

부산 지역의 하상퇴적물 오염도 조사

부산지역 하천의 하상퇴적물에 대한 오염 실태를 파악하여 하천정화 대책 수립 및 부산시의 환경오염도 기초자료 제공

1. 조사개요

- 조사근거
 - ▷ 시 환위 31811-32250(1986.12.23.)
 - ▷ 시 환보 67407-20074(1999.01.18.)
- 조사기간 : 1년 (2005년 1월 ~ 12월/분기1회)
- 조사지점(12개하천 20개지점)
 - 동천(범4호교, 동천교), 수영천(조양교, 연안교, 민락교), 삼락천(감전배수장) 학장천(엄궁교), 감전천(부산콘크리트열 다리, 엄궁교), 장림천(장림교), 덕천천(덕천교), 대천천(화명교), 낙동강(물금, 매리, 구포선착장), 서낙동강(강동교, 조만교, 녹산콘크리트열), 좌광천((주)세양열), 회동댐 상류(신천교)
- 조사 대상 및 항목
 - 12개 하천 20개 지점 하상퇴적물 9개 항목 : Cu, Cd, Pb, Zn, Mn, Cr⁶⁺, Hg, pH, 강열감량

2. 조사방법

- 시료전처리
 - 토양오염공정시험방법(환경부 고시 제2002-122호)에 의하여 시료를 통풍이 잘되는 곳에서 풍건시킨 후, 분쇄하여 2 mm 표준체(10메쉬)에 통과한 시료를 분석용 시료로 하였다.
- 구리, 카드뮴, 납, 아연, 망간
 - 전처리 시료 10g을 정밀히 취하여 삼각플라스크에 넣고 0.1N HCl 용액 50mL를 가하여 항온수평진탕기(100회/분)를 사용하여 1시간 진탕한 다음 여과하여 원자흡광광도계(Atomic Absorption Spectrophotometer ; Varian SpectraAA 220FAST Sequential)를 이용하여 분석하였다.
- 6가 크롬
 - 전처리 시료 10g을 정밀히 취하여 삼각플라스크에 넣고 0.1N HCl 용액 50mL를 가하여 항온수평진탕기(100회/분)를 사용하여 1시간 진탕한 다음 여과한 여액을 디페닐카르바지드 발색법으로 분광광도계(UV-Vis spectrophotometer Cary 3)를 이용하여 분석하였다.
- 수은
 - 생시료 적당량을 수은분석기(Mercury Atomizer MA-1)로 분석하였다.
- 수소이온농도
 - 전처리 시료 5g을 달아 50mL 비이커에 취하고 증류수 25mL를 넣어 때때로 유리막대로 저어주면서 1시간 방치 후 pH미터기(pH meter Orion SA720)로 측정하였다.
- 강열감량 및 유기물함량
 - 전처리시료 적당량을 폐기물오염공정시험방법(환경부 고시 제2004-185호)에 따라 미리 무게를 잰 사기제 도가니 또는 접시에 시료 적당량(20g 이상)을 취한 후 25% 질산암모늄용액을 넣어 적시고 천천히 가열하여 탄화시킨 다음 600±25℃의 전기로 안에서 3시간 강열 후 측정하였다.

3. 조사결과

표 1. 2005년 하상퇴적물 오염도 현황

(단위 : mg/kg)

하천명	지점명	pH	Cu	Cd	Pb	Zn	Mn	Hg	Cr ⁺⁶	강열감량(%)
동천	범4호교	7.7	9.056	0.358	4.49	108.437	83.092	0.0248	0.00	7.9
	동천교	8.4	0.248	0.105	2.06	24.275	82.925	0.0303	0.00	11.4
수영천	조양교	7.4	17.790	0.314	16.32	298.622	153.392	0.0731	0.00	3.4
	연안교	6.9	10.677	0.131	7.38	67.568	44.311	0.0213	0.00	1.9
	민락교	8.1	2.248	0.167	1.46	54.266	28.049	0.0869	0.00	10.7
삼락천	감전배수장	7.7	0.432	0.087	1.22	218.893	99.837	0.0878	0.00	10.2
학장천	엄궁교	7.0	9.376	0.175	10.19	176.163	64.451	0.0289	0.00	4.0
감전천	부산콘크리트 옆다리	7.4	6.771	0.360	6.93	801.250	89.200	0.1235	0.00	19.5
	엄궁교	7.0	2.211	0.213	2.51	1452.457	53.904	0.1845	0.00	17.2
장림천	장림교	7.5	15.296	0.881	35.10	899.750	202.630	0.0707	0.00	12.6
덕천천	덕천교	7.4	4.749	0.267	5.11	98.534	111.337	0.0651	0.00	6.9
대천천	화명교	7.5	1.496	0.098	4.17	13.575	69.131	0.0056	0.00	2.4
낙동강	물금	7.3	2.014	0.043	3.09	11.561	91.425	0.0049	0.00	2.2
	매리	8.2	2.851	0.032	3.60	10.834	81.508	0.0045	0.00	2.1
	구포선착장	7.6	2.823	0.252	12.15	24.100	102.200	0.0075	0.00	1.1
서낙동강	녹산 콘크리트 옆	8.8	0.909	0.076	3.73	8.305	56.584	0.0089	0.00	3.5
	강동교	8.6	2.120	0.076	4.30	19.313	84.569	0.0044	0.00	2.9
	조만교	7.7	4.241	0.044	8.35	23.482	118.297	0.0088	0.00	2.3
좌광천	(주)세양 옆 다리	7.4	4.608	0.086	6.12	72.329	144.525	0.0061	0.00	2.2
회동댐 상류	신천교	7.0	2.896	0.119	4.57	14.122	80.930	0.0023	0.00	1.3

○ 지점별 중금속 오염도 추이

▷ 동천

동천은 하천연장 4.9Km, 유역면적 31.1Km²로 그 중 2.8Km 구간이 복개되어 있는 도심의 주거 상가지역을 흐르고 있는 하천이며 동천의 조사지점으로는 중류지점인 범4호교, 하류지점인 범일교(동천교) 2개 지점을 조사하였다. 동천은 동천살리기 운동의 일환으로 광무교에서부터 전포천 입구까지 2004.12.03.~2005.5.31. 까지 준설이 완료 되었고, 현재 범4호교에서부터 하구교 구간을 2005.05.12.~2006.04.11. 준설 중에 있으며 2005년 12월부로 동천하류 공유수면구간 준설을 완료하였다.

▷ 범4호교

범4호교 지점은 상류에서 전포천과 합류되는 지점이 있어 생활하수 유입과 하천주변 퇴적물로부터 오염부하가 많이 발생한다.

표 2. 범4호교 연도별 중금속 농도 및 강열감량

(단위 : mg/kg)

항 목	Cu	Cd	Pb	Zn	Mn	Hg	Cr ⁺⁶	강열감량(%)
'05 평균	9.056	0.358	4.49	108.437	83.092	0.0248	0.00	7.9
'04 평균	6.040	0.179	5.46	75.751	76.475	0.0118	0.00	7.4
'03 평균	5.093	0.109	6.04	83.000	75.478	0.0186	0.00	6.7
'02 평균	5.094	0.086	7.36	73.923	53.464	0.0161	0.00	1.8
'01 평균	20.638	0.328	20.84	121.095	92.376	0.0281	0.00	2.5
'00 평균	22.150	0.348	13.85	108.669	126.124	0.0288	0.00	3.0
'99 평균	11.830	0.193	10.49	102.053	89.885	0.0038	0.00	3.1
'98 평균	8.764	0.269	8.42	87.859	125.469	0.0040	-	-
'97 평균	14.234	2.350	12.59	45.847	87.605	0.0610	-	-
'96 평균	82.707	3.459	47.04	202.319	218.200	0.1030	-	-

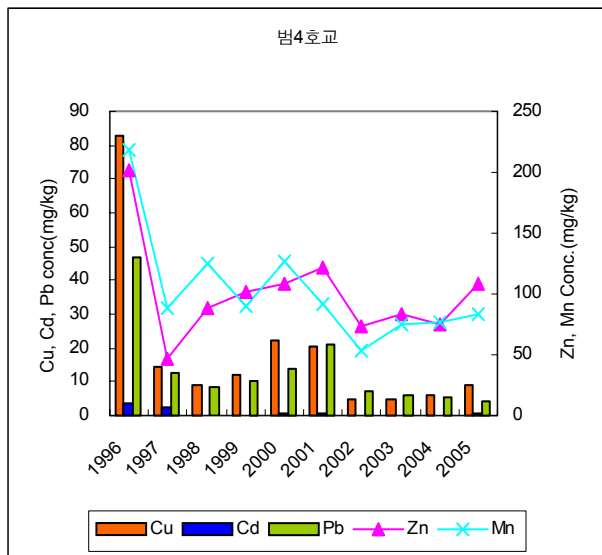


그림 1. 범4호교 연도별 중금속 오염도.

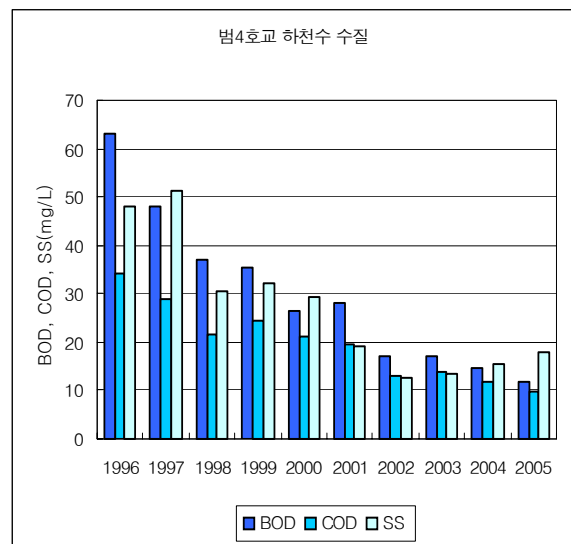


그림 2. 범4호교 연도별 하천수 수질오염도 변화.

(표 2)는 범4호교 지점의 중금속 오염도를 연도별(1996~2005)로 비교 조사한 결과 구리가 1996년 82.707 mg/kg에서 2005년 9.056 mg/kg, 카드뮴이 3.459 mg/kg에서 2005년 0.358 mg/kg, 납이 1996년 47.04 mg/kg에서 2005년 4.49 mg/kg, 아연이 202.319 mg/kg에서 108.437 mg/kg, 망간이 218.200 mg/kg에서 83.092 mg/kg으로 전체적으로 중금속 오염도가 감소한 것으로 나타났다. 범4호교 하천 수질의 경우 중금속은 1996년부터 2005년까지 검출되지 않았으며, BOD, COD, SS의 경우 1996년 부터 현재까지 꾸준히 감소하여 하천의 오염도가 개선되고 있는 상태이다. (표 3)은 범4호교 저질중 중금속 오염도와 대표적으로 하천수 COD의 상관관계를 나타낸 것인데, COD:Zn을 제외하고는 비교적 높은 상관관계를 나타냈다. 이는 지질학적 원인 및 하상퇴적물에 함유된 중금속의 존재형태 등에 따라 나타난 것으로 추정되며, 정확한 원인 규명을 위해서는 각 지점에서의 입도별, 심도별 분석이 요구된다.

표 3. 연도별 수질 COD와 저질 중 중금속 함량과의 상관관계

항 목	저질 Cu	저질 Cd	저질 Pb	저질 Zn	저질 Mn	저질 Hg
수질 COD	0.720	0.802	0.758	0.451	0.740	0.699

▷ 동천교

동천교는 하상이 콘크리트 구조로 되어 있어 준설 공사 중에는 저질의 채취가 불가하여 하상의 상태 및 강수량, 준설 상태에 따라 간헐적으로 퇴적물을 채취 할 수 있었다.

동천교는 상류의 범4호교 지점보다 중금속 오염도가 전체적으로 다소 높았으며, (그림 3)에서 연도별로 중금속 오염도의 추이를 살펴본 결과 대표적으로 구리의 오염도가 1998년 0.336 mg/kg, 2005년 0.248 mg/kg으로 급격히 낮은 수치를 보이고 있다. 구리 이외의 다른 중금속 오염도 역시 이와 같은 경향을 보이고 있는데 이는 1998년과 2004~2005년 준설의 결과로 사료된다. 강열감량은 1999 11.2%에서 2001년 2.8%로 감소하는 경향을 보였으나, 2002년 5.8%에서 2005년 11.4%로 다시 증가하고 있다.

표 4. 동천교 연도별 중금속 오염도 및 강열감량

(단위 : mg/kg)

항 목	Cu	Cd	Pb	Zn	Mn	Hg	Cr ⁺⁶	강열감량(%)
'05 평균	0.248	0.105	2.06	24.275	82.925	0.0303	0.00	11.4
'04 평균	-	-	-	-	-	-	-	-
'03 평균	10.985	0.493	8.85	150.000	93.788	0.0186	0.00	8.3
'02 평균	9.579	0.428	7.63	145.808	81.399	0.0194	0.00	5.8
'01 평균	16.824	0.347	15.04	79.950	54.787	0.0132	0.00	2.8
'00 평균	18.441	0.393	14.81	77.413	109.045	0.0080	0.00	7.5
'99 평균	13.941	0.453	9.75	148.539	110.674	0.0080	0.00	11.2
'98 평균	0.336	0.135	0.43	15.617	26.352	0.0140	-	-
'97 평균	25.674	1.575	11.11	112.348	115.808	0.1420	-	-
'96 평균	11.120	2.107	19.33	142.410	166.160	0.1600	-	-

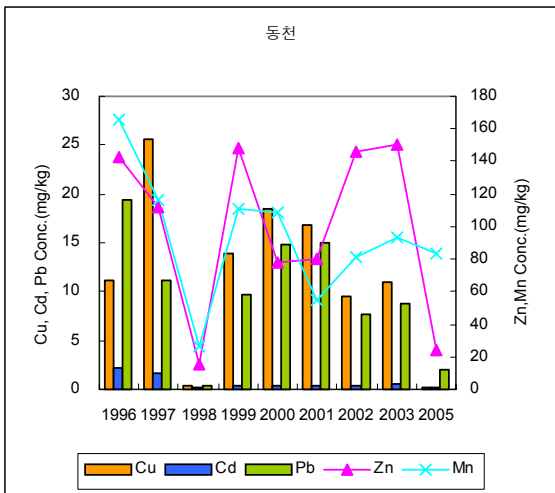


그림 3. 동천교 연도별 중금속 오염도.

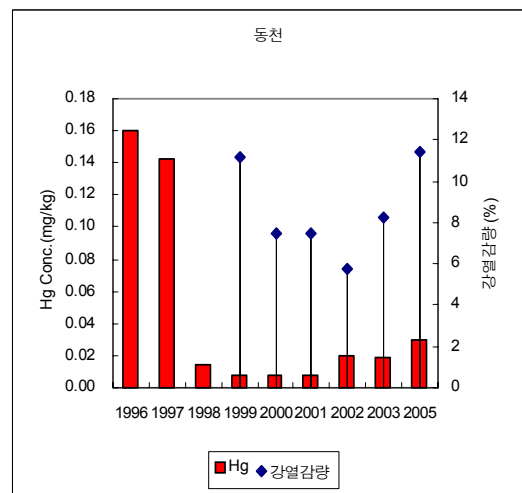


그림 4. 동천교 연도별 수은 오염도 및 강열감량.

▷ 수영천

- 조양교

수영천의 하천연장은 19.2 Km이며, 유역면적은 199.9 Km²로 조양교는 수영천의 상류지점이다.

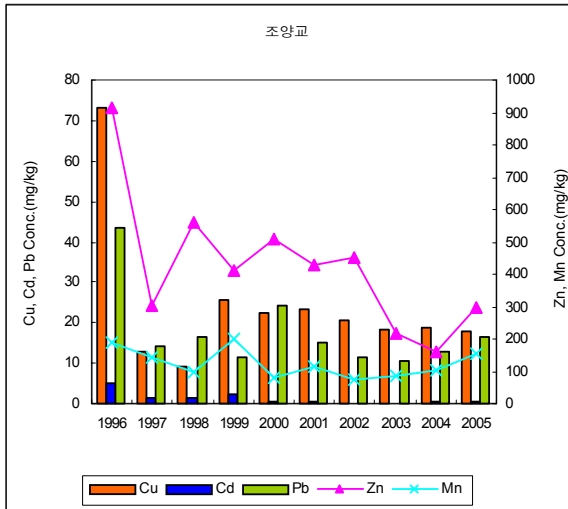


그림 5. 조양교 연도별 중금속 오염도.

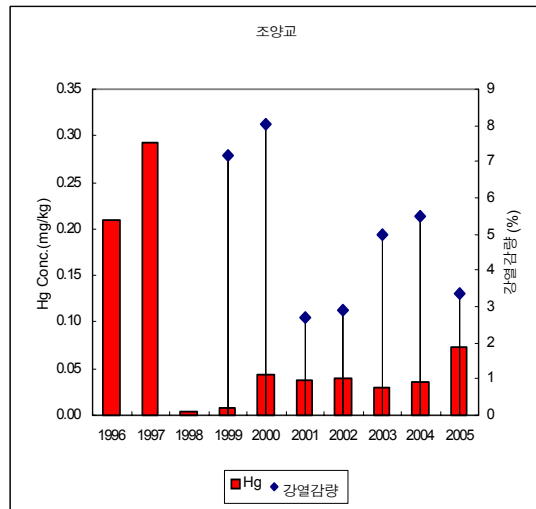


그림 6. 조양교 연도별 수은 오염도 및 강열감량.

조양교의 중금속 농도 변화를 (그림 5)에서 보면 1996년 구리의 중금속 오염도가 72.956 mg/kg에서 2005년 17.790 mg/kg, 카드뮴이 4.858 mg/kg에서 0.314 mg/kg, 납이 43.41 mg/kg에서 16.32 mg/kg, 아연이 912.379 mg/kg에서 298.622 mg/kg, 망간이 189.213 mg/kg에서 153.392 mg/kg, 수은이 0.2100 mg/kg에서 0.0731 mg/kg으로 현재까지 하상퇴적물의 중금속 오염도가 전반적으로 개선된 것으로 보여진다.

조양교는 2005년 하상퇴적물 20개 지점 중 Cu의 중금속 오염도가 17.790 mg/kg으로 최고치를 나타냈다. 구리는 자연계에서 널리 분포되어 있으며, 토양 중에는 2~100 mg/kg이 존재한다. 조양교의 경우 자연토 중 구리의 평균치 20 mg/kg과 유사한 수준이며, 일본 하천저질에서의 평균농도 27.7 mg/kg보다는 낮다. 또한 황선출등(1998)이 조사한 수영천 저질에서의 구리농도 77.50 mg/kg보다 낮은 농도를 보이고 있어 우려할 만한 수준은 아니라고 사료된다.

- 연안교

연안교는 수영강의 총 유역면적 가운데 27.7%를 차지하는 온천천에 위치한 지점으로 온천천은 여러 지류들과 합류하여 수영강으로 흘러든다. 우리 시는 온천천에 대한 관심과 개선 방안을 강구하여, '95년 「온천천 SOS」 운동시작을 시작으로, '96년 국제하천어메니티 한마당 참여, '97년 온천천 살리기 추진협의회 구성 - 금정, 동래, 연제구와 환경단체, '98년 온천천 자연형 하천 정비계획 및 설계 실시, '99년 온천천 자연형 하천 조성사업 추진, '01년 온천천 자연형 하천 조성을 위한 온천천 마스트 플랜 실시, '05년 11월 낙동강 물금원수 통수 등 하천 생태계 복원의 근본적 해결책을 강구하는 도심하천의 특성을 감안한 자연형 하천을 조성하는 데 노력을 기울이고 있다.

표 5. 연안교 연도별 중금속 농도 및 강열감량

(단위 : mg/kg)

항 목	Cu	Cd	Pb	Zn	Mn	Hg	Cr ⁺⁶	강열감량(%)
'05 평균	10.677	0.131	7.38	67.568	44.311	0.0213	0.00	1.9
'04 평균	8.881	0.224	8.50	86.850	95.025	0.0248	0.00	5.3
'03 평균	8.922	0.195	12.66	60.818	70.994	0.0325	0.00	4.2
'02 평균	7.613	0.191	11.07	54.230	62.296	0.0391	0.00	1.9

'01 평균	16.239	0.664	14.35	116.404	137.938	0.0654	0.00	3.5
'00 평균	16.431	0.558	12.29	162.650	179.946	0.1671	0.00	6.3
'99 평균	14.500	0.387	17.21	90.584	62.318	0.0075	0.00	7.8
'98 평균	11.496	0.406	9.13	88.699	105.961	0.0000	-	-
'97 평균	27.950	1.698	14.10	161.030	100.591	0.1040	-	-
'96 평균	32.263	3.548	25.85	207.060	215.111	0.2180	-	-

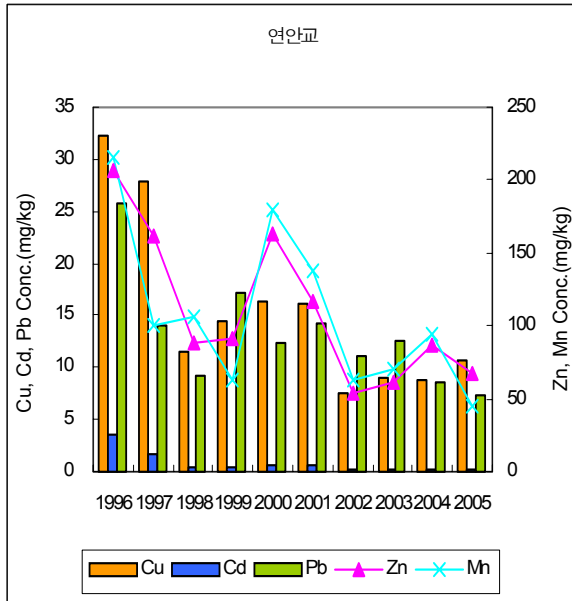


그림 7. 연안교 연도별 중금속 오염도.

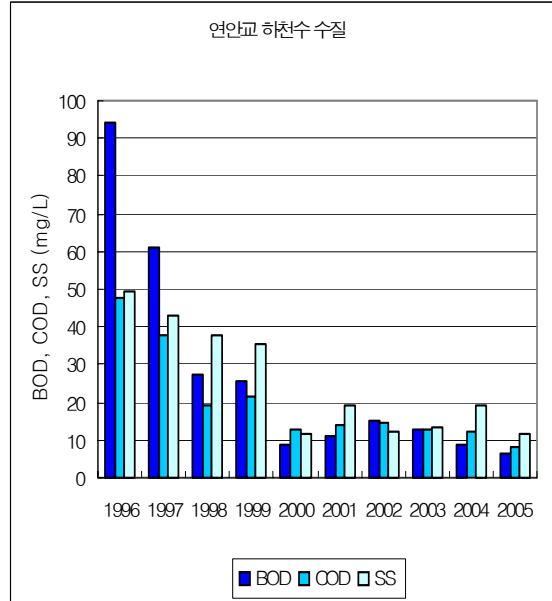


그림 8. 연안교 연도별 하천수 수질 오염도 변화.

온천천 정비사업 및 '97년 이후 일선 구청의 소하천 정비사업 및 하수관로의 확충등의 복합적인 영향으로 연안교는 (그림 7)과 같이 '96년 이후 중금속 오염도가 지속적으로 감소추세를 보이고 있다. 이와 같은 경향은 (그림 8) 연안교 하천수의 수질에서도 나타나고 있다.

저질 중 구리의 경우 1996년 32.263 mg/kg에서 2005년 10.677 mg/kg으로 10년 동안 대략 1/3의 농도로 감소하는 추세이고, 카드뮴의 경우 1996년 3.548 mg/kg에서 2005년 0.131 mg/kg으로 약 1/30의 농도로, 가장 큰 감소 추세를 보였다. 1996년 납은 25.85 mg/kg에서 2005년 7.38 mg/kg으로 약 1/3의 농도로, 아연은 1996년 207.060 mg/kg에서 2005년 67.568 mg/kg으로 약 1/3의 농도로, 망간은 1996년 215.111 mg/kg에서 2005년 44.311 mg/kg으로 약 1/4.8의 농도로, 수은은 1996년 0.2180 mg/kg에서 2005년 0.0213 mg/kg으로 약 1/10의 농도로 감소했다. 하천수 수질의 COD와 하상퇴적물의 중금속 오염도의 상관관계를 (표 6)에 나타내었는데, COD:Cu의 상관관계가 0.917로 가장 높았고, 나머지 다른 중금속 항목들도 하천수 중의 COD 농도와 비교적 높은 상관관계를 나타내었다.

표 6. 연도별 수질 COD와 저질 중 중금속 함량과의 상관관계

항목	저질 Cu	저질 Cd	저질 Pb	저질 Zn	저질 Mn	저질 Hg
수질 COD	0.795	0.917	0.770	0.725	0.696	0.590

- 민락교

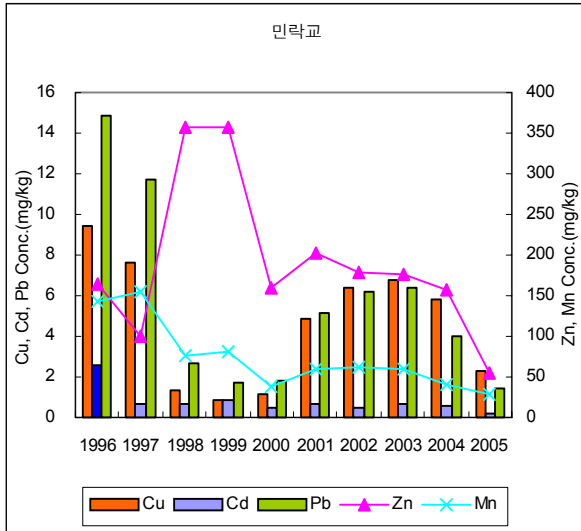


그림 9. 민락교 중금속 오염도.

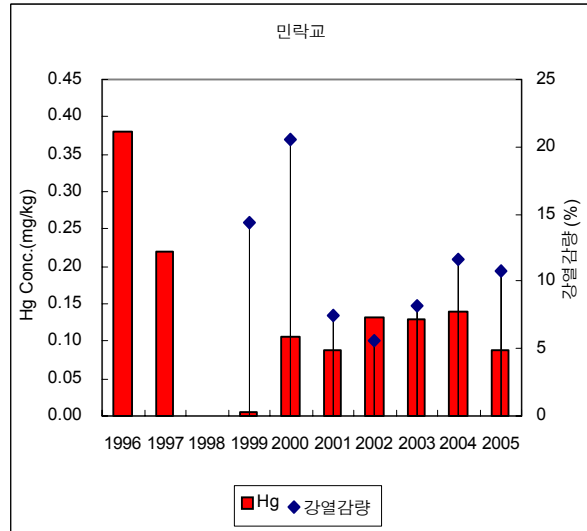


그림 10. 민락교 수은 오염도 및 강열감량.

수영천의 하류지점인 민락교의 중금속 오염도 분포는 (그림 9)에 나타난 것과 같이 1996년 이후 1999년까지 크게 개선되는 추세를 보이고 있으나, 1999년 이후 부터 2003년까지 다시 증가하는 하는 등 10년 간 증감을 되풀이하고 있다. (그림 10)에 나타난 민락교의 강열감량은 2000년 20.6%로 최고치를 나타냈으며, 2005년 현재 10.7%로 2000년 보다는 감소 된 상태이나 공업 지역을 제외한 다른 지점에 비해 유기물이 많이 퇴적된 상태라 할 수 있다.

▷ 삼락천

- 감전배수장

삼락천의 삼락수로는 북구 삼락동부터 감전유수지까지 약 4.4 Km의 구간의 인공적 수로로, 현재 장림하수처리장까지 차집하수관거가 설치되어 오수는 거의 유입되지 않으며, 우수 이외에 유입수가 거의 없어 갈수기에 건천화가 심각한 실정이다

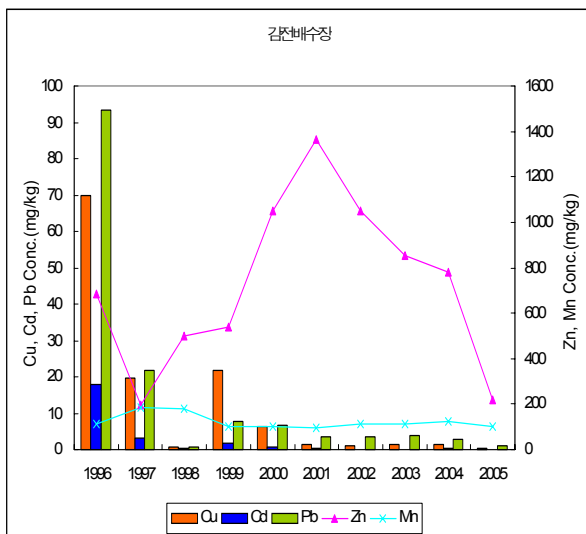


그림 11. 감전배수장 중금속 오염도.

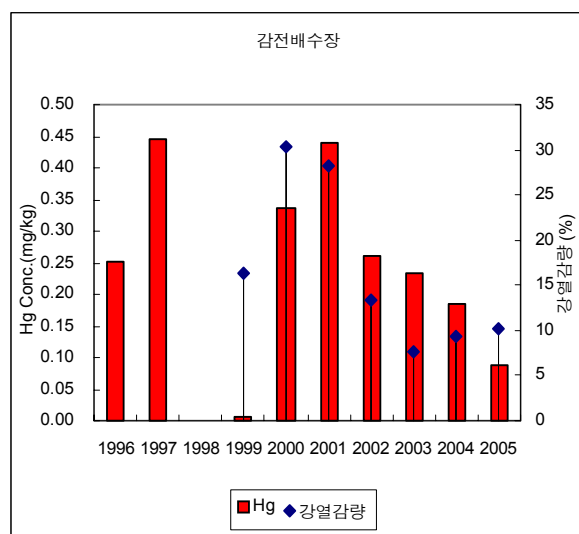


그림 12. 감전배수장 수은 오염도 및 강열감량.

감전배수장 지점이 위치한 삼락수로는 차집하수관거 공사가 완료된 이후 예전보다 매우 양호한 수질을 나타내고 있는데 이는 하상퇴적물의 오염도에 긍정적인 영향을 주는 것으로 사료된다.

'97년 이후 하수처리장 관로 확충과 공공사업 일환으로 실시한 소하천 준설 등으로 구리, 카드뮴, 납의 오염도가 지속적으로 감소하였으나, 아연의 경우 2001년 1366.575 mg/kg으로 최고치를 보인 후 감소추세로 돌아섰고, 삼락천의 삼락수로 하천준설공사(2004.6.10 ~ 2004.11.16) 후 2005년도 구리와 납의 평균 농도가 각각 0.432 mg/kg, 1.22 mg/kg으로 하상퇴적물 20개 지점 중 최소치를 나타냈으며, 그 밖에 카드뮴 0.087 mg/kg, 아연 218.893 mg/kg, 망간 99.837 mg/kg, 수은 0.0878 mg/kg으로 중금속 전 항목 오염농도가 현저하게 감소하여 준설을 통한 하천 환경 개선 효과를 보고 있다. 강열감량의 경우 2000년 30.3%에서 2003년 7.5%, 2004년 9.3%, 2005년 10.2%로 다소 감소 추세를 보이고 있다.

▷ 학장천

학장천은 북구 주례동을 기점으로 하천 연장 5.35 Km, 평균폭 30 m, 면적 19.4 Km²로 사상구 엄궁동 낙동강 합류지점까지 흐르며, 약 1.0 Km의 구간은 복개되어 있다. 하천 주변은 대부분 주거 및 상업시설이며 공업시설이 있고 생활하수가 주 오염원이며, 이는 엄궁유수지에서 차집되어 장림하수처리장으로 이송된다. 학장천의 중류지점인 구덕터널 입구에서부터 구덕산과 엄광산 계곡수가 유입되어 수질을 개선시키는 역할을 하고 있는데 이는 하상퇴적물에도 긍정적인 영향을 미칠 것으로 사료된다.

- 엄궁교(학)

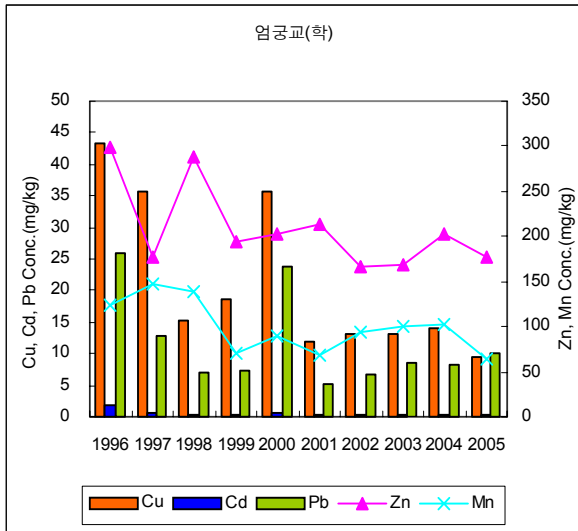


그림 13. 엄궁교 학장천 중금속 오염도.

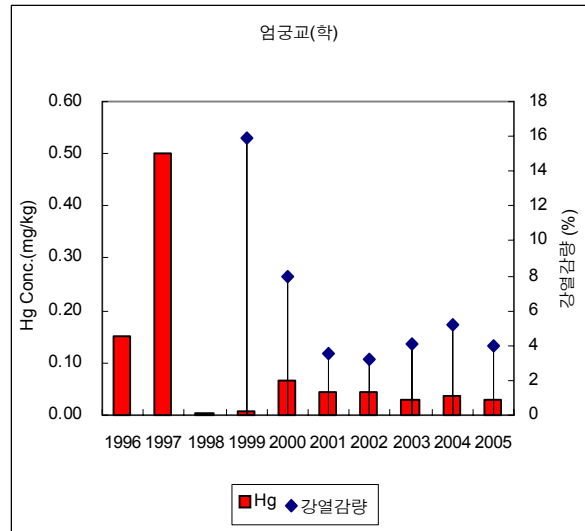


그림 14. 엄궁교 학장천 수은 오염도 및 강열감량.

학장천 엄궁교 지점의 경우 역시 대부분의 다른 지점들과 마찬가지로 1996년 이후 중금속의 오염도가 감소하고 있는 추세이다. 대표적으로 카드뮴이 1996년 1.753 mg/kg에서 2005년 0.175 mg/kg으로 꾸준히 감소하는 경향을 보이고 있으며, 강열감량은 1999년 15.9%에서 2002년 3.2%까지 감소했으며, 2003년 4.1%, 2004년 5.0%, 2005년 4.0%의 변화를 보이고 있다.

학장천 엄궁교지점은 사상구 공업지역 내에 위치하고 있으나, 공업지역에 위치한 타 지점과 2005년 하상퇴적물의 중금속 오염도를 비교해 보았을 때 중금속 오염도가 양호한 편인데, 다른 공업지역에 위치한 지점과는 달리 학장천의 주 오염원이 공장폐수가 아닌 생활하수인 때문으로 판단된다.

▷ 감전천

감전천의 감전수로는 감전유수지앞 ‘해표사료’ 앞에서부터 엄궁유수지까지 약 2.5Km 구간의 수로로서, 하수관거 정비가 거의 완료된 삼락수로와 달리 오·우수 합류 하수로의 역할을 해 오고 있으며, 지역 여건상 산업폐수가 주를 이룬다. 감전천은 사상공단 일대의 소규모 금속·정비·세차 시설 등에서 배출되는 하수를 엄궁유수지까지 운반하는 하수로이고, 자연수의 유입은 우수 외에는 없으며, 유입되는 하수의 특성상 오염물의 농도가 매우 높다.

- 부산콘크리트열 다리

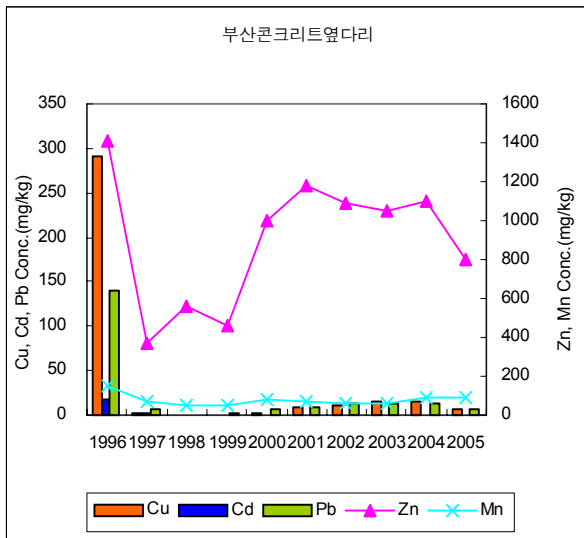


그림 15. 부산콘크리트열다리 중금속 오염도.

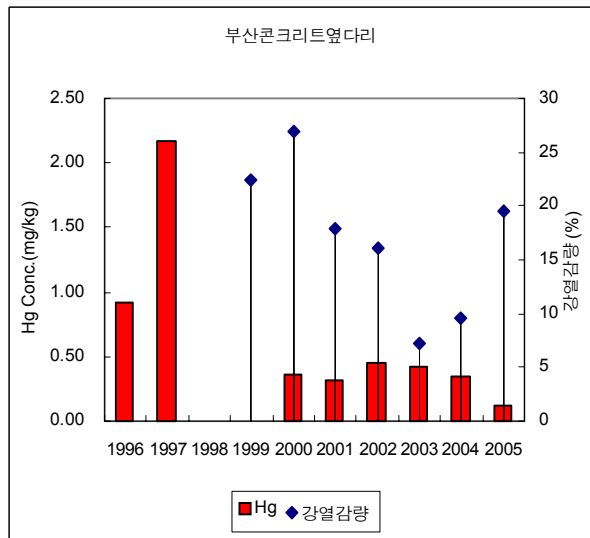


그림 16. 부산콘크리트열 다리 수은 오염도 및 강열감량.

부산콘크리트열 다리 지점의 하상퇴적물은 2005년 전분기 채취 시 마다 기름 냄새가 났고, 악취가 심한 상태였다. 이 지점의 1996년부터 2005년 까지 10년간의 중금속 오염도 추이를 (그림 15)에서 살펴보면 1996년도에 구리, 카드뮴, 납, 아연, 망간이 최고치를 나타냈으며 수은이 0.9220 mg/kg으로 다소 높은 수치를 나타냈다.

아연의 경우 2005년 평균 농도가 801.250 mg/kg으로 토양오염우려기준 (나지역 : 800 mg/kg)과 비교하였을 때 초과한 것으로 나타나 아연의 오염이 심각한 수준으로 나타났다. '97년 이 후 소하천 정비와 하수관로시설 확충 등으로 1998년까지 중금속 농도가 큰 폭으로 감소하는 등 긍정적인 추세를 보이는 듯 했으나, 2000년 중금속 오염도가 증가 후 2001년부터 증감을 되풀이 하고 있다.

이 지점의 강열감량은 2005년도 평균 농도 최고치 19.5%를 나타내고 있는데, 부산콘크리트열다리 지점의 하상 퇴적물은 산업 폐수에 의한 심각한 중금속 오염과 더불어 유기물 오염등으로 슬러지화 된 상태라고 볼 수 있다.

본 조사에서 강열감량은 일본위생시험법주해에 의한 강열감량의 개념으로 실제로 유기물 함량을 의미한다. 저질에 함유되어 있는 유기물은 자연계의 경우 일정한 조성을 나타내고 있는데 인공적인 오염에 기인하는 것 없이 자연계에 존재하는 저질의 경우에는 입자조성과 강열감량과는 일정한 상관관계를 보이며, 그 관계가 성립하지 않고 강열감량이 많은 경우에는 각종 배수에 기인한 유기물이 퇴적되어 있는 것으로 판단할 수 있다.

- 업공교

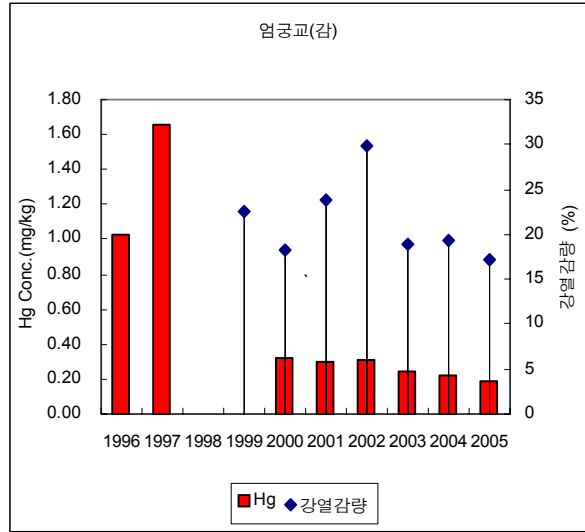
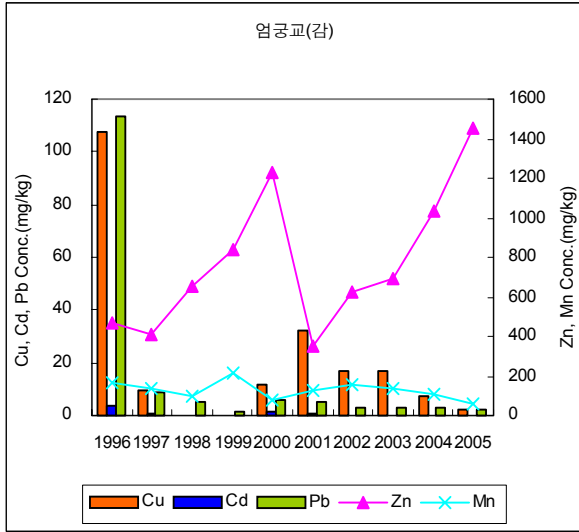


그림 17. 업공교 감전천 중금속 오염도.

그림 18. 업공교 감전천 수은 오염도 및 강열감량.

감전천 업공교 지점은 부산콘크리트 지점과 마찬가지로 2005년 전분기 채취 시 마다 악취가 가장 심했고 저질이 슬러지화 된 상태였다. 업공교 지점의 1996년부터 2005년까지 10년 동안의 중금속 오염도 추이를 (그림 17)에서 살펴보면 1996년 구리 107.333 mg/kg, 카드뮴 3.601 mg/kg, 납이 113.53 mg/kg의 농도로 최고치를 기록했고, (그림 18)상에서 수은이 1.0290 mg/kg으로 높은 농도를 나타냈다. '97년도 말부터 시행된 소하천 정비계획 및 하수관로 시설의 확충으로 1998년까지 구리, 카드뮴, 납, 수은의 오염도가 급격히 감소했고, 1999년까지 전년도의 중금속 오염도 수준을 나타냈다. 그 후 2000년부터 2001년까지 구리, 카드뮴, 납, 망간, 수은의 오염도가 큰 폭으로 증가한 후 2005년 현재까지 다시 감소 추세로 돌아서고 있다. 그러나 아연의 오염도는 예외적으로 1996년 464.069 mg/kg에서 2000년 1225.200 mg/kg으로 가파르게 증가한 후 2001년 349.506 mg/kg으로 감소, 2005년 1452.457 mg/kg으로 다시 급격하게 증가하고 있으며, 2005년 평균 농도를 토양오염유리기준(나지역 : 800 mg/kg)과 비교하였을 때 오염도를 초과한 것으로 나타나 아연 오염이 심각한 수준으로 나타났다. 아연은 도금, 도료, 도장, 염색공정, 전자공업 등에서 배출되는데, 감전천 인근의 중·소 공장에 의한 폐수 방류 혹은 무단 배출에 의한 오염이 주된 이유라고 사료되는 바 주변 산업체에 대한 지속적인 지도 단속이 요망된다.

아연은 인체의 필수 원소로 조직 내 축적되지는 않으며 여러 효소계에 작용하여 생리적 평형조절이 필요하다. 독성은 매우 낮으며 가용성 아민염류를 일시에 다량 섭취하게 되면 구토, 설사, 장통의 급성중독을 일으키나 장으로부터 흡수되는 경우는 극히 적기 때문에 건강장해는 특수한 경우를 제외하고는 문제되지 않는다고 한다.

▷ 장림천

장림천은 장림2동 성화원에서부터 장림교까지 약 1.6 Km의 하천으로 장림동 일대의 생활하수 및 장림하수처리장으로 직접 유입되지 않은 소규모 사업장의 산업폐수 등이 흐르며, 장림유수지를 거쳐 장림하수처리장으로 유입된다.

- 장림교

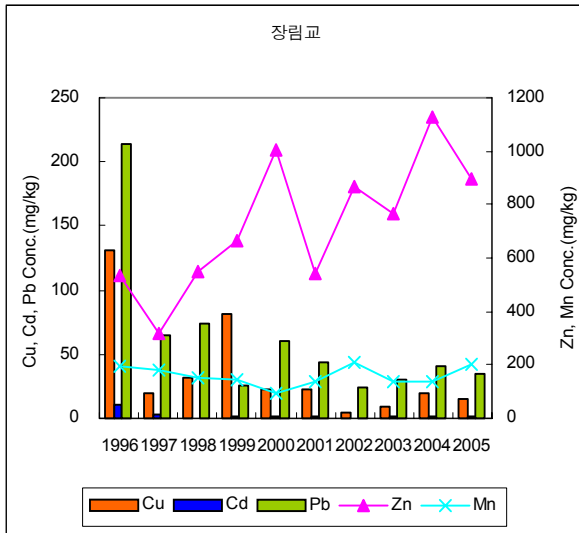


그림 19. 장림교 중금속 오염도.

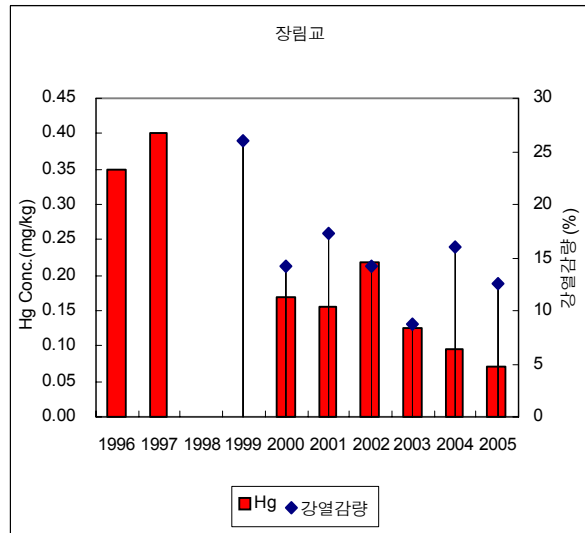


그림 20. 장림교 수은 오염도 및 강열감량.

장림교 지점의 중금속 오염도를 (그림 19), (그림 20) 상에서 살펴보면 1996부터 전체적으로 구리 130.687 mg/kg, 카드뮴 11.018 mg/kg, 납 213.35 mg/kg, 수은 0.3480 mg/kg에서 2005년 현재 구리 15.296 mg/kg, 카드뮴 0.881 mg/kg, 납 35.10 mg/kg, 수은 0.0707 mg/kg으로 전반적으로 10년 전에 비해 크게 개선된 것으로 보인다. 그러나 아연의 경우 1996년 537.108 mg/kg에서 2005년 899.750 mg/kg으로 오히려 증가하는 경향을 나타냈다. 이 지점 역시 2005년 아연 오염도가 감전천과 마찬가지로 토양오염우려기준(나지역 : Zn 800 mg/kg)과 비교하였을 때 오염도를 초과하여 아연 오염의 심각성을 보여주고 있다. 장림교 지점은 2005년 하상퇴적물 20개 지점 중 카드뮴, 납, 망간이 최고치를 나타내어 10년 전과 비교하여 크게 개선되었음에도 불구하고 중금속 오염의 정도가 심각함을 알 수 있다. 특히 납의 경우는 다른 지점과 비교하였을 때 최소 3.4배에서 최대 29배 정도 높은 오염도를 나타냈다.

우리나라 논 토양의 납 자연함유량 5.375 mg/kg, 박재홍 등(1993)이 조사한 영산강 수계의 저질에서의 평균 농도 8.353 mg/kg, 일본 하천저질에서의 평균 농도 17.0 mg/kg보다 높게 나타났다. 2005년 납의 농도 35.10 mg/kg은 김주원(1988)이 보고한 인천지역 하상퇴적물의 9.00 ~ 44.8 mg/kg과 박종석(1985)이 보고한 청주시 석남천 저질의 ND ~ 49.1 mg/kg 보다는 낮으나, 문동열 등(1987)이 조사한 전주 만경강 유역의 저질의 0.21 ~ 11.92 mg/kg 보다는 다소 높은 것으로 나타났다.

▷ 덕천천

덕천천은 북구 만덕동에서 구포까지 연장 약 3.7 Km, 폭 약 6m의 소하천으로 대부분의 구간이 복개되어 있고, 덕천동 및 구포동의 생활하수가 주 수원으로 덕천배수장으로 유입된 후 장림하수처리장까지 유입된다.

- 덕천교

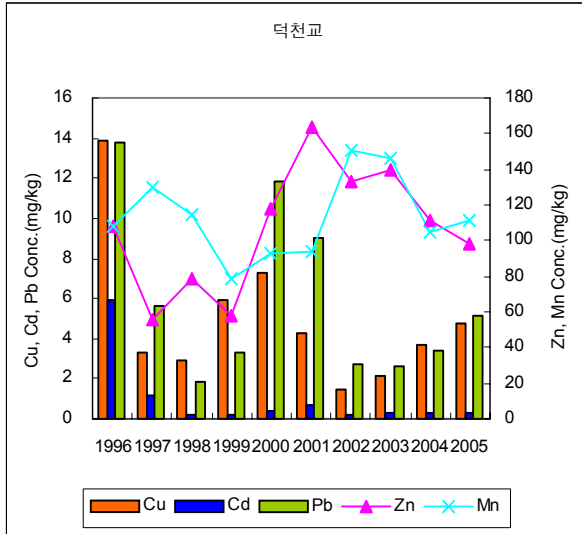


그림 21. 덕천교 중금속 오염도.

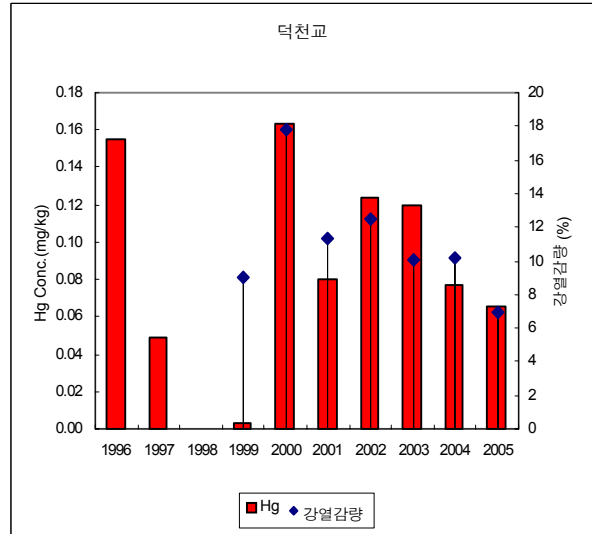


그림 22. 덕천교 수은 오염도 및 강열감량.

덕천교의 중금속 오염도는 대표적으로 구리가 1996년 13.908 mg/kg으로 가장 높게 나타났고 1998년 2.920 mg/kg으로 감소, 2000년 7.238 mg/kg으로 1996년 이후 최고 오염도를 타냈으며 2002년 1.434 mg/kg으로 감소, 이후 2005년 4.749 mg/kg으로 증가하는 경향을 나타내고 있다. 아연과 망간을 제외한 다른 중금속 역시 같은 추이를 나타내고 있다.

▷대천천

대천천은 금정산에서 발원하여 화명동 낙동강 합류지점까지 길이 5.5 Km, 유역면적 16.4 Km²를 차지하는 하천으로 자연수의 유입량이 많아 수질 상태가 양호하고, 하천의 자정력도 비교적 유지되고 있다.

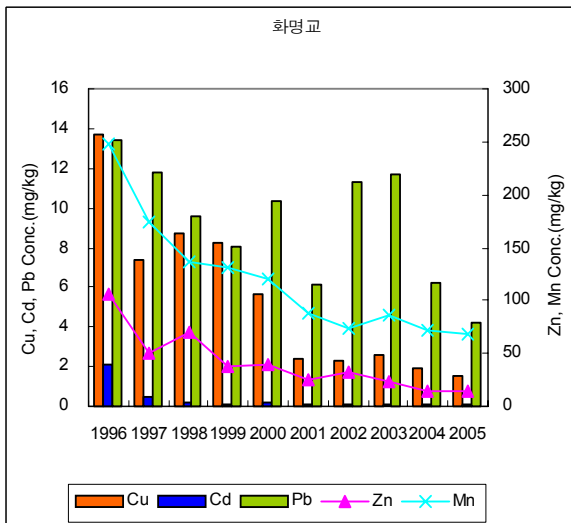


그림 23. 화명교 중금속 오염도.

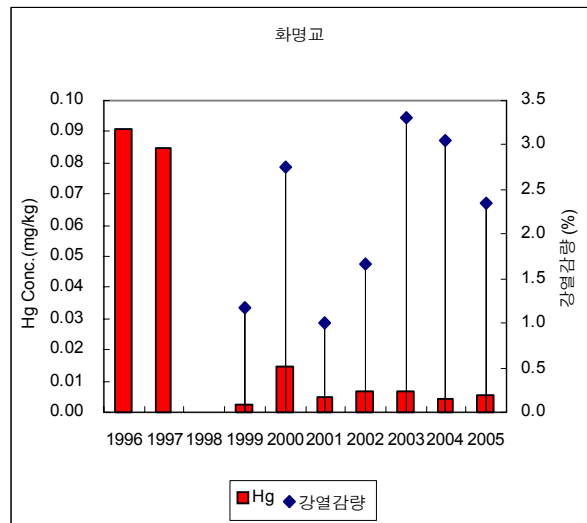


그림 24. 화명교 수은 오염도 및 강열감량.

- 화명교

화명교 지점의 저질 시료는 2005년 시료 채취당시 공업지역에 위치한 지점들의 하상퇴적

물과는 달리 유기물의 혐기성 분해에 의한 짙은 색의 저질이 아닌 자연토와 같은 황색을 띄고 있었다. 1996년 이후 구리, 카드뮴, 아연, 망간, 수은은 안정적인 감소추세를 보이고 있다.

▷ 낙동강

낙동강은 태백 함백산에서 발원하여 고생대 석회암 중의 천연교하를 흐르고 경상북도에 들어온다. 남류하던 주류가 안동 부근에서 반변천 등 여러 지류를 합하여 서쪽으로 흐르다가 문경 부근에서 다시 내성천, 영강을 합하고 남쪽으로 방향을 전환하여 이 유로에서 다시 의성 부근에서 위천, 대구 부근에서 금호강을 합하고 경상남도에서 황강, 남강을 합하여, 남강의 합류점에서부터 진해 마산 배후의 화강암 산지에 의해 차단되어 바로 바다로 들어가지 못하고 동류하다가 부산시 낙동강 하구둑에서 바다로 유입된다.

- 물금(1999년도 추가 지점)

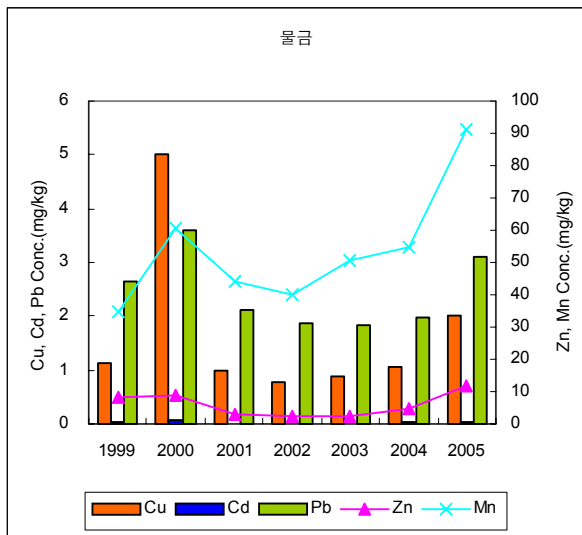


그림 25. 물금 중금속 오염도.

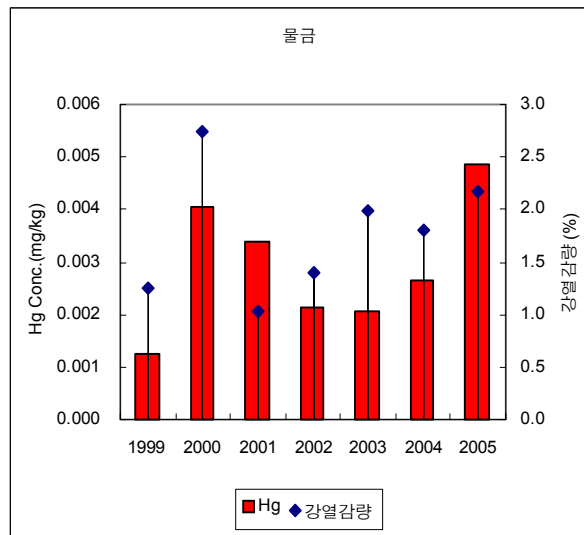


그림 26. 물금 수은 오염도 및 강열감량.

물금 지점은 부산시 북구, 동래구, 연제구, 해운대구 등에 1일 약 30만톤의 수돗물을 공급하는 부산의 주요 상수원 취수지점의 하나이다. 이 지점은 외부의 오염으로부터 차단되어 있어 하상퇴적물의 오염도는 양호한 수준을 나타내고 있다.

토양 내에서의 정상적인 구리 함량은 거의 20 ppm, 지각(crust)중의 카드뮴 농도는 평균 0.15 ppm, 납은 13 ppm(16 ppm이라는 보고도 있음), 망간은 100 ~ 4000 ppm, 수은은 평균 0.08 ppm 정도 함유되어 있다고 한다. 이런 점을 감안할 때 물금지점의 저질 내 중금속 농도는 물금지역 토양의 지역적 특성에 기인한 것이라고 볼 수 있다.

- 매리(1999년도 추가 지점)

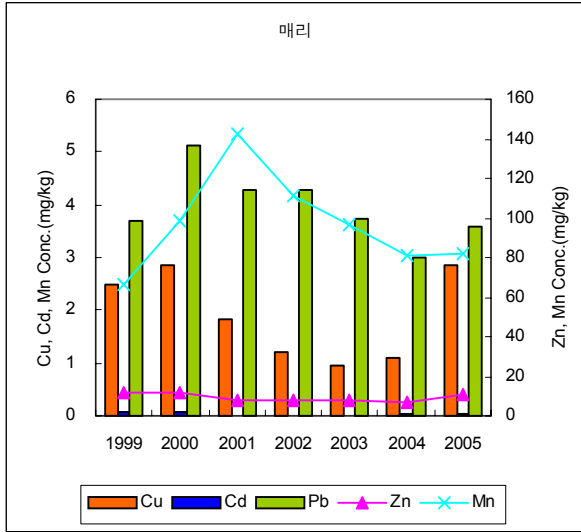


그림 27. 매리 중금속 오염도.

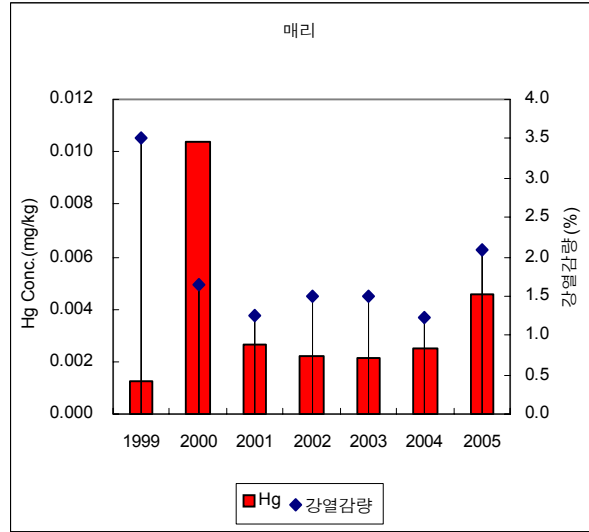


그림 28. 매리 수은 오염도 및 강열감량.

낙동강 하류 매리지점은 부산시 최대의 상수원으로서 물금 지점과 같이 외부의 오염으로부터 차단되어 있어 하상퇴적물의 오염도는 양호한 수준을 나타내고 있다. 전체적인 중금속 농도는 물금 지점과 비슷하며 연도별로 큰 차이가 없다.

- 구포선착장(1999년도 추가 지점)

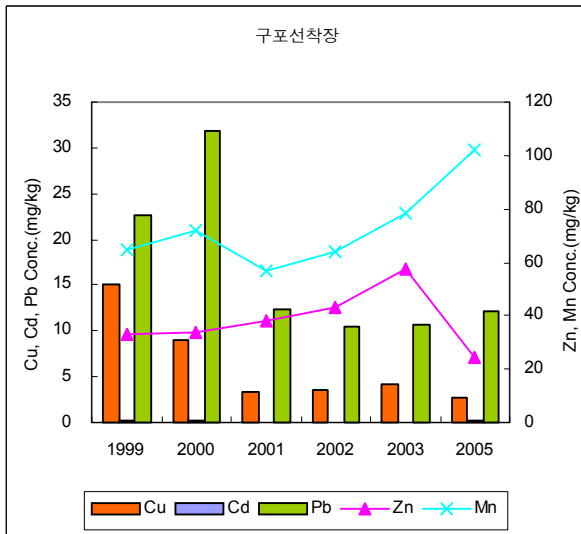


그림 29. 구포선착장 중금속 오염도.

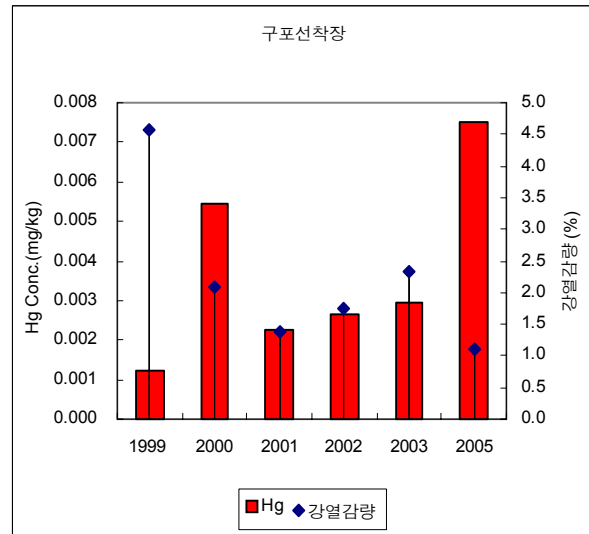


그림 30. 구포선착장 수은 오염도 및 강열감량.

낙동강의 하류 지점인 구포선착장 지점은 물금과 매리 지점보다 전체적으로 중금속 오염도가 높다. 이는 생활하수 및 오수들이 함유된 지천들이 구포선착장 지점에서 낙동강으로 합류되는 때문으로 사료 된다. 구포선착장 지점은 2004년 지하철 구포역사 공사로 시료채취 지점에 접근하지 못해 시료 채취가 불가하였고, 2005년 현재 강변도로 공사로 채취지점에 접근 불가인 상태이다.

따라서 2005년 시료 채취 시 구포선착장 맞은편 지점을 임시 채취 지점으로 선정하고 중금속 오염도를 조사하였는데 중금속 오염도는 (그림 30)에 보이는 수은을 제외하고 전 채취 지점과 크게 차이가 나지 않았다.

▷ 서낙동강

서낙동강은 낙동강 서쪽으로 흐르는 강으로, 낙동강 권역의 서낙동강 수계에 속하며, 유로연장 26.4 Km·하천연장 18.55 Km·유역면적 285.08 Km²이다. 강서구 대저동 대저수문부터 명지동, 녹산동의 명지수문·녹산수문 경계지점까지 흐르며 이후 남해 앞바다로 흘러 나간다. 점차 강폭이 좁아지고 1935년 대저수문과 녹산수문이 설치되면서 본류가 동쪽 낙동강으로 바뀌어 흐르게 되었고, 이에 따라 서낙동강은 낙동강 하류의 지류가 되었다. 인근에 관개용수와 농업용수를 공급하는 역할을 하지만, 물의 흐름이 여러 수문에 가로막혀 본류와 차단됨으로써 고여 있는 호수 상태를 이루고 있다. 또한 가정과 공장, 식당 등의 각종 오·폐수가 여러 지천을 통해 유입되면서 수질이 나빠진 상태이다.

- 녹산콘크리트(1999년도 추가 지점)

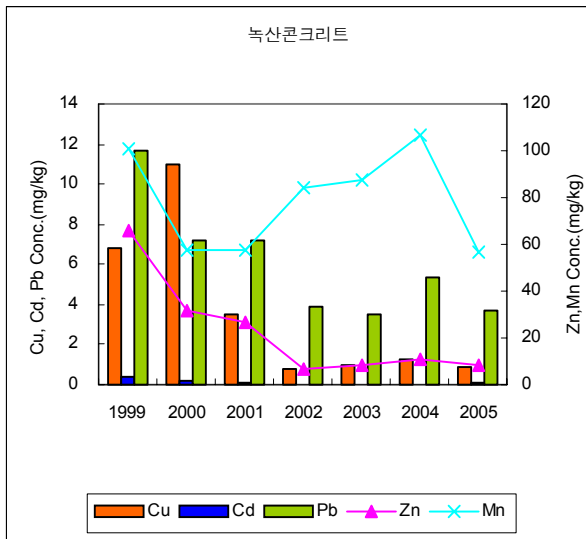


그림 31. 녹산콘크리트 중금속 오염도.

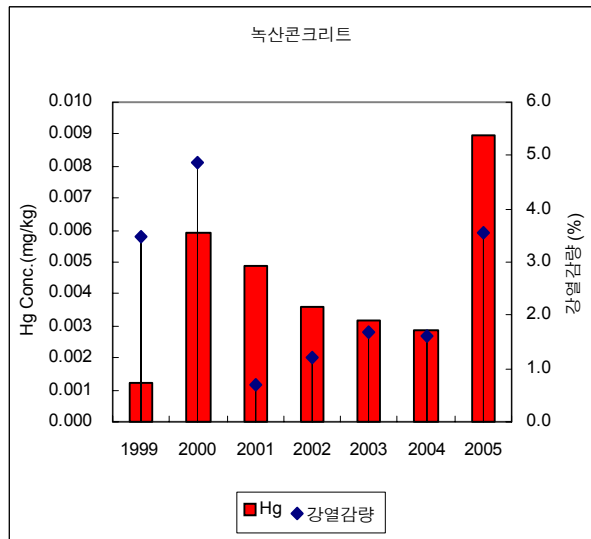


그림 32. 녹산콘크리트 수은 오염도 및 강열감량.

서낙동강의 중하류 지점인 녹산콘크리트 지점은 수은과, 망간을 제외한 중금속 농도가 전반적으로 1999년 부터 2004년까지 감소하였다. 수은의 경우 2005년 0.0089 mg/kg으로 연도별 평균 중 가장 높은 수치를 보였는데, 우리나라 논토양에서의 자연함유량을 조사한 결과가 평균 0.09 ppm임을 감안할 때 그 농도는 높지 않은 것으로 나타났다.

- 강동교(1999년도 추가지점)

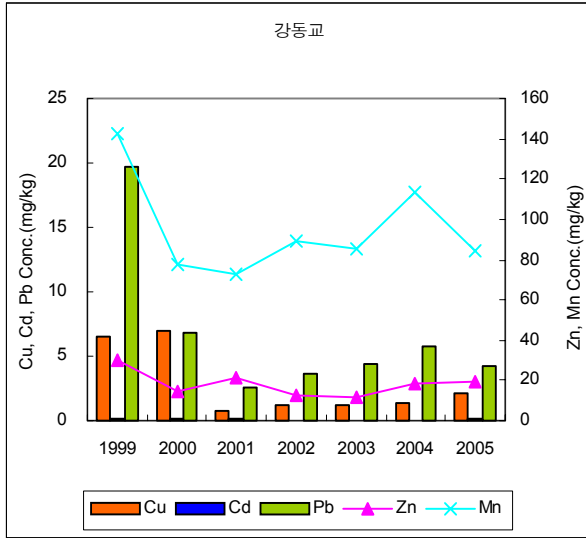


그림 33. 강동교 중금속 오염도.

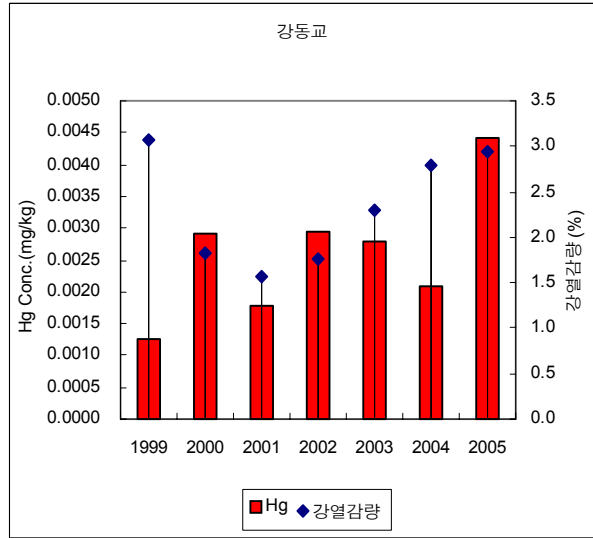


그림 34. 강동교 수은 오염도 및 강열감량.

(그림 33)은 수은을 제외한 강동교 지점의 연도별 중금속 오염도를 나타낸 것으로 1999년부터 2001년 까지 오염도가 감소하는 경향을 보였고, 2001년부터 2005년 까지 오염도가 증가하는 경향을 나타내고 있는데, 상수원 취수지역인 낙동강, 상수원 보호구역인 회동댐 상류, 비교적 청정한 지역에 위치한 좌광천 지점을 제외한 다른 지점과 비교해 보았을 때 중금속 오염도는 양호한 편이다. 강열감량은 1.6%~3.1%로 비교적 일정한 수치를 보이고 있다.

- 조만교(1999년도 추가지점)

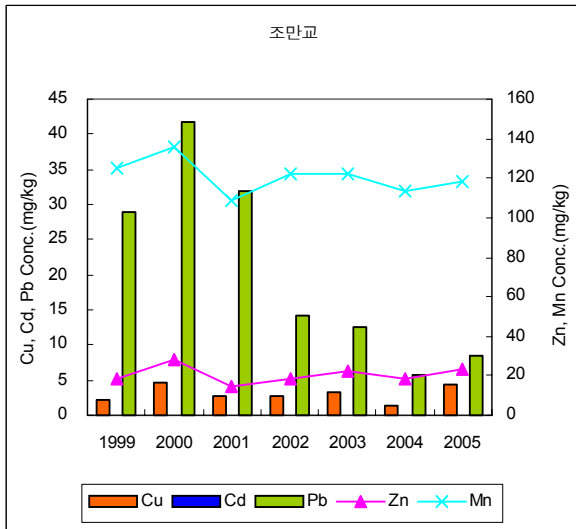


그림 35. 조만교 중금속 오염도.

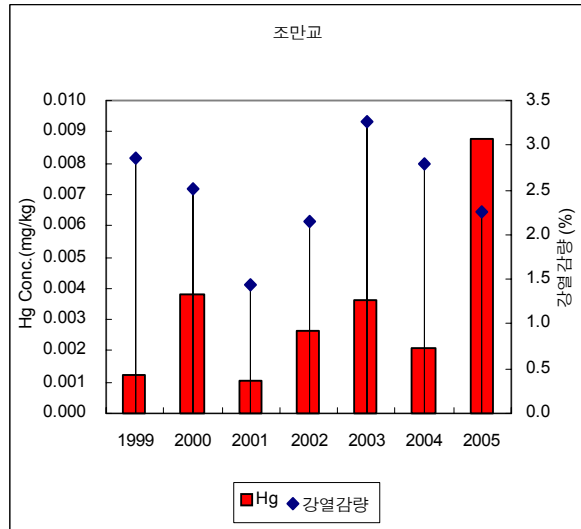


그림 36. 조만교 수은 오염도 및 강열감량.

서낙동강 조만교 지점의 연도별 하상퇴적물의 중금속오염도 분포는 (그림 35)에 나타난 것과 같이 납이 2000년 41.65 mg/kg에서 2005년 8.35 mg/kg으로 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 아연, 구리, 납, 망간은 거의 일정한 농도를 보이고 있다. 과거에 비해 2005년 수은의 농도가 0.0088 mg/kg으로 크게 증가하였으나, 우리나라 농토양에서의 자연함유량이 0.09 ppm임을 감안할 때 우려할 만한 수준은 아니라고 사료된다. (그림 36)에 나타난 조만교 지점의 강열감량은 1.4%~3.3%로 일정한 수치를 보이고 있다.

▷ 좌광천

좌광천은 기장군 병산리에서 시작하여 하천연장은 14.5Km, 유역면적은 45.2Km²에 이르는 하천으로 정관면의 중앙을 동류하다가 동해로 흘러든다.

- (주)세양옆다리(1999년도 추가지점)

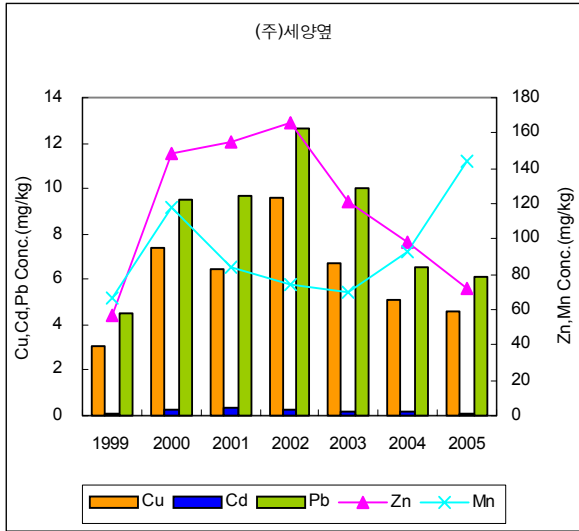


그림 37. (주)세양 옆 중금속 오염도.

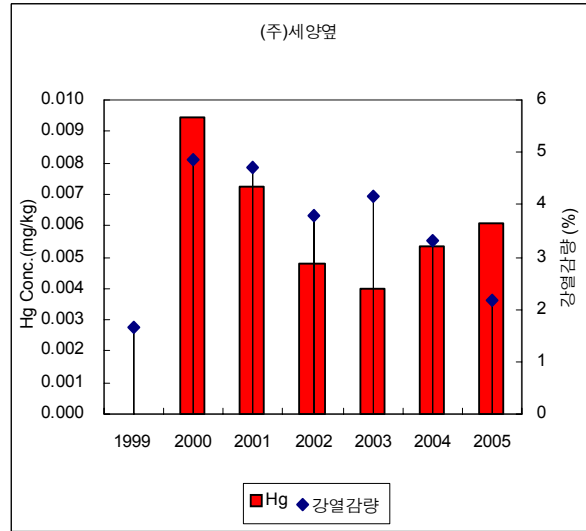


그림 38. (주)세양 옆 수은 오염도 및 강열감량.

(그림 37)에서 (주) 세양옆 지점의 중금속 연도별 오염도를 보면 1999년부터 2002년 까지 구리, 카드뮴, 납, 아연의 농도가 증가하는 경향을 보이고 있고, 2002년 이후부터 2005년 까지 감소하는 경향을 보이고 있다. (그림 38)의 수은과, (그림 37)의 망간은 같은 경향을 보이고 있는데, 1999년도에 수은 불검출, 망간 66.284 mg/kg로 최소농도를 나타냈고, 2000년은 수은 0.0094 mg/kg, 망간 118.090 mg/kg으로 갑작스런 증가를 보인 후 2003년까지 감소하다가 다시 증가 추세로 돌아서고 있다. (그림 38)에 나타난 강열감량은 2000년 4.9%에서 2005년 2.2%로 감소하는 경향을 나타내고 있다.

▷ 회동댐 상류

- 신천교(1999년도 추가지점임)

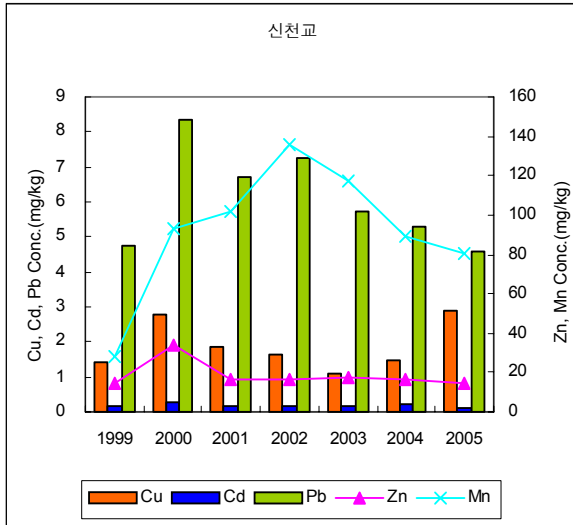


그림 39. 신천교 중금속 오염도.

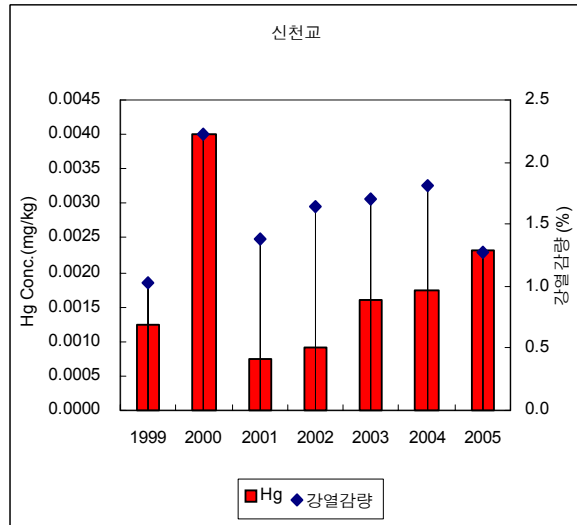


그림 40. 신천교 수은 오염도 및 강열감량.

신천교 지점은 상수원 보호구역으로 지정되어 있는 지점으로, 외부의 오염원으로부터 차단되어 있다. 신천교 지점의 저질은 육안으로 볼 때 자연토에 가까운 것으로 사료되며, 이 지점의 강열감량 수치와 중금속 오염도는 매우 양호하다.

○ 6가크롬(Cr⁺⁶)

6가 크롬은 1999년도부터 분석하기 시작하여 2005년도 현재 까지 전 지점에서 불검출로 나타나 부산지역 하천의 하상퇴적물은 6가 크롬에 의한 오염은 되지 않은 것으로 사료된다. 6가 크롬 화합물은 크롬 화합물 가운데 3산화크롬, 크롬산염, 중크롬산염이 해당되는데 수환경에서는 주로 크롬산염(chromate)의 형태로 존재하는데 매우 불용성이기 때문에 자연수 중에는 거의 침출되지 않는다.

○ 수소이온농도(pH)

수소이온농도란 용해된 여러 화합물에 의해 나타나는 산, 염기의 평형상태를 측정하는 것으로 수소이온활동도를 말한다. 부산시내 하상퇴적물의 수소이온농도를 (그림 41)에 나타내었는데, 수영천의 연안교 지점이 연평균 6.9로 최소값을 나타내었으며, 낙동강 녹산콘크리트 지점에서 연평균 8.8로 최대값을 나타내었다. (그림 41)은 1999년~2005년도별 pH 변화를 나타내었는데 전지점이 유사한 것으로 나타났으나, 장림천 장림교 지점과 감전천의 부산콘크리트 지점은 전년도에 비하여 다소 높게 나타났는데, 이는 도금, 화학업종 등 산성폐수 배출원에 대한 지도·단속 등에 따른 하천 상태의 개선에 의한 것으로 사료된다.

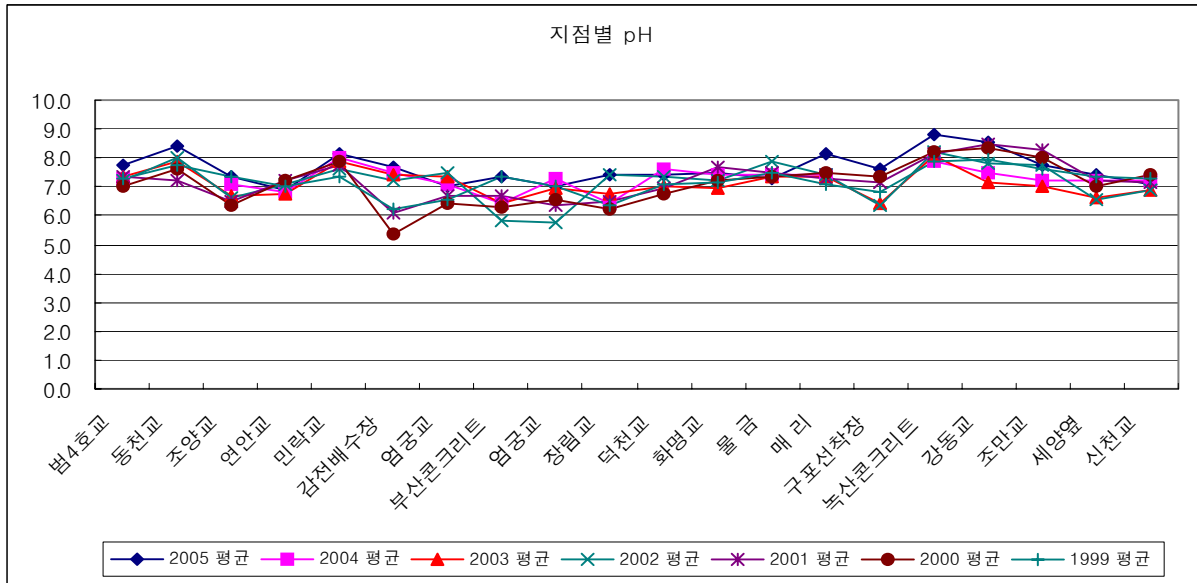


그림 41. 하상퇴적물 지점별 pH 변화.

하천이나 호소 등에 있어서 pH는 수역의 pH가 급속도로 변화하면 수중생물에 영향을 미치고 어떤 수생생물의 사멸이나 돌연변화를 초래한다. 간접적으로는 영양염의 변화, 무기염류의 침전형성 또는 중탄산염의 완충효과 등을 방해한다. 따라서 수역에 있어서는 수질과 함께 저질의 pH 측정은 중요하다.

4. 결론

부산지역의 12개 하천 20개 지점의 하상퇴적물 오염도를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 우리시에서 관심을 가지고 하천 정비 사업이 추진 중인 동천과, 온천천의 경우 하천수 수질과 하천 저질의 중금속 오염도 추이를 연도별(1996년 ~ 2005년)로 살펴본 결과 1996년 이후 하천 저질의 중금속 오염도가 감소하는 경향을 나타내고 있고, 하천수 수질 역시 같은 경향을 보이고 있으며 수질 COD와 하천 저질 중금속 간의 상관관계가 비교적 큰 것으로 나타났다.
- 1996년 이후 동천, 수영천, 삼락천, 학장천, 감전천, 장림천 지점에서는 '97년부터 일선구청에서 실시한 소하천 정비의 결과로 공업지역의 아연 오염도를 제외하고 2005년 현재까지 전반적으로 중금속 오염도가 감소했다.
- 하상퇴적물 중 6가 크롬은 1999년부터 2005년 현재까지 불검출로 나타나 6가크롬에 의한 오염은 없는 것으로 사료된다.
- 토양오염우려기준 나지역(Zn : 800 mg/kg)에 준하여 2005년도 평균 중금속 오염도를 비교하였을 때 초과한 항목은 아연으로 나타났으며, 초과 한 지점은 공업지역에 위치한 감전천의 부산콘크리트 옆다리, 업궁교, 장림천의 장림교 지점으로 아연 농도는 각각 801.250 mg/kg, 1452.457 mg/kg, 899.750 mg/kg으로 나타났다. 이는 하천 주변의 도금 등 금속제품제조업, 염료, 화학업종 등의 폐수의 방류 혹은 무단 방류에 의한 것으로 판단되며, 아연배출원에 대한 철저한 지도·단속 등 지속적인 관리가 요망된다.

- 2005년도 평균 강열감량(유기물 농도)은 공업지역에 위치한 감전천의 부산콘크리트 옆다리 지점 19.5%, 엄궁교 지점 17.2%, 장림교 지점 12.6%등으로 타 지점에 비해 상당히 높았으며, 유기물 오염 등으로 인하여 하상퇴적물의 성상이 슬러지(오니)화 된 상태이므로 준설이 시급한 것으로 나타났다.
- 낙동강, 서낙동강, 좌광천, 회동댐 상류 지점은 시료채취 당시 육안으로 보았을 때 자연토에 가까운 것으로 사료되며, 하상퇴적물의 중금속 오염도가 낮았다.
- 각 하천의 하상퇴적물은 장기간에 걸쳐 오염물질을 흡착, 농축하여 존재하기 때문에 중금속의 분기별(계절적) 변화는 유의할 만한 뚜렷한 차이를 보이지 않았다.