รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การศึกษาการจำแนกชนิดของสารประกอบสารหนูในสิ่งแวดล้อม

(The Study of Arsenic Speciation in Environment)

หัวหน้าโครงงานผู้รับทุน

ดร. อภิญญา นวคุณ

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้

จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 2557A10802131

สัญญาเลขที่ 31/2558

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การศึกษาการจำแนกชนิดของสารประกอบสารหนูในสิ่งแวดล้อม

(The Study of Arsenic Speciation in Environment)

หัวหน้าโครงงานผู้รับทุน

ดร. อภิญญา นวคุณ

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

ตุลาคม 2560

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ. ศ. 2558 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา .../2558

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาสำหรับสถานที่และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศด้านพิษวิทยาและอนามัยสิ่งแวดล้อม สำหรับเครื่อง purge and trap ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ด้วย

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์สารประกอบสารหนู 4 ชนิดได้แก่ สารหนูอนินทรีย์ 2ชนิด และสารหนูอินทรีย์ 2 ชนิด โดยใช้การเตรียมอนุพันธ์ไฮไดรด์ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด โดยการควบคุมความเป็นกรดจะจำเพาะต่อชนิดของสารหนูอนินทรีย์ที่เกิดอนุพันธ์ โดยหลังจากเกิดอนุพันธ์แล้วทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเพริจ์แอนด์แทรป-แก๊สโครมาโทกราฟีแมสสเปกโตรเมทรี นอกจากนี้ได้ศึกษาการสกัดสารประกอบสารหนูจากตัวอย่างของแข็งด้วยเทคนิคการสกัดโดยอัลตราโซนิก เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ได้ทำการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของวิธีพบว่าวิธีที่นำเสนออยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานสากล นอกจากนี้ได้ประยุกต์ในการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบสารหนูในตัวอย่างน้ำทะเลบริเวณอ่างศิลา แหลมแท่น และหาดวอนนภา โดยเก็บตัวอย่างทุกเดือน เป็นเวลา 2 ปี ผลการศึกษาพบสารหนูในตัวอย่างในปริมาณที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ

Abstract

This research project, the optimum conditions for analysis of 4 species of arsenic compounds, 2 inorganic species and 2 organic species, were studied. The arsenic compounds were derivatized to hydride derivatives under acidic condition. The inorganic arsenic speciation was performed by controlling the acidity of the solution. After derivatization step, the arsenic derivatives were analysis by purge and trap - gas chromatography mass spectrometry. In addition, the ultrasonic extraction technique for extraction of arsenic compounds was carried out. Under the optimum analysis condition, the propose method was validated. The validation results indicated that this method was accepted under international standard method. Moreover, this method was applied for analysis arsenic compounds in sea water samples. The sea water samples were collected every month for 2 years from Angsila, Lamtan, and Wonnapha beach. The research results found the amount of arsenic compounds below the standard value from Pollution control department.

สารบัญเรื่อง

	หน้า
ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
วัตถุประสงค์การวิจัย	2
ขอบเขตการวิจัย	3
ทฤษฎี สมมุติฐานและกรอบแนวคิดของโครงงานวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
วิธีดำเนินการวิจัย	5
ผลและอภิปรายผลการวิจัย	
การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบสารหนูในตัวอย่างของแข็งโดยใช้เทคนิคการสกัดโดยอัลตราโซนิก	8
การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมการสกัดตัวอย่างดิน	8
การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดตัวอย่างตะกอนดิน	11
การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการจำแนกชนิดสารหนูอนินทรีย์ (As(III) และ As(V))	21
การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของวิธีวิเคราะห์ (Method Validation)	27
การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบสารหนูในตัวอย่างน้ำทะเล	29
สรุปผลการวิจัย	35
งานวิจัยที่ต้องดำเนินการต่อ/ปัญหา อุปสรรค	36
รายงานสรุปการเงิน	37
บรรณานุกรม	38
ประวัติผู้วิจัย	41

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 สภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์สารประกอบสารหนู 7

ตาราง 2 ร้อยละการสกัดสารประกอบสารหนูด้วยน้ำปราศจากไอออนและ 0.1 M กรดไนตริก 9

ตาราง 3 ร้อยละการสกัดสารประกอบสารหนูด้วยน้ำปราศจากไอออนที่เวลาต่างๆ 10

ตาราง 4 ร้อยละการสกัดสารประกอบสารหนูด้วยวิธีการสกัดแบบครั้งเดียวและการสกัดแบบหลายครั้ง 11

ตาราง 5 ร้อยละการสกัดสารประกอบสารหนูด้วยสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้นต่างๆ 13

ตาราง 6 ร้อยละการสกัดสารประกอบสารหนูในการศึกษาชนิดของกรด 14

ตาราง 7 ร้อยละการสกัดสารประกอบสารหนูด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นต่างๆ 16

ตาราง 8 ร้อยละการสกัดสารประกอบสารหนูด้วย 0.10 M กรดฟอสฟอริกที่เวลาต่างๆ 17

ตาราง 9 ร้อยละการสกัดสารประกอบสารหนูด้วยวิธีการสกัดแบบครั้งเดียวและการสกัดแบบหลายครั้ง เมื่อใช้กรดฟอสฟอริกเป็นตัวทำละลายที่ใช้สกัด 18

ตาราง 10 ร้อยละการสกัดสารประกอบสารหนูในตัวอย่างดิน หอยแมลงภู่และปลา 19

ตาราง 11 ร้อยละการสกัดสารประกอบสารหนูในตัวอย่างชนิดต่างๆ เมื่อเติมสาร antifoam 20

ตาราง 12 ผลของความเข้มข้นกรดไนตริกต่อพื้นที่พีคของสาร As(III) และ As(V) 23

ตาราง 13 การเปรียบพื้นที่ใต้พีคของสารประกอบสารหนูอนินทรีย์ทั้งหมดจากการวิเคราะห์และจากการคำนวณ 24

ตาราง 14 พื้นที่ใต้พีกของ As(III) MMA และ DMA เมื่อใช้ความเข้มข้นกรดไนตริกต่างๆ ในการเตรียมอนุพันธ์ 25

ตาราง 15 สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบสารหนูด้วยวิธีการสกัดโดยอัลตราโซนิกและสภาวะในการวิเคราะห์ชนิดสารประกอบสารหนู 27

หน้า

ตาราง 16 ค่าทางเคมีวิเคราะห์ในการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้น 29

ตาราง 17 ปริมาณสารประกอบสารหนูที่พบในตัวอย่างน้ำทะเลบริเวณอ่างศิลา 30

ตาราง 18 ปริมาณสารประกอบสารหนูที่พบในตัวอย่างน้ำทะเลบริเวณแหลมแท่น 31

ตาราง 19 ปริมาณสารประกอบสารหนูที่พบในตัวอย่างน้ำทะเลบริเวณหาดวอนนภา 32

สารบัญรูป

หน้า

รูป 1 ร้อยละการสกัดของสารประกอบสารหนูในการศึกษาชนิดตัวทำละลายที่ใช้สกัด 9

รูป 2 ร้อยละการสกัดของสารประกอบสารหนูในการศึกษาเวลาที่ใช้ในการสกัด 10

รูป 3 ร้อยละการสกัดของสารประกอบสารหนูจากตัวอย่างตะกอนดินในการศึกษาวิธีการสกัด 12

รูป 4 ร้อยละการสกัดของสารประกอบสารหนูจากตัวอย่างหอยแมลงภู่ในการศึกษาวิธีการสกัด 12

รูป 5 ร้อยละการสกัดของสารประกอบสารหนูในการศึกษาความเข้มข้นกรดไนตริก 14

รูป 6 ร้อยละการสกัดของสารประกอบสารหนูในการศึกษาชนิดของกรด 15

รูป 7 ร้อยละการสกัดของสารประกอบสารหนูในการศึกษาความเข้มข้นกรดฟอสฟอริก 16

รูป 8 ร้อยละการสกัดของสารประกอบสารหนูด้วย 0.10 M กรดฟอสฟอริกในการศึกษาเวลาที่ใช้ในการสกัด 17

รูป 9 ร้อยละการสกัดของสารประกอบสารหนูในการศึกษาวิธีการสกัดเมื่อใช้กรดฟอสฟอริกเป็นตัวทำละลายที่ใช้สกัด 18

รูป 10 ร้อยละการสกัดของสารประกอบสารหนูในตัวอย่างชนิดต่างๆ 20

รูป 11 ร้อยละการสกัดของสารประกอบสารหนูในตัวอย่างชนิดต่างๆ เมื่อเติมสาร antifoam 21

รูป 12 พื้นที่ใต้พีกของสารประกอบสารหนูอนินทรีย์เมื่อใช้ความเข้มข้นกรดไนตริกต่างๆในการเตรียมอนุพันธ์ไฮไดรด์ 23

รูป 13 พื้นที่ใต้พีกของสารประกอบสารหนูอนินทรีย์รวมเมื่อใช้ความเข้มข้นกรดไนตริกต่างๆในการเตรียมอนุพันธ์ไฮไดรด์ 24

รูป 14 พื้นที่ใต้พีกของ As(III) MMA และ DMA เมื่อใช้ความเข้มข้นกรดไนตริกต่างๆในการเตรียมอนุพันธ์ 26

หน้า

รูป 15 ปริมาณสารหนู As(III) และ As(V) ที่พบในตัวอย่างน้ำทะเลบริเวณอ่างศิลา 33

รูป 16 ปริมาณสารหนู As(III) และ As(V) ที่พบในตัวอย่างน้ำทะเลบริเวณแหลมแท่น 33

รูป 17 ปริมาณสารหนู As(III) และ As(V) ที่พบในตัวอย่างน้ำทะเลบริเวณหาดวอนนภา 34

รูป 18 ปริมาณสารหนู As(III) และ As(V) ที่พบในตัวอย่างน้ำทะเลบริเวณอ่างศิลา แหลมแท่นและหาดวอนนภา 34

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย

(list of Abbreviations)

GC-MS	Gas chromatography mass spectrometry
PT	Purge and Trap
As (III)	Inorganic arsenic (III)
As(V)	Inorganic arsenic (V)
MMA	Monomethylarsonic acid
DMA	Dimethylarsinic acid
$NaBH_4$	Sodium Borohydride
M	mole/L
mL	milliliter
µg/L	microgram/L

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

สารประกอบสารหนู (Arsenic compounds) เป็นสารพิษที่พบในสิ่งแวดล้อมซึ่งมาจากธรรมชาติและจากมนุษย์ ความเป็นพิษของสารหนูมีผลกระทบต่อประชากรทั่วไป เนื่องจากสามารถแพร่กระจายได้กว้าง สารหนูทำให้เกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด ระบบประสาทบกพร่อง โรคเบาหวาน รวมถึงโรคมะเร็งในหลายส่วนของร่างกาย มนุษย์ได้รับสารประกอบสารหนูที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมจากอาหาร น้ำดื่มและการหายใจ หรือจากการสัมผัสดินหรือน้ำ โดยสาเหตุหลักมาจากการรับประทานอาหารที่มีการปนเปื้อนสารประกอบสารหนู ความเป็นพิษและการได้รับสารหนูของมนุษย์ทำให้สารหนูจัดเป็นสารพิษอันดับหนึ่ง จาก Agency for toxic substances and disease registry, Centers for Disease control and prevention, สหรัฐอเมริกา สารประกอบสารหนูได้นำมาใช้งานได้หลากหลายทั้งทางอุตสาหกรรม เช่นอุตสาหกรรมผลิตแก้วและเซมิคอนดักเตอร์และการผลิตหลอดไฟแอลอีดี อุตสาหกรรมผลิตอัลลอยด์สำหรับแบตเตอรี่รถยนต์ นิยมใช้สารประกอบสารหนูเป็นสารป้องกันรักษาเนื้อไม้เช่นเสาเข็มหรือในอุตสาหกรรมท่าเรือ ทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารหนูส่งทะเลได้ ด้านการเกษตรใช้เป็นสารปราบศัตรูพืช สารปราบวัชพืช สารเร่งโตในสุกร สารเติมแต่งในอาหารสัตว์ปีก โดยในอดีตได้มีการใช้สารหนูอนินทรีย์เป็นยากำจัดศัตรูพืช แต่ปัจจุบันนิยมใช้สารหนูอินทรีย์ได้แก่ methylarsenate แทน นอกจากนี้ในอดีตยังมีการใช้สารประกอบสารหนูจำพวก organo-arsenicals เป็นอาวุธเคมี ในสมัยสงครามโลกครั้งที่ 1 และสงครามโลกครั้งที่ 2 อย่างไรก็ตามการปนเปื้อนของสารประกอบที่เป็นพิษดังกล่าวยังคงตกค้างและสะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมจนถึงปัจจุบัน

สารประกอบสารหนูจะสะสมในดิน สามารถปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมได้ทางอากาศ น้ำ หรือฝุ่นละออง สารหนูที่อยู่ในแร่ธรรมชาติจะปนอยู่กับแร่ทองแดงและแร่ตะกั่วสามารถปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมจากการทำเหมืองแร่และถลุงแร่ สารหนูจะออกจากแหล่งอุตสาหกรรมจากฝุ่นละอองขนาดเล็กและตกตะกอนเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ปนเปื้อนในดินซึ่งสามารถถูกชะล้างได้ด้วยน้ำฝน สารประกอบสารหนูในอนุภาคขนาดเล็กสามารถอยู่ในอากาศในนานและแพร่กระจายได้กว้าง สารประกอบสารหนูไม่ถูกทำลายในสิ่งแวดล้อม สารประกอบสารหนูสามารถเปลี่ยนรูปได้ในธรรมชาติโดยการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนหรือโมเลกุลชนิดอื่นๆในอากาศ น้ำ หรือดิน หรือจากแบคทีเรียในดินหรือตะกอนดิน สารประกอบสารหนูหลายชนิดสามารถละลายได้ดีในน้ำ มีการพบการปนเปื้อนของสารประกอบสารหนูในแหล่งน้ำต่างๆ เช่น ทะเลสาบ แม่น้ำ หรือน้ำบาดาล นอกจากนี้พบว่าการปนเปื้อนของสารประกอบสารหนูขั้นสุดท้ายจะสะสมอยู่ในตะกอนดินใต้ทะเลสาบ แม่น้ำหรือทะเล ซึ่งมีสาหร่าย ปลาหรือหอยบางชนิดได้รับและสะสมสารประกอบสารหนูระหว่างการเจริญเติบโต นอกจากนี้ยังพบว่าสิ่งมีชีวิตในธรรมชาติ เช่นสาหร่าย แบคทีเรีย หรือพืชบางชนิดในวัฏจักรสิ่งแวดล้อมสามารถสะสมและเปลี่ยนรูปสารประกอบสารหนูได้

สารประกอบสารหนูในสิ่งแวดล้อมมีหลายชนิด สารประกอบสารหนูในธรรมชาติส่วนใหญ่เป็นสารหนูอนินทรีย์ (inorganic arsenic; As(III), As(V)) ซึ่งพบว่ามีความเป็นพิษมากกว่าสารหนูอินทรีย์ (organic arsenic, methylated arsenic compounds, arsenobetaine) อย่างไรก็ตามพบว่าสารหนูอินทรีย์ประเภท methylated arsenic compounds โดยเฉพาะอย่างยิ่ง tetramethylarsonium ion ได้มีรายงานถึงความเป็นพิษรุนแรง โดยความเป็นพิษของ methylated arsenic compounds จะเพิ่มขึ้นตามจำนวนของหมู่ methyl ที่มีในสารประกอบ ดังนั้นในการศึกษาปริมาณของสารหนูที่อยู่ในรูปของสารหนูทั้งหมด (total arsenic concentration) ไม่สามารถให้ข้อมูลที่เพียงพอสำหรับการศึกษาความเป็นพิษของสารประกอบสารหนู เนื่องจากความเป็นพิษขึ้นอยู่กับชนิดของสารประกอบสารหนู (chemical species) ข้อมูลที่ถูกต้องเกี่ยวกับชนิดของสารประกอบสารหนูจึงมีความสำคัญในการศึกษาความเป็นพิษ การเคลื่อนย้ายในสิ่งแวดล้อมการสะสมในสิ่งมีชีวิตขึ้นกับชนิดของสารประกอบสารหนูรวมถึงการเปลี่ยนแปลงชนิดของสารหนูในวัฏจักรสิ่งแวดล้อม

ดังนั้นในการที่จะได้รับข้อมูลอย่างครบถ้วนและถูกต้องของความเป็นพิษและการเปลี่ยนรูปของสารประกอบสารหนูในสิ่งแวดล้อม การวิเคราะห์ชนิดของสารประกอบสารหนูจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ในงานวิจัยนี้จึงพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ที่มีสภาพไวสูงและเหมาะสำหรับการวิเคราะห์ชนิดของสารประกอบสารหนูในตัวอย่างสิ่งแวดล้อม โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography) และเชื่อมต่อกับเครื่องตรวจวัด mass spectrometer detector ซึ่งเป็นเครื่องตรวจวัดที่มีสภาพไวและสามารถพิสูจน์ยืนยันชนิดของสารได้ นอกจากนี้ยังใช้เทคนิค purge and trap สำหรับการเตรียมและเพิ่มความเข้มข้นเพื่อพัฒนาให้มีขีดจำกัดการตรวจวัดในระดับต่ำ (µg/L) ของสารประกอบสารหนูแต่ละชนิดในสิ่งแวดล้อมได้ เพื่อที่นำวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้ ไปใช้ในการวิเคราะห์ชนิดของสารประกอบสารหนูในตัวอย่างสิ่งแวดล้อมเพื่อเป็นข้อมูลที่ถูกต้อง ครบถ้วน สามารถนำไปใช้ในการบ่งบอกถึงชนิดและความเป็นพิษที่แท้จริงของสารประกอบสารหนูในสิ่งแวดล้อมได้ นอกจากนี้สามารถบอกถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนรูปของสารประกอบสารหนู ตลอดจนทำนายวัฏจักรของสารประกอบสารหนูในสิ่งแวดล้อมได้

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ชนิดสารประกอบสารหนู ด้วยเทคนิค gas chromatography - mass spectrometry
2. เพื่อพัฒนาวิธีการเตรียมตัวอย่างและเพิ่มความเข้มข้นสารประกอบสารหนูด้วยเทคนิค purge and trap
3. เพื่อศึกษาวิธีการเก็บและการรักษาตัวอย่างสารประกอบสารหนูในตัวอย่างสิ่งแวดล้อม
4. เพื่อหาปริมาณสารประกอบสารหนูในตัวอย่างสิ่งแวดล้อม

5.เพื่อศึกษาผลกระทบความเป็นพิษของสารประกอบสารหนูที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อประชาชนและสิ่งมีชีวิตอื่นๆ

6.เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนรูปของสารประกอบสารหนูในสิ่งแวดล้อม

7.เพื่อศึกษาการเปลี่ยนรูปของสารประกอบสารหนูในวัฏจักรสิ่งแวดล้อม (น้ำทะเล)

ขอบเขตการวิจัย

1. พัฒนาวิธีการวิเคราะห์สารประกอบสารหนู 4 ชนิดได้แก่ As(III), As(V), monomethylarsonic acid (MMA) และ dimethylarsinic acid (DMA) ด้วยเทคนิค gas chromatography-mass spectrometry โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการแยกสารประกอบสารหนู
2. พัฒนาวิธีการเตรียมตัวอย่างและเพิ่มความเข้มข้นสารประกอบสารหนู โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพสกัดสารประกอบสารหนูด้วยเทคนิค purge and trap
3. พัฒนาวิธีการเก็บและการรักษาสารประกอบสารหนูในตัวอย่าง ตลอดจนศึกษาปัจจัยที่มีต่อความเสถียรของสารประกอบสารหนูในตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์
4. หาปริมาณสารประกอบสารหนู 4 ชนิดในตัวอย่างสิ่งแวดล้อมเช่น น้ำทะเล ตะกอนดิน หอยแมลงภู่และสาหร่าย
5. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปของสารประกอบสารหนู เช่น ความเป็นกรดเบส ไอออนบางชนิด อุณหภูมิ การสะสมและกระบวนการเมตาบอลิซึมของสิ่งมีชีวิต
6. ศึกษาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนรูปของสารประกอบสารหนูในวัฏจักรน้ำทะเล โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากสารหนูอนินทรีย์ (inorganic arsenic) เป็นสารหนูอินทรีย์ชนิด methylated species

ทฤษฎี สมมุติฐานและกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย

มนุษย์ได้รับสารประกอบสารหนูจากอาหาร น้ำดื่มและการหายใจ หรือจากการสัมผัสดินหรือน้ำที่มีการปนเปื้อน อย่างไรก็ตามวิธีการวิเคราะห์ชนิดของสารประกอบสารหนูยังจำกัด ปัจจุบันข้อมูลส่วนใหญ่ของสารหนูในสิ่งแวดล้อมยังเป็นข้อมูลของสารหนูรวม (total arsenic) ไม่ใช่ข้อมูลของสารประกอบสารหนูแต่ละชนิด (arsenic speciation) ทำให้ไม่ทราบข้อมูลที่แท้จริงของชนิดของสารประกอบสารหนูที่มนุษย์ได้รับเข้าสู่ร่างกาย โดยชนิดของสารประกอบสารหนูจะเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงการยึดเหนี่ยวอยู่ในอนุภาคหรือแร่ธาตุที่สามารถดูดซึมและสะสมได้ในพืชหรือสัตว์ ดังนั้นในการศึกษาปริมาณของสารหนูที่อยู่ในรูปของสารหนูทั้งหมดไม่สามารถให้ข้อมูลที่เพียงพอสำหรับการศึกษาความ

เป็นพิษของสารประกอบสารหนู เนื่องจากความเป็นพิษขึ้นอยู่กับชนิดของสารประกอบสารหนู ข้อมูลที่ถูกต้องเกี่ยวกับชนิดของสารประกอบสารหนูจึงมีความสำคัญในการศึกษาความเป็นพิษ การเคลื่อนย้ายในสิ่งแวดล้อมและการสะสมในสิ่งมีชีวิตขึ้นกับชนิดของสารประกอบสารหนู รวมถึงการเปลี่ยนแปลงชนิดของสารหนูในวัฏจักรสิ่งแวดล้อม

ความตระหนักถึงการปนเปื้อนของสารประกอบสารหนูที่เพิ่มขึ้นในสิ่งแวดล้อม การได้รับและสะสมของสารประกอบสารหนูและความเป็นพิษของสารประกอบสารหนู ทำให้จำเป็นต้องพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ที่มีสภาพไวสูงและเหมาะสำหรับการวิเคราะห์ชนิดของสารประกอบสารหนูซึ่งมีอยู่ในระดับต่ำ (µg/L) ในตัวอย่างสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ระหว่างกระบวนการเก็บตัวอย่าง (sampling) การเก็บรักษาตัวอย่าง (storage) การเตรียมตัวอย่าง (sample preparation and treatment) การสกัดตัวอย่าง (extraction) ตลอดจนการวิเคราะห์ (analysis) สารประกอบสารหนูสามารถเปลี่ยนรูปหรือเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันได้ เช่นจากกระบวนการเมตาบอลิซึมในสิ่งมีชีวิต หรือการสูญหายจากการถูกดูดซับหรือการระเหยกลายเป็นไอของสารประกอบสารหนู ซึ่งเป็นสาเหตุให้ข้อมูลที่ได้ไม่ถูกต้อง

งานวิจัยเกี่ยวกับสารประกอบสารหนูนิยมใช้เทคนิค hydride ควบคู่กับเทคนิคทาง atomic spectroscopy เช่น AAS AFS หรือ ICP-AES ซึ่งเทคนิคดังกล่าวเป็นเทคนิคที่ง่าย รวดเร็วและมีสภาพไวสูง อย่างไรก็ตามเทคนิคดังกล่าวให้ข้อมูลที่เป็นความเข้มข้นของสารหนู As(III) หรือ As(V) และ total arsenic เท่านั้น ไม่สามารถให้ข้อมูลที่ครบถ้วนได้ ซึ่งงานวิจัยเกี่ยวกับการจำแนกชนิดของสารประกอบสารหนูนิยมใช้เทคนิคโครมาโทกราฟี (gas chromatography (GC) หรือ high performance liquid chromatography (HPLC)) โดยเทคนิค HPLC ที่มีเครื่องตรวจวัด mass spectrometer (LC-MS) หรือเครื่องตรวจวัด ICP-MS (LC-ICP-MS) เป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการจำแนกชนิดของสารประกอบหนูในสิ่งแวดล้อมเนื่องจากเป็นเทคนิคที่มีสภาพไวสูง แต่เทคนิคดังกล่าวต้องอาศัยเครื่องมือที่มีราคาแพงมาก อีกทั้งค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์สูง ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เทคนิค Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) ซึ่งใช้เครื่องมือที่มีสภาพไว มีราคาถูก ใช้เวลาในการวิเคราะห์รวดเร็ว โดยพัฒนาการวิเคราะห์ด้วยการเปลี่ยนอนุพันธ์ของสารประกอบสารหนูเป็นสารประกอบที่ระเหยเป็นไอได้ง่าย และใช้เทคนิค purge and trap สำหรับการสกัดและการเพิ่มความเข้มข้นในการวิเคราะห์สารประกอบสารหนูที่มีความเข้มข้นในระดับต่ำ (µg/L) ในสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ในงานวิจัยจะพัฒนาวิธีการเก็บตัวอย่าง การเตรียมตัวอย่างและขั้นตอนการสกัดตัวอย่างและวิธีการวิเคราะห์ที่ให้เกิดการสูญเสียของสารประกอบสารหนูน้อยที่สุด เพื่อข้อมูลที่มีความเที่ยงและความแม่นสูง สามารถนำไปวิเคราะห์สารประกอบสารหนูในตัวอย่างสิ่งแวดล้อมได้จริง โดยข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ในตัวอย่างสิ่งแวดล้อมสามารถบอกถึงความเป็นพิษของสารประกอบสารหนู บอกระดับการปนเปื้อนในตัวอย่างสิ่งแวดล้อมชนิดต่างๆ สามารถบอกถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนรูปของสารประกอบสารหนู ตลอดจนทำนายวัฏจักรของสารประกอบสารหนูในสิ่งแวดล้อมได้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้วิธีการวิเคราะห์และจำแนกชนิดของสารประกอบสารหนูที่เป็นวิธีมาตรฐานในการ วิเคราะห์ในตัวอย่างน้ำ ดิน และตัวอย่างของแข็งชนิดต่างๆ
2. ผลการวิเคราะห์ชนิดของสารประกอบสารหนูสามารถตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติทางเคมีวิเคราะห์และสิ่งแวดล้อมได้เช่น Analytica Chemica Acta หรือ Talanta หรือ Environmental Science and Technology
3. ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบสารหนูสามารถนำไปประเมินถึงระดับการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมและแหล่งอาหารได้ ทำให้สามารถเฝ้าระวังและวางแผนการป้องกันการปนเปื้อนของสารประกอบสารหนูที่มีผลต่อประชาชนได้อย่างถูกต้อง
4. ผลการวิเคราะห์ชนิดของสารประกอบสารหนูในสิ่งแวดล้อมสามารถทำนายการเปลี่ยนรูปของสารประกอบสารหนู ภายใต้สภาวะต่างๆ ในสิ่งแวดล้อมได้ ทำให้ช่วยควบคุมความเป็นพิษของสารประกอบสารหนูในสิ่งแวดล้อมได้

วิธีดำเนินการวิจัย

1. พัฒนาวิธีการวิเคราะห์สารประกอบสารหนู 4 ชนิดได้แก่ As(III), As(V), monomethylarsonic acid (MMA) และ dimethylarsinic acid (DMA) ด้วยเทคนิค gas chromatography-mass spectrometry
2. พัฒนาวิธีการเตรียมตัวอย่างและเพิ่มความเข้มข้นสารประกอบสารหนู โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพสกัดสารประกอบสารหนูด้วยเทคนิค purge and trap โดยทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการสกัดได้แก่ การเปลี่ยนอนุพันธ์ของสารประกอบสารหนู ชนิดของตัวดูดซับ (Trap) อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด เวลาที่ใช้ในการสกัด ปริมาตรและน้ำหนักของสารตัวอย่างที่ใช้ อุณหภูมิของตัวดูดซับระหว่างการดูดซับ อุณหภูมิของการ desorp สารออกจากตัวดูดซับ การเติมเกลือบางชนิดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสกัด
3. พัฒนาวิธีการเก็บและการรักษาสารประกอบสารหนูในตัวอย่าง ตลอดจนศึกษาปัจจัยที่มีต่อความเสถียรของสารประกอบสารหนูในตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์ ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาตัวอย่าง ระยะเวลาในการเก็บรักษาตัวอย่าง สภาพความเป็นกรดเบสในการเก็บรักษาตัวอย่าง การเติมสารเคมีช่วยรักษาสภาพตัวอย่าง
4. ศึกษา method validation ของวิธีการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานได้แก่ ขีดจำกัดการตรวจวัด ขีดจำกัดการหาปริมาณ สภาพไวในการตรวจวัด ความเที่ยงและความแม่นของวิธีการวิเคราะห์

5. หาปริมาณสารประกอบสารหนู 4 ชนิดในตัวอย่างสิ่งแวดล้อม หาปริมาณสารประกอบสารหนูในตัวอย่าง โดยเก็บตัวอย่างจากบริเวณชายหาดบางแสน อ่างศิลาและท่าเรือแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี โดยเก็บตัวอย่างน้ำทะเล ตะกอนดิน หอยแมลงภู่ สาหร่ายในบริเวณเดียวกันหรือใกล้กัน ได้แก่ น้ำทะเล ตะกอนดิน หอยแมลงภู่ และสาหร่าย
   ในการเก็บตัวอย่างจะทำการเก็บตัวอย่างทุกชนิดภายในวันเดียวกัน บันทึกข้อมูลความเป็นกรดเบส อุณหภูมิ ความเค็มของน้ำทะเล ฯลฯ ทุกครั้งที่มีการเก็บตัวอย่าง
6. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปของสารประกอบสารหนู ได้แก่ ความเป็นกรดเบส ไอออนบางชนิด อุณหภูมิ การสะสมและกระบวนการเมตาบอลิซึมของสิ่งมีชีวิต
7. ศึกษาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนรูปของสารประกอบสารหนูในวัฏจักรน้ำทะเล โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากสารหนูอนินทรีย์ (inorganic arsenic) เป็นสารหนูอินทรีย์ชนิด methylated species

<u>หมายเหตุ</u>โครงการวิจัยนี้เป็นโครงการต่อเนื่อง 3 ปี รายงานวิจัยนี้เป็นรายงานโครงการวิจัยในปีที่ 2 ของโครงการทั้งหมด

ผลและอภิปรายผลการวิจัย

โครงการวิจัยในปีการวิจัยที่ 1 (ปีงบประมาณ 2557) ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกสารประกอบสารหนู ด้วยเทคนิค GC-MS ผ่านการทำอนุพันธ์ไฮไดรด์ด้วย $NaBH_4$ และสกัดอนุพันธ์สารประกอบสารหนูออกจากสารละลายด้วยเทคนิค purge and trap โดยสภาวะของการวิเคราะห์ที่เหมาะสมแสดงดังตารางที่ 1

ตาราง 1 สภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์สารประกอบสารหนู

ปัจจัย	สภาวะที่เหมาะสม
GC-MS	
คอลัมน์	DB5-MS (60m x0.32 mm i.d., 1 micron film thickness)
แก๊สพา	He (อัตราการไหล 1.5 mL/min)
Temperature program:	50°C (0.5 min) เพิ่มเป็น 100°C (20 °C/min) และเพิ่มเป็น 200 °C (50 °C/min) คงที่ 3 min
Mass detector	SIM mode
	m/z 75, 77, and 78 สำหรับ As(III)
	m/z 76, 90, and 92 สำหรับ MMA
	m/z 75, 90, and 106 สำหรับ DMA
การเตรียมอนุพันธ์ไฮไดรด์ด้วย $NaBH_4$	
ชนิดกรด	HNO_3
pH ของสารละลาย	1.0 HNO_3 (0.1M)
ความเข้มข้น $NaBH_4$	0.10%
Purge and trap	
purge time	1.00 นาที
desorp flow rate	350 ml/min
desorp time	2.00 min
desorp temperature	230 °C
transfer line temperature	180 °C
bake time	3 นาที

โดยในงานวิจัยในปีที่ 2 (ปีงบประมาณ 2558) มีผลการดำเนินงานดังนี้

1. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบสารหนูในตัวอย่างของแข็งโดยใช้เทคนิคการสกัดโดยอัลตราโซนิก

1.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมการสกัดตัวอย่างดิน

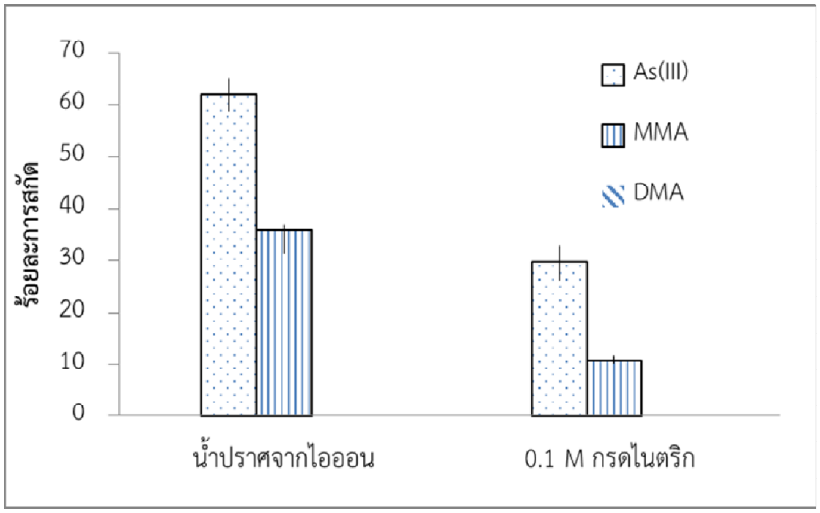
ทำการศึกษาโดยการชั่งตัวอย่างดินที่รู้น้ำหนักแน่นอน 2 กรัม ใส่ขวดสีชาขนาด 30 mL จากนั้นเติมสารละลายมาตรฐานผสมของ As(III), MMA และ DMA ความเข้มข้นชนิดละ 125 µg/L ปริมาตร 1.00 mL ทิ้งไว้ 4 ชั่วโมง เติมสารละลายที่ใช้ในการสกัด 25.00 mL และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 18 ชั่วโมงเพื่อให้สารประกอบสารหนูละลายเข้าสู่ตัวทำละลาย สำหรับการวิเคราะห์ blank ศึกษาเช่นเดียวกันแต่ไม่ต้องเติมสารละลายมาตรฐานสารประกอบสารหนู หลังจากนั้นนำขวดสีชาไปสกัดในอ่างอัลตราโซนิกเป็นเวลา 60 นาที ทิ้งให้เย็นและนำไปเซนติฟิวจ์ ที่ความเร็วรอบ 3500 rpm เป็นเวลา 15 นาที เพื่อแยกตะกอนของแข็ง กรองด้วยกระดาษกรอง ดูดสารละลายชั้นบนออกด้วยปิเปตปริมาตร 20.00 mL หลังจากนั้นเติมกรดไนตริกเข้มข้น ปริมาตร 125 µL นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค purge and trap GC-MS คำนวณหาร้อยละที่สกัดได้เพื่อใช้ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบสารหนูที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด

1.1.1 การศึกษาชนิดตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด

โดยการเปรียบเทียบตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดได้แก่ น้ำปราศจากไอออนและกรดไนตริก 0.1 M โดยใช้เวลาในการสกัด 60 นาที ได้ร้อยละการสกัดดังตาราง 2 และ รูป 1 พบว่าน้ำปราศจากไอออนเป็นตัวทำละลายที่ดีกว่า 0.1 M กรดไนตริก สามารถสกัด As(III) และ MMA ได้ 61.91±3.15 และ 35.91±4.44 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบว่าสภาวะดังกล่าวไม่สามารถสกัด DMA ออกมาจากตัวอย่างดินได้

ตาราง 2 ร้อยละการสกัดสารประกอบสารหนูด้วยน้ำปราศจากไอออนและ 0.1 M กรดไนตริก

ชนิดตัวทำละลาย	ร้อยละการสกัด		
	As(III)	MMA	DMA
น้ำปราศจากไอออน	61.91±3.15	35.91±4.44	สกัดไม่ได้
0.1 M กรดไนตริก	29.53±3.29	10.84±0.48	สกัดไม่ได้



รูป 1 ร้อยละการสกัดของสารประกอบสารหนูในการศึกษาชนิดตัวทำละลายที่ใช้สกัด

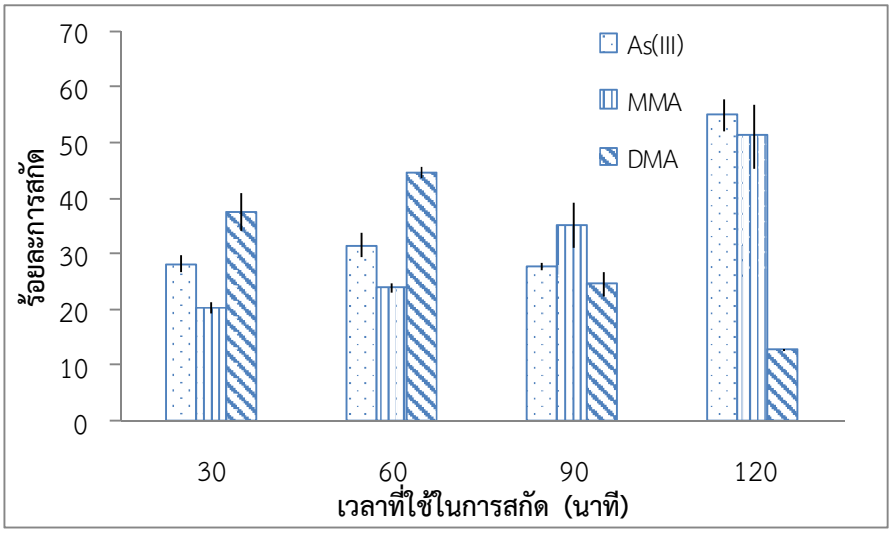
1.1.2 การศึกษาเวลาที่ใช้ในการสกัด

เนื่องจากในการศึกษาชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด โดยพบว่าน้ำปราศจากไอออนมีประสิทธิภาพในการสกัดสารประกอบสารหนูดีกว่า 0.1 M กรดไนตริก แต่อย่างไรก็ตามในการศึกษาดังกล่าวใช้เวลาในการสกัด 60 นาที ซึ่งอาจจะไม่เหมาะสมจึงไม่สามารถสกัดสารประกอบสารหนูได้ครบทุกชนิด จึงได้ทำการศึกษาเวลาที่ใช้ในการสกัดในช่วง 60 -120 นาที ได้ผลการทดลองดังตาราง 3 และ รูป 2 โดยพบว่าสามารถสกัดสารประกอบสารหนูได้ทุกชนิด และเวลาที่ใช้ในการสกัด 60 นาทีให้ค่าร้อยละในการสกัด DMA สูงที่สุด ถึงแม้ว่าที่เวลา 60 นาที จะให้ร้อยละการสกัด As(III) และ MMA ต่ำกว่าที่เวลา 90 และ 120 นาที แต่จากการสำรวจข้อมูลงานวิจัยในการศึกษาปริมาณสารประกอบสารหนูในสิ่งแวดล้อม พบว่ามีปริมาณ DMA ต่ำกว่า

As(III) และ MMA ในงานวิจัยนี้จึงเลือกเวลาที่ใช้ในการสกัดที่ 60 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสม เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการสกัด DMA ดีที่สุด

ตาราง 3 ร้อยละการสกัดสารประกอบสารหนูด้วยน้ำปราศจากไอออนที่เวลาต่างๆ

เวลาที่ใช้ในการสกัด (นาที)	ร้อยละการสกัด		
	As(III)	MMA	DMA
30	28.23 ±1.54	20.18 ± 1.07	37.52 ± 3.27
60	31.45 ± 2.21	23.85 ± 0.85	44.64 ± 1.12
90	27.68 ± 0.68	35.09 ± 4.13	24.53 ± 2.19
120	54.93 ± 2.88	51.08 ± 5.71	12.58 ± 0.25



รูป 2 ร้อยละการสกัดของสารประกอบสารหนูในการศึกษาเวลาที่ใช้ในการสกัด

1.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดตัวอย่างตะกอนดิน

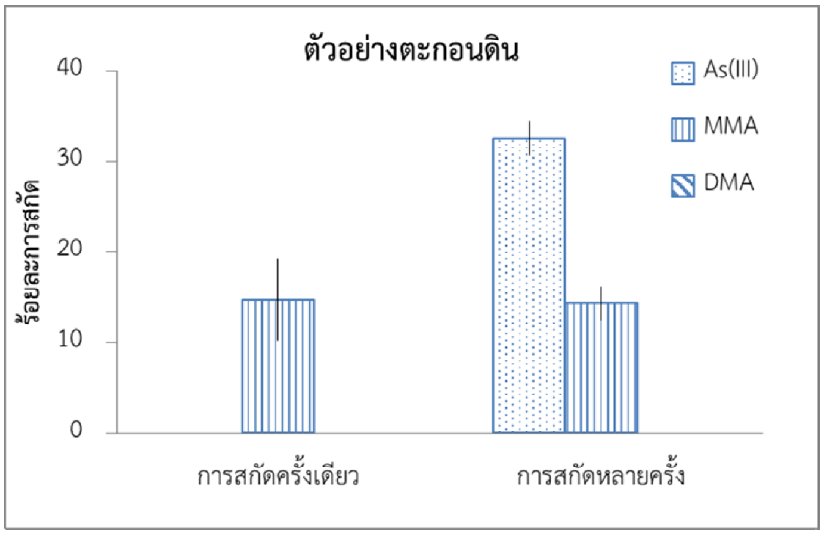
1.2.1 การศึกษาวิธีการสกัด

ทำการศึกษาวิธีการสกัดตัวอย่างตะกอนดิน โดยศึกษาการสกัดครั้งเดียวและการสกัดแบบหลายครั้ง โดยชั่งตัวอย่างตะกอนดินที่รู้น้ำหนักแน่นอน 2 กรัม ใส่ขวดสีชาขนาด 30 mL จากนั้นเติมสารละลายมาตรฐานผสม As(III), MMA และ DMA ความเข้มข้น 250ม 125 และ 250 µg/L ตามลำดับปริมาตร 1 mL ทิ้งไว้ 4 ชั่วโมง และเติมน้ำปราศจากไอออนลงไปเพื่อเป็นตัวทำละลายที่ใช้สกัด นำไปสกัดในอ่างอัลตราโซนิก แล้วนำไปเซนติฟิวจ์เป็นเวลา 15 นาที กรองสารละลายด้วยกระดาษกรองแล้วปิเปตสารละลายส่วนใสมา 20.00 mL เติมกรดไนตริกเข้มข้น 125 µL นำไปวิเคราะห์ด้วย purge and trap GC-MS โดยในการสกัดครั้งเดียวจะใช้น้ำปราศจากไอออน 30 mL และสกัดในอ่างอัลตราโซนิกเป็นเวลา 90 นาที ในการสกัดแบบหลายครั้งจะใช้น้ำปราศจากไอออนครั้งละ 10 mL และสกัดในอ่างอัลตราโซนิกเป็นเวลา 30 นาที สกัดจำนวน 3 ครั้งและนำสารละลายที่ได้จากการสกัดมารวมกันก่อนการวิเคราะห์

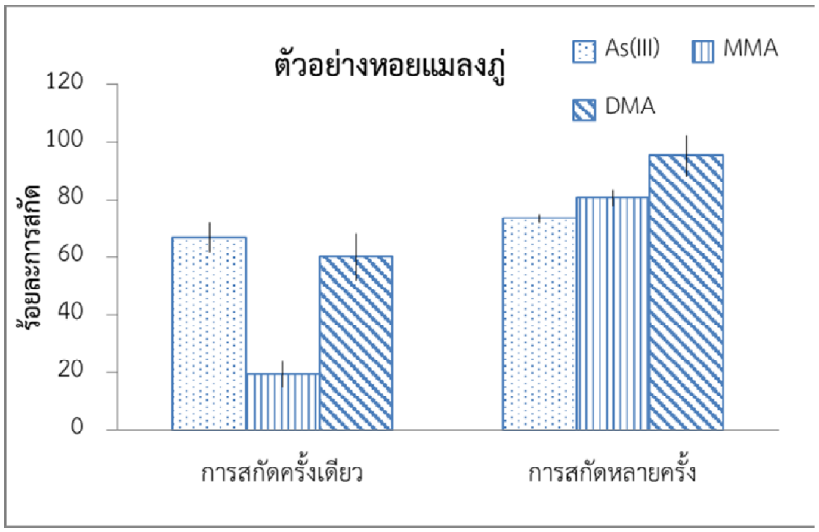
ผลการศึกษาดังตาราง 4 และรูป 3 พบว่าร้อยละที่สกัดได้ของสารประกอบสารหนูในตัวอย่างตะกอนดิน สำหรับ MMA ให้ผลที่ใกล้เคียงกันจากการสกัดแบบครั้งเดียวและการสกัดแบบหลายครั้ง และ DMA ไม่สามารถสกัดได้จากการสกัดทั้ง 2 แบบ แต่พบว่า As(III) สกัดได้จากการสกัดแบบหลายครั้งในขณะที่การสกัดแบบครั้งเดียวไม่สามารถสกัดได้ นอกจากนี้ยังได้เปรียบเทียบวิธีการสกัดนี้ในตัวอย่างหอยแมลงภู่ พบว่าการสกัดแบบหลายครั้งให้ร้อยละการสกัดสารประกอบสารหนูดีกว่าการสกัดครั้งเดียว โดยให้ร้อยละการสกัดสำหรับ As(III) MMA และ DMA เท่ากับ 73.44±4.42, 80.67±2.61 และ 95.28±7.18 ตามลำดับ ผลแสดงดังตาราง 4 และรูป 4 ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกใช้การสกัดแบบหลายครั้งในการศึกษาขั้นตอนต่อไป

ตาราง 4 ร้อยละการสกัดสารประกอบสารหนูด้วยวิธีการสกัดแบบครั้งเดียวและการสกัดแบบหลายครั้ง

ชนิดตัวอย่าง	วิธีการสกัด	ร้อยละการสกัด		
		As(III)	MMA	DMA
ตะกอนดิน	การสกัดครั้งเดียว	สกัดไม่ได้	14.71 ± 1.84	สกัดไม่ได้
	การสกัดหลายครั้ง	32.49 ± 4.51	14.34 ± 1.84	สกัดไม่ได้
หอยแมลงภู่	การสกัดครั้งเดียว	66.81 ± 5.12	19.52 ± 1.63	60.12 ± 8.08
	การสกัดหลายครั้ง	73.44 ± 4.42	80.67 ± 2.61	95.28 ± 7.18



รูป 3 ร้อยละการสกัดของสารประกอบสารหนูจากตัวอย่างตะกอนดินในการศึกษาวิธีการสกัด



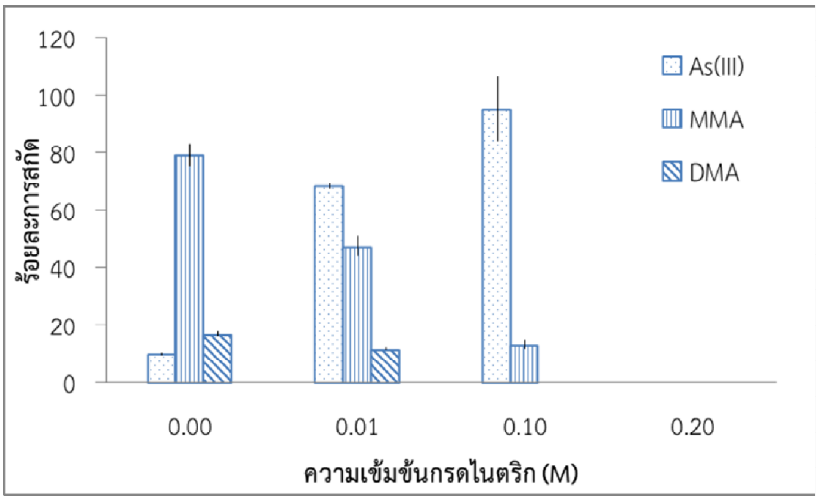
รูป 4 ร้อยละการสกัดของสารประกอบสารหนูจากตัวอย่างหอยแมลงภู่ในการศึกษาวิธีการสกัด

1.2.2 การศึกษาความเข้มข้นของกรดไนตริก

เนื่องจากการสกัดสารประกอบสารหนูในตัวอย่างตะกอนดินด้วยวิธีการสกัดแบบสกัดหลายครั้งไม่สามารถสกัด As(III) และ DMA ได้ในงานวิจัยนี้จึงได้เติมกรดไนตริกลงไปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสกัด โดยศึกษาความเข้มข้นของกรดไนตริกในช่วง 0.00 – 2.00 M ได้ผลการศึกษาดังตาราง 5 และรูป 5 ผลการศึกษาพบว่าเมื่อใช้ความเข้มข้นของกรดไนตริก 0.20 M ไม่สามารถสกัดสารประกอบสารหนูทุกชนิดออกมาจากตัวอย่างตะกอนดินได้ และสำหรับ As(III) พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดไนตริกจะเพิ่มประสิทธิภาพการสกัด และเมื่อใช้กรดไนตริก 0.10 M ให้ร้อยละการสกัดที่สูงถึง 95.34 ± 11.02 อย่างไรก็ตามพบว่าประสิทธิภาพการสกัดสารประกอบสารหนูอินทรีย์คือ MMA และ DMA ดีที่สุดเมื่อไม่มีกรดไนตริก และเมื่อความเข้มข้นของกรดไนตริกเพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการสกัด MMA และ DMA ลดลง อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของกรดไนตริกที่ใช้ในการสกัดที่เหมาะสมในการศึกษานี้คือ 0.01 M เนื่องจากสามารถสกัดสารประกอบสารหนูได้ครบทุกชนิด

ตาราง 5 ร้อยละการสกัดสารประกอบสารหนูด้วยสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นกรดไนตริก (M)	ร้อยละการสกัด		
	As(III)	MMA	DMA
0.00	9.77 ± 0.36	79.38 ± 3.68	16.92 ± 0.61
0.01	68.54 ± 1.01	47.47 ± 3.35	11.75 ± 0.41
0.10	95.34 ± 11.02	13.17 ± 1.59	สกัดไม่ได้
0.20	สกัดไม่ได้	สกัดไม่ได้	สกัดไม่ได้



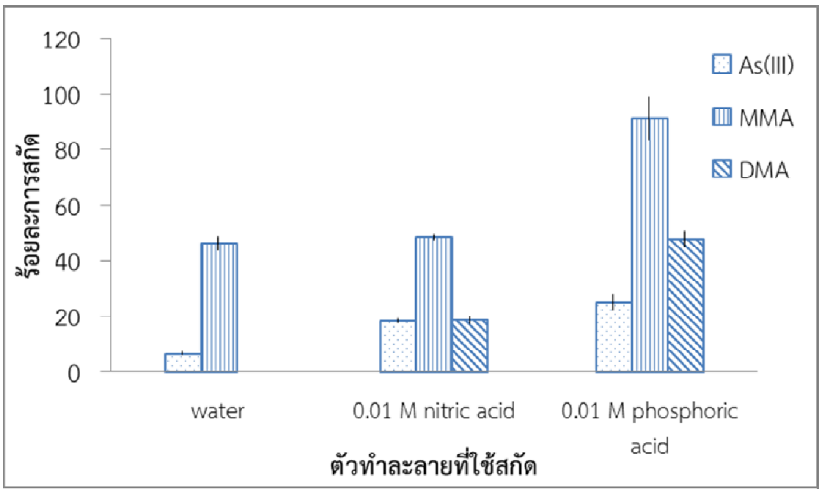
รูป 5 ร้อยละการสกัดของสารประกอบสารหนูในการศึกษาความเข้มข้นกรดไนตริก

1.2.3 การศึกษาชนิดของกรดที่ใช้ในการสกัด

ในการศึกษาการสกัดสารประกอบสารหนูในตัวอย่างตะกอนดินด้วยกรดไนตริก 0.01 M ยังให้ประสิทธิภาพในการสกัดที่ต่ำ คือ มีค่า 68.54 ± 1.01, 47.47 ± 3.35 และ 11.75 ± 0.41 สำหรับ As(III), MMA และ DMA ตามลำดับ จึงทำการศึกษาชนิดของกรดที่ใช้ในการสกัด ได้แก่ กรดไนตริก และ กรดฟอสฟอริก เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการสกัดสารประกอบสารหนู โดยให้ผลการศึกษาดังตาราง 6 และรูป 6 ผลการศึกษาพบว่าเมื่อใช้กรดฟอสฟอริกให้ประสิทธิภาพการสกัดสารประกอบสารหนูทั้ง 3 ชนิดดีกว่าเมื่อใช้น้ำปราศจากไอออนและกรดไนตริก ซึ่งให้ร้อยละการสกัดเท่ากับ 25.06 ± 2.61, 91.15 ± 7.86 และ 47.89 ± 3.00 สำหรับ As(III), MMA และ DMA ตามลำดับ ดังนั้นจึงใช้กรดฟอสฟอริกเป็นตัวทำละลายที่ใช้สกัดในการศึกษาต่อไป

ตาราง 6 ร้อยละการสกัดสารประกอบสารหนูในการศึกษาชนิดของกรด

ชนิดตัวทำละลายที่ใช้สกัด	ร้อยละการสกัด		
	As(III)	MMA	DMA
น้ำปราศจากไอออน	6.45 ± 0.50	46.32 ± 2.48	สกัดไม่ได้
0.01 M กรดไนตริก	18.33 ± 0.81	48.56 ± 1.03	18.74 ± 1.33
0.01 M กรดฟอสฟอริก	25.06 ± 2.61	91.15 ± 7.86	47.89 ± 3.00



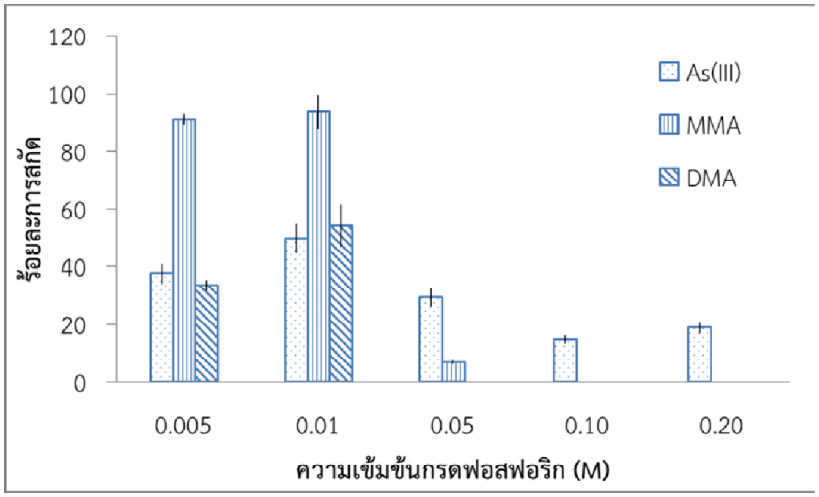
รูป 6 ร้อยละการสกัดของสารประกอบสารหนูในการศึกษาชนิดของกรด

1.2.4 การศึกษาความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกที่ใช้ในการสกัด

ในการสกัดตัวอย่างตะกอนดินด้วยวิธีอัลตราโซนิกพบว่าเมื่อใช้กรดฟอสฟอริกเป็นตัวทำละลายที่ใช้สกัดให้ประสิทธิภาพในการสกัดดีกว่าน้ำปราศจากไอออนและกรดไนตริก สำหรับในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดต่อไป คือ ความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริก โดยศึกษาในช่วง 0.005 – 0.20 M ได้ผลการศึกษาดังตาราง 7 และรูป 7 พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกจาก 0.005 M เป็น 0.10 M ประสิทธิภาพในการสกัดสารประกอบสารหนูทั้ง 3 ชนิดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นกรดฟอสฟอริกเป็น 0.05 M พบว่าไม่สามารถสกัด DMA ได้ และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกมากกว่า 0.01 M จะทำให้ประสิทธิภาพในการสกัด As(III) และ MMA ลดลง และเมื่อความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกมากกว่า 0.10 M จะไม่สามารถสกัด MMA และ DMA ได้ และได้ร้อยละการสกัด As (III) ลดลงด้วย ดังนั้นจากการศึกษานี้จึงเลือกความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริก 0.01 M เป็นสภาวะที่เหมาะสมและให้ร้อยละการสกัดสารประกอบสารหนู As(III) MMA และ DMA เท่ากับ 49.71 ± 5.23, 93.64 ± 5.85 และ 54.15 ± 7.21 ตามลำดับ

ตาราง 7 ร้อยละการสกัดสารประกอบสารหนูด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นกรดฟอสฟอริก (M)	ร้อยละการสกัด		
	As(III)	MMA	DMA
0.005	37.68 ± 3.36	91.01 ± 1.75	33.62 ± 1.56
0.01	49.71 ± 5.23	93.64 ± 5.85	54.15 ± 7.21
0.05	29.47 ± 3.02	6.86 ± 0.63	สกัดไม่ได้
0.10	14.75 ± 1.36	สกัดไม่ได้	สกัดไม่ได้
0.20	18.87 ± 1.89	สกัดไม่ได้	สกัดไม่ได้



รูป 7 ร้อยละการสกัดของสารประกอบสารหนูในการศึกษาความเข้มข้นกรดฟอสฟอริก

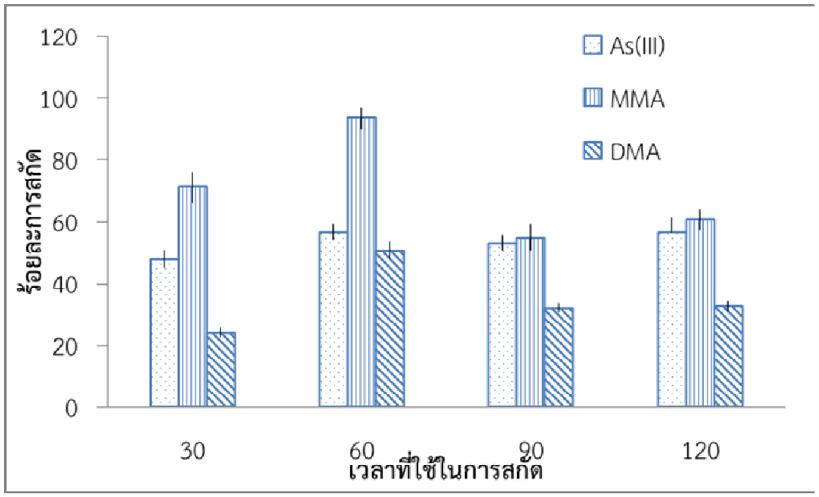
1.2.5 การศึกษาเวลาที่ใช้ในการสกัดเมื่อใช้กรดฟอสฟอริกเป็นตัวทำละลายที่ใช้สกัด

ในการศึกษาความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกที่ใช้ในการสกัดสารประกอบสารหนู 3 ชนิดจากตัวอย่างตะกอนดิน โดยใช้เวลาในการสกัด 60 นาที พบว่าสภาวะดังกล่าวสามารถสกัดสารประกอบสารหนูได้ทุกชนิดแต่ร้อยละการสกัด As(III) และ DMA ยังไม่ดี (ร้อยละการสกัด 49.71 ± 5.23 และ 54.15 ± 7.21 ตามลำดับ) ในการศึกษาต่อไปจึงศึกษาเวลาที่ใช้ในการสกัดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดสารประกอบหนู โดยศึกษาเวลาในการสกัดในช่วง 30-120 นาที ผลการศึกษาแสดงในตาราง 8 และ รูป 8 พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดจาก 30 นาทีเป็น 60 นาที ประสิทธิภาพในการสกัดสารประกอบสารหนูทั้ง 3 ชนิดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดเป็น 90

และ 120 นาที พบว่าประสิทธิภาพในการสกัด As(III) ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ประสิทธิภาพในการสกัด MMA และ DMA ลดลง ซึ่งอาจเกิดจากเมื่อเวลาในการสกัดด้วยอัลตราโซนิกเพิ่มขึ้นจะทำให้อุณหภูมิของสารละลายที่ใช้สกัดเพิ่มขึ้น และมีผลต่อการสลายตัวของ MMA และ DMA ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกเวลาที่ใช้สกัด 60 นาทีเป็นสภาวะที่เหมาะสมซึ่งให้ร้อยละการสกัดสารประกอบสารหนู As(III) MMA และ DMA เท่ากับ 56.67 ± 2.31, 93.61 ± 3.48และ 50.73 ± 2.89ตามลำดับ

ตาราง 8 ร้อยละการสกัดสารประกอบสารหนูด้วย 0.10 M กรดฟอสฟอริกที่เวลาต่างๆ

เวลาที่ใช้ในการสกัด	ร้อยละการสกัด		
(นาที)	As(III)	MMA	DMA
30	48.03 ± 2.78	71.19 ± 4.86	24.20 ± 1.37
60	56.67 ± 2.31	93.61 ± 3.48	50.73 ± 2.89
90	53.27 ± 2.38	54.85 ± 4.19	32.07 ± 1.36
120	56.70 ± 4.41	60.73 ± 3.37	32.63 ± 1.56



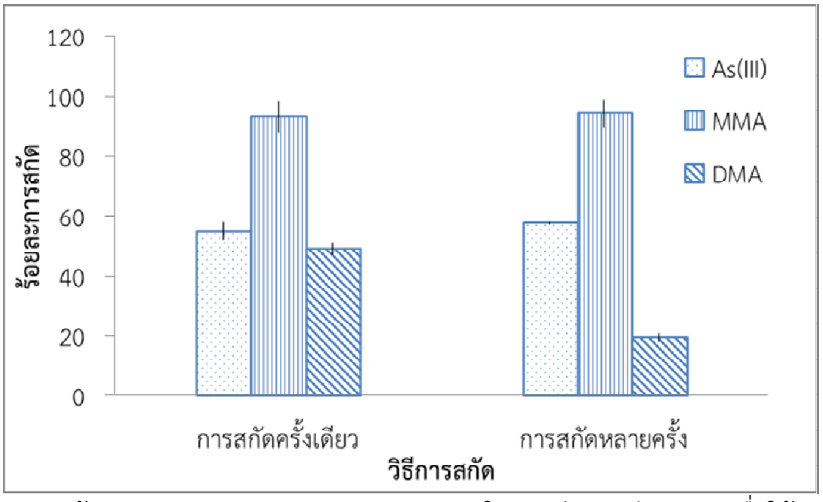
รูป 8 ร้อยละการสกัดของสารประกอบสารหนูด้วย 0.10 M กรดฟอสฟอริกในการศึกษาเวลาที่ใช้ในการสกัด

1.2.6 การศึกษาวิธีการสกัดเมื่อใช้กรดฟอสฟอริกเป็นตัวทำละลายที่ใช้สกัด

ทำการศึกษาวิธีการสกัดตัวอย่างตะกอนดินเมื่อใช้ 0.10 M กรดฟอสฟอริกเป็นตัวทำละลายที่ใช้สกัด โดยศึกษาการสกัดครั้งเดียวและการสกัดแบบหลายครั้ง ในการสกัดครั้งเดียวจะใช้ 0.10 M กรดฟอสฟอริก 30 mL และ ในการสกัดแบบหลายครั้งจะใช้ 0.10 M กรดฟอสฟอริกครั้งละ 10 mL และ สกัดจำนวน 3 ครั้งและนำสารละลายที่ได้จากการสกัดมารวมกันก่อนการวิเคราะห์ ด้วยเทคนิค purge and trap GC-MS ผลการศึกษาดังตาราง 9 และ รูป 9 พบว่าในการสกัด As(III) และ MMA วิธีการสกัดแบบครั้งเดียวและแบบหลายครั้งให้ประสิทธิภาพการสกัดใกล้เคียงกัน แต่ในการสกัด DMA พบว่าการสกัดแบบหลายครั้งให้ประสิทธิภาพในการสกัดลดลงเมื่อเทียบกับการสกัดครั้งเดียว ซึ่งอาจเกิดจากการสูญหายของ DMA ระหว่างการถ่ายตัวทำละลายที่สกัดได้ ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่าการสกัดแบบครั้งเดียว ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกการสกัดแบบครั้งเดียวในการศึกษาต่อไป

ตาราง 9 ร้อยละการสกัดสารประกอบสารหนูด้วยวิธีการสกัดแบบครั้งเดียวและการสกัดแบบหลายครั้ง เมื่อใช้กรดฟอสฟอริกเป็นตัวทำละลายที่ใช้สกัด

วิธีการสกัด	ร้อยละการสกัด		
	As(III)	MMA	DMA
การสกัดครั้งเดียว	55.06 ± 2.93	93.14 ± 5.28	49.21 ± 1.94
การสกัดหลายครั้ง	57.78 ± 0.36	94.41 ± 4.55	19.52 ± 1.17



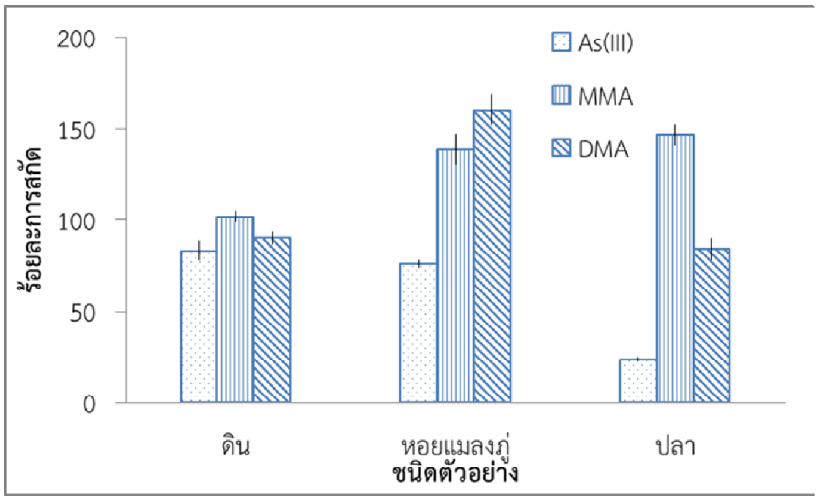
รูป 9 ร้อยละการสกัดของสารประกอบสารหนูในการศึกษาวิธีการสกัดเมื่อใช้กรดฟอสฟอริกเป็นตัวทำละลายที่ใช้สกัด

1.2.7 การหาร้อยละสกัดตัวอย่างดิน หอยแมลงภู่และปลาด้วย 0.01 M กรดฟอสฟอริก

เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดตัวอย่างของแข็งด้วยการสกัดโดยอัลตราโซนิกแล้วโดยใช้ตัวอย่างตะกอนดินในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม จึงได้นำสภาวะดังกล่าวมาศึกษาร้อยละการสกัดในตัวอย่างชนิดอื่น ได้แก่ ตัวอย่างดิน หอยแมลงภู่และปลา ผลการศึกษาดังตาราง 10 และรูป 10 ผลการศึกษาพบว่าเมื่อนำสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดตะกอนดินไปใช้กับตัวอย่างหอยแมลงภู่และตัวอย่างปลา เมื่อสกัดแล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค purge and trap GC-MS พบว่าเกิดฟองขึ้นเป็นจำนวนมากในขั้นตอน purge and trap ทำให้รบกวนการวิเคราะห์และได้ผลร้อยละการสกัดสูงเกินจริงในการวิเคราะห์ MMA และ DMA ซึ่งได้ร้อยละการสกัดมีค่า 138.91 ± 8.37 ถึง 160.68 ± 8.35 ในตัวอย่างหอยแมลงภู่ และได้ร้อยละการสกัด 146.84 ± 5.74 ในตัวอย่างปลา เนื่องจากตัวอย่างหอยแมลงภู่และตัวอย่างปลามีเมทริกซ์พวกเนื้อเยื่อและโปรตีนจำนวนมาก ซึ่งทำปฏิกิริยากับกรดฟอสฟอริกและเกิดฟองขึ้นในขั้นตอน purge and trap สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างดินพบว่าไม่เกิดปัญหาดังกล่าวและได้ร้อยละการสกัดเท่ากับ 83.53 ± 5.37, 102.08 ± 2.77 และ 90.50 ± 3.51 สำหรับการสกัด As(III), MMA และ DMA ตามลำดับ ดังนั้นในการศึกษาต่อไปจึงศึกษาการเติมสารลดฟองอากาศเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

ตาราง 10 ร้อยละการสกัดสารประกอบสารหนูในตัวอย่างดิน หอยแมลงภู่และปลา

ชนิดตัวอย่าง	ร้อยละการสกัด		
	As(III)	MMA	DMA
ดิน	83.53 ± 5.37	102.08 ± 2.77	90.50 ± 3.51
หอยแมลงภู่	76.34 ± 1.98	138.91 ± 8.37	160.68 ± 8.35
ปลา	23.66 ± 1.35	146.84 ± 5.74	84.41 ± 5.90



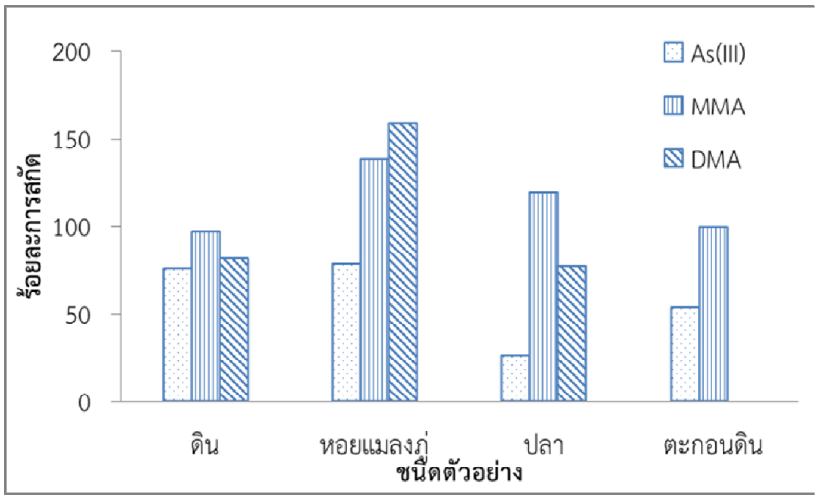
รูป 10 ร้อยละการสกัดของสารประกอบสารหนูในตัวอย่างชนิดต่างๆ

1.2.8 การศึกษาผลของการเติมสารลดฟองอากาศ (antifoam)

การศึกษาการเติมสารลดฟองอากาศ (antifoam) เพื่อลดฟองอากาศที่รบกวนการวิเคราะห์ในตัวอย่างชนิดต่างๆ ได้แก่ ดิน หอยแมลงภู่ ปลาและตะกอนดิน โดยเติมสาร antifoam 1% ปริมาตร 0.4 mL ลงในสารละลายที่สกัดได้ ก่อนนำไปวิเคราะห์หาปริมาณด้วยเทคนิค purge and trap GC-MS ผลการศึกษาดังตาราง 11 และรูป 11 พบว่าเมื่อเติมสาร antifoam มีผลในการลดการฟองอากาศแต่ไม่ทำให้ร้อยละการสกัดที่มากเกินจริงในตัวอย่างหอยแมลงภู่และปลาลดลง อาจเป็นเพราะองค์ประกอบในตัวอย่างหอยแมลงภู่และปลารบกวนการวิเคราะห์มากกว่าปัญหาการเกิดฟองอากาศในขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วย purge and trap ดังนั้นในการหาปริมาณสารประกอบสารหนูในตัวอย่างหอยแมลงภู่และปลาจะต้องอาศัยการคำนวณเพื่อแก้ปัญหาร้อยละการสกัดที่มากเกินจริงในการศึกษาต่อไป

ตาราง 11 ร้อยละการสกัดสารประกอบสารหนูในตัวอย่างชนิดต่างๆ เมื่อเติมสาร antifoam

ชนิดตัวอย่าง	ร้อยละการสกัด		
	As(III)	MMA	DMA
ดิน	75.78 ± 3.41	97.14 ± 4.38	81.48 ± 4.70
หอยแมลงภู่	78.37 ± 4.41	138.39 ± 4.24	158.40 ± 11.73
ปลา	26.54 ± 1.16	119.13 ± 6.73	77.36 ± 2.35
ตะกอนดิน	53.52 ± 3.96	99.24 ± 6.74	58.51 ± 2.93



รูป 11 ร้อยละการสกัดของสารประกอบสารหนูในตัวอย่างชนิดต่างๆ เมื่อเติมสาร antifoam

1.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการจำแนกชนิดสารหนูอนินทรีย์ (As(III) และ As(V))

ในการวิเคราะห์สารประกอบสารหนูด้วยการเตรียมอนุพันธ์ไฮไดรด์สารประกอบสารหนูด้วย $NaBH_4$ ด้วยวิเคราะห์ด้วยเทคนิค purge and trap GC-MS พบว่า $NaBH_4$ ทำปฏิกิริยารีดิวซ์สารประกอบสารหนูเป็นอนุพันธ์ไฮไดรด์ของสารประกอบสารหนูที่สามารถระเหยกลายเป็นได้ง่าย ดังปฏิกิริยา

<u>สารหนูอนินทรีย์</u>

- As(III) เปลี่ยนอนุพันธ์เป็น arsine (AsH_3)

$$As^{3+}(aq) + 3\ BH_4^-(aq) + 3H^+(aq) \rightarrow AsH_3(g) + 3BH_3^-(aq) + 3\ H_2O(l)$$

- As(V) ถูกรีดิวซ์ให้เป็น As(III) แล้วเปลี่ยนอนุพันธ์เป็น arsine (AsH_3)

$$As^{5+}(aq) + 2\ BH_4^-(aq) + 2H+(aq) \rightarrow As^{3+}(aq) + 2BH_3^-(aq) + 2H_2O(l)$$
$$As^{3+}(aq) + 3\ BH_4^-(aq) + 3H^+(aq) \rightarrow AsH_3(g) + 3BH_3^-(aq) + 3H_2O(l)$$

<u>สารหนูอินทรีย์</u>

- MMA ($CH_3AsO(OH)_2$) เปลี่ยนอนุพันธ์เป็น monomethyl arsine (CH_3AsH_2)

$CH_3AsO(OH)_2$ (aq) + $2BH_4^-$(aq) + 2 H^+(aq) -→ CH_3AsH_2 (g) + $2BH_3^-$(aq) + $2H_2O$ (l)

- DMA ($CH_3AsO(OH)$) เปลี่ยนอนุพันธ์เป็น dimethyl arsine ($(CH_3)_2AsH$)

$CH_3AsO(OH)$(aq) + BH_4^-(aq) + H^+(aq) → $(CH_3)AsH$ (g) + BH_3^-(aq) + H_2O (l)

โดยความเป็นกรดของสารละลายมีผลต่อความสามารถในการเปลี่ยนเป็นอนุพันธ์ไฮไดรด์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาความเป็นกรดของสารละลายต่อการเปลี่ยนอนุพันธ์สารประกอบสารหนู โดยการควบคุมความเป็นกรดของสารละลายใช้กรดไนตริกความเข้มข้นต่างๆ

1.3.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นกรดไนตริกต่อการเปลี่ยนอนุพันธ์ของ As(III) และ As(V)

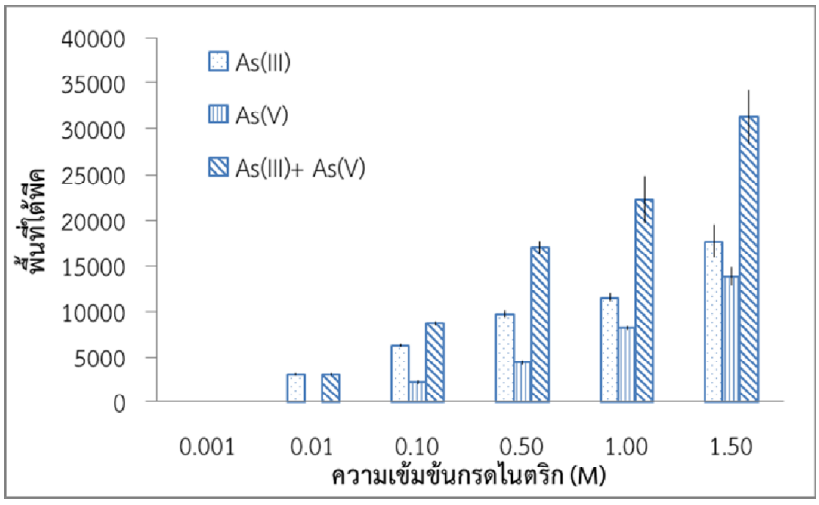
การศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดไนตริกต่อการเปลี่ยนอนุพันธ์ของ As(III) และ AsV) โดยใช้ (1) สารละลายมาตรฐาน As(III) เข้มข้น 25 µg/L (2) สารละลายมาตรฐาน As(V) เข้มข้น 100 µg/L และ(3) สารละลายมาตรฐานผสม As(III) 25 µg/L และ As (V) 100 µg/L โดยนำสารละลายดังกล่าวมา 10.00 mL แล้วเติมกรดไนตริกความเข้มข้นต่างๆ ใส่ในหลอดทำปฏิกิริยาของเครื่อง purge and trap แล้วเติม $NaBH_4$ 0.6 % ใน 0.1% NaOH ปริมาตร 2 mL หลังจากนั้นวิเคราะห์สารประกอบสารหนูด้วย purge and trap GC-MS ศึกษาความเข้มข้นของกรดไนตริกที่มีผลต่อการเกิดอนุพันธ์ไฮไดรด์ของ As(III) และ As(V) ผลการศึกษาดังตาราง 12 และรูป 12 พบว่าเมื่อใช้ความเข้มข้นของกรดไนตริก 0.001 M จะไม่สามารถเตรียมอนุพันธ์ไฮไดรด์ของสารหนูอินทรีย์ทั้ง 2 ชนิดได้ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดไนตริกเป็น 0.01 M พบว่าสามารถเตรียมอนุพันธ์ไฮไดรด์ของ As(III) ได้ แต่ไม่สามารถเตรียมอนุพันธ์ไฮไดรด์ของ As(V) ได้ และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดไนตริกมากกว่า 0.10 M สามารถเตรียมอนุพันธ์และวิเคราะห์ได้ทั้ง As(III) และ As(V) และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดไนตริกพบว่าสามารถเตรียมอนุพันธ์ไฮไดรด์ของ As(III) และ As(V) ได้มากขึ้นซึ่งสังเกตได้จากพื้นที่ใต้พีกของ As(III) และ As(V) เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกรดไนตริกเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบพื้นที่ใต้พีกของการวิเคราะห์สารละลายผสมสารหนู As(III) และ As(V) (ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์) กับพื้นที่ใต้พีกที่ได้จากรวมพื้นที่ใต้พีกของการวิเคราะห์สารละลายสารหนู As(III) และสารละลายสารหนู As(V) (ค่าที่ได้จากการคำนวณ) แสดงดังตาราง

13 และรูป 13 พบว่าให้ผลการวิเคราะห์ที่สอดคล้องกันและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงให้เห็นว่าสามารถวิเคราะห์สารหนูอนินทรีย์ทั้ง 2 ชนิดด้วยเทคนิค purge and trap GC-MS โดยไม่เกิดการสูญหายไประหว่างกระบวนการวิเคราะห์ ดังนั้นในการจำแนกชนิดของสารหนูอนินทรีย์จึงเลือกใช้ความเข้มข้นของกรดไนตริก 0.01 M ในการวิเคราะห์เฉพาะสารหนู As(III) และสามารถใช้ความเข้มข้นของกรดไนตริกมากกว่า 0.10 M ในการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูอนินทรีย์รวม (total inorganic arsenic)

ตาราง 12 ผลของความเข้มข้นกรดไนตริกต่อพื้นที่พีคของสาร As(III) และ As(V)

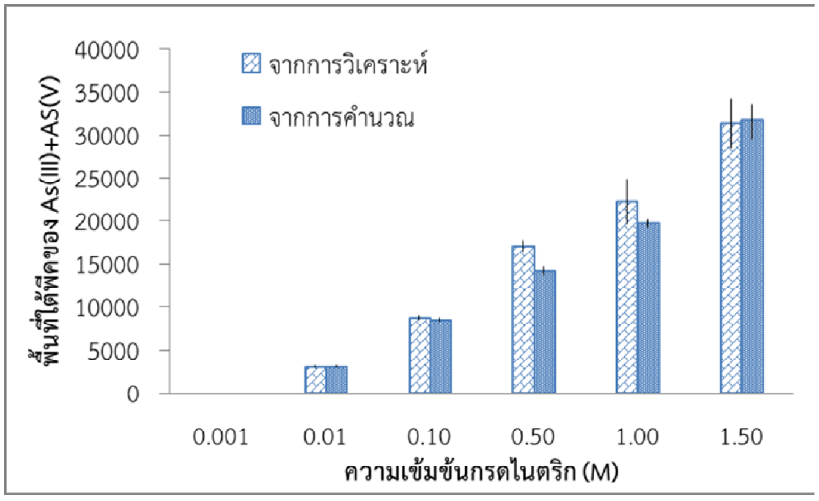
ความเข้มข้น	พื้นที่ใต้พีค		
กรดไนตริก (M)	As(III)	As(V)	As(III)+ As(V)
0.001	วิเคราะห์ไม่ได้	วิเคราะห์ไม่ได้	วิเคราะห์ไม่ได้
0.01	3062 ± 105	วิเคราะห์ไม่ได้	3081 ± 110
0.10	6290 ± 106	2245 ± 203	8729 ± 250
0.50	9753 ± 399	4457 ± 236	17072 ± 670
1.00	11560 ± 411	8155 ± 203	22279 ± 2609
1.50	17728 ± 1748	13902 ± 982	31334 ± 2889



รูป 12 พื้นที่ใต้พีกของสารประกอบสารหนูอนินทรีย์เมื่อใช้ความเข้มข้นกรดไนตริกต่างๆ ในการเตรียมอนุพันธ์ไฮไดรด์

ตาราง 13 การเปรียบพื้นที่ใต้พีคของสารประกอบสารหนูอนินทรีย์ทั้งหมดจากการวิเคราะห์และจากการคำนวณ

ความเข้มข้นกรดไนตริก (M)	พื้นที่ใต้พีค As(III)+ As(V)	
	จากการวิเคราะห์	จากการคำนวณ
0.001	วิเคราะห์ไม่ได้	วิเคราะห์ไม่ได้
0.01	3081 ± 110	3062 ± 105
0.10	8729 ± 250	8535 ± 229
0.50	17072 ± 670	14211 ± 464
1.00	22279 ± 2609	19715 ± 459
1.50	31334 ± 2889	31631 ± 2005



รูป 13 พื้นที่ใต้พีกของสารประกอบสารหนูอนินทรีย์รวมเมื่อใช้ความเข้มข้นกรดไนตริกต่างๆในการเตรียมอนุพันธ์ไฮไดรด์

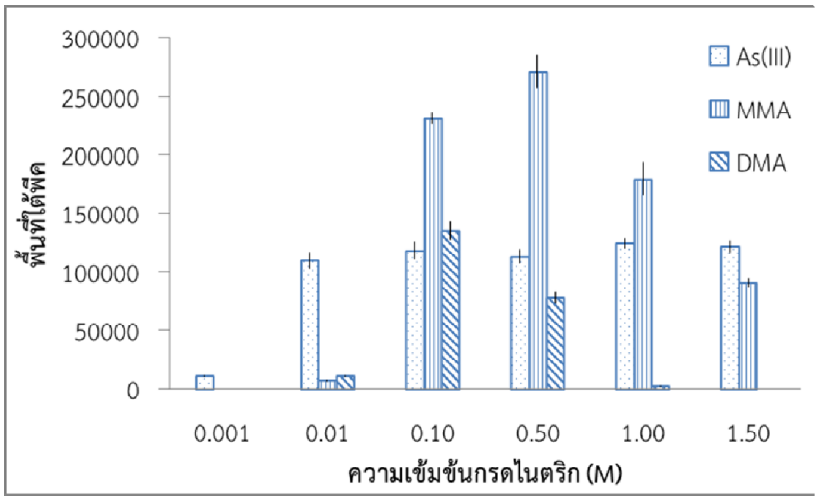
1.3.2 การศึกษาผลของความเข้มข้นกรดไนตริกต่อการเปลี่ยนอนุพันธ์ As(III) MMA และ DMA

จากผลการศึกษาความเข้มข้นของกรดไนตริกต่อการเปลี่ยนอนุพันธ์ไฮไดรด์ของ As(III) และ As(V) พบว่าเมื่อใช้ความเข้มข้นของกรดไนตริกมากกว่า 0.10 M สามารถวิเคราะห์ปริมาณสารหนูอนินทรีย์รวมได้ ดังนั้นในการศึกษาต่อไปจึงได้ศึกษาความเข้มข้นของกรดไนตริกในการเตรียมอนุพันธ์ไฮไดรด์ของสารละลายผสมของสารหนูอนินทรีย์ As(III) และสารหนูอินทรีย์ (MMA

และ DMA) โดยศึกษาความเข้มข้นของกรดไนตริกในช่วง 0.001M – 1.50 M ผลการศึกษาดังตาราง 14 และรูป 14 โดยพบว่าเมื่อใช้ความเข้มข้นของกรดไนตริก 0.001 M ไม่สามารถเตรียมอนุพันธ์ไฮไดรด์ของสารหนูอินทรีย์ทั้ง MMA และ DMA ได้ และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดไนตริกมากกว่า 0.01 M จะสามารถเตรียมอนุพันธ์ไฮไดรด์ของทั้ง As(III) MMA และ DMA ได้ โดยพบว่าเมื่อความเข้มข้นของกรดไนตริกเพิ่มขึ้นไม่ทำให้พื้นที่ใต้พื้นพีกของ As(III) เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญแสดงให้เห็นว่าที่ความเข้มข้นของกรดไนตริก 0.10 M สามารถเตรียมอนุพันธ์ไฮไดรด์ของ As(III) ได้อย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้เมื่อพิจารณา MMA พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดไนตริกจาก 0.01M เป็น 0.10 M และ 0.50M พบว่าพื้นที่ใต้พีกของ MMA เพิ่มขึ้นและพบว่าพื้นที่ใต้พีกของ MMA ลดลง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดไนตริกเป็น 1.00 M แล 1.50 M เมื่อพิจารณา DMA พบว่าพื้นที่ใต้พีกเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดไนตริกจาก 0.01 M เป็น 0.10 M และ 0.50 M แต่พบว่าพื้นที่ใต้พีกของ DMA ลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดไนตริกเป็น 1.00 M และที่ความเข้มข้นของกรดไนตริก 1.50 M ไม่สามารถเปลี่ยนอนุพันธ์ไฮไดรด์ของ DMA ได้ ดังนั้นในการวิเคราะห์ปริมาณสารหนูอนินทรีย์ทั้งหมด MMA และ DMA จึงเลือกใช้ความเข้มข้นของกรดไนตริก 0.50 M เนื่องจากให้พื้นที่ใต้พีกของ As(III) MMA และ DMA ที่ดี

ตาราง 14 พื้นที่ใต้พีกของ As(III) MMA และ DMA เมื่อใช้ความเข้มข้นกรดไนตริกต่างๆในการเตรียมอนุพันธ์

ความเข้มข้น	พื้นที่ใต้พีค		
กรดไนตริก (M)	As(III)	MMA	DMA
0.001	11027 ± 545	วิเคราะห์ไม่ได้	วิเคราะห์ไม่ได้
0.01	109722 ± 6888	7154 ± 467	10847 ± 857
0.10	118674 ± 7551	231628 ± 4317	135217 ± 7179
0.50	113236 ± 5990	271641 ± 13765	77976 ± 4902
1.00	124802 ± 4195	179693 ± 13616	2509 ± 90
1.50	122140 ± 5170	90576 ± 3680	วิเคราะห์ไม่ได้



รูป 14 พื้นที่ใต้พีกของ As(III) MMA และ DMA เมื่อใช้ความเข้มข้นกรดไนตริกต่างๆในการเตรียมอนุพันธ์

จากผลการศึกษาความเข้มข้นของกรดไนตริก พบว่าความเข้มข้นของกรดไนตริกมีผลต่อความสามารถในการเกิดอนุพันธ์ไฮไดรด์ของสารประกอบสารหนูแต่ละชนิด จึงสามารถนำสภาวะความเข้มข้นของกรดไนตริกมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบสารหนูแต่ละชนิดได้ ดังนี้

- การวิเคราะห์ปริมาณสารหนู As(III) ใช้ความเข้มข้นของกรดไนตริก 0.01 M ในการเตรียมอนุพันธ์ไฮไดรด์
- การวิเคราะห์ปริมาณสารหนูอนินทรีย์รวม MMA และ DMA ใช้ความเข้มข้นของกรดไนตริก 0.50 M ในการเตรียมอนุพันธ์
- การวิเคราะห์ปริมาณสารหนู As(V) คำนวณได้จาก ปริมาณสารหนูอนินทรีย์รวมและ As(III)

สรุปสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบสารหนูจากตัวอย่างของแข็งด้วยวิธีการสกัดโดยอัลตราโซนิกและสภาวะการวิเคราะห์ชนิดของสารประกอบสารหนู ดังตาราง 15

ตาราง 15 สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบสารหนูด้วยวิธีการสกัดโดยอัลตราโซนิกและสภาวะในการวิเคราะห์ชนิดสารประกอบสารหนู

สภาวะที่ศึกษา	สภาวะที่เหมาะสม
การสกัดโดยอัลตราโซนิก	
ตัวทำละลายที่ใช้สกัด	0.01M กรดฟอสฟอริก 30 mL
เวลาที่ใช้สกัด	60 นาที
วิธีการสกัด	แบบครั้งเดียว
การเติมสาร antifoam	1% 0.4 mL
การจำแนกชนิดสารประกอบสารหนูด้วยการเตรียมอนุพันธ์ไฮไดรด์	
การวิเคราะห์สารหนู As(III) ชนิดเดียว	0.01 M กรดไนตริก
การวิเคราะห์สารหนูอนินทรีย์รวม MMA และ DMA	0.50 M กรดไนตริก

2. การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของวิธีวิเคราะห์ (Method Validation)

เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบสารหนู 4 ชนิด ได้แก่ As(III), As(V), MMA และ DMA ด้วยเทคนิค purge and trap GC-MS สภาวะที่เหมาะสมดังตาราง 1 โดยใช้การสกัดสารประกอบสารหนูด้วยวิธีการสกัดโดยอัลตราโซนิกและการจำแนกชนิดสารประกอบสารหนูด้วยการควบคุมความเป็นกรดเบสของสารละลายในการเตรียมอนุพันธ์ไฮไดรด์ด้วยกรดไนตริก ได้สภาวะที่เหมาะสมดังตาราง 15 ในงานวิจัยนี้จึงได้ตรวจสอบวิธีการวิเคราะห์ (Method Validation) ของวิธีการที่ได้รับการพัฒนาขึ้น โดยตรวจสอบ

2.1 ค่าขีดจำกัดการตรวจวัด (Limit of Detection; LOD) และขีดจำกัดการหาปริมาณ (Limit of Quantification; LOQ)

ตรวจสอบโดยการวิเคราะห์สารมาตรฐานสารหนูที่ให้สัญญาณประมาณ 10 เท่าของสัญญาณรบกวน จำนวน 8 ครั้ง คำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณนำมาคำนวณค่า LOD = 3 x SD/ slope และ LOQ = 10 x SD / slope โดยค่า slope ได้จากความชันของกราฟมาตรฐาน ได้ค่าขีดจำกัดการตรวจวัดเท่ากับ 0.065, 0.015 และ 0.031 µg/L ค่าขีดจำกัดการหาปริมาณเท่ากับ 0.217, 0.050 และ 0.105 สำหรับ As(III), MMA และ DMA ตามลำดับ โดยค่าขีดจำกัด

การตรวจและขีดจำกัดการหาปริมาณที่ได้จากงานวิจัยนี้มีค่าต่ำเพียงพอที่จะตรวจวัดปริมาณสารประกอบสารหนูในสิ่งแวดล้อมได้ โดยค่ามาตรฐานสารหนูในสิ่งแวดล้อมที่กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ มีค่าไม่เกิน 10 µg/L สำหรับตัวอย่างน้ำผิวดินและน้ำทะเล

2.2 กราฟมาตรฐาน

ศึกษาโดยการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานสารประกอบสารหนูอย่างน้อย 5 ความเข้มข้น แต่ละความเข้มข้นวิเคราะห์ 3 ซ้ำ แล้วนำค่าพื้นที่ใต้พีกและความเข้มข้นมาสร้างกราฟเส้นตรง หาสมการเส้นตรงและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพัทธ์ พบว่าค่าสัมประสิทธิสหสัมพัทธ์ของกราฟมาตรฐานที่ได้มีค่า มากกว่า 0.99 แสดงว่าการวิเคราะห์สารประกอบสารหนูแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ดี

2.3 ความเที่ยง (precision)

ตรวจสอบในเทอมของความเที่ยงภายในวันเดียวกัน (repeatability) โดยศึกษาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของพื้นที่ใต้พีกและเวลารีเทนชั่นจากการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานสารประกอบสารหนู จำนวน 9 ซ้ำภายในการวิเคราะห์วันเดียวกัน ส่วนความเที่ยงระหว่างวัน (intermediate precision) โดยศึกษาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของพื้นที่ใต้พีกและเวลารีเทนชั่นจากการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานสารประกอบสารหนู จำนวน 3 ซ้ำใน 1 วัน และวิเคราะห์จำนวน 3 วันติดต่อกัน โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ของพื้นที่ใต้พีกในการวิเคราะห์วันเดียวกันมีค่า 4.74, 4.24 และ 4.51 สำหรับการวิเคราะห์ระหว่างวันมีค่า 2.85, 4.66 และ 3.53 สำหรับ As(III), MMA และ DMA ตามลำดับ โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ได้มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดโดย AOAC method ที่กำหนดให้ไม่เกิน 15% ที่ระดับความเข้มข้น 100 µg/L ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอมีความเที่ยงยอมรับได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน

2.4 ความแม่นของการวิเคราะห์ (accuracy)

ตรวจสอบในเทอมของร้อยละการได้กลับคืน (% recovery) โดยทำการเติมสารละลายมาตรฐานสารประกอบสารหนูลงไปในตัวอย่างน้ำทะเล นำไปวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบสารหนู คำนวณค่าร้อยละการได้กลับคืน พบว่าได้ค่าร้อยละการได้กลับคืนเท่ากับ 97.61 ± 4.14, 100.69±5.36 และ99.44± 3.65 สำหรับ As(III), MMA และ DMA ตามลำดับ โดยค่าร้อยละการได้กลับคืนจากวิธีการนี้ต่ำกว่าค่าที่ยอมรับได้ตามมาตรฐาน AOAC ที่กำหนดไว้มีค่าในช่วง 60-115 % ที่ระดับความเข้มข้น 10 µg/L

ผลการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์แสดงดังตาราง 16

ตาราง 16 ค่าทางเคมีวิเคราะห์ในการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้น

เทอมที่ตรวจสอบ	ค่าที่ได้		
	As(III)	MMA	DMA
ขีดจำกัดการตรวจวัด (µg/L)	0.065	0.015	0.031
ขีดจำกัดการหาปริมาณ (µg/L)	0.217	0.050	0.105
กราฟมาตรฐาน			
สมการเส้นตรง	y = 4171x - 2226	y = 9641-434	y = 8929 - 1487
R^2	0.9958	0.9946	0.9926
ความเที่ยงภายในวันเดียว (n = 9)			
พื้นที่ใต้พีค (%RSD)	4.74	4.24	4.51
เวลารีเทนชัน (%RSD)	0.03	0.01	0.33
ความเที่ยงระหว่างวัน (n = 9)			
พื้นที่ใต้พีค (%RSD)	2.85	4.66	3.53
เวลารีเทนชัน (%RSD)	0.59	0.04	0.87
ร้อยละการได้กลับคืน	97.61 ± 4.14	100.69±5.36	99.44± 3.65

3. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบสารหนูในตัวอย่างน้ำทะเล

การเก็บตัวอย่างน้ำทะเล ได้เก็บตัวอย่างน้ำทะเลจากบริเวณอ่างศิลา แหลมแท่นและหาดวอนนภา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี โดยทำการเก็บตัวอย่างทุกเดือนเป็นระยะเวลา 2 ปี นำตัวอย่างน้ำทะเลที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณ As(III), As(V), MMA และ DMA โดยการเตรียมตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์จะนำตัวอย่างน้ำทะเลมากรองตะกอนออก นำตัวอย่างมา 1 L เติมกรดไนตริกเข้มข้น 6.25 mL เก็บที่อุณหภูมิ -20 ^{o}C ก่อนการวิเคราะห์ และทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง purge and trap GC-MS ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม โดยผลการวิเคราะห์ตัวอย่างสารประกอบสารหนู 4 ชนิด ได้แก่ As(III), As(V), MMA และ DMA ในตัวอย่างน้ำทะเลพบว่าไม่พบสารประกอบสารหนูอินทรีย์ (MMA และ DMA) ในทุกตัวอย่าง โดยตรวจพบเฉพาะ As(III) และ As(V) ผลการศึกษาปริมาณสารหนู As(III) และ As(V) ในตัวอย่างน้ำทะเลแสดงดังตาราง 17-19 และรูป 15-18

ตาราง 17 ปริมาณสารประกอบสารหนูที่พบในตัวอย่างน้ำทะเลบริเวณอ่างศิลา

เดือน ปี ที่เก็บตัวอย่าง	pH ตัวอย่าง	ปริมาณสารประกอบสารหนู (µg/L)	
		As(III)	As(V)
Aug-15	8.3	ND	0.87±0.01
Sep-15	8.6	ND	0.76±0.02
Oct-15	7.8	ND	0.82±0.01
Nov-15	7.8	ND	0.89±0.01
Dec-15**			
Jan-16**			
Feb-16**			
Mar-16	7.6	ND*	0.90±0.09
Apr-16	7.9	ND	1.11±0.05
May-16	5.9	ND	1.65±0.01
Jun-16	6.8	ND	1.55±0.01
Jul-16	7.1	1.07 ±0.06	0.41±0.01
Aug-16	7.5	ND	1.57±0.01
Sep-16	7.6	0.57±0.01	0.78±0.02
Oct-16	8.1	0.53±0.01	0.78±0.07
Nov-16	7.6	ND	1.59±0.02
Dec-16	7.6	ND	1.7±0.02
Jan-17	7.6	ND	1.63±0.01
Feb-17	7.9	ND	1.53±0.01
Mar-17	7.5	ND	1.67±0.03
Apr-17	7.8	ND	1.79±0.02
May-16	7.7	ND	1.63±0.01
Jun-17	8.7	ND	1.95±0.04
Jul-17	8.0	ND	1.56±0.01

* ND: not detectable ไม่สามารถตรวจวัดได้

** ไม่ได้เก็บตัวอย่าง

ตาราง 18 ปริมาณสารประกอบสารหนูที่พบในตัวอย่างน้ำทะเลบริเวณแหลมแท่น

เดือน ปี ที่เก็บตัวอย่าง	pH ตัวอย่าง	ปริมาณสารประกอบสารหนู (µg/L)	
		As(III)	As(V)
Aug-15	8.2	ND*	0.71±0.03
Sep-15	8.8	ND	0.90±0.03
Oct-15	8.3	ND	0.85±0.04
Nov-15	8.1	ND	0.94±0.02
Dec-15**			
Jan-16**			
Feb-16**			
Mar-16	7.9	ND	0.91±0.05
Apr-16	8.0	ND	1.03±0.06
May-16	6.1	ND	1.64±0.01
Jun-16	7.7	ND	1.54±0.01
Jul-16	7.6	ND	1.65±0.02
Aug-16	7.9	ND	1.53±0.01
Sep-16	8.1	0.60±0.01	0.74±0.08
Oct-16	8.1	0.54±0.02	0.76±0.06
Nov-16	7.8	ND	1.60±0.01
Dec-16	7.8	ND	1.64±0.01
Jan-17	8.0	ND	1.62±0.01
Feb-17	8.0	ND	1.67±0.03
Mar-17	7.9	ND	1.67±0.02
Apr-17	7.8	ND	1.60±0.01
May-16	8.0	ND	1.60±0.01
Jun-17	7.6	ND	1.63±0.01
Jul-17	8.5	ND	1.67±0.01

* ND: not detectable ไม่สามารถตรวจวัดได้

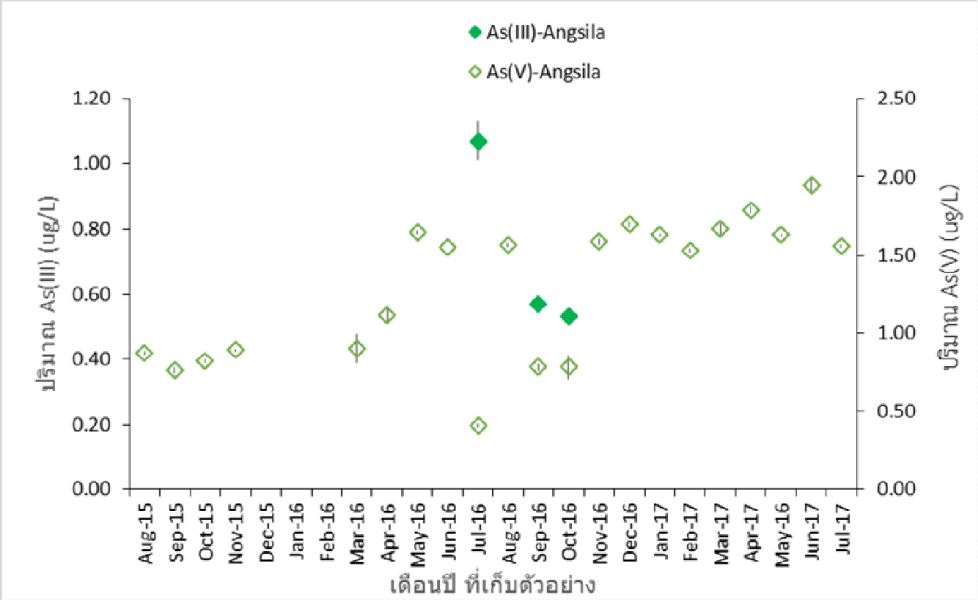
** ไม่ได้เก็บตัวอย่าง

ตาราง 19 ปริมาณสารประกอบสารหนูที่พบในตัวอย่างน้ำทะเลบริเวณหาดวอนนภา

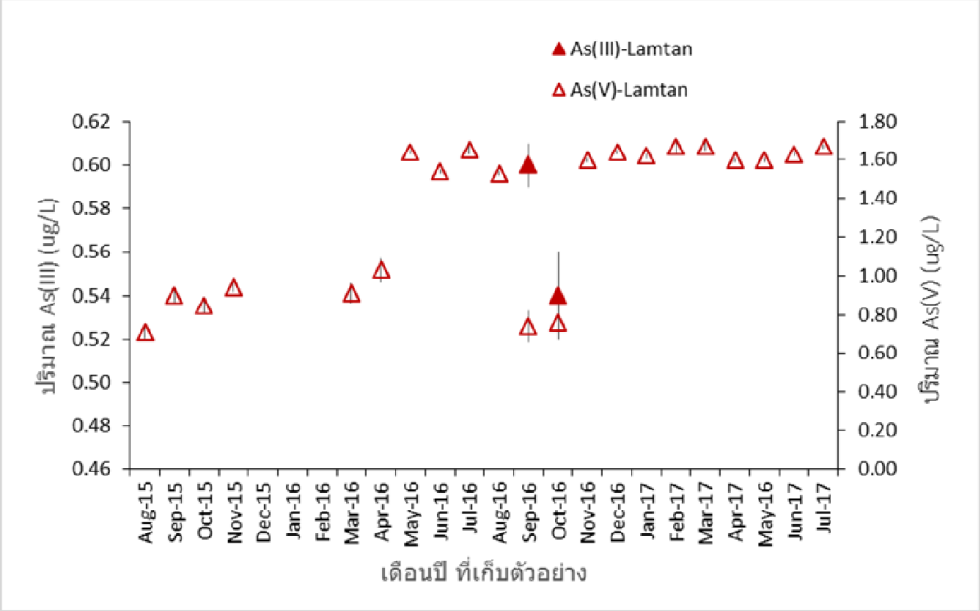
เดือน ปี ที่เก็บตัวอย่าง	pH ตัวอย่าง	ปริมาณสารประกอบสารหนู (µg/L)	
		As(III)	As(V)
Aug-15	8.2	ND*	0.95±0.08
Sep-15	8.8	ND	1.04±0.04
Oct-15	8.4	0.52±0.06	1.79±0.11
Nov-15	8.1	ND	0.96±0.08
Dec-15**			
Jan-16**			
Feb-16**			
Mar-16	7.9	ND	1.11±0.06
Apr-16	8.2	ND	1.14±0.08
May-16	6.3	ND	1.71±0.01
Jun-16	7.8	ND	1.53±0.01
Jul-16	6.4	2.45±0.01	1.51±0.26
Aug-16	8.3	ND	1.69±0.01
Sep-16	8.2	0.59±0.01	0.70±0.05
Oct-16	8.1	0.52±0.01	0.74±0.08
Nov-16	7.9	ND	1.71±0.00
Dec-16	8.0	ND	1.66±0.00
Jan-17	8.1	ND	1.67±0.00
Feb-17	8.1	ND	1.58±0.00
Mar-17	8.0	ND	1.6±0.01
Apr-17	8.0	ND	1.51±0.01
May-16	7.9	ND	1.87±0.03
Jun-17	8.8	ND	1.58±0.01
Jul-17	8.6	ND	1.70±0.01

* ND: not detectable ไม่สามารถตรวจวัดได้

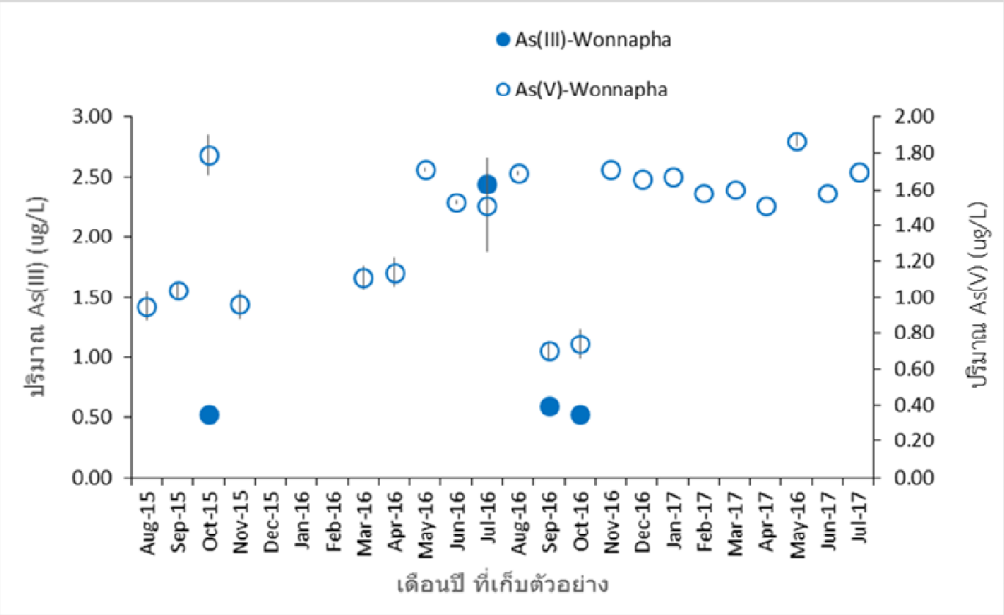
** ไม่ได้เก็บตัวอย่าง



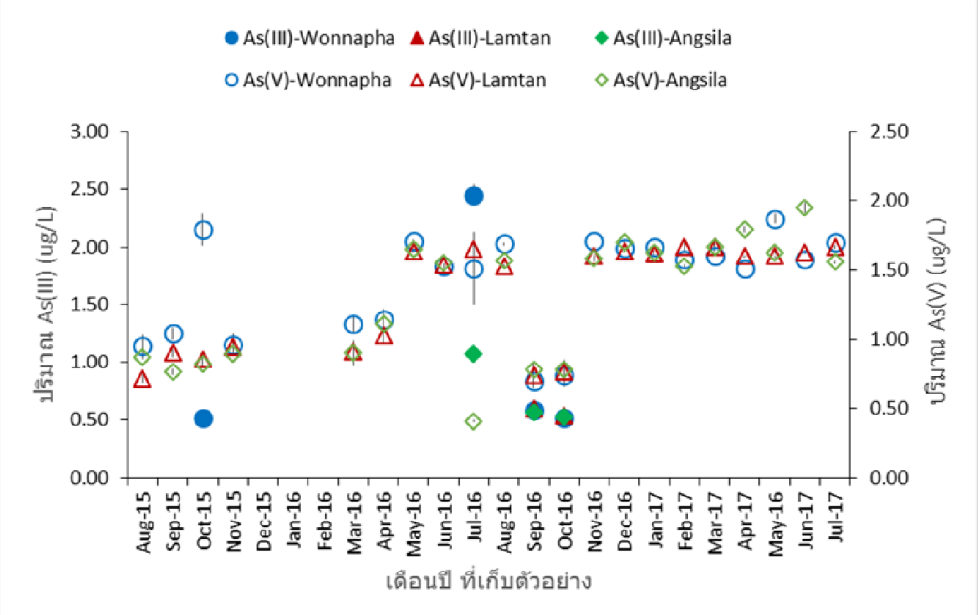
รูป 15 ปริมาณสารหนู As(III) และ As(V) ที่พบในตัวอย่างน้ำทะเลบริเวณอ่างศิลา



รูป 16 ปริมาณสารหนู As(III) และ As(V) ที่พบในตัวอย่างน้ำทะเลบริเวณแหลมแท่น



รูป 17 ปริมาณสารหนู As(III) และ As(V) ที่พบในตัวอย่างน้ำทะเลบริเวณหาดวอนนภา



รูป 18 ปริมาณสารหนู As(III) และ As(V) ที่พบในตัวอย่างน้ำทะเลบริเวณอ่างศิลา แหลมแท่นและหาดวอนนภา

ผลการวิเคราะห์สารประกอบสารหนูอนินทรีย์ในตัวอย่างน้ำทะเล พบปริมาณสารหนู As(III) มีค่า 0.53±0.01 -1.07±0.06 (พบ 3 ตัวออย่าง), 0.54±0.02 – 0.60±0.01 (พบ 2 ตัวออย่าง), และ 0.52±0.01 – 2.45±0.01 (พบ 4 ตัวออย่าง) ในตัวอย่างน้ำทะเลจากบริเวณอ่างศิลา แหลมแท่นและหาดวอนนภา ตามลำดับ สำหรับปริมาณสารหนู As(V) พบในตัวอย่างน้ำทะเลทุกตัวอย่าง มีค่า 0.41±0.01 – 1.95±0.04, 0.71±0.03 – 1.67±0.01 และ 0.70±0.05 – 1.87±0.03 ในตัวอย่างน้ำทะเลจากบริเวณอ่างศิลา แหลมแท่นและหาดวอนนภา ตามลำดับ โดยพบปริมาณสารหนู As(V) ทุกตัวอย่างและพบในความเข้มข้นที่สูงกว่า As(III) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเป็นพิษของสารหนูที่สารหนู As(III) มีความเป็นพิษมากกว่า As(V) โดยค่า LD_{50} ของ As(III) และ As(V) มีรายงานค่าเท่ากับ 0.034 และ 0.12 g/kg ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารหนู As(V) ที่พบในอ่างศิลา แหลมแท่นและหาดวอนนภา พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากเมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารหนูที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำทะเลกับค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ ที่กำหนดค่ามาตรฐานสารหนูรวมในน้ำทะเล มีค่าไม่เกิน 0.01 mg/L พบว่าทุกตัวอย่างมีความเข้มข้นต่ำกว่าค่ามาตรฐานซึ่งสามารถชี้ให้เห็นว่า ปริมาณสารหนูที่ปนเปื้อนในน้ำทะเลบริเวณ อ่างศิลา แหลมแท่นและหาดวอนนภา ยังมีปริมาณในระดับต่ำกว่าค่ามาตรฐาน

สรุปผลการวิจัย

ในการวิจัยหาปริมาณสารประกอบสารหนู 4 ชนิด ได้แก่ สารหนูอนินทรีย์ คือ As(III) และ As(V) และสารหนูอินทรีย์ คือ monomethyl arsenic (MMA) และ dimethyl arsenic (DMA) ในสิ่งแวดล้อม ด้วยเทคนิค purge and trap GC-MS และใช้วิธีการเตรียมตัวอย่างด้วยการสกัดโดยอัลตราโซนิก สามารถแยกและวิเคราะห์ สารหนูอนินทรีย์ (As(III) และ As(V)) MMA และ DMA ด้วยเทคนิค GC-MS สำหรับปริมาณสารหนู As(III) และ As(V) สามารถหาปริมาณได้โดยการควบคุมสภาวะในการเตรียมอนุพันธ์ไฮไดรด์ให้มีความจำเพาะต่อชนิดของสารหนู นอกจากนี้ยังได้ตรวจสอบความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์ซึ่งพบว่าวิธีที่ได้พัฒนามานี้มีความน่าเชื่อถือตามมาตรฐานสากล

เมื่อนำวิธีการนี้ไปวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบสารหนู 4 ชนิดในตัวอย่างน้ำทะเล จากบริเวณอ่างศิลา แหลมแท่น และหาดวอนนภา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี ผลการศึกษาไม่พบสารหนูอินทรีย์ทั้ง 2 ชนิด ในทุกตัวอย่าง สำหรับสารหนูอนินทรีย์ พบ As(III) จำนวน 9 ตัวอย่าง และพบ As(V) ในทุกตัวอย่าง อย่างไรก็ตามปริมาณสารหนูที่พบในตัวอย่างยังมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดกรมควบคุมมลพิษ แสดงให้ว่าสารหนูที่ปนเปื้อนในตัวอย่างน้ำทะเลบริเวณที่ศึกษายังไม่เป็นอันตรายต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อม

งานวิจัยที่ต้องดำเนินการต่อ/ปัญหา อุปสรรค

ในงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยต่อเนื่อง 3 ปี โดยในการศึกษาปีที่จะทำการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบสารหนูในตัวอย่างอื่นๆ เช่น ดินตะกอน หอยแมลงภู่ เพื่อหาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงสารประกอบสารหนูในสิ่งแวดล้อมต่อไป

ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการวิจัยคือเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย มีอายุการใช้งานมาก เมื่อเกิดการชำรุดเสียหายระหว่างการใช้งาน จำเป็นต้องซ่อมเป็นเวลานาน จึงไม่สามารถดำเนินการวิจัยได้ และมีเครื่องมือบางเครื่องชำรุดเสียหายไม่สามารถซ่อมได้ จึงต้องใช้เวลาในการดำเนินการซื้อเครื่องมือใหม่มาทดแทน นอกจากนี้ในการเก็บตัวอย่างมีปัญหาจากสภาพอากาศที่ทำให้ไม่สามารถเก็บตัวอย่างได้ครบตามที่ต้องการได้

รายงานสรุปการเงิน

เลขที่โครงการระบบบริหารงานวิจัย 2557A10802131 สัญญาเลขที่ 31/2558
โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)
ประจำปีงบประมาณ พ. ศ. 2558
มหาวิทยาลัยบูรพา

ชื่อโครงการ การศึกษาการจำแนกชนิดของสารประกอบสารหนูในสิ่งแวดล้อม

(The Study of Arsenic Speciation in Environment)

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน ดร. อภิญญา นวคุณ

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2557 ถึงวันที่ 31 มีนาคม 2560

ระยะเวลาดำเนินการ 2 ปี 6 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2557 .

รายรับ

จำนวนเงินที่ได้รับ

งวดที่ 1 (50%)	406,250.00 บาท	เมื่อวันที่	17 พฤศจิกายน 2557
งวดที่ 2 (40%)	325,000.00 บาท	เมื่อวันที่	18 มิถุนายน 2558
งวดที่ 3 (10%)	81,250.00 บาท	เมื่อวันที่	
รวม	812,500.00 บาท		

รายจ่าย

รายการ	งบประมาณที่ตั้งไว้	งบประมาณที่ใช้จริง	จำนวนเงินคงเหลือ
ค่าจ้างเก็บตัวอย่าง	96,000.00	96,000.00	0.00
ค่าตอบแทนผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัย	150,000.00	150,000.00	0.00
ค่าใช้สอย	177,250.00	177,250.00	0.00
ค่าวัสดุ	308,000.00	308,000.00	0.00
ค่าบริหารโครงการจ่ายให้มหาวิทยาลัย 10%	81,250.00	81,250.00	0.00
รวม	812,500.00	812,500.00	0.00

( )

ดร. อภิญญา นวคุณ
หัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 27 (พ.ศ. 2549) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล 1 กุมภาพันธ์ 2550

Britta P-F., Corinne L., Jorg M., Broder J. M., Darrel K. N., Mark W. S., Speciation of volatile arsenic at geothermal features in Yellowstone national park. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 70 (2006), 2480-2491.

Campillo N., Penalver R., Lopez-Garcia V. P., Hernandez-Cordoba M., Speciation of arsenic using capillary gas chromatography with atomic emission detection. *Talanta* 77 (2008) 793-799.

Daniel R. K., and Joseph H. A. III, Identification of dimethylchloroarsine near a former herbicide factory by headspace solid-phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry. *Chemosphere* 48 (2002), 1003-1008.

Daniel R. K., and Joseph H. A. III, Solid phase microextraction method for gas chromatography with mass spectrometric and pulsed flame photometric detection: studies of organoarsenical speciation. *Journal of Chromatography A* 918 (2001), 169-175.

Gong Z., Lu X., Ma M., Watt C., and Le X. C. Arsenic speciation analysis. *Talanta* 58 (2002) 77-96.

Imran A., Hassan Y., and Aboul E., Speciation of arsenic and chromium metral ions by reversed phase high performance liquid chromatography. *Chemosphere* 48 (2002), 275-278.

Kazi F. A., Zuliang C., Lester S., David D., and Ravi N., Speciation of arsenic in ground water samples: A comparative study of CE-UV, HG-AAS and LC-ICP-MS. *Talanta* 68 (2005), 406-415.

Kosters J., Diaz-Bone R. A., Planer-Friedrich B., Rothweiler B., Hirner A. V., Identification of organic arsenic, tin, antimony and tellurium compounds in environmental samples by GC-MS. *Journal of Molecular structure* 661-662 (2003), 347-356.

Krupp E. M., Johnson C., Rechsteiner C., Moir M., Leong D., and Feldmann J. Investigation into the determination of trimethylarsine in natural gas and its partitioning into gas and condensate phases using (cryotrapping)/gas chromatography coupled to

inductively coupled plasma mass spectrometry and liquid/solid sorption techniques. *Spectrochimica Acta Part B* 62 (2007), 970-977.

Leermakers M., Baeyens W., De Gieter M., Smedts B., Meert C., De Bisschop H. C., Morabito R., Quevauviller P. Toxic arsenic compounds in envieonmental samples: speciation and validation. *Trends in Analytical chemistry* 25 (2006), 1-10.

Lihareva N. Arsenic solubility, mobility and speciation in the deposits from a copper production waste storage. *Microchemical Journal* 81 (2005), 177-183.

Mustafa T., Demirphan C. Durali M. and Mustafa S. Arsenic speciation in natural water samples by coprecipitation-hydride generation atomic absorption spectrometry combination. *Talanta* 78 (2009), 52-56.

Ozgur D. U., Mustafa T., Durali M. and Mustafa S., Determination of As(III) and As(V) species in some natural water and food samples by solid-phase extraction on *Streptococcus pyogenes* immobilized on sepabeads SP70 and hydride generation atomic absorption spectrometry. *Food and Chemical Toxicology* 48 (2010), 1393-1398.

Preter, de B., Staeyen, van G., Esser D., Rutgeerts, P., Verbake, K. Development of a screening method to determine the pattern of fermentation metabolites in faecal samples using on-line purge-and-trap gas chromatographic-mass spectrometric analysis. *J. Chromatogr. A.* 1216(2009), 1476-1483.

Roland A. D.-R., Maren R., Simone A., Bianca K., Bernd M., Klaus K., Renatus W., Alfred V. H., Investigation of biomethylation of arsenic and tellurium during composting. *Journal of Hazardous Materials* 189(2011), 653-659.

Ruixue C. Benjamin W. S., James D. W., Mike S. T., Gina K., and Lena Q. M. Arsenic speciation in Chinese brake fern by ion-pair high performance liquid chromatography-inductively coupled plasma mass spectroscopy. *Analytica Chimica Acta* 504 (2004), 199-207.

Sebastien N. R., Vincent L., Philippe C., Nicolas M., Alfred C., and Jean-Paul B., Speciation of five arsenic species (arsenite, arsenate, $MMAA^{V}$, $DMAA^{V}$, and AsBet) in different kind of water by HPLC-ICP-MS. *Chemosphere* 66 (2007), 738-745.

Shona M., Joana S., Roberto M. and Philipe Q., The speciation of arsenic in biological tissues and the certification of reference materials for quality control. *Trends in Analytical Chemistry* 22 (2003), 191-209.

Zdenka S., Johannes T. E., and Anthony R. B., A dual arsenic speciation system combining liquid chromatographic and purge and trap-gas chromatographic

separation with atomic fluorescence spectrometric detection. *Analytica Chimica Acta* 358 (1998), 51-60.

Zoltan M. and Janusz P., Speciation of dimethylarsinic acid and monomethylarsonic acid by solid-phase microextraction-gas chromatography-ion trap mass spectrometry. *Journal of Chromatography A* 873 (2000), 129-135.