



저작자표시-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

교육학석사 학위논문

광양만의 표층 퇴적물의 유기물  
함량과 중금속 분포 특성



부경대학교 교육대학원

생물교육전공

이 문 영

교육학석사 학위논문

광양만의 표층 퇴적물의 유기물  
함량과 중금속 분포 특성

지도교수 김영태

이 논문을 교육학석사 학위논문으로 제출함.



2010년 8월

부경대학교 교육대학원

생물교육전공

이 문 영

# 이문영의 교육학석사 학위논문을 인준함

2010 년 8 월 25일



# 목 차

I. 서론 .....	1
II. 재료 및 방법 .....	6
1. 연구지역 .....	6
2. 시료 채취 및 분석 방법 .....	8
가. Sediment sampling .....	8
나. Chemical Oxygen demand (COD) anaysis of Sediment .....	8
다. Analysis of the Water Content (WC) and the Ignition Loss (IL) .....	9
라. Total Organic Carbon (TOC) and Total Nitrogen (TN) analysis .....	9
마. Acid Volatile Sulfide (AVS) analysis .....	9
바. Mean grain size (Mz) analysis .....	10
사. Trace metal analysis .....	10
아. Statical analysis of contamination .....	11
III. 결과 및 고찰 .....	13
1. 표층 퇴적물의 퇴적학적 특성 .....	13
2. 표층 퇴적물의 유기물 함량 및 분포 특성 .....	17
3. 표층 퇴적물의 금속원소 함량 및 분포 특성 .....	23
가. 표준물질 분석 신뢰성 .....	23
나. 표층퇴적물의 금속원소 함량 .....	24

4. 퇴적물의 입도와 유기물, 중금속의 관계 .....	29
5. 표층 퇴적물 내 금속원소의 오염평가 .....	33
가. Adverse Biological Effects의 평가 .....	33
나. enrichment factor (EF)의 평가 .....	37
다. Igeo의 평가 .....	42
IV. 결론 .....	47
V. 참고문헌 .....	49



## List of Tables

Table 1. Analytical results of metal in the SRM(PACS-2) .....	24
Table 2. Comparison of average metal concentration between Gwangyang bay and other polluted bay in surface sediment. ....	28
Table 3. Correlations (Pearson's linear coefficient, r) between each heavy metals and Mz, silt, clay. ....	32
Table 4. ERL and ERM guideline values of the trace metals(ppm, dry wet) and percent incidence of biological effect concentration ranges defined by the two values. ....	33
Table 5. Mean value of the enrichment factors (EF) for selected metals in surface sediments of the Gwangyang bay. ....	39
Table 6. Classification of EF value (Birth, 2003) of the metal elements in the sediment. ....	39
Table 7. Classification of geoaccumulation index (Muller, 1979) of the metal elements in the sediment. ....	44
Table 8. Number of each Igeo-class for the concentrations of 10 metal elements in the surface sediment of Gwangyang Bay. ....	45

## List of Figures

Fig. 1. Map showing the geographic location of Gwangyang bay and the locations from which surface samples were taken. ....	7
Fig. 2. Mean grain size and Water content of 44 surface sediment samples station in Gwangyang bay. ....	14
Fig. 3. Ternary diagram with sand, silt, clay components shows sediment facies. ....	15
Fig. 4. Plots of Mean grain size versus sorting, skewness, kurtosis of surface sediment in Gwangyang Bay. ....	16
Fig. 5. The concentration of Ignition loss, Total organic carbon and total nitrogen in 44 surface sediment samples station in Gwangyang Bay. ....	19
Fig. 6. The concentration of chemical oxygen demand and acid volatile sulfide in each station in the surface sediment of Gwangyang bay. ....	20
Fig. 7. Relationship between TOC versus TN in the surface sediment in Gwangyang Bay. ....	22
Fig. 8. Horizontal distributions of metal elements for Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Co, As, Zn, Fe, Al, Mn in the surface sediments of the Gwangyang Bay. ....	27
Fig. 9. Distribution of Cu, Pb, Cr, Ni, As, Zn in surface sediment sample stations of the Gwangyang Bay(ppm, dry wet.). Lines mark the LEL(ERL) and SEL(ERM) guideline values.(NOAA, 1998;Long et al, 1995) ....	36
Fig. 10. Enrichment factors of 10 (Cu, Cd, Pb, Cr, Ni, Mn, Co, As, Zn, Fe) elements. Horizontal dotted lines indicate 1 in enrichment factor. ....	41

Characteristics of organic matters and trace metal distribution in the  
surface sediments of Gwangyang bay, Korea.

Moon Young Lee

*Graduate school of Education  
Pukyong National University*

**Abstract**

To recognize geochemical and sedimentologic characteristics of surface sediments, We investigated the organic matters and the metal elements (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Co, As, Zn, Fe, Al, Mn) concentrations. Mean grain size values of surface sediments in Gwangyang bay were in the range of 7.23-8.85 $\Phi$  and consisted predominantly of silt. The water content of the surface sediments exceeded 50% except for some stations.

The contents of Ignition Loss (IL), Total Organic Carbon (TOC) and Total Nitrogen (TN) were ranged from 4.3-9.4%, 0.7-2.0% and 0.09-0.24%, respectively. Based on the C/N ratios, the organic matter in the surface sediments of the Gwangyang bay meant terrigenous source that organic matter of the west stations of the Myodo and stations located between Myodo and Yeosu peninsula originating from the nearby land. And the east of the Myodo meant oceanic source that organic matter originating from the ocean because the inflow of sea water was more than the other regions.

The Chemical Oxygen demand (COD) and Acid volatile sulfide (AVS) were ranged from 10.18-41.9 mg O<sub>2</sub>/g.dry, 0.002-1.074mg S/g-dry, respectively.

Heavy metals of the surface sediments in the Gwangyang Bay were high

concentrations generally at the stations entering Gwangyang stream, around Yulchon industrial complex and the POSCO. The distribution of heavy metals and organic matter in the study area were considered as lower correlations, also regulated by artificial factors originating from nearby urban areas and industrial complexes.

we calculated the enrichment factor (EF) and geoaccumulation index (Igeo) in order to evaluate quantitative contamination of metal elements of sediments. The enrichment of metallic elements relative to Al exceed 1 at the study site, compared to levels in the earth's crust except for Cu, Ni. In addition, Gwangyang stream flow station was relatively high enrichment factor except for Mn. Both Cr and Mn were relatively high enrichment factors in surface sediments of the POSCO surrounding area. The Igeo class of the Cu indicated 5-6 range showing that Gwangyang stream inflow station and the POSCO surrounding area were a significant level of contamination.

Therefore, the sediments in Gwangyang Bay were needed management to identify the contamination paths and the pollution levels of organic matters and metallic elements. Through continuous monitoring for the behavior and the accumulation of pollutants in sediments studies for the underlying factors are needed.

# I . Introduction

광양만은 일찍부터 연안 양식업이 발달하였으나 항만 시설 개발과 산업 발전의 좋은 입지 조건을 갖추고 있어 현재에 이르기 까지 한국의 가장 역동적인 산업지역으로 변모하였다. 광양만은 전형적인 리아스식 해안이었으나 1970년대 개발이 증가한 이래로 해양의 매립과 준설에 의해 60% 이상이 인공해안으로 구성되어 있다 (해양수산부, 2004).

광양만은 남한의 서쪽에 위치하고 있으며, 광양만 주변 육지에는 광양시, 순천시, 여수시가 있으며 대표적 산업시설로는 광양제철소 (POSCO)와 여수 국가산업단지 (Yeosu Industrial complex)가 있으며 이외에도 울촌 산업단지와 광양만 컨테이너부두, 화력발전소 등 이 있다. 광양만은 여수 해만에 걸쳐 육상의 섬진강과 외해의 남해와 연결되는 점이 지역으로서 육상과 해양 사이에 상호 퇴적작용이 활발하게 일어나는 곳이다. 따라서 반폐쇄적인 내만의 특성을 가진 광양만은 산업단지로부터 유출되는 다량의 폐수와 인근 육지로부터의 생활 하수 등 이 유입되기 쉬운 지리적 여건을 갖추고 있다 (Hwang et al., 2006). 이러한 지역에 집중적인 산업시설이 건설되었기에 해양 환경의 오염이 우려되는 실정이다. 또한 현재도 산업 발전이 진행되고 있으므로 이에 대한 지속적인 관심이 요구 된다.

인근으로부터 유입된 오염 물질들은 해수를 통해 이동하거나 해수 내에서 물리적, 화학적, 생물학적 작용을 거쳐 침전되어 퇴적물의 일부를 구성하거나 생물체 내에 축적된다. 특히 저질 환경은 해저를 생활기반으로 하는 저서생물의 서식조건 판단에 좋은 지표가 될 뿐만 아니라 여러 가지

수질오염의 누적된 영향이 반영되어 나타나므로 오염조사의 대상으로써 중요하다 (Cho et al., 1994a). 이러한 퇴적물의 오염정도에 대해 연구하는 것은 인근 지역으로부터 오염물질의 기원을 알고 오염 양상을 파악하는데 중요한 지표가 된다. 광양만은 1982년부터 특별관리 해역으로 지정되어 환경보전 장애지역으로 간주되고 있으며 그 중요성이 인식되어 있는 만큼 현재까지 많은 기초 연구가 이루어 졌다 (Seoul National University, 1997; Cho et al, 2000; Korea ocean research & Dvelopment Institute, 2002; Choi et al, 2003). 그러나 연안의 환경 오염 정도를 나타내는 지표는 다양한 항목으로 조사 분석되고 평가 될 수 있다. 이러한 항목들에 대한 조사를 통해 지금까지의 활발한 연구와 더불어 광양만 내에서도 가장 오염이 심각할 것으로 예상되는 광양만 내의 유기물이나 금속원소의 분포특성 및 오염 양상과 그 기원에 대해서 알아보는 것이 필요하다. 따라서 광양만의 해양 환경을 보존하고 생태계를 보호하기 위해 표층퇴적물에 대한 지화학 적 특성과 중금속 오염의 정도를 평가하는 것은 꼭 필요한 것이라 할 수 있다.

어떤 지역의 퇴적물은 그 지역의 특성을 반영하고 환경의 변화된 역사를 알려주는 거울과 같다. 퇴적물은 물의 순환에서 미량금속의 중요한 매개체이고, 미량금속은 주변의 물에 의해 분할되어 지기 때문에 수계의 질을 반영한다. 특히 연안과 하구 지역은 끊임 없이 많은 오염원들이 가라앉고 생물과 퇴적물의 바닥에 축적된다 (Szefer et al., 1995). 퇴적물 분석을 수질 분석과 비교해보면 먼저 퇴적물 분석은 수질분석에 비하여 수질 매체에서 오염의 정도를 평가함에 있어 수계 오염의 수준에서 거대한 시간적 차원의 다양성에 비해 안정된 상태라는 이점이 있다. 둘째, 독성 인자의 농도는 대체로 퇴적물에서 더 높고 시료를 처리하고 다루는 동안 시료의 오염가능성이 덜하고 또한 분석방법이 덜 복잡하다 (Villares et al, 2003). 그

러나 퇴적물 분석 시에도 미량금속 함량은 산화철의 함량, 유기물 (Horowitz, 1991), 입도, 쇠철성광물 (Cho et al., 1994b; Cho and park, 1998; Choi et al., 1999) 등 과 같은 다양한 요인으로부터 영향을 받는다.

연안이나 만 지역의 퇴적물은 도시지역과 산업지역으로부터 인위적인 오염물과 지리적 영향을 받는다. 그러한 퇴적물은 다른 지역에 비해 중금속과 유기물질의 농도가 더 높아진다 (Förstner and Wittman, 1981; Salomons and Förstner, 1984; Li et al., 2000; Thuy et al., 2000; Ruiz-Fernández et al., 2002).

해양 퇴적물에서 유기물질은 인근 육상으로부터 유입되는 외래성 기원 (allochthonous)과 해역 자체에서 생성되는 자생기원 (autochthonous)으로 구분된다 (Kang et al, 1993; Noh et al, 2006a). 다양한 경로를 통해 해양으로 들어오는 유기물질은 생물에 의한 이동과 해수의 유동에 의해 확산되고, 침강하는 동안 유기물질은 자연스럽게 화학작용에 의해 분해되고 그 중에 대부분은 퇴적물로 침전 된다 (Noh et al, 2006b). 이러한 과정을 거치면서 유기물질은 여러 무기물질로 재생되며 퇴적물 내의 간극수의 확산으로 환원된 무기 영양염은 해양에서 일차 생산자에 의해 다시 유기물로 고정되는 순환 과정을 거친다. 따라서 이러한 퇴적환경은 해양 환경의 누진적인 결과를 나타내며, 해역의 장기적인 변화과정을 추적하는데 있어 매우 효과적이므로 해역의 환경 변화나 기후변화에 의한 해수면 변화 (Kim et al., 2007), 생지화화학적인 변화의 지표로 이용된다. 또한 퇴적물에 포함된 유기물질은 저서 생태계에서 수산 생물의 먹이원이 되므로 저서 생물 군집의 서식에도 많은 영향을 미친다 (Berner, 1980).

중금속은 토양, 물, 공기, 유기체와 같은 환경에 넓게 분포한다. 자연적인 환경에서 중금속에 의한 오염은 나아가 지구촌의 문제로 대두되었다 (Irabien and Velasco, 1999). 최근에 오염된 지역의 표층퇴적물에서 미량

금속의 농도는 더 깊은 층에서 미량 금속의 농도보다 대체로 더 높다 (Donazzolo et al., 1984; Juretić et al., 1992; Borg and Jonsson, 1996; Ujević et al., 1998). 이러한 지질학적 배경을 바탕으로 퇴적물의 수리적 역학적 거동 특성을 파악하여 광양만의 표층 퇴적물에 대한 물리적, 화학적 분석을 통해 현재의 오염 상황을 정확하게 파악하는 것이 중요하다. 특히 중금속은 인간의 생산 활동 증가와 더불어 생물권으로의 이동이 지속적으로 증가하여 왔으며 미량으로도 생체에 큰 위해성을 초래할 수 있고 그에 의해 야기되는 오염의 피해와 휴유증이 크므로 주변 환경오염 평가에 있어 주요 감시 대상물질이 되어왔다 (Michael and McIntosh, 1991; Goyer, 1996; Zarkrzewski, 1997). 중금속 중에서도 수은 (Hg), 카드뮴 (Cd), 납 (Pb), 크롬 (Cr)과 같이 일반적으로 낮은 농도로 존재하는 금속들은 환경에 일정 농도 이상 초과하여 축적되면 큰 위험을 초래 한다 (Kennish, 1992).

퇴적물 내에서 미량 금속들은 대부분 저질입자들과 강하게 상호 반응하여 존재하게 되는데 하구 또는 연안퇴적물 내의 금속농도는 단지 투입량에 의해서만 결정되어지지 않고 입자의 물리적 수송과정, 금속흡착에 기여하는 입자표면에서의 화학반응, 산화환원반응, 입자형성과 금속의 흡착/탈착에 영향을 미치는 수중용액 내 화학작용의 차이 등에 의해서도 영향을 받게 된다 (Luoma, 1990; Jung et al, 2003). 또한 유기물 함량이 높은 해양 퇴적물은 많은 유기와 무기오염원을 축적하기 위한 결합력이 높고, 유기물 함량은 대체적으로 퇴적물의 입도 구성과 관계가 있다 (Ergin and Yoruk, 1990).

본 연구는 표층 퇴적물에서 미량금속의 농도와 입도 구성, 그리고 유기물 함량간의 관계에 대해 알아보고, 광양만 내에서의 인근 육상으로부터의 오염의 기원을 추적하여 광양만의 오염 정도를 평가함으로써 차후에 해

양 생태계를 보호하기 위한 기본대책 수립 연구의 기본 자료로 활용하고자 한다. 본 연구에서는 표층퇴적물의 퇴적학적 특성 중 입도분석 (Mean Grain Size, Sorting, Skewness, Kurtosis) 및 강열감량 (Ignition Loss), 유기물 함량 (Total Organic Carbon), 총 질소 (Total Nitrogen), 중금속 함량으로 인한 오염정도를 파악하고자 하였다.



## Ⅱ. 재료 및 방법

### 1. 연구 지역

광양만은 한반도 남해 연안의 중앙부에 위치하여 광양, 남해도 및 여수반도로 둘러싸인 반폐쇄성 내만이다 (Fig. 1). 광양만의 북서 방향에는 인근의 육지로부터 광양천이 흘러나오고 있으며, 중앙부에서는 수어천과 섬진강 등으로부터 하천수가 유입되고 있다. 광양만의 동쪽 방향으로는 노량해협을 통하여 진주만과 연결되고, 남쪽 방향으로는 여수 해만과 이어진다. 그리고 묘도를 중심으로 하여 북쪽의 수로와 남쪽의 수로를 통해 외해수가 유입된다.

또한 광양 제철소 주변의 해역은 건설 및 항로준설 등과 같은 인위적인 요인에 의해서 퇴적상의 변화가 발생하고 (Lee et al, 1996) 있으며 광양제철소와 컨테이너 부두 등이 위치하고 있는 산업공단 밀집지역이다.

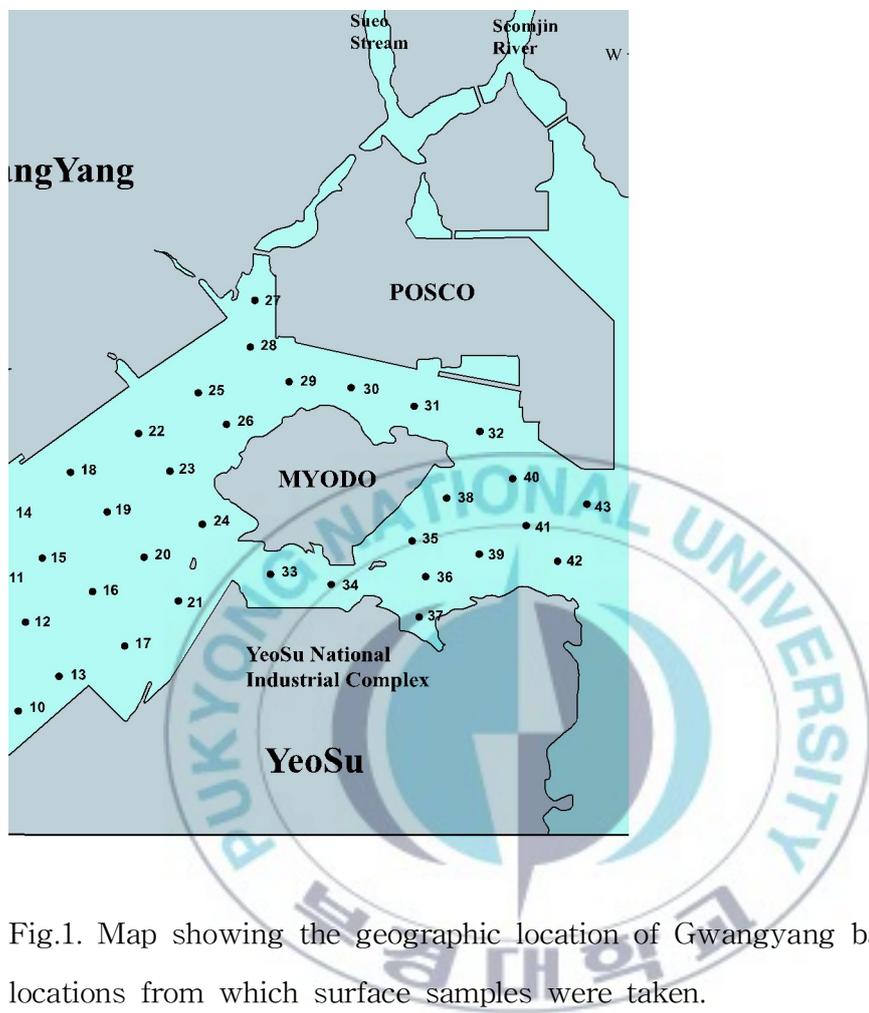


Fig.1. Map showing the geographic location of Gwangyang bay and the locations from which surface samples were taken.

## 2. 시료 채취 및 분석 방법

### 가. Sediment sampling

광양만의 표층퇴적물에 대한 퇴적학적, 지화학적 특성을 알아보기 위해 그랩샘플러 (grab sampler)를 이용하여 2006년에 총 40개 지점에서 표층퇴적물을 채취하였다. 채취한 퇴적물은 실험실로 옮긴 후 입도 (MZ; Mean Grain Size), 유기물 (TOC; Total Organic Carbon), 총질소 (TN; Total Nitrogen), 산 휘발성 황화물 (AVS; Acid volatile sulfide), 금속원소 (Al, Cr, Cu, Ni, Zn, Cd, As, Pb, Hg)를 분석하였다. 각각의 분석에 대한 분석방법은 다음과 같다.

### 나. Chemical Oxygen demand (COD) analysis of Sediment

퇴적물의 COD는 먼저 습시료 약 1g 정도를 취하여 250mL 삼각플라스크에 넣고 0.1N  $\text{KNO}_4$  100mL와 10% NaOH 5mL을 넣고 잘 흔든 다음, 시료와 시약이 담긴 플라스크를 끓는 물에서 1시간 동안 증탕하였다. 그 후 실온으로 냉각시켜 10% KI 10mL와 4%  $\text{NaN}_3$  한 방울을 넣은 다음, 여기에 증류수를 가해 500mL로 만든 후 잘 흔들어 유리 섬유 여과지로 여과한 후, 여과용액 100mL를 30%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  2mL를 넣고 잘 흔들어 이를 0.1N  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  용액으로 적정·분석하였다.

#### 다. Analysis of the Water Content (WC) and the Ignition Loss (IL)

WC와 IL은 먼저, 퇴적물 시료 약 20g을 미리 무게를 측정한 도가니에 담아 이를 건조기에 넣어 110℃에서 24시간 가열한다. 그리고 나서 데시케이터 안에서 실온으로 식혀 도가니의 무게를 측정하여 그 무게 차이로 WC와 IL을 계산하였다.

#### 라. Total Organic Carbon (TOC) and Total Nitrogen (TN) analysis

TOC와 TN의 분석은 먼저 냉동 건조시킨 시료 0.5g을 유리 vial에 시료 약 0.5g을 넣고 1N HCL 10mL을 첨가하여 탄산염을 제거하고, 70℃에서 하룻밤 동안 수분과 잔류염소를 날려 보냈다. 전처리 된 시료는 105℃에서 2시간 방치 후 주석박막으로 3-5mg의 시료를 달아 CHN원소분석기 (Flash EA 1112, ThermoFinnigan)로 측정하였다.

#### 마. Acid Volatile Sulfide (AVS) analysis

채취한 퇴적물 중 일정량을 덜어내어 검지관법을 이용하여 측정하였다. 즉 습시료 약 2g의 무게를 정확히 측정하여 황화수소 (H<sub>2</sub>S) 발생관에 넣는다. 그 후에 약간의 증류수를 넣고 기체가 새지 않도록 뚜껑을 닫는다. 그 다음 발생관에 황산 2mL을 넣고 2-3초간 기다린 후 펌프를 이용하여

발생하는 황화수소가 검지관에 흡수되도록 하여 측정하였다.

#### 바. Mean grain size (Mz) analysis

퇴적물의 Mz분석은 채취한 퇴적물 시료를 약 20g정도 취하여 이온교환수를 이용하여 염분을 제거한다. 그리고 10% 과산화수소 ( $H_2O_2$ )와 0.1N 염산 (HCl)을 차례로 넣어, 유기물과 탄산염 ( $CaCO_3$ )을 완전히 제거하였다. 이 퇴적물을 다시 이온교환수를 이용하여 깨끗이 세척하고 4 $\phi$  (0.0625mm) 표준체로 물체질 (wet sieving)을 한 후 4 $\phi$ 보다 큰 조립질 입자에 대해서는 110 °C에서 24시간 동안 건조한 후 진탕기 (RoTap sieve shaker)를 이용하여 건식체질 (dry sieving)을 한 후 1 $\phi$  간격으로 무게 백분율을 구하였고, 4 $\phi$ 보다 작은 세립질 입자에 대해서는 약 2g정도의 퇴적물을 사용하여 자동입도 분석기 (Helos, Sympatec)로 분석하였다. 여기서 퇴적물의 특성을 나타내는 Mz, 분급도 (Sorting), 왜도 (Skewness) 및 첨도 (Kurtosis)는 컴퓨터를 이용하여 통계 처리하였으며, 퇴적상의 분류는 Folk (1968)의 방법에 따랐다.

#### 사. Trace metal analysis

금속원소의 분석은 퇴적물 시료를  $-80^{\circ}C$ 에서 동결건조한 후 플라스틱 재질의 체 ( $\phi < 63\mu m$ )로 체질하여 통과된 퇴적물을 시료로 사용하였다. 미량 금속을 추출하기 위하여 1g의 동결건조된 퇴적물 시료를 50mL 테프론 비이커에 넣고 혼합산 ( $HNO_3:HF:HClO_4=2:2:1$ )을 이용하여 digestion하였다. 산을 완전히 휘발시킨 후 2%  $HNO_3$  용액을 사용하여 100mL로 정용하였

다. 퇴적물 시료의 미량금속분석은 유도결합플라즈마 질량 분석기 (ICP-MS, Perkin Elmer, Elan6000)로 분석하였으며, Hg의 경우 수은자동 분석기 (Milestone, AMA-254)로 분석하였다. 분석 자료의 신뢰성을 확보하기 위하여 Standard Reference Material은 PACS-2 (Marine Sediment)를 이용하였으며, 모든 전처리 과정은 class100의 clean booth내에서 행하였다.

#### 아. Statistical analysis of contamination

퇴적물 내 금속원소의 오염평가는 주로 분석된 금속원소의 농도를 오염되지 않은 지역에서의 자연적인 농도와 비교하는 방법이 주로 이용되며, 그 방법으로는 Enrichment Factor (EF), Geoaccumulation index (Igeo), Concentration enrichment ratio, Metal pollution index 등 다양한 방법이 있다. 이 연구에서는 퇴적물 내 금속원소의 오염의 정도를 파악하기 위해 EF와 Igeo를 이용하였다. 먼저 EF는 퇴적물, 수계내의 부유물질 및 대기 분진 등 여러 환경 시료 중에 들어 있는 원소들의 농축정도와 기원을 파악하는 방법으로 농축계수를 이용한다. 농축계수는 가능한 기원에 대한 보존성 기준 원소를 정하고 다른 원소들의 상대적인 농축정도를 파악한다. 지각기원일 경우 Al, Fe, Sc 를 이용하고, 해염입자의 경우에는 Na 등을 기준 원소로 이용한다 (Qu et al., 1993; Choi et al., 1989). Igeo는 EF와 달리 연구 지역 내 주어진 시스템 내에서 금속원소의 상대적인 농축 정도를 반영할 뿐만 아니라 농축 정도를 등급으로 나타내어 오염 정도를 더욱 세분화하여 평가할 수 있어서 연안 퇴적물의 오염 정도를 평가하기 위해 널리 이용되고 있는 방법이다.

퇴적물에서 중금속과의 상관관계는 SPSS 13.0 통계프로그램을 사용하여 분석하였다 (Chicago, IL, USA).



### Ⅲ. 결과 및 고찰

#### 1. 표층 퇴적물의 퇴적학적 특성

함수율은 일반적으로 퇴적율, 퇴적물의 입도, 분급도, 퇴적물 입자의 형태, 퇴적물 입자의 극성퇴적후의 생물교란 정도, 시간에 따른 다짐작용 등의 요인에 의해 변화 한다 (Berner, 1980). 특히 해양 퇴적물은 구성입자의 크기와 종류, 모양과 조성 이동방법, 그리고 수심과 해류 등 여러 가지 특성을 포함하는 환경 조건 등에 의한 복잡한 퇴적 과정에 의해 형성 된다 (Houston and Michell, 1969; Keller and Yincan, 1985; Booth et al., 1989). 해양 퇴적물의 함수율을 조절하는 주요 요인은 퇴적물의 구성물에서 입자 표면의 물리적 화학적 특성과 입자의 형태 등이다 (Chi et al., 2006). 본 연구지역의 표층 퇴적물 중 함수율은 시료 중의 수분함량을 나타내는 것으로, 저질 입자 간에 품을 수 있는 함수량에 비례되며 저질의 보수력을 나타내주는 지표로 사용 된다 (Yoon and Choi, 2006). 조사 지점에서 함수율은 39~60% 범위로서 St. 6 과 광양만 컨테이너부두 앞에 위치한 St.22, St.25 그리고 묘도와 여수 국가 산업단지가 사이의 St. 34, St.35, St.38 제외하면 50%이상의 함수율을 보이며 조사지점에 따라 큰 차이는 보이지 않았다 (Fig. 2). 일반적으로 퇴적물에서 함수율의 범위가 30~70%로 나타나는 점에 비교해 볼 때 이 범위에 포함되는 결과로 판단된다 (Joo et al., 2000).

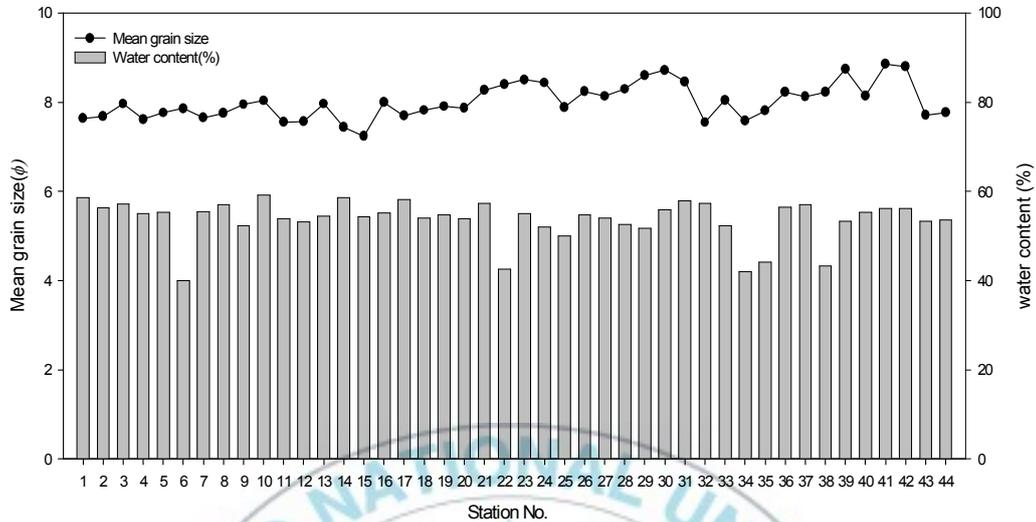
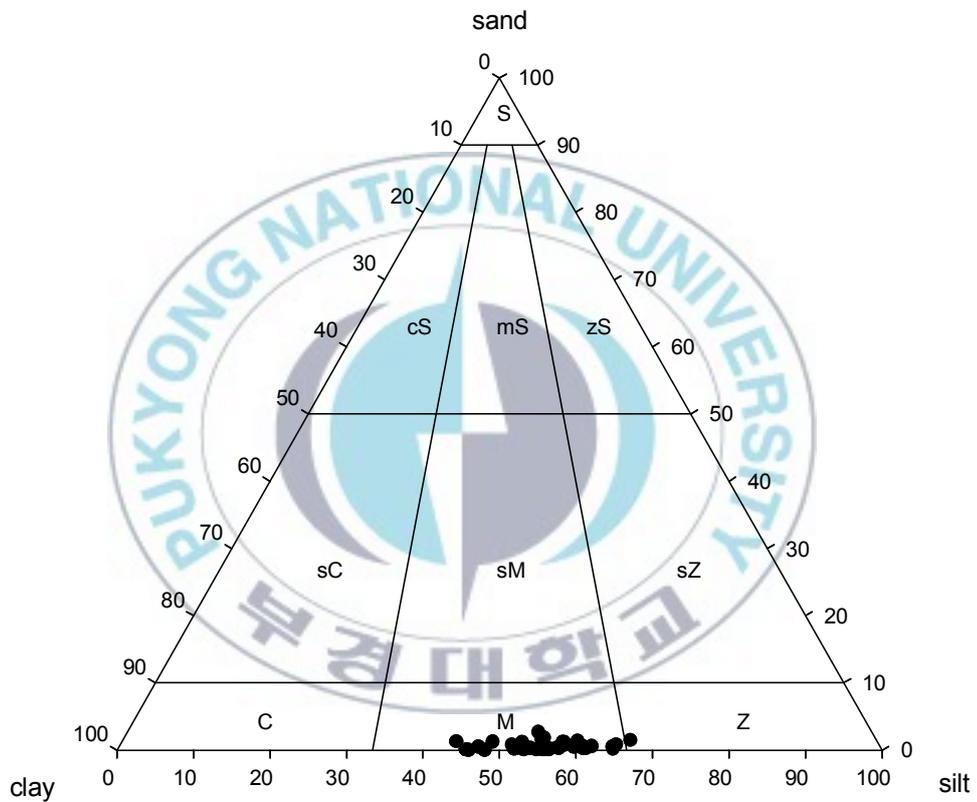


Fig. 2. Mean grain size and Water content of 44 surface sediment samples station in Gwangyang bay.

퇴적물의 Mz 분포는 현재의 퇴적환경을 잘 반영하는 주요 인자로서 퇴적물의 공급원 혹은 해수의 물리적 유동 즉, 기상변화에 따른 파랑 등 수리역학적 에너지의 변동에 의해 크게 좌우된다 (Lee et al., 2004). 광양만 표층 퇴적물 중 모래 (sand)는 0-11% (평균 0.84%), 실트 (silt)와 점토 (clay)는 각각 43-67% (평균 55.87%), 32-56% (평균 43.25%) 범위로서 실트와 점토의 함량에 비해 모래의 함량이 매우 낮았다.

따라서, Mz 분석결과를 기초로 한 광양만 표층 퇴적물의 퇴적상은 Folk (1968)의 분류법에 따라 크게 2개의 퇴적상으로 나뉘어 졌으며 St.15는 Silt로 그 나머지 정점들은 모두 Mud로 구분 되었다 (Fig. 3). 또한 평균 Mz는 7.23-8.85φ (평균 8.00φ) 범위로 Friedman과 Sanders (1978)의 입도 등급에 따르면 세립실트 (fine silt)에서 극세립실트 (very fine silt)에

해당하며, 모두  $7.2\Phi$  이상으로 지역별로 큰 차이를 보이지 않았다. 본 연구 지역과 같은 지역의 유사한 정점만을 고려한 Hyun et al. (2003b)의 논문에서 제시한 Mz의 평균 농도는  $7.78\Phi$ 로서 유사한 값을 나타내고 있다.



S:Sand, C:Clay, M:Mud, Z:silt cS:clayey Sand, mS:muddy Sand, zS:silty Sand  
 sC:sandy Clay, sM:sandy Mud, sZ:sandy Silt

Fig. 3. Ternary diagram with sand, silt, clay components shows sediment facies.

Mz에 대한 조직변수의 변화를 살펴보면 (Fig. 4), 분급도는 2.1-3.7 $\Phi$  범위였으며, 주로 2.1-3.0 $\Phi$  사이에 분포하였다. 이는 광양만 내 퇴적물이 매우 불량한 분급 (very poorly sorted)을 가지고 있고 매우 다양한 크기의 입자가 존재함을 의미한다. 또한 왜도는 St.43 지점만이 균형적인 왜도 (Symmetrical skewed)를 가지고, 그 외의 모든 지점이 0.08-0.51 범위로서 양성왜도 (positive skewed)와 강한 양성왜도 (Strongly positive skewed)를 가지나 대부분 0.2-0.3사이에 분포하여 양성왜도 (positive skewed)를 보였다. 첨도는 0.69-1.22 범위이나 주로 0.7-1.10의 범위이므로 중간 형태 (mesokurtic)와 완만한 형태 (Platykurtic)를 보였다. 이는 광양만 표층 퇴적물의 대부분의 시료에서 비교적 세립질 퇴적물이 집중적으로 분포하고 있음을 의미한다.

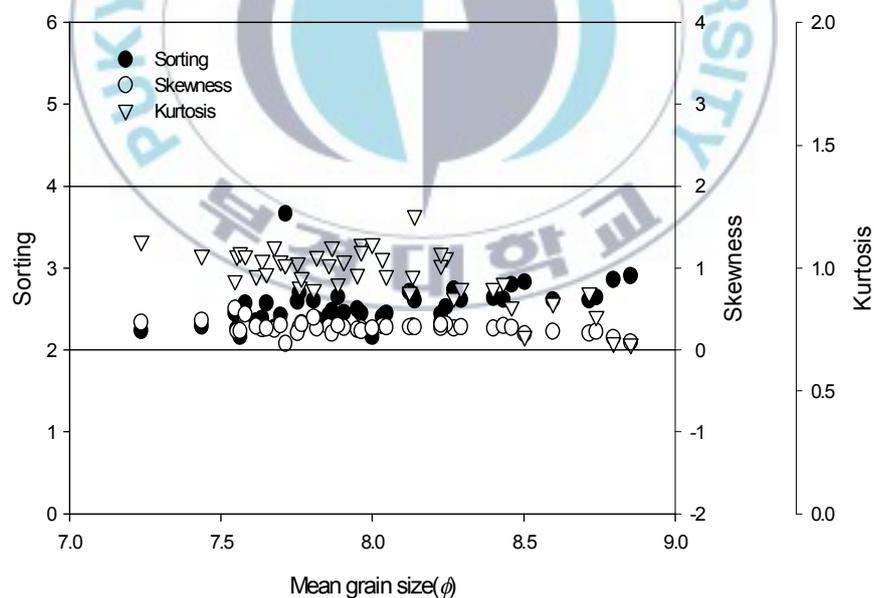


Fig. 4. Plots of Mean grain size versus sorting, skewness, kurtosis of surface sediment in Gwangyang Bay.

이러한 광양만의 퇴적물 분포는 조류의 세기에 크게 영향을 받는 것으로 (Choi et al., 2003a), 광양만 서측 지역은 북서방향의 조류가 유입된 후만 안에서 조류의 세기가 약화되어 세립질이 쌓이는 것으로 생각된다.

## 2. 표층 퇴적물의 유기물 함량 및 분포 특성

광양만 내 표층 퇴적물 중의 유기물 함량과 분포특성을 살펴보면 (Fig. 5), IL과 TOC, TN의 농도는 각각 4.3-9.4%, 0.7-2.0%, 0.09-0.24% 범위로, 평균 농도는 각각 7.05%, 1.39%, 0.16% 를 나타낸다. IL 농도는 St.6, St.22, St.38 에서 낮은 농도를 보이고 St.1, St.27에서 높은 농도를 보였고, TOC 농도는 St.37 에서 낮은 농도를 보이고, St.1 에서 높은 농도를 보였다. TN 농도는 St.34에서 가장 낮은 농도를 나타내고 St.31에서 가장 높은 농도를 나타낸다. TN은 유기물 침강과 플랑크톤의 사체, 간석지 생물의 배설물 및 사체들에서 유래되는 것으로, 이것이 바닥에 쌓여서 저질을 악화시키고, 다시 분해 세균에 의해 분해되어 다시 수중으로 용해되는 과정을 거치므로 양식장의 노후화는 물론 수질 오염을 예견할 수 있는 수단으로 이용되고 있다 (Yoon and Choi, 2006).

즉 대체적으로 POSCO와 묘도 사이의 St. 30, St. 31 에서 다소 높고, 여수반도와 묘도주변의 St. 34와 St.38 에서 낮은 농도를 나타내었다. 일반적으로 퇴적물 내 유기물 함량은 퇴적물의 Mz와 밀접한 관련이 있으며, 대체로 세립질 퇴적물 일수록 유기물의 함량이 높은 것으로 알려져 있다 (Cho et al., 1994b; Cho and Park, 1998; Hyun et al., 2003a). 그러나 연구 지역 내 표층 퇴적물 중 IL, TOC, TN의 함량은 퇴적물의 Mz와 뚜렷한

상관성을 보이지 않았으며 (각각  $R^2=0.0012$ ,  $R^2=0.061$ ,  $R^2=0.22$ ) 같은 Mz 내에서도 유기물 함량 차이가 크게 나타났다. 광양만에서 유기물과 Mz의 상관관계에 대하여 기존에 연구 (Hyun et al., 2003b)와 비교했을 때 연구 지역에서 시료 채취 지점이 서로 다르고 분석 시기가 다른 점 등 여러 가지 요인에 의해 분석 결과가 달라질 수도 있는 만큼 직접적인 비교 평가를 하기에는 다소 무리가 따른다. 이것으로 보아 이는 유기물 함량에 영향을 미치는 퇴적물의 Mz 이외의 다른 외부적인 요인에 의해 조절되는 것으로 보이며, 유기물의 농축은 퇴적물의 입도와 밀접한 관계를 가지고 있는 만큼 이러한 차이가 전체적인 입도의 크기가 대부분 같은 양상을 띄는 입도 자체의 영향일 수도 있다. 그러나 전체적으로 기존의 연구에 의한 농도 범위가 크게 차이가 나고 있지는 않다. 따라서 추가적이고 지속적인 조사에 의해 광양만의 퇴적물과 유기물 그리고 중금속의 축적 진행상황을 파악할 수 있을 것이다.

한편 연구 지역 내 TOC 평균농도는 광양만 지역에서도 본 논문에서의 지역과 유사한 지역의 정점만을 고려한 Hyun et al. (2003b) 이 제시한 TOC 농도 범위 (0.38-1.22%)와 비교 했을 때 좀 더 높은 범위를 나타내었고 평균 농도 (1.01%)도 더 높은 농도를 나타내었다. 또한 광양만과 비슷한 반 폐쇄성 지형을 가지는 영일만 (Um et al, 2003)의 평균농도 (0.73) 보다 높은 농도를 나타내었다. 또한 Yoon et al. (2006) 이 제시한 가막만에서의 TOC농도는 0.5-2.1 으로 광양만과 비슷한 범위를 나타내고 평균 농도 (1.0) 는 광양만과 비교하여 더 낮게 나타났다. 또한 광양만의 남측에 위치하고 있는 가막만은 Cho et al. (2007) 이 제시한 IL 농도 범위는 5.15-9.78% 이고 평균 농도는 7.36%로 2007년 광양만의 농도보다 더 높은 농도를 나타내었다.

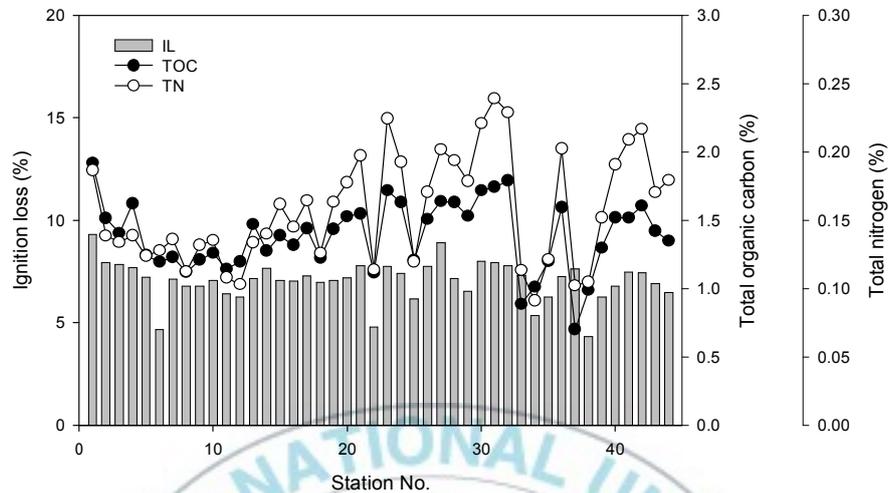


Fig. 5. The concentration of Ignition loss, Total organic carbon and total nitrogen in 44 surface sediment samples station in Gwangyang Bay.

저질의 화학적 산소요구량 (COD)은 수중의 유기물이나 저서생물에 의해 공급된 유기물량을 나타내는 것으로, 저질 중에 유기물질이 많아지면 산소 소비량이 증가하므로 오염의 지표로 중요하게 이용 된다 (Cho et al., 2007b). 연구 지역에서 COD는 10.18-41.9 mg O<sub>2</sub>/g.dry (평균 21.85 mg O<sub>2</sub>/g.dry) 범위였으며, St.35에서 가장 낮은 농도를 나타내고 St. 41에서 가장 높은 농도를 나타내었다. 또한 추계 광양만의 표층퇴적물에서 측정된 COD 농도의 변동 범위는 9.26-19.63 mg/g dry 으로 평균 15.54 mg/g dry (Lee et al, 2007) 로 조사 되었다. 이는 2005년 9월에 채취한 COD농도에 비해 높은 농도로 나타났다. 또한 가막만에서 Cho et al. (2007) 이 제시한 COD 농도범위 7.68-24.34 mg O<sub>2</sub>/g.dry와 평균농도 15.20 mg O<sub>2</sub>/g.dry 에

비교하면 광양만이 더 높은 농도를 나타내었다. 연구 지역 내에서 COD는 묘도우측 (St.35, St.38, St.39), 묘도 북측 (St. 29, St.31, St.32), 묘도 남측 (St. 33, St.34), 주변 육지로부터 떨어져 있는 묘도 좌측 (St.11, St.19, St.20, St.22)의 일부 정점을 제외하고 일본의 수산환경 퇴적물 기준치인 20 mg O<sub>2</sub>/g.dry 를 초과하였다.

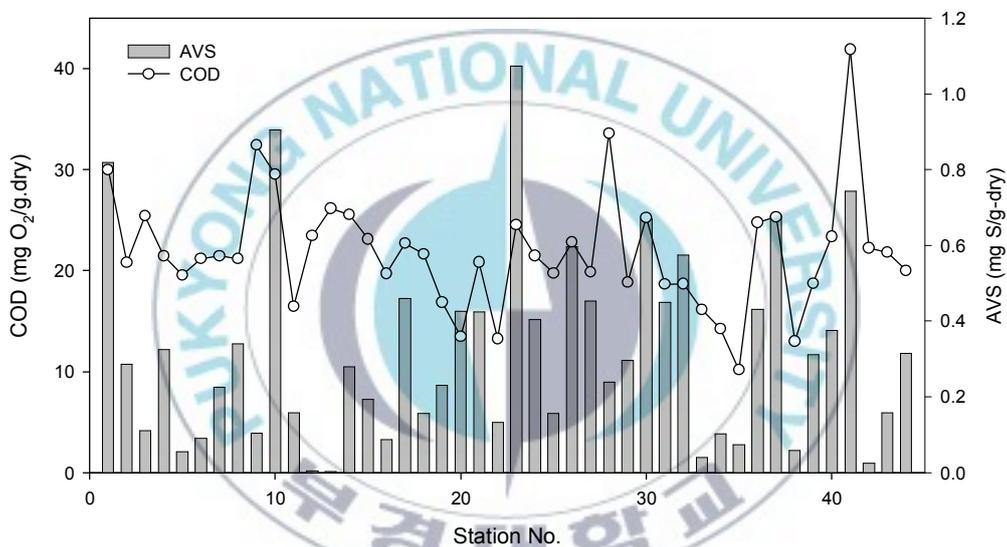


Fig. 6. The concentration of chemical oxygen demand and acid volatile sulfide in each station in the surface sediment of Gwangyang bay.

퇴적물 중에 AVS 함량은 저질 중의 유기물이 분해되는 과정을 거치면서 산소를 소비하여 저 산소 상태에 이르게 되면 황산염 환원세균의 증식에 의해 황화수소가 발생하여 저서생물에 악영향을 미치고 나아가 수질에도 영향을 미치게 된다 (Yoon and Choi, 2006). 특히 화학적 산소요구량의 농도가 20 mg O<sub>2</sub>/g.dry 이상을 넘어가게 되면 매우 빠른 속도로 황화물을

생성시킨다 (Yoon, 2000). 이를 나타내는 AVS는 퇴적물의 건강도를 평가하는 기준으로 자주 이용되고 있으며, 특히 천해 지역이나 어장 환경에서는 퇴적물 중 황화수소 함량이 저서 생물이나 어장 환경에 큰 영향을 미치기 때문에 중요한 화학적 지시자로 간주된다 (Yokoyama, 1995; 2000).

AVS (mg S/g-dry)는 0.002-1.074mg S/g-dry (0.319 mg S/g-dry)의 범위이며, St.13, St.12 지점에서 낮은 농도를 나타내고, St.23, St.10, St.1 지점에서 높은 농도를 나타내었다. 또한 주변지역인 가막만에서 Cho et al. (2007)이 제시한 AVS 농도범위 0.03-5.30 mg S/g-dry와 평균농도 1.76 mg S/g-dry과 비교하면 매우 낮은 농도를 나타내었다. 연구 지역 내에서 AVS는 울춘 산업단지주변의 일부 정점 (St.12, St.13)을 제외한 모든 정점에서 일본의 수산환경 퇴적물 기준치인 0.20 mg S/g-dry를 초과하였다. 퇴적물 중의 황화물의 농도가 높아지게 되면 퇴적물 내의 산소의 결핍을 의미하기 때문에 저층의 수질환경에도 나쁜 영향을 줄 뿐만 아니라 저서 생태계에도 영향을 줄 가능성이 있다 (Hyun et al, 2003b).

이러한 광양만의 표층 퇴적물 내 유기물 오염의 기원을 알아보기 위해 TOC에 대한 TN의 비 (C/N ratio)를 Fig. 7 에 나타내었다. 일반적으로 유기물 중 C/N ratio는 유기물의 특성과 기원을 지시하는 것으로 알려져 있다 (Hyun et al., 2004). 연안 해역에서 퇴적물 내 유기물의 주된 공급원으로는 육지로부터 유입되는 도시하수나 산업폐수 등의 유입과 해역 내 식물플랑크톤의 대량번식 및 폐사와 관련된 고형 유기물의 침강, 그리고 인근에 산재한 양식장으로부터 유출되는 생물기원 유기물 등이 있다 (Romankevich, 1984; Lim and Hong, 1994; Choi et al., 2005). 이 때 유기물 중 C/N ratio가 10 이상인 경우는 유기물이 인근의 육상으로부터 도시하수나 산업폐수를 통해 유입되었음을 의미하고, 이와 반대로 C/N ratio가 5-10정도의 값을 가질 경우, 해역 자체 내 생물체에 의해 생성된 해양 기

원성 유기물임을 의미한다 (Muller, 1977; Stein, 1991; Hyun et al., 2003b, 2004).

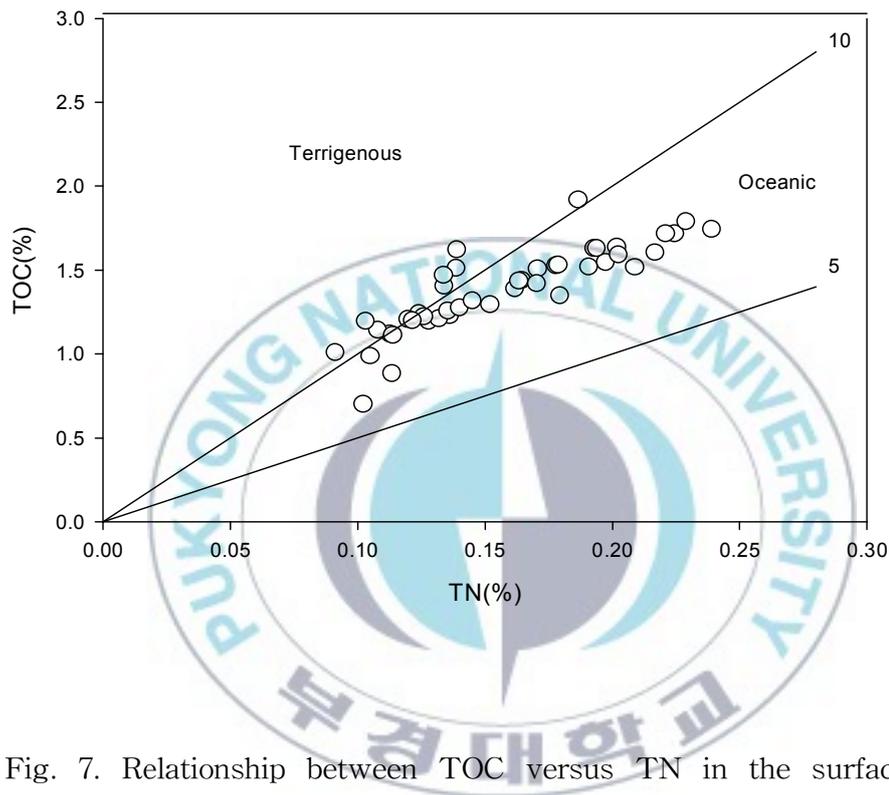


Fig. 7. Relationship between TOC versus TN in the surface sediment in Gwangyang Bay.

이를 고려하여 광양만 표층 퇴적물의 C/N ratio를 살펴보면 묘도 서쪽과 묘도와 여수반도 사이 지점은 C/N ratio가 10이상 (10.02-13.62)을 나타내었다. 이는 광양만 주변 육지로부터 광양천을 통해 유기물이 유입된 것으로 판단되며, 북측의 중앙부에 수어천과 섬진강이 유입되고 있고 (Cho et al., 2006), 광양만 주변 육지에서뿐만 아니라 강을 따라서도 육지의 도

시하수와 인근의 오염물질이 유입된 것으로 판단된다. 그 외의 지점인 묘도 우측은 강한 북동방향의 조류로 (Choi et al., 2003a) 인해 다른 지역에 비해 해수의 유입이 많으므로 해양으로부터 기원한 유기물이라 판단된다.

### 3. 표층 퇴적물의 금속원소 함량 및 분포 특성

#### 가. 표준물질 분석 신뢰성

본 연구의 중금속 분석의 정확도를 점검하기 위하여 실시한 표준 물질 (PACS-2)에 대한 분석 결과는 Table 1. 에 나타내었다. 퇴적물 분석법에 대한 PACS-2의 분석결과 각 금속의 회수율은 전반적으로 만족스런 결과였으며, 본 연구의 금속 분석 방법 및 시료의 분석 결과는 신뢰할 수 있는 것으로 판단된다.

Table 1. Analytical results of metal in the SRM (PACS-2)

Element	Certified value	Measured value (Mean±ISD)	Recovery (%)	N
Al (%)	6.62±0.32	6.60±0.16	99.7	3
Fe (%)	4.09±0.06	3.81±0.16	93.2	3
Mn (mg/kg)	440±19	426±17	96.9	3
Zn (mg/kg)	364±23	376±10	103.2	3
Pb (mg/kg)	183±8	182±2	99.6	3
Cu (mg/kg)	310±12	297±2	96.0	3
Cr (mg/kg)	90.7±4.6	90.1±3.2	99.4	3
Ni (mg/kg)	39.5±2.3	41.7±0.99	105.6	3
As (mg/kg)	26.2±1.5	27.2±1.5	103.9	3
Cd (mg/kg)	2.11±0.15	2.03±0.06	96.4	3
Co (mg/kg)	11.5±0.3	11.0±0.4	96.0	3

#### 나. 표층퇴적물의 금속원소 함량

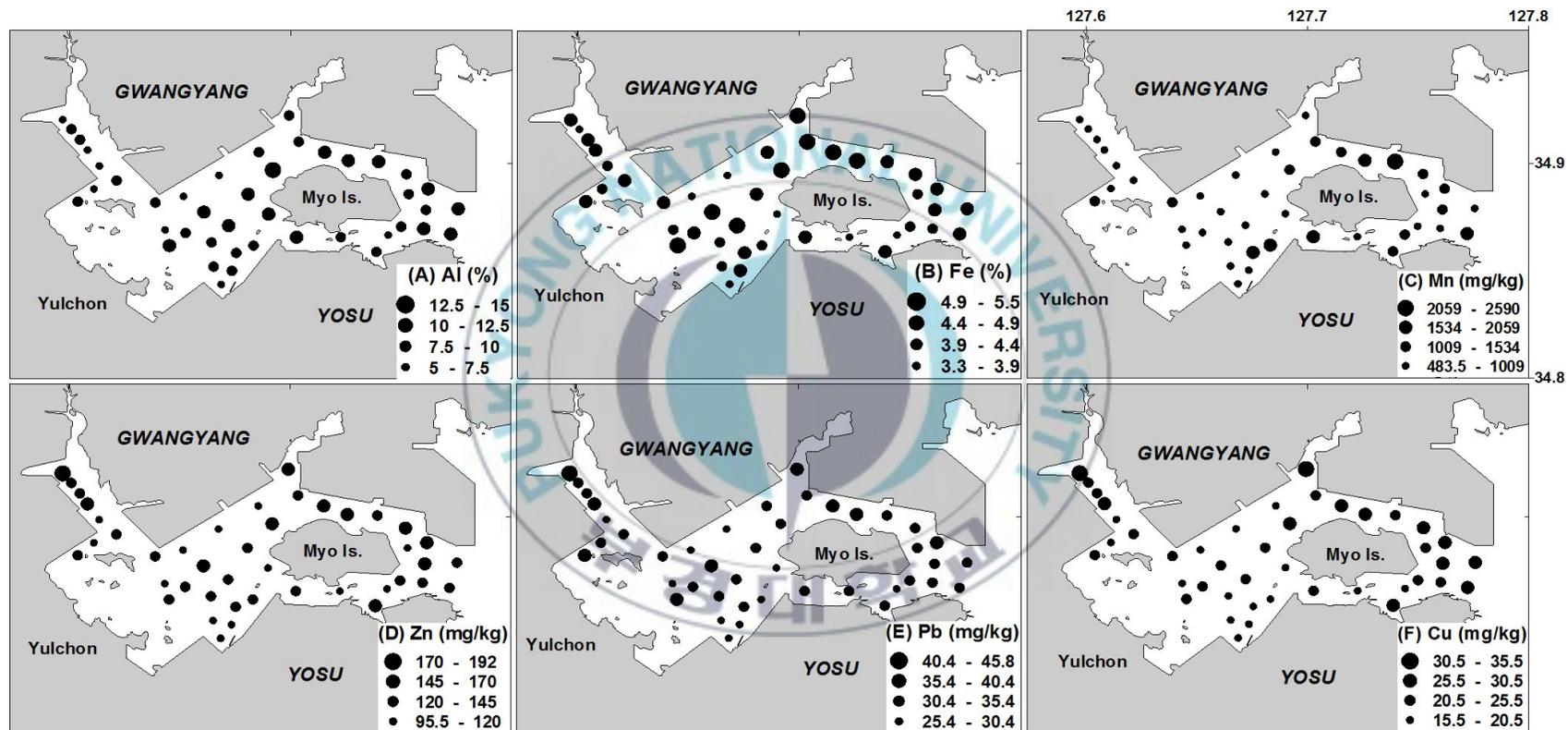
광양만 내 표층 퇴적물 중 금속원소의 농도와 분포 특성을 알아보기 위하여 각 정점별로 금속원소의 농도를 Fig. 8 에 나타내었다.

광양만 내 표층 퇴적물에서 Al의 농도는 6.07-14.1% (평균 9.27±1.76%) 의 범위로, Cho, et al.. (2000) 에 의해 광양만에서 여수해만에 걸쳐 조사된 Al의 농도인 8.2% 와 비교하여 큰 차이를 보이지 않았고 광양만 내의 St. 26을 제외하고는 9%내외로 비슷한 양상을 보였다. Al은 암석 중에 높은 농도로 존재하는 원소들 중의 하나로, 풍화되거나 혹은 풍화된 퇴적물들이 운반되는 중에 농도의 변화가 낮고, 대부분 고체 상태로 운반되는 것으로 보고된 바 있다 (Martin and Meybeck, 1979).

Fe의 농도는 3.34-5.45 % (평균 4.46±0.5%) 의 범위로 Al 과 같이 St.26을 제외하고는 거의 모든 지역에서 4% 내외의 비슷한 농도를 나타내

었다. Mn의 농도는 484-2584 mg/kg (평균 1041 mg/kg) 의 농도 범위로 나타났으며, St. 31의 POSCO 남쪽 지점에서 가장 높은 농도로 나타났다. Mn와 Cd의 지구화학적 거동에 영향을 주는 요인으로 산화환원 과정, 용해 평형, 착화합물 형성, 흡착 등이 있으며 특히 산화환원과정은 산화환원에 민감한 원소 (redox-sensitive) 에 대해 용존 상태의 농도를 결정하는 가장 중요한 요인이다 (Choi et al. 2007). Mn와 Cd은 산화환원에 민감한 원소로 알려져 있으며 (Carvert and Pedersen 1993; Morford et al. 2001), 해양 퇴적물 내에서는 탄산 칼슘과 반응한  $MnCO_3$ 의 형태로 흡착되고 조절된다 (Fang and Hong, 1999).

또한 Zn, Pb, Cu의 농도 변화는 각각 95.6-192 mg/kg (평균  $132 \pm 18.6$  mg/kg), 25.4-45.8 mg/kg (평균  $32.9 \pm 4.04$  mg/kg), 16.2-35.3 mg/kg (평균  $22.7 \pm 4.11$  mg/kg) 이다. Zn의 농도는 인근의 광양천이 유입되는 지점인 St. 1에서 가장 높은 농도를 나타내고 있으며, Pb과 Cu의 농도도 Zn과 같이 St. 1에서 가장 높은 농도를 나타내었다. Cr의 농도는 61.1-114 mg/kg (평균  $79.8 \pm 10.7$  mg/kg) 의 범위로 St. 6 지점에서 가장 높은 농도를 나타내고 있으며, Ni의 농도는 2.04-27.0 mg/kg (평균  $11.4 \pm 5.95$  mg/kg) 으로 광양천이 유입되는 St.1.지점이 가장 높다. As의 농도는 5.34-16.4 mg/kg (평균  $8.76 \pm 2.28$  mg/kg)의 범위로 St.4와 St.1 지점에서 가장 높게 나타났다. Cd와 Co의 농도는 각각 0.053-0.36 mg/kg (평균  $0.12 \pm 0.05$  mg/kg), 10.4-16.5 mg/kg (평균  $14.0 \pm 1.6$  mg/kg)의 범위로 St. 1지점에서 가장 높게 나타났다. Cu, Pb, Zn 금속원소는 광양만 내의 전체적인 농도 함량을 보았을 때 St. 1과 POSCO 남쪽과 묘도 사이에서 비교적 높은 농도함량을 가져 비슷한 양상을 띄었고, Ni, As 금속원소는 광양천이 유입되는 St. 1 지점에서 높은 농도를 가지는 양상을 보였다.



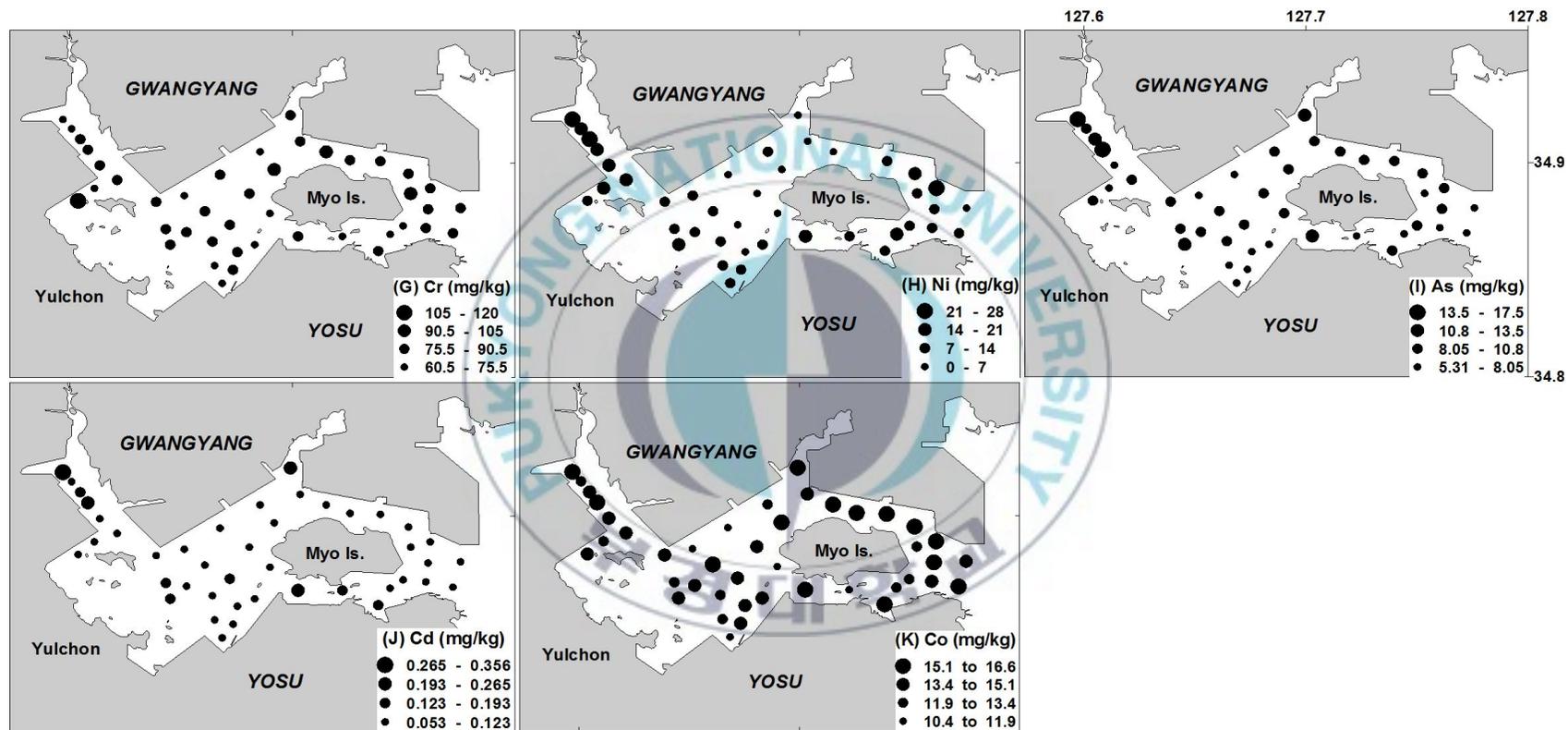


Fig. 8. Horizontal distributions of metal elements for Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Co, As, Zn, Fe, Al, Mn in the surface sediments of the Gwangyang Bay.

Table 2. Comparison of average metal concentration between Gwangyang Bay and other polluted bays or areas in surface sediment.

Area	Mz (φ)	Metals(%)		Metals(mg/kg)									Reference
		Al	Fe	Mn	Zn	Pb	Cr	Cu	Ni	As	Cd	Co	
Jinhae Bay	-	8.7	-	-	140	34	-	27	32	15	0.82	-	Kim et al. (2008a)
Gadeog Channel	7.7	8.3	3.8	781	142	36	75	27	34	-	0.79	-	Woo et al. (2007)
Suyeong Bay	-	-	2.5	414	125	42	-	32	33	-	1.39	-	Yang and Kim, (1994)
Southwestern coast	-	-	2.8	480	86	33	67	19	37	-	-	19	Jeon and Cho, 2002
Masan Bay	7.2	6.4	4.5	716	321	74	79	73	17	11	1.4	-	Hwang et al. (2006)
Nakdong estuary	4.2	6.4	1.9	320	31	27	17	9.4	14	-	-	15	Kim et al. (2000)
Gwangyang Bay	7.1	6.2	3.3	812	86	28	51	18	24	-	-	11	Hyun et al. (2003b)
Gwangyang Bay	-	-	-	-	79	27	49	18	27	6.7	0.10	14	Cho et al. (2007a)
Gwangyang Bay	8.0	9.3	4.5	1041	132	33	80	23	11	8.8	0.12	14.	This study

#### 4. 퇴적물의 입도와 유기물, 중금속의 관계

금속원소의 농도는 광물 특성외에도 환경에 따라서는 자생광물 혹은 생물기원 물질, 그리고 인위적인 요인에 의해서도 큰 영향을 받을 수 있다 (Cho et al., 2001; Hyun et al., 2003b).

일반적으로, 연안해역의 퇴적물 중 금속원소의 농도는 주로 퇴적물의 물리적인 인자인 Mz와 쇄설성 광물질 즉 광물 특성 (Cho et al., 2001; Hyun et al., 2003b) 의 영향을 크게 받는 것으로 알려져 있다 (Cho and Park, 1998; Cho et al., 1994b; Choi et al., 1999). 특히 Mz가 세립할수록 표면적이 넓어져 금속원소의 흡착능력이 더욱 뛰어나게 된다 (Horowitz, 1991). 대부분의 금속원소들은 퇴적물의 입도 및 유기물과 강한 상관성을 보인다 (Hyun et al., 2003b). 본 연구에서는 퇴적물의 입도와 유기물, 그리고 금속원소들의 농도 간에 상관성을 평가하기 위하여 통계분석을 실시하였다. 통계분석은 SPSS 12.0 version 으로 수행하였으며, 변수들 간의 상관분석결과를 Table 3. 에 나타내었다.

일반적으로 상관 분석에서 상관계수가 높은 원소들은 대체로 그 연구 지역의 지화학적 특성이나 환경 내에서의 거동 방식 등에서 서로 밀접한 관련성을 가진다 (Harman, 1967; Summmerhayes, 1972). 각 인자들 간의 상관성을 보면 Mz는 금속원소 Ni ( $r=-0.405$ ), Mn ( $0.415$ ), Al ( $0.377$ ) 등과 상관관계를 가지고 있고, 입도특성 인자 중 silt, clay는 금속원소 Ni ( $r=0.371$ ,  $r=-0.346$ ), Mn ( $r=-0.328$ ,  $r=0.364$ ), Al ( $r=-0.372$ ,  $r=0.337$ ) 등 과 상관관계를 가진다. 이 외의 대부분의 금속원소들이 입도와 무상관이거나 약한 상관을 보이는 것으로 나타났다. 금속 원소들 간의 상관관계를 살펴 보면 Cu는 Cd, Pb, Co, As, Zn, Fe 와 0.50이상의 상관관계를 가지고 있으

며, Cd은 Pb, As, Zn 와 0.6이상의 상관관계를 가진다. Pb은 Cr, Co, As, Zn, Fe 와 0.5이상의 상관관계를 가지며, Cr은 Co, Fe 와 0.59이상의 상관관계를 가진다. Ni은 Al과 0.591의 음의 상관관계를 가진다. Co는 As와 0.5이상의 상관관계를 가지고, Zn, Fe와 0.8이상의 높은 상관관계를 가진다. As는 Zn과 0.65이상의 상관관계를 가지며, Zn은 Fe 와 0.7이상의 상관관계를 가진다. Fe은 Al과 0.6이상의 상관관계에 있으며, 친철원소(Siderophile element)로 알려진 Co, Ni 등 (Hyun et al., 2003) 중 본 논문에서 Co는 Fe 와 0.8이상의 상관관계를 가지는 것으로 분석된다.



Table. 3. Correlations (Pearson's linear coefficient, r) between each heavy metals and Mz, silt, clay.

	Mz	silt	clay	Cu	Cd	Pb	Cr	Ni	Mn	Co	As	Zn	Fe	Al	TOC	TN	IL
Mz	1																
silt	-.893(**)	1															
clay	.969(*)	-.943(**)	1														
Cu	0.15	-0.197	0.156	1													
Cd	-0.135	0.115	-0.098	.620(*)	1												
Pb	-0.02	-0.03	-0.004	.831(*)	.639(*)	1											
Cr	0.227	-0.251	0.239	.393(*)	-0.053	.507(*)	1										
Ni	-.405(**)	.371(*)	-.346(*)	0.193	.377(*)	0.183	-0.148	1									
Mn	.415(*)	-.328	.364(*)	0.256	-0.12	0.112	0.237	-0.20	1								

	*)	*)	)		7			7									
Co	0.169	-0.235	0.206	.815(* *)	.376(* )	.746(* *)	.591(* *)	0.101	.465(* *)	1							
As	-0.182	0.154	-0.129	.672(* *)	.805(* *)	.694(* *)	0.162	.413(* *)	-0.082	.526(* *)	1						
Zn	0.12	-0.178	0.143	.944(* *)	.602(* *)	.866(* *)	.414(* *)	0.142	.323(* )	.867(* *)	.659(* *)	1					
Fe	0.164	-0.22	0.203	.634(* *)	0.21	.681(* *)	.634(* *)	-0.257	.301(* )	.824(* *)	.444(* *)	.740(* *)	1				
Al	.377(* )	-.372(* *)	.337(* )	0.247	-0.192	0.284	.361(* )	-.591(* **)	.459(* *)	.472(* *)	-0.033	.346(* )	.652(* *)	1			
TOC	0.247	-0.254	0.245	.508(* *)	0.186	.331(* )	0.008	-0.079	0.276	.304(* )	.316(* )	.511(* *)	.340(* )	0.219	1		
TN	.469(* *)	-.455(* **)	.436(* *)	.493(* *)	-0.007	0.282	0.12	-0.262	.571(* *)	.403(* *)	0.09	.504(* *)	.371(* )	.443(* *)	.866(* *)	1	
IL	0.035	-0.068	0.068	.584(* *)	.390(* *)	.315(* )	-0.24	0.149	.323(* )	.486(* *)	.458(* *)	.627(* *)	.385(* *)	0.174	.614(* *)	.562(* *)	1

\*\* 상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의합니다.

\* 상관계수는 0.05 수준(양쪽)에서 유의합니다.

## 5. 표층 퇴적물 내 금속원소의 오염평가

### 가. Adverse Biological Effects의 평가

퇴적물에 함유되어 있는 중금속의 농도가 수생생물에게 미치는 위해성에 대하여 Long et al. (1995)와 미국 NOAA (1991)에서 제시한 평가 기준에 따라 Effect range-low (ERL)와 Effect range-median (ERM) 으로 구분하여 평가하는 방법이다. ERL은 통계적으로 저서 생물에게 약 10%의 악영향을 미치는 농도의 기준이며, ERM은 저서생물에게 약 50%의 악영향을 미칠 수 있는 기준이다.

Table 4. ERL and ERM guideline values of the trace metals (ppm, dry wet) and percent incidence of biological effect concentration ranges defined by the two values.

element	Guidelines		Percent (ratios) incidence of effects		
	ERL	ERM	<ERL	ERL-ERM	>ERM
Cu	34.0	270.0	9.4	29.1	83.7
Pb	46.7	218.0	8.0	35.8	90.2
Cr	81.0	370.0	2.9	21.1	95.0
Ni	20.9	51.6	1.9	16.7	16.9
As	8.2	70.0	5.0	11.1	63.0
Zn	150.0	410.0	6.1	47.0	69.8

\*Long et al. 1995

\*\*Numbers of data entries within each concentration range in which biological effects were observed divided by the total number of entries within each range.

본 논문의 광양만 표층 퇴적물에서 퇴적물의 금속 농도 (Cu, Pb, Cr, Ni, As, Zn)를 살펴보면 Cu는 St.1을 제외하고 ERL을 넘지 않았으며, Cd와 Pb은 모든 정점에서 ERL을 넘지 않았다. Cr은 St.6과 St.38에서 좀 더 높은 농도를 나타내고 있으며, Ni은 St.1, St.3, St.40을 제외하고 ERL기준을 넘지 않았다. As는 광양군과 순천시 사이의 광양천이 광양만으로 유입되는 지점에서 다소 높게 나타났다. Zn은 St.1, St.4, St.27, St.29, St.37 지점에서 기준농도 ERL을 넘는 것으로 나타났으며, 대체적으로 광양천이 유입되는 지점과 POSCO 주변 해역, 여수반도와 묘도 사이 해역에서 높게 나타났다.



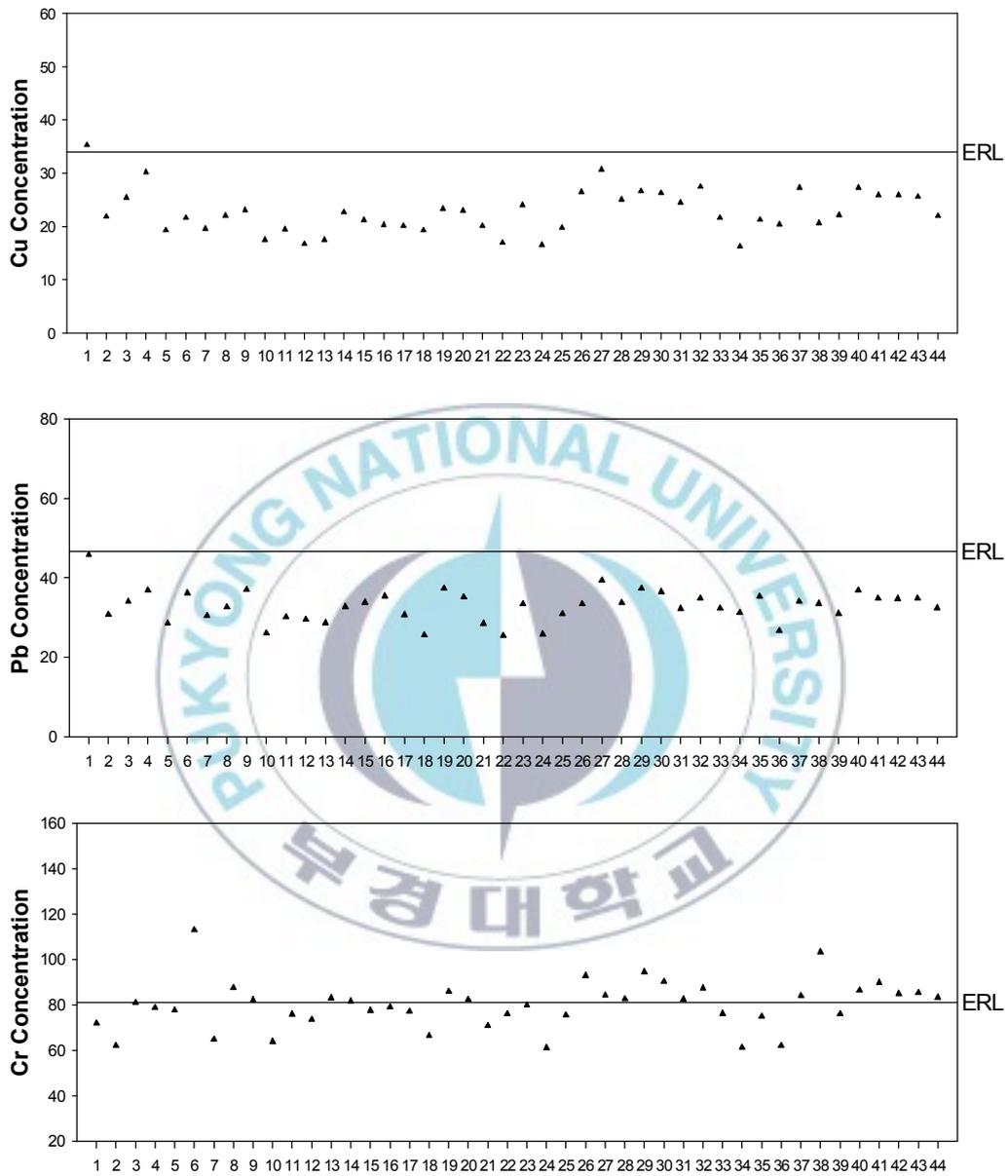


Fig. 9. 계속

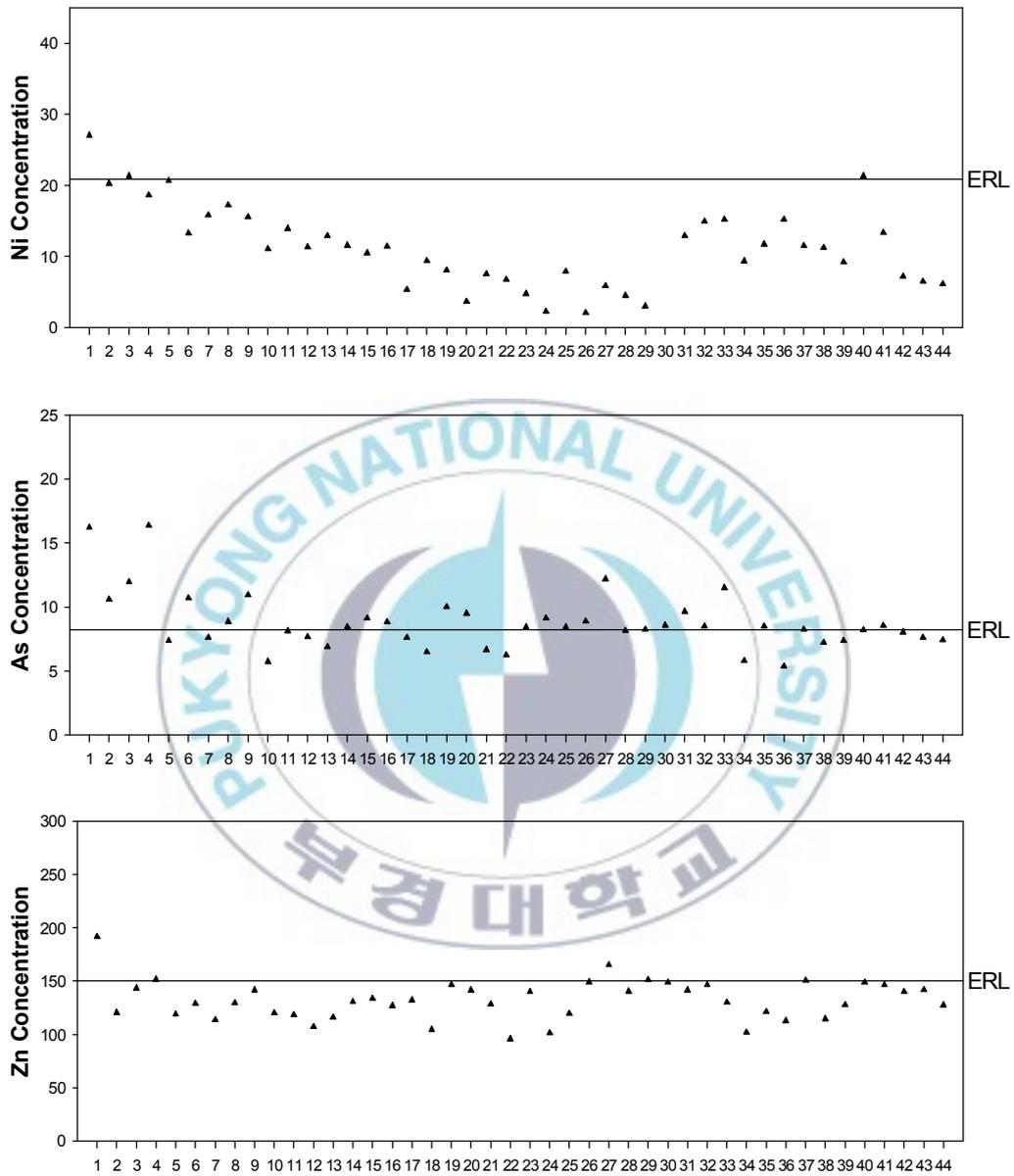


Fig. 9. Distribution of Cu, Pb, Cr, Ni, As, Zn in surface sediment sample stations of the Gwangyang Bay (ppm, dry wet.). Lines mark the LEL (ERL) and SEL (ERM) guideline values (NOAA, 1998; Long et al, 1995).

## 나. enrichment factor (EF)의 평가

해양 퇴적물 중의 중금속은 다양한 기반암의 풍화, 탄산염 함량, 입도, 유기물 함량 등과 같은 인위적인 영향을 포함하고 있다 (Calvert, 1976). 일부 중금속이나 유기물 함량은 퇴적물입자와 강한 상관관계를 가지고 있으며 또한 유기물이나 무기물은 수계 내에서 침강하는 과정에서 강한 상관을 가진다 (Cho et al., 1994b; Cho et al., 2000). 퇴적물의 인위적인 중금속 오염 정도를 파악하는데 다양한 방법이 있지만 그 지역의 오염되지 않은 자연적인 농도 (natural background concentration)와 비교하는 퇴적물 배경농도 접근법 (Sediment background approach)이 유용하게 활용된다 (Kim et al., 2001). 이 방법은 중금속 분포에 가장 큰 영향인자인 입도나 유기물량에 대해 정확하게 보정 (Normalization) 해야 한다. 그러나 입도 분석은 시간 및 비용면에서의 단점을 가지고 있으므로 보존성이 강한 Al, Fe, Li, Sc 등을 함께 측정하여 입도 보정에 활용하기도 한다 (Schropp et al., 1990; Qu et al., 1993; Schiff and Weisberg, 1999). 보존성 기준 원소에 대한 다른 원소들의 상대적인 농축정도를 파악하는데 지각 기원일 경우는 Al, Fe, Sc 원소를 기준원소로 사용하고, 해염입자의 경우에는 Na 원소 등을 기준원소로 사용한다 (Qu et al., 1993; Choi et al., 1989). 한편 Hwang et al. (2006)와 Hyun et al. (2007)은 오염 해역으로 본 연구 해역과 같은 특별관리 해역인 마산만에서 표층 퇴적물에 대한 중금속 오염 평가에서 보정 원소로 Al을 이용하여 오염도를 평가한 바 있다. 이 때 기준 원소로 사용된 Al은 입도의 특성을 잘 반영하는 중금속 함량의 normalize에 가장 적합한 원소이다 (Schropp et al., 1990). 또한 Al은 대부분이 퇴적물 내에서 안정성이 높은 광물 격자에 많이 포함되어 있으며 퇴적물에 % 단위로 존재하는 주요 원소이기 때문에 일반적인 중금속 오염과 크게 상관

이 없는 것으로 여겨진다 (Kim et al., 2008a). 또한 어떤 원소가 농축되었는지 그렇지 않은지를 판단하기 위해서는 오염되지 않았다고 생각되는 배경농도를 기준으로 평균화하는 과정이 필요하다 (Hyun et al, 2003b). 본 연구에서는 퇴적물의 평균 함량 (mean sediment value)를 기준으로 해서 농축계수 (enrichment factor)를 조사하였다 (Forstner and Wittmann, 1981). Al을 기준원소로 할 경우 농축계수는 식 (1)과 같이 표현하며, 일반적으로 이 값이 1에 가까울 수록 오염이 되지 않은 자연적인 농도임을 의미하고 1이 넘으면 대기나 하천 등을 통해 각 원소의 유입이 있고 퇴적물 내에 상당히 농축되는 등 (Hwang et al., 2006) 인위적인 영향이 작용하는 것으로 판단한다.

$$EF = \frac{M_s / Al_s}{M_d / Al_c} \quad (1)$$

이 (1)식에서 EF는 원소 M의 농축계수,  $M_s$ 는 시료중의 대상원소 함량,  $Al_s$ 는 시료중의 Al함량,  $M_c$ 는 지각중의 대상 원소 함량,  $Al_c$ 는 지각중의 Al함량이다. 이 연구에서 지각 물질 중 각 금속원소의 평균농도비는 Taylor and McLennan (1995)가 제시한 원소의 평균농도를 이용하였다. 본 연구에서는 Al을 제외한 총 10개의 금속원소 (Cu, Cd, Pb, Cr, Ni, Mn, Co, As, Zn, Fe)에 대해 각각의 EF를 계산하였다.

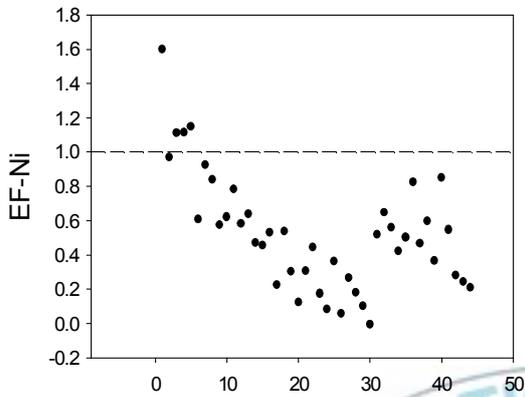
Table 5. Mean value of the enrichment factors (EF) for selected metals in surface sediments of the Gwangyang bay.

Element	Cu	Cd	Pb	Cr	Ni	Mn	Co	As	Zn	Fe
Max.	1.68	4.29	2.71	3.15	1.60	3.45	1.96	13.07	3.20	1.57
Min.	0.50	0.40	0.96	1.31	-0.006	0.90	0.79	3.36	1.07	0.83
Average	0.81	1.10	1.47	2.03	0.53	1.50	1.24	5.26	1.66	1.13

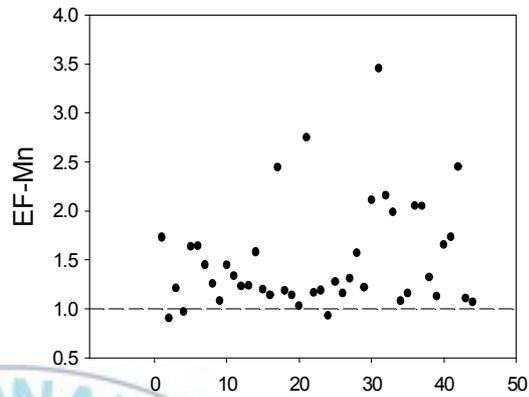
자연적인 중금속 농축정도에 대한 인위적인 중금속의 농축 정도를 판단하는 농축계수의 경우 평균적으로 봤을 때 1이하의 농축 계수를 가지는 Cu, Ni의 경우에는 인위적인 영향이 거의 없고 일부지점에서만 1을 넘었으며, Cu의 경우 St.1, St.3, St.4, St.27 지점에서, Ni의 경우 St.1, St.2, St.3, St.4, St.5 지점에서 1보다 높은 값을 가져 인위적인 영향을 받았음을 알 수 있었다. Cd, Pb, As, Zn, Fe을 포함하여, 광양천이 흘러나오는 정점 St.1에서 높게 나타나는 경향을 보였다.

Table 6. Classification of EF value (Birth, 2003) of the metal elements in the sediment.

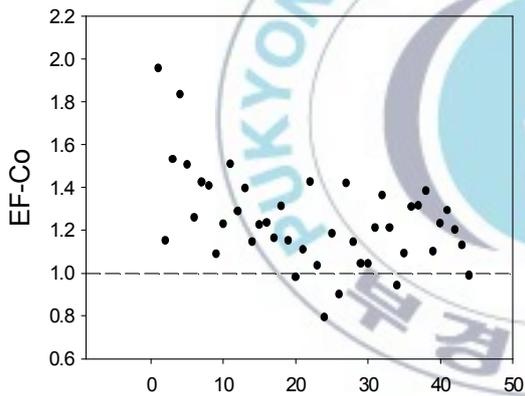
EF range	Designation of enrichment level
<1	no enrichment
1-3	minor enrichment
3-5	moderate enrichment
5-10	moderately severe enrichment
10-25	severe enrichment
25-50	very severe enrichment
>50	extremely severe enrichment



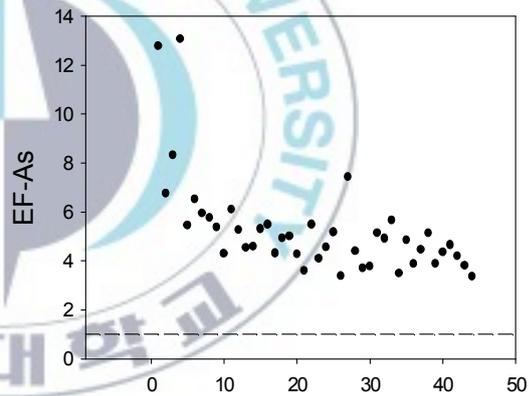
Station No.



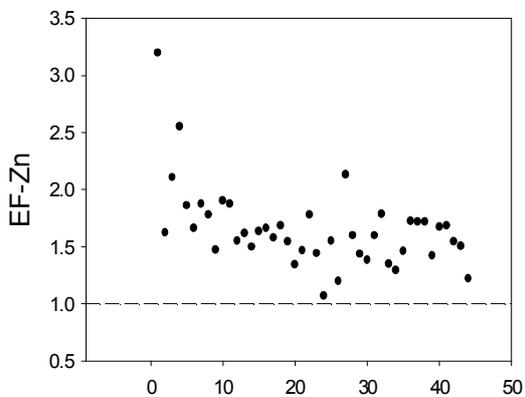
Station No.



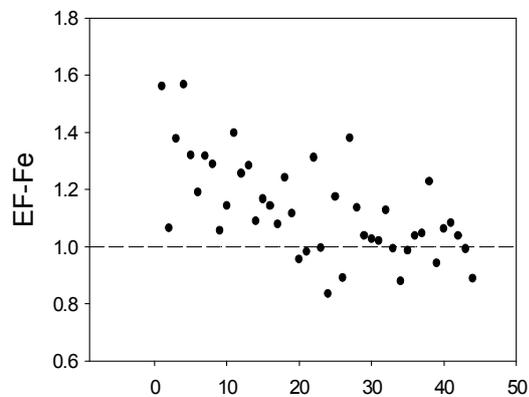
Station No.



Station No.



Station No.



Station No.

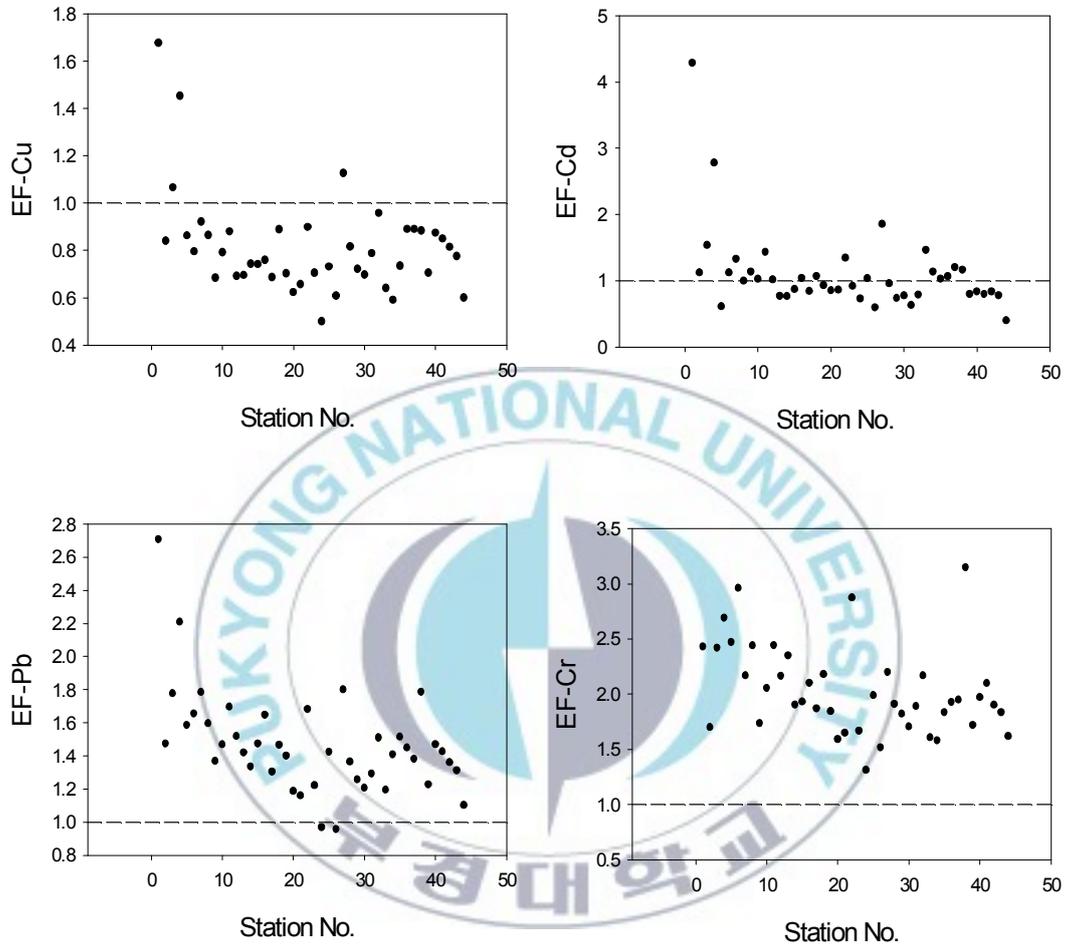


Fig. 10. Enrichment factors of 10 (Cu, Cd, Pb, Cr, Ni, Mn, Co, As, Zn, Fe) elements. Horizontal dotted lines indicate 1 in enrichment factor.

농축계수는 지각 평균에 대하여 연구한 금속을 Birth (2003)에 의해 제한됨으로서 설명되었다. 농축계수에 근거하여 주요 금속원소에 대한 공간

분포를 살펴보면 Mn을 제외한 대부분의 금속원소가 광양천이 유입되는 지점에서 인위적인 영향을 많이 받은 것으로 나타났다. 또한 Ni, Cd, Cu를 제외한 대부분의 금속들이 광양만 내에 거의 모든 지점에서 1보다 높은 농축계수를 나타내었다. Hyun et al. (2003b)이 제시한 광양만의 금속의 농축계수 경향과 비교해 보면 전체적으로 농축계수가 더 높아진 것을 알 수 있고, 이것으로 보아 인위적인 영향에 의한 오염이 진행된 것으로 판단된다.

#### 다. Igeo의 평가

광양만의 표층퇴적물의 금속원소에 대한 농축정도와 함께 퇴적물에 함유된 금속함량을 오염되지 않은 금속 함량과 비교하여 금속원소의 오염을 정량적으로 평가하는 방법으로 광양만 내의 지질 특성을 반영하여 오염을 평가할 수 있는 Igeo를 계산하였다 (Müller, 1979; Hyun et al., 2003b). 농집지수 (Igeo)는 주로 퇴적물의 오염평가에 사용되고, 퇴적물의 오염정도를 평가하기 위해 최근에 널리 이용되고 있는 방법으로 식 (2)를 이용하여 계산된다.

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{B_n \times 1.5} \quad (2)$$

여기서  $C_n$  은 분석된 금속원소의 농도를,  $B_n$  은 금속원소의 배경 값 (background or reference)을 나타낸다. 일반적으로 퇴적물 내 금속원소의 농도는 입자의 크기가 세립할수록 높아지기 때문에 그 지역의 Mz를 고려하여 오염지수를 평가하는 경우에는 다음의 (3)식을 이용하기도 한다 (Lee et al., 2004).

$$I_{\text{geo}} = \log_2 \frac{C_n}{B_n \times 1.5 \times Mz} \quad (3)$$

식 (3)에서 Mz 는 연구지역의 Mz와 배경지역의 Mz비를 나타낸다. 일반적으로 금속원소의 배경 값은 지각물질의 평균농도를 사용하며 (Martin and Whitefield, 1983; Jeon and Cho, 2002), 혹은 해당 연구지역에서 오염원의 영향을 가장 적게 받는 지역의 농도 값 혹은 가장 낮은 농도의 값을 사용하는 경우도 있다 (Sahu and Bhosale, 1991; Hyun et al., 2003b).

본 논문에서는 연구 지역 내 Mz의 변화가 적고, Mz에 의한 영향을 미치지 않도록 하기 위해 모든 정점의 퇴적물 입자의 크기를  $63\mu\text{m}$ 이하로 분리하여 금속원소의 농도를 분석하였으므로 방정식 (2)를 이용하였다. 여기서 배경 값으로 사용된 것은 EF에서와 같이 Taylor and McLennan (1995)가 제시한 지각 물질 중 각 금속원소의 평균 농도값을 사용하였다. 식 (2)를 이용하여 구한 Igeo값은 값에 따라 7등급으로 구분되며 (Jeon and Cho, 2002; Hyun et al., 2003b; Lee et al., 2004) 이는 Table 6 와 같다.

Table 7. Classification of geoaccumulation index (Muller, 1979) of the metal elements in the sediment.

Igeo	Igeo class	Designation of sediment quality
>5	6	very strongly polluted
4-5	5	strongly/very strongly 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

본 연구에서는 EF에서 살펴본 총 10개의 금속원소 (Cu, Cd, Pb, Cr, Ni, Mn, Co, As, Zn, Fe) 에 대하여 각각의 Igeo값을 계산하였다.

Cr과 Mn, Fe을 제외한 대부분의 금속원소가 다른 지역에 비해 광양천이 유입되는 지점에서 높은 Igeo 값을 나타내고 있다. Ni은 모든 정점에서 낮은 농도를 보였으며, St. 30에서는 농도값이 탐지되지 않았고, 묘도를 기준으로 하여, 서쪽에서 동쪽으로 나올수록 농도 값이 점차 감소하는 형태를 나타내고 있으며 묘도에서 외만으로 나올수록 농도가 낮아지는 형태를 보이고 있다. 본 연구 지역에서 광양만 내에 분포하는 금속원소들을 Igeo class로 분류하여 나타내었다.

Table 8. Number of each Igeo-class for the concentrations of 10 metal elements in the surface sediment of Gwangyang Bay.

Igeo class	Igeo									
	Cu	Cd	Pb	Cr	Ni	Mn	Co	As	Zn	Fe
6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0
2	0	1	0	1	0	4	0	31	0	0
1	0	4	35	43	0	16	14	0	40	41
0	0	39	9	0	44	24	30	0	4	3

위의 결과를 살펴보면 광양만에서 Cd, Pb, Co, Zn, Fe은 대부분의 정점에서 오염되지 않은 수준 (practically unpolluted/ moderately polluted) 인 것으로 나타났으며, Ni의 경우에는 모든 정점에서 오염되지 않은 것으로 (Practically unpolluted) 나타났다. 하지만 Cd의 경우 광양천이 유입되는 지점 St.1에서 Igeo class가 2를 나타내고, Cr은 St.6에서 Igeo class 가 2를 나타내고 있어 약간 오염된 수준 (Moderately polluted)으로 나타났다. Mn은 St.21, St.30, St.31, St. 42에서 Igeo class 가 2를 나타내어 묘도와 POSCO 사이의 해역과 묘도 서쪽에서 약간 오염된 수준으로 나타났다. 특히 Cu와 As 의 경우 다른 금속들에 비해 오염정도가 높게 나타났다. Cu는 St.1에서 Igeo class가 6을 나타내어 오염 수준이 매우 심하게 (very strongly polluted)나타났고, 그 외의 다른 모든 정점에서 Igeo class가 5로 심하게 오염된 (strongly/ very strongly polluted)것으로 나타나, 금속원소 중 Cu가 광양만내에서도 가장 오염이 심한 것으로 나타났다. As는 Igeo class가 2 (Moderately polluted), 3 (Moderately/ strongly polluted)을 나타내고 있으며, 광양천이 유입되는 지역 (St.1-St.4)과 묘도 서쪽과 묘도북쪽

의 수어천이 유입되는 지역이 다른 지역에 비해 좀 더 오염되어 있는 것으로 나타났다.



## IV. 결론

1. 광양만 표층 퇴적물은 silt와 caly의 함량에 비해 sand의 함량이 매우 낮고, Mz는 7.23-8.85Φ 범위로 Silt질 퇴적물의 Mz 범위이다. 퇴적물 중의 WC는 39~60%범위로서 울촌 산업단지, 광양컨테이너 부두, 여수국가 산업단지 주변의 일부 정점을 제외하면 50%이상의 WC를 보였다.
2. IL과 TOC 및 TN의 함량은 각각 4.3-9.4%, 0.7-2.0%, 0.09-0.24% 범위였으며, 유기물의 C/N비는 묘도 서쪽과 묘도와 여수반도 사이의 지점이 10 이상이었다. 이는 묘도를 중심으로 서쪽은 표층퇴적물 중의 유기물이 인근의 육상으로부터 기원한 것임을 의미하고 묘도를 기준으로 우측은 다른 지역에 비해 해수의 유입이 많으므로 해양으로부터 기원한 유기물이라 의미한다.
3. 퇴적물 내 COD와 AVS는 각각 10.18-41.9 mg O<sub>2</sub>/g.dry, 0.002-1.074mg S/g-dry 범위였으며, 대체로 광양천이 유입되는 지점과 울촌 산업단지 동서쪽, 포스코 남쪽지역에서 높은 농도를 보였다.
4. 퇴적물 중의 금속원소의 농도는 Al, Fe, Cr, Mn 을 제외한 모든 금속원소가 광양천이 유입되는 지점에서 높은 농도로 나타나고, 퇴적물 내 금속원소의 농도가 유기물의 함량과는 높은 상관관계를 가지지 않는 것으로 보아, 이는 광양만 표층 퇴적물 내 농도 분포가 인근 도시로부터 발생한 오염 물질로부터 유입된 것으로 보이며, Zn, Pb, Cu의 경우 POSCO와 묘도 사이의 표층 퇴적물에서 상대적으로 높은 농도를 보이는 것으로 보아 주변의 산업단지로부터 발생한 인위적인 요인에 의해서 조절되는 것으로 보인다.
5. 미국의 NOAA에서 제시한 생물 위해성 평가 기준에 따라 광양만 내 표

층 퇴적물의 오염 정도를 비교해본 결과, Pb, Cd은 생물 위해성 기준을 넘지 않았으며, As, Cu 는 광양천이 유입되는 지점에서, Cr, Ni, Zn은 대체적으로 광양천이 유입되는 지점과 POSCO 주변 해역, 여수반도와 묘도 사이 해역에서 생물에게 약 10%정도의 악영향을 미칠 수 있는 오염 단계로 조사되었다.

6. 한편 퇴적물 중의 금속 원소의 오염을 정량적으로 평가하기 위해 농축계수와 농집지수를 조사한 결과 Cu, Ni을 제외한 모든 금속에서 지각 내 평균 농도와 비교하여 1을 초과하여 대기나 하천 등을 통해 각 원소의 유입이 있고 퇴적물 내에 농축되는 등 인위적인 영향이 작용하는 것으로 보이며 특히 Mn 을 제외하고 광양천이 유입되는 지점에서 상대적으로 높은 농축계수를 보였다. Cr, Mn은 POSCO 주변 지역의 표층 퇴적물에서 상대적으로 높은 농축계수를 보였다. 농집지수는 Cu의 경우 5-6범위로, 특히 광양천이 유입되는 지점과 POSCO 주변 지역에서 오염정도가 심각한 수준인 것으로 나타났다.

따라서 광양만 내 오염 퇴적물에 대해 유기물과 금속원소들의 오염 경로와 오염 수준을 파악하기 위한 관리가 필요하며 지속적인 모니터링을 통한 퇴적물 내 오염 물질의 거동과 축적에 대한 근본적인 요인에 대한 연구가 필요하다.

## V. 참고문헌

- Berner, R.A., 1980. Early diagenesis-A theoretical approach. Princeton University Press. 241 pp.
- Birth, G., 2003. A scheme for assessing human impacts on coastal aquatic environments using sediments In: Woodcoffe, C.D., Furness R.A.(Eds.), Coastal GIS 2003. Wollongong University Papers in Center for Maritime Policy, 14, Australia.
- Booth, J.S., Winter, W.J., Poppe, L.J., James Neiheisel, Dyer, R.S., 1989. Geotechnical, geological, and selected Radionuclides retention characteristics of the radioactive waste disposal site near the Farallon Islands. Marine Geosources & Geotechnology, 8(2), 111-132 pp.
- Borg H. and Jonsson, P. 1996. Large-scale metal distribution in Baltic Sea sediments. Marine Pollution Bulletin 32, 8-21 pp.
- Calvert S.E. and Pedersen T.F., 1993. Geochemistry of recent oxic and anoxic marine sediments: implications for the geological record. Mar. Geol. 113, 67-88 pp.
- Calvert, S.E., 1976. The mineralogy and geochemistry of near-shore

sediments. In: Chemical Oceanography edited by Riley, J.P., R, Chester, Academic Press, London, 6, 187-280 pp.

Chi, S.B., Lee, H.B., Kim, J. U., Hyeong, K.S., Ko, Y.T., 2006. Mass physical properties in deep-sea sediment from the Clarion-Clipperton Fracture Zone, Northeast Equatorial Pacific, The Korea society of Economic and Environmental Geology, 39(6), 739-752 pp.

Cho, C.R., Park, J.C., You, Y.S., Cho, H.S., 2007a. Heavy metals and PAHs in sediment of Gwangyang bay. Journal of the Korea Society of Marine Environment & safety, Fall Conference 2007, 83-86.

Cho, H.S., Cho, C.R., Kang, J.H., Lee, K.H., 2006. A Study on the Seasonal Variation of Water Quality and Sediment Environment in Gwangyang Bay, Korea, The Korean Society of Marine Environment and safety, Spring Conference 2006, 129-135 pp.

Cho, H.S., Cho, G.O., Park, J.C., Kim, H.J., 2007b. Study of Characteristics of Seasonal Fluctuation of water Quality and Sediment Environment in Kamak Bay in 2007. The Korean Society of Marine Environment and safety, Spring Conference 2008, 129-132 pp.

Cho, H.S., Yu, Y.S. and Lee, K.H., 1994a. Characteristics of Seasonal Fluctuation of water quality and sediment Environment in Kamak

Bay. *Yosu Nat'l Fish. Uni.*, 3, 21-33 pp.

Cho, Y.G. and Park, K.Y. 1998. Heavy metals in surface sediments of the Youngsan Estuary, west coast of Korea. *Journal of the Korean Environmental Sciences Society* 7, 549-557 pp.

Cho, Y.G., Lee, C.B. and Choi, M.S. 1994b. Characteristics of heavy metal distribution in surface sediments from the south Sea of Korea. *Journal of the Korean Society of Oceanography* 29, 338-356 pp.

Cho, Y.G., Lee, C.B., Koh, C.H., 2000. Heavy metals in surface sediments from Gwangyang Bay, south coast of Korea. *The sea, Journal of the Korean Society of oceanography* 5(2), 131- 140 pp.

Cho, Y.G., Ryu, S.O., Khu, Y.K., Kim, J.Y., 2001. Geochemical Composition of surface sediments from the Tidal Flat, West Coast of Korea. *The sea, Journal of the Korea Society of Oceanograpy*, 6(1), 27-34 pp.

Choi, B.K., Koh, D.C., Ha, K.C., Cheon, S.H., 2007. Effect of redox processes and solubility equilibria on the behavior of dissolved Iron and Manganese in groundwater from riverine Alluvial Aquifer. *Econ. Environ. Geol.*, 40(1), 29-45 pp.

Choi, D.L., Hyun, S.M., Lee, T.H. 2003a. Recent Geomorphological Changes and late Quaternary Depositional Sequence of Gwangyang Bay, southern coast of Korea. The Sea-Journal of the Korea Society of Oceanography 8, 35-43.

Choi, J.w., Yu, O.H., Lee, W.J. 2003b. The summer Spatial Distributional Pattern of Macrobenthic Fauna in Gwangyang Bay, Southern Coast of Korea. The Sea-Journal of the Korea Society of Oceanography, 8, 14-28 pp.

Choi, M.G., Moon H.B., Kim, S.S., Park J.S., 2005. Evaluation of sewage pollution by coprostanol in the sediments from Jinhae Bay, Korea. Journal of the Korean Environmental Sciences Society, 8, 593-600 pp.

Choi, M.S., Cho, S.R. and Lee. D.S. 1989. Chemical composition and sources of atmospheric particulates collected on the West coast of Korea. Journal of KAPRA 5, 72-83 pp.(in korean)

Choi, M.S., Chun, J.H., Woo, H.J. and Yi, H.I. 1999. Change of heavy metals and sediment facies in surface sediments of the Shihwa Lake. Journal of the Korean Environmental Sciences Society 8, 593-600 pp.

Donazzolo R., Heike Merlin O., Menegazzo Vitturi L. and Pavon B.,

1984. Heavy metal content and lithological properties of recent sediments in the Northern Adriatic. *Marine Pollution Bulletin* 15, 93-101 pp.

Ergin, M. and Yörük, R. 1990. Distribution and Texture of the bottom sediments in semi-enclosed coastal inlet, the Izmit Bay from the Eastern Sea of Marmara (Turkey). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 30, 647-654 pp.

Fang, T.H. and Hong, E., 1999. Mechanisms influencing the spatial distribution of trace metals in surface sediments off the southwestern Taiwan. *Marine Pollution Bulletin*, 38. 1026-1037 pp.

Folk, R.L. 1968. *Petrology of sedimentary Rock*, Hemphill's, 1-170 pp.

Fostner, F. and Wittman, R., 1981. *Metal Pollution in the aquatic environment*, Springer-Verlag, Berlin pp.

Friedman, G.M. and Sanders, J.E., 1978. *Principles of sedimentology*; New York, John Wiley & Sons, 77 pp.

Furness, R.W., Rainbow, P.S., Eds., CRC Press. Florida. 27-66 pp.

Förstner, U. and Wittman, G.T., 1981. *Metal Pollution in the Aquatic environment*, Springer-Verlag, Berlin, 486 pp.

- Goyer, R. A., 1996. Toxic effects of metals. In Amdur, M.O., Doull. J., and Klaassen. C. D., Toxicology. 5th edition. pergamon press Inc., Newyork, 846-651 pp.
- Harman, H.N., 1967. Modern Factor analysis. University Chicago Press, 2nd ed., 469 pp.
- Horowitz, A.J. 1991. A Primer on Sediment-trace Element Chemistry. Lewis Publishers, 1-136 pp.
- Houston, W.N. and Mitchell, J.K.(1969) Property relationships in sensitive clays. Journal of the soil Mechanics and Foundations Division, v. 95, p. 1037-1062 pp.
- Hwang, D.W., Jin, H.G., Kim, S.S., Kim, J.D., Park, J.S. and Kim, S.G. 2006. Distribution of Organic Matters and Metallic Elements in the Surface Sediments of Masan Harbor, Korea. Journal of the Korean Fisheries Society 39, 106-117 pp.
- Hyun, S., Choi, J.W. and Choi, J.S., Lee, T., 2003a. Surface sediment characteristics and benthic environments in the mouth of Jimhae Bay, Korea. Journal of the Korean Fisheries Society, 36, 700-707 pp.
- Hyun, S., Lee, T., Choi, J.S., Choi, D.L. and Woo, H.J., 2003b. Geochemical Characteristics and heavy metal pollutions in the

surface sediments of Gwangyang and Yeosu Bay, south coast of Korea. *Journal of the Korean Society oceanography*, 8, 380-391 pp.

Hyun, S., Paeng W.H., and Lee, T., 2004. Characteristics of surficial sediment and benthic environments based on geochemical data in Gwangyang Bay, Korea. *Journal of the Korean Environmental Biological*, 22, 93-102 pp.

Hyun, S.m., Lee, C.H., Lee, T.h., Choi, J.W. 2007. Anthropogenic contributions to heavy metal distributions in the surface sediments of Masan Bay, Korea. *Marine Pollution Bulletin* 54, 1031-1071 pp.

Hyun, S.M., Lee, T.H., Choi, J.S., Choi, D.L., Woo, H.J., 2003. Geochemical Characteristics and heavymetal Pollutions in the surface sediments of Gwangyang and Yeosu Bay, south coast of Korea. *journal of the Korean Society of oceanography*, v. 4, 380-391 pp.

Irabien, M.J. and Velasco, F. 1999. Heavy metals in Oka Rive sediments (Urdaibai National Biosphere Reserve, Northern Spain): Lithogenic and anthropogenic effects. *Environmental Geology* 37, 54-63 pp.

Jeon, S.G., Cho, Y.G., 2002. Some heavy metal concentration of surface sediments from the south western coast of Korea. *Journal of the Korean Environmental Sciences Society*, 11, 1299-1305 pp.

- Joo, H.S., Park, J.C., Kim, J., Lee, W.B., Lee, S.W., 2000. Physicochemical composition and heavy metal contents on the sediment of Kwangyang Bay. *Korean journal Limnol.*, 33(1).
- Jung, M.S., Jung, M.H., Lee, J.H., Kim, Y.G. 2003. *Environment Chemistry*. 2th edition, Sin Gwang Mun Hwa Sa, 521-578 pp.
- Juretić, I., Odžak, N., Avonarić, T. and Barić, A., 1992. Cadmium, Chromium, lead and manganese content in sediment of the Gruz Bay. *Rapports et Procès-Verbaux des Réunions Commission Internationale Pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée* 33-73 pp.
- Kang, C.K., Lee, P.Y., Park, J.S. and Kim, P.J. 1993. On the distribution of organic matter in the nearshore surface sediment of Korea. *Bulletin Journal of the Korean Fisheries Society*, 26(6), 557-566 pp.
- Keller, G.H. and Yincan, Y., 1985. Geotechnical properties of surface and near-surface deposits in the East China Sea. *Continental Shelf Research*, v. 4, p. 159-174 pp.
- Kennish, M.J., 1992. *Ecology of Estuaries: Anthropogenic Effects*. CRC Press, Inc., Boca Raton, FL, 494 pp.
- Kim, J.H., Park, M.H., Ryu, B.J., Lee, Y.J., Oh, J.H., Cheong, T.J., and

Chang, H.W., 2007. Origin of organic Matter and Geochemical Variation of Upper Quaternary sediments from the Ulleung Basin. *Economic Environmental Geological*, 40(5), 605–622 pp.

Kim, K.T., Kim, E.S., Cho, S.R., Kahang, S.H., Kim, J.K. and Park, J.K., 2008a. The Distribution of Heavy Metals in the Surface Waters and Sediments of Gaduk Channel in Jinhae Bay, Korea. *Journal of the Korea Society of Marine Environment & safety*, 14(2), 95–103 pp.

Kim, K.T., Kim, E.S., Cho, S.R., Park, J.K., 2008b. Distribution of TOC and metals in the metals in the surface sediments of the Lake Shihwa, The Korean Society of Marine Environment and safety, Spring Conference, 159–164 pp.

Kim, K.H., Cho, J.H., Park, N.J., 2000. Distributions and Pollution History of Heavy metals in Nakdong Estuary Sediments. *The sea, Journal of the Korea Society of Oceanography*, 5(4), 285–294 pp.

Kim, Y.H., Chang, D.S., and Park, Y.C. 2001. Preliminary Survey of Age and Growth of the short-necked Clam, *Paphia undalata*(Born), in Kwangyang Bay, Korea. *Korean Journal of Malacology* 17, 7–12 pp.

Korea Ocean Research & Development Institute, 2002. The southern sea environment pollution management model research of the special

management the sea area(1) focus on Gwangyang bay, 485 pp.

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. Kor. Soc. Environ. Eng., 26, 543-551 pp.

Lee, Y.G., Hwang, J.Y., Jung, K.K., Choi J.M., 1996. Sedimentary Environment Change in Kwangyang Bay and Yosu Sound. Journal of the Korean earth Science Society, 17(5), 407-416 pp.

Lee, Y.S., Kang, C.K., Choi, Y.K., Lee, S.Y., 2007. Origin and spatial distribution of organic matter at Gwangyang Bay in the Fall. Journal of the Korean Society of oceanography, 12(1), 1-8 pp.

Li, X.D., Wai, O.W.H., Li, Y.S., Coles, B.J., Ramsey, M.H., Thornton, I. 2000. Heavy metal distribution in sediment profiles of the Pearl River estuary, South China. Applied Geochemistry 15, 567-581 pp.

Lim, H.S. and Hong, J.S., 1994. Ecology of the macrozoobenthos in Chinhae Bay, Korea. 1. Benthic environment. Journal of the Korean Fisheries Society, 27, 200-214 pp..

Long, E.R., Macdonaldo, D.D., Smith, S.L., Calder, F.D., 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentration in marine and estuarine sediments, Environmental Management, 19,

81-97 pp.

Luoma, S.N., 1990. Processes affecting metal concentrations in estuary and coastal marine sediments, in *Heavy Metals in Marine Environment*, Furness, R.W., Rainbow, P.S., Eds., CRC Press. Florida. 27-66 pp.

Martin, J.M. and Meybeck, M., 1979. Elemental mass balance of material carried by minor world rivers. *Mar. Chem.*, 7, 173-206 pp.

Martin, J.M., and Whitefield, M., 1983. The significance of the river input of chemical elements to the ocean .In: *Trace metals in Sea water* edited by Wong, C.S., Boyle, E.A., Bruland, K.W., Burton, J.D., Goldberg, E.D., Newyork: Plenum, 265-298 pp.

Michael, C.N. and McIntosh, A.W., 1991. *Metal ecotoxicology*. Lewis Publishers. 33-64 pp.

Ministry of Maritime Affairs and Fisheries, 2004. *Environment management sea area environment improvement investigation(III)*, 639 pp.

Morford J.L., Russel A.D. and Emerson S. 2001. Trace metal evidence for changes in the redox environment associated with the transition from terrigenous caly to dia tomaceous sediment, Saanich Inlet,

- BC. Mar. Geol. 174, 355-369pp.
- Muller, G., 1979. Schwernmetalle in den sedimenten des Rheins-Verderyngen Seit. Umxchau, 79, 778-783 pp.
- 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, 41, 765-776 pp.
- NOAA, 1991. The potential for biological effects of sediment-sorbed contaminants tested in the national status and trends program (edited by Long, E.R., Morgan, L.G.), 8-60 pp.
- Noh, I.H., Yoon, Y.H., Kim, D.I., Park, J.S., 2006a. The spatio-temporal distribution of organic matter on the surface sediment and its origin in Gamak Bay, Korea. Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering, 9, 1-13 pp.
- Noh, I.H., Yoon, Y.H., Park, J.S., Soh, H.Y., Kim, D.I., 2006b. Spatio-temporal distributions of organic matter in surface sediment in the central part of the south sea, Korea. Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering, 9, 203-215 pp.
- Qu, C.H., Chen, C.Z., Yang, J.R., Wang, L.Z., Lu, Y.L. 1993. Geochemistry of dissolved and particulate elements in the major

rivers of China (The Huanghe, Changjiang, and Zhunjiang rivers).  
*Estuaries and Coasts*, 16, 475–487 pp.

Romankevich, E.A. (1984). *Geochemistry of Organic Matter in the ocean*. Springer Verlag, Berlin Germany, 111–150 pp.

Rubén villares, Xoán puente and Alejo carballeira, 2003. Heavy metals in sandy sediments of the rias baixas(NW Spain). *Environmental Monitoring and Assessment* 83, 129–144 pp.

Ruiz-Fernández, A.C., Hillaire-Marcel, C., Ghaleb, B., Soto-Jiménez, M., Páez-Osuna, F. 2002. Recent sedimentary history of anthropogenic impacts on the Culiacan River Estuary, northwestern Mexico: geochemical evidence from organic matter and nutrients. *Environmental Pollution* 118, 365–377 pp.

Sahu, K.C., Bhosale, U., 1991. Heavy metal pollution around the island city of Bombay, India. Part I: quantificatin of heavy metal Pollution of aquatic sediments and recognition of environmental discriminants. *Chemical Geology*, 91, 263–283 pp.

Salomons, W., and Förstner, U., 1984. *Metals in the hydrolocycle*. Springer, Berlin.

Schiff, K.C., Weisberg, S.B., 1999. Iron as a reference element for

determining trace metal enrichment in southern California coastal shelf sediments. *Marine Environmental Research* 48, 161-176 pp.

Schropp, S.J., Lewis, F.G., Windom, H.L., Ryan, J.D., Calder, F.D., Burney, L.C., 1990. Interpretation of metals concentrations in estuarine sediments of Florida using aluminium as a reference element. *estuaries*, 13, 227-235 pp.

Seoul National University, 1997. The coast benthic environment health assessment technology, 557 pp.

Stein, R. 1991. Accumulation of Organic Carbon in Marine sediments. Springer Verlag, Berlin, 1-217 pp.

Summerhayes, C.P., 1972. Geochemistry of continental margin sediments from northwest Africa. *Chemical Geology*, 10, 137-156 pp.

Szefer, P., Glasby, G.P., Pempkowiak, J., Kaliszan, R., 1995. Extraction studies of heavy-metal pollutants in surficial sediments from the southern Baltic Sea off Poland. *Chemical Geology* 120, 111-126 pp.

Taylor, S.R. and McLennan, S.M., 1995. The geochemical evolution of the continental crust. *Review of Geophysics.*, 33(2), 241-265 pp.

Thuy, H.T.T., Tobschall, H.J., An, P.V. 2000. Distribution of heavy

metals in urban soils - a case study of Danang-Hoian Area (Vietnam). *Environmental Geology* 39, 603-610 pp.

Ujević, I., Odžak, N. and Barić, A., 1998. Relationship between Mn, Cr, Pb and Cd concentrations, granulometric composition and organic matter content in the marine sediments from a contaminated coastal area. *Fresenius Environmental Bulletin* 7, 183-189 pp.

Um, I.K., Lim, D.I., Lee, M.K., Jeon, S.K., Jung H.S., 2003. Spatial Variability and contents of metals in the surficial sediments of Youngil Bay, East Coast of Korea. *Journal of the Korean earth Science Society*, 24(5), 477-490 pp.

Woo, H.J., Cho, J.H., Choi, J.U., 2007. Characteristics of Heavy Metals and Benthic Foraminifera on Surface sediments in Masan Bay and Gadeog Channel, Korea. *Ocean and Polar Research*, 29(3), 233-244 pp.

Yang, H.S., Kim, S.S., 1994. Pollution of Heavy Metals and Sedimentation Rate in the Sediments of Suyeong Bay, Pusan. *Journal of the Korean Fisheries Society*, 27(5), 643-658 pp.

Yokoyama, H., 1995. Macrobenthic assemblages in Omura Bay-1. Community parameters versus bottom environmental factors. *Bull. Natl. Res. Inst. Aquacult.* 24, 43-53 pp. (in Japanese with English)

abstract).

Yokoyama, H., 2000. Environmental quality criteria for aquaculture farms in Japanese coastal area - a new policy and its potential problems-. Bul. Natl. Res. Inst. Aquacult. 29, 123-134 pp. (in Japanese with English abstract).

Yoon, H.S. and Choi, S.D., 2006. Environmental Characteristics of Natural Habitat of *Protothaca jedoensis* in Gamak Bay, Korea, Journal of Aquaculture, 19(1), 7-13 pp.

Yoon, Y.H., 2000. A study on the distributional characteristic of organic matters on the surface sediments and its origin in Keogeum-sudo, Southern Part of Korean Peninsula. Journal of the Korean Environmental Sciences Society, 9, 137-144 pp.

Zakrzewski, S. F., 1997. Principles of environmental toxicology. 2th edition, American Chemical Society, Washington, DC. 416 pp.