

하상퇴적물의 중금속 용탈특성 연구

유은희 · 권기원 · 전대영 · 정인철
김미희 · 정경원 · 김성림

폐기물분석과

하상퇴적물의 중금속 용탈특성 연구

폐기물분석과

유은희 · 권기원 · 전대영 · 정인철 · 김미희 · 정경원 · 김성림

The Study on the Extraction Characteristics of Heavy metals from the Sediments in stream

Industrial waste Analysis Division

E. H. Yoo, K. W. Kwon, D. Y. Jeon, I. C. Jung, M. H. Kim
K. W. Jung, S. N. Kim

Abstract

This study was carried out to investigate extractable amounts of heavy metals(Cu, Cd, Pb) from sediments in the stream of Pusan city.

Results of the sequential extraction procedure established by Tessier showed that the extractable amounts of Cd, Pb from the sediments have no relation with

actual pollution degree determined by "Korean Standard Methods for the Examination of Soil Pollution", but the case of Pb was proportional to actual pollution degree. And the distribution of Cd, Pb in each step was variable depending on sampling site, the case of Cu was very stable.

The order of extractable amounts of heavy metals was Jangnim bridge, Samnak bridge, Umkung bridge(Kam), Pusan conc. bridge.

The sediment dredging priority was considered Jangnim bridge, Samnak bridge, Umkung bridge(Kam) according to the combined amounts by the sequential extraction procedure and Korean Standard Methods.

I. 서 론

부산시의 대부분 하수시설은 우수, 생활 오·폐수가 동일 관로로 배수되는 합류식 관거로 되어 있고 현재 부산시내의 도심 관류 하천은 인구 및 산업체의 증가로 인한 오·폐수의 배출량 증가와 가정이나 산업체등에서 충분한 수질정화과정을 거치지 않고 배출되는 악성 오·폐수로 인하여 악취가 진동하여 심미적인 불쾌감을 초래하고 위생해충이 서식하여 시민 건강생활을 위협할 정도로 오염되어 있는 실정이다.

이러한 오염된 하천수중의 부유물질, 중금속, 산업화학물질 및 생활폐기물 등이 하상에 퇴적하여 하천이 유하하는 지역의 오염물질 배출량에 따라 하상퇴적물의 오염도도 심한 차이를 보이고 있다.

또한 하상퇴적물은 그 구성성분 자체에 자연부존량의 오염물질을 함유하고 있지만 생활하수 및 산업폐수와 함께 유입되는 유해물질의 흡착 및 축적에 의해 오염이 더욱 심화된다. 이 오염된 하상퇴적물에 의한 위해는 수환경에 서식하는 생물들 뿐만 아니라 생물의 식물 연쇄에 의하여 다른 동식물과 사람에게도 심각한 피해를 주어 왔는데, 수질오염에 의한 세계적인 피해 사건들은 거의 모두가 이 하상, 호수 및 해안의 퇴적물에 대한 장기적 노출이 원인이 되고 있다¹⁾.

자연강우에 의한든가 정화된 오·폐수로 인하여 하천수질이 회복되더라도 이들

오염된 하상퇴적물로부터 오염물질의 재용출이 일어나 하천수질 및 연안수질을 계속 오염시킬 것이다. 그러므로 오염된 하상퇴적물로부터 오염물질의 용탈량이 하천수질 환경보전에 중요한 요소라 할 것이다.

따라서 본 조사연구에서는 부산시내의 도심관류 하천별 퇴적물로부터 오염물질의 용탈량을 조사하여 2차적인 오염 가능성을 파악하고 기존의 하상퇴적물의 오염도와 의 상관성을 분석함으로써 하상퇴적물의 용탈량이 큰 하천부터 준설작업을 우선 실시한다든지, 그러한 하천 주변 폐수배출업소의 무단방류 단속을 강화한다든지 하는 효율적인 환경행정을 수행할 수 있도록 하는 등 하천 수질환경보전을 위한 기초 자료를 제공하고자 수행하였다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

1998년 3월 부산시내 주요 하천인 동천(범4호교, 동천교), 수영천(조양교, 연안교, 민락교), 학장천(교도소입구다리, 엄궁교), 감전천(부산 콘크리트 옆다리, 엄궁교), 삼락천(삼락교, 감전배수장), 장림천(장림교), 송정천(송정교), 덕천천(덕천교), 대천천(화명교)의 15개 지점에서 채취한 하상퇴적물을 풍건시킨후 표준체(2mm)에 통과시켜 분석용 시료로 사용하였다.

2. 조사항목

Cu, Cd, Pb

3. 분석시약

분석시약 및 용출을 위한 질산, 염산등은 중금속 분석용을 사용하였으며, AAS

분석을 위한 표준용액은 구입한 것을 탈이온수로 희석하여 사용하였다.

4. 분석장비

시료의 분석은 AAS(Atomic Absorption Spectrometer ; Varian SpectrAA 220 FAST Sequential)를 이용하였으며, pH측정은 pH meter (Orion 960 Autochemistry System)를 이용하여 측정하였으며, 최소한 1일 1회이상 표준액으로 보정하여 사용하였다.

5. 분석방법

5.1 연속추출법(Sequential Extraction Procedure)

단순 추출법에 비해 연속 추출법은 고형물내의 중금속 분포를 결정하는데 매우 중요한 방법이며 또한 하상 환경변화에 따른 용출가능성을 평가할 수 있는 실험 방법이다. Fig. 1과 같이 Tessier¹⁾ 등이 사용한 절차에 따라 실험을 행하였으며 마지막 5단계의 총중금속추출실험은 Fig. 2와 같이 왕수를 이용²⁾ 하여 실험하였다. 표시한 시약의 양은 시료 1g 양에 적용시켜 나타내었으며 이는 다음과 같이 5단계로 나타낼 수 있다.

- 1단계 : 탄산염, 산화망간 및 산화철 또는 유기물질과 약하게 흡착된 상태
- 2단계 : 1단계에 서술한 종들과 다소 강하게 흡착된 상태, 특히 탄산염
- 3단계 : 유기물 또는 망간 산화물 및 철산화물에 강하게 흡착된 상태로 환원조건에서 용출
- 4단계 : 유기물 또는 기타 산화된 화학종들과 매우 강하게 결합된 상태
- 5단계 : 용출이 힘든 광물질내에 결합되어 잔류된 상태

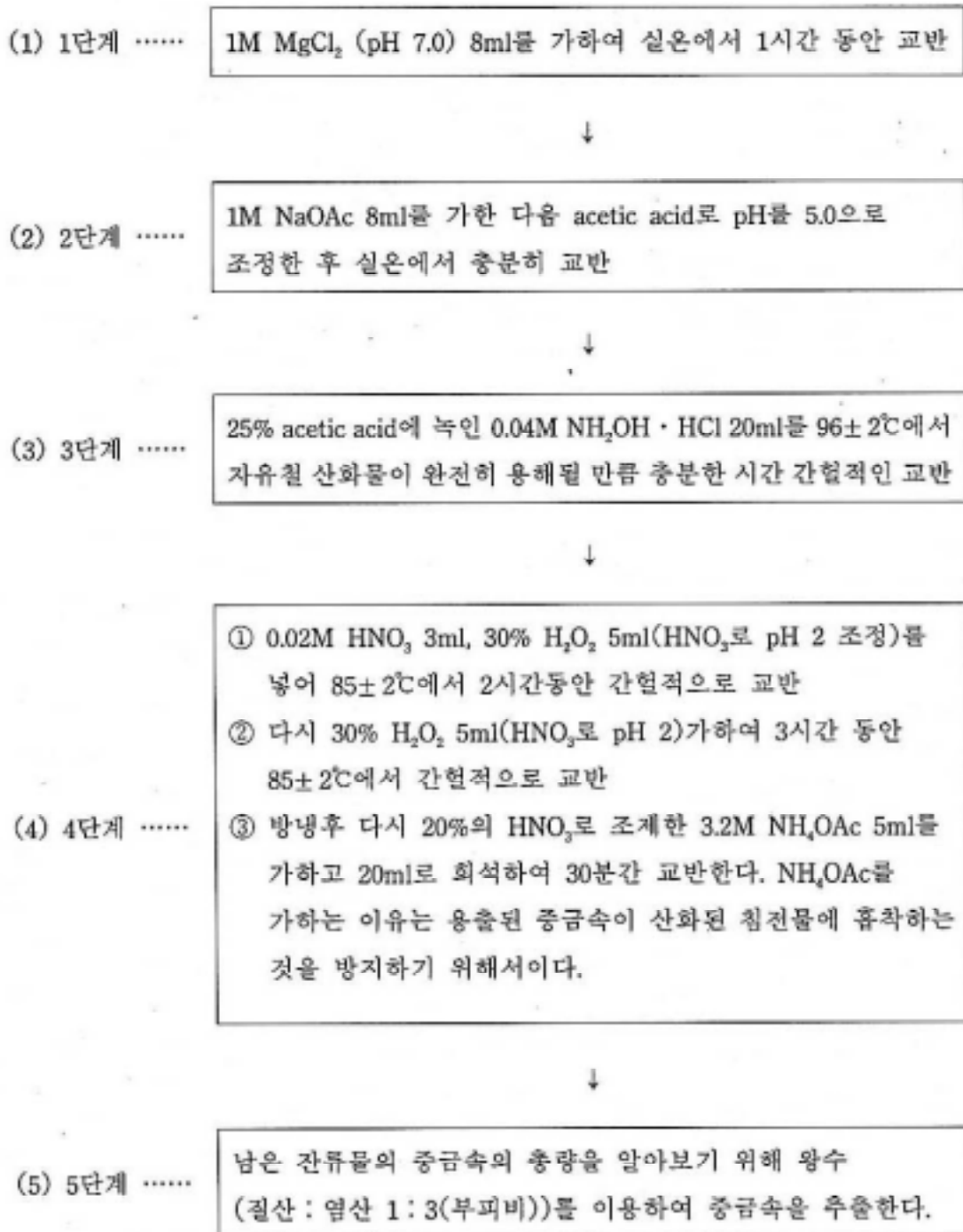


Fig. 1. Sequential extraction procedure⁴⁾

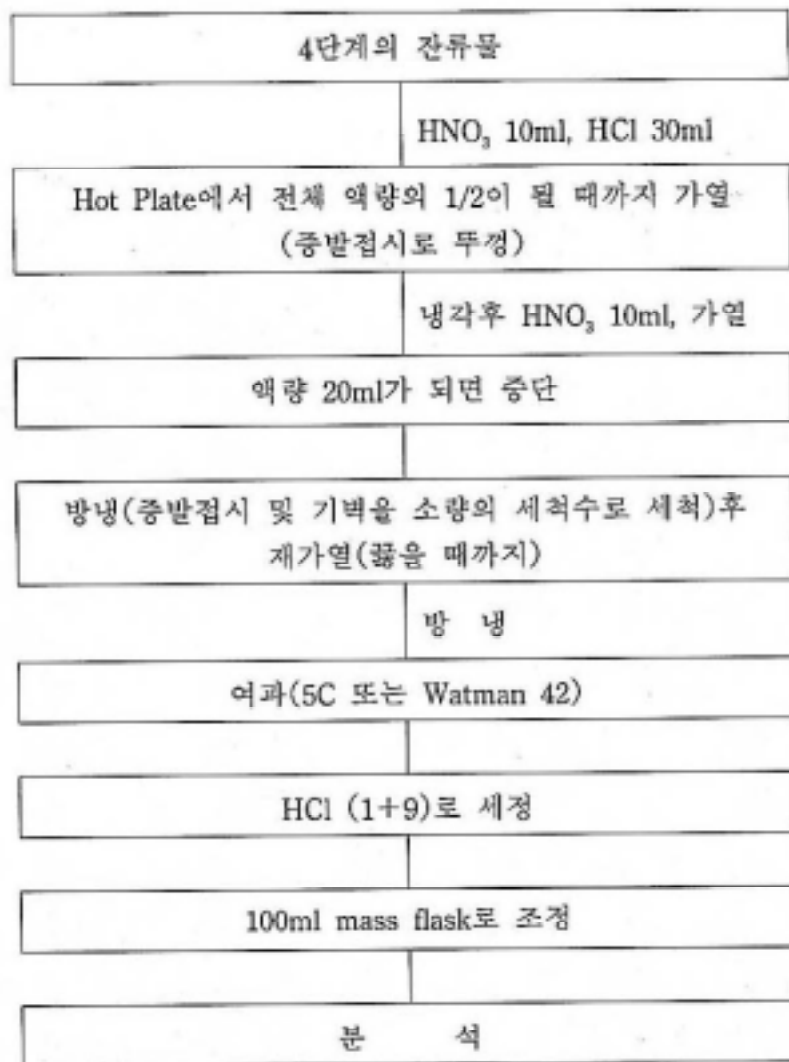


Fig. 2. Method of analysis of total metal⁵⁾

III. 결과 및 고찰

1. 연속추출에 따른 하천 지점별 중금속 분포 특성

연속추출 실험방법은 고형물에서 중금속의 추출능력을 평가하는데 많이 사용된다. pH를 중성에서 산성까지 다양하게 변화시킨 5번의 용출에 따라 (1)~(5)단계로 구분할 수 있다.

각 지점의 단계별 하상퇴적물의 연속추출한 값을 살펴보면 Table 1과 같다.

Table 1. The result of the analysis of sequential extraction procedure

지점별		단계별	1단계	2단계	3단계	4단계	5단계
동천	1. 범4호교	Cu	3.297	1.736	2.417	39.926	16.287
		Cd	1.474	0.666	0.119	0.119	0.327
		Pb	8.116	10.335	47.495	2.338	20.726
천	2. 동천교	Cu	0.789	0.748	0.935	0.346	11.998
		Cd	0.952	0.700	0.874	0.061	0.417
		Pb	0.000	2.953	9.217	0.000	15.476
수	3. 조양교	Cu	0.721	0.439	1.529	82.115	33.493
		Cd	0.800	0.251	0.059	0.431	0.431
		Pb	0.000	7.267	23.086	6.330	38.784
영	4. 연안교	Cu	4.502	1.123	1.784	9.760	2.981
		Cd	1.322	1.406	2.120	1.910	0.903
		Pb	1.123	0.472	0.000	13.433	14.200
천	5. 민락교	Cu	1.382	0.827	1.533	2.985	24.883
		Cd	0.676	0.131	0.363	0.323	0.040
		Pb	10.520	11.074	39.154	28.140	0.767
삼	6. 삼락교	Cu	43.514	86.688	50.776	76.857	15.312
		Cd	0.128	0.064	1.066	1.194	0.341
		Pb	0.000	0.256	45.892	67.218	25.409
천	7. 감전배수장	Cu	2.122	1.273	2.590	153.252	32.910
		Cd	1.001	0.871	0.958	0.370	0.707
		Pb	1.622	0.457	73.350	41.899	34.161
학	8. 교도소입구다리	Cu	0.383	1.861	1.336	56.824	17.606
		Cd	1.653	1.872	0.766	0.000	0.405
		Pb	2.453	1.741	22.248	3.372	14.452
장	9. 엄궁교	Cu	1.157	0.980	1.209	48.215	9.766
		Cd	1.021	0.844	0.104	0.000	0.135
		Pb	2.001	0.563	23.347	5.732	7.775
감	10. 부산콘크리트 열다리	Cu	5.867	8.834	7.526	2612.861	814.523
		Cd	3.237	2.077	22.955	2.142	1.699
		Pb	2.333	2.374	123.489	128.669	905.576
천	11. 엄궁교	Cu	3.846	2.223	12.307	573.433	114.446
		Cd	1.391	1.201	4.025	0.000	0.042
		Pb	3.214	1.064	169.542	16.542	222.013
장	12. 장림교	Cu	1.873	3.559	1.998	833.422	75.292
		Cd	2.019	1.811	0.874	0.126	0.406
		Pb	0.395	50.409	241.079	11.947	151.822
송	13. 송정교	Cu	1.260	1.728	6.911	98.569	28.294
		Cd	0.150	1.135	0.167	0.000	0.417
		Pb	1.168	3.255	94.981	15.023	40.730
덕	14. 덕천교	Cu	0.413	1.416	2.776	9.023	5.393
		Cd	0.000	1.004	0.000	0.000	0.422
		Pb	0.000	2.720	10.130	0.000	5.722
대	15. 화명교	Cu	0.118	1.398	1.634	39.172	13.833
		Cd	0.000	1.053	0.000	0.000	0.209
		Pb	0.182	2.088	16.344	2.542	20.975

- (1)단계의 경우는 입자표면에 흡착된 형태로 이온조성의 변화와 같은 수중의 초기 환경변화에 따른 용출가능한 부분이며,
- (2)단계의 경우는 pH 변화와 같은 약산성 환경에서의 용출가능부분,
- (3)단계는 철이나 망간 산화물과 공침된 형태로 낮은 산화환원 전위와 같은 환원 환경에서 용출가능한 부분이며,
- (4)단계는 강산성의 산화 환경에서 용출가능한 부분을 나타낸다.

따라서 (1)(2)(3)단계는 수중 조건하에서 용출 가능하며 (4)단계는 다소 안정화되어 있으며 (5)단계는 광물질의 형태로 되어있어 자연계에서는 이동 가능성이 거의 없으므로 용출이 힘든 부분이다.

Fig. 3에서 Fig. 17은 Table 1의 결과를 총용출된 농도에 대한 각 중금속의 용출 분율을 파이그래프로 나타낸 것이다.

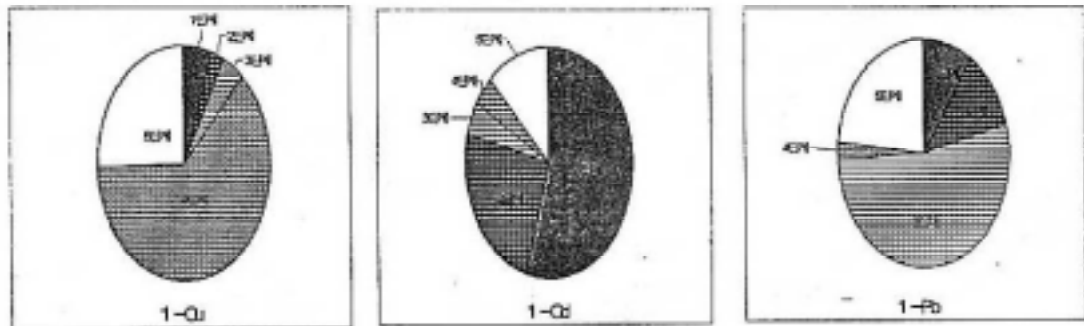


Fig. 3. Beom 4ho-Bridge

동천의 중류인 범4호교의 경우 Cu는 대부분이 4단계와 5단계로 안정화되어 있어 용출이 힘든 것을 알 수 있으며 Cd는 1단계와 2단계가 주를 이루고 있으며 Pb의 경우는 환원 환경에서 용출이 가능한 3단계로 되어 있어 Cd와 Pb은 자연계에서 쉽게 용출이 가능한 것을 알 수 있다.

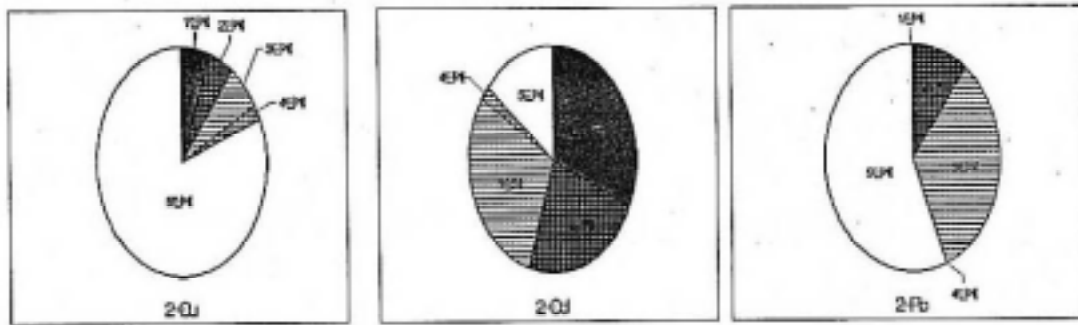


Fig. 4. Dongcheon-Bridge

하류인 동천의 경우는 Cu는 대부분이 광물질의 형태인 5단계로 되어 있어 안정화되어 있는 것을 알 수 있으며 Cd의 경우는 용출이 가능한 1, 2, 3단계가 많이 차지하고 있어 쉽게 용출이 가능하며 Pb는 1단계와 4단계는 없지만 용출가능성과 안정화되어 있는 비율이 비슷하게 존재하는 것으로 나타났다.

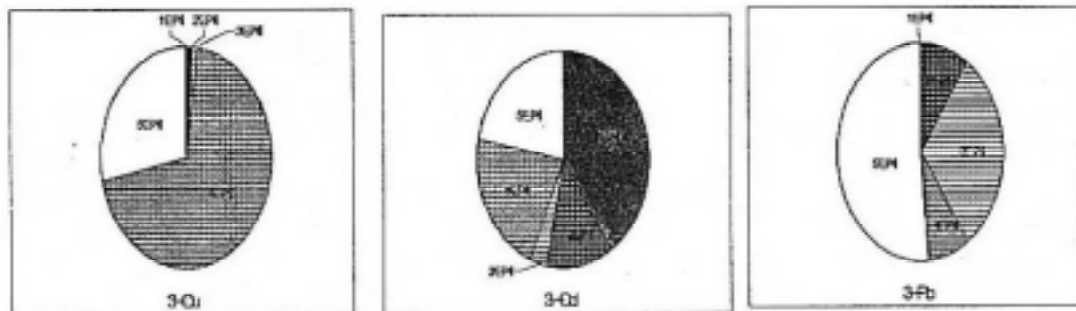


Fig. 5. Choyang-Bridge

수영천을 살펴보면 상류인 조양교에서는 Cd의 경우 용출가능한 3단계까지의 양과 4, 5단계의 양이 비슷한 분포를 보이며, Cu는 4단계, 5단계가 많이 차지하고 있어 안정화되어 있으며 Pb의 경우는 5단계가 많이 차지하고 있지만 어느 정도 용출가능한 2, 3단계도 존재하는 것으로 나타나 용출가능성과 안정화의 비율이 비슷하게 분포되어 있음을 알 수 있었다.

중류인 연안교에서는 Cd의 경우 각 단계의 분포가 고르게 되어 있어 용출이 가능한 부분과 안정화된 부분이 비슷하며 Cu와 Pb의 경우는 대부분이 4단계와 5단계로

되어 있어 매우 안정화되어 있음을 알 수 있다.

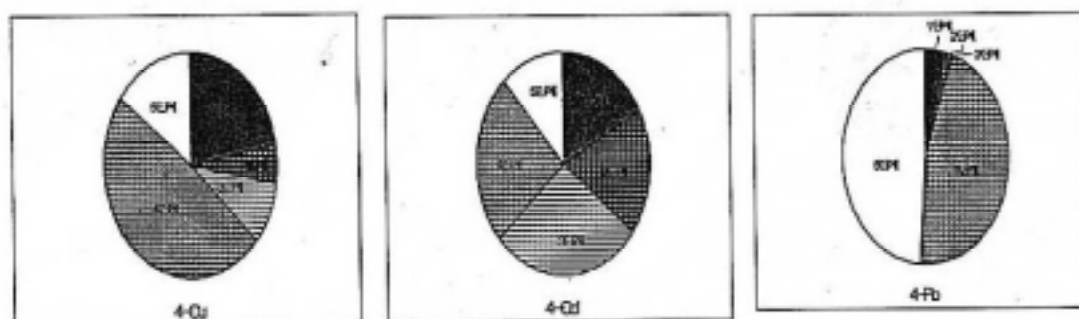


Fig. 6. Yunan-Bridge

하류인 민락교의 경우는 Cu는 5단계가 대부분을 차지하고 있어 매우 안정화되어 있으며 Cd는 초기 환경변화에 용출이 가능한 1단계의 비율이 높으며 3단계, 4단계도 비슷하게 분포되어 있어서 자연계에서 용출이 가능한 것으로 나타났으며, Pb의 경우는 3단계, 4단계의 비율이 많이 차지하고 있으며 전반적으로는 용출이 가능한 것으로 나타났다.

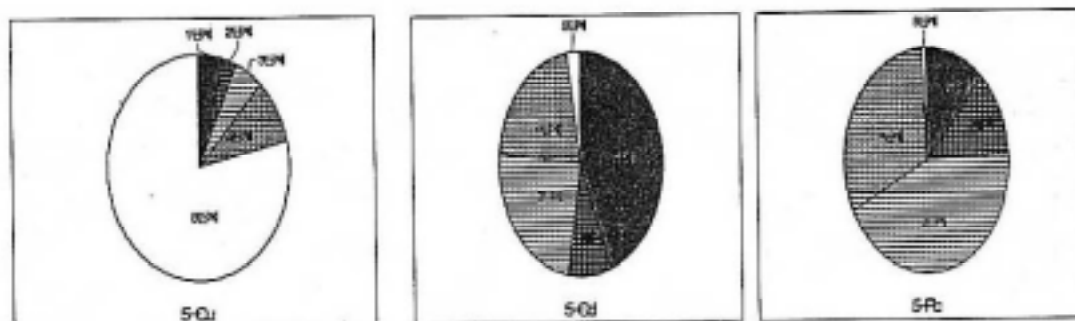


Fig. 7. Minlak-Bridge

삼락천의 상류인 삼락교의 경우는 Cu는 각 단계가 비슷하게 분포되어 있어 안정화와 용출가능한 부분이 비슷하며 Cd은 안정화와 용출가능한 분포가 비슷하게 나타났으며, Pb은 환원상태에서 어느 정도 용출이 가능한 3단계의 비율도 높지만 4단계, 5단계가 많이 차지하고 있어 전반적으로 안정화된 부분이 많은 것으로 나타났다.

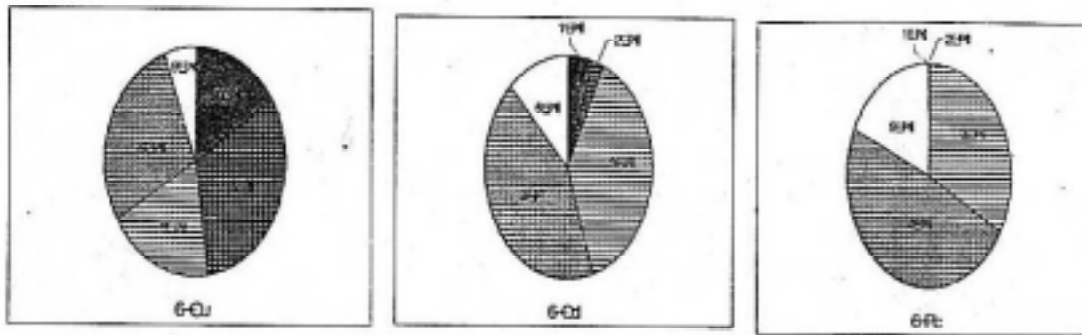


Fig. 8. Samnak-Bridge

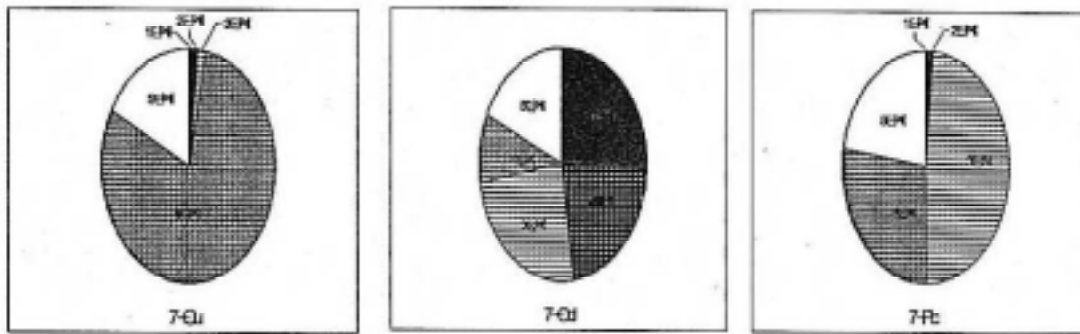


Fig. 9. Kamjeon E.

하류인 감전배수장을 살펴보면 Cu는 대부분 4단계, 5단계로 되어 있어 매우 안정화되어 있으며 Cd는 자연환경에서 쉽게 용출이 가능한 1단계, 2단계가 많이 차지하고 있어 쉽게 용출이 가능한 것으로 나타났으며 Pb의 경우 3단계의 분포가 높아서 환원상태에서 용출이 가능한 것으로 나타났다.

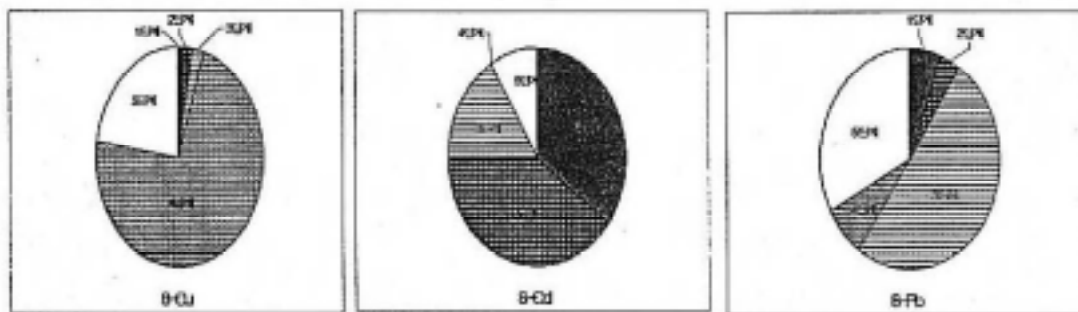


Fig. 10. Gyodoso

학장천의 교도소입구다리를 살펴보면 Cu는 대부분이 자연계에서 용출이 어려운 4단계와 5단계로 되어 있어 매우 안정화된 것으로 나타났으며 Cd은 전 단계가 고르게 분포되어 있으며 Pb은 안정화된 비율과 용출가능한 비율이 비슷하게 나타났다. 학장천의 하류인 엄궁교에서도 Cu의 경우는 상류와 비슷하게 4단계의 분포가 높게 나타나 안정화되어 있으나 Cd은 용출이 쉬운 1단계와 2단계가 대부분을 차지하고 있어 자연계에서 쉽게 용출이 가능한 것으로 나타났으며, Pb의 경우도 환원환경에서 용출이 가능한 3단계의 비율이 높아 어느정도 자연계에서 용출이 가능한 것으로 나타났다.

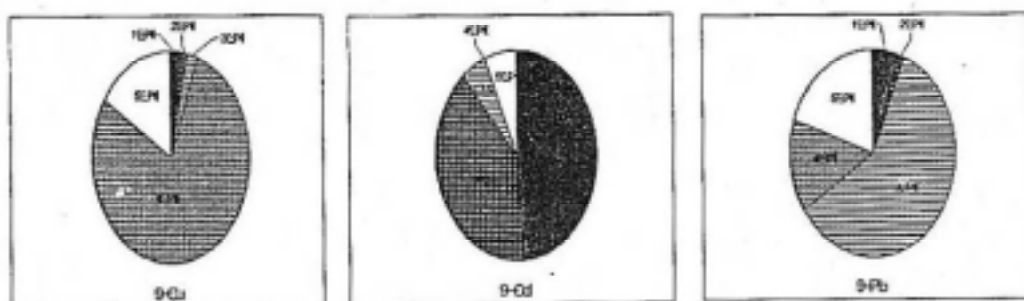


Fig. 11. Uemkung-Bridge(Hak)

감전천을 살펴보면 중류와 하류에서 Cu의 경우 4단계와 5단계로 되어 매우 안정화되어 있음을 알 수 있는 반면에 Cd은 환원환경에서 용출이 가능한 3단계의 분포가 많은 것으로 나타나 용출가능성이 높은 것으로 나타났다. Pb은 중류인 부산콘크리트였다리에서는 4단계와 5단계가 많이 분포되어 있어서 안정화되어 있음을 알 수 있었으며, 하류인 엄궁교에서는 3단계와 5단계가 대부분을 차지하고 있어 용출가능성과 안정화가 비슷하게 분포되어 있음을 알 수 있었다.

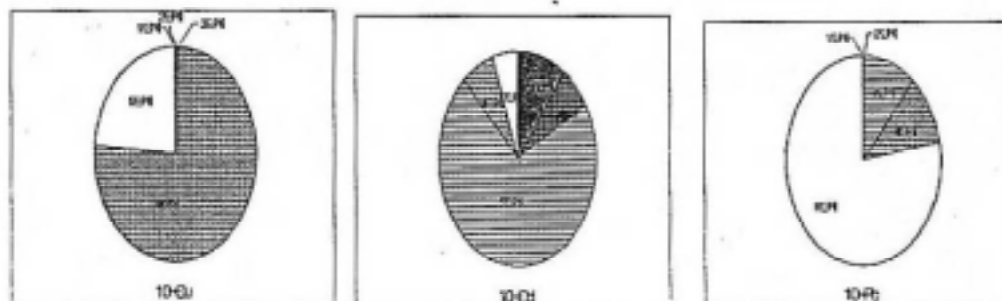


Fig. 12. Pusan Conc co.

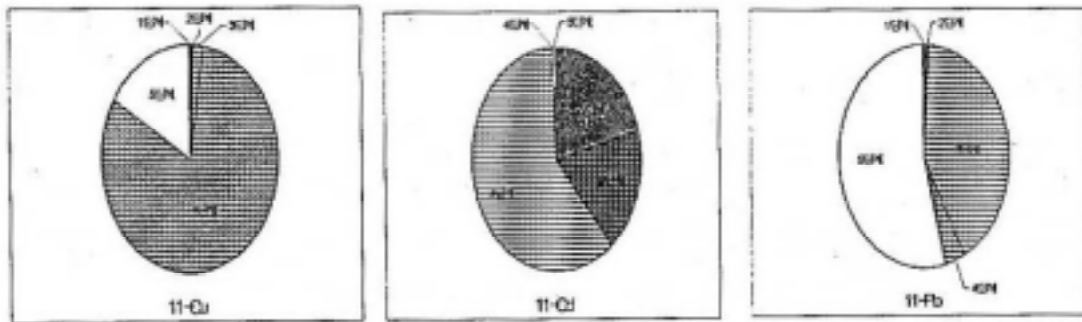


Fig. 13. Uemkung-Bridge(Kam)

장림천의 경우는 Cu는 4단계가 대부분을 차지하고 있어 매우 안정화되어 있으며 Cd은 1, 2단계가 절반이상을 차지하여 전반적으로는 용출가능한 부분이 많이 나타나 있으며 Pb의 경우는 3단계의 분포가 높으며 전체적으로는 안정화된 부분보다 용출가능한 부분이 많은 것으로 나타났다.

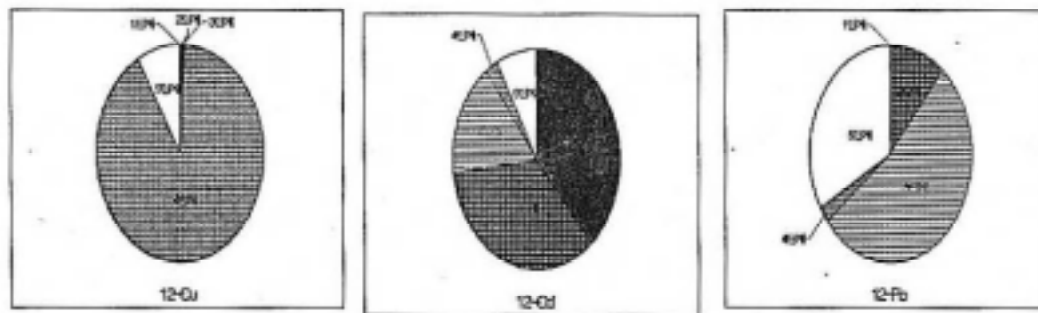


Fig. 14. Jangnim-Bridge

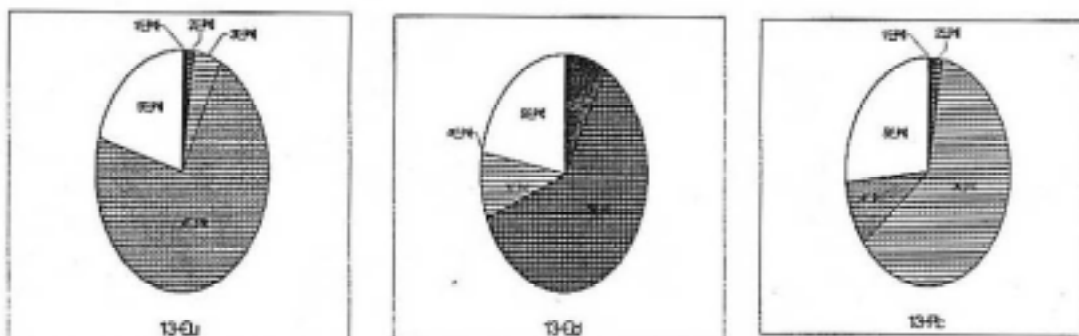


Fig. 15. Songjeong-Bridge

송정천을 살펴보면 Cu는 대부분이 4단계와 5단계로 되어 있어 매우 안정화되어 있으며, Cd의 경우는 1~3단계까지의 용출량이 절반이상으로 전체적으로 용출가능성이 많은 것으로 나타났다. Pb의 경우는 절반이상이 3단계로 되어 있어 용출가능성이 조금 높은 것으로 나타났다.

덕천천을 살펴보면 Cu의 경우는 절반이상이 4단계로 이루어져 전반적으로는 안정화되어 있으며, Cd은 상당한 부분이 2단계로 되어 있어 자연계에서 용출이 가능한 것으로 나타났다. Pb은 절반이상이 3단계로 되어 있으며 전체적으로 다소 용출되는 부분이 분포하는 것으로 나타났다.

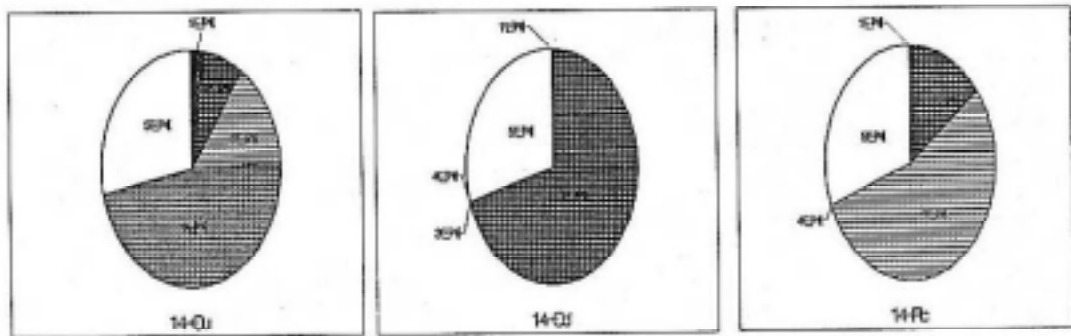


Fig. 16. Deokcheon-Bridge

화명교의 경우도 Cu는 대부분이 4단계와 5단계로 되어 있어, 매우 안정화되어 있으며 Cd은 많은 부분이 2단계로 되어 있어 용출이 쉽게 가능함을 알 수 있으며 Pb의 경우는 용출가능한 부분과 안정한 부분이 비슷하게 분포되어 있음을 알 수 있었다.

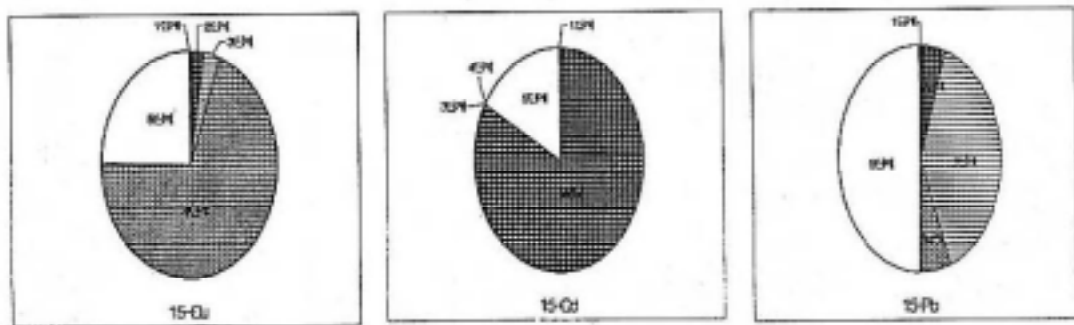


Fig. 17. Hwamyong-Bridge

2. 전체적인 중금속 분포특성

Table 1에서 전체적으로 살펴보면 Cd, Pb의 경우는 지점에 따라 각 단계별 분포가 다양하게 나타나는 반면에 Cu의 경우는 1단계, 2단계, 3단계, 4단계의 분포가 비슷한 삼각교의 경우를 제외하고는 모든 지역에서 4단계와 5단계가 많이 차지하고 있어 퇴적물내에서 매우 안정화되어 있음을 알 수 있다.

자연환경에서 용출가능한 3단계까지의 중금속 총용출가능량과 토양오염공정시험법에 의한 실제 오염도 현황³⁾을 Table 2와 Fig. 18에 나타내었다.

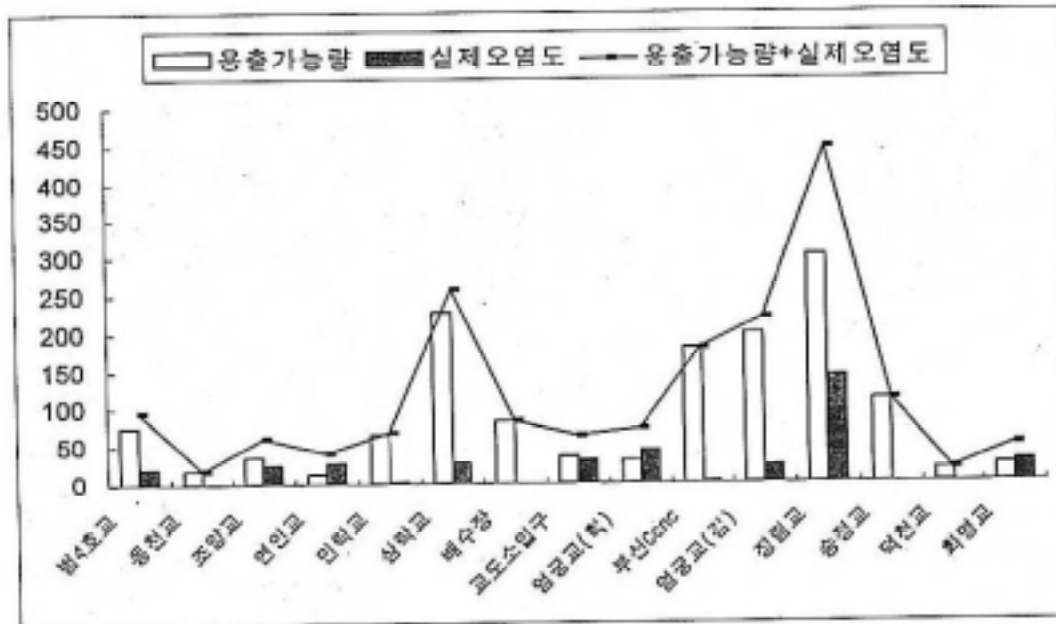


Fig. 18. 각 지점별 오염도 현황과 용출가능량 비교

Table 2. 각 지점별 하상퇴적물의 용출가능량과 실제 오염도 현황

(단위 : mg/kg)

지 점	구 분	용출가능량(1~3단계)				실제 오염도 현황				용출가능량 + 실제오염도
		Cu	Cd	Pb	합계	Cu	Cd	Pb	합계	
동천	1. 범4호교	7.450	2.259	65.946	75.655	9.493	0.235	11.383	21.111	96.766
	2. 동천교	2.472	2.526	12.170	17.168	0.064	0.148	0.193	0.406	17.573

< 계속 >

(단위 : mg/kg)

지 점	구 분	용출가능량(1~3단계)				실제 오염도 현황				용출가능량 + 실제오염도
		Cu	Cd	Pb	합계	Cu	Cd	Pb	합계	
수영천	3. 조양교	2.689	1.110	30.353	34.152	3.148	1.696	20.732	25.576	59.728
	4. 연안교	7.409	4.848	1.595	13.852	20.393	0.711	6.683	27.787	41.639
	5. 민락교	3.742	1.170	60.748	65.660	0.000	0.323	1.879	2.202	67.862
삼락천	6. 삼락교	180.978	1.258	46.148	228.384	10.073	0.325	18.275	28.673	257.057
	7. 감전 배수장	5.985	2.830	75.429	84.244	0.000	0.129	0.000	0.129	84.373
학장천	8. 교도소 입구다리	3.580	4.291	26.442	34.313	14.395	0.276	14.755	29.426	63.739
	9. 엄궁교	3.346	1.969	25.911	31.226	20.760	0.200	21.912	42.872	74.098
감전천	10. 부산콘크리트열다리	22.227	28.269	128.196	178.692	0.336	0.257	0.671	1.264	179.956
	11. 엄궁교	18.376	6.617	173.820	198.813	0.289	0.194	21.307	21.790	220.603
장림천	12. 장림교	7.430	4.704	291.883	304.017	44.582	0.972	97.001	142.555	446.572
송정천	13. 송정교	9.899	1.452	99.404	110.755	0.000	0.301	0.000	0.301	111.056
덕천천	14. 덕천교	4.605	1.004	12.850	18.459	0.042	0.136	0.000	0.178	18.637
대천천	15. 화명교	3.150	1.053	18.614	22.817	15.525	0.141	13.155	28.821	51.638

Fig. 18에서 중금속의 용출가능량은 장림교 > 삼락교 > 엄궁교(감) > 부산Conc 열다리 > 송정교 등의 순으로 나타났으나 실제 오염도순인 장림교 > 엄궁교(학) > 교도소입구다리 > 화명교 > 삼락교와는 일치하지 않았다. 조양교, 교도소입구다리, 화명교의 경우는 어느 정도 용출가능량과 실제오염도와 비슷한 값을 보였다. 연안교, 엄궁교(학)는 용출가능량보다 실제 오염도가 더 높은 값을 나타내었다. 이는 연안교의 경우는 Cu와 Pb이 4단계에서 많이 용출되었고, 엄궁교(학)의 경우는 Cu가 4단계에서 많이 용출되었기 때문이다. 이와 같이 용출가능량과 실제 오염도순이 일치하지 않는 경우와 실제 오염도보다 용출가능량이 작은 경우 등은 연속추출법과

토양오염공정시험법상의 차이가 있고 김성조 등¹³⁾이 토양중 중금속 함량과 토양의 이화학 특성을 조사한 결과 점토 함량과 유기물 함량, 양이온 치환 용량과 상관관계가 있음을 밝힌 바와 같이 퇴적물중의 토양의 이화학적 특성이 상이한 결과로 사료된다.

장림교의 경우는 실제 오염도도 가장 높게 나타났는데, 용출가능성과는 큰 차이를 보이고 있지만 용출가능량 또한 가장 높은 값을 보이고 있다. 삼락교, 감전배수장, 부산콘크리트 옆다리, 임궁교(감), 송정교의 경우는 실제 오염도에 비해 용출가능성이 높게 나타나 잠재적인 오염의 가능성을 내포하고 있는 것으로 나타났다.

그러므로 준설우선 순위는 용출가능량과 실제오염도의 합이 높은 장림교, 삼락교, 임궁교(감)의 순으로 하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

3. 금속별 용출특성

Fig. 19에 실제 오염도에 대한 금속별 용출가능량을 도시(圖示)하였는데, Cu와 Cd는 실제오염도와 상관성을 찾을 수 없으나 Pb의 경우는 실제 오염도가 높으면 용출가능량도 높은 상관관계를 보였다.

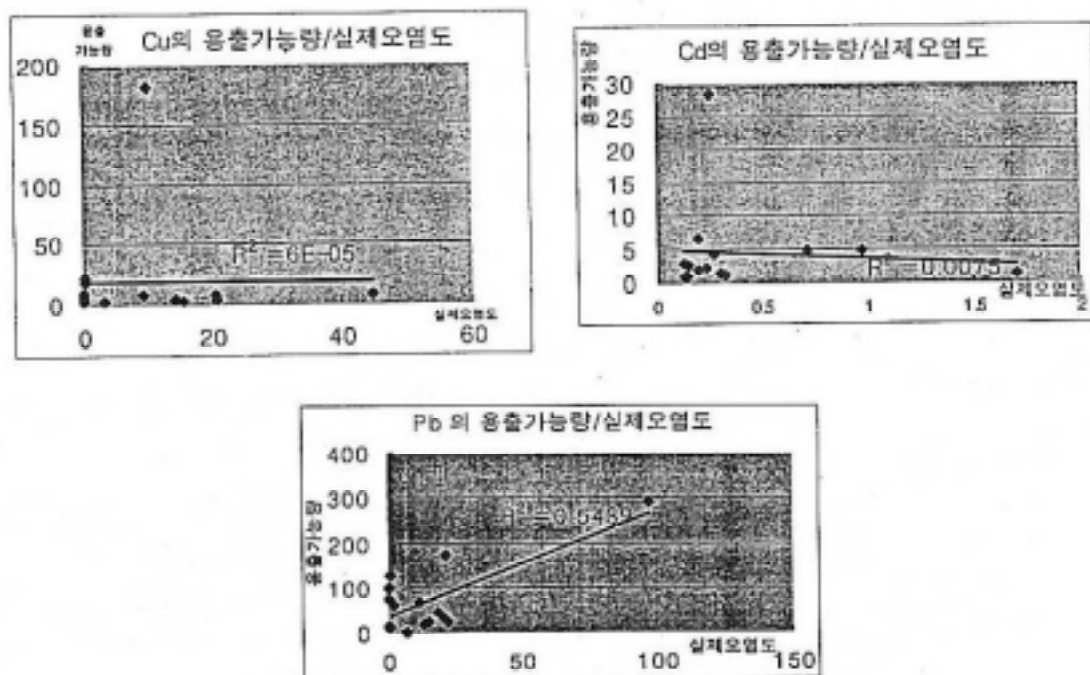


Fig. 19. 용출가능량과 실제오염도와의 비교

IV. 결 론

본 연구에서 부산시내 하천의 하상퇴적물을 이용하여 오염물질의 용탈량을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 연속추출법에 의한 중금속 분포를 알아본 결과 Cd, Pb의 경우는 지점에 따라 각 단계별 분포가 다양하게 나타나는 반면에 Cu의 경우는 거의 대부분 지역에서 4단계와 5단계가 많이 차지하고 있어 매우 안정화되어 있었다.
2. 중금속의 용출가능량은 장림교 > 삼락교 > 임궁교(감) > 부산콘크리트옆다리의 순으로 나타났으며, 실제 오염도순은 장림교 > 임궁교(학) > 교도소입구다리의 순으로 나타났다.
3. 금속별 용출특성을 살펴본 결과 Cu와 Cd은 실제 오염도와 상관성을 찾을 수 없었으나 Pb의 경우는 실제 오염도가 높으면 용출가능량도 높게 나타났다.
4. 준설후순위는 용출가능량과 실제오염도의 합이 높은 장림교, 삼락교, 임궁교(감)의 순으로 하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 조경수의 3명 "청주지역 하천 하상퇴적물의 중금속 함량 분석", 충청북도보건환경연구원보, 제2권, pp159~191, 1992
2. 김진범, 이우근, "도시폐기물 소각잔사 중에 함유된 중금속의 용출특성에 관한 연구", 대한환경공학회지, Vol.19, pp41~490, 1997
3. 유은희, "도시하수 슬러지의 소각재에 대한 중금속 용출특성", 경성대학교 산업대학원 석사논문, 1997
4. Tessier, A., Campbell, P.G.C. and Bisson, M., "Sequential Extraction Procedure

- for the Speciation of Particulate Trace Metals", Analytical Chemistry, pp.844~850, 1979.
5. Delfino, J.J., and Enderson, R. E., "Comparative Study Outlines Methods Analysis of Total metal in sludge", Water & Sewage Works, 125(RN), pp.R-32~R-48, 1978
 6. U.S.EPA, "Toxicity Characteristic Leaching Procedure Method 1311", pp.1311-1~34, 1992
 7. Bagchi, A. "Design, Construction, and Monitoring of Landfill". 2nd Ed. John Wiley Sons, Inc., New york, NY, pp.28~29, 1994
 8. Sharma, H.D. and Lewis, S.P., "Waste Containment Systems, Waste Stabilization, and Landfills", pp.284~288, 1994
 9. 부산보건환경연구원 측정데이터, 1998
 10. 환경부, 토양환경보전업무 편람, pp.124~125, 1995
 11. 황선출외 5명, "낙동강, 서낙동강, 수영천 하구의 하상구조에 따른 연중 퇴적저토의 오염특성 연구와 부산근해 적조에의 영향에 관한 연구", 한국환경과학회지 제6권(제5호), pp.513~520, 1997
 12. 김용국외 3명, "한강으로 유입된 저질층의 중금속오염도 조사", 서울보건환경연구원보, 제25권, pp.409~417, 1989
 13. 김성조, 양참승, "만경강유역의 토양 및 수도체중 중금속 함량", 한국환경농학회지, 5(1), pp.11~23, 1986