

## 팔당호 표층 퇴적물에 함유된 중금속의 입도 의존성에 관한 연구

신경용 · 전상호<sup>†</sup>  
강원대학교 환경과학과

### A Study on Grain Size Dependency of Selected Heavy Metals in the Surface Sediment of Lake Paldang

Kyungyong Shin and Sangho Jun<sup>†</sup>

Department of Environmental Science, Kangwon National University, Chuncheon, Korea

#### ABSTRACT

**Objective:** The purpose of this study was to present the standard deviation of the elemental normalization of concentration of selected heavy metals in the surface sediment of Lake Paldang.

**Methods:** Grain size dependency of selected heavy metal concentrations in the surface sediments of Lake Paldang was analyzed by the extrapolation method. The heavy metal concentrations were the sum of all fractions.

**Results:** Cd and Cu showed an increase of the coefficient of determination( $r^2$ ) in the fractional content of particle size, from  $<256 \mu\text{m}$  to  $<20 \mu\text{m}$ , and a decrease from  $<20 \mu\text{m}$  to  $<1 \mu\text{m}$ . The normalized concentration of Cd and Cu by extrapolation at 50%  $<20 \mu\text{m}$  were 0.8 mg/kg, 37.0 mg/kg, 57.6 mg/kg and 201.7 mg/kg respectively.

**Conclusions:** The normalized concentrations in the sediment of Lake Paldang are 1.5-2.0 times higher than mean average concentration. We concluded that in interpretation of heavy metal concentration in the sediment of Lake Paldang, normalization of grain size dependency should be considered.

**Keywords:** grain size dependency, heavy metal, lake paldang, surface sediment

#### I. 서 론

퇴적물에 함유된 오염물질의 농도는 퇴적물의 조성 광물뿐만 아니라 입도 분포, 유기물 함량 등에 큰 영향을 받는다. 특히 퇴적물 내의 중금속 농도는 그 퇴적물이 가지는 입도 분포에 따라 큰 영향을 받으며, 대체로 퇴적물 입자의 표면적과 관계가 있고, 퇴적물 입자의 크기 감소는 표면적을 크게 증가시키고 이에 따라 표면 전하를 증가시켜 퇴적물의 오염물질 함량 증가의 원인으로 이해되고 있다.<sup>1-3)</sup>

일반적으로 퇴적물의 오염물질 농도는 오염원과의 거리보다 입자 분포에 의해 더 큰 영향을 받을 수

있다. 이러한 현상은 오염된 퇴적물에서 뿐만 아니라 인위적 영향을 받지 않은 퇴적물에서도 잘 나타나는 현상으로 알려져 있다.<sup>4)</sup>

따라서 한 호수나 하천에서 채취된 퇴적물이라도 그 입도 분포에 따라 중금속 함량이 크게 다르게 나타날 수 있어 퇴적물의 오염물질 농도의 해석에 어려움이 있다.

특히 퇴적물 시료를 채취할 때는 조사용 선박에서 채니기를 내려 채취하는 방법을 주로 사용하기 때문에 퇴적물을 직접 관찰하면서 채취하는 경우가 드물어 같은 장소에서 여러 번 시료채취를 하는 때에도 시료의 물리적 특성이나 화학적 특성이 크게 다른

<sup>†</sup>Corresponding author: Department of Environmental Science, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea, Tel: +82-33-250-8573, Fax: +82-33-251-3991, E-mail: junsang@kangwon.ac.kr

Received: 29 August 2012, Revised: 2 October 2012, Accepted: 16 October 2012

시료를 채취하는 경우가 많다.

퇴적물에 함유된 중금속 농도의 입자 크기에 따른 의존성은 여러 사람에 의해 연구되어 왔다. 입자의 크기에 따른 의존성은 62.5 혹은 4 μm 크기의 입자를 분리하여 분석하거나 입자의 크기나 인간의 활동에 영향을 비교적 적게 받는 알루미늄, 철, 리튬, 스칸디움, 세슘, 루비듐과 같은 보존성 원소의 함량에 대해 보정함으로써 줄일 수 있다.<sup>5-8)</sup> 또한 서울, 춘천, 횡성의 토양 중금속 농도에 미치는 입도 분포의 영향을 조사하여 토양에서도 선형 관계가 있다는 것을 밝힌 바 있다.<sup>9,10)</sup>

우리나라에서는 그동안 여러 호수에서 퇴적물의 중금속 함량이 측정되었지만 대부분의 경우 퇴적물 시료 중 망눈 2 mm 체를 통과한 시료에 대해 분석하는 방법을 사용하였다. 이런 분석방법은 시료마다 모래, 실트, 점토의 함량이 달라 퇴적물에 함유된 중금속의 농도가 오염현상을 나타내기 보다는 퇴적물 자체의 입도 분포 차이에 의한 영향(matrix effects)이 크게 나타나 오염의 정도를 비교하기 어려웠다. 본 연구에서는 팔당호 퇴적물에 함유된 중금속 중 환경부에서 지정한 유해중금속인 Cd와 Cu을 대상으로 총농도 및 존재형태별 농도, 입도분포를 구하여 입도분포가 중금속 농도에 미치는 영향을 알아보았다.

## II. 연구방법

### 1. 연구 대상 지역

팔당호는 경기도 광주시, 양평군, 남양주시에 위치하고 수도권 일원에 용수와 발전의 목적으로 1974년에 북한강, 남한강, 경안천이 합류되는 지점에서 약 7 km 하류 지점에 팔당댐을 축조함으로써 형성된 인공호이다(Fig. 1).

유역의 총면적은 23,618.3 km<sup>3</sup>이고, 북한강(45.3%), 남한강(52.3%), 경안천(2.4%)의 유역을 포함하고 있다. 만수면적은 38.2 km<sup>2</sup>로서 유역면적/저수면적비는 약 618.3으로 매우 크다.<sup>11)</sup> 유역의 연평균 강수량은 1,417 mm이고 일평균 강수량은 15.8 mm이다. 평균 유입량과 유출량은 각각 516.5 m<sup>3</sup>/s, 474.6 m<sup>3</sup>/s이다. 총저수량은 244.0×106 m<sup>3</sup>이고, 유효저수량은 18.0×106 m<sup>3</sup>이다. 평균 수심은 6.6 m이고, 최대 수심은 25.5 m이고, 하천 유입부에서 얕고, 댐 부근에서 가장 깊

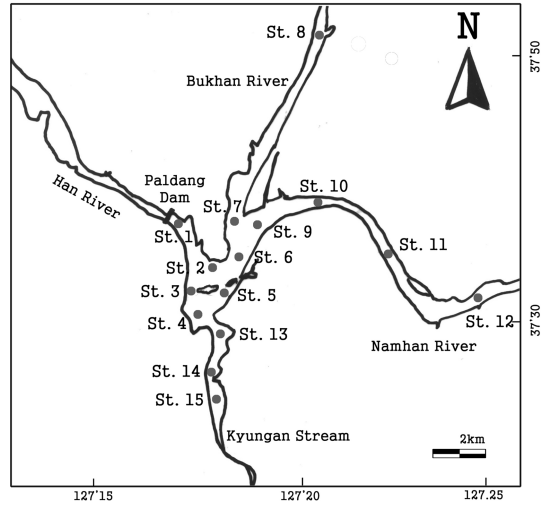


Fig. 1. The sampling sites in Lake Paldang.

으며, 평균 체류시간은 5.1일(0.12~22.8일)인 하천형 호수이다. 팔당호의 북한강과 경안천 유역의 모양은 주로 화강암이지만 남한강 유역에 석회암 지대가 상대적으로 많아 남한강에서는 북한강보다 alkalinity가 높은 물이 유입되고 있다.<sup>12)</sup>

### 2. 시료 채취 및 특징

팔당호 퇴적물의 표층시료는 2004년 4월 20일에 팔당댐 앞(site 1), 호수 중앙부(site 2, 3, 4, 5, 6), 북한강 지역(site 7, 8), 남한강 지역(site 9, 10, 11, 12), 경안천 지역(site 13, 14, 15)의 총 15개의 지점을 조사용 선박에서 petite ponar grab sampler를 사용하여 시료를 채취하였다.

### 3. 입도분석

퇴적물의 조직을 알아보기 위하여 입도분석을 하였고, 퇴적물의 입도분석은 분석에 영향을 미치는 요소를 제거하기 위하여 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>를 이용한 유기물 제거, Oxalic Acid와 알루미늄을 이용한 산화철 제거 후 laser beam을 조사하여 입자에 의해 특정 파장의 산란되는 정도를 측정하여 측정하는 입도 분석기(Mastersizer 2000, Malvern Ins.)를 이용하여 입경별 함량을 구하였고, 평균 입도(mean), 분급도(sorting), 왜도(skewness), 첨도(kurtosis)는 Folk and Ward<sup>13)</sup>의 분류방법을 따라, 조직분류(texture)는 Shepard<sup>15)</sup>의 방법을 따라 구하였다.

**Table 1.** Textural characteristics of sediments of Lake Paldang

Area	fraction Sites	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	mean (Ø)	sorting	skewness	kurtosis	50% grain size(µm)	texture
Paldang Dam	Site 1	51.2	44.2	4.6	2.8	1.86	0.44	0.90	63.25	siltysand
	Site 2	44.2	54.4	1.4	4.2	1.13	0.21	1.30	57.21	sandysilt
	Site 3	9.2	84.5	6.4	6.0	1.75	0.20	0.95	30.23	silt
Central area of Lake	Site 4	1.3	90.6	8.2	5.8	1.71	0.26	0.95	23.96	silt
	Site 5	19.2	76.2	4.6	5.9	1.68	0.21	1.00	35.79	silt
	Site 6	51.0	46.8	2.2	3.5	2.08	0.12	0.96	66.48	siltysand
Bukhan River	Site 7	73.7	25.4	0.9	2.4	1.95	0.42	0.78	171.10	siltysand
	Site 8	46.2	52.0	1.8	4.2	1.63	0.08	1.36	59.45	sandysilt
	Site 9	24.9	71.2	3.9	3.0	1.96	0.14	0.89	31.75	sandysilt
Namhan River	Site 10	84.7	14.8	0.5	2.0	1.57	0.64	2.12	259.14	sand
	Site 11	64.3	35.6	0.1	3.1	2.11	0.16	0.91	122.00	siltysand
	Site 12	81.1	18.8	0.1	3.0	2.02	0.17	0.91	124.99	sand
Kyeongan Stream	Site 13	11.8	79.8	8.4	4.9	2.05	0.13	1.21	23.98	silt
	Site 14	14.5	81.2	4.3	5.2	1.75	0.30	1.09	35.47	silt
	Site 15	65.4	33.4	1.2	3.3	1.69	0.05	1.01	123.48	siltysand
Mean		42.8	53.9	3.2	4.0	1.8	0.2	1.1	81.9	sandysilt

#### 4. 중금속 농도와 총량

중금속의 존재형태별 농도는 추출된 여액을 64 µm membran filter로 여과한 후 ICP-MS(Ultramass 700, Varian)를 이용하여 adsorbed, carbonate, reducible, organic/sulfidic, residual fraction을 분석했고, 총량은 각 존재형태별 중금속량의 합으로 구하였다.<sup>14)</sup>

#### 5. 퇴적물의 중금속 함량에 영향을 크게 미치는 입도의 결정

중금속 농도에 대한 입도의 영향은 팔당호 퇴적물 시료 중에 입자의 직경을 1.95 Ø (256 µm), 2.97 Ø (128 µm), 3.97 Ø (64 µm), 4.64 Ø (40 µm), 4.80 Ø (36 µm), 4.97 Ø (32 µm), 5.16 Ø (28 µm), 5.38 Ø (24 µm), 5.64 Ø (20 µm), 5.97 Ø (16 µm), 6.38 Ø (12 µm), 6.97 Ø (8 µm), 7.97 Ø (4 µm), 8.97 Ø (2 µm), 9.97 Ø (1 µm)로 구분하여 특정 입자 크기 이하의 함량비와 중금속 농도와의 상관관계를 이용하여 결정계수를 알아보고 각각의 결정계수를 이용해 입자 크기 변화에 따른 결정계수의 변화를 조사하여 중금속 농도에 가장 큰 영향을 미친 입자의 크기를 알아보았다.

#### 6. 입도 보정을 통한 총중금속의 대표 농도

팔당호 퇴적물에 함유된 중금속의 총농도에 가장

큰 영향을 미치는 퇴적물의 입자의 크기를 찾아 그 입자 크기 이하의 함량과 중금속 총량과의 상관관계를 나타낸  $y=ax+b$  형태의 직선 회귀식을 구하였다. 구한 회귀식을 이용해 특정 입경이하의 함량비를 50%로 표준화하여 중금속의 대표 농도를 구하였다.

### III. 결과 및 고찰

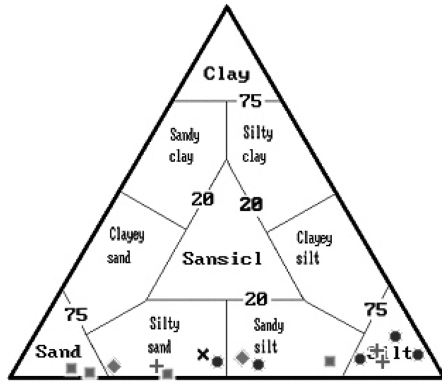
#### 1. 입도분석

유역별로 살펴보면 북한강과 남한강 지역은 다른 지역에 비해 sand의 함량이 가장 높게 나타났는데 이것은 상류지역의 하폭이 좁고 홍수시 유속 증가와 지질적 특성에 의한 것으로 사료된다. 중앙부에서는 silt의 함량이 높게 나타났는데 이는 강의 수심이 깊고 유속이 느려 미세한 입자들이 퇴적된 것으로 사료된다. 경안천 지역은 남한강이나 북한강 보다 유속이 느려 silt의 함량이 많은 것으로 사료된다.

Table 1에 팔당호 표준퇴적물의 입도 분석 자료를 나타내었고 Fig. 2에 입도 분포를 나타내었다.

#### 2. 중금속 존재형태별 농도와 총량

Cd는 유역의 침식과 관련된 부분이 가장 많았고, Cu는 호기성 상태에서 유기물의 분해시 용출되는 형



×: Paldang Dam ●: Central area of Lake ◆: Bukhan River  
■: Namhan River +: Kyungan Stream

Fig. 2. Diagram showing the texture in sediments of Lake Paldang.

태가 많았다. 중금속의 오염 형태를 인위적인 오염과 관련이 큰 부분과 자연 함유량을 비율로 나눠보면 Cd 자연 함유량이 높고, Cu은 인위적인 오염과 관련이 큰 부분이 높다. 팔당호 퇴적물에 함유된 중금속 Cd, Cu의 존재형태와 총량의 분포는 다음과 같다.

1) Cd

팔당호 표층퇴적물에 함유된 Cd의 존재형태별 평균 농도는 adsorbed, carbonate, reducible, organic/sulfidic, residual fraction이 각각 12.5 µg/kg, 7.9 µg/kg, 91.1 µg/kg, 86.7 µg/kg, 229.6 µg/kg이고 Cd의 총량은 427.8 µg/kg이다.

총량에 대한 함량 비율은 adsorbed, carbonate, reducible, organic/sulfidic, residual fraction이 각각 2.9%, 1.8%, 21.3% 20.3%, 53.7%로 residual fraction이 가장 많고, adsorbed, carbonate fraction이 낮은 비율로 나타났다. 중금속의 존재형태별 비율로 보아 팔당호 퇴적물에 함유된 Cd의 가장 중요한 근원은 유역의 암석이나 토양의 침식에 의한 부분이고, 수층의 중금속이 흡착에 의해 침전된 부분과 석회암의 침전과 관련된 부분의 비율은 매우 낮았다.

팔당호 표층 퇴적물에 함유된 Cd의 존재형태를 지역별로 보면 댐 앞과 호수 중앙부와 경안천 지역에서 총량이 각각 0.54 mg/kg, 0.58 mg/kg, 0.47 mg/kg로 높게 나타나고 북한강, 남한강 지역에서 총량은 각각 0.28 mg/kg, 0.26 mg/kg으로 상대적으로 낮게 나

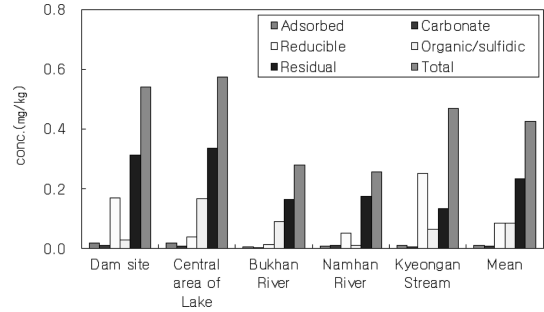


Fig. 3. Total and fractional Cd concentration in sediment of Lake Paldang.

타난 것으로 보아 경안천 지역의 팔당호 유입이 댐 앞과 호수 중앙부의 오염의 원인으로 나타났다. 비율로 보면 팔당댐 앞, 호수 중앙부, 북한강, 남한강 지역은 residual fraction이 각각 57.9%, 61.0%, 64.1%, 69.5%로 대부분을 차지하고 있어 Cd의 존재형태의 대부분이 그 지역의 광물의 결정 구조 속에 존재하는 중금속으로 사료된다. 경안천 지역은 reducible fraction이 54.4%로 대부분을 차지하고 있어 Cd의 총량의 많은 부분이 유기물 분해에 의한 혐기성 상태에서 많은 양이 용출될 가능성이 있다.<sup>16)</sup> 댐 앞의 reducible fraction은 경안천의 영향을 받은 것으로 사료된다.

인위적인 오염과 관련이 큰 부분인 fraction은 adsorbed fraction, reducible fraction, organic fraction으로 총량의 44.5%로 나타났다 차지하며 0.190 mg/kg의 Cd이 퇴적물에서 수층으로 용출 가능성이 있다. 자연 함유량으로 간주되는 fraction은 carbonate fraction과 residual fraction으로 총량의 55.5%를 차지하며 0.237 mg/kg가 자연 함유량으로 나타났다. 팔당호 표층퇴적물에 함유된 Cd은 인위적인 오염보다는 자연 함유량이 더 큰 것으로 나타났다.

지역별로 보면 댐 앞, 호수 중앙부, 북한강 지역, 남한강 지역에서 인위적인 오염이라 간주되는 fraction은 총량의 25.7~40.2%를 차지하고 자연 함유량이라 간주되는 fraction은 총량의 59.8~74.3%를 차지해 Cd의 많은 부분이 자연 함유량으로 조사되었고 경안천 지역은 인위적인 오염이라 간주되는 fraction이 총량의 69.7%, 자연 함유량이라 간주되는 fraction은 총량의 30.3%를 차지해 Cd의 총량 중 많은 부분이 인위적인 오염의 형태로 나타났다.

2) Cu

팔당호 표층퇴적물에 함유된 Cu의 존재형태별 평균 농도는 adsorbed, carbonate, reducible, organic/sulfidic, residual fraction이 각각 0.9 mg/kg, 1.3 mg/kg, 2.8 mg/kg, 9.5 mg/kg, 8.2 mg/kg이고 Cu의 총량은 22.7 mg/kg이다.

총량에 대한 함량 비율은 adsorbed, carbonate, reducible, organic/sulfidic, residual fraction이 각각 4.1%, 5.9%, 12.1%, 42.0%, 35.9%로 organic/sulfidic fraction이 가장 많고 그 다음으로 residual fraction이 많고, adsorbed, carbonate fraction이 낮은 비율로 나타났다. 중금속의 존재형태별 비율로 보아 팔당호 퇴적물에 함유된 Cu의 가장 중요한 근원은 유기물에 흡착되거나 유기물 분해에 의해 황화물로 존재하는 중금속의 부분과 유기물의 암석이나 토양의 침식에 의한 부분이고, 수중의 중금속이 흡착에 의해 침전된 부분과 석회암의 침전과 관련된 부분의 비율은 매우 낮았다.

팔당호 표층 퇴적물에 함유된 Cu의 존재형태를 지역별로 보면 댐 앞과 경안천 지역에서 총량이 각각 30.9 mg/kg, 30.7 mg/kg으로 높게 나타났고 북한강, 남한강 지역에서 총량이 각각 17.0 mg/kg, 17.3 mg/kg으로 상대적으로 낮게 나타난 것으로 보아 경안천 지역의 팔당호 유입이 댐 앞과 호수 중앙부의 오염의 원인으로 사료된다. 팔당댐 앞, 호수 중앙부는 organic/sulfidic, residual fraction이 각각 40.8%, 40.3%, 북한강 지역은 34.2%, 37.4%, 남한강 지역은 37.9%, 42.1%로 비슷한 양으로 대부분을 차지하고 있어 Cd의 존재형태의 대부분이 유기물에 흡착되어 있는 중금속이거나 그 지역의 광물의 결정 구조 속에 존재하는 중금속으로 사료된다. 경안천 지역은 organic/sulfidic이 48.9%로 반 정도를 차지하고 있는 것으로 보아 Cu의 총량의 반 정도가 유기물과 흡착되어있는 중금속으로 사료된다.<sup>16)</sup> 댐 앞과 호수 중앙부의 organic/sulfidic fraction은 경안천의 영향을 받은 것으로 사료된다.

인위적인 오염과 관련이 큰 부분인 fraction은 adsorbed fraction, reducible fraction, organic fraction으로 총량의 58.2%를 차지하며 13.2 mg/kg의 Cu가 퇴적물에서 수층으로 용출 가능성이 있다. 자연 함유량으로 간주되는 fraction은 carbonate fraction과 residual fraction으로 총량의 41.8%를 차지하며 9.5 mg/kg가

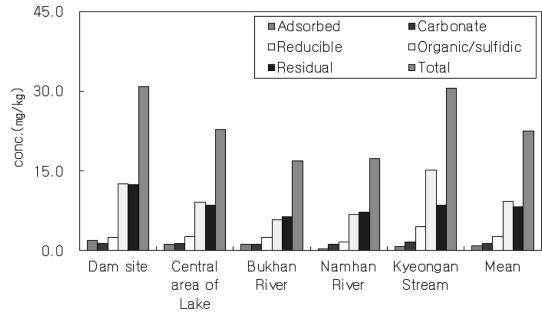


Fig. 4. Total and fractional Cu concentration in sediment of Lake Paldang.

자연 함유량으로 보인다. 팔당호 표층퇴적물에 함유된 Cu는 자연 함유량보다는 인위적인 오염이 더 큰 것으로 나타났다.

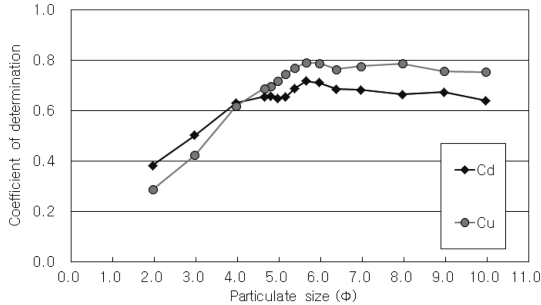
지역별로 보면 댐 앞, 호수 중앙부, 북한강 지역, 남한강 지역에서 인위적인 오염이라 간주되는 fraction은 총량의 50.8~55.8%를 차지하고 자연 함유량이라 간주되는 fraction은 총량의 44.2~49.2%를 차지해 Cu의 반 정도가 인위적인 오염으로 조사되었고, 경안천 지역은 인위적인 오염이라 간주되는 fraction이 총량의 66.2%, 자연 함유량이라 간주되는 fraction은 총량의 33.8%를 차지해 Cu의 총량 중 많은 부분이 인위적인 오염으로 나타났다.

3. 퇴적물 입도 분포와 중금속 함량과의 관계

팔당호 표층퇴적물 시료에서 입도조성이 중금속 농도에 어느 정도 영향을 미치는지 알아보기 위하여 퇴적물 입경 분포와 중금속 농도와의 상관관계를 알아보았고 입도는 각각 1.95  $\phi$  (256  $\mu$ m), 2.97  $\phi$  (128  $\mu$ m), 3.97  $\phi$  (64  $\mu$ m), 4.64  $\phi$  (40  $\mu$ m), 4.80  $\phi$  (36  $\mu$ m), 4.97  $\phi$  (32  $\mu$ m), 5.16  $\phi$  (28  $\mu$ m), 5.38  $\phi$  (24  $\mu$ m), 5.64  $\phi$  (20  $\mu$ m), 5.97  $\phi$  (16  $\mu$ m), 6.38  $\phi$  (12  $\mu$ m), 6.97  $\phi$  (8  $\mu$ m), 7.97  $\phi$  (4  $\mu$ m), 8.97  $\phi$  (2  $\mu$ m), 9.97  $\phi$  (1  $\mu$ m)로 하였다.

팔당호 퇴적물 입도 분포가 중금속 중 Cd과 Cu의 총합량에 어느 정도 영향을 미치는지 알아보기 위하여 각각의 입도 분포와 Cd과 Cu의 총량과의 상관관계를 구하였다.

팔당호 표층퇴적물의 특정 입도 크기 이하와 각 중금속들의 결정계수는 1.95  $\phi$  (256  $\mu$ m) 이하의 퇴적물 입자 입도 함량에서 가장 낮고 5.97  $\phi$  (16  $\mu$ m) 또는 5.64  $\phi$  (20  $\mu$ m) 이하의 퇴적물 입자 입도 함량



**Fig. 5.** Distribution of coefficient of determination ( $r^2$ ) against the fractional contents of specific grain size and total metal concentrations.

까지 대체로 증가하여 가장 높은 결정계수 값을 보였고 다시 9.97  $\phi$  (1  $\mu\text{m}$ ) 이하의 퇴적물 입자 입도 함량까지 대체로 감소하는 경향을 보였고 그 경향을 Fig. 5에 나타내었다.

팔당호 표층퇴적물에 함유된 Cd과 Cu 모두 5.64  $\phi$  (20  $\mu\text{m}$ ) 이하의 퇴적물 입자 입도 함량에서 가장 높은 결정계수 값인 0.716, 0.789으로 나타났다. 결정계수가 모두 0.7 이상으로 퇴적물 입자 입도 함량이 중금속 농도와의 관계의 70% 이상을 설명해 주기 때문에 퇴적물에 함유된 중금속의 농도를 결정하는데 가장 영향이 큰 퇴적물 입자 입도 함량은 5.64  $\phi$  (20  $\mu\text{m}$ )이하라고 볼 수 있다.

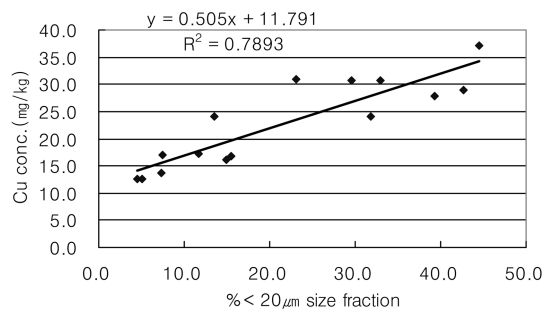
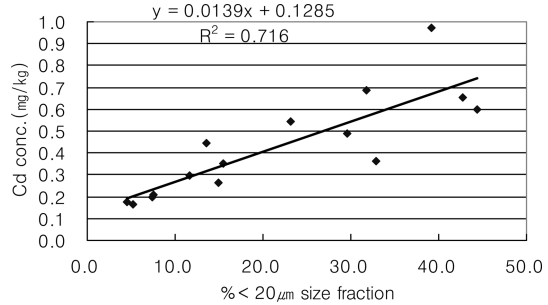
#### 4. 입도 보정을 통한 총중금속의 대표 농도

팔당호 퇴적물에 함유된 중금속의 총농도에 가장 큰 영향을 미치는 퇴적물의 입자의 특성은 입경 5.64  $\phi$  (20  $\mu\text{m}$ )이기 때문에 5.64  $\phi$  (20  $\mu\text{m}$ ) 이하의 함량 일 때의 상관관계 식은 다음 Fig. 6에 나타내었고 Cd는  $y=0.01x+0.13$ , Cu는  $y=0.51x+11.79$ 이다. 각 식에 5.64  $\phi$  (20  $\mu\text{m}$ ) 이하의 함량이 50%라고 가정할 때 퇴적물에 함유된 중금속의 대표 농도는 Cd는 0.8 mg/kg, Cu는 37.0 mg/kg이다.

### IV. 결 론

팔당호 표층 퇴적물 내 함유된 중금속의 존재형태 별 농도 및 총농도에 대한 유기물 함량 및 입도 분포와의 결정계수를 알아본 결과와 토의를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 팔당호 퇴적물의 중금속의 존재형태를 살펴보



**Fig. 6.** Distribution of grain size effects by extrapolation from grain size distribution(% < 20 $\mu\text{m}$ ).

면 북한강, 남한강 지역은 자연적인 함유량이 많고 경안천 지역은 인위적인 함유량이 더 많은 것으로 나타났다.

2. 시료 채취지역 퇴적물의 유기물 함량과 입자의 크기의 영향 중 입자의 크기가 퇴적물 중금속 농도에 더 큰 영향을 미쳤다.

3. 퇴적물 중금속의 총농도와 특정 크기보다 작은 입자의 함량 비율의 관계는 선형(linear)으로 나타났고 가장 큰 영향을 미치는 퇴적물의 입자의 크기는 입경 5.64  $\phi$  (20  $\mu\text{m}$ ) 이하의 입자의 함량으로 나타났다.

4. 퇴적물 중금속 중 Cu의 reducible, organic/sulfidic fraction은 대부분 입경 5.97  $\phi$  (16  $\mu\text{m}$ ) 전후의 특정 입자 크기보다 작은 입자 함량 비율에서 농도와 상관성을 설명할 수 있다.

5. 팔당호 퇴적물에 함유된 중금속의 총량을 입경 20  $\mu\text{m}$  이하의 함량비를 50%로 표준화한 값은 Cd는 0.8 mg/kg, Cu는 37.0 mg/kg으로 실측값 보다 약 1.5~2.0배 높게 나타났다.

6. 현행 퇴적물 중금속농도 측정방법에는 퇴적물 입자의 영향에 대한 고려가 필요한 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. Frstner U, W, Calmano, Schoer J. Metals in sediments from the Elbe, Weser and Ems Estuaries and from the German Bight: grain size effects and chemical forms. *Thalassia Jugosi.* 1982; 12: 30-8.
2. Sakai H, Y. Kojima and K. Saito. Distribution of heavy metals in water and sieved sediment in the Toyohira River. *Wat. Res.* 1986; 20: 559-67.
3. Bubb, J. M. T. Rudd & J. N. Lester. Distribution of heavy metals in the River Tare and its associated broads. III. Lead and Zinc. *Sci. Total Envir.* 1990; 102: 189-208.
4. Jun SH, Park YA. Forms and mobility of sediment phosphorus in Lake Soyang. *Korean J. Limnol.* 1990; 23(2): 139-40.
5. Grant. A. and Middleton R. An assessment of metal contamination of sediments in the Humber Estuary, U. K. *Estuar. coast. Shelf Sci.* 1990; 31: 71-85.
6. Loring. D. H and R. T. T. Rantala, Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. *Earth-Sci. Rew.* 1992; 32: 235-83.
7. Windom H. L. Contamination of the marine environment from land-based source. *Mar. Poll. Bull.* 1992; 25(4): 32-6.
8. Daskalakis. K. D and T. P. O'Connor. Normalization and elemental sediment contamination in the coastal United States. *Envi. Sci. Technol.* 1995; 29: 470-7.
9. Lim HC. A study on Grain-size Normalization of Acid Extractable Heavy Metal Contents in Soils [dissertation]. [Chuncheon]: Kangwon University; 2002.
10. Jun SH, Choi NH, Kim SO (1996). A Study on Normalization of Heavy Metal Contents in Soils. *Korean J. Soil Sci.* 1996; 87-98.
11. Kong DS. Limnological and ecological studies of lake Paldang [dissertation]. [Seoul]: Korea University; 1992.
12. NIER. Modeling water quality of Pal-Dang reservoir(II), 1989.
13. Folk R. L. and Ward W. C. Brazos River Bar, A Study in the Significance of Grain Size Parameter. *J. Sed. Pet.* 1957; 27: 3-27.
14. Tessier A, Campbell P. G. C. and Bisson, M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Analytical Chemistry.* 1979; 51: 844-51.
15. Shepard F. P. Nomenclature Based on Sand-Silt-Clay Ratios. *J. Sed. Pet.* 1954; 24: 151-58
16. Salomons W., Frstner U., Mader P. Heavy metals problems and solutions. Springer. 1994; 412.