

漢江底質中の重金屬汚染度評價方法에 관한研究

魚 秀 美 · 朴 聖 培

서울特別市 保健環境研究院

Studies on the Evaluation Method of Heavy Metal Contamination Degree in the Han River

Eo Soo Mi · Park Sung Bae

Seoul Metropolitan Government Institute of Health and Environment

ABSTARCT

This study was performed to evaluate contamination degree of heavy metals in sediments of Han River, compared with other nation's evaluation method.

The results were as follows ;

1. The contamination Ratio calculation method by heavy metal concentration in differnt fraction size has a limitation to apply to all of the areas of Han river because of its characteristics of sediment. As a result, this method applied to only 4 areas of Pal Dang, Wang Sook Chõn, Uk Chõn, and Bul Kwang Chõn, and Contmination Ratio of heavy metals in those areas were relatively low of below 3. So it's considered that those areas have less contaminated from anthropogenic contaminants.

2. The Contamination Ratio calculation method by heavy metal concentration in different areas-that of upper area to be background level-has a limitation also to apply to Han river. But it is considered that this method was relatively suitable to apply, so it should be prepared evaluation standand method for them. Contamination ratio from background level as Pal Dang area were most high in An Yang Chõn. So it must be prepared purification and control measure at An Yang Chõn.

I. 序 論

水環境에서 金屬은 세가지의 Reservoirs 즉 Water, Sediment, Biota에 溶解, 蓄積되며 이중 Sediment는 重金屬의 最終 貯藏所로서 汚染程度를 把握하는 중요한 指標가 된다.¹⁾ 그러나 현재 세계적으로 Sediment에 대한 正確한 汚染度 評價

方法이 設定되어 있지 않고 있으며 이에 대한 基準 및 規制가 이루어지지 않아 國家別 그 汚染度 評價方法이 多樣하고, 河川 特性에 따른 水量變化²⁾, 季節變化^{3,4)}, 測定地點, 底質粒徑^{5,6)}, 實驗方法⁷⁾ 등에 따라 농도차이가 크게 나타나고 있어 이에 대한 標準化 方法이 設定되어야 할 것으로 思料된다.

1천만 서울 거주민의 糞출인 漢江은 漢江周邊

産業施設 移轉과 産業廢水에 대한 法的 團束이 있을지라도 人口增加와 急速한 産業化에 따라 Point, Non-point sources의 水質汚染物質이 流入되고, 이중 重金屬은 時間이 經過하면서 沈澱, 安定化되어 底質에 蓄積되어 水環境에 중요한 環境汚染問題를 惹起시키고 있다. 따라서 漢江 水環境을 評價할 때 水質뿐 아니라 底質에 대한 評價도 並行되어야 하며 水質基準처럼 底質에 대한 有害物質 含有基準 및 評價方法이 設定되어야 할 것으로 思料된다.

本 研究는 近來 各國에서 行해지는 底質에 대한 研究 및 評價方法을 考察한 후 漢江 底質 分析에 適用하여 漢江 特性에 適合한 評價方法을 摸索해 보고자 한다.

II. 理論的 背景

汚染이란 단순한 不純物의 混入을 意味하는 Contamination의 廣範圍한 概念과, 이것에 包含되나 生物에 대한 潛在的 危險 또는 直接的인 影響이 생각되는 Pollution의 概念으로 나누어 定義하며⁹⁾, 水環境에서는 生物에 毒性을 誘發하는 重金屬과 같은 Pollutants를 把握하는 것이 더 重要하다고 하겠다.

이들 汚染度는 Background Level에 따라 결과에 큰 차이를 나타내는데 이 Background Level에 대한 精確한 基準이 設定되어 있지 않아 各國에서는 나름대로 이에 대한 評價方法을 採擇하여 評價하고 있어, 그 評價方法을 살펴본 결과 다음과 같았다.

1. Hiromitsu Sakai 등은^{9,10)} 日本 豐平川과 神通川의 底質을 粒徑別로 4가지 즉 810~1,680 μm (A:Coarse sand), 460~810 μm (B:Coarse sand), 71~460 μm (C:Find sand), 71 μm 미만(D:Clay & Silt)으로 區分하여 A입자의 濃度를 Background Level로 看做하고 D입자의 濃度和 A입자의 濃度比로 汚染比(Contamination Ratio)를 算出하였다. 이때 汚染比가 클수록 높은 汚染을 나타낸다고 했으며, 그 結果 Cd농도에서 神通川이 豐平川보다 Background Level은 3倍以上 높지만 汚染比는 神通川이 3.6, 豐平川이 5.3으로 오히려 豐平川이 外部 起因的 汚染이 더 높았으며,

Hiromitsu Sakai 등은 이 評價方法이 外部起因性 人爲的 重金屬汚染을 評價하는데 가장 簡便하고 效果的인 方法이라고 하였다.

2. C. C. Fuller 등은¹¹⁾ Central America의 Rio Grande de Tarcoles강에서 20 μm 미만의 微細한 Sediment를 測定하였으며, Background Level을 각 支流의 上流 12地點을 選定하여 이들 結果의 平均으로 算出하였다. 그 結果 Cr이 60 \pm 6 $\mu\text{g/g}$, Pb이 25 \pm 5 $\mu\text{g/g}$, Zn이 171 \pm 28 $\mu\text{g/g}$ 등이었으며, 下流에서 Cr이 Background Level보다 4~6배 높게 나타났으며 皮革工場으로 인해 Quebrada Canas에서 Cr이 5,000 $\mu\text{g/g}$ 이상 檢出되었다고 했다.

3. Leonard 등은¹²⁾ Italy Tyrrhenian Sea의 底質 測定時 Surface와 Core sample(底質表面 15 cm以下)을 測定하여 Core sample을 natural source와 관련된 Background Level로 看做하여 Surface Sample의 人爲的 汚染을 評價하였으며, Pb, Zn, Cu 등은 이와 比較해서 상당히 汚染되었으며, Cr, Ni 등은 人爲的 汚染과 크게 關聯이 없다고 하였다.

4. Youger 등은¹³⁾ 美國 Ohio江 底質中 重金屬을 分析하였는데, 汚染되지 않은 오하이오洲의 江을 Background Data로 하여 이 資料의 標準偏差(Standard Deviation)로 汚染度를 評價하였다. 即 S. D.와 差異가 없을 때는 Non Elevated, 1 S. D.보다 클 때는 Slightly Elevated, 2 S. D.보다 클 때는 Elevated, 4 S. D.보다 클 때는 Highly Elevated, 8 S. D.보다 클 때는 Extremely Elevated의 5가지로 區分하였으며, 그 結果 Ohio江에서 Cr, Zn은 Extremely Elevated, Cd과 Pb은 Elevated, Fe은 거의 Background와 類似하여 Non Elevated였다고 했다.

5. R. Lichtfuss 등은¹⁴⁾ North Germany의 Elbe江 等에서의 底質 分析時 底質 粒徑 2 μm 나 20 μm 未滿 粒子의 濃度를 Background Value(B. V.)로 하여 總 含有量과의 比를 Concentration Factor(C. F.)라고 정하고, 그 結果 Cd은 B. V.가 0.3 $\mu\text{g/g}$, C. F.는 평균 19, Pb은 B.V.가 20 $\mu\text{g/g}$, C. F.는 평균 5, Hg은 B. V.가 0.4 $\mu\text{g/g}$, C. F.는 평균 27이었다고 했다.

III. 試料採取 및 分析

1. 試料採取

1991年 4月 22일부터 25일까지 4日間에 걸쳐 Table 1과 Fig. 1과 같이 漢江水系 總 11個 地點을 選定하여 每 地點當 周圍 約10m 半徑으로 5곳을 採取하였다.

Table 1. Sampling areas

No.	Area
1	Pal Dang the mouth of a river
2	Wang Sook Chŏn the mouth of a river
3	Tan Chŏn the mouth of a river
4	Jung Rang Chŏn the mouth of a river
5	Ban Po Chŏn the mouth of a river
6	Uk Chŏn the mouth of a river
7	Bul Kwang Chŏn the mouth of a river
8	An Yang Chŏn the mouth of a river
9	Nan Gi Sewage disposal plant
10	An Yang Sewage disposal plant
11	Chang Nŭng Chŏn the mouth of a river

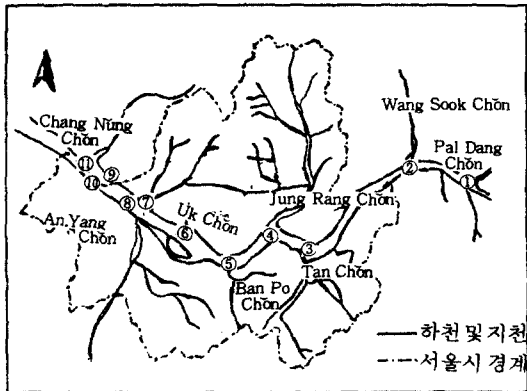


Fig. 1. Sampling sites in the Han river.

採取器는 Fig. 2와 같이 SK型 底質 採取器로 5 cm以內의 表面層을 採取하였으며, 參考 資料로 底質 採取地點에서 Hydro採水器를 利用하여 漢江 流入水를 採水하였다.

2. 試料分析

水質은 採水後 即時 環境汚染 公定試驗法에 따

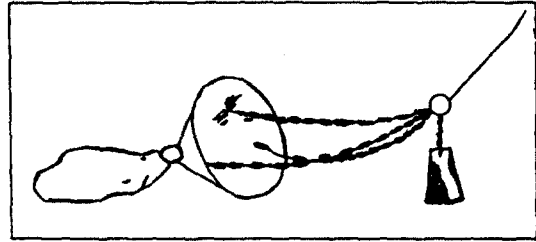


Fig. 2. SK type bottom sampler.

라 實驗하였으며¹⁵⁾ 底質은 試料를 60℃ 乾燥器에서 24時間 乾燥後, 12 mesh (1,680 μ m)를 통과하고 20 mesh (840 μ m)를 통과하지 못한 粗分과, 20 mesh를 통과하고 200 mesh (74 μ m)를 통과하지 못한 粗分과, 200 mesh를 통과한 粗分을 各 5g씩 取하여 질산-황산 前處理 方法으로¹⁶⁾ 前處理한 後 AAS (Varian Spectra AA-30)로 測定하였다.

IV. 結果 및 考察

1. 水 質

漢江 水系 11個 地點의 水質中 重金屬 含有量은 Table 2와 같이 Cd이 ND-0.003ppm으로 極微量 이었으며, Pb는 ND-0.025ppm, Cr은 ND-0.002 ppm, Cu는 0.001~0.057ppm, Zn은 0.007~0.126 ppm, Mn은 0.015~0.338ppm으로 낮게 檢出되었 다.

2. 底 質

底質의 汚染度를 評價하기 위해 앞서 言及한 外國의 評價方法中 比較的 適用하기에 妥當하다고 생각되는 두가지 方法을 採擇하여 實驗하였다.

(1) 우선 Hiromitsu Sakai 등의 Contamination Ratio 算出 方法을 適用하여 試料를 粒徑別로 3가지, 即 1,680~840 μ m, 840~74 μ m, 74 μ m미만 (이를 편의상 A, B, C 粒子로 區分하겠음)으로 구분하여 各 Mesh別 체를 通過시켰다. 그러나 4 지역(팔당, 왕숙, 옥천, 불광천)만 Coarse Sand가 包含되었을 뿐 나머지 7지역은 모두 Clay와 Silt만 包含되어 있어서 이 方法을 適用하는데 制限點이 있었으며, 그 實驗 結果는 다음과 같았다.

Cd은 Table 3과 같이 팔당은 A, B粒子에서 모든 不檢出되었으며, 微細한 粒子에서만 平均 0.40

µg/g이 檢出되었다. 왕숙천은 A粒子에서 平均 0.59µg/g, C粒子에서 平均 1.09µg/g으로 汚染比는 1.85로 나타났다. 옥천에서는 A粒子가 平均 1.20µg/g, C粒子가 平均 1.83µg/g으로 汚染比는 平均 1.53으로 왕숙천보다 낮았으며, 불광천은 A粒子가 平均 1.07µg/g, C粒子가 平均 1.74µg/g으로 汚染比는 平均 1.63으로 이 네 地域 모두 外部 起因

的 汚染이 比較的 적음을 알 수 있었다.

Pb은 Table 4와 같이 팔당은 A粒子가 13.82µg/g, C粒子가 26.32µg/g으로 汚染比는 1.90이였으나, 이는 Fuller 등이⁷⁾ 발표한 Pb의 Background Level 25µg/g과 비슷하고, R. Lichtfuss 등이¹⁰⁾ 발표한 Background Value 30µg/g보다 낮은 濃度였다. 왕숙천은 A粒子에서 13.48µg/g,

Table 2. Concentration of heavy metals in water at each sampling areas

(Unit : mg/l)

Areas	component	Cd	Pb	Cr	Cu	Zn	Mn
Pal Dong		ND	ND	ND	0.001	0.013	0.015
Wang Sook Chõn		ND	ND	0.002	0.037	0.007	0.173
Tan Chõn		0.002	ND	ND	0.019	0.025	0.119
Jung Rang Chõn		0.002	0.014	ND	0.015	0.041	0.139
Ban Po Chõn		0.001	0.005	ND	0.020	0.126	0.234
Uk Chõn		0.003	0.010	ND	0.043	0.086	0.061
Bul Kwang Chõn		0.002	ND	ND	0.006	0.030	0.284
An Yang Chõn		0.003	0.017	0.002	0.057	0.122	0.317
Nan Gi Sewage disposal plant		0.003	0.005	ND	0.028	0.094	0.144
An Yang Sewage disposal plant		0.003	0.025	0.001	0.033	0.119	0.148
Chang Nõng Chõn		0.003	ND	ND	0.007	0.043	0.338

* 定量限界 以下の 數値도 最小測定單位 0.001以上이면 表記하였으며, 0.001未滿은 ND(Non-detected)로 表記하였음.

Table 3. Concentration of Cd in different size of sediment fractions and their contamination ratio(C. R.)

(Unit : µg/g, dry wt.)

Areas	Fractions & C. R.	1	2	3	4	5	Mean±S.D.
Pal Dang	A	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	B	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	C	0.052	0.32	0.52	0.36	0.28	0.40±0.11
Wang Sook Chõn	A	0.50	0.56	0.68	0.66	0.54	0.59±0.08
	B	0.88	0.90	1.02	0.94	0.92	0.93±0.05
	C	0.92	1.12	1.14	1.24	1.02	1.09±0.12
	C. R.	1.84	2.00	1.68	1.88	1.89	1.85
Uk Chõn	A	1.22	1.16	1.14	1.22	1.26	1.20±0.05
	B	1.42	1.24	1.44	1.46	1.32	1.38±0.09
	C	1.74	1.76	1.68	1.94	2.02	1.83±0.14
	C. R.	1.43	1.52	1.47	1.59	1.60	1.53
Bul Kwang Chõn	A	1.02	0.98	1.18	1.12	1.04	1.07±0.08
	B	1.46	1.14	1.36	1.44	1.32	1.34±0.13
	C	1.86	1.72	1.64	1.72	1.78	1.74±0.08
	C. R.	1.82	1.76	1.39	1.54	1.71	1.63

C粒子에서 23.78 $\mu\text{g/g}$ 으로 오히려 팔당보다 적게
 檢出되었으며 汚染比도 1.76으로 낮게 나타났다.
 옥천은 A粒子에서 19.76 $\mu\text{g/g}$, C粒子에서 42.45 $\mu\text{g/g}$ 으로 汚染比는 2.15였으며, 불광천은 2.24로

比較的 낮게 나타났다.

Cr은 Table 5와 같이 팔당에서 A粒子가 13.98 $\mu\text{g/g}$, C粒子가 23.57 $\mu\text{g/g}$ 으로 汚染比는 1.69였으
 나 이 역시 Fuller 등이 발표한 Cr의 Background

Table 4. Concentration of Pb in different size of sediment fractions and their contamination ratio(C. R.)
 (Unit : $\mu\text{g/g}$, dry wt.)

Areas	Fractions & C. R.	1	2	3	4	5	Mean \pm S. D.
Pal Dang	A	14.78	8.88	12.58	14.92	17.92	13.82 \pm 3.35
	B	17.38	16.14	21.22	19.30	11.76	17.16 \pm 3.58
	C	23.96	25.88	31.36	25.74	24.64	26.32 \pm 2.93
	C. R.	1.62	2.91	2.49	1.72	1.37	1.90
Wang Sook Chŏn	A	12.44	15.74	12.04	12.30	14.86	13.48 \pm 1.70
	B	15.74	16.96	13.28	14.10	18.06	15.63 \pm 1.97
	C	23.00	20.26	23.14	28.20	24.20	23.78 \pm 2.85
	C. R.	1.85	1.29	1.92	2.29	1.63	1.76
Uk Chŏn	A	17.38	16.82	29.02	21.08	14.50	19.76 \pm 5.69
	B	24.78	21.36	35.46	33.40	26.96	28.39 \pm 5.91
	C	38.88	40.94	40.94	44.92	46.56	42.45 \pm 3.17
	C. R.	2.24	2.43	1.41	2.24	3.21	2.15
Bul Kwang Chŏn	A	14.50	15.06	16.60	18.88	16.28	16.06 \pm 1.71
	B	25.74	27.52	24.36	28.20	29.02	26.97 \pm 1.89
	C	34.10	36.28	34.64	35.60	39.16	35.96 \pm 1.98
	C. R.	2.35	2.41	2.22	1.89	2.41	2.24

Table 5. Concentration of Cr in different size of sediment fractions and their contamination ratio
 (Unit : $\mu\text{g/g}$, dry wt.)

Areas	Fractions & C. R.	1	2	3	4	5	Mean \pm S. D.
Pal Dang	A	13.82	13.62	11.84	16.14	14.46	13.98 \pm 1.55
	B	16.42	14.76	12.52	18.44	16.92	15.81 \pm 2.26
	C	24.42	22.48	24.36	24.86	21.72	23.57 \pm 1.38
	C. R.	1.77	1.65	2.06	1.54	1.50	1.69
Wang Sook Chŏn	A	34.54	32.04	16.40	25.78	28.38	27.43 \pm 7.02
	B	44.74	42.04	25.66	32.34	46.36	38.23 \pm 8.88
	C	49.76	52.12	48.26	52.47	60.84	52.69 \pm 4.87
	C. R.	1.44	1.63	2.94	2.04	2.14	1.92
Uk Chŏn	A	20.22	22.98	24.28	31.90	23.18	24.51 \pm 4.39
	B	29.02	24.78	26.00	38.20	38.30	31.26 \pm 6.57
	C	41.18	45.30	57.94	69.38	68.24	56.41 \pm 12.90
	C. R.	2.04	1.97	2.39	2.17	2.94	2.30
Bul Kwang Chŏn	A	18.42	11.82	18.16	18.66	19.56	17.32 \pm 3.12
	B	19.84	13.68	24.52	21.88	21.84	20.35 \pm 4.08
	C	40.18	38.84	33.56	37.88	40.26	38.14 \pm 2.74
	C. R.	2.18	3.29	1.85	2.03	2.06	2.20

Level 60 $\mu\text{g/g}$ 이나, R. Lichtfuss 등이 발표한 59 $\mu\text{g/g}$ 보다 顯著히 낮은 濃度였다. 왕숙천은 A粒子가 27.43 $\mu\text{g/g}$, C粒子가 52.69 $\mu\text{g/g}$ 으로 汚染比 1.92를 나타냈으며, 옥천은 2.30, 불광천은 2.20으로 상류보다 약간 높았으나 이들 네 地域 모두 낮은 水準이었다.

Cu는 Table 6와 같이 팔당에서 A粒子가 18.48 $\mu\text{g/g}$, C粒子가 29.92 $\mu\text{g/g}$ 으로 汚染比 1.62를 나타냈으며, 왕숙천이 1.90, 옥천 2.16, 불광천이 1.75로 옥천이 다른 세 地域보다 약간 높게 나타났다.

Zn은 Table 7과 같이 팔당에서 A粒子가 44.4 $\mu\text{g/g}$, C粒子가 95.2 $\mu\text{g/g}$ 으로 汚染比는 2.14였으나 이 역시 Fuller 등이 발표한 Background Level 171 $\mu\text{g/g}$ 보다 顯著히 낮았으며, R. Lichtfuss 등이 발표한 94 $\mu\text{g/g}$ 과 類似한 水準이었다. 왕숙천은 A粒子가 96.8 $\mu\text{g/g}$, C粒子가 171.2 $\mu\text{g/g}$ 으로 汚染比 1.77을 나타냈으며, 下流인 옥천이 2.55, 불광천이 2.26으로 上流보다 약간 높게 나타났다.

Mn은 Table 8과 같이 팔당에서 A粒子가 165.0 $\mu\text{g/g}$, C粒子가 358.8 $\mu\text{g/g}$ 으로 汚染比 2.17을 나타냈으며, 왕숙천이 1.90, 옥천이 2.89, 불광천이 2.96으로 上流보다 약간 높게 나타났다.

以上과 같이 粒徑別 底質中 重金屬 含有量을 살

펴본 結果 對象地域의 汚染比는 모두 3以下로 比較的 낮게 檢出되어 이들 네 地域의 外部 起因性 人爲的 汚染이 比較的 적다는 것을 알 수 있었으나, 이 方法이 漢江 底質에 適用하기에는 底質 粒徑別 分布가 고르지 않아 여러 制限點을 갖고 있었다.

(2) 다음으로 Fuller 등이 言及한 上流地域을 Background Level로 하여 汚染度를 判斷하는 方法을 適用하기 위해 調查 對象 11個 地域中 上流인 팔당을 Background Level로 假定하고 74 μm 未滿 粒子中의 重金屬 濃度를 分析하여 汚染比를 算出한 結果 다음과 같았다.

Cd은 Table 9와 같이 팔당이 0.40 $\mu\text{g/g}$ 으로 매우 낮았으며, 이를 Background Level로 볼 때 相對的으로 다른 地域의 Cd濃도가 높은 것처럼 보이나, J. N. Beck 등에 의하면¹⁷⁾ Louisiana Calcasieu River에서 Cd의 Background Level이 0.3~1.4 $\mu\text{g/g}$ 이라고 하였다. 本 實驗對象 地域의 Cd濃도는 안양천을 제외하고는 大部分이 2.0 $\mu\text{g/g}$ 以下로 比較的 낮았으며, 汚染比는 2.73(왕숙천)~6.30(안양천)의 範圍를 나타냈다.

Pb은 Table 10처럼 팔당이 26.32 $\mu\text{g/g}$ 이었으며, 그의 地域도 안양천을 除外하고는 汚染比가 2.0이

Table 6. Concentration of Cu in different size of sediment fractions and their contamination ratio

(Unit : $\mu\text{g/g}$, dry wt.)

Areas	Fractions & C. R.	1	2	3	4	5	Mean \pm S. D.
Pal Dang	A	19.4	17.6	15.4	23.0	17.0	18.48 \pm 2.90
	B	24.0	20.0	21.6	27.6	24.0	23.44 \pm 2.88
	C	32.8	28.6	28.4	32.8	27.0	29.92 \pm 2.70
	C. R.	1.69	1.63	1.84	1.43	1.59	1.62
Wang Sook Chŏn	A	57.2	53.2	32.0	58.4	55.0	51.16 \pm 10.90
	B	79.8	71.8	44.4	86.4	95.4	75.56 \pm 19.46
	C	82.6	96.4	57.4	132.0	118.8	97.44 \pm 29.48
	C. R.	1.44	1.81	1.79	2.26	2.16	1.90
Uk Chŏn	A	59.8	56.0	76.6	60.8	70.6	64.76 \pm 8.53
	B	75.8	60.0	81.6	86.2	90.6	78.84 \pm 11.88
	C	106.4	140.6	145.2	164.0	141.8	139.60 \pm 20.83
	C. R.	1.78	2.51	1.90	2.70	2.01	2.16
Bul Kwang Chŏn	A	60.0	50.0	68.4	56.4	48.8	56.72 \pm 7.99
	B	65.6	58.0	71.0	62.5	51.0	61.62 \pm 7.59
	C	90.6	103.4	112.2	11.4	77.7	99.06 \pm 14.76
	C. R.	1.51	2.07	1.64	1.98	1.59	1.75

下로 낮게 나타났다.

Cr은 Table 11처럼 팔당이 23.57 $\mu\text{g/g}$ 이었으며, 汚染比도 안양천을 除外하고는 모두 3.0以下로 나타났다.

Cu는 Table 12처럼 팔당이 29.92 $\mu\text{g/g}$ 이었으며, 다른 重金屬에 비해 地域에 따른 變化가 커서 中랑천이 201.4 $\mu\text{g/g}$ 으로 比較的 높았고 안양천이 327.6 $\mu\text{g/g}$ 으로 가장 높게 나타났으며, 汚染比는

Table 7. Concentration of Zn in different size of sediment fractions and their contamination ratio
(Unit : $\mu\text{g/g}$, dry wt.)

Areas	Fractions & C. R.	1	2	3	4	5	Mean \pm S. D.
Pal Dang	A	37	36	63	59	27	44.4 \pm 15.71
	B	63	69	83	75	52	58.4 \pm 11.78
	C	102	88	118	90	78	95.2 \pm 15.34
	C. R.	2.76	2.44	1.87	1.53	2.89	2.14
Wang Sook Chŏn	A	113	107	56	105	103	96.8 \pm 23.11
	B	143	127	78	148	125	124.2 \pm 27.67
	C	157	174	129	211	185	171.2 \pm 30.68
	C. R.	1.39	1.63	2.30	2.01	1.80	1.77
Uk Chŏn	A	132	135	98	174	152	138.2 \pm 28.00
	B	159	212	120	314	168	194.6 \pm 74.33
	C	267	331	267	487	408	352.0 \pm 95.20
	C. R.	2.02	2.45	2.72	2.80	2.68	2.55
Bul Kwang Chŏn	A	96	86	103	172	143	120.0 \pm 36.24
	B	152	198	187	237	194	193.6 \pm 30.32
	C	255	306	267	283	242	270.6 \pm 24.91
	C. R.	2.66	3.56	2.59	1.65	1.69	2.26

Table 8. Concentration of Mn in different size of sediment fractions and their contamination ratio
(Unit : $\mu\text{g/g}$, dry wt.)

Areas	Fractions & C. R.	1	2	3	4	5	Mean \pm S. D.
Pal Dang	A	217	112	159	184	153	165.0 \pm 38.90
	B	328	216	185	337	184	250.0 \pm 76.47
	C	405	319	358	418	294	358.8 \pm 53.44
	C. R.	1.87	2.85	2.25	2.27	1.92	2.17
Wang Sook Chŏn	A	217	308	275	205	293	259.6 \pm 46.07
	B	234	402	353	429	325	348.6 \pm 75.87
	C	324	570	529	524	520	493.4 \pm 96.79
	C. R.	1.49	1.85	1.92	2.56	1.78	1.90
Uk Chŏn	A	212	179	194	107	124	163.2 \pm 45.48
	B	379	247	194	232	149	256.0 \pm 54.48
	C	538	431	410	464	518	472.2 \pm 45.91
	C. R.	2.54	2.41	2.11	4.34	4.18	2.89
Bul Kwang Chŏn	A	153	116	144	103	179	139.0 \pm 30.19
	B	270	231	277	282	216	255.2 \pm 29.73
	C	444	386	408	432	384	410.8 \pm 26.89
	C. R.	2.90	3.33	2.83	4.19	2.14	2.96

Table 9. Concentration of Cd in sediment (<74 μ m) of each sampling area and contamination ratio(C. R.)
(Unit : μ g/g, dry wt.)

Areas	1	2	3	4	5	Mean \pm S. D.	C. R.
Pal Dang	0.52	0.32	0.52	0.36	0.28	0.40 \pm 0.11	1.00
Wang Sook Ch \ddot{u} n	0.92	1.12	1.14	1.24	1.02	1.09 \pm 0.12	2.73
Tan Ch \ddot{u} n	1.32	1.54	1.52	1.26	1.24	1.38 \pm 0.14	3.45
Jung Rang Ch \ddot{u} n	1.74	1.80	1.78	2.12	2.10	1.91 \pm 0.19	4.78
Ban Po Ch \ddot{u} n	1.82	1.48	1.88	2.02	1.66	1.77 \pm 0.21	4.43
Uk Ch \ddot{u} n	1.74	1.76	1.68	1.94	2.02	1.83 \pm 0.14	4.58
Bul Kwang Ch \ddot{u} n	1.86	1.72	1.64	1.72	1.78	1.74 \pm 0.08	4.35
An Yang Ch \ddot{u} n	2.28	2.52	2.56	2.60	2.66	2.52 \pm 0.15	6.30
Nan Gi Sewage	1.46	1.36	1.76	1.60	1.56	1.55 \pm 0.15	3.88
An Yang Sewage	1.62	2.18	2.12	1.84	1.86	1.92 \pm 0.23	4.80
Chang N \ddot{u} ng Ch \ddot{u} n	1.56	1.54	1.16	1.18	1.14	1.32 \pm 0.21	3.30

Table 10. Concentration of Pb in sediment (<74 μ m) of each sampling area and contamination ratio
(Unit : μ g/g, dry wt.)

Areas	1	2	3	4	5	Mean \pm S. D.	C. R.
Pal Dang	23.95	25.88	31.36	25.74	24.64	26.32 \pm 2.93	1.00
Wang Sook Ch \ddot{u} n	23.00	20.26	23.14	28.20	24.22	23.78 \pm 2.85	0.90
Tan Ch \ddot{u} n	36.84	36.02	39.72	40.12	38.90	38.32 \pm 1.80	1.46
Jung Rang Ch \ddot{u} n	38.62	48.62	46.56	48.06	47.66	45.90 \pm 4.14	1.74
Ban Po Ch \ddot{u} n	33.40	36.84	38.62	35.18	33.40	35.49 \pm 2.26	1.61
Uk Ch \ddot{u} n	38.88	40.94	40.94	44.92	46.56	42.45 \pm 3.17	1.61
Bul Kwang Ch \ddot{u} n	34.10	36.28	34.64	35.60	39.16	35.96 \pm 1.98	1.37
An Yang Ch \ddot{u} n	103.14	106.98	105.88	105.74	104.24	105.20 \pm 1.51	4.00
Nan Gi Sewage	31.50	33.96	32.40	31.08	32.18	32.22 \pm 1.10	1.22
An Yang Sewage	34.78	39.30	40.40	42.04	39.98	39.30 \pm 2.72	1.49
Chang N \ddot{u} ng Ch \ddot{u} n	33.68	31.08	32.04	32.24	33.54	32.52 \pm 1.09	1.24

Table 11. Concentration of Cr in sediment (<74 μ m) of each sampling area and contamination ratio
(Unit : μ g/g, dry wt.)

Areas	1	2	3	4	5	Mean \pm S. D.	C. R.
Pal Dang	24.42	22.48	24.36	24.86	21.72	23.57 \pm 1.38	1.00
Wang Sook Ch \ddot{u} n	49.76	52.12	48.26	52.47	60.84	52.69 \pm 4.87	2.23
Tan Ch \ddot{u} n	49.78	47.90	49.28	55.80	47.76	50.10 \pm 3.30	2.13
Jung Rang Ch \ddot{u} n	52.50	70.80	76.40	77.94	61.72	67.87 \pm 10.69	2.88
Ban Po Ch \ddot{u} n	43.86	45.20	49.28	43.80	45.38	45.50 \pm 2.23	1.93
Uk Ch \ddot{u} n	41.18	45.30	57.94	69.38	68.24	56.41 \pm 12.39	2.39
Bul Kwang Ch \ddot{u} n	40.18	38.84	33.56	37.88	40.26	38.14 \pm 2.74	1.62
An Yang Ch \ddot{u} n	159.20	170.60	198.00	189.80	172.60	178.04 \pm 15.63	7.55
Nan Gi Sewage	27.38	25.92	29.68	24.40	25.04	26.48 \pm 2.11	2.13
An Yang Sewage	47.44	55.80	53.06	44.42	50.00	50.14 \pm 4.49	2.13
Chang N \ddot{u} ng Ch \ddot{u} n	47.86	39.26	32.12	31.96	38.06	37.85 \pm 6.51	1.61

1.94(창릉천)~10.95(안양천)의 범위를 나타냈다.

Zn은 Table 13처럼 팔당이 95.2 $\mu\text{g/g}$ 이었으며 Cu처럼 중랑천이 575.8 $\mu\text{g/g}$ 으로 比較的 높았고, 안양천이 925.6 $\mu\text{g/g}$ 으로 가장 높게 나타났으며, 汚染比는 1.80(왕숙천)~9.72(안양천)의 범위를 나타냈다.

Mn은 Table 14처럼 팔당이 358.8 $\mu\text{g/g}$ 이었으며 그 外 地域도 모두 그와 비슷하여 汚染比가 0.93(탄천)~1.57(옥천)로 나타났다.

以上과 같이 上流를 Background Level로 하여 汚染度를 評價하는 方法 역시 여러 制限點을 갖는다. 가장 큰 制限點은 Background Level을 정하는 方法인데 漢江의 경우 本流인 팔당 뿐 아니라

各 支川의 上流地點의 重金屬 濃度를 檢査하여 各 支川에 따른 Background Level이 設定되거나 이들의 平均이 算出되어야 할 것이며, 汚染比 評價에 대한 基準이 設定되어야 할 것이다.

또한 앞서 言及한 Hiromitsu Sakai 등이 粒徑別 汚染比는 漢江의 底質 特性上 適用하기 困難하며, Leonard 등의 Core Sampling測定 方法은 試料 採取의 어려움을 안고 있으며, Youger 등의 方法은 標準偏差로 汚染度를 評價하는 方法이 標準偏差 자체의 正確度나 問題가 되며, 그 方法이 正確히 提示되어 있지 않고, R. Lichtfuss 등의 微細한 粒子의 濃度를 Background Level로 한다는 것은 向後 이에 대한 研究 調査로 檢討해 보아야

Table 12. Concentration of Cu in sediment(< 74 μm) of each sampling area and contamination ratio
(Unit : $\mu\text{g/g}$, dry wt.)

Areas	1	2	3	4	5	Mean \pm S. D.	C. R.
Pal Dang	32.8	28.6	28.4	32.8	27.0	29.92 \pm 2.70	1.00
Wang Sook Chŏn	82.6	96.4	57.4	132.0	118.8	97.44 \pm 29.48	3.26
Tan Chŏn	140.8	95.4	139.2	134.4	92.4	120.44 \pm 24.36	4.03
Jung Rang Chŏn	202.0	183.6	184.6	196.4	240.4	201.40 \pm 23.16	6.73
Ban Po Chŏn	107.0	119.8	126.0	110.0	118.2	116.20 \pm 7.68	3.88
Uk Chŏn	106.4	140.6	145.2	164.0	141.8	139.60 \pm 20.83	4.67
Bul Kwang Chŏn	90.6	103.4	112.2	111.4	77.7	99.06 \pm 14.76	3.31
An Yang Chŏn	313.6	317.4	318.2	358.6	330.2	327.60 \pm 18.41	10.95
Nan Gi Sewage	93.2	89.2	93.4	87.8	86.6	90.04 \pm 3.12	3.01
An Yang Sewage	99.4	91.8	125.4	116.2	118.8	110.32 \pm 14.11	3.69
Chang Nŭng Chŏn	69.4	63.0	60.8	50.2	47.2	58.12 \pm 9.22	1.94

Table 13. Concentration of Zn in sediment(< 74 μm) of each sampling area and concentration ratio
(Unit : $\mu\text{g/g}$, dry wt.)

Areas	1	2	3	4	5	Mean \pm S. D.	C. R.
Pal Dang	102	88	118	90	78	95.2 \pm 15.34	1.00
Wang Sook Chŏn	157	174	129	211	185	171.2 \pm 30.68	1.80
Tan Chŏn	321	244	348	273	261	289.4 \pm 43.50	3.04
Jung Rang Chŏn	499	559	623	582	616	575.8 \pm 50.16	6.05
Ban Po Chŏn	386	434	394	462	429	421.0 \pm 31.10	4.42
Uk Chŏn	267	331	267	487	408	352.0 \pm 95.20	3.70
Bul Kwang Chŏn	255	306	267	283	242	270.6 \pm 24.91	2.84
An Yang Chŏn	923	989	864	904	948	925.6 \pm 46.88	9.72
Nan Gi Sewage	182	189	218	184	137	182.0 \pm 29.04	1.91
An Yang Sewage	246	370	368	372	394	350.0 \pm 59.08	3.68
Chang Nŭng Chŏn	119	96	75	64	73	85.4 \pm 22.14	0.90

Table 14. Concentration of Mn in sediment (<74 μ m) of each sampling area and concentration ratio
(Unit : μ g/g, dry wt.)

Areas	1	2	3	4	5	Mean \pm S. D.	C. R.
Pal Dang	405	319	358	418	294	358.8 \pm 53.44	1.00
Wang Sook Chŏn	324	570	529	524	520	493.4 \pm 96.79	1.38
Tan Chŏn	356	370	319	334	290	333.8 \pm 31.39	0.93
Jung Rang Chŏn	343	402	387	374	366	369.0 \pm 25.41	1.03
Ban Po Chŏn	550	586	547	566	568	563.4 \pm 15.71	1.57
Uk Chŏn	538	431	410	464	518	472.2 \pm 54.91	1.32
Bul Kwang Chŏn	444	386	408	432	384	410.8 \pm 26.89	1.14
An Yang Chŏn	448	511	422	452	452	457.0 \pm 32.68	1.27
Nan Gi Sewage	364	370	404	386	377	380.2 \pm 15.63	1.06
An Yang Sewage	453	507	426	472	390	449.6 \pm 44.49	1.25
Chang Nŭng Chŏn	428	409	345	374	361	383.4 \pm 34.31	1.07

할 것이다.

V. 結 論

漢江 底質中の 重金屬 汚染度を 評價하기 위해 外國의 여러 方法과 比較 考察해 본 結果 다음과 같다.

1. 粒徑別 重金屬 濃도에 따른 汚染比 算出 方法은 漢江의 底質 特性上 모든 地域에 適用하기에 制限點을 가지고 있는 것으로 判斷되며, 팔당, 왕숙천, 옥천, 불광천 등 4지역에 適用한 結果 重金屬 6項目 모두 汚染比가 3以下로 比較的 낮아 이들 地域의 外部 起因性 人爲의 汚染이 比較的 적은 것으로 나타났다.

2. 上流 地域의 重金屬 濃度を 基準으로 汚染比를 算出하는 方法을 底質 粒徑 74 μ m 未滿의 粒子를 대상으로 11개 地域으로 適用 實驗한 結果 汚染比는 Mn을 除外한 5개 重金屬에서 안양천이 다른 地域에 비해 比較적 높게 나타났으며, Mn은 全 地域에서 모두 낮게 나타났다.

3. 前述한 外國의 여러 評價 方法中 上流地域을 基準으로 汚染比를 算出하는 方法이 漢江 底質에 適用하기에 比較的 適合한 方法으로 判斷되며, 그러나 이 方法 역시 基準地域 設定과 汚染比에 대한 精確한 評價 基準 및 方法이 마련되어야 할 것으로 思料된다.

參 考 文 獻

- 1) R. Ramesh, V. Subramanian & R. Van Grieken : Heavy metal distribution in sediments of Krishna river basin, India, Environ, Geol. Water Sci., **15**(3), 207~216, 1990.
- 2) H. Leenaers : The Transport of Heavy metals during flood events in the polluted river Geul(The Netherlands), Hydrological Process, **3**, 325~338, 1989.
- 3) M. Kaiser, U. Irmer & K. Weiler : Monitoring of water quality : seasonal variations of heavy metals in sediment, suspended particulate matter and tubificids of the Elbe river, Environmental Technology Letters, **10**, 845~854, 1989.
- 4) W. T. Dickinson : Characteristics of sediment loads in Ontario streams, Can. J. Civ. Eng., **15**, 1067~1079, 1988.
- 5) M. G. Macklin, R. B. Dowsett : The chemical and physical speciation of trace metals in fine grained overbank flood sediments in the Tyne basin, North-East England, CATENA, **16**, 135~151, 1989.
- 6) D. Martincic, Z. Kwokal & M. Branica :

- Distribution of zinc, lead, cadmium and copper between different size fractions of sediments II, The Krka river estuary and the Kornati islands (Central Adriatic sea), *The Science of the Total Environment*, **95**, 217~225, 1990.
- 7) Wolfgang Lietz, Gottfried Galling : Metals from Sediments, *Wat. Res.* **23**(2), 247~252, 1989.
- 8) C. B. Dissanayake, H. J. Tobschall : The abundance of some major and trace elements from the Rhine river near Mainz, West Germany, *The Science of the Total Environment*, **29**, 243~260, 1983.
- 9) 坂井宏光 : 河川における水質および粒径別底質中 重金属の挙動と外部起因汚染の評価方法に関する研究, *用水と廢水*, **29**(12), 3~9, 1987.
- 10) Hiromitsu Sakai, Yutaka Kojima & Kazuo Saito : Distribution of heavy metals in water and sieved sediments in the Toyohira River, *Wat. Res.* **20**(5), 559~567, 1986.
- 11) Herbert L. Windom, etc : Natural trace metal concentrations in estuarine and coastal marine sediments of the Southeastern United States, *Environ. Sci. Technol.* **23**(3), 314~320, 1989.
- 12) Leonard Leoni, Franco Sartori : Trace element distributions in surficial sediments of the northern tyrrhenian sea : Contribution to heavy metal pollution assessment, *Environ. Geol. Water Sci.*, **17**(2), 103~116, 1991.
- 13) John D. Youger, William J. Mitsch : Heavy metal concentrations in ohio river sediments - longitudinal and temporal patterns, *Ohio J. Sci.*, **89**(5), 172~175, 1989.
- 14) R. Lichtfuss, G. Brümmer : Natürlicher gehalt und anthropogene anreicherung von schwermetallen in den Sedimenten von Elbe, Eider, Trave und Schwentine *CATENA*, **8**, 251~264, 1981.
- 15) 金鍾澤編 : 環境汚染公定試験法 解説, 新光出版社, 1986.
- 16) 環境處 : 廢棄物 公定試験法, 1991.
- 17) J. N. Beck etc : Heavy metal Content of sediment in the calcasieu river/Lake Complex, Louisiana, *Hydrobiologia*, **192**, 149~165, 1990.