

도로변 퇴적물에 의한 상수원(회동저수지) 오염 가능성 평가

이평구¹⁾ · 염승준¹⁾ · 강민주¹⁾ · 연규훈¹⁾

1. 서 론

도로변 퇴적물 내 함유되어 있는 중금속(Pb, Zn, Cd, Cu, Cr, Ni 및 As 등)의 주요 기원 중 하나는 자동차로부터의 배출물이다. 자동차 운행유가 고온에서 산화작용을 일으키게 되면, 유기산 등을 비롯한 여러 화합물을 생성하게 되며, 이들 물질들이 차량의 오일뿔프 등 금속 부품을 부식시켜 Zn, Cu, Cd, Ni 등을 도로변으로 방출시키게 된다. 또한 도로변 퇴적물에는 타이어의 마모에 의해 Zn의 함량이 증가하며, Cu의 오염은 자동차 브레이크의 마모로부터 기인된다. 도로변 퇴적물 내 중금속 원소는 빗물과의 물리화학적 작용에 의해 이동되어 우수관을 통해 인접 강 및 저수지로 직접 유입됨으로서 수질에 악영향을 미칠 수 있으며, 하천 및 저수지 바닥에 퇴적되어 생태계를 교란시킬 수 있다. 본 연구의 목적은 부산시 회동저수지 집수분지 내 주요 도로변 퇴적물의 중금속 함량 및 입도분석을 통하여 도로변 퇴적물의 중금속 오염현황을 조사하여, 중금속이 수영강 및 회동저수지로 유입되는 오염지역을 구분하고 중금속의 이동형태 및 경로를 규명하고자 한다.

2. 연구방법

2.1. 시료채취 및 입도분석

2004년 5월과 7월에 회동저수지 집수분지 내의 차량 통행량을 고려하여 도로변 퇴적물을 채취하였다. 회동저수지로 유입되는 수영강을 따라 위치하고 있으며, 부산-울산 간의 차량 통행량이 많은 7번 국도에서 도로변 퇴적물 시료 20개와 도로인접 토양 시료 2개를 채취하였다. 7번 국도의 시료에는 1개의 우수관 퇴적물과 1개의 강변도로가 포함된다. 또한 지방도로의 8지점(고리 방향 6개 및 회동저수지 인접도로 2개 시료)과 교량 6지점에서 시료를 채취하였다. 고리 방향의 지방도로는 비교적 차량의 통행이 많으며, 회동저수지 인접도로와 한물교를 제외한 교량 지역은 차량의 통행이 적다. 중금속 함량은 2 mm 체(sieve)로 체질하여 통과한 시료를 선택하여 분석하였다. 입도분석은 2 mm-200 μm , 200-100 μm , 100-63 μm , 63-20 μm 및 20 μm 이하의 5단계로 구분하였다. 체(sieve)의 재질은 중금속 오염을 방지하기 위하여 스테인레스 재질이었으며, 체질(dry sieving) 후 실온에서 건조시켰다.

주요어 : 회동저수지, 도로변 퇴적물, 중금속오염, 입도분석, 부산

1) 한국지질자원연구원 지질환경재해연구부 (pklee@kigam.re.kr)

2.2. 전처리 및 화학 분석

총합량 분석은 시료 1 g에 질산(HNO_3) 5 ml를 넣은 뒤 온도 110°C 에서 완전히 증발시킨 후, 과염소산(HClO_4)와 질산(1:5 비율)의 혼합산을 10 ml를 넣고 흰색의 연기가 완전히 없어 질 때까지 증발시킨다. 이후, 6 N HCl를 10 ml를 넣고 30분간 끓이며, 실온까지 냉각시킨 후, $0.45\ \mu\text{m}$ 로 여과하였다. 중금속 함량의 분석은 AAS(Atomic Absorption Spectrometry)를 이용하였다. 전 분석과정에 이용된 탈이온수를 얻기 위해 Milli-Q Millipore system을 사용하였다. 토양환경보전법의 전처리 방법을 이용한 화학분석(0.1 N & 1 N HCl) 방법은 다음과 같다. 시료 10 g을 10 ml의 삼각플라스크에 넣고 0.1 N 염산용액 50 ml를 넣은 후, 항은 수평진탕기(100 회/분, 진폭 10 cm)를 사용하여 30°C 를 유지하면서 1시간 동안 진탕시킨 다음, 여과지($0.45\ \mu\text{m}$)로 거른 뒤 분석하였다. 다만, As 함량을 측정하기 위해서 전처리 시에 염산의 농도(1 N)와 진탕시간(30분)을 달리 하였다.

3. 본 론

3.1. 도로변 퇴적물의 총합량 분석

도로변으로부터 채취한 34개 퇴적물과 2개의 도로주변 토양 시료의 Zn 함량은 $87.0\ \mu\text{g/g}$ ~ $1550.0\ \mu\text{g/g}$ (평균 $652.2\ \mu\text{g/g}$), Pb 33.5 ~ $550.0\ \mu\text{g/g}$ (평균 $146.6\ \mu\text{g/g}$), Cu 27.5 ~ $472.0\ \mu\text{g/g}$ (평균 $156.0\ \mu\text{g/g}$), Ni 9.5 ~ $49.0\ \mu\text{g/g}$ (평균 $28.8\ \mu\text{g/g}$), Cr 10.0 ~ $91.5\ \mu\text{g/g}$ (평균 $53.5\ \mu\text{g/g}$), As 2.0 ~ $19.5\ \mu\text{g/g}$ (평균 $7.8\ \mu\text{g/g}$), Cd 1.0 ~ $3.5\ \mu\text{g/g}$ (평균 $2.2\ \mu\text{g/g}$)인 것으로 분석되었다.

도로변 퇴적물에 함유된 중금속 함량의 지역별 분포 특성을 파악하기 위하여, 차량의 통행량과 수계(수영강-회동저수지)로의 유입 가능성을 고려하여 회동저수지의 집수분지 내 도로를 ① 7번 국도, ② 교량, ③ 지방 도로, ④ 회동저수지 인접 도로로 구분하였다. Zn의 경우, 7번 국도(평균 $840.1\ \mu\text{g/g}$), 고리 방향의 지방도로(평균 $433.1\ \mu\text{g/g}$), 교량(평균 $451.4\ \mu\text{g/g}$), 회동저수지 인접도로(평균 $96.3\ \mu\text{g/g}$)의 도로변 퇴적물 내 함량 차이를 살펴보면, 차량 통행량이 많아짐에 따라 Zn의 농도가 증가하는 경향을 뚜렷이 보여주고 있다. 한편 7번 국도와 인접한 토양 시료의 Zn의 함량은 $137.5\ \mu\text{g/g}$ 로서, 도로변 퇴적물과 비교했을 때 매우 낮은 함량이나, 회동저수지 인접도로 보다 높은 함량을 보여주어 차량 통행이 많은 도로 주변 토양에 Zn의 오염이 확산되고 있음을 지시한다. 한편 7번 국도 도로변 퇴적물 중에서 높은 값을 나타내는 지역은 횡단보도 지역, 굴곡 지역, 공사 지역, 직선형 도로 지역이며, 차량의 통행량, 급정거 및 과속으로 인하여 Zn의 함량이 높은 것으로 사료된다. 한편 7번 국도 하부에 위치하는 우수관 내 퇴적물의 Zn 함량($1065.0\ \mu\text{g/g}$)이 비교적 높은 값을 보여주고 있다. 이는 도로변 퇴적물 내 Zn을 포함한 중금속이 우기 시 유출수에 의해 우수관을 통해 주변 토양 및 하천으로 유입될 가능성이 있음을 지시하고 있다. 차량의 통행량이 적은 교량 퇴적물 내 Zn은 상대적으로 낮은 함량(272.5 ~ $485.0\ \mu\text{g/g}$)을 보여주나, 차량의 통행량이 많은 한물교의 퇴적물 내 Zn 함량($945.0\ \mu\text{g/g}$)은 높게 나타나고 있어, 도로변 퇴적물 내 Zn의 함량이 차량의 통행량과 관계가 있음을 지시하고 있다. 회동저수지 인접도로는 제일 낮은 Zn의 함량을 보여주고 있는데, 이는 회동저수지 입구에서 차량의 통행을 제한한 결과로 여겨진다.

도로변 퇴적물에 대한 Pb의 총합량은 Zn의 경우와 마찬가지로 차량 통행량이 많아짐에 따라 증가하는 경향을 보여주고 있다. Pb의 함량(550.0 $\mu\text{g/g}$)이 제일 높게 나타나는 지점은 도로에 칠한 도료(paint)의 영향으로 생각된다. Cu의 총합량은 7번 국도(평균 190.3 $\mu\text{g/g}$)에서 가장 높게 나타나며, 고리 방향의 지방도로(평균 108.4 $\mu\text{g/g}$)와 교량(평균 131.5 $\mu\text{g/g}$)이 비슷하며, 회동저수지 인접도로(평균 44.5 $\mu\text{g/g}$)에서 가장 낮은 함량 범위를 보여 차량 통행량과 관계있는 것으로 추정된다. Cu의 함량이 제일 높게 나타나는 지역은 도로변 우수관의 퇴적물로서 이는 Zn의 경우와 같이 도로변 퇴적물이 강수와 함께 이동되어 집적된 것으로 사료된다. Ni의 함량은 Cu와 비슷한 특성을 보여주고 있어, 같은 오염원에서 유래한 것으로 생각된다. Cr의 함량도 Cu와 비슷한 특성을 보이며 자동차 부품(브레이크 등)의 마모에 의해 Cu, Ni과 함께 오염된 것으로 생각된다. 도로변 퇴적물에 대한 As의 총합량은 지역별 함량의 차이가 크지 않으나, 다른 중금속과는 달리 지방도로에서의 함량이 7번 국도보다 높게 나타났으며, 특히 7번 국도 주변 토양의 As 함량이 매우 높게 나타났다. 따라서 자동차의 배출물질 이외의 인위적인 기원(제조제의 사용 등)에 기인된 것으로 추정된다. Cd의 총합량은 모든 지역에서 2.5 $\mu\text{g/g}$ 이하의 낮은 값을 보이며 지역별로도 비슷한 함량의 범위를 보여주어, 차량에 의한 영향이 적으며, 자연적인 지질기원으로 생각된다.

3.2. 도로변 퇴적물의 토양환경보전법 전처리(0.1N)에 따른 함량 분석

토양환경보전법의 우려 및 대책기준과 비교하기 위하여, 채취된 시료에 대해 토양환경보전법의 전처리 방법을 이용한 화학분석을 실시한 결과, 토양환경보전법의 우려기준보다 낮은 함량이 용출되었다. Pb 함량은 0.9-111.0 $\mu\text{g/g}$ 이며 평균 19.2 $\mu\text{g/g}$ 이나 최고값을 제외하면 0.9-40.2 $\mu\text{g/g}$ 의 함량 범위를 보인다. Cu 함량은 0.8-34.7 $\mu\text{g/g}$ 이며 평균값은 17.6 $\mu\text{g/g}$ 이었다. 이외 다른 원소들은 매우 낮은 값을 보인다.

중금속 함량은 대체적으로 차량 통행량과 관계가 있으며, 주로 횡단보도, 커브길 및 과속 단속 지점에서 높게 나타나고 있다. 하지만 일부 교량에서 Pb 및 As의 함량이 높게 나타난다. 한편, Cu의 경우에는 총합량의 분석 결과와 다르게 통행량이 가장 적은 회동저수지 인접도로에서 가장 높은 평균값(21.1 $\mu\text{g/g}$)을 보여주고 있어, 보다 정밀한 오염원의 규명이 필요하다.

3.3. 입도분석 및 입도별 총합량 분석

대부분의 도로변 퇴적물 시료는 100 μm 이상의 조립 입도가 우세하였으며, <20 μm 의 세립 입도는 매우 적은 비율(2.0% 이하)로 구성되어 있다. 한편 차량의 통행량이 많은 7번 국도의 시료가 통행량이 적은 교량 및 회동저수지 인접 도로변 퇴적물에 비해 조립질의 비율이 훨씬 높게 나타났다. 이는 우기 시 세립 입도의 퇴적물이 유출수와 함께 주변 토양 및 수계로 이동한 결과로 해석된다.

입도별 중금속의 농도는 세립 입도일수록 높은 함량을 보여주고 있으며, 차량의 통행이 많은 지점이 적은 지역보다 모든 입도에서 높은 농도를 나타낸다. 따라서 도로변 퇴적물 내의 중금속의 농도는 차량의 통행량에 의해서 증가함을 알 수 있다. 입도별 중금속의 총합량 역시 7번 국도에서 높게 나타났으나, 실질적인 총합량의 대부분을 차지하는 것은 중금속의 농도가 상대적으로 낮은 조립(2 mm-200 μm) 입도이다. 따라서 도로변 퇴적물로부터

수영강 또는 회동저수지로 중금속이 이동하기는 대체로 어려울 것으로 보여, 도로변 퇴적물은 회동저수지의 수질 오염에 큰 영향을 주지 않을 것으로 해석할 수 있다. 하지만 세립질의 퇴적물이 우기 시 유출수와 함께 쉽게 이동한 결과로도 해석될 수 있다. 이와 같은 경우를 가정한다면, 도로변 퇴적물 내의 중금속이 세립질의 퇴적물의 형태로 수계로 쉽게 이동될 수 있으며, 수영강 및 회동저수지의 수질에 악영향을 미칠 수 있다. 특히 7번 국도 교량 지역에서는 도로의 유출수가 배수구를 통하여 수영강으로 직접 유입되고 있다. 본 연구의 시료채취가 우기인 7월에 수행되었고, 우수관에 Zn을 비롯한 중금속의 함량이 높은 것이 이를 뒷받침해주고 있어, 시기별로 정밀한 조사가 필요하다.

Cu의 경우에는 이와 다른 양상을 보여주고 있다. 즉 조립에 비해 세립 입도에서 Cu의 농도가 높게 나타나지만 부분적으로 보다 조립 입도의 퇴적물에서 높은 Cu의 농도를 보여준다. 또한 입도별 Cu의 총 함량은 지역에 관계없이 불규칙적인 범위를 보여준다. 즉 7번 도로의 퇴적물이 차량의 통행이 적은 지역(교량)보다 낮은 함량을 나타내고 있다. 따라서 Cu의 오염원은 차량 이외의 기원이 존재할 것으로 사료된다.

4. 결 론

회동저수지 집수분지 내 도로변에서 채취한 퇴적물 및 토양의 중금속 함량을 분석한 결과, 함량이 높은 지역은 대부분 교통량이 많은 7번 국도이며, 특히, 커브지점, 우수관, 과속단속 지점, 횡단보도 등에서 Zn, Pb가 높은 함량을 보인다. 한편, 최근 새로 건설된 금정체육단지와 연결되는 교량인 한물교는 많은 통행량으로 인해 비교적 높은 중금속 함량은 보여준다. 토양환경보전법의 전처리 방법을 이용하여 화학분석을 실시한 결과, 중금속 함량은 토양오염 우려기준보다 낮게 나타났다. 도로변 퇴적물 내 입도별 중금속 함량은 세립 입도일수록 높은 값을 보여주고 있으나, 총 함량은 조립 입도의 퇴적물(100 μm 이상)에 의해 결정된다. 이는 우기 시에 유출수에 의해 세립 퇴적물이 주변 수계로 이동된 결과로 해석될 수 있으며, 수영강 및 회동저수지의 수질에 악영향을 미칠 수 있음을 지시한다. 따라서 교통량이 많은 7번 국도와 퇴적물이 쉽게 주변 수계로 유입될 수 있는 한물교와 같은 교량에서 퇴적물의 이동을 조절할 수 있는 적절한 처리시설(소택지 등)이 요구된다.