

# 마산만 봉암갯벌 퇴적물의 중금속 오염도 평가

이 찬 원\*+ / 전 홍 표\*\* / 이 성 진\*\*\*

## Evaluation of Heavy Metal Contamination for Bongam Tidal Flat Sediments in Masan Bay, Korea

Chan Won Lee\*+ / Hong Pyo Jeon\*\* / Sung Jin Lee\*\*\*

**요약** : 마산만유역의 창원시 수계에서 발생한 오염부하는 차집관로를 통하여 하수종말처리장으로 운반되거나 창원시 하천을 거쳐 봉암갯벌을 경유한 후 마산만으로 유입된다. 즉 마산만 하구 갯벌인 봉암갯벌은 도시에 위치하여 있고 민관산학의 협력으로 보존되어 생태학습장으로 이용되는 귀중한 갯벌이다. 특히 최근 몇 년 동안 조개류, 어류와 물새 등 다양한 생물이 관찰되고 있으며 우리나라 최초의 마산만특별관리해역 연안오염총량관리의 중심 지역에 해당한다. 1970년에 시작한 창원기계공업단지의 가동으로 마산만의 하구와 내만은 중금속으로 오염되었음이 보고되었다. 봉암갯벌의 저서생물의 서식지인 퇴적물에 존재하는 잔류성이 강한 주요 중금속 오염물질의 변화를 분석하였다. 아연, 구리, 납이 오염퇴적물 기준의 상위 기준 또는 심한 오염 기준을 초과하였고 인근 지점 별로도 95% 신뢰구간에서 차이를 보였다. 2006년과 2009년의 자료를 비교할 때 모든 중금속 농도가 점차 감소하고 있었다.

**핵심용어** : 봉암갯벌, 중금속, 퇴적물의 오염도 평가, 오염퇴적물 정화기준, 마산만

**Abstract** : The contamination loadings generated in Changwon City are coming into Masan Bay through the Bongam tidal flat except the loadings collected and transferred by sewer lines to the wastewater treatment plant. The recovery of waterbirds, shellfishes, and fishes has been quite well recognized in recent years after the first implementation of Masan Bay TPLM (Total Pollution Loads Management) in Korea. This tidal flat has been conserved by the cooperation of several stakeholders and utilized as an ecosystem field site for in situ education. A large industrial complex has been operated since 1970's, therefore increasing the level of pollutants in estuary and coastal sediments, especially by heavy metals. Zinc, copper, and lead contamination of sediment was revealed at higher level by Clean-up guideline (MOMAF) or heavily polluted level by SQC (USEPA). There was a significant difference between two sites at the 95% confidence level, which implies no homogeneity in the processes of transport and deposition even at 500 m of distance. The heavy metal concentrations in the Bongam sediments have been gradually decreased with comparing the data of 2006, and 2009.

**Keywords** : Bongam Tidal Flat, Heavy Metal, Sediment Quality Guideline, National Sediment Guidelines, Masanbay

### 1. 서 론

창원 및 마산은 1970년대초 창원 공업단지와 수출자유지역의 설립으로 유입하천 오염뿐만 아니

라 마산만의 오염은 가중되어 왔다(권영택, 1993).

창원공업단지에는 중공업, 기계공업, 조선산업이 중심으로 발달되어 왔는데 이 지역의 하천 종말점에 형성된 봉암갯벌은 중금속 등의 오염부하를 직

+ Corresponding author : water@kyungnam.ac.kr  
\* 정희원 · 경남대학교 환경공학과 · 공학박사  
\*\* 비희원 · 경남대학교 환경공학과 대학원 · 박사수료  
\*\*\* 비희원 · 경남대학교 연안역통합관리과정 · 석사과정

접 받고 있는 지역이다(권영택, 1997).

연안오염은 하천수의 유입과 하천에 퇴적된 오염 퇴적물이 강우에 의하여 연안지역으로 이행되어 지는 현상에 기인된다. 마산만 특별관리해역의 중요한 갯벌인 봉암갯벌의 퇴적물 중금속 오염도의 평가는 육상 기원에 의한 중금속 오염도 변화를 파악 하는데 중요한 의미를 가진다고 판단되어 이 지역 퇴적물내의 중금속 오염특성을 기존의 조사 자료를 바탕으로 하여 지점별로 비교 분석 하였다.

## 2. 이론적 배경

산업 활동의 대형화와 집중화 그리고 인구증가로 인한 오폐수가 하천에 대량 유입됨에 따라 하천 환경은 크게 악화되고 있다. 특히 중금속등과 같은 유해물질이 하천에 유입되면 흡착, 착물화, 혼탁입자의 침전 등 여러 가지 현상으로 수류가 완만한 하천의 하저에 퇴적되어 오염된 퇴적층을 형성한다.

하천은 각종물질이 상류로부터 하류로 운송되는 장소이며 강수량에 따라 하천수의 변동율이 크고 토사 등을 비롯한 오염물질이 하천수의 흐름이 완만한 곳에 퇴적됨과 동시에 최종적으로 해양에 유입되어 해양 환경오염의 주된 원인이 되고 있다(권영택, 1997).

중금속은 크게 생체에 필수인 중금속과 독성을 나타내는 비필수 중금속으로 나눌 수 있으며 특히, Itai-Itai병을 유발한 Cd에 대한 관심도가 높고 이와 같은 독성 원소들에 의한 오염은 지역 주민들에게 상당히 민감한 반응을 나타내고 있다(이창희, 1998).

또한 필수 원소 일지라도 과다 섭취 되었을 때에 생리적 거부반응을 나타내며 Zn 의 경우 구토, 설사 등을 유발한다(이창희, 1998).

### 2.1 대상유역

마산시 봉암동 및 창원시 신촌동 일대에 위치한 봉암갯벌은 10,285 m<sup>2</sup>(약 3만4천 평) 규모로 비교

적 작지만 마산만의 유일한 갯벌로서 마산만으로 흘러 들어오는 오염물질의 자연정화장 역할을 하고 있는데 공업단지와 인구밀집도시 인근에서는 보기 힘든 귀한 자연생태계이다. 갯벌은 창원천과 남천이 합류되는 지점부터 시작되어 봉암교 일대까지 형성되는데 바닷물이 빠지면 갯벌 전체가 드러난다. 특히 이곳에는 각종 염생식물과 50여종의 철새, 계, 갯지렁이들이 집단 서식하는 보금자리이기도 하다.

창원기계공업단지를 가로지르는 남천은 창원시 천선동 태산에서 발원하여 남에서 서로 유하하다가 창원과 내동천을 합류한 후 마산만으로 유입된다. 각종 산업체에서 흘러 들어오는 산업폐수와 합류하여 마산만으로 유입된다. 유역면적은 114.48 km<sup>2</sup>이고 유로연장은 14.95 km, 유역 평균 폭은 7.66 km에 달한다.

창원에는 300여개의 금속 관련업이 등록되어 있는데 그 중 남천 주변에는 약 100여개의 대형 금속업체가 집중해 있다.

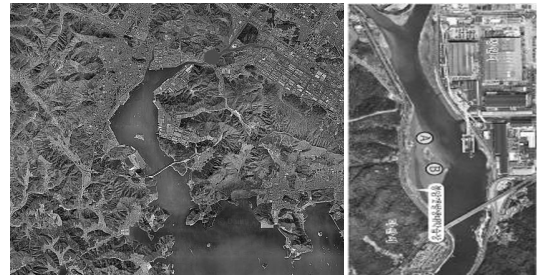


Fig. 1 Map of Bongam tidal flat

### 2.2 시료채취

각 채취지점에서 코어 시료채취기(Core sampler)를 이용하여 채취한 후, 플라스틱 재질의 주걱으로 교란되지 않은 부분의 표층에서 2 cm 깊이까지를 표층퇴적물로 취하여 500 mL 용량의 입구가 넓은 고밀도폴리에틸렌병(Wide mouth HDPE bottle)에 담아 실험실에서 분석하였다.

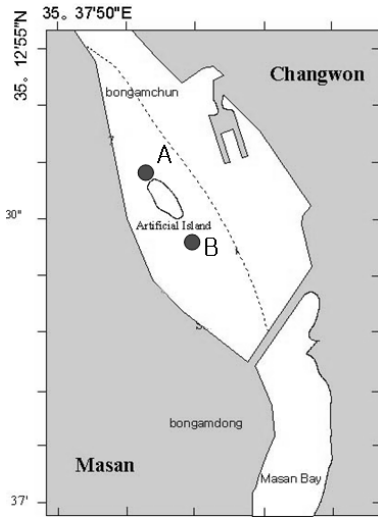


Fig. 2 Sediment sampling sites in Bongam tidal flat

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 봉암갯벌 퇴적물의 특성

봉암갯벌의 퇴적물은 2개의 지점에서 채취되었다. 지점 A는 창원천과 남천과 남천으로부터 유입되는 퇴적물이 퇴적되는 곳으로서 시추된 퇴적물의 길이는 33 cm이었으며 0~17 cm 부분은 대부분 모래와 실트로 구성되어 있었다. 17 cm 이하부분은 어두운 회색을 나타내었으며 퇴적물의 오염이 많이 진행된 것으로 판단된다.

지점 B에서 시추된 퇴적물의 길이는 27 Cm 였

으며 0~7 cm 부분은 모래와 실트로 구성된 회색층을 이루었으며, 7~14 cm 범위에서는 어두운 회색층을 나타내었다. 14~20 cm 구간에서는 암갈색으로 퇴적물이 상당히 오염되었음을 알 수 있었다.

#### 3.2 봉암 갯벌 퇴적물의 중금속 오염 특성

봉암갯벌 퇴적물의 오염도 평가는 지난 2006년 경남대학교 환경공학과(진홍덕, 2006)이 조사한 결과를 바탕으로 하여 2009년의 결과와 비교하여 아래의 표에 나타내었다.

퇴적물의 분석은 해양환경공정시험법에서 규정하고 있는 퇴적물시료의 중금속 분석 방법에 따라 전처리 후 유도결합플라즈마 발광분석장치(PerkinElmer Optima 4300DV)를 이용하여 분석하였다(해양환경공정시험기준).

##### 3.2.1 봉암 갯벌 퇴적물의 오염도 평가 (2006년, 2009년)

###### 가. Sediment Quality Guideline(SQG)에 의한 오염도 평가

본 결과는 2009년 8월 채취된 퇴적물과 2006년 경남대 환경공학과에서 이루어진 데이터와 비교하여 시간 변화에 따른 퇴적물의 상태 변화를 알아보기 위해 미국 환경보호청(USEPA)에서 퇴적물 환경오염 지침으로 사용하고 있는 Sediment Quality Guideline(SQG)에 의한 오염도 평가를 시도 하였다.



Fig. 3 Physical properties of sediment samples

Table 1. Assessment of Bongam tidal flat sediments by Sediment Quality Criteria(SQC)  
(단위 : mg/kg, 건중량)

항 목	Sediment Quality Guideline			지점(2006년)		지점(2009년)	
	Nonpolluted	Moderately Polluted	Heavily Polluted	A 지점	B 지점	A 지점	B 지점
Pb	<40	40 ~ 60	>60	131	34.1	93	38
Zn	<90	90 ~ 200	>200	547	182.5	439	131
Mn	<300	300 ~ 500	>500	712	311.7	658	297
Cd	-	-	>6	5.5	0.60	2.36	0.68
Cr	<25	25 ~ 75	>75	55	46.4	56	42
Cu	<25	25 ~ 50	>50	69	63.8	53	48

봉암갯벌 퇴적물의 Sediment Quality Criteria(SQC)에 의한 2006년 과 2009년 자료를 고찰하여 오염도 평가한 결과 Pb(납)의 경우 A 지점은 Heavily Polluted, B 지점은 Moderately Polluted 상태 였으며, Zn(아연)은 A 지점은 Heavily Polluted, B 지점은 Moderately Polluted 상태였다. Mn(망간)은 A 지점은 Heavily Polluted, B 지점은 Nonpolluted 상태였다. Cr(크롬)의 경우는 Moderately Polluted 수준을 나타내었다. 그리고 Cu(구리)의 경우는 Heavily Polluted 수준을 나타내고 있었다. 봉암갯벌 퇴적물의 두 지점의 중금속 농도를 비교하였을 때 전반적으로 A 지점이 높게 나타난 이유는 창원공업단지로부터 유입된 중금속 등의 오염부하를 직접적으로 받는 지점이기 때문으로 여겨진다.

그리고, 2006년 자료와 2009년 자료를 비교 검

토해 보면 시간의 변화에 따른 봉암갯벌 퇴적물의 각각의 중금속 농도의 변화는 다소 감소하는 것을 알 수 있었다. 이는 공장의 폐수처리 시설 확대와 연안오염 총량관리체 실시, 그리고 환경에 대한 지속적인 관심으로 인해 퇴적물의 유해물질의 농도는 점점 줄어 든 것으로 생각 된다.

**나. 오염퇴적물 정화기준(해양수산부, 2005) 의 한 오염도 평가**

아래의 Table 2는 국내 퇴적물 오염현황, 국내 퇴적물의 주요 오염성분, 오염퇴적물 정화기준의 하위기준과 상위기준을 종합적으로 고려하여 국내 여건에 적합한 환경기준으로 제안된 오염퇴적물 정화기준(윤길림, 2008)과 봉암갯벌의 퇴적물의 2006년과 2009년 자료를 지점별과 항목별로 비교 하여 오염도를 나타내고 있다.

Table 2. Assessment of Bongam tidal flat sediments by national sediment guidelines  
(단위 : mg/kg, 건중량)

Parameter	오염퇴적물 정화복원기준(2005,해수부)*		봉암갯벌(2006)		봉암갯벌(2009)	
	Lower level	Higher level	A 지점	B 지점	A 지점	B 지점
	Parameter mg/kg dry weight					
Cd	0.68	4.21	5.5	●	0.60	2.36 ○ 0.6
Cr	80	370	55		46.4	56 - 24
Cu	24	108	69	○	63.8 ○	53 ○ 29 ○
Pb	50	220	131	○	34.1	93 ○ 32
Zn	200	410	547	●	182.5	439 ● 183

(○: 하위기준 초과, ●:상위기준 초과,)

※:준설토 유효활용을 위한 한국형 환경기준 개발(한국지반공학회논문, 제24권 5호, 2008년 5월

오염퇴적물 정화기준은 2003년 이후 전문기관에서 많은 항목을 동시에 분석한 해역의 퇴적물 자료를 수집하여 이 자료를 토대로 오염퇴적물 정화복원 기준을 설립한 것이다(윤길립, 2008).

봉암갯벌의 오염퇴적물 정화기준에 의한 오염도 평가 결과는 Cd(카드뮴), Cu(구리), Pb(납)의 항목에서 하위기준을 초과하는 오염도를 나타내었으며, A 지점의 Zn(아연)의 경우 상위 기준을 초과하는 상태를 나타내었다.

**다. 봉암갯벌 퇴적물의 깊이별 오염도 평가**

퇴적물의 오염도는 퇴적물 입자의 크기에 따라 영향을 받는다. 특히 중금속 오염의 경우 입자의 크기에 따라 잠재 흡착능이 결정될 수 있다.

Förster and Wittmann(1979)은 1 μm보다 작은 입자의 퇴적물은 20~60 μm의 입자보다 3배 이상이 흡착한 것을 보고하였다. 따라서 Allan and Brunskill(1976)은 퇴적물의 입자에 따른 영향을 배제하기 위하여 RAV(Relative Atomic Variation) 법을 제안하였다. RAV는 깊이별 퇴적물 데이터를 이용하여 두 금속의 직선 상관관계를 구한다. 따라서 RAV는 두 금속간의 평균비(Average ratio)에 해당하며 상관관계를 통하여 퇴적물의 지질화학적 유사성을 밝힐 수 있다.

봉암갯벌 지점 A의 깊이별 농도는 Table 3과 같았다. 미량 중금속과 철(Fe)의 직선 회귀 분석에 의한 RAV 분석의 결과는 철과 망간의 경우 유의한 상관관계가 있었다(correlation coefficient r=0.766, RAV 121.75×10<sup>-4</sup>). 철과 망간의 상관관

계 RAV 그래프는 Fig. 4에 나타내었다. 다른 중금속의 경우 자연적 풍화, 침적, 토사의 이동에 인위적 요소의 오염물질 유입이 있었음을 암시하고 있다. 더욱 분명한 오염경향을 파악하기 위하여 자연부존 함량과 비교하는 방법이 있다.

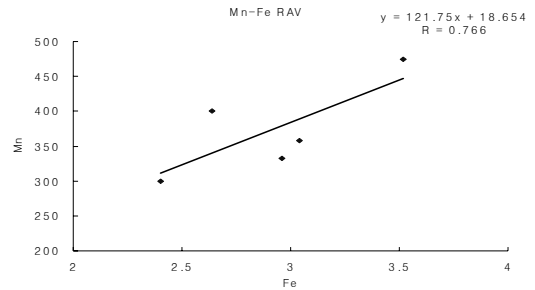


Fig. 4 Relative Atomic Variation of Mn-Fe in Bongam tidal flat

**4. 결 론**

봉암갯벌 퇴적물을 국내여건에 적합한 환경기준으로 제안된 오염퇴적물 정화기준을 통한 오염도 평가 결과는 Cd(카드뮴), Cu(구리), Pb(납)의 항목에서 하위기준을 초과하는 오염도를 나타내었으며, A 지점의 Zn(아연)의 경우 상위 기준을 초과하는 상태를 나타내었다.

그리고, 봉암갯벌 퇴적물의 Sediment Quality Criteria(SQC)에 의한 2006년과 2009년 자료를 고찰하여 오염도 평가한 결과 Pb(납)의 경우 A 지점은 Heavily Polluted, B 지점은 Moderately Polluted

Table 3. Concentration of element in sediments from Bongam estuary of Masan Bay (Unit:ppm on dry weight)

Depth (cm)	Mn	Zn	Cu	Cd	Pb	Cr	Fe (%)
0-10	400	191	43	0.55	40	60	2.64
10-20	300	238	65	0.73	44	60	2.40
20-30	333	92	40	0.91	24	42	2.96
30-40	358	84	33	0.36	28	42	3.04
40-55	358	92	40	0.18	24	32	3.52

상태였으며, Zn(아연)은 A 지점은 Heavily Polluted, B 지점은 Moderately Polluted 상태였다. Mn(망간)은 A 지점은 Heavily Polluted, B 지점은 Nonpolluted 상태였다. Cr(크롬)의 경우는 Moderately Polluted 수준을 나타내었다. 그리고 Cu(구리)의 경우는 Heavily Polluted 수준을 나타내고 있었다.

그리고, 2006년 자료와 2009년 자료를 비교 검토해 보면 시간의 변화에 따른 봉암갯벌 퇴적물의 각각의 중금속 농도의 변화는 다소 감소하는 것을 알 수 있었다. 이는 공장의 폐수처리 시설 확대와 연안오염 총량관리제 실시, 그리고 환경에 대한 지속적인 관심으로 인해 퇴적물의 유해물질의 농도는 점점 줄어 든 것으로 생각 된다.

### 감사의 글

본 연구는 2010년도 경남대학교 학술연구장려금 지원으로 이루어졌다.

### 참 고 문 헌

1. 국토해양부 고시 제2008-268호 2008, 해양환경 공정시험기준, 국토해양부, 13~15
2. 권영택, 1993, 중공업단지 하천 퇴적물의 중금속 오염특성, 경남대학교 환경연구소 연구보고, Vol.15. 5~13
3. 권영택, 1997a, 연안 퇴적물 분석기술 연구 - 환경부, 과학기술처, 해양오염 방지 및 환경회복 기술, 연안환경 개선기술, G-7 제2단계 2차년도

도 연차보고서

4. 권영택, 이찬원, 1996, 다양한 생태위해 지표에 의한 퇴적물의 중금속 오염도 평가, 환경연구, Vol. 18, 151-162
5. 윤길림, 이찬원, 정우섭 2008, 준설토 유효활용을 위한 한국형 환경기준 개발, 한국지반공학회 논문, 제24권 5호, 5~13
6. 이찬원, 권영택, 1995a, 퇴적오니 준설과 해양 환경 변화, 아카데미 예원, 43-50
7. 이창희, 김은정 (1998) 호소 및 하천 오염퇴적물 관리방안, 한국환경정책평가연구원(KEI/1998/RE-08 연구보고서) pp. 1-138.
8. 진홍덕, 윤채용, 조현석, 김태일, 이상우 2006, 창원 남천 퇴적물의 중금속 오염도 변화 및 평가, 경남대학교 연안환경특성화 전공심화 발표회 자료집, 13~15
9. Allan, R. J. and G. J. Brunskill 1977. Relative atomic variation (RAV) of elements in lake sediments: Lake Winnipeg and other Canadian Lakes. In: Interactions Between Sediment and Freshwater (H. L. Golterman, ed.). The Hague, Junk, The Netherlands. pp 108~120
- 10 Förstner, N. and G. T. W. Wittmann. 1979. Metal Pollution in the Aquatic Environment. Springer Verlag, Berlin, 197~203

○논문접수일 : 10년 06월 09일  
 ○심사의뢰일 : 10년 06월 24일  
 ○심사완료일 : 10년 12월 01일