

오염된 하천 저토의 활용 방안에 관한 기초적 연구 -하천 저토의 타일 원료로서의 적합성에 관하여 -

박흥재 · 이봉현* · 정성욱

인제대학교 환경학과, *부산대학교 화학과

(1996년 7월 15일 접수)

The Basic Study on the Use of Sediment in the Contaminated Brook

- The Applicability of Sediment as the Raw Material of Tile -

Heung-Jai Park, Bong-Hun Lee* and Seong-Ug Jeong

Dept. of Environmental Science, Inje Univ., Kimhae 621-749, Korea

*Dept. of Chemistry, Pusan National Univ., Pusan 609-735, Korea

(Manuscript received 15 Jure 1996)

The sediment in the highly contaminated Gamjeon brook was collected, mixed with the raw material of the tile, and then the commercial tile was produced using the mixture. The concentrations of the heavy metals in the mixture-before and after the tile was produced-were analyzed and the effects of the acid solution on the produced tile were examined.

The production of the tiles was successful and the result of heavy metal analysis showed that the concentration of Fe was the highest and that of Cd was the lowest. The amount of heavy metal in the sediment - the raw material of the tile mixture was more than that of the produced tile. The elution concentration of the heavy metal by the acid solution(pH = 4 - 7) was low and the quality of the produced tile was better than the commercial tile. The result of this study suggested that the contaminated sediment was removed to produce good tiles, therefore the water pollution and soil pollution were reduced.

Key words : sediment, tile, heavy metal, acid solution

1. 서 론

산업 발전과 더불어 늘어나는 공장 폐수와 해마다 사용량이 증가하는 농약은 도시, 농촌을 가릴 것 없이 땅과 하천을 병들게 하였으며 우리의 건강을 직접적으로 위협하기 시작하였다. 한강, 낙동강, 영산강, 금강중 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(동남, 1994 ; 송 승달, 1984, 환경처, 1991). 이것은 중간에 소재하는 공단의 공해물질이 원인이 된다. 그리고 95년초 사상 최악의 가뭄으로 수질 오염에 대한 관심이

높아져 단속을 강화하고 있으나 각 지방 자치 단체가 운영중인 낙동강변의 분뇨 하수 처리장등 환경 기초 시설과 폐수 배출 업소에서 기준치를 초과한 방류수를 마구 배출해 낙동강 오염을 가중시키고 있다. 오늘날 하천 및 해양 등의 환경오염에 의하여 대두된 것으로 공장수, 농약 살포, 하수와 생활 오염에 의한 중독 증상이 많다. 공장 폐수에서 유래하는 유독성 물질은 업종에 따라 다양하나, 대체로 중금속류, 생활하수에서 기인하는 것으로는 합성 세제와 오물 등이다. 이러한 오염물질의 배출은 직접적으로 많은 환경 문제를 야기시켰다. 소각은 저토에 포함된 유기물이나 수분을 제거해 줌으로써 최종 처분량의

Table 1. The mix ratio of the sediment and the raw material of the tile (g/total 1,000g)

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
저토 %	0	0.2	0.5	1	3	5	10	20	100
저토 양	0	2	5	10	30	50	100	200	1000
타일 원료의 양	1000	998	995	990	970	950	900	800	0

감소 및 안정화를 목적으로 하며 다른 방법에 비하여 감량화와 안정화가 용이하여 선진국의 경우 폐기물 처리에 많이 이용되고 있다 (Andelman, 1989 ; 서 병직, 1989 ; 이 철, 1993 ; 조 광명, 1977). 한편 최근에 산성비에 의한 생태계의 파괴가 국제적인 주요 관심사로 등장함에 따라 그에 따른 환경 교육이 절실히 요청되고 있다. 산성비에 의한 환경의 파괴는 1968년 스웨덴에서 최초의 과학적 보고서가 제출된 이래 주로 산업이 발달된 유럽이나 미국의 북동부등에서 보고되어 왔다. 그러나 최근에는 산성비에 의한 금속의 부식, 호수 및 산림의 파괴, 생태계의 파괴, 나아가 인류 생활에의 피해 등이 세계 각국에서 주요 관심사로 등장하고 있으며, 우리나라에서도 산성비로 인한 피해가 나타나고 있다(송 기형외, 1992 ; 심 상규, 1992 ; 이 민희, 1990).

본 연구에서는 극심한 환경 악화를 줄이기 위한 환경 정화 대책 및 자원 활용 측면의 일환으로 농작물의 생육을 저해하거나 농작물에 흡수되어 사람의 건강에 직접적으로 해를 끼치는 중금속에 의한 오염을 줄이기 위해 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 한다.

2. 재료 및 방법

2. 1 실험 재료

시료는 부산광역시 감전동에서 사상 공단의 폐수가 유입되는 감전천의 저토를 채취하였다. 채취 지역은 환경 정책 기본법 제15조의 토양

측정망 운영 지침의 측정지역 선정기준에 준하였으며, 채취 방법은 환경 오염 공정 시험법에 의거하였다. 시료 채취는 1994년 10월에서 12월에 걸쳐 토양 채취기를 이용하여 1 - 5 cm 깊이의 작토층은 제거하고 15 cm 이하의 심토층에서의 저토를 채취하여 polyethylene 용기에 보관하였다.

2. 2 실험 방법

2. 2. 1 저토의 중금속 함량 측정

유해 중금속의 효과적 처리와 타일 제작 전과 후에 저토에 포함된 중금속 함량을 비교, 검토하기 위하여 우선 채취한 하천 저토에 대하여 6종류의 중금속(Zn, Pb, Cd, Fe, Cr, Cu)의 농도를 측정하였다. 실험에 사용한 시약은 유해 금속 측정용이며 증류수는 이온 교환 수지를 통과시켜 중금속 농도 측정에 영향을 줄 수 있는 요인을 제거하였다. 실험을 위한 시료의 전처리는 질산-염산-과염소산을 이용한 고체 시료 분해법으로 행하였으며 그 과정은 다음과 같다.

① 저토를 분쇄하여 통풍이 잘되는 실내에서 자연 건조시킨 후 보다 미세하고 균일하게 분쇄한다. ② 시료 1g을 정확히 칭량하여 50mL 비커에 옮기고, 질산 2mL와 염산 4mL를 가한다. 시계접시 뚜껑을 덮고 hot plate위에서 가열, 분해시킨다. ③ 시료가 2mL로 농축되면 과염소산 2mL를 가하고 계속해서 가열한다. ④ 시료가 다시 약 2mL로 농축되면 비커를 hot plate에서 내리고 질산 1mL를 가한다. 시료를 다시 가열하여 황갈색의 아질산 가스와 흰연기의 과염소산이 발생하는 것을 확인한다. ⑤ 비커에 H₂O-HCl(1:10, v/v) 용액 2mL를 가하고 가열하여 결정염을 용해시킨 후 온수 2mL를 가하여 가용성 성분을 용해시킨다. ⑥ 시료를 침전시킨 후 여과지(No. 5B)로 여과한다. ⑦ 여액을 50mL의 메스플라스크에 받아 실온까지 냉각시킨 후 증류수를 가하여 50mL의 시료 용액을 만든다.

분석 기기로는 SPS 1200A Plasma

Spectrometer(SII Seiko Instrument)를 사용하였고, standard solution은 분광 광도계 측정용을 1ppm 단위로 만들어 사용하였다.

2.2.2 저토와 타일 원료의 혼합 원료를 이용한 타일 제작

본 연구에서는 하천 저토의 활용 방안의 하나로 저토의 일반적인 성상을 고려하여 타일 원료로서의 적용 가능성에 대하여 조사하였다. 저토와 타일 원료의 혼합 비율은 예비 실험 결과를 고려하여 Table 1과 같이 0, 0.2, 0.5, 1, 3, 5, 10, 20 및 100%가 되게하였고 혼합전체량은 1,000g 으로 통일하였다.

실험에 사용한 타일 제작 방법은 다음과 같다.

① 보다 양질의 타일을 제작하기 위하여 저토에 함유된 유기물이나 수분을 450°C의 소각로에서 20분간 가열하여 제거한다. ② 혼합 시료에 함유되어 있는 잔사를 pot mill에서 3시간 동안 분쇄시킨다. ③ 위와같은 과정을 거친 powder를 건조시켜 25 mesh체로 거른 후 수분이 6-7% 정도 함유되도록 증류수를 가한 다음 다시 12 mesh체로 거른다. ④ 숙성, 건조된 powder를 100 bar의 압력으로 3초, 400 bar로 5초 동안 press하여 가로 10 cm, 세로 5cm의 시편을 만든다. ⑤ 1100 - 1280°C 정도의 온도에서 소성하여 타일을 제작한다.

2.2.3 제작된 타일에서의 중금속 함량 측정

저토와 타일 원료를 혼합하여 만든 타일을 미

세한 분말로 분쇄하여 상기의 방법과 동일한 방법 및 기기를 사용하여 제작된 타일의 중금속 함량을 측정하였다.

2.2.4 제작된 타일에서 산성용액에 의한 중금속 용출량 측정

저토를 첨가하여 제작한 타일의 중금속이 산성용액에 의하여 어느정도 용출되는 지를 검토하기 위하여 다음과 같은 용출 실험을 하였다. 용출 실험에 사용된 산성용액은 우리 나라에서 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 방치후 중금속의 용출량을 측정하였다.

2.2.5 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. 결과 및 고찰

3.1 타일 제작전 중금속 함량

타일 제작 전의 저토 혼합비율에 따른 중금속 분석 결과는 Table 2와 같았으며, 저토와 타일 원료 둘다 많은 양의 중금속을 함유하고 있었는데 Fe가 제일 많았고 심각한 위해를 가할 수 있는 Cd양은 6종 중금속중 제일 적었다(Table 2, Fig. 1 - 6).

Table 2. The concentration of the heavy metal before the tile was produced (unit : ppm)

%	0	0.2	0.5	1	3	5	10	20	100
Zn	19.86 ±1.12	19.14 ±1.15	21.51 ±1.36	22.99 ±2.05	23.20 ±2.08	24.11 ±2.21	26.13 ±2.31	35.16 ±3.06	77.21 ±6.12
Pb	30.68 ±2.36	30.35 ±2.68	31.40 ±2.72	31.68 ±2.85	33.08 ±3.02	36.21 ±3.42	37.78 ±3.56	38.32 ±2.58	57.87 ±5.03
Cd	1.13 ±0.08	1.21 ±0.10	1.14 ±0.11	1.83 ±0.13	1.99 ±0.15	2.08 ±0.18	2.11 ±0.19	2.32 ±0.21	4.73 ±0.35
Fe	2749.60± 121.30	2678.60± 125.62	3084.60± 223.51	3106.60± 256.12	3235.60± 265.32	3688.60± 312.15	4016.60± 365.47	4362.60± 365.02	5166.60± 425.31
Cr	4.34 ±0.36	4.22 ±0.38	5.10 ±0.41	5.43 ±0.42	6.03 ±0.51	6.05 ±0.52	7.59 ±0.65	9.74 ±0.63	33.59 ±1.89
Cu	3.06 ±0.26	2.96 ±0.12	3.14 ±0.23	3.19 ±0.25	3.79 ±0.32	3.79 ±0.34	3.82 ±0.35	7.96 ±0.65	9.82 ±0.82

Table 3. The concentration of the heavy metal after the tile was produced (unit : ppm)

%	0	0.2	0.5	1	3	5	10	20	100
Zn	4.82 ±0.28	5.29 ±0.42	5.40 ±0.48	6.12 ±0.53	6.91 ±0.58	7.01 ±0.62	10.13 ±0.95	15.84 ±1.21	16.16 ±1.32
Pb	15.61 ±1.23	18.74 ±1.36	20.18 ±1.85	20.78 ±1.89	22.92 ±2.01	23.60 ±2.13	24.56 ±2.15	28.24 ±2.24	34.77 ±3.12
Cd	1.06 ±0.08	1.10 ±0.09	1.38 ±0.12	1.59 ±0.13	1.62 ±0.14	1.63 ±0.15	1.66 ±0.15	1.84 ±0.16	2.08 ±0.18
Fe	1519.83 ±135.24	1559.33 ±153.25	1750.83 ±164.78	1769.83 ±165.36	1793.33 ±167.23	1838.33 ±171.23	1951.33 ±176.58	2048.33 ±186.54	2723.83 ±235.46
Cr	3.59 ±0.34	3.89 ±0.35	3.93 ±0.36	4.15 ±0.39	4.25 ±0.40	4.38 ±0.41	4.40 ±0.42	4.87 ±0.45	14.01 ±1.16
Cu	0.01 ±0.00	0.01 ±0.00	0.01 ±0.00	0.21 ±0.01	0.22 ±0.01	0.89 ±0.05	1.20 ±0.09	1.38 ±0.11	4.28 ±0.32

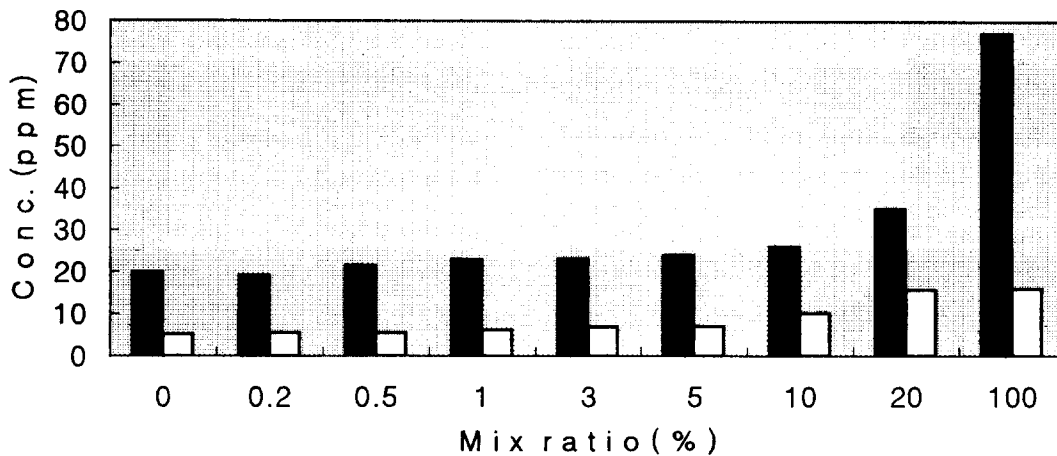


Fig. 1. The concentration of Zn, before(black) and after(white)the tile was produced.

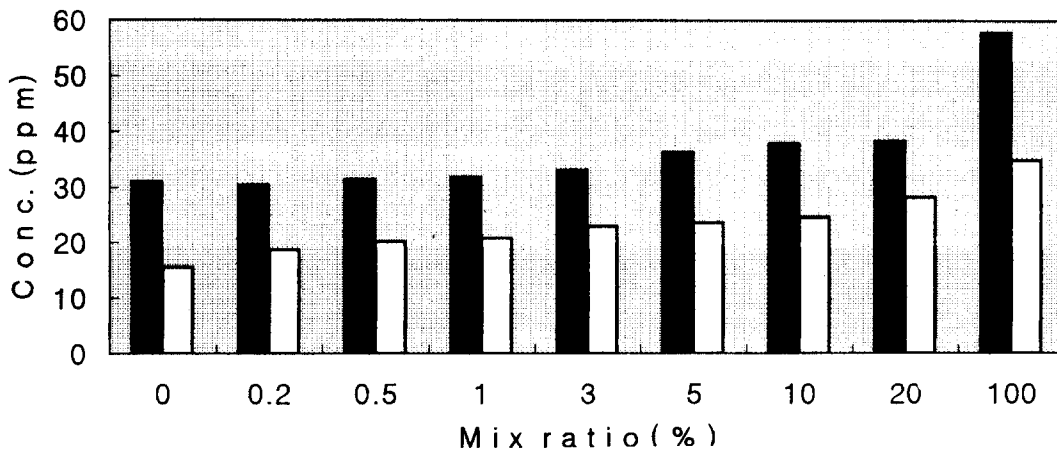


Fig. 2. The concentration of Pb, before(black) and after(white)the tile was produced.

오염된 하천 저토의 활용 방안에 관한 기초적 연구

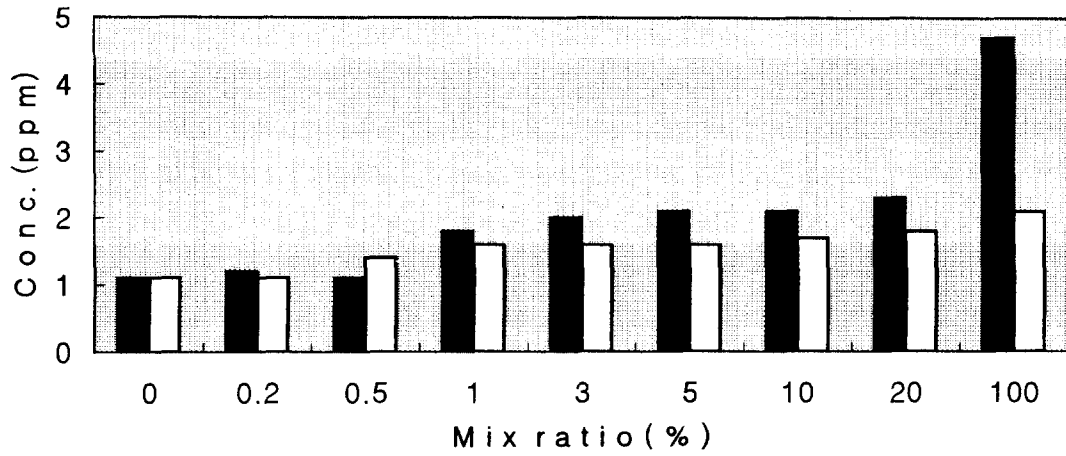


Fig. 3. The concentration of Cd, before(black) and after(white)the tile was produced.

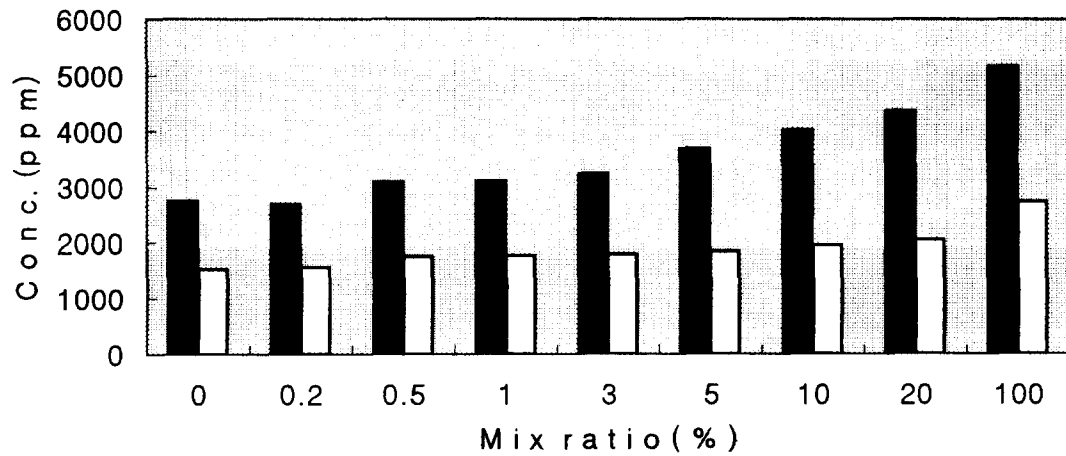


Fig. 4. The concentration of Fe, before(black) and after(white)the tile was produced.

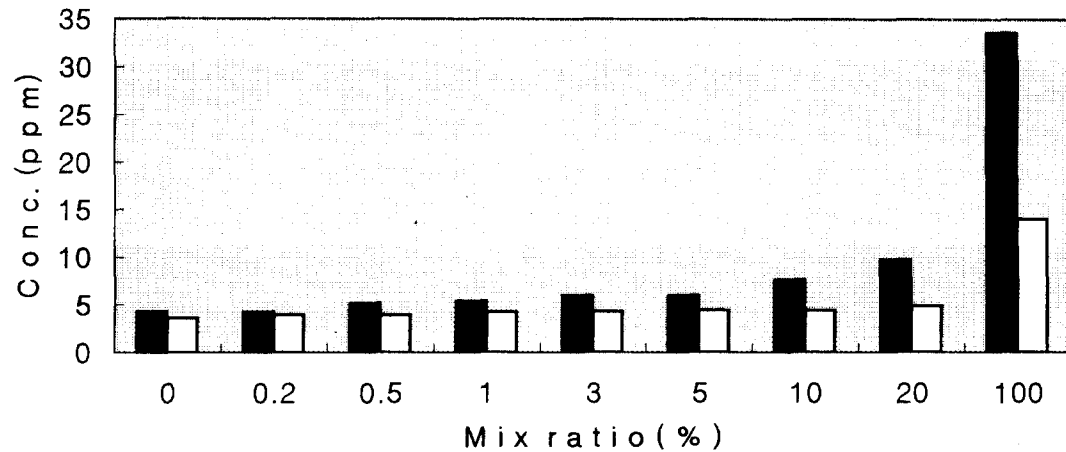


Fig. 5. The concentration of Cr, before(black) and after(white)the tile was produced.

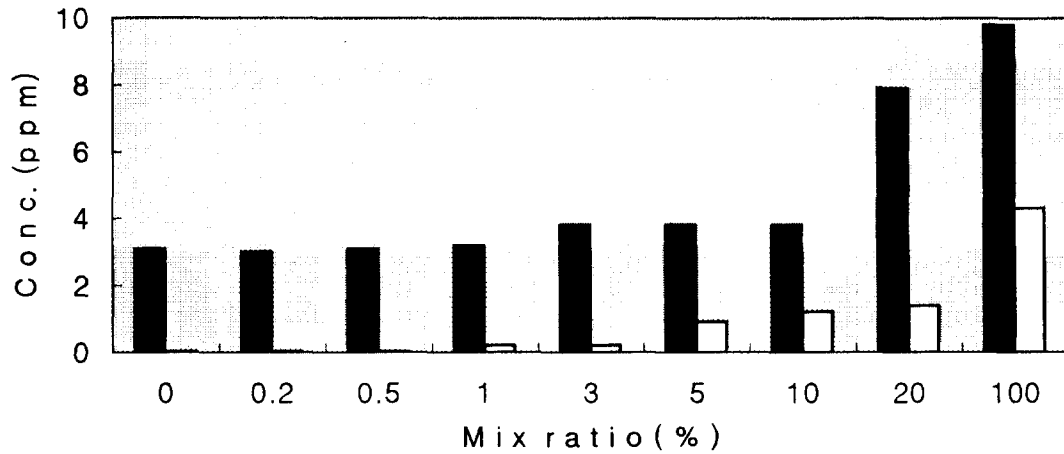


Fig. 6. The concentration of Cu, before(black) and after(white)the tile was produced.

Table 4. The elution concentration of heavy metal by acid solution (pH=4) (unit : ppm, - : not detected)

%	0	0.2	0.5	1	3	5	10	20	100
Zn	-	-	-	-	-	-	0.0026	0.011	0.094
Pb	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cd	-	-	-	-	-	-	-	-	0.030
Fe	-	0.0031	0.0089	0.0098	0.011	0.011	0.011	0.016	0.047
Cr	-	0.26	0.31	0.36	0.39	0.41	0.43	0.46	0.74
Cu	-	-	0.0018	0.019	0.035	0.053	0.066	0.11	0.33

Table 5. The elution concentration of heavy metal by acid solution (pH=5) (unit : ppm, - : not detected)

%	0	0.2	0.5	1	3	5	10	20	100
Zn	-	-	-	-	-	0.012	0.032	0.050	0.059
Pb	-	-	-	-	-	-	-	0.0027	0.037
Cd	-	-	-	-	-	-	-	-	0.030
Fe	-	-	0.0097	0.022	0.023	0.024	0.025	0.029	0.046
Cr	0.31	0.33	0.34	0.35	0.36	0.40	0.43	0.44	0.58
Cu	-	0.012	0.015	0.028	0.044	0.097	0.14	0.18	0.29

3.2 제작된 타일의 중금속 함량
 저토의 혼합 비율에 따라 타일을 제작하는데
 성공하였고 제작된 타일에서의 중금속 함량 분

석 결과를 Table 3에 나타내었는데 이 수치는
 타일 제작 전의 중금속 함량보다 적었다. 그러
 나 그 경향성은 타일 제작 전의 결과와 같았다

Table 6. The elution concentration of heavy metal by acid solution (pH=6) (unit : ppm, - : not detected)

%	0	0.2	0.5	1	3	5	10	20	100
Zn	-	-	-	-	0.0017	0.030	0.032	0.047	0.052
Pb	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cd	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe	-	0.0022	0.0042	0.0058	0.012	0.013	0.017	0.019	0.020
Cr	0.23	0.25	0.30	0.40	0.42	0.43	0.47	0.49	0.54
Cu	-	-	-	-	0.0037	0.048	0.063	0.11	0.13

Table 7. The elution concentration of heavy metal by neutral solution (pH=7) (unit : ppm, - : not detected)

%	0	0.2	0.5	1	3	5	10	20	100
Zn	-	-	-	-	-	-	-	-	0.027
Pb	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cd	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe	-	-	0.00026	0.0035	0.0043	0.014	0.015	0.019	0.022
Cr	0.30	0.30	0.34	0.34	0.35	0.43	0.47	0.51	0.54
Cu	-	-	-	-	0.00067	0.015	0.10	0.11	0.22

Table 8. The quality comparison of the produced tiles

%	0	0.2	0.5	1	3	5	10	20	100
흡수율 (%)	18.1	18.0	17.8	17.5	17.1	16.9	16.5	16.0	13.0
강도(kg/cm ²)	22.2	22.3	22.4	22.7	23.0	23.4	24.0	26.0	29.0

3.3 산성용액에 의한 타일의 중금속 용출량 측정 결과

pH 4 ~ 7 범위의 산성용액에 의한 타일의 중금속 용출량은 Table 4 - 7과 같았다. Table 4 - 7의 결과를 앞의 Table 2, 3의 결과와 비교 분석하여 보면 타일 제작 전, 후의 중금속 함량에 비하여 pH 변화(산성도)에 따른 중금속 용출양이 아주 적다는 것을 알 수 있다. 그러므로 저토를 첨가하여 제작한 타일의 중금속이 산성용액에 의하여 거의 용출되지 않음을 알 수 있었다 (Table 4 - 7).

3.4 제작된 타일의 특성 비교

저토와 타일 원료를 혼합하여 제작한 타일간의 강도 및 흡수율을 Table 8에 나타내었다. 그 결과 저토를 첨가하여 만든 타일의 색상은 기존 타일(Table 8에서 0% 혼합비의 타일)보다 조금 미흡하였지만 Table 8에 나타낸 바와 같이 흡수율과 강도는 더 우수하였다.

4. 결 론

오염된 하천 저토의 활용에 관한 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 본 실험을 위하여 오염이 극심한 부산광역시 감전동 감전천의 저토를 채취하여 기존 타일 원료와의 혼합 비율을 달리하면서 타일을 제작하는데 성공하였고 중금속 분석 결과 타일 제작 후의 중금속 농도가 제작 전의 것보다 낮았다. 이 결과로 중금속을 다량 포함하고 있는 저토를 환경측면에서 무해한 타일로 활용함으로써 수질 환경을 개선하는데 큰 역할을 하리라 기대된다.
- 2) 우리 나라에서 내리는 산성비에 의해서 타일의 중금속이 용출되는 실험을 pH 수치를 변화시키면서 실험하여 본 결과 pH 범위에 걸쳐 다소 차이는 있었지만 대부분 중금속 용출량은 아주 적었다. 그러므로 본 연구에서 만든 타일을 실제 우리 생활에 사용하더라도 유해한 중금속이 산성비에 의해 다량 녹아 나오는 현상은 거의 없으리라 생각된다.
- 3) 저토를 첨가하여 제작한 여러 타일과 기존 타일과의 색상, 강도 및 흡수율 등을 비교한 결과 색상은 떨어지지만 혼합비 100%의 타일은 흡수율과 강도 면에서 상당히 좋으며 다른 혼합비의 타일도 흡수율과 강도 면에서 기존 타일보다 저토를 첨가한 타일이 더 우수한 결

과가 나왔다.

- 4) 기존 방법인 탈수에 의한 감량화로 매립을 시킬 경우 2차적 오염과 매립장 확보의 어려움이 큰 문제로 대두되고 있으나 본 연구에서는 중금속이 포함된 저토를 타일로 만들어서 수질 오염 및 토양 오염을 최대한 줄이고 자원으로 활용할 수 있을 뿐만 아니라 인간의 건강에 큰 위해를 끼치는 중금속의 처리 측면에서 큰 효과를 볼 수 있었다. 나아가 우리 생활을 윤택하게 하는데 기여할 수 있다고 본다.

참 고 문 헌

공해 공정 시험법, 환경청 고시 제81-2호 (1981년 2월)
김재봉외 5명, 1985, 국립 환경 연구보, 7, 353-370.
동남 개발 연구원, 1994, 낙동강 상수 원수 수질 개선 방안.
서병직, 1989, 폐기물 발생 예측과 자원화 활용방안에 관한 연구, 한양대학교 환경 과학 대학원, 석사 학위 논문, 50p.
송기형, 박용남, 정용승, 박국태, 1992, 충청북도 농촌 지역의 강수 산성도에 관한 기초 연구, 한국 대기 보전 학회지, 8(1), 38-44.
송승달, 1984, 금호강 유역의 수질, 토양 및 무의 중금속 함량에 관한 연구, 경북대학교 보건 대학원, 학위 논문집.
심상규, 1992, 산성비, 화학세계, 대한 화학회,

32(7), 640-646.

양한섭, 김성수, 1994, 한국 수산 학회지, 27(5), 643-658.
이민희, 1990, 산성비 강하 물질 분석, 대기 오염 물질의 장거리 이동과 산성비 강하에 관한 연구, 국립 환경 연구원.
이 철, 1993, 재활용을 위한 기술적 접근, 폐기물, 3, 145p.
조광명, 1977, 활성 슬러지 폐수 처리 시설의 설계에 관한 연구, 대한 토목학회지, 제25권.
환경처 고시 제91-85호, 1991, 수질 오염 공정 시험법.
환경청, 환경 보존, 1986.
환경청, 환경 보존법(법, 시행령, 시행 규칙) 1991.
Andelman, J. B., S. M. Meyers, and L. C Wilder, 1986, Chemicals in the environment, 323-330.
APHA, AWWA, WPCF, 1992, Standard methods for the examination of water and wastewater, 18th ed.
Metcalf and Eddy, 1979, Wastewater engineering treatment, disposal, reuse. McGraw-Hill, pp. 424-485.
Ramalho, R. S., 1983, Introduction to wastewater treatment processes, 2nd ed., pp. 272.