

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเรื่อง

การศึกษาการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ไอระเหย

จากนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด

(The Study of Contamination of Volatile Organic Compounds

from Map Ta Phut Industrial Estate)

หัวหน้าโครงการวิจัย

ดร. อภิญญา นวคุณ

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ 2557 รหัสโครงการ 2557A10802135 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาสำหรับสถานที่และเครื่องมือที่และขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศด้านอนามัยสิ่งแวดล้อมและพิษวิทยาสำหรับเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ระเหย 9 ชนิดในตัวอย่างสิ่งแวดล้อม สารอินทรีย์ระเหยได้แก่ ไวนิลคลอไรด์ 1,3-บิวทาไดอีน ไดคลอโรมีเทน คลอโรฟอร์ม 1,2-ไดคลอโรอีเทน เบนซีน 1,2-ไดคลอโรโพ
รเพน ไตรคลอโรเอทิลีน และเตตระคลอโรเอทิลีนวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีแมสสเปกโตรเมท
รีคู่กับเทคนิคเพิร์จแอนด์แตรป ได้หาปริมาณสารระเหยในตัวอย่างอาหาร น้ำและดินจากพื้นที่มาบตาพุด ผล
การศึกษาพบสารไดคลอโรมีเทน คลอโรฟอร์ม เบนซีน 1,2-ไดคลอโรอีเทน และเตตระคลอโรเอทิลีนใน
ตัวอย่างอาหาร พบสารไดคลอโรมีเทน คลอโรฟอร์ม และเบนซีนในตัวอย่างน้ำและดิน ได้เปรียบเทียบการ
ปนเปื้อนกับบริเวณอุตสาหกรรมอื่นด้วย นอกจากนี้ยังได้เสนอการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยจาก
อุตสาหกรรมต่อสิ่งแวดล้อมด้วย

Abstract

In this research, determination of 9 volatile organic compounds in environmental samples was studied. The volatile organic compounds including; vinyl chloride, 1,3-butadiene, dichloromethane, chloroform, 1,2-dichloroethane, benzene, 1,2-dichloropropane, trichloroethylene and tetrachloroethylene were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry coupled with purge and trap technique. VOCs in samples (foods, water and soil) collected from Map Ta Phut area were determined. The dichloromethane chloroform benzene 1,2-dichloroethylene and tetrachloroethylene were found in food samples. Whereas, the dichloromethane, chloroform and benzene contamination in samples were found in soil and water samples. The results were also compared with other industrial area. In addition, the dispersion of volatile organic compounds from industry to environment was proposed.

สารบัญเรื่อง

	หน้า
ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
วัตถุประสงค์การวิจัย	1
ขอบเขตการวิจัย	2
ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
วิธีดำเนินการวิจัย	3
ผลและอภิปรายผลการวิจัย	4
สรุป	18
ผลงานเผยแพร่งานวิจัย	18
เอกสารอ้างอิง	18
ภาคผนวก เอกสารเผยแพร่งานวิจัย	21

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของสาร VOCs 9 ชนิดที่ทำการศึกษา	4
ตารางที่ 2 สภาวะที่เหมาะสมของ GC-MSที่ใช้ในการแยกสาร VOCs 9 ชนิด	5
ตารางที่ 3 ไอออนที่เลือกสำหรับสาร VOCs ใน SIM mode	5
ตารางที่ 4 สภาวะที่เหมาะสมของการสกัด VOCs ด้วยเทคนิค PT	6
ตารางที่ 5 สภาวะที่เหมาะสมของการเตรียมและสกัดตัวอย่างของแข็ง	7
ตารางที่ 6 ข้อมูลการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์	7
ตารางที่ 7 สาร VOCs ที่พบในตัวอย่างอาหารในพื้นที่มาบตาพุดทั้งหมด (n=210)	9
ตารางที่ 8 ปริมาณสาร dichloromethane แยกตามชนิดของผักและผลไม้	9
ตารางที่ 9 ปริมาณสาร chloroform แยกตามชนิดของผักและผลไม้	10
ตารางที่ 10 ปริมาณสาร benzene แยกตามชนิดของผักและผลไม้	10
ตารางที่ 11 ปริมาณสาร 1,2-dichloroethane แยกตามชนิดของผักและผลไม้	11
ตารางที่ 12 ปริมาณสาร tetrachloroethylene แยกตามชนิดของผักและผลไม้	11
ตารางที่ 13 ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงรายปีของสาร VOCs 9 ชนิด ระหว่างปี 2550-2557 (ข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษ)	12
ตารางที่ 14 ค่ามาตรฐานสารอินทรีย์ระเหยง่ายในประเทศไทย	13
ตารางที่ 15 ผลความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยที่พบในผักที่ปลูกที่บ้านและซื้อจากตลาด	14
ตารางที่ 16 สาร VOCs ที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำ น้ำทะเลและตะกอนดินจากพื้นที่มาบตาพุดและแหลมฉบัง	15
ตารางที่ 17 ปริมาณสาร VOCs ที่ตรวจพบในตัวอย่างหอยแมลงภู	16

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1 โครมาโทแกรมแสดงการแยกสาร VOCs 9 ชนิด ด้วยคอลัมน์ HP5-MS ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.32 มิลลิเมตร ยาว 60 เมตรเคลือบด้วยความหนาของฟิล์ม 1 ไมโครเมตร (Tolulene-d8 ใช้เป็นสาร internal standard)	6
รูปที่ 2 ปริมาณสาร dichloromethane ในตัวอย่างหอยแมลงภู	16
รูปที่ 3 ปริมาณสาร chloroform ในตัวอย่างหอยแมลงภู	16
รูปที่ 4 ตัวอย่าง benzene ในตัวอย่างหอยแมลงภู	17

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย

VOCs	Volatile Organic Compounds
GC-MS	Gas chromatography mass spectrometry
PT	Purge and Trap
LOD	Limit of Detection
LOQ	Limit of Quantification
SD	Standard Deviation
RSD	Relative Standard Deviation

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

สารอินทรีย์ไอระเหย (Volatile Organic Compounds; VOCs) เป็นกลุ่มสารอินทรีย์ที่ระเหยกลายเป็นไอภายใต้อุณหภูมิและความดันปกติ สาร VOCs มีผลกระทบต่อสุขภาพและเป็นอันตรายต่อสุขภาพ สาร VOCs เข้าสู่ร่างกายได้ทางการหายใจ การดื่มกินทางปากและการสัมผัสทางผิวหนัง เมื่อร่างกายได้รับสาร VOCs จะส่งผลกระทบต่อระบบภูมิคุ้มกัน ระบบประสาท ระบบพันธุกรรม ระบบฮอร์โมนและระบบสืบพันธุ์ สาร VOCs หลายชนิด เช่น เบนซีน คาร์บอนเตตระคลอไรด์ คลอโรฟอร์ม และไดคลอโรเบนซีน สามารถทำลายโครโมโซมเซลล์ของอวัยวะต่างๆ เช่น ตับ ไต และระบบประสาท [1-2] โดยสาร VOCs ถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมจากการใช้ในชีวิตประจำวันและโรงงานอุตสาหกรรมปนเปื้อนอยู่ในอากาศ น้ำ ดิน และอาหาร โดยเฉพาะเขตนิคมอุตสาหกรรมเช่น เขตนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง ซึ่งนิคมอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ มีโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้สาร VOCs เป็นตัวทำละลายและวัตถุดิบที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดการปนเปื้อนของสาร VOCs ออกสู่สิ่งแวดล้อมทางอากาศและน้ำเสียจากอุตสาหกรรมและสะสมลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติและดินได้ในปริมาณสูง ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อประชากรที่อาศัยอยู่โดยรอบเขตนิคมอุตสาหกรรมดังกล่าว จากการสัมผัสดื่มกินน้ำจากแหล่งน้ำที่ปนเปื้อนสาร VOCs ในปริมาณมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดซึ่งเป็นนิคมอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ที่กำลังมีปัญหาเกี่ยวกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่อชุมชนที่อยู่ใกล้เคียงและเกิดผลเสียร้ายแรงต่อสิ่งแวดล้อม ประชาชน ตลอดจนเกิดเป็นข้อพิพาทระหว่างนักวิชาการสิ่งแวดล้อม ชุมชนและนักลงทุนจากต่างชาติ จนก่อให้เกิดความเสียหายต่อประเทศไทยเป็นอย่างมาก โดยข้อมูลที่ได้จากการหาปริมาณสาร VOCs ที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม เช่น ดิน แหล่งน้ำธรรมชาติ ตลอดจนอาหารที่มีแหล่งผลิตบริเวณแหล่งอุตสาหกรรม สามารถแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของอุตสาหกรรมที่มีต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งจะเป็นข้อมูลสำคัญอย่างยิ่งในการนำไปป้องกัน บำบัดและแก้ปัญหาที่เกิดจากสาร VOCs ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมและประชาชนได้

โดยงานวิจัยนี้จะวิเคราะห์ปริมาณสาร VOCs จำนวน 9 ชนิด ได้แก่ เบนซีน ไวนิลคลอไรด์ 1,2-ไดคลอโรอีเทน ไตรคลอโรมีเทน 1,2-ไดคลอโรโพรเพน เตตระคลอโรเอทิลีน คลอโรฟอร์ม และ 1,3-บิวทาไดอิน ซึ่งเป็นสาร VOCs ที่มีการเฝ้าระวังตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2550 [3] โดยดำเนินการสกัดสาร VOCs จากตัวอย่างดิน น้ำ และอาหารที่มีแหล่งผลิตบริเวณเขตนิคมอุตสาหกรรมวิเคราะห์และตรวจวัดปริมาณโดยเทคนิค Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS) ซึ่งเป็นเทคนิคที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพในการแยกสูงอีกทั้งสามารถตรวจวัดสารที่มีความเข้มข้นต่ำและสามารถยืนยันผลการวิเคราะห์ได้ด้วยแมสสเปกตรัมซึ่งมีความน่าเชื่อถือสูง นอกจากนี้ยังได้ศึกษาการเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสาร VOCs โดยเทคนิค purge and trap ซึ่งเป็นเทคนิคที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นวิธีมาตรฐานในการเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสาร VOCs ตามมาตรฐานของสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (Environmental Protection Agency; EPA) [4-6] โดยงานวิจัยนี้ทำการเก็บตัวอย่างดิน และน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติและอาหารที่มีแหล่งผลิตบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดเปรียบเทียบปริมาณสาร VOCs ที่วิเคราะห์ได้กับค่ามาตรฐานความปลอดภัย และเปรียบเทียบกับนอกเขตอุตสาหกรรมที่ปราศจากการปนเปื้อนจากสาร VOCs อันสามารถนำมาประเมินถึงผลกระทบของแหล่งอุตสาหกรรมต่อสิ่งแวดล้อมได้ นอกจากนี้งานวิจัยนี้สามารถทำนายความสัมพันธ์ของการแพร่กระจายของสาร VOCs จากแหล่งอุตสาหกรรมสู่อากาศ น้ำ ดินและอาหารที่ประชาชนรับประทานได้

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาวิธีการหาปริมาณสาร VOCs ด้วยเทคนิค GC-MS

2. เพื่อพัฒนาวิธีการสกัดสาร VOCs ในตัวอย่างน้ำ ดินและอาหาร ให้ได้วิธีการสามารถสกัดสารปริมาณน้อยระดับ ppb-ppt ได้
3. เพื่อศึกษาวิธีการเก็บตัวอย่างและวิธีการรักษาตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณสาร VOCs
4. เพื่อหาปริมาณสาร VOCs ในตัวอย่างน้ำ ดินและอาหาร
5. เพื่อศึกษาการปนเปื้อนของสาร VOCs จากอุตสาหกรรมมาบตาพุดสู่สิ่งแวดล้อม
6. เพื่อศึกษาวิธีการแพร่กระจายสาร VOCs จากอุตสาหกรรมสู่สิ่งแวดล้อมและชุมชน

ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ปริมาณสาร VOCs 9 ชนิดที่สำคัญได้แก่ ได้แก่ เบนซิน ไวนิลคลอไรด์ 1,2-ไดคลอโรอีเทน ไตรคลอโรมีเทน 1,2-ไดคลอโรโพรเพน เตตระคลอโรเอทิลีน คลอโรฟอร์ม และ 1,3-บิวทาไดอีน โดยอ้างอิงจากประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (พ.ศ. 2550) [3] ด้วยเทคนิค gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)
2. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการสกัดสาร VOCs 9 ชนิดจากตัวอย่างน้ำ ดิน และอาหาร ด้วยเทคนิค purge and trap
3. ศึกษาวิธีการเก็บตัวอย่างและวิธีการรักษาตัวอย่างก่อนทำการวิเคราะห์ ปัจจัยที่ศึกษาเช่น อุณหภูมิและเวลาที่เก็บรักษาตัวอย่าง
4. วิเคราะห์ปริมาณสาร VOCs 9 ชนิดจากตัวอย่างดิน จากแหล่งน้ำธรรมชาติ และตัวอย่างอาหารที่มีแหล่งผลิตจากบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง
5. วิเคราะห์ปริมาณสาร VOCs 9 ชนิดจากดิน จากแหล่งน้ำธรรมชาติ และตัวอย่างอาหารที่มีแหล่งผลิตจากบริเวณที่ไม่มีการปนเปื้อนของสาร VOCs จากแหล่งอุตสาหกรรม โดยทำการเก็บตัวอย่างจากบริเวณอำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี
6. เปรียบเทียบปริมาณสาร VOCs จากตัวอย่างที่เก็บจากนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด กับค่ามาตรฐานจากกรมควบคุมมลพิษ
7. เปรียบเทียบปริมาณสาร VOCs จากตัวอย่างที่เก็บจากนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดกับตัวอย่างที่ไม่มีการปนเปื้อนจากสาร VOCs จากแหล่งอุตสาหกรรม
8. ทำนายวิธีการแพร่กระจายของสาร VOCs จากอุตสาหกรรม สู่ น้ำ ดิน และอาหาร

ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

เทคนิค gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพการแยกสูงและมีสภาพไวในการตรวจวัดสารปริมาณน้อยในตัวอย่างสิ่งแวดล้อม (< ppb) ซึ่งเหมาะสำหรับการหาปริมาณสาร VOCs ที่มีปริมาณต่ำที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ข้อมูลจากแมสสเปกตรัมยังช่วยยืนยันผลการระบุชนิดของสารได้อย่างมีความน่าเชื่อถืออีกด้วย (Positive Identification) จึงนิยมใช้เทคนิค GC-MS ในการวิเคราะห์ปริมาณสาร VOCs ในตัวอย่างสิ่งแวดล้อม สำหรับวิธีการเตรียมตัวอย่างสาร VOCs นับเป็นวิธีที่มีความยุ่งยากมากเนื่องจากสาร VOCs บางชนิดมีจุดเดือดต่ำ เช่น vinylchloride (-4 °C), 1,3-butadiene (-13 °C) ทำให้ขั้นตอนการเก็บและเตรียมตัวอย่างต้องมีความระมัดระวังเพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียระหว่างกระบวนการวิเคราะห์ได้ ปัจจุบันนิยมใช้เทคนิค solid phase microextraction (SPME) หรือเทคนิค SPME ควบคู่กับเทคนิค headspace (HS-SPME) ในการเพิ่มความเข้มข้นและกำจัดตัวทำละลายก่อนการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS ซึ่งเทคนิค SPME เป็นเทคนิคที่ง่ายและรวดเร็ว โดย fiber ของเทคนิค SPME จะดูดซับไอ

ของสาร VOCs ระเหยออกมาจากตัวอย่างซึ่งเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของสาร เมื่อต้องการวิเคราะห์จะทำการฉีดเข็ม SPME เข้าสู่เครื่อง GC-MS ซึ่งคล้ายกับการฉีดสารละลายทั่วไป อย่างไรก็ตามเทคนิค SPME มีข้อเสียคือราคาของไฟเบอร์ที่ใช้ในการสกัดตัวอย่างมีราคาแพง และมีอายุการใช้งานที่สั้น สำหรับตัวอย่างเทคนิค Purge-and-trap ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์สาร VOCs ตามวิธีมาตรฐานของสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (EPA method 5035, EPA method 5030B และ EPA method 8260B) [4-6] ในการเพิ่มความเข้มข้นและกำจัดตัวทำละลาย โดยทำการไล่สาร VOCs ออกจากตัวอย่างด้วยแก๊สเฉื่อยและมาดูดซับบนตัวดูดซับ หลังจากนั้นจึงเพิ่มอุณหภูมิเพื่อไล่สาร VOCs ออกจากตัวดูดซับเข้าสู่ GC เพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไป โดยเทคนิค Purge and trap เป็นเทคนิคที่ได้รับการยอมรับในการวิเคราะห์สาร VOCs ที่มีความเข้มข้นระดับต่ำ (ppb-ppt)

การศึกษาปริมาณสาร VOCs ที่แพร่กระจายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ดิน และอาหารที่มีแหล่งผลิตบริเวณเขตนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ยังสามารถบอกถึงการปนเปื้อนของสาร VOCs จากอุตสาหกรรมสู่สิ่งแวดล้อมและชุมชนได้ โดยการเปรียบเทียบปริมาณสาร VOCs ที่ตรวจวัดได้กับค่ามาตรฐานและกับปริมาณสาร VOCs ที่มีในตัวอย่างที่ไม่มีการปนเปื้อนจากแหล่งอุตสาหกรรม นอกจากนี้การศึกษาปริมาณสาร VOCs จากตัวอย่างน้ำ ดิน และอาหารสามารถทำนายวิธีการแพร่กระจายของสารดังกล่าวจากแหล่งอุตสาหกรรมสู่สิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้วิธีการวิเคราะห์สาร VOCs ที่เป็นวิธีมาตรฐานในการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ และอาหาร
2. สามารถจัดตั้งเป็นห้องปฏิบัติการสำหรับการตรวจวิเคราะห์สาร VOCs จากตัวอย่างในแหล่งอุตสาหกรรมอื่นๆ นอกเหนือจากนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด เช่น นิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร นิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี เขตนิคมอุตสาหกรรมบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา
3. ผลการวิเคราะห์หาปริมาณสาร VOCs สามารถนำไปประเมินถึงระดับการปนเปื้อนของสาร VOCs จากแหล่งอุตสาหกรรมสู่สิ่งแวดล้อมและชุมชนได้ ทำให้สามารถเฝ้าระวังและวางแผนการป้องกันการปนเปื้อนของสาร VOCs ได้อย่างถูกต้อง
4. ผลการวิเคราะห์ปริมาณสาร VOCs สามารถตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติทางเคมีวิเคราะห์และสิ่งแวดล้อมได้เช่น Analytica Chimica Acta หรือ Talanta หรือ Environmental Science and Technology

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์สาร VOCs 9 ชนิด ได้แก่ ไดแก๊ว เบนซีน ไวนิลคลอไรด์ 1,2-ไดคลอโรเอเทน ไตรคลอโรเอเทน 1,2-ไดคลอโรโพรเพน เตตระคลอโรเอทิลีน คลอโรฟอร์ม และ 1,3-บิวทาไดอีน ด้วยเทคนิค GC-MS ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการแยก สภาพไวในการตรวจวัด ตลอดจนเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่น้อยที่สุด
2. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการสกัดสาร VOCs 9 ชนิด ด้วยเทคนิค purge and trap โดยทำการศึกษปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพ
3. ศึกษา method validation ของวิธีการวิเคราะห์และวิธีการสกัดสารที่ได้ตามวิธีมาตรฐาน AOAC[®] [22] เช่น ขีดจำกัดการตรวจวัด ขีดจำกัดการหาปริมาณ สภาพไวในการตรวจวัด ช่วงที่ให้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ความเที่ยงและความแม่นยำของวิธีการตรวจวัด เป็นต้น

- วิเคราะห์ปริมาณสาร VOCs 9 ชนิดในตัวอย่างชนิดต่างๆ ด้วยเทคนิค internal standard method โดยใช้ toluene-d8 เป็นสาร internal standard
- วิเคราะห์ปริมาณสาร VOCs 9 ชนิดจากตัวอย่างดิน แหล่งน้ำธรรมชาติ และอาหารที่มีแหล่งผลิตบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง โดยทำการเก็บตัวอย่างทุกเดือน เป็นระยะเวลา 2 ปี บันทึกอุณหภูมิ ความชื้น ความเป็นกรดเบส และสภาพอากาศระหว่างที่มีการเก็บตัวอย่างทุกครั้ง
- วิเคราะห์ปริมาณสาร VOCs 9 ชนิดจากตัวอย่างดิน แหล่งน้ำธรรมชาติและอาหาร ที่เก็บจากบริเวณที่ไม่มีการปนเปื้อนจากสาร VOCsจากอุตสาหกรรม โดยเก็บตัวอย่างจากอำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี โดยทำการเก็บตัวอย่างทุกเดือนเป็นระยะเวลา 2ปี บันทึกอุณหภูมิ ความชื้น ความเป็นกรดเบส และสภาพอากาศระหว่างที่มีการเก็บตัวอย่างทุกครั้ง
- เปรียบเทียบปริมาณสาร VOCsจากตัวอย่างที่เก็บจากนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด กับค่ามาตรฐานจากกรมควบคุมมลพิษ
- เปรียบเทียบปริมาณสาร VOCsจากตัวอย่างที่เก็บจากนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดกับตัวอย่างที่ไม่มีการปนเปื้อนจากสาร VOCsจากแหล่งอุตสาหกรรม
- ทำนายวิธีการแพร่กระจายของสาร VOCsจากอุตสาหกรรม สู่ น้ำ ดิน และอาหาร

ผลและอภิปรายผลการวิจัย

1. การวิเคราะห์สาร VOCs ด้วยเทคนิค GC-MS และ purge and trap

ได้ทำการวิเคราะห์สาร VOCs 9 ชนิดด้วยเทคนิค GC-MS ใช้การสกัดสาร VOCs จากตัวอย่างสารละลายด้วยเทคนิค purge and trap (PT) โดยสาร VOCs 9 ชนิดมีสมบัติทางกายภาพแสดงในตารางที่ 1 โดยสาร VOCs 9 ชนิดนี้เป็นสารที่มีรายงานการก่อมะเร็งและเป็นสารที่มีการเฝ้าระวังตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2550 เรื่องสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของสาร VOCs 9 ชนิดที่ทำการศึกษา

สาร VOCs	มวลโมเลกุล (g/mol)	จุดเดือด (°C)
1,3-Butadiene (CH ₂ =CHCH=CH ₂)	54.09	-13.4
Vinyl chloride (H ₂ C=CHCl)	62.50	-4.5
Dichloromethane (CH ₂ Cl ₂)	84.93	39.8
Chloroform (CHCl ₃)	119.38	61.5
1,2-Dichloroethane (ClCH ₂ CH ₂ Cl)	98.96	83
Benzene (C ₆ H ₆)	78.11	80
1,2-Dichloropropane (CH ₃ CHClCH ₂ Cl)	112.99	96
Trichloroethylene (ClCH=CCl ₂)	131.39	86.7
Tetrachloroethylene (CCl ₂ =CCl ₂)	165.83	121

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีการแยกและตรวจวัดสาร VOCs 9 ชนิดด้วยเทคนิค GC-MS และพัฒนาเทคนิคการสกัดตัวอย่างด้วยเทคนิค PT เพื่อให้สามารถวิเคราะห์การปนเปื้อนในระดับต่ำ (ระดับ ไมโครกรัมต่อ

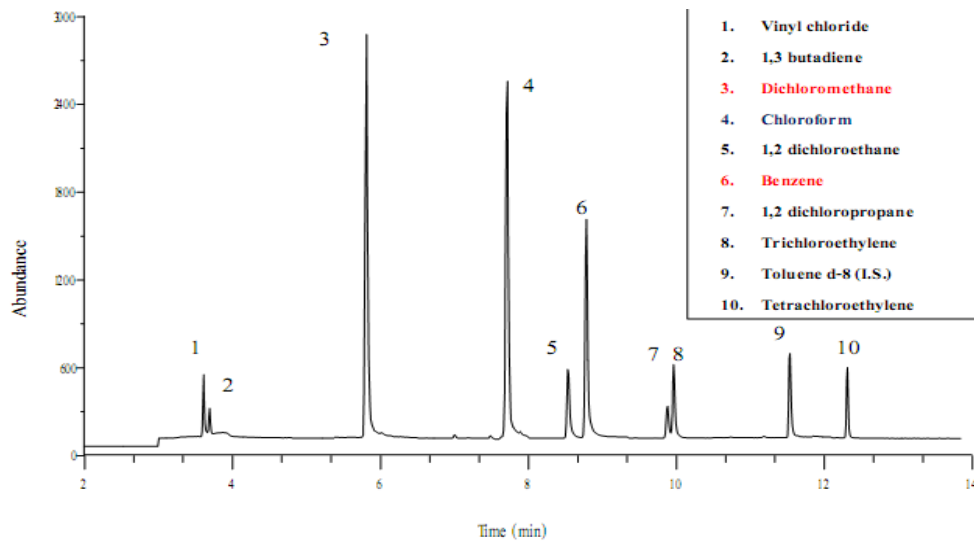
ลิตร) ของสาร VOCs ในตัวอย่างทางสิ่งแวดล้อมได้ โดยสภาวะที่เหมาะสมของเทคนิค GC-MS แสดงดังตารางที่ 2 และ 3 และ สภาวะที่เหมาะสมของเทคนิค PTแสดงดังตารางที่ 4 และสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดตัวอย่างของแข็งดังตารางที่ 5 รูปโครมาโทแกรมแสดงการแยกสาร VOCs 9 ชนิดแสดงดังรูปที่ 1

ตารางที่ 2 สภาวะที่เหมาะสมของ GC-MSที่ใช้ในการแยกสาร VOCs 9 ชนิด

ส่วนฉีดสาร	อุณหภูมิการฉีด 200 องศาเซลเซียส
คอลัมน์	Capillary column HP5-MS ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.32 มิลลิเมตร ยาว 60 เมตร ความหนาของฟิล์ม 1 ไมโครเมตร
โปรแกรมอุณหภูมิ	เริ่ม 35°C คงที่ 4.50 นาที เพิ่มอุณหภูมิเป็น 60°C (25°C/นาที) เพิ่มอุณหภูมิเป็น 90°C (6°C/นาที) และเพิ่มอุณหภูมิเป็น 200°C (50°C/นาที) คงที่เป็นเวลา 1 นาที
แก๊สตัวพา	อัตราการไหล 1.8 มิลลิลิตรต่อนาที
ดีเทคเตอร์	SIM MODE อุณหภูมิดีเทคเตอร์ 250 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 3 ไอออนที่เลือกสำหรับสาร VOCsใน SIM mode

สารที่วิเคราะห์	Mass (m/z)
Vinyl choride	62
1,3-Butadiene	54
Dichloromethane	84, 86
Chloroform	83, 85
1,2-Dichloroethane	62, 64
Benzene	78, 77
Trichloroethylene	130, 132
1,2-Dichloropropane	63, 62
Tetrachloroethylene	164, 166
Toluene D-8 (I.S.)	98, 100



รูปที่ 1 โครมาโทแกรมแสดงการแยกสาร VOCs 9 ชนิด ด้วยคอลัมน์ HP5-MS ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.32 มิลลิเมตร ยาว 60 เมตรเคลือบด้วยความหนาของฟิล์ม 1 ไมโครเมตร (Toluene-d8 ใช้เป็นสาร internal standard)

ตารางที่ 4 สภาวะที่เหมาะสมของการสกัด VOCs ด้วยเทคนิค PT

ปัจจัยที่ศึกษา	สภาวะที่เหมาะสม
Desorption time	0.5 min
Desorption	180 °C
Extraction time	15 min
Extraction	50 °C
Dry purge time	1 min
Transfer line	180 °C
Bake flow rate (He)	400 mL/min
Bake time	15 min
Trap	VOCARB 3000
Type of sparger	25 mL fritless

ตารางที่ 5 สภาวะที่เหมาะสมของการเตรียมและสกัดตัวอย่างของแข็ง

ปัจจัยที่ศึกษา	สภาวะที่เหมาะสม
การเติมเกลือ NaCl	3 %w/v
การเติมสาร antiform	0.005 %v/v
เวลาที่ใช้ในการสกัด	5 ชั่วโมง
อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด	0 ± 2 °C
ความเร็วในการปั่นตะกอน	2500 รอบต่อนาที
เวลาในการปั่นตะกอน	4 นาที
การกรองตัวอย่าง	ไม่กรอง

เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมแล้วได้ทำการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์ที่ได้พัฒนาขึ้นมา โดยศึกษาขีดจำกัดการตรวจวัด (limit of detection, LOD) ขีดจำกัดการหาปริมาณ (limit of quantification, LOQ), ความเที่ยง (%RSD) และความแม่นยำ (%recovery) ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ข้อมูลการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์

สาร VOCs	LOD (µg/L)	LOQ (µg/L)	%RSD (n=10)	%Recovery
Vinyl chloride	0.34	1.12	12	140-165
1,3-Butadiene	1.94	2.62	18	124-144
Dichloromethane	0.17	0.58	20	129-164
Chloroform	0.22	0.74	8	120-133
1,2-Dichloroethane	0.15	0.49	11	95-139
Benzene	0.15	0.50	8	115-134
1,2-Dichloropropane	0.12	0.42	13	89-127
Trichloroethylene	0.17	0.56	10	100-129
Tetrachloroethylene	0.17	0.57	10	91-122

2. การเก็บตัวอย่างสิ่งแวดล้อม

การเก็บตัวอย่างน้ำและดิน จากบริเวณมาบตาพุด จังหวัดระยอง

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำผิวดินและดินบริเวณคลองสาธารณะโดยทำการเก็บตัวอย่างจากคลองสาธารณะก่อนผ่านเขตอุตสาหกรรมและหลังเขตอุตสาหกรรม และบริเวณปากคลองสาธารณะก่อนปล่อยสู่ทะเล นอกจากนี้ยังเก็บตัวอย่างตะกอนดินและน้ำทะเล เพื่อศึกษาการกระจายตัวของสาร VOCs ด้วย นอกจากนี้ยังได้เก็บตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดที่มีแหล่งผลิตที่เขตมาบตาพุดด้วย เมื่อเก็บตัวอย่างจะแช่ตัวอย่างมาในตู้แช่แข็งเมื่อถึงห้องปฏิบัติการจะทำการวิเคราะห์โดยทันทีหรือเก็บตัวอย่างไว้ในตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -20°C

การเก็บตัวอย่างน้ำและดินจากบริเวณอำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำผิวดินและดินจากบ้านชาวบ้าน ในเขตตำบลท่าจู้ อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี ซึ่งเป็นบ้านชาวบ้านที่อยู่ห่างจากถนนสุขุมวิทประมาณ 500 เมตรและไม่ได้ทำเกษตรกรรมหรืออยู่ใกล้โรงงานอุตสาหกรรม เมื่อเก็บตัวอย่างจะแช่ตัวอย่างมาในตู้แช่แข็ง เมื่อถึงห้องปฏิบัติการจะทำการวิเคราะห์โดยทันทีหรือเก็บตัวอย่างไว้ในตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -20°C

การเก็บตัวอย่างน้ำและดินจากบริเวณใกล้นิคมอุตสาหกรรมอื่น

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำผิวดินและตะกอนดิน บริเวณคลองสาธารณะและปากคลองสาธารณะที่มาจากแหลมฉบัง เพื่อเปรียบเทียบการปนเปื้อนของสาร VOCs จากนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดและนิคมอุตสาหกรรมอื่นๆ

การเก็บตัวอย่างอาหาร

ทำการเก็บตัวอย่างผักได้แก่ กระเพรา ใบมะกรูด ตำลึง ตะไคร้ ข่าและผลไม้ได้แก่ มะละกอ กล้วย มะม่วงจากบริเวณเขตมาบตาพุดซึ่งมาจากบ้านชาวบ้านและซื้อจากตลาดในเขตมาบตาพุด เมื่อซื้อแล้วบรรจุลงในถุงพลาสติกปิดสนิท และแช่ในตู้แช่แข็ง เมื่อถึงห้องปฏิบัติการจะทำการวิเคราะห์โดยทันทีหรือเก็บตัวอย่างไว้ในตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -20°C

การเก็บตัวอย่างจากพื้นที่มาบตาพุดและจากอำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรีจะเก็บตัวอย่างจำนวน 12 ครั้ง โดยตัวอย่างจากพื้นที่มาบตาพุดและบริเวณใกล้เคียงเช่น ตำบลบ้านฉาง เก็บตัวอย่าง 252 ตัวอย่าง เป็นดิน 12 ตัวอย่าง แหล่งน้ำธรรมชาติ 24 ตัวอย่าง น้ำดื่ม 6 ตัวอย่าง อาหาร(ผักและผลไม้) 210 ตัวอย่างและตัวอย่างจากน้ำบ่อต้น ดินและอาหารได้แก่กระเพราจากเขตอำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี จำนวน 48 ตัวอย่าง ได้แก่ ดิน 12 ตัวอย่าง น้ำบ่อต้น 12 ตัวอย่างและกระเพรา 24 ตัวอย่าง

3. การวิเคราะห์สาร VOCs ในตัวอย่างอาหาร

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสาร VOCs ในตัวอย่างอาหาร ดินและน้ำที่เก็บจากบริเวณใกล้นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ในตัวอย่างผักและผลไม้พบสาร VOCs จำนวน 5 ชนิดได้แก่ dichloromethane, chloroform, benzene, 1,2-dichloroethane และ tetrachloroethylene ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 สาร VOCs ที่พบในตัวอย่างอาหารในพื้นที่มาบตาพุดทั้งหมด (n=210)

สาร VOCs	จำนวนที่พบ	ความเข้มข้นที่พบ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)			
		ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
dichloromethane	82	4.02	2.30	11.3	0.70
chloroform	10	1.39	0.34	3.20	0.50
benzene	67	1.49	1.07	9.40	0.10
1,2-dichloroethane	5	0.41	0.40	0.88	0.10
tetrachloroethylene	8	0.16	0.10	0.50	0.10

สำหรับปริมาณสาร VOCs ที่พบแยกตามชนิดของผักและผลไม้แสดงดังตารางที่ 8-12 โดยข้อมูลที่ตรวจไม่พบหมายถึงค่าที่ได้ต่ำกว่าค่าขีดจำกัดการตรวจวัดของวิธีการวิเคราะห์นี้ โดยผักและผลไม้ที่ทำการศึกษาได้แก่ กระเพรา ใบมะกรูด ตำลึง ตะไคร้ ข่า ชนิดละ 36 ตัวอย่าง สำหรับผลไม้ มะละกอและกล้วยชนิดละ 12 ตัวอย่าง และมะม่วง จำนวน 6 ตัวอย่าง ผลการศึกษาพบสาร VOCs ในผักที่มีน้ำมันหอมระเหยเช่น กระเพรา ตะไคร้ ข่า มากกว่าผักที่ไม่มีน้ำมันหอมระเหยเช่นตำลึง โดยพบสาร dichloromethane ในตะไคร้จำนวนมากที่สุด แต่พบความเข้มข้นของ dichloromethane ในมะกรูดและตำลึงมากที่สุดซึ่งอาจจะเป็นเพราะใบมะกรูดและตำลึงมีพื้นที่ผิวมากและมีน้ำหนักร้อย จึงมีโอกาสดูดซับสาร VOCs จากอากาศและสาร VOCs ที่อยู่ในฝุ่นละอองขนาดเล็กได้มากกว่า สำหรับผลไม้พบสาร dichloromethane ในจำนวนที่ใกล้เคียงกันแต่พบปริมาณ dichloromethane ในตัวอย่างมะม่วงมากที่สุด ซึ่งอาจจะเป็นเพราะมะม่วงมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศมากกว่าผลไม้ชนิดอื่นๆ อย่างไรก็ตามการกระจายตัวของความเข้มข้น dichloromethane ในมะม่วงมีค่ามาก (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 4.31) ซึ่งทำให้ข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนได้สูง จึงควรศึกษาในเชิงลึกต่อไปเช่นเพิ่มจำนวนตัวอย่างให้มากขึ้น

ตารางที่ 8 ปริมาณสาร dichloromethane แยกตามชนิดของผักและผลไม้

ชนิดผักและผลไม้	จำนวนที่พบ	ปริมาณ dichloromethane ที่พบ($\mu\text{g}/\text{kg}$)		
		ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ช่วงความเข้มข้น
กระเพรา	13	3.25	1.66	0.8-5.9
มะกรูด	8	5.21	3.52	1.9-11.3
ตำลึง	6	5.45	3.39	2.8-9.9
ตะไคร้	23	3.75	2.81	0.7-9.2
ข่า	17	3.87	2.84	0.7-9.7
มะละกอ	10	1.76	0.91	0.7-3.6
กล้วย	8	3.44	1.18	1.4-5.2
มะม่วง	2	4.35	4.31	1.3-7.4

สำหรับสาร chloroform พบในผักเพียงชนิดเดียวคือ มะกรูด และพบในผลไม้คือมะละกอเพียงชนิดเดียว สำหรับ benzene พบในข้าว กระเพรา และตะไคร้จำนวนใกล้เคียงกัน แต่พบปริมาณ benzene ใน ข้าวและตำลึงมากกว่ามะกรูดและตะไคร้ สำหรับผลไม้พบในมะละกอมากที่สุด อย่างไรก็ตามผลการศึกษาระดับปริมาณของ benzene มีการกระจายตัวของความเข้มข้นมากที่สุด แสดงให้เห็นว่า การปนเปื้อนของสาร benzene มีความเบี่ยงเบนของข้อมูลมากจึงทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลผิดพลาดได้

ตารางที่ 9 ปริมาณสาร chloroform แยกตามชนิดของผักและผลไม้

ชนิดผักและผลไม้	จำนวนที่พบ	ปริมาณ chloroform ที่พบ($\mu\text{g}/\text{kg}$)		
		ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ช่วงความเข้มข้น
กระเพรา	-	-	-	-
มะกรูด	7	2.22	0.65	1.6-3.2
ตำลึง	-	-	-	-
ตะไคร้	-	-	-	-
ข้าว	-	-	-	-
มะละกอ	3	0.57	0.04	0.5-0.6
กล้วย	-	-	-	-
มะม่วง	-	-	-	-

ตารางที่ 10 ปริมาณสาร benzene แยกตามชนิดของผักและผลไม้

ชนิดผักและผลไม้	จำนวนที่พบ	ปริมาณ benzene ที่พบ($\mu\text{g}/\text{kg}$)		
		ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ช่วงความเข้มข้น
กระเพรา	14	2.01	1.81	0.1-5.6
มะกรูด	10	0.68	0.48	0.1-1.5
ตำลึง	3	2.60	0.29	2.4-2.9
ตะไคร้	13	0.73	0.64	0.1-1.6
ข้าว	15	2.59	2.62	0.4-9.4
มะละกอ	5	1.46	1.69	0.1-4.7
กล้วย	4	0.53	0.32	0.2-0.9
มะม่วง	3	1.32	0.72	0.3-2.2

สำหรับ 1,2-dichloroethane พบเฉพาะในใบมะกรูดจำนวน 5 ตัวอย่างและพบจากการเก็บตัวอย่างเพียง 2 ครั้ง ซึ่งทำให้ไม่สามารถบอกแนวโน้มการปนเปื้อนและสาเหตุของ 1,2-dichloroethane ได้อย่างแน่นอน นอกจากนี้ สำหรับ tetrachloroethylene พบในตัวอย่าง 3 ชนิดได้แก่มะกรูด ตะไคร้และข้าว นอกจากนี้ผลการศึกษายังแสดงให้เห็นว่าจำนวนตัวอย่างที่ตรวจพบสาร chloroform 1,2-dichloroethane และ

tetrachloroethylene มีจำนวนน้อยกว่าสาร dichloromethane และ benzene อย่างมีนัยสำคัญซึ่งแสดงให้เห็นถึงปัญหาการปนเปื้อนของสาร VOCs ในตัวอย่างผักและผลไม้ได้แก่ dichloromethane และ benzene มากกว่า สาร VOCs ชนิดอื่นๆ

ตารางที่ 11 ปริมาณสาร 1,2-dichloroethane แยกตามชนิดของผักและผลไม้

ชนิดผักและผลไม้	จำนวนที่พบ	ปริมาณ 1,2-dichloroethane ที่พบ($\mu\text{g}/\text{kg}$)		
		ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ช่วงความเข้มข้น
กระเพรา	-	-	-	-
มะกรูด	5	0.41	0.40	0.10-0.88
ตำลึง	-	-	-	-
ตะไคร้	-	-	-	-
ข่า	-	-	-	-
มะละกอ	-	-	-	-
กล้วย	-	-	-	-
มะม่วง	-	-	-	-

ตารางที่ 12 ปริมาณสาร tetrachloroethylene แยกตามชนิดของผักและผลไม้

ชนิดผักและผลไม้	จำนวนที่พบ	ปริมาณ tetrachloroethylene ที่พบ($\mu\text{g}/\text{kg}$)		
		ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ช่วงความเข้มข้น
กระเพรา	-	-	-	-
มะกรูด	4	0.25	0.17	0.10-0.50
ตำลึง	-	-	-	-
ตะไคร้	3	0.13	0.05	0.10-0.20
ข่า	1	0.10-	-	0.1
มะละกอ	-	-	-	-
กล้วย	-	-	-	-
มะม่วง	-	-	-	-

ผลการวิเคราะห์สาร VOCs ในตัวอย่างกระเพราที่เก็บจากเขตอำเภอท่าใหม่ ไม่พบสาร VOCs ทุกชนิดปนเปื้อนในตัวอย่าง (ต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจวัด) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการปนเปื้อนของสาร VOCs จากสิ่งแวดล้อมสู่อาหาร โดยข้อมูลปริมาณของสาร VOCs ที่ปนเปื้อนในบรรยากาศบริเวณมาตาพุด ซึ่งเป็นข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษ พบการปนเปื้อนของสาร VOCs ในอากาศแสดงดังตารางที่ 13 และค่ามาตรฐานสาร VOCs ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติแสดงในตารางที่ 14 พบว่า 1,3-butadiene และ 1,2-dichloroethane และ benzene มีค่าสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานในบางปี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง benzene พบการ

ปนเปื้อนที่เกินค่ามาตรฐานจำนวนมากที่สุด จึงทำให้ผลการวิเคราะห์สาร VOCs ในตัวอย่างผักและผลไม้จึงพบสาร benzene จำนวนมาก นอกจากนี้ถึงแม้ว่า 1,3-butadiene จะพบเกินค่ามาตรฐานในบรรยากาศแต่ไม่พบในตัวอย่างผักและผลไม้เนื่องจาก 1,3-butadiene เป็นสารที่มีจุดเดือดต่ำ (-13 องศาเซลเซียส) จึงทำให้สาร 1,3-butadiene คงตัวอยู่ในบรรยากาศมากกว่า น้ำ ดิน หรือ อาหาร นอกจากนี้ถึงแม้ว่าปริมาณ dichloromethane ในบรรยากาศของเขตมาบตาพุดจะไม่เกินค่ามาตรฐาน แต่ข้อมูลยังพบปริมาณ dichloromethane อยู่ในระดับสูงเมื่อเทียบกับ benzene จึงทำให้พบ dichloromethane ในตัวอย่างผักและผลไม้ที่ทำการศึกษา

ตารางที่ 13 ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงรายปีของสาร VOCs 9 ชนิด ระหว่างปี 2550-2557 (ข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษ)

สารอินทรีย์ระเหยง่าย	ค่าความเข้มข้นในบรรยากาศเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (มกค/บล.ม.)							
	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557
Vinyl chloride	1.20	1.40	0.94	2.70	1.00	0.92	100	0.52
1,3-Butadiene	0.57	0.53	0.54	0.43	0.78	1.40	0.70	1.9
Dichloromethane	0.82	1.70	30	0.85	1.10	4.30	2.20	13.00
Chloroform	0.18	0.07	0.13	0.23	0.64	0.52	0.24	0.15
1,2-dichloroethylene	21	5.9	1.6	0.94	1.30	1.00	2.9	3.00
Benzene	3.8	3.0	3.8	4.1	6.3	5.3	5.3	5.4
Trichloroethylene	0.18	0.17	0.16	0.34	0.28	1.2	0.24	0.45
1,2-dichloropropane	0.14	0.11	0.05	0.27	0.33	0.41	0.18	0.09
tetrachloroethylene	0.17	0.09	0.22	0.30	0.13	0.13	0.18	0.20

4. การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและดิน

ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำผิวดินจากคลองสาธารณะ บ่อน้ำของประชาชนในพื้นที่และดินบริเวณใกล้คลองสาธารณะ ไม่พบปริมาณสาร VOCs ทุกชนิดในทุกตัวอย่าง สำหรับตัวอย่างน้ำและดินจากอำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรีไม่พบสาร VOCs ทุกชนิดเช่นเดียวกัน ซึ่งบอกได้ว่าสาร VOCs ไม่เสถียรเมื่ออยู่ในน้ำผิวดิน และดินเนื่องจากสาร VOCs เป็นสารที่ระเหยเป็นไอได้ง่าย ดังนั้นเมื่อถูกความร้อนเช่นจากแสงแดด จึงระเหยออกจากตัวอย่างน้ำ (ผิวน้ำ) และดิน เข้าสู่อากาศ จึงทำให้มีสาร VOCs ในตัวอย่างน้ำและดินในปริมาณน้อยกว่าขีดจำกัดการตรวจวัดของงานวิจัยนี้

ตารางที่ 14 ค่ามาตรฐานสารอินทรีย์ระเหยง่ายในประเทศไทย

สารอินทรีย์ระเหยง่าย	ในบรรยากาศทั่วไป ในเวลา 1 ปี ⁽¹⁾ (ไม่โครกรัมต่อลูก บาศก์เมตร)	ในบรรยากาศทั่วไปใน เวลา 24 ชั่วโมง ⁽²⁾ (ไม่โครกรัมต่อลูก บาศก์เมตร)	น้ำใต้ดิน ⁽³⁾ (ไม่โครกรัมต่อ ลิตร)	ดิน ⁽⁴⁾ (มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม)
เบนซีน (Benzene)	1.7	7.6	5	6.5
ไวนิลคลอไรด์ (Vinyl Chloride)	10	20	-	-
1,2-ไดคลอโรอีเทน (1,2-Dichloroethane)	0.4	48	5	3.5
ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene)	23	130	5	28
ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane)	22	210	5	89
1,2-ไดคลอโรโพรเพน (1,2-Dichloropropane)	4	82	-	-
เตตระคลอโรเอทิลีน (Tetrachloroethylene)	200	400	5	57
คลอโรฟอร์ม (Chloroform)	0.43	57	-	-
1,3-บิวทาไดอีน (1,3-Butadiene)	0.33	5.3	-	-

(1) ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 30 (พ.ศ. 2550) เรื่องกำหนดมาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี,

(2) ประกาศกรมควบคุมมลพิษ เรื่องกำหนดค่าเฝ้าระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 24 ชั่วโมง

(3) ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 (พ.ศ. 2543) เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน

(4) ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน

5. การเปรียบเทียบสาร VOCs ในผักที่ปลูกในมาบตาพุดและผักที่ซื้อจากตลาด

เพื่อเปรียบเทียบการปนเปื้อนของสาร VOCs จากอุตสาหกรรม ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาสาร VOCs 9 ชนิด ในตัวอย่างผักที่ปลูกในพื้นที่และที่จำหน่ายในตลาด โดยเก็บตัวอย่างผัก 3 ชนิดได้แก่ ผักบุ้ง ผักกวางตุ้งและคะน้าเนื่องจากผักทั้ง 2 ชนิดเป็นผักที่มีการปลูกโดยประชาชนในพื้นที่มาบตาพุด และซื้อผัก 3 ชนิดดังกล่าวจากตลาดมาบตาพุด ในวันเดียวกันที่เก็บผักจากแปลงผักของประชาชนในพื้นที่ ผลการศึกษาพบสาร VOCs 5 ชนิดได้แก่ dichloromethane chloroform 1,2-dichloroethane benzene และ tetrachloroethylene

ผลดังตารางที่ 15 โดยพบว่า dichloromethane chloroform และ benzene จากผักที่ปลูกในพื้นที่มาบตาพุดมีค่ามากกว่าผักที่ซื้อมาจากตลาดอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับผักทั้ง 3 ชนิดที่ทำการศึกษา ในสาร 1,2-dichloroethane พบในผักบุงที่ปลูกในพื้นที่เท่านั้น แต่ tetrachloroethylene ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างผักที่ปลูกในพื้นที่และผักที่ซื้อมาจากตลาด ข้อมูลจากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการปนเปื้อนของสาร VOCs ในตัวอย่างอาหารมีสาเหตุหลายประการ เช่นสิ่งแวดล้อม (อากาศ น้ำ ดิน) ระหว่างการเพาะปลูก รวมถึงระหว่างการขนส่งด้วย ในงานวิจัยนี้ไม่สามารถระบุแหล่งเพาะปลูกของผักที่ซื้อมาจากตลาดได้เนื่องจากแม่ค้าผู้จำหน่ายผักจะซื้อผักมาจากพ่อค้าคนกลางอีกต่อหนึ่งจึงไม่สามารถสอบกลับถึงแหล่งเพาะปลูกได้ว่ามีการปนเปื้อนสาร VOCs จากอุตสาหกรรมหรือไม่ อย่างไรก็ตามจากการศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงการปนเปื้อนที่เกิดจากอุตสาหกรรมในนิคมมาบตาพุดด้วยสาเหตุหนึ่ง

ตารางที่ 15 ผลความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยที่พบในผักที่ปลูกที่บ้านและซื้อจากตลาด

ตัวอย่าง		ความเข้มข้น (µg/kg)				
		Dichloromethane	Chloroform	1,2-dichloroethane	Benzene	Tetrachloro-ethylene
ผักบุง	ตลาด	ND	ND	ND	52±19	187±45
	ปลูกเอง	387±88	n.d.	188±35	212±53	220±52
ผักกวาดตุง	ตลาด	41±10	56±22	ND	94±8	185±28
	ปลูกเอง	229±49	124±18	ND	112±3	183±12
คะน้า	ตลาด	ND	38±5	ND	65±11	139±12
	ปลูกเอง	51±24	58±8	ND	252±12	140±6

6. การเปรียบเทียบสาร VOCs ในพื้นที่มาบตาพุดกับเขตอุตสาหกรรมอื่น

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการปนเปื้อนของสาร VOCs จากพื้นที่มาบตาพุด โดยเก็บตัวอย่างน้ำและตะกอนดินจากคลองตากวน ซึ่งผ่านนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด เก็บน้ำทะเลบริเวณใกล้ปากคลองตากวน และเก็บตัวอย่างหอยแมลงภู่ที่เพาะเลี้ยงในบริเวณดังกล่าว และเก็บตัวอย่างน้ำจากคลองสาธารณะที่มาจากนิคมแหลมฉบังรวมถึงเก็บตัวอย่างหอยแมลงภู่ที่เลี้ยงในบริเวณดังกล่าว มาศึกษาการปนเปื้อนของสาร VOCs ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 16 และ 17 กราฟเปรียบเทียบปริมาณสาร VOCs ในหอยแมลงภู่ ในพื้นที่มาบตาพุดและแหลมฉบังแสดงดังรูปที่ 2-4 โดยตัวอย่างน้ำไม่พบสาร VOCs ในทุกตัวอย่างน้ำจากมาบตาพุดแต่พบ chloroform ในพื้นที่แหลมฉบัง น้ำทะเลไม่พบสาร VOCs ในทุกตัวอย่าง สำหรับตะกอนดินพบ dichloromethane และ benzene ในตะกอนดินบริเวณปากคลองตากวนและบริเวณใกล้คลองตากวน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสาร VOCs ที่ปนเปื้อนจากแหล่งอุตสาหกรรมสามารถตกตะกอนและสะสมอยู่ในตะกอนดินได้

นอกจากนี้เมื่อศึกษาปริมาณสาร VOCs ในหอยแมลงภู่ที่เลี้ยงบริเวณปากคลองพบสาร dichloromethane chloroform และ benzene ในปริมาณสูงกว่าตัวอย่างชนิดอื่นๆ แสดงให้เห็นว่าหอยแมลงภู่มีการรับสัมผัสสาร VOCs และสะสมในเนื้อเยื่อของหอย โดยพบปริมาณ dichloromethane และ benzene ในหอยแมลงภู่จากแหลมฉบังสูงกว่ามาบตาพุด และพบปริมาณ chloroform จากหอยแมลงภู่จากมาบตาพุดสูงกว่าแหลมฉบัง ซึ่งแสดงให้เห็นว่านิคมอุตสาหกรรมอื่นนอกเหนือจากนิคมมาบตาพุดยังคงมีปัญหาของสาร VOCs สู่สิ่งแวดล้อมเช่นเดียวกันและจำเป็นต้องมีการศึกษาต่อไปในเชิงลึกถึงสาเหตุของการปนเปื้อนเพื่อหาแนวทางป้องกันต่อไป

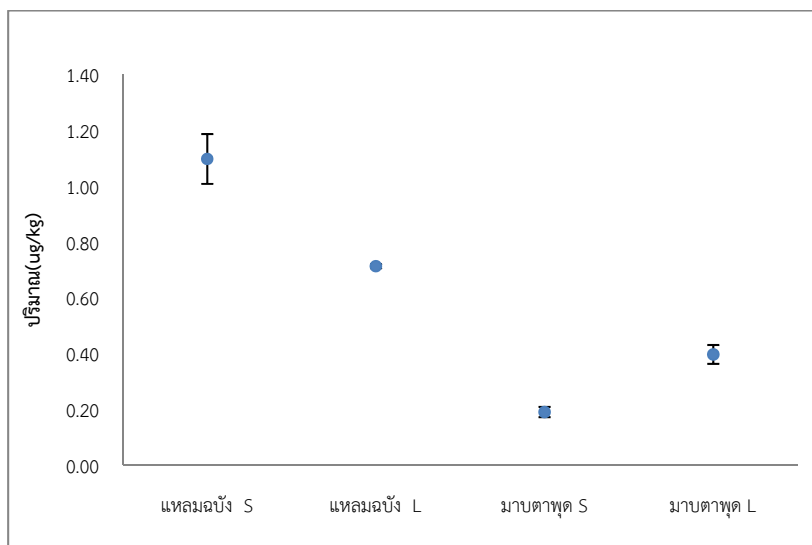
ตารางที่ 16 สาร VOCs ที่ตรวจพบในตัวอย่งน้ำ น้ำทะเลและตะกอนดินจากพื้นที่มาบตาพุดและแหลมฉบัง

ตัวอย่าง		dichloromethane		chloroform		benzene	
		เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD
น้ำ							
มาบตาพุด	ปากคลองตากวน	ND		ND		ND	
	ห่างปากคลองตากวน 200 m	ND		ND		ND	
	ห่างปากคลองตากวน 1 km	ND		ND		ND	
	บ่อน้ำใกล้คลองตากวน	ND		ND		ND	
แหลมฉบัง	คลองจากนิคมแหลมฉบัง	ND		0.20	0.01	ND	
	ปากคลองนิคมแหลมฉบัง	ND		ND		ND	
น้ำทะเล							
มาบตาพุด	หาดตากวน	ND		ND		ND	
	ปากคลองตากวน	ND		ND		ND	
	หาดทรายทองด้านตตินิคมมาบตาพุด	ND		ND		ND	
บ้านฉาง	หาดทรายทองด้านบ้านฉาง	ND		ND		ND	
	หาดพะยูน	ND		ND		ND	
แหลมฉบัง	นิคมแหลมฉบัง	ND		ND		ND	
ตะกอนดิน							
มาบตาพุด	ปากคลองตากวน	0.76	0.06	ND		2.53	0.10
	บ่อน้ำใกล้คลองตากวน	0.54	0.05	ND		2.13	0.19

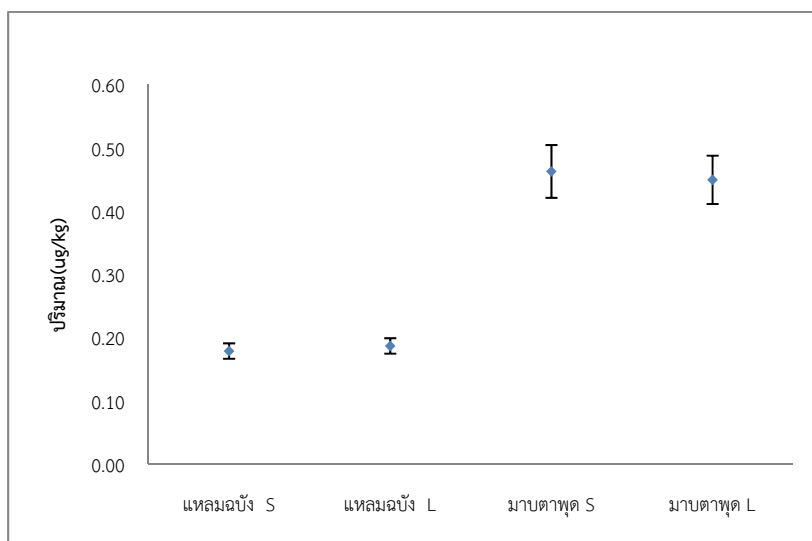
ตารางที่ 17 ปริมาณสาร VOCs ที่ตรวจพบในตัวอย่างหอยแมลงภู

ตัวอย่างหอย	ปริมาณสาร VOCs ($\mu\text{g}/\text{kg}$)					
	Dichloromethane		Chloroform		Benzene	
	เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD
หอยนางรม S	1.10	0.09	0.18	0.01	4.21	0.37
หอยนางรม L	0.71	0.01	0.19	0.01	2.98	0.11
มาบตาพุด S	0.19	0.02	0.46	0.04	0.91	0.05
มาบตาพุด L	0.40	0.03	0.45	0.04	1.84	0.16

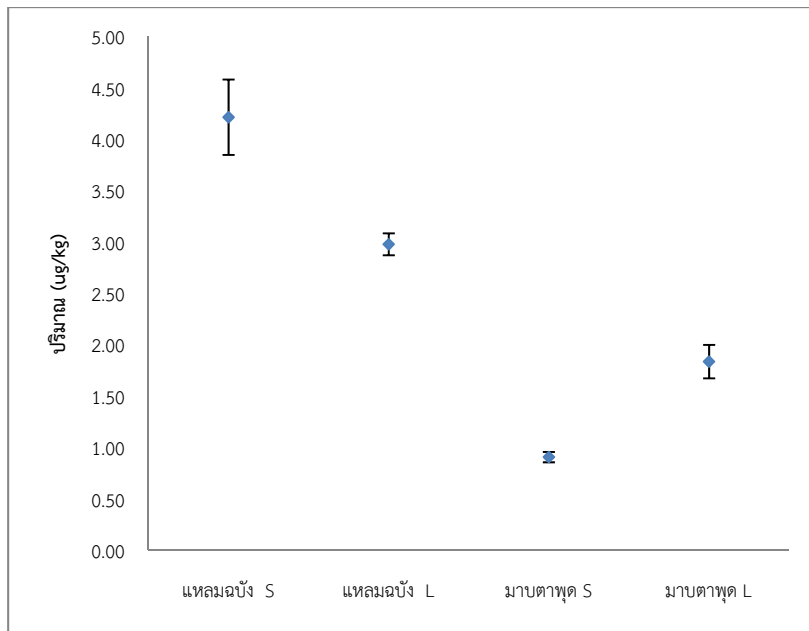
หมายเหตุ S :หอยขนาดเล็ก L: หอยขนาดใหญ่



รูปที่ 2 ปริมาณสาร dichloromethane ในตัวอย่างหอยแมลงภู



รูปที่ 3 ปริมาณสาร chloroform ในตัวอย่างหอยแมลงภู



รูปที่ 4 ตัวอย่าง benzene ในตัวอย่างหอยแมลงภู

7. การเปรียบเทียบการปนเปื้อนของสาร VOCs กับค่ามาตรฐาน

ผลการศึกษาไม่พบการปนเปื้อนที่เกินค่ามาตรฐานของประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติของสาร VOCs ในตัวอย่างน้ำและดินจากตัวอย่างในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด แต่ตรวจพบการปนเปื้อนของสาร VOCs ในตัวอย่างอาหาร แต่การปนเปื้อนดังกล่าวอยู่ในระดับไมโครกรัมต่อกิโลกรัมซึ่งถือว่าเป็นปริมาณที่ต่ำมาก และไม่พบรายงานค่ามาตรฐานการปนเปื้อนของสาร VOCs ในตัวอย่างอาหารทั้งของประเทศไทยและต่างประเทศ จึงไม่ทำให้ไม่สามารถบอกระดับความเป็นอันตรายจากการบริโภคอาหารที่มีสาร VOCs ปนเปื้อนได้ อย่างไรก็ตามถ้าประชาชนบริโภคอาหารและน้ำที่มีการปนเปื้อนสาร VOCs สามารถลดการปนเปื้อนได้โดยการให้ความร้อนเช่นการทำให้สุก หรือในกรณีการรับประทานผักหรือผลไม้สด ควรล้างออกด้วยน้ำสะอาดหลายๆครั้งเพื่อลดปริมาณสาร VOCs ที่อยู่บริเวณผิวด้านนอกของผักและผลไม้ดังกล่าว

8. การทำนายการแพร่กระจายของสาร VOCs จากอุตสาหกรรมสู่สิ่งแวดล้อม

สาร VOCs เป็นปัญหาทางสิ่งแวดล้อม มันใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเคมีภัณฑ์และพอลิเมอร์ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมหลักของนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด และใช้เป็นตัวทำละลายอินทรีย์สำหรับการผลิตในอุตสาหกรรมหลายชนิดเช่นอุตสาหกรรมยาง สารทำความสะอาด และเป็นสารที่อยู่ในกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบด้วย นอกจากนี้สาร VOCs บางชนิด เช่น benzene ยังเป็นผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ดังนั้นการปนเปื้อนของสาร VOCs ในสิ่งแวดล้อมจึงมีหลายสาเหตุ สำหรับการปนเปื้อนของสาร VOCs จากอุตสาหกรรม มาจากหลายทิศทาง คือ

- (1) ทางอากาศจากการปล่อยไอเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม จากการรั่วไหลตามระบบท่อส่งแก๊สของโรงงานอุตสาหกรรมหรือการขนส่งน้ำมัน สาร VOCs เหล่านี้จะเข้าบรรยากาศ การแพร่กระจายจะขึ้นกับทิศทางลม โดยจะพบว่าปริมาณสาร VOCs ในอากาศบริเวณใกล้แหล่งปนเปื้อนจะมีค่าสูงกว่าบริเวณที่ห่างกัน
- (2) ทางน้ำ จากการปนเปื้อนออกมาพร้อมน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม สาร VOCs ในน้ำจะตกตะกอนสะสมอยู่ในชั้นของตะกอนดินใต้แหล่งน้ำ และอยู่ในน้ำบาดาล สำหรับน้ำผิวดินมักจะไม่พบสาร VOCs

เนื่องจากเมื่อสาร VOCs ที่อยู่ในผิวน้ำจะได้รับความร้อนจากแสงแดดทำให้สาร VOCs เหล่านี้ระเหยเข้าสู่บรรยากาศต่อไป

- (3) จากการชะสาร VOCs จากบรรยากาศสู่พื้นดิน เกิดจากสาร VOCs ที่อยู่ในอากาศหรือเกาะอยู่กับฝุ่นละอองขนาดเล็กที่ลอยฟุ้งอยู่ในอากาศตกลงมายังแหล่งน้ำและดิน ทำให้สาร VOCs กระจายได้ทั่วบริเวณ และสาเหตุอีกประการหนึ่งคือจากฝนที่ชะสาร VOCs จากอากาศ ดังนั้นน้ำฝนในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนสาร VOCs ในอากาศไม่ควรนำมาอุปโภคหรือบริโภคโดยตรง ควรให้ความร้อนก่อนเพื่อกำจัดสาร VOCs ให้ลดลง

สรุป

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการปนเปื้อนของสาร VOCs 9 ชนิดในตัวอย่างสิ่งแวดลอม ด้วยเทคนิค GC-MS และ purge and trap ผลการศึกษาพบว่าการปนเปื้อนของสาร VOCs ในตัวอย่างน้ำ ดิน และอาหารมีระดับต่ำ (ระดับไมโครกรัมต่อลิตร หรือไมโครกรัมต่อกิโลกรัม) นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังพบว่านอกจากนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดแล้วยังมีแหล่งอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่อาจมีปัญหการปนเปื้อนของสาร VOCs ด้วย ซึ่งจำเป็นต้องมีการศึกษาและติดตามเฝ้าระวังต่อไป

การเผยแพร่งานวิจัย

ส่วนหนึ่งของงานวิจัยนี้ได้เผยแพร่ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ ในการประชุม International Congress on Chemical, Biological and Environmental Sciences (ICCBES) สถานที่จัดประชุมเมืองเกียวโต ประเทศญี่ปุ่น มีกำหนดการประชุมระหว่างวันที่ .7-9 พฤษภาคม 2558 ชื่อหัวข้องานวิจัยที่นำไปเสนอ **Determination of VOCs in Environmental Samples by Purge and Trap-Gas Chromatography Mass Spectrometry** และได้เผยแพร่ในรูปแบบของ full proceeding ในการประชุมดังกล่าว ดังภาคผนวก

เอกสารอ้างอิง

- ประสงค์ คุณานัฐวัฒน์ชัยเดช และคณะ (2544). สารอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอนและสุขภาพ, พิษวิทยาสาร.
Cockerham, L. G., Shane, B. S. (1994). Basic Environmental Toxicology, CRC Press Inc. USA.
ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 30 (28 กันยายน พ.ศ. 2550) เรื่องกำหนดมาตรฐานค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี, ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 126 หน้า 24-25.
Environmental Protection Agency 1(1996); EPA method 5030B สืบค้นจาก www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/5030b.pdf
Environmental Protection Agency 1(1996); EPA method 5035 สืบค้นจาก www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/5035.pdf
Environmental Protection Agency 1(1996); EPA method 8260B สืบค้นจาก www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/8260b.pdf

Yang, K-L., Lai, C., Wang, J-L. (2004). Construction and validation of an automated spray-and trap gas chromatograph for the determination of volatile organic compounds in aqueous samples. *Journal of Chromatography A*, 1027, 41-48.

Dewulf, J., Langenhove, H. V. (2002). Analysis of volatile organic compounds using gas chromatography. *Trends in Analytical Chemistry*, 21, 637-644.

Azucena, L-G., Jose, E. S-U., Eva, S-G., Alfredo S-M. (2008). Critical comparison of automated purge and trap and solid phase microextraction for routine determination of volatile organic compounds in drinking waters by GC-MS. *Talanta*, 74, 1455-1462.

Kuo, H.W., Chiang T. F., Lo, I. I., Lai, J. S., Chan, C. C., Wang, J. D., (1997). VOC concentration in Taiwan household drinking water. *The Science of the Total Environment*, 208, 41-47.

Nakamara, S., Daishima, S. (2005). Simultaneous determination of 22 volatile organic compounds, methyl-tert-butyl ether, 1,4-dioxane, 2-methylisoborneol and geosmin in water headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta*, 548, 79-85.

Antoniou, C. V., Koukouraki, E. E., Diamadopoulou, E. (2006). Determination of chlorinated volatile organic compounds in water and municipal wastewater using headspace-solid phase microextraction-gas chromatography. *Journal of Chromatography A*, 1132, 310-314.

Niri, V. H., Bragg, L., Pawliaszyn, J. (2008). Fast analysis of volatile organic compounds and disinfection by-products in drinking water using solid-phase microextraction-gas chromatography/time-of-flight mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1201, 222-227.

Huybrechts, T., Dewulf, J., Langenhove, H. V. (2003). State-of-the-art of gas chromatography-based methods for analysis of anthropogenic volatile organic compounds in estuarine waters, illustrated with the river Scheldt as an example. *Journal of Chromatography A*, 1000, 283-297.

Kuran, P., and Sojak L. (1996). Environmental analysis of volatile organic compounds in water and sediment by gas chromatography. *Journal of Chromatography A*, 733, 119-141.

Fleming-Jones, M. E. and Smith, R. E. (2003). Volatile organic compounds in foods: a five year study. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 51, 8120-8127.

Couch, M. W., Schmidt, C. J. and Wasdo, S. C. (2000). A comparison of sampling techniques for VOCs in soil. *Advances in Environmental Research*, 4, 97-102.

Belanger, J. M. R., Rare, J. R. J., Turpin, R., Schaefer, J., Chuang, C. W. (2007). Evaluation of microwave-assisted process technology for HAPSITE's headspace analysis of volatile organic compounds (VOCs). *Journal of Hazardous Materials*, 145, 336-338.

Demeestere, K., Dewulf, J., De Roo, K., Wispelaere, P. D., and Landenhove, H. V., (2008). Quality control in quantification of volatile organic compounds analysed by thermal

desorption-gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1186, 348-357.

Liu, H-W., Liu, Y-T., Wu, B-Z., Nian, H.-C., Chen, H.-J., Chiu, K.-H., Lo, J.-G., (2010). Process sampling module coupled with purge and trap-GC-FID for in situ auto-monitoring of volatile organic compounds in wastewater. *Talanta*, 80, 903-908.

Gallego, E., Roca, F. J., Perales, J. F., Guardino, X., (2010). Comparative study of the adsorption performance of a multi-sorbent bed (carbotrap, carbopack X, Carboxen 569) and a Tenax TA adsorbent tube for the analysis of volatile organic compounds (VOCs). *Talanta*, 81, 916-924.

AOAC international (2000). AOAC® Peer-Verified method program: manual on policies and procedure. The United of America.

ภาคผนวก

เอกสารเผยแพร่งานวิจัย



Kyoto Japan

Conference Proceedings
May 2015

ICEAI

International Congress on
Engineering and Information

ICNSE

International Congress on
Natural Sciences and Engineering

ICCBES

International Congress on
Chemical, Biological and Environmental Sciences

Conference Proceedings

May, 2015
Kyoto, Japan

ICNSE

International Congress on Natural Sciences and
Engineering

ICCBES

International Congress on Chemical, Biological
and Environmental Sciences

ICEAI

International Congress on Engineering and
Information

ICCBES-877

Determination of VOCs in Environmental Samples by Purge and Trap-Gas Chromatography Mass Spectrometry

Apinya Navakhun*

Department of Chemistry, and Center of Excellence on Environmental Health and Toxicology (ETH), Faculty of Science, Burapha University, Chonburi, Thailand

*E-mail address: apinyan@buu.ac.th

Anurak Chankaew

Graduate School in Environmental Science Program and Center of Excellence on Environmental Health and Toxicology (ETH), Faculty of Science, Burapha University, Chonburi, Thailand

E-mail address: Anurak_chem@hotmail.com

Chartchai Malaphong

Science Innovation Facility, Faculty of Science,
Burapha University, Chonburi, Thailand

E-mail address: Chartchai@buu.ac.th

Abstract

A sensitive purge and trap extraction technique was applied for determination of volatile organic compounds (VOCs). The 9 VOCs which are 1,3-butadiene, dichloromethane, chloroform, 1,2-dichloroethane, benzene, trichloroethylene, 1,2-dichloropropane and tetrachloroethylene were quantified by gas chromatography-mass spectrometry. The optimum conditions of purge and trap system were 15 min purge time at 50°C sample temperature. The analytes were trapped on VOCARB 3000 trap and desorbed at 180 °C for 0.5 min. Finally, bake step was set at 250°C for 30 min at flow rate 400 mL/min. The chromatographic conditions were DB-5MS column, helium flow rate at 1.8 mL/min, injector temperature was 220°C. Temperature program was as follow: initial of 35°C held for 4 min increase to 90°C at 6°C/min, increase to 200°C at 35°C/min, held for 1 min. This method was successfully applied for determination of 9 VOCs in environmental samples collected from Thailand industrial estate and non-contaminated area in order to compare the amount of VOCs emitted from industry.

Keyword: Volatile organic compounds, Purge and trap, GC-MS, Industrial estate

1. Introduction

Volatile organic compounds (VOCs) are a group of low molecular weight aliphatic, aromatic hydrocarbon and chlorinated hydrocarbon with low boiling point. VOCs have a wide range of industry applications. VOCs are used as fuels, solvents for paints and pesticides. VOCs are common contaminant to environmental (air, soil, water and food). VOCs are sources of air toxic, and effect to human such as acute effect and chronic effect (cancer). Human can exposure to VOCs by breathing, drinking water, eating food and beverage, adsorbing dust and soil from hazardous waste (Bloemen & Burn 1993).

The aim of this work was the development of the methods for extraction and analysis of 9 VOCs using purge and trap and gas chromatography mass spectrometric techniques. The purge-and-trap technique coupled to GC-MS has been recommended by the US Environmental Protection Agency (EPA) for determination of trace contaminated VOCs in environmental samples. The developed method was validated and applied to determination of VOCs in environmental samples. The amount of VOCs from industry area and non-contaminated area was compared in order to study the source and pathway of VOCs emission from industry to environment and community. The samples as well as water, soil and food samples were collected from industrial area and non-industrial area of eastern part of Thailand. In addition, 9 VOCs as follows: 1,3-butadiene, vinyl chloride, dichloromethane, chloroform, 1,2-dichloroethane, benzene, 1,2-dichloropropane, trichloroethylene and tetrachloroethylene were monitored due to the recommendation by the Notification of National Environmental Board of Thailand No. 30 (2007).

2. Methods and materials

2.1 Instrumentation and reagents

The purge and trap system (Stratum, Teledyne Tekmar, USA) coupled with Gas chromatography 5890 series II plus couple with 5972 series mass spectrometer (Hawlett Packard, USA) was used in this study.

Volatile organic compounds standards (1,3-butadiene, vinylchloride, dichloromethane, chloroform, 1,2-dicholoethane, benzene, 1,2-dichloropropane, trichloro-ethylene and tetrachloroethylene) and internal standard (Toluene D-8) were purchased from Supelco (USA). The 250 µg/mL standard solutions were prepared in methanol and stored in refrigerator (-2°C). Working solutions were prepared by mixing standard solutions in deionized water before analysis. Ultra high purity (UHP) helium gas was supplied from Lab solution & engineering (Thailand).

2.2 Methods

The GC-MS injection was operated in splitless mode with splitless time of 2 min. Helium carrier gas was set at 1.80ml/min. The MS condition was set detector temperature at 250 °C. The MS was operated in the electron ionization mode (EI) at 70 eV. The selected ion-monitoring (SIM) mode was used in analysis were listed in Table 1.

Environmental samples (water, soil and vegetable) were collected. The samples were collected and kept in zip bag and stored in ice box during transport and then immediately frozen at -20°C before analysis. For sample preparation for extraction of vegetable samples, vegetable sample was cut to small pieces and stored in freezer and finally blended frozen sample by blender.

In order to study the emission of VOCs from industry, 2 industrial estates in the eastern part of Thailand were chosen as the contaminated area. The 4 areas in the same city that without industrial estate were chosen as non-contaminated area (controlled area).

3. Results and Discussion

3.1 The optimization of gas chromatography-mass spectrometry.

In this work, GC-MS was used to separate 9 VOCs, 1,3-butadiene, vinyl chloride, dichloromethane, chloroform, 1,2-dichloroethane, benzene, trichloroethylene, 1,2-dichloropropane and tetrachloroethylene. Firstly, 9 VOCs separations were performed on a 30 m and 0.25µm film thickness HP5-MS capillary column. Unfortunately, this column could not be separated all VOCs peaks. The longer column with more film thickness of 60 m with 1 µm film thickness HP5-MS column was chosen in order to increase separation performance. The temperature program, initial of 35°C held for 4 min, increase to 60°C at 25°C/min, increase to 90°C at 6°C/min, increase to 200°C at 35°C/min, held for 1 min and carrier gas flow rate of 1.8 mL/min were the optimum conditions. The 9 VOCs were completely separated within 13.75 min. In addition, injector temperature of 220°C was optimum condition because it provided the higher peak area of most compounds. The GC-MS optimum conditions were summarized in Table 1.

Table 1: The optimum condition of the GC-MS and SIM ions for VOCs

Parameters	Optimum conditions
Injector temperature	220 °C
Column	DB-5MS 0.32 mm x 60 m x 1.0 µm film thickness
Temperature program	35°C, held for 4 min, increase to 90°C at 6°C/min, increase to 90°C at 6°C/min, increase to 200°C at 35°C/min, held for 1 min
Carrier gas flow rate	1.8 mL/min
Detector temperature	250 °C
SIM ion (m/z)	1,3 -butadiene; 54 Vinylchloride, 62 Dichloromethane; 84 86 Chloroform; 83 85 1,2-dichloroethane; 62 64 Benzene; 78 77 1,2-dichloropropane; 63 62 Trichloroethylene; 130 132 Tetrachloroethylene; 164 166 Toluene D-8; 98 100

3.2 The optimization of purge and trap.

The purge and trap conditions were varied to obtain the highest sensitivity and the best repeatability for the analysis. Firstly, helium gas purging flow rate was set at 40 mL/min in accordance with the manufacturer's recommendation (Meloan, 1999, Teledyne Tekmar, 2009). For the type of trap, VOCARB 3000 and VOCARB 4000, were the recommendation traps for determination of VOCs (United States Environmental Protection Agency, 1996). However, the higher peak areas were obtained from VOCARB 3000. Type of sparger was the next study. The more efficient extraction was obtained from frit sparger when it was compared with fritless sparger because the dispersion of fine bubbles provides more efficient than that of large bubbles (Meloan, 1999). However, frit sparger could not suitable with vegetable samples or sediment samples because sample was clogging up of the gas flow routes. Therefore, 25 mL fritless with 15 mL sample solution was chosen in this study.

The sample temperature was the next parameter, the increasing in temperature always increase in purge efficiency (Meloan, 1999). The sample temperature was varied 30-70°C. The sample temperature of 50°C was chosen as the optimum condition because low boiling point of some compounds such as vinyl chloride and 1,3-butadiene were instable when high temperature performed. It was due to its stability and reactivity properties. In the purge time study, the increasing in the peak area was found when the purge time increased from 5 to 11 min. However, the purge time more than 15 min led to a slightly decreasing in the peak area in almost of the compounds. The longer purge time decreased the peak area because the helium itself causes stripping of the trapped analytes (Campillo, Vinas, Lopez-Garcia, Aguinaga, & Hernandez-Cordaba, 2004). Therefore, 15 min was chosen as the optimum condition. The dry purge time was varied between 1-5 min. When the dry purge time more

than 1 min performed, the peak areas of almost all compounds were decreased. Due to the VOCs compounds were removed from trapped together with moisture to waste. Therefore, 1 min was the optimum condition of the dry purge time.

In desorption temperature study, the compounds were desorbed and transferred to GC-MS instrument. The highest peak area was achieved at 180°C. When the temperature was more than 200°C, the decreasing in peak area was found. Desorption time was studied between 0.5-4 min. The highest peak areas were obtained at desorption time between 0.5-1 min. The decreasing in peak area was found when desorption time was more than 1 min. Thus, the optimum desorption time was 0.5 min, which provided the high peak area for almost of the compound. Transfer line temperature also effects on the vaporization of VOCs and prevents the condensation of VOCs in the injection port of GC instrument.

The transfer line temperatures of 180-240°C were varied. The decreasing in peak areas of VOCs was found when the temperature was increased. It was found that 180°C was the optimum transfer line temperature because at high temperature, inconstant of peak area was monitored. Finally, bake was the step that cleans up the trapping material prior to next analysis and removed any contamination of tailing compounds (Teledyne Tekmar, 2009). After the desorption step, the trap temperature was raised to 260°C at 400 mL/min He flow rate. Bake time of 10-30 min was varied. The decreasing in peak area of residue peak was found when the bake time increased from 10-30 min. Thus, 30 min was optimum condition for bake time. The optimization of purge and trap were summarized in Table 2

Table 2: The optimum conditions of purge and trap system.

Parameters	Optimum Conditions
1. Trap	VOCARB 3000
2. Sparger	Sparger 25 mL fritless
3. Sample temperature	50°C
4. The purge time	15 min
5. The dry purge time	1 min
6. The desorption time	0.5 min
7. The desorption temperature	180°C
8. The transfer line temperature	180°C
9. Bake time	30 min

3.3 The optimization of extraction conditions

The parameters that affect the extraction efficiency were evaluated in this study. The parameters such as, the salting out effect, step of antifoam adding, concentration of antifoam, extraction time, extraction temperature, centrifuge rate, centrifuge time and filtered solution were studied. Firstly, 5 g of sample was used in optimization of extraction condition. And

then 9 VOCs standard solutions were spiked into sample vial. In the salting out effect, the effect of salting out was increased to extraction efficiency in analytical procedures. The salting out effect was the decreased of solubility of analyte in water when salt was added to the solution. Therefore, molecules of analyte will be removed of solution and into headspace by gas flow (Satoshi, Andrea, & Kai-Uwe, 2012, Alonso, Castellanos, Besalu & Sanchez, 2012). In this research, the extraction efficiency of all compounds was improved with addition of 3%w/v NaCl. The antifoam was also effect extraction efficiency. No addition of antifoam, the VOCs could analyzed in vegetable samples. Since, the matrix of the samples causes serious foaming during purge step (Campillo, Vinas, Lopez-Garcia, Aguinaga, & Hernandez-Cordaba, 2004). Sample foaming can be reduced by decreasing the purge flow rate or adding antifoam agent (Roose & Brinkman, 1998). The 0.005 %v/v of antifoam was used during sample extraction process in order to eliminate of foam bubbles.

The extraction time was soaking the sample in DI-water and storage in 40mL vial. For 1-5 hour of extraction time, increasing in peak area for mostly compounds was monitored. In addition, 10-15 hour of extraction time, decreasing in peak area and poor standard deviation were obtained. Thus, 10-15 hour was not suitable in this extraction. Therefore, 5 hour of extraction time was chosen as the optimum condition. The extraction temperature was the next parameter. In general, higher temperature will cause an increase of liquid extraction efficiency due to enhance sample wetting, better of the extraction solvent, and desorption rate of analyte from matrix to the solvent (Koning, Janssen & Brinkman, 2009). However, VOCs was inapplicable in extraction of higher temperature because analyte was low boiling point and instable in high temperature. No significant difference in peak area was found when increasing temperature. Therefore, 0°C was chosen for extraction temperature as an optimum condition because low boiling point of some compounds such as vinyl chloride and 1,3-butadiene were instable when high temperature performed. The centrifuge rate was performed due to fully separate the clear extracted solution and residue vegetable fiber. The centrifuged rate of 1500 rpm was optimum condition because good separated between precipitate and solution. It was performed to supernatant and easy to suction with syringe before injection to PT system. In addition, the higher centrifuge speed could not effect to extraction efficiency because the purpose of centrifuge was separated the clear extracted solution. The centrifuge time was the next parameter, increasing in peak area of most VOCs was found in centrifuge time of 2-4 min. However, decreasing in peak area with centrifuge time more than 4 min was monitored. Thus, centrifuged time 4 min was optimum condition.

The filtered and non-filtered of samples before injection into PT were compared. The increasing peak area of most VOCs was monitored when non-filtered performed. Finally, sample preparation was 5g of vegetable weighed into a 40 mL vial, 30 mL DI-water, 3%w/v

NaCl were then added into vial. Temperature of 0°C and time for extraction of 5 hour were used as the optimum extraction condition. After extraction, 0.005% antifoam was added into vial, centrifuge rate at 1500 rpm for 4 min and non-filtered before injected to PT system were the optimum condition. The optimum conditions of extraction are summarized in table 3.

Table 3: The optimum conditions for extraction of sample.

Parameters	optimum conditions
1. The salting out	3% w/v
2. Added antifoam step	after extraction
3. Antifoam Concentration	0.005 %v/v
4. The extraction time	5 hour
5. The extraction temperature	0°C
6. The centrifuge rate	1500 rpm
7. The centrifuge time	4 min
8. Filtered	Non-filtered

3.4 The validation method.

The optimum conditions of purge and trap coupled with gas chromatography mass spectrometry were used for validation method. The linearity, limit of detection, limit of quantification, precision and accuracy were studied. The linearity of 9 VOCs was of 0.05-500 µg/L. The LOD and LOQ were 0.20 ng/L-0.22 µg/L and 1.0 ng/L-0.74 µg/L, respectively. The repeatability (%RSD, n=10) and intermediate precision (%RSD, n=9) at second level concentration were 8-22% and 7-19%. The precision at this level are acceptable followed by AOAC manual (AOAC International, 1993), (not over 30% at 1 µg/L level). The accuracy was evaluated by spiking 9 VOCs in the vegetable sample. The %recovery was in the range of 89-165%. The %recovery was acceptable followed by AOAC manual (not over 40-120% at 1 µg/L level). The validation characteristics were summarized in table 4.

Table 4: The validation characteristics

Characteristics	Value
Linearity	0.05-500 µg/L ($R^2 > 0.995$)
LOD	0.20 ng/L - 0.22 µg/L
LOQ	1.0 ng/L - 0.74 µg/L
Reatability (%RSD, n=10)	8-22 %
Intermediate (%RSD, n=10)	7-19%
%Recovery	89-165%

3.5 Determination of VOCs in samples.

The proposed method was applied for determinations of 9 VOCs in environmental samples. The 53 water samples and 24 soil samples were collected from 6 areas in the Rayong province, Thailand. The VOCs of 12.5 µg/L chloroform and 2.5 µg/L benzene were found in tap sample collected from area near the first industrial estate. The VOCs of 5.2 µg/kg dichloromethane, 1.6 µg/kg chloroform and 2.4 µg/kg benzene were found in one soil sample collected from the area near the first industrial estate. In addition, 1.2-5.0 µg/kg dichloromethane and 0.1-0.9 µg/kg benzene were found in the second industrial estate. Whereas, no VOCs was found from samples collected from non-contaminated areas. The amount of VOCs found in the environmental samples from six site of study was shown in table 5. The samples that contaminated with VOCs in area near industrial estate were not significant difference with non-contaminated area. It was indicated that the source of VOCs in environment was not only industry but also other reasons such as transportation or household used.

Table 5: Number of sample that VOCs contaminated in difference study area

Study area	Number of sample		
	dichloromethane	benzene	chloroform
Industrial estate 1	19	16	4
Industrial estate 2	26	4	0
Non-contaminated area 1	19	17	0
Non-contaminated area 2	18	16	0
Non-contaminated area 3	4	2	2
Non-contaminated area 4 (control area)	2	0	0

For vegetable samples, 4 types of vegetable (ivy gourd, chinese cabbage, kale, and swamp morning glory) were collected from area near the industrial estate 1. Vegetables samples were classified into 2 groups. i) Vegetables sell in the market near industrial estate. These vegetable samples could not be identified the origin but generally imported from other cities. ii) Vegetables growing in the area near industrial estate. The amount of VOCs in vegetable obtained from market and grown by agriculturist near industrial estate was compared in this work in order to study the sources and pathway of VOCs from industry to environment as well as the food chain.

The results of analysis, dichloromethane, chloroform, 1,2-dichloroethane, benzene and tetrachloroethylene were found in vegetable samples as shown in table 6. In addition, the higher amount of benzene, dichloromethane and chloroform were found in vegetable grown in industrial area when compare with the vegetable samples collected from the market. Whereas, no significant difference in the amount of 1,2-dichloroethane and tetrachloroethylene were found in both groups of vegetable samples. It was indicated that the

trend of VOCs founded in vegetables grown in the industry area were higher than collected from the market. Since, vegetable grown in the industrial area was effected by VOCs in the environment. The water for agriculture contaminated from the industry could be the possible reason. In addition, the adsorption of VOCs in air and dust particles by the vegetable could also the pathway of VOCs from industry to the vegetables.

Table 6: VOCs found in vegetable samples collected from industrial estate area

Sample	group	Concentration ($\mu\text{g}/\text{kg}$)				
		Dichloro-methane	Chloroform	1,2-dichloro-ethane	Benzene	Tetrachloro-ethylene
Swamp morning glory	i*	n.d***.	n.d.	n.d.	52 \pm 19	187 \pm 45
	ii**	387 \pm 88	n.d.	188 \pm 35	212 \pm 53	220 \pm 52
Chinese cabbage	i	41 \pm 10	56 \pm 22	n.d.	94 \pm 8	185 \pm 28
	ii	229 \pm 49	124 \pm 18	n.d.	112 \pm 3	183 \pm 12
Kale	i	n.d.	38 \pm 5	n.d.	65 \pm 11	139 \pm 12
	ii	51 \pm 24	58 \pm 8	n.d.	252 \pm 12	140 \pm 6

*i =Market, ** ii = Grown in industry area, ***n.d. = Not Detected

4. Conclusion

The method for the determination of nine VOCs in environmental samples by purge and trap-GC-MS techniques was developed. This method can be used for the quantitative measurement of VOCs at very low concentrations (ng/L). In addition, the low level contamination of VOCs was found in environmental samples collected from industrial area of Thailand. However, the contamination was below the maximum concentration levels accepted from the Notification of National Environmental Board of Thailand. In addition, the sources of VOCs emission to environment were not only industry but also other ways such as transportation.

5. Acknowledgments

Faculty of Science, Burapha University and Center of Excellence on Environmental Health and Toxicology (ETH) are gratefully acknowledged for their support. This research was also financially supported by the Research Grant of Burapha University through National Research Council of Thailand (Grant no. 2557A10802135)

6. References

- AOAC International. AOAC® Peer-verified method program. Manual on policies and procedures. USA. 1993.
- E. Meloan, Chemical Separation: Principle, Techniques and Experiment. Canada: Wiley. 1999.
- E. Satoshi, P. Andrea, and Kai-Uwe, G. Kai-Uwe, Salting out effect in aqueous NaCl solutions: Trends with size and polarity of solute molecules. *Environmental Science & Technology*, 2012, 46, 1496-1503.
- H. J. Bloemen, and J. Burn, Chemistry and analysis of volatile organic compounds in the environment. Suffolk: Blackie Academic&Professional.1993.
- M. Alonso, M. Castellanos, E. Besalu, and J. M. Sanchez, A headspace needle trap method for the analysis of volatile organic compounds in while blood. *Journal of Chromatography A*, 2012, 1252, 23-30.
- N. Campillo, P., Vinas, I., Lopez-Garcia, N. Aguinaga, and M. Hernandez-Cordaba, Determination of volatile halogenated organic compounds in soils by purge-and-trap capillary gas chromatography with atomic emission detection. *Talanta*, 2004, 64, 584-589.
- National Environmental Broad of Thailand. Notification of National Environmental Broad of Thailand No.30 (In Thai). 2007.
- P. Roose, and U. A. Brinkman, Determination of volatile organic compounds in marine biota. *Journal of Chromatography A*, 1998, 799, 233-248.
- S. D. Koning, H. G. Janssen, and U. A. Brinkmam, Modern methods of sample preparation for GC analysis. *Chromatographia*, 2009, 69, 33-78.
- Teledyne Tekmar. Stratum the next generation of purge and trap. USA: Teledyne Tekmar. 2009.
- United States Environmental Protection Agency. Purge-and-trap preparation methods. USA. 1996.