

## 부산시 인근 7번국도 도로변 퇴적물의 미량원소 거동 특성 연구

이평구<sup>1)\*</sup> · 강민주<sup>1,2)</sup> · 염승준<sup>1)</sup> · 이육중<sup>1)</sup>

### 1. 서론

연구지역인 부산시 회동저수지 집수분지 내 도로변 퇴적물은 빗물과의 물리화학적 작용에 의해 중금속이 이온형태(dissolved phase)로 용출되어 우수관을 통해 수영강 및 회동저수지로 직접 유입됨으로써 하천 및 저수지 수질에 악영향을 끼칠 수 있다. 또한 세립질의 입자형태(particulate phase)로 유입되어 중금속이 하천 및 저수지 바닥에 퇴적되어 다시 수중으로 재용출될 수 있으므로 잠재적인 수질 오염원으로 작용할 수 있다. 본 연구의 목적은 부산시민이 식수원으로 사용하고 있는 회동저수지 집수유역 내 도로변 퇴적물을 대상으로 미량원소의 함량을 파악하고 연속추출방법을 이용한 미량원소의 지구화학적 존재형태 연구를 수행함으로써 오염된 도로변 퇴적물이 빗물과 반응하거나 회동저수지에 퇴적된 이후 발생할 수 있는 미량원소의 재용출로 인한 이동도를 규명하고자 한다.

### 2. 시료채취 및 연구방법

회동저수지 집수분지 내의 차량 통행량을 고려하여 통행량이 비교적 많은 7번 국도를 중심으로 총 34개 지점에서 2004년 5월과 7월 및 2005년 7월 등 3차례 도로변 퇴적물 시료를 채취하였다. 중금속 함량은 2 mm 체(sieve)로 체질하여 통과한 시료를 대상으로 분석하였다. 총함량 분석 방법은 시료 1 g에 질산(HNO<sub>3</sub>) 5 ml를 넣은 뒤 온도 110℃에서 완전히 증발시킨 후, 과염소산(HClO<sub>4</sub>)과 질산(1:5 비율)의 혼합산을 10 ml를 넣고 흰색의 연기가 완전히 없어질 때까지 증발시킨다. 이후, 6N HCl를 10 ml를 넣고 30분간 끓이며, 실온까지 냉각시킨 후 0.45 μm로 여과하였다. 본 연구에서는 Tessier et al.(1979)이 제시한 연속추출법을 이용하여 중금속 원소의 화학적 존재형태를 연구하였다. 연속추출법에 사용된 시료들은 시료의 위치와 총함량을 고려하여 5개를 선택하였고 입도별 중금속의 존재형태 차이를 규명하기 위해 2개의 시료를 5단계(2 mm-200 μm, 200-100 μm, 100-63 μm, 63-20 μm 및 20 μm이하) 입도로 분리하여 사용하였다. 중금속 함량의 분석은 고려대학교 전략광물센터의 ICP-AES(Perkins-Elmer Optima 3000XL)를 이용하였다.

### 3. 연구결과 및 토의

#### 3.1. 도로변 퇴적물의 미량원소 총함량 분석

부산 회동저수지 주요 도로변 34개 지점에서 채취한 도로변 퇴적물의 미량원소 함량을 분석한 결과, 아연 78-1,770 μg/g(평균 577 μg/g), 납 26-550 μg/g(평균 131 μg/g), 구리 18-795 μg/g(평균 160 μg/g), 니켈 10-205 μg/g(평균 30 μg/g), 크롬 9-408 μg/g(평균 49 μg/g), 비소 n.d.-27.5 μg/g(평균 7.3 μg/g) 및 카드뮴 0.5-4.0 μg/g(평균 1.8 μg/g)이었다. 오염되지 않은 회동저수지 집수유역 내 하천퇴적물의 미량원소 평균함량과 비교하면, 집수유역 내 국도

**주요어:** 도로변 퇴적물, 7번국도, 회동저수지, 중금속

1) 한국지질자원연구원 (pklee@kigam.re.kr, sjyoum@kigam.re.kr, 28251wj@hanmail.net)

2) 충북대학교 지구환경과학과(1nanikka@hanmail.net)

도로변 퇴적물은 구리 7배, 아연 4배, 납과 크롬 3배 및 비소와 니켈이 2배 높은 것으로 나타났다으며 카드뮴 함량은 유사하였다.

### 3.2. 미량원소의 지구화학적 존재형태

아연은 전체 아연 함량의 평균  $51.4 \pm 7.3\%$  (39.6–57.6%)가 비정질 산화철광물형태(F 3)와 수반된 것으로 밝혀졌으며 다음으로는 잔류형태(F 5)와 탄산염광물 형태(F 2)로 존재하는 함량이 각각 평균  $22.1 \pm 15.0\%$  (10.2–43.0%) 및  $21.0 \pm 11.5\%$  (7.3–32.6%)로 서로 유사하였다. 유기물 및 황화광물형태(F 4)와 양이온교환형태(F 1)로 존재하는 아연함량은 전체 아연함량의 5% 미만이었다. 구리는 F4가 평균  $41.1 \pm 14.5\%$  (22.8–54.2%)이었으며, FV  $35.3 \pm 18.5\%$  (11.8–57.0%), FIII  $14.8 \pm 9.1\%$  (1.3–22.2%), FII  $6.9 \pm 4.1\%$  (1.3–10.6%) 및 FI 평균  $1.9 \pm 1.6\%$  (0.3–4.6%)이었다. 납은 FIII가 평균  $45.2 \pm 7.9\%$  (32.9–52.8%), FII  $17.6 \pm 10.9\%$  (7.7–34.5%), FV  $15.8 \pm 9.7\%$  (5.2–29.0%), FI  $14.9 \pm 9.3\%$  (6.6–30.7%) 및 FIV  $6.5 \pm 2.3\%$  (4.7–10.4%)이었다. 니켈은 FV 형태가 평균  $40.2 \pm 5.2\%$  (35.0–47.3%), FI  $25.8 \pm 4.7\%$  (18.1–30.6%), FII  $21.2 \pm 1.0\%$  (20.0–22.7%), FIII  $8.0 \pm 5.0\%$  (1.6–13.6%) 및 FIV  $4.7 \pm 1.3\%$  (3.3–6.4%)이었다. 카드뮴은 FI이 평균  $29.3 \pm 7.0\%$  (17.1–34.0%), FII  $22.9 \pm 3.4\%$  (17.1–25.5%), FIII  $21.3 \pm 7.0\%$  (17.3–33.7%)로 7번국도 도로변 퇴적물에 오염된 카드뮴은 상대적으로 이동도(mobility)가 가장 높을 것으로 판단된다. 크롬은 FV가  $45.0 \pm 9.6\%$  (31.4–55.6%), FIII  $30.4 \pm 12.1\%$  (11.1–43.3%), FI  $11.8 \pm 4.3\%$  (6.5–18.1%)이었다.

7번국도변 퇴적물에 존재하는 아연과 납은 주로 비정질 산화철광물과 탄산염광물에 의해 고정되며, 구리는 유기물과 잔류형태, 니켈과 크롬은 잔류형태가 가장 효과적임을 지시한다. Lee et al., (2005) 등의 서울시 도로변에서 채취한 퇴적물의 미량원소 존재형태와 비교할 결과, 7번국도 도로변 퇴적물의 카드뮴, 니켈 및 납의 함량은 낮지만 양이온교환형태가 상대적으로 높아 잠재적인 생체흡수도가 높은 원소인 것으로 나타났으며, 오염 확산이 가장 우려되는 원소인 것으로 밝혀졌다. 서울시 도로변에서 채취한 퇴적물과 7번국도 도로변 퇴적물에 존재하는 아연은 모두 비정질 산화철광물과 탄산염광물로 존재하는 아연이 전체 아연 함량의 70%를 넘으며, 도로변 퇴적물에 존재하는 비정질 산화철광물과 탄산염광물의 침전반응이 2차적인 오염 원인으로 오염된 아연을 고정시키는 주요 메커니즘인 것임을 지시한다.

토양과 퇴적물에서 금속원소의 이동도와 생체흡수도는 일반적으로 연속추출법의 단계가 증가할수록(즉, F 1단계에서 F 5단계) 감소한다는 것으로 알려져 있으며, 이는 연속추출법의 F 1단계에서 F 5단계까지 사용하는 단계별 반응용액의 반응도(reactivity)가 크게 증가하기 때문이다 (Tessier et al., 1979; Banerjee, 2003; Lee et al., 2005). 양이온교환형태와 탄산염광물 형태의 함을 고려하면, 7번국도변 도로변 퇴적물에서 분석된 각 금속원소의 상대적인 이동도와 생체흡수도는 다음의 순서로 감소하는 경향이 관찰되었다: 카드뮴>니켈>납>아연>크롬>구리.

### 3.3. 입도분리 시료에 대한 미량원소의 지구화학적 존재형태

구리의 경우 도로변 퇴적물의 입도 차이와 관계없이 FIV가 가장 우세하였으며, FII와 FIII는 2 mm–63  $\mu\text{m}$  ~ 200–100  $\mu\text{m}$ 에서 증가하다가 더 작아질수록 감소하는 경향이 관찰되었고, FIV와 FV는 반대로 감소하다 다시 증가하는 경향이 관찰되었다.

가장 우세한 납과 니켈/크롬의 존재형태는 도로변 퇴적물의 입도와 관계없이 각각 FIII과 FV이었으며, FIII, FIV 및 FV는 입자가 작아질수록 증가하는 경향을 보였고, FI과 FII는 감소해지는 경향이 뚜렷하게 관찰되었다. 아연도 FIII의 형태가 가장 우세한 것으로 나타났으며, 입도와 관계없이 일정한 비율을 보이고 있었다. 퇴적물의 입자가 작아질수록 FIV 및 FV과 수반된 아연의 함량비율은 증가하였으며, FII와 수반된 형태는 점진적으로 감소하는 경향이 뚜렷하게 나타났다. 카드뮴은 입도와 상관없이 FI이 가장 우세한 존재형태 이었으며, 입도가 작아질수록 FI, FII 및 FIV는 감소하였으나 FIII와 FV는 증가하는 경향이 관찰되었다.

#### 4. 결론

부산 회동저수지 집수구역 내 국도에서 채취한 도로변 퇴적물의 미량원소 함량을 분석한 결과, 아연(평균 577  $\mu\text{g/g}$ ), 납(평균 131  $\mu\text{g/g}$ ) 및 구리(평균 160  $\mu\text{g/g}$ )의 함량이 높았다. 연속추출방법에 의한 존재형태 연구결과, 각각 전체 함량의 29.3%와 25.8%가 이온교환형으로 존재하는 카드뮴과 니켈을 제외하면 대부분의 금속원소는 이온교환형태로 존재하는 양이 크지 않았으며, 아연 (51%)과 납(45.2%)은 주로 비정질산화광물형태, 구리는 유기물형태, 카드뮴은 양이온교환형태, 크롬과 니켈은 잔류형태가 우세하였다. 양이온교환형태와 탄산염광물과 수반된 형태의 금속함량 비율을 고려하면, 금속의 상대적인 이동도는 카드뮴>니켈>납>아연>크롬>구리의 순서로 감소한다. 금속의 존재형태에 관한 자료는 부산 지역의 강우산도를 고려하면 카드뮴, 니켈 및 납이 도로 유출수에 용존 상태로 오염확산이 가장 우려된다. 따라서 도로변 퇴적물이 수영강으로 유입되어짐에 따라 중금속의 잠재적인 이동 확산에 대한 수질 관리가 요구되어진다. 또한, 이 도로변 퇴적물이 회동저수지에 유입되어지면 이온교환형태와 탄산염광물형태에 대한 용해반응과 함께 환원성 용해반응이 발생하므로 비정질 산화철광물 형태로 존재하는 비율이 우세한 아연에 대한 관리도 요구되어진다.

#### 5. 참고문헌

- 1) Banerjee, A.D.K. (2003) Heavy metal levels and solid phase speciation in street dusts of Delhi, India, Environ. Pollut., v. 123, p. 95-105.
- 2) Lee, P.K., Yu, Y.H., Yun, S.T. and Mayer, B. (2005) Metal contamination and solid phase partitioning of metals in urban roadside sediments. Chemosphere, v. 60, p. 672-689.
- 3) Tessier, A., Campell, P.G.C. and Bisson, M. (1979) Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. Anal. Chem., v. 51, p. 844-851.