

낙동강, 서낙동강 및 수영천의 하상 구조와 저토층 중금속간의 상관성

황 선출, 이 봉헌*, 박 원우**, 이 부용***, 박 흥재

인제대학교 환경학과, 부산대학교 화학과 *, 부산전문대학 공업화학과의 **,
대구 효성 가톨릭대학 환경보건학과 ***

Riverbed Structures and Correlations between Heavy Metals of Sediments in the Naktong River, Western Naktong River, and Suyoung Stream

Sun-Chool Hwang, Bong-Hun Lee *, Won-Woo Park **,
Boo-Young Lee ***, Heung-Jai Park

*Dept. of Environmental Science, Inje Univ., Kimhae, Dept. of Chemistry, Pusan
National Univ., Pusan 609-735*, Dept. of Industrial Chemistry, Pusan Junior College**,
*** Dept. of Environmental Hygiene, Hyosung Catholic Univ., Taegu ****

ABSTRACT

The riverbed structures and heavy metal concentrations of the sediments in the Naktong River, Western Naktong River, and Suyoung Stream were investigated, and then the correlations between heavy metals were examined.

Naktong River was the deepest among the three streams. The deepest and the shallowest sites were site 11(11.58m) and 9(3.35m) in Naktong River, site 7(6.25m) and 4(2.06m) in Western Naktong River, and site 8(2.89m) and 1(0.61m) in Suyoung Stream, respectively. The mean concentration of Cd(45.79ppm) was higher in the sediment of Western Naktong River than in other two streams and those of Pb(76.25ppm), Cr(48.13ppm), and Cu(77.50ppm) were higher in the sediment of Suyoung Stream than in other two streams. The analytical results for correlations between heavy metals showed that Cu was highly correlated with Cr and Pb was very highly correlated with Cr and Cu in Naktong River. Cu was relatively highly correlated with Cd and Cr and Cr was highly correlated with Pb in Western Naktong River. Cd was relatively highly correlated with Pb and Cu and Cr and Cd, Pb, Cu and Pb, Cr were highly correlated in Suyoung Stream.

Key word : riverbed structure, heavy metal, correlationship

요 약 문

낙동강, 서낙동강 및 수영천의 하상 구조와 저토층 중금속 농도 및 중금속간의 상관성에 대하여 알아보기 위하여 위 세하천에서 30군데의 시료 채취 지점의 깊이를 측정하고 저토 시료를 채취하였다.

깊이 측정 결과 낙동강이 세하천중 가장 깊었다. 낙동강에서 가장 깊고 가장 얇은 곳은 각각 site 11(11.58m)과 9(3.35m), 서낙동강에서는 site 7(6.25m)과 4(2.06m), 수영천에서는 site 8(2.89m)과 1(0.61m)이었다. 세하천에서 채취한 저토에 함유된 중금속 농도를 분석한 결과 서낙동강에서의 Cd 농도(45.79ppm)는 다른 두하천보다 높게 나타났으며 Pb(76.25ppm), Cr(48.13ppm) 및 Cu(77.50ppm)의 농도는 수영천의 저토에서 가장 높았다. 중금속 간의 상관성을 분석한 결과 낙동강에서 Cu는 Cr과 높은 상관성을, Pb는 Cr 및 Cu와 아주 높은 상관성을 보였다. 서낙동강에서 Cu는 Cd 및 Cr과 비교적 높은 상관성을, Cr은 Pb와 아주 높은 상관성을 보였다. 수영천에서 Cd는 Pb 및 Cu와 비교적 높은 상관성을, Cr과 Cd 및 Pb, Cu와 Pb 및 Cr은 아주 높은 상관성을 보였다.

주제어 : 하상 구조, 중금속, 상관성

1. 서 론

여러 환경 오염 물질중에서도 특히 토양에 오염된 중금속은 토양에 흡착, 축적되어 분해가 잘 되지 않으며 일부는 농작물 등에 흡수되어 동물 및 인체에 축적되면 신진대사의 장애 등 심한 유독성을 일으키게 된다. 대개 중금속은 이온화나 침전물로 되어 토양의 고형 유기물에의 흡착으로 하상에 가라앉는 경우가 많다. 그러므로 하상의 토양내 중금속을 분석, 평가하는 것은 수질로서 평가하는 것보다 더욱 가치가 있으리라 생각된다.¹⁾

본 연구는 강의 하상 구조에 대한 연구와 퇴적 저토의 중금속 오염에 대한 연구를 포함한다.^{2,4)} 하천의 하상 구조는 오염 물질의 흐름과 퇴적에 중요한 지표가 되며 지속적인 하상의 구조 변화를 연구함으로써 오염 물질의 고정 축적원에 대한 패턴을 정립할 수 있다. 낙동강의 심각한 오

염과 빠른 오염 속도로 미루어볼 때 또한 남해안 적조의 한가지 원인 제공이 될 수 있다는 측면에서 보았을때 저토 오염과 하상 구조에 따른 퇴적 패턴 연구는 시급하고 필수적인 과제라 생각된다. 이와같은 연구는 낙동강, 서낙동강 및 수영천의 오염 정도를 해소시키는 방안을 마련하고 그 대책을 마련하는데 도움이 되리라 생각된다.

한편 환경 오염 조사를 위해 어떤 대상 시료를 화학적으로 분석한 자료를 사용하여 오염의 정도를 판단할 때 시료의 상호 관련성을 구하는 것이 물질 이동의 기구나 환경 변화를 판단하는데 중요하다고 생각된다. 따라서 시료중에 함유되어 있는 그 성분의 농도를 구해 이들을 상호 비교하는 것이 의의가 있으므로³⁾ 본 연구에서는 조사 지역내에서 분석한 네가지 중금속 상호간의 상관계수를 구하고 그 상관성을 검토 하였다.

본 연구에서는 전국 하천중에서도 부산 지역에서 그 오염이 심각한 낙동강, 서낙동강 및 수영

천에 대하여 하상 구조를 알아낸 다음 저토를 채취하여 중금속의 농도를 측정 후 중금속 상호간의 상관성을 알아보고자 한다.

15일까지 40일 간격으로 3회에 걸쳐 조사 지점에서 공정시험법에 따라 저토는 저토 채취기(Ekman Dredge, 316SS WILDCO, Saginaw, MI

2. 재료 및 방법

2.1 조사지점 선정

환경 정책 기본법⁶⁾ 제15조에 의한 토양 측정망 운영 지침의 측정지역 선정기준에 따라 본 연구를 하기 전에 충분히 예비 탐사를 시행한 후 낙동강은 15개 지점, 서낙동강은 7개 지점, 수영천은 8개 지점을 정하고 그 위치는 GPS(Global Positioning System, Motorola model No A 11131B118)를 사용하여 측정하였다(Fig. 1-3, Table 1).

2.2 조사기간 및 조사방법

실험재료의 채취는 1997년 2월 20일에서 6월

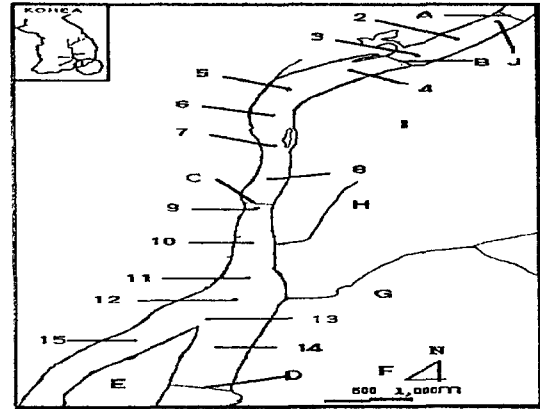


Fig. 1. The sampling sites in Nakdong River.

- A : Kupo bridge, B : Crossing water pipe bridge,
- C : Nakdong bridge, D : Mouth of Nakdong River, E : Eulsuk island, F : Hadandong, G : Umgungdong, H : Sasangdong, I : Dukpodong, J : Kupodong.

Table 1. GPS data of sampling sites in Nakdong River, Western Nakdong River, and Suyoung Stream

site	Nakdong River		Western Nakdong River		Suyoung Stream	
	latitude(°)	longitude(°)	latitude(°)	longitude(°)	latitude(°)	longitude(°)
1	35.2027	128.9936	35.2185	128.9333	35.1915	129.1164
2	35.2003	128.9922	35.2102	128.9153	35.1869	129.1174
3	35.1953	128.9850	35.1852	128.9080	35.1818	129.1190
4	35.1911	128.9802	35.1738	128.9041	35.1771	129.1208
5	35.1887	128.3775	35.1600	128.9042	35.1736	129.1219
6	35.1845	128.9704	35.1525	128.9026	35.1716	129.1231
7	35.1833	128.9698	35.1183	128.9067	35.1674	129.1256
8	35.1812	128.9668			35.1631	129.1284
9	35.1754	128.9651				
10	35.1711	128.9654				
11	35.1649	128.9658				
12	35.1607	128.9644				
13	35.1523	128.9626				
14	35.1408	128.9610				
15	35.1233	128.9575				

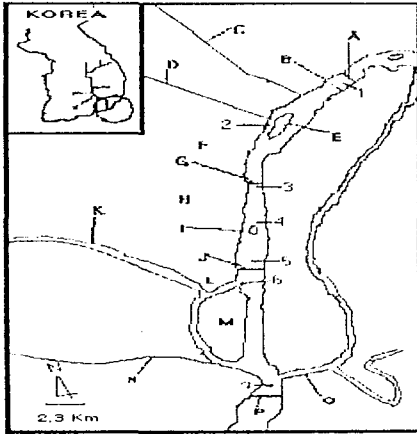


Fig. 2. The sampling sites in Western Naktong River.
 A : Bulam bridge, B : Kimhae bridge, C : Shinoe stream, D : Hogeil stream, E : Jungsa island, F : Juklim, G : Kangdong bridge, H : Bonglim, I : Chidong, J : West Naktong bridge, K : Joman river, L : Jomanpo, M : Dunchi island, N : Jisa stream, O : Pyungkang stream, P : Noksan.

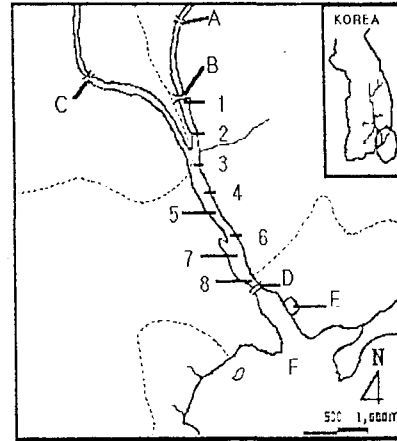


Fig. 3. The sampling sites in Suyoung Stream.
 A : Dongcheon bridge, B : Onedong bridge, C : Oncheon stream, D : Suyoung stream, E : Marina, F : Suyoung bay.

48602)로 채취하여 폴리에틸렌병에 담아 밀봉 후 보관하여 3회 분석하였고, 강의 깊이는 초음파 측정기(Interphase Echo 220)를 이용하여 3회 측정하였다.

2.3 저토중 중금속 분석

채취한 저토 시료 10g을 질산-염산-과염소산 고체시료 분해법⁶⁾으로 전처리 후 Inductively Coupled Plasma(SPS 1200A Plasma Spectrophotometer, S II Seiko Instrument)를 사용하여 분석하였다.

2.4 중금속간의 상관성 분석

대상 시료를 화학적으로 분석하여 얻은 중금속 자료를 사용하여 오염의 정도를 판단하기 위해

각 시료간의 상호 관련성을 구하였다.⁵⁾

3. 결과 및 고찰

3.1 깊이에 따른 하상구조

낙동강 15개의 조사지점에서 깊이를 측정한 결과는 Fig. 4와 같았다. 을숙도와 낙동교 중간지점(site 11)이 11.58m로 가장 깊었고 낙동교 근처(site 9)가 3.35m로 가장 얇았다. 그 차이가 8.23m로 아주 컸고 평균 깊이는 7.13m였다. 서낙동강 7개의 조사지점에서 깊이를 측정한 결과는 Fig. 5와 같았다. 그 중 녹산수문 근처(site 7)가 6.25m로 가장 깊었으며, 봉림에서 치등앞(site 4)까지는 2.06m로 가장 얇았다. 평균 깊이는 3.27m였다. 그리고 수영천 8개의 조사지점에서 깊이를 측정한 결과는 Fig. 6과 같았다. 콘테이

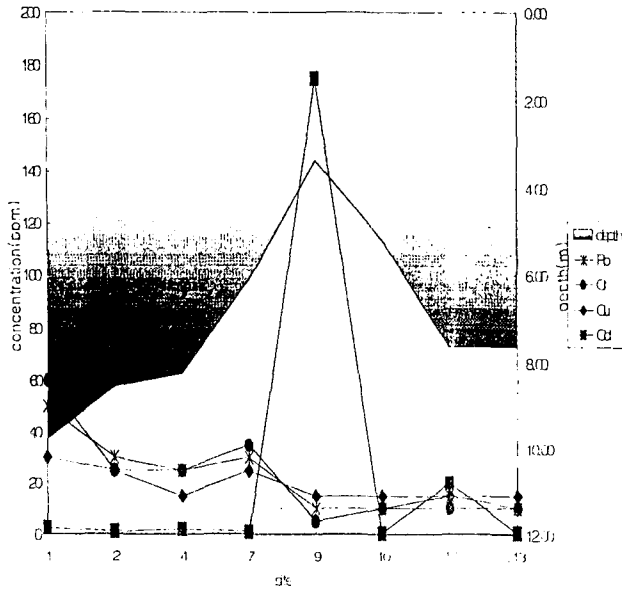


Fig. 4. Depth distribution of sampling site and heavy metal concentrations in Naktong River.

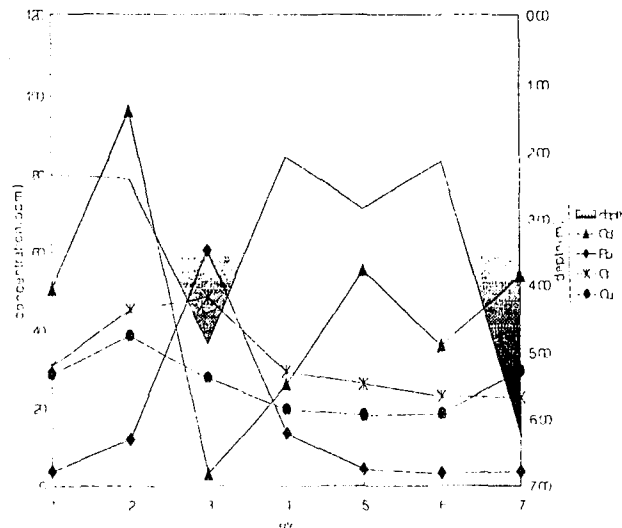


Fig. 5. Depth distribution of sampling site and heavy metal concentrations in Western

니 야역장 앞(site 6)에서 2.93m로 가장 깊었고 원동교 앞(site 1)에서 0.61m로 가장 얇았으며 평균 깊이는 1.58m였다.

3.2.1 낙동강 저토중 중금속 농도

저토 중 중금속의 경우 낙동강에서 저토층의 형성이 잘 이루어져 있지 않아 8개 site에서만 저토 채취가 가능하였고, 인위적 기원의 오염물질 중 Cd, Pb, Cr, Cu에 대해 분석하였다(Fig. 4, Table 2).

Cd의 경우 가장 얇은 낙동교 근처(site 9)에서 175.00ppm으로 다른 site에 비해 100배 이상의 높은 농도를 나타냈고, Pb와 마찬가지로 염궁동 앞(site 12)에서 20.00ppm을 나타내었다. 따라서, 이 오염물질의 경우 얇은 곳에서 아주 많이 침적되며 염궁동 앞으로 Cd의 오염원이 유입되는 것으로 나타났다. Pb, Cr, Cu는 가장 깊은 구포교(site 1)에서 50.00, 60.00, 30.00ppm으로 가장 농도가 높았고 가장 얇은 낙동교 근처(site 9)에서 10.00, 5.00, 15.00ppm으로 가장 농도가 낮았으며 하류로 갈수록 점점 감소하는 경향을 보였다. 그러므로 이들 오염물질들은 깊은 곳에서 많이 침적되며 이동하면서 점점 희석되는 것으로 나타났다. 다만 Pb만이 염궁동 앞(site 12)에서 15.00ppm으로 조금 증가하였다. 따라서 이곳이 Pb의 오염원이 일부

Table 2. Heavy metal concentration in the sediment of Naktong River(unit : ppm).

site	Cd	Pb	Cr	Cu
1	2.50	50.00	60.00	30.00
2	1.00	30.00	25.00	25.00
4	2.00	25.00	25.00	15.00
7	1.00	30.00	35.00	25.00
9	175.00	10.00	5.00	15.00
10	0.50	10.00	10.00	15.00
12	20.00	15.00	10.00	15.00
13	0.50	10.00	10.00	15.00
average	25.31	22.50	22.50	19.38

Table 3. Heavy metal concentration in the sediment of Western Naktong River(unit : ppm).

site	Cd	Pb	Cr	Cu
1	50.40	3.49	30.71	28.77
2	96.18	12.13	45.30	38.64
3	3.01	60.23	48.27	27.69
4	26.10	13.67	29.52	19.71
5	55.24	4.12	26.16	18.27
6	35.99	3.17	23.01	18.51
7	53.64	3.57	22.73	29.49
average	45.79	14.34	32.24	25.87

Table 4. Heavy metal concentration in the sediment of Suyoung Stream(unit : ppm).

site	Cd	Pb	Cr	Cu
1	1.00	50.00	35.00	80.00
2	1.50	100.00	55.00	110.00
3	1.00	75.00	35.00	65.00
4	50.00	130.00	115.00	115.00
5	0.50	10.00	10.00	15.00
6	3.00	85.00	60.00	90.00
7	1.00	45.00	30.00	65.00
8	2.00	115.00	45.00	80.00
average	7.50	76.25	48.13	77.50

Table 5. The correlation coefficients between heavy metals of the sediment in Naktong River.

	Cd	Pb	Cr	Cu
Cd	1			
Pb	-0.38	1		
Cr	-0.41	0.98**	1	
Cu	-0.31	0.91**	0.89**	1

* P < 0.005, ** P < 0.01

Table 6. The correlation coefficients between heavy metals of the sediment in Western Naktong River.

	Cd	Pb	Cr	Cu
Cd	1			
Pb	-0.61	1		
Cr	-0.01	0.77*	1	
Cu	0.56	0.16	0.61	1

*P < 0.05, ** O < 0.01

Table 7. The correlation coefficients between heavy metals of the sediment in Suyoung Stream.

	Cd	Pb	Cr	Cu
Cd	1			
Pb	0.57	1		
Cr	0.89*	0.83*	1	
Cu	0.51	0.86**	0.82*	1

*P < 0.05, ** O < 0.01

Table 8. The correlation coefficients between heavy metals of the sediment in Naktong River, Western Naktong River, and Suyoung Stream.

	Cd	Pb	Cr	Cu
Cd	1			
Pb	-0.29	1		
Cr	-0.10	0.80*	1	
Cu	-0.18	0.89*	0.77*	1

*P < 0.05, ** O < 0.01

유입되는 곳으로 추정된다.

3.2.2 서낙동강 저토중 중금속 농도

서낙동강에서의 저토중 중금속의 농도는 Fig. 5, Table 3과 같았다. Cd의 경우 안동공단과 어방공단을 통과하여 유입되는 신어천과 호계천의 유입지점(site 2)에서 96.18ppm으로 최고농도를 보이고 비교적 깊은 강동교 근처(site 3)에서 3.01ppm으로 최저농도를 보인 후 점점 농도가 높아졌다. 그러므로 Cd는 이동성이 강한 물질로 생각된다. Cu의 경우 Cd와 마찬가지로 신어천과 호계천의 유입지점(site 2)에서 38.64ppm으로 최고 농도를 보인 후 하류로 갈수록 점점 저농도를 보

이다 가장 깊은 녹산수문 앞(site 7)에서 29.49ppm으로 다시 상승하는 경향을 띄었다. 그러므로, 이동성이 약한 물질로 사료되며 조만강에서도 오염 물질이 일부 유입됨을 알 수 있었다. Pb와 Cr의 경우 비교적 깊은 강동교 근처(site 3)에서 각각 60.23, 48.27ppm으로 가장 고농도를 보였고 그 이후 하류로 갈수록 점점 농도가 줄어들었다. 그러므로 이들 물질은 이동성이 약하며 깊은 지점에서 많이 침적됨을 알 수 있었다.

3.2.3 수영천 저토중 중금속 농도

수영천에서 하상구조에 따른 중금속의 농도결과는 Fig. 6, Table 4와 같았다. Cd, Pb, Cr, Cu가

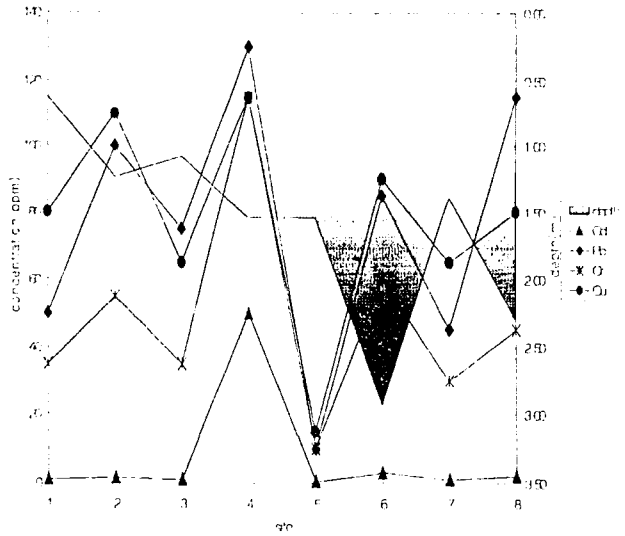


Fig. 6. Depth distribution of sampling site and heavy metal concentrations in Suyoung Stream.

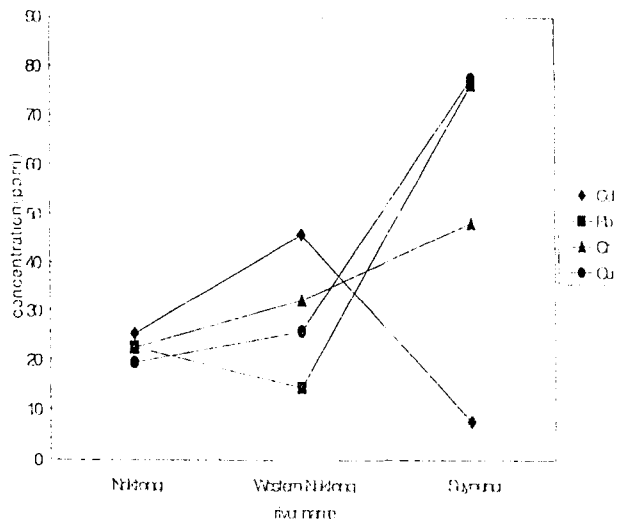


Fig. 7. The variations of mean heavy metal concentrations in the sediment of Naktong River, Western Naktong River, and Suyoung Stream.

site 4에서 50.00, 130.00, 115.00, 115.00ppm으로 가장 농도가 높았고 Pb, Cr, Cu는 site 5에서 10.00, 10.00, 15.00ppm으로 가장 농도가 낮았다. 따라서 Pb, Cr, Cu는 동일한 오염원에서 유입된 것으로 생각된다.

3.3 하천간의 중금속 오염 특성 비교

Fig. 7. The variations of mean heavy metal concentrations in the sediment of Naktong River, Western Naktong River, and Suyoung Stream.

낙동강의 경우 저토층 중금속 농도를 Cd의 평균농도가 25.31ppm, ph는 22.50ppm, Cu는 19.38ppm으로 (Table 2) 정의 연구⁷⁾에서 각각 3.30, 53.80, 40.30, 53.90ppm인 1994년도에 비해 Cd의 농도가 약 8배정도 높았으며(Fig. 7) 나머지 중금속들은 낮게 나타났는데 Cd만이 유입의 증가로 인하여 침적량이 증가하였고 나머지 중금속은 준설에 의해 제거되거나 유입량이 감소하였으리라 추측된다. 서낙동강의 경우 중금속의 평균 농도는 Cd 45.79, Pb 14.34, Cu 25.87, Cr 32.24ppm으로(Table 3) 박 등의 연구⁸⁾에서의 Cd 2.54, Pb 67.01, Cu 42.95ppm에 비하여 Cd의 경우 약 18배 정도 높게 나타나고 있다. 이것은 1994년 이후에 조성된 안동공단과 현재 조성중인 지내공단에 의한 오염물질의 유입증가 때문인 것으로 추정된다. 그러나 Pb와 Cu의 경우

오히려 감소한 것은 낙동강과 마찬가지로 준설에 의한 저토층의 제거때문이라고 추정된다. 수영천의 경우 평균농도는 Pb 76.25, Cu 77.50, Cd 7.50, Cr 48.13ppm이었는데(Table 4) 상황이 비슷한 김의 연구⁹⁾에서 인천지역의 승기천 중류의 저토층 중금속의 농도는 각각 Pb 7.20, Cu 17.00ppm이며 Cd는 검출되지 않았고 Cr의 경우 조사되지 않았다. 비교 결과 수영천이 인천지역의 승기천에 비해 상당히 오염되어 있음을 알 수 있었다.

세 하천을 비교한 저토층 중금속의 평균농도는 Fig. 7과 같으며 Cd의 경우 서낙동강(45.79) > 낙동강(25.31) > 수영천(7.50ppm), Pb의 경우 수영천(76.25) > 낙동강(22.50) > 서낙동강(14.34ppm), Cr과 Cu의 경우 수영천(48.13, 77.50ppm) > 서낙동강(32.24, 25.87 ppm) > 낙동강(22.50, 19.38ppm)으로 대체로 낙동강, 서낙동강, 수영천 순으로 중금속에 의한 오염도가 커지는 것을 알 수 있었다. 그 이유는 수영천의 경우 오염원이 가까이 인접하여 소규모 공장들이 밀집해 있고 이들 사업장들의 소규모화에 의해 방류되는 폐수의 처리 정도가 의심되며 하천의 규모면에서 다른 두 하천에 비해 작고 유량 또한 적어 오염물질이 희석되기 어렵기 때문이라 생각된다. 서낙동강의 경우는 수영천에 비해 상당한 거리를 두고 공단들이 형성되어 있으나 규모나 유량면에서 낙동강에 비해 작아 희석정도 또한 적으리라 추정된다. 낙동강의 경우 사상공단과 인접하고 있으나 다른 하천에 비해서는 규모나 유량이 크며 유속 또한 빨라 오염물질의 유입시 다른 두 하천에 비해 희석정도가 큰 것으로 추정된다.

3.4 세 하천간 중금속의 상관성

Table 5에 나타난 낙동강에서의 각 중금속간

상관관계를 보면 Cu는 Cr과 높은 상관성(상관계수 0.89)을 보였고 Pb는 Cr, Cu와 매우 높은 상관성(0.98과 0.91)을 보였다. Table 6의 서낙동강에서는 Cu는 Cd 및 Cr과 비교적 높은 상관성(0.56과 0.61)을, Cr은 Pb와 높은 상관성(0.77)을 보였다. Table 7의 수영천에서의 분석 결과 Cd는 Pb 및 Cu와 비교적 높은 상관성(0.57과 0.51)을 보였고, Cr은 Cd 및 Pb와, Cu는 Pb 및 Cr과 높은 상관성(0.89, 0.83, 0.86 및 0.82)을 나타내었다. 세하천간 중금속의 상관성을 종합하여 나타난 Table 8에서 보면 Pb와 Cr, Cu간의 상관계수는 각각 0.80, 0.89, Cr과 Cu간의 상관계수는 0.77로 모두 높은 상관성을 나타내었다.

4. 결 론

낙동강, 서낙동강, 수영천의 하상 구조를 알아내고 저토의 중금속 농도를 분석한 결과, 세 하천중 낙동강이 가장 깊고 그 깊이차 또한 가장 컸고, 중금속중 Cd의 경우 서낙동강(45.79ppm) > 낙동강(25.31ppm) > 수영천(7.50ppm), Pb의 경우 수영천(76.25ppm) > 낙동강(22.50ppm) > 서낙동강(14.34ppm), Cr과 Cu의 경우 수영천(48.13, 77.50ppm) > 서낙동강(32.24, 25.87ppm) > 낙동강(22.50, 19.38ppm)으로 대체로 낙동강, 서낙동강, 수영천 순으로 중금속 오염도가 커졌다. 한편 저토층 중금속간 상관성을 알아본 결과 낙동강에서의 Cu는 Cr과 높은 상관성(상관계수 0.89)을 보였고 Pb는 Cr, Cu와 매우 높은 상관성(0.98과 0.91)을 보였다. 서낙동강에서 Cr은 Pb와 높은 상관성(0.77)을 보였고 수영천에서 Cr은 Cd 및 Pb와, Cu는 Pb 및 Cr과 높은 상관성(0.89, 0.83, 0.86 및 0.82)을 나타내었다.

참 고 문 헌

1. Lisk, D. J., "Trace metals in soils, plants, and animals," *Advance in Agronomy*, 24, 267-325 (1972)
2. 전 상호. "한강퇴적물에 함유된 오염물질의 존재형태 연구." 한국 환경과학 연구협의회 연구 보고서, 37 (1990)
3. 김 동천. "청주지역 하천 하상퇴적물의 중금속 함량 분석." 청주대학교 산업경영대학원 학위 논문집 (1992)
4. Frtner, U. and Wittmann. G. T. W., "Metal pollution in the aquatic environment." Springer Verlag, 486 (1981)
5. 오 택섭, 사회과학 데이터 분석법, 도서출판 나남, 190, pp. 303-343 (1985)
6. 환경청. 환경 관계 법규. 환경 정책 기본법 (1991)
7. 정 영언. 낙동강 하류역의 수질 및 저질층의 중금속 분포특성. 부산전문대학 공업화학과 (1994)
8. 박 홍재, 박 종길, 박 원우. 서낙동강 유역 강물, 저토 및 토양의 중금속 분포 특성. 한국 환경과학회지, 3(4), 409-416 (1994)
9. 김 주원. 인천지역 하상퇴적물의 중금속 함량에 관한 조사연구. 숭실대학교 (1988)