

충남지역 D제철소 주변의 대기 및 토양의 중금속 농도,
제철소주변지역의 중금속분포에 관한 연구

염윤기¹ · 지석기² · 이승현² · 조태진² · 전혜리² · 장봉기² · 손부순^{2*}
순천향대학교 임상약리학교실¹, 순천향대학교 환경보건학과²

Concentration of Heavy Metals in Air and Soil around the D
Iron-manufacturing Company Area in Chungnam, Korea

Yoon-ki Yom¹ · Suk-ki Ji² · Seung-hun Li² · Tea-jin Cho² ·
Hye-li Jeon² · Bong-ki Jang² · Bu-soon Son^{2*}

¹Dept. of Clinical Pharmacology, Soonchunhyang University

²Dept. of Environmental Health Science, Soonchunhyang University

Abstract

The analyzed results of the heavy metal concentration of air and soil at the D iron-manufacturing company area were as follows;

The concentration of PM_{2.5} in the case area exceeded the air standard level in 3 seasons except summer. The PM₁₀ level was similar to the standard level, which was similar to the standard level, which was 50 μ g/m³. The Pb concentration of air in the case area was 0.13 μ g/m³, which was slightly higher than 0.11 μ g/m³ in the control area.

The concentration of Cd and Cr were higher in the control area. The heavy metal (Pb) concentration of soil in the case area was 10.7 μ g/m³, which was higher than that of the control area. For these results, it is necessary for the D iron-manufacturing company area to consider a counter plan for dusts and are duction plan for the heavy metal (Pb).

Key words : Heavy metal, Air, Soil, Iron-manufacturing company area

*Corresponding author E-mail: sonbss@sch.ac.kr

1. 서론

오늘날 인류가 당면하고 있는 가장 중요한 과제는 인구증가, 환경오염 및 자원고갈이라고 한다. 인간을 둘러싸고 있는 환경은 인류역사와 함께 지속적으로 변화되어 왔으며, 특히 산업혁명 이후 기계공업의 발달과 함께 지하자원인 금속, 석탄, 석유 등이 대량 사용되면서 대기, 수질, 토양 등 생태계 교란과 환경오염이 사회문제로 대두되고 있다.¹⁾

1970년 이후 급격한 공업화 및 생활수준의 향상과 더불어 에너지 사용이 급격히 증가함으로써²⁾, 대기오염 물질의 발생량도 크게 증가하였으며, 환경기준을 초과하는 지역이 점점 늘어나고 있다. 도시 대기 중의 부유분진은 주로 토양입자, 공장 등의 고질 배출원 및 자동차 등의 이동배출원에서 발생되고 있으며, 배출원의 종류와 계절 및 기상조건 등 여러 가지 요소의 영향을 받기 때문에 구성성분이 다를 뿐 아니라 중금속의 종류와 농도 등의 차이를 보인다. 특히 우리나라의 대표산업인 철강산업의 경우, 고도의 발전과 경제성장에 반해 환경오염에 관한 관심과 대책마련이 시급한 실정이다.^{3,4)}

제철소주변지역의 대기 및 토양오염 현상은 제철소에서 배출하는 대연이나 폐수에 포함된 중금속이 지하수, 하천 및 비산분진 등에 의해 광범위한 지역에 확산된다고 보고되고 있다.⁵⁾ 제철소 배출가스를 통해서 배출되는 중금속은 화석연료 속에 함유되어 있던 성분이 고온연소과정에서 기화되어 대기 중에 배출된 후 기온이 내려가면서 포화증기압이 떨어져 고체화되면서 부유분진 등에 흡착되어 지표에 강하한다. 이 중 몇 가지 유해 중금속은 인체에 흡수되어 급·만성장애를 초래한다.⁶⁾

이와 같은 대기 중의 중금속 오염을 저감하기 위해 우리나라에서도 대기환경기준을

제정하여 규제하고 있으나 중금속으로 인한 호흡기계통의 장애가 대부분 저농도 함유공기를 장기간 흡입함으로써 천천히 나타나므로 대책수립에 어려움이 있다.⁷⁾

또한 토양은 생태계에 있어서 가장 중요한 지지체 역할을 하며, 인류생활에서 없어서는 안 될 중요한 삶의 터전이다. 그러나 산업화와 도시화로 인하여 다종다양의 오염물질이 굴뚝과 하천을 통하여 배출되고, 이들 오염물질들은 결국 토양에 축적된다. 토양이 중금속으로 오염될 경우, 농작물의 생육을 저해시켜 수확량을 감소시킬 뿐만 아니라 중금속으로 오염된 농산물을 섭취하는 사람의 인체에 농축되어 만성적인 중독 증상을 일으킨다.^{4,8)}

본 연구에서는 충청남도에도 소재하고 있는 D제철소 주변지역과 제철소에서 멀리 떨어져서 피해를 거의 받지 않을 것으로 예상되는 대조지역의 토양과 대기 중에 함유된 중금속농도를 파악하여 관리대책을 수립하기 위한 기초 자료로서 제공하고자 한다.

1. 연구대상 및 방법

1. 조사기간 및 지점

환경오염물질 노출조사는 11월부터 그 다음 해 8월까지 10개월에 걸쳐, 계절별로 각 3일씩 12일간 실시하고, 시료는 측정 당일 오전 10시부터 다음날 10시까지 24시간 동안 채취하였다.

Table 1. Sampling duration

	Autumn	Winter	Spring	Summer
Air	12. 12	2. 05	4. 02	7. 25
Soil	~ 12. 15	~ 2. 08	~ 4. 05	~ 7. 28

조사지점은 노출지역 2곳, 대조지역 1곳 등 3개 지점이며, 노출지역은 제철소를 중심으로 반경 5km 이내의 주민이 많이 거주하는 곳, 대조지역은 제철소로부터 약 20km 떨어진 곳을 선정하였다.

2. 대기시료(PM_{2.5}, PM₁₀) 채취

대기 중의 미세먼지 농도는 소용량 공기 채취기(mini volume air sampler, Air Metrics, USA)와 로우볼륨 에어 샘플러(cyclone air sampler, URG Corp, U.S.A)를 이용하여 측정하고, 채취시 흡입유량은 5L/min 와 16.7L/min으로 계절별 각 조사지점당 24시간씩 3일 동안 연속 측정하여 대기 중 PM_{2.5} 및 PM₁₀의 중량농도를 산출하였다.

시료채취에 사용된 필터(공경 47mm, membrane filter, Advantec, Japan)는 시료채취 전후, 항온·항습장치에 24시간 보관한 후 0.001mg 이상의 감도를 갖는 분석용 저울(AT 261, Mettler toledo, Switzerland)로 5회 반복하여 중량을 칭량한 후 평균하였다. 또한 미세먼지의 중량농도 산출 시 온도와 습도 등에 의한 중량측정의 오차를 최소화하기 위해 시료채취 전후 control filter를 사용하여 채취된 필터와 동일한 방법으로 칭량하였으며, 전후의 중량 차이를 각각의 시료 채취용 필터에 적용하였다.

또한 대기 중의 중금속시료 채취장치는 고용량 시료채취기(high volume air sampler, KIMOTO, Japan)를 이용하였다. 채취유량은 중금속 분석에 필요한 충분한 양을 포집하기 위하여 1.2~1.4m³/min로 계절별 각 지점당 24시간씩 3일 동안 연속 측정하였다. 시료채취에 사용한 필터(8×10⁴quartz filter, Whatman, England)는 사용 전에 유기성 불순물을 제거하기 위하여 약 400℃에서 5시간 열처리하여 휘발성분을 제거하였다. 또

한, 중금속 분석을 위하여 일정한 크기로 절단하여 추출 및 전처리 과정을 거친 후 분석용 시료로 사용하였으며, 채취과정 및 분석오차를 줄이기 위하여 채취하지 않은 필터(blank filter)를 시료채취에 사용된 필터와 동일하게 분석하여 중금속 농도를 보정하였다.

3. 토양시료 채취

토양시료는 테프론 마개가 달린 1L용량의 테플론 뱃에 가득 채워하고, 분석 전까지 4℃를 유지하며 냉암소에 보관하였다.

4. 분석방법

4.1. 중금속

대기 및 토양 중 중금속 물질은 ICP(ICPS-7500, Shimadzu, Japan)를 이용하여 분석하였다. 분석에 사용된 ICP 분석기기 및 분석조건은 아래와 같다.

Table 2. Heavy metal analyzer and condition of analysis

Power	1.0Kw
Plasma gas flow	15L/min
Auxiliary gas flow	1.5L/min
Spray chamber type	Glass cyclonic
Torch	Standard axial torch with 2.3mm ID injector
Nebulizer	high flow micro concentric nebulizer
Pump speed	15rpm
Sample up take rate	160μl/min
No. of replicates	3

4.2. 토양의 수은 분석법

토양시료는 실험 전에 입자를 균질화하기 위해 0.42mm 표준망체를 이용하여 자갈 등 입자가 큰 물질을 제거하였다. L-cysteine 용액은 1,000ml volumetric flask에 L-cysteine 10mg과 질산 2ml를 첨가한 후 증류수로 표선까지 채워서 조제하였다. 검량선을 작성하기 위하여 Hg 표준용액 1,000ppm (Wako 사)을 100ml의 volumetric flask에 1ml 넣고

L-cysteine 용액으로 희석하여 10ppm 용액을 만든 후, 이 용액 10ml를 100ml volumetric flask에 넣고 L-cysteine 용액으로 표선까지 채워 1000ppb 용액을 조제하였다. 1000ppb 용액을 이용하여 각각 100ml의 volumetric flask에 3ml, 6ml, 9ml를 넣고 L-cysteine 으로 표선을 채워 30, 60, 90ppb의 standard sample을 만들어 검량선을 작성하였다. 모든 시료는 sample boat에 첨가제(BHT, MHT)를 넣고, 50mg씩 정량하여 주입한 후 분석하였다.

Table 3. Equipment condition of auto mercury analyzer

Mercury analyzer	
Method	Gold-amalgam collection method with thermal decomposition by a ceramic tube heater
Carrier gas	Purified dry air
Sample from	Liquid
Heating Mode	Two available modes
Measurement time	Solid 6 min.

Table 4. The calibration curve for determination of mercury (unit : ppb)

	Std. 1	Std. 2	Std. 3
Hg	30	60	90

III. 결과 및 고찰

1. 노출지역의 미세먼지

PM_{2.5}농도는 노출지역 A와 B는 각각 27.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 25.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 비슷하고, 대조지역은 20.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 노출지역이 약 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 높게 나타났다. PM₁₀농도는 노출지역 A와 B는 49.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 48.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 비슷하고, 대조

지역은 39.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 노출지역이 약 9.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 높게 나타났다.

계절별 PM_{2.5}농도는 봄철에 노출지역 A, B와 대조지역이 35, 33.7 및 23.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 가장 높게 나타났다. 이는 봄철에 생산 활동이 왕성하고, 황사현상, 산불, 농경지 및 나대지에서 발생하는 먼지, 꽃가루 등에 기인한 것으로 판단된다.

또 세 지역 모두 여름철에 PM_{2.5}농도가 가장 낮게 나타났는데 노출지역 A, B 및 대조지역이 각각 17.8, 17.7 및 14.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

이었다. 이와 같이 여름철 농도가 낮은 이유는 먼지입자가 불안정한 대기 상태에 의해 빗방울을 형성하는 응축작용으로 작용하여 제거되는 rain-out 현상과 잦은 강우에 의해 세정되기 때문이라고 판단된다.(김병화 등, 2000)

계절별 PM₁₀농도도 PM_{2.5}와 마찬가지로 봄에 높고 여름철에 가장 낮게 나타났다. 노출지역 A, B 및 대조지역의 봄철농도는 각각 59.3, 60.3 및 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 노출지역이 약 11.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 높고, 여름철농도는 33.4, 35.4 및 23.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 노출지역이 약 10.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 높게 나타났다.

한편 봄철 PM_{2.5}와 PM₁₀농도를 비교하면 노출지역과 대조지역 모두 PM₁₀농도가 24.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 높고, 여름철에는 노출지역은 PM₁₀농도가 약 16.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 높은 반면 대조

지역은 PM_{2.5}농도가 4.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 높게 나타났다. 이와 같이 대조지역에서 봄에 PM₁₀농도가 높고 여름철에 PM_{2.5}농도가 높은 것은 봄에는 토양기인에 의한 조대먼지가 많기 때문이다.

미세먼지농도를 기준치와 비교하면 PM_{2.5}의 경우, 국내에는 대기환경기준치가 마련되어 있지 않기 때문에 미국환경청(EPA)의 연평균 대기환경기준(15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)과 비교해 보면, 여름철을 제외하고는 3개월 모두 기준치를 초과하며, PM₁₀ 경우는 대기환경보전법 개정(2006년 12월 4일)으로 국내 연평균 대기환경기준(50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)이 강화되었는데, 이 기준치와 비교할 경우 노출지역은 기준치에 근접하는 수준이며, 대조지역은 다소 낮은 농도수준을 보였다.

Table 5. Level of PM10 and PM2.5

(unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Pollutants	Area	Case A area		Case B area		Control area	
		Average	Range	Average	Range	Average	Range
PM _{2.5}	Autumn	29.1	26.7~31.9	25.7	23.4~28.7	20.8	20.1~21.6
	Winter	26.7	24.0~43.9	25.9	23.5~26.8	23.3	20.0~25.2
	Spring	35.0	30.2~43.9	33.7	30.6~37.9	23.7	22.2~25.8
	Summer	17.8	15.0~20.0	17.7	16.5~20.1	14.9	14.4~15.8
	Mean		27.2		25.6		20.4
PM ₁₀	Autumn	53.7	52.7~54.9	52.7	52.1~53.4	45.3	41.2~49.6
	Winter	50.1	44.4~55.9	46.6	42.6~50.2	39.6	36.5~42.3
	Spring	59.3	53.4~68.3	60.1	56.0~62.8	48.0	46.9~49.6
	Summer	33.4	32.7~34.2	35.4	30.8~38.5	23.8	21.2~25.9
	Mean		49.1		48.7		39.2

2. 대기 및 토양의 중금속 농도

대기의 중금속농도는 Pb의 경우 노출지역은 0.13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 대조지역은 0.1143 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 노출지역이 대조지역보다 0.015 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 높게 나타났다. Cd는 노출지역 0.0031 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 대조지역 0.0045 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 노출지역보다 대조지역이 0.0014 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 높으며, Cr은 노출

지역 0.0124 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 대조지역 0.0395 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서, 대조지역이 0.0271 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 높게 나타났다. 대기 중의 중금속은 Pb는 노출지역에서 더 높고, Cd와 Cr은 대조지역이 노출지역보다 더 높은 데 이러한 원인을 규명하기 위해서는 장차 더 광범위한 연구가 진행되어야 할 곳으로 사료된다..

토양의 중금속농도는 Pb의 경우 노출지

역이 $10.706\mu\text{g}/\text{m}^3$, 대조지역이 $7.285\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 노출지역이 $3.421\mu\text{g}/\text{m}^3$ 높고, Cd은 노출지역은 $0.042\mu\text{g}/\text{m}^3$, 대조지역은 $0.168\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 대조지역이 $0.126\mu\text{g}/\text{m}^3$ 높으며, Cr은 노출지역이 $0.1305\mu\text{g}/\text{m}^3$, 대조지역이 $0.2200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 대조지역이 $0.0795\mu\text{g}/\text{m}^3$ 높게 나타났다. Hg의 경우 노출지역이 $0.051\mu\text{g}/\text{m}^3$, 대조지역이 $0.055\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 노출지역과 대조지역이 별 차이가 없는 것으로 나타났다.

대기와 토양의 중금속농도를 비교하면, Pb는 대조지역보다 노출지역이 높고, Cd와 Cr는 대조지역이 더 높은 것으로 조사되었다. 대기와 토양의 중금속농도는 비슷한 양

상을 나타내는 것으로 조사되었다. Last 등의 연구에 의하면 대기 중 Cd의 농도는 외국의 경우 농촌 지역이 대개 $0.0001-0.043\mu\text{g}/\text{m}^3$, 도시 지역은 $0.002-0.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ 라고 한다(Last, 1980). Clayton 등⁹⁾의 보고에 의하면 미국의 대기 중 Cr의 농도는 비도시 지역이 $0.01\mu\text{g}/\text{m}^3$ 미만, 그리고 도시 지역은 $0.01-0.03\mu\text{g}/\text{m}^3$ 라고 나타났다.

위와 같은 결과로 보아 대조지역이 노출지역에 비해 Cd와 Cr의 높은 농도로 측정이 된 것은 대조지역이 도시지역이기 때문이라고 생각된다.

Table 6. The concentration of heavy metal in air and soil of exposure area and non-exposure area (unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Sample	Classification	Pb	Cd	Cr	Hg	
Air	Exposure area	Mean	0.1300	0.0031	0.0124	-
		No.	24	24	24	
		S.D	0.11493	0.00204	0.01019	
		Minimum	0.00	0.00	0.00	
		Maximum	0.37	0.01	0.03	
	Non-exposure area	Mean	0.1143	0.0045	0.0395	-
		No.	12	12	12	
		S.D	0.11173	0.00805	0.06544	
		Minimum	0.00	0.00	0.00	
		Maximum	0.33	0.03	0.23	
p-value	0.699	0.560	0.181			
Total	Mean	0.1248	0.0036	0.0214	-	
	No.	36	36	36		
	S.D	0.11252	0.00485	0.03977		
	Minimum	0.00	0.00	0.00		
	Maximum	0.37	0.03	0.23		
Soil	Exposure area	Mean	10.7060	0.0420	0.1305	0.0510
		No.	20	20	20	20
		S.D	6.77706	0.02526	0.03620	0.01509
		Minimum	3.09	0.01	0.06	0.04
		Maximum	24.65	0.10	0.79	0.09
	Non-exposure area	Mean	7.2850	0.1680	0.2200	0.0550
		No.	10	10	10	10
		S.D	1.64886	0.22155	0.04595	0.01509
		Minimum	5.74	0.06	0.17	0.04
		Maximum	11.09	0.79	0.30	0.09
	p-value	0.044	0.106	0.000	0.456	
	Total	Mean	9.5657	0.0840	0.1603	0.0523
		No.	30	30	30	30
		S.D	5.79873	0.13893	0.05792	0.01357
Minimum		3.09	0.01	0.06	0.03	
Maximum		24.65	0.79	0.30	0.09	

3. 토양 중금속성분의 상관성

충남 D제철소 주변지역의 토양 중 중금속들 간의 상관성 분석결과는 표 7에 나타내었다. Pb의 경우 Cd, Cr, Hg과 음의 상관관계를 보였으며, Cd의 경우 Cr, Hg과 양의 상관관계를 갖는 것으로 나타났으나 통계적으로 유의하지는 않았다. Cr의 경우 Hg과 양의 상관관계를 나타냈다.

Table 7. Correlation matrix of heavy metal in soil

	Pb	Cd	Cr
Cd	-0.183		
Cr	-0.127	0.247	
Hg	-0.230	0.006	0.175

D 제철소 주변 대기 중 중금속 함량간의 상관성 분석결과는 표 8에 나타내었다. Pb의 경우 Cd과 통계적으로 유의한 양의 상관관계를 보였으며, Cd의 경우는 Cr과 양의 상관성을 나타냈다($p < 0.05$).

Table 8. Correlation matrix of heavy metal in air

	Pb	Cd
Cd	0.348	
Cr	0.317	0.422*

* : $p < 0.05$

IV. 결론

본 연구의 노출지역 조사지점은 D제철소에서 가장 인접하고 주민이 많이 거주하며, D제철소를 중심으로 5km 이내의 지점을 선정하였으며, 대조지역은 제철소로부터 약 20km 가량 떨어져 있으면서, 공단지역의 환경오염의 영향을 거의 받지 않을 것으로

예상되는 지점을 선정하였다. 측정 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 노출지역의 PM_{2.5}의 농도는 여름철을 제외하고는 3계절 모두 기준치를 초과하였다. PM₁₀의 농도는 국내 연평균 대기환경기준(50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)과 비교했을 경우 노출지역은 기준치에 근접하는 수준이며, 대조 지역은 다소 낮은 농도수준을 보였다.

2. 대기 중 노출지역의 평균농도는 Pb의 경우 노출지역(0.13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)이 대조지역(0.1143 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 높게 나타났으나, Cd와 Cr은 대조지역이 노출지역보다 높게 나타났다.

3. 토양의 중금속 중 Pb의 농도는 노출지역(10.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)이 대조지역(7.2850 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 높은 경향을 보였으며, Cd과 Cr은 대조지역이 노출지역보다 높게 측정되었다.

4. 토양 중 중금속 상관성 분석결과는 Pb의 경우 Hg이 음의 상관관계를 가졌으며, Cd의 경우 Hg은 양의 상관관계를 갖는 것으로 조사되었다. 대기 중 중금속의 상관성 분석결과는 Pb의 경우 Cd, Cr과 양의 상관관계를 나타내었으며, Cd의 경우 Cr은 양의 상관관계를 보이는 것으로 나타났다.

따라서 본 연구의 결과로 보았을 때 PM_{2.5}의 경우는 여름철을 제외한 세 계절에 대해서는 감소방안을 마련해야 할 것으로 판단된다. 대기 및 토양의 중금속 중 Pb의 경우는 노출지역에서의 농도가 높았고, Cd과 Cr은 도시지역이 비도시 지역보다 높게 측정이 되었다. 이와 같은 결과는 제철소 주변의 직접 노출지역에 대해서는 Pb의 배출감소를 위한 대책이 필요하며, Cd과 Cr은 도시지역의 대중교통의 화석연료 연소에 의한 배출량이 증가하여 인체와 동식물에 게도 영향을 미칠 수 있으므로, 이 또한 대책이 마련되어야 할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 논문은 순천향대학교 학술연구조성비 일반연구과제로 지원을 받아 수행하였으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 강병욱, 이학성, 김희강 : 수용 모델을 이용한 청주시 미세먼지(PM_{2.5})의 기여도 측정, 한국대기환경학회 춘계학술대회는 문집, 2003.
2. 김성조, 백승화 : 장항제련소 지역의 토양과 수도체중 Cd 및 Zn 함량변화, Korea J, Environ. Agric. Vol. 13, No. 2, August, 1994.
3. 김성연, 정문호, 손부순, 양원호, 최경호 : 서울시 일부 지역의 대기 중 미세먼지에 관한 연구, 한국환경보건학회지, 31(4), 301~308, 2005.
4. 김정기, 이병규, 김수홍, 문종익 : 울산의 산업지역 내 토양 중 중금속농도 분석, 한국대기환경학회 추계학술대회 논문집, 2004.
5. 오현정, 김민영, 이재영 : 난지도 주변 지역 토양 중금속 오염 특성에 관한 연구, 한국지하수토양환경학회지, Vol. 7, No. 3, 71~77, 2002.
6. 우영국 : 대구시 지역 토양의 중금속 함량에 관한 연구, 환경관리학회지, 제 8 권, 제 11호, 35~40, 2002.
7. 조현용, 문덕환, 전진호, 이채연, 김성천 : 부산지역 대기중 중금속 오염도, Inje Medical Journal, Vol 13, No. 2, 1992.
8. 이수래, 송기준 : 아연광산 인근 토양중의 중금속 함량이 옥수수 생육에 미치는 영향. J. Environ. Agric., Vol. 13, December, 1994.
9. Clayton, G.D., et al. : Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, New York, Pub., 1981
10. 장미숙, 임종명, 윤미정, 남병현, 이진홍 : 대전 3, 4 공단지역의 대기 중 중금속의 농도, Res. Rep. Env. Sci. Tech Chungnam Nat'l Univ. Korea, Vol. 17, 99~106, 1999.
11. Bell, R.W. and Hipfner, J.C., Airborne hexavalent chromium in southwestern Ontario, J. Air and Waste Manage. Assoc., Vol. 47, No. 8, 1997.
12. Tucker, W. G. : An overview of PM sources and control strategies. Fuel Processing Technology, 65~66, 379~392, 2000.
13. U.S. EPA, Hazardous waste management system; standard for owners and operators of boilers and industrial furnaces, U.S. EPA, 1986.