

GIS를 이용한 도로 분진의 중금속원소 함량 해석에 관한 연구

이효재* · 이근상** · 이언호*** · 장영률****

Interpretation of heavy metal elements from the road dusts using GIS

Hyo-Jae Lee* · Geun-Sang Lee** · Eon-Ho Lee*** · Young-Ryul Jang****

요 약

대도시화와 산업화에 따른 중금속 오염으로 많은 환경오염을 일으키고 있다. 본 연구에서는 Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn와 같은 중금속 원소들의 분산과 산출상태를 규명하기 위해 광주광역시 도로변에서 분진을 채취하여 분석하였다.

분진중의 pH를 측정하였으며 0.1N HCl에 의한 용출실험으로 Cd, Cu, Fe, MN, Pb 및 Zn 함량을 AAS를 이용하여 분석하였다. 광주시의 도로변 분진의 pH는 5.60-7.09범위로 약산성 내지는 거의 중성에 가깝게 나타났으며, 0.1N HCl을 이용한 부분분해 방법으로 분석한 결과는 일부 지역을 제외하고는 오염도가 높다고 판단하기는 어려움이 있지만 Cd와 Cu는 서구지역 특히 광천터미널에서 멀지 않은 지역에서 약간 높은 수치를 보여주며, Mn과 Pb는 북구와 남구에서 약간 높은 수치를 보였으며 Zn는 평균 150.09ppm으로 오염이 상당히 진행되고 있었다. P.I.는 전 지역이 1이하로 우려할 상황은 아니다. 본 연구와 같은 분석방법을 이용한 다른 지역과 비교해 볼 때, Cd 와 Zn의 오염이 상당히 진행되고 있음을 확인했다.

주요어 : GIS 공간분석, 분진, 중금속, 오염

* 순천청암대학 지리정보기술연구소 연구원(Researcher, Research Institute of Geographic Information Technology, Suncheon Chongam College, Duckwol-Dong, Suncheon, Chonnam, Korea, 540-260)

** 순천청암대학 지리정보기술연구소 연구원(Researcher, Research Institute of Geographic Information Technology, Suncheon Chongam College, Duckwol-Dong, Suncheon, Chonnam, Korea, 540-260)

*** 전남대학교 공과대학 자원공학과(Department of Mineral and Resources Engineering, College of Engineering, Chonnam National University, Yongbong-Dong, Buk-Gu, Gwangju, Korea, 500-757)

**** 순천청암대학 GIS과 교수(Professor, Department of Geographic Information System, Suncheon Chongam College, Duckwol-Dong, Suncheon, Chonnam, Korea, 540-260)

ABSTRACT : Chemical analyzes were carried out the samples from roadsides of the Gwangju city. The purpose of this research is to investigate the concentrations and distribution patterns of heavy metals due to urbanization and industrialization in the Gwangju city This study area is not significantly contaminated based on the concentrations of Cd, Cu, Fe, Mn, Pb and Zn. However, the concentrations of the chemical elements analyzed are locally higher than those of serious contamination level indicated by Ministry of environment.

The dust pH is in the rage of 5.60-7.09 and was generally neutral, and there are no difference in pollution area and nonpollution area. Chemical analyses utilized are dilution by 0.1N HCl. In result of analysis by the method using 0.1N HCl, concentrations of Cd and Cu are a little high in Gwangchondong of Seo-Gu. Concentrations of Mn and Pb are a little high in Buk-Gu and Nam-gu, and Concentrations of Zn are generally higher than average of soils. Zn, in the study area, keeps polluting greatly as Zn concentration of average is 150.9ppm. All of P.I. values are lower than 1, it means heavy metal pollution is not serious.

Keywords : GIS Spatial Analysis, dusts, heavy metal, pollution

1. 연구배경 및 목적

최근 우리 사회는 산업활동과 도시화에 따른 환경오염문제에 깊은 관심을 갖게 되었다. 1960~1980년대를 통해 산업이 발달하고 도시화가 진행됨에 따라 다양한 형태의 중금속들이 인위적으로 생성, 배출되어 대기, 물 등의 이동 매체를 통하여 대기권, 수권, 토양권을 포함하는 지구화학적 환경으로 광범위하게 분산되었다. 이러한 중금속은 토양 및 수질 오염을 유발시키며, 특히 토양과 분진 중의 중금속오염은 심각한 환경 오염 현상 중의 하나가 되었다(이연호, 2002).

도시에서의 분진 및 토양에 산재된 중금속류의 성질은 산업활동량, 인구밀집도, 자동차, 폐기물 등에 따라 그 원인이 다양하다. 현재까지 알려진 주요 유독성 중금속 원소로는 As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Pb, Se,

Sb, Ti, Zn등을 들 수 있는데, 이러한 다양한 형태의 중금속들은 분진이나 폐수 등을 통해 주변 토양으로 유입되어 농작물과 가축에 독성을 끼쳐 결국 인간에게 치명적 피해를 유발시킨다(Thornton *et al.*, 1985).

토양오염으로 인한 피해는 토양의 자정 능력 상실로 인한 생산성 저하, 안전성 위협, 미생물 멸종 등이 있다. 특히 분진의 경우 인간이 인식하지 못한 상황에서 이러한 피해가 도래할지도 모른다는 조심스런 판단을 내릴 수밖에 없다. 그러나, 인간은 언제나 스스로 복구되는 자연의 힘을 과신하여 편리 지향적으로 산업과 국토를 개발해왔다. 그 결과 자연의 자정력을 초과하는 부하를 주게 됨으로써 다양한 환경 문제를 초래하게 되었다.

본 연구는 광주광역시 시가지의 도로변에서 건기에 분진 시료를 채취하여 중금속 원소의 함량 상태를 조사하고, 도시환

경에서의 특징적인 오염지시원소를 선정할 뿐만 아니라 최근 부상하고 있는 GIS를 이용하여 유독성 원소들의 분산 양상을 규명하고자 하였다.

2. 기존연구 검토

외국의 경우 환경지구화학적 연구가 활발히 이루어지고 있다. 영국에서는 이미 1978년에 England와 Wales지방의 광역 지구화학지도(Pb, Cd, Mo 등 24개 원소대상)가 완성(Webb *et al.*, 1978)되어 광물 탐사뿐만 아니라 환경 문제와 농업 및 목축에 응용되고 있으며, 70년대 초부터 중금속 오염에 대한 연구가 이루어진 결과, 토양 및 분진의 중금속 함량은 매년 증가되고 있음을 밝힌바 있다(Hunt *et al.*, 1989).

그러나 국내의 경우 직접적인 산업활동이 이루어진 광산지역(박영석, 김진, 2000)이나 다른 산업도시(김옥배 등, 1997) 또는 서울지역(전효택, 최완주, 1992)의 토양 및 분진에 관한 연구가 많이 이루어진 바 있으나 타 대도시에 비해 산업활동량이 비교적 활발하지 못한 광주광역시 경우에는 이언호(2002)가 실시한 연구외에는 거의 전무한 실정이다.

3. 시료채취 및 화학분석

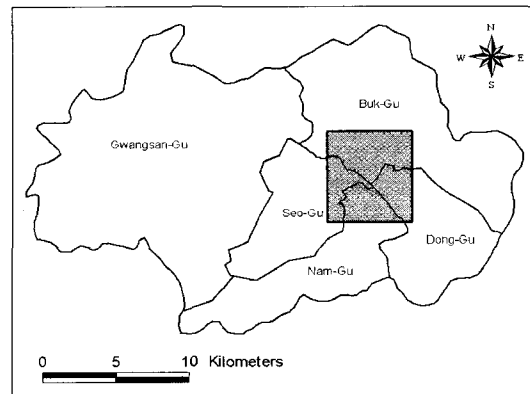
3.1 연구대상지역

본 연구를 수행하기 위한 대상지역으로는 광주광역시 일부지역을 선정하였으며

[Figure 1]의 사각형 박스로 표시하였다.

광주광역시는 경도 126° 41' E ~ 127° 01' E, 위도 35° 03' N ~ 35° 15' N에 위치한 총 면적 501.32km², 인구 140만의 도시로 영산강이 북동에서 남동방향으로 관통하고 있다.

시가지의 토지이용상태는 주거, 상업, 공업의 도시기능이 혼재되고, 도로, 주차장 등 공공시설용지가 부족하며, 시가지와 인접한 토지들이 주차장으로 방치되는 등 비효율적인 토지이용상태에 머물러 있다. 교통환경은 광역교통망체계가 미흡하고, 도심부내 가로망의 폭원이 협소할 뿐만 아니라 많은 교차로가 있는 비합리적인 교통체계와 유동인구를 많게 하는 대형건물이 중심시가지에 입지 함으로써 통과교통이 유입되는 등 많은 문제점이 지적되고 있다.

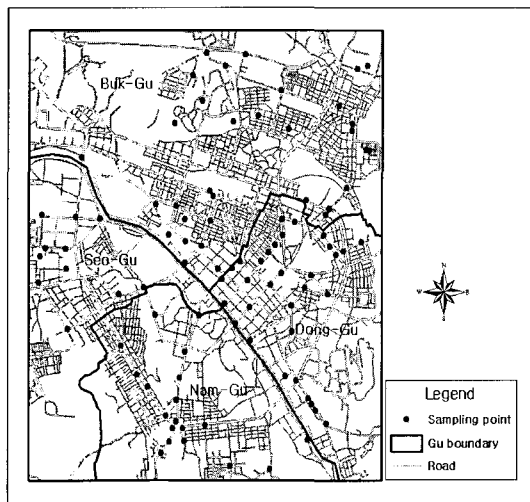


[Figure 1] The location of study area.

3.2 시료채취 및 화학분석

현장조사 및 시료채취는 광주광역시 지역 도로주변에서 2000년 9월부터 2000년

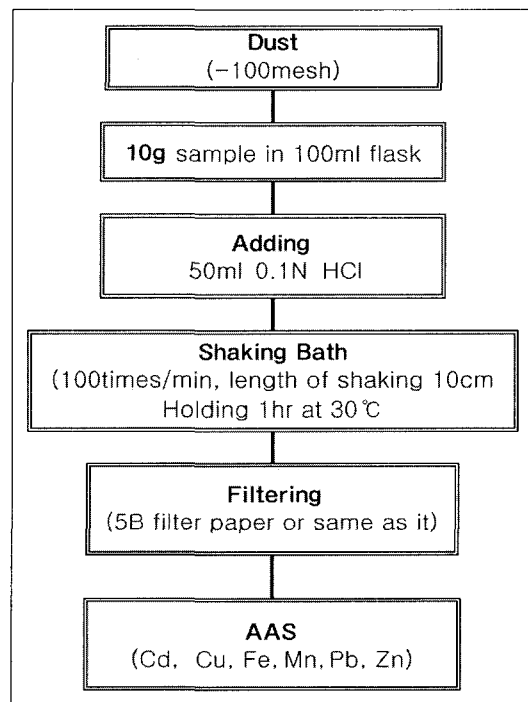
11월까지 건기에 걸쳐 96개의 시료를 채취하였으며 시료채취는 도로변 분진을 중심으로 주거인구 및 유동인구가 많은 지역 또는 차량통행량이 많은 지역을 따라서 이동해가면서 주로 네거리와 양방 2차선이상의 차로에서 이루어졌다[Figure 2]. 이상적인 분진채취가 곤란한 지역에서는 도로변 흙먼지중의 상부 1cm까지 채취하였고 시료의 대표성을 높이기 위하여 9개의 부분시료를 정방형 격자(격자점간격 1m)의 각 격자점에서 채취하여 총 50g 이상의 하나의 복합시료를 확보하여 시료비닐봉지에 보관하였다.



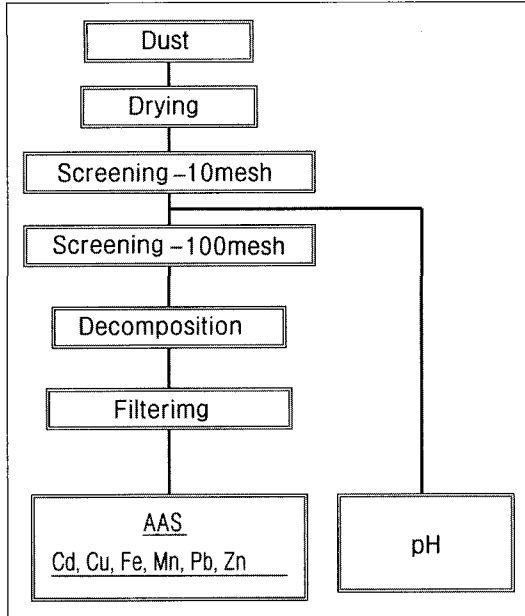
[Figure 2] The location of Sampling Point

시료는 공기 중에서 자연 완전 건조하여 막자와 유발을 이용해 뭉쳐진 부분을 분쇄시킨 후 Rump and Krist(1988)가 제시한 방법에 따라 전처리를 하였으며, 시료중의 2분의 1을 다시 체질하여 -100mesh 입도로 분쇄하였다. -100mesh로 분쇄한 후 10g의 분진시료를 100ml크기의 플라스크

에 넣은 다음 0.1N HCl용액으로 용출시켰다. 1시간 동안 30℃온도를 유지시키면서 orbital shaking bath에서 진탕시킨 후 여과하여 용출용액을 확보하였다(환경부.1993) 마지막으로, 확보된 용출용액을 취해서 원자흡광분석기(Atomic Absorption Spectrometer)로 Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn 등의 함량을 분석하였다[Figure 3]. pH 측정에는 Hoffman(1987)이 제안한 현장측정 방법과 엄석원 등(1985)이 사용한 실험실 측정방법을 참고하여 예비 실험을 거친 후, 건조시료 20g에 50ml의 증류수를 가하고 60분 동안 orbital shaking bath에서 진탕시킨 다음 30분간 방치시켜, Corning pH meter 340로 안정화된 값을 측정하였다[Figure 4].



[Figure 3] Cold extraction of dust sample by 0.1N HCl



[Figure 4] Flowchart for chemical analyses and pH test of dust samples

4. GIS 분석 및 결과

4.1 분석방법

광주지역의 도시화 및 산업활동에 따른 분진중의 중금속 이동 및 분산 특성을 GIS로 규명하기 위하여 도로변을 중심으로 채취한 96개소의 샘플링 위치를 1/5,000 수치지형도에서 추출한 도로 및 건물 레이어를 참고로 하여 ArcGIS상에서 입력하였다. 그리고, 각 샘플링 위치별로 화학분석을 수행한 중금속 함량을 속성 DB로 입력하였다.

샘플링한 시료의 중금속함량분석을 위해 ArcGIS를 이용하여 IDW(Inverse Distance Weight)기법으로 분석하였다. IDW는 기지

점과 계산할 미지점간의 거리에 따른 비선형적인 가중치를 고려한 것으로, 기지점과 미지점간의 거리가 멀수록 영향특성이 감소한다는 이론에 기초하고 있으며 계산식은 (1)과 같다.

$$Z(x) = \frac{\sum_{i=1}^n Z(x_i) d_i^{-w}}{\sum_{i=1}^n d_i^{-w}} \quad (1)$$

여기서, x 는 미지점, x_i 는 기지점의 값, d_i 는 미지점과 기지점간의 거리, w 는 가중치를 의미한다.

IDW에서 미지점의 계산에 활용되는 기지점의 개수를 선정하는 것은 처리시간과 결과값 산정에 영향을 준다. 본 연구에서는 미지점 계산에 활용되는 기지점의 개수를 12개로 제한하였으며 가중치 w 는 2를 적용하였다.

4.2 분석결과

GIS를 이용하여 분석한 전체연구대상지역 및 구별 중금속함량 분석결과를 각각 <Table 1>과 <Table 2>와 같다.

<Table 1> Analysis result of heavy metal and pH concentration in this study area.

Statistics	Min	Max	Mean	Std.
Cd	0.08	1.11	0.39	0.11
Cu	0.32	65.50	13.45	10.40
Fe	0.78	221.20	40.13	34.44
Mn	9.47	258.77	100.67	38.75
Pb	0.42	63.04	8.64	8.02
Zn	1.94	672.33	150.09	103.28
pH	5.60	7.09	6.16	0.12

<Table 2> Analysis result of heavy metal and pH concentration in Gu.

Statistics		Min	Max	Mean	Std.
Cd	Dong-Gu	0.08	0.77	0.33	0.12
	Seo-Gu	0.19	1.11	0.43	0.13
	Nam-Gu	0.10	0.80	0.42	0.10
	Buk-Gu	0.09	0.65	0.38	0.09
Cu	Dong-Gu	1.27	20.66	5.54	2.66
	Seo-Gu	0.32	65.50	17.74	11.83
	Nam-Gu	1.06	64.14	17.64	12.25
	Buk-Gu	1.26	53.60	13.24	8.68
Fe	Dong-Gu	1.76	94.10	15.18	10.34
	Seo-Gu	0.97	149.98	42.95	25.95
	Nam-Gu	0.78	129.97	30.33	19.20
	Buk-Gu	1.90	221.20	55.31	41.67
Mn	Dong-Gu	24.37	141.65	68.53	20.68
	Seo-Gu	9.47	230.51	99.38	36.12
	Nam-Gu	16.06	241.23	88.95	43.06
	Buk-Gu	48.45	258.77	121.90	30.24
Pb	Dong-Gu	0.56	7.53	3.23	0.61
	Seo-Gu	0.42	17.31	5.84	3.79
	Nam-Gu	1.95	51.64	6.81	5.16
	Buk-Gu	0.60	63.04	13.24	9.71
Zn	Dong-Gu	10.03	265.92	65.07	26.22
	Seo-Gu	1.94	607.08	151.88	84.86
	Nam-Gu	3.30	438.23	152.20	87.13
	Buk-Gu	11.62	672.33	187.83	116.19
pH	Dong-Gu	5.80	7.09	6.13	0.13
	Seo-Gu	5.70	6.49	6.15	0.09
	Nam-Gu	5.80	6.80	6.15	0.10
	Buk-Gu	5.60	6.60	6.17	0.13

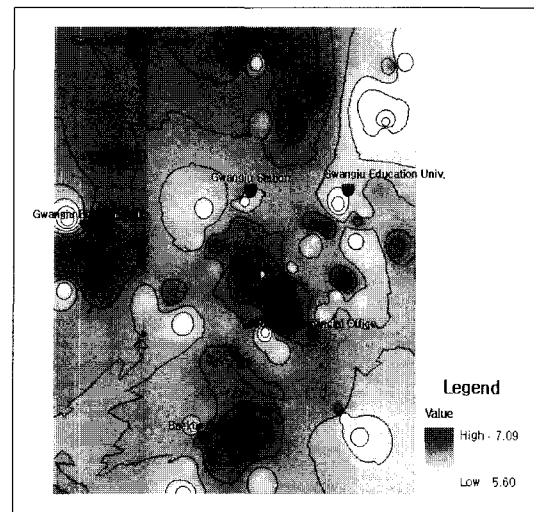
1) pH

pH는 용액상태의 지구화학적 매체에서 특히 중요한 개념으로서, 화학원소들의

특정한 pH 범위에서 안정한 광물상으로 존재하거나 반응성이 활발한 이온상태로 존재하게 된다. 특히, 중금속 원소들은 일반적으로 산성 산화환경에서는 이동도가 큰 반면, 알칼리성 환원환경에서는 이동성이 제한되어 광물상태로 침전되거나, 음이온들과 착물을 형성하여 침전되므로, 환경지구화학에서 pH의 측정은 중요한 의미를 갖는다(Fortescue, 1980).

pH의 분석결과, 전체적으로 5.60~7.09의 약산성 내지는 중성의 범위를 보였으며 평균 6.16의 값을 나타냈다(<Table 1>, [Figure 5]). 이는 Jung(1995)이 밝힌 국내 토양의 pH값과 유사하다.

각 행정구역별 pH의 분포를 보면 연구 지역에 포함된 4개의 구가 모두 유사한 값을 나타내며, 북구와 서구의 분진이 다른 두 구에 비해 약간 산성화 경향을 보여주고 있으나 이 또한 중성 내지는 약산성 영역에 분포한다(<Table 2>, [Figure 5]).



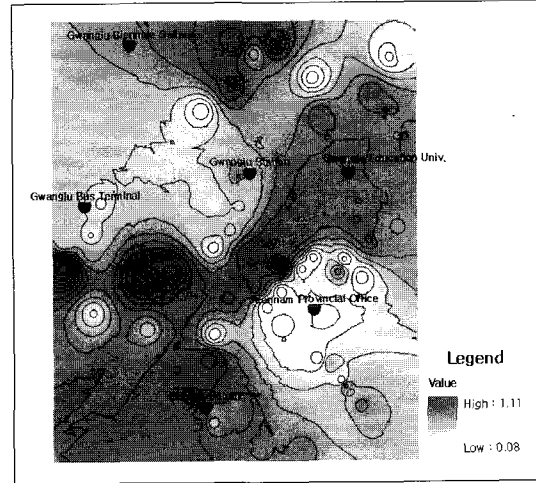
[Figure 5] Contour diagrams of pH

2) Cd

도시환경에서 Cd 배출원은 자동차 타이어의 마모, 인산비료, 장식산업 그리고 산업용, 가정용 쓰레기의 소각, 광산, 매연, 분진, 안료, 염화비닐의 안정제, 합금 등에서 유출된다. 카드뮴의 축적은 간정에 심한 피해를 유발하며 Cd의 과잉 섭취시에는 위장장애, 단백뇨, 피곤 그리고 혈액량의 감소를 일으키며, 심장과 혈액순환에 영향을 준다(김진섭 등, 1997).

Rose *et al.*(1979) 등은 토양에서 Cd의 자연수준을 각각 1ppm과 0.1~0.5ppm으로 제시하였으며, Kabata-Pendias and Pendias (1984)는 0.62ppm을 토양중의 Cd의 평균함량으로 제시하였다. 국내 토양의 평균 Cd함량(서운수 등, 1982)은 0.14ppm(0.013~1.07ppm)이고 0.1N HCl을 이용한 분석에의하면 서울도로변토양은 0.1~0.3ppm (최병영 등, 1999), 중부지방토양의 0.14ppm (0~0.66ppm)이었다(김기현 등, 1996). 본 연구지역의 Cd함량은 0.39ppm(0.08~1.11 ppm)으로, 이는 서울이나 부산지역보다 높거나 비슷한 함량을 보였으며, 중부지방토양보다는 오염이 상당히 진행되고 있음을 알 수 있다.

행정구역에 따른 Cd함량변화를 살펴보면, 큰 차이를 보이지 않고 비슷한 경향을 나타내고 있으나 최대값(1.11ppm)을 보인 백운광장에서 광천동터미널로 향하는 순환도로부근에서 전반적으로 높은 값을 보였는데, 이는 주변 지역의 차량통행량에 기인한 것으로 보이며, 서구지역은 최대값(1.11ppm)과 최소값(0.19ppm)의 변화폭이 크고 평균값(0.43ppm)도 다른 지역보다 약간 높은 값을 나타냈다(<Table 2>, [Figure 6]).



[Figure 6] Contour diagrams of Cd

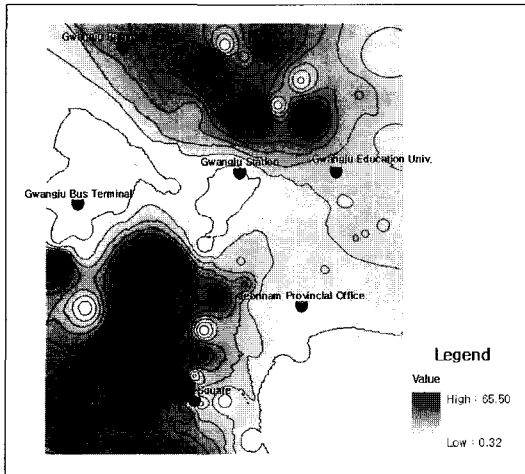
3) Cu

Cu의 배출원은 판금 및 제강 등의 금속 산업활동, 보일러, 파이프 등이며, 석탄이나 땀감의 연소, 폐기물 소각, 산업활동 등에 의해서도 배출된다(민경원, 정연태, 1996). 토양의 Cu함량은 10~80ppm 범위이며, Mn과 Fe의 산화물 및 유기물에 강하게 흡착하고 다른 어떤 양이온보다도 유기물과 강하게 결합한다.

토양 중의 Cu의 평균함량은 Rose *et al.*(1979)에 의해 각각 15ppm, 2~100ppm으로 보고되었으며, 국내의 경우 자연적인 토양의 평균함량은 15.71ppm(서운수 등, 1982)이며, 0.1N HCl을 이용한 분석에 의하면 서울도로변토양은 평균 28.3ppm(최병영 등, 1999)이고 중부지방토양(김기현 등, 1996)은 3.1ppm(0.04~15.12ppm), 부산지역에서는 평균12.2ppm(김진섭 등, 1997)의 Cu 함량이 보고되었다. 연구지역의 Cu 함량은 13.45ppm(0.32~65.50

ppm)로서 부산지역 Cu함량보다도 높은 값을 보였으며 중부지방토양 Cu함량보다는 상당히 높아 오염이 진행되고 있다고 사료된다<Table 1>.

행정구별로 보면 서구지역인 백운로터리에서 광천동터미널로 향하는 순환도로 부근에서 전반적으로 높은 값을 보였고 전남대학교와 북구청 일부지역에서도 높은 값을 나타냈는데, 이들 지역은 주로 차량과 인파가 많은 지역이고 특히, 외부로 통하는 교통통로 지역이기에 이 같은 현상이 발생한 원인으로 판단된다. 동구지역은 5.54ppm으로 가장 낮은 Cu 함량을 나타냈다(<Table 2>, [Figure 7])



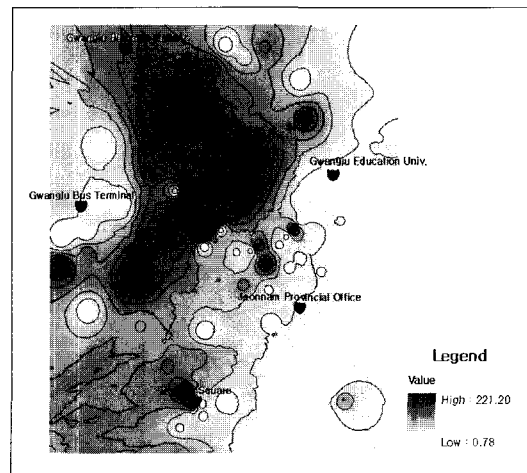
[Figure 7] Contour diagrams of Cu

4) Fe

Fe의 토양 중 평균함량은 40,000ppm (2,000~550,000ppm)이고 이재영 등(1996)이 0.05N HCl법으로 추출하여 얻은 달성광산지역 토양 중 평균Fe함량은 61.45ppm

(11~226ppm)이다. 본 연구지역의 Fe함량은 40.13ppm(0.78~221.20ppm)으로서, 달성광산지역 토양과 비교해볼 때 평균함량은 차이가 있지만 최고값이 유사한 값을 보여주고 있으며, 윤연흠 등(2000)에 의해 본 연구와 같은 방법으로 분석된 여천공단주변토양의 Fe함량은 80.94ppm(5.68~1130ppm)이다. 이는 본 연구지역의 Fe에 대한 오염도가 낮음을 보여주고 있다 <Table 1>.

행정구역별로 살펴보면, 전반적으로 낮은 함량이긴 하지만 북구지역 특히 광주역 부근에서 최고값(221.84ppm)을 나타냈고 서구지역과 북구의 인접지역 특히 유동사거리 및 양동에서 상당히 높은 함량을 보여주었으며 변화폭이 크게 나타났다(<Table 2>, [Figure 8]). 이는 높은 함량을 보여주는 지역이 광주역과 상당히 근접한 곳임을 고려할 때 역 철로의 영향과 기차의 운행에 따른 영향도 기인한다고 판단된다.

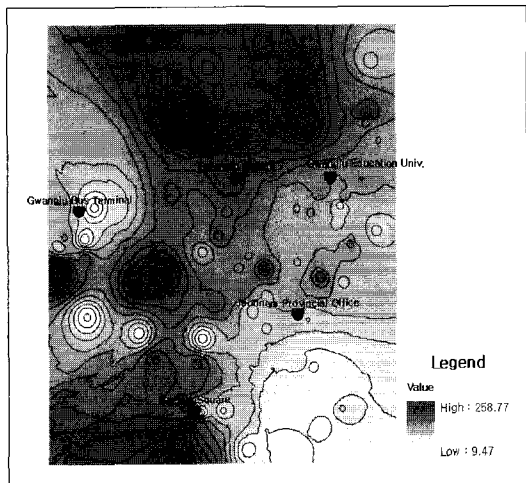


[Figure 8] Contour diagrams of Fe

5) Mn

Mn은 인산질 및 질산질 비료로부터 토양에 첨가될 수 있는 Mn의 지각 평균함량은 1000ppm(Rose *et al.*, 1979)이고 0.05N HCl 추출법으로 분석한 달성광산 부근 토양(이재영 등, 1996)의 함량은 20.35ppm(1.99~91.19ppm)이며 본 연구지역과 같은 분석법을 이용한 여천공단주변 토양(윤연흠 등, 2000)은 72.35ppm(10.0-269.2ppm)으로 보고되었다.

본 연구지역의 Mn 함량은 100.67ppm(9.47~258.77ppm)으로 여천공단 주변 토양 중 Mn함량(윤연흠 등, 2000)보다는 높게 나타났고, 달성광산토양과 분석법의 차이로 단순비교가 될 순 없지만 달성광산주변토양(이재영 등, 1996)보다도 큰 값을 보여주고 있다(<Table 1>).



[Figure 9] Contour diagrams of Mn

행정구역별 함량분포를 살펴보면, 전남대학교 부근을 중심으로 한 북구지역에서

최고값을 보여주고 있고 광천동터미널을 중심으로 한 서구 및 백운동로터리를 주변의 남구지역도 변화폭은 크지만 큰 수치를 나타내고 있다. 그러나 백운동터리에서 남광주역 방향으로서는 매우 적은 값을 보여주고 있다(<Table 2>, [Figure 9]).

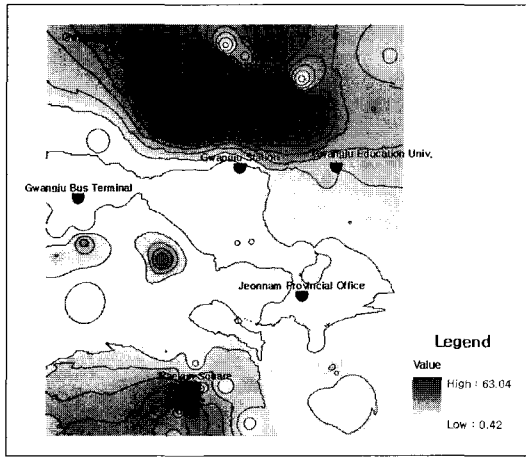
6) Pb

Pb는 전기산업에 이용하는 뿔납, 건축산업에 사용하는 연관, 자동차의 옥탄가를 높이기 위한 첨가제, 저장бат데리, 페인트, 석탄연료의 연소, 자동차의 매연 등의 분진낙하로 야기되며, 인쇄공업, 축전지제조업, 조선공업, 도료업, 자동차 제조업에서 유출되기도 한다(민경원과 정연태, 1996).

일반적으로 Pb는 상대적으로 낮은 이동도를 보이며, Mn-Fe산화물에 흡착되어 이동성이 저하되지만 용해성 유기화합물이나 음이온화합물의 형성에 의하여 이동성이 좋아지기도 한다(Rose *et al.*, 1979). 토양에서의 평균 Pb함량은 Rose *et al.*(1979)에 의해 각각 17ppm으로 보고된 바 있으며 국내 토양중의 자연함유량은 19.27ppm(서윤수 등, 1982)으로 보고되어 있다. 0.1N HCl을 이용한 분석방법을 시행한 서울도로변토양의 Pb 함량은 13.7ppm(최병영 등, 1999)이고 중부토양은(김기현 등, 1996) 5.42ppm(4.94~6.08ppm), 부산지역은 27.8ppm(김진섭 등, 1997)이다. 본 연구지역의 Pb 평균 함량은 8.64ppm으로 중부지방토양 중 Pb평균함량보다 약간 높으며 Pb함량범위는 0.42~63.04ppm<Table 1>로 비교적 심한 함량변화를 보인다.

행정구역별 함량 분포를 살펴보면, 북

구의 전남대학교 부근에서 최고값을 보이고 남구의 백운로터리 주변에서도 높은 값을 보였다. 북구는 고속도로가 인접해서 외부차량의 소통이 많은 지역이고 남구의 백운로터리는 목포나 나주로 향하는 차량의 통과지점이라는 점에서 북구와 남구는 비슷한 양상을 보이는 경향이 있다(<Table 2>, [Figure 10]).



[Figure 10] Contour diagrams of Pb

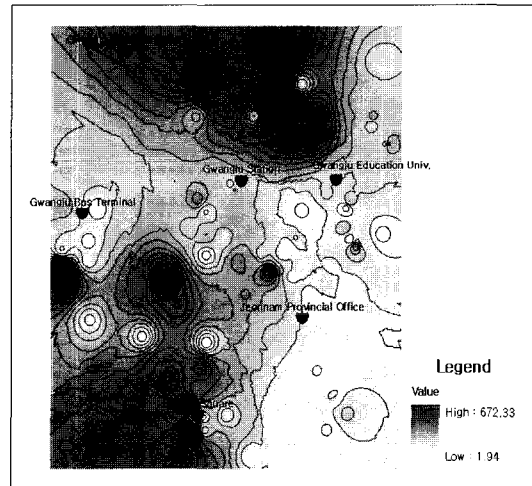
7) Zn

Zn의 오염은 모물질의 성분을 제외한 대부분이 인간에 의한 오염으로 농업용 비료는 거대한 Zn운반체이며, 자동차 연료첨가제, 타이어, 브레이크 라이닝, 모터오일 등에서 배출된다(민경원과 정연태, 1996).

Rose *et al.*(1979)은 토양중의 Zn함량을 각각 36ppm, 20ppm으로 보고한 바 있으며, 국내 토양의 평균함량은 40.41ppm(서윤수 등, 1982)으로 보고되었다. 0.1N HCl을 이용한 분해방법으로 서울지역의 평균

Zn함량은 202.3ppm(최병영 등, 1999)이고 중부지방토양(김기현 등, 1996)의 Zn함량은 5.76ppm(0.02-67.3)이며 부산지역의 평균Zn함량이 47.1ppm(김진섭 등, 1997)이다. 본 연구지역의 Zn함량은 중부지역(김기현 등, 1996)이나 부산지역(김진섭 등, 1997) Zn함량보다는 상당히 높은 수준인 150.09ppm이고 Zn함량범위는 1.94~672.33ppm(<Table 1>)이다. 이는 매우 오염되어 있음을 의미한다. 원인은 자동차로부터 발생하는 Zn화합물로 인한 것으로 사료되며, 깊은 주의가 필요시 된다.

행정구역별 Zn의 함량변화를 살펴보면, 전 지역에서 전반적으로 높은 값을 나타내고 있지만 최고값을 띠는 지역은 북구의 함이스포렉스 앞 사거리 주변이며 말바우 시장에서 북구청 방향으로 향하는 도로에서도 상당히 높은 함량 값을 보여주고 있고 서구의 광천터미널 부근에서도 높은 함량값이 나타났다. 서구, 남구, 북구의 평균값은 거의 일정하고 함량변화폭



[Figure 11] Contour diagrams of Zn

이 크게 나타며 동구는 평균함량값이 비교적 적고 함량변화폭도 작게 나타나고 있다(<Table 2>, [Figure 11]).

8) P.I.

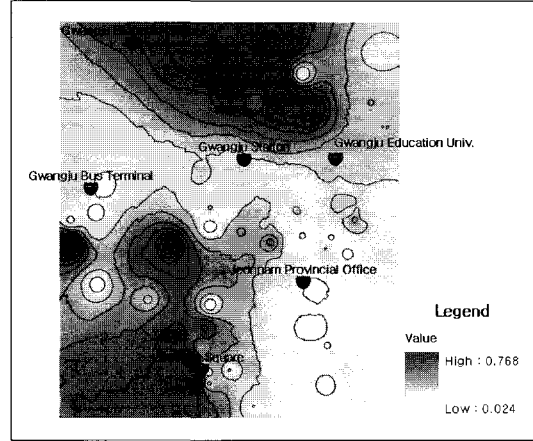
여러 문헌에서 인용되며(Nimick and Moore, 1991) 퇴적물이나 토양 등의 지질 매개체에 나타날 수 있는 복합적인 중금속 오염정도를 정량하기 위해 오염지수(Pollution Index)가 사용돼 왔으며, 본 연구지역의 분진오염 역시 중금속들의 복합적인 현상이므로 이를 예상 할 수 있는 지표로써 중금속원소의 함량과 허용한계치와의 비를 이용한 오염지수를 이용하여 오염정도를 비교하였다.

오염지수계산에 이용된 원소는 Cd, Cu, Pb, Zn이며, 계산에 이용된 허용한계치는 Kabata-Pendias and Pendias(1984)가 제시한 토양내 한계값(Cd 3ppm, Cu 100ppm, Pb 100ppm, Zn 300ppm)을 이용하여 식(2)를 적용하여 계산하였다.

$$P.I. = \frac{\sum \left(\frac{\text{토양내 중금속원소 함량}}{\text{허용한계치}} \right)}{\text{중금속원소의 수}} \quad (2)$$

이와 같이 계산된 오염지수는 각 원소별로 허용한계치와의 비를 평균한 것이므로 이 값이 1보다 크면 토양에 중금속 오염이 존재함을 의미한다.

본 연구지역에서 계산된 P.I. 값은 전체적으로 1을 넘지 않아 아직 중금속 오염이 진행되지 않은 것으로 판단되나, 최대값(0.77)을 보이는 전남대학교 부근과 광천동 터미널 부근, 백운광장 부근은 중금속 오염의 가능성이 높은 지역이라고 할 수 있다.



[Figure 12] Contour diagrams of P.I.

5. 결 론

광주광역시의 도시환경에서의 도시화, 산업화의 인위적 오염원에 의한 중금속 원소들의 분산양상과 오염특성을 파악하기 위해 광주시의 도로변 분진 및 토양을 대상으로 pH측정, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn의 화학분석을 실시한 결과는 다음과 같다.

1. 본 연구지역의 pH는 대부분 5~7정도의 약산성 영역 내지는 중성에 가깝게 나타났으며, 이러한 경향은 특정지역에 국한되어 나타나지 않고 지역 전반에 걸쳐서 골고루 나타나고 있다. 또한, 화학분석 결과 백운동로터리에서 광천동터미널을 잇는 서부순환도로와 전남대학교를 중심으로 한 북구도로변에서 높게 나타나는데, 이는 지역적 특성을 고려해 볼 때 교통량이 상당히 많은 지역으로서 자동차 배기 가스 및 타이어의

- 마모에 의한 것으로 생각된다.
2. Cd는 서부순환도로에서 광천동으로 향하는 지역에서 최고함량을 보이고 있는데, 이는 교통량의 집중 때문으로 생각되며, Cu의 경우 서구지역인 백운로터리에서 광천동터미널로 향하는 순환도로부근에서 전반적으로 높은 값을 보였고 전남대학교와 북구청 일부지역에서도 높은 값을 나타냈는데, 이들 지역은 주로 차량과 인파가 많은 지역이고 특히, 외부로 통하는 교통통로의 특성이 반영된 것으로 판단된다.
 3. Pb는 전남대학교부근과 백운동로터리에서 약간 높은 수치를 보였으며 특히, 전남대학교 부근은 인파와 차량통행이 많은 지역이고 백운동지역은 광주와 나주 및 목포로 연결된 차량의 집중 지역임을 고려할 때 오염도 값이 높게 나온 것으로 평가된다. 또한 광주의 Zn는 서울의 271ppm 보다는 못 미치지만 오염이 상당히 진행되고 있음을 알 수 있었다.
 4. P.I.를 계산한 결과 전체적으로 중금속 오염이 정도가 우려할 정도는 아니며, 북구와 서구가 다른 지역에 비해 상대적으로 오염이 더 진행되었음을 알 수 있었다.
 5. 본 연구에서 GIS 공간분석기법으로 분석한 도로주변의 중금속 함량은 샘플링한 위치를 기초로 보간한 것으로서, 샘플링 지점이 전체지역을 대변할 수 있을 만큼 규칙적이고 충분했는지에 대한 고려는 배제한 상태로 출발하였다. 따라서 차후 연구

에서는 분석결과의 신뢰성 확보를 위해 샘플링 지점의 선정 기준을 함께 제시하는 것이 바람직하다고 생각된다.

참고문헌

- 김기현, 김세현, 최영천, 1996, “중금속의 토양오염 : 한국 중부지역의 농경지를 중심으로”, 자원환경지질, Vol. 29, No. 6, pp. 725-732.
- 김옥배, 이무성, 박희열, 박정용, 나춘기, 1997, “공업단지 주변 토양의 중금속오염에 관한 환경 지화학적 연구”, 한국자원공학회지, Vol. 34, No. 1, pp. 1-10.
- 김진섭, 박맹언, 윤일, 1997, “부산 지역 토양중의 Cu, Pb, Zn, Cd, Mn의 지구화학적 분산”, 자원환경지질, Vol. 30, No. 2, pp. 117-122.
- 민경원, 정연태, 1996, “춘천지역 토양 및 분진 중의 유독성 미량원소의 분포에 관한 지구화학적 연구”, 한국자원공학회지, Vol. 33, No. 1, pp. 12-16.
- 박영석, 김진, 2000, “덕음광산 선광광미와 주변토양의 중금속에 대한 수평·수직적인 분산에 관한 연구”, 자원환경지질, Vol. 33, No. 2, pp. 91-100.
- 서운수, 문화회, 김인기, 김학엽, 정성환, 지달현, 1982, 토양중의 중금속 자연함유량에 관한 조사, 국립환경연구소보, Vol. 4, pp. 189-198.
- 엄석원, 김명희, 박성배, 1985, 토양 중 중금속의 수직 분포도 조사, 서울특별시 보건환경연구소보, Vol. 21, pp. 136-140.

- 윤연흠, 박돈희, 김용웅, 조완현, 박천영, 윤정환, 2000, “여천공단 주변 토양의 중금속함량에 관한 연구”, *자원환경지질*, Vol. 33, No. 5, pp. 379-389.
- 이언호, 2002, 광주지역 분진중의 중금속 원소 함량과 분산에 관한 지구화학적 연구, 전남대학교 대학원, 석사논문, p. 57.
- 이재영 이인호 이순영, 1996, “금속 폐광산 주변의 토양, 식물 및 하천의 중금속오염에 대한 지화학적 연구 - 달성 및 경산광산”, *자원환경지질*, Vol. 29, No. 5, pp. 597-613.
- 전효택, 최완주, 1992, “도시 및 산업환경 분진 및 토양중의 중금속 원소들의 분산에 관한 지구화학적 연구”, *광산지질*, Vol. 25, No. 3, pp. 317-336.
- 최병영, 윤성택, 이평구, 1999, “서울 지역 도로가 퇴적물의 중금속 함량”, *춘계공동학술발표회 논문집*, pp. 39-42.
- Fortescue, J. A. C. F., 1980, *Environmental Chemistry*, Springer-Verlag, New York, p. 347.
- Hoffman, S. J., 1987, Geochemical exploration - The soil survey. In *Exploration geochemistry : Design and interpretation of soil surveys*. Reviews in Economic Geology, Vol. 3, pp. 19-78.
- Hunt, A., Johnson, D. L. Thornton, I. and Heasman, I. N., 1989, Determining the source of lead in house dust: A particle class balance receptor model approach(Ed. by Vernet, J. P.), Vol. 2, pp. 500-503.
- Jung, M. C., 1995, Heavy metal contamination of soils, plant, waters and sediments in the vicinity of metalliferous mines in Korea. unpublished PhD thesis, University of London, p. 455.
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H., 1984, *Trace Elements in Soils and Plants.*, CRC Press, p. 315.
- Nimick, D. A. and Moore, J. M., 1991, Prediction of water-soluble metal concentrations in fluviially deposited tailing sediments, Upper Clark Fork Valley, Montana, U. S. A., *Appl. Geochem.*, Vol. 6, pp. 635-664.
- Rose, A. W., Hawkes, H. E. and Webb, J. S., 1979, *Geochemistry*, Applied Publishing Ltd., Calgary, p.889.
- Rump H. H. and Krist H., 1988, *Laboratory Manual for the Examination of Water, Waste water and Soil : VCH Verlagsgesellschaft*, p. 190.
- Thornton, I., Culbard, E. B., Moorcroft, S., Watt, J. M., Wheatley, M., Thompson, M. and Thomas, J. F. A., 1985, Metals in urban dusts and soil. In *Environ. Technol. Lett.*, Vol. 6, pp. 137-144.
- Webb, J. S., Thornton, I., Thompson, M., Howarth, R. J. and Lowenstein, P., 1978, *The Wolfson geochemical atlas of England and Wales*. Clarendon Press, Oxford, p. 70.