

## PA20) 울산지역 Road Dust의 중금속 성분 용출분석 Analysis of Heavy Metal Extracted from Road Dust under Acid Rain Condition in Ulsan

이 병 규 · 김 정 기

울산대학교 건설환경공학부

### 1. 서 론

울산지역은 1962년 공업 특구로 지정된 후 지난 30년 동안 우리나라의 기간 산업인 석유화학, 제련, 자동차, 조선공업 등 대단히 크고 많은 생산시설이 입주하여 운영 중에 있다. 특히 1974년부터 가동된 온산 국가공업단지에 많은 비철금속관련 업체들이 들어서면서 해양, 토양 뿐 아니라 대기중의 중금속 오염도를 가속 시켜 왔다. 최근 환경부 대기중의 중금속 측정망 분석 결과에 따르면 울산은 국내 여러 공단 도시에 비해 중금속의 오염정도가 매우 심각한 것으로 나타나고 있다. 특히, 온산공단의 대기나 토양의 카드뮴의 오염은 국내 최고치를 나타내고 있다.

울산은 대형공단 및 항구로써의 기능 때문에 원료나 제품의 수송에 관련된 대형 트럭이나 선박의 운행이 국내의 다른 어떤 도시보다 많으며, 인구도 백만을 훨씬 넘고 있어서 자동차나 버스의 운행 비율도 매우 높은 실정이다. 특히, 수송기관의 배출구와 각종 산업시설의 운영 중에 발생하는 각종 입자상 오염물질(Coarse and Fine Particles, (Road) Dust 등)이 도로나 건물, 해양이나 강 및 호수, 그리고 수목 등에 침적되고 있다. 이러한 입자상 오염물질들에 직·간접적인 노출로 인한 만성적 건강에 대한 영향도 우려된다고 하겠다.

Road Dust는 차량에서 배출된 매연, 미세 먼지 및 가스상 오염물질들이 공기 중의 여러 성분들과 응축되거나 결합하여 점점 크기를 더하여 도로변에 쌓이는 먼지이다. Road Dust에는 중금속이나 각종 유해한 오염물질들이 포함되어 있고 차량의 운행 중에 공기 중으로 상당히 부유하여 도로 주변이나 심지어는 먼 지역까지 Road Dust에 노출될 가능성이 매우 크다고 하겠다. 특히, 산성비가 내릴 경우, 토양이나 Road Dust 중의 중금속은 쉽게 용출되어 토양이나 수질의 중금속 오염도를 가속화시킬 가능성이 매우 크다. 이에 본 연구는 울산지역의 Road Dust 중의 중금속에 의한 생태계 오염 가능성 분석을 위한 기초 자료를 마련하는 것이 본 연구의 목적이다.

### 2. 연구 방법

울산지역을 녹지, 시내 및 주거지, 상업지역, 교통밀집지역, 그리고 공단지역으로 크게 구분하여 그 지역을 대표하는 도로변에서의 Road Dust를 채취하였다. 또 공단은 석유화학 공단, 비철금속공단, 기계·조선공단 등으로 세분하여 시료를 채취하였으며, 학교내부도로, 고속도로 및 고속화도로, 그리고 2차선, 4차선, 6차선 및 8차선 등의 차선별로 각각 구분하여 Road Dust를 채취하였다. 기상상황을 고려하여 비가 온 날은 피하고, 비가 그친 후 적어도 2일정도 지난 후 도로의 측면 10m 범위 내에서 시료를 채취하였다. 채취한 Road Dust는 1주일동안 자연상태에서 건조시킨 후 100mesh 체로 체질한 후 체를 통과한 것을 분석시료로 하였다. 분석시료를 10g을 칭량하여 울산지역의 산성비 조건인 pH 5용액 100ml에 넣고 진탕기에서 5시간동안 shaking 시킨 후 1시간동안 침전시켰다. 침전을 포함한 용액을 5A 여과지로 여과한 후 여액을 유도결합 플라즈마(ICP-MS)를 이용하여 용출된 금속의 성분을 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

울산지역의 산성비 조건에서 Road Dust로부터 용출된 중금속의 특성을 요약하면 다음과 같다. 녹지지역의 Road Dust에서 용출된 중금속의 양은 다른 지역에서 보다 상대적으로 낮았다. 이는 녹지지역으로 선정된 지역인근에서의 큰 오염물질 배출이 없었음에도 불구하고 주거지역과 유사한 정도의 납이 용출되었다. 이는 이 지역이 관광지이기 때문에 관광객들의 차량에 의한 중금속의 영향을 받은 것으로 보이

는 납, 아연, 구리가 주로 높게 검출되었다. 이러한 금속들은 자동차의 브레이크나 자동차의 운행과정에서 높게 검출되는 중금속들이다. 공업탑과 신복 로터리와 같이 울산에서 교통량이 가장 많은 교통밀집 지역에서도 주거지와 유사하게 차량의 운행과정이나 브레이크 등에서 배출되는 납, 아연, 망간 등이 높게 검출되었다. 교통밀집지역 중에서 공단과 다소 떨어져 있으면서 고속도로와 인근에 위치한 신복로터리에서는 다른 지역과 달리 망간이 특히 높게 검출되었다, 이러한 고농도의 망간은 시멘트로된 고속도로의 Road Dust에서도 확인되었다. 공단지역의 Road Dust에서는 아연, 망간, 구리, 카드뮴, 납 등 다양한 중금속이 매우 높은 농도로 용출되었다. 특히 비철금속 공단의 Road Dust에서 용출된 중금속의 농도가 다른 공단에 비하여 매우 높았다. 이는 비철금속 공단의 용해, 제련, 주조 등의 여러 공정 중에서 고농도의 중금속이 배출되고 있음을 의미한다. 또 석유화학 공단의 도로에서는 비철금속공단의 도로에 비해 구리가 상대적으로 높게 검출되는데, 이는 석유화학 공장의 각종 공정이나 반응과정의 촉매로 구리가 많이 사용되고 있기 때문으로 추정된다. 차선별 비교에서 차선수의 많고 적음은 Road Dust 중의 중금속의 농도에 크게 영향을 미치지 않았는데, 이는 평균 차선이 많을수록 단위 차선 당 교통밀도가 낮을 수도 있기 때문으로 판단된다. 또 차선이 작은 도로의 경우는 지체현상과 저속운행으로 인한 중금속 발생량이 많을 수도 있다고 추정된다. 울산의 고속도로와 고속화도로의 Road Dust 중의 중금속 용출특성 비교에서 고속도로의 Road Dust가 훨씬 높은 농도의 중금속을 함유하고 있었다. 이는 고속화도로는 주로 자동차의 통행이 대부분인 반면 고속도로는 자동차와 대형트럭의 통행이 동시에 많기 때문으로 판단된다. 즉, 과적의 대형트럭이 가속할 경우에 타이어의 마모나 브레이크 등에서 많은 양의 중금속이 배출될 것으로 추정된다. 고속도로별 비교에서는 시멘트로 된 도로에서의 Road Dust가 아스팔트로 된 도로의 경우보다 훨씬 높은 농도의 중금속을 함유하고 있었는데, 이는 시멘트도로에서의 높은 타이어 삭마율로 인하여 타이어의 마모가 아스팔트도로보다 더 심하기 때문으로 추정된다.

Table 1. 산성비 조건에서의 울산지역 Road Dust 내의 중금속 평균 용출량

지역	검출량( $\mu\text{g/g}$ )								
	Zn	Cu	Cr	Sb	Mn	Co	Cd	Pb	Ni
녹지	0.510	0.326	0.093	0	0.278	0.02	0.075	1.132	0.008
주거지	2.874	1.264	0.231	0	0.162	0.045	0.308	1.148	0
상업지역	0.533	1.135	0.306	0	0.137	0.020	0.048	0.966	0.007
교통밀집	1.527	0.764	0.028	0	1.393	0.043	0.114	1.085	0
비철금속	82.823	0.808	0.028	0	5.361	0.097	4.28	7.819	0.045
석유화학	0.183	2.196	0.130	0	0.083	0.023	0.096	0.912	0.004
기계조선	0.747	0.591	0.032	0	0.558	0.030	0.106	0.798	0

**참 고 문 헌**

고일하 (2003) 울산지역 토양 중 중금속의 농도와 존재형태 분석연구, 울산대학교 대학원 석사학위논문  
 나덕재, 이병규 (2000) 산업도시 대기 중 PM10의 농도 및 금속원소 성분의 특성연구, 한국 대기학회지  
 v.16, 23~35  
 최병순, 국승욱, 김진한, 이동훈, 박철희 (1999), 토양오염개론, 동화기술, 128~142