
어장환경평가 조사 · 분석 및 정도관리 지침서



국립수산과학원
해양환경연구과



목 차



1장. 총괄	1
2장. 현장조사	4
3장. 평가항목별 분석법	10
3-1. 총유기탄소 분석법	10
3-2. 총황 분석법	16
3-3. 중금속 분석법	21
3-4. 저서동물 분석법	35
4장. 숙련도 평가	38
5장. 교차 검증	42
참고	43
1) 용어정리	43
2) 참고문헌	46

1장 총괄

1. 목적

본 지침서는 「어장관리법」 제26조, 같은 법 시행령 제14조제1항 및 시행규칙 제3조의2, 그리고 「양식산업발전법」 제76조 및 같은 법 시행령 제53조제1항에 따라 국립수산과학원장에게 위임된 “어장환경평가”의 조사·분석 등 세부 방법 및 절차 등 필요한 사항을 정하고, 안내하는 것을 목적으로 함

2. 평가 분류 및 정의

가. “어장환경평가”란 「어장관리법」 제11조의2에 따라 어장을 효율적으로 이용하고 어장환경을 보전·개선하기 위해 양식업 면허의 유효기간이 끝나는 날의 1년 전까지 어장환경을 평가하는 것(면허 연장 전)

* 평가항목: 퇴적물의 총유기탄소, 총황, 중금속(비소, 카드뮴, 크롬, 구리, 수은, 니켈, 납, 아연), 저서동물지수

나. “양식업 면허 심사·평가”란 「양식산업발전법」 제25조에 따라 양식수산물의 지속가능한 생산과 양식장의 체계적 관리를 위하여 면허의 유효기간(법 제17조 제2항에 따라 면허의 유효기간을 연장한 경우에는 연장된 면허의 유효기간을 포함한다. 이하 같다)이 만료되기 전에 해당 면허에 대하여 심사·평가하는 것(면허 재개발 전)

* 평가항목: 상기 어장환경평가 항목 + 양식장 관리실태(휴업, 불법임대, 관계 법령 위반, 청소, 휴식)

3. 평가 대상 어장

- 가. 해조류양식업
- 나. 패류양식업
- 다. 어류등양식업
- 라. 복합양식업
- 마. 협동양식업
- 바. 외해양식업

4. 어장환경평가 조사·분석 정도관리

가. 「어장관리법」 제26조 및 같은 법 시행령 제14조제2항에 따라 어장환경평가

조사·분석 위탁기관의 정도관리는 국립수산과학원 고시 “어장환경평가의 방법 및 절차 등에 관한 규정” [별표 4]의 일반 원칙 및 일련의 과정을 따름

* 위탁가능 기관: ① 「해양환경관리법」 제86조에 따른 평가대행자, ② 「공공기관의 운영에 관한 법률」 제4조에 따른 공공기관 중 해양수산 관련 기관, ③ 「정부출연연구기관 등의 설립·운영 및 육성에 관한 법률」에 따른 정부출연연구기관 및 「과학기술분야 정부출연연구기관 등의 설립·운영 및 육성에 관한 법률」에 따른 과학기술분야 정부출연연구기관 중 해양수산 관련 연구기관, ④ 「고등교육법」 제2조에 따른 대학

나. 일반원칙

- 1) 어장환경평가 조사·분석에 참여하려는 기관(이하 “참여희망기관”이라 한다)은 어장환경평가 시행 전년도에 국립수산과학원에서 실시하는 정도관리 설명회 및 숙련도 교육·평가에 참여해야 함
- 2) 「해양환경관리법」 제12조에 따라 항목별 정도관리를 받은 자는 해당 항목의 숙련도 평가를 받은 것으로 간주함
- 3) 참여희망기관 중 조사·분석 위탁용역이 체결된 기관(이하 “조사·분석기관”이라 한다)은 어장환경평가 조사·분석 결과를 제출하기 전에 교차검증을 받아야 한다.

[주1] 숙련도 평가는 표준시료(또는 평가시료)에 대한 참여희망기관의 측정·분석능력을 사업수행 이전에 검증하는 것을 의미한다.

[주2] 교차검증은 동일한 현장시료에 대한 결과값을 국립수산과학원과 조사·분석기관이 상호 비교하여 검증하는 것을 의미한다.

<어장환경평가 조사·분석 정도관리 추진 계획>

시기	수행 절차	수행 내용
11월~12월	참여희망기관 대상 정도관리 설명회(교육) 및 숙련도 평가	숙련도 평가 결과 확인 등
1월~2월	어장환경평가 실시계획 수립 및 위탁기관 선정	제안서 평가 및 계약 등
3월~5월	어장환경평가 현장조사	시료채취 및 분석
6월~7월	어장환경평가 현장시료 분석 및 교차 검증 실시	분석과정 등 검증
8월 초	(양식산업발전법 대상)어장환경평가 항목 분석 결과 제출	결과 검증
8월~10월	어장환경평가 현장시료 분석 및 교차 검증 실시	분석과정 등 검증
11월 초	(어장관리법 대상)어장환경평가 항목 분석 결과 제출	결과 검증
~12월	재평가 등	이의신청에 따른 재평가 실시(수과원 자체)

5. 관련 법령 근거

구분	조항
어장환경평가	<ul style="list-style-type: none"> ■ 「어장관리법」 제 11조의2(어장환경평가) ■ 같은 법 시행규칙 제3조의2(어장환경평가 대상 및 평가 항목 등) ■ 국립수산과학원 고시 “어장환경평가의 방법 및 절차 등에 관한 규정”
양식업 면허 심사·평가	<ul style="list-style-type: none"> ■ 「양식산업발전법」 제25조(면허의 심사·평가), ■ 같은 법 시행규칙 제22조(면허의 심사·평가 방법 및 절차 등) ■ 국립수산과학원 고시 “양식업 면허 심사·평가 방법 및 절차 등에 관한 규정”
어장환경평가 조사·분석 정도관리	<ul style="list-style-type: none"> ■ 「어장관리법」 제26조(권한의 위임 및 위탁) ■ 같은 법 시행령 제14조(권한의 위임) ■ 국립수산과학원 고시 “어장환경평가의 방법 및 절차 등에 관한 규정” 제5조(정도관리)

6. 어장환경평가 조사·분석 항목 및 의의

조사항목(대분류)	조사항목(소분류)	의의
화학항목	총유기탄소 (TOC, Total Organic Carbon)	퇴적물 유기물 함량 간접지표이자 유기오염 지시자(현행 어장환경기준)
	총황(TS, Total Sulfur)	TOC의 보완 항목으로 유기오염 간접 지표(TOC와 병행 측정 시 보다 정확한 유기오염정도 산출)
	중금속(Heavy Metal)	환경 민감도와 관련된 양식장 안전성 지표 활용(현행 해양환경기준)
생물항목	저서동물지수 (BHI, Benthic Health Index)	저서동물 출현량, 밀도 등을 고려한 저서생태계 건강성을 나타내는 척도

2장 현장조사

1. 현장조사일지 작성

현장조사일지는 조사과정의 확인뿐만 아니라 분석 결과의 해석 시에도 참고할 수 있는 자료이다. 모든 시료에 관한 채취과정의 정보는 다른 연구자들이 충분히 이해할 수 있도록 표 1의 서식에 따라 꼼꼼하게 작성한다.

가. 면허번호: 발주기관에서 제공한 면허번호

나. 조사자: 현장 시료 채집에 참여한 자를 작성하되, 조사자 대표 표시

다. 조사일시: 년-월-일-시 기입

라. 기상: 시료 채집일의 현장 기상 상태

마. 양식업의 종류: 해조류, 패류, 어류등, 복합, 협동, 외해양식업

* 양식산업발전법 제10조 양식업의 면허 중 내수면양식업 제외

바. 양식 방법: 수하식, 바닥식, 가두리, 축제식, 혼합 양식업

* 양식산업발전법 시행령제9조 면허 양식업의 종류 중 양식업의 종류별 양식방법

사. 양식 품종: 현장에서 양식업권자에 확인하여 품종 기입

아. 시설 배치도, 정점 위치: 상단에 방위 표시 후 양식장 시설 배치도와 시료 채집 위치 표시

자. 위도·경도: WGS84 좌표계를 사용한 정점별 좌표를 60분위(도분초)로 기입

차. 수심: 조사 선박의 어탐기의 수심 기입

카. 시료채집 면적: 0.07 m²이 기본, 현장 상황에 따라 선택한 그랩 면적 기입

타. 현장 퇴적물 육안(맨눈) 관찰사항: 퇴적물 색상, 냄새, 퇴적상 등을 각각의 정점별로 기입. “패각이 많은 퇴적물”은 퇴적상 란에 따로 추가 표기

파. 특이사항

표 1. 현장조사 일지 서식

현장조사 일지

①면허번호		②조사자	
③조사일시		④기상 상태	
⑤양식업 종류		⑥양식 방법	
⑦양식 품종			
⑧시설 배치도, 정점 위치			
⑨*위도·경도	1)	⑩*수심	1)
	2)		2)
⑪시료채집면적			
⑫*현장 퇴적물 육안(맨눈) 관찰사항	퇴적물색(환원정도)	1)	2)
	냄새 ¹⁾	1)	2)
	퇴적상 ²⁾	1)	2)
⑬특이사항			
<p>* 대표정점 2개 모두 작성</p> <p>1) 시료에서 특이한 냄새(황화수소, 암모니아 등)가 날 경우 표시한다.</p> <p>2) 자갈, 모래, 실트, 점토, 자갈모래혼합, 모래실트혼합, 실트점토혼합 등 가능한 상세히 표시한다.</p>			

2. 시료 채집기

가. 퇴적물 시료를 채집하는 채취기는 van Veen grab을 사용한다.

나. 채니기의 크기(기준: 채집면적)는 0.07 m²를 기본으로 사용하되, 퇴적물에 패각 등 이물질이 많아 채집효율이 현저히 떨어질 때는 더 큰 채니기를 사용할 수 있다(그림 1). 다만, 같은 여장에서 정점에 따라 서로 다른 면적의 채니기를 사용해서는 안 된다.

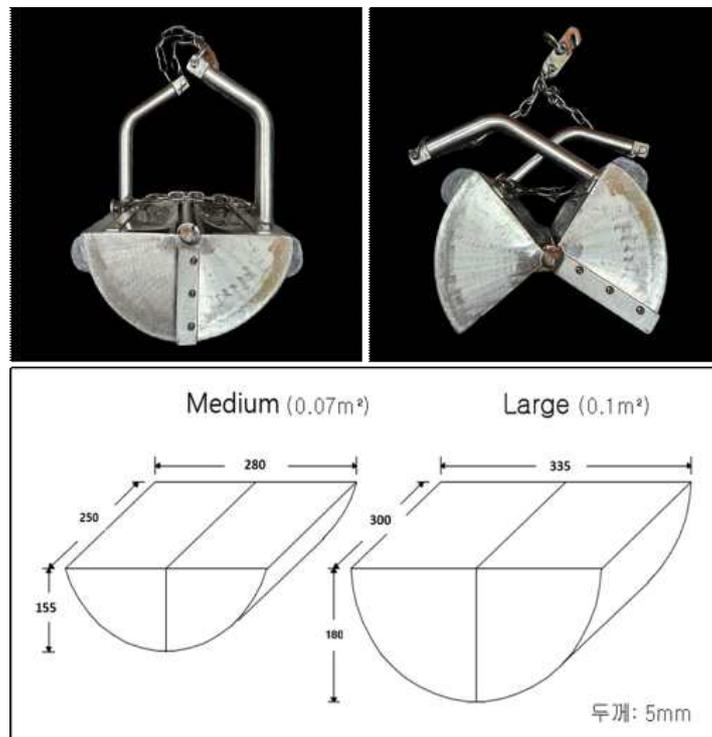


그림 1. 채니기(van Veen grab sampler)
채집면적별 규격.

3. 시료채집 방법

가. 퇴적물 시료 채집을 위한 정점 선정 시 그림 2와 같이 시설물 설치 현황, 양식장의 위치 및 해류의 흐름 등을 고려해야 한다.

- 양식장의 직접적인 영향을 파악할 수 있도록 시설물이 있는 양식장은 시설물에 최대한 가까운 위치에 정점을 선정하고, 시설물이 없는 양식장은 면허구역을 명확히 확인하여 양식장 내측에 정점이 위치할 수 있도록 한다.

나. 조사정점의 수는 단일품종 양식장의 경우 2개 정점, 복합양식장과 같이 다품종 양식장의 경우 품종별로 각각 2개의 정점을 조사한다.

- 예를 들어, 다시마와 전복을 양식하는 복합양식장이라면 다시마 양식장에 2

- 개 정점, 전북 양식장에 2개 정점을 선정하여 총 4개의 정점을 조사한다.
- 다. 각 정점에서 퇴적물 시료는 2회 채집하고, 각각을 퇴적물 분석용과 저서동물 분석용으로 구분하여 사용한다.
- 라. 양식장 면허구역 내에 경성기질(암반, 바위, 굵은 자갈 등)이 많은 경우(예: 협동양식장 등)에는 가능한 면허구역 내의 연성기질(펄, 모래 등)을 찾아 시료를 채집한다.
- 마. 저서동물 채집을 위한 퇴적물의 적정 채집량은 채니기 체적의 2/3 이상 또는 채집 깊이 10 cm 이상일 경우이며, 이에 못 미칠 때에는 채니기 내 퇴적물을 깨끗이 제거한 후 다시 채집을 시도한다(그림 3).

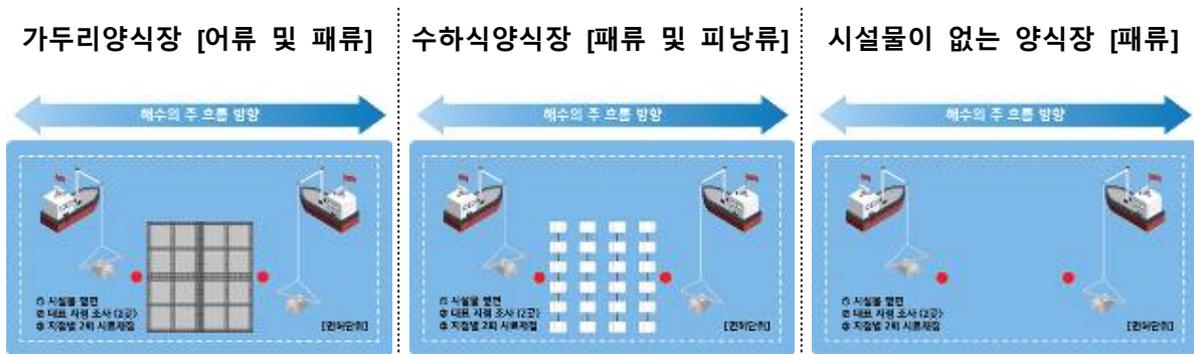


그림 2. 시료채집 위치.

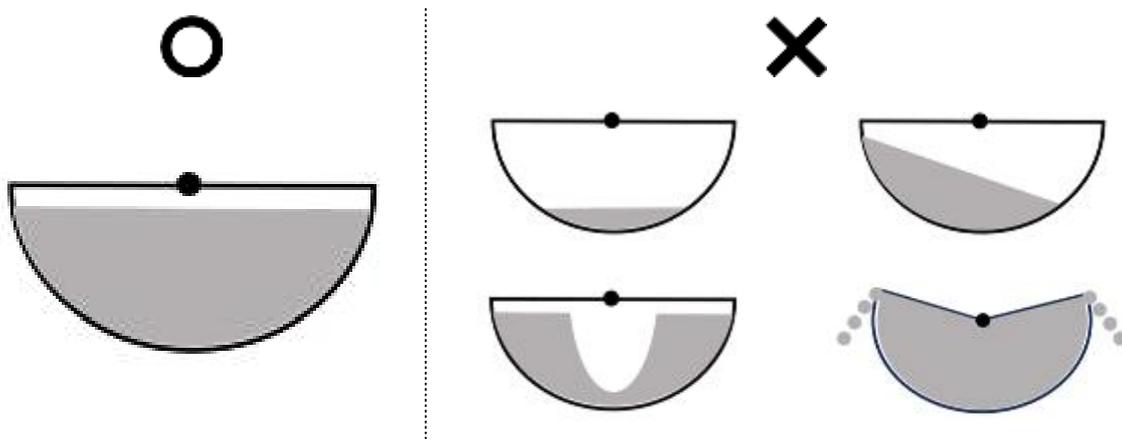


그림 3. 시료채집기의 적정 채집량.

4. 시료의 처리(화학항목 뒤에 저서동물 배치)

가. 총유기탄소, 총황, 중금속

- 1) 총유기탄소 및 총황 분석을 위한 퇴적물 시료의 채집은 시료채집기를 이용하여 채취한 후, 플라스틱 재질의 주걱으로 교란되지 않은 부분의 표층에서

2 cm 깊이까지를 표층 퇴적물로 취하여 입구가 넓은 고밀도 폴리에틸렌병 (wide mouth HDPE bottle)에 가득 담는다. 이때, 채취기의 금속재질과 접촉한 부분의 시료를 채취하지 않도록 주의한다.

나. 생물항목(저서동물)

- 1) 저서동물 채집을 위한 적정량의 퇴적물이 채집되면, 채니기 내의 퇴적물을 대형 트레이로 잔여물이 남지 않도록 옮기고, 이를 다시 망목 지름 1 mm 크기의 체(sieve)로 모두 옮긴다.
- 2) 체로 옮겨진 퇴적물은 펌핑 해수를 이용하여 최대한 씻어내고, 저서동물을 비롯해 체를 통과하지 못한 잔존물은 플라스틱 시료병(1 L~3.5 L)에 옮겨 담는다.
 - 퇴적물을 펌핑 해수로 씻어내는 과정에서 세척수가 넘쳐 저서생물이 유실되거나 손을 이용하여 퇴적물을 으깨거나 바닥에 비비는 등의 행동으로 저서생물이 손상되는 일이 없도록 해야 한다.
- 3) 잔존물을 옮긴 시료병에는 잔존물이 잠길 정도만 해수를 채우고 해수 : 포르말린 원액의 비율이 9:1이 되도록 용액을 부어(10% 중성포르말린) 저서동물을 고정한다.
- 4) 고정이 끝난 시료병의 옆면과 뚜껑에는 라벨지를 붙이고, 채집지역, 양식면허 번호, 정점, 채집날짜 등의 기본정보를 기록한다(그림 4).

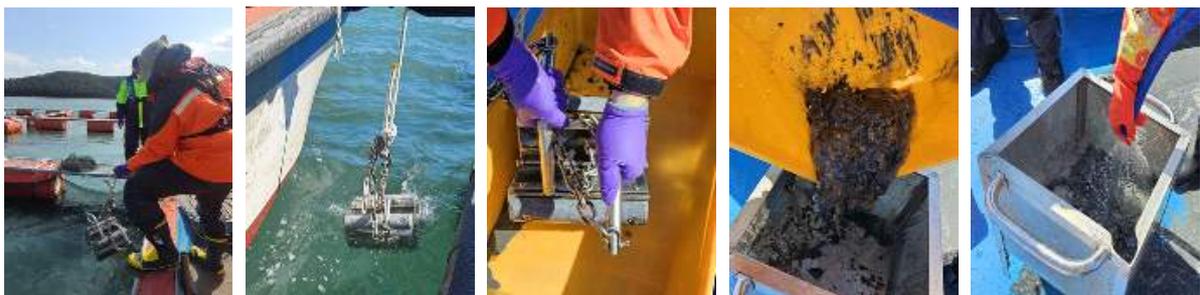


그림 4. 시료채집 과정.

5. 시료의 운반 및 보관

가. 시료를 분석하기 이전에 물리, 화학, 생물학적 정보가 변화하지 않도록 보관해야 한다.

나. 항목별 시료 보관방법

- 1) 생물항목(저서동물) 시료는 실험실에서 시료를 선별하기 전까지 상온에서 보관해야 한다.
- 2) 총유기탄소, 총황 및 중금속 분석을 위한 시료는 현장에서 채취 후 드라이아이스가 담긴 아이스박스에 즉시 넣어 실험실로 운반하는 동안의 변화를 최소화

화한다. 실험실로 이동한 후에는 시료 전처리 전까지 동결된 상태를 유지한다. 시료의 보관은 퇴적물공정시험기준(2023)의 보관방법을 준용하여 사용한다.

3장 평가항목별 분석법

3-1. 총유기탄소 분석법

1. 측정원리

퇴적물 내 유기물의 함량은 저서환경의 질을 평가하는 척도의 하나로 널리 사용되고 있다. 퇴적물 내 유기물은 다양한 형태와 종류로 존재하며 그 공급원 또한 매우 다양하며, 일반적인 유기물을 대표하고 비교적 측정이 용이한 유기탄소량에 의해 유기물 양을 측정한다. 퇴적물 내 유기물은 고온(약 1000°C)에서 촉매를 이용하여 기체 상태(CO₂)로 연소한 후 열 전도도 검출기(TCD; thermal conductivity detector)를 이용하여, 정량한 후 탄소의 함량(%)으로 계산한다.

2. 방해요인

실험에 사용되는 기구 및 기기는 총유기탄소의 측정 및 분석에 방해로 주는 것이 없어야 하고 사용 전 확인 시험을 통해 기구 및 기기에 의한 오염이 없는지를 확인해야 한다. 방해물질들은 전처리 과정 중 발생하는 먼지 및 오염물질, 시료 용기와 뚜껑 등에서 비롯될 수 있으며, 이들은 크로마토그램의 바탕선을 상승시킨다. 오염 가능성이 있는 모든 용기나 기구는 정기적으로 검사하여 방해물질이 실험실 공시료 수준 이하로 존재하도록 하여야 한다.

3. 기구 및 기기

가. 핀셋(tweezer)

나. 주석 용기(tin capsule)

다. 미량 스푼(micro spoon)

라. 시료용기: 폴리프로필렌(PP) 재질의 뚜껑이 있는 250 ml PE 광구병(시료 보관용)과 폴리프로필렌(PP) 재질의 뚜껑이 있는 15 ml 내산성 폴리프로필렌 용기(전처리용)를 사용한다.

마. 메쉬 체(mesh sieve): 125 μm 이상의 물질을 거를 수 있는 mesh size를 사용한다.

바. 마노 분쇄기(막자사발, agate mortar)

사. 데시케이터(dessicator)

- 아. 가열판(hot plate): 온도가 정확히 조절되는 것을 사용한다.
- 자. 전자저울(microbalance): 0.001 mg까지 무게를 정확히 측정할 수 있는 저울을 사용한다.
- 차. 교반기(shaker)
- 카. 원심분리기(centrifuge)
- 타. 동결건조기(freeze dryer) 또는 건조기(oven)
- 파. 원소분석기(elemental analyzer)
- 하. 컴퓨터(시료 측정 소프트웨어 장착 포함)

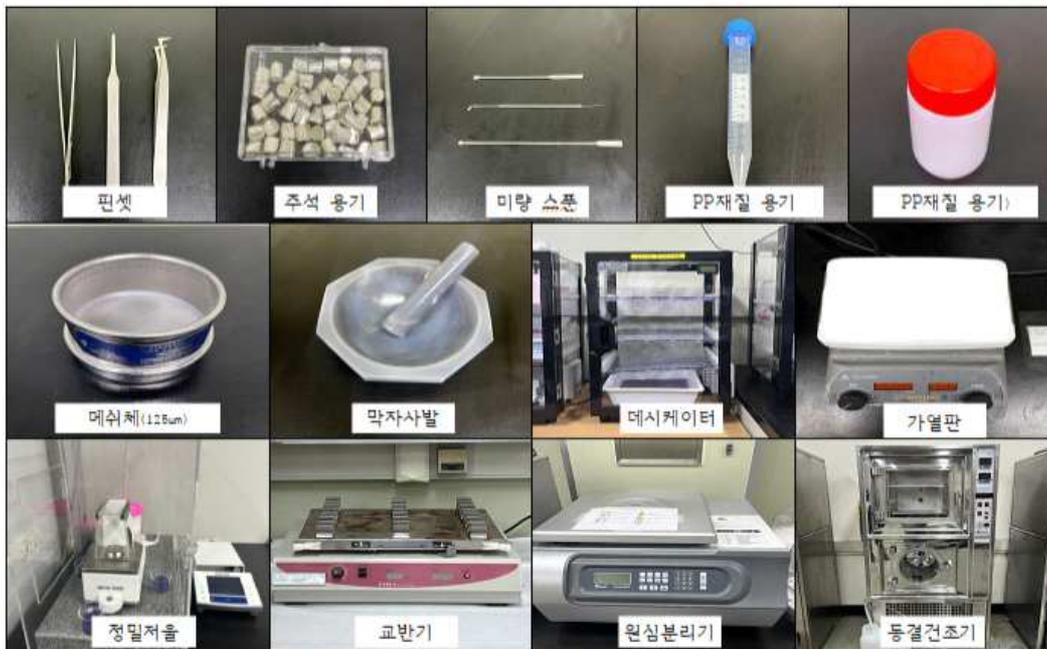


그림 5. 기구 및 기기

4. 시약 및 표준물질

- 가. 10%(v/v) 염산(HCl) 용액: 초순수 900 mL에 진한 염산 100 mL를 넣어 혼합하여 1,000 mL로 맞추어 사용한다.
- 나. 초순수: 퇴적물 시료의 산 처리 후 중화에 사용하는 초순수는 총유기탄소의 측정분석에 방해되지 않을 수준의 초순수를 이용해야 한다. 실험실에서 제조된 초순수의 경우 18 MΩ 이상의 저항값을 유지하도록 관리해야 한다.
- 다. 산소(O₂): 순도 99.9999% 이상 또는 초고순도 전기분해용 산소를 사용한다.
- 라. 질소(N₂), 헬륨(He): 순도 99.999% 이상이어야 한다.

마. 인증표준물질(certified reference material, CRM): 기기 감도 평가를 위한 농도별 검정선 작성과 기기분석 간 오차 범위 및 정확도 확인을 위해 사용한다.

- 1) BBOT(2,5-Bis(5-tert-butyl-2-benzoxazolyl)thiophene, $C_{26}H_{26}N_2O_2S$), Sulfanilamide($C_6H_8N_2O_2S$) 등의 표준물질 또는 동급 이상의 표준물질을 사용해야 한다.

5. 시료 보관 및 전처리

가. 저온냉동 조건($-20^{\circ}C$ 이하)에서 보관된 퇴적물은 동결건조기($-80^{\circ}C$ 이하) 또는 건조기($55^{\circ}C$ 이하)에서 48시간 이상 건조한다. 단, 건조 시 퇴적물이 오염되지 않도록 유의해야 한다.

나. 건조한 퇴적물은 패각 및 이물질을 제거한 후 마노 분쇄기(막자사발)을 이용하여 곱게 분말화한다.

다. 메쉬 체를 사용하여 거른 다음, 체를 통과하지 않은 퇴적물은 다시 분말화하는 과정을 반복한다.

라. 체를 통과한 퇴적물(분말 퇴적물)은 전처리용 용기(15 ml 내산성 폴리프로필렌 용기)에 넣고 데시케이터 또는 수분이 조절되는 장소에 보관한다.

6. 시험방법

가. 퇴적물 탄산염 제거

- 1) 퇴적물 내에 존재하는 탄산염(탄산칼슘($CaCO_3$), 탄산마그네슘($MgCO_3$) 등)을 제거하기 위해 분말 퇴적물 약 0.2 g을 취하여 별도의 전처리용 용기(염산용액 첨가 용기)에 담고, 10%(v/v) 염산용액 5 ml를 가한다.
- 2) 탄산염 분해 반응이 완전히 끝나 퇴적물에서 거품이 올라오지 않을 때까지 반응시킨다. 거품이 계속 발생한다면 완전히 반응이 일어날 때까지 염산을 추가한다.
- 3) 반응이 완전히 끝나면, 원심분리기(3,000 rpm, 10분간)를 이용해 퇴적물과 상등액으로 분리하고 상등액을 피펫으로 제거한다.
- 4) 퇴적물 내 잔존하는 염산용액을 제거하기 위해 전처리용 용기에 용기 부피의 50% 이상 증류수를 가하고 교반해 준다. 원심분리와 중화 과정은 3회 이상 반복해 염산용액을 완전히 제거해 준다. 염산 제거 상태를 확인하기 위해 리트머스 종이를 사용해 확인할 수 있다. 상기 과정은 적정 유속(0.4 m/s 이

상)을 유지하는 흡 후드 내에서 작업한다.

5) 중화 과정을 마친 퇴적물은 동결건조기 또는 건조기(55°C 이하)을 이용하여 완전하게 건조하고 분말화한다.

나. 전처리한 퇴적물은 2~5 mg 정도를 주석 용기에 옮겨 담고 전자저울을 이용하여 소수점 셋째 자리까지 정확히 무게를 측정한다.

다. 퇴적물이 담긴 주석 용기는 핀셋을 사용하여 견고히 봉합한 후 보관용기에 넣고 데시케이터 내에서 기기분석 전까지 보관한다. 주석 용기 봉합 시 퇴적물이 새어 나오지 않도록 주의해야 한다.

라. 기기분석 전 원소분석기에 연결된 산소, 질소, 헬륨의 잔량을 확인한다.

마. 주석 용기에 담은 분석용 시료를 원소분석기 주입부에 주입한다.

바. 시료 분석 시 3~5개의 분석용 시료를 측정하고, 다시 3~5개의 빈 주석 용기를 측정한다.

사. 빈 주석 용기 분석 시의 값을 바탕 값(blank)으로 한다.

아. 인증표준물질을 이용하여 시료 분석 수행 전뿐만 아니라 시료 분석 도중과 시료 분석 마지막 단계에서도 반드시 회수율을 측정한다. 최종 결과 산정 시 회수율을 고려하여 시료 분석값 계산에 반영한다.

자. 분석을 완료하고 난 후 각 기체의 머무름 시간(retention time)과 표준시료 무게별 크로마토그램 피크 면적을 검사하고 표준시료 검량곡선을 이용하여 퇴적물 시료 내 원소의 함량(%)을 정량한다.

차. 화학분석 일지(표 4)를 참고하여 분석 과정에서 측정 및 산출된 값을 작성한다.

7. 정도평가/정도관리(QA/QC)

가. 검출한계 및 정량한계

1) 정량한계의 부근의 농도가 되도록 표준물질을 첨가한 시료를 7개 준비하여 각 시료를 실험 절차와 동일하게 측정하여 표준편차를 구한다.

2) 표준편차에 3.14를 곱한 값을 방법검출한계로, 10을 곱한 값을 정량한계로 나타낸다. 측정한 정량한계는 표 2에서 제시한 정량한계 이하의 값이어야 한다.

나. 바탕시료의 측정

1) 바탕시료는 시료를 첨가하지 않은 빈 주석 용기를 시료 측정 전 3개 이상의 바탕시료로 측정하며, 시료 중 총유기탄소 함량 계산에 반영해야 한다.

다. 정밀도(precision) 및 정확도(accuracy)

- 1) 정밀도: 인증표준물질 또는 이에 상응하는 표준시료를 3회 이상 반복 측정하여 측정값의 표준편차가 정도관리 목표에 부합해야 한다.
- 2) 정확도: 인증표준물질 또는 이에 상응하는 표준시료를 3회 이상 반복 측정한 기기분석 값과 인증표준물질 제조사에서 제공하는 공인 값을 비교하여 시료 분석의 정확도를 검증한다.

$$CRM의\ 회수율(\%) = \frac{\text{기기분석값}}{\text{공인값}} \times 100 \quad (\text{식 } 1)$$

측정된 회수율은 정확도 80~120%에 부합해야 한다.

라. 검정곡선

- 1) 인증표준물질을 1.0~2.5 mg의 무게 범위에서 0.1~0.2 mg 간격으로 5 단계 이상의 무게가 다른 표준시료를 만들어 주석 용기에 담는다. 표준시료의 무게는 소수점 셋째 자리까지 정확하게 측정한다.
- 2) 제조된 표준시료를 분석한 후 시료의 무게와 무게별 크로마토그램 피크 면적을 이용하여 검정곡선을 작성한다.
- 3) 검정곡선 작성 이후 인증표준물질을 이용하여 검정곡선에 활용한 무게 범위 내로 시료를 만들어 분석한다. 측정된 결과가 표준시료의 공인 값에 만족하는지 확인하여 작성된 검정곡선의 유효성을 확인한다. 유효성 허용범위를 벗어날 경우, 검량곡선을 다시 작성해야 한다.

표 2. 정도관리 항목별 정도관리 목표

정도관리 항목	정도관리 목표
정량한계	0.1%
바탕시료 측정값	검출한계 이하
검정곡선	검정곡선의 결정계수 ≥ 0.98 또는 감응계수의 상대표준편차 $\leq 20\%$
검정곡선 검증	검정곡선 작성 시 값과 차이가 20% 이하
정밀도	상대표준편차 $\leq 20\%$
정확도	80~120%

8. 결과

가. 농도 계산

퇴적물 내 총유기탄소의 함량(%)은 작성된 검량곡선을 통해 계산된다.

$$\text{TOC}(\%) = C/m \times 100 \quad (\text{식 } 2)$$

여기서, C: 검정곡선으로부터 구한 총유기탄소의 양(mg), m: 시료무게(mg)

9. 분석 절차 흐름도

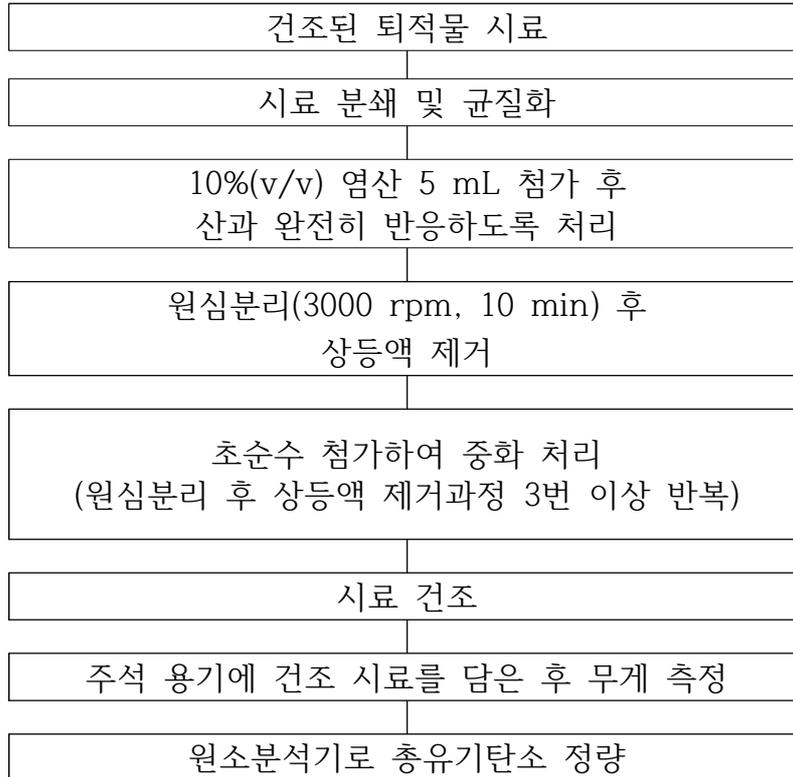


그림 6. 해저퇴적물 내 총유기탄소 분석 절차 흐름도

10. 참고사항

가. 본 분석법에 적용할 원소분석기의 설정조건(사용 컬럼, 회화로 설정 온도, 가스 유속, 산소주입 마감시간 등)은 제조사에서 제공하는 기기 매뉴얼을 따를 것을 권장한다.

3-2. 총황 분석법

1. 측정원리

퇴적물 내 총황의 함량은 유기물과 함께 저서환경의 질을 평가할 수 있는 척도이다. 퇴적물 내 총황은 고온(약 1000°C)에서 촉매를 이용하여 기체 상태(SO₂)로 연소한 후 TCD를 이용하여, 정량한 후 황의 함량(%)으로 계산한다.

2. 방해요인

실험에 사용되는 기구 및 기기는 총황의 측정 및 분석에 방해를 주는 것이 없어야 하고 사용 전 확인 시험을 통해 기구 및 기기에 의한 오염이 없는지를 확인해야 한다. 방해물질들은 전처리 과정 중 발생하는 먼지 및 오염물질, 시료 용기와 뚜껑 등에서 비롯될 수 있으며, 이들은 크로마토그램의 바탕선을 상승시킨다. 오염 가능성이 있는 모든 용기나 기구는 정기적으로 검사하여 방해물질이 실험실 공시료 수준 이하로 존재하도록 하여야 한다. 또한 퇴적물 시료의 산처리는 산취발성황화물의 휘발과 황종의 변형으로 분석 결과치에 영향을 미치므로 총유기탄소 분석과 동시에 수행하는 것을 권장하지 않는다.

3. 기구 및 기기

가. 핀셋(tweezer)

나. 주석 용기(tin capsule)

다. 미량 스푼(micro spoon)

라. 시료용기: 폴리프로필렌(PP) 재질의 뚜껑이 있는 250 ml PE 광구병(시료 보관용)과 폴리프로필렌(PP) 재질의 뚜껑이 있는 15 mL 내산성 폴리프로필렌 용기(전처리용)를 사용한다.

마. 메쉬 체(mesh sieve): 125 µm 이상의 물질을 거를 수 있는 mesh size를 사용한다.

바. 마노 분쇄기(막자사발, agate mortar)

사. 데시케이터(dessicator)

아. 전자저울(microbalance): 0.001 mg까지 무게를 정확히 측정할 수 있는 저울을 사용한다.

자. 동결건조기(freeze dryer) 또는 건조기(oven)

차. 원소분석기(elemental analyzer)

카. 컴퓨터(시료 측정 소프트웨어 장착 포함)



그림 7. 기구 및 기기

4. 시약 및 표준물질

가. 산소(O₂): 순도 99.9999% 이상 또는 초고순도 전기분해용 산소를 사용한다.

나. 질소(N₂), 헬륨(He): 순도 99.999% 이상이어야 한다.

다. 인증표준물질(certified reference material, CRM): 기기 감도 평가를 위한 농도별 검정선 작성과 기기분석 간 오차 범위 및 정확도 확인을 위해 사용한다.

- 1) BBOT(2,5-Bis(5-tert-butyl-2-benzoxazolyl)thiophene, C₂₆H₂₆N₂O₂S), Sulfanilamide(C₆H₈N₂O₂S) 등의 표준물질 또는 동급 이상의 표준물질을 사용해야 한다.

5. 시료 보관 및 전처리

가. 저온냉동 조건(-20°C 이하)에서 보관된 퇴적물은 동결건조기(-80°C 이하) 또는 건조기(55°C 이하)에서 48시간 이상 건조한다. 단, 건조 시 퇴적물이 오염되지 않도록 유의해야 한다.

나. 건조한 퇴적물은 패각 및 이물질 제거 후 마노 분쇄기(막자사발)를 이용하여 곱게 분말화한다.

다. 메쉬 체를 사용하여 거른 다음, 체를 통과하지 않은 퇴적물은 다시 분말화하는 과정을 반복한다.

라. 체를 통과한 퇴적물(분말 퇴적물)은 전처이용 용기(15 ml 내산성 폴리프로필렌 용기)에 넣고 데시케이터 또는 수분이 조절되는 장소에 보관한다.

6. 시험방법

- 가. 전처리한 퇴적물은 2~5 mg 정도를 주석 용기에 옮겨 담고 전자저울을 이용하여 소수점 셋째 자리까지 정확히 무게를 측정한다.
- 나. 퇴적물이 담긴 주석 용기는 핀셋을 사용하여 견고히 봉합한 후 보관 용기에 넣고 데시케이터 내에서 기기분석 전까지 보관한다. 주석 용기 봉합 시 퇴적물이 새어 나오지 않도록 주의해야 한다.
- 다. 기기분석 전 원소분석기에 연결된 산소, 질소, 헬륨의 잔량을 확인한다.
- 라. 주석 용기에 담은 분석용 시료를 원소분석기 주입부에 주입한다.
- 마. 시료 분석 시 3~5개의 분석용 시료를 측정하고, 다시 3~5개의 빈 주석 용기를 측정한다.
- 바. 빈 주석 용기 분석 시의 값을 바탕 값(blank)으로 한다.
- 사. 인증표준물질을 이용하여 시료 분석 수행 전뿐만 아니라 시료 분석 도중과 시료 분석 마지막 단계에서도 반드시 회수율을 측정한다. 최종 결과 산정 시 회수율을 고려하여 시료 분석값 계산에 반영한다.
- 아. 분석을 완료하고 난 후 각 기체의 머무름 시간(retention time)과 표준시료 무게별 크로마토그램 피크 면적을 검사하고 표준시료 검량곡선을 이용하여 퇴적물 시료 내 원소의 함량(%)을 정량한다.
- 자. 화학분석 일지(표 4)를 참고하여 분석과정에서 측정 및 산출된 값을 작성한다.

7. 정도평가/정도관리(QA/QC)

- 가. 검출한계 및 정량한계
 - 1) 정량한계의 부근의 농도가 되도록 표준물질을 첨가한 시료를 7개 준비하여 각 시료를 실험 절차와 동일하게 측정하여 표준편차를 구한다.
 - 2) 표준편차에 3.14를 곱한 값을 방법검출한계로, 10을 곱한 값을 정량한계로 나타낸다. 측정한 정량한계는 표 3에서 제시한 정량한계 이하의 값이어야 한다.
- 나. 바탕시료의 측정
 - 1) 바탕시료는 시료를 첨가하지 않은 빈 주석 용기를 시료 측정 전 3개 이상의 바탕시료로 측정하며, 시료 중 총유기탄소 함량 계산에 반영해야 한다.
- 다. 정밀도(precision) 및 정확도(accuracy)
 - 1) 정밀도: 인증표준물질 또는 이에 상응하는 표준시료를 3회 이상 반복 측정하여 측정값의 표준편차가 정도관리 목표에 부합해야 한다.

- 2) 정확도: 인증표준물질 또는 이에 상응하는 표준시료를 3회 이상 반복 측정된 기기분석 값과 인증표준물질 제조사에서 제공하는 공인 값을 비교하여 시료 분석의 정확도를 검증한다.

$$CRM \text{의 회수율}(\%) = \frac{\text{기기분석 값}}{\text{공인 값}} \times 100 \quad (\text{식 3})$$

측정된 회수율은 정확도 80~120%에 부합해야 한다.

라. 검정곡선

- 1) 인증표준물질을 1.0~2.5 mg의 무게 범위에서 0.1~0.2 mg 간격으로 5 단계 이상의 무게가 다른 표준시료를 만들어 주석 용기에 담는다. 표준시료의 무게는 소수점 셋째 자리까지 정확하게 측정한다.
- 2) 제조된 표준시료를 분석한 후 시료의 무게와 무게별 크로마토그램 피크 면적을 이용하여 검정곡선을 작성한다.
- 3) 검정곡선 작성 이후 인증표준물질을 이용하여 검정곡선에 활용한 무게 범위 내로 시료를 만들어 분석한다. 측정된 결과가 표준시료의 공인 값에 만족하는지 확인하여 작성된 검정곡선의 유효성을 확인한다. 유효성 허용범위를 벗어날 경우, 검량곡선을 다시 작성해야 한다.

표 3. 정도관리 항목별 정도관리 목표값

정도관리 항목	정도관리 목표
정량한계	0.1%
바탕시료 측정값	검출한계 이하
검정곡선	검정곡선의 결정계수 ≥ 0.98 또는 감응계수의 상대표준편차 $\leq 20\%$
검정곡선 검증	검정곡선 작성 시 값과 차이가 20% 이하
정밀도	상대표준편차 $\leq 20\%$
정확도	80~120%

8. 결과

가. 농도 계산

퇴적물 내 총황의 함량(%)은 작성된 검량곡선을 통해 계산한다.

$$TS(\%) = S/m \times 100 \quad (\text{식 4})$$

여기서, S: 검정곡선으로부터 구한 총황의 양(mg), m: 시료무게(mg)

9. 분석 절차 흐름도

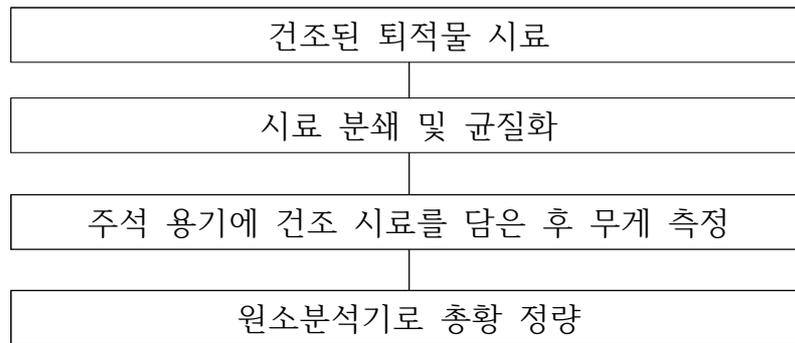


그림 8. 해저퇴적물 내 총황 분석 절차 흐름도

10. 참고사항

- 가. 본 분석법에 적용할 원소분석기의 설정조건(사용 컬럼, 회화로 설정 온도, 가스 유속, 산소주입 마감시간 등)은 제조사에서 제공하는 기기 매뉴얼을 따를 것을 권장한다.
- 나. 전처리 시 기기 매뉴얼에서 권장할 경우 오산화바나듐(V_2O_5)과 같은 조연제를 첨가하고 용기를 밀봉할 수 있다.

3-3. 중금속 분석법

퇴적물 중금속(As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) 분석은 해양환경공정시험기준에 따라 시료 분석을 실시한다. 단, 표 5의 내용(분석일시, 분석항목, 장비명, 표준물질과 회수율, 시료 무게 등)은 수기로 작성하며, 발주처에서 제공하는 엑셀 서식에 결과를 재입력한다.

3-3-1 비소, 카드뮴, 크롬, 구리, 니켈, 납, 아연 분석법

1. 측정원리

해저퇴적물 내에서 중금속(As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn)은 다양한 화학적 형태를 가질 수 있다. 해저퇴적물 중 중금속의 총량을 분석하기 위해서는 질산, 과염소산 및 불산을 이용하여 완전분해한 후, 희석질산용액으로 재용해한 다음 흑연로 원자흡광분석기(이하 GF-AAS) 혹은 유도결합플라즈마 분광분석기(이하 ICP-OES), 유도결합플라즈마 질량분석기(이하 ICP-MS)로 정량한다.

2. 방해요인

가. 여러 가지 원소들간의 방해가 있을 수 있으며 이는 각 분석기기 사용 방법에서 설명된다.

나. 간섭을 제거하는 방법으로 원자흡광법을 사용하는 경우 매트릭변경시약(matrix modifier)으로 CsCl을 사용하고, matrix match 표준용액을 검량곡선 표준용액으로 사용하며 배경선(background) 보정이 있다. ICP의 경우 희석 배수를 50배 이상, ICP-MS는 500배 이상이면 간섭을 줄일 수 있다.

다. ICP-MS의 경우 간섭을 제거할 수 없는 경우(예를 들면 As) 수식을 이용하여 다원자 분자를 보정하는 방법이 있다.

3. 기구 및 기기

가. 시료용기: 125 mL 테프론(PTFE) 비이커 혹은 60 mL 테프론(PFA) 가압형 산분해 용기(Saville), 100 mL 플라스틱 병(plastic bottle)으로 왕수에 4시간, 질산(1:1)에 6시간 이상 가열 후 초순수로 세척하여 사용하며, 일반 플라스틱 용기는 10%(v/v) 염산 용액에 6시간 이상 가열한 후 초순수로 세척하여 사용한다.

나. 피펫(disposable pipette): 일회용 자동 피펫을 사용할 수 있다.

- 다. 플라스틱 핀셋(plastic tweezer)
- 라. 플라스틱 주걱
- 마. 페트리디쉬
- 바. 볼밀(ball mill) 또는 마노 분쇄기(agate mortar)
- 사. 전자저울(analytical balance): 0.001 g 또는 0.0001 g까지 무게를 정확히 측정할 수 있는 저울을 사용한다.
- 아. 화학분석용 후드(hood): 후드 바닥을 테프론 혹은 비닐로 코팅하여 사용한다.
- 자. 가열판(hot plate): 세라믹 판으로 온도가 정확히 조절되는 것을 사용한다.
- 차. 동결건조기(freeze dryer) 또는 건조기(oven)
- 카. 화학분석용 후드(hood): 후드 바닥을 테프론 또는 비닐로 코팅하여 사용한다.
- 타. 흑연로 원자흡광분석기(GF-AAS), 유도결합 플라즈마 분광분석기(ICP-OES), 유도결합 플라즈마 질량분석기(ICP-MS)

4. 시약 및 표준물질

- 가. 진한 질산 (60~70% HNO_3)
- 나. 진한 과염소산 (60~70% HClO_4)
- 다. 진한 불산 (48~51% HF)
- 라. 희석 질산용액: 초순수 900 mL에 진한 질산 100 mL를 넣어 혼합하여 식힌 다음 1,000 mL로 맞추어 사용한다.
- 마. 구리 표준원액: 상용으로 제조되는 GF-AAS, ICP-OES 혹은 ICP-MS 구리 표준원액을 사용한다.
- 바. 해저퇴적물용 인증표준물질(certified reference material, CRM): 국내·외의 공인된 해저퇴적물 표준물질을 사용하고 시료와 똑같은 절차를 거쳐 회수율을 측정한다(이하 인증표준물질이라 한다).

5. 시료 보관 및 전처리

- 가. 현장에서 폴리에틸렌 병이나 비닐백에 담겨 얼려진 시료를 해동시킨다.
- 나. 플라스틱 주걱으로 시료를 균질화한다.
- 다. 균질한 시료 5~10 g을 동결건조 또는 60°C 건조기에서 건조한다. 화학종 분석이나 Hg 분석을 위해서는 반드시 동결건조한다. 건조기를 사용할 경우 별도의 페트리디쉬를 사용한다.

라. 건조된 시료를 불밀 또는 막자사발을 사용하여 곱게 분말화한다. 200 메시체를 이용하여 통과된 분말만 별도의 시료병(산 세척 후 건조된 시료병)에 담아 수분이 조절되는 장소에 보관한다.

6. 시험방법

가. 100 mL 테프론 비이커나 60 mL 산분해용 가압 용기에 분말화한 퇴적물 시료 0.1 g을 넣고 0.001 g까지 무게를 측정한다. 테프론 용기를 세척 후 열을 가해 건조시킬 경우 정전기로 인하여 퇴적물 시료 분말이 흩어질 수 있는데, 이때는 정전기 제거 장치를 통하여 무게를 측정한다. 시료를 첨가하지 않은 공 시료 3개, 퇴적물 표준물질 3개도 함께 준비한다.

나. 테프론 가압용 용기에 진한 불산 2 mL, 진한 질산 1 mL를 가하여 2시간 이상 실온에서 반응시킨 후 진한 과염소산 1 mL를 첨가하고 마개를 닫아 밀봉한다.

다. 밀봉된 테프론 용기를 가열판 위에 놓고 온도를 130~150°C까지 서서히 증가시켜 약 24시간 반응 후 서서히 방냉하여 상온에 도달한 다음, 마개를 열어 시료와 산이 완전히 건조될 때까지 재가열한다. 만약, 용액이 전부 휘발되었음에도 퇴적물이 완전히 분해되지 않을 경우에는 분해 과정(나.항)부터 재시행한다.

라. 완전히 분해된 시료에 희석 질산 용액 10 mL를 정확하게 넣고 마개를 닫아 밀봉한 후 온도를 80°C까지 증가시켜 약 2시간 반응 후 정량용 시료 용액으로 한다.

마. 이 용액을 기기 측정 시에 사용하며, 희석배수는 100에 해당된다. 금속의 농도 수준에 따라 추가적인 희석을 하면 된다. 이 용액을 사용하면, ICP는 Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, As를, ICP-MS는 1,000배 희석한 용액으로 Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, As를 측정할 수 있다.

바. 정량하고자 하는 시료의 농도가 매우 낮거나 다른 항목의 간섭효과 등에 의해 정량이 어려운 경우에는 표준물질 첨가법을 이용하여 정량하고자 하는 항목을 정량할 수 있다. 표준물질 첨가법의 방법은 다음과 같다.

- 1) 표준물질을 이용하여 3개 정도의 농도를 알고 있는 표준용액 3개를 만든다.
- 2) 정량하고자 하는 시료에 표준물질을 첨가하여 3개 이상의 표준물질을 첨가한 용액을 만든다. 이때, 표준물질을 첨가했을 때의 농도를 예측할 수 있도록 부피 비율을 정하여 첨가한다(예: 정량용액의 부피가 1 mL일 경우 농도가 X $\mu\text{g/L}$ 인 미지시료 0.9 mL와 농도가 10 $\mu\text{g/L}$ 인 표준용액 0.1 mL를 첨가하면 표준용액을 첨가한 시료의 농도는 $(X + 1) \mu\text{g/L}$ 로 예상할 수 있다.
- 3) 표준물질을 첨가한 시료를 분석 장비를 이용하여 정량한다.
- 4) 정량값을 이용하여 검량곡선을 그린다.

5) 검량곡선을 이용하여 미지농도 X값을 정량한다.

사. 전처리한 시료를 GF-AAS 혹은 ICP-OES, ICP-MS 주입부에 주입하고 정량한다. 각 기기로 정량할 때의 조건은 사용하는 기기의 매뉴얼을 따른다.

아. 시료 분석 시 공시료 및 인증표준물질도 시료와 동일한 조작을 행하여 시료 20개당 1개씩 준비하고 측정한다.

자. 시료를 첨가하지 않은 공시료 분석 시의 값을 바탕농도(blank)로 한다.

차. 인증표준물질과 공시료는 시료 분석 수행 전뿐만 아니라 시료 분석 도중과 시료 분석 마지막 단계에서도 반드시 회수율을 측정한다. 최종 결과 산정 시 회수율을 고려하여 시료 분석값 계산에 반영한다.

카. 화학분석 일지(표 4)를 참고하여 분석과정에서 측정 및 산출된 값을 작성한다.

7. 정도평가/정도관리(QA/QC)

본 분석방법의 정도관리를 위해 필요한 최소한의 정도관리를 위한 자료는 시약 공시료에서의 금속 농도, 반복시료 정밀도, 퇴적물 표준물질에서의 금속농도가 있다.

가. 검출한계 및 정량한계

1) 정량한계의 부근의 농도가 되도록 표준물질을 첨가한 시료를 7개 준비하여 각 시료를 실험 절차와 동일하게 측정하여 표준편차를 구한다.

2) 표준편차에 3.14를 곱한 값을 방법검출한계로, 10을 곱한 값을 정량한계로 나타낸다.

나. 바탕시료(공시료)의 측정

1) 바탕시료는 시료를 첨가하지 않은 상태로 시료와 동일한 조작을 행한 용액을 이용하며, 시료 측정 전 3개 이상의 바탕시료를 측정해야 한다.

다. 정밀도 및 정확도

1) 정밀도(반복시료): 제 시료를 5개 복수분석하여 농도의 표준편차를 구한 후 1.96(95% 신뢰구간)을 곱하여 평균값 ± 유의수준으로 표시한다.

2) 정확도: 해저퇴적물 인증표준물질 또는 이에 상응하는 표준시료를 시료 수의 10%에 해당하는 수만큼 시료와 같은 방법으로 반복 측정하여 정량된 인증표준물질의 농도와 인증표준물질 제조사에서 제공하는 물질의 농도를 비교하여 시료 분석의 정확도를 검증한다.

$$\text{회수율}(\%) = \frac{\text{측정결과로 정량된 표준물질의 농도}}{\text{인증된 표준물질의 농도}} \times 100 \quad (\text{식 } 5)$$

라. 검량곡선

1) GF-AAS 혹은 ICP-OES, ICP-MS 표준용액을 이용하여 정량범위 내 5개

이상의 농도 구간에 대해 표준용액을 만든다.

- 2) 만들어진 표준용액을 시료 정량과 동일한 절차(바. 5)항)로 정량하여 중금속의 농도와 흡광도의 관계선인 검량곡선을 작성한다.
- 3) 흡광도와 농도의 상관관계식을 이용하여 시료의 중금속의 농도를 환산한다.

8. 결과

가. 농도계산

퇴적물 중금속 농도는 다음과 같은 식에서 계산한다.

$$\text{금속 농도 } (\mu\text{g/g}) = \frac{[\text{시료측정 농도 } (\mu\text{g/mL}) - \text{공시료농도 } (\mu\text{g/mL})] \times \text{희석후최종시료부피 } (\text{mL})}{\text{퇴적물 시료 무게 } (\text{g})}$$

(식 6)

9. 분석 절차 흐름도

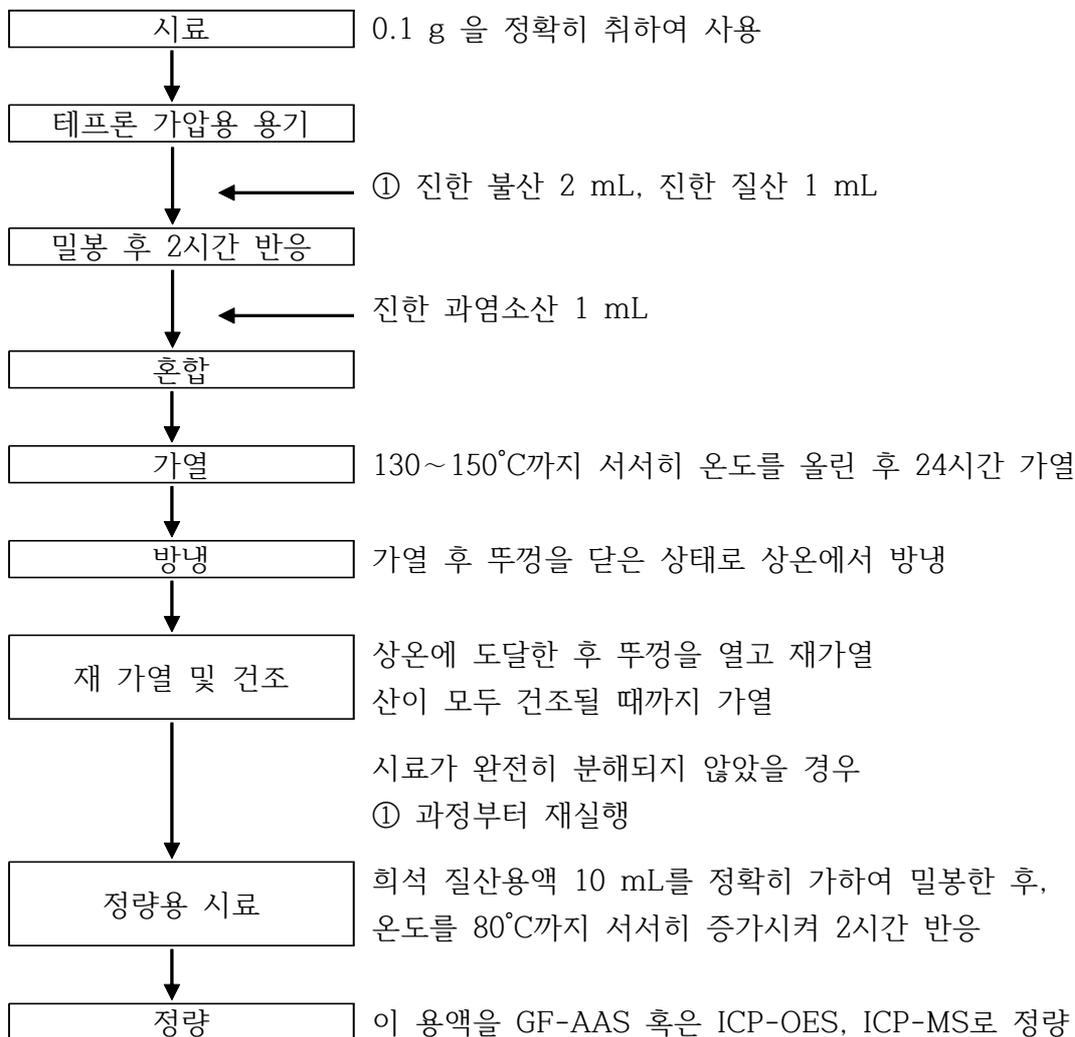


그림 9. 비소, 카드뮴, 크롬, 구리, 니켈, 납, 아연 분석법

10. 참고사항

- 가. 본 분석법은 강산 및 과염소산, 불산을 사용하기 때문에 반드시 흡후드 내부에서 이루어져야 하며 산 취급에 대한 교육을 잘 받은 실험자가 시행해야 한다.
- 나. 퇴적물의 중금속은 사용하는 시약, 용기 및 환경에 의해 영향을 받기 때문에 실험준비 시 오염에 대한 고려가 있어야 한다.
- 다. 본 분석법에서 사용되는 시약들은 모두 맹독성이 있는 것들로 각 시약들의 사용 주의사항에 따라 취급한다.
- 라. 질산, 과염소산 및 불산을 다룰 때는 반드시 고글 및 비닐장갑 혹은 화학분석용 고무장갑을 착용해야 하며, 산증기를 호흡하지 않도록 반드시 후드 내에서 취급한다.
- 마. 전처리가 완료된 시료를 분석할 때 분석기기는 GF-AAS 혹은 ICP-OES, ICP-MS 중 하나를 선택한다.
- 바. 분석장비의 검출한계, 정밀도, 신뢰도 등을 고려하여 직선 범위 내에서 분석 시료의 양과 반응하는 시약의 양을 결정한다.
- 사. GF-AAS를 사용할 때 램프 위치, 좌우, 램프의 전류량, 시료의 흡입속도 등이 분석값의 정확도, 정밀도, 재현성 등에 크게 영향을 미칠 수 있으므로, 기기의 특성에 맞게 이들을 세밀하게 조절한다.
- 아. ICP-OES를 사용할 때 램프 위치, 좌우, 램프의 전류량, 시료의 흡입속도 등이 분석값의 정확도, 정밀도, 재현성 등에 크게 영향을 미칠 수 있으므로, 기기의 특성에 맞게 이들을 세밀하게 조절한다.
- 자. 불산을 사용할 경우 규소를 용해시키는 성질을 가지고 있으므로 반드시 테프론 재질의 실험기구를 사용해야 한다. 일부 ICP-MS 경우 불산을 사용한 전처리 방법이 기기를 손상시키는 등 장애요인이 있으므로 주의를 요한다.
- 차. 정량결과 예시: 시료의 채취 및 보관 방법, 전처리 방법, 정량결과, 검량곡선을 포함하여 상세하게 제시한다.

3-3-2 총수은 분석법

1. 측정원리

퇴적물의 총 수은을 왕수로 산분해하여 모든 수은 종을 가용성 형태(Hg^{2+})로 산화

시키고 환원제로 원소 수은 증기(Hg^0)로 환원한 다음 불활성기체로 용액에서 탈기시킨 원소 수은 증기를 금-트랩으로 포집한 후 가열해 탈착시킨 수은 증기에 253.7 nm 파장의 자외선을 조사해 방출되는 형광을 냉증기 원자형광분석기(cold vapor atomic fluorescence spectrometry, CVAFS)로 측정한다.

2. 방해요인

- 가. 금-트랩은 잔류염소가 투입되거나 500°C 이상으로 과열되었을 때 파손될 수 있다.
- 나. 수증기가 금-트랩에 잡혀 원자형광셀에 영향을 줄 수 있다.
- 다. 형광 세기는 운반기체에 있는 분자들에 의해 영향받을 수 있으므로 고순도의 가스를 사용해야 한다.

3. 기구 및 기기

- 가. 시료 용기: 125 mL 테프론(PTFE) 비이커, 60 mL 테프론(PFA) 가압형 산분해 용기(Savillex), 20 mL 혹은 60 mL 폴리에틸렌 병(polyethylene bottle), 60 mL 폴리에틸렌 원심분리관(polyethylene centrifuge tube)으로 왕수에 4시간, 질산(1:1)에 6시간 이상 가열 후 초순수로 세척하여 사용하며, 일반 플라스틱 용기는 10%(v/v) 염산 용액에 6시간 이상 가열한 후 초순수로 세척하여 사용한다.
- 나. 가열판(hot plate): 세라믹 판으로 온도가 정확히 조절되는 것을 사용한다.
- 다. 일회용 피펫(disposable pipette)
- 라. 플라스틱 주걱
- 마. 마노 분쇄기(agate mortar)
- 바. 전자저울(balance): 0.0001 g 분석 저울 및 0.01 g 윗접시 저울을 사용한다.
- 사. 표면 온도계(surface thermometer): 적외선으로 온도를 측정하는 기구를 사용한다.
- 아. 자동피펫 및 일회용팁(pipette and tip): 200 μL , 1 mL, 5 mL 피펫 및 피펫팁으로 시약 주입시 사용한다.
- 자. 원심분리기(centrifuge): 50 mL 부피, 3,000 rpm에서 원심분리 가능한 장비를 사용한다.
- 차. 냉증기 원자형광광도계

4. 시약 및 표준물질

- 가. 초순수: 전기 저항 18 MΩ 이상의 정제수
- 나. 염산(hydrochloric acid, 35%(w/v)): 수은 함량이 5 ng/L 이하인 중금속 분석용을 이용한다.
- 다. 질산(nitric acid, 65%(w/v)): 수은 함량이 5 ng/L 이하인 중금속 분석용을 이용한다.
- 라. 왕수(aqua regia): 염산과 질산을 3:1(v/v)로 혼합한다. 유독가스가 발생하므로 반드시 흡후드 내부에서 이루어져야 한다.
- 마. 20%(w/v) 염화제이주석 용액: 염화제이주석($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 200 g을 100 mL 진한 염산에 넣고 가열하면서 녹인다. 초순수로 최종 부피 1 L가 되도록 한다. 수은이 없는 질소 가스로 4시간 이상 500 mL/min 속도로 폭기하여 수은을 제거하고 뚜껑을 잘 닫아 보관한다. 시약을 제조하면서 열과 흡이 발생하므로 보호장구를 착용하고 흡후드 안에서 작업한다.
- 바. 하이드록실아민 염화수소(Hydroxylamine hydrochloride, $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$) 용액: Hydroxylamine hydrochloride(시약급) 300 g을 초순수에 녹이고, 최종 부피를 1 L에 맞춘다. 이 용액에 20%(w/v) 염화제이주석 용액 1 mL를 넣고 수은이 없는 질소 가스로 4시간 이상 500 mL/min 속도로 폭기하여 수은을 제거한다.
- 사. 염화브롬(BrCl) 용액: 시약급의 브롬화칼륨(KBr) 27 g을 진한 염산 2.5 L에 녹인다. 이때, 테프론 코팅된 마그네틱 바를 사용해서 1시간 이상 교반한다. 여기에 시약급 브롬산칼륨(KBrO_3) 38 g을 천천히 넣는다. 소량씩 넣으면 용액의 색깔이 노란색에서 빨간색으로 최종적으로는 오렌지색으로 변한다. 마개를 살짝 닫고 1시간 정도 더 교반하고 마개를 잘 닫는다. 이 시약 제조는 반드시 흡후드 내부에서 이루어져야 한다.
- 아. 수은 표준원액: 상용하는 1,000 mg/L 혹은 10,000 mg/L (NIST-3133) 용액을 사용한다.
- 자. 수은 표준용액(1,000 $\mu\text{g/L}$): 초순수 0.5 L에 염화브롬 5 mL를 넣고 수은 표준원액 1 mL (1,000 mg/L) 혹은 0.1 mL (10,000 mg/L)를 첨가한 후 초순수로 최종 부피를 1 L가 되게 한다. 불화 폴리머병에 보관하면 표준원액의 보존기간까지 안전하다.
- 차. 검량곡선용 수은 표준용액: 수은 표준용액을 초순수로 100배, 10,000배 희석하고 염화브롬 용액을 부피 비율로 0.5%만큼 첨가한다(5 mL/L). 이 용액은 10 ng/mL 및 0.1 ng/mL가 되며, 10 ng/mL 용액을 초순수로 희석하여 5

ng/L까지 만들면 된다. 이때에도 염화브롬 용액을 부피 비율로 0.5%가 되게끔 첨가한다. 검량곡선용 표준용액은 분석할 때마다 새롭게 만든다.

카. 질소 및 아르곤 가스: 질소 및 아르곤 가스는 고순도(99.999% 이상)를 사용하며 금이 코팅된 모래 트랩을 사용하여 수은을 정제하여 사용한다.

5. 시료 보관 및 전처리

가. 현장에서 폴리에틸렌병(혹은 비닐백)에 담겨 얼려진 시료를 해동시킨다.

나. 플라스틱 주걱으로 시료를 균질화한다.

다. 균질한 시료 5~10 g을 시료병에 담아 냉동건조시킨다. 냉동건조가 어려운 경우 습시료를 직접 사용한다. 습시료를 사용하는 경우는 별도 시료에서 수분 함량을 측정하여 분석 후 보정한다.

라. 일정 무게가 유지된 후 시료를 마노 분쇄기(agate mortar)를 사용하여 곱게 분말화한다. 200 메쉬 체를 이용하여 통과된 분말만 시료병에 담아 수분이 조절되는 장소에 보관한다.

6. 시험 방법

가. 100 mL 테프론 비이커 혹은 60 mL 산분해용 가압 용기에 분말화한 퇴적물 시료 0.2 g을 넣고 0.001 g까지 무게를 측정한다. 테프론 용기를 세척 후 열을 가해 건조시킬 경우 정전기로 인하여 퇴적물 시료 분말이 흩어질 수 있는데, 이때는 정전기 제거 장치를 통하여 무게를 측정한다. 공시료 3개, 퇴적물 표준물질 3개도 함께 준비한다.

나. 왕수 10 mL를 일회용 피펫으로 첨가한다.

다. 비이커에 테프론 시계접시를 덮고 가압 용기는 마개를 닫고, 상온에서 4시간 방치한 후 발생한 가스를 날려보낸 다음, 시계접시를 덮거나 마개를 닫고 가열판에 올린다. 가열판은 표면 온도 150°C로 맞춘다. 상업적으로 판매하는 가열판은 코일선의 수가 적어 표면의 온도 분포가 불균일하므로, 가열판의 전 표면의 온도가 고르게 전달될 수 있도록 테프론 코팅된 알루미늄판을 덮고 사용하는 것이 좋다.

라. 3,000 rpm에서 10분간 원심분리하고 상등액을 60 mL 폴리에틸렌병에 옮긴다.

마. 퇴적물 산분해 용액 분석 준비

1) 시료 분석 24시간 전에 산분해 용액 10 mL를 60 mL 원심분리관에 넣고 초순수 40 mL를 첨가한 후 염화브롬용액 0.5 mL를 첨가하여 노란색이 나타

나도록 한다.

- 2) 만약 노란색이 지속되지 않으면 염화브롬용액 0.5 mL를 추가로 첨가한다.
- 3) 매질첨가 및 매질첨가 반복시료를 제조한다.
- 4) 염화브롬용액으로 산화시킨 시료에 하이드록실아민 염화수소용액 0.2~0.25 mL를 첨가 후 뚜껑을 닫고 흔들어 노란색이 없어지면 수은분석 준비가 완료된다.

바. 수은분석

- 1) 본 시험법은 흐름 주입(flow injection)으로 작성되었으므로 동일 성능 다른 기기의 경우 해당 매뉴얼을 참고한다.
- 2) 분석 1시간 전에 수은분석기를 가동시킨다.
- 3) 염화제이주석용액, 초순수를 연속주입장치에 연결하고 유로에 남아있을 수 있는 수은을 제거하며 시약 공시료를 사용하여 자동 시료 주입기를 포함하는 유로를 세척한다.
- 4) EPA 1631법에 해당하는 소프트웨어를 작동시킨 후, 검량곡선부터 작성하고 시료를 분석한다.

사. 화학분석 일지(표 4)를 참고하여 분석과정에서 측정 및 산출된 값을 작성한다.

7. 정도평가/정도관리(QA/QC)

본 분석법에서는 다음과 같은 정도관리 항목을 포함시키며 필요한 경우, 다른 정도관리 프로그램을 첨가할 수 있다.

가. 검출한계 및 정량한계

- 1) 정량한계의 부근의 농도가 되도록 표준물질을 첨가한 시료를 7개 준비하여 각 시료를 실험 절차와 동일하게 측정하여 표준편차를 구한다.
- 2) 표준편차에 3.14를 곱한 값을 방법검출한계로, 10을 곱한 값을 정량한계로 나타낸다.

나. 바탕시료(공시료)의 측정

- 1) 시료와 같은 처리(용기, 기구, 시약, 분석 과정)를 하여 제조하고 분석한다. 한 실험구당 최소 3개 이상을 만들고 분석하며 시료 중 수은 농도계산 시 반영한다.

다. 정밀도 및 정확도

- 1) 정밀도(반복시료): 제 시료를 5개 복수분석하여 농도의 표준편차를 구한 후 1.96(95% 신뢰구간)을 곱하여 평균값 \pm 유의수준으로 표시한다.
- 2) 정확도: 수은 인증표준물질 또는 이에 상응하는 표준시료를 시료 수의 10%에 해당하는 수만큼 시료와 같은 방법으로 반복 측정하여 정량된 인증표준물질의

농도와 인증표준물질 제조사에서 제공하는 물질의 농도를 비교하여 시료 분석의 정확도를 검증한다.

$$\text{회수율}(\%) = \frac{\text{측정결과로 정량된 표준물질의 농도}}{\text{인증된 표준물질의 농도}} \times 100 \quad (\text{식 } 5)$$

라. 매질첨가 및 매질첨가 반복시료: 시료 전처리 및 분석방법이 해당 시료의 매질에 문제가 없는지를 확인하기 위하여, 현장시료 개수의 10%에 해당되는 수만큼의 매질첨가 시료와 매질첨가 반복시료를 만든다. 즉, 20개 시료이면 2개의 매질첨가 시료와 2개의 반복시료를 제조한다.

- 1) 첨가하는 표준용액의 농도는 측정하는 농도가 50 ng/L가 되게끔 한다.
- 2) 회수율은 다음과 같이 계산하고 80~120% 이내가 되어야 한다.

$$\text{회수율}(\%) = \frac{(\text{첨가한 시료에서의 농도} - \text{첨가하지 않은 시료의 농도}) \times 100}{\text{첨가한 수은농도}} \quad (\text{식 } 8)$$

- 3) 매질첨가 반복시료의 경우, 상대오차율을 다음과 같이 계산하며 30% 이내가 되어야 한다.

$$\text{상대오차율}(\%) = 200 \times \frac{(\text{첨가한 시료 사이의 농도 차이})}{\text{첨가한 시료 사이의 농도 합}} \quad (\text{식 } 9)$$

마. 검량곡선

- 1) 검량곡선 작성을 위해 준비된 표준용액을 3번 반복하여 측정하며 표준용액은 검량곡선 공시료를 포함하여 5개 이상의 농도 구간을 포함해야 한다.
- 2) 각 표준용액에 대한 신호세기 평균값에서 검량곡선 공시료의 평균 신호세기를 뺀다.
- 3) 각 표준용액 수은 농도에 해당되는 보정된 신호세기를 이용하여 검량곡선을 최소자승법으로 작성하고 검량곡선의 기울기, Y-절편 및 결정계수 값을 기록한다.
- 4) 검량곡선 인자(Calibration Factor)를 계산하여 검량곡선을 이용할 수 있는지를 판단한다.

$$CF = \frac{(\text{각 표준용액의 신호세기} - \text{검량선 공시료 신호세기})}{\text{각 표준용액의 수은농도}} \quad (\text{식 } 7)$$

- 5) CF 값의 평균과 표준편차를 구하여 상대표준편차가 15% 이내이면 검량곡선을 이용하고 15%를 벗어나면 검량곡선을 재작성한다.

8. 결과

가. 최종 농도계산: 측정 농도에 회석배수를 곱하여 퇴적물 중 수은 농도를 계산한다. 염화브롬용액 및 하이드록실아민 염화수소는 검량곡선용 표준용액에도 같은 부피로 첨가되므로 결과에 영향을 주지 않는다. 퇴적물 시료의 수은 농도는 다음 식을 사용한다.

$$\text{수은}(ng/g) = (\text{측정 농도} - \text{공시료 농도}) \times \text{회석배수} \quad (\text{식 } 10)$$

나. 정도관리 자료 보고: 위 8항에서 제시한 정도관리 내용을 보고한다.

- 1) 검량곡선의 기울기, Y-절편, 결정계수(R2)
- 2) 공시료의 평균 농도
- 3) 퇴적물 표준물질 분석 및 보증 농도
- 4) 매질첨가 회수율(%) 및 매질첨가 반복시료간 상대오차율

9. 분석흐름도

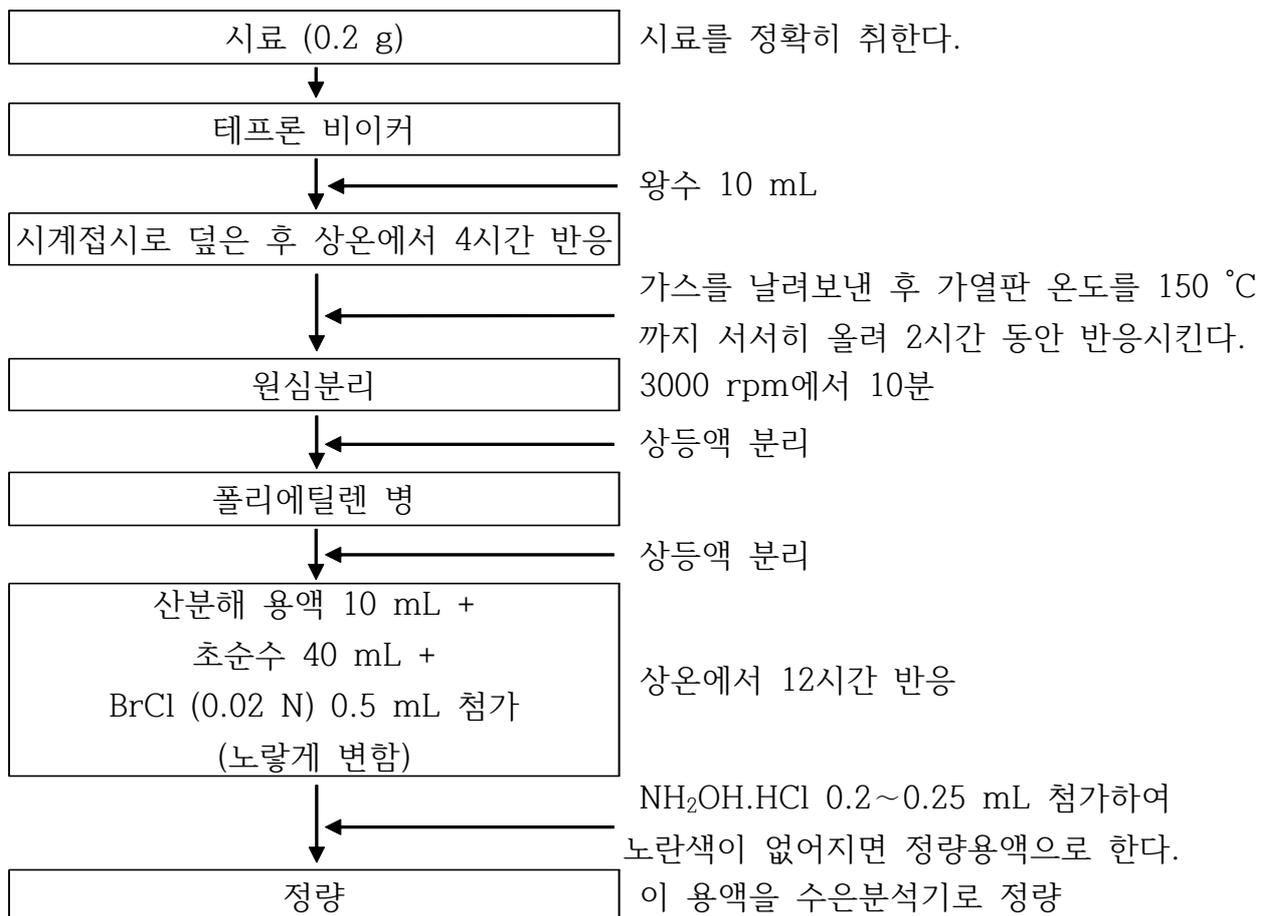


그림 10. 수은 분석절차

10. 참고사항

- 가. 왕수와 염화브롬액을 사용하기 때문에 시약 제조와 시료 처리시에 피부접촉 또는 흡을 마시지 않도록 각별히 주의해야 한다.
- 나. 실험복을 자주 세탁할 것을 권장한다.
- 다. 실험 후에는 비누 등을 이용해서 손과 얼굴 등을 씻는다.
- 라. 시약에 대한 자세한 안전 지침은 개별 물질의 안전 지침을 따른다.
- 마. 고형 수은분석기를 사용하면 편리하고 정량한계가 매우 낮은 수은분석이 가능하다.

3-4. 저서동물 분석법

1. 시료 선별

가. 실험실로 운반된 시료병 내의 잔존물은 수돗물로 세척하여 포르말린을 제거한 후 흰색 바탕의 트레이 위로 옮겨 문(Phylum) 또는 강(Class) 수준의 주요 동물군(환형동물, 연체동물, 절지동물, 극피동물, 기타동물 등)으로 일차 선별한다(그림 11).

나. 선별작업을 통해 구분된 주요 동물군의 시료들은 동물군별로 유리병에 담은 후 70% 에탄올을 넣어 보관하고, 유리병의 뚜껑과 옆면에는 라벨지를 부착하여 시료병과 동일하게 라벨한다.



그림 11. 시료 선별 및 분석과정.

2. 종 동정

가. 환형동물의 다모류는 가능한 종 수준까지 동정하고, 개체수를 계수한다.
- 저서다모류 종 동정 시 본 지침서에서 제시하는 참고문헌을 참조한다.

나. 환형동물의 다모류 동정 시 제시된 양식에 따라 분석일지를 수기로 작성하며(표 5), 발주처에서 제공하는 엑셀 서식에 결과를 재입력한다.

3. 시료 보관

가. 환형동물 다모류의 종 동정 및 계수가 끝난 시료는 유리병 또는 별도의 용기에 담고, 70% 에탄올을 넣어 보관한다(그림 12).

나. 환형동물 다모류의 보관병에는 뚜껑과 옆면에 라벨지를 붙여 채집날짜, 채집지역, 양식 면허번호, 정점 등의 기본정보를 기입한다.

* 예) 20240301 부산 기장군 제100호-1

다. 시료 보관 기한은 조사 당해 연도를 포함해 3년이며, 발주처에서 시료를 요청

할 경우 즉시 제출할 수 있도록 해야 한다.

4. 결과 제출

가. 분석일지 원본과 발주처에서 제공하는 엑셀 서식에 입력한 파일은 최종적으로 발주처에 제출한다.

나. ‘어장환경평가의 방법 및 절차 등에 관한 규정’ 별표 3의 다모류 그룹별 종 목록을 기준으로 각 면허 양식장의 그룹별 1순위 종에 대해서는 종별로 20개 체 내외의 표본(단, 출현 개체수가 20 개체 미만일 경우 전 개체)을 별도의 유리병에 담아 발주처에 제출한다.

- 표본 제출 시 유리병의 겉면에는 라벨지를 붙여 조사 기본 정보를 기입하고, 내측에는 트레이싱페이퍼에 연필로 종명을 기재하여 넣도록 한다(그림 12).



그림 12. 분석시료의 보관.

4장 숙련도 평가

1. 숙련도 평가

가. 전문기관의 시험·검사 능력과 장비운영 능력 등을 종합적으로 평가하여 평가 결과의 신뢰성을 높이기 위해 시행하며, 어장환경평가 조사·분석에 참여하려는 기관(이하 “참여희망기관”이라 한다)은 어장환경평가 시행 전년도에 국립수산과학원에서 실시하는 정도관리 설명회 및 숙련도 교육·평가에 참여해야 한다. 단, 「해양환경관리법」 제12조에 따라 항목별 정도관리를 받은 자는 해당 항목의 숙련도 평가를 받은 것으로 본다.

나. 정도관리 설명회

정도관리 설명회는 「어장관리법 시행령」 제 14조(권한의 위임)에 명시된 기관 또는 단체를 대상으로 매년 10월~12월 국립수산과학원에서 개최한다. 설명회에서는 어장환경평가 정도관리에 관한 일련의 과정 및 숙련도 평가 방법에 대한 일정을 고지한다.

2. 숙련도 평가 방법

가. 숙련도 평가 신청

- 1) 숙련도 평가는 생물항목과 화학항목을 구분하여 실시한다.
- 2) 참여희망기관은 당해연도 정도관리 설명회에서 고지한 일정에 따라 숙련도 평가 신청서(별지 제1호서식)를 작성하여 국립수산과학원에 제출한다.
 - * 생물항목은 신청서 작성 시 현장평가에 참여할자를 신청인으로 함
 - * 화학항목은 신청서 작성 시 기기분석 담당자를 신청인으로 함
- 3) 신청서 작성시 측정대행 항목별 시설 및 장비 현황에 관한 서류 1부, 신청기관의 조직도 및 업무분장 현황에 관한 서류 1부를 함께 제출한다.
- 4) 국립수산과학원에서는 신청서 회신 후 생물항목은 현장평가 일자를 안내하고, 화학항목은 표준시료를 배포한다.

나. 화학항목 숙련도 평가 방법

- 1) 화학항목에 대한 숙련도 평가는 국립수산과학원에서 배포한 표준시료를 대상으로 분석을 실시하고 그 결과를 표준시료를 수령한 날부터 15일 이내에 국립수산과학원장에게 제출한다.
- 2) 참여희망기관은 분석결과를 제출할 때 분석결과 산정과 관련된 증빙자료(참고 별지 제2호서식)를 함께 제출한다.

다. 생물항목 숙련도 평가

- 1) 참여희망기관의 평가 참여자(해당부분 전문가)는 국립수산과학원에서 지정한 현장평가 일자에 맞추어 국립수산과학원 해양환경연구과 면허 심사·평가실에서 저서다모류를 동정(분류)한다.
- 2) 평가 시료는 현장에서 제공되며, 국립수산과학원에서 제공하는 저서다모류 약 20여종을 대상으로 한다.
- 3) 평가는 종 동정 시 필요한 실험기기(광학 및 해부현미경) 설명 및 평가 안내를 위한 준비 1시간, 종 동정을 위한 3시간, 총 4시간으로 하며 제한시간 내에 평가 시료를 종 수준까지 동정하여 생물 분석일지(현장 별도 제공)에 작성하여 제출한다.
- 4) 종 동정 시 필요한 실험기기(광학 및 해부현미경) 및 기구(핀셋, 패트리디쉬 등), 참고문헌은 국립수산과학원에서 제공하며, 지침서에 수록된 참고문헌 외에 숙련도 평가에 필요하다고 판단되는 참고문헌이 있을 시 별도 소지할 수 있다.

3. 3. 숙련도 평가 기준

가. 숙련도 평가는 오차율(%)을 기준으로 하며, 20% 이하일 경우 통과한 것으로 본다.

나. 오차율은 표 6과 같이 계산한다.

표 6. 평가 기준

$\text{오차율}(\%) = \frac{\text{조사분석기관의 분석값} - \text{기준값}}{\text{기준값}} \times 100$ <p>※ 생물항목 기준값: 총 평가시료 수 분석값: 판별 종수(평가시료와 동일하게 동정된 종의 수) ※ 화학항목 기준값: 각 표준시료에서 제공하는 Reference value의 평균값</p>	적합
	오차율 ±20% 이하
	부적합
	오차율 ±20% 초과

[별지 제2호 서식]

분석자	
책임자	

숙련도 평가 결과지(총유기탄소, 총황, 중금속)

분석일시		년 월 일					
분석항목		장비명		표준물질		정확도	
정밀도		정량한계		검출한계		검량곡선 직선성	

숙련도 평가 결과	
기기분석 조건	
검량곡선 산정 결과	

시료번호	반복구(rep.)	시료무게(단위)	측정값	비고

5장 교차 검증

1. 저서다모류 동정(분류) 및 화학항목 결과에 대한 교차검증은 어장환경평가 조사·분석에 참여한 기관(이하 “조사·분석기관”이라 한다)을 대상으로 시행한다.
2. 교차검증은 조사·분석기관 간 상호 교차검증이 아닌 조사·분석기관의 시료 일부를 발주처인 국립수산과학원이 받아 생물항목과 화학항목의 분석 결과를 상호 비교하는 방식을 적용한다.
3. 조사·분석기관은 국립수산과학원이 교차검증을 위해 요구하는 시료와 분석결과를 제출해야 하며, 국립수산과학원은 교차검증 후 그 결과를 조사·분석기관에 통보하고, 불일치되는 부분이 있을 시 재분석 또는 상호 논의를 통해 결과가 조정될 수 있도록 해야 한다.
4. 국립수산과학원장은 교차검증 결과 오차율 기준(제 6장 숙련도 평가 기준의 오차율 적용)을 초과하고, 재분석에 따른 개선이 이루어지지 않은 조사·분석기관에 대해서는 다음 년도 어장환경평가 조사분석의 참여 제한 또는 기술평가에 고려할 수 있다.

참고 용어 정리

감도(Sensitivity): 감도 또는 감응 계수란 표준물질의 농도 변화에 따른 측정 세기의 변화의 비율로 나타내며, 일반적으로 검정곡선의 기울기로 표현된다.

검정곡선(Calibration curve): 분석 대상물의 측정 농도와 분석 기기의 측정 세기 간의 상관관계를 나타내는 곡선으로 시료의 정량분석에 사용한다. 시료 분석에서 검정곡선의 관계식은 1차 함수의 형태로 나타나며, 이때 검정곡선의 직선성은 각 농도들의 직선성 결정계수(linearity determination coefficient, r^2)로 나타나게 된다. 검정곡선은 작성 방법에 따라 절대검정곡선법(External Calibration Method), 상대검정곡선법(Internal Standard Calibration Method), 표준물질첨가법(Standard Addition Method)로 분류된다.

검출한계(Detection limit): 분석 물질을 검출할 수 있는 최소한의 양 또는 농도이며, 시험방법 또는 분석기기의 성능을 결정하는 계수 중의 하나이다. 측정 방법에 따라 기기검출한계(Instrumental Detection Limit, IDL)와 방법검출한계(Method Detection Limit, MDL)등으로 나뉜다.

매질첨가 이중시료(Matrix Spike Duplicate Sample, MSD): 매질 첨가시료와 동일한 방법과 동일한 농도로 제조된 이중시료 시험방법의 정밀도 및 재현성 평가에 사용한다.

매질첨가시료(Matrix Spike Sample, MS): 알고 있는 농도의 분석 물질을 분석하고자 하는 시료에 첨가한 시료, 분석 방법의 정확도, 회수율 등을 측정할 때 사용된다.

바탕시료(Blank sample): 측정분석을 하고자 하는 시료와 동일한 매질의 시료로서, 분석물질이 존재하지 않는 시료 용도에 따라 방법바탕시료(method blank sample), 시약바탕시료(reagent blank sample), 운반바탕시료(trip blank sample), 기기바탕시료(instrument blank sample) 등으로 구분한다.

반복성(Repeatability): 분석방법의 정밀도를 나타내는 인자로서, 일정 조건하에서 동일 시료에 대하여 반복하여 측정한 결과들간의 유사도, 이때 반복성을 측정하기 위하여 시험절차, 분석자, 시험기구, 환경조건, 시험실 등이 동일해야 하며 짧은 기간에 반복하여 측정된 값이어야 한다.

상대표준편차(Relative standard deviation, RSD): 측정값의 표준편차를 측정 평균

값으로 나누어 얻어진 값. 측정값의 크기에 관계없이 측정의 분산 정도를 알 수 있다.

인증표준물질(Certified reference material, CRM): 소급성을 확립한 절차에 따라 하나 또는 그 이상의 특성값이 인증되고 특성값에 불확도가 첨부된 표준물질.

재현성(Reproducibility): 동일한 시료에 대한 반복 측정 결과들간의 유사도를 측정함으로써 정밀도를 표시하는 지표 중 한 방법이다. 이때, 분석자, 시험 장비, 시험 일시 등 작업 조건 중 하나 이상의 인자들이 달라야 하며, 동일한 시험실에서 측정되어진 경우를 단일 시험실에서의 재현성이라 하고 시험실이 서로 다른 경우를 시험실간 재현성이라 한다.

정량범위(Applicable concentration range): 주어진 시험방법 또는 시험기기를 사용하여 정량할 수 있는 농도 또는 양의 범위, 일반적으로 정량한계(limit of quantitation) ~ 최대 직선성 응답구간(limit of linear response)의 범위로 정의된다.

정량한계(Limit of Quantitation, LOQ): 정량적으로 신뢰성있는 값을 구할 수 있는 최소한의 농도 및 양으로, 일반적으로 반복 시험에서 얻어진 결과들의 표준편차의 약 10배의 신호를 산출하는 농도로 정의된다. 시험 결과의 제출 시에는 정량한계 이상의 측정값을 보고한다.

정밀도(Precision): 정밀도는 분석방법의 성능을 평가하는 인자로 동일 조건하에서 동일 분석과정을 반복 적용한 결과의 상호 일치도로 정의된다. 이중 또는 다중 시료분석을 수행한 결과의 평가로 이중시료의 경우, 상대 퍼센트 오차(relative percent difference, RPD)로 다중 시료의 경우, 상대표준편차(relative standard deviation, RSD)로 표현된다.

정확도(Accuracy): 정확도는 분석의 재현성을 나타내는 정밀도와 참값과의 일치를 나타내는 편향의 조합으로, 일반적으로 정확한 분석은 양호한 정밀도와 편향을 갖고 신뢰성 있는 바람직한 분석이다.

직선성(Linearity): 표준물질의 측정값과 검정곡선과의 일치된 정도. 직선성 결정계수(r^2)값으로 평가하며 상관계수가 1에 근접할수록 직선성이 우수하다.

표준물질(Standard material): 시료 중의 분석 대상물질의 농도 또는 양을 정량하기 위하여 기준이 되는 물질로 특성값이 알려져 있는 물질. 용도에 따라 몇 가지 종류의 표준물질이 있다.

표준물질첨가법(Standard addition method): 매질효과가 큰 시험분석방법에 대하여 분석대상 시료와 동일한 매질의 표준시료를 확보하지 못하여 정확성을 확인하기 어려운 경우에 매질효과를 보정하며 분석할 수 있는 방법이다. 이 방법은 검정곡선의 직선성이 유지되고, 바탕값을 보정할 수 있는 방법에 적용이 가능하다.

회수율(Recovery): 시료 중에 존재하고 있거나 첨가한 물질의 양에 대한 시료에서 얻어진 그 물질의 양의 비, 백분율 또는 시료 중에 존재하고 있는 분석대상물의 총량(A)과 시료로부터 다른 매질로 이동하여 나간 분석대상물의 총량(B)의 비율.

참고 참고문헌

- 국립생물자원관. (2023). 국가생물종목록. 환경부.
- 어장환경평가의 방법 및 절차 등에 관한 규정. (2024). 국립수산과학원고시 제 2024-00호.
- 해양환경공정시험기준. (2023). 국립수산과학원고시 제2023-5호.
- 해양환경 정도관리 등에 관한 규정. (2020). 해양수산부고시 제2020-219호.
- 백의인. (1989). 한국동식물도감. 제31권: 동물편(갯지렁이류). 문교부, 대한민국, pp. 764.
- Blake, J. A., & Kudenov, J. D. (1978). The Spionidae (Polychaeta) from southeastern Australia and adjacent areas, with a revision of the genera. *Memoirs of the National Museum of Victoria*, 39, 171-280.
- Blake, J. A., Hilbig, J. B., & Scott, P. (1994). Taxonomic Atlas of the Benthic Fauna of the Santa Maria Basin and Western Santa Barbara Channel. Volume 4 - The Annelida Part 1. Oligochaeta and Polychaeta: Phyllodocida (Phyllodocidae to Paralacydoniidae). Santa Barbara Museum of Natural History, USA, pp. 369.
- Blake, J. A., Hilbig, J. B., & Scott, P. (1995). Taxonomic Atlas of the Benthic Fauna of the Santa Maria Basin and the Western Santa Barbara Channel, Volume 5 Annelida, Part 2: Polychaeta (Phyllodocida, [Syllidae and Scale-Bearing Families], Amphinomida and Eunicida). Santa Barbara Museum of Natural History, USA, pp. 378.
- Blake, J. A., Hilbig, J. B., & Scott, P. (1996). Taxonomic Atlas of the Benthic Fauna of the Santa Maria Basin and the Western Santa Barbara Channel, Volume 6 Annelida, Part 3: Polychaeta (Orbiniidae to Cossuridae). Santa Barbara Museum of Natural History, USA, pp. 418.
- Blake, J. A., Hilbig, J. B., & Petersen, M. (2000). Taxonomic Atlas of the Benthic Fauna of the Santa Maria Basin and the Western Santa Barbara Channel, Volume 7 Annelida, Part 4: Polychaeta (Flabelligeridae to Ampharetidae). Santa Barbara Museum of Natural History, USA, pp. 348.
- Day, J. H. (1967). A Monograph on the Polychaeta of Southern Africa Part 1, Errantia: Part 2, Sedentaria. Trustees of the British Museum (Natural History), UK, pp. 656.
- Fauvel, P. (1923). Polychètes sédentaires. Faune de France Volume 5. Paul Lechevalier, France, pp. 488.
- Fauvel, P. (1927). Polychètes sédentaires. Addenda aux errantes, Arachiannélides, Myzostomaires. Faune de France Volume 16. Paul Lechevalier, France, pp. 494.

- Fauchald, K. (1977). The polychaete worms. Definitions and keys to the orders, families and genera. Natural History Museum of Los Angeles County, USA, pp. 188.
- Hobson, K. D., & Banse, K. (1981). Sedentariate and archiannelid polychaetes of British Columbia and Washington. Canadian Bulletin of Fisheries and Aquatic Sciences, Canada, pp. 144.
- Jong-Geel, J. A. E. (1987). Taxonomic study on Polynoid polychaetes in Korea. Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 20(1), 1-15.
- Jung, R. H., Choi, B. M., & Hong, J. S. (1996). Paraonidae (Annelida: Polychaeta) from the Yellow Sea. Animal Systematics, Evolution and Diversity, 12(4), 313-329.
- Jung, R. H., & Hong, J. S. (1997). Nephtyidae (Annelida: Polychaeta) from the Yellow Sea. Bulletin of marine science, 60(2), 371-384.
- Jung, R. H., & Hong, J. S. (1996). Two Species of *Euchone* (Polychaeta, Sabellidae) from the Yellow Sea and Kwang-yang Bay, Korea. Animal Systematics, Evolution and Diversity, 12(4), 305-312.
- Jung, R. H., & Hong, J. S. (1998). Five species of the Genus *Prionospio* (Polychaeta: Spionidae) in Kwangyang Bay, Korea. Fisheries and Aquatic Sciences, 1(2), 216-226.
- Imajima, M., & Hartman, O. (1964). The polychaetous annelids of Japan. Allan Hancock Foundation Publications, Occasional Papers, 26, 1-452. (in Japanese)
- Imajima, M. (1972). Review of the annelid worms of the family Nereidae of Japan, with descriptions of five new species or subspecies. Bulletin of National Science Museum, 15, 37-153.
- Imajima, M. (1996). Annelida, Polychaeta I. Seibutsu Kenkyusha, Japan, pp. 530. (in Japanese)
- Imajima, M. (2001). Annelida, Polychaeta II. Seibutsu Kenkyusha, Japan, pp. 542. (in Japanese)
- Imajima, M. (2007). Annelida, Polychaeta III. Seibutsu Kenkyusha, Japan, pp. 530. (in Japanese)
- Jeong, M. K., Wi, J. H., & Suh, H. L. (2018). A reassessment of *Capitella* species (Polychaeta: Capitellidae) from Korean coastal waters, with morphological and molecular evidence. Marine Biodiversity, 48, 1969-1978.
- Lee, J. W. (1994). Systematic studies on Syllidae (Annelida, Polychaeta) from the South Sea and the East Sea in Korea. Animal Systematics, Evolution and Diversity, 10(2), 131-144.
- Lee, G. H., Meißner, K., Yoon, S. M., & Min, G. S. (2021). New species of the genus *Spio* (Annelida, Spionidae) from the southern and western

- coasts of Korea. ZooKeys, 1070, 151.
- Light, W. (1978). Spionidae (Polychaeta, Annelida). In Invertebrates of the San Francisco Bay estuary system. The Boxwood Press, USA, pp. 211.
- Park, T. S., & Kim, W. (2007). A taxonomic study on *Perinereis nuntia* species group (Polychaeta: Nereididae) of Korea. Animal Systematics, Evolution and Diversity, 23(1), 75-85.
- Park, T., & Kim, W. (2017). Description of a new species for Asian populations of the "Cosmopolitan" *Perinereis cultrifera* (Annelida: Nereididae). Zoological Science, 34(3), 252-260.
- Sato, M. (2013). Resurrection of the genus *Nectoneanthes* Imajima, (Nereididae: Polychaeta), with redescription of *Nectoneanthes oxypoda* (Marenzeller,) and description of a new species, comparing them to *Neanthes succinea* (Leuckart,). Journal of Natural History, 47(1-2), 1-50.
- Uebelacker, J. M., & Johnson, P. G. (1984). Taxonomic guide to the polychaetes of the northern Gulf of Mexico, Volume I. US Department of the Interior, Minerals Management Service, USA, pp. 202.
- Uebelacker, J. M., & Johnson, P. G. (1984). Taxonomic guide to the polychaetes of the northern Gulf of Mexico, Volume II. US Department of the Interior, Minerals Management Service, USA, pp. 250.
- Uebelacker, J. M., & Johnson, P. G. (1984). Taxonomic guide to the polychaetes of the northern Gulf of Mexico, Volume III. US Department of the Interior, Minerals Management Service, USA, pp. 197.
- Uebelacker, J. M., & Johnson, P. G. (1984). Taxonomic guide to the polychaetes of the northern Gulf of Mexico, Volume IV. US Department of the Interior, Minerals Management Service, USA, pp. 236.
- Uebelacker, J. M., & Johnson, P. G. (1984). Taxonomic guide to the polychaetes of the northern Gulf of Mexico, Volume V. US Department of the Interior, Minerals Management Service, USA, pp. 154.
- Uebelacker, J. M., & Johnson, P. G. (1984). Taxonomic guide to the polychaetes of the northern Gulf of Mexico, Volume VI. US Department of the Interior, Minerals Management Service, USA, pp. 229.
- Uebelacker, J. M., & Johnson, P. G. (1984). Taxonomic guide to the polychaetes of the northern Gulf of Mexico, Volume VII. US Department of the Interior, Minerals Management Service, USA, pp. 228.
- Uschakov, P. V. (1955). Mnogoshchetinkovye chervi dal'nevostochnykh morei SSSR. [The Polychaeta from the Far-Eastern Seas of the USSR]. Akademiya Nauk SSSR, Russia, pp. 445. (in Russian)
- Uschakov, P. V., & Wu, B. Polychaeta Errantia of the Yellow Sea. Amerind Publishing, India, pp. 137.

- Wu, P. L., Sun, J. P., & Yang, T. C. (1985). The Nereidae (polychaetous annelids) of the Chinese coast. Institute of Oceanology, Academia Sinica, China, pp. 234. (In Chinese with English summary)
- Wyrtki, K. (1961). Scientific results of marine investigations of the South China Sea and the Gulf of Thailand 1959-1961. In Physical Oceanography of the Southeast Asian Waters. NAGA Report II, pp. 195.
- Yang, D. J., & Sun, R. P. (1988). Polychaetous Annelids Commonly Seen from China Coastal Waters. China Agriculture Press, China, pp. 352. (in Chinese)
- Yokoyama, H., & Choi, J. W. (2010). New records of three *Paraprionospio* species (Polychaeta: Spionidae) from Korean waters. Ocean Science Journal, 45, 55-61.