

천수만 해저 퇴적물의 입도특성 및 중금속 오염도 평가 -어장해역과 비어장해역의 퇴적환경 비교-

김종구*† · 장효상**

*, ** 군산대학교 환경공학과

Evaluation of Characteristics of Particle Composition and Pollution of Heavy Metals for Bottom Sediments in Cheonsu Bay, Korea -Comparison of the Sediments Environment of Farming Area and Non-farming Area

Jong-Gu Kim*† · Hyo-Sang Jang**

*, ** Department of Environmental Engineering, Kunsan National University, Kunsan 573-901, Korea

요 약 : 천수만 내 어장해역과 비어장해역의 해저퇴적물에 대한 지화학적 특성을 파악하기 위하여 입도 및 유기물오염의 특성과 중금속 오염도를 평가하였다. 천수만 퇴적물은 Sand, Silt, Clay가 혼재된 퇴적 특성을 나타내었으며, 어장해역인 만내에는 세립질이 우세하고, 비어장해역인 만외는 조립질이 우세한 것으로 나타났다. 퇴적물의 유기물(COD, TOC, IL) 오염정도는 양식어장해역이 비양식어장해역보다 유기물 오염도가 더 심한 것으로 나타났으며, 퇴적물 총질소 농도도 양식어장이 더 높은 것으로 나타났다. 퇴적물중의 중금속 함량을 양식어장인 내측과 비양식어장인 외측과 비교해 보면, 모든 항목에서 양식어장에서 높은 평균농도를 나타내고 있었다. 퇴적물의 입도와 이화학적 성분, 중금속과의 상관성에서 평균입도, Sand, Clay는 유기물 인자와 높은 상관성을 보였고, 유기물 지표와 중금속간의 상관성도 대체적으로 높게 나타났다. 중금속 오염도의 평가에서 농축계수는 Cu를 제외한 모든 중금속 항목에서 1 이상의 값을 보여 인위적인 영향이 있는 것으로 나타났고, 중금속 과잉량은 Cd와 Cr이 0에 가까운 값을 보였으나, 나머지 항목은 높은 값을 나타내어 중금속 과잉량이 높은 것으로 나타났다. 농집지수에 의한 평가에서는 Cu, Pb, Al은 0등급의 오염되지 않은 수준이었고, Hg, Cr은 10개 이내의 자료에서 0-1등급 이상이었고, 나머지는 0등급이었다. 그리고 Cd은 18개 자료에서 0-1등급 이상을 나타내었고, As의 경우 모든 자료에서 0-1등급 이상이었다. 미국해양대기청(NOAA) 퇴적물 기준과 비교하면 모든 중금속 항목에서 ERL 이하의 오염수준을 보였고, 한국환경정책평가연구원 퇴적물 기준과 비교에서도 목표수준 이하의 농도를 나타내었다.

핵심용어 : 천수만, 어장해역, 비어장해역, 입도조성, 유기물지표, 중금속, 농축계수, 농집지수, 미국해양대기청 퇴적물기준

Abstract : For the systematic scientific management in Cheonsu Bay of Korea, this study was conducted to survey the particle composition, organic matter(IL) and heavy metals in farming and non-farming areas. The sediment of study area showed feature mixed property by sand, silt and clay. The farming area showed superior by fine-grained sediment, non-farming area showed superior by coarse-grained sediment. The organic pollution of farming area were appeared to be heavily polluted more than non-farming area. The concentration of total nitrogen in sediment was higher farming area than non-farming area. Also, in the case of heavy metals pollution in sediments, farming area was higher than non-farming area. The correlation analysis among to heavy metals, organic matter and particle size was found to have a good interrelationship. For evaluation of heavy metals pollution of sediments, three criteria are applied, Enrichment Factor(EF), Geoaccumulation index(I_{geo}) and NOAA criteria for sediment. In the case of EF, Heavy metals pollution was appeared to artificial effect all heavy metals if except Cu. In the case of Geoaccumulation index, Cu, Al, Pb was shown zero grade, that is non polluted group, and Cd, Hg, Cr was shown to 0-1 grade, that is mid polluted group, As was shown to 2 grade, that is moderately polluted group. In the case of NOAA, pollution levels of heavy metals except Cd belonged to a group of ERL(Effect range low)-ERM(Effect range median).

Key Words : Cheonsu bay, Farming area, Non-farming area, Particle composition, Organic matter, Heavy metal, Enrichment Factor, Geoaccumulation index, NOAA criteria for sediments

† Corresponding Author : kjg466@kunsan.ac.kr, 063-469-1874

1. 서론

서해안 중부지역에 위치한 천수만은 서측에 안면도가 위치해 있고, 북측에는 서산시와 태안군, 동측에는 보령시와 홍성군으로 둘러싸여 있으며, 만의 구조는 남북으로 길고 남측으로 주 해수유통이 이루어지며, 북측의 수로로 일부 해수가 유통하나 만의 해수교환에 큰 영향은 미치지 않는 반폐쇄성 구조로 이루어져 있다. 이러한 구조적 특성으로 많은 해양생물의 산란 및 생육장으로 높은 생산성을 가진다(KOSEF, 1993).

그러나 1983년 서산 A, B지구 방조제 간척사업으로 A지구에 간월호, B지구에 부남호가 조성되었고, 1999년 홍성방조제(모산만)가, 2000년에 보령방조제(오천만)이 조성되면서, 만의 면적은 380 km²에서 180 km²으로 크게 감소하였고, 만입구를 통해 외해로 유통되는 해수교환량이 크게 감소하는 결과를 가져왔다(Park, 1976; Lee et al., 2011; Kim, 1996).

천수만의 해양 환경적 문제는 북측에 위치한 간월호와 부남호로부터 하계 강우시 대량의 담수유출로 인한 급격한 환경변화가 있고, 또한 인근 지역에서 배출되는 생활폐수, 농경지에서 사용된 화학비료의 유출로 인하여 해양의 수질 환경의 악화를 들 수 있다. 하계 방조제로부터의 담수유출은 내측 표층의 저염분수괴 형성 및 수층 성층화로 해수의 혼합을 저해함으로써 만내 부영양화 촉진 및 간헐적 적조가 발생하였다. 이와 관련하여 천수만에서 하계 저층수의 빈산소수괴가 보고된 바 있다(NFRDI, 2009). 저층수의 빈산소수괴가 형성되면 저서생물에게 직접적인 악영향을 줄 수도 있고, 축적된 표층 유기퇴적물의 분해로 인한 유해물질(황화수소 및 암모니아 등) 생성으로 저서생물에게 직접적인 위해를 미친다(Libes, 2009; Wenning et al., 2005).

유기물이 축적된 해역에서 유기물 분해가 활발하게 일어나면 물속의 산소가 소비되어 빈산소상태로 되며, Mn, Fe 산화물과 같은 금속산화제가 환원되어 수층에 영향을 주고, 혐기성 환경이 조성되면 금속 황화물 형성과 관련된 금속의 축적현상이 발생할 수 있다. 퇴적물의 중금속 농도는 퇴적물의 물리 화학적 요소들(입도, 비표면적, 퇴적물의 구성 성분 등)에 의해 지배되므로, 금속의 농축 정도에 대한 평가를 위해서는 이를 지화학적 요소들과 중금속과의 관련성을 고려할 필요가 있다(Horowitz, 1991). 또한 퇴적물에서 중금속의 존재 형태에 관한 자료는 중금속 농축 정도의 평가에 유용하게 사용될 수 있다(Szefer et al., 1995). 황해 연안 퇴적물에서 중금속의 농도 분포, 조절 요인 및 오염정도 평가에 대한 많은 연구들이 기존에 보고되어 있으며(Lee et al., 1998; Cho, 2007), 천수만에 대한 세립물질 퇴적 및 유기물 축적과 관련된 연구로는 천수만 간월도 퇴적층의 퇴적환경에 대한 기원 연구(Lim et al., 2002)가 있으며, 퇴적물의 중금속에 대한 지화학적 연구(Song et al., 2011)가 보고되어 있으나 퇴적층 중금속 오염도 평가에 관한 연구는 거의 없는 실정이다.

과거 천수만에서 이루어진 생태학적 연구를 보면, 방조제 건설이전에 이루어진 You(1962)와 Sim and Lee(1979)에 의한 식물플랑크톤 종 조성과 양에 관한 연구가 있으며, 방조제 건설 중에도 Sim and Yeo(1988)에 의한 생태계 분석 보고서를 시작으로 식물플랑크톤과 일차생산력, 어류 그리고 저서동물 등의 생태에 관한 연구가 이루어졌다(Sim and Sin, 1989; Sin et al., 1990; Lee, 1996; Park et al., 2006). 또한 천수만해역의 동물플랑크톤에 대한 연구로 Sim and Yun(1990)의 계절변화와 생산량에 대한 연구, Shim et al.(1988)과 Korea Institute of Ocean Scientific & Technology(1992)의 보고서 등이 있다. 그러나 생물환경과 지화학적 환경과의 관련성에 대한 연구는 거의 없으며, 특히, 양식어장해역과 비양식어장해역의 특성에 따른 퇴적물에 대한 환경적 차이 연구는 이루어지지 않았다.

따라서 본 연구는 천수만 내 패류양식어장과 비양식어장을 대상으로 퇴적물의 입도특성을 평가하고, 퇴적물 중 이화학적 특성 및 중금속을 조사하여 유기오염도와 중금속 간의 상관성을 파악하고, 중금속 오염도를 평가함으로써, 어장환경의 체계적이고 과학적인 관리를 위한 기본 자료를 제공하고자 한다.

2. 연구내용 및 방법

2.1 연구지역 특성

서해 천수만은 길이 약 37 km, 폭 8~13 km의, 평균수심 약 20 m 내외의 천해성 내만으로, 대조차 환경(평균조차 5.0 m)로 만 중앙에는 주조류로 남북으로 발달하고 있다. 주조류를 중심으로 좌우에 폭 1~5 km에 달하는 넓은 조간대가 발달되어 있다. 대조시 주조류에서 측정된 창조류의 최대유속은 약 110 cm/sec, 낙조류 최대유속은 약 80 cm/sec로 유속의 비대칭흐름을 가지고 있다(Lim et al., 2002).

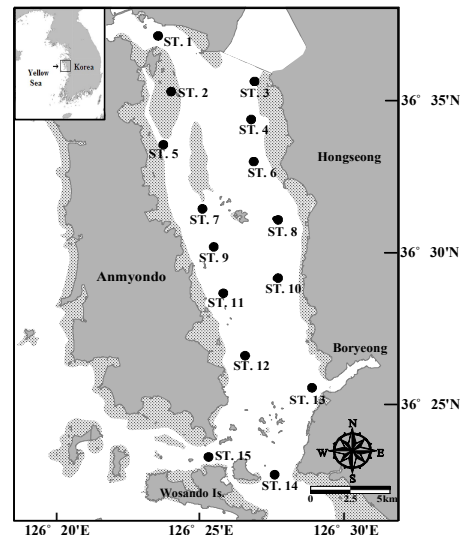


Fig. 1. Map of the sampling station in Cheonsu Bay.

2.2 퇴적물 조사

2.2.1 시료채취

천수만 내 해저퇴적물의 입도특성 및 이화학적 특성, 중금속 오염도를 조사하기 위하여 만내 15개 정점을 선정하여 조사를 실시하였다. 천수만내에는 만내측에 패류어장이 형성되어 있고, 만 입구부에도 패류어장이 형성되어 있으며, 비어장지역은 중앙부에 위치해 있다. 정점 1~9는 만 내측 양식어장해역이고, 정점 10~15는 비양식어장 해역이다.

퇴적물의 입도 및 중금속 조사는 2012년 5월, 8월에 실시하였고, 퇴적물중의 이화학적 조사는 3, 5, 8, 11월에 수행하였다. 시료는 각 조사정점에서 dredge 채취기를 이용하여 표층퇴적물을 채취하였다. 현장에서 채취된 퇴적물을 냉장상태로 보관 운반하였으며, 유기물 오염지표 분석항목은 즉시 분석하였으며, 중금속은 분석 전까지 냉동 보관하였다. 입도분석시료는 풍건한 후 사용하였다.

2.2.2 분석방법

가. 입도분석

시료 약 20~30 g을 취하여 회석법에 의하여 용해성 염분을 제거하고 그 후 6% 과산화수소를 가하여 유기물질을 용해 제거한다. 염분과 유기물질을 제거한 시료는 0.062 mm (230 mesh)의 표준체를 사용하여 조립질과 세립질 부분으로 대별하였고, 다시 조립질 부분은 습식체질하여 자갈(Gravel, 2 mm 이상), 조립사(Coarse sand, 0.5~2 mm), 중립사(Medium sand, 0.25~0.5 mm), 세립사(Fine sand, 0.062~0.25 mm)로 세분한다. 세립질 부분은 침전에 의하여 피펫법으로 분석하였다. 세분된 모든 시료는 건조기를 사용하여 105~110 °C에서 완전히 건조시킨 후 이들의 중량비로써 백분율을 구하였다.

퇴적물 분류는 0.062 mm 이상의 입자인 모래(Sand), 자갈(Gravel)과 0.062 mm 미만의 입자인 실트(Silt) 또는 점토(Clay)의 혼합비율에 의하여 퇴적물중에 모래(Sand) 또는 자갈(Gravel) 함량이 90% 이상이면 모래(Sand)로 하고 50~90%면 펄모래(Muddy sand), 10~50%면 모래펄(Sand mud), 10% 미만이면 펄(Mud)로 분류한다.

그리고 입도별 백분율의 누적곡선표를 작성하고 모멘트 통계방법을 입도분석에 적용하여 퇴적물의 평균입경, 분급도(Sorting), 편왜도(Skewness), 첨도(Kurtosis)를 구하고 퇴적물 특성을 파악한다. 계산식 (1)~(4)와 같다.

- 평균입경 (Mean)

$$x_{\varnothing} = \frac{\sum f m}{n} \tag{1}$$

- 분급도 (Sorting)

$$\sigma_{\varnothing} = \sqrt{\frac{\sum f(m-x_{\varnothing})^2}{100}} \tag{2}$$

- 편왜도(Skewness)

$$Sk_{\varnothing} = \frac{\sum f(m-x_{\varnothing})^3}{100\sigma_{\varnothing}^3} \tag{3}$$

- 첨도(Kurtosis)

$$K_{\varnothing} = \frac{(\sum(m-x_{\varnothing})^4)}{100\sigma_{\varnothing}^4} \tag{4}$$

여기서, f = 각 입도별 중량퍼센트
 m = 각 입도의 중앙점(∅)
 n = 시료의 총수

평균입경이 4∅ 이상은 세립질인 퇴적물로 구성된 해역이고, 4∅이하의 조립질 퇴적물로 구성된 해역으로 분류된다(Kim et al., 1985). 분급도는 입경의 균질한 정도를 나타내는 값으로서 1∅이하일 경우 분급상태가 양호한 것이고 1∅이상일 경우 분급상태가 불량한 것을 의미하여, 분류는 0∅이하 Well sorted, 0~1∅를 Moderately sorted, 1~2∅를 Poorly sorted, 2~4∅를 Very poorly sorted, 4∅ 이상을 Extremely poorly sorted 퇴적물로 분류된다. 편왜도는 입경 분포의 비대칭성을 나타내는 지수로서 그 값이 '0'에 가까울수록 조립질과 세립질이 대칭적으로 분포하는 것이고, '+' 값이면 조립질로 편왜되어 있는 것이며, '-' 값이면 세립질로 편왜되어 있는 것이다. 첨도는 1∅이하의 값을 갖는 평탄분포(Platykurtic)해역과 1∅이상의 값을 갖는 급첨분포(Leptokurtic)해역으로 나누었다.

나. 화학적 성상분석

천수만 해저퇴적물의 일반항목 및 중금속은 해양환경오염공정시험법(Ministry of Maritime Affairs & Fisheries, 2012)에 따라 수행하였다. 중금속 분석을 위해 먼저, 퇴적물을 -80 °C에서 동결건조한 후 플라스틱 재질의 체(∅ < 63 μm)로 체질하였다. 이때, 통과된 퇴적물 건시료 1g을 60 mL teflon bomb 용기에 넣고 혼합산(HNO₃ : HF : HClO₄ = 2 : 2 : 1)을 이용하여 분해하였으며, 분해가 끝난 후에는 산을 완전히 휘발시킨 후 2% HNO₃ 용액을 사용하여 100 mL로 정용하였다. 이후 Hg은 수은분석기(Milestone, DMA-80)으로 측정하였으며, Hg을 제외한 중금속은 유도결합플라즈마 질량분석기(ICP-MS, Perkin Elmer Model : DRC-e)로 측정하였다. 또한, 분석자료의 신뢰성을 확보하기 위하여 인증표준물질(Certificated Reference Material)로서 캐나다 국가연구위원회(National Research Council Canada) 산하 연구소에서 제공하는 MESS-3(Marine Sediment)를 이용하였으며, 이 모든 전처리 및 분석 과정은 초고성능 필터(Hepa Filter)가 설치된 청정실(Clean Room, Class 100)

내에서 행하였다. 중금속 항목의 신뢰성 분석결과 Cd 95.0 %, Cu 89.1 %, Pb 104.5 %, Cr 91.9 %, Hg 92.7 %, Al 93.2 %, As 90.7%의 회수율을 나타내었다.

2.3 퇴적물 중금속 오염도 평가

퇴적물 내 금속원소는 해수와 달리 주변의 금속에 대한 오염의 기록을 장기간 보존하는 특성을 가지고 있어서 그 지역의 금속에 대한 오염의 지표로 사용될 수 있을 뿐만 아니라 오염물질의 유입과정과 오염역사를 추적하는 단서로 사용된다(Choi et al., 1999; Lee et al., 2004; Hwang et al., 2010). 이러한 퇴적물 내 금속원소의 오염평가는 분석된 금속원소의 농도를 지각물질 중 금속원소의 농도나 연구지역 주변의 오염되지 않은 해역에서 자연적인 농도와 비교하는 방법이 있으며, 지금까지 농축계수(Enrichment Factor, EF)나 농집지수(Geoaccumulation Index, I_{geo})이 중금속 오염도 평가에 널리 이용되었다. 또한, 최근에는 퇴적물내 중금속의 농도와 함께 생물의 영향을 고려하여 각 나라별로 설정해 놓은 금속원소의 오염기준(Sediment Quality Guidelines; SQGs)을 적용하여 평가하기도 한다.

본 연구의 평가에는 농축계수와 농집계수 및 미국해양대기청(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)의 오염기준인 ERL(Effect range low), ERM(Effect range median)값과 비교 평가하였고, 환경정책평가연구원(Lee and You, 2000)에서 제시한 중금속 오염도 환경기준과 비교 평가하였다.

농축계수(EF)는 퇴적물, 수계내의 부유물질 및 대기분진 등 여러 환경 시료중에 들어있는 원소들의 농축정도와 기원을 파악하는 방법이다. 농축계수는 가능한 기원에 대한 보존성 기준원소를 정하고 다른 원소의 상대적 농축정도를 파악한다. 보존성 기준원소는 Fe, Al을 사용하는데, 본 연구에서는 Al을 사용하였다. EF값이 1.0 이하일 경우 오염이 되지 않은 자연적인 농도임을 의미하고, 1.0 보다 클 경우에는 대기나 하천을 통한 각 원소의 순 유입에 의한 인위적 오염이 있음을 의미한다(Zhang and Liu, 2002; Hyun et al., 2007).

$$\text{Enrichment Factor (EF)} = \frac{(Me/Al)_{\text{observed}}}{(Me/Al)_{\text{crust}}} \quad (5)$$

식(5)에서의 EF는 원소 Me의 농축계수이고, 측정된 퇴적물 중 Al에 대한 각 금속원소의 농도비 $[(Me/Al)_{\text{observed}}]$ 를 지각물질 중 Al에 대한 각 금속원소의 평균농도비 $[(Me/Al)_{\text{crust}}]$ 로 나눈 값이며, 지각물질의 Al 값은 Taylor(1964)가 제시한 값을 사용하였다.

중금속 과잉량(Metal excess)은 중금속이 환경내에서 여러 과정을 거치면서 퇴적물이나 부유물질에 축적 또는 용출에 대한 기준원소를 정하여 자연환경에 비해 축적된 양을 추정

할 수 있다. 이 계산에는 농축계수와 같이 Al을 기준원소로 이용하며, 시료내에 각 중금속의 과잉량($M_s \text{ excess}$)을 식(6)과 같이 계산한다(Brugmann et al., 1992; Paulson et al., 1993).

$$M_{s,\text{excess}} = M_s - Al_s \frac{M_c}{Al_c} \quad (6)$$

여기서, $M_s \text{ excess}$ 는 시료중의 중금속 과잉량, M_s 와 Al_s 는 시료내 원소와 Al 함량, M_c 와 Al_c 는 Taylor(1964)가 제시한 지각의 원소 및 Al의 평균함량을 나타낸다. 계산결과가 부호가 양이면 과잉으로 존재하고, 음이면 부족함을 의미한다.

아울러 농집지수(Geoaccumulation Index, I_{geo})를 계산하여 중금속 농축정도와 인위적 오염영향을 판정하였다. 농집지수는 부하지수와 달리 직접 해저 퇴적물의 오염도를 등급화하여 오염정도를 평가하는데 사용할 수 있다. 농집지수 계산은 식(7)을 이용하여 구하였다(Muller, 1977).

$$I_{geo} = \log_2 \left[\frac{C_n}{B_n} \right] \times 1.5 \quad (7)$$

여기서, C_n 은 분석된 금속원소의 농도를, B_n 은 금속원소의 바탕농도(background or reference)를 나타낸다. 금속원소의 바탕농도는 일반적으로 세일이나 지각물질의 평균농도를 사용하며(Martin and Whitefield, 1983; Jeon and Cho, 2002), 때로는 해당 연구지역에서 오염원의 영향을 가장 적게 받는 지역의 농도 혹은 가장 낮은 농도를 사용하는 경우도 있다(Sahu and Bhosale, 1991; Hyun et al., 2003; Lee et al., 2004; Hwang et al., 2010). 본 연구에서는 전 세계 연안 대륙붕 지역의 퇴적물중 각 원소의 평균농도는 Taylor(1964)와 Taylor and McLennan(1995) 문헌에 지시되어 있으나, 본 연구에서는 Taylor(1964) 값을 바탕값으로 사용하였다. 농집지수(I_{geo})값은 그 오염도를 7등급으로 구분하며 Table 1에 나타내었다.

그리고 국토해양부에서 2011년에 고시된 해양환경관리법에 따른 해양환경기준에 제시된 해저퇴적물 기준과도 비교 평가하였다.

Table 1. Levels of sediment pollution by the I_{geo} Index (Muller, 1977)

I_{geo}	I_{geo} class	Designation of sediment quality
>5	6	Very strongly polluted
4~5	5	Strongly / Very strong polluted
3~4	4	Strongly polluted
2~3	3	Moderately / strongly polluted
1~2	2	Moderately polluted
0~1	1	Practically unpolluted / Moderately polluted
0	0	Practically unpolluted

3. 결과 및 고찰

3.1 퇴적물의 입도 특성

천수만 퇴적물에 대한 입도분포와 조직표준치를 Table 2에 나타내었고, 층별 삼각분포도는 Fig. 2에 나타내었다.

퇴적물 조직표준치를 보면, 전체 퇴적물종의 니질함량은 59.4%이었고, 양식어장에서 71.2%, 비양식어장에서 41.7%를 나타내어 양식어장에서 높은 니질함량을 보였다. 평균입도는 전체 1.2~8.2 ϕ (평균 5.1 ϕ)로 대부분 세립질 퇴적물이고, 양식어장에서 3.1~8.2 ϕ (평균 6.0 ϕ) 범위로 비양식어장의 1.2~6.7 ϕ (평균 3.8 ϕ)과 비교하여 더 세립한 것으로 나타났다. 분급도는 전체 2.6~6.8 ϕ (평균 4.0 ϕ)로 대부분이 Very poorly sorted된 퇴적물로 분급상태가 불량하였고, 양식어장에서 2.6~6.8 ϕ (평균 3.9 ϕ), 비양식어장에서 2.8~5.8 ϕ (평균 4.1 ϕ)로 거의 비슷한 특성을 보였다. 입경분포의 비대칭성을 나타내는 왜도의 경우 전체 -1.0~2.3 ϕ (평균 1.2 ϕ)로 조립질이 우세한 비대칭성을 보였고, 양식어장에서 0.1~2.0 ϕ (평균 1.2 ϕ), 비양식어장에서 -1.0~2.3 ϕ (평균 1.1 ϕ)로 비슷한 값을 나타내었다. 첨도는 전체 1.5~9.2 ϕ (평균 3.3 ϕ)으로 전 지점에서 1 ϕ 이상의 Leptokurtic 해역으로 나타나 조류에 의한 침식이 일어나는 것으로 나타났고, 양식어장에서 1.6~5.1 ϕ (평균 3.1 ϕ), 비양식어장에서 1.5~9.2 ϕ (평균 3.6 ϕ)로 차이가 없었다.

층별 삼각분포도에서 천수만 퇴적물은 sand, silt, clay가 적절하게 혼재된 퇴적 특성을 나타내었으나, 약간 snad가 우세한 것으로 나타났다.

이러한 입도특성을 남해 득량만, 완도 도암만, 전북 곰소만 줄포갯벌 퇴적물과 비교해 보았다. 평균입도에서 득량만은 3.15~9.18 ϕ (평균 7.75 ϕ), 도암만은 4.52~8.85 ϕ (평균 7.46 ϕ), 곰소만은 5.4~10.4 ϕ (평균 7.5 ϕ)로 본 해역 퇴적물이 덜 세립된 특성을 나타내었다. 분급도에서는 득량만이 1.94~5.16 ϕ (평균 2.91 ϕ), 도암만이 1.81~5.04 ϕ (평균 3.22 ϕ), 곰소만이 3.3~3.8 ϕ (평균 3.4 ϕ)로 나타나 본 해역의 분급상

태가 더 불량하였다(NFRDI, 2010; Kim et al, 2008).

3.2 퇴적물의 유기물질 특성

천수만 퇴적물에 대한 유기물 함량의 계절별, 지점별 분포를 Table 3 및 Fig. 3에 나타내었다.

유기오염의 지표인 강열감량(Ignition Loss, IL) 농도는 전체 0.8~9.8% 범위로 평균 4.1%를 나타내고, 계절별로는 3월에 평균 4.5%, 5월에 평균 3.9%, 8월에 평균 4.3%, 11월에 평균 3.7%로 나타나 계절별로 전체적으로 유사한 농도 분포 특성을 보였다. 양식어장과 비양식어장의 농도는 각각 4.6%와 3.3%로 양식어장에서 높은 유기물 함량을 보였다. 이는 남해 득량만의 평균 5.56%, 도암만의 평균 5.59% 보다는 낮은 유기물 함량을 나타내었다(NFRDI, 2010).

퇴적물 화학적산소요구량(Chemical Oxygen Demand, COD) 농도는 전체 0.28~19.83 mg/g-dry weight(이하 mg/g-dry) 범위로 평균 6.78 mg/g-dry를 나타내었고, 계절별로는 3월에 평균 4.55 mg/g-dry, 5월에 평균 9.96 mg/g-dry, 8월에 평균 7.63 mg/g-dry, 11월에 평균 4.97 mg/g-dry의 농도분포를 보여 5월이 높게 나타났다. 양식어장과 비양식어장의 농도는 각각 평균 8.51 mg/g-dry와 4.19 mg/g-dry로 양식어장에서 2배 정도 높은 COD 농도를 보였다. 이는 남해 득량만의 평균 8.41 mg/g-dry, 도암만의 평균 10.33 mg/g-dry 보다는 낮은 COD 농도를 나타내었다(NFRDI, 2010).

퇴적물 총유기탄소(Total Organic Carbon, TOC) 농도는 0.3~13.7 mg/g-dry의 범위로 평균 4.8 mg/g-dry를 나타내었다. 조사 시기에 따른 천수만 퇴적물의 총유기탄소의 농도 분포를 살펴보면, 3월에 평균 3.6 mg/g-dry, 5월에 평균 4.1 mg/g-dry, 8월에 평균 5.2 mg/g-dry, 11월에 평균 6.3 mg/g-dry로 나타나 3월에 낮고, 11월에 높은 농도 분포를 보였다. 지역별로는 대부분 만의 내부 정점에서 비교적 높은 농도를 보였으며, 천수만 입구 정점에서도 상대적으로 높은 농도를 보였다. 이는 남해 득량만의 평균 9.03 mg/g-dry, 도암만의 평균 8.96 mg/g-dry 보다는 낮은 유기물 함량을 나타내었다. 모든 퇴적물 유기물 함량 지표에서 도암만이나 득량만 보다는 낮은 함량을 나타내었다(NFRDI, 2010).

퇴적물중의 총질소(Total Nitrogen, TN) 농도는 0.001~1.40 mg/g-dry 범위로 평균 0.49 mg/g-dry를 나타내었고, 계절별로는 11월에 낮은 농도를 보였고, 11월을 제외한 계절분포는 유사한 농도 분포 특성을 보였다. 양식어장과 비양식어장의 농도는 각각 평균 0.58 mg/g-dry과 0.37 mg/g-dry로 나타나, 양식어장이 높았다. 이는 득량만의 평균 0.88 mg/g-dry, 도암만의 0.81 mg/g-dry 보다는 낮은 질소함량을 나타내었다.

총유기탄소에 대한 총질소의 비(C/N ratio)는 여러 형태의 유기물의 기원을 밝히는 데 이용되고 있다. 해양생물의 기초 생산에 의해 형성된 유기물은 C/N 비가 5 이상 약10 이하이고, 육상으로부터 공급된 유기물의 경우 C/N 비가 10 이상으

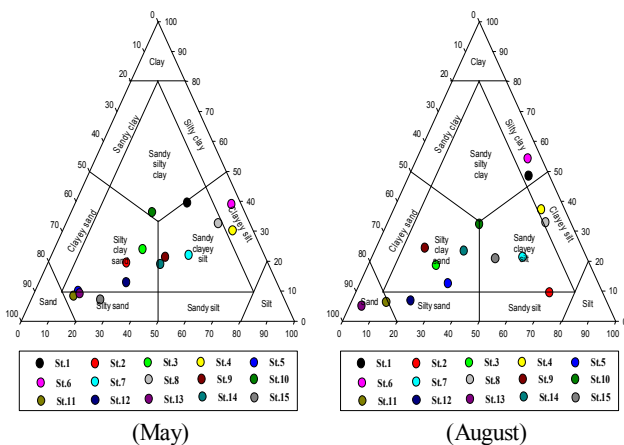


Fig. 2. Ternary diagram of surface sediments in study area.

Table 2. Sedimentary texture of sediments in Cheonsu Bay

St.	Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Mean (Φ)	Sort (Φ)	Skewness (Φ)	Kurtosis (Φ)	
Farming area	1	0.0	7.7~19.6 (13.7)	40.8~43.8 (42.3)	39.6~48.6 (44.1)	6.9~7.9 (7.4)	4.1~6.8 (5.5)	1.3~1.5 (1.4)	1.9~2.5 (2.2)
	2	0.0	19.6~51.7 (35.7)	28.7~70.8 (49.8)	9.6~19.6 (14.6)	4.6~5.1 (4.9)	2.7~3.8 (3.3)	0.5~0.6 (0.6)	2.5~4.6 (3.6)
	3	0.0	43.6~56.4 (50.0)	24.9~32.3 (28.6)	18.7~24.1 (21.4)	5.1~5.5 (5.3)	3.2~4.9 (4.1)	1.2~1.6 (1.4)	3.0~3.4 (3.2)
	4	0.0	7.6~8.7 (8.2)	54.0~62.1 (58.1)	30.3~37.3 (33.8)	6.5~7.0 (6.8)	3.4~3.6 (3.5)	1.5~1.7 (1.6)	3.0~3.6 (3.3)
	5	3.6~4.8 (4.2)	50.4~70.6 (60.5)	15.8~32.2 (24.0)	10.1~12.7 (11.4)	3.1~4.0 (3.6)	3.2~3.8 (3.5)	0.9~2.0 (1.5)	4.1~5.1 (4.6)
	6	0.0	3.6~5.1 (4.4)	40.5~57.3 (48.9)	39.1~54.4 (46.8)	7.4~8.2 (7.8)	3.3~6.8 (5.1)	0.1~1.2 (0.7)	1.6~1.7 (1.7)
	7	0.0	23.4~27.7 (25.6)	50.1~55.1 (52.6)	21.5~22.2 (21.9)	5.8~5.9 (5.9)	2.6~3.0 (2.8)	1.2~1.7 (1.5)	3.7~4.1 (3.9)
	8	0.0	9.2~11.6 (10.4)	55.7~57.7 (56.7)	32.7~33.1 (32.9)	6.8~6.9 (6.9)	3.1~3.3 (3.2)	0.8~1.7 (1.3)	2.3~3.5 (2.9)
	9	0.0	36.6~57.7 (47.2)	17.9~41.9 (29.9)	21.5~24.5 (23.0)	5.5~5.6 (5.6)	3.3~4.8 (4.1)	1.0~1.6 (1.3)	2.8
Non-Farming area	10	0.0~1.2 (0.6)	32.5~34.0 (33.3)	29.6~33.8 (31.7)	32.5~36.4 (34.5)	6.2~6.7 (6.5)	3.5~5.8 (4.7)	0.3~1.4 (0.9)	2.2~2.4 (2.3)
	11	14.4~15.5 (15.0)	61.1~66.4 (63.8)	12.8~14.9 (13.9)	6.5~8.5 (7.5)	1.5~1.9 (1.7)	3.3~4.6 (4.0)	-0.7~1.6 (0.5)	1.5~5.2 (3.4)
	12	0.0~5.9 (3.0)	55.1~65.7 (60.4)	21.4~31.9 (26.7)	7.0~13.0 (10.0)	2.4~4.6 (3.5)	4.4~5.1 (4.8)	-1.0~1.5 (0.3)	1.7~2.7 (2.2)
	13	12.7~16.0 (14.4)	58.0~77.7 (67.9)	4.4~16.8 (10.6)	5.2~9.2 (7.2)	1.2~2.0 (1.6)	2.8~3.7 (3.3)	1.7~2.3 (2.0)	4.7~9.2 (7.0)
	14	0.0	39.6~43.9 (41.8)	32.6~41.3 (37.0)	19.1~23.5 (21.3)	5.2~5.5 (5.4)	3.0~5.0 (4.0)	0.3~1.6 (1.0)	2.3~2.9 (2.6)
	15	0.3~2.4 (1.4)	31.2~67.1 (49.2)	25.3~45.4 (35.4)	7.2~21.0 (14.1)	3.4~5.3 (4.4)	3.4~5.1 (4.3)	1.6~2.1 (1.9)	2.9~5.3 (4.1)
Farming	0.0~4.8 (0.5)	3.6~70.6 (28.4)	15.8~70.8 (43.4)	9.6~54.4 (27.8)	3.1~8.2 (6.0)	2.6~6.8 (3.9)	0.1~2.0 (1.2)	1.6~5.1 (3.1)	
Non-Farming	0.0~16.0 (5.7)	31.2~77.7 (52.7)	4.4~45.4 (25.9)	5.2~36.4 (15.8)	1.2~6.7 (3.8)	2.8~5.8 (4.1)	-1.0~2.3 (1.1)	1.5~9.2 (3.6)	
Total	0.0~16.0 (2.6)	3.6~77.7 (38.1)	4.4~70.8 (36.4)	5.2~54.4 (23.0)	1.2~8.2 (5.1)	2.6~6.8 (4.0)	-1.0~2.3 (1.2)	1.5~9.2 (3.3)	

로 나타나고 있다(Muller, 1977; Stein, 1991). 이를 고려하여 천수만 표층 퇴적물 내의 C/N 비를 구한 결과, 11월을 제외하고는 10 이하의 값을 보여 유기물 기원이 해역 자체 내 생물체에 의해 생성된 해양 기원성 유기물로 보였다. 단 11월 조사에서는 평균 29.3의 값을 보여 외부유입의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 따라서 본 해역의 특성상 계절에 따라 육상과 해양기원이 혼재하는 것으로 판단할 수 있다.

3.3 퇴적물의 중금속 분포 특성

천수만 퇴적물에 대한 5월과 8월에 조사된 중금속 농도의 범위 및 평균을 Table 4 및 Fig. 4에 나타내었다. 본 퇴적물의 Cd 함량은 0.01~1.15 mg/kg의 범위로 평균 0.21 mg/kg이며, 만내측 정점2에서 평균 0.61 mg/kg로 가장 높았고 외측으로 갈수록 감소하였다. Cr 함량은 21.47~65.68 mg/kg 범위로 평균 45.50 mg/kg 이며, 만내측 정점1에서 평균 65.41 mg/kg로 가장 높았고, 외측으로 갈수록 감소하였다. Cu 함량은 4.53~24.57 mg/kg 범위로 평균 12.74 mg/kg이며, 정점 1에서 가장 높았다. Pb 함량은 14.50~28.37 mg/kg 범위로 평균 23.04 mg/kg이며, 정점1에서

가장 높았다. Hg 함량은 0.01~0.36 mg/kg 범위로 평균 0.09 mg/kg 이었고, 만 내측과 외측에서 유의한 차이는 나타나지 않았다. Al 함량은 3.17~8.12 % 범위로 평균 6.37 %이었고, 정점6에서 가장 높았고, 만내측이 외측보다 높게 나타났다. As 함량은 3.53~8.23 mg/kg 범위로 평균 5.83 mg/kg이었고, 정점 1과 6에서 높게 나타났고, 외측으로 갈수록 낮았다. 양식어장과 비양식어장의 퇴적물 중금속 평균농도를 비교해 보면, 모든 항목에서 양식어장에서 높은 평균농도를 나타내고 있었다.

퇴적물 구성성분 중 금속결합에 영향을 미치는 중요 인자는 Clay 입자와 금속산화물 및 유기물 함량인 것으로 알려져 있다(Hart, 1982). 이 중 대표적인 금속산화물은 Al, Fe, Mn이다. 본 연구지역 퇴적물의 Al 함량은 3.17~8.12 % (6.37%)이며, 양식어장의 평균농도가 6.87 %, 비양식어장이 5.63 %로 나타나, 양식어장에서의 금속결합이 큰 것으로 나타났다. 이는 Kim et al. (2008)이 줄포만에서 조사된 4.78~11.28 % (7.71 %) 농도보다는 낮았고, Kim et al.(2003)이 새만금 갯벌에서 조사한 4.60~9.97 % (평균 7.10 %) 및 Kim et al.(2005)이 시화호에서 조사한 5.40~8.33 % (평균 6.98 %) 보다도 낮은 농도를 나타내었다.

Table 3. The concentrations of Ignition Loss(I.L.) and pH for sediments in Cheonsu Bay

St.	IL (%)	AVS (mg/g . dry)	COD (mg/g . dry)	TN (mg/g . dry)	TOC (mg/g . dry)	C/N ratio	
Farming area	1	4.18 ~ 7.43 (5.71)	N.D. ~ 0.170 (0.071)	7.38 ~ 15.50 (11.96)	0.37 ~ 0.97 (0.64)	6.6 ~ 9.3 (7.7)	7.7~19.7 (13.7)
	2	3.83 ~ 5.41 (4.55)	0.003 ~ 0.090 (0.053)	1.21 ~ 6.58 (4.78)	0.34 ~ 0.75 (0.54)	4.8 ~ 9.4 (6.1)	8.1~15.0 (11.4)
	3	1.26 ~ 9.78 (4.80)	0.001 ~ 0.259 (0.184)	4.42 ~ 15.79 (8.13)	0.38 ~ 0.78 (0.59)	3.6 ~ 8.7 (5.3)	5.0~16.4 (9.5)
	4	4.61 ~ 6.51 (5.56)	0.002 ~ 0.280 (0.115)	5.35 ~ 15.76 (10.65)	0.10 ~ 0.93 (0.48)	1.8 ~ 8.0 (6.1)	7.4~25.3 (16.0)
	5	1.85 ~ 5.32 (3.13)	0.001 ~ 0.057 (0.030)	1.92 ~ 7.75 (5.53)	0.21 ~ 0.60 (0.38)	2.6 ~ 5.5 (3.8)	5.5~16.7 (11.5)
	6	4.21 ~ 5.91 (5.34)	N.D. ~ 0.253 (0.104)	3.93 ~ 16.51 (10.32)	0.26 ~ 1.40 (0.82)	4.7 ~ 8.1 (6.5)	4.6~25.4 (11.4)
	7	3.58 ~ 5.23 (4.09)	0.02 ~ 0.099 (0.034)	4.74 ~ 11.49 (7.06)	0.23 ~ 0.68 (0.50)	4.0 ~ 5.7 (5.1)	7.7~23.0 (12.1)
	8	0.91 ~ 5.87 (4.52)	0.058 ~ 0.268 (0.122)	6.18 ~ 19.83 (11.57)	0.19 ~ 1.27 (0.73)	1.8 ~ 8.7 (5.8)	1.4~45.8 (16.2)
	9	3.25 ~ 4.12 (3.75)	0.008 ~ 0.091 (0.048)	4.10 ~ 9.47 (6.56)	0.26 ~ 0.88 (0.54)	4.1 ~ 7.0 (4.9)	5.9~16.2 (10.9)
Non-Farming area	10	2.39 ~ 6.15 (4.52)	0.014 ~ 0.266 (0.103)	2.47 ~ 8.02 (5.42)	0.30 ~ 0.74 (0.54)	3.2 ~ 7.6 (5.6)	4.3~25.3 (12.6)
	11	1.29 ~ 4.59 (2.96)	N.D. ~ 0.062 (0.016)	2.52 ~ 6.97 (4.85)	0.19 ~ 1.17 (0.46)	1.2 ~ 3.2 (2.1)	1.5~11.4 (7.6)
	12	2.10 ~ 7.25 (4.11)	0.001 ~ 0.212 (0.057)	0.28 ~ 12.99 (5.73)	0.17 ~ 0.52 (0.30)	0.5 ~ 2.8 (2.0)	1.9~12.9 (7.6)
	13	1.23 ~ 8.03 (3.70)	N.D. ~ 0.026 (0.013)	0.34 ~ 9.28 (2.85)	N.D. ~ 0.56 (0.25)	1.0 ~ 8.6 (3.3)	0.0~50.6 (15.1)
	14	0.80 ~ 4.08 (2.53)	N.D. ~ 0.082 (0.021)	1.64 ~ 5.02 (3.82)	0.08 ~ 0.92 (0.37)	1.0 ~ 5.1 (2.8)	5.5~17.5 (10.4)
	15	0.76 ~ 3.79 (2.09)	N.D. ~ 0.046 (0.012)	0.97 ~ 4.69 (2.46)	0.08 ~ 0.55 (0.27)	0.3 ~ 13.7 (5.2)	3.6~124.5 (36.4)
Farming	0.91 ~ 9.78 (4.60)	N.D. ~ 0.280 (0.084)	1.21 ~ 19.83 (8.51)	0.10 ~ 1.40 (0.58)	1.8 ~ 9.4 (5.7)	1.4~45.8 (12.5)	
Non-Farming	0.76 ~ 8.03 (3.32)	N.D. ~ 0.266 (0.037)	0.28 ~ 12.99 (4.19)	N.D. ~ 1.17 (0.37)	0.3 ~ 13.7 (3.5)	0.0~124.5 (14.9)	
Total	0.76 ~ 9.78 (4.09)	N.D. ~ 0.280 (0.065)	0.28 ~ 19.83 (6.78)	N.D. ~ 1.40 (0.49)	0.3 ~ 13.7 (4.8)	0.0~124.5 (13.5)	

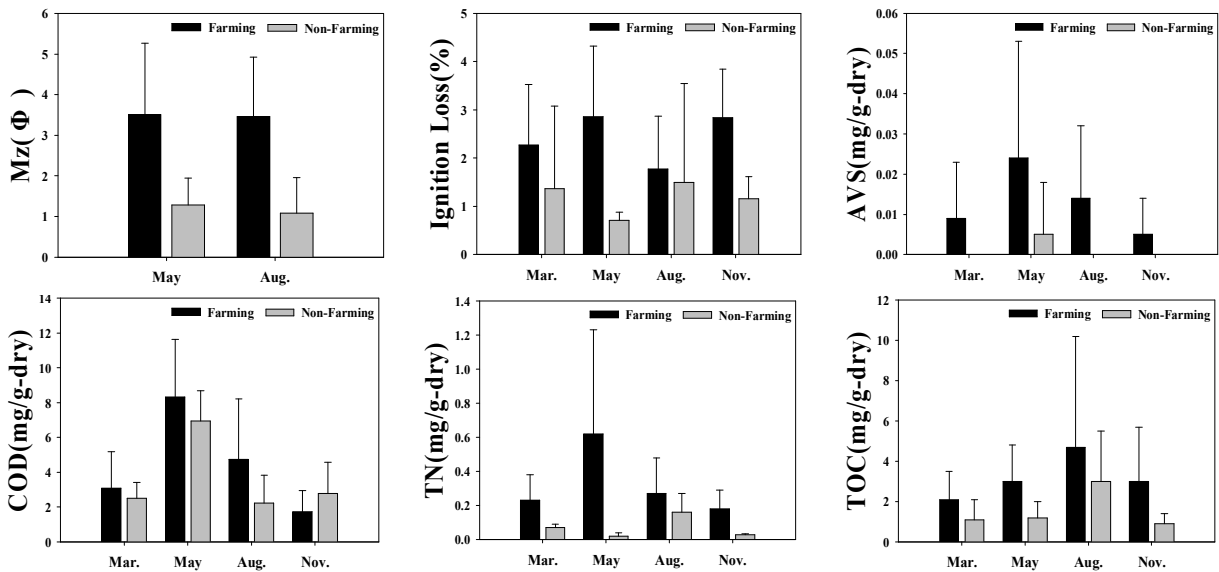


Fig. 3. Mean of grain size and geochemical indicators(COD and TOC, I.L., TN, AVS) in sediments for farming and non-farming site of Cheonsu Bay.

천수만 해저 퇴적물의 입도특성 및 중금속 오염도 평가 -어장해역과 비어장해역의 퇴적환경 비교-

Table 4. Range and mean values of heavy metals of sediments in Cheonsu bay

St.	Al (%)	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Pb (mg/kg)	
Farming area	1	6.26 ~ 8.12 (7.19)	6.91 ~ 7.85 (7.38)	0.23 ~ 0.29 (0.26)	65.13 ~ 65.68 (65.41)	19.71 ~ 24.57 (22.14)	0.01 ~ 0.16 (0.09)	26.77 ~ 28.37 (27.57)
	2	6.47 ~ 6.93 (6.70)	5.79 ~ 7.99 (6.89)	0.07 ~ 1.15 (0.61)	45.02 ~ 64.38 (54.70)	15.46 ~ 18.55 (17.01)	0.02 ~ 0.21 (0.11)	24.19 ~ 27.63 (25.91)
	3	6.37 ~ 6.58 (6.47)	4.76 ~ 6.91 (5.84)	0.12 ~ 0.15 (0.14)	45.67 ~ 50.96 (48.32)	13.42 ~ 13.76 (13.59)	0.04 ~ 0.11 (0.07)	20.81 ~ 24.52(22.67)
	4	5.97 ~ 7.54 (6.75)	5.03 ~ 6.77 (5.90)	0.09 ~ 0.12 (0.11)	37.71 ~ 59.29 (48.50)	8.07 ~ 20.43 (14.25)	8.07 ~ 20.43 (14.25)	0.02 ~ 0.18 (0.10)
	5	6.30 ~ 7.39 (6.84)	4.83 ~ 6.21 (5.52)	0.20 ~ 0.29 (0.25)	37.23 ~ 52.23 (44.73)	10.37 ~ 12.84 (11.61)	0.02 ~ 0.08 (0.05)	19.09 ~ 24.51 (21.80)
	6	7.14 ~ 7.78 (7.46)	7.46 ~ 8.23 (7.84)	0.13 ~ 0.39 (0.26)	60.37 ~ 65.25(62.81)	15.96 ~ 22.11 (19.04)	0.01 ~ 0.36 (0.19)	26.93
	7	6.48 ~ 7.24 (6.86)	5.39 ~ 6.22 (5.81)	0.04 ~ 0.27 (0.16)	47.69 ~ 52.36 (50.03)	10.95 ~ 16.19 (13.57)	0.01 ~ 0.22 (0.12)	23.29 ~ 23.88 (23.58)
	8	6.38 ~ 7.35 (6.87)	5.58 ~ 6.29 (5.93)	0.08 ~ 0.28 (0.18)	42.20 ~ 55.70 (48.95)	10.17 ~ 19.09 (14.63)	0.02 ~ 0.10 (0.06)	23.47 ~ 23.71 (23.59)
	9	6.57 ~ 6.77 (6.67)	5.06 ~ 7.29 (6.18)	0.07 ~ 0.58 (0.32)	44.32 ~ 57.18 (50.75)	12.15 ~ 15.70 (13.93)	0.02 ~ 0.13 (0.07)	19.97 ~ 27.02 (23.49)
Non-Farming area	10	6.62 ~ 7.05 (6.84)	5.91 ~ 6.67 (6.29)	0.04 ~ 0.16 (0.10)	47.05 ~ 51.05 (49.05)	11.53 ~ 15.91 (13.72)	0.02 ~ 0.17 (0.09)	22.53 ~ 24.01(23.27)
	11	5.02 ~ 5.12 (5.07)	3.53 ~ 4.46 (3.99)	0.15 ~ 0.21 (0.18)	27.59 ~ 35.95 (31.77)	7.64 ~ 8.91 (8.27)	0.02 ~ 0.04 (0.03)	19.87 ~ 22.74 (21.31)
	12	4.63 ~ 6.69 (5.66)	4.64 ~ 5.40 (5.02)	0.01 ~ 0.15 (0.08)	21.47 ~ 41.55 (31.51)	4.53 ~ 8.27 (6.40)	0.02 ~ 0.19 (0.10)	18.78 ~ 22.16 (20.47)
	13	3.17 ~ 4.79 (3.98)	3.60 ~ 5.84 (4.72)	0.10 ~ 0.11 (0.11)	22.71 ~ 31.33 (27.02)	5.68 ~ 7.28 (6.48)	0.01 ~ 0.07 (0.04)	14.50 ~ 22.34 (18.42)
	14	5.15 ~ 6.71 (5.93)	4.37 ~ 5.26 (4.81)	0.16 ~ 0.21 (0.18)	23.15 ~ 45.54 (34.34)	4.93 ~ 12.16 (8.54)	0.01 ~ 0.18 (0.10)	20.39 ~ 20.78 (20.58)
	15	5.55 ~ 7.04 (6.30)	4.85 ~ 5.96 (5.41)	0.16 ~ 0.27 (0.22)	25.80 ~ 43.50 (34.65)	5.02 ~ 10.95 (7.99)	0.01 ~ 0.17 (0.09)	22.13 ~ 22.45 (22.29)
Farming	5.97 ~ 8.12 (6.87)	4.76 ~ 8.23 (6.36)	0.04 ~ 1.15 (0.25)	37.23 ~ 65.68 (52.69)	8.07 ~ 24.57 (15.53)	0.01 ~ 0.36 (0.09)	19.09 ~ 28.37 (24.36)	
Non-Farming	3.17 ~ 7.05 (5.63)	3.53 ~ 6.67 (5.04)	0.01 ~ 0.27 (0.15)	21.47 ~ 51.05 (34.72)	4.53 ~ 15.91 (8.57)	0.01 ~ 0.19 (0.08)	14.50 ~ 24.01 (21.06)	
Total	3.17 ~ 8.12 (6.37)	3.53 ~ 8.23 (5.83)	0.01 ~ 1.15 (0.21)	21.47 ~ 65.68 (45.50)	4.53 ~ 24.57 (12.74)	0.01 ~ 0.36 (0.09)	14.50 ~ 28.37 (23.04)	

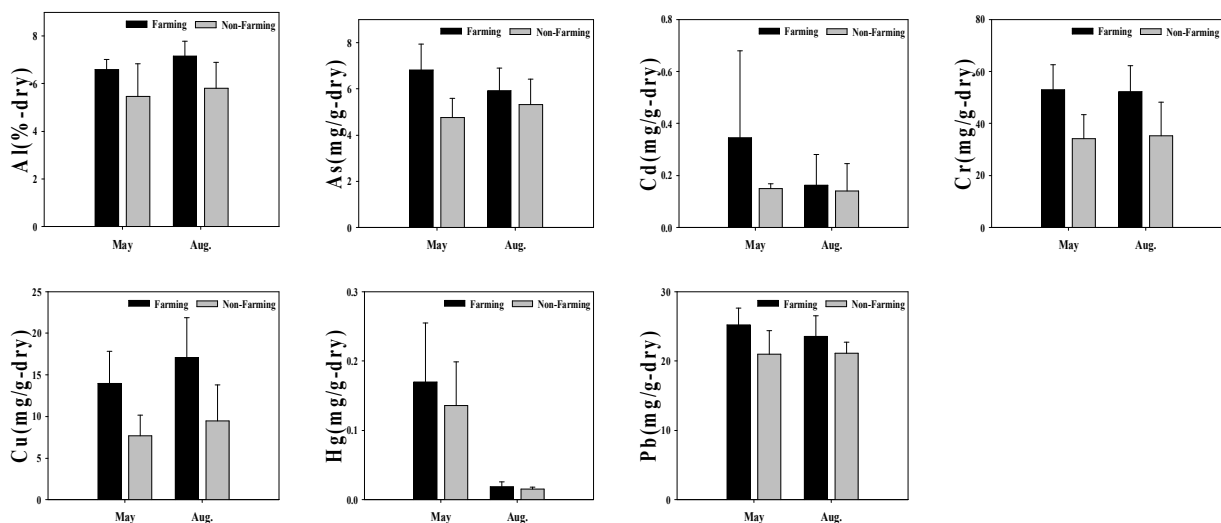


Fig. 4. Heavy metals (Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg and Pb) in sediments for farming and non-farming site of Cheonsu Bay.

Table 5. Correlation coefficients(R) among IL, AVS, COD, TOC, TN, sedimentary texture and metals for sediments in Cheonsu bay

	IL	Sand	Silt	Clay	Mean	AVS	COD	TN	TOC	Al	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb
IL	1															
Sand	-0.670	1														
Silt	0.514	-0.921	1													
Clay	0.716	-0.893	0.647	1												
Mean	0.639	-0.955	0.815	0.927	1											
AVS	0.711	-0.525	0.392	0.573	0.589	1										
COD	0.816	-0.781	0.630	0.799	0.745	0.676	1									
TN	0.686	-0.744	0.571	0.796	0.753	0.652	0.796	1								
TOC	0.683	-0.808	0.688	0.785	0.807	0.512	0.653	0.682	1							
Al	0.483	-0.804	0.733	0.728	0.864	0.476	0.631	0.697	0.749	1						
As	0.713	-0.764	0.611	0.789	0.802	0.460	0.613	0.744	0.879	0.795	1					
Cd	0.047	-0.145	0.260	-0.015	0.108	-0.163	-0.052	0.257	0.354	0.321	0.466	1				
Cr	0.739	-0.793	0.644	0.808	0.828	0.509	0.740	0.838	0.876	0.863	0.935	0.439	1			
Cu	0.764	-0.783	0.626	0.809	0.795	0.493	0.758	0.839	0.888	0.792	0.912	0.455	0.985	1		
Hg	0.409	-0.663	0.618	0.584	0.648	0.218	0.309	0.443	0.448	0.574	0.676	0.202	0.539	0.474	1	
Pb	0.662	-0.789	0.676	0.764	0.781	0.396	0.677	0.796	0.864	0.829	0.910	0.531	0.949	0.951	0.591	1

3.4 퇴적물 입도와 유기물, 중금속간의 상관관계

퇴적물의 입도와 유기물 및 중금속과의 상관성을 평가하기 위하여 통계분석을 실시하였다. 통계분석은 SPSS 12.0 version으로 수행하였으며, 변수간의 상관분석 결과를 Table 5에 나타내었다.

입도특성 및 유기물, 중금속간의 상관성 분석 결과를 보면, 퇴적물 입자인 sand, silt, clay와 평균입도(ϕ) 사이의 상관성에서 -0.663~0.955의 높은 상관성을 나타내었다. 입도특성인 평균입도(ϕ), sand와 clay는 화학적산소요구량(COD), 강열감량(IL), 총유기탄소(TOC) 및 총질소(TN)와의 상관성에서 0.653~0.816의 좋은 상관성을 나타내었고, 중금속 인자와의 상관성에서도 Cd를 제외한 모든 중금속 인자와 -0.584~0.864의 좋은 상관성을 나타내고 있었다.

유기물질과 중금속인자간의 상관성에서는 강열감량, 화학적산소요구량, 총유기탄소 및 총질소의 경우 Al, As, Cr, Cu, Hg, Pb와도 0.483~0.888의 좋은 상관성을 보였다. 중금속 인자간의 상관성에서는 Al, As, Cr, Cu, Pb 항목들 사이에 0.792~0.985의 높은 상관성을 나타내었다.

이는 Kim et al.(2005)이 시화호 퇴적물을 대상으로 조사한 0.7 이상의 상관성과 Kim et al.(2008)이 곰소 줄포갯벌에서 보고한 0.55~0.76의 상관성과 비교하여 본 해역퇴적물의 입도특성과 중금속간의 상관성이 더 높은 것으로 나타났다.

3.5 퇴적물 중금속 오염도 평가

천수만은 천혜의 양식어장이나, 만 내측에 서산 A,B 방조제가 조성됨으로써 환경적 변화가 크게 나타났고, 하계

강우 시 방조제로부터 유출된 호소수와 퇴적물로 인해 환경적 변화가 심한 해역이다. 또한 만 내측은 양식어장 밀집지역으로 양식환경에 의한 영향을 많이 받고 있고, 만 입구부에는 양식어장이 거의 없는 편이다. 이러한 환경적 특성을 가진 천수만 퇴적물의 중금속 자료를 바탕으로 중금속 오염도를 평가하였다.

1) 농축계수 및 중금속 과잉량에 의한 평가

표층퇴적물에서 중금속 함량과 입도 영향을 배제한 분포를 파악하기 위하여 식(1)과 Taylor(1964)의 지각 평균 금속 함량을 이용하여 구한 농축계수와 중금속 과잉량을 Table 6과 7에 나타내었다. 이때 기준원으로 사용된 Al은 입도의 특성을 잘 반영하는 중금속 함량을 정규화하는데 가장 적합한 원소이다(Schropp et al., 1990).

자연적인 중금속 농축에 대한 인위적 농축의 정도를 판단하는 농축계수의 경우, Cu를 제외한 모든 중금속 항목에서 1 이상의 값을 보였으며, 특히, Cd, As가 높은 농축정도를 나타내었다. 그러나 As의 경우 서해안 해역의 기본 농도가 높은 특성을 나타내고 있어, 인위적 영향으로 판단하기는 어렵다. 어장해역과 비어장해역의 농축계수를 비교해보면, Pb를 제외한 모든 중금속에서 어장해역의 농축계수가 비어장해역보다 조금 높은 값을 나타내었다.

퇴적물의 중금속 과잉량을 보면, Cr, Pb의 중금속 농축정도가 높게 나타내었고, Cu, As 순으로 나타났다. Al과 Hg의 경우 0에 가까운 낮은 농축 정도를 나타내었다. 어장해역과 비어장해역의 중금속 농축 정도를 비교하면, 어장해역이 모든 중금속 항목에서 농축 정도가 더 높게 나타났다.

Table 6. Range and mean values of enrichment factor(EF) for heavy metals in sediments of Cheonsu Bay

			Metals/Al × 1000				Metals/Al × 10000	
			As/Al	Cr/Al	Cu/Al	Pb/Al	Cd/Al	Hg/Al
Earth's crust			0.02	0.44	0.31	0.25	0.012	0.010
Bay	E.F.*	Range	3.52 ~ 6.27	1.02 ~ 2.36	0.29 ~ 1.02	1.18 ~ 1.87	0.22 ~ 14.77	0.16 ~ 4.98
		Mean	4.61	1.61	0.63	1.47	2.76	1.40
Farming	E.F.	Range	3.72 ~ 6.27	1.34 ~ 2.36	0.44 ~ 1.02	1.18 ~ 1.81	0.51 ~ 14.77	0.16 ~ 4.98
		Mean	4.65	1.74	0.72	1.42	3.15	1.43
Non-Farming	E.F.	Range	3.52 ~ 6.10	1.02 ~ 2.25	0.29 ~ 0.78	1.24 ~ 1.87	0.22 ~ 3.52	0.18 ~ 3.52
		Mean	4.56	1.41	0.49	1.53	2.17	1.36

Table 7. Range and mean values of metal excesses (EX) for heavy metals in sediments of Cheonsu Bay

			Metals/Al × 1000				Metals/Al × 10000	
			As/Al	Cr/Al	Cu/Al	Pb/Al	Cd/Al	Hg/Al
Earth's crust			0.02	0.44	0.31	0.25	0.012	0.010
Bay	E.X.*	Range	3.52 ~ 8.21	21.27 ~ 65.33	4.39 ~ 24.31	14.42 ~ 28.22	-0.04 ~ 1.07	-0.07 ~ 0.28
		Mean	5.82	45.22	12.55	22.88	0.13	0.02
Farming	E.X.	Range	4.75 ~ 8.21	36.95 ~ 65.33	7.88 ~ 24.31	18.93 ~ 28.22	-0.04 ~ 1.07	-0.07 ~ 0.28
		Mean	6.35	52.39	15.31	24.18	0.17	0.03
Non-Farming	E.X.	Range	3.52 ~ 6.65	21.27 ~ 50.76	4.39 ~ 15.70	14.42 ~ 23.83	-0.04 ~ 0.19	-0.06 ~ 0.13
		Mean	5.03	34.48	8.39	20.92	0.08	0.02

* Taylor(1964)

2) 농집지수에 의한 평가

천수만 퇴적물의 중금속 측정치의 평균값을 이용하여 농집지수를 계산하여 오염 정도를 평가하였다.

농집지수(I_{geo})값은 그 값에 따라 7개 등급으로 구분되며 (Jeon and Cho, 2002; Hyun et al., 2003; Lee et al., 2004; Hwang et al., 2010), 천수만내 표층 퇴적물에 대한 평균농도로 계산한 결과를 Table 8에 표시하였다.

천수만 퇴적물의 경우 Cu, Pb, Al은 모든 정점에서 I_{geo}가 0으로 오염되지 않은 수준(Practically unpolluted)인 것으로 나타났으며, Hg, Cr의 경우에는 대부분 정점에서 0으로 오염되지 않았으나, 일부 정점에서는 0~1의 범위로 오염되지 않은 수준과 약간 오염된 수준의 중간단계인 것으로 나타났다. Cd의 경우 0~1의 오염정도가 50% 이상 나타났으며, 일부정점은 2 이상의 오염도를 나타내었다. 그러나 As의 경우 거의 모든 정점에서 I_{geo} class가 2 이상으로 나타났으며, 이는 서해안 해역의 As 기준농도 자체가 높은 특징을 나타내기 때문으로 판단된다.

3) 미국해양대기청(NOAA), 환경정책평가연구원 및 해양환경관리법의 퇴적물 기준치에 의한 평가

천수만 해역의 퇴적물 중금속 농도를 이용하여 오염정도를 평가하기 위하여 미국해양대기청(NOAA)의 퇴적물 기준치와 환경정책평가연구원 기준치와 비교 평가하여 Table 9~10에 나타내었다.

미국 해양대기청(NOAA)(1991)에서 제시한 기준은 퇴적물에 함유된 중금속이 생물에 미치는 영향 정도에 따라 Effect range-low(ERL)과 Effect range-median(ERM)으로 구분하여 평가하는 방법이다. ERL은 통계적으로 저서생물에 10%의 악영향을 나타낼 수 있는 농도의 기준이며, ERM은 저서생물에게 50%의 악영향을 나타낼 수 있는 기준이다.

천수만의 경우 모든 중금속 항목에서 ERL 이하의 오염수준을 나타내어 중금속에 의한 생물의 영향은 낮은 것으로 나타났다. 어장해역과 비어장해역을 비교하면 큰 차이는 나타나지 않았지만, 어장해역의 농도가 조금 높았다.

한국 환경정책평가연구원(Lee and You, 2000)에서 우리나라 해양퇴적물에 대한 오염기준 설정을 위하여 중금속 주요항목을 대상으로 기준안을 선정하였으며, 퇴적물은 연안 퇴적물과 담수퇴적물로 구분하고, 평가기준을 목표수준과 우려수준으로 구분하여 평가한다.

Table 8. I_{geo} class and geoaccumulation index of heavy metals in sediments of Cheonsu Bay

I _{geo}	I _{geo} Class	Designation of sediment quality	I _{geo}						
			Cu	Cd	Pb	Cr	As	Hg	Al
> 5	6	Very strongly polluted	0	0	0	0	0	0	0
4 ~ 5	5	Strongly/very strongly polluted	0	0	0	0	0	0	0
3 ~ 4	4	Strongly polluted	0	0	0	0	0	0	0
2 ~ 3	3	Moderately/strongly polluted	0	1	0	0	0	0	0
1 ~ 2	2	Moderately polluted	0	3	0	0	26	1	0
0 ~ 1	1	Practically unpolluted/moderately polluted	0	14	0	8	4	9	0
0	0	Practically unpolluted	30	12	30	22	0	20	30

Table 9. Toxicological effects of tidal flat sediments by guideline values for the incidence of biological adverse effects in sediments of Cheonsu Bay

Metals	Guidelines(mg/kg)		Incidence of effects(%)			Farming (mg/kg)	Non-Farming (mg/kg)
	ERL*	ERM*	<ERL	ERL-ERM	>ERM		
Pb	46.7	218	8.0	35.8	90.2	24.4	21.1
Cd	1.2	9.6	6.6	36.6	65.7	0.25	0.15
Cu	34	270	9.4	29.1	83.7	15.5	8.6
Cr	81	370	2.9	21.1	95.0	52.7	34.7
As	8.2	70	-	-	-	6.4	5.1

* ERL(Effect range low), ERM(Effect range Median)

Table 10. Pollution level and Criteria(proposal) of heavy metals in sediments of Cheonsu Bay

Metals	Criteria (Dry Wt. mg/kg)		Farming (mg/kg)	Non-Farming (mg/kg)
	Goal level	Warning level		
Pb	30.2	530	24.4	21.1
Cd	0.7	9.6	0.25	0.15
Cu	18.7	390	15.5	8.6
Cr	52.3	370	52.7	34.7
As	7.2	93	6.4	5.1

Table 11. Ecological effects of sediments by standard values for the Marine Environment Management in sediments of Cheonsu Bay

St.	Al (%)	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Pb (mg/kg)	
Stand-ard	TEL*	-	14.5	0.75	-	50.5	0.11	44.0
	PEL*	-	75.5	2.72	-	123	0.62	421
Farming	5.97 ~ 8.12 (6.87)	4.76 ~ 8.23 (6.36)	0.04 ~ 1.15 (0.25)	37.23 ~ 65.68 (52.69)	8.07 ~ 24.57 (15.53)	0.01 ~ 0.36 (0.09)	19.09 ~ 28.37 (24.36)	
Non-Farming	3.17 ~ 7.05 (5.63)	3.53 ~ 6.67 (5.04)	0.01 ~ 0.27 (0.15)	21.47 ~ 51.05 (34.72)	4.53 ~ 15.91 (8.57)	0.01 ~ 0.19 (0.08)	14.50 ~ 24.01 (21.06)	
Total	3.17 ~ 8.12 (6.37)	3.53 ~ 8.23 (5.83)	0.01 ~ 1.15 (0.21)	21.47 ~ 65.68 (45.50)	4.53 ~ 24.57 (12.74)	0.01 ~ 0.36 (0.09)	14.50 ~ 28.37 (23.04)	

*TEL(Threshold Effects Level), PEL(Probable Effects Level)

천수만에서 조사된 퇴적물 중금속 농도를 비교 평가한 결과, 어장해역과 비어장해역의 퇴적물의 오염정도는 대부분 항목에서 목표수준에 못 미치는 농도를 나타내고 있었으나, Cr의 경우 어장해역에서 목표수준을 약간 상회한 농도를 보였다.

해양환경관리법에서 제시한 해양퇴적물 기준에는 주의 기준과 관리기준으로 구분하고 있는데, 본 연구에 제시된 해저퇴적물 중금속 농도를 비교하여 Table 11에 나타내었다. 본 연구지역의 중금속 농도는 모든 중금속 항목에서 주의기준 이하의 농도 수준을 나타내었다.

4. 결론

천수만 내 패류 양식어장 해역과 비양식어장 해역의 해저퇴적물에 대한 입도특성을 평가하고, 퇴적물중의 유기물과 중금속과의 관계 및 중금속 오염도를 평가함으로써 체계적이고 과학적인 관리를 위한 기본 자료를 제공하고자 한다.

천수만 퇴적물은 sand, silt, clay가 적절하게 혼재된 퇴적 특성을 나타내었으며, 어장해역인 만내에서는 세립질이 우세하고, 비어장해역인 만외는 조립질이 우세한 것으로 나타났다. 분급도는 불량하였으며, 전체적으로 조립질로 편쇄되어 있었다.

퇴적물의 유기물(COD, TOC, IL) 오염정도는 양식어장해역이 비양식어장 해역보다 유기물 오염도가 더 높은 것으로 나타났으며, 퇴적물 총질소 농도도 양식어장이 더 높은 것으로 나타났다. 총유기탄소에 대한 총질소의 비에서 계절별로 3월에 해양기초생산 유기물 기원이 많았고, 11월에는 육상유기물 기원이 높게 나타났다.

퇴적물중의 중금속 함량을 양식어장인 내측과 비양식어장인 외측과 비교해 보면, 모든 항목에서 양식어장에서 높은 평균농도를 나타내고 있었다.

퇴적물의 입도와 이화학적 성분, 중금속과의 상관성에서 평균입도, sand, clay는 유기물 지표항목과 높은 상관성을 보였고, 유기물과 중금속간의 상관성도 대체적으로 높게 나타났다.

중금속 오염도의 평가에서 농축계수는 Cu를 제외한 모든 중금속 항목에서 1 이상의 값을 보여 인위적인 영향이 있는 것으로 나타났고, 중금속 과잉량은 모든 중금속 항목에서 농축되어 있는 것으로 나타났으며, 특히 Cr과 Pb가 높은 농축정도를 보였다.

농집지수에 의한 평가에서 Cu, Pb, Al은 0등급의 오염되지 않은 수준이며, Hg, Cr은 대부분이 0등급이나 일부지점에서 0~1의 약간 오염수준 중간단계였으며, Cd는 0~1등급

이 50% 이상 이었고 일부정점은 2이상을 나타내었다.

미국해양대기청(NOAA) 퇴적물기준과 비교하면 Cd만 ERL 이하의 오염수준이고, 나머지는 ERL~ERM 사이의 오염수준을 나타내었다.

References

- [1] Bruggmann, L., P. C. Bernard and R. van Grieken(1992), Geochemistry of suspended matter from the Baltic sea 2, Results of bulk trace metal analysis by AAS, Mar. Chem., Vol. 38, pp. 303-323.
- [2] Cho, Y. G.(2007), Heavy Metals in Fine-Grained Bed Sediments of the Mangyeong River, Journal of the environmental sciences, Vol. 16, No. 5, pp. 657-664.
- [3] Choi, M. S., J. H. Chun, H. J. Woo and H. I. Yi(1999), Change of heavy metals and sediment facies in surface sediments of the Shihwa Lake, J. Kor. Environ. Sci. Soc., Vol. 8, pp. 593-600.
- [4] Hart, B. T.(1982), Uptake of trace metals by sediments and suspended particulates. A review, Hydrobiologia, 91, pp. 299-313.
- [5] Hwang, D. W., S. O. Ryu, S. G. Kim, O. I. Choi, S. S. Kim and B. S. Koh(2010), Geochemical characteristics of intertidal Surface sediments along the southwestern coast of Korea, Kor. J. Fish. Aquat. Sci, Vol. 43, pp. 146-158.
- [6] Horowitz, A. J.(1991), A primer on sediment-trace element chemistry, 2nd edition, CRC Press, p. 144.
- [7] Hyun, S., C. H. Lee, T. Lee and J. W. Choi(2007), Anthropogenic contributions to heavy metal distributions in the surface sediments of Masan Bay, Korea, Mar. Pollut. Bull, Vol 54, pp. 1030-1071.
- [8] Hyun, S., T. Lee, J. S. Choi, D. L. Choi and H. J. Woo(2003), Geochemical characteristics and heavy metal pollutions in the surface sediments of Gwangyang and Yeosu Bay, south coast of Korea, J Kor Soc Oceanogr, Vol. 8, pp. 380-391.
- [9] Jeon, S. G. and Y. G. Cho(2002), Some heavy metal concentration of surface sediments from the southwestern coast of Korea, J. Environ. Sci., Vol. 11, pp. 1299-1305.
- [10] Kim C. S.(1996), Physical Marine Environment of Cheonsu-Bay, Chongnam National University, Institute of Oceanography, Symposium Journal(collected Papers), pp. 1-21.
- [11] Kim, J. G., S. J. Yu and U. S. Ahn(2008), Evaluation of Characteristics of Particle Composition and Pollution of

- Heavy Metals for Tidal Flat Sediments in Julpo Bay, Korea, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 14, No. 4, pp. 153-158.
- [12] Kim, K. T., E. S. Kim, S. R. Cho, K. H. Chung and J. K. Park(2005), Distribution and Pollution of Heavy Metals in the Environmental Samples of the Lake Shihwa, *Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering*, Vol. 8, No. 3, pp. 148-157.
- [13] Kim S. W., J. H. Jang, C. W. Lee and K. H. Min(1985), A research study of Marine sediment(The whole sea Chooja island), *Korea Institute of Power and Mineral Resources* 85-18, pp. 7-47.
- [14] KOSEF(1993), Factors Affecting the Fish community by Construction of the Dike in Cheonsu Bay, p. 7.
- [15] Lee, J. H., J. S. Lee, B. S. Kim, C. B. Lee and C. H. Ko(1998), Characteristics of Metal Distribution in the Sediment in Kyeonggi Bay, *The Sea. Journal of the Korean society of oceanography*, Vol. 3, No. 3, pp. 103-111.
- [16] Korea Institute of Ocean Scientific & Technology(1992), A Study of the Marine Ecosystem on the Effects of Coastal Zone Development - First Year, Ministry of Science and Technology BSPG 00158-464-3, p. 93.
- [17] Lee, M. K., W. Bae, I. K. Um and H. S. Jung(2004), Characteristics of heavy metal distribution in sediments of Youngil Bay, Korea, *J Korean Soc Environ Eng.*, Vol. 26, pp. 543-551.
- [18] Lee, T. W.(1996), Change in species composition of fish in Chonsu bay 1. Demersal fish, *Bulletin of the Korean fisheries society*, Vol. 29, pp. 71-83.
- [19] Lee, T. W., M. S. Choi, S. R. Yang, C. W. Ma, Y. J. No and S. C. Park(2011), Research of Fishing Farm Utilization method and Environment Survey in Chunsu Bay -Final Report, ChungCheongNam-Do, pp. 91-108.
- [20] Lee, C. H. and H. J. You(2000), Research about Development of Environment Standard for Benthic sediment, pp. 90-99.
- [21] Libes, S. M.(2009), Introduction to marine biogeochemistry, 2nd edition. Academic Press, p. 928.
- [22] Lim, D. I., H. S. Jung and I. K. Um(2002), Sedimentary Environments of Pre-Holocene Kanweoldo Deposit in Cheonsu Bay, Western Coast of Korea, *Journal of the Korean society of oceanography*, Vol. 7, No. 1, pp. 32-42.
- [23] Ministry of Maritime Affairs & Fisheries(2012), Method of Official Test for Marine Environment, http://www.momaf.go.kr/legal/lis_notice/index.asp.
- [24] Martin, J. M. and Whitfield M.(1983), The significance of river input of chemical elements to the ocean. In: *Trace Metals in Sea Water*. Wang CS, Boyle E, Burton JD and Goldberg ED, eds. Plenum, New York, pp. 265-298.
- [25] Muller, P. J.(1977), C/N ratio in Pacific deep sea sediments: effect of inorganic ammonium and organic nitrogen compounds sorbed by clays, *Geochim. Cosmochim Acta*, Vol. 41, pp. 765-776.
- [26] NFRDI(2009), National Fisheries Research & Development Institute, The oxygen deficient water masses of coastal area in Korea, p. 185.
- [27] NFRDI(2010), National Fisheries Research & Development Institute, Research of actual state in Fishing Ground Environment, pp. 79-182.
- [28] NOAA(1991), Rechnical Memorandum NOS OMA 52, The potential for biological effects of sediment-sorbed contaminants tested in the national sttus and trends program(edited by Long, E. R., and Morgan, L. G.), pp. 8-60.
- [29] Park, D. W.(1976), A Geomorphological Study of The Tidal Flat of Chonsu-Bay, Western Coast of Korea, by Means of Remotes Sensing Techniques, Ministry of Science and Technology R-76-72, p. 83.
- [30] Park, H. S., R. S. Kang and J. H. Lee(2006), Distribution Patterns of the Dominant Macrobenthos and the Benthic Environments on Subtidal Soft-bottom in Chonsu Bay, *Journal of the Korean fisheries society*, Vol. 39, pp. 214-222.
- [31] Paulson, A. J., H. C. curl and R. A. Feely(1993), The geochemistry of nutrients and trace metals in Hood Canal, a puget sound fjord. *Mar. Chem.*, Vol. 43, pp. 157-173.
- [32] Sahu, K. C. and U. Bhosale(1991), Heavy metal pollution around the island city of Bombay, India. Part I: quantification of heavy metal pollution of aquatic sediments and recognition of environmental discrimianants, *Chem Geol* 91, pp. 263-283.
- [33] Schropp, S. J., F. G. Lewis, H. L. Windom, J. D. Ryan, F. D. Calder and L. C. Burney(1990), Interpretation of metals concentrations in estuarine sediments of Florida using aluminum as a reference element. *Estuaries*, Vol. 13, No. 3, pp. 227-235.
- [34] Shim, J. H., C. W. Go, T. W. Lee, S. J. Kim and Y. C. Park(1988), Analysis of the Bay Ecosystem, Yellow Sea,

- National Research Foundation of Korea(Report), p. 246.
- [35] Sim, J. H. and G. H. Yun(1990), Seasonal Variation and Production of Zooplankton in Chonsu Bay, Journal of the Korean society of Oceanography, Vol. 25, No. 4, pp. 229-239.
- [36] Sim, J. H. and H. G. Yeo(1988), Spatial and Temporal Variations of Phytoplankton in Chonsu Bay, Journal of the Korean society of Oceanography, Vol. 23, No. 3, pp. 130-145.
- [37] Sim, J. H. and W. H. Lee(1979), On Phytoplankton of the Cheonsu Bay, West Coast, Journal of the Korean society of Oceanography, Vol. 14, No. 1, pp. 6-14.
- [38] Sim, J. H. and Y. G. Sin(1989), Biomass of Primary Producer in the Chonsu Bay -Relationships between Phytoplankton Carbon, Cell Number and chlorophyll-, Journal of the Korean society of Oceanography, Vol. 24, No. 4, pp. 194-205.
- [39] Sin, Y. G., J. H. Sim, J. S. Jo and Y. C. Park(1990), Relative Significance of Nanoplankton in Chonsu Bay: Species Composition, Abundance, Chlorophyll and Primary Productivity, Journal of the Korean society of Oceanography, Vol. 25, No. 4, pp. 217-228.
- [40] Song, Y. H., M. S. Choi and Y. H. Ahn(2011), Trace metals in Chun-su Bay sediments, Journal of the Korean society of Oceanography, Vol. 16, No. 4, pp. 169-179.
- [41] Stein, R.(1991), Accumulation of organic carbon in marine sediments. Results from the Deep Sea Drilling Project/Ocean Drilling Program, Lecture Notes in Earth Sciences, Vol. 34. Berlin: Springer-Verlag, p. 217.
- [42] Szefer, P., G. P. Glasby, J. Pempkowiak and R. Kaliszan (1995), Extraction studies of heavy-metal pollutants in surficial sediments from the southern Baltic Sea off Poland. Chemical Geology, Vol. 120, pp. 111-126.
- [43] Taylor, S. R.(1964), Abundance of chemical elements in the continental crust:a new table. Geochim. Cosmochim. Acta, Vol. 28, pp. 1273-1285.
- [44] Taylor, S. R. and S. M. McLennan(1995), The geochemical evolution of the eontinental crust. Rev. Geophys., Vol. 33, pp. 241-265.
- [45] Wenning, R., G. E. Barley, C. G. Ingersoll and D. W. Moore(2005), Use of sediment quality guidelines and related tools for the assessment of contaminated sediments, Setac Press, p. 810.
- [46] You, S. K.(1962), The study of Masses and Composition of Microplankton in Coastal area of ChungCheongNam-Do, Report of Basic Suevey in Beach at Edd tide at Central area, 2, pp. 57-72.
- [47] Zhang, J. and C. L. Liu(2002), Riverine composition and estuarine geochemistry of particulate metals in China-weathering features, anthropogenic impact and chemical fluxes, Estuar Coast Shelf Sci. Vol. 54, pp. 1051-1070.

원고접수일 : 2014년 03월 26일

원고수정일 : 2014년 07월 17일 (1차)

2014년 08월 04일 (2차)

게재확정일 : 2014년 08월 27일