแตกต่างหลังการสัมผัส
200	8	เกิดอาการบวมเล็กน้อยได้แก่ อาการเหนื่อยล้า อ่อนเพลีย ความคิดสับสน เกิดอาการชาที่ผิวหนัง อาการเหนื่อล้าจะคงอยู่เป็นเวลาหลายชั่วโมง และเกิดอาการนอนไม่หลับและกระวนกระวาย
300	8	เกิดอาการข้างต้นเด่นชัดขึ้น
400	8	เกิดอาการข้างต้นและมีอาการจิตใจฟุ้งซ่าน สับสน
500	8	เกิดอาการมึนงง เหนื่อยและเมื่อยล้ามาก ใจจืดใจฟุ้งซ่านและสับสน คลื่นเหียน ปวดศีรษะและเวียนศีรษะ บางรายถึงกับหมดสติ
800	-	เกิดอาการคล้ายคลึงกับอาการมรากสาวมาแล้วข้างต้นแต่ใช้เวลาสัมผัสน้อยกว่า
>800	-	มีอาการข้างต้น และยังมีอาการอื่น เช่น โลหิตจางและตับโต

2. ความเป็นพิษเรื้อรัง (chronic toxicity)

ความเป็นพิษแบบเรื้อรังไม่ถึงขั้นก่อให้เกิดความมึนงงแบบรุนแรง หรือการเปลี่ยนแปลงของเม็ดเลือด แต่จะก่อให้เกิดความไม่สัมพันธ์ของการเคลื่อนไหว (impairment of coordination) และระบบประสาทไม่ดีซึ่งมีผลทำให้เกิดความระคายเคืองต่อผิวหนัง ผิวหนังไม่มีไขมันและผิวหนังอักเสบ

3. อันตราย

toluene เป็นสารที่เสี่ยงต่อการติดไฟและระเบิด

107873

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบำบัดรักษา (Treatment of poisoning)

เมื่อมีอุบัติเหตุหรือเหตุฉุกเฉินเนื่องจากสาร toluene จะต้องดำเนินการปฐมพยาบาลก่อน ตามลักษณะที่ได้รับสารคือ

1. เมื่อกระเด็นถูกตา ต้องล้างตาทันทีด้วยน้ำสะอาดจำนวนมากๆ และคอยปิดเปิดตาเป็นครั้งคราว ถ้าล้างแล้วยังเกิดความระคายเคือง ควรนำส่งแพทย์ทันทีแต่ไม่ควรใส่คอนแทกเลนส์เมื่อต้องทำงานกับสารนี้
2. เมื่อกระเด็นถูกผิวหนัง ต้องทำความสะอาดผิวหนังด้วยสบู่และน้ำ แต่ถ้าเสื้อผ้าที่สวมใส่ชุ่มโชกด้วยสารนี้ ต้องถอดเสื้อผ้าที่สวมใส่ออกทันทีและทำความสะอาดร่างกายด้วยสบู่และน้ำ ถ้าทำความสะอาดแล้วยังมีอาการระคายเคืองที่ผิวหนังควรนำส่งแพทย์ทันที
3. เมื่อหายใจเอา toluene ที่มีความเข้มข้นสูงๆ เข้าไป ควรเคลื่อนย้ายผู้สัมผัสให้ได้รับอากาศบริสุทธิ์ทันที ถ้าหายใจอ่อนต้องให้ออกซิเจนหรือนำส่งแพทย์ทันที
4. ถ้ากลืนกินเข้าไป ต้องนำส่งแพทย์ทันที อย่าพยายามทำให้คนไข้อาเจียนออกมา

การจัดการของเสียหรือของเหลือใช้ (waste management)

กำจัดโดยวิธีการเผา โดยการพ่นลงไปในเตาเผา และจะเผาได้ง่ายเมื่อผสมกับสารทำลายชนิดอื่นที่ไวไฟ

เบนซีน (Benzene)

โมเลกุลของเบนซีนประกอบด้วยคาร์บอน 6 อะตอมต่อกันเป็นวง มีสูตร โมเลกุลเป็น C_6H_6 พันธะระหว่างอะตอมของคาร์บอนเป็นพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยว พันธะระหว่างคาร์บอนทั้ง 6 อะตอมมีความยาวเท่ากัน คือ 136 พิโกเมตร เบนซีนจัดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เรียกว่าอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน เขียนสูตรโครงสร้างได้ดังนี้

คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี

สูตรโมเลกุล C_6H_6

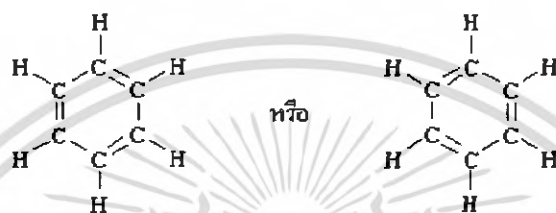
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักโมเลกุล 78.11

CAS No. 71-43-2

ชื่ออื่นๆ Benzol; Cyclohexatriene; Phenyl hydride

สูตรโครงสร้าง



หรือเขียนเป็นสูตรแบบย่อได้ดังนี้



หรือ



หรือ



รูปที่ 2.2 โครงสร้างเบนซีน

สถานะ : ของเหลว สี : สีส ำไม่มีสี กลิ่น : เฉพาะตัว อะโรมาติก

จุดเดือด : 80 °C ความถ่วงจำเพาะ(น้ำ=1) : 0.877

จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง (°C) : 5.5 ความหนาแน่นไอ(อากาศ=1) : 2.7

ความหนืด(mPa.sec) : 0.647 ความดันไอ(มม.ปรอท) : 75 ที่ 2 °C

ความสามารถในการละลายน้ำที่ (กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร) : 0.18 ที่ 25 องศาเซลเซียส

ความเป็นกรดต่าง -

แหล่งที่พบ

เบนซีน เกิดขึ้นได้จากปรากฏการณ์ทางธรรมชาติต่าง ๆ เช่น ไฟป่า และภูเขาไฟระเบิด

นอกจากนี้แหล่งที่พบทั่วไป คือ เกิดจากผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่าง ๆ เนื่องจากเบนซินเป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติก ไนลอน และผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น สารหล่อลื่นสียาง เป็นต้น

ร่างกายมนุษย์สามารถได้รับเบนซินได้หลายทาง ได้แก่ คิวบหรี่ ไอเสียจากยานพาหนะต่าง ๆ คิวบหรี่ที่ปล่อยออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรม และจากผลิตภัณฑ์ที่มีเบนซินเป็นองค์ประกอบ เช่น กาว สี เป็นต้น

อันตรายต่อสุขภาพ

เมื่อได้รับเบนซินเข้าไปในระยะแรก ๆ จะเกิดอาการวิงเวียน คลื่นไส้ ถ้าดื่มหรือกินอาหารที่มีเบนซินปนเปื้อนอยู่สูง จะทำให้มีอาการปวดท้องเนื่องจากกระเพาะถูกกักร้อน เวียนศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน ง่วงนอน ชัก หัวใจเต้นแรง และอาจเสียชีวิตได้เมื่อหายใจเอาเบนซินเข้าไปในระดับสูงและเป็นเวลานานอาจทำให้เชื้องซึม วิงเวียน หมคสติ ใจสั่น อาจรุนแรงจนถึงขั้นเสียชีวิตได้ และเมื่อสูดดมเป็นเวลานานจะทำให้เป็นโรคมะเร็งเม็ดเลือด(Leukemia)ได้

การได้รับเบนซินเป็นเวลานานจะมีผลทำให้เป็นโรคโลหิตจาง (Anemia) ได้ เนื่องจากเบนซินจะเข้าไปทำลายไขกระดูก ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้จำนวนเม็ดเลือดลดลง และทำลายระบบภูมิคุ้มกันภายในร่างกายได้ ดังนั้นเราควรหลีกเลี่ยงบริเวณที่จะทำให้เราได้รับอันตรายจากเบนซิน ได้พยายามไม่เข้าไปใกล้บริเวณที่มีเบนซินอยู่เป็นเวลานานจนเกินไป และถ้าได้รับเบนซินเข้าไปในร่างกาย ควรรีบปรึกษาแพทย์ทันที เพราะอาจมีผลต่อร่างกายได้

2.3.1.2. chlorinated Vocs หรือ halogenated hydrocarbons ได้แก่ กลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยที่มีธาตุคลอรีนในโมเลกุล ได้แก่ สารเคมีที่สังเคราะห์ใช้ในอุตสาหกรรมสาร chlorinated VOCs นี้มีความเป็นพิษมากกว่าและเสถียรตัวในสิ่งแวดล้อมมากกว่าสารกลุ่มแรก (non-chlorinated VOCs) เพราะมีโครงสร้างที่มีพันธะระหว่างคาร์บอนและธาตุกลุ่มฮาโลเจนที่ทนทานมาก ยากต่อการสลายตัวในธรรมชาติ ทางชีวภาพ ทางกายภาพ หรือโดยทางวิธีเคมีทั่วไป มีความคงตัวสูงและสะสมได้นาน สลายตัวทาง ชีวภาพได้ยาก รบกวนการทำงานของสารพันธุกรรม หรือ ยับยั้งปฏิกิริยาชีวเคมีในเซลล์ และมีฤทธิ์ในการก่อมะเร็ง หรือกระตุ้นการเกิดมะเร็งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างสารอินทรีย์ ไอร์อะเฮซได้ ชนิด halogenated VOCs

ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างของ halogenated hydrocarbons ที่พบในสิ่งแวดล้อม

1,1,1,2-Tetrachloroethane	Bromoform	Glycerol trichlorohydrin
1,1,1-Trichloroethane	Bromomethane	Hexachlorobutadiene
1,1,2,2-Tetrachloroethane	Carbon tetrachloride	Hexachlorocyclopentadiene
1,1,2-Tetrachloroethane	Chlorodibromomethane	Hexachloroethane
1,1-Dichloroethane	Chloroethane	Methylene chloride
1,1-Dichloroethylene	Chloroform	Neoprene
1,2,2-Trifluoroethane (Freon 113)	Chloromethane	Pentachloroethane
1,2-Dichloroethane	Chloropropane	Perchloroethylene
1,2-Dichloropropane	Cis-1,2-dichloroethylene	Propylene dichloride
1,2-Trans-dichloroethylene	Cis-1,3-dichloropropene	Trichlorotrifluoroethane
1,3-cis-dichlor-1-propene	Dibromchloropropane	Monochlorobenzene
1,3-trans- dichlorpropene	Dibromomethane	Tetrachloroethylene (Perchloroethylene) (PCE)
1-chloro-2-propene	Dichlorobromomethane	Trichloroethylene (TCE)
2-butylene dichloride	Dichloromethane(DCM)	Vinyl chloride
Acetylene tetrachloride	Ethylene dibromide	Vinyl trichloride
Bromodichloromethane	Fluorotrichloromethane (Freon 11)	Vinylidene chloride

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลอโรฟอร์ม (Chloroform)

คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี

สูตรโมเลกุล CHCl_3

CAS No. 67-66-3

น้ำหนักโมเลกุล 119.38

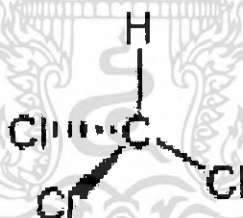
ชื่ออื่นๆ Chloroform

ชื่อพ้องอื่นๆ : Methyl trichloride; Chloroform; Refrigerant R20; Formyl trichloride;

Methane trichloride; Methenyl trichloride; Trichloroform; R 20; R 20 (refrigerant);

Chloroform

สูตรโครงสร้าง



รูปที่ 2.3 โครงสร้างคลอโรฟอร์ม

สถานะ : ของเหลว สี : ใส ไม่มีสี กลิ่น : กลิ่นอีเทอร์

จุดเดือด : $62\text{ }^{\circ}\text{C}$ ความถ่วงจำเพาะ(น้ำ=1) : 1.48

จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง ($^{\circ}\text{C}$) : -63.5 ความหนาแน่นไอ(อากาศ=1) : 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนืด(mPa.sec) : 0.56 ความดันไอ(มม.ปรอท) : 160 ที่ 20 °C

ความสามารถในการละลายน้ำที่ (กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร) : 0.8 ที่ 20 องศาเซลเซียส

ความเป็นกรดค่า - ที่ - องศาเซลเซียส

อันตรายต่อสุขภาพ

1. สัมผัสทางหายใจ

การหายใจเข้าไปทำให้ร่างกายหมดความรู้สึกหรือสลบได้ทำให้ระบบการหายใจ และมีผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลางมีอาการปวดศีรษะ เวียนศีรษะ ถ้าหายใจเอาสารที่มีความเข้มข้นสูงเข้าไปจะทำให้หมดสติ และถึงตายได้ ทำให้ไตถูกทำลาย ความผิดปกติของระบบเลือด การสัมผัสเป็นระยะเวลานานจะนำไปสู่ความตายได้ทำให้การเดินของหัวใจผิดปกติและไตผิดปกติ

2. สัมผัสทางผิวหนัง

การสัมผัสถูกผิวหนัง ทำให้ระคายเคืองต่อผิวหนัง มีผื่นแดงและมีอาการเจ็บปวด ทำลายน้ำมันธรรมชาติในร่างกาย สารนี้สามารถซึมผ่านผิวหนังได้

3. กินหรือกลืนเข้าไป

การกลืนหรือกินเข้าไปจะทำให้เกิดแผลไหม้บริเวณปาก,ลำคอ ทำให้มีอาการเจ็บหน้าอก และอาเจียนได้ การกลืนเข้าไปในปริมาณมาก จะก่อให้เกิดอาการคล้ายกับการหายใจเข้าไป

4. สัมผัสถูกตา

การสัมผัสถูกตา ไรระเหยของสารเคมีนี้จะทำให้เกิดการเจ็บปวดและระคายเคืองต่อตา ถ้าสารเคมีกระเด็นเข้าตา จะทำให้เกิดระคายเคืองอย่างรุนแรง และอาจทำให้ตาบอดได้

5. การก่อมะเร็ง ความผิดปกติ,อื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาการ : ถ้าสัมผัสไอรระเหยของสารนี้เป็นระยะเวลาานหรือสัมผัสถูกสารเคมีบ่อยๆอาจจะทำให้ระบบประสาทส่วนกลาง หัวใจ คับ และไต ถูกทำลายได้ผลกระทบจากการสัมผัสกับของเหลว จะทำให้ไขมันถูกทำลายลง อาจจะทำให้ผิวหนังมีการระคายเคืองเรื้อรัง ทำให้ผิวหนังแห้ง และเกิดผิวหนังอักเสบได้ สารคลอโรฟอร์มนี้ถูกสงสัยว่าจะเป็นสารก่อมะเร็งต่อมนุษย์

ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane)

คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี

สูตรโมเลกุล CH_2Cl_2

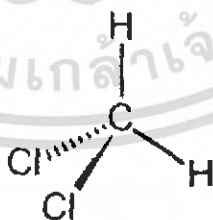
CAS No. 75-09-2

น้ำหนักโมเลกุล 84.93

ชื่อทั่วไป Methylene chloride

ชื่อพ้องอื่นๆ : Methylene dichloride; Methane dichloride; R 30; Aerothene MM; Refrigerant 30; Freon 30; DCM; Narkotil; Solaesthin; Solmethine; ; Plastisolve; Methylene Chloride (Dichloromethane)

สูตรโครงสร้าง



รูปที่ 2.4 โครงสร้างไดคลอโรมีเทน

สถานะ : ของเหลว

สี : โส ไม่มีสี

กลิ่น : คล้ายคลิ่นอีเทอร์

จุดเดือด : $39.8\text{ }^{\circ}\text{C}$

ความถ่วงจำเพาะ(น้ำ=1) : 1.326

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง (°C) : -97 ความหนาแน่นไอ(อากาศ=1) : 2.9

ความหนืด(mPa.sec) : 0.43 ความดันไอ(มม.ปรอท) : 340 ที่ 20 °C

ความสามารถในการละลายน้ำที่ (กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร) : 2 ที่ 20 องศาเซลเซียส

ความเป็นกรดค่า - ที่ - องศาเซลเซียส

อันตรายต่อสุขภาพ

1. สัมผัสทางหายใจ

การหายใจเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคือง และถ้าได้รับในปริมาณมาก จะก่อให้เกิดอาการมึนงง ปวดศีรษะ ง่วงซึม หัวใจเต้นผิดปกติ หมดสติ และตายได้

2. สัมผัสทางผิวหนัง

การสัมผัสผิวหนังจะก่อให้เกิดการระคายเคือง อาจทำให้เป็นโรคมะเร็งได้

3. กินหรือกลืนเข้าไป

การกลืนหรือกินเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อกระเพาะอาหาร อาเจียน ถ้าหายใจเอาสารนี้เข้าไปขณะที่อาเจียน จะทำให้เป็นโรคปอดบวม และมีผลต่อร่างกาย และถ้ามีสารนี้ปริมาณมากจะมีผลต่อเลือด ตับ ไต และระบบประสาทส่วนกลาง

4. สัมผัสถูกตา

การสัมผัสถูกตา จะก่อให้เกิดการระคายเคือง ทำให้เจ็บตา

5. การก่อกำเนิด ความผิดปกติ,อื่น ๆ

สารนี้อาจจะเป็นสารก่อกำเนิดจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการสารนี้ทำลายปอด ระบบประสาท ทำให้เกิดเนื้องอก

1,2-Dichloroethane

คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี

สูตรโมเลกุล $C_2H_2Cl_2$

CAS No. 156-59-2

น้ำหนักโมเลกุล 96.94

ชื่ออื่นๆ Cis -1,2- dichloroethylene

ชื่อพ้องอื่นๆ : (Z) -, 2 -dichloroethane ; Ethene, 1, 2 dichloro -, (z) - (9 cl) ; R 1130 c ; Hcc 1130 c ; 1,2-Dichloroethylene (cis); (Z)-1,2-dichloroethene; Cis-1,2-dce; Cis-dichloroethylene; (Z)-1,2-dichloroethylene; Cis-Acetylene dichloride; Cis-1,1-Dichloroethane; Dichloroethylene,

สูตรโครงสร้าง



รูปที่ 2.5 1,2-Dichloroethane

สถานะ : ของเหลว

สี : ใส ไม่มีสี

กลิ่น : อุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดเดือด : 60 - 61 °C ความถ่วงจำเพาะ(น้ำ=1) : 0.87

จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง (°C) : -80.5 ความหนาแน่นไอ(อากาศ=1) : 3.34

ความหนืด(mPa.sec) : - ความดันไอ(มม.ปรอท) : 400 ที่ 41 °C

ความสามารถในการละลายน้ำที่ (กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร) : - ที่ - องศาเซลเซียส

ความเป็นกรดด่าง - ที่ - องศาเซลเซียส

อันตรายต่อสุขภาพ

1. สัมผัสทางหายใจ

การหายใจเข้าไป จะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเยื่อจมูก ทางเดินหายใจส่วนบน และ อาจจะเป็นอันตรายได้

2. การสัมผัสทางผิวหนัง

การสัมผัสทางผิวหนัง ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง และอาจได้รับอันตรายได้ ถ้า สารนี้ถูกดูดซึมผ่านทางผิวหนังเข้าสู่ร่างกาย

3. กินหรือกลืนเข้าไป

การกลืนหรือกินเข้าไป จะทำให้เกิดการระคายเคือง

4. สัมผัสถูกตา

การสัมผัสถูกตา จะทำให้เกิดการระคายเคือง ตาแดง

5. การก่อมะเร็งและความผิดปกติอื่นๆ

อวัยวะเป้าหมาย : ระบบประสาทส่วนกลาง ดับ ไต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การจัดการกับสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่เป็นตัวทำละลายในโรงงาน

ในส่วนขั้นตอนการจัดเก็บในถังหรือแท็งก์ จะมีการสูญเสียตัวทำละลายเหล่านี้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ทำให้เกิดการระเหยกลายเป็นไอออกสู่บรรยากาศ ลักษณะของถังเก็บหรือแท็งก์ แบ่งเป็นประเภทได้ ดังนี้

1. Fixed Roof Tank เป็นถังหลังคาธรรมดา มีลักษณะเป็นทรงกระบอก มีหลังคายึดติดกับถังก่อสร้าง โดยการเชื่อมติดตลอดทั้งถัง หลังคาอาจเป็นรูปกรวย รูปโดมหรือแผ่นราบ โดยจะมีท่อระบายความดันหรือระบายไอระเหย เพื่อป้องกันความเสียหายจากความดันภายในถัง

2. Internal Floating Roof Tank เป็นถังรูปทรงกระบอก ภายในถังมีหลังคาลอยและมีหลังคาธรรมดาปกคลุมด้านบนของถังอีกชั้นหนึ่ง ถังชนิดนี้มี 2 ชนิด คือ ถังที่ภายในมีเสาค้ำหลังคาธรรมดา และถังที่ภายในไม่มีเสาค้ำ

3. External Floating Roof Tank : รูปทรงของถังเหมือน Internal Floating Roof Tank แต่ไม่มีหลังคาธรรมดาปกคลุมบนหลังคาลอย

2.5 ประเภทของการสูญเสียจากการระเหยของตัวทำละลาย

1. การสูญเสียจากการจัดเก็บ (Standing Storage Loss หรือ Breathing Loss คือ การสูญเสียของไอระเหย เนื่องจากการขยายตัวและการหดตัวของส่วนผสมของอากาศและไอ เนื่องมาจากการ ถ่ายเทความร้อนผ่านถัง กล่าวคือ เมื่อถังและตัวทำละลายภายในถัง ได้รับความร้อนจากบรรยากาศภายนอก ตัวทำละลายซึ่งเป็นของเหลวจะขยายตัวได้ดีกว่ามิวถึง ตัวทำละลายที่ขยายตัวเพิ่มขึ้นนี้จะแทนที่ไอระเหยของตัวทำละลายที่มีอยู่ภายในถัง ทำให้ไอระเหยดังกล่าวพุ่งกระจายออกสู่บรรยากาศหรือ สิ่งแวดล้อมภายนอก

2. การสูญเสียจากการขนถ่าย (Working Loss) เป็นการสูญเสียเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระดับของตัวทำละลายในถัง การสูญเสียประเภทนี้เป็นการสูญเสียในระหว่างการเติมตัวทำละลาย

เข้าถึง เนื่องจากระดับที่เพิ่มขึ้นของตัวทำละลายจะไปแทนที่ไอระเหยของตัวทำละลายที่มีอยู่ภายใน
ถึงทำให้ไอระเหยดังกล่าวฟุ้งกระจายออกสู่อากาศหรือสิ่งแวดล้อม

ตัวแปรสำคัญที่เป็นปัจจัยในการระเหยของตัวทำละลาย ได้แก่

- ชนิดของตัวทำละลาย
- ความดันไอและอุณหภูมิของตัวทำละลาย
- ความหนาแน่นของตัวทำละลายและไอของตัวทำละลาย
- น้ำหนัก โมเลกุลและมวลของไอตัวทำละลาย
- ปริมาตรส่วนผสมของไอตัวทำละลายและอากาศ ปริมาตรของไอตัวทำละลาย
ในถัง

การสูญเสียดังกล่าว นอกจากจะเป็นการสูญเสียผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปขายได้แล้ว และ
ยังเป็นการสูญเสียที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพอากาศอีกด้วย เพราะตัวทำละลายเหล่านี้ ล้วน
เป็นสารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds : VOCs) แทบทั้งสิ้น ไอระเหยที่เกิดขึ้นจะทำ
ปฏิกิริยากับออกไซด์ของไนโตรเจนในบรรยากาศโดยมีความร้อนจากแสงอาทิตย์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
ทำให้เกิดก๊าซโอโซน (O_3) หรือที่เรียกว่า Photochemical Smog นั่นเอง ในปัจจุบันก๊าซโอโซนเป็น
สารมลพิษ ทางอากาศที่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม รองจากฝุ่นละออง

2.6 ขั้นตอนที่ต้องจัดการควบคุม

1. การควบคุมไอระเหยของตัวทำละลายที่โรงงานผลิต

การควบคุมไอระเหยของตัวทำละลายที่โรงงานผลิตเป็นการควบคุมการแพร่กระจายของไอ
ระเหยออกสู่อากาศ ในขณะที่บรรจุตัวทำละลายจากสายการผลิตลงสู่ถังเก็บของโรงงาน โดยการ
เก็บไอระเหยของตัวทำละลายจากถังเก็บขณะที่ทำการบรรจุ และต้องนำไปผ่านกระบวนการนำ
กลับมาใช้ใหม่ (Vapor Recovery) โดยไม่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การควบคุมไอระเหยของตัวทำละลายขณะบรรจุตัวทำละลายสู่ถังเก็บของลูกค้า

การควบคุมในขั้นตอนนี้เป็นการควบคุมการแพร่กระจายของไอระเหยของตัวทำละลายไปสู่บรรยากาศในขณะถ่ายเทตัวทำละลายจากรถขนส่งลงสู่ถังเก็บของลูกค้า โดยการเก็บไอระเหยที่สะสมในถังเก็บผ่านระบบท่อเข้าสู่ถังขนส่งของรถขนส่ง นำกลับไปยังโรงงานผู้ผลิต เพื่อเข้าสู่ระบบการนำกลับมาใช้ใหม่ หรืออาจกำจัดทิ้งอย่างถูกต้องต่อไป

3. การควบคุมไอระเหยของตัวทำละลายที่รถขนส่ง

รถขนส่ง เป็นตัวกลางที่นำตัวทำละลายจากโรงงานผลิตส่งไปยังสถานประกอบการหรือโรงงานของลูกค้าที่นำตัวทำละลายนั้นไปใช้ ในขณะเดียวกันต้องนำไอระเหยของตัวทำละลายจากโรงงานลูกค้ากลับมายังโรงงานผู้ผลิต ปัจจุบันการถ่ายเทตัวทำละลายของรถขนส่งเป็นแบบ Top Loading ซึ่งต้องเปิดช่องคนลง (Man hole) ด้านบน แล้วจึงเติมตัวทำละลาย ทำให้ไอระเหยทั้งหมดที่อยู่ในถังของรถขนส่งที่เกิดขึ้นระหว่างการเติม ฟุ้งกระจายออกสู่บรรยากาศ ในการควบคุมไอระเหยจึงควรใช้ระบบเติมตัวทำละลายจากด้านล่าง (Bottom Loading) พร้อมติดตั้งระบบควบคุมไอระเหยเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

ระบบควบคุมไอระเหยของตัวทำละลายขณะถ่ายเทใส่รถบรรทุก (Tank Truck) หลักการที่สำคัญ

1.รถบรรทุกจะรับตัวทำละลายทางด้านล่าง (Bottom Loading)

2.ไอระเหยภายในรถจะเข้าสู่ระบบ Vapor Recovery ผ่านกระบวนการแยกอากาศและไอระเหยของตัวทำละลาย โดยอากาศจะระบายทิ้งสู่บรรยากาศ ส่วนไอระเหยของตัวทำละลายจะถูกทำให้เป็นของเหลว แล้วสูบกลับสู่แท็งก์หรือถังเก็บ

2.7 ระบบการนำไอระเหยกลับมาใช้ใหม่ (Vapor Recovery)

ระบบการนำไอระเหยกลับมาใช้ใหม่ หมายถึง ระบบที่นำไอระเหยของตัวทำละลาย ซึ่งเป็นสารพวกไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) จากการจ่าย การบรรจุ หมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ เพื่อป้องกันไม่ให้ไอระเหยของตัวทำละลายออกสู่ภายนอก เพื่อคุณภาพอากาศและสภาพแวดล้อมที่ดี เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบการนำไอระเหยกลับมาใช้ใหม่นั้นมีหลายวิธี เช่นกระบวนการดูดซับและการควบแน่น (Adsorption-Condensation) กระบวนการดูดซับและดูดซึม (Absorption-Absorption) กระบวนการดูดซึม 2 ชั้น (Absorption - Absorption) กระบวนการแพร่โดยผ่านตัวกลางและดูดซึม (Membrane-Absorption) เป็นต้น ซึ่งทุกวิธีโดยหลักการจะเป็นการรวบรวมเฉพาะไอระเหยของไฮโดรคาร์บอน อาจด้วยวิธีดูดซับ (การติดบนผิวบาง ๆ ที่ผิวของ Solid body) หรือการดูดซึม (การดูดเข้าไปข้างในของแผ่นดูดซึม) อากาศจะผ่านออกไป จากนั้นจะแยกไอระเหยของไฮโดรคาร์บอนออกจากตัวดูดซับหรือตัวดูดซึมนั้น โดยการควบคุมความดันหรืออุณหภูมิ แล้วแต่กรณี ระบบการนำไอระเหยกลับมาใช้ใหม่นี้ในระบบจะบรรจุด้วย ตัวทำลายกับอากาศ ซึ่งอาจเกิดการระเบิดได้ จึงต้องมีการระมัดระวังในการใช้งานดังนี้

- 1.เมื่อเกิดปัญหาที่ระบบการนำไอระเหยกลับมาใช้ใหม่ ควรมีระบบปิดอัตโนมัติ และจัดการแก้ไขโดยเร็ว
- 2.ควรตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอเพื่อแน่ใจว่าระบบการนำไอระเหยกลับมาใช้ใหม่
- 3.ทำงานอยู่ในขีดจำกัดที่ได้ออกแบบไว้
- 4.ในบริเวณระบบต้องไม่มีแหล่งที่ก่อให้เกิดประกายไฟ
- 5.ควรติดตั้งอุปกรณ์ดับจับเปลวไฟ (Flame Arrestor) เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดเปลวไฟลุกลาม ผู้แท้งค์หรือถังจัดเก็บ หากเกิดประกายไฟขึ้น
- 6.ควรต่อ grounding หรือ bonding ที่ท่อทุกท่อ

2.8 มาตรการที่ต้องปฏิบัติในการขนถ่ายและการจัดเก็บตัวทำลายที่จัดเป็นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย

- 1.โรงงานอุตสาหกรรมที่ประกอบกิจการเกี่ยวกับการผลิตตัวทำลายต้องจัดให้มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมไอระเหยของตัวทำลายในบริเวณการขนถ่ายและภาชนะบรรจุตัวทำลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ท่อและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการขนถ่ายตัวทำละลาย และท่อสำหรับอุปกรณ์ควบคุมไอระเหยของตัวทำละลาย ต้องทำด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับตัวทำละลายแต่ละชนิด โดยต้องมีความมั่นคงแข็งแรง และไม่ทำปฏิกิริยากับตัวทำละลายนั้น

3. ภาชนะบรรจุที่ใช้จัดเก็บตัวทำละลายทั้งบนดินและใต้ดินต้องได้รับการออกแบบคำนวณและก่อสร้าง ให้สามารถรับน้ำหนักของตัวทำละลายและรับแรงกระทำต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นต่อตัวภาชนะบรรจุได้โดยปลอดภัย และต้องจัดให้มีการตรวจทดสอบสภาพการใช้งานตามมาตรฐานสากลทุก 5 ปี

4. ภาชนะบรรจุที่จัดเก็บตัวทำละลายต้องมีอุปกรณ์ป้องกันการเติมตัวทำละลายล้นถึง (High Level Cut-off Device) เพื่อปิดการทำงานของปั๊มโดยอัตโนมัติ เมื่อตัวทำละลายในภาชนะบรรจุถึงระดับที่กำหนด และต้องมีท่อระบายแรงดันและสูญญากาศเพื่อปรับความดันภายในภาชนะบรรจุตัว ทำละลาย

5. ภาชนะบรรจุที่ใช้ขนส่งตัวทำละลายและระบบท่อต้องปราศจากการรั่วซึมและต้องมีการตรวจสอบสภาพการใช้งานอย่างสม่ำเสมอ

6. การขนถ่ายตัวทำละลายโดยใช้รถบรรทุกชนิดที่มีถังติดตั้งอยู่กับตัวรถ ต้องใช้วิธีการขนถ่ายได้ถัง (Bottom Loading) และต้องมีลิ้นรับระบายแรงดันและสูญญากาศ เพื่อป้องกันถังเสียหายจากการเปลี่ยนแปลงแรงดันระหว่างการถ่ายเทตัวทำละลาย

7. ระบบไฟฟ้าบริเวณควบคุมการขนถ่ายหรือจ่ายตัวทำละลาย ต้องเป็นประเภทที่ใช้ได้ในบริเวณอันตราย ตามมาตรฐานสากล เช่น NFPA 40 (National Electrical Code) ประเทศสหรัฐอเมริกา

2.9 ข้อเสนอแนะในการจัดการจัดเก็บ

1. ข้อเสนอแนะในการลดการสูญเสียจากถังเก็บโดยเฉพาะถังหลังคาธรรมดา (Fixed Roof Tank)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงหลังคาธรรมดา เป็นถึงซึ่งทนต่อความดันภายในหรือสูญญากาศได้น้อย เป็นถึงซึ่งมีการสูญเสียทั้งจาก Standing Storage Loss และจากการบรรจุเป็นปริมาณมาก และเนื่องจากอัตราการสูญเสียเป็นสัดส่วนกับปริมาณที่ว่างในถังและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของถัง ดังนั้นควรเลือกใช้ถังขนาดเล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ที่ช่วยลดการสูญเสียจากการระเหยได้ เช่น Breather Valve, Pressure-Vacuum Relief Valve หรือ Conservation Vent อุปกรณ์เหล่านี้จะช่วย ป้องกันการไหลเข้าของอากาศ หรือการรั่วไหลของไอได้ Breather Valve ที่ใช้ควรมีลักษณะที่ยอมให้ไอหรืออากาศสามารถไหลออกหรือเข้าได้อย่างรวดเร็ว เมื่อความดันหรือสูญญากาศอยู่เหนือระดับที่ตั้งไว้เล็กน้อย เป็นตัวกันก๊าซรั่วไหลปราศจากการอุดตันและสะดวกต่อการตรวจสอบสภาพและบำรุงรักษา

2. ข้อเสนอแนะในการลดการสูญเสียจากการขนถ่าย

การถ่ายตัวทำละลายลงรถบรรทุก ควรทำภายใต้ผิวของตัวทำละลาย (Subsurface) โดยให้ปลายท่อยื่น ไปอยู่ที่ก้นของถัง เพื่อให้การจ่ายหรือถ่ายเทอยู่ใต้ระดับของระดับผิวตัวทำละลาย ด้วยวิธีนี้การสูญเสียแบบเป็นละออง (Spray Loss) จะไม่เกิดขึ้น การต่อท่อควรระวังไม่ให้อากาศรั่วเข้าออกได้ เพราะการรั่วไหลเข้าได้ของอากาศและไอจะทำให้เกิดการสูญเสียจากการระเหยมากขึ้น การถ่ายเทตัวทำละลายเข้าสู่รถบรรทุกนั้นจะใช้ระบบ Tap Loading โดยต่อท่อเข้าทางด้านบนที่เป็นฝาเปิดปิด (Man hole) ระบบจะเกิดการสูญเสียไอระเหยสู่บรรยากาศมาก วิธีที่ช่วยลดการสูญเสียควรเป็นระบบ Bottom Loading คือ ถายน้ำมันเข้าทางด้านล่าง ปิดฝา Man hole มีท่อต่อให้ไอระเหยผ่านไปยังระบบการนำไอระเหยกลับมาใช้ใหม่

3. ข้อเสนอแนะในการลดการสูญเสียในขณะที่ถ่ายเทตัวทำละลายลงสู่ถังจัดเก็บ

ระบบการถ่ายเทจากรถบรรทุกลงถังจัดเก็บหรือถังบรรจุควรได้รับการปรับปรุง ไอที่ถูกแทนที่โดยตัวทำละลายที่เต็มจะถูกส่งกลับไปยังถังที่รถ การดึงตัวทำละลายออกจากถังบนรถบรรทุกทำให้เกิดสูญญากาศ ซึ่งจะทำให้เกิดการดูดไอออกไปจากถังบรรจุไปสู่ถังที่อยู่บนรถ โอบางส่วนจะถูกนำกลับไปสู่โรงงานผลิต ส่วนที่ระบายไอของถังบรรจุจะเปิดระหว่างการเติมตัวทำละลาย เพื่อป้องกันการเพิ่มขึ้นของความดันหรือสูญญากาศในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การใช้ระบบนำไอกลับคืน (Vapor Recovery System)

ระบบ Vapor Recovery System จะสะสมไอจากถังเก็บตัวทำละลาย และส่งเข้าระบบ ซึ่งมีการควบคุมความดันและอุณหภูมิที่ไวมาก และจะกำจัดไอในขณะที่ความดันเพิ่มขึ้นในระหว่างที่ตัวทำละลายถูกปั๊มเข้าไปในถังหรือระหว่าง Breathing ไอจะถูกสะสม ถูกลด และจะนำกลับคืนมาอีกทีโดยการดูดซึม (Absorption) และการควบแน่น (Condensation) ดังนั้นการใช้ระบบ Vapour Recovery จึงเป็นประโยชน์

5. แนวทางอื่น ๆ ที่จะควบคุมการสูญเสีย

วิธีการอื่นๆอาจถูกเพิ่มเพื่อช่วยลดความร้อนที่จะถ่ายเทเข้าสู่ถัง เพื่อให้เกิดการสูญเสียจากการระเหยน้อยที่สุด เช่น การฉีดน้ำไปที่ตัวถังจะช่วยระบายความร้อนจากตัวถัง การใช้ Mechanical Cooling เพื่อลดความร้อนเข้าสู่ถัง การฝัง Storage Tank ไว้ใต้ดินจะช่วยลดการรับพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งจะทำให้เกิด Breathing Loss น้อยมาก นอกจากนี้ควรพิจารณาความสัมพันธ์ในขณะการเติมและการจ่ายตัวทำละลาย รวมถึงอุณหภูมิในแต่ละวัน การเติมหรือถ่ายเทตัวทำละลายลงสู่ Fixed Roof Tank ควรจะกระทำในส่วนที่เป็นไอในถังน้อยที่สุด โดยทำการเติมน้ำมันเข้าถังทันทีหลังจากถ่ายน้ำมันออกไป วิธีนี้จะช่วยลดการสูญเสีย เนื่องจากพื้นที่ที่ถังถูกทำให้ว่าง ส่วนที่เป็นไอจะมีไฮโดรคาร์บอนปริมาณน้อย เมื่อเติมตัวทำละลายเข้าสู่ถังภายในวันนั้น ไอที่ปล่อยออกมาจะมีไฮโดรคาร์บอนเจือจาง จากการที่ได้กล่าวมาทั้งหมด จะพบว่าในภาคอุตสาหกรรมที่มีการผลิต การขนส่งตัวทำละลาย (Solvent) ซึ่งส่วนใหญ่เป็น VOCs แทบทั้งสิ้น จะก่อให้เกิดไอระเหยออกสู่อากาศซึ่งจะมีผลต่อ สุขอนามัยของประชาชน และมีผลต่อคุณภาพอากาศ หากยังไม่มีมาตรการที่รัดกุมและการกำกับดูแลอย่างเคร่งครัดในการนำไปปฏิบัติ และยิ่งนานวันจะเกิดการสะสมมากขึ้นจนยากที่จะทำการแก้ไขได้

2.10 สารอินทรีย์ไอระเหย (Volatile Organic Compounds) กับสุขภาพ

ในบรรดาสารกลุ่ม halogenated VOCs นี้ trichloroethylene (TCE) ซึ่งเป็นสารตัวทำละลายในน้ำยาซักแห้ง น้ำยาละลายคราบน้ำมัน หรือคราบไขมัน และเรซินต่าง ๆ ที่ใช้ในอุตสาหกรรม พบปนเปื้อนได้บ่อยและได้รับการศึกษาค้นคว้าวิจัยมานานมากกว่า 30 ปี ในด้านผลกระทบต่อสุขภาพ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสัตว์ทดลองและมนุษย์ TCE เป็นก่อมะเร็งร้ายแรงชนิดหนึ่ง (Group 2A carcinogen (probably carcinogenic to humans) ตามนิยามและการยอมรับของ International Agency for Research on Cancer (IARC) และ World Health Organization (WHO)

สาร VOCs เข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทางคือ 1 การหายใจ ได้รับทางปอด 2 การกิน-ดื่मทางปาก และ 3 การสัมผัสทางผิวหนัง หลังจากการเข้าสู่ร่างกายแล้วจะผ่านเข้าสู่ตับ ซึ่งจะมีเอนไซม์และวิถีทางเมตาบอลิซึม (metabolism) หลากหลายที่แตกต่างกัน จะทราบกลไกการเกิดพิษของสาร VOCs ต้องอาศัยความรู้ด้านเภสัชวิทยาและพิษจุลศาสตร์ เช่น สารพิษถูกเปลี่ยนแปลงทางเมตาบอลิซึมในตับ ในระยะแรก โดยอาศัยเอนไซม์ในระบบ P450 และในระยะหลังรวมตัวกับสาร glutathione ชนิดเอนไซม์ P450 ที่ใช้จะแตกต่างกันแล้วแต่ชนิดของ VOCs เช่น เอนไซม์ชนิด CYP2E1 มีบทบาทมากต่อเมตาบอลิซึมของ trichloroethylene ซึ่งจะกลายเป็น chloral hydrate และต่อมาถูกเอนไซม์ชนิด CYP2B เร่งปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็น trichloroethanol ซึ่งในที่สุดจะถูกขับทิ้งทางปัสสาวะในรูปของ trichloroacetic acid; เซลล์ตับจะทำให้ toluene กลายเป็น benzyl alcohol และ benzoic acid ละลายในน้ำได้ง่าย แล้วถูกขับออกทางปัสสาวะ ซึ่งความเป็นพิษต่อร่างกายจะมากขึ้นขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

1. ช่วงครึ่งชีวิตของสาร VOCs ในร่างกาย
2. สภาวะความสมบูรณ์ของร่างกาย
3. ระบบการขับถ่ายของเสีย

ปัจจัยที่ทำให้สาร VOCs เกิดอันตรายมีความรุนแรงและอาการป่วยมากหรือน้อยมีดังนี้

1. ช่วงชีวิตครึ่งของสาร VOCs ในเลือดการตรวจวัดสารระเหย VOCs ในเลือดสามารถบอกประวัติการได้รับ หรือ การสัมผัส VOCs ในประชากรได้
2. ขึ้นอยู่กับสภาวะภายในร่างกาย และปฏิกิริยาชีวเคมีทางเมตาบอลิซึมในตับและเนื้อเยื่อแปรสภาพให้เป็นพิษมากขึ้นหรือน้อยลงได้ และขึ้นอยู่กับปริมาณอัลกอฮอล์หรือสารเคมีอื่นใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสเลือดและเนื้อเยื่อด้วย ตัวอย่างเช่น การดื่มเหล้าหรือเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์จะเพิ่มการดูดซึมและเพิ่มระดับของ 2-butanone และ acetone ในเลือดของนักดื่มเหล้าทั้งหลาย

3. การขับสารพิษทั้ง สาร VOCs ถูกขับโดยตรงผ่านไตออกมาทางปัสสาวะ ทางลมหายใจ และโดยทางอ้อมผ่านตับ และน้ำดี ถ้าสารนั้นถูกขับออกทั้งได้ง่าย ความเป็นพิษจะน้อยลงกว่าสารเคมีที่ถูกขับออกทั้งได้ยาก ตัวอย่าง ผลกระทบของสารอินทรีย์ ไอร์อะเฮคต่อระบบต่าง ๆ มีดังนี้

2.10.1 ผลกระทบต่อต้านภูมิคุ้มกัน

สารอินทรีย์ไอร์อะเฮคหลายชนิดทำให้ระบบภูมิคุ้มกันถูกรบกวนหรือทำลาย ศักยภาพทางการป้องกันโรคติดเชื้อจะลดและพร่องลงจากเดิม เช่น ในการศึกษาในประชากร 302 คน (อายุ 40-59ปี) ที่ Aberdeen, North Carolina และบริเวณใกล้เคียงโดยการ ตรวจเลือด ตรวจผิวหนัง และสัมภาษณ์ พบว่ามีสาร Dichlo (DCE) ในเลือด ในคนที่อยู่ใกล้ที่ทิ้งขยะสารเคมีพิษ (pesticide dump sites) ในระดับเฉลี่ย 4.05 ppb เทียบกับระดับเฉลี่ย 2.95 ppb ($p=0.01$) กลุ่มควบคุมคนที่อยู่ไกลมากกว่ายังมีระดับ DCE สูงกว่า ยิ่งอยู่ในบริเวณนาน ๆ ยิ่งได้รับมากขึ้น แตกต่างกับอย่างชัดเจน นอกจากนี้เม็ดเลือดขาวของประชากรดังกล่าวจะมีคุณสมบัติทางภูมิคุ้มกัน (mitoger-induced lymphoproliferativity) ต่ำกว่าเม็ดเลือดขาวในกลุ่มควบคุมอย่างเห็นได้ชัด

2.10.2 ผลกระทบต่อระบบประสาท

การได้รับสารอินทรีย์ไอร์อะเฮคจะทำให้เกิดอาการทางการกดประสาทหลายอย่าง เช่น การง่วงนอน วิงเวียนปวดศีรษะ ซึมเศร้า หรือหมดสติได้ ในการทดลองกับหนูเพศชาย และหนูถีบจักร พบว่า การได้รับ 1,1,1-trichloroethane (TRI) 5000 ppm ทางลมหายใจนาน 40 นาที ทำให้การส่งกระแสประสาทผิดปกติได้ หนูมีการเรียนรู้สิ่งเร้าในสิ่งแวดล้อม ลดลง กลไกคือ TRI ทำให้สาร cyclic GMP ซึ่งเป็นสารทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้เซลล์ประสาททำงาน นั้นมีระดับลดลงและ medulla oblongata คือลดลงจากกลุ่มควบคุม ถึง 55-58 % และระดับ cyclic GMP จะลดมากเมื่อได้รับสารระเหยนานมากขึ้นเป็น 100 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกลุ่มช่างทำรองเท้า ซึ่งได้รับ VOCs จากการหายใจสารตัวทำลายสีหรือน้ำยาทำรองเท้า dichloromethane, n-hexane), plastic compounds (isocyanates และ polyvinyl chloride) เป็นประจำ มักจะมีอาการทางประสาทคือ ปวดศีรษะ (65%), จิตใจกังวล(53%), รู้สึกคันที่ขาและเท้า (46%), เจ็บตา(43%), หายใจลำบากและมีอาการรวมหลายอย่าง (1.1-3.5 %) ในคนตั้งครรภ์ มีการศึกษาในหญิงตั้งครรภ์จำนวน 14,000 คนใน Bristol, U.K. ที่ใช้สเปรย์ปรับอากาศ (aerosols) เป็นประจำ ในเลือดมีสารพวก VOCs (Xylene, ketones และ aldehydes) ค่อนข้างสูง และประชากรเหล่านี้จะมีอาการหลายอย่าง เช่น 25% ปวดศีรษะ, 19% มีอาการซึมเศร้าหลังคลอด, เด็กที่คลอดออกมาแล้วมักมีอาการท้องเสียบ่อยกว่าเด็กกลุ่มอื่น 22 %

2.10.3 ผลกระทบเสียหายต่อสุขภาพด้านอื่น ๆ

สารอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอน อาจมีผลกระทบต่อสุขภาพระบบอื่น ๆ ได้แก่ ระบบพันธุกรรม ระบบฮอร์โมน ระบบสืบพันธุ์ และระบบประสาท อาจทำให้เกิดโรคมะเร็งบางชนิดได้ และโรคทางระบบสืบพันธุ์ เช่น เป็นหมัน ความพิการของเด็กก็มีการกลายเพศเป็นต้น

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างสาร VOCs ที่เป็นสารก่อมะเร็ง (Carcinogen) และสารส่งเสริมการเกิดเนื้องอก (tumor promoter) และชนิดมะเร็งที่พบ

สาร VOCs ที่เป็นสารก่อมะเร็งและสารส่งเสริมการเกิดเนื้องอก	ชนิดของมะเร็งที่พบ
Benzene	Acute myeloblastic leukemia
Carbon Tetrachloride	hepatoma
Dichloropropane	-
Ethylbenzene	-
Dichloroethane	-
Pentachloropheno	-
Toluene	-
Trichloroethylene	-
Dichloromethane	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาร VOCs ที่เป็นสารก่อมะเร็งและสารส่งเสริมการเกิดเนื้องอก	ชนิดของมะเร็งที่พบ
Vinyl Chloride	-
Hexachlorobenzene	-
Dibromochloropropane	-
Ethylene Dibromide	-
Trihalomethanes	-
Trihalomethnes	-
Trichloroacetylene	lung cancer
Haloacetic Acid	-

สาร VOCs หลายชนิดอันตรายโดยการทำลายโครโมโซมเซลล์ ของระบบอวัยวะต่าง ๆ เช่น เม็ดเลือดแดง ตับ ไต ประสาท ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 2.7 ตัวอย่างสาร VOCs บางชนิด ผลกระทบต่อระบบเนื้อเยื่อและเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

สาร VOCs	บริเวณที่เกิดผลกระทบจาก VOCs	ผลกระทบต่อสุขภาพ
Benzene	Hemopoietic system, red blood cell, nerve	ทำลายไขกระดูก เม็ดเลือดแดง แดก โรคโลหิตจาง และอาการหรือโรคทางประสาทส่วนกลาง
Carbon tetrachloride(CCl ₄)	Liver, CNS	ตับเสื่อม ตับแข็ง
Chloroform(trichloromethane, CHCl ₃)	Liver, Kidney, heart muscle, eyes, skin	ตับเสื่อม ตับแข็ง ไตเสื่อม หัวใจเต้นผิดปกติ การสับสนระคายเคืองของตาและผิวหนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาร VOCs	บริเวณที่เกิดผลกระทบจาก VOCs	ผลกระทบต่อสุขภาพ
Dichlorobenzene (methylene chloride, DCM)	Liver, kidney, blood, skin, eyes, upper respiratory tract	ฤทธิ์แสบ-ระคายเคือง ปอดปวม โรคตับ กดประสาทส่วนกลาง อาจหมดสติและตายได้
Ethyl alcohol (methylene)	Liver, CNS nerve, placenta	ดื่บเสีอม ดื่บแฉิ่ง เร่งการเกิด มะเร็งดื่บ มีอาการกดประสาท ทำให้ทารกคลอดพิการ
Ethyl benzene (ethylbenzol) n-Hexane	Eyes, CNS nerve, nasal cavity Nerve	ทำให้ระคายเคือง แสบตา แสบจมูก กดประสาทส่วนกลาง ทำให้ปวดหัว สับสนงุนงง อาจหมดสติได้
Methyl alcohol (methanol)	Liver, CNS nerve	ดื่บเสีอม อาการกดประสาท ทำให้ตาบอด
Toluene (methylbenzene, toluol)	CNS nerve	อาการทางประสาทส่วนกลาง
Trichlorobenzene	Liver, Kidney	ดื่บแฉิ่ง ดื่บเสีอม ไตเสีอม
1,1, 1-Trichloroethane (methylchloroform)	Liver, Nerve, Kidney	อาการทางประสาทส่วนกลาง ชัก
Xylene (dimethylbenzene)	Skin, nerve	ระคายเคือง โรคผิวหนัง และอาการเกิดจากการกดประสาทส่วนกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.4 การป้องกันและการแก้ไขปัญหที่เกิดจากสารอินทรีย์ไอระเหย

การควบคุมสารเคมีอินทรีย์ระเหยได้ดีที่สุด คือ การป้องกันมิให้มีการใช้สารที่อันตรายสูงต่อสุขภาพโดยไม่จำเป็น หรือหากจำเป็นใช้ ก็ต้องมีวิธีการลดอันตราย ความเสี่ยง และความเป็นพิษให้เหลือน้อยที่สุด โดยมีให้สารเคมี มีการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม ในน้ำ อากาศ ดิน อาหาร และเครื่องดื่ม เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค มีสาร VOCs 8 ชนิดที่องค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อม (EPA) สหรัฐอเมริกา ได้ออกกฎหมายควบคุมมิให้มีหรือมีระดับเกินค่า maximum contaminant level (MCL) ในน้ำดื่มของแต่ละชนิด

การทำลาย VOCs ทางเคมี ได้มีการนำสาร oxidizers หลายชนิด เช่น ก๊าซโอโซน ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต มาใช้เพื่อทำลายสาร VOCs โดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้ VOCs หลายกลุ่ม สลายตัว และหมดสภาพความเป็นพิษได้

การทำงานทางชีวภาพ มีการวิจัย co-meatbolism method ที่จะใช้จุลินทรีย์หลายชนิดรวมกันที่สามารถทำปฏิกิริยาทางชีวเคมีกับสารอินทรีย์ไอระเหยได้ โดยอาศัยเอนไซม์ของแบคทีเรียทั้งชนิด anaerobic และ aerobic จะทำให้เกิด oxidation, reduction, dehalogenation ฯลฯ และสาร VOCs (TCE, PCE, DCM, benzene, toluene) จะถูกทำลายและหมดสภาพความเป็นพิษได้

ในทางการแพทย์ได้มีการรักษาผู้ป่วยที่ได้รับสารอินทรีย์ไอระเหยเข้าไปในร่างกายและเกิดมีอาการป่วย ต้องใช้วิธีการล้างออก การขับออกในทุกรูปแบบ ทั้งทางกายภาพ ทางเคมีและทางชีวภาพ ให้ทั่วถึง ก่อนที่สารเคมีนั้นจะสะสมและเกิดความเป็นพิษ วิธีการรักษานั้นกระทำได้ยากและสิ้นเปลืองการรักษา

สรุปการป้องกันและแก้ไข

สารอินทรีย์ไอระเหยมีอันตรายต่อสุขภาพหลายด้าน จะมีมากหรือน้อยแล้วแต่ชนิดและความแตกต่างของสารเคมี ปริมาณที่ได้รับสภาวะทางชีวภาพของร่างกาย เมตะบอลิซึมและปัจจัยอื่นๆ หากได้รับ VOCs บางชนิดในปริมาณมาก จะทำให้เกิดการทำลายระบบประสาทส่วนกลาง และมีอาการ กดประสาท เกิดอาการทันทีหรือหมดสติได้ ในการได้รับปริมาณน้อยและนานจะมีปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื้อรัง อาจทำให้เกิดมะเร็งและความเสื่อมสภาพของเนื้อเยื่ออวัยวะภายในได้ด้วย การเกิดพิษมีกลไกมาจากคุณสมบัติทางเคมีของ VOCs ที่ทนทานต่อการสลายตัวทางชีวภาพ แต่สามารถรวมตัวกับสารชีวโมเลกุล คีโตน เอ โปรตีน ลิพิดได้ ทำให้ปฏิกิริยาชีวเคมีในเซลล์ถูกรบกวนและหยุดชะงักการแก้ไขปัญหของสารเคมี ไอระเหยนั้น อาจทำลาย VOCs ทางเคมีโดยการใช้ ก๊าซโอโซน ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และสาร ออกซิไดส์อื่น หรือทางชีวภาพใช้จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลาย VOCs ได้ การรักษาผู้ป่วยนั้นมีความลำบากยุ่งยากมาก การควบคุมโดยการป้องกันและการลดความเสี่ยงต่อสารอินทรีย์ไอระเหยในระดับต่าง ๆ จะเป็นวิธีการที่ดีและมีประสิทธิภาพมากที่สุด

2.11 การเตรียมตัวอย่างโดยใช้เทคนิค Solid Phase Extraction

การเตรียมตัวอย่างก่อนฉีดเข้าระบบ High Pressure Liquid Chromatography (HPLC) และ Gas Chromatography (GC) เป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก เนื่องจากสิ่งสกปรกในตัวอย่างสามารถทำให้ column (ที่มีราคาแพง) และระบบอุดตันได้ ถ้า column ของระบบ GC อุดตัน เราสามารถล้างด้วย solvent แล้วทำให้ประสิทธิภาพของ column นั้นกลับดีขึ้นได้ ส่วน column ของระบบ HPLC นั้นทำได้ยากกว่าเพราะฉะนั้นวิธีที่ดีที่สุดคือ การป้องกันไม่ให้สิ่งสกปรกเข้าไปสะสมในระบบ หรือ column ได้ โดยมีการเตรียมตัวอย่างที่ดีและถูกต้องนั่นเอง การเตรียมตัวอย่างเป็นขั้นตอนที่ต้องใช้เวลานาน ประมาณได้เป็น 60-80% ของเวลาทั้งหมดที่นักเคมีใช้ไปกับการวิเคราะห์ นอกเหนือจากเวลาที่ต้องเสียไปแล้ว เรายังสูญเสีย Solvent ไปอีกด้วย จากการประเมินทั่วไปพบว่าเทคนิค

ในการเตรียมตัวอย่างที่ใช้กันมากที่สุดคือ Liquid-Liquid Extraction (LLE) LLE มีข้อเสียตรงที่อาจเกิด emulsion กรณีใช้กับตัวอย่างที่เป็นเนื้อเยื่อ การที่ต้องใช้เครื่องแก้วมากมายทำให้เป็นการเพิ่มสิ่งสกปรกต่าง ๆ ที่จะมารบกวนการวิเคราะห์ให้มากขึ้น ผลที่ได้ก็อาจไม่ถูกต้อง solvent ที่ใช้มีราคาแพงและใช้ในปริมาณมาก ดังนั้นเราควรลดปริมาณการใช้ลง และควรคำนึงถึงการทิ้ง solvent เหล่านั้นหลังการใช้งานว่ามีผลต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไรด้วย Solid Phase Extraction (SPE) เป็นเทคนิคการเตรียมตัวอย่างที่สามารถนำมาใช้แทน LLE ได้โดยไม่ต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก วิธีของ SPE มีหลักการคล้ายกับ LLE ตรงที่ใช้หลักการ partition เหมือนกัน แต่ที่ partition ไม่ได้เกิดระหว่างของเหลวกับของเหลวเหมือนกับของ LLE แต่จะเกิดระหว่างของแข็ง (คือ absorbent ที่อยู่ในแท่ง SPE) กับของเหลวหรือ solvent

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.1 ข้อดีของ SPE มีอยู่มาก แต่ที่สามารถสรุปให้เห็นเด่นชัดมีดังนี้คือ

1. ลดปริมาณ solvent ที่จำเป็นต้องใช้ลง
2. ประหยัดเวลา
3. ลดขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างให้น้อยลงหรือเหลือขั้นตอนเดียว
4. สามารถใช้กับระบบการเตรียมตัวอย่างแบบอัตโนมัติได้
5. เลือกใช้ได้กับ solvent หลายชนิดดังนั้นจะเห็นว่า SPE เป็นเทคนิคที่ปัจจุบันนิยมใช้กันมากที่สุดในการเตรียมตัวอย่าง การใช้ SPE ไม่เพียงแต่ทำความสะอาดตัวอย่างขจัดสารที่รบกวนการวิเคราะห์ออกเท่านั้น แต่ยังเป็นการช่วยยืดอายุการใช้งานของ column ด้วย

2.11.2 ขั้นตอนการใช้ SPE มีขั้นตอนง่าย ๆ 4 ขั้นตอนตามลำดับดังนี้คือ

1. Condition เป็นการเตรียม sorbent หรือ packing ที่บรรจุอยู่ในแท่ง SPE ให้พร้อมรองรับตัวอย่าง
2. Load เป็นการใส่ตัวอย่างลงไปเพื่อให้จับกับ sorbent
3. Rinse เป็นการขจัดเอาสารที่จับกับ sorbent ใต้น้ำหรือจับอยู่ที่ส่วนผิวของ sorbent ออก
4. Elution เป็นการดึงเอาสารที่เราสนใจที่เกาะกับ sorbent ออก เพื่อนำ ไปวิเคราะห์ ต่อไป

2.11.3 วิธีเลือก SPE

ที่จริงแล้วการเลือก SPE ไม่ยากอย่างที่คิด หลักการเลือก Sorbent นั้นให้ดูว่าสารที่เราสนใจเป็นพวกที่ละลายน้ำหรือไม่ละลายน้ำ (Hydrophilic หรือ Hydrophobic) ให้เลือก sorbent ที่มี polarity ตรงกับสารที่เราจะแยก ตัวอย่างเช่นถ้ามีสารที่ละลายได้ดีในน้ำเป็นพวกที่มีประจุคือสามารถแตกตัวที่ค่า pH หนึ่ง ตัวอย่างนี้จะใช้ sorbent เป็น ion exchanger โดยใช้ anion สำหรับสารที่มีประจุลบ และ cation สำหรับสารที่มีประจุบวก ตัวอย่างการเลือก cartridge หรือ solvent แสดงดังตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 แนะนำการเลือกใช้ Sep – Pak Cartridges

Sorbent หรือ Packing Material	คุณสมบัติที่ผิว	การวิเคราะห์ที่ใช้
C18	Hydrophobic bonded silica	<ul style="list-style-type: none"> - แยกสาร Hydrophobic ออกจากสารละลาย aqueous - ยา และ metabolite ของยา ในเลือด น้ำเหลืองและปัสสาวะ - สารอินทรีย์ปริมาณน้อยในตัวอย่างน้ำเสียน้ำ - กรดอินทรีย์ ในพวกเครื่องคัมและไวน์ - Peptide ในตัวอย่างเลือด น้ำเหลือง และของเหลวในร่างกาย
C8	Hydrophobic non-polar bonded	<ul style="list-style-type: none"> - แยกสาร Hydrophobic ออกจากสารละลาย aqueous - ใช้เมื่อต้องการให้สาร retain น้อยลงกว่าแบบ C18 - ยาและ metabolite ของยาในเลือด น้ำเหลืองและปัสสาวะ - Peptide ในตัวอย่างเลือด น้ำเหลือง และของเหลวในร่างกาย
Silica	Hydrophilic Polar (Neutral)	<ul style="list-style-type: none"> - แยกสารละลายที่มี polarity ต่ำ ถึงปานกลางออกจากสารละลาย non-aqueous - วิตามิน A D E K - ยามาแมลง - ไขมันชนิดต่าง ๆ - สารสกัดจากธรรมชาติ pigment จากพืช - สารอินทรีย์สังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง(ต่อ)

Sorbent หรือ Packing Material	คุณสมบัติที่คว	การวิเคราะห์ที่ใช้
Florisol	Hydrophilic Polar (Slightly basic)	<ul style="list-style-type: none"> - แยกสารละลายที่มี polarity ต่ำถึงปานกลางออกจากสารละลาย non-aqueous - วิเคราะห์ตาม AOAC และ EPA - ตัวอย่างที่มีไขมันสูง - ยาฆ่าแมลง ยาฆ่าวัชพืช ในอาหารและและอาหารสัตว์ - สาร Polychlorinated biphenyls ใน Transformer oil
Alumina A	Hydrophilic Polar (Acidic)	<ul style="list-style-type: none"> - แยกสาร Hydrophilic ออกจากสารละลาย non-aqueous - มีสมบัติเป็น Cation exchanger เล็กน้อย - แยกน้ำตาล คาเฟอีน ในเครื่องดื่มประเภทโคลา - ไวตามินในอาหารและอาหารสัตว์ - ยาปฏิชีวนะ - สารผสมในอาหาร และอาหารสัตว์
Alumina N	Hydrophilic Polar (Neutral)	<ul style="list-style-type: none"> - แยกสาร Hydrophilic ออกจากสารละลาย non-aqueous - ยาฆ่าวัชพืช - บีโตรีเนียมและน้ำมัน - สารผสมในอาหาร - สารอินทรีย์สังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง(ต่อ)

Sorbent หรือ Packing Material	คุณสมบัติที่ผิว	การวิเคราะห์ที่ใช้
Alumina B	Hydrophilic Polar (Basic)	- แยกสาร Hydrophilic ออกจากสารละลาย non-aqueous - มีสมบัติเป็น Cation exchange เล็กน้อย - ขาน่าแมลง ขาน่าวัชพืช น้ำเสีย - พวง Steroid ต่าง ๆ
Accell plus CM	Hydrophilic Polar (acidic) Cation exchange	- แยกพวก Ion ที่มีประจุบวก ในสารละลาย aqueous หรือ non-aqueous - สกัด โปรตีน เอนไซม์ และ Immunoglobulin ต่าง ๆ ที่มีสถานะเป็นด่างอ่อน - สารอินทรีย์สังเคราะห์ - แยก Peptide ขนาดต่าง ๆ
Accell Plus QMA	Hydrophilic Polar (Basic) Anion exchange	- แยก Ion ที่มีประจุลบในสารละลาย aqueous หรือ non-aqueous - สกัด โปรตีน เอนไซม์ ที่มีฤทธิ์เป็นกรดและกรดอ่อน - แยก Immunoglobulin ต่าง ๆ - แยก Peptide ขนาดต่าง ๆ - แยก pigment ที่มีฤทธิ์เป็นกรด จากไวน์ น้ำผลไม้ อาหาร - แยกสารพวก Phenolic ต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง(ต่อ)

Sorbent หรือ Packing Material	คุณสมบัติที่คว	การวิเคราะห์ที่ใช้
Aminopropyl NH ₂	Hydrophilic moderately polar (Slightly basic)	- ใช้เป็น weak anion exchanger - ยาและ metabolite ของยา - อุตสาหกรรมปิโตรเลียม และ lube oil - Saccharides - สารพวก Phenol และ pigment พวก Phenolic
Cyanopropyl CN	Hydrophobic moderately non-polar (Neutral)	- วิเคราะห์สารที่ละลายใน aqueous หรือ organic - ยาและ metabolite ของยาจากน้ำในส่วนต่างๆ ของร่างกาย - metabolite จากเชื้อราและผลิตภัณฑ์จากการหมัก - ยาน้ำแมลง - Peptide ที่มีโครงสร้างเป็นสาร Hydrophobic
Diol	Hydrophobic moderately non-polar neutral phase	- วิเคราะห์สารที่ละลายใน aqueous หรือ organic - ธาตุที่มีปริมาณน้อยในน้ำ - ยาปฏิชีวนะในเครื่องสำอาง - แยก peptide และ โนโปรตีนต่างๆ

ตารางแนะนำ การเลือกชนิดของ cartridge เป็นการสรุปการใช้งานทั่วไป รายละเอียดที่

ไม่ได้แสดงสามารถหาอ่านได้ในเอกสารอ้างอิง (1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.4 การเลือก Solvent

การเลือก solvent จะมีผลต่อการเตรียมตัวอย่างในแง่ที่ว่าเราจะได้อะไรออกมาสะอาดแค่ไหนและได้ค่า recovery เป็นอย่างไร ถ้าเราเลือก solvent ได้เหมาะสมสำหรับ rinse หรือ elute ตัวอย่าง ตัวอย่างก็จะสะอาด และได้ค่า recovery ดี การเลือกสามารถทำได้ง่ายด้วยกายทดลองใช้ solvent ที่มี strength ต่าง ๆ กันเหมือนกับหลักการเลือก solvent และ column ในระบบ HPLC เราจะ load สารที่เราสนใจลงไปใน sorbent สารที่เราสนใจควรมีความเข้มข้นพอเหมาะ ต่อไปเราจะเลือกใช้ solvent เป็นชุด ๆ ที่ทราบปริมาตร แล้วค่อย ๆ เพิ่ม strength ขึ้นเรื่อย ๆ แล้วเก็บแต่ละส่วนมาตรวจสอบว่าสารที่เราสนใจถูก elute ออกมาเท่าใด

2.11.5 Flow rate

การที่จะปรับสภาพของ sorbent ให้เรียบร้อยก่อน load ตัวอย่าง การ load ตัวอย่างและขบวนการ elute จะต้องทำ ที่อัตราการไหลของ solvent ที่เหมาะสม เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาจากตัวอย่างไม่ถูกกักหรือ retain อย่างสมบูรณ์ หรือไม่ถึง equilibrium โดยทั่วไปแล้ว เราสามารถปรับสภาพ cartridge ได้โดยใช้อัตราการไหลสูงถึง 25 มิลลิลิตร / นาที ส่วนการ load ตัวอย่างและการ elute นั้นจะดีที่สุดเมื่อเราใช้อัตราการไหลไม่เกิน 10 มิลลิลิตร / นาที แต่ก็เป็นไปได้ที่ค่า recovery อาจจะได้รับได้เมื่อเราใช้อัตราการไหลสูงถึง 20 มิลลิลิตร / นาที (ซึ่งควรตรวจสอบโดยใช้ standard เสียก่อน) กรณีใช้ sorbent ซึ่งเป็นพวก Ion exchange จะแนะนำ ให้ใช้อัตราการไหลต่ำกว่า เช่น 1-2 มิลลิลิตร / นาที Sep-Pak บางชนิด เช่น Sep-Pak light จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าแบบอื่น ก็ให้ลดอัตราการไหลลง 3 เท่า

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Daniel L. Heglund and David C. Tilotta ได้เสนอวิธีทดสอบอย่างง่ายในการตรวจสอบหาสารประกอบอินทรีย์ระเหย (VOCs) ในน้ำโดยใช้ solid phase microextraction (SPME) และอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (IR) ซึ่งจะทำให้การสกัด VOCs ออกจากน้ำโดยพาราฟิซึมที่มี solid phase เป็นส่วนประกอบเล็กๆอยู่ด้วย (หนา 130 μm) สาร VOCs ทั้งหมด 10 ตัว (เช่น benzene, chlorobenzene, toluene, chloroform, and p-chlorotoluene) ที่ถูกเลือกมาทำการตรวจสอบโดยวิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPME-IR ข้อมูลเบื้องต้นของวิธีการทดลองนี้ได้แสดงขอบเขตของการตรวจวัดอยู่ในช่วง 0.66 ppb-1.3 ppm สำหรับการทำให้ spiked solution และความเป็นเส้นตรงของการทำ Calibration ยังมีการขยายขอบเขตการละลายได้ของ VOCs ในน้ำ อย่างไรก็ตามเวลาที่เหมาะสมที่ใช้ในการตรวจสอบ VOCs อยู่ที่ 30 – 200 นาที เราพิสูจน์ได้ว่าการสกัดซ้ำหลายๆครั้งทำให้ใช้เวลาไป 30 นาที การนำ SPME-IR ไปใช้วิเคราะห์น้ำตัวอย่างจริงนั้นจะไม่ข้อมูลของสิ่งรบกวนปรากฏอยู่ ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการพูดถึงความเป็นไปได้ในการตรวจสอบหาสารประกอบแต่ละตัวที่อยู่ในของผสมซึ่งจะทำการสำรวจโดยการสกัด ส่วนที่เป็นอะโรมาติกออกจากน้ำตัวอย่างที่มีสิ่งเจือปนด้วยแก๊สโซลีน

Mohammad A. Mottaleb, Muhammad Z. ABEDIN, and Mohammad S. ISLAM ศึกษาวิธีที่รวดเร็วในการทำซ้ำโดยการทำให้ Solid-phase extraction ซึ่งใช้ไดคลอโรมีเทน ตามด้วยการแก๊สโครมาโทกราฟี (GC) กับ Flameionization detection สำหรับการวิเคราะห์ เบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน ไซลีน และคิวมิน (BTEXC) ในแม่น้ำบุรีกันกา จากประเทศบังคลาเทศ โดยวิธีนี้จะทำการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ BTEXC จากบริเวณผิวหน้า และระดับน้ำที่ความลึก 5 เซนติเมตร เตรียม n-hexane 200 mL. และกรองตัวอย่างน้ำใน C-18 SPE column สาร BTEXC จะถูกสกัดออกมาด้วยไดคลอโรมีเทน และความเข้มข้นของ BTEX อยู่ในช่วง 0.1 – 0.37 $\mu\text{g mL}^{-1}$ โดยความเข้มข้นที่สูงที่สุดเป็นของเบนซีน ที่ความเข้มข้น 0.37 $\mu\text{g mL}^{-1}$ โดยให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) เท่ากับ 62% สำหรับคิวมินไม่ถูกตรวจพบ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อวิธีการสกัด เช่น ชนิดของตัวดูดซับ ปริมาณสารตัวอย่าง ขนาดของตัวทำละลาย Headspace และอุณหภูมิ โดยต้องใช้ภาชนะที่บรรจุ C-18 และใช้ไดคลอโรมีเทนในการสกัด BTEXC ออกจากน้ำ %Recovery เฉลี่ยมากกว่า 90% และต้องได้ %RSD ของคิวมิน 27% ที่ 4 °C

J. Caro, A. Serrano, M. Gallego การนำ screening มาใช้ในการตรวจสอบสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่เป็นพิษ ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานน้ำดื่มในทวีปยุโรป วิธีนี้เป็นวิธีพื้นฐานที่นำมาใช้ร่วมกับ headspace sampler กับแมสสเปกโตรมิเตอร์ และให้ความร้อนกับ Chromatography column ที่ 175 °C ในที่นี้เรานำตัวอย่างน้ำมาสกัดใน headspace extraction และทำการระเหยสารก่อนที่จะนำสารตัวอย่างเข้าสู่เครื่องแมสสเปกโตรมิเตอร์ ซึ่งภายในนั้นจะต้องผ่านการแยกด้วยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chromatography column ก่อน ขอบเขตในการตรวจวัดค่าสูงสุดอยู่ที่ประมาณ (0.6-1.2 ng/mL) mass spectrum ที่ได้จากการทำ simultaneous ionization และกระบวนการแตกตัวของสารผสมซึ่งประกอบด้วยข้อมูลของสารที่ระเหยของตัวอย่างแต่ละตัว การทำ chemometric เพื่อการบำบัดนั้น สัญญาณจะถูกแยกและได้รับการรับรองหรือไม่ขึ้นอยู่กับการระเหยของส่วนประกอบ เช่น สิ่งเจือปน และไม่มีสิ่งเจือปนเป็นประเด็นที่ใช้กำหนดระดับความเข้มข้นของสารประกอบเหล่านั้น ในน้ำดื่มให้ถูกต้องตามกฎหมายเพื่อที่จะได้ไม่มีข้อคัดค้านในทางกฎหมาย วิธีการรับรองทั่วไปทำการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำโดยใช้เครื่องมือเหมือนกับวิธี screening แต่จะมีการทำ temperature program ที่เหมาะสมภายใน Chromatography column เพื่อทำการแยก หาเอกลักษณ์ และปริมาณของสารแต่ละตัวที่เราสนใจ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี อุปกรณ์ เครื่องมือและสถานที่

3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. เบนซีน (Benzene, C_6H_6), 99.7% (เกรดวิเคราะห์)
2. เมทานอล (Methanol, CH_3O), 99.99% (เกรดวิเคราะห์)
3. คลอโรฟอร์ม (Chloroform, $CHCl_3$), 99% (เกรดวิเคราะห์)
4. 1,2-ไดคลอโรอีเทน (1,2-Dichloroethane, $C_2H_2Cl_2$), 99.98% (เกรดวิเคราะห์)
5. โบรโมไดคลอโรมีเทน (Bromodichloromethane, $CHBrCl_2$), 98% (เกรดวิเคราะห์)
6. โทลูอีน (Toluene, C_7H_8), 99% (เกรดวิเคราะห์)
7. ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane, CH_2Cl_2), 99.99% (HPLC Grade)
8. ไดคลอโรเบนซีน (Dichlorobenzene, $C_6H_4Cl_2$), 99% (เกรดวิเคราะห์)
9. น้ำปราศจากไอออน
10. น้ำดื่มที่วางขายตามท้องตลาดยี่ห้อ A, B, C, D

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (varian 3800 Gas Chromatography – Flame Ionization Detector) ที่ประกอบด้วยคอลัมน์คาพิลลารีชนิด RTX-5 (crossbond 5% diphenyl- 95% dimethyl polysylosne) ขนาด 30 m. x 0.25 mm. i.d.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Solid-phase Extraction คอลัมน์ C-18 (รุ่น BOND ELUT-C18 ยี่ห้อ Varian ประเทศสหรัฐอเมริกา)

3. แผ่นพาราฟิล์ม

4. อุปกรณ์เครื่องแก้ว

3.1.3 สถานที่ดำเนินการวิจัย

อาคารจุฬารณณ์วิทยาลัย ชั้น 5 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.2 การเตรียมสารละลาย

3.2.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหย (VOCs)

เปิดสารละลายมาตรฐานของสารประกอบอินทรีย์ระเหย 5 ชนิด (เบนซีน, คลอโรฟอร์ม, โบรโม-ไดคลอโรมีเทน, 1,2-ไดคลอโรอีเทน และโทลูอีน) มาอย่างละ 30 μL ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารมาตรฐานอ้างอิงภายในไดคลอโรเบนซีน 40 μL ทำการปรับปริมาตรด้วยสารละลายไดคลอโรมีเทน จากนั้นเตรียมสารละลายมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่ความเข้มข้นอื่นๆ โดยปรับเปลี่ยนปริมาตรสารละลายมาตรฐานของแต่ละองค์ประกอบของสารอินทรีย์ระเหยเป็น 60, 90 และ 120 μL ตามลำดับ เก็บสารละลายมาตรฐานไว้ที่อุณหภูมิ 4°C สามารถใช้งานได้ 3 เดือน

3.2.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง โดยวิธีการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็ง (Solid-phase Extraction)

สกัดสารละลายเบนซีน, คลอโรฟอร์ม, 1,2-ไดคลอโรอีเทน, โบรโมไดคลอโรมีเทน และโทลูอีน จากน้ำดื่ม โดยวิธีการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็ง ใช้คอลัมน์ C-18 ตามลำดับขั้นตอนต่อไปนี้

- ชะคอลัมน์ C-18 ด้วยสารละลายเมทานอล 50 % จำนวน 3 มิลลิลิตร
- จากนั้นชะด้วยสารละลาย 1% (V/V) เมทานอล จำนวน 3 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จากนั้นชะด้วยสารละลาย 1% (V/V) เมทานอล จำนวน 3 มิลลิลิตร
 - นำน้ำคั้น จำนวน 100 มิลลิลิตร ผ่านคอลัมน์ในอัตราการใช้ 3 มิลลิลิตร/นาที
- ทำการชะคอลัมน์ด้วย 1% (V/V) เมทานอลจำนวน 2 มิลลิลิตร โดยทำการชะซ้ำ 2 ครั้ง ไม่ต้องเก็บสารละลายที่ชะได้ จากนั้นชะคอลัมน์ด้วยสารละลายไดคลอโรมีเทน 2 มิลลิลิตร ซ้ำ 2 ครั้งเช่นกัน โดยเก็บสารละลายที่ชะไว้
- เคมีโซเดียมซัลเฟต เพื่อกำจัดน้ำออกสารตัวอย่าง

3.2.3 การเตรียมสารละลาย Spiked Sample

นำตัวอย่างน้ำคั้น 4 ยี่ห้อ (A, B, C และ D) มาเติมสารละลายมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยคลอโรฟอร์มที่ความเข้มข้น 444 $\mu\text{g/mL}$ ปริมาตร 60 μL แล้วทำการสกัดเช่นเดียวกับข้อ 3.2.2

3.3 การเตรียมกราฟมาตรฐานของสารประกอบอินทรีย์ระเหย

3.3.1 นำสารละลายมาตรฐานที่เตรียมได้ทั้งหมดในข้อ 3.2.1 มาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง แล้วฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟที่ปริมาตร 1 μL โดยแต่ละความเข้มข้น ทำการวัดซ้ำ 5 ครั้ง ตามสถานะเครื่องดังนี้

- คอลัมน์ : DB-5 fused-silica mega-bore analytical column

(15 m x 0.53 mm i.d., 1.5 μm thickness)

อุณหภูมิระบบฉีดสารตัวอย่าง : 180 $^{\circ}\text{C}$

อุณหภูมิคอลัมน์ : 35 - 200 $^{\circ}\text{C}$

อุณหภูมิดีเทคเตอร์ : 220 $^{\circ}\text{C}$

ดีเทคเตอร์ : Flame Ionization Detector

- แก๊สพา : ฮีเลียม ในอัตราการใช้ 3 มิลลิลิตร/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 พล็อตกราฟมาตรฐานระหว่างค่าพื้นที่ที่พิกเฉลี่ยกับความเข้มข้นที่ระดับต่างๆ ของแต่ละองค์ประกอบของสารอินทรีย์ระเหย ใช้วิธี Linear least square หาสมการเส้นตรง และคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(Regression coefficient, R^2)

3.4 การตรวจวัดปริมาณสารประกอบอินทรีย์ระเหย

นำสารละลายตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ3.2.2 มาฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ สภาวะเช่นเดียวกันกับข้อ3.3.1 โดยการทำการวัดซ้ำ 3 ครั้ง

3.5 การตรวจวัดปริมาณสารประกอบอินทรีย์ระเหยใน Spiked sample

นำสารละลาย Spiked sample ที่เตรียมได้จากข้อ3.2.3 มาฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟที่มีสภาวะเครื่องเช่นเดียวกับข้อ3.3.1 โดยทำการวัดซ้ำ 5 ครั้ง

3.6 การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ (Validation of Analytical Method)

3.6.1 การหาความสัมพันธ์เชิงเส้น

นำข้อมูลที่ได้จากข้อ3.3 มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient, R^2) จากสมการต่อไปนี้

$$R = \frac{N \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{[(N \sum x^2) - (\sum x)^2][N \sum y^2 - (\sum y)^2]}$$

โดยค่า R^2 ต้องไม่น้อยกว่า 0.990

3.6.2 การศึกษาความเที่ยง(Precision) ของวิธีวิเคราะห์

ทำได้โดยการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานแต่ละความเข้มข้นซ้ำ 3 ซ้ำ คำนวณค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD), ร้อยละของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (% Relative Standard, RSD) จากสมการต่อไปนี้

$$\text{Mean} = \bar{X} = \frac{\sum x_i}{n}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$\% RSD = \frac{SD \times 100}{\bar{X}}$$

3.6.3 การศึกษาความแม่นยำ (Accuracy) ของวิธีวิเคราะห์

ทำได้โดยการตรวจวัดสารละลาย Spiked sample 4 ตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ 3.6.2 โดยแต่ละตัวอย่างทำการวัดซ้ำ 5 ครั้ง แล้วนำมาคำนวณหาค่าร้อยละของการคืนกลับ (% Recovery) จากสมการต่อไปนี้

$$\% Recovery = \frac{\text{ความเข้มข้นของ spiked sample เฉลี่ย} - \text{ความเข้มข้นของตัวอย่างเริ่มต้นเฉลี่ย} \times 100}{\text{ความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่เติมลงไป}}$$

$$\text{หรือ } \% Recovery = \frac{\bar{C}_{\text{spiked sample}} - \bar{C}_{\text{original sample}}}{C_{\text{add}}} \times 100$$

3.6.4 การศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด(Limit of Detection; LOD) และขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดเชิงปริมาณโดยมีความถูกต้องและความเที่ยงที่ยอมรับได้(Limit of Quantitation; LOQ)

นำสารละลายมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยประเภทคลอโรฟอร์มในข้อ 3.2.1 มา 4 ความเข้มข้น ในแต่ละความเข้มข้น ทำการตรวจวัดซ้ำ 5 ครั้ง แล้วนำมาพลอตกราฟระหว่างค่าความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย คำนวณค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด(LOD)และขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (LOQ) จากสมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{LOD} = \frac{3 S_0}{\text{slope}}$$

$$\text{LOQ} = \frac{10 S_0}{\text{slope}}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

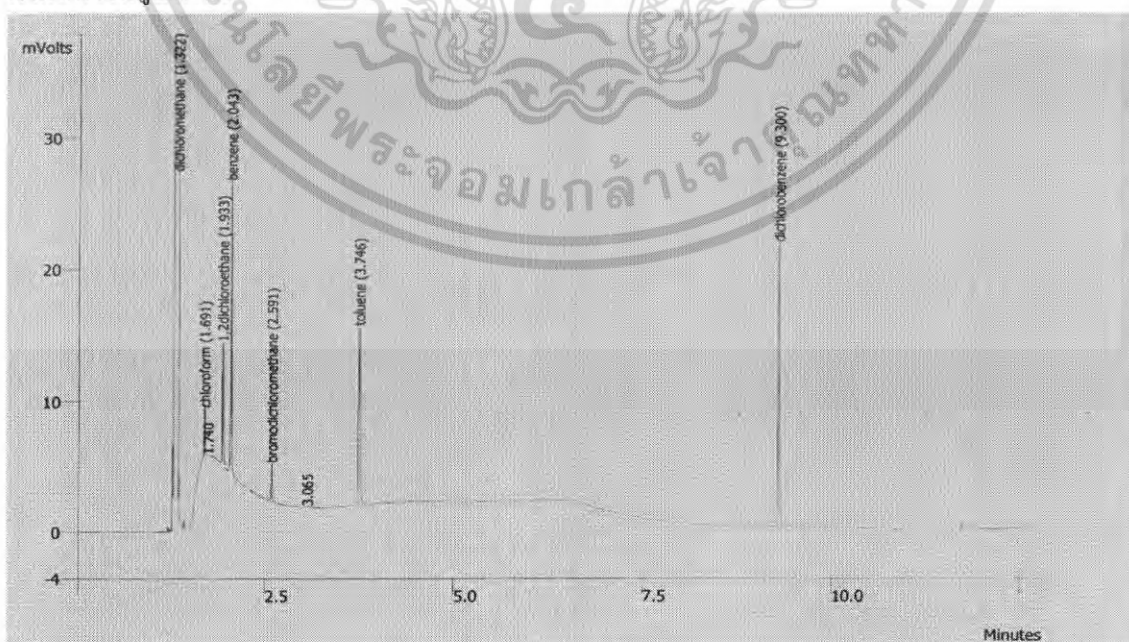
4.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหย 5 ชนิด

สารละลายมาตรฐานของสารประกอบอินทรีย์ระเหย 5 ชนิด ที่เตรียมได้จากข้อ 3.2.1 ทั้งหมด 4 ขวด มีความเข้มข้นของแต่ละองค์ประกอบดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความเข้มข้นของแต่ละองค์ประกอบของสารประกอบอินทรีย์ระเหย

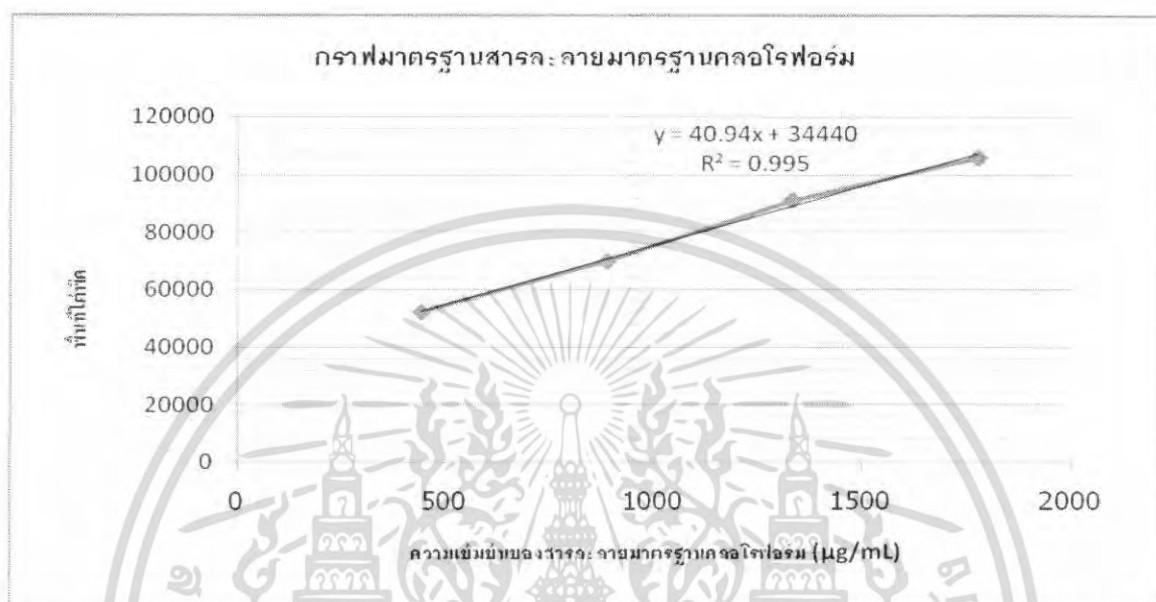
ขวดที่	ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน	ความเข้มข้นของสารมาตรฐาน ($\mu\text{g/mL}$)				
		คลอโรฟอร์ม	1,2-ไดคลอโรอีเทน	เบนซีน	โบรโมไดคลอโรมีเทน	โทลูอีน
1	30 μL	444	468	263.82	594	259.8
2	60 μL	888	753.6	527.64	1188	519.6
3	90 μL	1332	1130.4	791.46	1782	779.4
4	120 μL	1776	1507.2	1055.28	2376	1039.2

โครมาโทแกรมที่ได้จากสารละลายมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยขวดที่ 1 มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.1



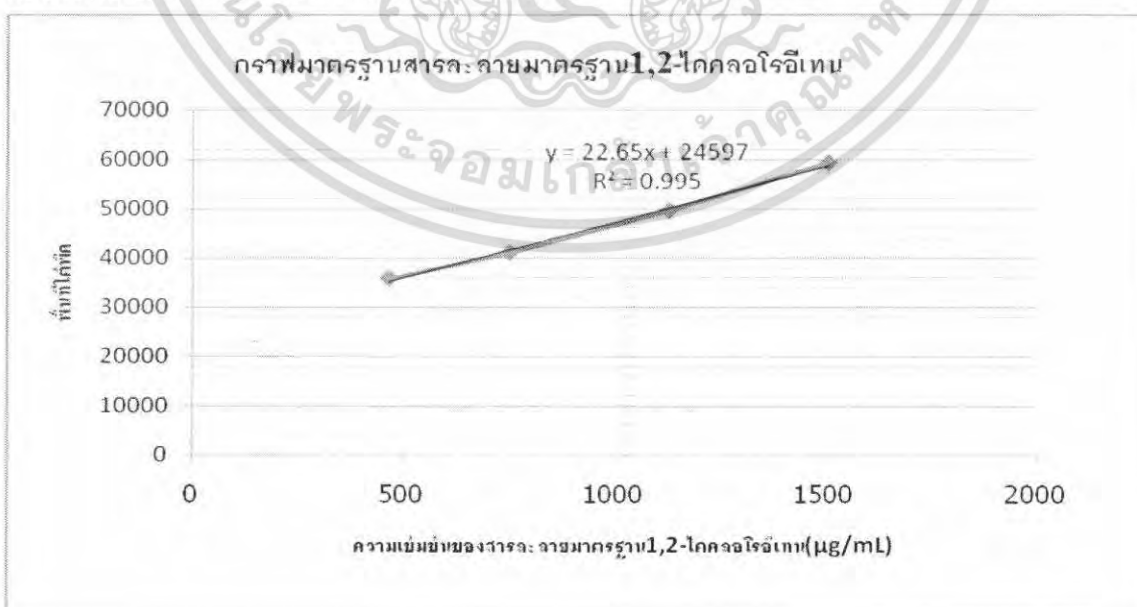
รูป 4.1 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่ปริมาตร 30 μL เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของพื้นที่ใต้พีคที่ได้จากการวัดซ้ำ 3 ครั้ง ของแต่ละองค์ประกอบมาพลอตกราฟกับความเข้มข้นที่ระดับต่างๆกัน ได้กราฟมาตรฐานดังแสดงในรูป 4.2ก-จ



รูปที่ 4.2ก กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานคลอโรฟอร์ม

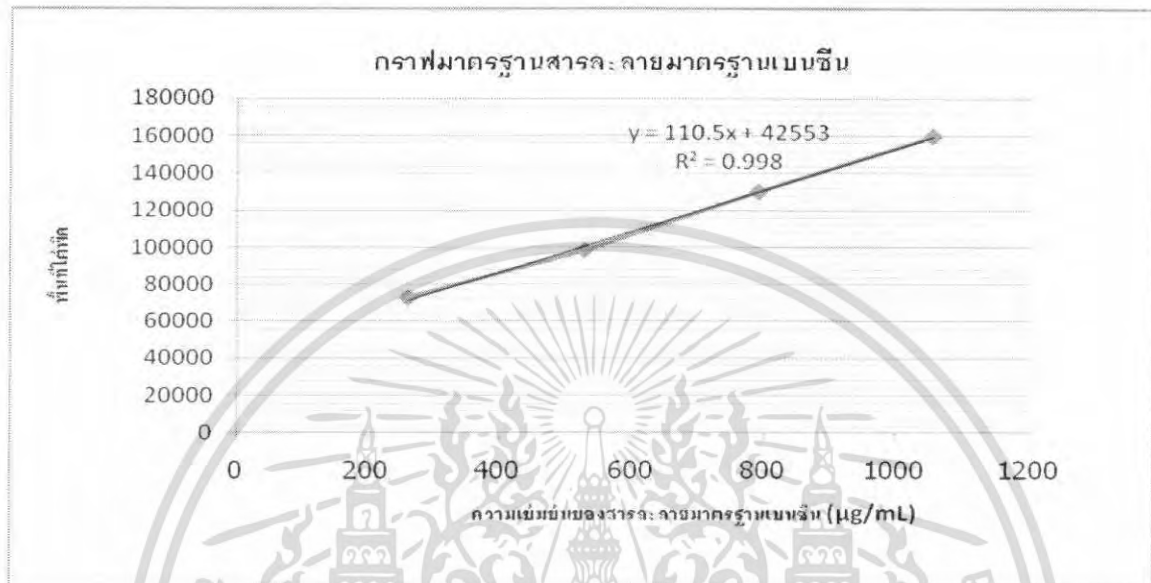
จากกราฟมาตรฐานคลอโรฟอร์มทำให้ได้สมการเส้นตรง $y = 40.94x + 34440$ ซึ่งมีค่า $R^2 = 0.995$ จากนั้นนำสมการเส้นตรงไปคำนวณหาปริมาณของสารประกอบอินทรีย์ระเหยประเภทคลอโรฟอร์มที่สกัดมาได้จากน้ำคั้นตัวอย่าง 4 ยี่ห่อ



รูปที่ 4.2ข กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐาน 1,2-ไดคลอโรอีเทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ มิอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟมาตรฐานคลอโรฟอร์มทำให้ได้สมการเส้นตรง $y = 22.65x + 24597$ ซึ่งมีค่า $R^2 = 0.995$



รูปที่ 4.2ก กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานเบนซีน

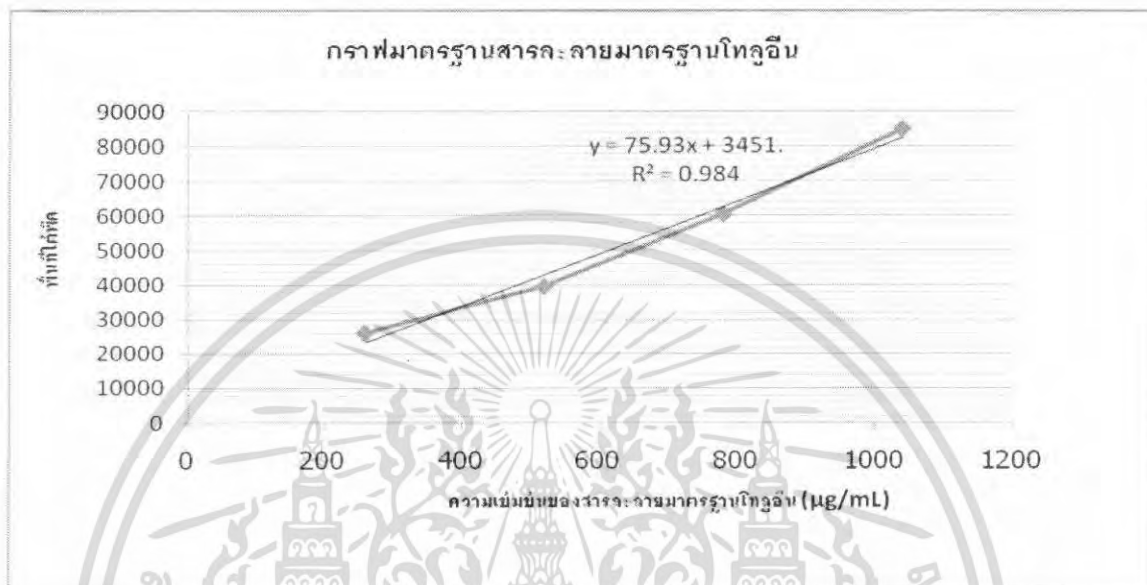
จากกราฟมาตรฐานคลอโรฟอร์มทำให้ได้สมการเส้นตรง $y = 110.5x + 42553$ ซึ่งมีค่า $R^2 = 0.998$



รูปที่ 4.2ง กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานโบรโมไดคลอโรมีเทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟมาตรฐานคลอโรฟอร์มทำให้ได้สมการเส้นตรง $y = 6.224x + 18859$ ซึ่งมีค่า $R^2 = 0.976$



รูปที่ 4.2จ กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานโทลูอีน

จากกราฟมาตรฐานคลอโรฟอร์มทำให้ได้สมการเส้นตรง $y = 75.93x + 3451$ ซึ่งมีค่า $R^2 = 0.984$

4.2 การตรวจวัดปริมาณสารประกอบอินทรีย์ระเหยในน้ำดื่ม 4 ยี่ห้อ

งานวิจัยนี้ตรวจวัดหาปริมาณสารประกอบอินทรีย์ระเหยในน้ำดื่มด้วยวิธีกราฟมาตรฐาน โดยที่แต่ละตัวอย่างทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยในน้ำดื่ม 4 ยี่ห้อ

ยี่ห้อ น้ำดื่ม	ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารประกอบอินทรีย์ระเหย (ปริมาณของคลอโรฟอร์ม) \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	%RSD
A	13.7356 \pm 1.2311	8.9628
B	39.3096 \pm 1.1146	2.8355
C	8.2071 \pm 0.4808	5.8590
D	46.8816 \pm 1.7661	3.7672

หมายเหตุ การคำนวณค่าความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยคลอโรฟอร์ม
และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) แสดงในภาคผนวก ข

4.3 ศึกษาความเที่ยง (Precision)

เป็นการศึกษาความเที่ยงของการตรวจวัดปริมาณสารละลายมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์
ระเหยทั้ง 5 ชนิด(คลอโรฟอร์ม, 1,2 ไดคลอโรมีเทน, เบนซีน, โบรโมไดคลอโรมีเทน, โทลูอิน) และ
ชนิดละ 4 ความเข้มข้น ภายใต้สภาวะการทดลองเดียวกัน โดยวิเคราะห์ซ้ำห้องปฏิบัติการเดียวกัน
นักวิเคราะห์คนเดียวกันและเครื่องมือเดียวกัน ในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงผลที่ได้ดังในตาราง
ที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าพื้นที่พีคเฉลี่ยของสารละลายมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหย

สารละลายมาตรฐาน	ค่าพื้นที่พีคเฉลี่ย($\mu\text{g/ml}$)ที่ปริมาตร			
	30 μL	60 μL	90 μL	120 μL
คลอโรฟอร์ม	52,404.00	69,972.80	91,263.00	105,901.00
1,2-ไดคลอโรอีเทน	35,865.40	41,042.00	49,624.60	59,286.00
เบนซีน	73,130.60	98,712.40	130,208.00	159,868.20
โบรโมไดคลอโรมีเทน	23,257.40	25,239.00	29,876.00	34,036.20
โทลูอิน	26,102.40	39,569.00	60,550.00	84,871.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน(SD)และค่าร้อยละของการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD)

ปริมาตร	คลอโรฟอร์ม		1,2- ไดคลอโรมีเทน		เบนซีน		โบรโม ไดคลอโรมีเทน		โทลูอีน	
	SD	%RSD	SD	%RSD	SD	%RSD	SD	%RSD	SD	%RSD
30 μ L	440.9904	0.8415	257.1752	0.7171	734.7851	1.0048	550.0446	2.365	611.7897	2.3438
60 μ L	749.9233	1.0717	556.2383	1.3553	2042.018	2.0867	1012.85	4.013	1362.092	3.4423
90 μ L	560.4275	0.6141	839.2996	1.6913	4556.576	3.4995	1194.793	3.9992	2366.023	3.9076
120 μ L	1313.748	1.2405	1072.945	1.8098	2970.84	1.8583	1198.852	3.5223	1446.051	1.7038

หมายเหตุ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และค่าร้อยละของการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) แสดงไว้ในภาคผนวก ข

4.4 ศึกษาความแม่นยำ (Accuracy)

การตรวจสอบความแม่นยำ (Accuracy) ของวิธีวิเคราะห์ ทำโดยการตรวจวัดสารประกอบอินทรีย์ระเหยในตัวอย่างน้ำดื่ม 4 ยี่ห้อ ที่มีการ Spiked คลอโรฟอร์มลงไปโดยแต่ละตัวอย่างทำการตรวจวัดซ้ำ 5 ครั้ง สามารถคำนวณค่าร้อยละการคืนกลับ ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.5 ซึ่งค่าร้อยละการคืนกลับที่ได้ทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ตารางที่ 4.5 แสดงความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มเมื่อทำการ spiked sample (μ g/mL)

ยี่ห้อน้ำดื่ม	ความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ ระเหยเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	%RSD	%recovery
A	365.3063 \pm 7.2478	1.9451	79.18
B	426.7709 \pm 12.6627	2.9671	87.27
C	411.2946 \pm 5.4287	1.3199	90.79
D	427.8016 \pm 1.6052	0.3752	85.79

หมายเหตุ การคำนวณ %recovery แสดงไว้ในภาคผนวก จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด(Limit of Detection; LOD) และขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดเชิงปริมาณโดยมีความถูกต้องและความเที่ยงที่ยอมรับได้(Limit of Quantitation; LOQ)

ศึกษาจากการตรวจวัดปริมาณของสารละลายมาตรฐานคลอโรฟอร์มที่ความเข้มข้น 444, 888, 1332 และ 1776 $\mu\text{g/mL}$ โดยแต่ละความเข้มข้นทำการวัดซ้ำ 5 ครั้งจากนั้นนำค่าพื้นที่พีคไปคำนวณหาค่าความเข้มข้น และนำค่าความเข้มข้นเฉลี่ยมาพลอตกราฟเทียบกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอโรฟอร์ม ได้กราฟแสดงดังรูปที่ 4.3 สมการเส้นตรงคือ $y = 0.995x + 5.036$ นำค่าสมการที่ได้มาคำนวณค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด(LOD)ได้เท่ากับ 15.1839 $\mu\text{g/mL}$ และได้ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ(LOQ) ได้เท่ากับ 50.6131 $\mu\text{g/mL}$



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอโรฟอร์ม กับความเข้มของคลอโรฟอร์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการตรวจวัดปริมาณสารประกอบอินทรีย์ระเหยทั้ง 5 ชนิด (คลอโรฟอร์ม, 1,2-ไดคลอโรอีเทน, เบนซีน, โบรโมไดคลอโรมีเทน, และโทลูอิน) ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำดื่มด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี คอลัมน์ที่ใช้เป็นชนิดแคปิลารี RTX-5 ขนาด 30 m. x 0.25 mm. i.d. ตัวตรวจวัดเป็นชนิดเฟลมไอออไนเซชัน และเฟสเคลื่อนที่เป็นแก๊สฮีเลียม ควบคู่กับวิธีการสกัดด้วยเฟสของแข็ง(วิธี SPE-GC-FID) พบว่าวิธีวิเคราะห์นี้ ให้ค่าร้อยละการเบี่ยงเบนสัมพัทธ์ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 15% และร้อยละการคืนกลับ (80-110%) เพื่อบอกถึงความเที่ยงและความถูกต้องของวิธีตามลำดับ ความสัมพันธ์เชิงเส้นของวิธีวิเคราะห์ แสดงได้ด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(R^2)เท่ากับ 0.995(คลอโรฟอร์ม), 0.995(1,2-ไดคลอโรอีเทน), 0.998(เบนซีน), 0.976(โบรโมไดคลอโรมีเทน) และ 0.984(โทลูอิน) และค่าขีดจำกัดของการตรวจวัด(LOD)และค่าขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ(LOQ)เท่ากับ 15.1839 and 50.6131 $\mu\text{g/mL}$ ตามลำดับ

เมื่อนำวิธี SPE-GC-FID นี้ไปตรวจวัดปริมาณ VOCs ทั้ง 5 ชนิด ในน้ำดื่ม พบว่ามีสารละลายคลอโรฟอร์มอยู่เท่ากับ 13.7356 ± 1.2311 , 39.3096 ± 1.1146 , 8.2071 ± 0.4808 และ $46.8816 \pm 1.7661 \mu\text{g/mL}$ ของตัวอย่างน้ำดื่ม A, B, C และ D ตามลำดับ จากมาตรฐานน้ำดื่มได้กำหนดให้มีสารละลายคลอโรฟอร์มปนอยู่ในน้ำดื่มได้ไม่เกิน $50 \mu\text{g/mL}$ จึงสรุปได้ว่า ตัวอย่างน้ำดื่มที่นำมาวิเคราะห์(บริเวณ โรงอาหารคณะวิทยาศาสตร์)มีปริมาณสารละลายคลอโรฟอร์มอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถบริโภคได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. สารประกอบอินทรีย์ระเหยเป็นสารที่ระเหยได้เร็วมากดังนั้นต้องรีบฉีดสารเมื่อคูดอกมาและไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควรเปิดฝาทิ้งไว้เพราะสารจะระเหยออกหมดขวดบรรจุสารก็ต้องเป็นขวดสีชาเพราะสารประกอบอินทรีย์ระเหยนี้ไวต่อแสง

2. เพื่อความสะดวกรวดเร็วและแม่นยำของการวิเคราะห์ควรใช้การฉีดสารเข้าเครื่องแบบอัตโนมัติ

3. คอลัมน์ที่ใช้ควรตรวจสอบดูความสะอาดก่อนใช้งานเพื่อป้องกันพีคที่ไม่ต้องการปนมากับการวิเคราะห์ดังนั้นเมื่อพบว่าคอลัมน์ที่ใช้ไม่สะอาดและไม่สามารถทำความสะอาดได้ควรเปลี่ยนคอลัมน์อันใหม่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. กรมควบคุมมลพิษ. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (ม.ป.ป.).
มาตรฐานคุณภาพน้ำ. ค้นข้อมูล 22 กันยายน 2550,
จาก http://pcd.go.th/info_serv/reg_std_water01.html
2. ทรงวุฒิ ศรีสว่าง, นพพร จรุงเกียรติ, & ศรีนิญา ภูผาจิตต์. (ม.ป.ป.).
ภัยอันตรายจากสารอินทรีย์ไอระเหย (volatile organic compounds) และการจัดการ
กับสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่เป็นตัวทำละลาย. ค้นข้อมูล 22 กันยายน 2550,
จาก <http://monitor.onep.go.th/document/voc.htm>
3. เพอชา เสงตระกุล, & ปรีชญานี เถาสุวรรณ. (ม.ป.ป.). การเตรียมตัวอย่างโดยใช้เทคนิค
Solid Phase Extraction. ค้นข้อมูล 15 ตุลาคม 2550,
จาก <http://www.sithiphorn.com/newweb/newsletter/31-2-2005-1112256707.pdf>
4. ฝ่ายวางแผนการผลิตและควบคุมคุณภาพ. การประปานครหลวง. (2544).
น้ำก๊อก. วารสารการประปานครหลวง 17(1), -
5. แหล่งน้ำธรรมชาติบนโลก. (ม.ป.ป.). ค้นข้อมูล 24 ตุลาคม 2550,
จาก http://coursewares.mju.ac.th/section2/la166/chapter/ch_8/index_ch_8.htm
6. อรุณี คงศักดิ์ไพศาล. แบบเรียนการประกันคุณภาพ และมาตรฐานห้องปฏิบัติการเคมี
7. อังฉณา ฉั่วสุวรรณ. (ม.ป.ป.). การตรวจสอบคุณภาพน้ำดื่ม. ค้นข้อมูล 22 กันยายน 2550,
จาก http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/cp_1_2547_water_drink.pdf
8. Caro, J. , Serrano, M. , & Gallego, M. (2007). Direct screening and confirmation
of priority Volatile organic pollutants in drinking water. *Journal of
chromatography A* 1138(2007), 244-250.
9. Daniel L, Heglund ,& David C. Tilotta. (1995). Determination of volatile
organic compounds in water by solid shase microextraction and
infrared spectroscopy. *Environ. Sci. Technol.*, 30 (4), 1212 -1219
10. Mohammad, A. M. , Mohammad, Z. A. , & Mohammad, S. I. (2003). Determination of
Benzene, toluene, ethylbenzene and xylene in river water by solid phase

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

extraction and gas chromatography. *Analytical Science* (19), 1365-1369

11. Photovac. (n.d.). Preparation of aqueous standards for groundwater analysis using the voyager portable. *TechTIPS the latest from Photovac* (6).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

Gas Chromatography

ในเทคนิคนี้สารที่ต้องการแยกจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในสถานะแก๊ส แล้วผ่านเข้าคอลัมน์เพื่อเกิดการแยกโดยอาศัยการพาไปของเฟสเคลื่อนที่ที่เป็นแก๊ส แก๊สที่เป็นเฟสเคลื่อนที่จะเป็นแก๊สเฉื่อยและไม่ทำปฏิกิริยากับสาร ทำหน้าที่เป็นตัวพาสารให้ผ่านคอลัมน์ไปอย่างเฉื่อย ดังนั้น ในเทคนิค Gas Chromatography จึงนิยมเรียกแก๊สที่เป็นเฟสเคลื่อนที่นี้ว่าแก๊สพา (carrier gas)

แก๊สโครมาโทกราฟีแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ

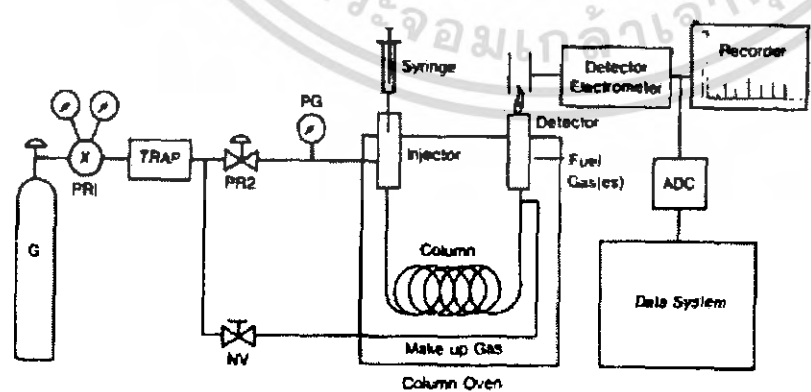
- Gas-liquid chromatography (GLC)

การกระจายตัว (partitioning) ของสารระหว่างแก๊สพากับเฟสคงที่ของเหลวที่เคลือบอยู่บนผิวของ solid support หรือที่ผนังของแคปพิลารีคอลัมน์

- Gas-solid chromatography (GSC)

เฟสคงที่เป็นของแข็งที่สามารถดูดซับ (physical adsorption) สารที่เป็นแก๊สซึ่งต้องการแยกได้ เช่น molecular sieves, silica gel, alumina, activated carbon เป็นต้น

ก-1 องค์ประกอบของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี



รูปก-1 องค์ประกอบของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องโครมาโทกราฟี (GC) ประกอบด้วยส่วนหลักๆ 5 ส่วน คือ

1. แก๊สพา (carrier gas) - มีถังบรรจุก๊าซพาและส่วนควบคุมการไหลของแก๊ส
2. ส่วนฉีดสารตัวอย่าง (injector) - ส่วนที่นำสารเข้าสู่คอลัมน์เพื่อทำการแยก
3. คอลัมน์ (column) - วางอยู่ในตู้อบ (oven) ที่สามารถปรับอุณหภูมิได้รวดเร็ว
4. ส่วนการตรวจวัด (detector) - ทำการตรวจวัดสารแต่ละชนิดที่ถูกแยกออกมา
5. ส่วนการประมวลผล (recorder and data processing)

ก-2 แก๊สพา (Carrier Gas)

-แก๊สที่ใช้เป็นแก๊สพาจะต้องไม่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา (chemically inert)

แก๊สที่นิยมใช้ ได้แก่ He, N₂, H₂, และ Air

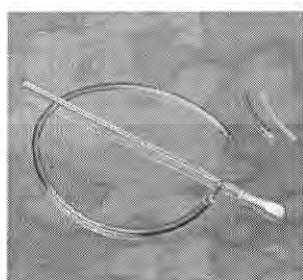
-การปรับอัตราเร็วของแก๊สพา ทำโดยปรับความดันของแก๊สซึ่งควบคุมด้วย pressure

regulator Inlet pressure: 10-50 psi (above room pressure)

-อัตราเร็วของแก๊ส (volumetric flow) ที่ใช้ในเทคนิค GC

สำหรับ packed column: 25-150 mL/min

สำหรับ capillary column: 1-25 mL/min



รูปก-2 : Bubble flow meter



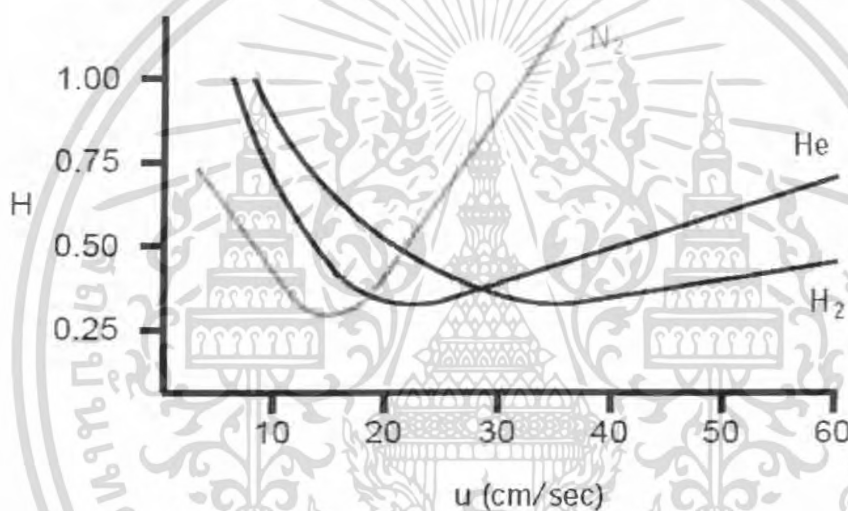
Two-stage gas regulator

รูปก-3 : Two-Stage gas Regulator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของแก๊สพา

เมื่อทำการเปลี่ยนความเร็วหรืออัตราเร็วของแก๊สพาที่ผ่านคอลัมน์ ผลกระทบต่อประสิทธิภาพคอลัมน์ในการใช้แก๊สพาแต่ละชนิดจะไม่เท่ากัน ไนโตรเจนเป็นแก๊สพาที่ให้ค่า H ต่ำสุด (ได้ประสิทธิภาพคอลัมน์มากที่สุด) แต่ทำได้ที่ความเร็วของแก๊สพาต่ำๆ อีกทั้งช่วงของค่าความเร็วแก๊สที่ทำให้ได้ประสิทธิภาพในการแยกที่ดีแคบ ไฮโดรเจนและฮีเลียมให้ค่า H_{opt} ที่ความเร็วของแก๊สที่สูง ทำให้ทำการแยกสารได้เร็วขึ้น



รูปก-4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบแก๊สตัวพาทั้ง 3 ชนิด

ความบริสุทธิ์ของแก๊ส

แก๊สพาที่ใช้ควรมีปริมาณออกซิเจน, ความชื้นหรือองค์ประกอบอื่นๆ ในความเข้มข้นที่ต่ำกว่า 1 ppm แก๊สพาที่ไม่บริสุทธิ์อาจเกิดสัญญาณรบกวนได้ ถ้าแก๊สมีความบริสุทธิ์จะช่วยยืดอายุการใช้งานของคอลัมน์ได้ สามารถบำรุงรักษาเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีได้ สำหรับในการวิเคราะห์สารตัวทำละลายตกค้างในสารตัวอย่างยา เราจะใช้ฮีเลียมเป็นแก๊สพา โดยอัตราเร็วของแก๊สสำหรับแคปิลารีคอลัมน์ เป็น 1-25 มล./นาที

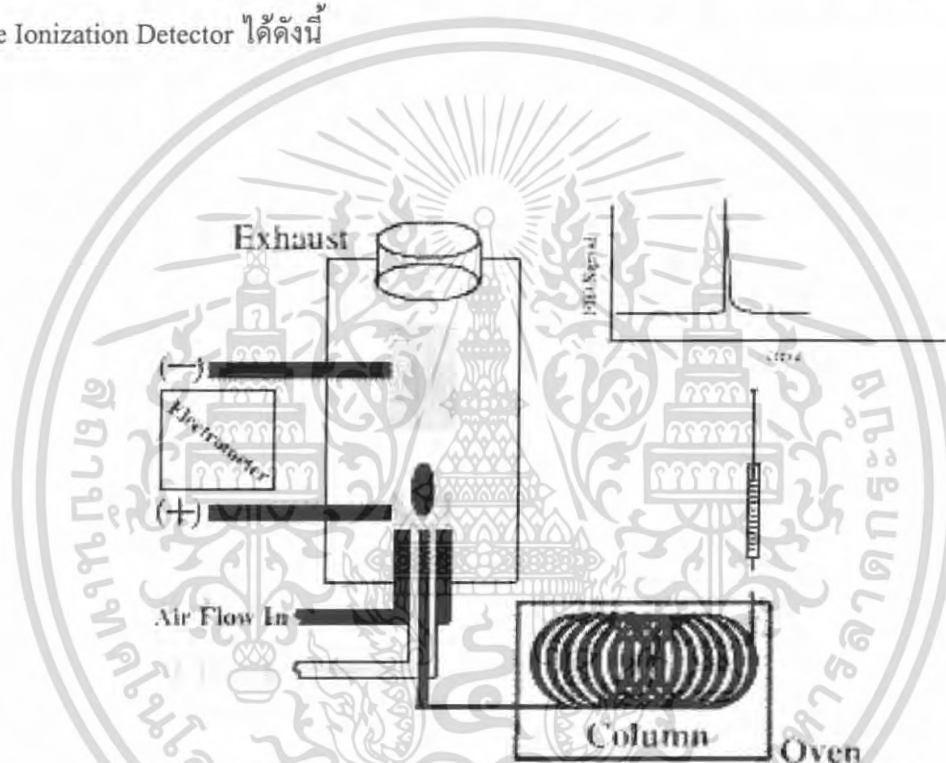
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-3 ระบบฉีดสารตัวอย่าง (Injection port)

คอลัมน์ (Column)

ส่วนการตรวจวัด (Detector)

ในการทดลองนี้เราใช้ Flame Ionization Detector เป็นตัวตรวจวัด โดย แสดงลักษณะของ Flame Ionization Detector ได้ดังนี้



รูปก-5 แสดงลักษณะของ Flame Ionization Detector

ลักษณะของ Flame Ionization Detector

แก๊สไฮโดรเจนจะถูกจุดให้ติดไฟด้วย Heater ไฟฟ้า ซึ่งอยู่ใกล้ๆกับ Flame jet ส่วนอากาศที่ผ่านเข้าไปทำหน้าที่สองอย่าง คือ ช่วยการเผาไหม้แล้วออกไป แก๊สพาและสารตัวอย่างที่ออกมาจากคอลัมน์จะเข้าสู่เปลวไฟ จะทำให้สารเหล่านั้นเกิดไอออนในเซชันได้เป็นอิเล็กตรอนและไอออนบวก อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยัง Flame jet ไอออนบวกจะเคลื่อนที่ไปยังอิเล็กโทรด สัญญาณที่เกิดขึ้น จะถูกส่งไปยังอิเล็กโทรมิเตอร์ และบันทึกสัญญาณด้วยเครื่องบันทึกโครมาโทแกรม FID ที่ผลิตใช้ใน

แก๊สโครมาโทกราฟี มีลักษณะต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อควรปฏิบัติในการใช้ FID

เนื่องจากการเผาไหม้ใน FID จะมีไอน้ำเกิดขึ้น เพื่อป้องกันการเกิดการกลั่นตัวของไอน้ำ ควรจะต้องตั้งอุณหภูมิของดีเทคเตอร์ให้สูงกว่า 100°C โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อสารตัวอย่างเป็นพวก สารประกอบของคลอรีน ผลจากการเผาไหม้จะก่อให้เกิดการสุกร้อนได้ง่าย สภาพไวของดีเทคเตอร์ จะเสียไปด้วย บางครั้งสารประกอบพวกที่มีโมเลกุลใหญ่ๆ การเผาไหม้ไม่ค่อยสมบูรณ์ ทำให้เกิด เขม่าอุดตัน Flame trip หรือ jet ได้ จึงต้องใช้อุณหภูมิของดีเทคเตอร์ให้สูงขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข-1 แสดงการวิเคราะห์

คำนวณความเข้มข้นจากสมการเส้นตรงจาก $y = 40.94x + 34440$ โดยที่ให้ $y =$ พื้นที่ใต้พีค $X =$ ความเข้มข้นคำนวณค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเฉลี่ย

จาก
$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}$$

$$\bar{x} = 486.2354$$

คำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จาก
$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$SD = 3.6490$$

คำนวณร้อยละของการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

จาก
$$\%RSD = \frac{SD}{\bar{x}} \times 100$$

$$\%RSD = \frac{3.6490}{486.2354} \times 100$$

$$\%RSD = 0.75$$

การหาค่า Recovery หรือการวิเคราะห์ spiked sample

จาก

$$\% \text{ Recovery} = \frac{\text{ความเข้มข้นของ spiked sample เฉลี่ย} - \text{ความเข้มข้นของตัวอย่างเริ่มต้นเฉลี่ย}}{\text{ความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่เติมลงไป}} \times 100$$

ความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่เติมลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

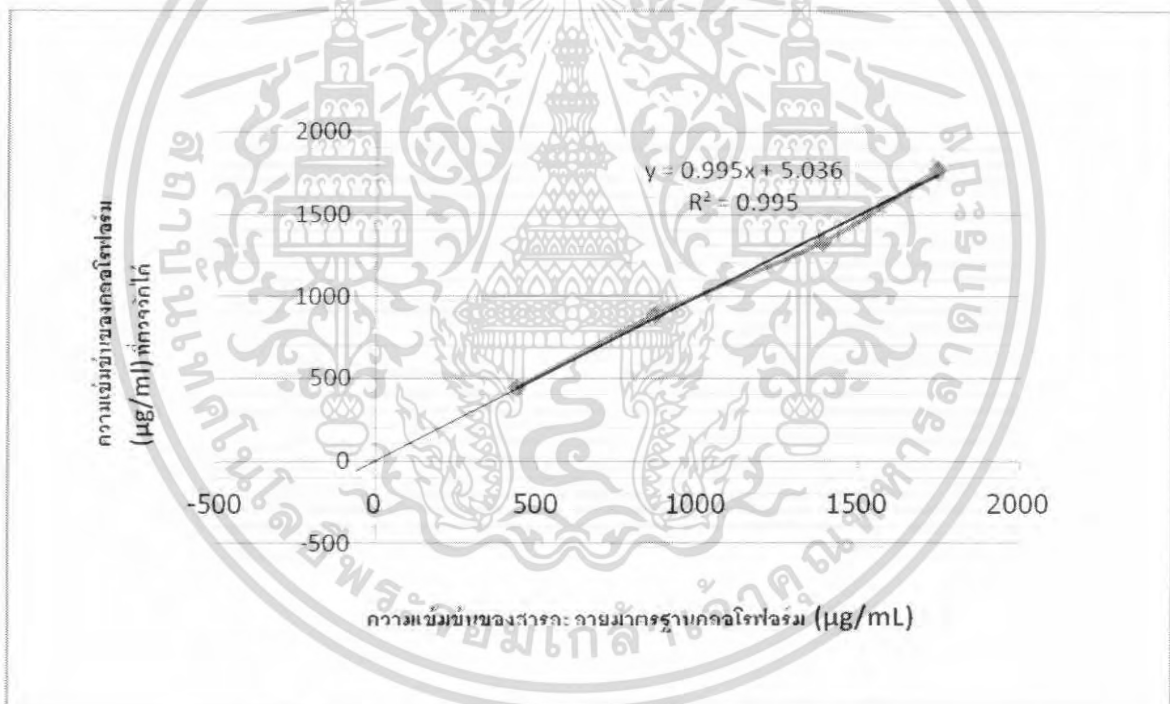
$$\text{หรือ } \% \text{ Recovery} = \frac{\overline{C}_{\text{spiked sample}} - \overline{C}_{\text{original sample}}}{C_{\text{add}}} \times 100$$

การหาค่า Limit of Detection (LOD)

$$\text{จาก } \text{LOD} = \frac{3S_0}{\text{slope}} \quad \text{เมื่อ } S_0 = \text{จุดตัดแกน } y$$

การหาค่า Limit of quantitation (LOQ)

$$\text{จาก } \text{LOQ} = \frac{10S_0}{\text{slope}}$$



รูปข-1 กราฟเส้นตรงแสดงการหาค่า LOD และ LOQ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

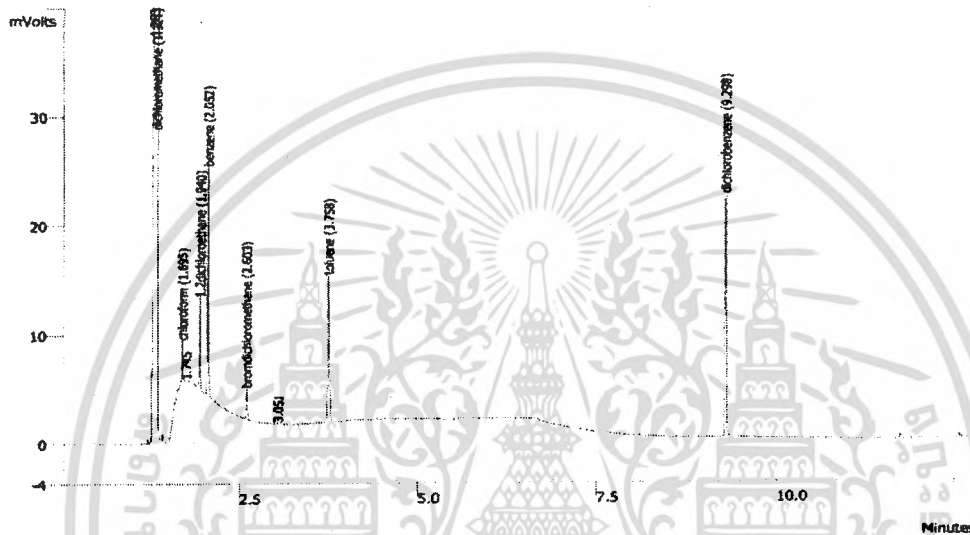


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

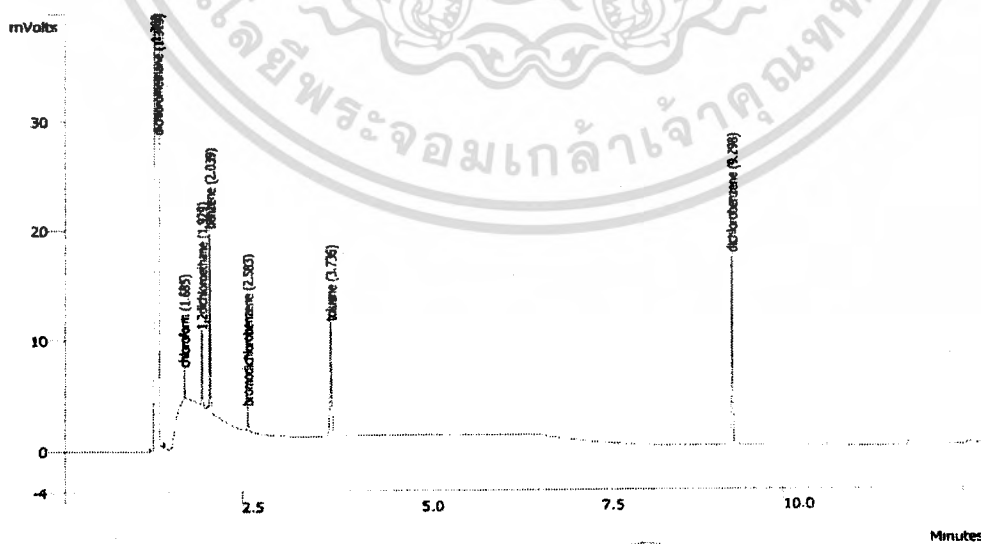
ภาคผนวก ค

ค-1 กราฟโครมาโทแกรมสารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหย

1. กราฟความเข้มข้นสารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่ปริมาตร 30 μL 3 ซ้ำ

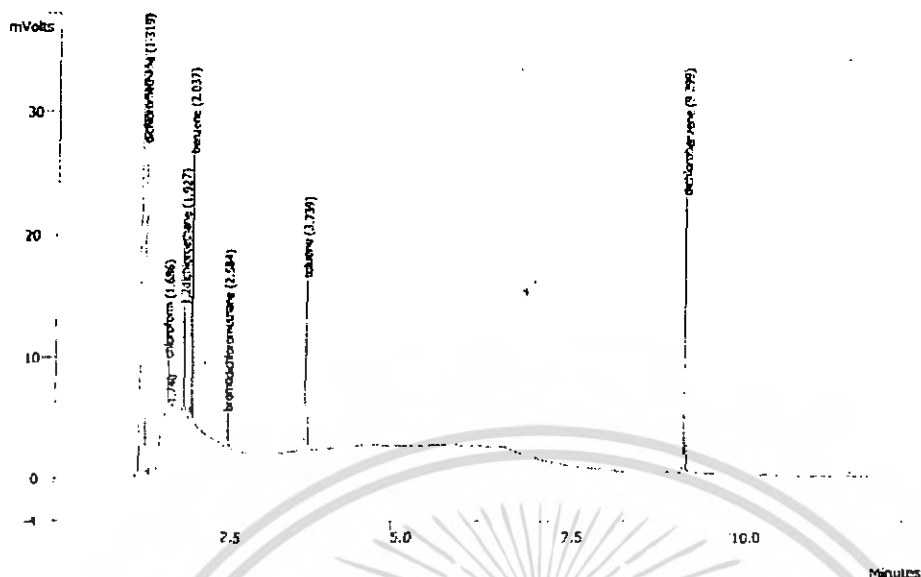


รูป ค-1 กราฟโครมาโทแกรมสารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่ปริมาตร 30 μL ครั้งที่ 1



รูป ค-2 กราฟโครมาโทแกรมสารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่ปริมาตร 30 μL ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



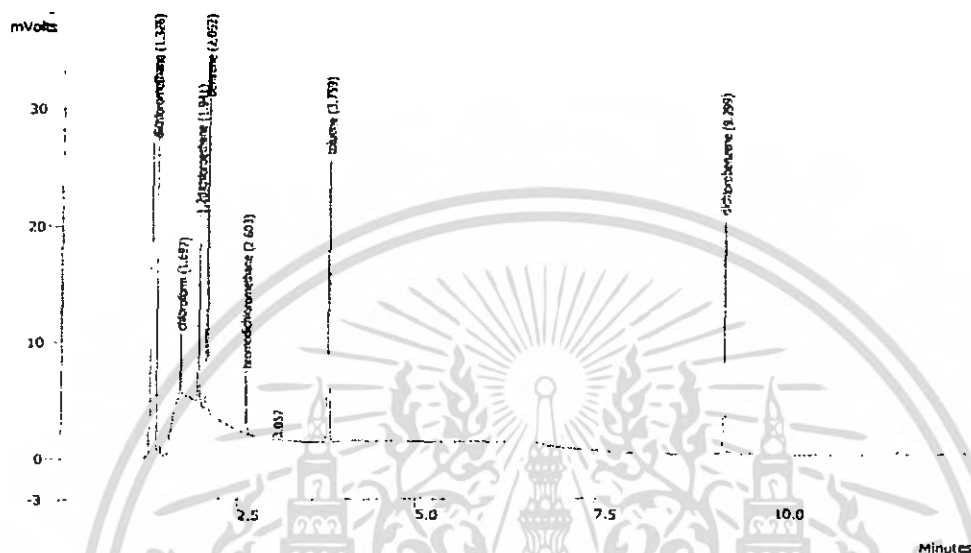
รูป ก-3 กราฟโครมาโทแกรมสารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่ปริมาตร 30 μL ครั้งที่ 3

ตาราง ก-1 ค่าพื้นที่พีคของความเข้มข้นปริมาตร 30 μL ของการทดลอง 3 ซ้ำ

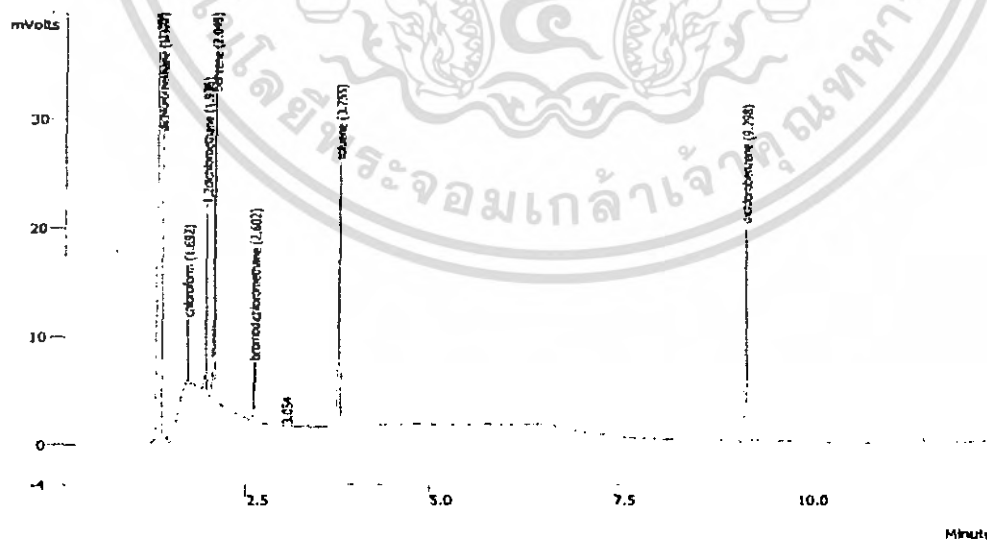
สารประกอบ อินทรีย์ระเหย	พื้นที่พีคได้กราฟ						ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (SD)	%RSD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย		
คลอโรฟอร์ม	51862	52535	52816	52018	52789	52404.0	440.9904	0.8415
1,2 ไดคลอโรอี เทน	36627	35729	35243	35674	36054	35865.4	257.1752	0.7171
เบนซีน	75249	71227	72916	73621	72640	73130.6	734.7851	1.0048
โบโมไดคลอ โรมีเทน	21673	23647	24451	23872	22644	23257.4	550.0446	2.3650
โทลูอิน	24163	26654	27489	26117	26089	26102.4	611.7897	2.3438

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กราฟความเข้มข้นสารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่ปริมาตร 60 μL 3 ซ้ำ



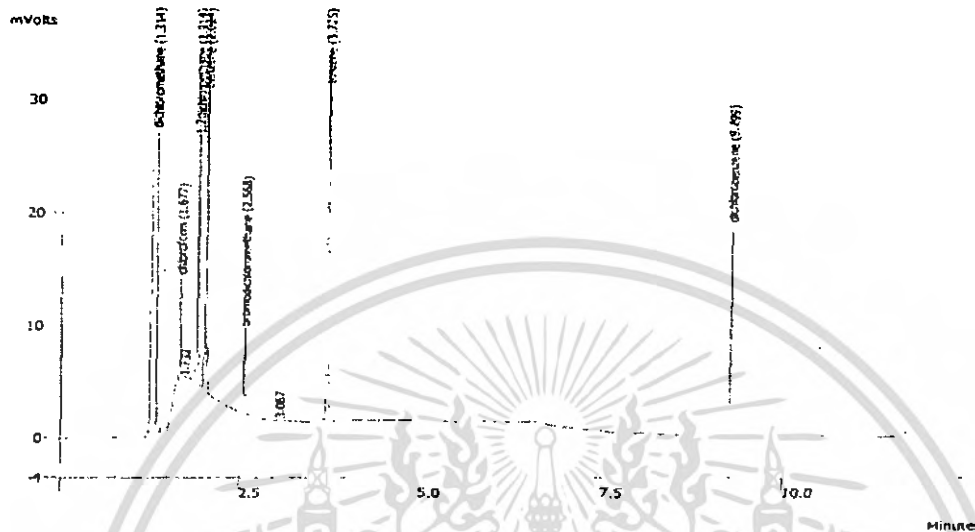
รูป ค-4 กราฟโครมาโทแกรมสารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่ปริมาตร 60 μL ครั้งที่ 1



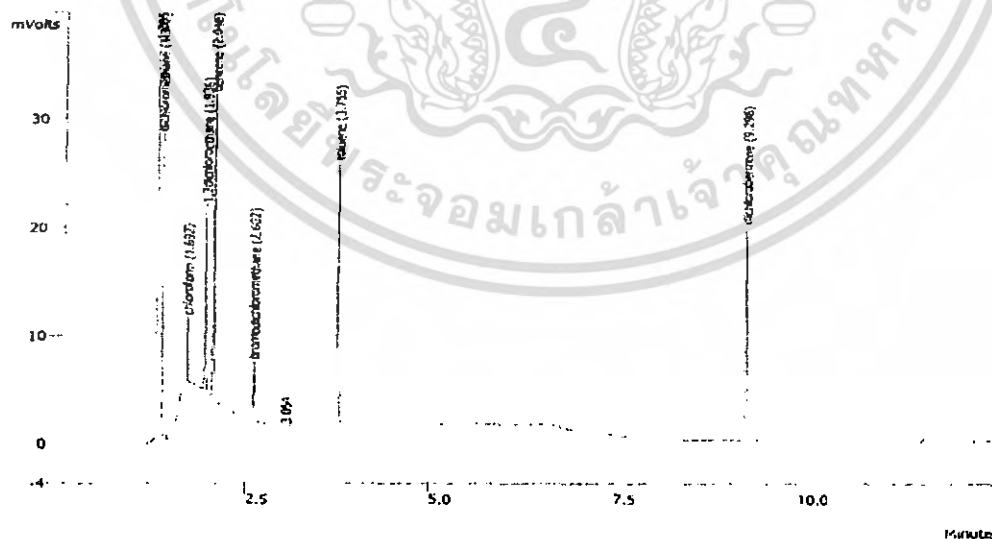
รูป ค-5 กราฟโครมาโทแกรมสารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่ปริมาตร 60 μL ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กราฟความเข้มข้นสารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่ปริมาตร 90 μL 3 ซ้ำ

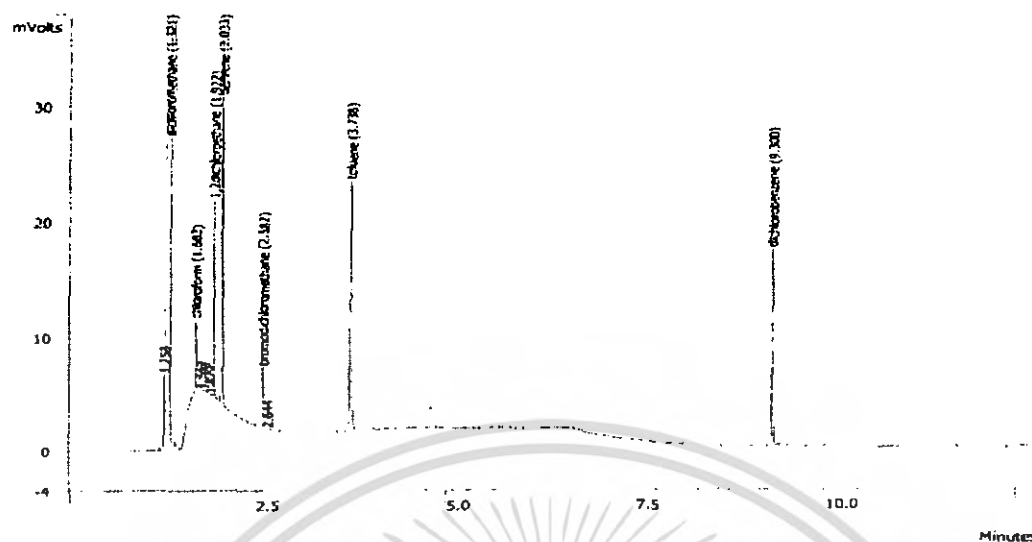


รูป ค-7 กราฟโครมาโทแกรมสารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่ปริมาตร 90 μL ครั้งที่ 1



รูป ค-8 กราฟโครมาโทแกรมสารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่ปริมาตร 90 μL ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

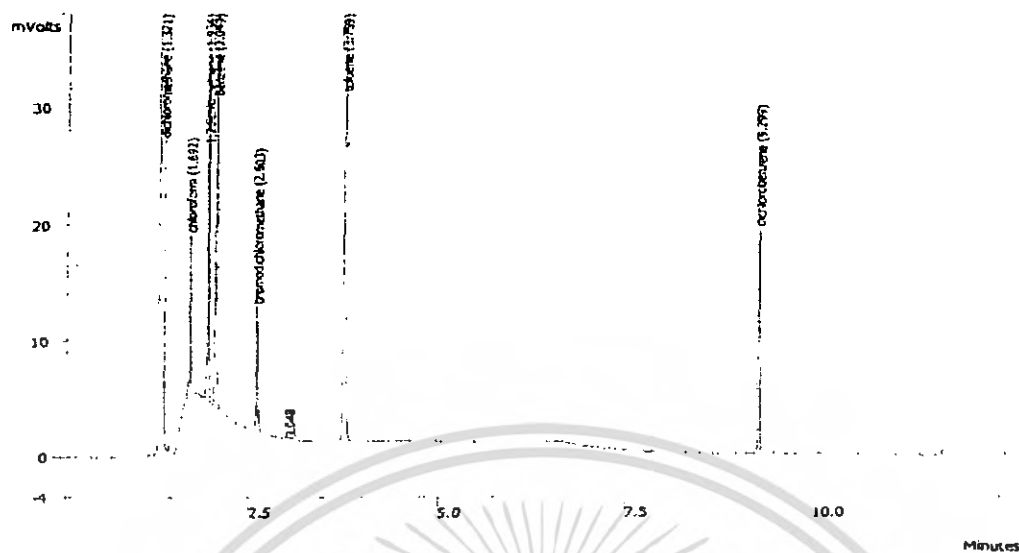


รูป ก-9 กราฟโครมาโทแกรมสารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่ปริมาตร 90 μL ครั้งที่ 3

ตาราง ก-3 ค่าพื้นที่พีคของความเข้มข้นปริมาตร 90 μL ของการทดลอง 3 ซ้ำ

สารประกอบ อินทรีย์ระเหย	พื้นที่พีคได้กราฟ					ค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ย (SD)	%RSD	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5			
คลอโรฟอร์ม	92937	90689	91247	91524	89913	91263.0	560.4275	0.6141
1,2 ไดคลอโรอี เทน	52180	49129	47565	49982	49267	49624.6	839.2996	1.6913
เบนซีน	140688	134087	115850	130972	129443	130208.0	4556.5758	3.4995
โบโมไดคลอ โรมีเทน	28421	29364	30162	33796	27637	29876.0	1194.7930	3.9992
โทลูอิน	56095	58887	66669	64391	56708	60550.0	2366.0225	3.9076

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ก-12 กราฟโครมาโทแกรมสารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยที่ปริมาตร 120 μL ครั้งที่ 3

ตาราง ก-4 ค่าพื้นที่พีคของความเข้มข้นปริมาตร 120 μL ของการทดลอง 3 ซ้ำ

สารประกอบ อินทรีย์ระเหย	พื้นที่พีคได้กราฟ					ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (SD)	%RSD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5			
คลอโรฟอร์ม	101794	107077	108832	106523	105279	105901.0	1313.7483	1.2405
1,2 ไดคลอโรอี เทน	56756	62315	58787	60425	58147	59286.0	1072.9452	1.8098
เบนซีน	155077	167877	156651	155190	164546	159868.2	2970.8397	1.8583
โบโมไดคลอ โรมีเทน	31176	37490	33444	35164	32912	34036.2	1198.8520	3.5223
โทลูอิน	81655	89287	83672	85914	83828	84871.2	1446.0509	1.7038

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ง-1 กราฟความเข้มข้นของสารคลอโรฟอร์มในน้ำดื่ม 4 ยี่ห้อ และคำนวณค่า \bar{x} , SD, %RSD

1. กราฟความเข้มข้นสารคลอโรฟอร์มในน้ำดื่มยี่ห้อ A



รูป ง-1 แสดงโครมาโทแกรมของสารคลอโรฟอร์มในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ A

ตาราง ง-1 ความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มที่มีในน้ำดื่มยี่ห้อ A

	ค่าความเข้มข้นของ คลอโรฟอร์มที่มีในน้ำ ดื่มยี่ห้อ A ครั้งที่ 1	ค่าความเข้มข้นของ คลอโรฟอร์มที่มีในน้ำ ดื่มยี่ห้อ A ครั้งที่ 3	ค่าความเข้มข้นของ คลอโรฟอร์มที่มีในน้ำ ดื่มยี่ห้อ A ครั้งที่ 3
น้ำดื่มยี่ห้อ A	14.3381	15.0953	13.7356

$$\bar{x} = \frac{14.3381 + 15.0953 + 11.7733}{3}$$

$$= 13.7356$$

$$SD = \sqrt{\frac{0.3630 + 1.8488 + 3.8506}{2}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 1.2311$$

$$\%RSD = \frac{1.2311}{13.7356} \times 100 = 8.9628$$

2. กราฟความเข้มข้นสารคลอโรฟอร์มในน้ำคืมยี่ห้อ B



รูป ง-2 โครมาโทแกรมของสารคลอโรฟอร์มในตัวอย่างน้ำคืมยี่ห้อ B

ตาราง ง-2 ความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มที่มีในน้ำคืมยี่ห้อ B

	ค่าความเข้มข้นของ คลอโรฟอร์มที่มีในน้ำ คืมยี่ห้อ B ครั้งที่ 1	ค่าความเข้มข้นของ คลอโรฟอร์มที่มีในน้ำ คืมยี่ห้อ B ครั้งที่ 2	ค่าความเข้มข้นของ คลอโรฟอร์มที่มีในน้ำ คืมยี่ห้อ B ครั้งที่ 3
น้ำคืมยี่ห้อ B	39.8144	37.5427	40.5716

$$\bar{x} = \frac{39.8144 + 37.5427 + 40.5716}{3}$$

$$= 39.3096$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$SD = \sqrt{\frac{0.2548 + 3.1219 + 1.5926}{2}}$$

$$= 1.1146$$

$$\%RSD = \frac{1.1146}{39.3096} \times 100 = 2.8355$$

3. กราฟความเข้มข้นสารคลอโรฟอร์มในน้ำคืมยี่ห้อ C



รูปง-3 โครมาโทแกรมของสารคลอโรฟอร์มในตัวอย่างน้ำคืมยี่ห้อ C

ตาราง ง-3 ความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มที่มีในน้ำคืมยี่ห้อ C

	ค่าความเข้มข้นของ คลอโรฟอร์มที่มีในน้ำ คืมยี่ห้อ C ครั้งที่ 1	ค่าความเข้มข้นของ คลอโรฟอร์มที่มีในน้ำ คืมยี่ห้อ C ครั้งที่ 2	ค่าความเข้มข้นของ คลอโรฟอร์มที่มีในน้ำ คืมยี่ห้อ C ครั้งที่ 3
น้ำคืมยี่ห้อ C	8.8178	7.4743	8.3293

$$\bar{x} = \frac{8.8178 + 7.4743 + 8.3293}{3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 8.2071$$

$$SD = \sqrt{\frac{0.3729 + 0.5370 + 0.0149}{2}}$$

$$= 0.4808$$

$$\%RSD = \frac{0.4808}{8.2071} \times 100 = 5.8590$$

4. กราฟความเข้มข้นสารคลอโรฟอร์มในน้ำดื่มยี่ห้อ D



รูป ง-4 แสดงโครมาโทแกรมของสารคลอโรฟอร์มในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ D

ตาราง ง-4 ความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มที่มีในน้ำดื่มยี่ห้อ D

น้ำดื่มยี่ห้อ D	ค่าความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มที่มีในน้ำดื่มยี่ห้อ D ครั้งที่ 1	ค่าความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มที่มีในน้ำดื่มยี่ห้อ D ครั้งที่ 2	ค่าความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มที่มีในน้ำดื่มยี่ห้อ D ครั้งที่ 3
	45.6522	49.7557	45.2369

$$\bar{x} = \frac{45.6522 + 49.7557 + 45.2369}{3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 46.8816$$

$$SD = \sqrt{\frac{1.5114 + 8.2604 + 2.7050}{2}}$$

$$= 1.7661$$

$$\%RSD = \frac{1.7661}{46.8816} \times 100 = 3.7672$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

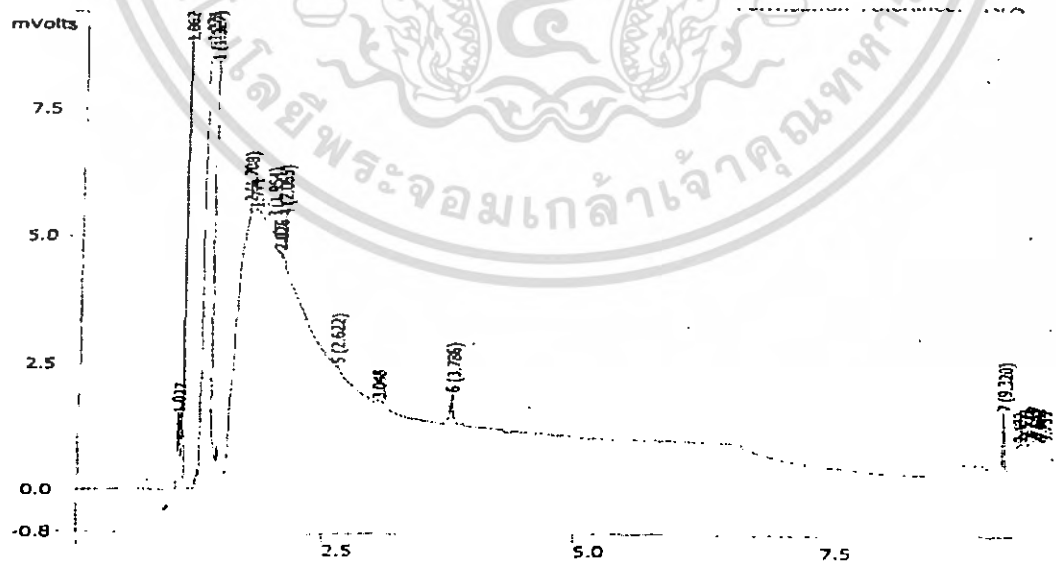
ภาคผนวก จ

จ-1 กราฟ spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลงในตัวอย่างน้ำดื่ม 4 ยี่ห้อ

1. กราฟ spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลงในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ A 5 ซ้ำ

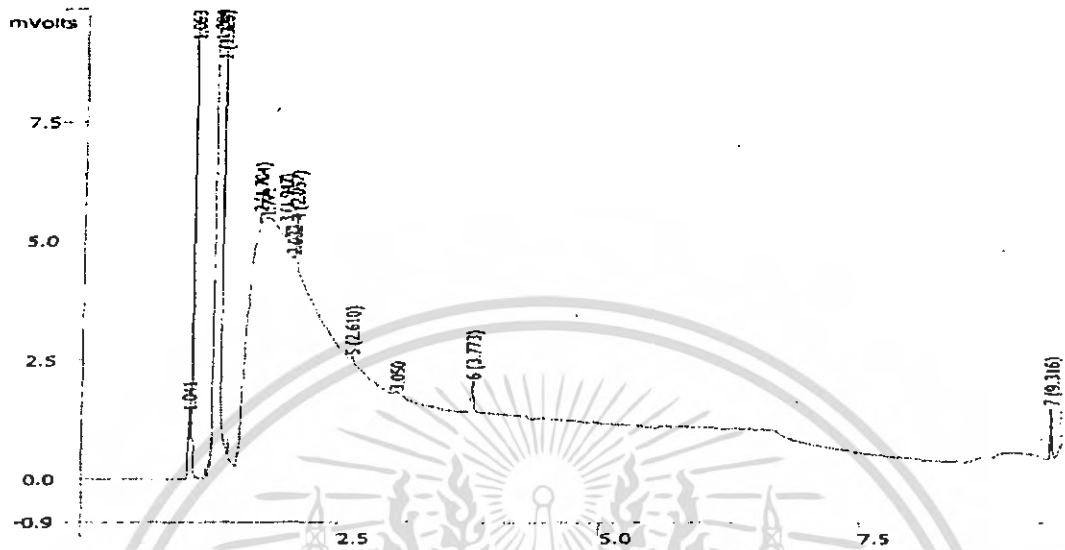


รูป จ-1 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลงในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ A ครั้งที่ 1

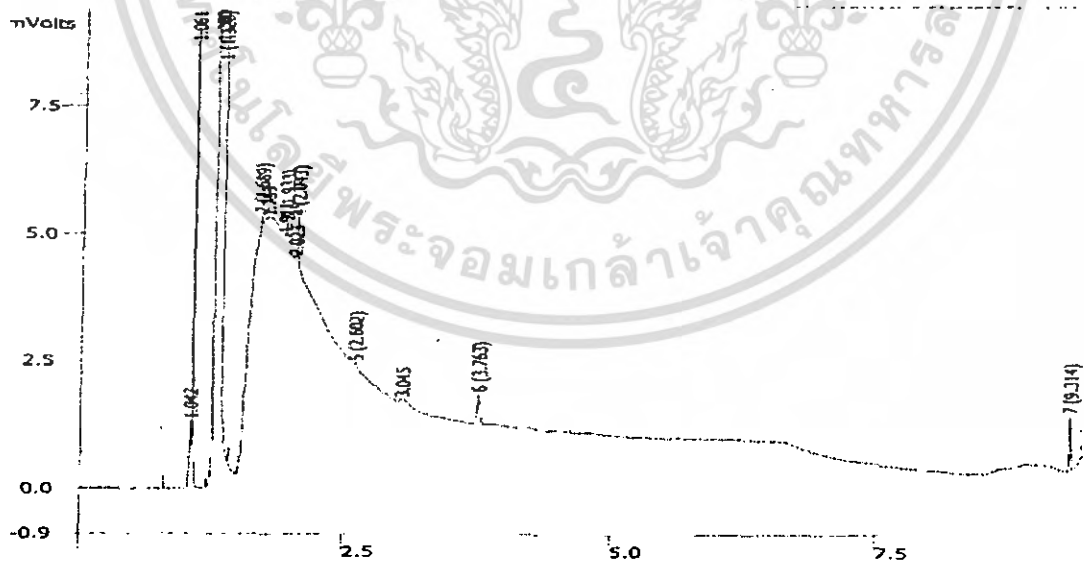


รูป จ-2 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลงในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ A ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

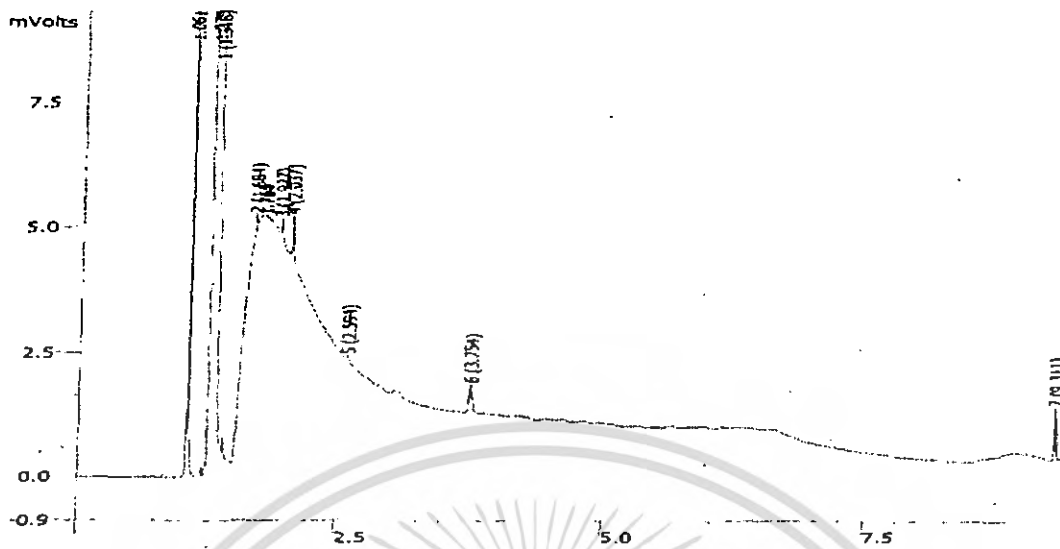


รูป จ-3 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลงในตัวอย่างน้ำดื่ม
ยี่ห้อ A ครั้งที่ 3



รูป จ-4 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลงในตัวอย่างน้ำดื่ม
ยี่ห้อ A ครั้งที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป จ-5 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลงในตัวอย่างน้ำดื่ม
ยี่ห้อ A ครั้งที่ 5

ตาราง จ-1 ความเข้มข้นของกลอโรฟอร์มที่มีในน้ำดื่มยี่ห้อ A

น้ำดื่มยี่ห้อ A	ค่าความ เข้มข้น ของ กลอโรฟอร์ม ที่มีในน้ำดื่ม ยี่ห้อ A ครั้งที่ 1	ค่าความ เข้มข้นของ กลอโรฟอร์ม ที่มีในน้ำดื่ม ยี่ห้อ A ครั้งที่ 2	ค่าความ เข้มข้นของ กลอโรฟอร์ม ที่มีในน้ำดื่ม ยี่ห้อ A ครั้งที่ 3	ค่าความ เข้มข้นของ กลอโรฟอร์ม ที่มีในน้ำดื่ม ยี่ห้อ A ครั้งที่ 4	ค่าความ เข้มข้นของ กลอโรฟอร์ม ที่มีในน้ำดื่ม ยี่ห้อ A ครั้งที่ 5
	344.0645	360.6986	383.0239	366.1260	372.6185

$$\bar{x} = \frac{344.0645 + 360.6986 + 383.0239 + 366.1260 + 372.6185}{5}$$

$$= 365.3063$$

$$SD = \sqrt{\frac{451.2141 + 21.2309 + 313.9133 + 0.6719 + 53.4683}{4}}$$

$$= 7.2478$$

$$\%RSD = \frac{7.2478}{365.3063} \times 100 = 1.9451$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\% \text{ recovery} = \frac{365.3063 - 13.7956}{444} \times 100$$

$$= 79.18$$

2. กราฟ spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลงในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ B 5 ซ้ำ

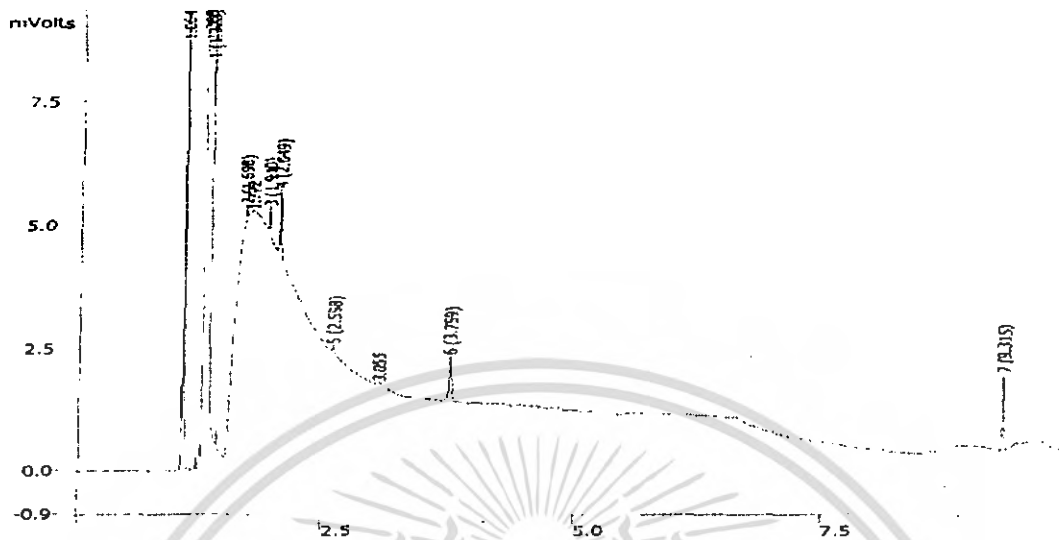


รูป จ-6 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลงในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ B ครั้งที่ 1

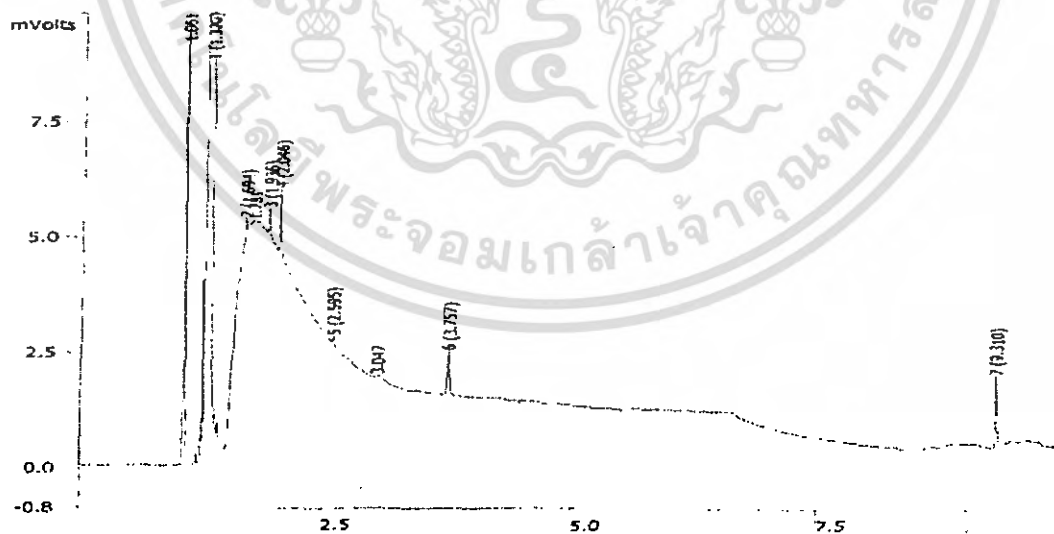


รูป จ-7 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลงในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ B ครั้งที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

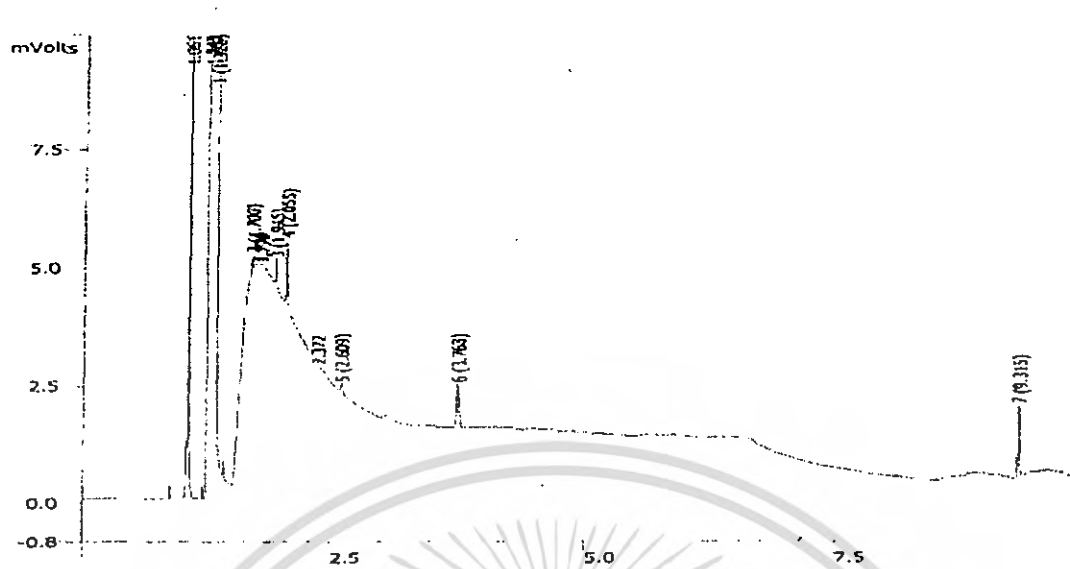


รูป จ-8 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลงในตัวอย่างน้ำดื่ม
ชื้อหือ B ครั้งที่ 3



รูป จ-9 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลงในตัวอย่างน้ำดื่ม
ชื้อหือ B ครั้งที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป จ-10 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลงในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ B ครั้งที่ 5

ตาราง จ-2 ความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มที่มีในน้ำดื่มยี่ห้อ B

น้ำดื่มยี่ห้อ B	ค่าความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มที่มีในน้ำดื่มยี่ห้อ B ครั้งที่ 1	ค่าความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มที่มีในน้ำดื่มยี่ห้อ B ครั้งที่ 2	ค่าความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มที่มีในน้ำดื่มยี่ห้อ B ครั้งที่ 3	ค่าความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มที่มีในน้ำดื่มยี่ห้อ B ครั้งที่ 4	ค่าความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มที่มีในน้ำดื่มยี่ห้อ B ครั้งที่ 5
	446.6781	429.6043	384.3185	427.5525	445.7010

$$\bar{x} = \frac{446.6781 + 429.6043 + 384.3185 + 427.5525 + 445.7010}{5}$$

$$= 426.7709$$

$$SD = \sqrt{\frac{396.2966 + 8.0281 + 1802.2063 + 0.6109 + 358.3487}{4}}$$

$$= 12.6627$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\%RSD = \frac{12.6627}{426.7709} \times 100 = 2.9671$$

$$\% \text{ recovery} = \frac{426.7709 - 35.3056}{444} \times 100$$

$$= 87.27$$

3. กราฟ spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลงในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ C 5 ซ้ำ



รูป จ-11 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลงในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ C ครั้งที่ 1



รูป จ-12 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลงในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ C ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป จ-15 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลงในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ C ครั้งที่ 5

ตาราง จ-3 ความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มที่มีในน้ำดื่มยี่ห้อ C

น้ำดื่มยี่ห้อ C	ค่าความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มที่มีในน้ำดื่มยี่ห้อ C ครั้งที่ 1	ค่าความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มที่มีในน้ำดื่มยี่ห้อ C ครั้งที่ 2	ค่าความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มที่มีในน้ำดื่มยี่ห้อ C ครั้งที่ 4	ค่าความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มที่มีในน้ำดื่มยี่ห้อ C ครั้งที่ 4	ค่าความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มที่มีในน้ำดื่มยี่ห้อ C ครั้งที่ 5
	427.7968	401.3679	403.4196	416.2921	407.5965

$$\bar{x} = \frac{427.7968 + 401.3679 + 403.4196 + 416.2921 + 407.5965}{5}$$

$$= 411.2946$$

$$SD = \sqrt{\frac{272.3226 + 98.5394 + 62.0156 + 24.9640 + 13.6759}{4}}$$

$$= 5.4287$$

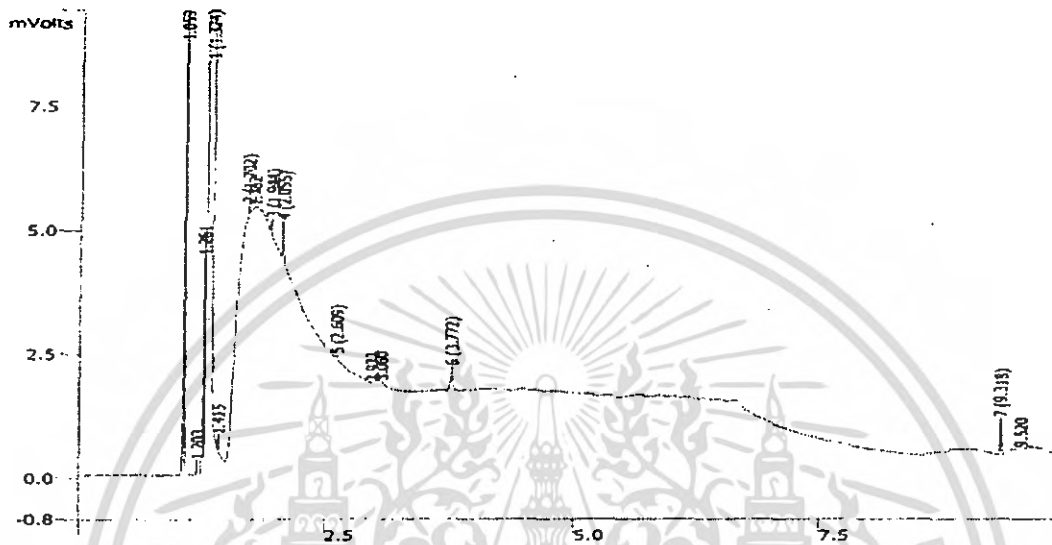
$$\%RSD = \frac{5.4287}{411.2946} \times 100 = 1.3199$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

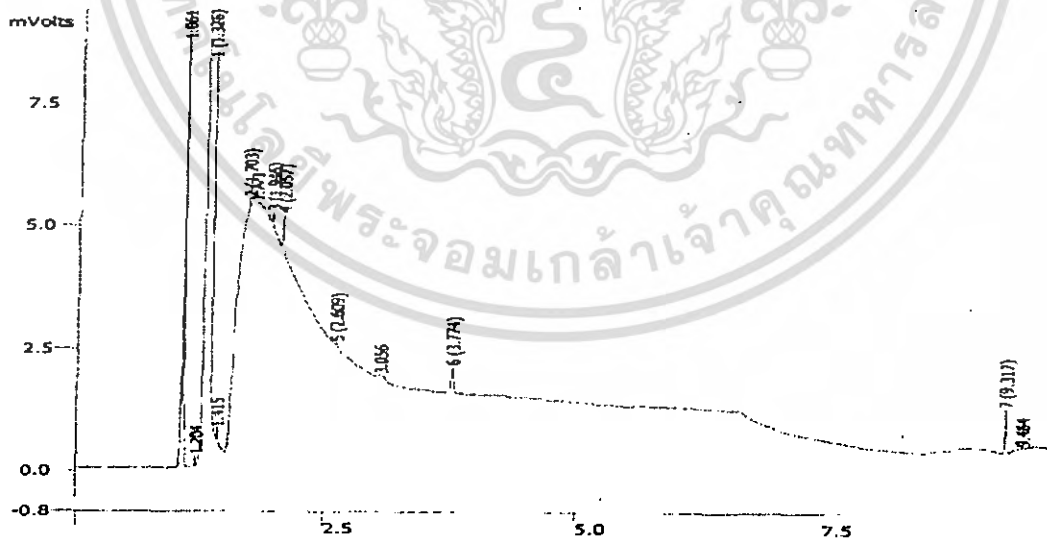
$$\% \text{ recovery} = \frac{411.2946 - 8.2071}{444} \times 100$$

$$= 90.79$$

4. กราฟ spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลงในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ D 5 ซ้ำ

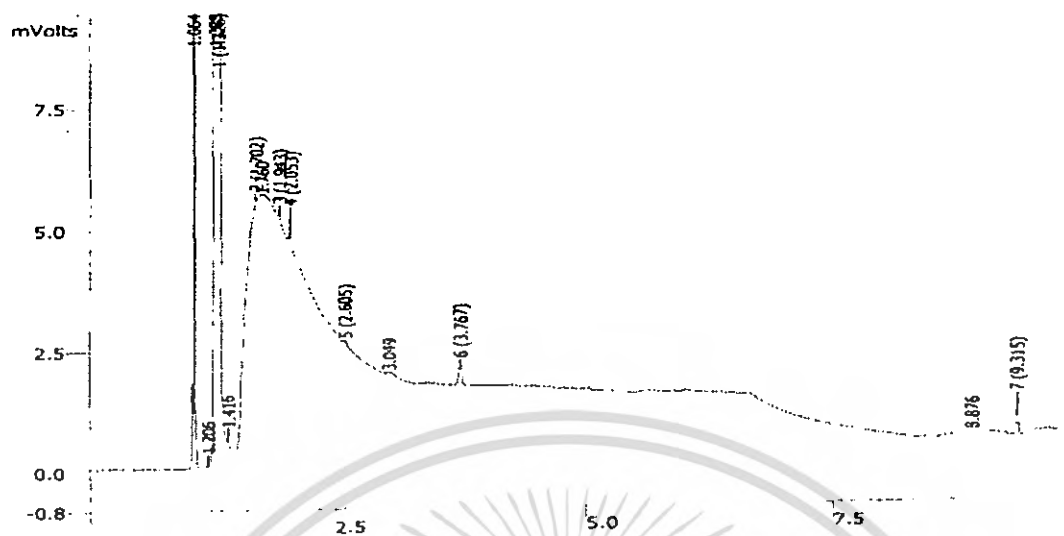


รูป จ-16 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลงในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ D ครั้งที่ 1



รูป จ-17 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลงในตัวอย่างน้ำดื่มยี่ห้อ D ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

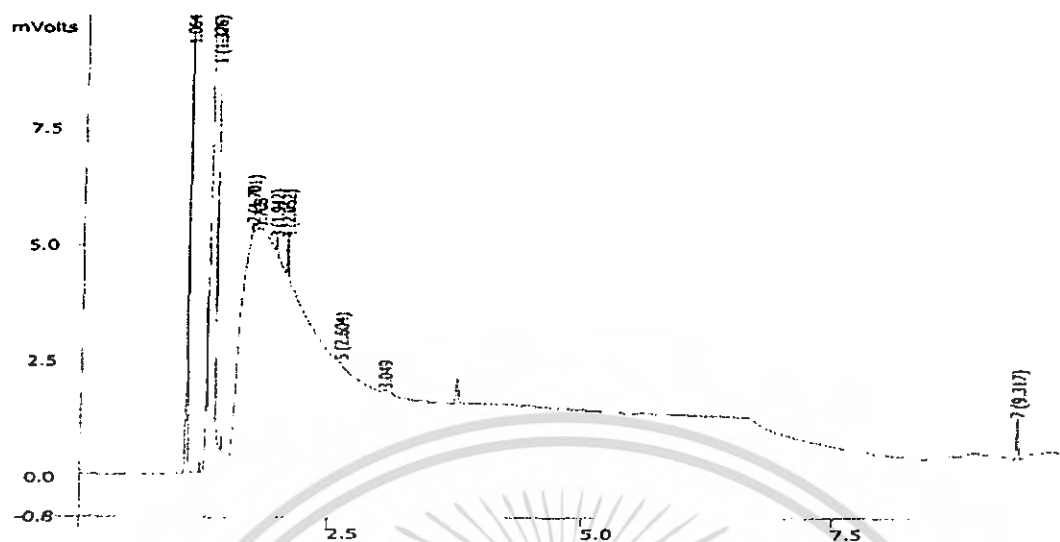


รูป จ-18 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลงในตัวอย่างน้ำดื่ม
ยี่ห้อ D ครั้งที่ 3



รูป จ-19 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลงในตัวอย่างน้ำดื่ม
ยี่ห้อ D ครั้งที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป จ-20 กราฟโครมาโทแกรม spiked สารมาตรฐานสารประกอบอินทรีย์ระเหยลงในตัวอย่างน้ำดื่ม
ยี่ห้อ D ครั้งที่ 5

ตาราง จ-4 ความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มที่มีในน้ำดื่มยี่ห้อ D

น้ำดื่มยี่ห้อ D	ค่าความ เข้มข้น ของ คลอโรฟอร์ม ที่มีในน้ำดื่ม ยี่ห้อ D ครั้งที่ 1	ค่าความ เข้มข้นของ คลอโรฟอร์ม ที่มีในน้ำดื่ม ยี่ห้อ D ครั้งที่ 2	ค่าความ เข้มข้นของ คลอโรฟอร์ม ที่มีในน้ำดื่ม ยี่ห้อ D ครั้งที่ 3	ค่าความ เข้มข้นของ คลอโรฟอร์ม ที่มีในน้ำดื่ม ยี่ห้อ D ครั้งที่ 4	ค่าความ เข้มข้นของ คลอโรฟอร์ม ที่มีในน้ำดื่ม ยี่ห้อ D ครั้งที่ 5
	428.4319	430.7767	422.6917	427.0151	430.0928

$$\bar{x} = \frac{428.4319 + 430.7767 + 422.6917 + 427.0151 + 430.0928}{5}$$

$$= 427.8016$$

$$SD = \sqrt{\frac{0.3973 + 8.8512 + 26.1111 + 0.6186 + 5.2496}{4}}$$

$$= 1.6052$$

$$\%RSD = \frac{1.6052}{427.8016} \times 100 = 0.3752$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}\% \text{ recovery} &= \frac{427.8016 - 46.8816}{444} \times 100 \\ &= 85.79\end{aligned}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้