

인천지역 강하먼지 및 중금속 침착량 특성 조사

방기인, 곽완순, 성동모, 추완중, 문승탁, 정일진, 박형욱

인천시보건환경연구원 대기보전과

A Study on the Deposition Flux Characteristics of Dustfall and Heavy Metal in Incheon

K.I.Bang, D.M.Seong, W.J.Chu, S.T.Moon, I.J.Jung, H.W.Park, W.S.Kwack

Air Conservation Division, Incheon Institute of Health & Environment

ABSTRACT

This Study was carried out to estimate the deposition flux of the dustfall at Incheon and heavy metal composition in dustfall by regional and seasonal distribution. Dustfall matter samples were collected by the deposit jar of mouse type. Dustfall amount of seasonal variation were found in order of spring season, winter season, falling season and summer season, and regional total dustfall had higher concentration in order of industrial and road zone, residence and commercial zone and agricultural and green zone. Deposition characteristics of dustfall and heavy metal showed very similar deposition trend. Concentration of heavy metal were found in order of Fe>Cu>Mn>Pb>Cr>Ni>Cd and this results were similar trend that on the heavy metal measuring network. By the regional distribution, Seo-gu were higher deposition flux than other area, and heavy metal in dustfall were higher Seo-gu and Dong-gu than other area.

1. 서론

산업의 발전과 고도화는 환경오염 방지에 대한 지속적 관심과 노력을 수행하고 있으나 그 오염정도는 심각한 수준이다. 먼지 등과 같은 분진은 대기오염물질중 하나로서 지난 수십 년간 물리·화학적 특성을 파악하여 제거 및 감소를 위해 많은 연구가 수행되어 왔다. 최근 먼지에 의한 오염도는 매우 심각한 수준에 이르렀고, 많은 도시에서 환경기준을 초과하는 사례가 자주 발생함에 따라 먼지에 대한 관심이 증대되어 왔고, 또한 대기오염물질중 다른 오염성분에 비해 높은 농도로 측정됨에 따라 도시

대기오염물질중 주요 관리대상이 되었다. 이에 따라 불특정 오염원에서 배출되는 먼지의 제어는 국가의 현안과제중 하나로서 발생원에서의 먼지 발생감소나 제거는 도시 대기질 향상과 관리에서 매우 중요한 인자로 간주되고 있다.¹⁾

인천시는 그 면적이 1,010,349천km², 인구가 2,692천명으로 관내에 지방공단과 국가공단이 위치하고 있어 타 도시에 비해 대기오염도가 높은 것으로 조사되었고, 중국에서 유입되는 먼지와 기타 오염물질은 인천시 대기질을 저하시키는 중요 요인으로 작용하고 있다. 또한 최근 인천자유경제구역 및 기타 도심 재개발 등의 개발사업으로 인해 대기오염 문제가 점차 심화될 것으로 예상되고 있다.

대기중에 존재하는 먼지는 2가지 형태로 구분되는데, 공기중에 부유하고 있는 입경이 작은 부유먼지와, 입경이 크기 때문에 자연 상태로 지상에 낙하하는 강하먼지가 있다. 일반적인 부유먼지의 크기는 0.001~500 μ m의 크기를 갖고 있으며, 100 μ m이하의 크기를 갖는 먼지를 TSP, 10 μ m이하를 PM-10이라고 한다. 강하먼지는 부유먼지를 모두 포함하지만, 실제로는 입자크기가 100 μ m 이상을 의미한다.²⁾

대기중 입자상 물질의 소멸과 지표면으로의 침착은 두 가지 메카니즘으로 이뤄지는데, 첫 번째 메카니즘은 강수에 의하지 않고 중력침강 및 확산에 의해 직접 지면으로 이동하는 건식침착이 있고, 두 번째는 대기중 수분에 의해 일어나는데, 강우, 안개, 응축 등에 의해 지표면으로 이동되는 습식침착이 있다.^{3),4)}

현재 인천은 자동측정망을 통해 부유먼지 농도와 PM-10 농도 측정을 통해 대기질 오염도를 지속적인 측정을 통해 지역 및 계절별 오염도 변화 그리고 중국으로부터 유입되는 오염물질량 등을 조사하고 있으며, 이를 통해 오염 발생원 파악, 향후 국가간 환경분쟁시 능동적인 대처 및 오염물질에 대한 피해 등의 예측이 가능하지만, 강하먼지에 대한 장기적인 조사는 이뤄지지 않고 있다.

본 연구는 인천 전 지역을 대상으로 19개 지점을 선정하여 침착 포집기를 사용하여 강하먼지를 포집하여 강하먼지의 양과 먼지중 중금속 함유량 등을 조사하였다. 먼지 계절과 지역별 강하 먼지 양 및 중금속량을 측정하여 지역 및 계절별 농도변화 조사와 인천지역 대기질 개선을 위한 기초 자료를 수집을 통해 먼지 및 유해물질 등의 저감방안을 제시하여 강하먼지 오염원 및 피해지역 예측을 위한 자료를 축적하기 위해 수행하였다. 본 연구를 통해 대기오염이 환경 생태계에 미치는 영향에 대한 연구의 기초자료로 사용이 가능하고, 지역별 및 계절별로 침착량 예측을 통한 정량화가 가능할 수 있으며, 궤적모델을 통해 주변 국가들로부터의 오염물질의 장거리 운송에 대한 추정시 기초자료로 사용될 수 있을 것이다.

2. 문헌연구

대기중 존재하는 오염물질은 입자상 물질과 가스상 물질로 구분할 수 있는데, 그 중 입자상으로 존재하는 부유물질은 먼지와 미세먼지 형태로 존재한다. 대기 중의 입자상 물질 중에 입자의 지름이 10 μ m 이상으로 무거워 곧장 지상으로 강하하는 것. 혹은 비의 작용에 의해 지표면에 강하하는 것도 강하먼지라 한다. 또한 입자의 지름이 0.1~0.15 μ m 크기로 공기 중에 부유하는 것을 '부유먼지', 입자의 지름이 10 μ m 이하의 입자상 물질을 부유입자상물질이라 한다. 석탄이 주요한 연료였던 1970년대 초반까지 주요 공업 도시의 강하먼지량은 상당히 많았지만, 연료가 석탄에서 석유와 청정 연료의 사용이 증가되면서 급속히 감소하였다.⁵⁾

2.1 정의 및 성상

1. 먼지

먼지란 대기중에 떠다니거나 흩날려 내려오는 입자상 물질의 하나로 일명 먼지라 하며, 보통 0.1~500 μ m의 입경범위를 가지며, 입자의 크기에 따라 무거워서 침강하기 쉬운 것을 강하먼지라 하고, 입자가 미세하고 가벼워서 좀처럼 침강하기 어려워 장기간 대기중에 떠다니는 것을 부유먼지라 한다.

먼지는 주로 고체상 물질이지만, 액체상 물질로 이루어질 수도 있으며 그 안에 납, 구리, 크롬, 아연, 카드뮴 등과 같은 중금속물질이 들어 있기도 하고, 황산염, 질산염등과 같은 산성 유해물질이 함유 되어 있기도 하다. 이러한 조성은 먼지가 어느 발생원으로부터 나왔는가에 따라 달라지므로 먼지의 성상을 한마디로 정의하는 것은 매우 어렵다.

2. 미세먼지

우리나라는 대기중에 부유하고 있는 총부유먼지(TSP)과 별도로 인체에 흡입되어 폐포에 침착될 가능성이 큰 입자영역을 가진 미세한 먼지를 관리하기 위해 직경이 10 m이하인 먼지(PM10)를 대기환경기준항목으로 설정하여 관리하고 있으며, 외국에서는 인체영향 측면을 고려하여 PM10에서 직경이 2.5 m이하인 입자(PM2.5)를 새로운 관리대상 먼지로 설정하기 위한 연구를 시행 중이며, 이들 PM2.5는 2차 생성 먼지들이 중요 구성성분으로 알려져 있다.¹⁰⁾

2.2 주요 발생원

1. 먼지

- 화석연료를 사용하는 각종 연소시설(0.5~30 μ m) 및 소각시설(1~50 μ m)
- 유리, 도자기 및 금속의 용융·용해·열처리 시설(0.3~10 μ m)
- 화학비료, 석유정제 및 석유화학제품 제조시설 중 소성, 건조, 가열, 탈황시설(3~50 μ m)
- 시멘트, 코크스, 석탄, 연탄 제조시설 등(3~50 μ m)
- 각종 토목, 건축공사장, 채석장, 비포장 도로 및 나대지등에서도 발생.
- 자동차도 또한 먼지의 주요 발생원인데 직접적인 것은 자동차에서 배출되는 매연이고, 간접적으로는 자동차의 운행에 따라 타이어 및 도로의 마모에 의해서도 발생한다.

2. 미세먼지

일반적으로 대기중에 부유하고 있는 입자중 조대입자들은 주로 지면에서 비산된 토양입자나 화산재 등과 같은 자연적으로 발생한 입자들이다. 반면에 미세입자들은 주로 산업, 운송, 주거활동 등에 의한 연소나 기타 공정으로부터 직접 배출되거나, 1차 배출된 가스상 오염물질이 변환되어 생성된다. 따라서 PM2.5는 황산염, 질산염, 암모니아 등의 이온성분과 금속화합물, 탄소화합물, 그리고 수분 등으로 이루어져 있다.¹¹⁾

2.3 오염경로 및 영향

발생된 먼지는 공기중에 부유상태로 존재하면서 식물의 잎에 부착되어 잎의 기공을 막고 햇빛을 차단하여 동화작용, 호흡작용, 증산작용 등을 저해하여 식물생육에 악영향을 미치며 또 호흡에 의하여 인체에 침입하여 기관지 및 폐에 부착된다. 이들 입자중 일부는 기침, 재채기, 섬모운동 등에 의하여 제거되나 일부는 폐포 등에 침착·축적되어 인체에 유해한 영향을 나타낸다.

입자상 물질들은 가스상 물질에 비해 인체의 폐에 침착되기 쉽기 때문에 다른 대기오염물질보

다 인체 건강에 더 큰 악영향을 초래할 가능성이 있는 것으로 알려져 있다. 특히 사람이 호흡할 때 직경이 10 μm 이하인 미세입자들은 호흡기를 통하여 폐에까지 도달하여 침착될 수 있다고 한다. 미국에서는 이를 근거로 대기환경기준 항목에 PM10을 추가하였다.

먼지는 단독으로 있을 때보다도 아황산가스와 함께 있을 때 인체에 대한 피해를 가중시키는 것으로 알려져 있다. 그 입자조성과 크기에 따라 영향을 미치는 범위와 정도가 다르다. 먼지중의 규소는 규폐증을 일으키기 쉬우나 철분은 비교적 양성이다. 납이나 카드뮴 같은 중금속을 함유하는 먼지는 다른 영향을 줄 수도 있다. 먼지가 아황산가스와 복합적으로 작용할 경우에 인체에 미치는 영향을 Table 1과 Table 2에 나타내었다.

Table 1 Affects of the human body by exposure on dust and SO₂

Dust(g/m ³)	SO ₂		영 향
	(g/m ³)	(ppm)	
250	250	0.095	가래의 양 증가
240	130	0.05	호흡기계질환 증가
180	120	0.046	호흡기계질환이 늘고, 폐기능이 약해짐
230	120	0.046	하부기도질환 증가
93	90	0.037	FVC, FEV0.75 치의 감소
110	23	0.009	FEV0.75 치의 감소
195~85	425~50	0.162~0.019	하부기도질환의 이환율 증가
180	55	0.021	호흡기계 모든 증상이 증가, 폐기능 저하
131	37	0.014	영향 없음
80	66	0.025	영향 없음

* FVC : 강제폐활량

* FEV0.75 : 0.75초간의 폐의 배기량

폐의 각 부위에 어느 정도까지 도달할 수 있는가는 입자의 크기에 좌우되는 데 작은 미세입자일 수록 폐 깊숙이 유입될 수 있다. 1 μm 이상의 큰 먼지는 대부분 코나 기도의 점막과 섬모에 걸려 객담으로서 배출된다.

이때 기관지를 통과할 수 있는 0.1~1 μm 크기의 먼지가 폐포내 침착율이 가장 높다. 이러한 경로로 폐포내에 먼지가 많이 침착되면 진폐증이나 규폐증이 발생될 수 있다. 우리나라에서도 탄광지역의 일부 근로자에 진폐증이 발생된 것으로 언론에 보도되어 사회문제를 야기 시킨바 있다. 또한 최근 연구결과에 의하면 미세 입자농도의 증가가 주민들의 사망률 증가와 밀접한 관계가 있다고 하며, 이밖에도 폐질환으로 인한 통원치료의 증가, 병가로 인한 학생들의 결석률 증가, 성인들의 활동제한, 가벼운 순환기 질환 등을 초래한다고 한다.⁷⁾

특히, 기존의 폐나 심장에 질환을 갖고 있는 성인이나 어린이들의 경우 PM10에 의해 쉽게 영향

을 받는 것으로 보고되고 있다. 아직 어떤 성분의 입자가 건강에 해로운 병을 초래하는 지 과학적인 검증은 되지 않았지만, 바람에 의해 비산된 자연발생원의 입자들 보다는 화석연료와 같은 인위적인 배출원에서 발생한 입자들이 더 해로운 것으로 알려져 있다. 환경에서는 미세한 입자상 물질이 대기중에 부유할 때에는 빛을 흡수, 산란시키기 때문에 시정을 악화시킨다.^{6),12)}

Table 2 Effects of human body and environmet by dust (unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Conc.	Exposure time	Effect	Remark
10	-	시정감소 120Km 이하	직경 0.2~1.0 μm
30	-	시정감소 40Km 이하	
80~100	Year	사망을 증가	
100	Year	만성기관지염 발병률 증가	
100	Long period	시정감소 12Km 이하	SOx 130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상
100~135	-	만성호흡기 질환자 사망률 증가	
130 이상	-	어린이(15세미만) 기도질환의 발생빈도 및 중증도 증가	
150~350	-	노출집단 폐기능 손상, 객담량 증가	
150	24hr	병약자, 노인의 사망증가	SOx 123~300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상시
75~300	-	시정감소 8Km 이하	
300	-	시정감소 4Km 이하	
300	1hr	병약자 · 노인의 사망수 증가	
300 이상	-	기관지염 환자증상의 급성악화	SOx 630 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 및 고온시
300~1,200	-	시정감소 2Km이하, 불쾌, 교통사고 증가	
1,000	-	시정감소 1.2Km 이하	

2.4 오염현황

우리나라의 경우 '94년의 경우 대구와 안양에서 미세먼지(PM10)가 환경기준(80 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{년}$)을 초과하였으나, 서울, 인천, 부산 등 대부분의 도시에서 환경기준에 근접하고 있다. '94년 11월에 서울지역에서 국립환경연구원이 측정한 PM10과 총부유먼지(TSP)의 구성비를 분석한 결과, PM10이 총부유먼지(TSP)의 60~70% 정도를 차지하고 있는 것으로 나타났다.

외국은 '94년 미국 LA의 연평균 농도는 31.4~45.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, 다른 지역은 21.8~65.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 보고되었고, 영국에서는 '96년 3월 최근의 측정자료에 의하면 에딘버러(Edinburgh)등 각 도시별로 5.9~ 31.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 수준을 보였다.^{4),8),9)}

2.5 방지대책

대기오염물질에 대해 대기환경보전법에서 제시하고 있는 환경기준을 유지하기 위하여 배출허용기준이 설정되어 있으며, 먼지의 경우 배출부과금 대상 오염물질로 정해져 있어 배출가스중 먼지의 농도가 허용기준을 초과할 경우 1차적으로 개선명령을 받고 개선기간 중 배출되는 먼지에 대해서는 엄격한 배출부과금을 지불하게 되어있다.

1. 비산먼지

공사장 출입차량의 세륜, 석탄 등과 같은 야적장에 주기적 물 분사 및 비산방지망 설치, 도로의 주기적 청소, 비포장도로의 포장 등을 통해 감소시킬 수 있다.

2. 배출먼지

전기집진기, 여과집진기, 세정기, 중력식 집진기 등과 같은 방지시설을 배출되는 입자의 특성에 따라 설치, 운영한다.

3. 미세먼지

PM10은 바람에 의해 비산된 토양 먼지 등 자연적인 입자들이 많이 포함되어 있고, 이러한 입자들은 PM2.5 보다 건강학적인 측면에서 덜 중요하므로 앞으로 입자상 오염물질의 효율적 관리를 위해서는 PM2.5를 환경기준에 포함시켜 측정하고 감시하는 것이 요구 된다.

3. 실험

3.1. 조사대상

대기중 강하먼지를 포집하게 위해 광구병형 포집기(Dust deposit jar)를 제작하여 사용하였다. Table 3에는 본 연구에서 강하먼지를 채취하기 위해 포집기를 설치한 지점을 나타내었는데, 바람 등 지상에서 발생될 수 있는 환경인자의 영향을 최소화하기 위해 지상으로부터 3m 이상이거나 건물의 옥상에 설치하였으며, 전체 19개 지점을 대상으로 도로변, 주거, 공업, 상업, 농림 및 녹지지역으로 구분하여 설치하였다.

3.2. 조사기간 및 방법

조사기간은 2008년 2월 ~ 9월까지 8개월 동안 수행하였으며, 전 조사지점을 대상으로 매월 1일 포집기를 설치하여 1개월 동안 중력침강 먼지시료 채취법으로 시료를 포집한 후 강하먼지 농도와 강하먼지중 중금속 농도를 측정·분석하였고, 최종적으로 침착량을 추정하였다.

강하먼지를 측정하기 위한 포집기는 광구병형으로서 자체적으로 제작하여 사용하였는데, 개구면의 직경은 25cm, 높이 30cm로 단면적이 490cm², 용적이 15ℓ 인 원통형으로서 아크릴을 사용하여 제작하였다. 측정기간중 하절기에 강우량을 고려하여 용적을 충분하게 하였고, 강우로 인한 조류의 증식을 방지하기 위해 CuSO₄를 0.05g씩 첨가하였다. 중금속 성분을 분석하기 위해 시료 분석시 사용되는 모든 초자류 등은 5% HNO₃로 세척하여 사용하였으며, 강하먼지의 분석은 막 여과지(Membrane cellulose nitrite filter, pore size 0.45μm)와 유리여과장치를 사용하여 분석을 실시하였다.

Table 3 Sampling site for dustfall

	Sampling site	Address	구분	Remark
1	송 립	동구 송립1동 109-2 동구청 의회	상업	
2	연 회	서구 심곡동 244 서구청 본관	상업	
3	부 평	부평구 부평4동 440-1 부평동초교	상업	
4	송 도	연수구 송도동 7-50 테크노파크	상업	
5	신 흥	중구 신흥동3가 7 조달청 본관	상업	
6	운 서	중구 운서동 2709-1 영마루 공원	녹지	
7	송 해	강화군 송해 솔정리 357-2 면사무소	농림	
8	송 현	동구 송현동 109 송현파출소	도로	
9	고 잔	남동구 고잔동 637 경인지역본부	산업	중금속측정소
10	화 수	동구 화수동 선박출입항대행신고소	산업	
11	계 양	계양구 장기동 76-1 계양1 주민센터	주거	
12	송 의	남구 송의동 131-1 남구청 의회	주거	중금속측정소
13	구 월	남동구 구월4동 1296-6 주민센터	주거	중금속측정소
14	석 남	서구 석남2동 573 주민센터	주거	
15	검 단	서구 마전동 665 검단출장소	주거	
16	계 산	계양구 계산 907-4 계양도서관	주거	
17	논 현	남동구 논현 604-7 제2근린공원	주거	
18	동 춘	연수구 동춘 923-5 연수구 의회	주거	
19	송 현	동구 송현동 송현동사무소	주거	

실험실로 운반한 포집기에 적정량의 증류수를 넣어 먼지를 증류수에 용해시킨 후 막 여과지로 여과시켜 먼지를 완전하게 수거한 후 20℃, 50%의 항온·항습 조건하에서 건조기에서 최소 5일 이상 건조시켜 항량이 되게 한 후 전자저울(Sartorius AG, DE/A120S)을 사용하여 칭량하여 무게차를 구하여 먼지농도를 산출하였다.

그리고 중금속 성분의 농도를 측정하기 위해 표준시험법(Standard Method 1992)에 의거하여 먼지농도를 측정하고 난 막 여과지를 5% HNO₃ 100ml를 취한 250ml 비이커에 넣은 후 중금속 성분을 완전하게 용해시키기 위해 초음파세척기에서 80℃로 가온시키면서 1hr 동안 전처리를 2회 실시한 후 이를 취하여 250ml 용량플라스크에 넣어 표선까지 맞춰 분석용 시료를 제조하였다. 정확한 분석을 위해 동시에 Blank 시료를 제조하였다. 준비된 시료는 원자흡광도계(AAS-280FS, Varian co. Ltd)를 사용하여 8개 중금속 성분(Cu, Pb, Cd, Mn, Zn, Fe, Cr, Ni)의 농도를 분석하였다.

4. 결과 및 고찰

대기중 존재하는 총부유먼지는 주로 대기오염을 유발시키지만, 수질오염을 유발시키는 인자로도 작

용한다. 하지만 우리 일상생활과 매우 밀접하게 관계하고 있기에 생활환경을 악화시키고, 또한 시민의 일상생활을 불편하게 하는 주요 요인으로 작용한다. 이러한 부유먼지의 제거 메카니즘에서 침착은 매우 중요한 과정이므로 침착량의 분석과 추정은 도시 대기질 평가에서 기본적인 사항으로 도시지역의 대기오염 평가시 오염원의 일시적 도는 계절적 기여 정도 평가시 유용하게 사용할 수 있다.

4.1 강하먼지 침착량 조사결과

4.1.1 조사지점에 따른 결과

조사지점에 따른 강하먼지 평균 침착량을 Table 4에 나타내었는데, 지점별로는 녹지지역과 농림 지역으로 오염원이 거의 없는 영종도용마루 공원과 강화도 송해면 지역이 1.69~2.118ton/km²/month 그리고 0.983~1.408ton/km²/month로 가장 낮은 오염도를 보였다. 하지만 동구 송현파출소 부근의 경우 6.6.0~12.175ton/km²/month로 가장 높은 오염도를 보였는데, 이 지역은 도로지역으로서 많은 대형 차량 등의 교통량이 높은 지역이면서 주변의 제철공장 등에 의해 영향을 받을 것으로 생각된다.

Table 4 Mean concentration of dustfall as research period (unit : ton/km²/month)

Month Sampling site	2	3	4	5	6	7	8	9	Mean
1. 조달청	8.463	7.165	10.873	7.558	5.012	4.242	5.378	7.418	6.956
2. 동구의회	3.071	3.253	4.113	3.536	3.381	2.553	3.706	3.728	3.373
3. 남구의회	2.607	2.546	4.736	2.694	2.224	1.735	1.609	2.263	2.593
4. 송도	3.422	3.953	4.622	4.390	3.297	3.598	2.242	2.835	4.732
5. 구월4동	2.592	2.510	5.127	3.472	2.668	1.997	1.427	2.292	2.828
6. 남동공단	2.842	3.043	3.430	3.359	3.567	2.197	1.816	2.263	2.893
7. 부평동초	3.441	2.270	4.240	3.254	2.171	2.022	1.141	1.707	2.648
8. 계양1동	2.952	3.173	11.083	9.012	5.932	3.850	2.289	3.232	5.470
9. 계양도서관	1.716	2.537	7.890	4.368	2.645	1.905	1.415	1.505	3.211
10. 서구청	2.726	2.613	5.869	3.518	2.312	2.136	2.021	1.410	3.028
11. 검단출	4.308	3.238	7.214	6.758	2.486	2.012	1.218	1.785	3.891
12. 석남2동	3.350	2.467	6.386	4.592	1.184	4.677	1.611	2.833	3.467
13. 송해면	2.128	2.109	5.055	3.315	1.887	1.408	0.996	0.983	2.414
14. 영마루	1.690	1.828	3.551	2.118	1.717	1.723	1.283	1.345	1.987
15. 동춘동	2.097	1.961	4.391	2.426	2.465	2.208	1.370	2.081	2.417
16. 논현근린	2.857	3.067	4.898	3.860	2.114	2.097	1.667	1.868	2.937
17. 송현도로	5.939	8.063	12.175	11.990	9.395	8.392	6.603	7.790	8.937
18. 화수부두	10.140	7.438	12.144	8.356	7.194	6.450	5.000	5.489	8.103
19. 송현3동	4.143	3.935	6.950	5.334	3.900	1.727	4.248	3.559	4.320
Mean conc.	3.710	3.535	6.966	4.943	3.450	2.996	2.476	2.968	4.011
Min. conc.	1.690	1.828	3.430	2.118	1.184	1.408	0.996	0.983	1.987
Max. conc.	10.140	8.063	12.175	11.990	9.395	8.392	6.603	7.790	8.937

전 조사기간으로 볼 때 동구 송현동과 화수부두 지역의 오염도가 매우 높았으며, 두 지역은 조사기간에 상관없이 항상 높게 조사되었다. 그 이외의 지역으로는 남구 조달청 부근과 계양1동 주민센터 부근이 높았는데, 조달청은 교통량이 많은 지역이고, 계양1 주민센터는 높은 교통량과 함께 주변에 여러 건설 공사장이 산재함에 따라 높은 것으로 생각된다. 그 이외의 지역은 대부분 상업 및 주거 지역으로서 평균 2.414~4.732ton/km²/month의 농도로 조사되었다.

4.1.2 계절별 조사결과

조사지점별 계절에 따른 강하먼지의 평균 침착량을 Table 5에 나타내었다. 계절에 관계없이 중구 용마루 공원지역이 1.69~2.69ton/km²/month로 가장 낮았고, 동구 송현파출소 지역이 7.197~10.119ton/km²/month로 가장 높게 조사되었는데, 이 두 지역은 계절에 상관없이 항상 가장 낮고 높은 지역이다. 계절별로는 가을철에 전 조사지역 평균 2.722ton/km²/month로 가장 낮았고, 하절기와

Table 5 Mean concentration of dustfall as season (unit : ton/km²/month)

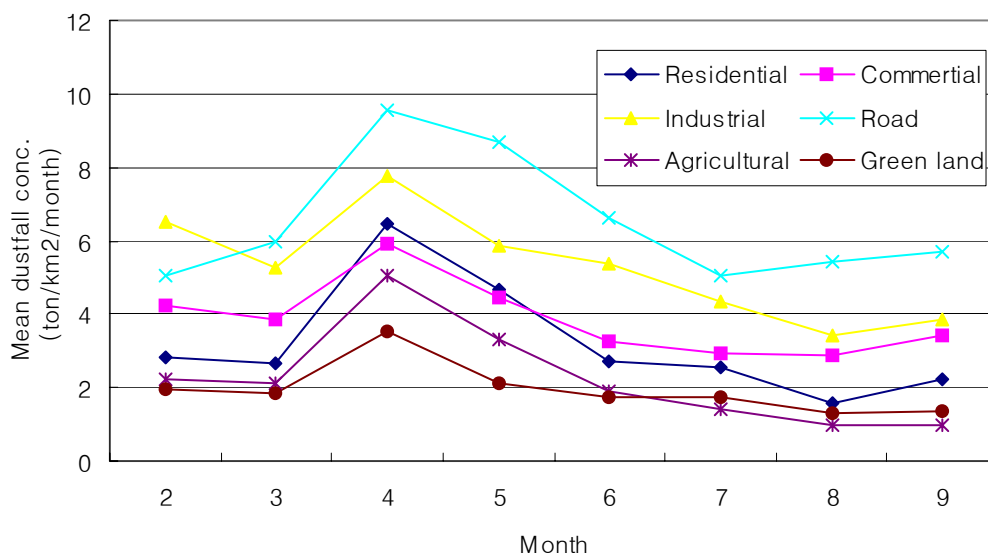
Sampling site	Winter	Spring	Summer	Fall	Mean
1. 조달청	8.463	9.019	3.604	6.398	7.371
2. 동구의회	3.071	3.683	2.157	3.717	3.407
3. 남구의회	2.607	3.641	2.218	2.936	2.600
4. 송도테크노파크	3.422	8.088	1.762	2.539	4.452
5. 구월4 동사무소	2.592	3.819	2.712	2.860	2.746
6. 남동산단 경인본부	2.842	3.236	3.041	2.040	2.790
7. 부평동초교	3.441	3.255	1.482	2.424	2.650
8. 계양1 동사무소	2.952	7.128	1.265	2.761	4.776
9. 계양도서관	1.716	5.213	2.973	2.460	2.841
10. 서구청 본관	2.726	4.241	1.655	1.716	2.834
11. 검단출장소	4.308	5.226	1.752	1.502	3.697
12. 석남2동 주민센터	3.350	4.426	1.484	2.222	3.371
13. 송해면사무소	2.128	3.582	0.203	0.990	2.226
14. 영종 영마루공원	1.690	2.690	1.853	2.314	1.887
15. 연수구의회	2.097	3.176	1.366	1.726	2.341
16. 논현 제2근린공원	2.857	3.983	1.690	2.768	2.824
17. 송현파출소	5.939	10.119	9.926	7.197	8.295
18. 화수부두	10.140	9.791	3.333	5.245	8.127
19. 송현3 동사무소	4.143	5.442	3.654	4.904	4.286
평 균	3.710	5.250	2.53	3.09	

동절기에는 비슷한 침착량을 보였지만, 봄철에는 5.25ton/km²/month로 가장 높았는데, 이 시기에는 황사에 의한 영향으로 높게 증가한 것으로 생각된다. 그리고 하절에는 강우로 인한 강하먼지의 제거가 지속적으로 발생됨에 따라 낮아지지만, 봄철에 나타나는 황사에 의한 영향이 없다면 계절적으로는 강하먼지 침착량은 큰 차이를 보이지 않을 것으로 생각된다.

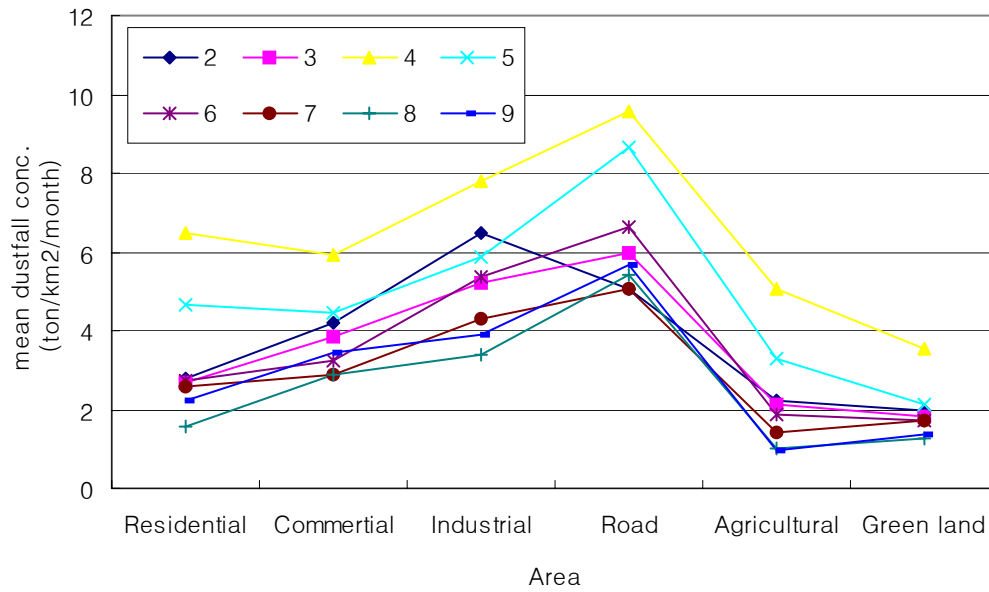
조사결과에서 보면 황사로 봄철 먼지양이 높았지만, 이 시기부터는 간헐적인 강우로 인해 먼지량이 하절기까지는 감소하다가 가을철로 접어들면서 약간 증가하고, 동절기에는 좀 더 증가하는 것을 알 수 있으며, 강하먼지의 주 오염원으로는 봄철 황사가 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났고, 그 다음으로는 교통량과 산업지역 발생원 등에서 유발되는 먼지가 주요 오염원인으로 작용하는 것으로 조사되었다.

4.1.3 조사시간과 지역에 따른 결과

조사기간에 따른 지역별 오염도를 Fig. 2에 나타내었는데, 조사기간에 따른 지역별 오염도는 전 조사기간에서 보듯이 도로지역의 오염도가 평균 6.628ton/km²/month로 가장 높았고, 그 다음은 산업지역으로서 평균 농도가 5.498ton/km²/month, 상업지역이 평균 3.93ton/km²/month, 주거지역 3.352ton/km²/month 순으로 높았으며, 오염원이 거의 없는 녹지지역과 농림지역은 1.987과 2.414ton/km²/month로 거의 비슷한 결과가 얻어졌다. 그리고 Fig 2(a)에서는 봄철 황사에 의해 강하먼지 농도가 높아짐을 확실하게 알 수 있으며, Fig. 2(b)에서도 전 조사지역에 걸쳐 봄철에 강하먼지 농도가 높았고, 지역별로는 산업지역과 도로지역이 8.183ton/km²/month과 6.318ton/km²/month로 높게 나타났다. 그리고 하절기에는 전 지역이 모두 낮음을 확인 할 수 있었다.



(a) Pollution level of dustfall as research period



(b) Pollution level of dustfall as research area

Fig. 2. Mean concentration of dustfall as research period and area

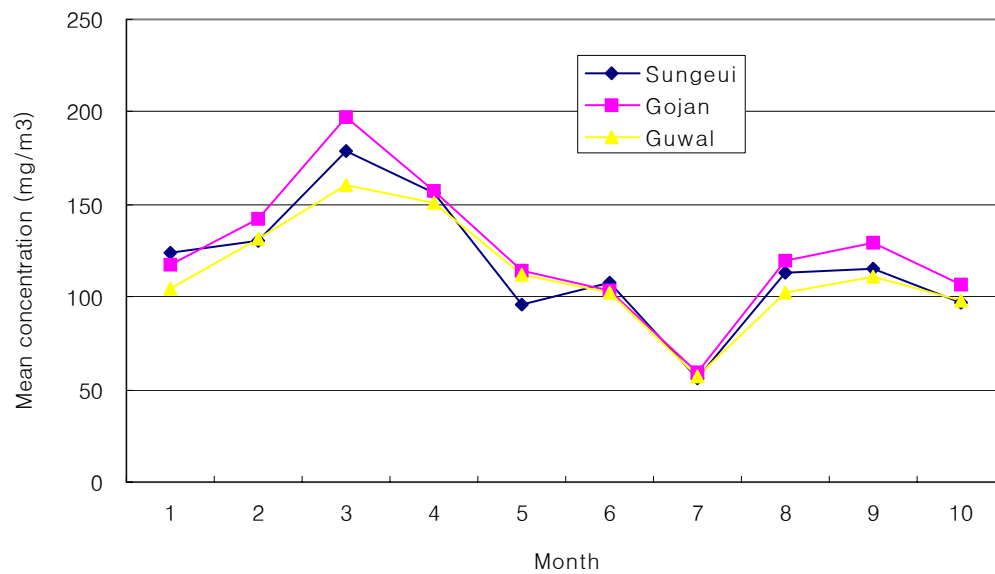


Fig. 3. Measured TSP concentration by the heavy metal measuring network

Fig. 3에는 본 연구와 관련하여 우리원에서 운영중인 중금속 측정망 3개소에서 측정한 총부유먼지(TSP) 농도를 나타내었는데, 하절기에는 강우로 인해 부유먼지가 제거되어 $55.92 \sim 59.03 \text{mg/m}^3$ 로 가장 낮았지만, 봄철에 황사로 인해 총부유먼지(TSP) 농도가 $160.44 \sim 196.95 \text{mg/m}^3$ 으로 증가됨을 알 수 있으며, 가을 보다는 동절기가 약간 더 높았는데, 이 결과는 강하먼지 조사결과와 잘 일치함을 알 수 있었다.

4.1.4 지역에 따른 조사결과

계절과 조사지역에 따른 결과는 Fig. 4와 Fig. 5에 나타내었는데, 전 지역이 봄철에 $2.499 \sim 8.075 \text{ton/km}^2/\text{month}$ 로 높은 결과를 보였고, 동절기 $1.69 \sim 5.587 \text{ton/km}^2/\text{month}$ 그리고 가을철 $0.983 \sim 5.675 \text{ton/km}^2/\text{month}$ 와 하절기가 $1.43 \sim 5.711 \text{ton/km}^2/\text{month}$ 순으로 높았다. 그림에서 보면 오염원이 거의 없는 녹지지역과 농림지역은 봄철에는 높지만, 동절기, 하절기 및 가을에는 거의 비슷한 농도를 보임을 알 수 있었고, 지역별로는 도로, 산업, 상업, 주거, 경작, 녹지 지역 순으로 강하먼지 농도가 높게 조사되었다.

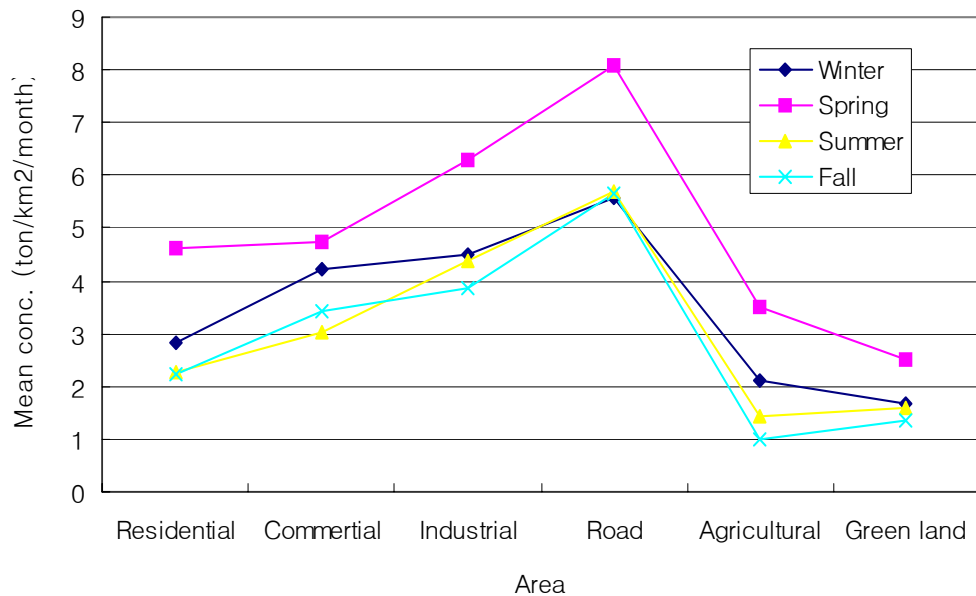


Fig. 4. Mean concentration of dustfall as research area

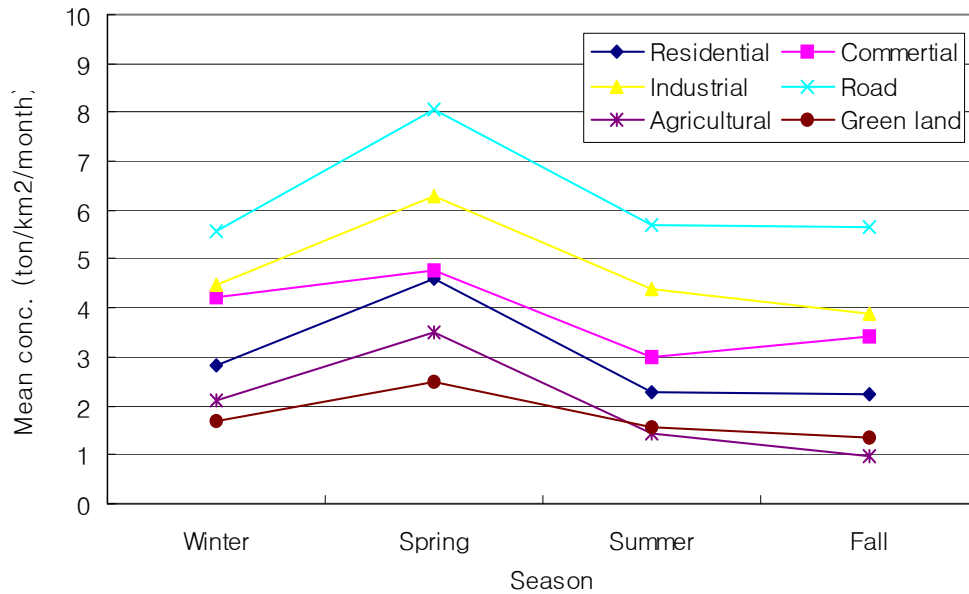


Fig. 5 . Mean concentration of dustfall as season

4.2 중금속 성분 조사결과

4.1.1 조사기간에 따른 중금속 농도변화

조사기간에 따른 강하먼지 중 중금속성분의 함유량을 조사한 결과는 Table 6과 7에 나타내었다. 강하먼지중에는 평균농도로써 Pb 0.029~1.998ton/km²/month, Cu 0.042~0.185ton/km²/month, Mn 0.134~0.325ton/km²/month, Zn 0.101~0.269ton/km²/month, Fe 2.891~6.128ton/km²/month로 높은 농도로 함유되어 있고, Cr 0.006~0.018ton/km²/month과 Ni이 0.006~0.013ton/km²/month로 비교적 낮은 농도로 함유하고 있었으며, Cd은 매우 낮은 농도로 함유되어 있는 것으로 조사되었는데, 항목별로는 Fe>Pb>Mn>Zn>Cu>Cr>Ni>Cd 순으로 높게 함유되어 있는 것으로 조사되었다.

계절별로 조사된 중금속 성분의 함유농도는 높은 농도로 존재하는 Pb, Fe, Cu, Mn, Zn 등은 황사가 발생하는 봄철에 가장 높은 농도로 검출되었고, 가을에서 동절기에 낮은 농도로 검출되었는데, 이 결과는 강하먼지 분석농도와 매우 비슷한 경향을 보이는 것으로 나타났다.

일반적으로 토양중 평균 중금속 함유량을 보면 Cu는 15ppm, Pb 17ppm, Zn 36ppm 정도가 함유되어 있는 것으로 알려져 있는데¹²⁾, 본 조사결과에서 위의 강하먼지내 금속성분이 높게 검출된 것으로 보아 토양입자에 의한 영향도 상당한 영향을 미치는 것으로 판단된다. 또한 본 조사에서 강하먼지중 Pb의 농도가 높게 검출되었는데, Pb은 자동차 연료, 배터리, 건축물 등과 관련이 있으며, 이 결과로부터 Pb이 높게 검출된 것은 교통량과 밀접한 관련이 있다고 판단할 수 있으며, Zn은 각종 기계부품, 비철금속산업 등에 의해 발생되며, 이 결과로부터 강하먼지에서 Zn의 검출은 산업지역과 매우 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다. Cu의 경우도 제련, 제강, 판금 등의 금속산업이 주요 배

출원으로서 산업지역이 넓게 분포하고 있는 인천의 경우 높은 검출은 당연한 것으로 간주할 수 있다. 이러한 결과로부터 강하먼지내 중금속 성분의 검출은 인천지역내 산재하고 있는 산업시설과 교통 시설에서 많은 양이 유출되는 것으로 판단되며, 특히 봄철에 중국으로부터 날려 오는 다량의 황사는 중국에서 발생한 많은 오염물질을 함유하고 있는데, 황사에 의한 강하먼지 농도의 증가는 동시에 강하먼지내 중금속 성분의 농도를 증가시키는 중요한 요인으로 작용하는 것으로 유추할 수 있는데, 이 결과는 8개 성분중 검출율이 높은 6개 성분이 봄철에 가장 높은 농도로 검출되었고, 황사가 없는 가을이나 동절기에는 낮은 농도로 검출되었기 때문이다.

Table 6 Concentration of heavy metals as monthly (unit : ton/km²/month)

Components									
Month		Pb	Cu	Cd	Cr	Mn	Zn	Fe	Ni
2	Max	0.091	0.129	0.002	0.034	1.004	0.618	16.844	0.021
	Min	0.000	0.005	0.000	0.000	0.020	0.024	0.771	0.002
	Mean	0.029	0.042	0.001	0.009	0.175	0.199	3.398	0.008
3	Max	0.162	1.234	0.002	0.043	0.935	0.719	18.870	0.026
	Min	0.013	0.005	0.000	0.000	0.013	0.005	0.624	0.001
	Mean	0.048	0.117	0.001	0.010	0.168	0.149	3.631	0.009
4	Max	32.775	1.862	0.003	0.087	1.338	1.073	23.576	0.029
	Min	0.025	0.011	0.000	0.000	0.035	0.033	1.980	0.004
	Mean	1.998	0.185	0.001	0.017	0.325	0.269	6.128	0.013
5	Max	0.161	2.457	0.002	0.028	0.670	0.875	14.576	0.032
	Min	0.023	0.007	0.000	0.000	0.011	0.014	1.004	0.001
	Mean	0.063	0.170	0.001	0.006	0.164	0.198	4.094	0.008
6	Max	0.243	2.039	0.003	0.037	1.176	1.820	20.092	0.025
	Min	0.010	0.003	0.000	0.000	0.005	0.005	0.597	0.001
	Mean	0.047	0.152	0.000	0.009	0.162	0.206	4.114	0.007
7	Max	0.298	1.784	0.002	0.040	1.641	1.261	23.507	0.034
	Min	0.007	0.004	0.000	0.000	0.004	0.007	0.170	0.001
	Mean	0.036	0.128	0.000	0.006	0.141	0.110	3.128	0.006
8	Max	0.110	0.381	0.002	0.031	0.877	0.778	12.408	0.019
	Min	0.009	0.006	0.000	0.001	0.006	0.006	0.423	0.001
	Mean	0.037	0.055	0.000	0.010	0.164	0.177	2.926	0.008
9	Max	0.112	0.960	0.001	0.138	0.673	0.512	10.565	0.105
	Min	0.009	0.005	0.000	0.001	0.008	0.007	0.509	0.001
	Mean	0.045	0.077	0.000	0.018	0.134	0.101	2.891	0.012

Table 7 Concentration of dustfall as sampling site and research period

Pb										
측정지점	구분	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	평균
1. 남구의회	주거	0.011	0.033	0.038	0.036	0.027	0.011	0.026	0.025	0.029
2. 구월4동		0.013	0.031	0.047	0.033	0.032	0.024	0.024	0.062	0.031
3. 계양1동		0.008	0.016	0.062	0.057	0.029	0.028	0.016	0.024	0.034
4. 계양도서		0.003	0.025	0.048	0.047	0.024	0.020	0.011	0.015	0.029
5. 검단출		0.033	0.032	0.072	0.052	0.032	0.021	0.017	0.026	0.044
6. 석남2동		0.052	0.037	0.120	0.096	0.012	0.032	0.031	0.078	0.063
7. 동춘동		0.011	0.029	0.052	0.032	0.029	0.019	0.024	0.018	0.031
8. 논현근린		0.017	0.039	0.048	0.049	0.021	0.017	0.031	0.035	0.035
9. 조달청		0.034	0.056	0.085	0.073	0.039	0.036	0.055	0.066	0.057
10. 동구의회	상업	0.037			0.066	0.041	0.029	0.045	0.046	0.048
11. 송도		0.011	0.018	0.061	0.047	0.039	0.034	0.030	0.042	0.035
12. 부평동초		0.058	0.050	0.063	0.060	0.036	0.019	0.018	0.039	0.054
13. 서구청	산업	0.010	0.033		0.045		0.014	0.016	0.042	0.029
14. 남동공단		0.020	0.049	0.044	0.048	0.047	0.025	0.022	0.027	0.042
15. 화수부두		0.091	0.162	0.194	0.161	0.243	0.298	0.107	0.112	0.170
16. 송현도로	도로	0.063	0.135	0.134	0.133	0.098	0.009	0.103	0.084	0.113
17. 송현3동		0.073	0.085	0.105	0.099	0.071	0.029	0.110	0.084	0.087
18. 송해면		농림	0.002	0.016	0.030	0.039	0.010	0.007	0.011	0.009
19. 영마루	녹지	-	0.013	0.025	0.023	0.018	0.009	0.009	0.012	0.016

Cu										
측정지점	구분	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	평균
1. 남구의회	주거	0.019	0.024	0.024	0.016	0.016	0.009	0.027	0.016	0.020
2. 구월4동	주거	0.036	0.159	0.041	0.028	0.028	0.019	0.033	0.023	0.058
3. 계양1동	주거	0.021	0.018	0.055	0.054	0.028	0.020	0.022	0.024	0.035
4. 계양도서	주거	0.020	0.028	0.048	0.042	0.021	0.022	0.014	0.011	0.032
5. 검단출	주거	0.044	0.032	0.066	0.049	0.032	0.013	0.021	0.023	0.045
6. 석남2동	주거	0.031	0.029	0.062	0.049	0.003	0.017	0.039	0.032	0.035
7. 동춘동	주거	0.024	0.031	0.047	0.019	0.024	0.018	0.031	0.017	0.029
8. 논현근린	주거	0.033	0.044	0.048	0.037	0.018	0.013	0.079	0.030	0.036
9. 조달청	상업	0.046	0.040	0.060	0.047	0.037	0.036	0.073	0.044	0.046
10. 동구의회	상업	0.027			0.038		0.021	0.041	0.030	0.032
11. 송도	상업	0.013	0.015	0.135	0.023	0.023	0.048	0.034	0.040	0.042
12. 부평동초	상업	0.112	0.039	0.051	0.035	0.021	0.016	0.029	0.029	0.052
13. 서구청	상업	0.034	0.078		0.046		0.011	0.032	0.007	0.053
14. 남동공단	산업	0.059	0.096	0.373	0.073	0.101	0.047	0.034	0.036	0.140
15. 화수부두	산업	0.129	0.159	0.180	0.141	0.125	1.784	0.085	0.088	0.147
16. 송현도로	도로	0.081	1.234	1.862	2.457	2.039	3.303	0.381	0.960	1.535
17. 송현3동	도로	0.060	0.060	0.063	0.048	0.048	0.021	0.061	0.042	0.056
18. 송해면	농림	0.005	0.005	0.011	0.016	0.004	0.004	0.006	0.005	0.008
19. 영마루	녹지	0.008	0.007	0.013	0.007	0.009	0.004	0.012	0.009	0.009

Cd										
측정지점	구분	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	평균
1. 남구의회	주거	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2. 구월4동	주거	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3. 계양1동	주거	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001
4. 계양도서	주거	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5. 검단출	주거	0.001	0.001	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
6. 석남2동	주거	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
7. 동춘동	주거	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8. 논현근린	주거	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
9. 조달청	상업	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
10. 동구의회	상업	0.001			0.001		0.000	0.001	0.000	0.001
11. 송도	상업	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12. 부평동초	상업	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
13. 서구청	상업	0.001	0.000		0.000		0.000	0.000	0.001	0.000
14. 남동공단	산업	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15. 화수부두	산업	0.001	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.001	0.002
16. 송현도로	도로	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000	0.002	0.001	0.001
17. 송현3동	도로	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001
18. 송해면	농림	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
19. 영마루	녹지	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Cr										
측정지점	구분	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	평균
1. 남구의회	주거	0.005	0.004	0.005	0.001	0.004	0.003	0.006	0.006	0.004
2. 구월4동	주거	0.007	0.008	0.007	0.002	0.006	0.003	0.006	0.007	0.006
3. 계양1동	주거	0.003	0.004	0.016	0.010	0.006	0.003	0.006	0.007	0.008
4. 계양도서	주거	0.003	0.004	0.006	0.002	0.002	0.002	0.003	0.004	0.003
5. 검단출	주거	0.009	0.008	0.011	0.004	0.005	0.004	0.006	0.008	0.007
6. 석남2동	주거	0.009	0.006	0.016	0.007	0.003	0.004	0.009	0.014	0.008
7. 동춘동	주거	0.002	0.004	0.007	0.000	0.003	0.003	0.006	0.006	0.003
8. 논현근린	주거	0.005	0.009	0.005	0.003	0.004	0.003	0.012	0.008	0.005
9. 조달청	상업	0.013	0.009	0.017	0.008	0.011	0.006	0.015	0.016	0.011
10. 동구의회	상업	0.010			0.005		0.006	0.010	0.011	0.007
11. 송도	상업	0.004	0.006	0.087	0.001	0.011	0.011	0.009	0.011	0.022
12. 부평동초	상업	0.018	0.009	0.009	0.005	0.006	0.005	0.005	0.009	0.009
13. 서구청	상업	0.006	0.007		0.002		0.003	0.006	0.138	0.005
14. 남동공단	산업	0.012	0.014	0.027	0.007	0.015	0.008	0.009	0.015	0.015
15. 화수부두	산업	0.034	0.043	0.045	0.028	0.037	0.040	0.031	0.026	0.038
16. 송현도로	도로	0.014	0.031	0.026	0.022	0.025	0.001	0.026	0.029	0.024
17. 송현3동	도로	0.016	0.016	0.014	0.009	0.009	0.005	0.023	0.020	0.013
18. 송해면	농림	0.001	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001
19. 영마루	녹지	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002	0.002	0.000

Zn										
측정지점	구분	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	평균
1. 남구의회	주거	0.075	0.051	0.063	0.029	0.017	0.020	0.063	0.029	0.047
2. 구월4동	주거	0.071	0.045	0.076	0.060	0.060	0.022	0.051	0.036	0.062
3. 계양1동	주거	0.073	0.049	0.282	0.255	0.134	0.127	0.068	0.056	0.159
4. 계양도서	주거	0.046	0.031	0.218	0.079	0.017	0.029	0.017	0.019	0.078
5. 검단출	주거	0.208	0.099	0.315	0.203	0.032	0.020	0.049	0.038	0.172
6. 석남2동	주거	0.114	0.099	0.237	0.237	0.427	0.097	0.091	0.066	0.223
7. 동춘동	주거	0.045	0.016	0.068	0.015	0.017	0.015	0.024	0.016	0.032
8. 논현근린	주거	0.112	0.081	0.134	0.121	0.025	0.023	0.044	0.058	0.094
9. 조달청	상업	0.293	0.265	0.495	0.404	0.237	0.154	0.414	0.228	0.339
10. 동구의회	상업	0.145			0.261		0.043	0.234	0.079	0.203
11. 송도	상업	0.063	0.023	0.177	0.038	0.038	0.078	0.044	0.046	0.068
12. 부평동초	상업	0.369	0.092	0.129	0.074	0.026	0.023	0.033	0.030	0.138
13. 서구청	상업	0.091	0.066		0.046		0.023	0.045	0.082	0.068
14. 남동공단	산업	0.073	0.040	0.229	0.035	0.065	0.025	0.098	0.031	0.088
15. 화수부두	산업	0.618	0.719	1.073	0.875	1.820	1.261	0.669	0.512	1.021
16. 송현도로	도로	0.490	0.705	0.572	0.553	0.443	0.034	0.778	0.336	0.552
17. 송현3동	도로	0.468	0.284	0.397	0.427	0.136	0.072	0.618	0.237	0.343
18. 송해면	농림	0.400	0.009	0.076	0.033	0.005	0.007	0.006	0.007	0.105
19. 영마루	녹지	0.024	0.005	0.033	0.014	0.011	0.011	0.012	0.009	0.018

Mn										
측정지점	구분	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	평균
1. 남구의회	주거	0.081	0.049	0.064	0.036	0.027	0.027	0.057	0.047	0.051
2. 구월4동	주거	0.057	0.044	0.068	0.033	0.034	0.023	0.029	0.046	0.047
3. 계양1동	주거	0.048	0.065	0.227	0.184	0.076	0.109	0.040	0.068	0.120
4. 계양도서	주거	0.027	0.027	0.091	0.048	0.019	0.021	0.012	0.020	0.043
5. 검단출	주거	0.075	0.097	0.181	0.093	0.024	0.021	0.025	0.031	0.094
6. 석남2동	주거	0.092	0.106	0.246	0.169	0.016	0.078	0.046	0.096	0.126
7. 동춘동	주거	0.035	0.023	0.059	0.017	0.016	0.017	0.020	0.018	0.030
8. 논현근린	주거	0.063	0.059	0.107	0.085	0.023	0.020	0.036	0.056	0.067
9. 조달청	상업	0.321	0.319	0.410	0.419	0.285	0.335	0.330	0.257	0.351
10. 동구의회	상업	0.177			0.174		0.076	0.193	0.139	0.175
11. 송도	상업	0.083	0.073	1.338	0.046	0.120	0.149	0.055	0.059	0.332
12. 부평동초	상업	0.061	0.052	0.066	0.044	0.027	0.023	0.017	0.035	0.050
13. 서구청	상업	0.061	0.058		0.037		0.026	0.024	0.021	0.052
14. 남동공단	산업	0.052	0.044	0.074	0.029	0.043	0.024	0.058	0.035	0.049
15. 화수부두	산업	1.004	0.935	1.104	0.670	1.176	1.641	0.877	0.673	0.978
16. 송현도로	도로	0.503	0.734	0.897	0.658	0.708	0.010	0.699	0.535	0.700
17. 송현3동	도로	0.533	0.300	0.457	0.325	0.147	0.066	0.579	0.389	0.352
18. 송해면	농림	0.035	0.021	0.096	0.028	0.005	0.004	0.006	0.008	0.037
19. 영마루	녹지	0.020	0.013	0.035	0.011	0.009	0.011	0.008	0.013	0.017

Fe										
측정지점	구분	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	평균
1. 남구의회	주거	1.540	1.323	2.788	1.938	1.594	1.451	1.454	1.588	1.837
2. 구월4동	주거	1.718	2.346	3.468	2.755	2.840	1.921	1.217	1.790	2.625
3. 계양1동	주거	1.479	1.569	7.491	5.915	3.205	2.422	1.878	2.325	3.932
4. 계양도서	주거	1.048	0.979	3.341	2.444	1.634	1.665	0.717	0.940	1.889
5. 검단출	주거	2.567	2.688	6.644	3.676	1.954	3.058	1.124	1.741	3.506
6. 석남2동	주거	2.489	1.368	5.595	3.822	0.671	1.821	1.719	2.797	2.789
7. 동춘동	주거	1.042	1.383	3.076	1.766	1.805	1.607	1.023	1.016	1.814
8. 논현근린	주거	1.800	2.995	2.601	2.038	1.980	1.692	1.903	1.755	2.283
9. 조달청	상업	5.680	3.648	7.573	5.730	5.814	3.947	6.162	5.522	5.689
10. 동구의회	상업	3.078			3.299		2.525	2.602	2.748	3.189
11. 송도	상업	1.793	1.710	2.370	1.991	3.419	3.868	2.130	2.331	2.257
12. 부평동초	상업	3.834	1.996	3.696	2.533	2.237	1.965	0.896	1.460	2.859
13. 서구청	상업	1.957	2.038		2.530		2.217	1.177	0.880	2.175
14. 남동공단	산업	1.829	2.447	7.290	2.499	4.249	2.217	1.724	2.299	3.663
15. 화수부두	산업	16.844	18.870	23.576	14.576	20.092	23.507	12.408	10.565	18.791
16. 송현도로	도로	6.397	11.943	13.156	11.934	12.553	0.170	9.186	7.838	11.197
17. 송현3동	도로	7.096	6.062	7.170	5.430	4.342	1.991	7.353	6.210	6.020
18. 송해면	농림	1.598	1.364	2.357	1.902	0.597	0.490	0.423	0.509	1.564
19. 영마루	녹지	0.771	0.624	1.980	1.004	0.958	0.896	0.505	0.621	1.068

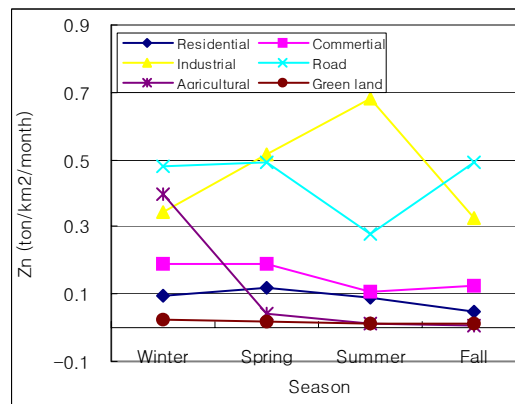
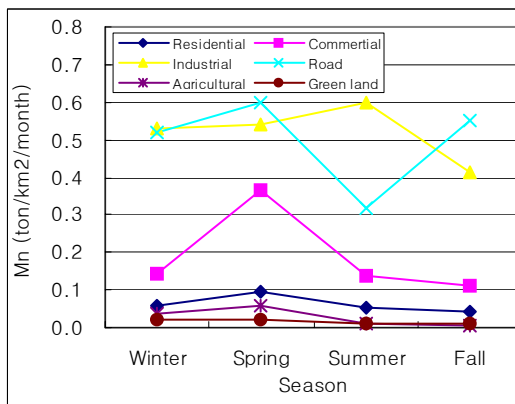
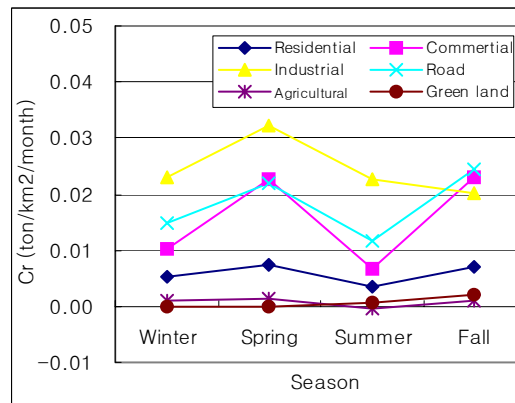
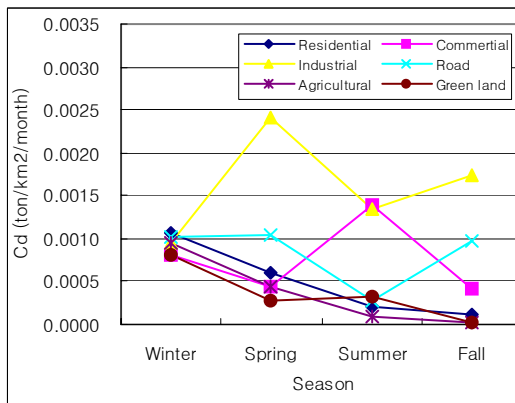
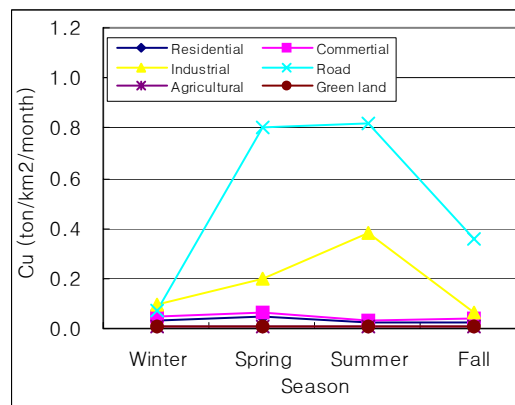
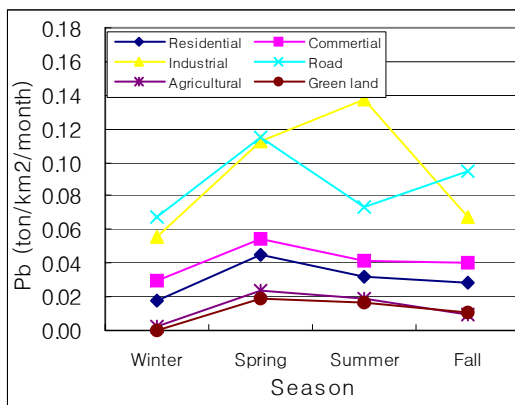
Ni										
측정지점	구분	2월	3월	4월	5월	6월	8월	9월	10월	평균
1. 남구의회	주거	0.005	0.004	0.006	0.002	0.002	0.003	0.004	0.003	0.004
2. 구월4동	주거	0.007	0.007	0.010	0.006	0.006	0.003	0.005	0.004	0.007
3. 계양1동	주거	0.003	0.002	0.015	0.011	0.005	0.002	0.003	0.003	0.007
4. 계양도서	주거	0.003	0.003	0.006	0.004	0.002	0.002	0.001	0.002	0.003
5. 검단출	주거	0.006	0.005	0.012	0.007	0.004	0.003	0.003	0.003	0.007
6. 석남2동	주거	0.006	0.006	0.012	0.009	0.001	0.004	0.005	0.006	0.007
7. 동춘동	주거	0.009	0.019	0.017	0.005	0.009	0.017	0.019	0.010	0.012
8. 논현근린	주거	0.011	0.010	0.011	0.009	0.004	0.005	0.014	0.009	0.009
9. 조달청	상업	0.007	0.007	0.010	0.008	0.005	0.004	0.010	0.008	0.007
10. 동구의회	상업	0.006			0.006		0.004	0.010	0.005	0.006
11. 송도	상업	0.004	0.002	0.014	0.004	0.005	0.006	0.007	0.006	0.006
12. 부평동초	상업	0.009	0.005	0.008	0.004	0.003	0.002	0.004	0.003	0.006
13. 서구청	상업	0.005	0.004		0.003		0.003	0.003	0.105	0.004
14. 남동공단	산업	0.017	0.025	0.029	0.015	0.015	0.009	0.014	0.011	0.020
15. 화수부두	산업	0.021	0.023	0.029	0.020	0.025	0.034	0.016	0.014	0.024
16. 송현도로	도로	0.015	0.026	0.025	0.032	0.020	0.001	0.015	0.020	0.024
17. 송현3동	도로	0.013	0.012	0.015	0.011	0.007	0.003	0.014	0.009	0.012
18. 송해면	농림	0.002	0.001	0.004	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002
19. 영마루	녹지	0.002	0.001	0.004	0.001	0.001	0.002	0.002	0.005	0.002

4.1.2 계절에 따른 중금속 함유량 조사결과

계절에 따른 중금속 성분별 함유량과 지역별 함유량 관계를 Fig. 6과 Fig. 7에 나타내었다.

조사결과에서 보면 Pb, Cu, Mn, Zn, Fe, Ni, Cr 등 모든 중금속 성분들은 계절에 관계없이 산업 지역과 도로변에서 높은 농도로 검출되었는데, 이 결과로부터 강하면지내 존재하는 중금속 성분의 상당량은 산업시설과 교통시설 등으로부터 발생되는 것으로 판단된다.

계절별로는 항목별로는 Fe이 산업지역에서 13.045ton/km²/month로 가장 높은 농도로 검출되었고, 그 다음으로 Cu가 도로변에서 0.819ton/km²/month, Mn과 Zn이 도로변에서 0.597ton/km²/month과 산업지역에서 0.515ton/km²/month로 높게 검출되었는데, 이들은 황사가 발생하는 봄철에 가장 높은 것으로 조사되었고, 강우가 많은 하절기에 낮은 sdh도로 검출되었다. 하지만 고무나 타이어에 함유되어 있는 Cd의 경우는 최대 농도가 0.001ton/km²/month이었지만, 동절기가 더 높은 것으로 나타났는데, 교통량과 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다.



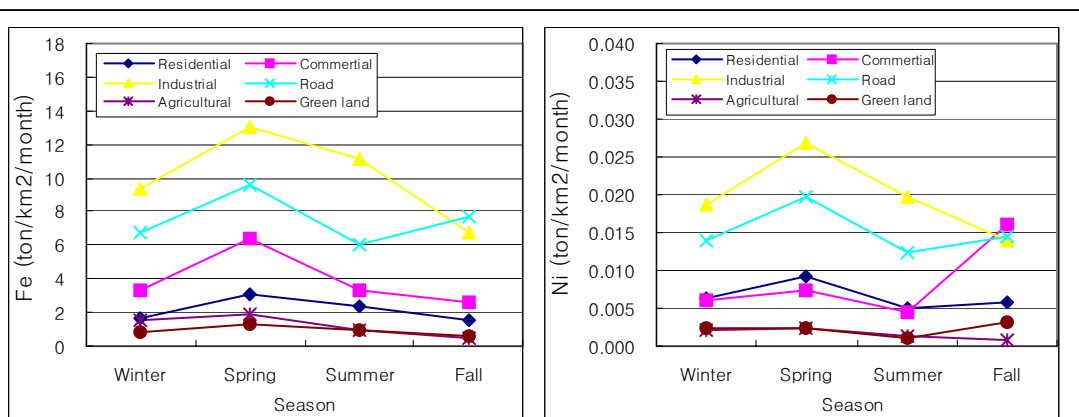
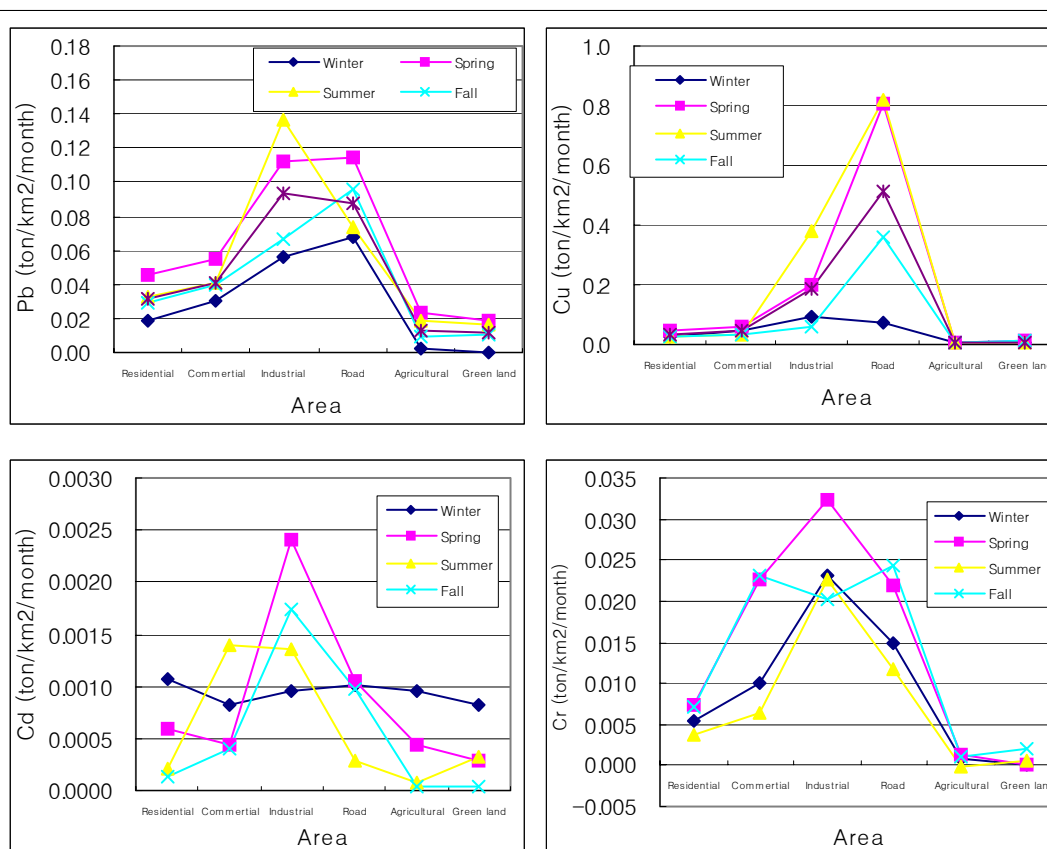


Fig. 6. Variation of heavy metals concentration as season



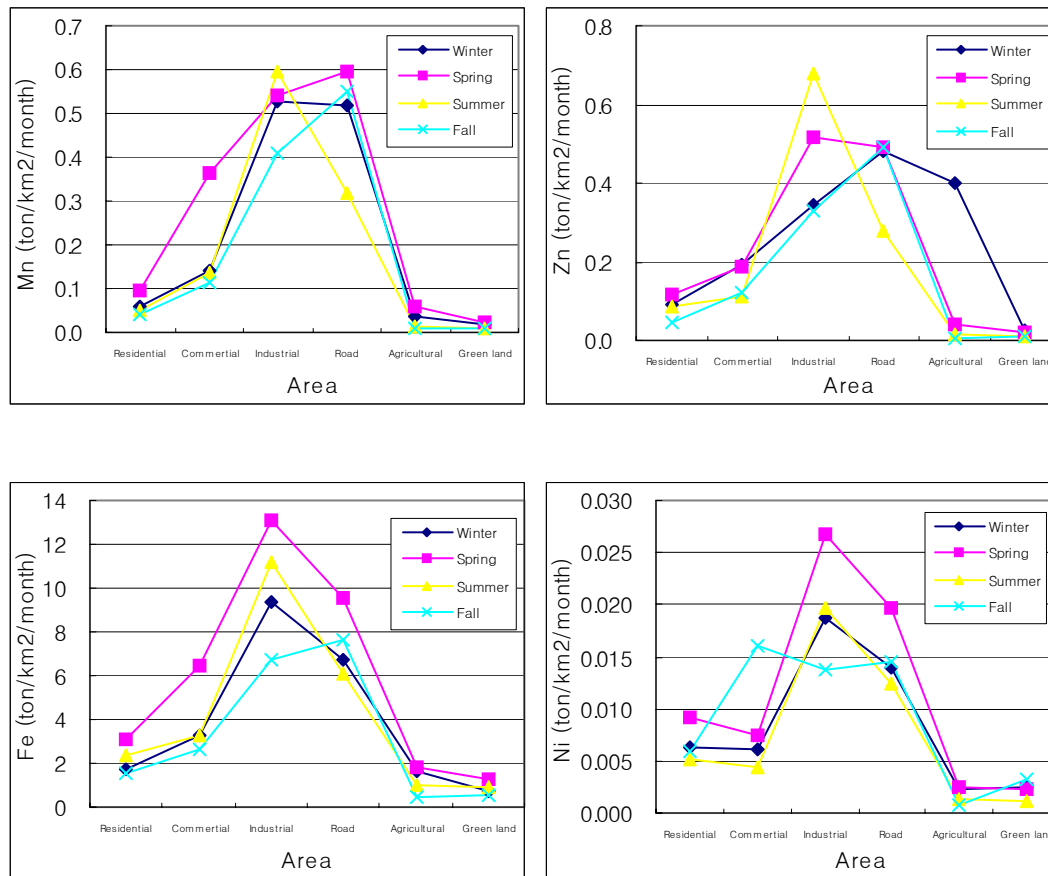


Fig. 7. Variation of heavy metals concentration as research area

지역에 따른 강하먼지내 중금속 함유농도는 녹지지역과 농림지역의 경우 계절에 관계없이 매우 낮은 농도로 검출되었는데, Pb $0 \sim 0.039 \text{ton/km}^2/\text{month}$, Cu $0.004 \sim 0.016 \text{ton/km}^2/\text{month}$, Mn $0.004 \sim 0.096 \text{ton/km}^2/\text{month}$, Zn $0.005 \sim 0.4 \text{ton/km}^2/\text{month}$, Fe $0.423 \sim 2.357 \text{ton/km}^2/\text{month}$ 로 낮았다. 그러나 산업지역과 도로변에서는 대부분의 중금속 성분이 높게 검출되었으며, 황사가 발생하는 봄철에는 대부분의 지역에서 최대로 검출되었는데, Pb $0.161 \text{ton/km}^2/\text{month}$, Cu $1.253 \text{ton/km}^2/\text{month}$, Mn $0.833 \text{ton/km}^2/\text{month}$, Zn $0.942 \text{ton/km}^2/\text{month}$ 그리고 Fe $15.433 \text{ton/km}^2/\text{month}$ 이었다.

4.1.4. 평균 중금속 농도변화

조사기간에 따른 중금속 성분의 평균 농도변화를 Fig. 8과 Fig. 9에 나타내었다. 그림에서 보면 가을철이 가장 낮게 검출됨을 알 수 있고, 동절기에 접어들면서 약간 증가하다가 황사가 발생하는

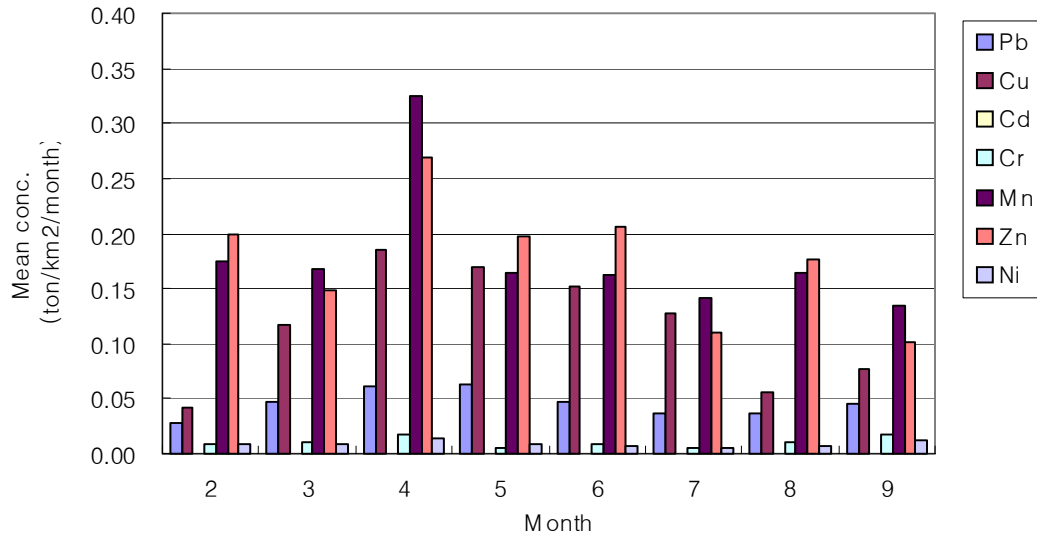


Fig. 8. Mean concentration of heavy metals as monthly

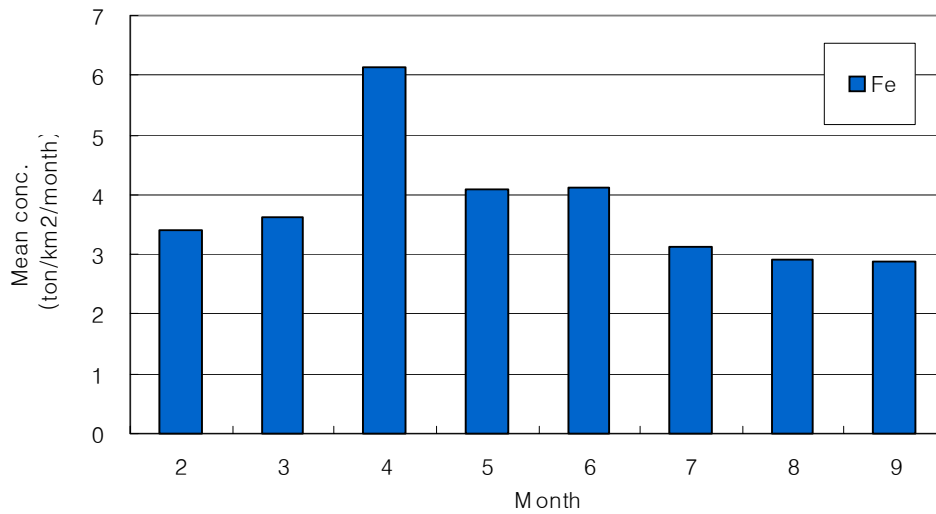


Fig. 9. Mean concentration of Fe as monthly

봄철에 최대 농도로 검출됨을 알 수 있었다. 그리고 높은 농도로 검출된 Fe의 경우에서도 동일한 결과가 얻어졌다. 성분별로는 Fe이 가장 높은 농도로 검출되었고, Zn과 Cu 순으로 검출됨을 확인하였다.

4.1.3 중금속 측정망 조사결과

중금속 측정망에서 얻어진 결과를 Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12에 나타내었는데, 본 조사에서 얻어진 결과의 정확성과 신뢰성을 확보하기 위해 본원에서 운영중인 중금속 측정망에서 얻어진 중금속 분석결과와 비교를 한 결과 분석단위의 차이로 농도의 크기로는 비교가 곤란하였지만, Cd이 0.001~0.004mg/m³로 약가 검출되는 것으로 조사된 것 이외에는 조사기간과 계절에 따른 검출되는 중금속 성분과 그 검출농도는 거의 유사한 경향으로 분석됨을 확인 할 수 있었으며, 강하먼지내 중금속 성분과 유사하게 중금속 측정망에서도 Cu, Pb, Mn 등이 높게 측정되었다.

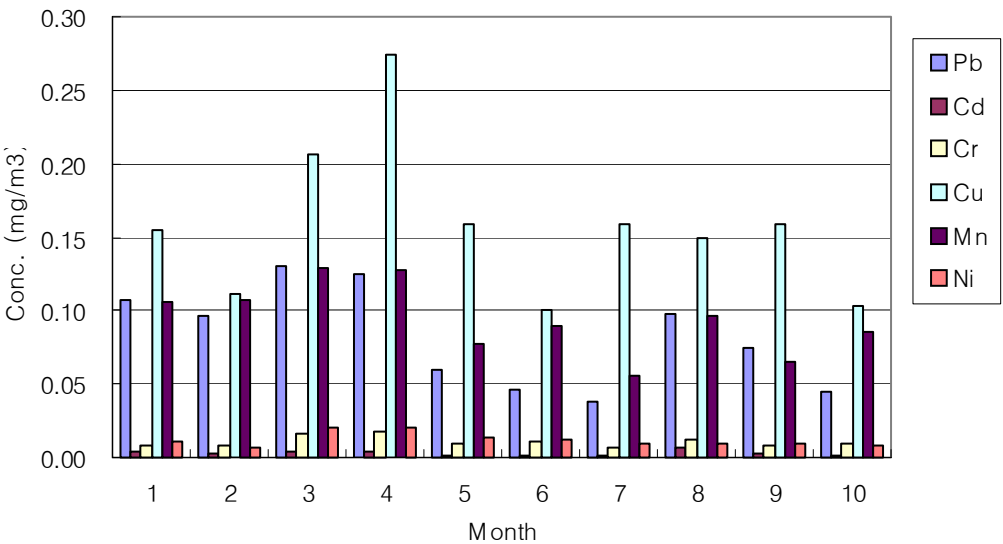


Fig. 10. Measured heavy metal concentration as monthly on the heavy metal measuring network

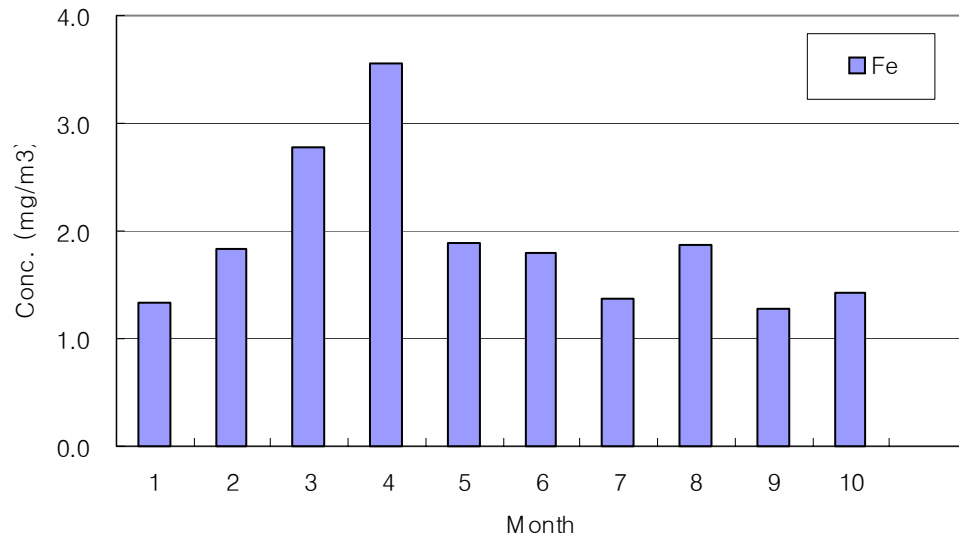


Fig. 11. Measured Fe concentration as monthly on the heavy metal measuring network

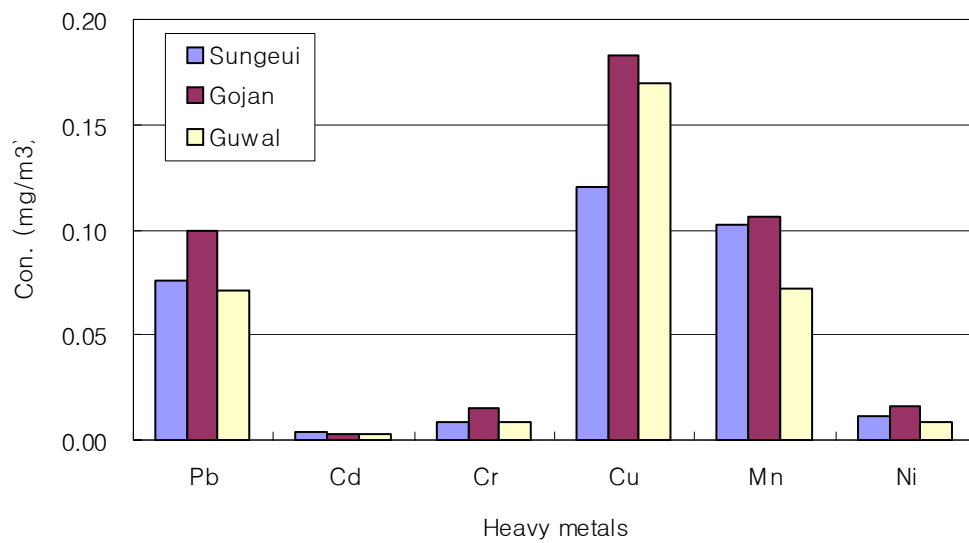


Fig. 12. Measured heavy metal concentration as sampling site and components on the heavy metal measuring network

5. 결 론

인천지역의 대기중 강하먼지의 오염도를 조사하기 위해 광구병형 포집장치(Dust jar)를 사용하여 강하먼지를 포집하였고, 조사지점은 전지역을 6개 지역으로 구분하여 19개 지점을 대상으로 2008년 2월부터 10월까지 강하먼지량과 강하먼지중 중금속 성분(Cu, Pb, Cd, Mn, Zn, Fe, Cr, Ni)의 농도를 측정하여 조사가간동안 계절별 및 지역별 농도분포를 파악하고 각 성분들 간의 상관성 및 중금속 측정망 측정결과와 비교검토를 통한 상관성과 강하먼지 분포와 발생특성을 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 강하먼지의 침착특성과 중금속 성분의 함유량 등은 지역에 따라 그 발생량이나 중금속 성분의 농도차가 있지만, 그 발생특성이나 경향은 모두 유사한 것으로 나타났으며, 중금속 검출농도는 $Fe > Cu > Mn > Pb > Cr > Ni > Cd$ 순으로 검출되었고, 대기측정망에서도 거의 유사한 검출경향을 보였다.
2. 조사기간 동안 지역별 평균 강하먼지는 공단지역 5.225ton/km²/month, 도로지역이 6.509ton/km²/month로 가장 높았고, 주거지역, 상업지역 등은 3.212와 3.867ton/km²/month, 농림지역과 녹지지역은 2.246과 1.941ton/km²/month의 순으로 조사되었다.
3. 계절별 평균 강하먼지량은 봄에 5.250ton/km²/month, 겨울 3.710ton/km²/month, 가을 3.090 ton/km²/month 그리고 여름 2.530ton/km²/month의 순으로 검출되었는데, 봄철의 경우 황사의 영향으로 전 지역에서 높게 나타났고, 여름철에는 강우에 의한 세정효과로 인해 가장 낮았다. 이 결과는 중금속 측정망에서 얻어진 결과와는 상대적인 비교가 곤란하지만, 계절에 따른 발생특성은 매우 유사함을 알 수 있었다.
4. 강하먼지중 중금속 성분에 대한 분석결과는 평균농도로 Pb 0.288, Cu 0.116, Cd 불검출, Cr 0.011, Mn 0.179, Zn 0.176, Fe 3.789, Ni 0.009ton/km²/month로 검출되었고, 공단지역과 도로지역에서 검출농도는 최대를 보였으며, 주거지역과 상업지역 그리고 농림지역과 녹지지역 순으로 검출되는 특성을 보였다.
5. 계절별 평균 중금속 농도는 봄에 Pb 0.062, Cu 0.189, Mn 0.188, Zn 0.229, Fe 5.890ton/km²/month, 으로 가장 높은 농도로 검출되었고, 가을과 겨울에는 성분별로 0.029~3.905ton/km²/month 그리고 여름에는 가장 낮게 검출되었는데, 봄철의 경우 황사로 높게 증가되었고, 여름철에는 강우에 의한 세정효과로 인해 낮게 검출되었다. 이 결과는 중금속 측정망에서 얻어진 중금속 측정결과와 발생특성은 매우 유사함을 알 수 있었다.
6. 지역별로는 서구지역이 타 지역에 비해 강하먼지량이 가장 높았고, 먼지중 중금속 함유량은 서구와 동구지역이 높은 것으로 조사되었다.

인천지역은 타 지역에 비해 많은 공단이 설치되어 있고, 또한 중국으로부터 유입되는 오염물질에 의한 직접적인 영향을 받고 있는 지역으로서 환경적으로 매우 낙후된 조건을 갖고 있다. 최근에는 급속한 도시화와 개발이 진행됨에 따라 강하먼지의 발생요인이 없는 지역에서도 비교적 높은 강하먼지 농도가 측정되고 있고, 특히 산업지역은 많은 오염원이 산재함에 따라 매우 높은 강하먼지 오염도를 보임에 따라 주변 지역에 대한 오염원 조사 및 방지대책이 시급한 것으로 사료된다. 또한 도로변의 경우도 많은 차량의 통행으로 오염도가 높았는데, 이의 적절한 제거를 위해 적절한 대책이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 최덕일 등, 수도권 지역의 시정장애 현상규명을 위한 조사연구(1)-시정감소 원인물질 및 메카니즘 규명, 200 (1994)
2. 송재환, 김시환, 광영세, 광양만권 강하먼지 특성연구, RIST 연구논문, 17(4), 384~491 (2003)
3. 김성천, 김동술, 한국에서 먼지 및 금속원소의 건식 침착속도 추정에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 12(1), 101~112 (1996)
4. British Columbia Ministry of Environment, Health effects of inhalable particles ; Private implications for British Columbia-overview and conclusions (1995)
5. 박정호, 최금찬, 대기 에어로졸 입자의 이론적 강수세정에 관한 연구, 한국대기환경학회지, 15(1), 1~11 (1999)
6. Si Duk Lee, Particulate matter regulatory trend in US, Korea-America joint seminar on the source of visibility reduction and counter-measures in the metropolitan area. 21~50, (1995)
7. Rose, A. W., Hawkes, H. E. and Webb, J. S., Geochemistry in mineral exploration, Academic press, 549~581 (1979)
8. Warren Spring Laboratory, Acid deposition in the united Kingdom, WSL, 104 (1983)
9. Rojas C. M. J, Injuk R. E. Van Grienken and R. W. Laane, Dry and wet deposition fluxes of Cd, Cu, Pb and Zn into the southern bight of the North sea, Atmospheric Environment, 27(A1), 251~259 (1993)
10. 이기호, 허철구, 제주지역 강하먼지의 조성에 관하여-오염원추정, 한국대기환경학회지, 15(2), 101~111 (1999)
11. 김성천, 서해 도시지역 군산의 강하먼지 및 금속원소 침착량 연구, 한국대기환경학회지, 15(3), 291~303 (1999)
12. De Miguel, Et. al., Orgin and patterns of distribution of trace elements in street dust ; Unleaded petrol and urban leads, Atoms. Env., 31(17), 2733~2740 (1997)