

## 하계 서낙동강의 오염특성과 오염저토의 활용방안에 관한 연구

유수진\*, 김창욱, 박미경, 이태길, 조해래, 임포섭, 이양희,  
이병호, 박흥재

인제대학교 환경시스템학부

### 1. 서론

한강, 낙동강, 영산강, 금강 중 전 유역에서 간단히 약품 처리를 함으로써 식수로 사용할 수 있는 강물은 금강뿐이고 한강 하류나 낙동강 일부는 고도의 화학적 처리를 하여도 식수로 사용할 수 없을 정도로 오염되어 있다. 4대강 가운데 가장 심각한 오염을 보이는 강은 낙동강으로 특히 하구의 오염은 근해에 끼치는 영향이 크므로 하천 그 자체의 오염 뿐 아니라 적조 등의 원인이 될 수도 있다. 서 낙동강은 낙동강의 하류 대동 수문에서 시작하여 녹산수문을 통하여 바다와 연결되는 연장 18.5 Km, 하폭 100-1, 100Km로 조만강, 평강천 등의 지천과 연결되며(강서 구청, 1991) 우리나라의 대표적 곡창지대인 김해평야의 중요한 수원이며 남해안으로 흘러들어 어자원에 많은 영향을 끼친다.

하천오염의 주원인으로는 공장 폐수, 농약, 생활하수 등을 들 수 있다. 공장폐수에 의한 오염물질은 중금속, 시안 화합물, 페놀, PCB등이 있고 생활하수에서 기인하는 것으로는 합성세제 및 유기물 등이 있다. 이러한 물질 중 하상에 퇴적되는 물질들은 산소가 충분히 공급되지 못하는 경우에 유기물의 분해가 일어나지 않고 혐기성 반응이 진행되며 유기물이 고농축 된다. 저토의 경우 시간에 따라 변화가 큰 하천수보다 오염물질의 주요 축적원이 되었다가 홍수 및 봄과 가을에 수괴의 변동이 일어날 때 하상의 질소, 인 등의 영양염류와 중금속들이 이동하여 수면에까지 영향을 끼친다. 또한 이러한 퇴적물은 장기간 한 지역에 존재하여 점점 축적됨에 따라 지역적 오염을 가속화하는 원인이 되고 그 오염의 정도가 그 지역의 오염 지표가 될 수 있다. 한편 하천의 하상구조는 오염물질의 흐름과 퇴적에 중요한 지표가 되며 지속적인 구조 변화를 연구함으로써 오염물질의 고정 축적원에 대한 패턴을 정립할 수 있다.

본 연구에서는 서낙동강을 대상으로 저토 퇴적물에 대한 오염 특성이 하천의 오염에 대한 중요한 지표가 될 수 있으므로 서낙동강의 오염정도를 파악하고 오염원을 규명함과 동시에 하상구조와 저토의 오염 물질간의 관계에 대해 알아보았다.

또한 환경 정화 및 자원 활용 측면의 일환으로 농작물의 생육을 저해하거나 농작물에 흡수되어 사람의 건강에 직접적으로 해를 끼치는 중금속에 의한 오염을 줄이기 위하여 중금속이 잔류되어 있는 저토를 채취하여 소각시켜 유기물 성분을 최대한 제거한 후 기존 타일 원료와 저토를 일정 비율로 혼합, 저토 함량 비율에 따른 타일을 제작하고 타일 제작 전과 후에서의 중금속 농도를 측정, 비교하였으며 제작된 타일과 시판 타일간의 강도, 흡수율 및 색상 비교 분석 그리고 산성비에 의한 중금속 재용출 여부 실험을 실시하여 일상 생활에 사용하더라도 인체에의 위험이나 환경 오염이 따르지 않는 내, 외장 타일을 만들고자 하였다.

## 2. 조사대상 및 방법

### 2.1 조사지점 선정

저토 및 강물 채취 지역은 서낙동강에 관한 연구(황선출 등, 1997)에서 선정되었던 지점을 참고로 15개 지점을 선정하였다.(Fig. 1)

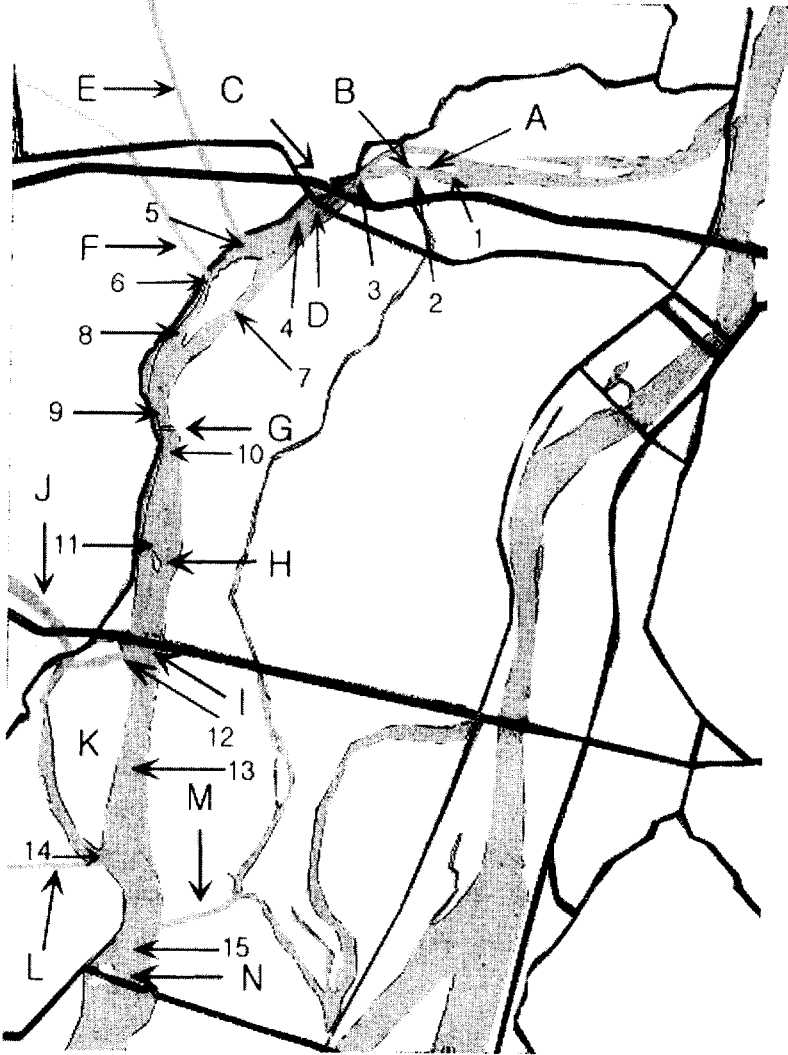


Fig.1 The Sampling Sites in Western Nakdong River

A: Suanduengchi Island B: Macdo Stream C: Bulam Brige D: Kimhae Brige

E: Shinoe Stream F: Hogeil Stream G: Kangdong Brige H: Chidong I: West Nakdong Brige J: Joman River K: Dunchi Island L: Jisa Stream M: Pyungkang Stream N: Noksan

## 2.2 조사 기간 및 방법

실험재료의 채취는 1999년 7월 8일부터 8월 27일까지 강물은 조사대상 지점에서 공정시험법에 따라 채수 하였고 저토는 저토 채취기(Ekman Dredge, 316SS WILDCO, Saginaw, MI48602)로 채취하였다.

보관은 시료를 취하여 폴리에틸렌병에 담아 밀봉 후 보관하여 분석하였고 저토는 건조시켜 분석하였다. 강의 깊이는 GPS와 초음파 측정기(Interphase Echo 220)를 이용하여 각각의 조사지점에서 측정하였다.

## 2.3 분석 항목 및 실험 방법

### 2.3.1 수질 분석법

화학적 산소요구량 (COD)은 수질오염, 폐기물, 토양 오염 공정 시험법에 따라 100°C, 산성 조건에서 과망간산칼륨법을 이용하여 분석하였고 생물학적 산소요구량 (BOD)과 부유물질 (SS), 수질오염, 폐기물, 토양 오염 공정 시험법에 따라 분석하였으며 총인 (T-P)과 총 질소(T-N)은 수질오염, 폐기물, 토양 오염 공정 시험법에 따라 자외선 흡광광도법으로 분석하였다.

### 2.3.2 저토중의 중금속 분석법

채취한 저토를 분쇄, 혼합하여 자연 건조시킨 후 질산-염산-과염소산 고체 시료 분해법으로 전처리한 후 Inductively Coupled Plasma( SPS Plasma Spectrophotometer, S II Sei-ko Instruments)를 사용하여 분석하였다.

### 2.3.3 오염저토를 이용한 타일의 제작

#### a. 저토와 타일 원료의 혼합 원료를 이용한 타일 제작

① 보다 양질의 타일을 제작하기 위하여 저토에 함유된 유기물이나 수분을 450°C의 소각로에서 20분간 가열하여 제거한다.

② 혼합시료에 함유되어 있는 잔사를 pot mill에서 3시간 동안 분쇄시킨다.

③ 위와 같은 과정을 거친 powder를 건조시켜 25mesh 체로 거른 후 수분이 6-7% 정도 함유되도록 증류수를 가한 다음 다시 12mesh 체로 거른다.

④ 숙성, 건조된 powder를 100 bar의 압력으로 3초, 400 bar로 5초 동안 press하여 가로 10 cm, 세로 5 cm의 시편을 만든다.

⑤ 1100 - 1280°C 정도의 온도에서 소성 하여 타일을 제작한다.

#### b. 제작된 타일에서의 중금속 함량 측정

저토와 타일 원료를 혼합하여 만든 타일을 미세한 분말로 분쇄하여 상기의 방법과 동일한 방법 및 기기를 사용하여 제작된 타일의 중금속 함량을 측정하였다.

#### c. 제작된 타일에서 산성용액에 의한 중금속 용출량 측정

용출 실험에 사용된 산성용액은 우리나라에서 내리는 산성비의 pH 범위가 4-7 범위이므로 pH가 4,5,6 및 7의 4종류를 사용하였다. 제작된 타일 1g을 절취하여 비커에 넣고 산성용액 10ml를 가하여 타일 조각이 산성용액에 잠긴 상태로 2일간 방치 후 중금속 용출량을 측정하였다.

#### d. 제작된 타일의 특성 검사

본 연구에서 제작한 타일이 실제 우리의 일상 생활에 사용 가능한지 그 여부를 알아보기 위하여 타일 제품 검사 방법인 색상, 강도 및 흡수율에 대하여 조사하였다.

### 3. 연구 결과

#### 3.1 깊이에 따른 하상 구조

서낙동강 15개 조사 지점에서 깊이를 측정한 결과 (Fig. 2 ) 맥도천 근처(site e2)가 13ft로 가장 깊었으며 강동교 근처(site 9)와 녹산수문 근처(site 15)가 12ft로 비교적 깊었으며 호계천 근처(site 6)가 5ft로 가장 얇았다.

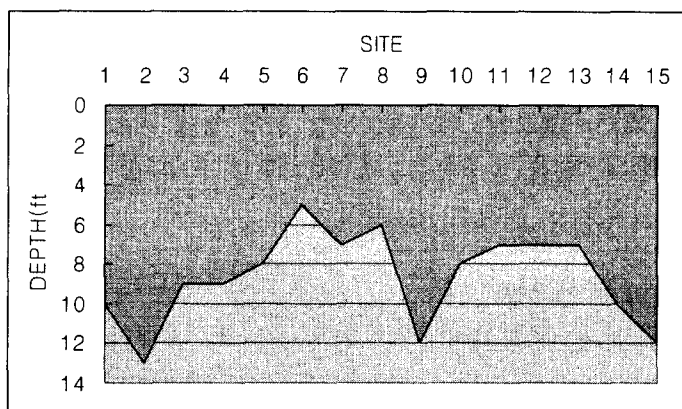


Fig.2 Depth distribution of Western Nakdong River

#### 3.2 수질 분석 결과

서낙동강의 15개 site의 수질분석 결과 (Table.1) BOD의 경우 신어천(site5)과 호계천(site6)이 각각 5.028ppm, 5.228ppm으로 비슷하게 가장 높았으며 녹산수문 근처(site16)가 2.16ppm으로 가장 낮았다. COD의 경우 수안치등섬 부근 (site1)과 맥도천 유입부분(site2)이 각각 11.4131ppm, 11.3584ppm으로 비슷하게 가장 높았으며 둔치도 근처(site13)가 6.4318ppm으로 가장 낮게 나타났다. SS의 경우 맥도천 유입부분(site2)이 47.466ppm으로 가장 높았고, 선암다리 근처(site4)가 6.330ppm으로 가장 낮았다. T-N의 분석결과 수안 치등섬(site1)이 4.066ppm으로 가장 높았으며 호계천 근처(site6)가 1.72ppm으로 가장 낮았다. T-P분석 결과 맥도천 유입부분(site2)이 0.287ppm으로 가장 높았으며 강동교와 치등 사이(site10)가 0.152ppm으로 가장 낮았다.

Table.1 BOD, COD, SS, T-N and T-P in the water sample of Western Nakdong River  
(unit: ppm)

항목 SITE	BOD	COD	SS	T-N	T-P
1	2.928	11.413	25.555	4.066	0.262
2	2.996	11.358	47.466	3.580	0.287
3	2.728	10.717	39.443	3.600	0.178
4	3.032	10.519	6.330	2.575	0.230
5	5.028	10.536	9.660	2.000	0.179
6	5.228	9.343	12.190	1.720	0.227
7	4.660	8.063	43.710	1.900	0.182
8	3.928	7.463	15.600	2.540	0.253
9	4.532	7.577	14.440	1.832	0.265
10	3.520	6.995	18.000	2.800	0.152
11	3.916	8.905	14.000	2.280	0.163
12	3.892	6.890	18.500	2.420	0.193
13	3.532	6.432	8.500	3.180	0.178
14	3.340	6.565	17.165	2.946	0.205
15	2.160	6.434	15.500	4.100	0.173

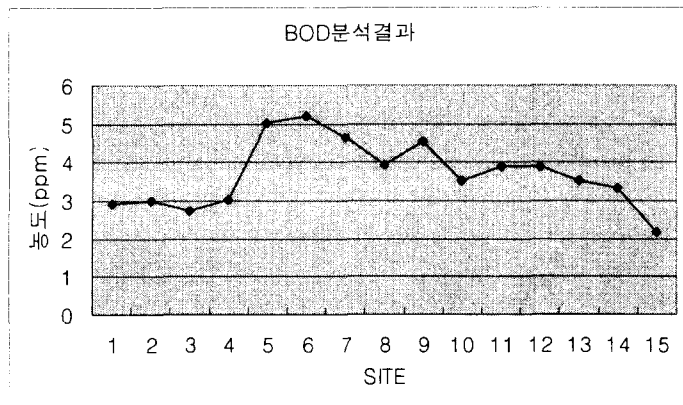


Fig.3 BOD in the water sample of Western Nakdong River

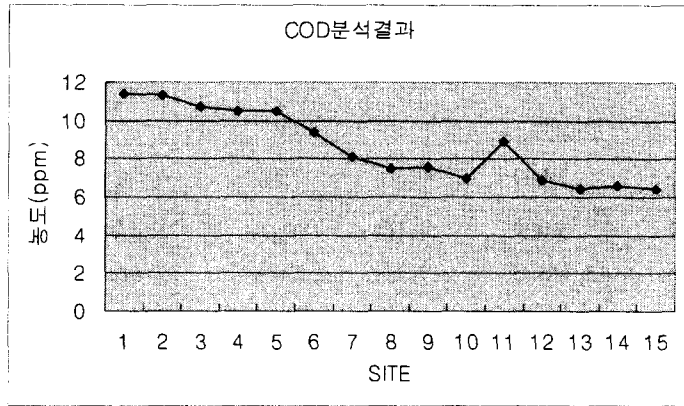


Fig.4 COD in the water sample of Western Nakdong River

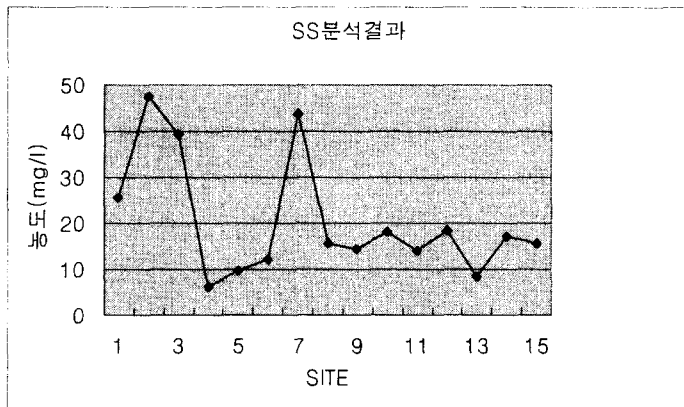


Fig.5 SS in the water sample of Western Nakdong River

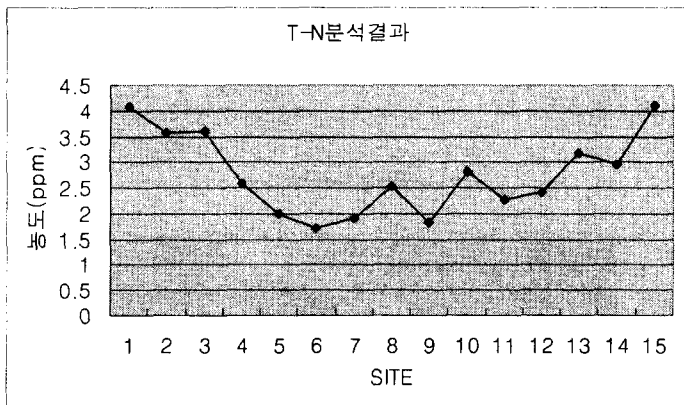


Fig.6 T-N in the water sample of Western Nakdong River

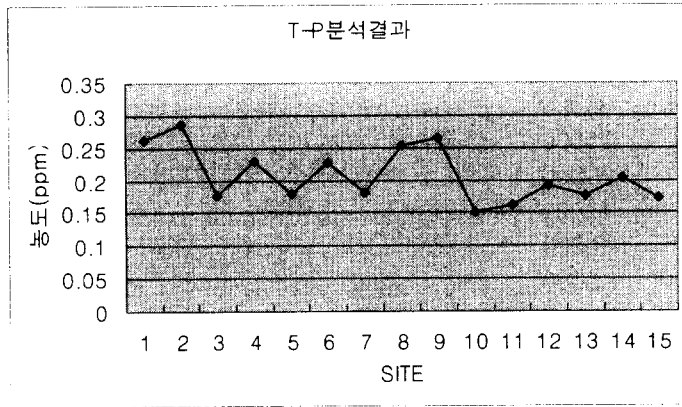


Fig.7 T-P in the water sample of Western Nakdong River

### 3.3 저토중 중금속 분석 결과

저토중 중금속을 분석한 결과 Zn의 경우 강동교 근처 (site 9)가 28398.33 ppm으로 가장 높았으며 조만강 상류 근처 (site 12)가 4206.667 ppm 으로 가장 낮았고 Pb의 경우 강동교 근처 (site 9)가 31.647 ppm으로 가장 높게 나타났고 치등 근처(site 11)가 8.695ppm으로 가장 낮았다. Cd의 분석결과 맥도천 유입 부분 (site 2)이 2.6773 ppm으로 가장 높았으며 치등 근처 (site 11)는 ND로 가장 낮았고 Cr의 경우 강동교 근처 (site 9)가 40.5167 ppm으로 가장 높았고 신어천 유입 부분 (site 5)이 6.5465ppm으로 가장 낮게 나타났다.

Table,2 Heavy metal concentration in the sediment of Western Nakdong River(unit:ppm)

SITE \ 항목	Zn	Pb	Cd	Cr
1	6546.333	12.776	0.0977	13.0317
2	14473.330	25.692	2.6773	33.2150
3	4753.833	9.265	1.3652	7.2783
4	19237.170	18.928	1.9763	20.8412
5	9481.170	11.888	1.4085	6.5465
6	16973.170	14.792	0.6562	12.8897
7	24179.000	24.168	2.2195	19.5393
8	7716.167	19.127	1.4126	18.4015
9	28398.330	31.647	2.0828	40.5167
10	13596.000	19.808	1.2928	17.4745
11	5576.667	8.695	ND	13.5213
12	4206.667	8.883	0.3061	7.2945
13	8908.667	15.810	0.7371	14.2733
14	7594.500	16.047	0.5029	11.2000
15	10325.000	29.367	1.6435	20.1367

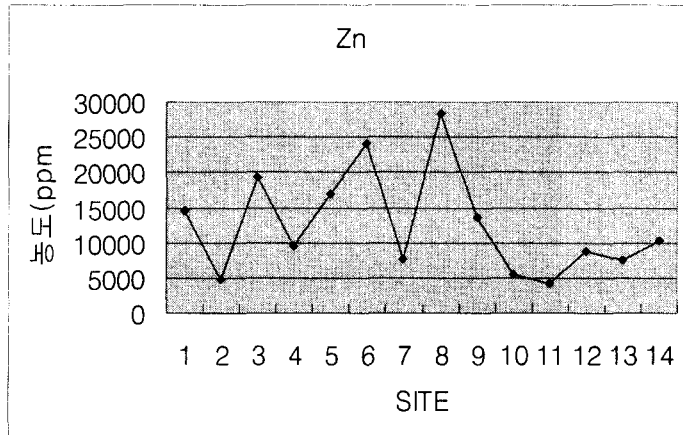


Fig.8 Zn concentration in the sediment of Western Nakdong River

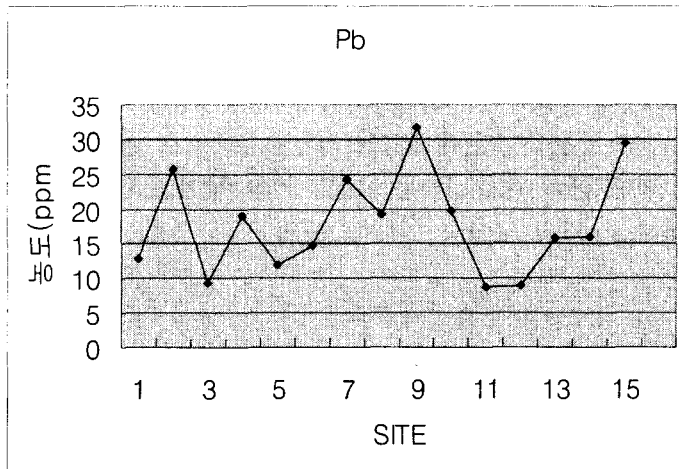


Fig.9 Pb concentration in the sediment of Western Nakdong River

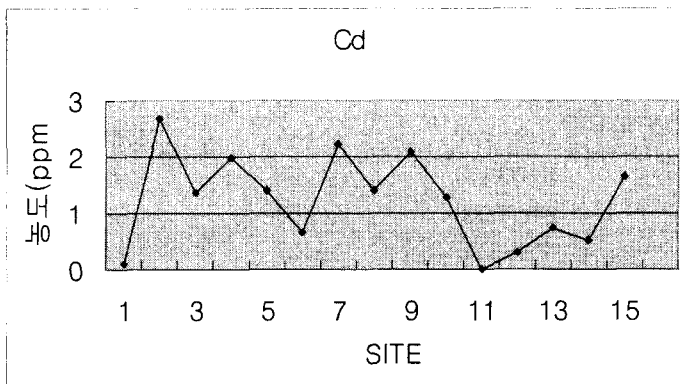


Fig.10 Cd concentration in the sediment of Western Nakdong River



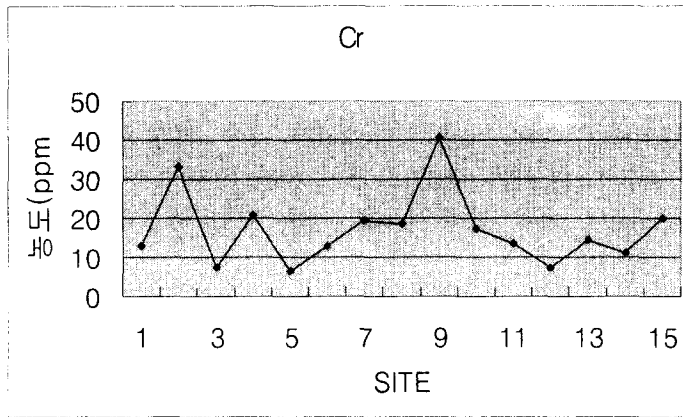


Fig.11 Cr concentration in the sediment of Western Nakdong River

### 3.4 제작된 타일의 중금속 함량

저토의 혼합 비율에 따라 타일을 제작하는데 성공하였고 제작된 타일에서의 중금속 함량 분석 결과 타일 제작 전의 중금속 함량보다 적었다. 그러나 그 경향성은 타일 제작 전의 결과와 같았다.

### 3.5 산성용액에 의한 타일의 중금속 용출량 측정 결과

pH 4~7 범위의 산성용액에 의한 타일의 중금속 용출량이 아주 적었으며 따라서 저토를 첨가하여 제작한 타일의 중금속이 산성용액에 의해 거의 용출되지 않음을 알 수 있었다.

### 3.6 제작된 타일의 특성 비교

저토를 첨가하여 만든 타일의 색상은 기존 타일 보다 조금 미흡하였지만 흡수율과 강도는 더 우수하였다.

## 4. 결론

저토 퇴적물에 관한 연구는 서낙동강과 같이 공업과 농업 폐수, 생활 하수가 복합적으로 유입되는 하천의 경우 그 성분이 아주 다양하고 각 부류의 모든 성분들이 사람과 생태에 치명적인 영향을 끼치며 수질, 녹조 및 적조 현상 등에 중요 원인을 제공한다. 이에 본 연구에서는 중금속 및 수질 조사 항목에 대한 분석을 통하여 강물과 저토에 대한 오염 성상과 하상 구조와의 관계에 대하여 연구하였으며, 오염된 저토로 인체에 무해하고 환경오염이 따르지 않는 내·외장 타일을 만들기 위한 방안에 대하여 연구하였다.

1) 15개의 조사지점에서 깊이는 맥도천 유입 부분(site 2)과 강동교 근처 (site 9)가 13ft, 12ft로 가장 깊었다.

2) 수질 항목의 분석 결과 BOD는 호계천 근처(site 6)가 5.228 ppm로 가장 높았고, COD는 수안치등섬 부근(site 1)과 맥도천 유입 부분 (site 2)이 11.143 ppm, 11.3584 ppm으로 가장 높았고, SS의 경우는 맥도천 유입 부분 (site 2)이 47.460ppm으로 가장 높았으며 T-N의 경우 수안치등섬 부근(site 1)과 맥도천 유입 부분 (site 2)이 각각 4.066ppm, 3.580ppm으로 가장 높았고 T-P 분석 결과 맥도천 유입 부분 (site 2)과 강동교 근처 (site 9)가 0.287ppm, 0.2645ppm으로 가장 높아 수심이 깊은 곳에서 오염도가 높다는 것을 알 수 있었다.

3) 저토중 중금속 분석 결과 Zn의 경우 강동교 근처 (site 9)가 28398.330ppm으로 가장 높았고 Pb의 경우 강동교 근처 (site 9)와 맥도천 유입 부분 (site 2)이 각각 31.6467ppm, 25.6917ppm으로 가장 높았으며 Cd의 경우 맥도천 유입 부분 (site 2)이 2.6773ppm으로 가장 높고 Cr의 경우 강동교 근처 (site 9)와 맥도천 유입 부분 (site 2)이 40.5167ppm, 33.2150ppm으로 가장 높아 수심이 깊은 곳이 중금속에 의한 오염도가 높다는 것을 뚜렷이 보여주었다.

4) 강의 하상구조와 오염도간의 상관관계를 고찰해 보면 수질 항목과 저토 중 중금속 항목을 분석한 결과 수심이 깊은 곳에서 오염도가 높게 나타나고 있으므로 특정하게 깊은 곳을 dump형태로 인위적으로 만들어 저토가 퇴적되면 이를 준설하는 간단한 방법으로 하천의 오염을 줄일 수 있을 것이다.

5) 준설된 저토가 환경을 오염시킬 수 있으므로 이의 처리 방안으로 오염된 저토로 타일을 제작하는 활용방안을 모색하여 기존 타일 원료와 오염 저토를 혼합하여 타일을 제작하는 데 성공하였으며 중금속 분석 결과 타일 제작 후의 중금속 농도가 제작 전의 것보다 낮고, 산성비에 의해 타일의 중금속이 용출 되는지 여부를 실험한 결과도 대부분 중금속 용출량이 아주 적었으며, 기존 타일과의 색상, 강도 및 흡수율 등을 비교한 결과 색상은 떨어지지만 강도와 흡수율 면에서 상당히 우수한 결과가 나와 중금속을 다량 포함하고 있는 저토를 환경측면에서 무해한 타일로 활용함으로 수질 환경을 개선하는데 큰 역할을 하리라 기대된다.

## 5. 참고문헌

- 강서 구청. 1991, 서낙동강 정화 계획안
- 김도훈. 1992, 서낙동강의 수질 오염도에 관한 조사 연구. 인제대학교 보건대학원. 환경관리학과
- 박홍재, 박종길, 박원우. 1994, 서낙동강 유역 강물, 저토 및 토양의 중금속 분포 특성. 한국환경과학회지, 6(2), 183-187
- 공해 공정 시험법, 1981년 2월 환경청 고시 제 81-2호
- 환경처 고시 제 91-85호, 1991. 수질 오염 공정 시험법
- 황선출. 1997, 낙동강, 서낙동강, 수영천 하구의 하상구조에 따른 연중 퇴적저토 오염특성 연구와 부산근해 적조예의 영향에 관한 연구. 한국환경과학회지 6(5), 513-520