

## 한국 남서해 환경보전해역의 표층퇴적물 내 중금속 오염

정희호 · 김동우 · Nguyen Hoang Lam · 최태봉 · 조현서<sup>†</sup>

전남대학교 수산해양대학 환경해양학과

### Heavy Metal Pollution in the Surface Sediments of the Korean South-West Environmental Preservation Sea Areas

Hui Ho Jeong, Dong Wu Kim, Nguyen Hoang Lam, Tae Bong Choi, and Hyeon Seo Cho<sup>†</sup>

Department of Marine Environment, College of Fisheries and Ocean Sciences, Chonnam National University

Received June 14, 2017/Revised June 20, 2017/Accepted June 21, 2017

Gamak Bay, Deukryang Bay, and Doam Bay were designated as Environmental preservation sea areas for conservation of fishery resources by the Korean government. It is essential to maintain the chemical status of these environments, particularly for heavy metals that pose potential risks to fishery resources. This study was, therefore, carried out to investigate the concentration distribution and potential risk of seven heavy metals, namely Cd, Cr, Cu, Zn, Pb, As, and Hg present in the surface sediments ( $n = 116$ ) of these sea areas during March and August 2009. The metal concentrations in the sampling sites was found to be highly variable. The dominant metals were Zn (mean = 118.22 mg/kg) for Gamak Bay, Cr (mean = 19.07 mg/kg) for Dyukryang Bay, and Zn (mean = 39.07 mg/kg) for Doam Bay. Overall, the order of the target metals was  $Zn > Cr > Pb > Cu > As > Hg > Cd$ . Additionally, the metal concentrations were categorized as less than Igeo Class 2 'Moderately polluted'; except for As determined during March in Gamak Bay. As had concentrations that categorized it under Igeo Class 3 'Moderately/strongly polluted'.

**Key words:** Heavy metals, Pollution, Sediment, Environmental preservation sea area

#### 1. 서 론

산업혁명 이후 산업사회가 지속되어오면서 금속으로 이루어진 제품들이 많이 생산되어 현재, 금속은 우리 생활에 없어서는 안 될 중대한 요소가 되었다. 106가지의 원소 중에서 84가지 원소가 금속에 분류되어 있다. 그 중 중금속(heavy metal)은 생물학적으로 볼 때 필수원소로서 요구되기도 하는 원소로서 물리, 화학 그리고 생물학적으로 가역적인 특성을 보이는 밀도 5 이상으로, 활성을 갖는 미생물 개체 또는 다른 생명체에 대한 독성 효과를 나타내는 물질이다<sup>1,2)</sup>.

수중 산소의 고갈을 유발시키거나 부영양화 현상을 야기하여 문제를 일으키는 유기물 오염과는 달리 중금속은 쉽게 소멸되지 않고 오랫동안 환경에 남아 순환하는

잔류 오염물질(persistent pollutant)이다. 중금속은 그 자체로 독성을 지니며 해양 생물체 내의 골격·지방 등의 조직에 축적되며, 먹이 망(food web)을 따라 그 함유량이 높아져 해수 및 해저퇴적물에 존재하는 농도보다 수십 배에서 수만 배까지 생물농축(bioaccumulation)될 수도 있다<sup>3,4)</sup>.

중금속은 금속광산으로부터의 폐수, 도금공장으로부터의 폐수, 피혁가공 공장으로부터의 폐수, 도료·도장·염색, 기타 공장폐수, 도시하수, 소각장에서의 매연 등 인위적인 오염 발생원들로부터 해양환경으로 유입이 이루어진다<sup>1,5)</sup>. 오염원이 유입이 되면 우선 연안해수와 해저 퇴적물이 오염되며, 이후 해역에 생육하는 생물뿐 아니라 먹이 망(food web)에 따라 인간에게도 영향이 미칠 가능성이 있어 대상해역의 중금속의 분포특징과 오

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.

염도 및 위해성 평가에 대한 연구는 중요하다.

한편, 해양수산부는 수산자원의 보호·육성을 위하여 지속적인 해양환경 및 생태계의 보전이 필요한 해역에 대하여 해양환경관리법에 따라 해양환경보전해역으로 가막만, 득량만, 도암만, 함평만을 지정·관리하고 있다<sup>6)</sup>.

따라서 본 연구는 국내 남서해 해역의 해양환경보전해역인 가막만, 득량만, 도암만 등 3개 해역의 표층퇴적물에 대하여 중금속의 분포 특성을 파악하고 그 오염수준을 파악하기 위해 농집지수(Geoaccumulation index; Igeo) 평가방법을 적용해 보았다.

## 2. 재료 및 방법

2009년 3·8월의 가막만 환경보전해역에서 17개 정점, 2010년 3·8월의 득량만 환경보전해역에서 26개 정점, 도암만 환경보전해역에서 15개 정점을 선정하였다 (Fig. 1). 샘플은 van Veen grab sampler를 이용하여 해저퇴적물을 채취한 후, grab의 금속 덮개 부분과 접촉하지 않은 상층부(2 cm 이내)를 미리 산 세척된 플라스틱 스펀과 고밀도폴리에틸렌(HDPE) 샘플병을 사용하여 채집하고 드라이아이스가 담긴 아이스박스에 옮긴 후 실험실로 운반하였다. 해저 표층퇴적물 중 중금속 분석은 해양환경공정시험기준<sup>7)</sup>에 준하여 분석하였다. 표층퇴적물 시료 약 10 g을 110°C에서 24시간 건조시킨 후 막자 사발을 이용하여 균질화한 시료 약 0.25 g을 테프론(teflon) 밀폐용기에 담고, 농질산 7 mL와 유기물 분해를 위한 과산화수소수 1 mL를 넣고 마이크로 가수분해장치(ETHOS TC/MILESTONE/Italy)를 이용하여 30분 동안 시료를 분해시켰다<sup>8)</sup>. 분해된 시료를 50 mL 튜브(PP tube)에 옮겨 담고 초순수로 50 mL까지 정량한 후, 이를 원자흡광광도계(AA-6800/Shimadzu/Japan)를 이용하여 분석하였다. 분석항목은 Cd, Cu, Pb, Hg, As, Cr, Zn로 총 7개 항목이다.

해저 표층퇴적물 중 중금속 항목들의 위해성 평가는 연구대상 해역의 중금속원소의 상대적인 농축 정도를 반영하여 오염 정도를 평가하는 방법인 Igeo를 다음과 같이 계산하였다<sup>9)</sup>.

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{B_n \times 1.5}$$

단,  $C_n$ 은 측정된 퇴적물 중 미량금속 농도,  $B_n$ 은 지각 구성성분에서의 미량금속의 농도를 나타내며, 상수(constant) 1.5는 지각기원에 의한 영향을 보정하기 위하

여 사용된다. Igeo는 농축 정도를 등급화하여 총 7개 등급으로 오염 정도를 세분화시켜 평가하는 것이 가능하다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 가막만 환경보전해역 표층퇴적물 중 중금속 오염 평가

가막만 표층퇴적물 중 중금속 농도분포를 Fig. 2에 나타내었다. 2009년 3월 분포범위와 평균값은 Cr 4.31~75.63 (평균 55.72) mg/kg-dry, Cu 1.87~37.30 (평균 14.97) mg/kg-dry, Zn 26.31~148.98 (평균 102.60) mg/kg-dry, As 5.05~9.98 (평균 6.34) mg/kg-dry, Pb 10.58~33.37 (평균 21.26) mg/kg-dry, Cd와 Hg는 검출되지 않았고, 2009년 8월에서는 Cr 56.63~123.42 (평균 91.39) mg/kg-dry, Cu 12.44~40.11 (평균 22.98) mg/kg-dry, Zn 97.05~186.03 (평균 133.84) mg/kg-dry, As 7.52~14.06 (평균 9.75) mg/kg-dry, Pb 20.62~44.65 (평균 28.87) mg/kg-dry, Cd와 Hg는 검출되지 않았다.

가막만 표층퇴적물 중 중금속의 농도를 미국 해양 대기청(NOAA)<sup>10)</sup>의 퇴적물 환경기준과 비교해 본 결과, 3월의 Cu 농도는 가막만의 동쪽 입구와 북부 내만 정점에서 ERL (Effect Range Low, 10%의 저서생물에 악영향을 초래하는 하한 농도 기준) 기준인 34.0 mg/kg-dry를 초과하였고 나머지 정점에서는 초과하지 않았다. Zn 농도는 ERL 농도기준인 150.0 mg/kg-dry를 초과하지 않았으나, 8월 만의 북부 내만 정점에서 ERL 기준을 초과하는 것으로 나타났다. 그리고, 3월의 As 농도는 2번 정점에서 ERL 기준 8.2 mg/kg-dry인 농도를 초과하였고, 8월의 거의 모든 정점에서 기준치를 초과하였다. Pb 농도는 모든 해역에서 ERL 기준 47.0 mg/kg-dry 이하로 기준보다 낮은 농도로 나타났지만, 북부 내만 정점에서 다른 정점들에 비해 상대적으로 높은 농도로 나타났다.

가막만 표층퇴적물에서 Igeo를 계산해본 결과, Cu, Cd, Cr 항목들의 Igeo class가 0으로 '오염되지 않은 수준(Practically unpolluted)'으로 나타났다. 또한 Pb와 Zn 항목들의 Igeo class는 0~1로 나타나 '약간 오염되었거나 오염되지 않은 수준(Practically unpolluted/moderately polluted)'으로 나타났다. 그러나, As 항목은 3월에서 대부분의 정점들이 Igeo class 1을 나타내었으나, 8월에서 2~3의 Igeo class에 집중되어 가막만은 As가 다른 중금속 원소에 비해 오염되어 있는 것으로 나타났다.

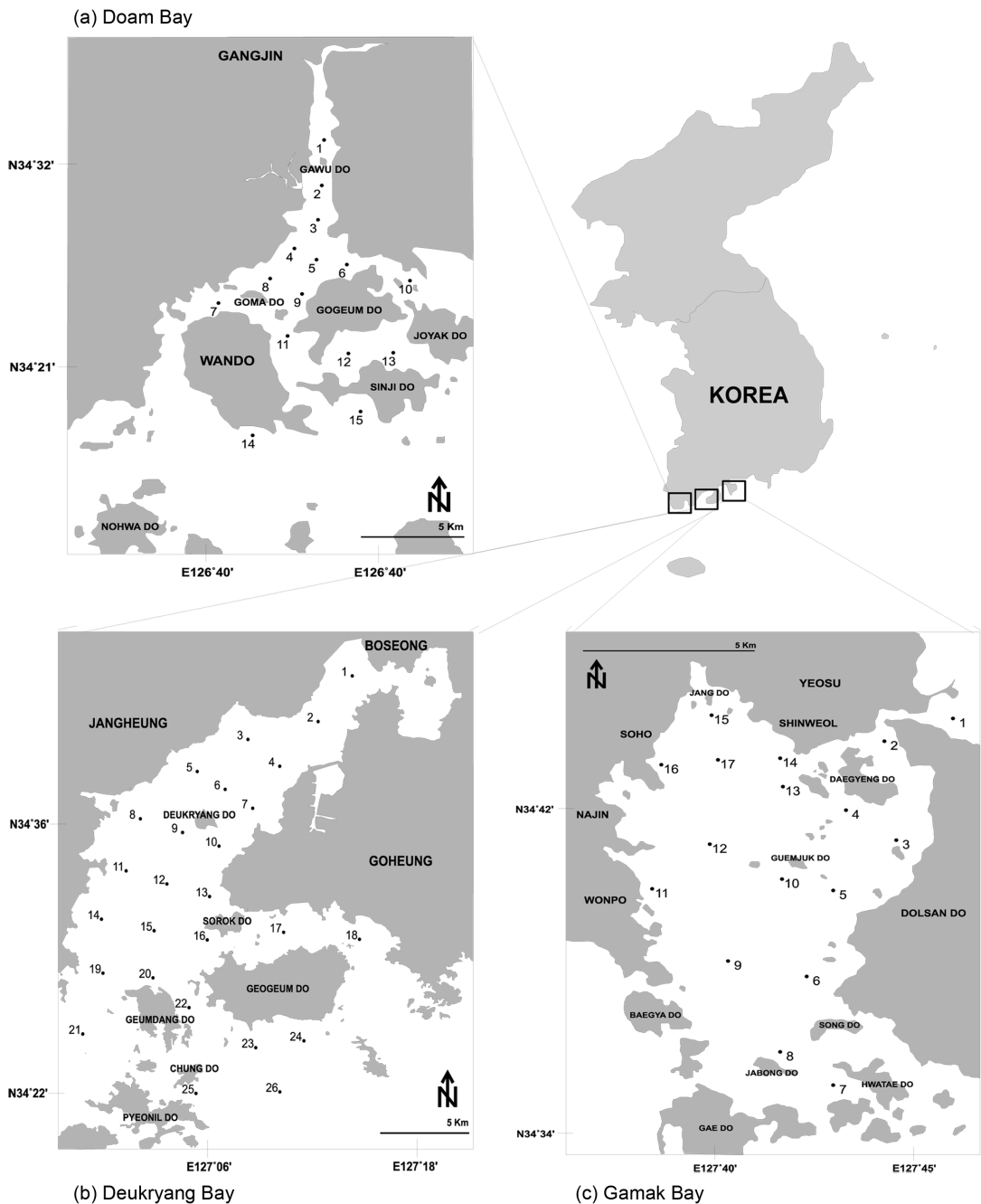


Fig. 1. Map of study area showing the sampling stations. (a) Doam Bay, (b) Deukryang Bay, (c) Gamak Bay.

**3.2. 득량만 환경보전해역 표층퇴적물 중 중금속 오염 평가**

득량만 표층퇴적물 중 중금속 농도분포를 Fig. 3에 나타내었다. 2010년 3월 분포범위와 평균값은 Cr 3.79~

24.93 (평균 13.77) mg/kg-dry, Cu 2.00~7.50 (평균 4.13) mg/kg-dry, Zn 2.38~15.78 (평균 6.93) mg/kg-dry, As 2.24~5.36 (평균 3.92) mg/kg-dry, Hg 3.04~9.76 (평균 3.92)  $\mu$ g/kg-dry, Cd와 Pb는 검출되지 않

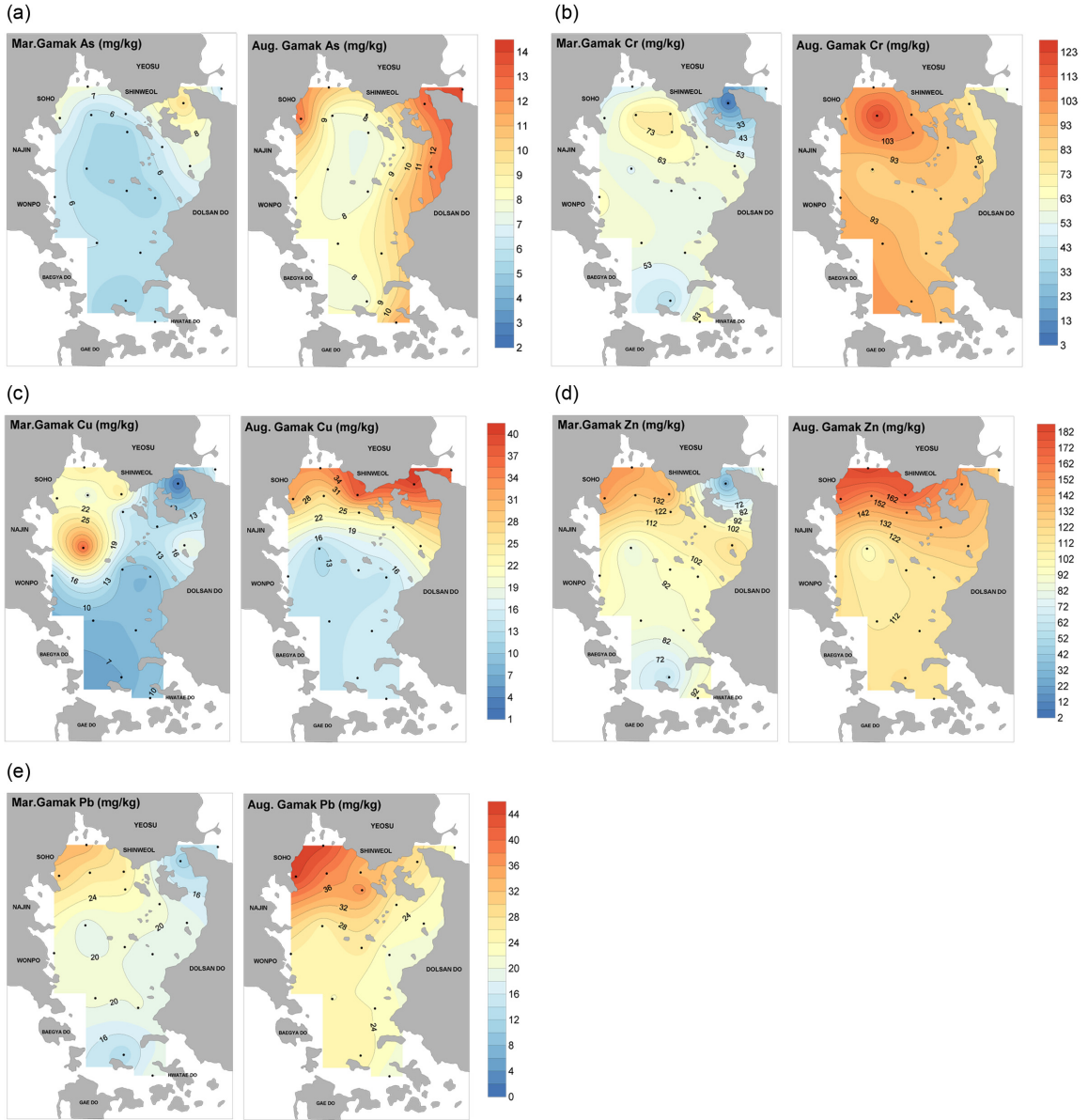


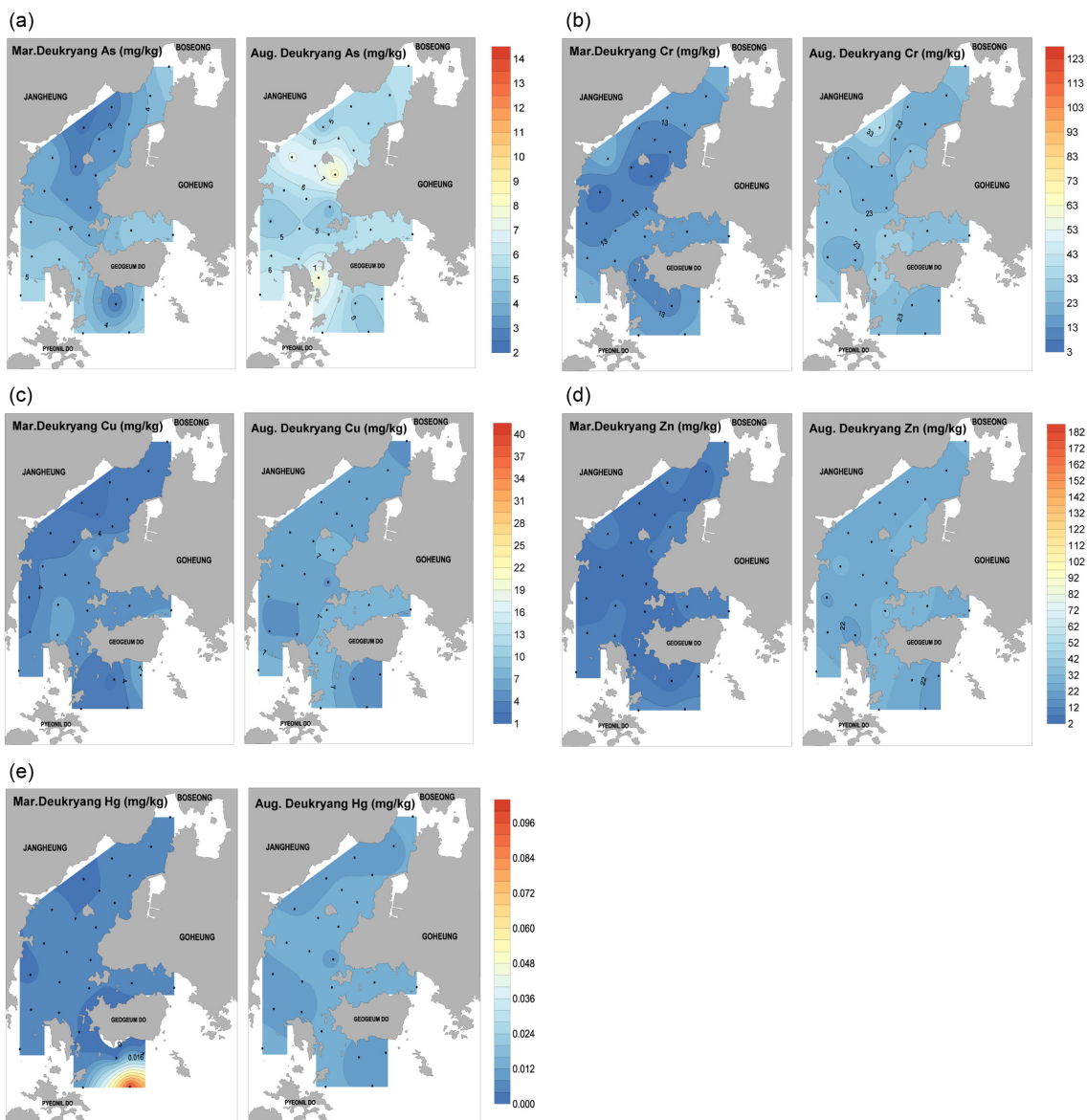
Fig. 2. Distribution of heavy metals in surface sediments of Gamak bay, 2009. (a) As of Mar. (left) and Aug. (right), (b) Cr (c) Cu, (d) Zn, (e) Pb. But Cd and Hg were not detected.

았으며, 2010년 8월에서는 Cr 18.43~39.04 (평균 24.38) mg/kg-dry, Cu 4.51~8.51 (평균 6.33) mg/kg-dry, Zn 19.02~33.02 (평균 25.31) mg/kg-dry, As 4.16~8.40 (평균 5.66) mg/kg-dry, Hg 8.48~16.32 (평균 12.33)  $\mu$ g/kg-dry, Cd와 Pb는 검출되지 않았다.

득량만 표층퇴적물 중 중금속의 농도를 NOAA의 퇴적물 환경기준과 비교해 본 결과, As 농도는 대부분의

정점에서 ERL 기준인 8.2 mg/kg-dry를 초과하지 않았다. 그리고, Cu, Pb, Zn 농도들은 모든 해역에서 ERL 기준 이하 농도로 나타났다. 그리고 3월 득량만의 Hg은 가장 외해역에 속하는 정점에서 가장 높은 농도로 나타났다.

득량만 표층퇴적물에서 Igeo를 계산해본 결과, Cu, Cr, Zn, Hg, Pb, Cd 항목들의 Igeo class가 0으로 ‘오



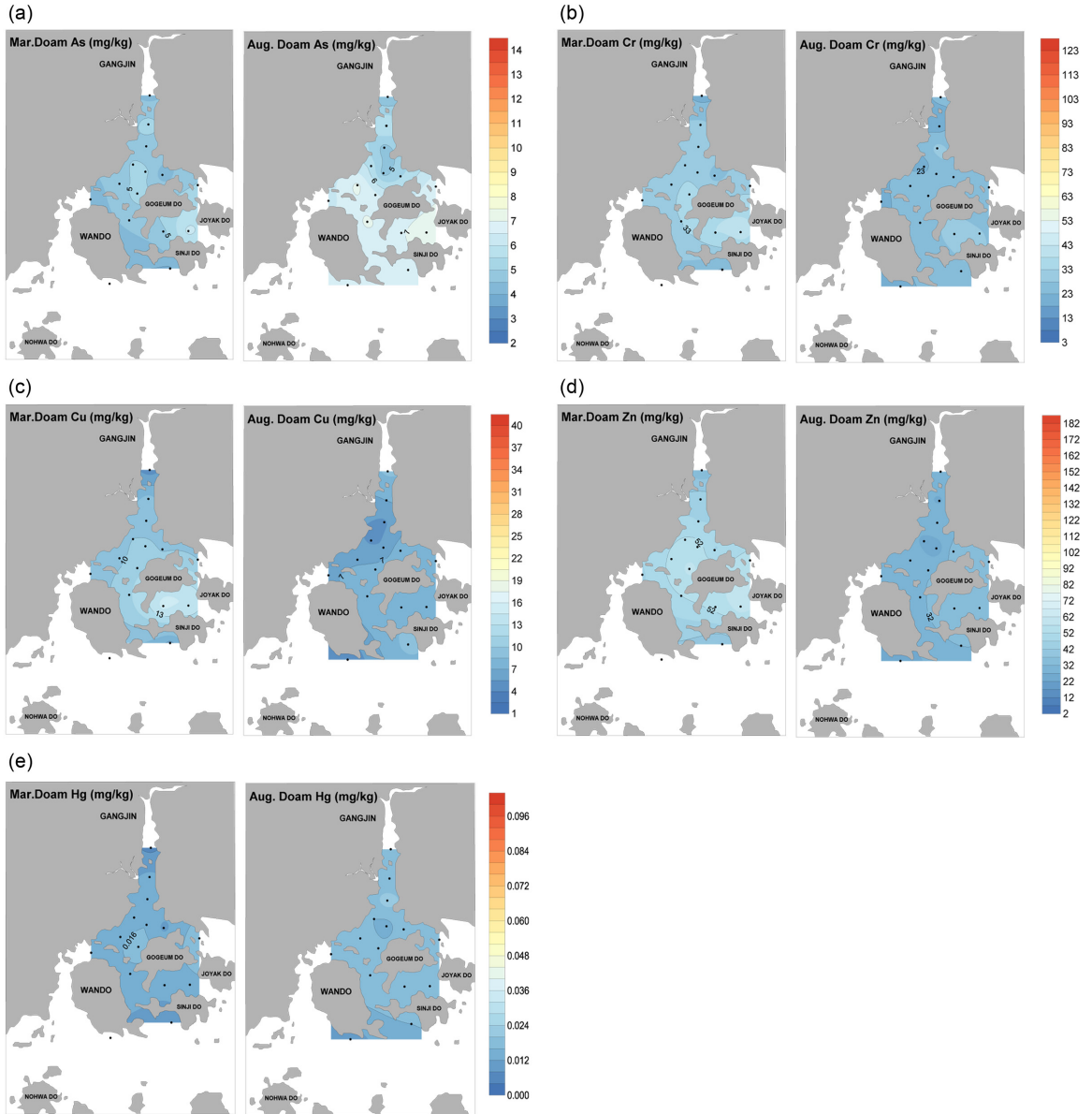
**Fig. 3.** Distribution of heavy metals in surface sediments of Deukryang bay, 2010. (a) As of Mar.(left) and Aug.(right), (b) Cr (c) Cu, (d) Zn, (e) Hg. But Cd and Pb were not detected.

염되지 않은 수준(Practically unpolluted)'으로 나타났다. As 항목은 3월, 8월에서 Igeo class가 1~2로 나타났으나, 3월에 비해 8월의 표층퇴적물이 상대적으로 좀 더 오염되어 있는 것으로 나타났다.

### 3.3. 도암만 환경보전해역 표층퇴적물 중 중금속 오염 평가

도암만 표층퇴적물 중 중금속 농도분포를 Fig. 4에 나

타내었다. 2010년 3월 분포범위와 평균값은 Cr 21.15~40.67 (평균 30.87) mg/kg-dry, Cu 4.77~15.04 (평균 9.91) mg/kg-dry, Zn 33.18~59.84 (평균 49.33) mg/kg-dry, As 3.92~6.16 (평균 4.84) mg/kg-dry, Hg 7.04~18.88 (평균 13.59)  $\mu\text{g/kg-dry}$ , Cd와 Pb는 검출되지 않았으며, 2010년 8월에서 Cr 17.90~37.97 (평균 25.45) mg/kg-dry, Cu 4.02~9.02 (평균 7.07) mg/kg-dry, Zn 23.20~37.31 (평균 30.19) mg/kg-dry, As 4.48~7.28



**Fig. 4.** Distribution of heavy metals in surface sediments of Doam bay, 2010. (a) As off Mar.(left) and Aug.(right), (b) Cr (c) Cu, (d) Zn, (e) Hg. But Cd and Pb were not detected.

(평균 6.20) mg/kg-dry, Hg 10.08~21.92 (평균 17.97)  $\mu\text{g/kg-dry}$ , Cd와 Pb는 검출되지 않았다.

도암만 표층퇴적물 중 중금속의 농도를 NOAA의 퇴적물 환경기준과 비교해 본 결과, 모든 중금속 분석 항목에서 기준치 이하의 값으로 나타났다.

도암만 표층퇴적물에서 Igeo를 계산해본 결과, Cu, Cr, Zn, Hg, Pb, Cd 항목들의 Igeo class가 0으로 ‘오

염되지 않은 수준(Practically unpolluted)’으로 나타났다. As 항목은 3월, 8월에서 Igeo class가 1~2로 나타났으며, 3월에 비해 8월의 표층퇴적물이 상대적으로 좀 더 오염되어 있는 것으로 나타났다.

**3.4. 환경보전해역 표층퇴적물 중 중금속 오염 특성**  
가막만 환경보전해역의 As의 Igeo는 3월에서 대부분

정점들이 Igeo class 1을 나타내고, 8월에서 2~3의 Igeo class에 집중되어 As가 다른 중금속 원소에 비해 오염되어 있는 것으로 나타났다. 가막만의 북부 내만 해역은 해수의 정체, 하수 및 폐수의 유입으로 인한 부영양화, 하계의 잦은 빈산소 수괴형성 등 지속적인 수질 및 해저퇴적물 환경 악화로 많은 연구가 진행되어왔다<sup>11-13)</sup>. 이와 같은 악화된 환경들과 중금속 오염에 관한 상관성을 밝히는 일은 추후에 연구가 진행되어야 할 부분이라고 판단된다.

특량만, 도암만 환경보전해역의 As의 Igeo class는 1~2를 나타내어 다소 약한 오염 상태로 나타났지만, 3월에 비해 8월에서 더 높은 점수를 나타내어 하계에 상대적으로 As의 오염이 좀 더 진행되는 것으로 판단된다. 모든 연구대상 환경보전해역들에서 As의 I geo가 다른 항목들에 비해 높게 나타났는데, 이는 오염에 대한 영향보다는 근본적으로 연구 대상 해역퇴적물 중 As 함량이 평균 지각보다 매우 높은 것에 영향을 받은 것으로 판단된다<sup>14)</sup>. 그러나, 연구대상 해역들 모두 3월에 비해 8월에서 As의 I geo 값이 더 높은 값을 나타내어, 하계에는 표층퇴적물에서 As에 대해 지속적인 관심 및 관리가 필요할 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 한국 남서해 환경보전해역인 가막만(17개), 특량만(26개), 도암만(15개)에서 3월과 8월에 표층퇴적물 중 중금속의 분포 특성을 파악하고, Igeo를 적용하여 오염수준을 평가하였다.

가막만 환경보전해역의 표층퇴적물 중 중금속 항목의 분포특성을 보면 3월의 Cu 농도, 3·8월의 Pb 농도, 8월의 Zn 농도가 만의 북부 내만 정점에서 다른 정점들에 비해 다소 높은 농도를 나타내었다. 특량만과 도암만 환경보전해역의 표층퇴적물의 Igeo class는 가막만 환경보전해역보다 낮은 점수를 나타내었다. 또한 Igeo class는 모든 해역에서 3월보다 8월에서 더 높은 점수를 나타내어 하계에 대한 집중적 관리가 필요할 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. 한국해양환경공학회, “해양환경공학”, *동화기술*, **2008**, 77-79.
2. 이성호, “낙동강 하구의 중금속 거동 및 화학종에 관한 연구”. 부경대학교 대학원 박사학위논문, **2006**, 89.
3. 나공태, 김은수, 김경태, 금종근, 이정무, “한국 연안 표층퇴적물 내 중금속 오염도 조사 연구”. *해양환경공학회 추계학술대회 논문집*, **2012**. 301-308.
4. U. Förster, and G. T. Wittmann, “Metal concentrations in river, lake and ocean water”, **1981**, 2nd edition, 71-109, Springer-Verlag, Heidelberg.
5. 박정길, 이제근, 이병헌, 여석준, 이석모, 강인석, 김일규, “현대환경과학”, *동화기술*, **2004**, 199.
6. 해양수산부 해양환경정책과, “해양환경관리법”, **2017**. 제15조-제16조
7. 해양수산부, “해양공정시험기준”, **2013**.
8. V. Sandroni and C. M. M. Smith, “Microwave digestion of sludge, soil and sediment samples for metal analysis by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry”, *Analytica Chimica Acta*, **2002**, 468, 335-344.
9. G. Müller, “Schwernetalle in den sedimenten des Rheins - Verderyngen Seit 1971”, *Umschau*, **1979**, 79, 778.
10. NOAA, “The Potential for biolihical effects of sediments-sorbed contaminants tested in the national status and trends program”, **1991**, 8-60.
11. 김정배, 박정임, 정춘구, 최우정, 이원찬, 이용화, “가막만 빈산소 수괴 소멸기의 물리화학적 특성”, *해양환경안전학회*, **2010**, 16, 241-248.
12. 김정배, 이상용, 유준, 최양호, 정창수, 이필용, “가막만 빈산소 수괴의 특성”, *한국해양환경공학회*, **2006**, 9, 218-226.
13. 장소운, 신현출, “가막만 양식장과 자연 서식지에서의 대형저서다모류군집 구조 차이”, *한국해양환경에너지학회*, **2016**, 19, 297-309.
14. 김경태, 김은수, 조성록, 강성현, 김종근, 박준건, “진해만의 가덕수도 표층수와 표층 퇴적물 중의 중금속 분포”. *해양환경안전학회지*, **2008**, 14, 95-103.