บทที่ 4

วิธีการวิจัย

4.1 การเก็บตัวอย่าง

การวางแผนเก็บตัวอย่างสำหรับแม่น้ำเจ้าพระยาเพื่อควบคุมน้ำเสีย เมื่อพิจารณาแม่น้ำเจ้าพระยาช่วงที่เรียกว่า estuary (น่านน้ำกร่อย) เป็นส่วนของลำน้ำที่ติดต่อกับทะเลมีกระแสน้ำขึ้นลงตามอิทธิพลของทะเล มีความเค็มไม่น้อยกว่า 1 ใน 100 ส่วนของน้ำทะเล ปกติช่วงนี้ของแม่น้ำเจ้าพระยาจะอยู่ในช่วงระยะ 40-45 กิโลเมตรจากปากน้ำ ส่วนหน้าแล้งอาจขึ้นไปถึงระยะ 110 กิโลเมตร จากการศึกษาของ ดร.เสริมพล รัตสุข (2515) พบว่าแม่น้ำเจ้าพระยามีลักษณะ well mixed อยู่เกือบตลอดปี เว้นแต่ในตอนที่น้ำจืดไหลลงมาจากทางเหนือมากในฤดูน้ำหลากจะเกิดลักษณะที่เรียกว่า "Parially Stratified" (โดยการศึกษาจากการผสมตัวของเกลือในลำน้ำ) จึงได้ข้อสรุปในการวางแผนสำรวจแม่น้ำเจ้าพระยาเพื่อควบคุมน้ำเสียว่าเนื่องจากแม่น้ำเจ้าพระยามีน้ำมาก ขณะที่เป็น well mixed ความเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของสารเคมีในน้ำมักไม่แตกต่างกันเวลาเก็บตัวอย่างน้ำจากผิวน้ำหรือกึ่งกลางน้ำหรือท้องน้ำมาทำการวิเคราะห์ ฉะนั้นจึงไม่จำเป็นต้องเก็บตัวอย่างเป็นหลายจุดหรือหลายระดับความลึกในบริเวณเดียวกัน ซึ่งจะเสียเวลาและค่าใช้จ่ายรวมทั้งแรงงานอย่างมาก

การวิจัยครั้งนี้ได้วางแผนเก็บตัวอย่างน้ำออกเป็น 2 ช่วง คือในช่วงน้ำน้อยจะทำการเก็บตัวอย่างบริเวณผิวน้ำ (ลึกลงไปประมาณ 1 ฟุต) ส่วนในฤดูน้ำหลากจะทำการเก็บตัวอย่างตามทางดิ่ง โดยแต่ละจุดเก็บตัวอย่างจะแบ่งเก็บเป็น 3 จุดย่อย คือ ริมฝั่งด้านซ้ายและด้านขวา และกลางลำน้ำ จากนั้นจะนำตัวอย่างมาผสมกันในอัตราส่วนเท่า ๆ กัน (composité sample) ใช้เป็นตัวแทนของแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง (กรณีเก็บตัวอย่างทางดิ่งจะนำตัวอย่างที่เก็บทางดิ่งมาผสมกันก่อน แล้วจึงค่อยผสมกันตามขวาง) ตัวอย่างน้ำทำการเก็บเดือนเว้นเดือน ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2527 ถึงธันวาคม พ.ศ.2527 รวมจำนวน 6 ครั้ง

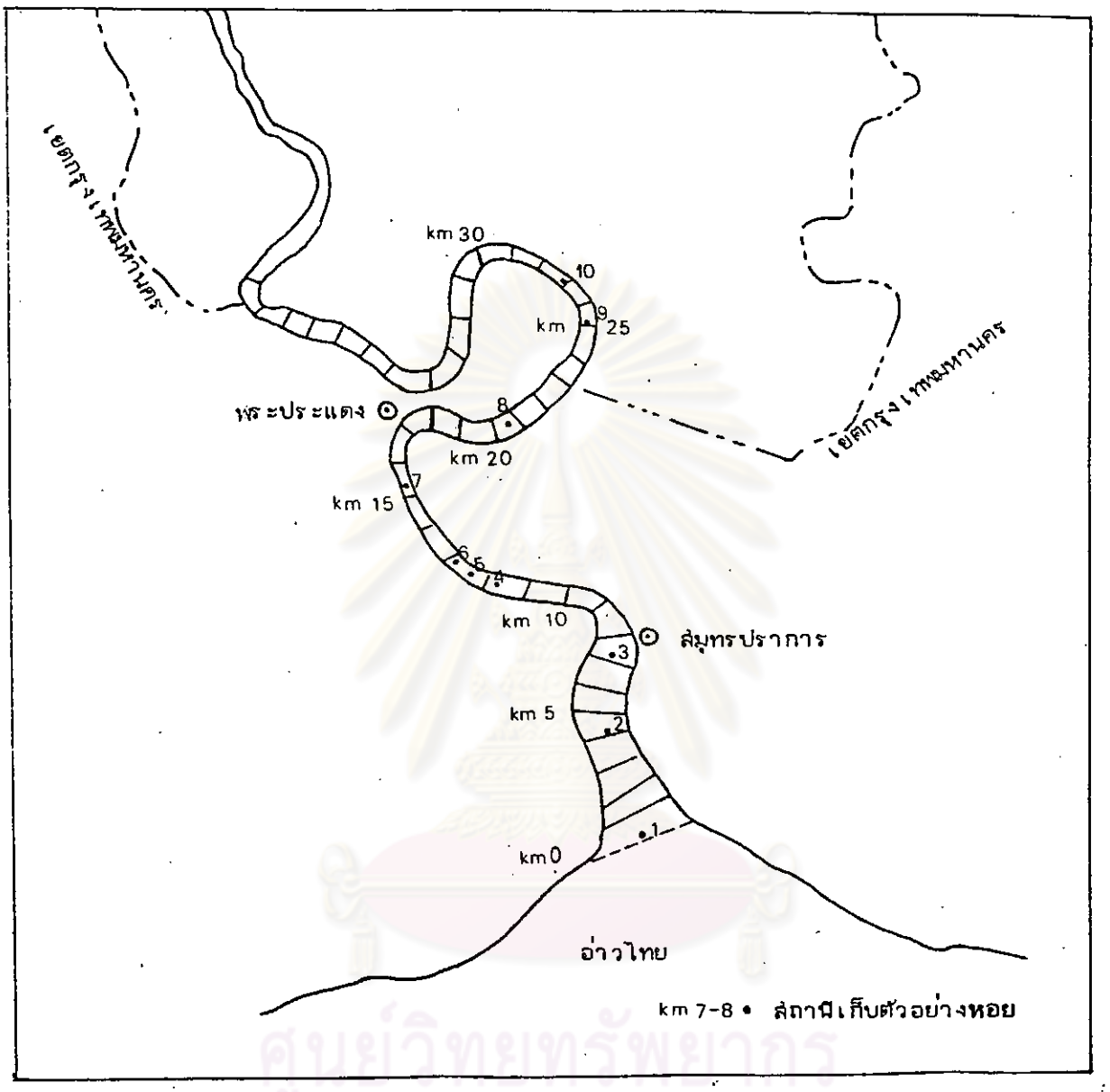
การแบ่งสถานที่เก็บตัวอย่างในบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง ตั้งแต่ปากน้ำเจ้าพระยามาจนถึงการท่าเรือแห่งประเทศไทย ได้แบ่งสถานที่เก็บตัวอย่างออกเป็น 10 สถานี ได้แก่

สถานีที่	จุดสังเกต	ระยะจากปากแม่น้ำ (กม.)
1	โรงพยาบาลป้อมพระจุลจอมเกล้าฯ	0
2	ปากคลองสรรพสามิต	4.0
3	ศาลากลางจังหวัดสมุทรปราการ	7.2
4	ท้ายโรงงานบริษัทไทยอาซาฮีโซดาไฟ (ปากคลองสองพี่น้อง)	11.8
5	หน้าโรงงานบริษัทไทยอาซาฮีโซดาไฟ	12.3
6	เหนือโรงงานบริษัทไทยอาซาฮีโซดาไฟ	12.8
7	โรงเรียนวัดครุนอก	15.3
8	วัดบุณหังสนาวาส	20.7
9	โรงกลั่นน้ำมันบางจาก	25.0
10	การท่าเรือแห่งประเทศไทย	27.0

ตัวอย่างสัตว์น้ำที่ใช้เป็นตัวบ่งชี้ระดับของสารปรอทในสิ่งมีชีวิต สำหรับการวิจัยนี้คือหอยแมลงภู่จึงทำการเก็บตัวอย่างจากปุ่มหินร่อง บริเวณปากน้ำเจ้าพระยาเป็นระยะทางประมาณ 5 กิโลเมตร จากปากแม่น้ำแล้วทำการศึกษาปริมาณสารปรอทเปรียบเทียบกับตัวอย่างหอยชนิดเดียวกันซึ่งเก็บมาจากบริเวณจังหวัดระยองโดยทำการเก็บตัวอย่าง 2 ครั้งใน 1 ปี (ดังแสดงในรูปที่ 8)

4.2 การเก็บรักษาตัวอย่าง

ตัวอย่างน้ำบรรจุในขวดพลาสติกส่วนที่จะนำไปวิเคราะห์สารปรอทรวมจะทำการเติมกรดไนตริกเข้มข้นลงไปประมาณ 5ml. ต่อตัวอย่างน้ำ 1 ลิตร (EPA 1971, 1979, Standard Method, 1980) ส่วนตัวอย่างน้ำที่จะวิเคราะห์ปรอทอินทรีย์และตัวอย่างหอยจะถูกแช่เย็นที่ -20 องศาเซลเซียส



รูปที่ 8 แผนที่บริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง แสดงสถานีเก็บตัวอย่าง (1–10)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 สารเคมีที่ใช้

เป็นสารเคมี Analytical grade

- เมอคิวริคออกไซด์ (Mercuric Oxide, HgO)
- โปตัสเซี่ยมเปอร์มังกาเนต (Potassium Permanganate, $KMnO_4$)
- โปตัสเซี่ยมเปอร์ซัลเฟต (Potassium Persulfate, $K_2S_2O_8$)
- ไฮดรอซี่ลามีนซัลเฟต (Hydroxylamine Sulfate)
- โซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride , NaCl)
- โซเดียมบอโรไฮไดด์ (Sodium Borohydride, $NaBH_4$)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide, NaOH)
- เมธิลเมอคิวริคคลอไรด์และ เอธิลเมอคิวริคคลอไรด์ (Methyl & Ethylmercuric Chloride, CH_3HgCl และ C_2H_5HgCl)
- พารา-ไนโตร-เบนซิลคลอไรด์ (Para-nitro-benzylchloride, $NO_2C_6H_4CH_2Cl$)
- เบนซีน (Benzene, C_6H_6)
- โซเดียมอะซีเตด (Sodium Acetate, CH_3COONa)
- แอนไฮดรัสโซเดียมซัลเฟต (Anhydrous Sodium Acetate, Na_2SO_4)
- กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid,HCl)
- คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper Sulfate, $CuSO_4$)
- กรดซัลฟูริค (Sulfuric Acid, H_2SO_4)

4.4 วัสดุอุปกรณ์

4.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในภาคสนาม

- DO meter
- Thermometer
- pH meter

- กระบอกเก็บตัวอย่างน้ำ
- ขวดเก็บตัวอย่างน้ำ

4.4.2 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ปริมาณปรอทรวมและปรอทที่ละลายน้ำได้และในตัวอย่างหอยแมลงภู่

- ชุดเครื่องกรองพร้อม vacuum pump
- Ultra homoginizer
- Atomic Absorption Spectrophotometer Perkin-Elmer Model 4000 ใช้ร่วมกับ Mercury Hydride System (MSH-10)

4.4.3 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ปริมาณปรอทอินทรีย์

- Glass Column
- Electron Capture Detector (ECD-R1A; ^{63}Ni, 10mCurie)
- Gas Chromatographic Analyzer (Shimadzu model GC-R1A)และ GC Processor (model RPR-G1)

4.4.4 อุปกรณ์ประเมินผลทางสถิติ

ไมโครคอมพิวเตอร์ Apple II และเครื่องพิมพ์ โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ Statistic with Daisy และโปรแกรมกราฟฟิก Apple Plot

4.5 <u>วิธีการทดลอง</u>

4.5.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานและสารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณปรอทรวมและปรอทที่ละลายน้ำ สารเคมีที่ใช้เป็น Analytical Grade ทั้งสิ้น

(1) สารละลายมาตรฐาน (standard solution)

ก. สต๊อกของสารละลายมาตรฐานของปรอท (stock mercury standard) (1000 ไมโครกรัม-ปรอท/มล.)

ละลาย 1.080 กรัมของสารประกอบ (II) ออกไซด์ (HgO) ในกรดไฮโดรคลอริค (1+1) (ใช้ให้น้อยที่สุดจนละลายหมด) แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่นจากน้ำเติมโปรตัสเซียมเปอร์มังกาเนต ($KMnO_4$) 5% 2-3 หยด

ข. สารละลายใช้งานของสารละลายมาตรฐานของปรอท (working standard mercury solution) ใช้สารละลายในข้อ 4.5.1 ก ปริมาตร 100 ไมโครลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยกรดไนตริก 1.5% ได้ปริมาตรเป็น 100 มล. จากนั้นทำให้สารละลายนี้เสถียรด้วยการเติมสารโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต ($KMnO_4$) 5% 2-3 หยด

(2) สารละลาย โปตัสเซียมเปอร์ซัลเฟต ($K_2S_2O_8$) 5 กรัมละลายน้ำน้ำกลั่นเป็น 100 มล.

(3) สารละลายไฮดรอกซีลามีไฮโดรคลอไรด์ (hydroxylamine hydrochloride) ละลาย 12 กรัมของโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และ 12 กรัมของไฮดรอกซีลามีซัลเฟต (hydroxylamine sulfate) ในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มล.

(4) สารละลาย โปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต ($KMnO_4$) 5% ละลาย โปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต 5 กรัม ละลายน้ำกลั่นจนได้ 100 มล.

(5) สารละลายโซเดียมบอโรไฮไดด์ ($NaBH_4$) ละลายโซเดียมบอโรไฮไดด์ 3 กรัม และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ 100 มล. ($NaBH_4$ 3% + NaOH 1% W/V) แล้วกรองด้วยกระดาษกรอง GFC

4.5.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานและสารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณปรอทอินทรีย์ในตัวอย่างน้ำ

(1) สารละลายมาตรฐาน (standard solution)

ก. สารละลายมาตรฐานอัลคิลเมอคิวรี (alkylmercury standard solution) ทั้ง เมธิลเมอคิวรีและ เอธิล

เมอคิวรี โดยละลาย 0.01 กรัมของ เมธิล เมอคิวริคคลอไรด์ (CH_3HgCl) ในเบนซีน (C_6H_6) ให้ได้ปริมาตรเป็น 100 มล. แล้วเจือจางต่อด้วยเบนซีนจนได้สต๊อกที่มีความเข้มข้น 1 มล. = 1 ไมโครกรัมของ เมธิลเมอคิวริคคลอไรด์ (นำสารละลายจากขั้นแรกมา 1 มล. ละลายด้วยเบนซีนจนได้เป็น 100 มล.) จากนั้นทำการเจือจางต่อด้วยสารอินเทอนัลสแตนดาร์ด (ใช้สารสต๊อกอินเทอนัลสแตนดาร์ด ซึ่งเตรียมตามวิธีในข้อ 4.5.1.ข มาเจือจาง 10 เท่าด้วยเบนซีน) จนได้สารละลายเมทธิลเมอคิวรีที่มีความเข้มข้น 1 มล. = 0.1 ไมโครกรัม เมทธิลเมอคิวรี = 0.1 ไมโครกรัม อินเทอนัลสแตนดาร์ด (เจือจางลง 10 เท่า)

ข. สารละลายสต๊อกอินเทอนัลสแตนดาร์ด (stock internal standard solution) ละลายพารา-ไนโตร-เบนซิลคลอไรด์ ($NO_2C_6H_4CH_2Cl$) 0.01 กรัม ด้วยเบนซีนจนได้ปริมาตรเป็น 100 มล. แล้วเจือจางด้วยเบนซีนต่อไปอีกจนได้ความเข้มข้นของอินเทอนัลสแตนดาร์ดเป็น 1 มล. = 1 ไมโครกรัม พารา-ไนโตร-เบนซิลคลอไรด์

(2) สารละลายใช้งานของอินเทอนัลสแตนดาร์ด (working internal standard solution) นำสารละลายในข้อ 4.5.2.1 ข. มาใช้

(3) สารละลายซิสทีนอะซีเตต (Cystein-Acetate solution) ละลาย 1 กรัมของแอลซิสทีนไฮโดรคลอไรด์ (L-Cystein-HCl) 0.38 กรัม โซเดียมอะซีเตต (CH_3COONa) และ 12.5 กรัม แอนไฮดรัส โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มล. ต้องเตรียมใหม่ทุก ๆ วัน

(4) สารเบนซีน (C_6H_6 , analytical grade)

(5) สารละลายกรดไฮโดรคลอริค 2N และ 6N

(6) สารละลายคอบเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) 1% (W/V)

4.5.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานและสารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณปรอทอินทรีย์ในตัวอย่างหอยแมลงภู่

(1) สารละลายมาตรฐาน (standard Solution)

มีวิธีการเตรียมเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.5.2.(1)

(2) สารละลายใช้งานของอินเทอนัลสแตนดาร์ด (working internal standard solution) นำสารละลายในข้อ 4.5.2 (1) ข มาใช้

(3) สารละลายซิลิกอนอะซิเตต 0.1% ละลาย 0.1 กรัม ของโซเดียมอะซิเตต (CH_3COONa) และ 13 กรัมของแอนไฮดรัสโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มล. ต้องเตรียมใหม่ทุก ๆ วัน

(4) กรดไฮโดรคลอริค (HCl) เจือจาง 2N

(5) สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) 1 % (W/V)

4.5.4 การวิเคราะห์ปริมาณปรอทโดยใช้เครื่อง AAS

4.5.4.1 Standard condition ของเครื่องอะตอมมิคแอปซอปชั่น

ความยาวคลื่น 253.6 นาโนเมตร

พลังงาน 50-51 หน่วย

slit width 0.7 นาโนเมตร

ก๊าซตัวพา ก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์

ความดันก๊าซ 2.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

อัตราการไหลก๊าซ 1,100 มิลลิลิตรต่อนาที

4.5.4.2 การเตรียมและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

การเตรียมตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารปรอทรวม (total mercury) เริ่มด้วยการนำตัวอย่างน้ำซึ่งเก็บรักษา (preserve) ไว้ด้วยกรดไนตริกดังกล่าว มาทำการผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน (homoginized) ในแต่ละสถานีตามแนวขวางด้วยปริมาตรเท่า ๆ กัน (อย่างละ 100 มิลลิลิตร (มล.)) เมื่อผสมเข้ากันแล้วแบ่งมา 100 มล. เพื่อนำไปสะกัดสารปรอทรวมดังจะได้กล่าวถึงวิธีการสะกัดภายหลัง

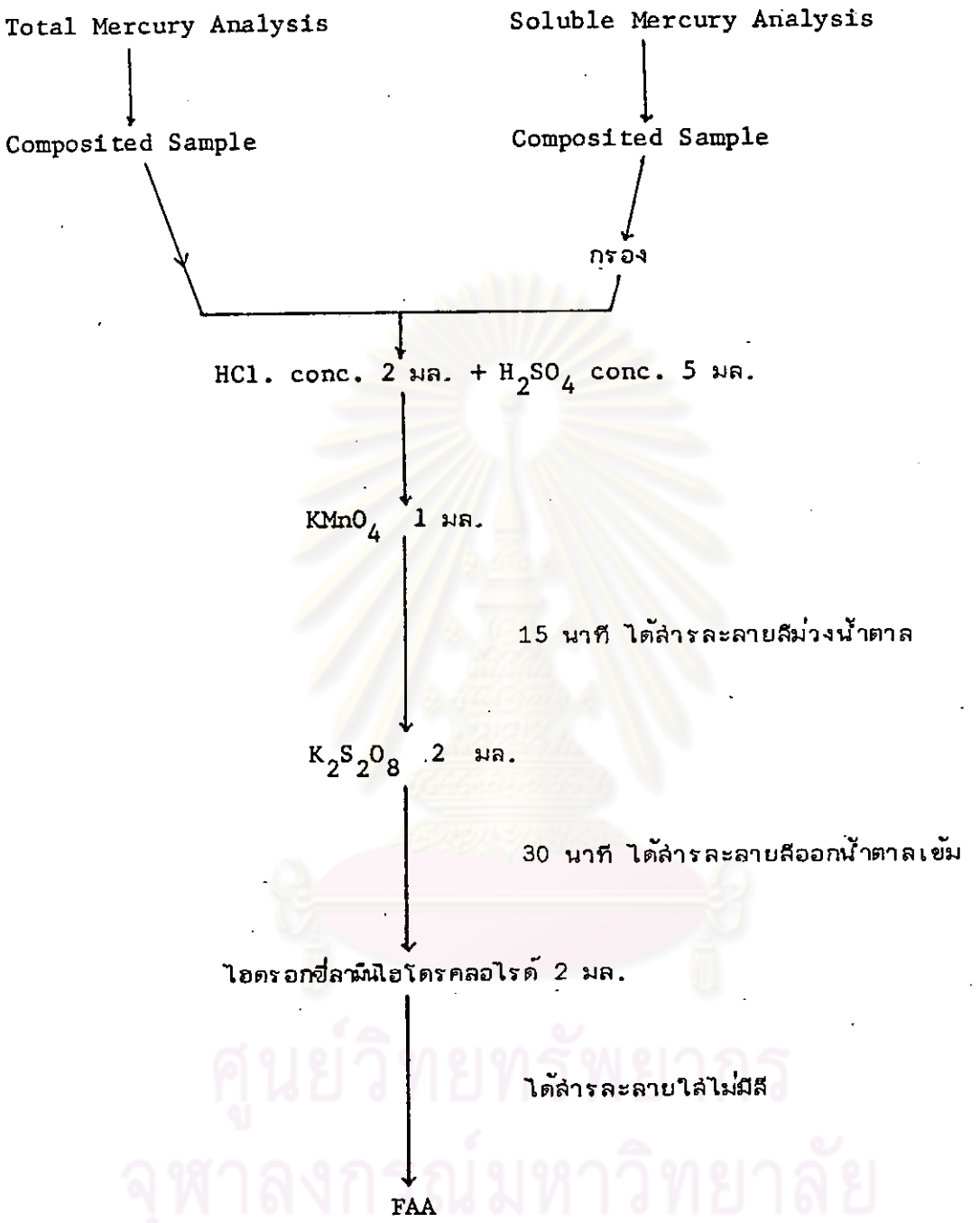
การเตรียมตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารปรอทที่ละลายน้ำ (soluble mercury) ต้องผ่านขั้นตอนของการผสมเช่นเดียวกับตัวอย่างที่จะวิเคราะห์หาปรอทรวม และเมื่อแบ่งตัวอย่างที่ผสมเข้ากันดีแล้วมา 100 มล. จะต้องผ่านการกรองด้วยกระดาษกรองขนาด 45 µm (ใช้กระดาษกรอง Whatman หมายเลข 5) เพื่อกรองเอาตะกอนแขวนลอย (particulate matter) ออกเสียก่อน แล้วนำไปสะกัดสารปรอท

หลักการในการสะกัดสารปรอทเพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารปรอทรวมและสารปรอทที่ละลายน้ำได้มีดังนี้คือสารปรอทในตัวอย่างจะถูกออกซิไดซ์เป็นเมอร์คิวริคอิออน (Hg^{2+}) ด้วยสารโปแตสเซียมเปอร์มังกาเนตในสารละลายกรดไนตริกแล้วใส่ไฮดรอกซิลลามีนไฮโดรคลอไรด์ลงไปเพื่อกำจัดเปอร์แมงกาเนตที่เหลือแล้วจึงเติมสตัสซัสคลอไรด์ลงไปเพื่อเปลี่ยน เมอร์คิวริคอิออนให้เป็นไอปรอท ($Hg^{0}\uparrow$) (Hatch & ott, 1968) ต่อมาได้มีการเพิ่มออกซิไดซ์ซิ่งเอเจนโดยใช้โปแตสเซียมเปอร์มังกาเนตร่วมกับโปแตสเซียมไฮโอซัลเฟต เพื่อการออกซิไดซ์อย่างสมบูรณ์ (EPA, 1971&1979)

นำตัวอย่างน้ำที่เตรียมไว้แล้วปริมาตร 100 มล. เติม 2.5 มล. ของกรดไนตริกเข้มข้นและ 5 มล.ของกรดไฮโดรคลอริคเข้มข้นแล้วมาเติม 1 มล. ของสารละลายโปแตสเซียมเปอร์มังกาเนต ทิ้งไว้ 15 นาที จากนั้นเติม 2 มล.ของสารละลายโปแตสเซียมเปอร์ซัลเฟต ทิ้งไว้ 30 นาที แล้วเติมสารละลายของไฮดรอกซีลามีนไฮโดรคลอไรด์ 2 มล. (EPA, 1971 & 1979) (ดังรูปที่ 9 ก) จากนั้นเก็บตัวอย่างที่สะกัดแล้วไว้ในขวดพลาสติครอการวิเคราะห์ด้วย FAA

4.5.4.3 การเตรียมและวิเคราะห์ตัวอย่างหอยแมลงภู่

การเตรียมตัวอย่างหอยเพื่อวิเคราะห์ปริมาณปรอทรวม นำหอยที่แยกเนื้อไว้มาแกะแล้วทำการ Homoginize ด้วยเครื่อง Ultra Homoginizer จากนั้นแบ่งส่วนหนึ่งไปหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (ชั่งน้ำหนักเปียกก่อน จากนั้นอบแห้งที่ 80 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ แล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น) อีกส่วนหนึ่งนำมาตากแห้ง แล้วจึงนำตัวอย่าง 2 กรัมมาวิเคราะห์หาปรอท



รูปที่ 9 ข แสดงผังการวิเคราะห์สารปรอทรวมและสารปรอทที่ละลายน้ำได้

I15716868.

นำตัวอย่างหอยแห้งมา 2 กรัม ทำการย่อยสลายเบื้องต้น (predigestion) ก่อน โดยใช้กรดไนตริกและกรดซัลฟูริคเข้มข้น (1 : 1) ปริมาตร 20 มล. เติมลงไปแล้วอุ่นในถาดน้ำร้อน 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที จนได้สารละลายใส จากนั้นเติมสารละลายของ โปตัสเซียมเปอร์ซัลเฟต 10 มล. และน้ำกลั่น 50 มล. จากนั้นอุ่นในถาดน้ำร้อน 95 องศาเซลเซียสต่อเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในฟลาสค์ที่มีจุกปิดไว้หลวม ๆ) ทิ้งไว้จนเย็นแล้วเติมไฮดรอกซีลามีนไฮโดรคลอไรด์ 20 มล. แล้วปรับปริมาตรเป็น100 มล (Menasaveta & Chevaparanapivat, 1979) เก็บตัวอย่างไว้ในขวดพลาสติกรอการวิเคราะห์ด้วย FAA (Flameless Atomic Absorption) มีขั้นตอนการละลายดังรูปที่ 9ข)

4.6 การสร้างเส้นมาตรฐาน (standard calibration curve)

4.6.1 กราฟของสารละลายมาตรฐานในการวิเคราะห์ปริมาณปรอทรวมและปรอทที่ละลายน้ำ (blankใช้ pooled sample ของตัวอย่างน้ำ)

ชุดที่ 1 สำหรับตัวอย่างในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงมิถุนายน 2527 ได้สมการดังนี้ (แสดงในรูปที่ 10 ก)

Absorbance = 0.003 + 0.812 x ไมโครกรัมปรอท

สมการนี้ได้จากสารละลายมาตรฐานเข้มข้นช่วง 0.005-0.200 ไมโครกรัมได้ค่า

สัมประสิทธิ์ของค่าสหสัมพันธ์ (r) = 0.999

สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (r^2) = 99.73 %

พิสูจน์แล้วค่าความชัน 0.812** เชื่อถือได้ที่ความเชื่อมั่น 99%

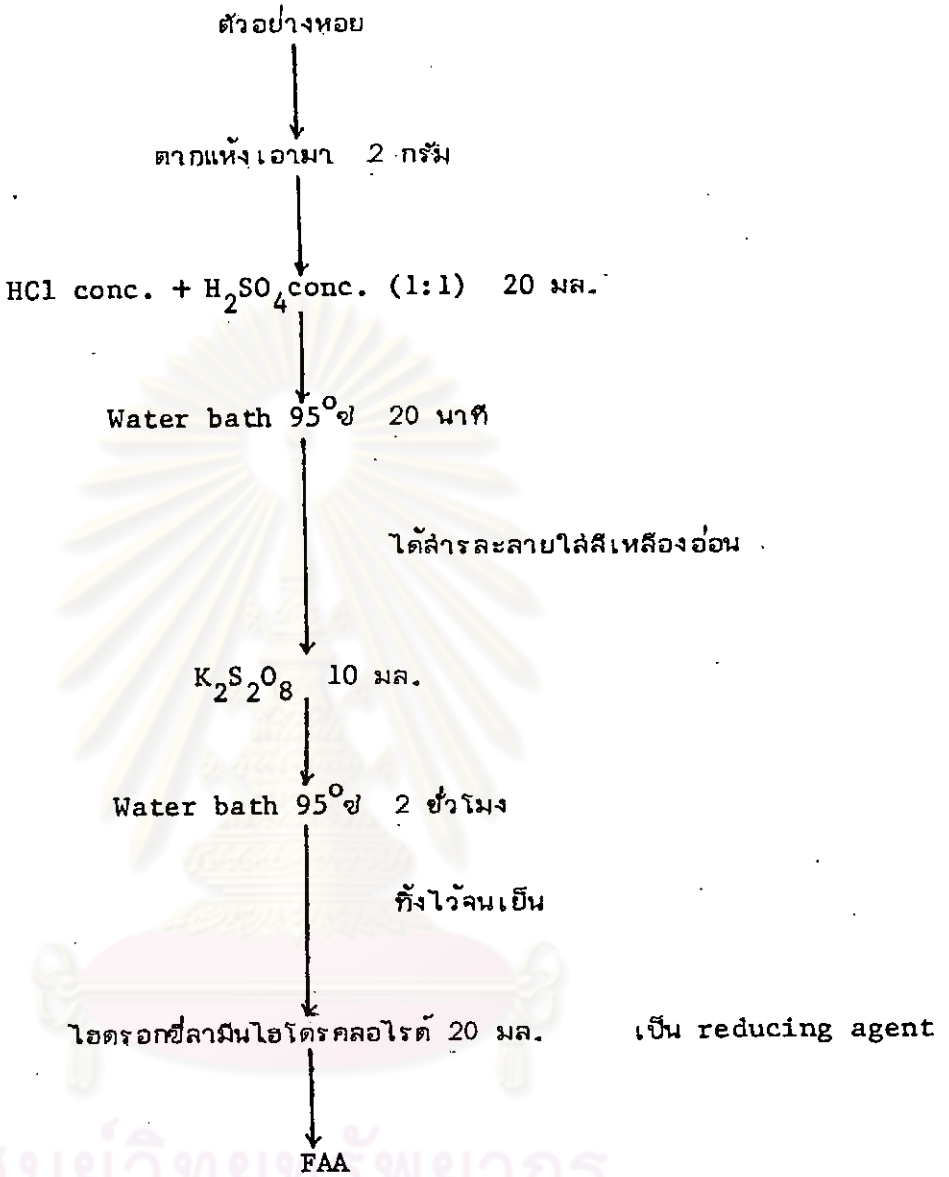
(ค่า t คำนวณ = 53.928 ค่า t_α = 0.01, df n-2 = 8 = 3.355

โดยมีสมมุติฐาน H_o : B = 0, H_I : B ≠ 0)

ค่าขีดจำกัดในการวิเคราะห์ปริมาณปรอท (detection limit) = 0.57 นาโนกรัม/25 มล.)

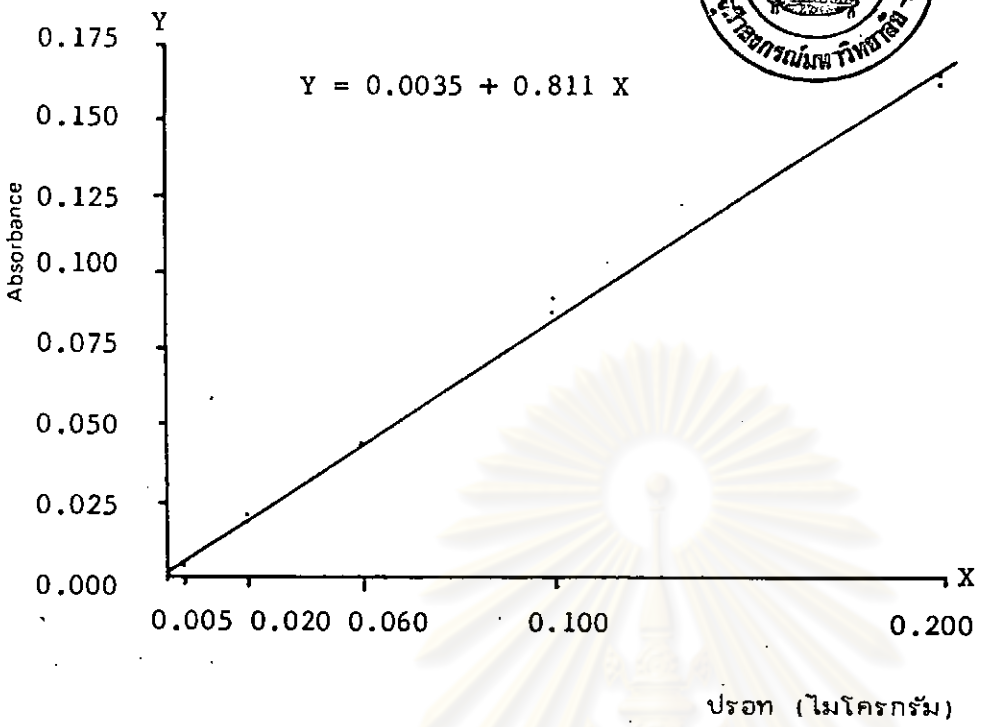
ค่าความไวในการวิเคราะห์ปริมาณปรอท (sensitivity) = 1.23 นาโนกรัม/25 มล.)

ต่อค่า Absorbance ที่เพิ่มขึ้น 0.001 หน่วย

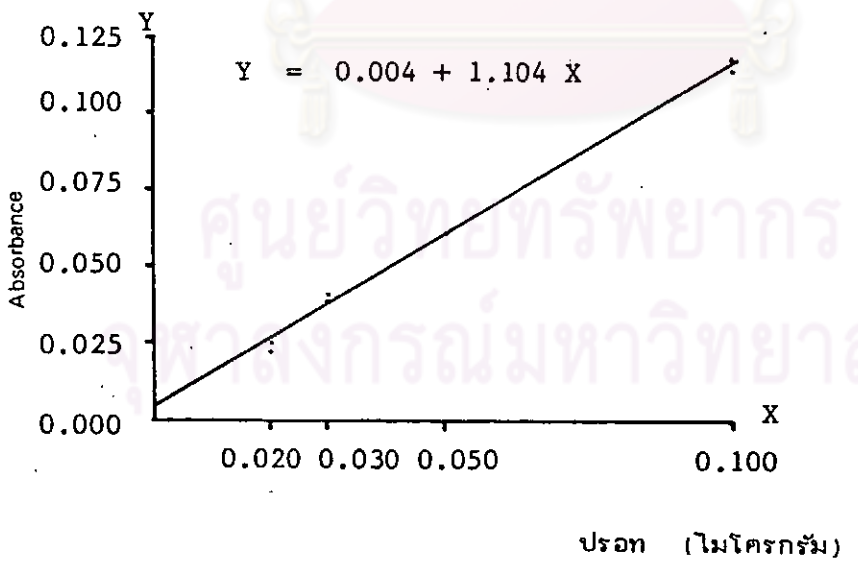


รูปที่ 9 ข แสดงผังการวิเคราะห์สารปรอทรวมในตัวอย่างหอย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 10 ก แสดงเส้นมาตรฐานของสารปรอทที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ (กุมภาพันธ์ - มิถุนายน พ.ศ.2527)



รูปที่ 10 ข แสดงเส้นมาตรฐานของสารปรอทที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ (สิงหาคม-ธันวาคม พ.ศ. 2527)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชุดที่ 2 สำหรับตัวอย่างในช่วงเดือนสิงหาคมถึงธันวาคม 2527 ได้สมการดังนี้ (แสดงในรูปที่ 10 ข)

Absorbance = 0.004 + 1.104 x ไมโครกรัมปรอท สมการนี้ได้จากสารละลายมาตรฐานเข้มข้นช่วง 0.020-0.100 ไมโครกรัม ได้ค่า

สัมประสิทธิ์ของค่าสหสัมพันธ์ (r) = 0.998

สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (r^2) = 99.55%

พิสูจน์แล้ว ค่าความชัน 1.104** เชื่อถือได้ที่ความเชื่อมั่น 99% (ค่า t คำนวณ = 36.481 มากกว่าค่า $t_{\alpha} = 0.01, df_{n-2} = 6 = 3.707$ โดยมีสมมุติฐานเช่นเดียวกับครั้งแรก)

ค่ายึดจำกัดในการวิเคราะห์ปริมาณปรอท (detection limit) = 0.52 นาโนกรัม/25 มล.

ค่าความไวในการวิเคราะห์ปริมาณปรอท (sensitivity) = 0.91 นาโนกรัม/25 มล. ต่อค่าแอปซอปแบนส์ที่เพิ่มขึ้น 0.001 หน่วย

4.6.2 กราฟของสารละลายมาตรฐานในการวิเคราะห์ปริมาณปรอทรวมในหอยแมลงภู่ (blank ใช้ pooled Sample ของตัวอย่างหอย)

สมการที่ได้คือ (แสดงในรูปที่ 11)

Absorbance = 0.002 + 0.852 x ไมโครกรัมปรอท

สมการนี้ได้จากสารละลายมาตรฐานในช่วงความเข้มข้น 0.02-0.1 ไมโครกรัม ได้ค่า

สัมประสิทธิ์ของค่าสหสัมพันธ์ (r) = 0.990

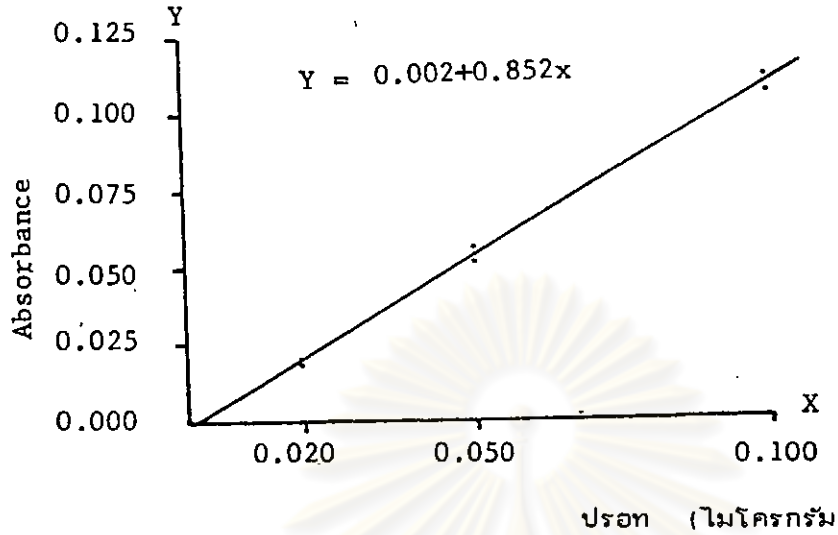
สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (r^2) = 98.02 %

พิสูจน์แล้ว ค่าความชัน 0.852** เชื่อถือได้ที่ความเชื่อมั่น 99% (ค่า t คำนวณ = 14.058 ค่า $t_{\alpha} = 0.01, df_{n-2} = 4 = 4.604$ โดยมีสมมติฐานเหมือนข้อ 3.13.1)

ค่ายึดจำกัดของการวิเคราะห์ปริมาณปรอท (detection limit) = 1.70 นาโนกรัม/20 มล.

ค่าความไวในการวิเคราะห์ปริมาณปรอท (sensitivity) = 1.17 นาโนกรัม/20 มล.

ต่อค่า Absorbance ที่เพิ่มขึ้น 0.001 หน่วย



รูปที่ 11 แสดงมาตรฐานของสารปรอทที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างหอยแมลงภู่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.6.3 การวัดค่าความแม่นยำ (precision)

1. การวัดค่าความแม่นยำของเครื่องอะตอมมิคแอปล่อปชั่นโดยทดสอบกับสารชี้รอทมาตรฐาน

100mg. สารปรอทมาตรฐาน ในสารละลาย 25 มล.ของ 1.5% กรดไนตริก เติมสารเอนดีโฟม 3 หยด ได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวัดความแม่นยำ (precision) ของสารมาตรฐานปรอท

จำนวนซ้ำ	ค่าแอปล่อบแบนส์ที่อ่านได้
1	0.043
2	0.048
3	0.045
4	0.045
5	0.045
6	0.048
7	0.045
8	0.046
9	0.051
10	0.044

ค่าเฉลี่ยเป็น 0.046

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เป็น 0.002

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSD) = 5.12 %

2. โดยทดสอบกับสารตัวอย่าง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

pooled sample 25 มล. เติมสารเอนติโฟม 3 หยดได้ผลดัง

ตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การวัดความแม่นยำ(precision)ของสารตัวอย่าง

จำนวนซ้ำ	ค่าแอปล่อปแบนส์ที่อ่านได้
1	0.029
2	0.028
3	0.028
4	0.030
5	0.028
6	0.029
7	0.031
8	0.029
9	0.028
10	0.030

ค่าเฉลี่ยเป็น 0.029

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เป็น 0.001

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพันธ์ (RSD) = 3.63 %

4.6.4 การวัดการคืนกลับ (recovery)

4.6.4.1 สำหรับการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลของตัวอย่างน้ำ

ก. เตรียม pooled sample ผ่านขั้นตอนการสะกัดตามวิธีที่เลือกใช้ จากนั้นแบ่งมาซ้ำละ 25 มล. เติมสารแอนติโฟม 3 หยด

ข. pooled sample ชุดเดียวกับข้อ ก เติมสารปรอทที่ทราบปริมาณ (1000 ng) ลงไปผ่านขั้นตอนการสะกัดเช่นเดียวกับข้อ ก แบ่งมาและทำเช่นเดียวกับข้อ ก แล้วหา

% recovery จาก

$$\frac{\text{ปริมาณปรอทที่วัดได้ (3)} \times 100}{\text{ปริมาณปรอทในตัวอย่าง (1) + ปริมาณปรอทที่เติมลงไป (2)}}$$

หาค่า range of % recovery (ค่าพิสัย (range) ของ% recovery) ผลที่ได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 วัดการคืนกลับ(recovery)ของตัวอย่างน้ำ

Absorbance (จากข้อ ก.)	(1) นาโนกรัมปรอท (จากข้อ ก)	(2) นาโนกรัมปรอทที่เติมลงไป	Absorbance (จากข้อ ข)	(3) นาโนกรัมปรอท (จากข้อ ข)	% recovery
0.025	27.68	222.222	0.207	251.96	100.82
0.026	28.91	222.22	0.208	253.19	100.82
0.027	30.41	222.22	0.210	255.65	101.30
0.045	52.33	222.22	0.211	256.89	93.57
0.046	53.56	222.22	0.217	264.28	95.83
0.046	53.56	222.22	0.214	260.58	94.49
0.045	52.33	222.22	0.213	259.35	94.96
0.048	56.02	222.22	0.218	265.51	95.42

% recovery เฉลี่ย = 97.09 %

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 3.29

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSD) = 3.39 %

range of % recovery = 93.57 % ถึง 101.30 %

4.6.5.2 สำหรับการวิเคราะห์สารปรอทอนินทรีย์ของตัวอย่างหอยแมลงภู่

ก. เตรียม pooled sample หอยผ่านการ predigestion และการสะกัดจากนั้นแบ่งมาซ้ำละ 20 มล. เติมสารแอนตี้โฟม 3 หยด

ข. pooled sample หอย ชุดเดียวกับข้อ ก ที่ผ่านการ predigestion แล้วมาเติมสารปรอทที่ทราบปริมาณลงไป (40 ng) จากนั้นผ่านการสะกัดด้วยวิธีเดียวกับข้อ ก จากนั้นแบ่งมาซ้ำละ 20 มล. เติมสารแอนตี้โฟม 3 หยด แล้วหา % recovery เช่นเดียวกับข้อ 4.6.4.1 ผลที่ได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 วัดการคืนกลับ (recovery) ของตัวอย่างหอยแมลงภู่

Absorbance (จากข้อ ก)	(1) นาโนกรัมปรอท (จากข้อ ก)	(2) นาโนกรัมปรอทที่เติมลงไป	Absorbance (จากข้อ ข)	(3) นาโนกรัมปรอท (จากข้อ ข)	% recovery
0.038	36.502	40	0.084	78.065	102.04
0.032	31.125	40	0.074	67.465	94.84
0.035	33.813	40	0.076	69.585	94.27
0.031	21.886	40	0.063	55.805	90.17
0.031	30.229	40	0.067	60.045	85.50

% recovery เฉลี่ย = 93.36 %

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 6.13

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSD) = 6.57 %

range of % recovery = 85.50 % ถึง 102.04 %

4.7 การวิเคราะห์ปริมาณปรอทอินทรีย์โดยใช้เครื่อง GC

4.7.1 Standard condition ของเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟี่

กระแสไฟฟ้า	0.5	mA
range	0	
attenuation	5	มิลลิโวลท์
Carrier gas ก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์		
(ปราศจากออกซิเจน)		
อัตราการไหลของก๊าซ	50	มล./นาที
-GC-parameter		
injection temperature	210	°ซ
Detector temperature	210	°ซ
Column temperature	145	°ซ
-Cabulation-parameter		
chart speed	4	มิลลิเมตร/นาที
minimum area	210	ไมโครโวลท์/นาที
slope	700	ไมโครโวลท์/นาที
คอลัมน์ (column)		
ความยาวคอลัมน์	1600	มิลลิเมตร
เส้นผ่านศูนย์กลาง	3	มิลลิเมตร (I.D.)
Liquid phase	5% DEGS	
Supporting matterial	Chromosorb-W acid wash-DMCS	
Particle size	80-100 mash	
Aging temperature	210	°ซ
maximum temperature	225	°ซ
(คอลัมน์ของบริษัทซีมัลลุ)		

4.7.2 การเตรียมและการวิเคราะห์ปริมาณปรอทอินทรีย์ในตัวอย่างน้ำ

การเตรียมวิเคราะห์ปริมาณสารปรอทอินทรีย์ในตัวอย่างน้ำ (ที่แช่แข็งไว้) นำตัวอย่างน้ำที่ผสมกันแล้ว (เช่นเดียวกับการวิเคราะห์สารปรอทรวม) มา 100 มล. แล้วรอการวิเคราะห์ดังจะกล่าวต่อไป

หลักการสะกัดสารอินทรีย์ของปรอทออกจากตัวอย่างน้ำ ขั้นแรกทำการสลายปรอทอินทรีย์ให้เข้าจับตัวกับคลอไรด์ไอออนให้เกิดเป็น RHgCl ทำจนกว่าขบวนการจะเกิดขึ้นสมบูรณ์จากนั้นแยกสารปรอทอินทรีย์ออกมาด้วยการเกิดสารประกอบของปรอทอินทรีย์กับซิสทีนอะซิเตตเกิดเป็น $RHgSCH_2CH(NH_2)COOH$ จากนั้นแยก RHgCl ออกมาอีกครั้งจึงนำไปวิเคราะห์

วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเพื่อหาสารปรอทอินทรีย์เริ่มด้วยการเอาตัวอย่างที่ผสมกันแล้วมา 100 มล. เติมกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง 50 มล. กับสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต 10 มล. เขย่าให้เข้ากันในกรวยแยกสาร จากนั้นทำการสะกัดด้วยเบนซีน 20 มล. 2 ครั้ง และ 10 มล. 1 ครั้ง เก็บชั้นเบนซีนรวมกันไว้ (สะกัดครั้งละ 10 นาที) จากนั้นปรับสภาพให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ล้างครั้งละ 20 มล. จำนวน 4 ครั้ง (วัด pH จากสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ไขทิ้งจนแน่ใจว่ามีสภาพเป็นกลางโดยใช้กระดาษ pH) จากนั้นนำเบนซีนที่ล้างแล้วทั้ง 50 มล. มาสะกัดด้วยสารละลายซิสทีนอะซิเตตปริมาตร 10 มล. 1 ครั้ง (ใช้เวลาสะกัด 10 นาที) จากนั้นเก็บชั้นของซิสทีนอะซิเตต (ชั้นน้ำ) ไว้เติมกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง 5 มล. และสะกัดต่อด้วยสารละลายของอินเทอนัลสแตนดาร์ด 5 มล. จากนั้นเก็บชั้นของอินเทอนัลสแตนดาร์ดไว้ นำไปดูดน้ำออกด้วยผงโซเดียมซัลเฟตหนัก 1 กรัม ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง จึงเก็บเข้าหลอดขนาดเล็กรอการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC (gas-chromatography) (Phamaceutical Society of Japan, 1980)

แล้วดูขั้นตอนไว้ในหน้า 47

วัตถุประสงค์	ขั้นตอนการสะกัด
ตัวอย่างมีปรอทอินทรีย์ในรูป RHgX	– ตัวอย่างน้ำปริมาตร 100 มล. เติมกรด 6N HCl 50 มล. $CuSO_4$ 10 มล.
ได้ RHgCl ในกรดไฮโดรคลอริค	– สะกัดด้วยเบนซีน 20 มล. 2 ครั้ง 10 มล. 1 ครั้ง เก็บชั้นเบนซีนไว้
ล้างเบนซีนเพื่อให้ RHg^+ พร้อมที่จะจับตัวกับซิสทีนอะซิเตต	– ล้างด้วย NaCl ครั้งละ 20 มล. 4 ครั้ง (ครั้งละ 1 นาที) ตรวจให้แน่ใจว่าน้ำล้างมีสภาพเป็นกลาง (ใช้กระดาษวัดpH)
RHg^+ จะจับตัวกับซิสทีนอะซิเตตเกิดเป็น $RHgSCH_2CH(NH_2)COOH$	– สะกัดชั้นของเบนซีนด้วยสารละลายของซิสทีนอะซิเตต 1 ครั้ง (10 นาที)
เป็นการสะกัด RHg^+ ลงสู่ชั้นของเบนซีนอีกครั้งโดยอยู่ในรูปของ RHgCl และเป็นการเติมอินเทอนัลสแตนดาร์ดด้วย	– ปรับ pH ให้เป็นกรดด้วย 2HCl 5 มล. และสกัดด้วยสารละลายของอินเทอนัลสแตนดาร์ด (5 มล.)
เป็นการดูดน้ำออกจากชั้นเบนซีน	– เก็บชั้นของเบนซีนมาดูดน้ำออกด้วย Na_2SO_4 (1 กรัม) นาน 1 ชั่วโมง
	– เก็บชั้นของเบนซีนไว้รอการวิเคราะห์ด้วย GC

แสดงขั้นตอนการสะกัดสารปรอทอินทรีย์จากตัวอย่างน้ำ (สวล., 2526 ประยุกต์จาก Phamaceutical Society of Japan, 1980)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.7.3 การเตรียมและการวิเคราะห์ปริมาณปรอทอินทรีย์ในหอยแมลงภู่

นำตัวอย่างหอยที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20°ซ มาละลายน้ำแข็งแล้วนำมาบดให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่อง Ultra Homoginizer (ประมาณ 40,000 รอบต่อนาที)

ชั่งตัวอย่างหอยส่วนที่บดเข้ากันดีแล้วประมาณ 10 กรัม ใน conical flask จากนั้นเติม กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 50 มล. ทิ้งค้างคืนจะได้สารละลายใส่ สีน้ำตาลเข้มเติมน้ำลงไปอีก 50 มล. นำใส่ในกรวยส่วนกัดเติมคอปเปอร์ซัลเฟต 5 มล. และส่วนกัดด้วยเบนซีนครั้งละ 40 มล. 3 ครั้ง ถ้าจำเป็นอาจต้องใช้เครื่องปั่นแยกเก็บชั้นเบนซีนไว้ (เขย่าครั้งละประมาณ 5 นาที) แล้วล้างชั้นเบนซีนนั้นด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ครั้งละ 20 มล. ประมาณ 5 ครั้ง (ครั้งละ 1-2 นาที) จน pH ของชั้นโซเดียมคลอไรด์ที่ทิ้งมี pH เป็นกลาง นำเบนซีนที่ล้างแล้วส่วนกัดด้วยสารละลายแอล-ซิสทีนอะซีเตต 8 มล. (เขย่า 10 นาที) เก็บชั้นของซิสทีนเติมกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง จนได้สารละลายใส่ (เติมประมาณ 2 มล.) จากนั้นส่วนกัดด้วย Internal standard 5 มล. (เขย่า 5 นาที) จากนั้นเก็บชั้นเบนซีนมาดูดน้ำออกด้วยโซเดียมซัลเฟต 1 ชั่วโมงแล้วนำไปวิเคราะห์หาปรอทอินทรีย์ด้วยเครื่อง GC ดังแสดงไว้ในรูปที่ 12 ก

4.7.4 การสร้างเส้นมาตรฐานในการวิเคราะห์ปริมาณปรอทอินทรีย์

4.7.4.1 การสร้างเส้นมาตรฐานในการวิเคราะห์ปริมาณปรอทอินทรีย์ในน้ำ

แสดง Chromatogram ในรูปที่ 12 ข

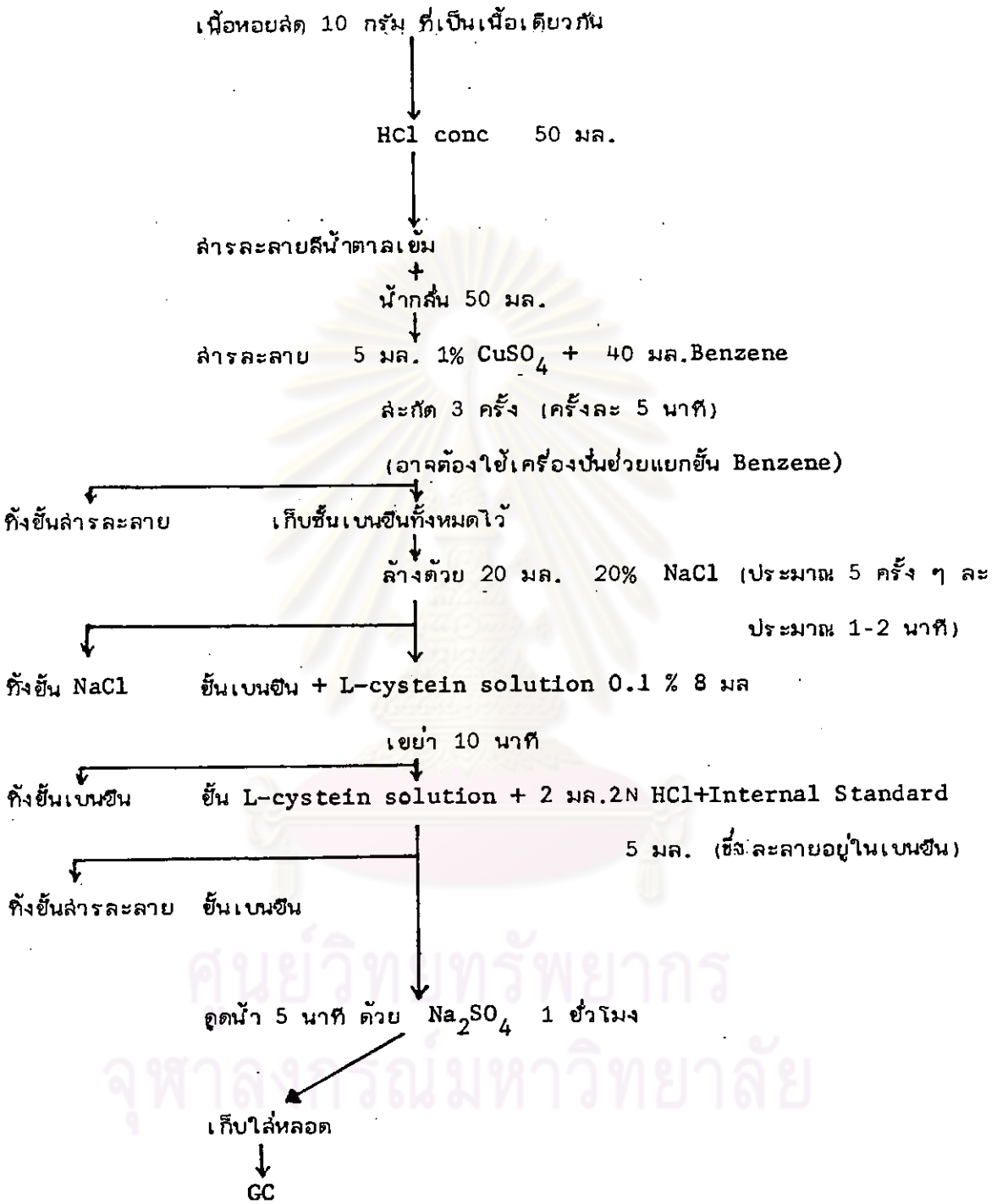
เพื่อให้แน่ใจว่า condition ของการวิเคราะห์สารมาตรฐานและสารตัวอย่างเป็นอันเดียวกัน จึงได้มีการสร้างเส้นมาตรฐานทุกครั้งที่วิเคราะห์

กราฟของสารละลายมาตรฐานในการวิเคราะห์ปริมาณปรอทอินทรีย์ในน้ำจำเป็นต้องทำเป็นประจำทุกวันที่วิเคราะห์ตัวอย่าง โดยใช้ระดับความเข้มข้น 0.05-0.25 นาโนกรัมของสารปรอทอินทรีย์มาตรฐานต่อ 5 ไมโครลิตร ทำเป็น 3 ระดับความเข้มข้นได้แก่ 0.05, 0.125, 0.250 นาโนกรัมต่อ 5 ไมโครลิตร

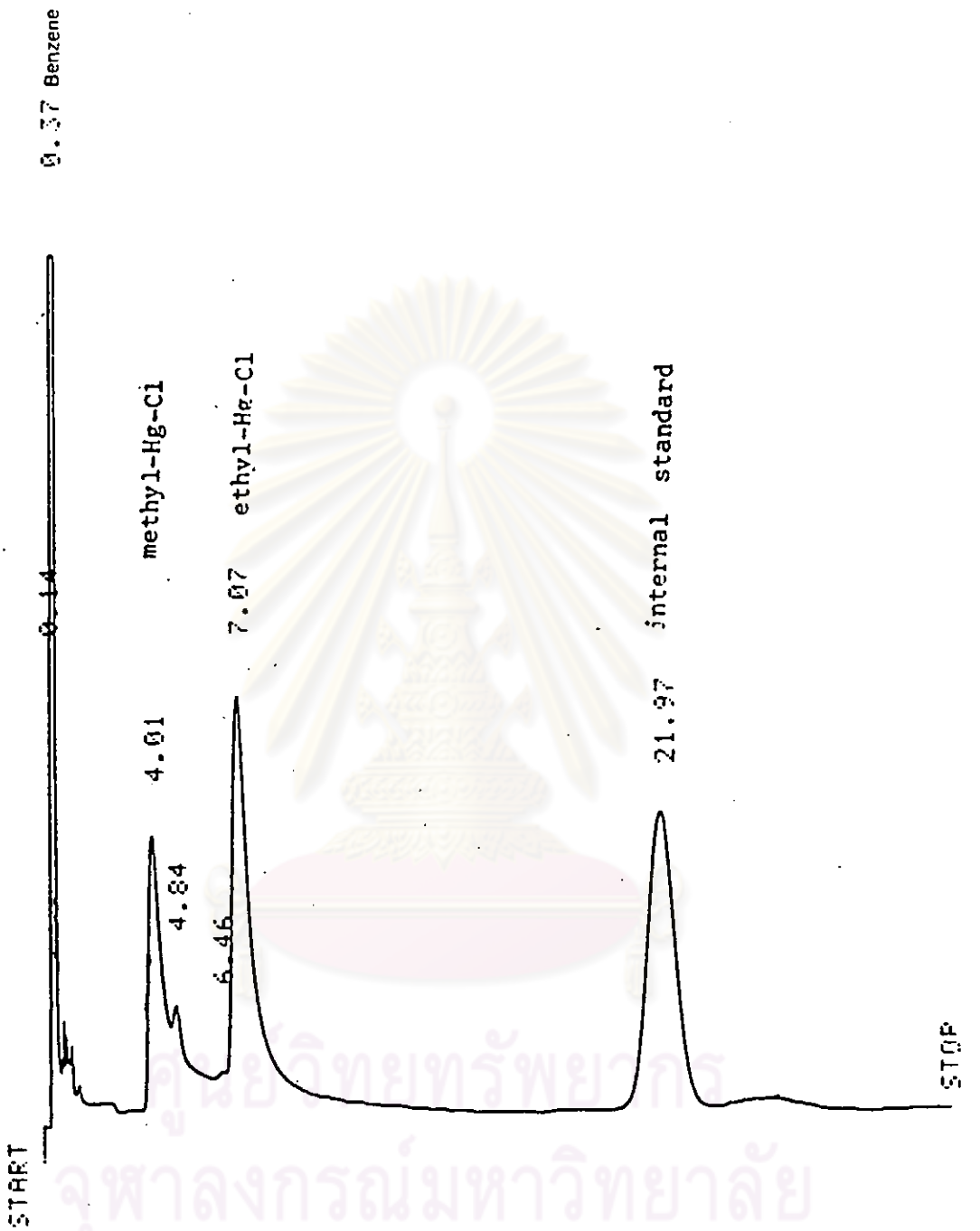
ตัวอย่าง กราฟของสารละลายมาตรฐานในการวิเคราะห์ปริมาณปรอทอินทรีย์ในน้ำยกตัวอย่างสมการดังนี้ (แสดงในรูปที่ 13-14)

พื้นที่ = - 0.002 + 1.049 นาโนกรัมต่อ 5 ไมโครลิตร (เมธิลเมอคิวริคคลอไรด์)

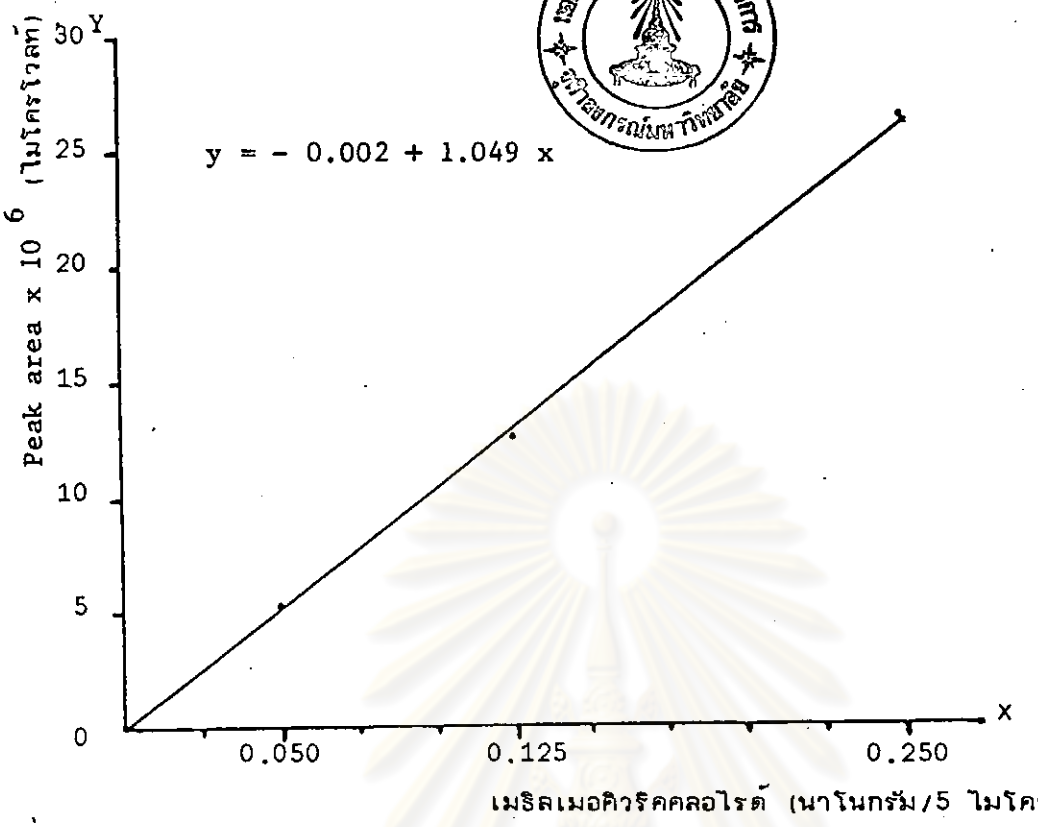
พื้นที่ = - 0.005 + 2.041 นาโนกรัมต่อ 5 ไมโครลิตร (เอธิลเมอคิวริคคลอไรด์)



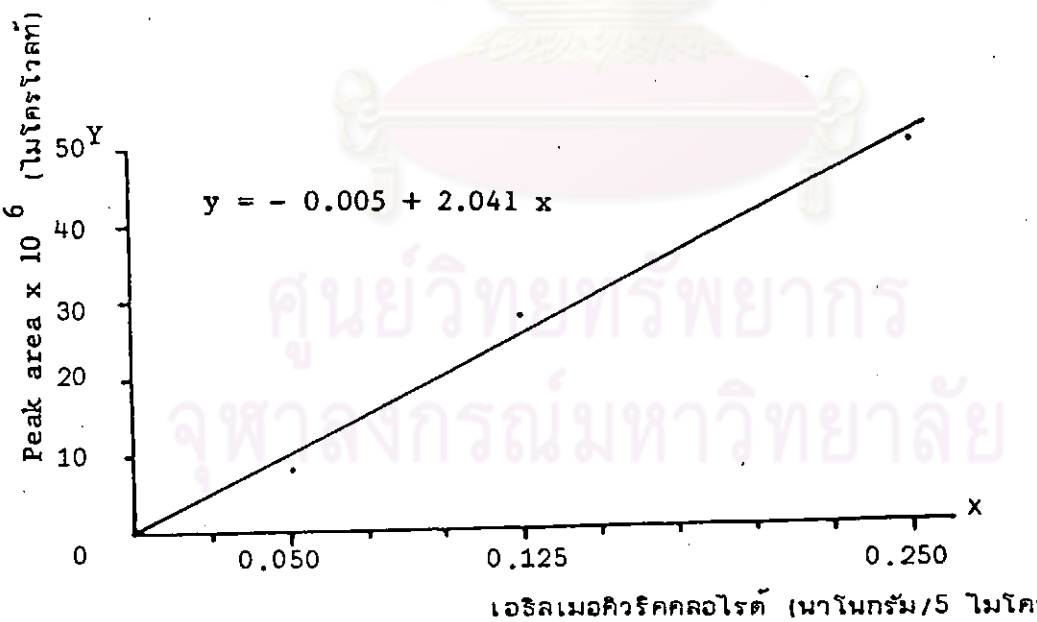
รูปที่ 12 ก แสดงขั้นตอนในการสะกัดปรอทอินทรีย์ในหอยแมลงภู่



รูปที่ 12ข แสดงการแยกกันของ peak เมธิลเมอคิวริคคลอไรด์ (4.01 นาที) เอธิลเมอคิวริคคลอไรด์ (7.07 นาที) และ internal standard (21.97 นาที)



รูปที่ 13 แสดงเส้นมาตรฐานของเมธิลเมอคิวริคคลอไรด์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ



รูปที่ 14 แสดงเส้นมาตรฐานของเอธิลเมอคิวริคคลอไรด์ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

สมการนี้ได้จากสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 0.050-0.250 นาโนกรัมต่อ 5 ไมโครลิตร

ค่าสัมประสิทธิ์ของค่าสหสัมพันธ์ (r) = 0.999, 0.994 ตามลำดับ

ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (r^2) = 99.88%, 98.76% ตามลำดับ

ทำการพิสูจน์ค่า r และ B เช่นเดียวกันกับข้อ 4.6.1

4.7.4.2 กราฟของสารละลายมาตรฐานในการวิเคราะห์ปริมาณปรอทอินทรีย์ในหอยแมลงภู่

ตัวอย่างสมการดังนี้ (แสดงในรูปที่15-16)

พื้นที่ = -0.011 + 1.518 นาโนกรัมต่อ 5 ไมโครลิตร (เมธิลเมอคิวริคคลอไรด์)

พื้นที่ = -0.021 + 3.111 นาโนกรัมต่อ 5 ไมโครลิตร (เอธิลเมอริวริคคลอไอด์)

สมการนี้ได้จากสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 0.050-0.500 นาโนกรัมต่อ 5 ไมโครลิตร

ค่าสัมประสิทธิ์ของค่าสหสัมพันธ์ (r) = 1.000, 1.000 ตามลำดับ

ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (r^2) = 99.97%, 99.94% ตามลำดับ

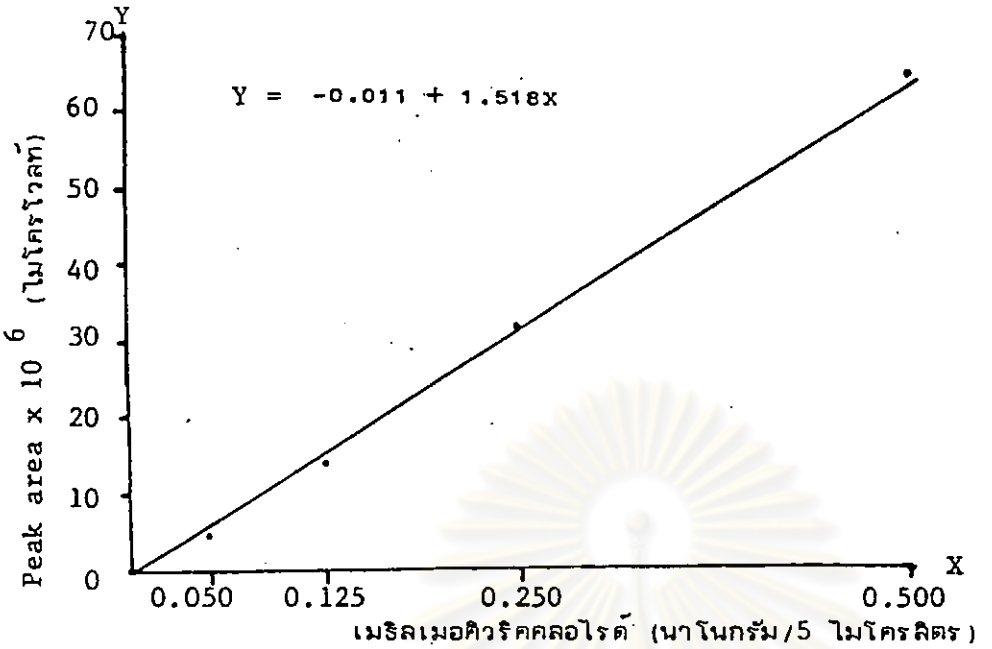
ทำการพิสูจน์ค่า B เช่นเดียวกับข้อ 4.6.1

ขีดจำกัดในการวิเคราะห์ปริมาณ (detection limit) ปรอทอินทรีย์แสดงดังตารางที่ 6 ก และตารางที่ 38 แสดง retention time

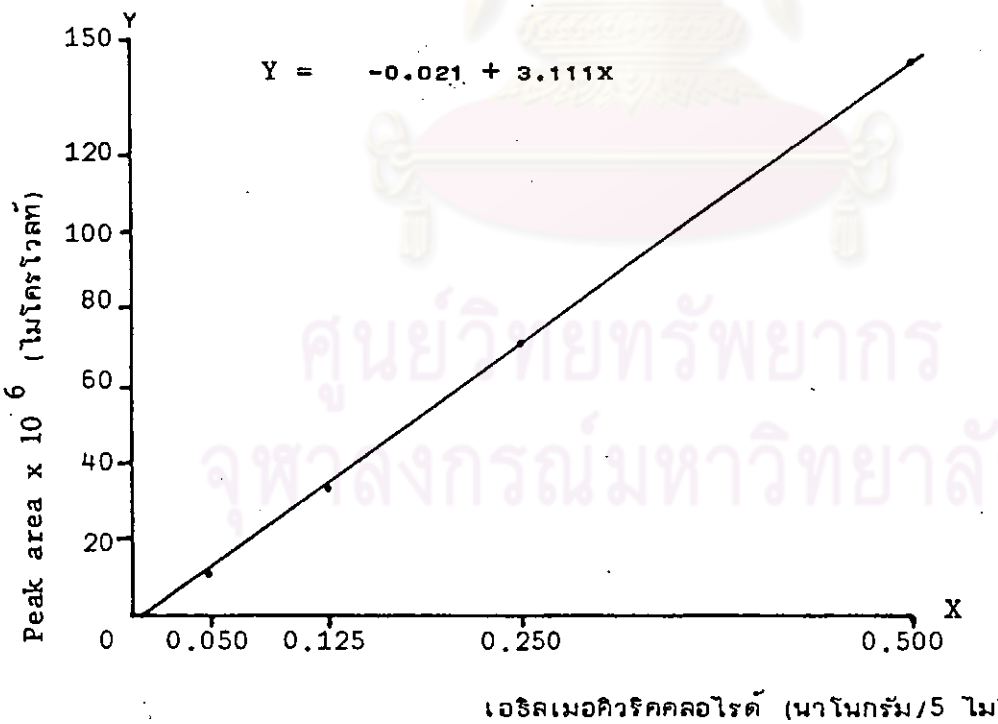
ตารางที่ 6ก แสดง detection limit ของการวิเคราะห์ปริมาณปรอทอินทรีย์ในหอยแมลงภู่

นาโนกรัม/5 ไมโครลิตร	CH_3HgCl (Peak area $\pm$S.D.x10^{-6} µV/min)	C_2H_5HgCl (Peak area$\pm$S.D.x10^{-6}µV/min)
0.050	51468$\pm$16794	100119$\pm$27015
0.125	167270$\pm$28745	333060$\pm$90169
0.250	380091$\pm$54130	716632$\pm$169792
0.500	888871$\pm$170854	1492734$\pm$321433

หมายเหตุ N = 12



รูปที่ 15 แสดงเส้นมาตรฐานของเมธิลเมอคิวริคคลอไรด์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างหอยแมลงภู่



รูปที่ 16 แสดงเส้นมาตรฐานของเอธิลเมอคิวริคคลอไรด์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างหอยแมลงภู่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.7.5 การวัดค่าความแม่นยำ (precision) ของเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟี่

ใช้สารละลายมาตรฐานปรอทอินทรีย์เข้มข้น 0.125 นาโนกรัมต่อ 5 ไมโครลิตร ได้ผลดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7แสดง precision ของเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟฟี่ที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณปรอทอินทรีย์

จำนวนซ้ำ	Peak area(CH_3HgCl) ($x10^{-6}$ µV/min.)	Peak area (C_2H_5HgCl) ($x10^{-6}$ µV/min.)
1	359483	674812
2	381288	677098
3	361547	607739
4	351251	663226
5	373347	699946
ค่าเฉลี่ย	365383	664564
S.D.	11892	34442
RSD.	3.25%	5.18%

4.7.6 การวัดการคืนกลับ (recovery)

4.7.6.1 สำหรับการวิเคราะห์สารปรอทอินทรีย์ในตัวอย่างน้ำ

เตรียม pooled sample ขึ้นมาแบ่งเป็นชุด ก ผ่านขั้นตอนการสะกัดตามปกติ ส่วนชุด ข ก่อนผ่านขั้นตอนการสะกัดเติมสารละลายมาตรฐานปรอทอินทรีย์ที่ทราบปริมาณลงไป (เมธิลและ เอธิล เมอคิวริคคลอไรด์ 0.125 ไมโครกรัม) ทำการคำนวณ % recovery เช่นเดียวกับข้อที่ 4.6.4.1 ผลที่ได้ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดง recovery ของการวิเคราะห์ปริมาณปรอทอินทรีย์ในตัวอย่างน้ำ

Peak area CH_3HgCl ($x10^{-6}$ µV/min.)		Peak area C_2H_5Cl ($x10^{-6}$ µV/min.)		นาโนกรัม/5ไมโครลิตร ในข้อ ก (1)		นาโนกรัม/5ไมโครลิตร ในข้อ ข (3)		นาโนกรัม/5ไมโครลิตร ที่เติมลงไป (2)		% recovery	
น้ำตัวอย่าง (ก)	น้ำตัวอย่าง + ปรอท (ข)	น้ำตัวอย่าง (ก)	น้ำตัวอย่าง + ปรอท (ข)	เมธิล	เอธิล	เมธิล	เอธิล	เมธิล	เอธิล	เมธิล	เอธิล
ND	418673	ND	949402	ND	ND	0.112	0.122	0.125	0.125	89.57	97.60
ND	439607	ND	892138	ND	ND	0.116	0.117	0.125	0.125	92.80	93.60
ND	427046	ND	863956	ND	ND	0.114	0.115	0.125	0.125	91.20	92.00
ND	420543	ND	835474	ND	ND	0.113	0.112	0.125	0.125	90.40	89.60

	เมธิลเมอคิวรี	เอธิลเมอคิวรี
% recovery เฉลี่ย	91.00	93.20
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	1.37	3.36
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSD)	1.50 %	3.61 %
range of % recovery	89.57% ถึง 92.80%	89.60 % ถึง 97.60%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.7.6.2 สำหรับการวิเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ของตัวอย่างหอย เตรียมโดยใช้หลักการเดียวกับหัวข้อที่ 4.6.4.1 ผลที่ได้ดังตารางที่ 9

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 9 แสดง recovery ของการวิเคราะห์ปริมาณปรอทอินทรีย์ในตัวอย่างหอยแมลงภู่

Peak area CH_3HgCl ($x10^{-6}$ µV/min)		Peak area C_2H_5Cl ($x10^{-6}$ µV/min)		นาโนกรัม/5ไมโครลิตร ในข้อ ก(1)		นาโนกรัม/5ไมโครลิตร ในข้อ ข (3)		นาโนกรัม/5ไมโครลิตร ที่เติมลงไป (2)		% recovery	
หอย (ก)	หอย+ ปรอท (ข)	หอย (ก)	หอย + ปรอท(ข)	เมธิล	เอธิล	เมธิล	เอธิล	เมธิล	เอธิล	เมธิล	เอธิล
0.194825	725162	ND	893692	0.068	ND	0.173	0.117	0.125	0.125	89.64	93.60
0.200670	714737	ND	860718	0.069	ND	0.171	0.115	0.125	0.125	88.14	92.00
0.196773	697719	ND	849764	0.068	ND	0.168	0.114	0.125	0.125	87.05	90.91
0.185084	671351	ND	846155	0.066	ND	0.162	0.113	0.125	0.125	84.82	90.40

	เมธิลเมอคิวรี	เอธิลเมอคิวรี
% recovery เฉลี่ย	87.41	91.73
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	2.03	1.42
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSD)	2.32%	1.55%
range of % recovery	89.64% ถึง 89.64%	90.40% ถึง 93.60%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย