

낙동강, 서낙동강, 수영천 하구의 하상구조에 따른 연중 퇴적저토의 오염특성 연구와 부산근해 적조에의 영향에 관한 연구

황 선 출 · 이 봉 현* · 박 원 우** · 정 영 언*** · 박 흥 재 · 정 성 욱
인제대학교 환경학과 · 부산대학교 화학과 · 부산전문대학 공업화학과
(1997년 6월 30일 접수)

A Study on the Relation between Riverbed Structure and Pollutant Concentration in Down Stream of Nakdong River

Sun-Chool Hwang, Bong-Hun Lee*, Won-Woo Park**, Young-Eon Cheong***,
Heung-Jai Park, and Sung-Ug Jeong

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

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

***Dept. of Industrial Chemistry, Pusan Junior College, Pusan*

(Manuscript received 30 June 1997)

This study was performed to investigate the riverbed structure and the pollution type in Nakdong River, Western Nakdong River, and Suyoung Stream. Sediment and water samples were collected at 15 in Nakdong River, 7 in Western Nakdong River, and 8 sites in Suyoung Stream from February 20, 1997 to June 15, 1997. The depth distributions of sampling sites in the three streams were measured and heavy metals(Cd, Pb, Cr, Cu) and pesticides in sediments and COD, BOD, and total nitrogen(T-N) in water samples were analyzed.

The deepest and the shallowest sites were site 11(11.58m) and 9(3.35m) in Nakdong River, site 7(6.25m) and 4(2.06m) in Western Nakdong 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 Nakdong 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. Pesticides(1 kind of organophosphorus and 3 kinds of organochlorine pesticide) were detected only in the sediment of Western Nakdong River. The mean concentrations of COD(20.26ppm), BOD(25.36ppm), and T-N(18.05ppm) were higher in the water sample of Suyoung Stream than in other two streams.

Key words : Riverbed structure, sediment, water sample, heavy metal, pesticide, COD, BOD, T-N

1. 서 론

낙동강은 강원도 태백 시내 중심부에 위치한 천황에서 발원하여 영남 평야를 흘러 지나며,

그 길이는 525.15Km에 달한다(수자원 공사, 1997). 서낙동강은 낙동강의 하류 대동수문에서 시작하여 녹산수문을 통하여 바다와 연결되

는 연장 18.5Km, 하폭 100-1,100m로 조만강, 평강천 등의 지천과 연결되며(강서 구청, 1991) 우리 나라의 대표적 곡창 지대인 김해평야의 중요한 수원이며 남해안으로 흘러들어 어자원에 많은 영향을 끼친다. 그리고 김해 지방은 연평균 강수량이 1397.8mm(박 종길 등, 1993)로 하계에 집중되며 동계에 강우량의 변동이 커 서낙동강의 수질과 저토간의 물질 이동에 영향을 주고 있다(박 홍재 등, 1994). 부산시 동북쪽에 위치한 수영천은 금정산을 발원으로한 온천천과 양산군으로부터 상류를 이루어 들어오는 석대천 등을 포함한 강으로 유역 면적이 202Km²로 각종 공장 폐수와 가정 하수가 유입되고 있다.

도시 근교를 흐르는 중소 하천은 유역의 인구 및 산업체의 증가로 인하여 배출되는 폐기물과 생활 부산물 등에 의해 현저하게 오염된다. 이러한 하천 오염의 주원인으로는 공장 폐수, 농약, 생활 하수 등을 들 수 있다. 공장 폐수에 의한 오염 물질은 중금속, 시안 화합물, 페놀, PCB 등이 있고 생활 하수에서 기인하는 것으로는 합성 세제 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 수피의 변동이 일어날 때 하상의 질소, 인 등의 영양 염류와 중금속들이 이동하여 수면에까지 영향을 끼친다(전상호, 1991; Bostrom, 1984). 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 하상 구조는 오염물질의 흐름과 퇴적에 중요한 지표가 되며 지속적인 구조 변화를 연구함으로써 오염물질의 고정 축적원에 대한 패턴을 정립할 수 있다.

본 연구에서는 낙동강과 그 하류의 한 갈래인 서낙동강 그리고 수영천을 대상으로 이들 하천의 저토 퇴적물에 대한 오염 특성이 하천의 오염에 대한 중요한 지표가 될 수 있으므로 이들 하천의 하상 구조와 저토의 오염 물질간의 관계에 대하여 알아보았다.

2. 조사 대상 및 방법

2.1 조사 지점 선정

채취 지역은 환경정책 기본법(환경청, 1991) 제15조에 의한 토양 측정망 운영 지침 측정 지역 선정 기준에 따라 본 연구를 하기 전에 충분히 예비 탐사를 시행한 후 낙동강은 15개 지점, 서낙동강은 7개 지점, 수영천은 8개 지점을 각각 선정하였다(Fig. 1-3).

2.2 조사 기간 및 방법

실험 시료의 채취는 1997년 2월20일에서 6월15일까지, 조사 대상 30개 지점에서 공정 시험법에 따라 각 조사 지점에서 채수하였고 저토는 저토 채취기(Ekman Sampler)로 채취

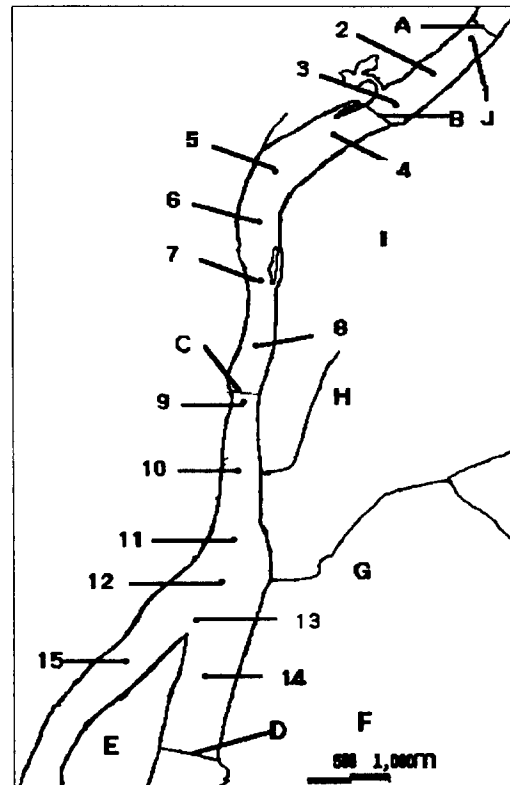


Fig. 1. The sampling sites in Nakdong River.

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.

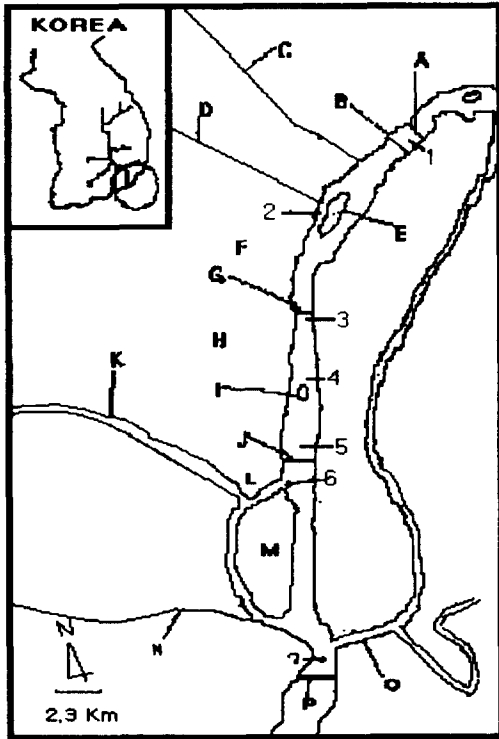


Fig. 2. The sampling sites in Western Nakdong River.

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 Nakdong bridge, K: Joman river, L: Jomanpo, M: Dunchi island, N: Jisa stream, O: Pyungkang stream, P: Noksan.

한 후 폴리에틸렌 병에 담아 밀봉 후 보관하여 분석하였고, 강의 깊이는 초음파 측정기 (Interphase Echo 220)를 이용하여 각각의 조사 지점에서 측정하였다.

2.3 분석 항목 및 분석 방법

2.3.1 저토 분석법

저토중의 중금속 분석은 채취한 저토를 분쇄, 혼합하여 자연 건조시킨 후 질산-염산-과염소산 고체 시료 분해법으로 전처리한 후 Inductively Coupled Plasma (SPS 1200A Plasma Spectrophotometer, S II Seiko In-

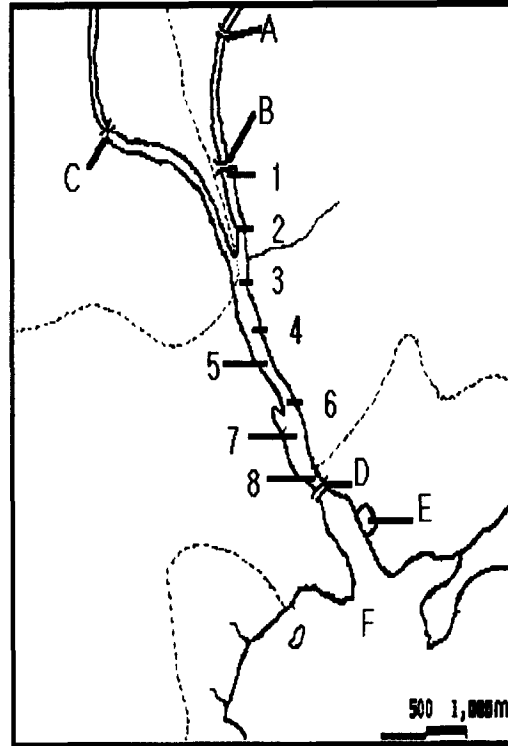


Fig. 3. The sampling sites in Suyoung Stream.

A: Dongcheon bridge, B: Onedong bridge, C: Oncheon stream, D: Suyoung stream, E: Marina, F: Suyoung bay.

struments)를 사용하여 분석하였으며 농약의 분석은 Multi-Pesticide Residue Method (이봉현 등, 1997)를 적용하여 저토 시료를 전처리한 후 GC/NPD (HP 5890 Series II Plus)로 Table 1 (Willet, 1987)의 조건하에서 분석하였다.

2.3.2 수질 분석법

화학적 산소요구량(COD)은 수질오염, 폐기물, 토양 오염 공정 시험법에 따라 100℃, 산성 조건에서 과망간산칼륨법을 이용하여 분석하였고 생물학적 산소요구량(BOD)은 수질오염, 폐기물, 토양 오염 공정 시험법에 따라 분석하였으며 총질소량(Total Nitrogen, T-N)은 수질오염, 폐기물, 토양 오염 공정 시험법에 따라 자외선 흡광광도법으로 분석하였다.

Table 1. Condition of GC/NPD for detecting residual organophosphorus pesticide

column	Ultra-2(5% phenyl-methyl silicone) 50m × 0.32mm × 0.17 μ m
flow	N ₂ 1.6ml/min
split ratio	1 : 8
injection Temp.	280 $^{\circ}$ C
detection Temp.	280 $^{\circ}$ C
initial Temp.	150 $^{\circ}$ C hold for 1 min
rate	5 $^{\circ}$ C/min
final Temp.	190 $^{\circ}$ C hold for 10 min
rate A	5 $^{\circ}$ C/min
final Temp. A	230 $^{\circ}$ C hold for 4 min
rate B	10 $^{\circ}$ C/min
final Temp. B	300 $^{\circ}$ C hold for 2 min

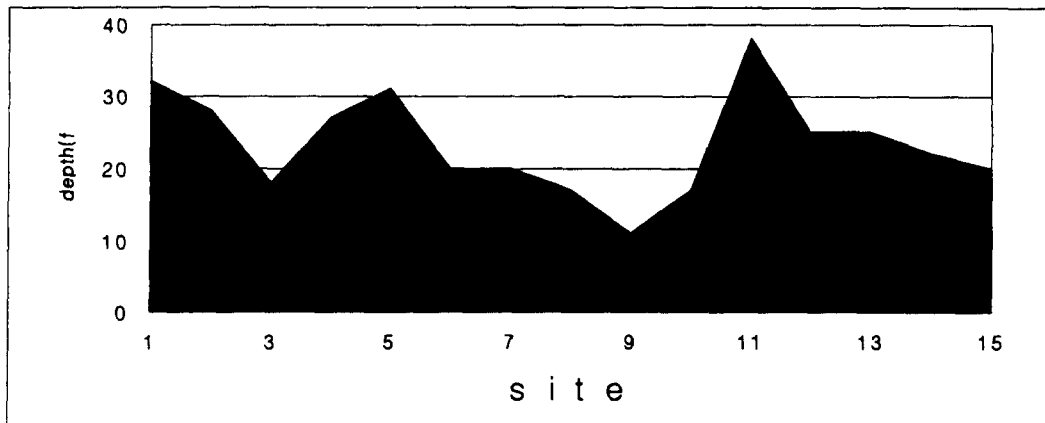


Fig. 4. Depth distribution of Nakdong River (unit : m).

3. 연구 결과

3.1 깊이에 따른 하상구조

3.1.1 낙동강의 하상 구조

낙동강 15개 조사 지점에서 깊이를 측정한 결과는 Fig. 4와 같아서 을숙도와 낙동교 중간 지점인 site 11이 11.58m로 가장 깊었고 낙동교 근처의 site 9가 3.35m로 가장 얇았다.

3.1.2 서낙동강의 하상구조

서낙동강 7개 조사 지점에서 깊이를 측정한 결과(Fig. 5) 강동교 근처(site 3)가 4.88m로 비교적 깊고 녹산수문 근처(site 7)가 6.25m로 가장 깊었으며, 봉림에서 치등앞(site 4)까지는 2.06m로 가장 얇았다.

3.1.3 수영천의 하상구조

수영천 8개 조사 지점에서 깊이를 측정한 결과(Fig. 6) site 6이 2.89m로 가장 깊었고

site 1이 0.61m로 가장 얇았다.

3.2 저토 분석 결과

3.2.1 저토중 중금속 농도

낙동강은 저토층의 형성이 일정하지 않은 관계상 시료 채취가 가능한 8개 site를 그 대상으로 하여 인위적 기원의 오염 물질인 enriched 원소중 Cd, Pb, Cr, Cu를 대상 물질로 하여 분석하였다. 그 결과를 Table 2에 나타내었다.

서낙동강 지역은 낙동강과 달리 저질 형성이 양호하여 지정된 7개 site 모두에서 시료 채취를 할 수 있었고 각 중금속의 분석 결과는 Table 3과 같았다.

수영천은 낙동강이나 서낙동강에 비해 저질 형성이 잘 되어 있었지만 입경이 이 곳들에 비해 아주 작았다. 중금속의 농도 분석 결과를 Table 4에 나타내었다.

저토중 중금속 분석 결과 Cd의 농도는 서낙

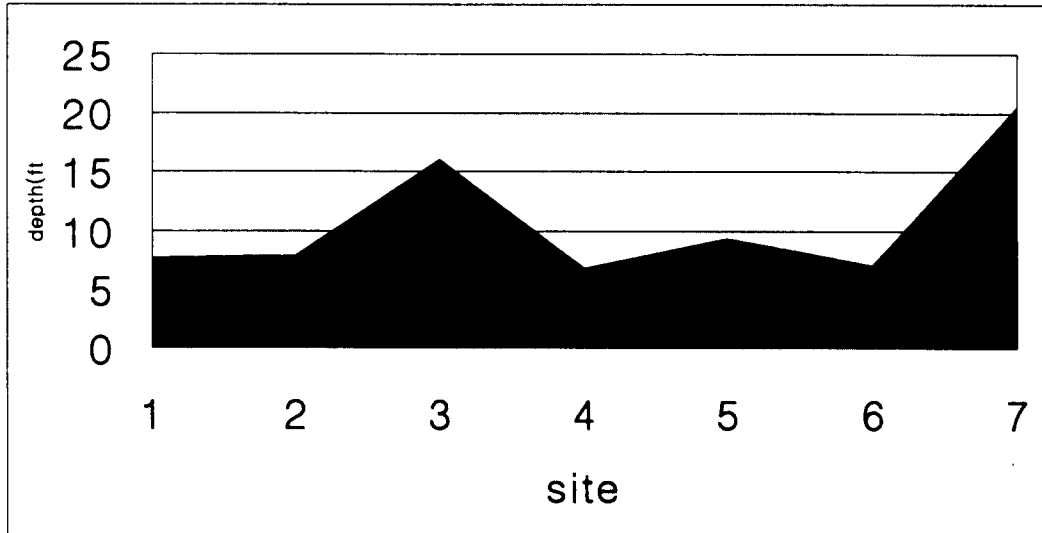


Fig. 5. Depth distribution of Western Nakdong River (unit : m).

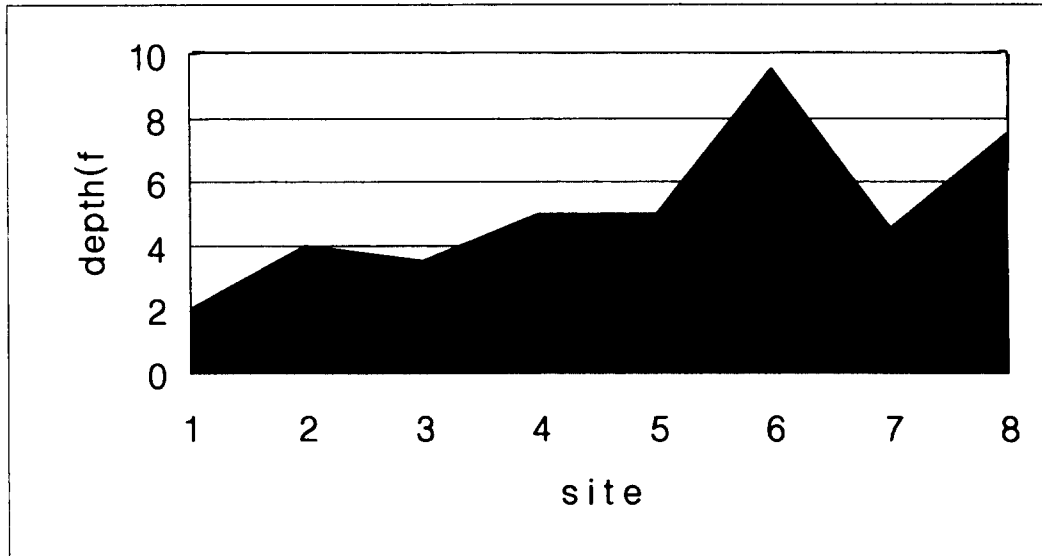


Fig. 6. Depth distribution of Suyoung Stream (unit : m).

동강에서 가장 진하였고 나머지 세 가지 중금속, Pb, Cr 및 Cu의 농도는 수영천에서 그 농도가 가장 진하여 세 하천중 수영천의 오염 정도가 가장 심함을 알 수 있었다.

3.2.2 저토중 농약 분석 결과

낙동강과 수영천에서는 농약류가 검출되지 않았고, 서낙동강에서만 검출이 되었으며 유기농약중 유기인계 농약은 한 종류만 검출되었고(fenitrothion으로 그 농도는 0.19 ppm) 유

기 염소계 농약의 검출 결과는 Table 5와 같았다.

3.3 수질 분석 결과

낙동강 15개 site, 서낙동강의 7개 site 및 수영천 8개 site의 수질 분석결과(Table 6, 7, 8) 수영천에서의 COD(20.26ppm), BOD(25.36ppm) 및 T-N(18.05ppm)의 값이 다른 두 지역에서의 값보다 커서 수영천의 오염이 가장 심하다는 것을 알려주었다.

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

heavy metal 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
평균	25.31	22.50	22.50	19.38

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

heavy metal 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
평균	45.79	14.34	32.24	25.87

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

heavy metal 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
평균	7.50	76.25	48.13	77.50

4. 고찰

저토 퇴적물에 관한 연구는 낙동강, 서낙동강 및 수영천과 같이 공업과 농업 폐수, 생활하수가 복합적으로 유입되는 하천의 경우 그 성분이 아주 다양하고 각 부류의 모든 성분들이 사람과 생태에 치명적인 영향을 끼치며 수

Table 5. Organochlorine pesticide concentration in the sediment of Western Nakdong River (unit : ppm)

site	pesticide	concentration
2	δ -BHC	0.07
3	α -BHC	1.56
	δ -BHC	4.92
	DDE	0.0028
4	δ -BHC	0.14
5	δ -BHC	0.16
6	α -BHC	0.25
	β -BHC	1.11
	δ -BHC	0.19
7	DDT	0.01
	DDT	0.04

Table 6. COD, BOD, and T-N in the water sample of Nakdong River (unit : ppm)

site	COD	BOD	T-N
1	6.12	7.50	13.18
2	5.73	6.90	16.08
3	5.73	7.00	10.20
4	5.13	6.60	10.08
5	5.92	7.20	9.55
6	6.12	7.40	12.41
7	4.94	4.80	9.74
8	5.92	7.50	11.52
9	5.13	7.10	9.34
10	5.73	7.00	11.76
11	5.53	7.20	13.01
12	5.53	7.20	13.44
13	5.92	7.40	13.70
14	5.53	7.40	12.12
15	5.33	6.90	10.30
평균	5.62	7.01	11.76

질, 녹조 및 적조 현상 등에 중요 원인을 제공한다. 이에 본 연구에서는 중금속, 농약 및 수질 조사 항목에 대한 분석을 통하여 강물과 저토에 대한 오염 성상과 하상 구조와의 관계에 대하여 연구하였다.

낙동강에서 저토중 중금속의 경우 아직 환경기준치가 정해져 있지 않은 상태인데 본 연구 결과 Table 2에 나타난 것과 같이 낙동강의 Cd의 평균 농도가 25.31, Pb는 22.50, Cr은 22.50, Cu는 19.38ppm으로 정(1994)의 낙동강 하류역의 저질 중 중금속 평균 농도, 3.10,

Table 7. COD, BOD, and T-N in the water sample of Western Nakdong River (unit : ppm)

site	COD	BOD	T-N
1	9.15	9.30	8.99
2	12.34	12.06	11.10
3	14.39	14.36	12.25
4	12.67	13.15	16.78
5	12.97	11.80	18.37
6	9.91	9.70	16.19
7	6.12	6.30	19.45
평균	11.08	10.95	14.73

Table 8. COD, BOD, and T-N in the water sample of Suyoung Stream (unit : ppm)

site	COD	BOD	T-N
1	24.20	35.60	18.43
2	38.87	49.00	10.51
3	23.69	30.00	14.69
4	22.70	22.50	17.26
5	8.69	13.67	26.69
6	10.09	14.10	18.91
7	19.74	20.57	20.66
8	14.10	17.40	17.26
평균	20.25	25.36	18.05

41.08, 17.85, 35.28ppm과 비슷하게 나타났다. 수질의 경우 Table 6에서와 같이 COD의 평균 농도는 5.62ppm, BOD는 7.01ppm으로 공업용수나 농업용수만 사용할 수 있는 4급수로 나타났지만 1992년도(김 도훈)의 COD 11.85ppm, BOD 8.35ppm에 비해 낮게 나타났다.

한편 서낙동강의 경우 하천의 흐름이 거의 없어 호수와 같은 경향을 띄었으며 하상 구조와 깊은 상관성을 가졌는데 그 결과는 다음과 같았다(Table 3). 첫째, 7개의 조사지점에서 깊이는 강동교 근처(site 3)가 4.88m로 비교적 깊었으며 녹산수문 근처(site 7)가 6.25m로 가장 낮았다. 둘째, 안동공업지역, 어방공업지역의 오염물질이 유입되는 신어천과 호계천의 유입 지역인 site 2에서 Cd, Cu는 가장 고농도를, Cu의 경우 하류로 감에 따라 점점 저농도를 보이고, Cd의 경우 비교적 깊은 강동교 근처인 site 3에서 가장 저농도를 보이고 그 이후 하류로 감에 따라 점차 농도가 증가하

는 경향을 띄었다. 셋째, 공업의 부산물인 수질에서 가장 큰 문제를 일으키는 Pb와 Cr의 경우 오염원의 유입지점으로부터 비교적 깊은 강동교 근처인 site 3에서 고농도를 보이고(sink 됨) 그 이후 점차 저농도가 되는 경향을 보였다. 넷째, Cd의 경우 오염원에서 강동교 근처까지 급격하게 감소하여 그 이후 농도가 증가하는 것을 볼 때 거리에 따른 영향이 큰 물질로 보였다. 다섯째, Cu의 경우 거리에 따른 농도 감소 경향이 Cd보다 다소 떨어지는 경향을 띄었다. 여섯째, 서낙동강의 저토에서 중금속 오염원은 김해시와 장유로부터 흐르는 조만강과 그 규모는 작으나 안동공단과 어방공단의 중심을 흐르는 신어천이다. 그 중 신어천이 가장 큰 오염원이었으며, 신어천의 오염이 봉림까지 영향을 미친다는 사실로부터 녹산수문이 서낙동강을 호수화하는 경향이 있음을 알 수 있었다. 일곱째, 하상의 깊이가 깊은 강동교 근처, 조만강의 유입지점과 녹산수문 사이의 site에서 특히 중금속 농도가 높았다(깊은 곳에서 자정도가 크다).

또한 서낙동강에서 저토중 중금속의 농도는 Cd 45.79, Pb 14.34, Cu 25.87ppm으로 박 등(1994)의 저토중 중금속 평균 농도, 12700, 593, 7535ppm에 비하여 중금속의 농도가 1994년도에 비해 낮은 것으로 나타났다. 수질의 경우 Table 7과 같이 평균 농도는 COD 11.08, BOD 10.95ppm으로 공업용수로도 사용이 불가능한 5급수에 미치지 못하는 것으로 나타났다고, 김(1992)의 평균 농도 10.50, 8.20ppm과 비슷한 값을 보였다.

수영천에서 저토중 중금속의 경우 Table 4에서와 같이 평균 농도는 Pb 76.25, Cr 48.13, Cu 77.50ppm으로 낙동강이나 서낙동강에 비해 높게 나타났다. 수질의 경우 Table 8에서와 같이 평균 농도가 COD 20.25, BOD 25.36ppm으로 중금속과 마찬가지로 다른 곳들에 비해 높게 나타났지만 김(1985)의 COD 32.11, BOD 31.11ppm 보다는 낮게 나타났다.

저토중 농약은 유기인계, 유기염소계가 서낙동강에서만 검출되었고, 유기인계로는 fenitrothion이라는 과수용 살충제가 site 7에서 0.19ppm, 유기염소계로는 살충제로 사용되는 α , β , δ -BHC, DDE(dichlorodiphenyl dichloroethylene)와 DDT(dichlorodiphenyl tri-

chloroethane)이 검출되었다.

수질 조사 항목중 COD 및 BOD의 경우 하천내 종말 처리장이 인접하고 생활 하수가 다량 유입되는 수영천이 가장 높고(20.26, 25.36ppm) 다음으로 서낙동강(11.08, 10.95ppm)이 sampling site에 따라 큰 편차를 가지며 높은 경향을 띠고 낙동강 하류의 경우 가장 낮은 값(5.62, 7.01ppm)을 보였다. T-N의 경우 또한 수영천(18.05ppm), 서낙동강(14.73ppm), 낙동강(11.76ppm)의 순서를 보였으며, 특히 저토에서의 중금속의 경향은 수영천에서 Pb(76.25ppm), Cr(48.13ppm), Cu(77.50ppm)가 고농도였고 서낙동강에서는 Cd(45.79ppm)가 고농도였다.

이상의 연구 결과 가장 오염이 심각한 지역은 수영천하구 이었고, 다음이 서낙동강이며, 낙동강 하구는 가장 낮은 값을 보였다. 하천의 적조에 대한 영향은 강도의 측면에서는 수영천, 서낙동강, 낙동강의 순서로 볼 수 있었으나 낙동강의 경우 전체수량이 많아 적조에 대한 영향이 클 것이라고 생각된다.

감사의 글

이 논문은 1996년도 교육부 학술연구조성비(지역개발연구)에 의하여 연구되었으며 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

강서 구청. 1991, 서낙동강 정화 계획안.
김도훈. 1992, 서낙동강의 수질 오염도에 관한 조사 연구. 인제대학교 보건대학원. 환경 관리학과.

김수생. 1985, 수영강하구의 수질 보전 방안에 대하여. 동아대학교 대학원. 환경공학과.
동남 개발 연구원. 1994, 낙동강 상수 원수 수질 개선 방안.

박종길, 이부용. 1993, 경남 지방의 월강수량의 변동율과 Anomaly Level의 출현 특성. 한국환경과학회지, 2(3), 179-191.

박흥재, 박종길, 박원우. 1994, 서낙동강 유역 강물, 저토 및 토양의 중금속 분포 특성. 한국환경과학회지, 3(4), 409-416.

수자원 공사. 1997, 수자원 조사 설계 및 개발 계획.

이봉현, 김우성, 박원우, 정성욱, 박흥재. 1997, Study on the Development of Analytical Method(Multi-Pesticide Residue Method) for the Organophosphate Pesticides. 한국환경과학회지, 6(2), 183-187.

전상호. 1991, 호소 퇴적물 준설이 수질에 미치는 영향의 평가 방법에 관한 연구. 한국 환경 과학 연구 협의회 연구 보고서, 60.

정영언. 1994, 낙동강 하류역의 수질 및 저질층의 중금속 분포 특성. 부산전문대학교. 공업 화학과.

환경청. 1991, 환경 관계 법규. 환경 정책 기본법.

Bostrom B., 1984, Potential mobility of phosphorus in different types of lake sediment. Int. Revue Ges. Hydrobiol. 69(4), 457-474.

Willet, J. 1987, Gas Chromatography. New York. Wiley.