

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก-1 พิกัดแสดงตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง

จุดเก็บตัวอย่าง	พิกัด		พิกัด	
	X	Y	ละติจูด	ลองจิจูด
ทะเลน้อย				
N1	627468	861405	94° 29' 15"	5° 47' 10"
N2	626027	861708	94° 29' 18"	5° 42' 03"
N3	624993	860916	94° 29' 15"	5° 48' 34"
N4	626593	860651	94° 29' 16"	5° 46' 48"
N5	628619	860937	94° 29' 17"	5° 44' 11"
N6	627907	860298	94° 29' 18"	5° 41' 57"
N7	625880	860082	94° 29' 15"	5° 48' 34"
N8	624612	859402	94° 29' 16"	5° 46' 23"
N9	627072	858798	94° 29' 17"	5° 44' 13"
N10	629199	858785	94° 29' 18"	5° 42' 05"
N11	625222	858797	94° 29' 19"	5° 40' 21"
N12	629684	860410	94° 29' 19"	5° 41' 35"
N14	624750	861779	94° 29' 17"	5° 44' 10"
N15	624619	860839	94° 29' 18"	5° 43' 38"
ทะเลสาบตอนโน				
N13=S0	632828	859633	94° 29' 16"	5° 46' 11"
S1	641517	860000	94° 29' 18"	5° 43' 56"
S2	636216	858818	94° 29' 17"	5° 46' 24"
S3	632060	857078	94° 29' 17"	5° 46' 10"
S4	644092	853908	94° 29' 17"	5° 46' 20"
S5	643988	850817	94° 29' 16"	5° 48' 44"
S6	640838	849045	94° 29' 14"	5° 51' 53"
S7	636004	850217	94° 29' 13"	5° 53' 54"
S8	631883	850045	94° 29' 13"	5° 53' 43"
S9	627983	849908	94° 29' 14"	5° 52' 49"
S10	644093	842102	94° 29' 13"	5° 54' 58"
S11	640074	842003	94° 29' 15"	5° 50' 36"
S12	636070	841992	94° 29' 14"	5° 53' 21"
S13	632122	841917	94° 29' 13"	5° 55' 23"
S14	628914	841953	94° 29' 12"	5° 56' 14"
S15	631186	837528	94° 29' 11"	5° 58' 15"
S16	639700	837848	94° 29' 11"	5° 59' 23"
S17	638543	833902	94° 29' 13"	5° 55' 03"
S18	635975	834324	94° 29' 12"	5° 56' 20"
S19	634983	834273	94° 29' 11"	5° 58' 18"
S20	635553	830066	94° 29' 10"	6° 00' 26"
S21	640084	830117	94° 29' 10"	6° 01' 47"

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

จุดเก็บตัวอย่าง	พิกัด		พิกัด	
	X	Y	ละติจูด	ลองจิจูด
ทะเลสาบตอนกลาง				
S22	636853	826073	94° 29' 08"	6° 05' 37"
S23	639654	825813	94° 29' 08"	6° 04' 51"
S24	642942	825607	94° 29' 09"	6° 03' 15"
S25	639964	821983	94° 29' 12"	5° 57' 06"
S26	644410	817827	94° 29' 13"	5° 56' 05"
S27	650236	836007	94° 29' 11"	6° 00' 45"
S28	647565	830764	94° 29' 09"	6° 04' 18"
S29	653951	831870	94° 29' 10"	6° 01' 43"
S30	653628	825760	94° 29' 11"	5° 59' 45"
S31	652875	820030	94° 29' 21"	5° 39' 44"
S32	655940	811811	94° 29' 21"	5° 39' 48"
S33	647850	812586	94° 29' 21"	5° 38' 47"
S34	651955	810098	94° 29' 22"	5° 38' 14"
S35	652945	806104	94° 29' 21"	5° 39' 12"
S36	656710	804000	94° 29' 21"	5° 40' 44"
ทะเลสาบตอนนอก				
S37	658260	799890	94° 29' 22"	5° 38' 42"
S38	661991	800176	94° 29' 22"	5° 38' 01"
S39	665394	799910	94° 29' 21"	5° 39' 21"
S40	664081	797983	94° 29' 21"	5° 40' 30"
S41	660212	798548	94° 29' 22"	5° 38' 21"
S42	656078	798166	94° 29' 21"	5° 40' 46"
S43	658457	797375	94° 29' 20"	5° 42' 28"
S44	662077	795966	94° 29' 22"	5° 38' 06"
S45	666037	795968	94° 29' 22"	5° 38' 01"
S46	668540	794635	94° 29' 17"	5° 44' 18"
S47	675170	796030	94° 29' 15"	5° 48' 30"
S48	675608	793860	94° 29' 19"	5° 39' 51"
S49	674191	793998	94° 29' 17"	5° 45' 34"
S50	671241	794089	94° 29' 17"	5° 44' 39"
S51	664169	794222	94° 29' 16"	5° 47' 56"
S52	659872	794478	94° 29' 15"	5° 50' 26"
S53	657984	792333	94° 29' 14"	5° 53' 19"
S54	661902	791206	94° 29' 10"	6° 00' 05"
S55	666612	791966	94° 29' 12"	5° 57' 17"
S56	673183	791899	94° 29' 08"	6° 05' 23"
S57	672272	790154	94° 29' 11"	5° 59' 26"
S58	668392	790909	94° 29' 12"	5° 58' 12"
S59	664764	790076	94° 29' 09"	6° 03' 49"

ภาคผนวก ข

การล้างภาชนะและอุปกรณ์ในการทดลอง

ภาชนะและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง และในการทดลองเกี่ยวกับโลหะหนัก เกือบทั้งหมดเป็นภาชนะพลาสติกประเภท polyethylene, polypropylene หรือ Teflon[®] ที่ผ่านการแช่ใน 10 % HNO₃¹ เป็นเวลา 1 สัปดาห์ จากนั้นล้างด้วยน้ำ Nanopure² จนหมดฤทธิ์กรด ผึ่งให้แห้งในตู้ปลอดฝุ่น (laminar flow cabinet) class 100 (ภาพประกอบที่ ข-1 และ ข-2) เมื่อแห้งแล้วบรรจุภาชนะและอุปกรณ์ในถุงพลาสติกและปิดผนึกพร้อมที่จะใช้งาน (ภาพประกอบที่ ข-3)

การเตรียมสารละลายมาตรฐานและการใส่กรดลงในภาชนะ teflon bomb รวมไปถึงการเตรียมสารละลายตัวอย่างเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ทุกขั้นตอนทำในตู้ปลอดฝุ่น และสวมถุงมือพลาสติกทุกครั้ง เพื่อป้องกันการปนเปื้อนที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างทำการทดลอง



ภาพประกอบที่ ข-1 ตู้ปลอดฝุ่น (laminar flow cabinet) class 100

¹ กรดไนตริก (HNO₃) ที่ใช้งานวิจัยนี้ เป็นชนิด AR grade ที่นำมากลั่นด้วยเครื่องกลั่นกรดแบบ sub-boiling ยี่ห้อ Bergthof (Germany) เพื่อการเตรียมกรดชนิดบริสุทธิ์สูง (Suprapure)

² น้ำบริสุทธิ์ที่ใช้ในการทดลอง ใช้น้ำกลั่นที่นำไปกรองด้วยเครื่องกำจัดไอออน ยี่ห้อ Barnstead (Germany) เพื่อให้ได้น้ำบริสุทธิ์ที่มีความต้านทานไฟฟ้า >18Ω เรียกว่าน้ำนาโนเพียว (nanopure water)



ภาพประกอบที่ ข-2 การฝั่งอุปกรณ์ให้แห้งในตู้ปลอดฝุ่น



ภาพประกอบที่ ข-3 อุปกรณ์ที่แห้งแล้วบรรจุในถุงพลาสติกและปิดผนึกมิดชิดพร้อมที่จะใช้งาน

ภาคผนวก ค

การหาค่าประกอบของขนาดอนุภาคของตะกอน

จุดประสงค์ในการวิเคราะห์หาค่าอนุภาคของตะกอนนั้นก็เพื่อหาสัดส่วนขององค์ประกอบอนุภาคขนาดทราย (sand) ทรายแป้ง (silt) และดินเหนียว (clay) ในตัวอย่าง

ตัวอย่างหนึ่งจะถูกนำมาแยกเอาอนุภาคที่เป็นกรวด (>2 mm) และสิ่งที่ไม่ใช่เนื้อตะกอน เช่น กิ่งไม้หรือเปลือกหอย ที่อาจติดมากับตะกอนขณะทำการเก็บตัวอย่างออกไป จากนั้นทำการแยกอนุภาคขนาดทรายโดยใช้วิธีการร่อนแบบเปียก (wet sieving) ผ่านตะแกรงขนาดตา 63 ไมครอน ส่วนที่ผ่านตะแกรงนำมาแยกอนุภาคที่เป็นทรายแป้งและดินเหนียวโดยการตกตะกอนอย่างอิสระในน้ำ เรียกว่า sedimentation method หรือ pipette method (Sompongchaiyakul, 1989)

หลักการ

หลังจากร่อนแบบเปียกแล้ว ตะกอนที่ผ่านตะแกรงจะถูกนำมาตกตะกอนอย่างอิสระในน้ำ โดยเวลาที่จะใช้ในการปิเปตสารละลายออกจากระดับความลึกกำหนด เพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคที่ต้องการคำนวณได้จากสมการ ค-1 ตามกฎของสโตก (Stokes' law) ดังนี้

$$k = 175 \sqrt{\frac{\eta h}{t(\rho_k - \rho_f)}} \quad (\text{ค-1})$$

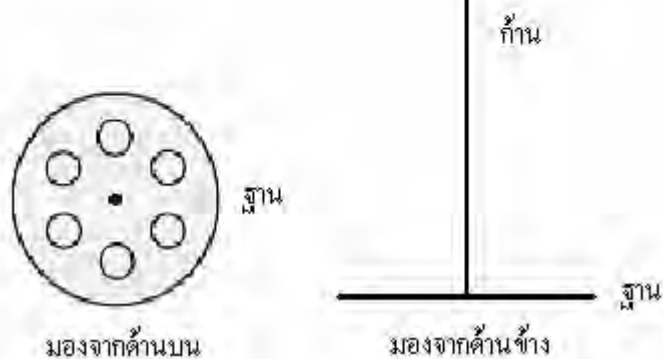
เมื่อ

- k คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค (ไมครอน)
- η คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของตัวกลางแขวนลอย (poises) ซึ่งในกรณีนี้คือน้ำ (ค่าดังกล่าวเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของตัวกลางแขวนลอย)
- h คือ ระยะทางจากผิวหน้าของตัวกลางแขวนลอย ถึงระดับซึ่งความหนาแน่นของตัวกลางแขวนลอยถูกวัด (เซนติเมตร)
- t คือ ระยะเวลาจากที่เริ่มตกตะกอนจนถึงตอนที่ดูดสารละลายออกโดยใช้ปิเปต (นาที)
- ρ_k คือ ความถ่วงจำเพาะของอนุภาคดิน
- ρ_f คือ ความถ่วงจำเพาะ (ความหนาแน่นสัมพัทธ์) ของตัวกลางแขวนลอย (น้ำ)

การทดลองในครั้งนี้อุณหภูมิที่ใช้เป็นตัวอย่างสำหรับการคำนวณหาเวลาที่ต้องการคือ ควอตซ์ (quartz) ซึ่งเมื่อมีการกระจายตัวในน้ำที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จะมีค่า $\rho_k = 2.65$, $\rho_f = 0.998$ และ $\eta = 0.0100$ เมื่อนำมาคำนวณเวลา (t) ซึ่งไม่มีขนาดอนุภาคที่มากกว่า k ไมครอน ในชั้นของสารละลายเหนือความลึก h (เมื่อ $k = 2$ ไมครอน และ $h = 5$ เซนติเมตร) จะได้ ค่า $t = 231.726695$ นาที หรือ 3 ชั่วโมง 52 นาที

วัสดุและอุปกรณ์

1. ไมโครปิเปต (micro pipet) ขนาด 5 มิลลิลิตร
2. กระจกตกตะกอน ขนาด 1000 มิลลิลิตร (กระจกตวงขนาด 1000 มิลลิลิตร)
3. แท่งกวนตะกอน (stirring rod) (รูปที่ ค-1)
4. อ่างควบคุมอุณหภูมิ
5. เทอร์โมมิเตอร์
6. นาฬิกาจับเวลา
7. ตะแกรงร่อน (sieve)
8. อลูมิเนียมฟอยล์ซึ่งพับให้มีลักษณะเป็นถ้วย
9. เดสิเคเตอร์ (desiccator)
10. เครื่องชั่งละเอียด (analytical balance)
11. ตู้อบ (drying oven)



ภาพประกอบที่ ค-1 ลักษณะของแท่งกวนตะกอน ก้านจับจะยึดติดกับฐานตรงกลาง ฐานของแท่งกวนตะกอนทำด้วยพลาสติก เหล็ก หรือยางก็ได้ และฐานของแท่งกวนตะกอนควรมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของกระจกตกตะกอนประมาณ 5 มม. และเจาะรูที่ฐานเพื่อให้ของเหลวไหลผ่านได้

สารเคมี

1. สารกระจายเม็ดดิน (dispersing agent) ใช้ สารละลายโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต (sodium hexametaphosphate) เข้มข้น 10% (w/v)
2. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เข้มข้น 10% (v/v)

วิธีการดำเนินการ

1. อบตะกอนให้แห้งที่อุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส
2. แยกเอาสิ่งที่ไม่ใช่เนื้อตะกอน เช่น กิ่งไม้ เปลือกหอย ออกจากตะกอน
3. ชั่งตะกอนแห้งประมาณ 20-30 กรัม โดยใช้เครื่องชั่งละเอียด บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
4. กำจัดสารอินทรีย์ออกจากตะกอน ดังนี้
 - เติมสารละลาย 10% H_2O_2 (v/v)
 - ทิ้งให้ H_2O_2 ทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ 1 คืน
 - ให้ความร้อนที่ประมาณ 60 องศาเซลเซียส ตัวอย่างตะกอนซึ่งมีสารอินทรีย์อยู่มาก อาจต้องมีการเติมสารละลาย 10% H_2O_2 เพิ่มขึ้นเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์
 - กำจัด H_2O_2 ที่เหลือ โดยการให้ความร้อนจนเกือบเดือด
5. ร้อนตะกอนแบบเปียกผ่านตะแกรงร่อนขนาดตา 63 ไมครอน
6. ตะกอนที่มีขนาดใหญ่กว่า 63 ไมครอน จะค้างอยู่บนตะแกรง นำไปอบแห้งและชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งละเอียด ผลที่ได้จะเป็นน้ำหนักอนุภาคทราย
7. ตะกอนที่มีขนาดเล็กกว่า 63 ไมครอน (ส่วนที่ผ่านตะแกรง) ประกอบด้วยอนุภาคขนาดทรายแป้ง และดินเหนียว นำมาวิเคราะห์ต่อด้วยวิธีตกตะกอน โดยนำตะกอนส่วนนี้ใส่ลงในกระบอกตกตะกอน ขนาด 1000 มิลลิลิตร และทำการตกตะกอนที่อุณหภูมิคงที่ 20 องศาเซลเซียส
8. เติมสารละลายโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต เข้มข้น 10 % (w/v) ประมาณ 8-10 มิลลิลิตร เพื่อให้เม็ดดินกระจายตัว
9. เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ของกระบอกตกตะกอน
10. ตั้งกระบอกควงลงในอ่างน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 20 องศาเซลเซียส
11. ใช้แท่งคนตะกอนกวนภายในกระบอกควงจนอนุภาคภายในฟุ้งกระจาย เริ่มจับเวลาทันทีหลังจากหยุดกวน

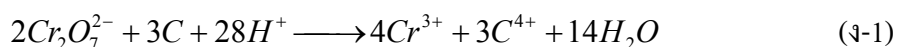
12. หลังจากเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง 52 นาที ใช้ไมโครปิเปตขนาด 5 มิลลิลิตร จุ่มปลายลงที่ระดับต่ำจากผิวน้ำ 5 เซนติเมตร ดูดน้ำที่ระดับความลึกนี้ 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในถ้วยอลูมิเนียมฟอยล์ซึ่งชั่งน้ำหนักแน่นอน (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ไว้ก่อนแล้ว
13. อบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ทิ้งให้เย็นในเดสิเคเตอร์ และชั่งน้ำหนักละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง น้ำหนักที่ได้จะเป็นน้ำหนักของอนุภาคขนาดดินเหนียว (<2 ไมครอน)
14. คำนวณสัดส่วนของอนุภาคแต่ละขนาด (ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว) เป็นเปอร์เซ็นต์ โดยถือว่าน้ำหนักรวมของทุกขนาดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

ภาคผนวก ง

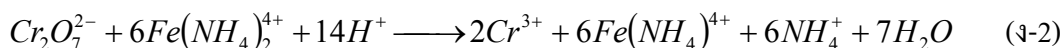
การตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์ที่ออกซิไดซ์ได้ง่ายในตะกอน

ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในการวิจัยครั้งนี้วิเคราะห์โดยวิธีวอลกี-แบล็ค (Walkey-Black Method) ซึ่งพัฒนาและปรับปรุงโดย Loring and Rantala (1995) วิธีนี้จะวิเคราะห์เฉพาะสารอินทรีย์ประเภทสารฮิวมัส (humus) แต่ไม่ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนอินทรีย์ประเภทที่ออกซิไดซ์ได้ยาก ได้แก่ แกรไฟท์ (graphite) ถ่านหิน (coal) และคาร์บอนอินทรีย์ที่เนื่องต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมี สารอินทรีย์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ เป็นสารอินทรีย์ที่สามารถออกซิไดซ์ได้โดยง่าย (readily oxidizable organic matter) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ในรูปแบบที่สิ่งมีชีวิตสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยง่าย

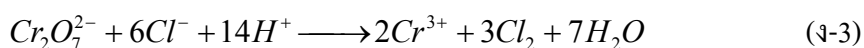
หลักการวิเคราะห์ คือ ในสถานะที่เป็นกรด คาร์บอนอินทรีย์ในตัวอย่างจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) กับไดโครเมต (dichromate) ดังสมการ ง-1



ในการวิเคราะห์จะใส่ไดโครเมตให้มีปริมาณที่มากเกินพอ เมื่อคาร์บอนอินทรีย์ถูกออกซิไดซ์ไปหมดแล้ว ปริมาณไดโครเมตที่เหลือหาได้จากปฏิกิริยารีดักชัน (reduction) ไดโครเมตด้วยสารละลายเฟอร์รัส (ferrous solution) โดยใช้ไดฟีนีลลามีน (diphenylamine) เป็นอินดิเคเตอร์ เต็มกรดฟอสฟอริกลงไปเพื่อให้สังเกตจุดยุติได้ง่ายขึ้น และเติมโซเดียมฟลูออไรด์ (NaF) เพื่อให้สารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นเสถียร ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น แสดงในสมการ ง-2



เนื่องจากไดโครเมตทำปฏิกิริยากับคลอไรด์ไอออน ดังสมการ ง-3 เพื่อป้องกันการสูญเสียไดโครเมตไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในตะกอนจากทะเลหรือเอสทูรี เพื่อกำจัดคลอไรด์ไอออนในปฏิกิริยานี้ จึงเติมซิลเวอร์ซัลเฟตลงไป



วัสดุและอุปกรณ์

1. บิวเรต (buret) ขนาด 50 มิลลิลิตร
2. เครื่องกวนสาร (magnetic stirrer) และแท่งแม่เหล็กกวนสาร (magnetic stirring bars)
3. ขวดรูปชมพู่ (erlenmayer flask) ขนาด 500 มิลลิลิตร
4. ขวดปรับปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 1 ลิตร

สารเคมี

1. กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid, H_3PO_4) (APS, Australia)
2. โซเดียมฟลูออไรด์ (sodium fluoride, NaF) (APS, Australia)
3. เดกซ์โทรส (dextrose, $C_6H_{12}O_6$) (Himedia, India)
4. ซิลเวอร์ซัลเฟต (silver sulphate, Ag_2SO_4) (BDH, England)
5. สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้นและซิลเวอร์ซัลเฟต (concentrated H_2SO_4 with Ag_2SO_4) (เตรียมโดย ละลายซิลเวอร์ซัลเฟต 2.5 กรัม ในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 ลิตร)
6. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต เข้มข้น 1 นอร์มอล (standard 1 N $K_2Cr_2O_7$ solution) (เตรียมโดย ละลายโพแทสเซียมไดโครเมต 49.04 กรัม ในน้ำกลั่น และเจือจางเป็น 1 ลิตร ด้วยขวดปรับปริมาตร)
7. สารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต เข้มข้น 0.5 นอร์มอล (0.5 N ferrous Solution) (เตรียมโดย ละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 196.1 กรัม ในน้ำกลั่น 800 มิลลิลิตรซึ่งมีกรดซัลฟูริกเข้มข้นอยู่ 20 มิลลิลิตร จากนั้นเจือจางให้เป็น 1 ลิตร ด้วยขวดปรับปริมาตร)
8. ไดฟีนิลลามีนอินดิเคเตอร์ (เตรียมโดย ละลายไดฟีนิลลามีนประมาณ 0.5 กรัม ในน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร และกรดซัลฟูริกเข้มข้น 100 มิลลิลิตร)

วิธีการดำเนินการ

1. อบตะกอนให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และทิ้งให้เย็นในเดสิเคเตอร์
2. ชั่งตะกอนแห้ง 0.5 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
3. เติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต เข้มข้น 1 นอร์มอล 10 มิลลิลิตร โดยใช้ บิวเรต และเติมสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้นที่ผสมซิลเวอร์ซัลเฟต จำนวน 20 มิลลิลิตร ผสมกันโดยแกว่งเบาๆ ประมาณ 1 นาที

4. ตั้งของผสมที่ได้ไว้ในตู้ดูดควัน 30 นาที
5. เมื่อครบ 30 นาที เติมน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร ตามด้วยกรดฟอสฟอริก จำนวน 10 มิลลิลิตร และโซเดียมฟลูออไรด์ 0.2 กรัม
6. เติมไดฟีนิลลามีนอินดิเคเตอร์ 15 หยด (0.5 มิลลิลิตร)
7. ไตเตรทด้วยสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต เข้มข้น 0.5 นอร์มอล จนถึงจุดยุติ จะได้สารละลายสีเขียวใส (brilliant green)

Standardization

1. การทำมาตรฐานดำเนินการโดยใช้ภาชนะเปล่า (ที่ไม่มีตะกอน)
2. วิธีการในการดำเนินการเหมือนกับการวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนข้างต้น
3. ทำซ้ำอย่างน้อย 3 ซ้ำ

การคำนวณผล

เปอร์เซ็นต์คาร์บอนอินทรีย์ในตัวอย่างตะกอน หาได้จากสมการ ง-4 และเทียบเป็นปริมาณสารอินทรีย์ โดยคูณด้วย 1.72 ตามสมการ ง-5

$$\% \text{ คาร์บอนอินทรีย์} = 10(1-T/S) \times F \quad (\text{ง-4})$$

$$\% \text{ สารอินทรีย์} = \% \text{ คาร์บอนอินทรีย์} \times 1.72 \quad (\text{ง-5})$$

เมื่อ S = ปริมาณสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต เข้มข้น 0.5 นอร์มอล ที่ใช้ไปในการไตเตรทแบลงก์ (มิลลิลิตร)

T = ปริมาณสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต เข้มข้น 0.5 นอร์มอล ที่ใช้ไปในการไตเตรทตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

F = ค่าที่ได้จากการคำนวณตามสมการ ง-6

$$\begin{aligned} F &= (1.0 N) \times 12/4000 \times 100/\text{น้ำหนักตัวอย่างตะกอน} \quad (\text{ง-6}) \\ &= 1.03 \text{ เมื่อน้ำหนักของตัวอย่างเท่ากับ 0.5 กรัม} \end{aligned}$$

การหาความแม่นยำของการวิเคราะห์สารอินทรีย์ (precision of determination)

ใช้เดกซ์โทรส ($C_6H_{12}O_6$) เป็นสารมาตรฐานในการหาความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์ ซึ่งเดกซ์โทรสจะมีคาร์บอนอยู่ประมาณ 39.99%

ชั่งเดกซ์โทรส 0.01 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ แล้วทำการทดลองหาปริมาณคาร์บอนด้วยวิธีการเหมือนกับขั้นตอนการหาสารอินทรีย์ในตัวอย่างตะกอน จากนั้นคำนวณหาปริมาณเปอร์เซ็นต์คาร์บอน ค่าที่ได้ควรใกล้เคียงกับ 39.99% ตามวิธีคำนวณดังสมการ ง-7

$$\% \text{คาร์บอนในเดกซ์โทรส} = 10(1-T/S) \times F \quad (\text{ง-7})$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } F &= (1.0 \text{ N}) \times 12/4000 \times 100/\text{น้ำหนักเดกซ์โทรส} \\ &= 30 \text{ เมื่อเดกซ์โทรสหนัก 0.01 กรัม} \end{aligned}$$

ภาคผนวก จ

การหาปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ทั้งหมด

วิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (Total Carbon) ไฮโดรเจนทั้งหมด (Total Hydrogen) ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) และซัลเฟอร์ทั้งหมด (Total Sulfur) ด้วยเครื่อง PerkinElmer 2400 series II CHNS/O analyzer

หลักการ

เครื่อง PerkinElmer 2400 series II CHNS/O analyzer นี้จะทำการเผาไหม้ตัวอย่าง ในสภาวะที่มีออกซิเจน (oxygen environment) ใน mode CHNS นี้สารอินทรีย์จะถูกเผาไหม้ ธาตุ C,H,N และ S ในตัวอย่าง จะเกิดการออกซิไดส์ (oxidized) ในสภาวะที่มีออกซิเจนบริสุทธิ์เป็นตัวให้อิเล็กตรอน โดยใช้ทองแดง (copper) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 975 องศาเซลเซียส ได้เป็นสารประกอบ CO₂, H₂O, N₂ และ SO₂ และธาตุต่างๆ เช่น พวก halogen อยู่ในส่วน combustion zone จากนั้นสารประกอบเหล่านี้จะถูกแยกออกไปในส่วนของ reduction zone และ gas ที่ผ่านจากส่วน reduction zone แล้ว จะมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน และ gas เหล่านี้ จะถูกปรับให้มีความดัน อุณหภูมิ และปริมาตรที่แน่นอน ก่อนส่งเข้าสู่คอลัมน์ (column) เพื่อแยกองค์ประกอบออกตามลำดับขั้นตาม steady-state ของแต่ละธาตุ และทำการตรวจวัดโดยใช้คุณสมบัติเฉพาะในด้านอุณหภูมิของการนำไฟฟ้าของแต่ละธาตุ ด้วยดีเทคเตอร์ชนิดเทอร์มัลคอนดักติวิตี (thermal conductivity detection) ซึ่งค่าที่ได้จากการวิเคราะห์จะอยู่ในหน่วยเปอร์เซ็นต์ (%) ของธาตุแต่ละตัว

วัสดุและอุปกรณ์

1. Tin vial
2. ปากกีสบ

สารเคมี

1. ก๊าซออกซิเจน (O₂) ความบริสุทธิ์ 99.999%
2. ก๊าซฮีเลียม (He) ความบริสุทธิ์ 99.999%
3. Air zero
4. Sulphamic acid
5. Cystine

การเตรียมเครื่องเพื่อวิเคราะห์ตัวอย่าง

1. ตรวจสอบ combustion tube และ reduction tube ให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน หากพบว่าเสื่อมสภาพให้เปลี่ยน tube และสารที่บรรจุภายในใหม่
2. เปิดวาล์วก๊าซ เปิดเครื่อง PerkinElmer 2400 series II CHNS/O analyzer แล้วทำการไล่อากาศที่ค้างอยู่ภายในเครื่องด้วยก๊าซ He และ O₂ เป็นเวลา 300 วินาที
3. เปิดทำความร้อนเตาเผาเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่ออุ่นเครื่อง หลังจาก 2 ชั่วโมง ตรวจสอบสัญญาณจากดีเทกเตอร์ จนพบว่าคงที่ และอุณหภูมิในห้องเผาทั้ง 2 ได้ตามที่ตั้งไว้ แสดงว่าเครื่องพร้อมทำงาน

วิธีการดำเนินการ

1. วิเคราะห์ blank โดยการวิเคราะห์อากาศเปล่า ให้ค่าที่ได้ดังนี้
2. ชั่ง Sulphamic acid 2.0-2.5 มิลลิกรัม ใส่ลงใน Tin vial แล้วนำไปเผา โดยใส่ลงในช่องใส่ตัวอย่าง เพื่อทำสถานะของ combustion tube ให้มีความเหมาะสมในการวิเคราะห์ โดยในขั้นตอนนี้ต้องทำการปิดวาล์ว O₂ ทุกครั้ง
3. หาค่าการตอบสนอง (K-factor) โดยชั่ง Cystine 2.0-2.5 มิลลิกรัม ใส่ลงใน Tin vial แล้วนำไปเผา โดยใส่ลงในช่องใส่ตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์ โดย Cystine มีค่าตามทฤษฎี คือ Carbon 29.99%, Hydrogen 5.03%, Nitrogen 11.66% และ Sulfur 26.69% ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์จะต้องมีค่าใกล้เคียงกับค่าตามทฤษฎี เครื่องจึงจะมีความพร้อมสำหรับวิเคราะห์ตัวอย่าง
4. ชั่งตัวอย่างดินแห้งที่บดละเอียดและเป็นเนื้อเดียวกัน 2.0-2.5 มิลลิกรัม ใส่ลงใน Tin vial แล้วนำไปเผา เพื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนทั้งหมด ไฮโดรเจนทั้งหมด ไนโตรเจนทั้งหมด และซัลเฟอร์ทั้งหมดในตัวอย่างตะกอน โดยค่าที่ได้จะอยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์

ภาคผนวก จ

การย่อยตะกอนและสารอ้างอิงมาตรฐาน (certified reference material)

การย่อยตะกอนและสารอ้างอิงมาตรฐาน ตะกอน MESS-1 ของ National Research Council of Canada ในการวิจัยในครั้งนี้ ใช้วิธีการ Total Digestion ตามวิธีของ Loring and Rantala (1995) วิธีการนี้ใช้กรดไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric acid, HF) และกรดกัดทอง (aqua regia; $\text{HNO}_3 : \text{HCl} = 1:3$ (v/v)) ตะกอนและสารอ้างอิงมาตรฐานจะละลายอยู่ในสารละลายกรด

การย่อยตะกอนทำในภาชนะอัดความดันเตฟลอน (teflon bomb) และเตาอบไมโครเวฟ (microwave oven) ซึ่งการย่อยแบบนี้มีข้อดี คือ

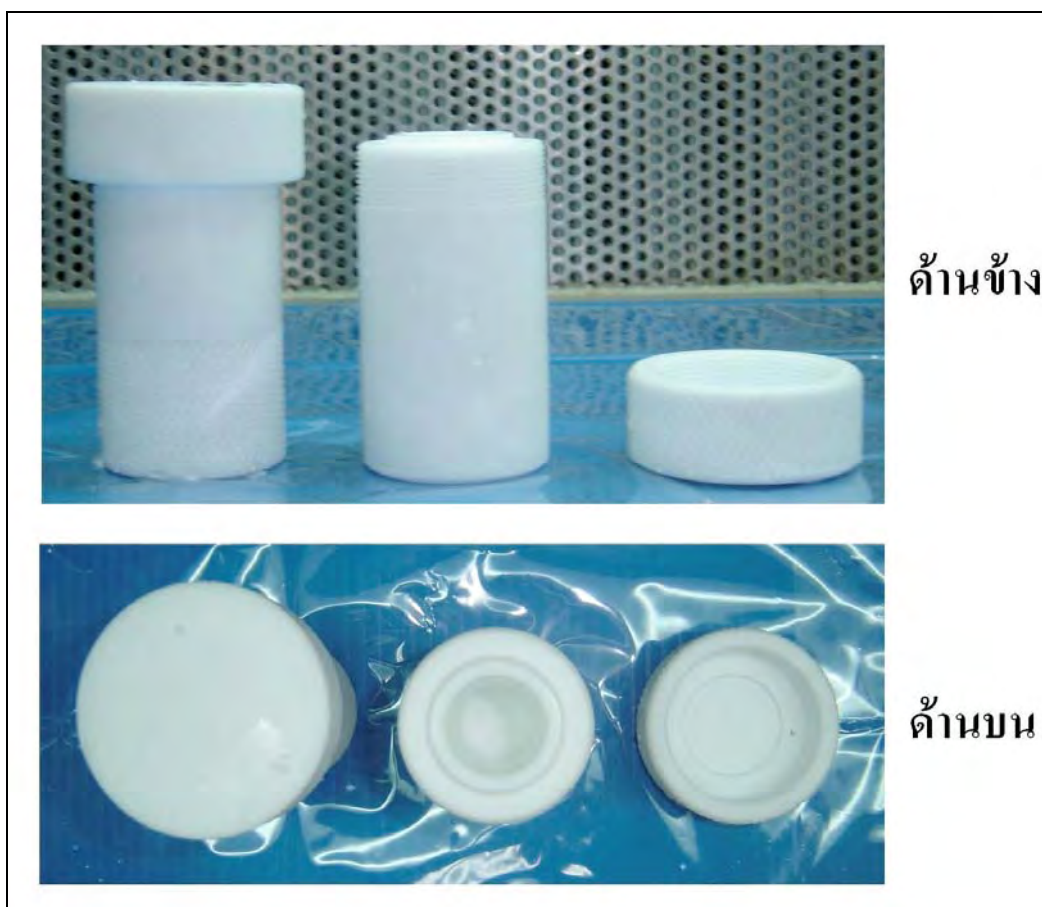
- ใช้เวลาน้อยในการย่อย
- ลดความเสี่ยงในการปนเปื้อนขณะทำการย่อย
- ใช้กรดปริมาณน้อยในการย่อย
- ไม่มีการสูญเสียธาตุที่ระเหยง่าย (volatile elements)

วัสดุและอุปกรณ์⁴

1. ภาชนะอัดความดันเตฟลอน (teflon bomb) ผลิตภัณฑ์ LORRAN[®] International (Canada) ขนาด 20 มิลลิลิตร (ภาพประกอบที่ จ-1)
2. เตาอบไมโครเวฟ ผลิตภัณฑ์ Whirlpool รุ่น Pizzolo 850 W ระบบจานหมุน
3. หม้ออัดความดัน (microwave pressure cooker) ผลิตภัณฑ์ NordicWare[®] รุ่น TENDER COOKER (ภาพประกอบที่ จ-2)
4. โกร่งโมราและสากโมรา (agate mortar and pestle) (ภาพประกอบที่ จ-3)
5. ขวดปรับปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 100 มิลลิลิตร
6. ขวดโพลีเอทิลีนปากแคบ (narrow mouth polypropylene bottle) ใช้เก็บตัวอย่างที่ย่อยแล้ว
7. กรวยพลาสติก (plastics funnel)
8. กระบอกตักน้ำ
9. ไมโครปิเปต (micro pipette) ขนาด 1 มิลลิลิตร และ 5 มิลลิลิตร

หมายเหตุ: ภาชนะพลาสติกทุกชิ้นที่ใช้ในการวิเคราะห์ผ่านการทำความสะอาดตามวิธีการในภาคผนวก ข.

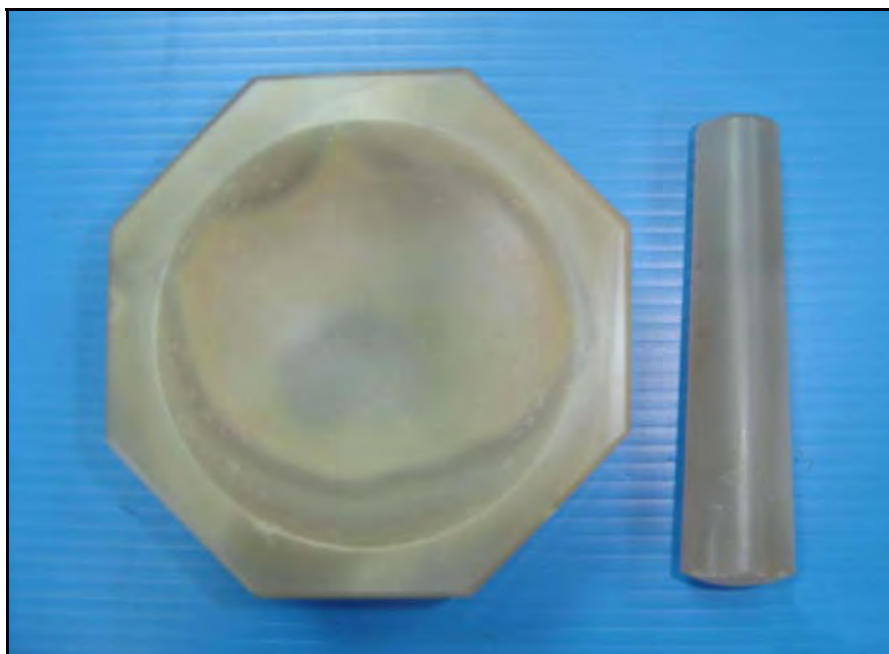
⁴ การทดลองนี้ใช้ HF ในการย่อยดังนั้นจึงไม่สามารถใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่เป็นแก้วในการทดลอง



ภาพประกอบที่ ฌ-1 ภาชนะอัดความดันเทฟลอน (teflon bomb)



ภาพประกอบที่ ฌ-2 หม้ออัดความดัน (microwave pressure cooker) ผลิตภัณท์ NordicWare®
รุ่น TENDER COOKER



ภาพประกอบที่ ฉ-3 โกร่งโมราและสากโมรา (Agate mortar and pestle)

สารเคมี

1. กรดไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric acid, HF)(APS, Australia)
2. กรดไนตริก (nitric acid, HNO_3)(Merck, Germany)
3. ไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid, HCl)(Lab-scan, Ireland)
4. กรดกัดทอง (aqua regia; $\text{HCl}:\text{HNO}_3$ ในสัดส่วน 3:1 (v/v))
5. กรดบอริก (boric acid crystals, H_3BO_3)(Merck, Germany)
6. น้ำนาโนเพียว (nanopure water) ซึ่งมีความต้านทานไฟฟ้า $>18\Omega$

วิธีการดำเนินการ

1. ชั่งตัวอย่างตะกอนแห้งที่ผ่านการบดละเอียดด้วยโกร่งโมราประมาณ 0.15 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน ทศนิยม 4 ตำแหน่ง ใส่ลงใน teflon bomb สำหรับการย่อยตัวอย่าง
2. เติมกรดกัดทองลงไป 1 มิลลิลิตร
3. เติมกรดไฮโดรฟลูออริกลงไป 6 มิลลิลิตร อย่างช้าๆ
4. ปิดฝา teflon bomb ให้แน่น จากนั้นวาง teflon bomb ลงในหม้ออัดความดัน
5. ปิดฝาหม้ออัดความดันและใส่ในเตาอบไมโครเวฟ และวางบีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร ที่มีน้ำบรรจุอยู่ 50 มิลลิลิตร ไว้ข้างๆ (รูปที่ ฉ-4)



ภาพประกอบที่ ๓-4 การวางหม้ออัดความดันและบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำไว้ภายในไมโครเวฟ

6. เปิดเตาอบไมโครเวฟเพื่อย่อยตะกอน ด้วย full power นาน 5 นาที และ half power นาน 10 นาที โดยทิ้งช่วงระหว่างรอบแรกและรอบหลังนาน 10 นาที
7. หลังจากครบกำหนดเวลานำ teflon bomb ออกมาตั้งให้เย็นโดยการแช่ลงในถาดน้ำแข็งหรือน้ำเย็น ระวังอย่าให้ความสูงของน้ำเกินกว่าบริเวณต่ำสุดของฝา teflon bomb
8. ขณะที่รอให้ teflon bomb เย็น ชั่งกรดบอริก 5.6 กรัม และใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
9. เติมน้ำนาโนเพียงลงไป 20 มิลลิลิตร เพื่อละลายกรดบอริก
10. หลังจาก teflon bomb เย็นแล้ว เช็ด teflon bomb ให้แห้ง
11. ค่อยๆ เปิดฝา teflon bomb เพื่อป้องกันการฟุ้งของสารละลายเนื่องจากความดันภายใน และรินสารละลายใน teflon bomb ลงในขวดปรับปริมาตรที่มีกรดบอริกอยู่
12. ชะ teflon bomb หลายๆ ครั้ง โดยใช้ใช้น้ำนาโนเพียง
13. ปิดฝาและเขย่าขวดปรับปริมาตรเพื่อให้กรดบอริกละลายจนหมดและเป็นเนื้อเดียวกันกับสารละลายที่ย่อยได้
14. ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรโดยใช้น้ำนาโนเพียง
15. เทสารละลายลงในขวดโพลิเอทิลีนปากแคบ ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FAAS และ ICP-OES

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ตัวแปรหลายตัวด้วยวิธีการทางสถิติ

งานวิจัยครั้งนี้มีปัจจัยหลายตัวที่เกี่ยวข้องและมีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายของโลหะหนัก ทั้งปัจจัยทางกายภาพและปัจจัยทางเคมี ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐาน (principle component analysis; PCA) ที่มีผลต่อข้อมูลเพื่อแบ่งกลุ่มของข้อมูล จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (cluster analysis)

1. การวิเคราะห์องค์ประกอบพื้นฐาน (principal component analysis: PCA) (วิญญิต มั่นทะจิตร, 2548)

หลักการ

PCA เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลในกลุ่มของวิธี Ordination เช่นเดียวกับการวิเคราะห์การแยกกลุ่ม (discriminant analysis) การวิเคราะห์ปัจจัย (factor analysis) การวิเคราะห์แบ่งส่วนหลายมิติ (multi-dimensional scaling) วิธีการที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ใช้สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลของตัวอย่างที่ยังไม่ได้มีการจัดระเบียบมาก่อน (unstructured sample) เช่น ยังไม่ได้มีการกำหนดปัจจัย และระดับของปัจจัย หรือแบ่งตัวอย่างออกเป็นกลุ่มที่เด่นชัด ดังนั้นจึงเป็นการวิเคราะห์เพื่อให้ทราบว่าข้อมูลมีการแบ่งกลุ่มกันอย่างไร

PCA เริ่มต้นการวิเคราะห์จากเมทริกซ์ของข้อมูลดิบ (raw data matrix) และเปลี่ยนเป็นเมทริกซ์ของค่าความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วม (variance-covariance matrix) หรือเมทริกซ์ของค่าสหสัมพันธ์ (correlation matrix) คล้ายกับการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (cluster analysis) ที่ต้องการค่าความเหมือน (similarity measures) ซึ่งมีหลายตัว จากนั้นจึงนำมาจัดกลุ่มด้วยวิธีการจัดกลุ่ม (agglomerative strategies) ซึ่งมีหลายวิธีเช่นกัน

ผลการวิเคราะห์ PCA เป็นผลแสดงกลุ่มของตัวอย่าง ซึ่งจะถูกพิจารณาให้เป็นตำแหน่งของตัวอย่างที่สัมพันธ์กับองค์ประกอบที่เป็นตัวแทนที่ดีที่สุดของทุกชนิด ดังนั้นถ้าการวิเคราะห์ข้อมูลมาจาก 20 ตัวแปร จะมีองค์ประกอบเกิดขึ้นทั้งหมด 20 องค์ประกอบ อย่างไรก็ตาม การเกิดขององค์ประกอบต่างๆ นั้น จะเริ่มทีละองค์ประกอบ โดยองค์ประกอบแรกจะเป็นองค์ประกอบที่เป็นตัวแทนอธิบายความแปรปรวนของชุดข้อมูลได้มากที่สุด และองค์ประกอบต่อมา จะเป็นตัวแทนอธิบายความแปรปรวนของชุดข้อมูลลดหลั่นลงมาตามลำดับ ดังนั้นการนำผลการ

วิเคราะห์ข้อมูลมาใช้มักจะจำกัดอยู่ไม่เกิน 4 องค์ประกอบแรก จึงเท่ากับว่าการแสดงผลที่เราเลือกนำมาเสนอนั้นเป็นเพียงตัวแทนส่วนหนึ่งของผลทั้งหมด ซึ่งแตกต่างจากวิธีการวิเคราะห์การแบ่งกลุ่มที่ผลการวิเคราะห์เป็นตัวแทนของข้อมูลทั้งหมด ดังนั้นการแปลผลการวิเคราะห์ข้อมูลจึงต้องพิจารณาด้วยความระมัดระวัง

ในการวิเคราะห์นั้นมี 2 แนวทางให้เลือกใช้ คือ correlation matrix หรือ variance-covariance matrix ซึ่งการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีจะให้ผลต่างกัน ซึ่งในโปรแกรมสถิติส่วนใหญ่ ถ้าไม่มีคำสั่งให้เลือกในการวิเคราะห์จะใช้ correlation matrix โดยที่ชุดข้อมูลจะถูก standardize ก่อนการวิเคราะห์ วัตถุประสงค์ของการใช้ correlation matrix นั้นก็เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างสถานีกับองค์ประกอบ X หรือ Y การแปลผลการวิเคราะห์จะเป็นลักษณะ สถานีใกล้กับองค์ประกอบใด แสดงว่ามีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบดังกล่าว ขณะที่ variance-covariance matrix จะเป็นการจับกลุ่มของสถานีที่มีองค์ประกอบของชนิดสิ่งมีชีวิตที่คล้ายกัน (มักใช้กับข้อมูลทางชีวภาพ)

ข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อม มักจะมีปัญหาเรื่องหน่วยที่ใช้ในการวัดของแต่ละตัวแปรที่แตกต่างกันมาก ไม่ว่าจะเป็นความลึก ความเค็ม ความโปร่งใส การนำไฟฟ้า หรือแม้กระทั่งหน่วยที่ใช้ในการวัดเองที่ถึงแม้จะใช้ระบบเมตริกเดียวกัน ก็ยังมีหน่วยย่อยที่แตกต่างกันออกไปเป็นกรัม มิลลิกรัม หรือส่วนต่อร้อย ส่วนต่อพัน และส่วนต่อล้าน เป็นต้น ในการแก้ปัญหของหน่วยที่ต่างกันอย่างนี้อาจเลือกใช้ Correlation matrix ในการวิเคราะห์ได้

ผลและการแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมทางสถิติจะมีรูปแบบที่คล้ายกัน โดยผลที่แสดงออกมาจะแบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก คือ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและแผนภาพ โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ส่วนมากจะดำเนินการต่อเนื่องกัน ผลการวิเคราะห์ข้อมูลส่วนแรกจะเป็นผลทางปริมาณ หรือค่าสถิติที่เกี่ยวข้อง เช่น Eigenvalue, %variance, eigenvector ของชนิด และ component score โดยสองค่าแรกเป็นค่าเชิงคุณภาพบอกถึงคุณสมบัติของผลการวิเคราะห์ที่ได้ ซึ่งใช้พิจารณาเลือกผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้และนำมาใช้ในการแปลผลและนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การเลือกองค์ประกอบมาใช้ พิจารณาได้จากการเป็นตัวแทนของความแปรปรวนที่เกิดขึ้นทั้งหมด ถึงแม้จะไม่มีข้อกำหนดที่ชัดเจน แต่เป็นที่ยอมรับว่าถ้าองค์ประกอบที่ใช้อธิบายความแปรปรวนที่เกิดขึ้น ได้ 70-75% ก็ถือว่าเป็นตัวแทนที่ดีที่อธิบายรูปแบบหลักที่ได้จากการวิเคราะห์ (Clarke and Warwick, 1994 อ้างถึงใน วิทยุ มัณฑะจิตร, 2548)

2. วิเคราะห์การแบ่งกลุ่มของสถานีเก็บตัวอย่างโดยใช้การวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (cluster analysis)

หลักการ

cluster analysis เป็นเทคนิคการจำแนกหรือแบ่ง case หรือแบ่งตัวแปรออกเป็นกลุ่มย่อยๆ ตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป โดย case ที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันจะมีลักษณะที่คล้ายกัน ส่วน case ที่อยู่ต่างกลุ่มกันจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน และ case ใด case หนึ่ง จะอยู่ในกลุ่มหนึ่งเพียงกลุ่มเดียว สำหรับการจำแนกกลุ่มตัวแปร จะแบ่งกลุ่มโดยให้ตัวแปรที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันมีความสัมพันธ์กันมากกว่าตัวแปรที่อยู่ต่างกลุ่มกัน ตัวแปรที่อยู่ต่างกลุ่มกันจะมีความสัมพันธ์กันน้อยหรือไม่มี ความสัมพันธ์กันเลย (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2544)

เทคนิค cluster analysis แบ่งเป็น 2 เทคนิคย่อย (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2544) คือ

- Hierarchical cluster analysis เป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันมากในกรณีที่มีจำนวน case ที่ต้องการแบ่งกลุ่มไม่มากนัก (ควรต่ำกว่า 200) และไม่จำเป็นต้องทราบจำนวนกลุ่ม และไม่ต้องทราบว่าตัวแปรใดอยู่กลุ่มใดมาก่อน
- K-Means cluster analysis เป็นเทคนิคที่ใช้เมื่อมีจำนวน case มาก โดยวิธีนี้จะต้องมีการกำหนดจำนวนกลุ่ม หรือจำนวน cluster ที่ต้องการก่อน และวิธีการนี้ตัวแปรที่นำมาวิเคราะห์ต้องเป็นตัวแปรเชิงปริมาณเท่านั้น

หลักการของการวิเคราะห์การแบ่งกลุ่มนั้น ก็เพื่อจัดกลุ่มข้อมูลโดยที่ยังไม่รู้ว่าตัวอย่าง หรือ case ที่ศึกษามีการจัดกลุ่มเป็นอย่างไร วิธีการนี้จึงเหมือนเป็น priori test หรือเป็นการทดสอบเพื่อที่จะนำไปสู่การตั้งสมมุติฐาน การวิเคราะห์แบ่งกลุ่มจึงไม่ใช่วิธีการสำหรับทดสอบสมมุติฐาน เหมือนกับ ANOVA หรือ MANOVA (วิญญิต มั่นทะจร, 2548)

ในที่นี้ จะกล่าวถึงเฉพาะเทคนิคที่ใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้ คือ เทคนิค Hierarchical cluster analysis เท่านั้น

การวิเคราะห์การแบ่งกลุ่ม

การวิเคราะห์การแบ่งกลุ่มมี 3 ขั้นตอน คือ 1) การวัดค่าความคล้ายด้วยการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความเหมือน (หรือแตกต่าง) 2) การจัดกลุ่ม 3) การแสดงผลด้วยกราฟ dendogram

2.1 การวัดค่าความคล้าย (similarity measure) (กัลยา วาณิชย์บัญชา, 2544)

การวัดความคล้ายของ case แต่ละคู่อาจจะวัดด้วยระยะห่าง (distance) หรือวัดด้วยค่าความคล้าย (similarity) แต่การวัดความสัมพันธ์ของตัวแปรจะวัดด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson correlation) การวัดระยะห่างและความคล้ายมีหลายวิธีด้วยกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของข้อมูลด้วยว่าเป็นข้อมูลที่เป็นสเกลอันดับ (interval scale) หรืออัตราส่วน (ratio scale) หรืออยู่ในรูปความถี่ (count data) หรืออยู่ในรูป binary คือ มี 2 ค่า คือ 0 กับ 1

การใช้โปรแกรม SPSS มีวิธีการในการวัดระยะห่างและความคล้ายสำหรับข้อมูลที่เป็นสเกลอันดับ (interval scale) หรืออัตราส่วน (ratio scale) ดังนี้

Euclidean distance ทำการวัดระยะห่างระหว่าง 2 cases คือ case X และ Y โดยที่

$$\text{distance (X,Y)} = \sqrt{\sum (X_i - Y_i)^2}$$

Square Euclidean distance ใช้วัดระยะห่าง

$$\text{distance (X,Y)} = \sum (X_i - Y_i)^2$$

Cosine ใช้วัดความคล้าย

$$\text{similarity (X,Y)} = \frac{\sum (X_i Y_i)}{\sqrt{(\sum X_i^2)(\sum Y_i^2)}}$$

Pearson correlation เป็นการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ 2 vector ใช้วัดความคล้าย

โดยที่ Z_{xi} คือค่า Z Score ของตัวแปร X สำหรับ case ที่ i

$$\text{similarity (X,Y)} = \frac{\sum Z_{xi} Z_{yi}}{N - 1}$$

Chebychev วัดระยะห่าง

$$\text{distance (X,Y)} = \text{MAX} |X_i - Y_i|$$

Block หรือ City-block หรือ Manhattan distance วัดระยะห่าง

$$\text{distance (X,Y)} = \sum |X_i - Y_i|$$

Minkowski วัดระยะห่าง

$$\text{distance (X,Y)} = (\sum |X_i - Y_i|^p)^{\frac{1}{p}}$$

Customized วัดระยะห่าง

$$\text{distance (X,Y)} = (\sum |X_i - Y_i| \cdot P)^{\frac{1}{P}}$$

2.2 การจัดกลุ่มหรือการรวมกลุ่ม (combining cluster)

สำหรับหลักการในการรวมกลุ่มของเทคนิค Hierarchical cluster analysis นั้นมีหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมกันมาก คือ วิธี agglomerative hierarchical cluster analysis หรือในโปรแกรม SPSS เรียกว่า agglomerative schedule (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2544) วิธีการนี้เป็นการรวมกลุ่มแบบก้าวหน้า (progressive fusion) โดยเริ่มจากการแบ่งสมาชิกแต่ละหน่วยของประชากร และสิ้นสุดที่ประชากรสุดท้าย (complete population) (วิญญิต มั่นชนะจิตร, 2548)

หลักเกณฑ์ของ agglomerative schedule คือ จะทำการรวมกลุ่มอย่างเป็นขั้นเป็นตอน ดังนี้ (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2544)

ก่อนทำการวิเคราะห์จะกำหนดให้ 1 กลุ่ม หรือ 1 cluster มี case 1 case นั่นคือ ถือว่าแต่ละ case เป็น 1 cluster จึงมีจำนวน cluster ทั้งหมด n cluster (เนื่องจากมีข้อมูลทั้งหมด n case)

ขั้นที่ 1 : รวม case 2 cases ให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน หรือ cluster เดียวกัน โดยพิจารณาจากค่าระยะห่างหรือค่าความคล้าย

ขั้นที่ 2 : พิจารณาว่าควรจะรวม case ที่ 3 เข้าอยู่ในกลุ่มเดียวกับ 2 case แรก หรือควรจะรวม 2 cases ใหม่ ให้เข้าไปอยู่ในกลุ่มใหม่อีกกลุ่มหนึ่ง โดยพิจารณาจากค่าระยะห่างหรือค่าความคล้าย

ทำขั้นที่ 3, 4, ... โดยใช้เกณฑ์เดียวกับขั้นที่ 2 นั่นคือ ในแต่ละขั้นอาจจะรวม case ใหม่เข้าไปในกลุ่มที่มีอยู่แล้วหรือ รวม case ใหม่ 2 case เป็นกลุ่มใหม่ และทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้ทุก case อยู่ในกลุ่มเดียวกัน นั่นคือ สุดท้ายมีเพียง 1 กลุ่ม หรือ 1 cluster และ case ใดที่ถูกจัดกลุ่มแล้วจะไม่มีเปลี่ยนแปลง

วิธีการที่ใช้ในการรวมกลุ่มมีหลายวิธีด้วยกัน ดังนี้

Between-group linkage หรือเรียกว่า Average linkage between group หรือเรียกว่า

UPGMA (Unweighted Pair-Group Method Using Arithmetic Average)

วิธีนี้จะคำนวณหาระยะห่างเฉลี่ยของทุกคู่ของ case โดยที่ case หนึ่งอยู่ใน cluster ที่ i ส่วนอีก case หนึ่งอยู่ใน cluster ที่ j , $i \neq j$ และถ้า cluster ที่ i มีระยะห่างเฉลี่ยจาก cluster ที่ j สั้นกว่าระยะห่างจาก cluster อื่น จะนำ cluster ที่ i และ j รวมกันเป็น cluster เดียวกัน หรือกล่าวคือ การเชื่อมกลุ่มกันของสมาชิกในแต่ละกลุ่มเกิดขึ้นได้ เมื่อระยะเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่พิจารณามีค่าน้อยที่สุดหรือเหมือนกันมากที่สุด วิธีการนี้ใช้ได้ดีคล้ายกับ

Ward's Method คือ ให้ผลดีในการจำลองเหตุการณ์ Monti Cairo ให้ผลที่ค่อนข้างแน่นอน และมีผู้แนะนำให้ใช้กับการแบ่งกลุ่มแบบ hierarchy (วิญญิต มัณฑะจิตร, 2548)

Within-group linkage technique หรือเรียกว่า Average linkage within groups method วิธีการนี้จะรวม cluster เข้าด้วยกันถ้าระยะห่างเฉลี่ยระหว่างทุก case ใน cluster นั้นๆ มีค่าน้อยที่สุด

Nearest neighbor หรือเรียกว่า Single linkage ระยะห่างระหว่างสองกลุ่มจะเป็นจุดของกลุ่มข้อมูลที่อยู่ใกล้กันมากที่สุด จากการที่เป็นวิธีการที่ง่ายและไม่ซับซ้อนจึงเป็นวิธีที่ใช้ง่ายและมีประสิทธิภาพสูง แต่วิธีการนี้มักจะให้ผลที่ไม่ค่อยดีนัก โดยเฉพาะถ้าข้อมูลมีความหลากหลายและซับซ้อนมาก เพราะจะให้ Dendrogram ที่ยุ่งเหยิงมาก ทำให้ยากต่อการจัดกลุ่ม (วิญญิต มัณฑะจิตร, 2548)

Farthest neighbor หรือเรียกว่า Complete linkage วิธีการนี้มีหลักการตรงกันข้ามกับวิธี Single linkage โดยวิธีการนี้จะพิจารณาจุดที่อยู่ห่างกันมากที่สุด ทำให้กลุ่มมีขนาดเล็กและดูง่าย วิธีการนี้ให้ผลดีกว่า Single linkage แต่ยังคงดีกว่า Ward's หรือ group average linkage (UPGMA) (Milligan, 1980, 1981 อ้างถึงใน วิญญิต มัณฑะจิตร, 2548)

Centroid Clustering หรือเรียกว่า weighted pair and pair group method วิธีการนี้จะคำนวณระยะห่างระหว่าง centroid ของ cluster แต่ละคู่ ในที่นี้จะเรียกค่าเฉลี่ย หรือค่ากลางของแต่ละ cluster ว่า centroid เนื่องจากการแบ่งกลุ่ม case จะพิจารณาจากตัวแปรหลายๆ ตัวพร้อมกัน จึงเรียกค่ากลางหรือค่าเฉลี่ยว่า centroid (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2544) โดยการรวมกลุ่มจะเชื่อมระหว่าง centroid ของ cluster ที่ใกล้กันที่สุดก่อน วิธีการนี้ใช้ได้กับทุกค่าสัมประสิทธิ์ความเหมือน และเป็นวิธีการที่อนุรักษ์พื้นที่ของ Dendrogram (วิญญิต มัณฑะจิตร, 2548)

Median Clustering วิธีการนี้จะรวม cluster 2 clusters เข้าด้วยกัน โดยให้แต่ละ cluster สำคัญเท่ากัน (ให้น้ำหนักเท่ากัน) ในขณะที่วิธีของ centroid clustering จะให้ความสำคัญแก่ cluster ที่มีขนาดใหญ่มากกว่า cluster ที่มีขนาดเล็ก (ให้น้ำหนักไม่เท่ากัน) วิธีการนี้จะใช้ค่า median เป็นค่ากลาง

ของ centroid ถ้าระยะห่างระหว่างค่า median ของ cluster คู่ใดค่า ก็ จะรวม cluster คู่ นั้นเข้าด้วยกัน

Ward's Method วิธีการนี้จะทำการรวมกลุ่ม cluster ที่ทำให้ค่า Sum of square within-cluster distance เพิ่มขึ้นน้อยที่สุด โดยค่า square within-cluster distance คือ ค่า Square Euclidean distance ของแต่ละ case กับ cluster mean (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2544)

2.3 การแสดงผลโดยใช้กราฟ dendogram

เป็นการแสดงผลที่มีลักษณะคล้ายกับการแตกกิ่งของต้นไม้ (วิภูษิต มัณฑะจิตร, 2548) ที่แสดงกราฟการรวมกันของแต่ละ cluster และให้ค่าระยะห่างในแต่ละขั้นตอนด้วย ซึ่งในโปรแกรม SPSS จะทำการเปลี่ยนหน่วยระยะห่างของข้อมูลเดิมเป็นระยะห่างที่มีค่าในช่วง 1-25 (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2544)

ภาคผนวก ซ

องค์ประกอบขนาดอนุภาคตะกอนทะเลสาบสงขลา

ตารางผนวกที่ ซ-1 องค์ประกอบของขนาดอนุภาคตะกอนบริเวณทะเลน้อย

จุดเก็บตัวอย่าง	%sand	%silt	%clay	sediment structure
N1	0.8	65.6	33.6	Clayey silt
N2	0.6	63.9	35.5	Clayey silt
N3	0.4	65.4	34.2	Clayey silt
N4	0.6	59.2	40.2	Clayey silt
N5	0.8	61.0	38.2	Clayey silt
N6	0.8	66.8	32.4	Clayey silt
N7	0.6	76.0	23.4	Clayey silt
N8	0.4	71.1	28.5	Clayey silt
N9	0.6	60.1	39.3	Clayey silt
N10	0.3	64.2	35.5	Clayey silt
N11	1.4	62.6	36.0	Clayey silt
N12	0.5	65.6	33.9	Clayey silt
N14	1.1	65.3	33.6	Clayey silt
N15	0.5	59.0	40.5	Clayey silt

ตารางผนวกที่ ซ-2 องค์ประกอบของขนาดอนุภาคตะกอนบริเวณทะเลสาบตอนใน

จุดเก็บตัวอย่าง	%sand	%silt	%clay	sediment structure
N13 = S0	0.8	70.9	28.3	Clayey silt
S1	3.2	67.9	28.9	Clayey silt
S2	2.7	65.2	32.1	Clayey silt
S3	1.9	47.7	50.4	Silty clay
S4	1.9	72.9	25.2	Clayey silt
S5	3.2	68.0	28.8	Clayey silt
S6	0.8	74.6	24.6	Clayey silt
S7	0.7	73.5	25.8	Clayey silt
S8	0.5	55.6	43.9	Clayey silt
S9	2.1	56.2	41.7	Clayey silt
S10	0.5	64.0	34.5	Clayey silt
S11	0.7	60.8	38.5	Clayey silt
S12	0.8	67.7	31.5	Clayey silt
S13	1.2	65.1	33.7	Clayey silt
S14	7.1	52.7	40.2	Clayey silt
S15	3.9	73.6	22.5	Clayey silt
S16	1.9	71.7	26.4	Clayey silt
S17	1.2	69.4	29.4	Clayey silt
S18	1.5	66.1	32.4	Clayey silt
S19	2.6	66.5	30.9	Clayey silt
S20	3.9	70.6	25.5	Clayey silt
S21	1.5	65.5	33.0	Clayey silt

ตารางผนวกที่ ซ-3 องค์ประกอบของขนาดอนุภาคตะกอนบริเวณทะเลสาบตอนกลาง

จุดเก็บตัวอย่าง	%sand	%silt	%clay	sediment structure
S22	1.8	66.7	31.5	Clayey silt
S23	0.8	73.4	25.8	Clayey silt
S24	2.8	68.7	28.5	Clayey silt
S25	6.2	58.7	35.1	Clayey silt
S26	1.4	67.4	31.2	Clayey silt
S27	0.9	67.2	31.9	Clayey silt
S28	0.9	67.6	31.5	Clayey silt
S29	2.3	70.4	27.3	Clayey silt
S30	1.2	66.4	32.4	Clayey silt
S31	1.7	68.3	30.0	Clayey silt
S32	1.3	65.3	33.4	Clayey silt
S33	2.2	47.9	49.9	Silty clay
S34	32.4	30.4	37.2	Sandy silty clay
S35	3.7	51.6	44.7	Clayey silt
S36	1.1	56.3	42.6	Clayey silt

ตารางผนวกที่ ซ-4 องค์ประกอบของขนาดอนุภาคตะกอนบริเวณทะเลสาบตอนนอก

จุดเก็บตัวอย่าง	%sand	%silt	%clay	sediment structure
S37	1.4	65.2	33.4	Clayey silt
S38	1.1	66.4	32.5	Clayey silt
S39	1.7	65.3	33.0	Clayey silt
S40	1.6	60.3	38.1	Clayey silt
S41	2.1	66.1	31.8	Clayey silt
S42	2.5	71.4	26.1	Clayey silt
S43	1.8	64.3	33.9	Clayey silt
S44	0.9	64.6	34.5	Clayey silt
S45	1.8	51.9	46.3	Clayey silt
S46	2.1	56.8	41.1	Clayey silt
S47	1.7	51.7	46.6	Clayey silt
S48	0.7	55.7	43.6	Clayey silt
S49	5.7	36.3	58.0	Silty clay
S50	0.9	65.1	34.0	Clayey silt
S51	1.0	56.7	42.3	Clayey silt
S52	0.6	64.5	34.9	Clayey silt
S53	66.3	11.8	21.9	Silty clayey sand
S54	1.2	61.5	37.3	Clayey silt
S55	3.6	56.5	39.9	Clayey silt
S56	0.8	58.3	40.9	Clayey silt
S57	1.0	53.7	45.3	Clayey silt
S58	1.6	52.2	46.2	Clayey silt
S59	64.3	4.8	30.9	Clayey sand

ภาคผนวก ฅ

องค์ประกอบทางเคมีของตะกอนทะเลสาบสงขลา

ตารางผนวกที่ ฅ-1 องค์ประกอบทางเคมีของตะกอนบริเวณทะเลน้อย

Station	%				
	OC	TC	TH	TN	TS
N1	6.45	7.27	1.51	0.76	1.86
N2	7.73	10.34	1.90	0.84	2.53
N3	6.44	8.56	1.84	0.82	2.27
N4	4.53	5.70	1.28	0.52	0.91
N5	2.93	3.49	1.01	0.38	0.88
N6	4.17	5.26	1.05	0.41	1.24
N7	5.31	6.49	1.52	0.61	2.62
N8	9.22	14.45	2.41	1.30	2.39
N9	4.89	5.98	1.39	0.60	1.03
N10	7.57	9.73	2.03	1.02	3.18
N11	8.67	12.12	2.07	0.81	1.81
N12	4.65	4.79	1.35	0.45	1.54
N14	7.44	7.93	1.47	0.57	1.49
N15	7.29	9.11	1.99	0.80	1.56
Min	2.93	3.49	1.01	0.38	0.88
Max	9.22	14.45	2.41	1.30	3.18
Average	6.24	7.94	1.63	0.71	1.81
SD	1.79	2.91	0.40	0.24	0.68
Median	6.45	7.60	1.52	0.69	1.69

ตารางผนวกที่ ฅ-2 องค์ประกอบทางเคมีของตะกอนบริเวณทะเลสาบตอนใน

Station	%				
	OC	TC	TH	TN	TS
N13 = S0	2.13	2.36	0.68	0.13	0.72
S1	0.78	1.02	0.58	0.15	0.26
S2	1.23	1.54	0.88	0.22	0.31
S3	1.95	1.36	0.71	0.21	0.23
S4	0.93	1.13	0.53	0.12	0.22
S5	0.93	1.14	0.58	0.08	0.21
S6	1.02	1.19	0.62	0.07	0.29
S7	1.14	1.30	0.60	0.33	0.33
S8	1.14	1.35	0.58	0.25	0.23
S9	2.52	2.76	0.74	0.40	0.40
S10	0.74	1.05	0.48	0.30	0.34
S11	0.96	1.19	0.55	0.36	0.33
S12	0.84	1.19	0.57	0.30	0.27
S13	0.89	1.24	0.54	0.35	0.25
S14	1.37	1.81	0.63	0.50	0.23
S15	0.65	0.88	0.43	0.29	0.11
S16	0.79	0.96	0.63	0.27	0.24
S17	0.75	0.89	0.59	0.22	0.17
S18	1.10	1.37	0.66	0.26	0.25
S19	0.79	0.95	0.51	0.24	0.16
S20	0.64	0.83	0.38	0.17	0.16
S21	0.73	0.92	0.60	0.27	0.15
Min	0.64	0.83	0.38	0.07	0.11
Max	2.52	2.76	0.88	0.50	0.72
Average	1.09	1.29	0.59	0.25	0.27
SD	0.49	0.47	0.10	0.10	0.12
Median	0.93	1.19	0.59	0.26	0.25

ตารางผนวกที่ ๓-3 องค์ประกอบทางเคมีของตะกอนบริเวณทะเลสาบตอนกลาง

Station	%				
	OC	TC	TH	TN	TS
S22	0.58	0.67	0.48	0.22	0.08
S23	0.60	0.76	0.55	0.19	0.09
S24	0.69	0.74	0.52	0.17	0.10
S25	0.57	0.71	0.59	0.18	0.13
S26	0.43	0.62	0.49	0.14	0.14
S27	0.61	0.65	0.44	0.15	0.14
S28	0.55	0.63	0.48	0.16	0.16
S29	0.63	0.67	0.55	0.23	0.20
S30	0.64	0.72	0.53	0.32	0.19
S31	0.59	0.59	0.42	0.05	0.09
S32	0.62	0.60	0.39	0.04	0.06
S33	0.72	0.93	0.73	0.07	0.13
S34	0.66	0.84	0.83	0.03	0.17
S35	0.93	1.10	0.80	0.07	0.17
S36	1.01	0.99	0.63	0.05	0.18
Min	0.43	0.59	0.39	0.03	0.06
Max	1.01	1.10	0.83	0.32	0.20
Average	0.66	0.75	0.56	0.14	0.14
SD	0.14	0.15	0.13	0.08	0.04
Median	0.62	0.71	0.53	0.15	0.14

ตารางผนวกที่ ๘-4 องค์ประกอบทางเคมีของตะกอนบริเวณทะเลสาบตอนนอก

Station	%				
	OC	TC	TH	TN	TS
S37	0.83	0.90	0.41	0.03	0.16
S38	1.18	1.52	0.51	0.05	0.22
S39	0.58	0.58	0.40	0.02	0.03
S40	0.97	0.98	0.68	0.17	0.22
S41	1.10	1.18	0.57	0.17	0.23
S42	0.54	0.59	0.33	0.13	0.16
S43	1.20	1.67	0.60	0.18	0.31
S44	0.86	0.92	0.62	0.23	0.16
S45	0.73	0.83	0.74	0.18	0.11
S46	0.60	0.65	0.71	0.18	0.10
S47	1.05	1.25	1.00	0.23	0.40
S48	1.30	1.03	0.79	0.22	0.62
S49	1.01	1.35	0.86	0.22	0.28
S50	0.57	0.61	0.45	0.15	0.06
S51	0.85	0.89	0.66	0.21	0.18
S52	0.75	0.87	0.69	0.22	0.44
S53	0.38	0.38	0.27	0.12	0.19
S54	0.99	0.91	0.70	0.23	0.58
S55	0.65	0.68	0.81	0.20	0.29
S56	0.88	0.84	0.88	0.28	0.31
S57	1.83	2.64	1.18	0.59	0.68
S58	0.81	0.86	0.89	0.65	0.24
S59	0.52	0.61	0.43	0.67	0.19
Min	0.38	0.38	0.27	0.02	0.03
Max	1.83	2.64	1.18	0.67	0.68
Average	0.88	0.99	0.66	0.23	0.27
SD	0.31	0.47	0.22	0.17	0.17
Median	0.85	0.89	0.68	0.20	0.22

ภาคผนวก ญ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตะกอนทะเลสาบสงขลา

ตารางผนวกที่ ญ-1 ปริมาณโลหะหนักในตะกอนบริเวณทะเลน้อย

Station	Conc.(mg/kg)						Conc.(g/kg)	
	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	Mn	Fe	Al
N1	<1.33	43.59	11.89	<3.33	38.18	136.72	24.41	50.36
N2	<1.33	45.48	15.16	<3.33	52.43	156.23	35.62	55.76
N3	<1.33	49.23	21.29	<3.33	49.55	294.08	33.13	68.46
N4	<1.33	41.14	<0.67	<3.33	40.54	222.30	29.60	50.72
N5	<1.33	50.46	7.97	<3.33	46.09	142.10	21.29	55.83
N6	<1.33	39.07	4.64	<3.33	28.22	188.08	22.04	39.43
N7	<1.33	51.83	5.32	<3.33	48.50	388.70	44.43	65.76
N8	<1.33	41.86	6.64	<3.33	58.05	547.51	34.47	59.71
N9	<1.33	45.18	<0.67	<3.33	51.31	285.05	36.68	57.40
N10	<1.33	41.92	5.99	<3.33	61.34	183.63	44.04	65.11
N11	<1.33	46.57	3.99	<3.33	49.97	459.75	33.25	57.85
N12	<1.33	45.06	1.33	<3.33	58.30	191.52	25.52	61.01
N14	<1.33	36.00	14.00	<3.33	42.07	132.67	25.78	46.32
N15	<1.33	55.19	10.64	<3.33	79.82	237.37	33.13	78.86
Min	<1.33	36.00	<0.67	<3.33	28.22	132.67	21.29	39.43
Max	<1.33	55.19	21.29	<3.33	79.82	547.51	44.43	78.86
Average	<1.33	45.18	7.87	<3.33	50.31	254.69	31.67	58.04
SD	-	5.02	5.84	-	11.78	123.70	7.08	9.52
Median	-	45.12	6.32	-	49.76	206.91	33.13	57.63

หมายเหตุ : ค่าความเข้มข้นที่ตรวจพบว่ามีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่า detection limit เวลาคำนวณ
ค่าเฉลี่ย ใช้ค่า detection limit ในการคำนวณ

ตารางผนวกที่ ๒-2 ปริมาณโลหะหนักในตะกอนบริเวณทะเลสาบตอนใน

Station	Conc.(mg/kg)						Conc.(g/kg)	
	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	Mn	Fe	Al
N13 = S0	<1.33	29.16	1.33	<3.33	34.81	185.55	19.23	34.80
S1	<1.33	33.07	4.44	6.42	37.39	693.52	15.06	47.90
S2	<1.33	40.14	6.94	<3.33	57.39	1337.46	22.49	74.88
S3	<1.33	46.04	9.02	<3.33	59.52	1048.88	29.36	76.22
S4	<1.33	29.91	15.44	<3.33	34.19	1339.12	15.01	51.18
S5	<1.33	26.00	19.74	<3.33	33.32	889.26	15.29	54.94
S6	<1.33	41.73	8.25	<3.33	33.17	641.44	14.67	54.73
S7	<1.33	38.95	14.79	<3.33	37.35	864.40	17.17	72.19
S8	<1.33	34.36	5.48	<3.33	39.92	473.61	19.76	59.31
S9	<1.33	34.32	5.28	<3.33	31.19	599.34	22.44	54.47
S10	<1.33	43.22	<0.67	<3.33	31.91	483.96	12.45	42.89
S11	<1.33	44.97	<0.67	<3.33	42.00	645.52	19.37	54.17
S12	<1.33	38.64	<0.67	<3.33	36.41	475.68	20.26	50.23
S13	<1.33	41.17	<0.67	<3.33	36.28	422.31	21.52	51.13
S14	<1.33	33.73	<0.67	<3.33	37.95	169.97	24.41	50.67
S15	<1.33	23.72	<0.67	<3.33	18.76	222.66	14.06	28.87
S16	<1.33	35.90	<0.67	<3.33	31.42	417.55	18.09	42.80
S17	<1.33	32.94	<0.67	<3.33	31.41	337.94	18.50	43.07
S18	<1.33	33.55	<0.67	<3.33	30.54	384.21	20.09	43.16
S19	<1.33	31.54	<0.67	<3.33	23.15	360.71	16.95	38.71
S20	<1.33	28.51	3.32	<3.33	18.47	248.01	14.40	31.11
S21	<1.33	37.72	<0.67	<3.33	30.58	310.39	20.33	45.99
Min	<1.33	23.72	<0.67	<3.33	18.47	169.97	12.45	28.87
Max	<1.33	46.04	19.74	6.42	59.52	1339.12	29.36	76.22
Average	<1.33	35.42	4.61	3.47	34.87	570.52	18.68	50.16
SD	-	5.90	5.53	0.64	9.47	332.19	3.88	12.34
Median	-	34.34	1.00	3.33	33.76	474.65	18.87	50.45

หมายเหตุ : ค่าความเข้มข้นที่ตรวจพบว่ามีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่า detection limit เวลาคำนวณ
ค่าเฉลี่ย ใช้ค่า detection limit ในการคำนวณ

ตารางผนวกที่ ๓-3 ปริมาณโลหะหนักในตะกอนบริเวณทะเลสาบตอนกลาง

Station	Conc.(mg/kg)						Conc.(g/kg)	
	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	Mn	Fe	Al
S22	<1.33	31.60	<0.67	<3.33	18.89	167.87	16.90	35.19
S23	<1.33	29.64	<0.67	<3.33	30.02	308.30	15.15	35.42
S24	<1.33	33.44	1.31	<3.33	23.84	358.03	17.92	37.19
S25	<1.33	36.21	<0.67	<3.33	29.31	262.67	22.45	44.63
S26	<1.33	27.70	<0.67	<3.33	17.26	297.49	15.60	32.36
S27	<1.33	29.80	<0.67	<3.33	21.52	287.42	16.11	35.99
S28	<1.33	30.48	<0.67	<3.33	20.69	319.42	15.85	35.30
S29	<1.33	36.23	<0.67	<3.33	25.85	375.49	17.49	39.53
S30	<1.33	37.06	1.99	<3.33	24.29	644.61	16.50	37.29
S31	<1.33	29.90	<0.67	<3.33	18.08	409.30	13.93	30.27
S32	<1.33	33.93	<0.67	4.66	28.63	369.26	17.02	37.82
S33	<1.33	49.67	<0.67	<3.33	43.73	635.10	31.43	62.45
S34	<1.33	73.28	<0.67	11.99	56.56	794.14	128.06	60.52
S35	<1.33	57.46	3.96	<3.33	49.89	488.11	48.72	68.89
S36	<1.33	38.36	<0.67	<3.33	35.72	348.54	22.66	50.76
Min	<1.33	27.70	<0.67	<3.33	17.26	167.87	13.93	30.27
Max	<1.33	73.28	3.96	<3.33	56.56	794.14	128.06	68.89
Average	<1.33	38.32	1.02	4.00	29.62	404.38	27.72	42.91
SD	-	12.14	0.86	2.16	11.54	162.23	28.17	11.62
Median	-	33.93	0.67	3.33	25.85	358.03	17.02	37.29

หมายเหตุ : ค่าความเข้มข้นที่ตรวจพบว่ามีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่า detection limit เวลาคำนวณ
ค่าเฉลี่ย ใช้ค่า detection limit ในการคำนวณ

ตารางผนวกที่ ๓-4 ปริมาณโลหะหนักในตะกอนบริเวณทะเลสาบตอนนอก

Station	Conc.(mg/kg)						Conc.(g/kg)	
	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	Mn	Fe	Al
S37	<1.33	35.29	<0.67	<3.33	29.22	292.28	19.27	40.09
S38	<1.33	32.58	11.97	4.65	26.09	329.79	20.71	41.31
S39	<1.33	30.96	<0.67	<3.33	36.27	472.99	19.50	45.63
S40	<1.33	23.21	4.64	<3.33	49.25	367.37	23.76	51.96
S41	<1.33	18.36	3.28	<3.33	39.15	348.20	29.82	37.67
S42	<1.33	15.12	5.26	9.20	30.65	175.54	13.91	27.11
S43	<1.33	24.55	6.64	4.64	34.01	282.68	24.24	40.31
S44	<1.33	27.03	<0.67	<3.33	38.52	392.22	23.01	47.90
S45	<1.33	32.62	2.00	<3.33	48.46	422.77	34.32	64.36
S46	<1.33	31.27	0.67	<3.33	52.08	523.62	43.61	56.26
S47	<1.33	33.03	1.98	<3.33	59.64	357.33	34.37	70.08
S48	<1.33	30.50	14.59	<3.33	66.59	280.50	33.65	63.85
S49	<1.33	31.06	1.32	<3.33	54.24	362.19	34.47	65.77
S50	<1.33	22.44	<0.67	<3.33	48.04	427.06	28.79	48.86
S51	<1.33	29.00	6.59	<3.33	45.62	428.48	31.16	56.64
S52	<1.33	19.74	<0.67	<3.33	41.92	351.97	25.00	41.41
S53	<1.33	7.91	<0.67	5.27	13.63	139.09	8.47	17.57
S54	<1.33	34.56	<0.67	<3.33	69.08	251.57	29.93	58.13
S55	<1.33	38.46	<0.67	<3.33	51.34	658.49	36.60	63.65
S56	<1.33	39.05	8.60	<3.33	54.73	604.90	33.12	65.17
S57	<1.33	46.60	13.32	<3.33	59.70	546.60	36.94	71.37
S58	<1.33	48.15	3.30	<3.33	62.48	776.39	45.55	71.17
S59	<1.33	27.13	4.63	<3.33	44.96	352.08	20.59	41.38
Min	<1.33	7.91	<0.67	<3.33	13.63	139.09	8.47	17.57
Max	<1.33	48.15	14.59	<3.33	69.08	776.39	45.55	71.37
Average	<1.33	29.51	4.09	3.78	45.90	397.57	28.29	51.64
SD	-	9.16	4.25	1.27	13.44	146.14	8.86	14.19
Median	-	30.96	2.00	3.33	48.04	362.19	29.82	51.96

หมายเหตุ : ค่าความเข้มข้นที่ตรวจพบว่ามีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่า detection limit เวลาคำนวณ
ค่าเฉลี่ย ใช้ค่า detection limit ในการคำนวณ