해양환경안전학회 제13권 제1호, pp. 93 - 102 , 2007. 3. 31. (ISSN 1229-3431)
Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety

기술보고

수 저층의 저질 조사 (I)

- 저질 조사의 중요성과 분석에 관하여 -

김도희*

* 목포해양대학교 해양환경공학전공

Study on the Sediment Quality in Bottom Water (I)

Do Hee Kim*

* Department of Marine Environmental Engineering, Mokpo Maritime University

요 약: 수 저층의 퇴적물에서는 자체 내에서의 물질이동과 변환뿐만 아니라 외부로부터 유입된 물질과 수계 자체에서 생성된 여러 물질들이 침강하고 퇴적되고 있다. 또한 퇴적물에서 수층으로 물질들이 용출하는 등 저층의 퇴적물과 수층 간에는 끊임없이 물질교환이 이루어지고 있다. 수 저층 퇴적물의 오염상태를 나타내는 저질은 수 저층의 퇴적물 자체를 의미하는 것이 아니라 퇴적물의 오염도를 의미하며, 이는 수질과는 달리 시 공간적으로 쉽게 변하지 않아 오랜 기간의 수계 환경의 오염 상태를 알 수 있어 최근 수질조사와 더불어 수 환경의 오염도 평가와 수생생물, 저서생물과 관련한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 주요 저질의 항목으로는 영양염과 중금속 함량, 강열감량(IL), 총 황화물(TS), 산화환원치(ORP), COD, 색, 냄새와 악취, 용출량 등이 있다. 이러한 저질 인자들이 하천이나 호소 및 해양의 과거 및 현재의 오염상태를 알 수 있는 오염의 지표로 이용될 수 있으나 퇴적물의 채취방법, 조사 지점 수, 분석방법, 결과의 상호 비교 평가 등의 여러 문제점이 있어 실제 우리나라에서는 저질조사 연구가 많이 이루어지고 있지 않고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 저질 조사의 중요성과 채취방법, 각 저질 항목의 분석방법, 저질변동과 분석 및 평가에 관하여 소개하고자 하였다.

핵심용어: 강열감량, 오염지표, 저질, 저질분석, 저질채취,

Abstract: *Particle materials sink in bottom and dissolved inorganic substances release from sediment and many kinds of materials continuously exchange in sediment and water column as well as transfer and transformation in sediment. The study of sediment quality means the state of sediment pollution relation of the water quality, sediment biota, materials fluxes between sediment and water column, transformation of materials in sediment is being important in recent. The state of sediment quality imply that the history of water pollution for long time, because the sediment quality does not change temporally. The sediment quality of bottom water can be used as a good indicator of pollution at present and in future. The major index of sediment qualities are the content of nutrients and hazard materials such as metals, Ignition Loss (IL), Total Sulfur (TS), Oxidation Reduction Potential (ORP), sediment COD, color, odor and the release of nutrients from sediment. However, there are some arguments between researchers about compare to estimation of sediment quality and sampling and analysis of sediment. In this study, I will introduce the method of sediment sampling, analyzing and estimating of the sediment pollution.*

Key words: Ignition loss, Index of pollution, Sediment quality, Sediment analysis, Sediment sampling

1. 서 론

외국에서는 해양환경의 이용목적에 따라 해양생물과 그 서식지의 보호기준, 야생동물 또는 인간의 건강보호기준, 수산 양식, 관광, 여가활동 보호기준, 공업용수, 정박을 보호하기 위한 기준 등으로 수질, 퇴적물 및 생물에 대한 환경기준을 적용하고 있다. 현재, 우리나라에서도 환경 기준치를 농도 위주의 이화학적 수질 항목과 생물에 관련된 항목에서 저질 항목까지 발전하려고 한다. 이화학적 수질항목으로는 수중에서 용존산소를 소모시키는 유기물에 의한 오염정도를 반영하는 화학적 산소요구량(COD)을 주요 오염지표로 해역의 수질을 평가하고 있다. 그밖에 인간의 생활환경과 건강을 보호하기 위해서 수인성병원균, 악취, 부영양화, 수생생물의 폐사를 일으키는 용존산소의 고갈 등의 수질오염을 관리하기 위해서 해역의 수질환경기준이 설정되어 있다.

* 종신회원, doking@mmu.ac.kr

그러나 이화학적 수질인자들은 현재의 해역 오염도를 평가하는 데에는 도움이 되겠으나 이들 이화학적 수질 인자들은 시, 공간적으로 쉽게 변동하기 때문에 과거와 현재, 미래의 수역의 오염도를 비교 평가하는 데에는 한계점이 있다. 그러나 수 저층의 퇴적물의 오염도를 나타내는 저질은 시, 공간적으로 쉽게 변하지 않기 때문에 과거 및 현재의 수계 오염도를 나타내는 좋은 지표로 이용될 수 있다. 河合(1993)은 수질이 시간적으로 짧은 조사 시점의 수역 환경을 시사하는 반면에 저질은 그 수역의 오랜 기간의 특성과 내역을 말해준다고 하여 저질은 장기간에 걸친 수질의 이력서라고도 하였다. 즉, 퇴적물내의 오염물질의 깊이 방향의 축적은 어느 기간 동안의 수역의 오염상황을 반영하기 때문에 그 분석 기법에 따라서는 수환경의 오염의 역사를 추적할 수 있다.. 아울러 저질은 어느 해역의 오염정도를 평가하는 하나의 수단일 뿐만 아니라 퇴적물에 서식하는 저서생물의 보호를 위한 기준으로도 이용될 수 있다.

또한, 수역의 저층 퇴적물에는 영양염류와 중금속 및 유해물질들이 함유되어 있어 이와 같은 물질들이 수중으로 용출될 경우 수질뿐만 아니라 수생생물에게도 영향을 끼친다. 특히, 수 저층의 퇴적물의 표층 부근에는 무수한 생물들이 서식하고 있어 오염물질을 분해, 흡수하면서 성장하고 있다. 특히 최근에 환경호르몬과 같은 다양한 화학물질이 퇴적되고 있어 해양생태계에 장애를 발생시키는 것으로도 보고되고 있다(Taki & Fukushima, 1993). 수 저층으로 침강, 퇴적된 유기물이 분해되는 과정에서 산소를 소모하며 혐기적인 조건하에서는 황산환원이 발생하여 황화수소가 생성하여 퇴적물내, 혹은 퇴적물 표층부의 저생생물에게 나쁜 영향을 끼치며 수층으로 용출되어서는 수중 생물에게도 영향을 끼친다. 또한, 퇴적된 유기물의 분해, 무기화에 의한 영양염의 용출로 인하여 육지로부터 운반되어온 영양염과 함께 수역의 부영양화를 더욱 촉진시킬 수도 있다. 또 장소에 따라서는 비타민류, 킬레이트 화합물, 그 외 미량유기물과 철, 망간 등의 미량 중금속 등이 저층의 퇴적물로부터 용출되어 적조발생을 더욱 촉진시킬 수 있다.

하천, 호소, 해역 등의 저층 퇴적물은 수층과 끊임없이 물질교환이 이루어지고 있고 영양염과 중금속 및 유해화학물질이 침강 또는 용출되고 있어 수질 및 저서 생태계에도 영향을 끼치고 있는 것이다. 이와 같이 수 저층의 퇴적물의 수계 환경에서의 중요성 때문에 선진국에서는 최근 수질의 오염도 평가와 함께 저질 자체의 오염도의 평가, 저질과 수질관계, 저질과 저서생물 및 수생생물과의 관계, 적조와 부영양화의 발생과의 관련 연구가 이루어지고 있다(Bradley, 2005). 뿐만 아니라 수계에서의 물질순환과 물질수지 연구와 관련하여 수층과 저층 간 물질플럭스, 퇴적물 내 물질이동과 생물활동과 관련된 연구가 최근 활발히 이루어지고 있다(Alena & Scott, 1994; Craig *et al.* 2003; 김, 1996).

그러나 우리나라에서는 저질의 불균일성으로 인한 채취방법, 분석방법, 해석상의 문제점이 있고 연구결과의 상호비교, 저질을 이용한 해역의 오염도 평가 등의 연구가 그렇게 많이 이루어지 않고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 수 저층의 저질조사에 관한 연구의 일부로 우선 저질 조사의 중요성과 저질 연구를 위한 시료채취와 분석방법, 오염도 평가방법 및 저질 조사 시 주의해야 할 점에 관해서 소개하고자 한다.

2. 수 저층에서의 오염물질의 침강과 부상

수 저층의 퇴적물의 오염도를 나타내는 저질은 주로 하천 혹은 하수의 배수구로부터 유입하는 물질에 의해서 변하고 이러한 오염물질이 수중에서 확산, 침강하여 수 저층의 지형과 항류(恒流), 조석(潮汐) 등의 유황(流況)에 의해서도 크게 영향을 받는다. 또한, 인근 수역의 인구밀도와 사회활동, 개발추이와도 관련이 있다. 왜냐하면 일반적으로 물질이 해저에 침강하고 저질이 변하는 과정에 있어 유속과 인위적인 활동이 무관하지 않기 때문이다. 특히, 유속이 빠른 경우에는 확산되고 느린 경우에는 부상되며 물질의 비중이 주변 해수의 비중보다도 큰 경우에는 서서히 침강되고 반대로 비중이 적은 경우에는 부상한다. 물질의 침강속도 혹은 부상속도인 w는 다음 식(1)로 표현된다(Taki & Fukushima, 1993).

$$w = 1/18\ (\tau/\rho - 1)\ g/\nu \cdot d^2 \quad -----(1)$$

여기서, ρ:주변 해수의 밀도(g/cm^3)
τ:입자의 밀도(g/cm^3)
g:중력가속도(cm /s2)
ν:해수의 동점성계수(cm2/s)
d:입자의 직경(cm)

식 (1)에서 w 가 양(+)인 경우에는 침강되고 음(−)일 때는 부상한다. 일반적인 수계에서는 침강과 부상되는 물질의 양이 긴 시간에 걸쳐 거의 평형을 이루고 있으나 인위적인 영향이 심한 곳에서는 침강되는 양이 크고 퇴적됨으로 해서 결국에는 수심이 얕아지고 경우에 따라서 육지 수계에서는 늪으로 변해가기도 한다.

3. 저질 분석

수 저층을 구성하는 수 저층의 퇴적물의 조성은 대개 자갈, 암석, 모래, 이토 (실트, silt), 점토 등으로 구성된다. 본 연구에서 저질 (sediment quality)이라고 함은 하천, 호소, 해역의 저층에 퇴적되어 있는 수계 저층의 퇴적물 자체를 의미하는 것이 아니라 수 저층의 퇴적물의 오염 정도 즉, 퇴적물의 물리화학적 성상을 의미한다.

3.1 저질의 수평 분포

저층 퇴적물의 조성은 수층의 흐름에 따라서 퇴적, 부유되

면서 대개 유동이 큰 장소에서는 자갈, 모래로 구성되나, 흐름이 느린 장소에서는 실트, 점토가 퇴적된다. 따라서 퇴적물의 입경 분포는 수층 직상수의 유속에 따라서 대개 결정된다. 또한 퇴적물 중의 오염물질인 유기물, 중금속 등의 수평적인 분포도 입경에 따라서 달라지며 미세한 입자가 퇴적되고 있는 장소에서는 오염물질의 농도가 높고 입경이 큼에 따라서 오염물질의 농도가 낮아지는 경향을 띤다. 따라서 수층의 흐름과 입경분포와 오염물질의 분포 관계는 해역에 따라서 거의 동일한 경향을 보인다. 한편, 퇴적량의 분포는 지형의 영향을 받아 일반적으로 수심이 얕고 급경사인 지역에서는 퇴적량이 적고 수심이 깊은 곳에서는 퇴적량이 많은 경향을 보인다.

3.2 저질의 연직 분포

과거에 어떠한 인위적인 오염이 있었던 경우, 저질의 연직 분포로부터 그 기간에서의 오염 상황을 어느 정도 추정 할 수 있다. 물론 인위적인 오염이 없었던 자연환경 조건 하에서도 물리화학적인 성상과 화학조성의 연직 분포가 변하는 경우도 있다. 즉, 수저 경계면 근처의 퇴적물의 표층에서는 간극수 중에 용존산소가 어느 정도 포함하고 있으나 하층으로 갈수록 급격히 감소해서 보통 수 cm 이하에서는 혐기성인 상태를 보인다. 때문에 퇴적물의 산화환원상태에 따라 용해성이 다른 원소는 특유한 연직 분포를 보인다. 또한 유기물의 분포도 그 분해성이 다르기 때문에 일정한 연직 분포를 보인다. 일반적으로 영양염과 유기물의 농도는 표층에서 높고 하층에서 낮은 분포를 보인다. 특히, 인, 망간 등은 퇴적 후 산화환원 정도에 따라서 연직 방향으로 이동하여 표층에 농축되는 특이한 분포를 보이는 경향이 있다(川西 등, 2000).

3.3 저질의 계절 변화

저질의 계절변화는 저층수의 수온, 용존산소의 농도 변화에 의해서 주로 결정된다. 즉, 동계의 순환기에는 저층수 중의 용존산소가 높기 때문에 수층과 퇴적물의 경계면 부근의 퇴적물의 표층부는 산화층이 발달하고 일부 물질은 흡착, 농축된다. 한편, 여름의 정체기에는 대기로부터의 산소공급이 어려워 수 저층이 빈산소 상태로 되어 퇴적물의 표층부가 환원상태로 변한다. 따라서 여름에는 퇴적물의 표층부에 있는 망간, 철, 인 등의 물질의 일부가 수층으로 용출된다. 이와 같이 수 저층의 퇴적물내의 일부 물질들의 연직 분포는 온도, 용존산소, 산화환원상태 등 수층과 퇴적물의 물리 화학적인 성상에 따라 경년 변화를 보인다.

3.4 퇴적물의 채취와 저질 분석

퇴적물의 채취에 앞서 먼저 저질 조사의 목적을 명확히 할 필요가 있다. 저질의 조사가 단지 수질조사에 수반되는 것인가 아니면 저서 생물조사인가 또는 저질을 중심으로 한 특정 수역의 어떤 오염물질의 분포를 조사할 것인가 또는 퇴적물로부터의 영양염의 용출량을 조사할 것인가 등의 조사목적에 따라서 퇴적물의 채취 방법도 달라진다. 이는 단순히 채니기의 선택뿐만 아니라 채취시기, 채취지점, 조사 규모와도 관련이 있다. 그 외 계획에 있어서도 현장 수역의 지형, 수심 분포, 유황(流況) 등의 상황을 파악하는 것과 채취된 시료의 운반, 보존방법, 조사 순서도 신중히 고려할 필요가 있다.

수 저층의 퇴적물의 채취 시 채취일시, 채취지점, 채취방법, 퇴적물의 조성, 색, 냄새, 황화수소, 산화환원상태(ORP), pH 등의 퇴적물의 상태는 현장에서 관측하여 기록하며 시료를 되도록 빨리 분석한다. 곧바로 분석이 불가할 경우에는 4℃ 이하의 온도에서 보존한다. 채취된 시료는 자갈, 패각, 동식물의 조각 등의 이물질을 제거한 후 균등히 혼합해서 깨끗한 폴리에틸렌 병에 넣어 실험실로 옮긴다. 중금속의 경우에는 흡착, 용출이 되지 않는 재질의 용기를 사용한다.

1) 저질 조사지점의 선정

저질 조사지점의 선정은 그 수역을 대표하는 지점이 되도록 해야 한다. 수질 조사와는 달리 동일 지점에서도 균질성이 크게 달라지기 때문에 저질 조사의 지점 설정에 있어 대표성의 문제점이 자주 발생된다. 따라서 조사 목적에 맞게 저층의 형상, 흐름 등 현장의 상황을 파악한 후에 지점을 선정할 필요가 있다. 왜냐하면 취득된 시료의 대표성을 갖지 못할 경우 자료의 평가와 분석의 정밀도에 이론이 제기될 수 있기 때문이다. 예를 들면, 조사 목적이 특정의 오염물질의 확산조사인 경우에는 배출구 부근을 중심으로 설정하고, 생물 조사이면 생물의 서식지를 중심으로 채취해야 하기 때문이다.

채취 지점의 선정 방법으로 수역의 저층 형상이 파악 가능한 등심선의 지도나 댐, 호소 등의 건설 전의 지도 등을 참고한다. 만약에 이러한 자료가 입수 불가능하면 수심을 참고로 해서 지점을 결정한다. 퇴적물로부터의 영양염 용출량 조사의 경우에는 저층수의 DO 분포로부터 빈산소 수괴가 형성되는 지역을 고려해서 설정할 필요가 있다. 일반적으로 최고 수심에서 가장 많이 퇴적해서 빈산소 상태로 되나, 해역에 따라서는 조류로 인해 반드시 이러한 경향을 보이지 않을 경우도 있다.

지점 수의 설정에 있어서는 저질의 수평분포를 정확하게 조사하기 위해서 이동성과 변화가 큰 수질 조사지점의 수보다 되도록 많이 설정한다. 호소와 해역에서는 입도 구분에 따라서도 설정한다. 수역 내 저질의 대표적인 시료의 수집과 부영양화에 관계된 내부 부하량 조사 등의 경우에는 지점 수를 적게 할 수 있으나 지형, 유속 등의 현장의 상황으로부터 대표성의 유무를 고려하여 객관적으로 판단해서 결정한다.

2) 저질 조사를 위한 수 저층의 퇴적물 채취 방법

수 저층의 퇴적물의 채취 방법은 보통 채니기를 이용해서

이루어지나 자갈과 패각 등의 협잡물이 많은 경우에는 다이버에 의해 직접 채취할 수도 있다 (Table 1). 채니기에 의한 채니는 연니질의 퇴적물을 대상으로 만들어져 크게 예항식 채니기(Dredge), 그랩식 채니기(Grab), 주상형 채니기로 구분된다(日本環境聽水質保存局水質管理科, 1996; Alena & Scott, 1994).

① 예항식 채니기 (Dredge type sediment sampler)

예항식 채니기는 해저를 예항하여 해저 퇴적물을 끌어올리는 것이다 (Fig. 1). 이 방법은 예항거리가 긴 경우에는 정확한 채니 지점을 알 수 없고 주로 바람에 의한 배의 표류, 조류에 의한 표류를 이용하여 예항하기 때문에 채니 지점의 수심에 따라 다르지만 작업 시간이 길어진다. 또한 채취 시료가 흐트러지기 때문에 생태 조사 등 정량적인 시료의 채취가 불가능하며 매우 정밀한 조사에는 적당치 않다. 그러나 시료의 대량 채취가 가능하고 모래, 자갈 등 퇴적물의 채취와 암반 지역에서도 채취가 가능하며 채취 효율이 좋다. 예항식 채니기로는 사질, 이토질의 퇴적물을 채취하는 경우 세립물질이 씻겨 나가지 않는 소형 ST-Ⅰ형이 적합하고, 자갈이나 암반을 목적으로 하는 경우는 모래, 실트 질은 내보내고 큰 것만을 남기는 대형 ST-Ⅱ형이 적합하다. 형태로는 사각형 dredge도 사용되나 제작이 쉽고 간단한 원통형이 많이 사용된다.

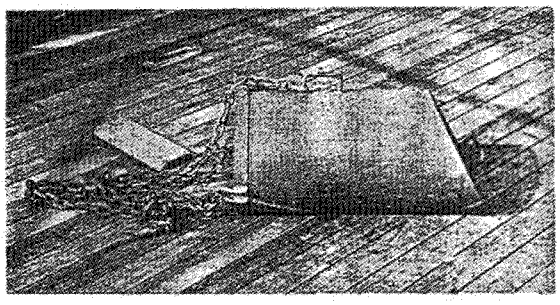


Fig. 1. Dredge type sediment sampler.

② 그랩식 채니기 (Grab type sediment sampler)

Grab 채니기는 와이어나 로프의 끝에 채니기를 매달아 해저에 닿는 동시에 그 충격으로 채취구에 퇴적물이 채취되는 형태와 저층의 바닥에 닿는 것을 확인한 후 메신저로 고리를 풀어 채취구를 이용하여 채취하는 형태의 두 종류가 있다.

어느 것이나 채취용기의 크기에 따라 채취되는 시료의 양이 결정되어 시료의 채취가 정량적으로 이루어진다. 그리고 작업시간은 거의 와이어를 내렸다 올리는 시간만 소요되기 때문에 단시간이 소요된다. 이 방법으로는 흐트러지지 않은 시료를 얻을 수 있으나 조성이 이토나 모래의 경우에는 채취가 어려운 결점이 있다.

Table 1. Sediment sampler and sampling methods

Apparatus	Sampling purpose and sampling method
Dredge	·Take a long time for sampling of sediment ·It's not use to research for the vertical profile of sediment pollution because, it is impossible to attain same sediment contents and usually to be disturb sediment contents whenever sampling of sediment ·It can be achieve large amount of sediment sample where are sand and gravel
Grab	·Save time to sampling of sediment, it can be use to research for benthos and research of horizontal profile of sediment quality ·It couldn't take a garbage and sandy sediment. it is impossible to sampling of sediment where high speed of current ·It is impossible to take homeogenous sediment whenever sampling of sediment
Core	·Piston and gravity type sampler, it can be achieve a natural condition of sediment *in situ.* ·It is suitable for research of vertical profile of sediment and use to estimate of nutrient release from sediment ·It's possible to take homeogenous sediment whenever sampling of sediment ·It is impossible to sampling sediment where sandy sediment
Diver	·In case of impossible of sampling sediment by sediment sampler ·It is possible to take a natural condition of sediment *in Situ.* ·Suitable for the study of nutrients release from sediment

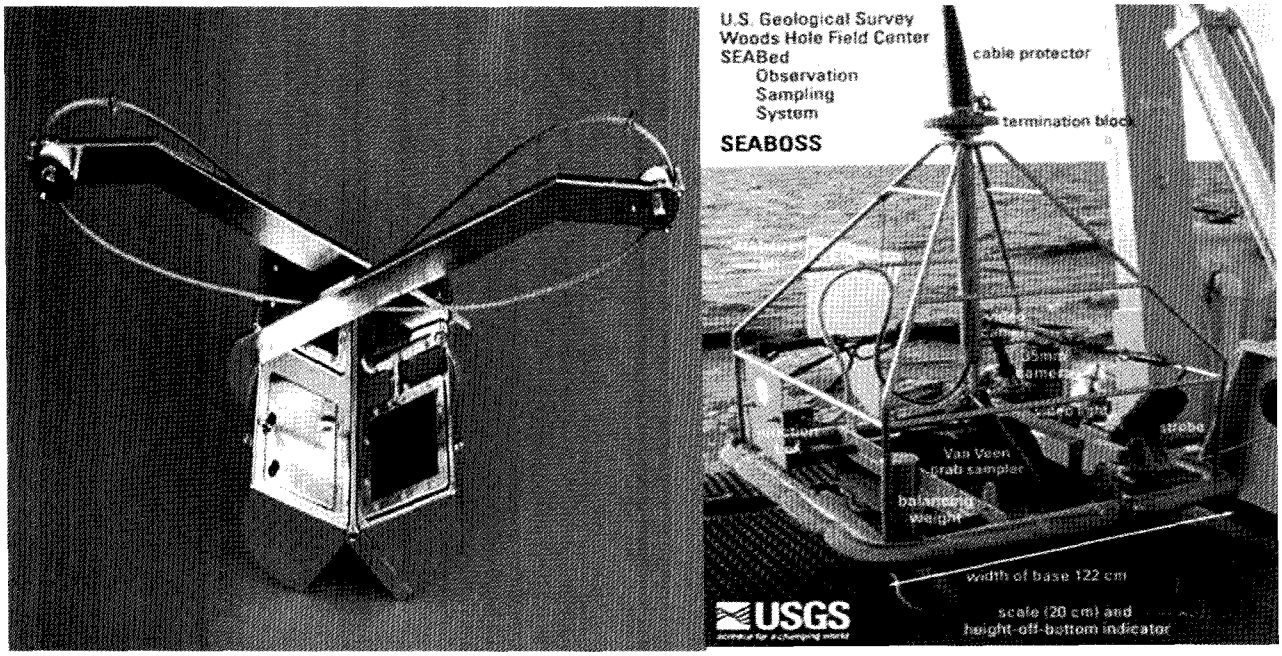


Fig. 2. Van Veen sediment grab sampler.

대표적인 것이 Van Veen Grab 채니기이며 수평적인 조사와 저생생물 (benthos) 조사 등에 이용된다(Fig. 2).

최근에는 Van Veen 채니기에 비디오카메라나 다른 측정 센스를 부착해서 수 저층의 상태를 조사함과 동시에 저층의 퇴적물 채취하기도 한다. 이러한 형태의 채니기의 단점은 자갈과 패각 등 협잡물이 있을 때 또 유속이 큰 해역의 경우에는 채취에 어려움이 있다. 또한 각각의 지점에서 채취된 시료의 양이 균일하지 못해 채취되는 시료양의 통일성을 얻기가 어렵다. 연직 분포의 변동이 있어 채취 깊이에 따른 분포의 차이가 생길 수 있다. 따라서 표층조사의 시료 채취에는 부적합하다.

③ 주상채니기(Core and gravity type sediment sampler)

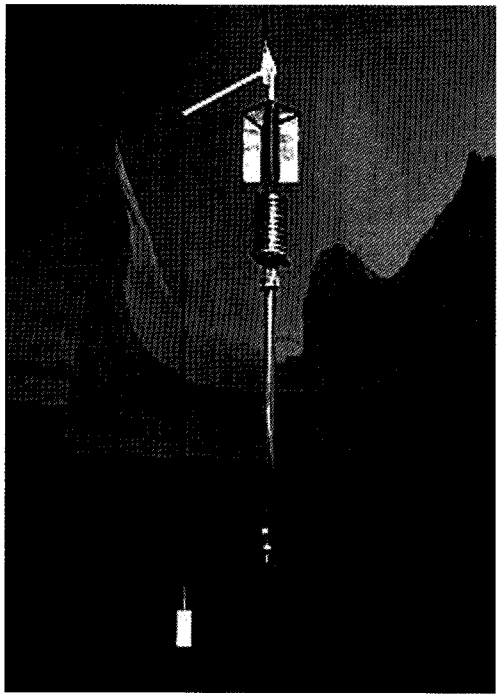
주상 채니기는 관 모양 (管狀)의 채니기를 퇴적물 중에 밀어 넣어 수 저면하 수 십 ㎝이상 깊이의 퇴적물의 연직적인 분포를 교란시키지 않고 채취하는 것으로서 중력식과 피스톤식이 있다 (Fig. 3). 중력식은 주상 채니관의 하중을 이용하여 수 저층 퇴적물을 찍어서 채취하는 것이고, 피스톤 식은 하중 및 채니관에 장착된 피스톤에 의한 음압을 이용하여 좀 더 깊이 박는 것이다. 그 외 정수압, 분수압, 진동을 이용한 것이 있다. 주상 채니기는 와이어를 내렸다 올리는 시간만 소요되므로 작업시간이 예항식보다 짧다.

수 저면에서부터 아래로 흐트러지지 않은 시료를 채취할 수 있다. 조건이 좋으면 모래, 자갈, 연암까지도 채취할 수 있으나 일반적으로 암반을 채취할 수는 없다.

특히, 퇴적 상황을 층별로 파악할 때나 퇴적물로부터 영양염 등의 용출량 조사를 목적으로 할 경우 현장의 퇴적물을 그대로 채취할 수 있다. 또한, 시료양의 통일성도 확보할 수 있다. 원통형 코아 채니기는 구조가 간단해서 취급도 용이하고 소형선박에서도 사용 가능하여 호소 조사나 생물 조사에 자주 이용된다. 수층과 퇴적물과의 경계면의 보존성이 좋고 표층부의 퇴적물을 그대로 채취 할 수 있는 장점이 있다. 표층부의 상당 부분 (5-10 cm)까지 혼란되지 않아 표면조사와 층별 입도조사 등에 이용된다.

그러나 이 장치도 채취되는 시료의 양이 적고 모래 성분이나 퇴적물의 밀도가 낮은 경우에는 채취의 어려움이 있다. 또한 채취 지점의 수심이 깊으면 관입 시에 파이프와 퇴적물 간의 마찰저항이 발생된다. 최근에는 퇴적물을 채취하는 관의 직경을 더 크게 제작해서 사용하기도 한다. 이 장치는 저질오염의 연대파악과 많은 시료 양을 필요로 하는 여러 항목의 측정 또는 퇴적물로부터의 용출 실험 등을 목적으로 할 경우에 적합하다.

한편, 피스톤 코아는 앞서의 장치의 결점을 보완해서 제작되어 대형으로 윈치가 있는 배를 이용해서 해역에서 이용된다. 문제점은 피스톤을 부착하기 때문에 간혹 표층부의 저질이 혼란될 경우도 있어 저층의 표층 부분을 현장 그대로 보존 불가할 수도 있다. 이 때문에 표층 부분을 중심으로 한 연직분포의 조사에는 적합하지 못하다. 그러나 깊이 방향으로 대략적인 퇴적상황을 조사할 경우에는 적합하다.



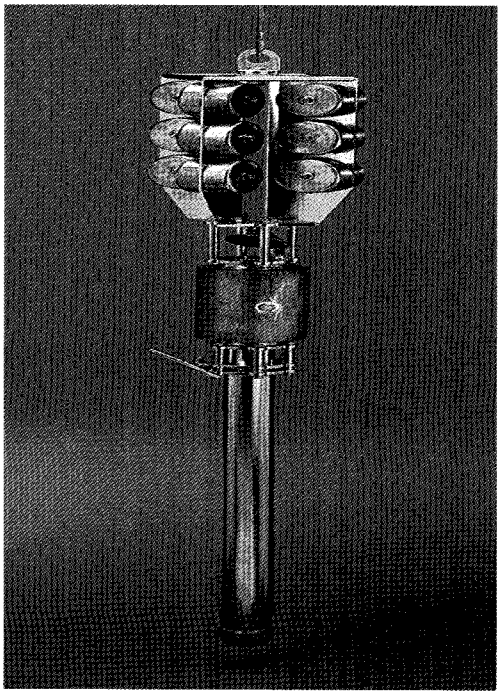
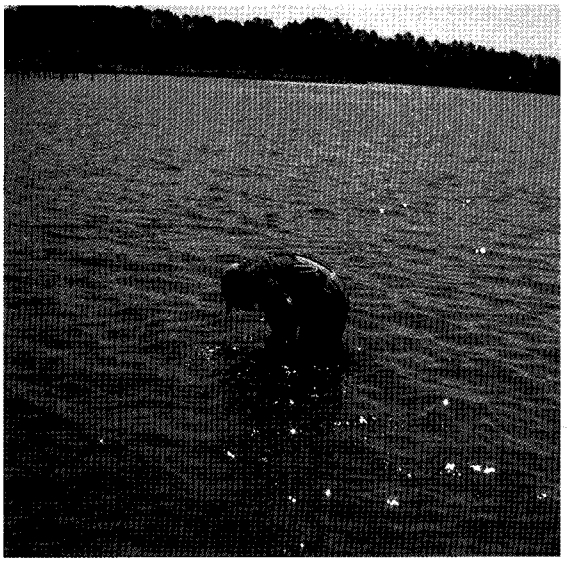


Fig. 3. Core type sediment sampler.

④ 다이버와 직접적인 퇴적물 채취 방법

퇴적물의 표층 부근의 생물조사나 퇴적물로부터의 용출량 조사 등 자연 상태 그대로 퇴적물을 조사하거나 퇴적물을 실험실로 옮겨서 배양실험을 해야 할 경우에 다이버를 통해서 채취가 이루어지거나 얕은 곳에서는 직접 사람의 손으로 수 저층의 퇴적물을 채취한다. 또 수 저층에 협잡물이 많아서 앞서 소개된 채니기들로는 수 저층의 퇴적물을 채니 할 수 없을 경우에는 다이버나 직접적으로 퇴적물을 채취한다. 이 경우에도 숙련자가 아닌 경우에는 퇴적물의 혼란이 발생될 수 있으므로 주의해서 채취한다(Fig.4).



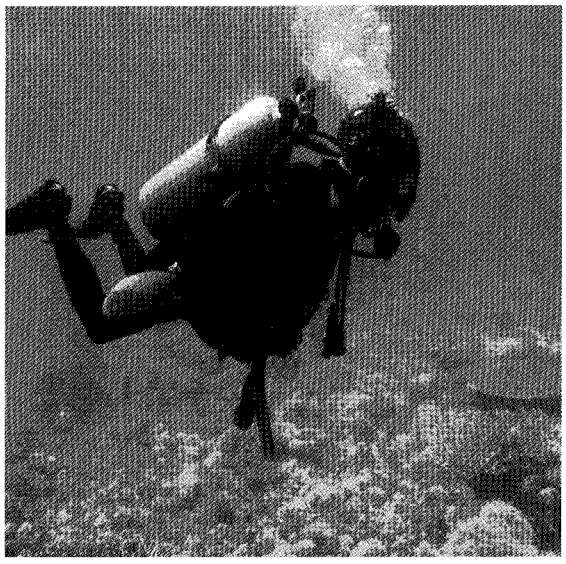


Fig. 4. Sampling of sediment by scuba diver and directly sampling of sediment from bottom water.

3.5 저질 평가의 지표

저질의 유기물 함유량은 통상 저질 COD에 의해서 표현된다. 일본의 경우, 수산용수 기준으로 저질 COD 2 mg/g은 오염의 초기상태이고, 30 mg/g 이상은 오염이 진행된 상태로 판단하고 있다(Izawa, 1993). 또 저질 COD와 함께 황화물이 1 mg/g 이상 포함된 경우에는 오염된 것으로 판단한다. 다만, 이러한 기준이 전 해역에 언제나 적용되는 것은 아니다. 그 외 저질분석 항목으로 입도분석, 함수율(%), 강열감량(%), 입도 조성(%), 총황화물(TS mg/g), 산화환원치(ORP), 저질COD (mg/g), 퇴적물 중 중금속 및 영양염 농도, 용출실험, 색, 온도, 악취 등이 조사된다. 수식에 의한 퇴

적물의 유기오염 지표는 다음 식 (2)와 같이 표현된다(이, 1996).

저질의 유기오염 지표
=0.310(COD-23.5)/23.5+0.170(IL-11.7)/11.7+0.867(TS-0.504)/0.504+0.273(TN-1.82)/1.82+0.141(TP-0.618)0.618+0.166(Mud-68.3)/68.3 ----------(2)

여기서 이용되는 저질 항목은 저질 COD(mg/g), IL(%), TN(mg/g), TS(mg/g), TP(mg/g), Mud(점토 %) 이다. 이 식에서 오염의 초기 상태는 0 이상이고, 이미 오염된 퇴적물은 1 이상이다.

3.6 주요 저질 평가 항목

저질의 일반적인 평가 항목은 아래와 같다.

1) 입도 분석

저층 퇴적물의 입자크기의 분포는 유속, 지형 등 해수의 물리적인 요인과 직접적인 관계가 있으며, 입자의 크기에 따라서 생물의 서식조건이나 흡착이나 이온교환 등 생물, 화학적인 조건이 달라지기 때문에 퇴적물의 입도분석은 저질분석에 있어서 중요한 항목 중의 하나이다. 퇴적물의 입자 크기는 길이로 표시되는 척도이다. 일반적으로 입자크기는 입자가 통과할 수 있는 가장 작은 체의 눈금으로 표시하거나 입자의 침강속도와 같은 침강속도를 가지는 구의 지름 혹은 입자의 장축으로 나타낼 수 있다.

그러므로 입자의 크기를 직접 측정할 수 없는 세립한 입자의 경우, 입자들을 일정한 크기별로 분리하여 질량을 측정한 다음 각 크기별 퇴적물 입자의 분포 비율로 나타낸다. 입자의 크기는 자갈과 모래, 그리고 뻘로 크게 나눌 수 있다. 이를 나누는 기준은 Table 2와 같다.

자갈 이상의 크기를 가지는 퇴적물 입자는 버어니어 캘리퍼스를 이용하여 그 장축과 단축을 측정하고 모래 크기의 입자는 건식체로 모래와 뻘은 습식체로 분리한다. 건식 체질법은 입자가 통과하는 가장 작은 체의 간격을 입자의 크기로 하여 각 체의 간격에 따른 입자들의 무게를 측정하여 무게비율로 입자의 평균입도를 계산한다.

피펫팅 법은 입자의 침강속도가 입자크기에 비례한다는 이론인 stoke's 법칙에 근거하여 퇴적물 입자를 측정하는 간접적인 방법이다. 이 방법은 매질의 밀도, 입자의 비중, 입자의 크기에 따라 계산된 입자의 침강속도에 의해 일정한 시간에 시료의 일부분을 계속 뽑아낸 다음 입자의 무게를 측정하여 무게비율로 평균입도를 계산한다. 그 외 X-Ray 를 이용한 기기분석법에 의한 퇴적물의 입도분석법이 있으나 여기서는 습식 체질 법에 관해서 소개하고자 한다.

① 습식 체질법

채취된 현장의 퇴적물에 포함되어 있는 유기물을 제거 한 후 다음과 같이 분석한다. 습 시료 약 10~50 g을 무게를 알고 있는 증발접시에 옮긴다. 110 ℃ 건조기에서 일정 중량이 될 때까지 건조한다. 증발 건조 후 시료만의 무게를 측정한다 (A g). 건조 퇴적물에 물을 가해 겹쳐진 32 mesh 및 150 mesh의 체위에 옮긴다. 다시 물을 부어 체 위의 퇴적물 입자를 충분히 씻어 내린다.

Table 2. The composition of sediments according to the size of particle

Size	Composition of sediment	Mesh	Pie(ϕ)
256 ㎜ <	boulder (왕자갈)		-5
64 ㎜ <	cobble (왕자갈)		-4
2 ㎜ <	pebble (자갈)	5	-2
4 ㎜ <	big sand (왕모래)	10	-1
1 ㎜ <	sand (조립사)	18	0
1/2 ㎜ < (0.5 ㎜)	fine sand (미조립사)	35	1
1/4 ㎜ < (0.25 ㎜)	중립사	60	2
1/8 ㎜ < (0.125 ㎜)	세립사	120	3
1/16 ㎜ < (0.0625 ㎜)	미 세립사	230	4
1/256 ㎜ < (0.0039 ㎜)	silt (실트)		5
1/256 ㎜ > 이하	clay (점토)		6

(Pie(φ) = $-\log(\text{입자직경})^2$ 과 같이 구한다. 메쉬는 길이 1 인치에 들어가는 눈의 수를 말한다.)

각각의 체를 건조기에 넣어 110 ℃ 에서 건조한다. 건조 후 각 체에 남아있는 입자를 저울 병에 옮겨 다시 110 ℃ 에서 건조하고 데시케이터 중에서 방냉 후 각각의 무게로 측정한다.

분류: ① 32mesh를 통과하지 않은 것
(粗砂; 0.495 ㎜ 조립사 이상크기의 거친 자갈):

$$\frac{Bg}{Ag} \times 100 \ (\%)$$

② 32mesh를 통과하고 150 mesh를 통과하지 않은 것 (砂; 0.104~0.495 ㎜ 크기의 세립사 및 중립사):

$$\frac{Cg}{Ag} \times 100 \ (\%)$$

③ 150 mesh를 통과한 것 (0.104㎜이하의 미 세립사 이하 성분): 100 %에서 ①과 ②의 백분율의 합을 빼서 구한 값

2) 퇴적물의 강열감량 (Ignition Loss; IL)

퇴적물을 고온으로 가열한 후 그 무게 차이를 알아내는 방법을 강열감량법이라 한다. 이 방법은 시험방법이 비교적 간편하며 다양한 종류의 퇴적물에 대해 일괄적으로 적용할 수 있는 장점이 있다. 반면, 광물격자 안의 수분과 약한 화합물들이 고온에서 없어져 오차를 유발하는 단점이 있다. 강열감량법의 측정한계는 0.05 % 이며 시험의 표준편차 율은 10 % 정도이다. 분석방법은 다음과 같다(해양수산부, 2006).

습 퇴적물 약 10~50 g (A)을 하루 이상 냉동시킨다. 65 ℃이하에서 1일 이상 건조기에서 건조 한 후 건조된 퇴적물을 막자사발에서 곱게 분마 한 후 230 mesh (0.063 ㎜)체 통과시킨다. 미리 무게 잰 증발접시에 옮긴 후 건조기에서 항량 될 때까지 건조한 후 무게를 측정한다 (A g, 함수량 측정). 전기로에서 550 ℃에서 2시간 강열한 후 1 시간동안 방냉한 다음 무게를 측정한 다음 (B g) 아래와 같이 강열감량 치를 계산한다.

계산 : IL (%) = A−B /A×100

3) 검지관법에 의한 퇴적물의 황화수소 (H_2S) 측정

수 저층의 퇴적물 내 황화물이 많다는 것은 저질 내 산소의 고갈 및 결핍상태를 의미하며 저층의 수질에 나쁜 영향을 끼칠 수 있는 것을 의미한다. 퇴적물의 황 화합물의 측정에는 적정법과 검지관법이 있으나 여기서는 검지관법을 소개하고자 한다. 즉, 퇴적물에 산을 가하여 황화물을 황화수소의 형태로 바꾼 후 발생하는 황화수소를 검지관법으로 측정한다. 이 방법은 되도록 현장에서 퇴적물을 채취 즉시 분석할 때 정확하나 현장에서 측정이 불가한 경우에는 현장에서 시료를 500 ㎖ 용량의 고밀도 폴리에틸렌 광구병에 담는다. 이 때 병에 시료가 꽉 차게 담아 뚜껑을 닫았을 때 공기가 차 있는 공간을 최소로 하여야 한다. 시료는 4 ℃ 이하로 냉장 보관하되 빨리 실험실로 옮겨 분석을 실시한다. 하지만 이 온도 이하로 유지할 때 1주일간 안정된다.

분석방법은 습 퇴적물 0.5~2 g을 정확히 달아 소량의 증류수(5 ml)를 사용하여 가스발생 관에 옮긴다. 검지관의 양쪽 끝을 깬 후 화살표 방향으로 가스 발생관 및 흡입펌프에 연결한다. 가스 발생관에 18N 황산(H_2SO_4) 2 ml을 가한다. 일정 시간 동안 펌프로 흡입시킨 후 검지관의 변색이 멈출 때 눈금을 기입한 후 아래와 계산한다. 이때 흡입시간의 준수와 발생 가스가 누출되지 않도록 주의한다.

계산 (H_2S mg/g dry) = 검지관의 눈금 × 100 / (시료량×건조퇴적물 함량 %)

4) 퇴적물 산화환원치 (ORP)측정

퇴적물의 산화환원치 (Oxidation-Reduction Potential; ORP)는 퇴적물의 산화환원상태를 나타내며, 이는 저생생물의 서식조건과 황화수소와 영양염 및 미량금속 이온들의 용출 가능성을 추정할 수 있다. 측정은 ORP전극을 이온 측정기(pH meter)에 접속한 후 채취된 퇴적물에 전극을 꽂아 ㎷로 읽는다. 이때의 전극(ps-112c)은 대개 복합 포화 염화은 전극이기 때문에 표준수소 전극에 대한 전위차(Eh)를 구할 때는 측정치를 다음 식에 대입하여 계산한다.

계산: mV = 223 − 0.98 Temp.

5) 저질 COD (Sediment Chemical Oxygen Demand)

수 저층의 퇴적물 중 유기물량은 퇴적물의 오염상태를 평가하는데 중요한 척도 중의 하나이다. 일반적으로 퇴적물 중의 유기물함량의 측정은 강열감량법이나 유기탄소량을 이용하여 직접 정량하는 방법이 주로 이용된다. 반면 유기물이 산화될 때 환경에 미치는 영향을 알아내기 위해 유기물이 산화될 때 소비되는 산소량을 측정하는 방법이 있는데, 이를 화학적 산소요규량(COD: Chemical Oxygen Demand)이라 한다. 산화제로는 측정범위가 넓은 과망간산칼륨 법을 보다 많이 이용한다(해양수산부, 2006). 시험 방법은 다음과 같다.

습 시료 약 1 g를 500용량 삼각플라스크 에 옮긴 후 0.1N 과망간산칼륨용액 100 ㎖ 를 가한다. 다음 10 % 수산화나트륨용액 5 ㎖를 가한 후 수욕상에서 1시간 동안 중탕한 후 방냉한 다음 증류수를 가해 전체 부피가 500 ㎖가 되도록 한다. 삼각플라스크안의 용액에 10 % 요오드화칼륨용액 10 ㎖와 4 % 아지드나트륨용액 한 방울씩을 넣는다. 이 용액과 퇴적물을 잘 흔들어 섞은 후 유리섬유 여과지를 사용하여 여과한다. 여과된 용액 100 ㎖을 250 ㎖ 용량 삼각플라스크에 옮긴 다음 30 % 황산용액 2㎖을 넣고 잘 흔들어 준다. 적정 용액인 0.1N 티오황산나트륨용액을 50 ㎖ 용량의 뷰렛에 채운 후 삼각플라스크의 시수 용액에 적정한다. 종말점을 구한 후 아래 계산식에 의해 COD를 구한다.

계산: 화학적 산소요구량(COD, ㎎ O_2/㎏) =

$$\frac{0.8\times(A-B)\times f\times\frac{300}{100}\times 1000}{1-\frac{W(\%)}{100}}$$

여기서, A=바탕시료 적정시 소요된 양 (㎖), B=시료 적정시 소요된 양 (㎖), M=시료의 무게 (g), W=함수율, f는 역가이다.

6) 퇴적물 내의 영양염 및 미량금속의 농도 조사

퇴적물 내 영양염과 저질내의 중금속의 분석은 채취한 습 퇴적물 1~5 g 을 원심분리 관에 넣고 용존성 이온를 측정하기 위해서는 일정액의 증류수를 그리고 퇴적물에 포함된 총 이온 (용존성 및 입자성)의 분석을 위해서는 일정액의 추출액을 첨가한 후 3000 rpm에서 10분간 원심분리 한 후 상층 액을 취한다. 이 상층 액을 여과한 후 적당한 비율로 희석한 후 퇴적물 공극수 중의 영양염과 미량금속 이온의 농도를 측정한다.

해저 퇴적물 내에서의 중금속은 다양한 형태의 화학적 형태를 가지지만, 환경에 영향을 미치는 화학종은 대체적으로 희석 산을 이용하여 추출할 수 있다 (Acid extractable metal). 해저퇴적물 시료에 1N 질산을 가하면 퇴적물 내에 존재한 중금속이 추출될 수 있는데, 이 추출된 용액을 AAs 또는 ICP로 분석한다. 측정방법은 다음과 같다(Izawa, 1993).

건 시료 약 0.2 g을 마개달린 시험관에 옮긴 후 1 N 질산용액 (또는 염산 10 ml혼합) 10 ㎖ 가한다. 교반기로 1시간동안 mixing한 다음 원심분리기로 4000 rpm에서 10분간 원심분리한 후 이 상층 액을 시험관에 옮긴 다음 AAs 또는 ICP로 분석한다.

4. 결 론

수 환경의 오염도의 평가를 위해서 수질과 수생 및 저서생물에 관련된 저질조사의 중요성이 부각되고 있다. 저질 결과의 표시는 대개 건조 조작을 통해서 구한 오염물질의 건조된 퇴적물 기준의 농도인 mg/kg, 또는 g/kg으로 표시된다. 저질 결과의 평가의 어려움은 기준을 무엇으로 하는가이다. 수질의 결과는 기준이 되는 물은 같은 지점에서는 균일하지만 수 저층의 퇴적물은 동일한 시점과 같은 해역에서도 여러 가지 물질들이 혼재되어 있다. 예를 들면 모래와 점토가 혼합되어 대개의 경우에는 오염된 퇴적물 중에 조사 대상의 오염물질이 함유되어 있기 때문이다.

또한, 퇴적물의 입도 크기에 따라서 물리, 화학, 생물학적 조건이 크게 달라지기 때문에 저질자료의 분석, 평가에 있어 경우에 따라서는 입도크기 별로 표시하지 않으면 안 되는 경우가 자주 있다. 퇴적물의 채취도 문제이다. 채니기에 따라서 결과가 전혀 다르기 때문이다. 표면에 떠 있는 상태로 침적된 가벼운 유기물을 분석 대상으로 하는 경우와 깊이 방향의 분포를 조사하는 경우에는 특히 주의할 필요가 있다. 어느 해역의 같은 시점에서도 각각 저질 결과의 편차가 크기 때문에 채취 지점의 선정이나 조사 횟수 및 채취된 퇴적물의 연직적인 깊이의 선정이 중요하다. 특히, 퇴적물의 표층 부분은 가장 민감한 변화를 나타내므로 저질조사의 목적에 따라서는 퇴적물의 표층 부분을 현장 그대로 채취하는 것이 무엇보다 중요한 경우도 있다.

같은 저질 항목일지라도 분석방법에 따라 결과 값이 다를 수 있다. 따라서 저질 분석방법의 선택도 중요하므로 이용된 분석 방법을 반드시 명시하여야 한다. 그 외 전 처리의 문제점도 있다. 특히 TBT나 중금속과 같은 복잡한 구성(matrix)에 아주 미량의 성분이 함유되어 있는 경우에는 방해를 제거하기 위한 분리정제가 측정결과에 큰 영향을 끼친다.

현재, 해양환경공정시험법에서 저질조사 항목별 분석방법이 제시되고 있으나 앞서 언급된바와 같이 저질조사 지점의 선정, 조사 횟수, 연직적인 분포, 수평적인 분포, 분석항목과 방법, 결과 자료의 편차 등의 이유로 해서 아직까지 저질조사에 관한 지침이나 연구가 활발히 이루어지지 않고 있는 실정이다. 따라서 저질조사를 이용한 수역의 오염도 평가를 위해서는 앞으로 저질조사와 관련된 연구진의 구성과 토론회가 이루어지고 어느 수역에서 언제, 어느 정도의 빈도로 어떤 측정 항목에 관해서 어떤 방법으로 저질분석이 이루어져야 하는지 저질조사의 지침서나 공정된 저질조사 방법에 따라서 저질조사가 이루어져야 한다. 아울러 저질 조성과 유역특성, 저질과 다른 인자와의 상관관계, 저질자료의 화상화 등에 관한 저질정보의 data base를 통하여 전국적인 분포로서 비교 가능하도록 할 필요가 있다.

다음 연구에서는 수 저층의 저질 조사에 관한 연속된 연구(II)로서 수저층간 물질플럭스와 퇴적물내 물질 이동 및 수생 및 저서생물과 관련된 내용을 보고하고자 한다.

참 고 문 헌

[1] 김도희(1996), 퇴적물과 수층간의 용존무기질소 플럭스의 시공간적 변동과 1차 생산에 미치는 영향, 한국수산학회지, 제 29권, 제 4호, pp. 456-463.

[2] 이석우(1996), 해양항만조사법, 집문당, pp.159-160.

[3] 해양수산부(2006),해양환경공정시험법, pp.133-168.

[4] 河合章(1993), "水環境と底質",水環境學會誌, Vol.16, No.2, pp.1-2.

[5] 川西 利昌(2000), 海洋環境學, 公立出版株式會社, pp.85-89.

[6] 日本環境聽水質保存局水質管理科(1996), 底質調査方法とその解說, 社團法人日本環境測定分析協會, pp.1-2.

[7] Alena M. and Scott D. M.(1994), Handbook of Techniques for Aquatic Sediments Sampling, Lewis publishers, London, pp.17-28.

[8] Bradley D. E. and Angus J. P.(2005), "Benthic metabolism and nitrogen cycling in a subtropical east Australian estuary (Brunswick): Temporal variability and controlling factors", *Limnol. Oceanogr.*, Vol. 50, No. 1, pp.81-96.

[9] Craig T., Anne G., James M., Jane T. and Bruce P.(2003), "Sediment DIN fluxes and preferential recycling of benthic microalgal nitrogen in a shallow macrotidal estuary", *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, Vol. 257, pp.25-36.

[10] Izawa H.(1993), "Sampling of sediment", *Water Science and Technology*, Vol.16, No.2, 6-10. (in Japanese).

[11] Taki K. and Fukushima T.(1993), "Sediment data base and evaluation of sediment pollution by using its data base," *Water Science and Technology* Vol.16, No.2, pp.17-22. (in Japanese).

원고접수일 : 2006 년 7월 27일
원고채택일 : 2007 년 1월 31일