

## 시화호 퇴적토의 오염도 평가 및 효과적 관리방안

김승진<sup>1</sup> · 배우근<sup>1\*</sup> · 신경훈<sup>2</sup> · 최동호<sup>3</sup> · 백승천<sup>1</sup> · 윤승준<sup>1</sup> · 최형주<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한양대학교 토목공학과

<sup>2</sup>한양대학교 해양환경과학과

<sup>3</sup>금호건설 기술연구소

## Evaluation of the Sediments Contamination in the Lake Sihwa

Seung Jin Kim<sup>1</sup> · Wookeun Bae<sup>1\*</sup> · Kyung-Hoon Shin<sup>2</sup> · Dong Ho Choi<sup>3</sup> · Seung Chun Bae<sup>1</sup>  
Seung Joon Yoon<sup>1</sup> · Hyungjoo Choi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Civil Engineering, Hanyang University

<sup>2</sup>Department of Environmental Marine Science, Hanyang University

<sup>3</sup>Institute of Construction Technology, Kumho Engineering & Construction

### ABSTRACT

An investigation on the polluted sediments in the Lake Sihwa and the benthos that inhabited on the sediments was conducted. Cost effective remediation alternatives were derived from the results of the investigation. The sediment samples taken from four sampling points out of thirteen showed relatively high heavy metal (particularly copper) concentrations which exceeded the Effects Range Low (ERL) of the National Oceanic and Atmospheric Administration, USA. The four sampling points were located in front of industrial complexes. Although the heavy metals appeared to have affected the growth of the benthos, the concentration of it did not exceed the criteria of dredging that were developed by Netherlands or the State of Washington, USA. However, contamination by organic matters and sulfur compounds was severe, which exceeded the criteria of dredging that were established in Japan. The sediments taken from the four sampling points which were contaminated with heavy metals showed higher organic matter content in general. The organic matters in the sediments depleted oxygen in summer, which appeared to be fatal to the benthos. A comprehensive analysis on the sediments, benthos, and other environmental impact from the contaminated sediments drew a conclusion that the benthonic environment of the Lake Sihwa needed a stepwise remediation, giving a particular emphasis on the clean up of the sediments upstram of the Lake which could cause odor problems to the nearby residential area.

**Key words :** Lake sihwa, Sediment, Sediment management, Remediation, Benthos ecosystem

### 요 약 문

시화호 저서생태계의 비용효과적 복원을 위한 퇴적토 관리 대안을 제시하기 위하여 시화호 내 오염퇴적물의 현황 및 저서생태계 특성에 대한 조사와 퇴적물 관리 기준과 사례 연구가 수행되었다. 미국해양대기청의 퇴적물환경권고기준에 따라 시화호 퇴적토의 중금속 오염도를 평가한 결과 13개 조사지점 중 반월/시화 산단과 인접해 있는 4개 지점의 퇴적토가 2개 이상의 중금속에서 ERL (Effects Range Low : 저서생물 10%에 악영향을 끼칠 수 있는 농도)을 초과하는 것으로 나타났다. 그러나 미국 워싱턴 주와 네덜란드에서 정하고 있는 퇴적토 제거기준은 초과하지 않는 것으로 나타났다. 반면에 유기물 및 황화물 오염의 관점에서 개발된 일본 나고야항과 동경만/요코하마만의 퇴적물 제거기준에 의하면 시화호 표층 퇴적물 대부분이 제거대상인 것으로 나타났다. 한편 저서생물의 조사결과 *Polydora ligni* (얼굴갯지렁이)와 *Musculista senhousia* (증뚱)와 같은 오염지시종이 우점종으로 출현하였으며, 이로 미루어 유

\*Corresponding author : wkbae@hanyang.ac.kr

원고접수일 : 2007. 6. 5    게재승인일 : 2007. 8. 4

질의 및 토의 : 2007. 10. 31 까지

\*본 논문은 2007년 춘계학술발표회 특별호 논문입니다.

기물 오염에 의한 여름철 용존산소 고갈 및 황화수소 생성등이 일반적인 저서생물의 건강한 성장을 크게 저해하는 것으로 판단되었다. 유기물, 황화물 및 중금속과 오염퇴적토가 주변지역에 미치는 영향을 종합적으로 고려한 결과 일부 지역은 우선적으로 퇴적토 정화가 이루어져야 할 것으로 판단되었다.

주제어 : 시화호, 퇴적토, 퇴적토 관리, 복원, 저서생태계

### 1. 서 론

시화지구 개발사업의 일환으로 수도권외의 공업, 농업, 주거용지를 공급하기 위하여 1994년 시화방조제의 완공과 함께 조성된 시화호는 유역면적 12.7 km<sup>2</sup>, 총용수량 332 × 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>인 인공호이다. 그러나 시화호 인근에 위치한 반월/시화 산업과 축산농가로부터 미처리된 다량의 오염물질이 호내로 유입되고 1994년 방조제 건설로 해수유통이 중단되면서 수질 및 퇴적토의 오염을 초래하였다. 이에 시화호 수질개선이라는 사회적 요구의 반영으로 하·폐수 처리장의 신증설, 차집관개 설치, 그리고 1997년 배수갑문 조조에 의한 해수 재유통 등의 다양한 수질개선 대책이 시행되어 왔다. 반면에 퇴적토에 대해서는 저서생태계 조사 및 모니터링, 퇴적토 오염도 조사 등을 통하여 시화호 관리 및 환경 개선을 위한 연구가 진행되었으나, 퇴적토 관리에 대한 구체적인 방안을 제시하지는 못하였다(한국수자원공사, 2001; 해양수산부, 2004). 향후 시화호의 친환경 공간으로서의 개발을 위해서는 시화호 퇴적토의 오염도 평가와 그에 따른 구체적인 관리 방안이 필요한 것으로 판단된다.

퇴적토는 저서생물의 생존 터전인 동시에 육지로부터 유입된 오염물질의 정화기능을 담당하기도 한다. 그러나 과도한 오염물질의 유입은 퇴적토의 자정능력을 감소시키고, 특히 유기물 분해과정은 산소고갈을 초래하여 저서생

물의 생존을 위협할 수도 있다. 홍 등(1997)은 시화호내 유기물 유입의 증가에 따른 저층수의 무산소 및 저산소층의 형성으로 인해 무생물대가 형성되거나 일부 오염지종의 천이현상이 유발된다고 보고하였다. 또한 산소고갈에 의한 환원 환경의 형성으로 퇴적토로부터 오염물질이 용출되어 수질악화의 원인이 되기도 한다. 따라서 저서생태계 보존이나 수질 개선을 위해서는 오염퇴적토의 관리 및 처리가 수행되어야 한다. 지금까지 국내에서 오염퇴적토 처리를 위한 준설사업이 몇 차례 시행된 바 있으나, 이는 수질 개선의 일환으로 시행된 것으로 저서생태계의 보존 및 복원은 고려 대상이 아니었다. 뿐만 아니라 국내에는 퇴적토 오염도 평가 및 그에 따른 관리 기준이 마련되어 있지 않아 퇴적토 관리 자체에도 어려움을 겪고 있다. 본 연구에서는 시화호 퇴적토의 오염물질함량 및 저서생물 조사를 통해 퇴적토의 오염도를 평가하고, 외국 사례 및 관리 기준을 바탕으로 한 퇴적토 정화 필요성 여부 판단방안을 제시하고자 하였다.

### 2. 재료 및 방법

#### 2.1. 조사지역 및 방법

2004년 4월, 7월, 11월 그리고 2005년 1월 총 4회에 걸쳐 3개의 지역에서 계절별로 퇴적토 시료를 채취하였다 (Fig. 1). 조사지역은 열병합 발전소 인근지역(A), 시화산

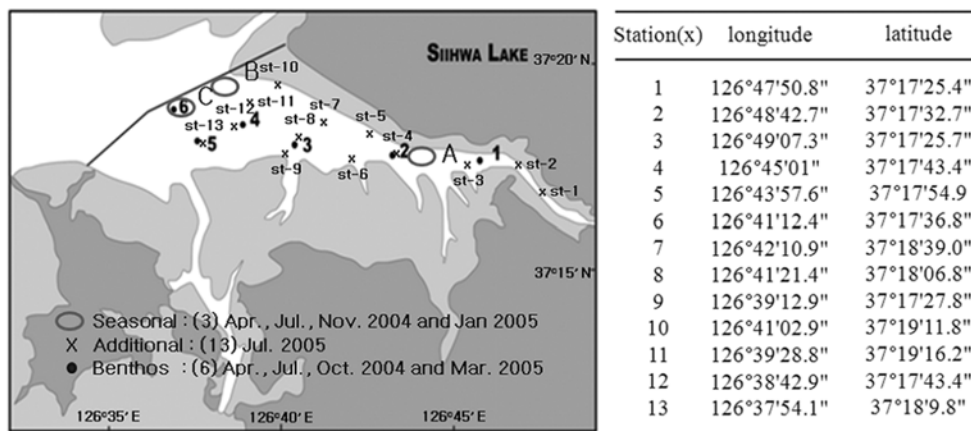


Fig. 1. Sampling stations in the Lake Sihwa. 'Seasonal' and Additional' samplings were for chemical analysis of sediments whereas 'Benthos' samplings were for benthic animal analysis.

단 전방지역(B), 방조제 개폐를 통해 해수유통이 원활한 지역(C)으로 구분한 후 PVC core sampler를 이용하여 깊이별 시료를 채취하였다(정점 위 · 경도 : Fig. 1 참조). 그리고 2005년 7월에는 조사지역을 13개 정점으로 세분하여 퇴적토 시료를 채취하였다. 그리고 시화호 내 저서동물군집을 조사하고 저서생태계변화를 모니터링하기 위해 동일기간동안 6개 정점(Fig. 1)에 대해 저서동물물 채집하였다. 시료 채취는 반번채니기(Van Veen grab; 채집용적 0.1 m<sup>3</sup>)를 이용하여 3회씩 반복 실시하였다.

**2.2. 조사항목 및 분석방법**

퇴적토 시료의 측정 항목은 A~C, 3개 지역에 대해서는 깊이별로 강열감량, COD<sub>Mn</sub>, T-S, Cu, Pb, Cd, Zn, 13개 정점에서 대해서는 강열감량, COD<sub>Mn</sub>, Cu, Pb, Cd, Zn, Hg 등을 측정하였다. 채취한 시료는 해양환경공정시험방법(해양수산부, 2002)에 따라 전처리 후 실험실로 운반하였다. 운반된 시료는 건조 후 패각을 제거한 다음 균일하게 혼합 · 분쇄하여 No. 200 체를 통과한 것을 분석에 사용하였다. 강열감량, T-S, COD<sub>Mn</sub> 등은 해양환경공정시험방법의 해저퇴적토편에 따라 분석하였으며, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn 등의 중금속 항목은 AAS와 ICP를 이용하여 분석하였다.

저서동물은 퇴적토 시료채취 후 선상에서 1 mm 표준체로 걸러서 남은 잔존물을 해수로 희석된 10% 포르말린용액으로 고정한 후 실험실로 운반, 분류군별로 선별 및 동정, 계수하였다. 저서동물의 공간적 분포 특성을 파악하기 위해 각 정점별 출현종수, 개체수, 분류군별 구성비율, 그리고 우점종의 분포 특성 등을 분석하였다. 생태학적 지수들인 종다양도지수(Shannon and Weaver, 1963), 종균등도지수(Pielou, 1966)를 구하여 자료 분석에 이용하였다.

**2.3. 퇴적토 오염도 평가 및 정화 여부 판단 방법**

국내에는 아직까지 퇴적토 관리 기준이 설정되어 있지

않으며, 현재 준설토사처리 및 활용을 위한 환경기준을 해양수산부에서 마련 중에 있다(이, 2007). 퇴적토 오염과 관련된 기준을 설정하기 위하여는 다양한 오염물질과 이로 인한 환경영향을 고려해야 한다. 더욱이 동일한 오염물질이라 하더라도 저서생태계의 성질에 따라 미칠 수 있는 영향이 다르게 나타날 수 있다. 따라서 퇴적토 오염도 평가 및 퇴적토 관리기준의 설정에 많은 시간이 소요되며, 다양한 접근 방법이 요구된다.

본 연구에서는 퇴적토 오염도 평가에 있어 기존에 개발되어 적용되어 온 외국의 기준을 준용다. 중금속에 대해서는 증거자료기중법(Weight of Evidence Approach, WEA)에 근거한 미국해양대기청(National Oceanic & Atmospheric Administration, NOAA)의 기준을 준용하여 오염도를 평가하였다. NOAA는 퇴적토가 저서생물에 끼칠 악영향의 정도에 따라 ERL, ERM 등의 기준을 정하고 있다(Table 1 참조). 퇴적토 정화 필요성 판단은 미국 워싱턴 주 및 네덜란드의 Sediment Cleanup Standard (퇴적토 제거 기준)을 준용하였다. 워싱턴주의 퇴적토 제거 기준은 ERM과 비슷한 수준으로 설정되어 있고, 네덜란드의 경우는 미국보다 다소 완화된 기준치를 가지고 있다(Table 1). 유기물/총화물에 대해서는 우리나라 준설사업에도 사용된 바 있는 일본의 나고야항 기준과 동경만/요코하마만 기준을 준용하였다. 미국과 네덜란드 기준의 경우 퇴적토 오염이 저서생물에 미치는 영향을 고려하여 개발된 반면, 일본 기준은 오염 퇴적토가 수질에 미치는 영향을 고려하여 개발되었다. Table 1과 2에 본 연구에 준용된 퇴적토 관리기준(환경정책평가연구원, 1998; 2000)을 정리하였다.

**3. 결과 및 고찰**

**3.1. 계절별 퇴적토 오염 특성**

4회에 걸쳐 시화호 퇴적토의 강열감량, COD<sub>Mn</sub>, T-S, Pb,

**Table 1.** Sediment environmental criteria in U.S.A and the Netherlands

(Unit : mg/kg)

Content	NOAA		Washington, U.S.A		The Netherlands	
	ERL	ERM	Sediment cleanup standard	Sediment cleanup standard	Sediment & Soil cleanup standard	
Cd	1.2	9.6	6.7	30	12	
Cu	34	270	390	400	190	
Pb	46.7	223	530	1,000	530	
Hg	0.15	0.71	0.59	15	10	
Zn	150	410	960	2,500	720	

ERL : The concentratsin of which adverse effects occur in 10% of studies (Effects Range Low)

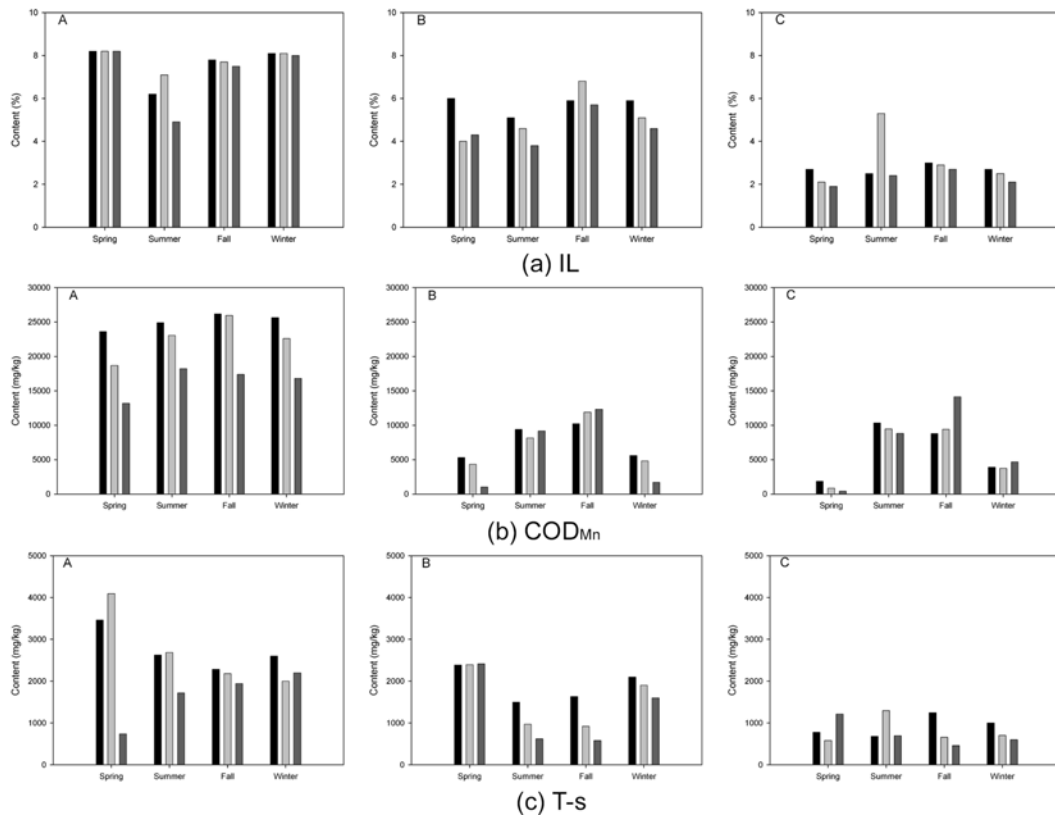
ERM : The concentratsin of which adverse effects occur in 50% of studies (Effects Range Median)

**Table 2.** Sediment cleanup criteria in Japan

Parameter	Range	Evaluation value	비 고	
Nagoya	Ignition loss (%)	≥ 10	+	If a sediment marks '+' more than twice, it is recommended to be removed
		< 10	-	
	COD (mg/g)	≥ 20	+	
		< 20	-	
Sulfur compounds (mg/g)	≥ 1	+		
	< 1	-		
Tokyo & Yokohama	Ignition loss (%)	< 5	0	
		≥ 5, < 15	3	
		≥ 15	6	
		< 13	0	
	COD (mg/g)	≥ 13, < 20	1	
		≥ 20, < 30	2	
		≥ 30, < 40	4	
		≥ 40	6	
	Sulfur compounds (mg/g)	< 0.6	0	
		≥ 0.6, < 1	1	
≥ 1, < 5		2		
≥ 5, < 10		4		
	≥ 10	6		

Cu, Zn, Cd 등의 함량을 조사한 결과, 일부 항목(COD<sub>Mn</sub>, T-S)을 제외하고는 계절에 따른 변화는 크지 않은 것으로 나타났다(Fig. 2, 3). 반면에, 지역적으로는 변화가 컸으며

상류에 속하는 A 지역이 중하류부인 B와 C 지역보다 퇴적토 내 오염물질 함량이 높은 것으로 나타났다. 조사항목별로 살펴보면 강열감량의 경우 전 조사시기에 걸쳐 A



**Fig. 2.** Seasonal and regional variation of ignition loss (a), COD<sub>Mn</sub> (b) and T-S (c) ■ 0~10 cm ■ 10~20 cm ■ 20~30 cm.

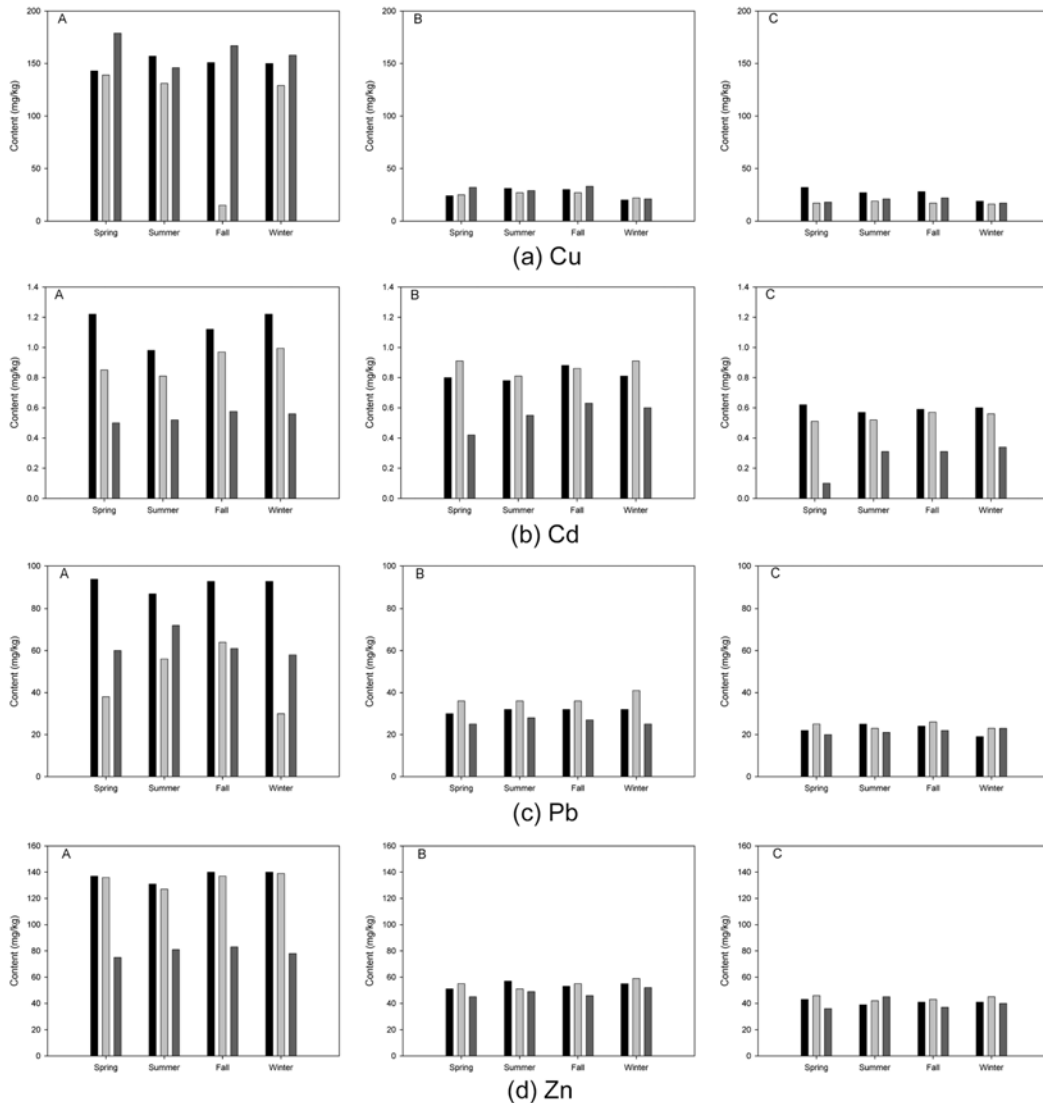


Fig. 3. Seasonal and regional variation of Cu (a), Cd (b), Pb (c) and Zn (d) 0~10 cm 10~20 cm 20~30 cm.

지역에서 약 8%로 나타나 B와 C 지역보다 높게 나타났으나, 동일 지역에서의 계절별, 깊이별 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. COD<sub>Mn</sub> 역시 A 지역이 약 20,000 mg/kg으로 나타나 가장 높게 나타났다. 또한 A 지역은 계절별 변화도 크지 않았다. 그러나 B와 C 지역은 봄과 겨울이 여름, 가을에 비해 낮게 조사되었다. T-S의 함량도 A 지역이 약 2,500 mg/kg으로 가장 높았으며, B와 C 지역의 경우 COD<sub>Mn</sub>과는 반대로 여름과 가을이 다른 시기에 비해 낮게 조사되었다. 비교적 수온이 높고 용존산소 농도가 낮은 여름과 가을에 퇴적토의 혐기화로 인한 H<sub>2</sub>S의 발생으로 T-S의 함량이 감소할 수 있었을 것으로 추정되나 정확한 원인은 알 수 없었다.

중금속은 강열감량, COD<sub>Mn</sub>, T-S와 마찬가지로 계절별

변화보다는 지역적 변화가 더 큰 것으로 조사되었다. Cu의 경우, A 지역의 농도가 약 150 mg/kg으로 전 조사시기에 걸쳐 다른 지역에 비해 상당히 높은 농도를 나타내었으며 깊이별 변화는 크지 않은 것으로 나타났다. Cd의 경우 A 지역 특히 표층에서의 농도가 약 1.0 mg/kg으로 다른 지역보다 높게 나타났으며 지역별 변화는 다른 조사 항목에 비해 크지 않은 것으로 나타났다. Pb와 Zn 또한 A 지역(Pb : 80 mg/kg, Zn : 140 mg/kg)이 가장 높았으며 계절별 변화는 크지 않았다.

### 3.2. 계절별 저서생태계 특성

연구 기간 동안 출현한 저서동물의 개체수(Fig. 4)는 2004년 4월에는 다양한 우점종이 고루 분포하였으나, 7월

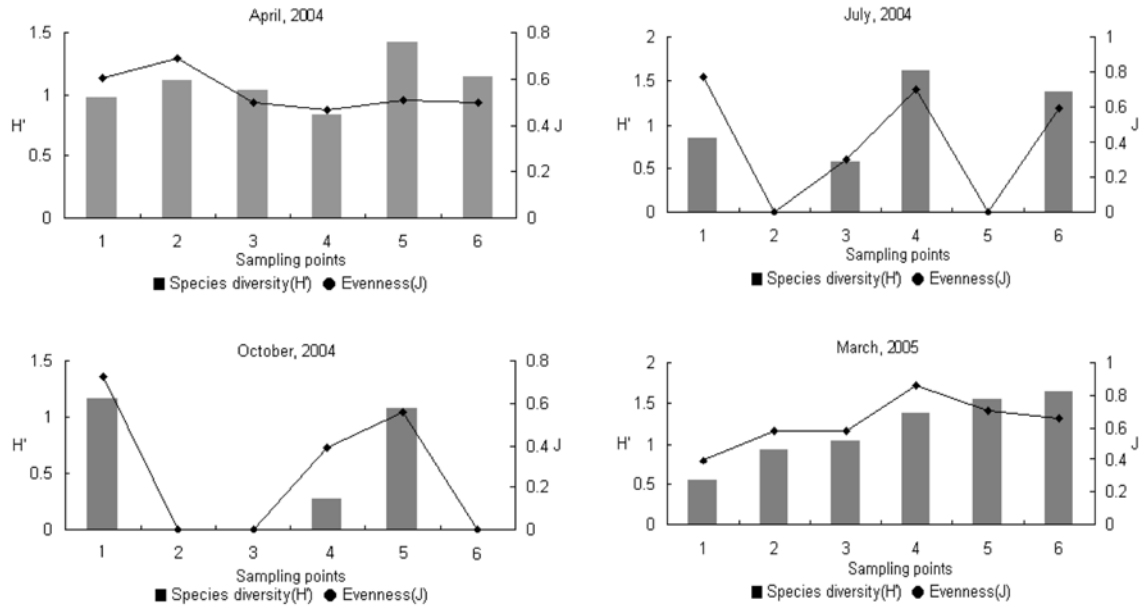


Fig. 4. Seasonal species diversity and evenness in sediments.

이후로는 특정한 우점종에 의해 전체 출현 개체수가 좌우되는 양상이었으며, 전체 개체수는 4월 이후 급격히 감소하였고, 7월보다는 10월에 더욱 감소하였다. 2005년 3월에는 갯지렁이류의 개체수가 상당히 증가해 있었으며, 대체로 2004년 4월의 수준을 회복하고 있는 것으로 보였다. 종다양도 지수와 종균등도 지수의 분포(Fig. 4)에서는 2004년 4월에는 모든 정점에서 비슷한 수준의 다양도와 균등도를 보였다. 그러나 하계가 시작되는 7월이 되면서 각 정점마다 상이한 특성을 보이게 되는데, 정점 2와 5는 다양도와 균등도가 0에 가깝게 나와 서식하는 개체 수에

비해 한 두개의 종만이 극우점하는 것을 보였으며, 정점 4와 6에서 높은 다양도와 균등도를 나타냈다. 10월에는 정점 1과 5에서 다양도와 균등도가 높게 나타났다. 2005년 3월에는 배수갑문 쪽으로 갈수록 다양도가 높게 나타났으며, 균등도는 상류 정점(St. 1, 2)에서는 낮았으나 중류(St. 3, 4)와 하류(갑문근처)(St. 5, 6)에서는 비슷한 값을 나타냈다.

시화호에서 출현한 저서동물의 우점종의 시기별 변화는 전체 개체수의 5% 이상을 차지하는 상위 4개종을 가지고 분석하였다(Fig. 5). 가장 많은 개체수를 보인 *Musculista*

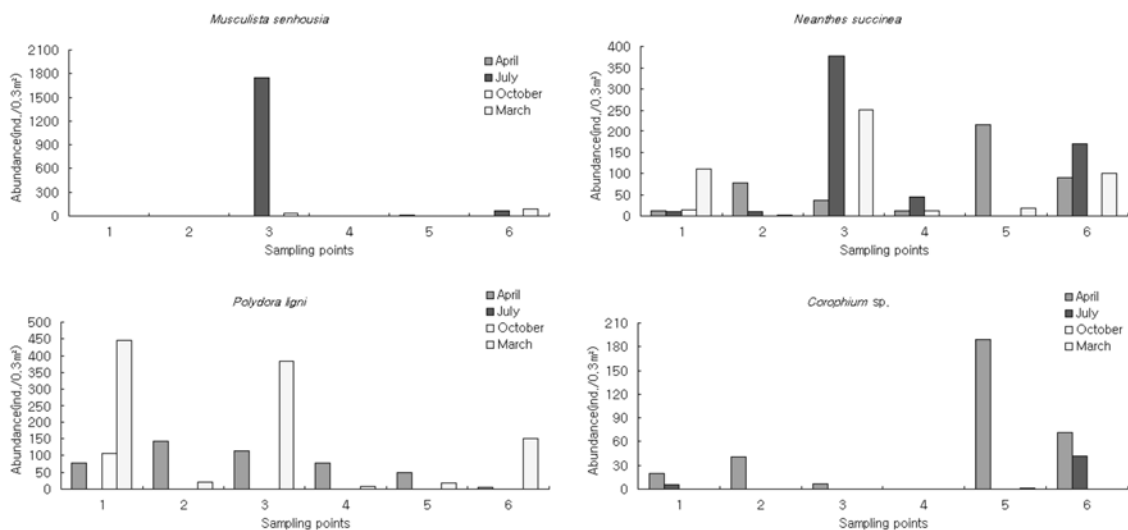


Fig. 5. Temporal and spatial distributions with occupied benthos in the Lake Sihwa.

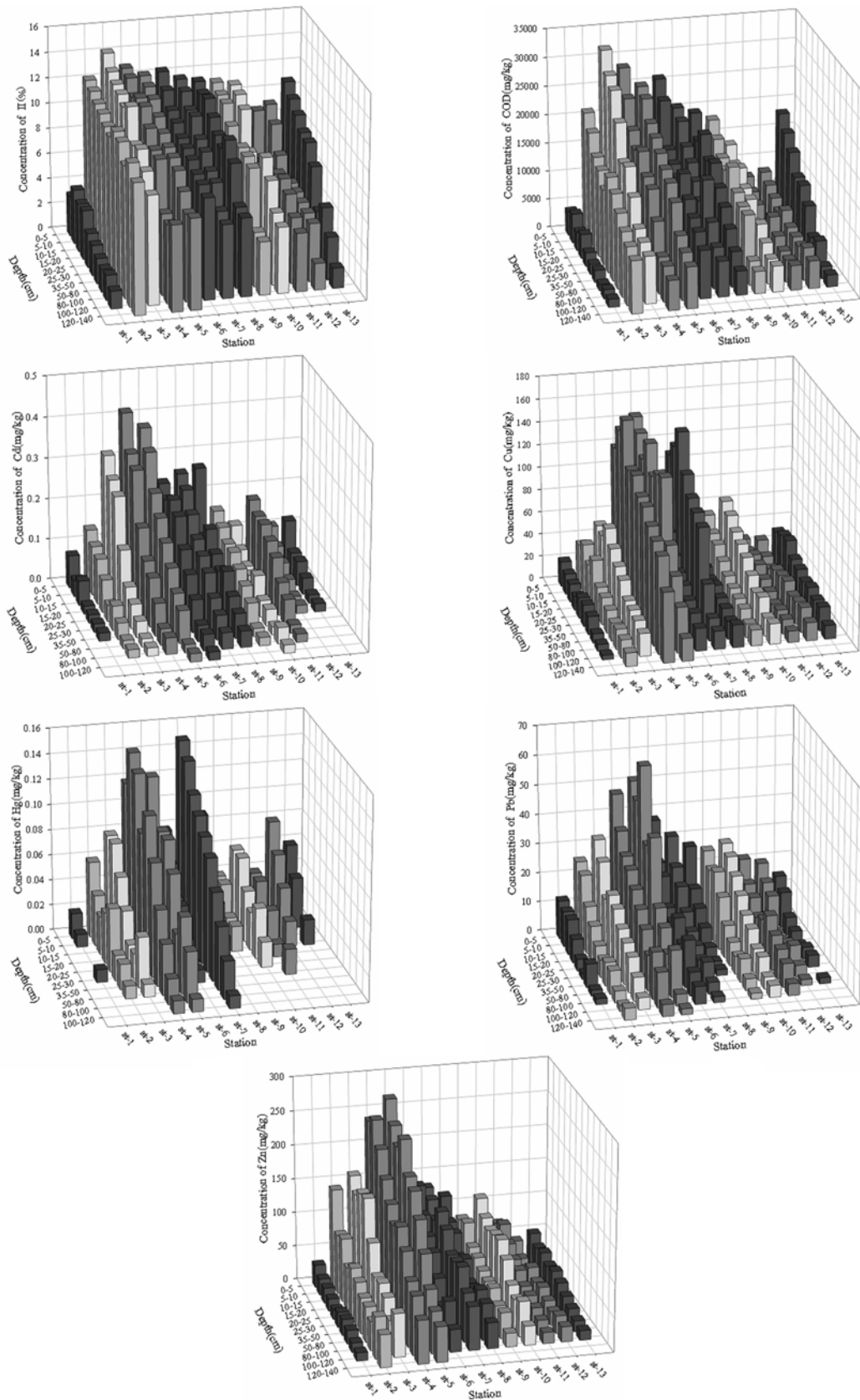


Fig. 6. Ignition loss, COD<sub>Mn</sub> and metal elements concentrations for each station.

*senhousia* (중밧)는 2004년 7월에만 국한되어 대량으로 출현하였으며 정점 3에서 집중되어 나타났다. 이때의 서식밀도는 1,752 개체/0.3 m<sup>2</sup>으로 시화호 출현 저서동물 중 가장 많이 출현하였으나, 다른 시기에서는 나타나지 않아 시화호의 대표적인 기회종이라고 할 수 있었다. 두 번째 우점종이었던 얼굴갯지렁이류의 *Polydora ligni*는 2004년 4월에는 전 정점에서 고루 분포하였으나, 7월에는 출현하지 않았고 10월에는 정점 1에서만 출현하였다. 2005년 3월에는 정점 1, 3, 6에서 대량으로 출현한 것으로 보아 봄철에 개체수가 증가함을 알 수 있었다. 세 번째 우점종인 두줄박이참갯지렁이(*Neanthes succinea*)는 여러 우점종들 중에서 비교적 모든 정점에서 매 시기마다 출현하였으며 시화호에 서식하는 저서동물 중 가장 대표성을 띠는 종으로 인식되었다. 가장 많이 출현하였을 때는 7월이었으며 정점 3에서 377개체/0.3 m<sup>2</sup>로 나타났다. 네 번째 우점종인 옆새우류인 *Corophium* sp. 는 4월과 7월에만 출현하였고, 시화호 하부인 정점 5, 6에서 주로 출현하였다. *Polydora ligni*와 *Corophium* sp. 역시 특정한 시기와 정점에서만 출현하는 시화호의 기회종으로 볼 수 있었다. 시화호에서 일시적으로 극우점하는 *P. ligni*와 *Musculista senhousia* (중밧)은 퇴적토 오염이 상당히 진행된 곳에서 서식하는 것으로 알려져 있다(Pearson and Rosenberg, 1978). 이들 종들은 심각하게 오염된 만이나 항구에서 출현하는 오염 지시종으로서 퇴적토 내 유기물 및 황 화합물 함량이 매우 높아 생물이 거의 살수 없는 지역에 출

현한다고 하였다. 이들은 짧은 생활사와 높은 번식력으로 인해 짧은 시간 동안에 개체수가 대량으로 늘어날 수 있고, 홍 등(1997)은 시화호 내 유기물 유입의 증가에 따른 저층수의 무산소 및 저산소층의 형성으로 인해 무생물대가 형성되거나 일부 오염지시종의 천이현상이 유발된다고 추론하였다.

3.3. 시화호 퇴적토 오염도 평가

13개 조사지점에 대하여 퇴적토 내 오염물질 함량을 조사한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 미국해양대기청(NOAA)의 퇴적물환경권고기준에 따라 시화호 퇴적토의 중금속 오염도를 평가한 결과 St. 3~St. 6까지 4개 지점의 퇴적토가 2개 이상의 중금속(Zn, Pb, Cu)에서 Effects Range Low (ERL, 10%의 저서생물에 악영향을 끼칠 수 있는 농도)를 초과하는 것으로 나타났다(Table. 3). 특히, 구리에 의한 오염도가 가장 큰 것으로 나타나 ERL을 초과하는 퇴적토 깊이가 30~140 cm에 이르렀다. 그러나 미국 워싱턴주 또는 네덜란드가 정하고 있는 퇴적토 제거기준에는 미치지 못하였다. 즉 반월공단 및 일부 시화공단 전방부 퇴적토의 중금속 오염이 저서생물의 성장에 상당한 악영향을 끼칠 수 있으나 오염의 수준이 퇴적토를 제거해야 할 정도는 아닌 것으로 판단된다.

유기물 및 황화물 오염의 관점에서 개발된 일본 나고야 항의 퇴적토 제거 기준 또는 동경만/요코하마만의 퇴적토 제거기준에 의하면 시화호 최 상류부와 배수갑문 인근을

Table 3. Evaluation of sediment pollution degree by NOAA. Numbers stand for the depth that exceeds the criterion of ERL

Criteria	Metal	Station															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	A	B	C
NOAA (ERL-ERM)	Zn	×	×	20	50	50	15	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	Pb	×	×	×	5	15	×	×	×	×	×	×	×	×	30	×	×
	Cu	×	20	30	140	120	50	80	15	15	25	×	×	15	50	×	×
	Cd	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	Hg	×	×	×	10	×	×	5	×	×	×	×	×	×	×	×	×

× : Below ERL

Table 4. Evaluation with the contaminated sediments removal guideline for the Nagoya harbor in Japan

Judging Parameter	Stations															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	A	B	C
Ignition loss	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-
COD <sub>Mn</sub>	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Sulfur compounds	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	+	+	-

Remarks : + : severely contaminated

- : less severely contaminated

Symbols in parentheses indicate the best estimates without direct data.

A sediment that obtained more than two '+' is recommended to be removed



**Table 5.** Evaluation with the contaminated sediments removal guideline for the Tokyo and Yokohama bay in Japan

Judging Parameter	Stations													A	B	C
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
Ignition loss	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	-
COD <sub>Mn</sub>	0	1		2	2	2	2	1	1	1	-	-	1	2	-	-
Sulfur compounds	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(1)	2	2	1
Total	2	6	9	7	7	7	7	6	6	6	5	5	5	7	5	1

Remarks : Numbers indicate the degree of contamination.

A sediment marked over '6' in total is recommended to be removed.

Numbers in parentheses indicate the best estimates without direct data.

제외한 거의 전 지역의 표층 퇴적토가 제거대상인 것으로 평가되었다(Table. 4와 5). 이 중 중금속 오염이 상대적으로 높았던 St. 3부터 St. 7까지의 오염도가 상대적으로 높게 나타나 제거대상 깊이가 약 30 cm에 이르렀다. 유기물 및 황화물 오염도 평가 결과는 저서생물 조사에서의 오염 지시종의 우점현상에 비추어 타당성이 인정되며, 특히 유기물 오염이 여름철 용존산소 고갈을 초래하여 저서생물들의 건강한 성장을 저해하는 것으로 판단된다.

유기물 및 황화물 오염, 중금속 오염, 오염퇴적토가 주변 주거지역에 미치는 영향을 종합적으로 고려한 결과 악취와 미관상의 문제를 야기할 것으로 예상되는 시화호 상류부의 St.2와 St.3 부근은 우선정화대상지역이 되어야 할 것으로 판단되었다. 유기물 및 황화물 오염이 심하고 중금속 오염도도 비교적 높은 St.4~St.7 부근의 지역은 퇴적토의 높은 오염도에도 불구하고 상시 수중에 잠겨있고, 주거지역과도 멀어 주변 환경에 미치는 영향이 적을 것으로 판단되어 장래 정화대상지역으로 분류할 수 있을 것으로 판단되었다. 이 지역은 사람에게 직접적인 피해를 주지는 않을 것으로 판단되며, 다만 저서생물 보호 및 시화호의 수질보전 차원에서 적절한 시기에 정화가 이루어지는 것이 바람직한 것으로 판단되었다.

#### 4. 결 론

미국, 네덜란드 그리고 일본의 기준을 적용하여 퇴적토의 중금속 오염도를 평가한 결과 반월산단 및 시화산단 전방부의 일부 조사정점 St.3~7에서 저서생물이 어느 정도 악영향을 받을 수 있는 것으로 나타났으나, 퇴적물을 제거해야할 정도는 아닌 것으로 평가되었다. 한편, 일본의 기준을 적용하여 퇴적토의 유기물 및 황화물 오염도를 평가한 결과는 St.2~10 지점 퇴적토에 대해 제거가 요구되는 수준으로 나타났다. 즉, 중금속 오염측면에서는 퇴적토의 정화가 시급하지 않으나 유기물 및 황화물오염(수질

및 생활환경의 악화) 측면에서는 정화가 필요한 것으로 나타났다. 시화호 퇴적토가 중금속 오염측면에서 아직 위험성이 크지 않다고 하더라도 시화호의 중요성과 사회적 관심 그리고 외해의 어족자원보호 등을 종합적으로 고려하여 퇴적토의 관리 및 처리방안이 보다 적극적으로 검토될 필요가 있다고 판단된다.

#### 사 사

본 연구는 2004년도 한국수자원공사의 지원에 의해 연구되었습니다.

#### 참 고 문 헌

이찬원, 준설토사 처리 및 활용을 위한 환경기준, 준설토사 처리·활용기준 수립 워크샵, 2007.5.  
 한국수자원공사, 시화호최적관리방안수립 연구, 2001.  
 한국환경정책 · 평가연구원, 호소 및 하천 오염퇴적물 관리방안, 1998.  
 한국환경정책 · 평가연구원, 수저퇴적물 환경기준 개발에 관한 연구, 2000.  
 홍재상, 정래홍, 서인수, 윤건택, 최병미, 유재원, 1997, 시화방조제의 건설은 저서동물군집의 시공간적인분포에 어떠한 영향을 미쳤는가?, 한국수산학회지, 30(5), 882-895.  
 해양수산부, 해양환경공정시험법, 2002.  
 해양수산부, 시화호해양환경개선사업, 2004.  
 Pearson, T.H. and Rosenberg, R., 1978, Macro-benthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment, *Oceanogr. Mar. Biol., Ann. Rev.*, **16**, 229-311.  
 Pielou, E.C, 1966, The measurement of diversity in different types of biological collection, *T. Theoret. Biol.*, **13**, 131-144.  
 Shannon, C.E. and W. Weaver, 1963, *The Mathematical Theory of Communication*, Univ. of illinois Press, urbana, p. 125.