

연구노트

동해시 소각시설 주변의 입자상물질 및 중금속 농도현황에 관한 연구

손부순 · 이종대 · 정순원 · 정태웅*

순천향대학교 환경보건학과, 세종대학교 지구환경과학과*

(2005년 6월 7일 접수, 2005년 9월 5일 승인)

Concentrations of PM₁₀ and Heavy Metals in Incinerators Around of Dong-hae Area

Bu Soon Son · Jong Dae Lee · Soon Won Jung · Tae Woong Chung*

Department of Environmental Health Science, Soonchunhyang University

Department of Earth & Environmental Sciences, Sejong University*

(Manuscript received 7 June 2005; accepted 5 September 2005)

Abstract

We studied the concentrations of PM₁₀ and heavy metal in the incinerators around Dong-hae from December 2003 to April 2004. The seasonal mean of PM₁₀ concentration was less than the value of environmental standard, the lowest (36.59 mg/m³) in spring and the highest (78.54 mg/m³) in fall.

The measured seasonal heavy metals were Fe 503.44 ng/m³, Mg 410.85 ng/m³, Na 134.14 ng/m³, Zn 24.58 ng/m³ in spring and Na 315.29 ng/m³, Mg 48.36 ng/m³, Fe 44.78 ng/m³, Zn 23.34 ng/m³ in summer and Na 88.53 ng/m³, Fe 33.80 ng/m³, Zn 20.43 ng/m³, Pb 6.16 ng/m³ in fall and Na 4603.72 ng/m³, Fe 575.26 ng/m³, Al 411.01 ng/m³, Cr 203.51 ng/m³ in winter.

The relationship between measured metals concentrations showed that Na and Fe were associated with natural sources such as soil. Pb, Cr and Zn were strongly related to urban anthropogenic sources such as fuel combustion.

Key words : PM₁₀, Heavy Metals, incinerator, Dong-hae

1. 서론

대기오염물질은 크게 입자상 물질과 가스상 물질로 구별되어 설명된다. 특히 입자상 물질 중 부유분진(suspended particulate matters)은 대기 중에 부유하는 미세한 고체상 또는 액체상 입자 물질로서 최근에는 에어로졸(aerosol)이라고 통칭되고 있다. 부유분진은 1차 입자와 2차입자로 구분되는데, 1차 입자는 해염입자와 토양입자 등의 자연발생원에서 유래하는 물질들이고, 2차 입자는 1차 입자들이 대기로 방출되어 다양한 화학반응에 의해 변환된 물질들이다. 특히 이들 입자상 물질들 중 미세입자는 표면적이 초대입자보다 상대적으로 매우 크기 때문에 금속 성분이나 가스상 물질들의 흡착성이 크고 호흡기를 통해 인체에 흡입 될 때 폐포까지 다달을 가능성이 매우 높기 때문에 중요한 오염물질로 알려져 있다. 대기 중 PM₁₀의 경우는 자동차 등과 같은 이동오염원과 공장의 굴뚝이나 기타 여러 가지 물리 화학적 공정에 의해 대기 중으로 방출되고 있다. 이러한 입자상 물질에는 여러 가지 금속성분, 유기물질, virus, 조류 및 곰팡이 등이 포함되어있으며, 다환 방향족 탄화수소(polycyclic aromatic hydrocarbon, PAH) 등의 발암성 물질이 포함되어있다. 입자상 물질의 배출 특성에 관해 US EPA와 Linak *et al.*(2000)은 입자상 물질의 생성, 중금속의 휘발, 응축에 의한 중금속의 질량입도 분포특성 등에 대한 여러 연구결과를 종합적으로 검토하여 1~3 μ m 크기 이하의 입자는 분말화(fragmentation) 및 입자비말동반(particle entrainment) 등의 역학적인 경로에 의해 생성되는 것으로 보고하고 있다.

인위적 또는 자연적 배출원 으로부터 생성, 배출된 오염 물질들이 확산, 비산 등의 다양한 방법들로 대기 중에 유입된다. 특히, 인위적 발생원은 공장, 난방시설, 소각시설, 자동차등, 인간 활동과 밀접한 관계를 가지며 특성 또한 매우 복잡하게 변화한다. 이우근 등(1995)의 연구에 의하면 최근 들어 폐기물의 위생적 처리를 통해 국토의 효율적이고 지속가능한 개발을

도모하고, 매립으로 인한 신규매립지의 확보난 및 수집, 운반비용의 문제, 오염물질의 양이나 부피를 물리적으로 줄이는데 대한 관심의 증대 등으로 쓰레기 소각장 등의 설치 사례가 눈에 띄게 증가하고 있다. 그러나 소각시설은 대표적인 혐오시설로서 인지되어 이를 설치하고 운영하는데 매우 어려운 상황에 처하게 된다. 이무춘(1997)은 주민들과의 갈등을 최소화하기 위하여 폐기물처리시설축진 및 주변지역지원에 관한 법이 제정되었다고 정리 하였다. 현재 우리나라는 이와 같은 폐기물 관련법에 의거 소각시설이 설치 운영되고 있다. 이한국 등(2003)은 연구 결과에서 폐기물의 소각처리는 매립에서 야기될 수 있는 여러 가지 문제점을 해결할 수 있는 장점을 가지면서도 소각 시 발생하는 분진 및 유해가스등 여러 종류의 오염물질들에 대한 안전처분 상에 주의를 기울여야 할 필요가 있다고 제시했다. Klaasen *et al.*(1986)과 나덕재(2000)의 연구에 의하면 소각 시 발생하는 오염물질들의 성상은 매우 다양한 형태로 나타나지만, 크게 입자상오염물질인 호흡성 분진과 중금속류, 가스상 오염물질들로 구분하고 있다. 특히 중금속은 가장 오래전부터 알려진 독성물질로, 주기율표내 약 80개의 원소가 금속으로 분류되며 그중 약 30가지의 금속이 사람에게 독성을 발현하는 것으로 알려져 있다. 이중 일부 중금속은 발암성을 가지고 있다. 또한 중금속은 조직내 그들의 지속성 때문에 다른 유기성 발암물질에 대해 촉진제(Promotor) 또는 공동 발암원(Cocarcinogen)으로 작용할 수 있다고 보고했다.

본 연구의 목적은 동해시 쓰레기 위생처리시설 주변지역을 대상으로 PM₁₀과 중금속의 계절적 농도변화를 조사하여 쓰레기 처리시설의 효율적 운영과 체계적 관리에 필요한 기초 자료를 제공하는데 있다.

II. 연구방법

1. 대상지역 및 조사기간

대상지역은 강원도 동해시 망상 1동(Fig. 1)에 위



Fig. 1. Locations of sampling point

치한 환경시설관리사업소와 그 주변마을로서, 환경 시설관리사업소 내의 소각시설은 스톡방식이며 쓰레기 소각규모는 일일 30톤 정도로 조사되었다. 주변마을 약 180세대(약 700명)가 거주하는 어촌마을로 다른 고정 오염원은 없었다. 측정지점의 선정은 사업소내 2개 지점과 인근마을 가정집 옥상 5곳으로 총 7개 지점을 선정하였으며, 조사시기는 2003년 12월(겨울), 2004년 4월(봄), 6월(여름), 9월(가을)로 1년에 걸쳐 4차례에 PM₁₀과 중금속을 채취하였다.

2. 분진의 채취 및 분석

미세먼지의 채취를 위하여 유량이 약 5l/min인 mini-volume air sampler (MiniVolAIRmetrics社)(Fig. 2)를 이용하여 24시간 채취 하였다.

filter는 pallflex membrane filter (47 mm, Gelman sciences社)를 이용하여 항온, 항습 상태인 데시케이터 내에서 24시간 이상 보관하여 항량이 되게 한 후 채취 하였고 이와 같은 조작은 시료 채취 전과 후 모두 동일한 조건에서 실시하였다.

미세먼지의 채취 원리는 입경이 10 μm보다 큰 입

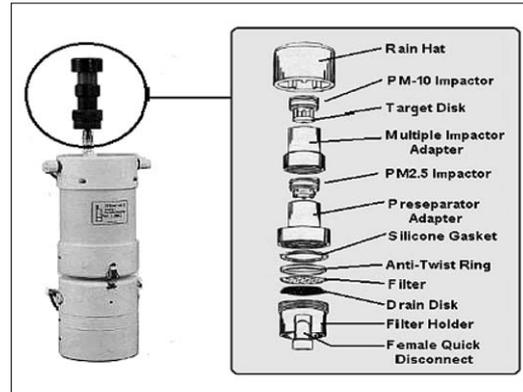


Fig. 2. MiniVol portable sampler

자가 미세먼지 분립장치 내의 충돌판(target disk)에 관성 충돌하여 붙고 10 μm보다 작은 입자는 충돌판에서 위로 흐르는 공기의 흐름에 따라 여지에 쌓이게 된다. Mini-volume portable air sampler로 채취된 시료 여지를 채취 전과 동일한 방법으로 항온, 항습 상태인 데시케이터 내에서 24시간 이상 방치한 후 0.01 mg까지 측정 가능한 semi-micro balance (Sartorius社, BP211D)를 사용하여 여지 무게를 측정하였다. 그리고 아래의 식을 이용하여 질량 농도 분석을 실시하였다.

$$\begin{aligned} \text{질량 농도 } C(\mu\text{g}/\text{m}^3) &= \frac{\text{먼지무게 } (\mu\text{g})}{\text{시료채취 총유량 } (\text{m}^3)} \\ &= \frac{\text{측정 후 여지무게 } (\mu\text{g}) - \text{측정 전 여지무게 } (\mu\text{g})}{\text{시료채취 유량 } (\text{l}/\text{min}) \times \text{시료채취시간 } (\text{min})} \times 1000 (\text{l}/\text{m}^3) \end{aligned}$$

화학원소의 농도를 측정하기 위해서는 Standard Method(for the examination of water and wastewater, 18th edition 1992)를 참고하였다. 필터의 추출장치로는 Microwave(미국, Questron Corporation社, Q45 Enviroprep.)를 사용하였다. 이는 기존의 처리방식에 비하여 고온, 고압 하에서 여지의 분해가 가능하고, 전처리의 시간을 단축할 수 있다. Microwave의 vessel에 여지를 넣고 1.03M 질산+2.23M 염산(1:1)을 10ml 가한 후, 545W에서 5분, 344W에서 5분을 가열한 후 0.5 μm의 필터를 이용하

Table 1. Weather condition of sampling area

Date	Weather	tem(°C)	hum(%)	rainfall	windy	windy speed(m/s)	maximum windy speed(m/s)
03/12/20	cloudy	4.9	36.2	-	WSW	4.8	25.8
04/04/29	cloudy	16.8	38.0	-	S	2.4	8.2
04/06/23	clean	24	71.2	-	WS	1.5	7.3
04/09/09	clean	20.4	76.2	-	WS	2.5	7.3

여 여과한 후 ICP-MS(Varian, Ultramass)로 분석하였다. 본 연구는 2004년 2월부터 11월까지 1년간 계절별로 쓰레기위생처리 시설 내 두 곳을 포함한 총 7개 지역에서 조사하였다. 측정기는 pallflex membrane filter(47 mm, Gelman sciences社)를 이용하여, 유량 5l/min인 mini-volume portable air sampler(MiniVolAIRmetrics社) 이용하여 24시간 포집 하였다. 필터의 추출장치로는 Microwave(미국, Qwestron Corporation社, Q45 Enviroprep.)를 사용하였으며, ICP-MS로 분석하였다(공미연, 2002. 김성연, 2005).

III. 연구결과 및 고찰

1. 측정기간 중 기상 개황

조사기간 중 측정지역의 기상상태는 아래 Table 1과 같다.

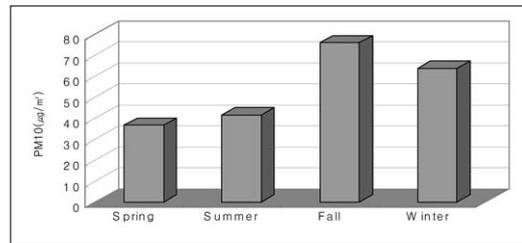
Table 1에서 보는바와 같이 해변에 위치한 지리적 특성에 따라 다른 내륙지방보다는 풍속이 다소 빠른 것으로 조사되었고 바람의 방향은 서풍이 지배적인 것으로 나타났다.

2. 계절별 PM₁₀의 농도 변화

동해시의 대기 중 PM₁₀의 계절별 농도의 평균을 분석한 결과(Table 2) 봄(4월)에 PM₁₀의 농도가 36.59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 낮게 측정되었고 가을(11월)이 75.84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높게 나타났다. 겨울철(2월) 및 늦가을인 11월에 황사가 발생하였고, 가을철 농도가 높게 나타난 이유 중 하나로 측정당시 인접 부대의

Table 2. Concentration of PM₁₀ by season

Season	Mean \pm S.D. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Spring	36.59 \pm 7.00
Summer	41.42 \pm 23.04
Fall	75.84 \pm 23.82
Winter	63.63 \pm 25.09

Fig. 3. Concentration of PM₁₀ by season

사고로 인하여 평소보다 2~30배의 차량통행 증가로 PM₁₀의 농도에 영향을 받았을 것으로 추정된다. 또한 가을철 농지의 인위적인 방화도 영향을 주었을 것으로 생각된다. 봄철의 PM₁₀ 농도가 다른계절에 비해 낮게 나타난 것은 전날의 강우에 의한 것으로 생각된다. 이와 같은 결과는 강병욱 등(2000)의 청주시와 이찬영(2003)의 대구지역, 전병일(2003)의 부산 등의 대도시 및 내륙도시의 연구결과와는 봄철의 농도가 가장 높고 겨울, 가을, 여름의 순으로 조사되어 본 연구의 결과와는 일치하지 않음을 보였다. 이는 최성우 등(2000)의 연구결과에서 설명한 바와 같이 PM₁₀의 농도는 지역적 특성 및 계절적 특성에 따라 차이를 나타낼 수 있음을 본 연구결과에서도도 보여주는 것으로 생각된다. 또한 본 연구대상 지역인 해안지역이 내륙지역보다 농도가 낮은 것은 해안지역의 특성

상 바람의 세기가 강하고 대상지역 주변을 지나는 도로가 편도 1차선으로서 차량동행이 많지 않다는 점에 영향을 받았을 것으로 생각된다.

3. 측정 장소별 PM₁₀의 농도 변화

측정 장소별 PM₁₀의 농도를 비교한 결과는 Table 3과 같다. 아래의 표에서 측정지점의 분류는 소각장이 있는 사업소 내 두 지점(indoor facilities)과 인근 마을의 다섯 지점(around area)을 비교한 것이다. 본 결과에서 보는바와 같이 소각시설이 위치한 사업소 두 곳의 PM₁₀ 평균농도는 56.40 µg/m³이며, 주변 마을에서 조사된 PM₁₀의 평균농도는 55.99 µg/m³로 사업소 내의 농도가 약간 높게 나타났으나 별 차이가 없었다. 마을에 위치한 측정지점 중 도로와 가장 인접한 측정지점에서 62.52 µg/m³로 가장 높게 나타났으며, 도로변과 가장멀리 떨어진 지점에서는 42.99 µg/m³로 상대적으로 가장 낮게 측정되었다. 이는 소각장에서 발생하는 분진의 양보다 도로에서 발생하는 분진의 양이 마을에 더 많은 영향을 미치고 있는 것으로 사료 된다. 이와 같은 결과는 소각장에서 발생이 예상되는 입자상오염물질들이 인근 마을에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 생각된다.

Table 3. Concentration of PM10 by sampling area

Sampling area	Mean ± S.D.(µg/m ³)
Indoor facilities	56.40 ± 19.90
Around area	55.99 ± 27.05

4. 계절별 중금속의 농도 변화

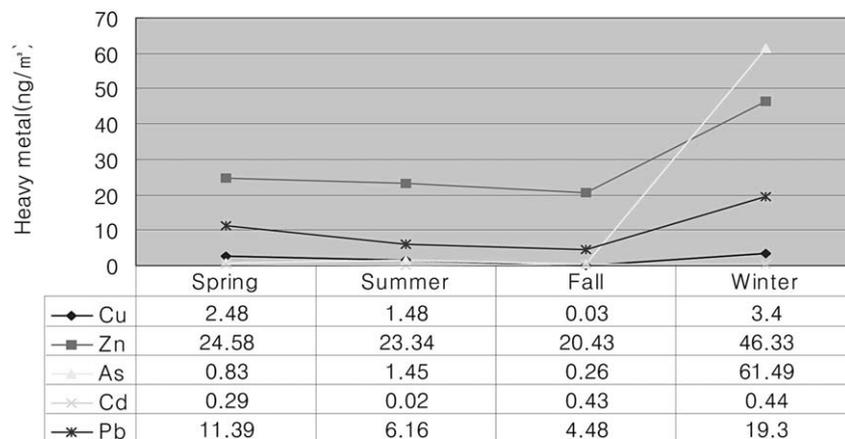
계절별로 PM₁₀ 중 중금속 성분을 분석한 결과 봄에는 Fe(503.44 ng/m³), Mg(410.85 ng/m³), Na(134.14 ng/m³), Zn(24.58 ng/m³) 순으로 나타났으며, 여름철에는 Na(315.29 ng/m³), Mg(48.36 ng/m³), Fe(44.78 ng/m³), Zn(23.34 ng/m³) 순으로 나타났고, 가을철에는 Na(88.53 ng/m³), Fe(33.80 ng/m³), Zn(20.43 ng/m³), Pb(6.16 ng/m³) 순으로 나타났고, 겨울철에는 Na(4603.72 ng/m³), Fe

(575.26 ng/m³), Al(411.01 ng/m³), Cr(203.51 ng/m³) 순으로 조사되었다.

전체적인 계절별 중금속의 농도는 해염입자의 영향이 지배적인 Na를 포함하여 겨울철의 중금속농도가 다른 계절보다 다소 높게 나타났으며, 특히 인위적 발생원으로부터 유래되는 것으로 알려진(Qin 등, 2003) 금속성분(Cu, Zn, As, Cd, Pb) 중 Cd을 제외하고 대부분의 금속이 겨울철에 높은 결과를 나타냈다. 이와 같은 결과는 교통량이 많지 않은 지점의 특성을 감안하면 겨울철 난방연료의 사용량 증가 등 다른 요인의 영향에 의한 것으로 생각된다. 또한 김성천 등(2000)의 군산지역 연구결과와 비교하면 발생량이 비교적 높았던 겨울철의 경우 Fe(1182.7 ng/m³), Pb(83.9 ng/m³), Zn(63.0 ng/m³), Cr(46.3 ng/m³), Cd(2.17 ng/m³)과 이찬형(2003)의 대구 연구결과 Fe(1863.0 ng/m³), Pb(67.1 ng/m³), Cu(363.9 ng/m³), Cr(18.3 ng/m³), Cd(3.0 ng/m³)비해 본 연구에서 겨울철의 중금속의 농도는 Fe(575.26 ng/m³), Cu(3.40 ng/m³), Pb(19.30 ng/m³), Cd(0.44 ng/m³)로 조사되어 내륙지역보다 매우 낮은 것으로 나타났다. 이찬형(2003)의 연구에서 밝힌바와 같이 Cd, Ni, Pb 은 가정에서의 석유연료의 난방연료 사용과 차량의 가솔린연소에 의해 다량 배출되는 것으로 알려져 있으나 본 연구에서 농도가 현저히 낮게 나타난 것은 소각장주변이 주거 밀집지역이 아니고 차량의 통행이 적다는 점, 동해지역의 특성상 해변에 위치하여 바람이 상대적으로 내륙도시보다 강하다는 점 등의 영향으로 인해 Cd, Pb의 농도가 낮게 나온 것으로 생각된다. 또한 동해시 소각장 주변지역의 금속성분 농도 중 Pb의 경우 봄과 겨울의 농도가 다른 계절에 비해 높게 나타났고, Fe도 봄과 겨울이 여름과 가을보다 농도가 높게 나타났는데 이는 황사현상으로 인한 토양성분의 증가 때문으로 추정 된다. 그리고 정종현 등(2003)의 연구결과에서 소각시 중금속의 농도에 영향을 주는 폐기물의 성분으로 폐플라스틱, 페비닐, 스틸렌수지 등으로 보고했는데, 이혜승 외(2005)의 강원도 동해안 지역의 폐기물 발생 특

Table 4. Seasonal concentrations of Heavy metallic elements by PM₁₀Unit : ng/m³

	Spring	Summer	Fall	Winter
	Mean ± S.D.	Mean ± S.D.	Mean ± S.D.	Mean ± S.D.
Na	134.14 ± 354.70	315.29 ± 148.87	88.53 ± 117.60	4603.72 ± 636.50
Mg	410.85 ± 471.41	48.36 ± 14.65	1.79 ± 2.62	187.18 ± 54.39
Al	55.27 ± 80.76	4.30 ± 1.40	0.19 ± 0.50	411.01 ± 82.19
Cr	3.06 ± 3.69	1.35 ± 0.25	0.36 ± 0.29	203.51 ± 37.52
Fe	503.44 ± 783.42	44.78 ± 26.29	33.80 ± 28.72	575.26 ± 163.66
Cu	2.48 ± 4.28	1.48 ± 0.75	0.03 ± 0.09	3.40 ± 0.77
Zn	24.58 ± 42.77	23.34 ± 17.95	20.43 ± 19.94	46.33 ± 13.22
As	0.83 ± 0.22	1.45 ± 0.27	0.26 ± 0.12	61.49 ± 7.25
Cd	0.29 ± 0.76	0.02 ± 0.01	0.43 ± 1.06	0.44 ± 0.24
Pb	11.39 ± 13.76	6.16 ± 11.30	4.48 ± 11.85	19.30 ± 6.40

Fig. 4. Seasonal concentrations of Heavy metallic elements(Cu, Zn, As, Cd, Pb) by PM₁₀

성에 관한 연구에서 이 지역의 가연성 폐기물의 조성비는 음식물(약 40%)과 종이류(약 30%)가 가장 높은 비율을 차지하는 것으로 조사되었다. 따라서 상대적으로 고무나 플라스틱 제품 등 비교적 소각 시 중금속의 농도가 높은 물질의 유입이 적다는 점이 다른 지역에 비해 중금속의 농도가 낮게 조사된 것으로 생각되어진다.

5. 중금속의 상관성 분석

중금속의 상관성을 분석한 결과를 살펴보면 (Table 5) 해염입자인 Na의 경우는 Fe와 Mg를 제외

하고 모든 원소들과 음의 상관성을 보였다. 이는 해변에 위치한 지리적 특성에 의한 바람의 세기에 따라 다른 원소의 농도가 상대적으로 낮아졌기 때문으로 생각된다. Qin 등(2003)의 연구인 발생원 분류항목(source profile)에서 보면 Mg와 Al은 토양에서 주로 발생하는 것으로 보고 하고 있다. Pb, Cr, Zn, Cu, As는 인위적인 오염원에서 주로 발생하는 것으로 보고 하였다. 본 연구결과에서도 Mg와 Al은 매우 높은 유의한 상관성($r=0.925$, $P<0.01$)을 나타내 두 물질 모두가 토양에서 기인된 오염물질임을 설명한다고 생각된다. Fe는 Pb와 유의한 상관관계

Table 5. Correlation matrix among Heavy metallic elements

	Na	Mg	Al	Cr	Fe	Cu	Zn	As	Cd	Pb
Na	1									
Mg	0.040	1								
Al	-0.186	0.925**	1							
Cr	-0.156	0.016	0.067	1						
Fe	0.405*	-0.017	-0.037	0.512**	1					
Cu	-0.181	0.532**	0.442*	0.264	-0.178	1				
Zn	-0.099	0.149	0.337	0.824**	0.581**	0.123	1			
As	-0.127	0.027	-0.060	0.381*	-0.124	0.781**	0.129	1		
Cd	-0.127	0.451*	0.557**	-0.068	-0.122	-0.053	0.196	-0.037	1	
Pb	-0.147	0.193	0.351	0.779**	0.731**	0.030	0.920**	-0.007	0.204	1

*P<0.05

**P<0.01

($r=0.731$, $P<0.01$)를 나타냈다. Fe은 암석의 풍화와 같은 토양에 기인하여 자연적으로 발생하는 것과 석탄, 중유의 연소, 산화철의 비산 등과 같은 인위적 오염원으로부터 발생하는 점을 고려해 볼 때(전병일, 2003), 본 연구에서 나타난 결과도 Fe와 Pb는 인위적 오염원에 의해 영향을 받은 것으로 사료된다. 또한 Pb의 경우는 Cr($r=0.779$, $P<0.01$)과 Zn($r=0.920$, $P<0.01$)과 서로 유의한 상관성을 보였으며, Cu는 As($r=0.781$)와 유의한 상관성을 보였다. 또한 Cr은 Zn($r=0.824$, $P<0.01$)과 상관성을 보였는데 이러한 결과도 Pb, Cr, Zn, Cu, As가 인위적 오염원에서 기인된다는 가능성을 시사하는 것이다. 그리고 서로 유의한 상관성을 나타낸 금속들은 발생원이 비슷한 것임을 보여주는 것으로 사료된다.

본 연구의 결과 동해시 망상1동의 소각시설로 인하여 인근 마을의 대기질에 크게 영향을 미친다고 판단하기에는 무리가 있다고 생각된다.

소각시설 및 시설의 가동량이 점차적으로 증가 추세에 있고, 소각 시 발생하는 중금속 성분들은 대기를 통해 장거리 이동이 가능하며 주변의 토양 및 수질의 오염에 중요한 변수로 작용할 수 있다. 특히 납의 경우 연료의 연소 및 소각, 이동오염원인 자동차 등에서 많이 발생되며, 특히 자동차의 Octan가를 높

이기 위하여 4-에칠납(TEL)이 많이 사용되는데 이 때 배출가스를 통하여 대기 중에 배출된다. 납이 체내에 흡수될 경우 마비, 혈변, 위장장애, 환각, 두통, 빈혈 등 인체에 치명적인 독성물질을 발생시킨다는 점을 감안하면 쓰레기 소각시설의 설치 및 운영에 있어 오염물질의 확산 방지대책은 절실한 과제라고 생각한다. 따라서 혐오시설로 불려지는 소각장을 효율적으로 관리하기 위해 중장기적인 배출량 조사와 더불어 쓰레기의 유형별 오염물질의 발생성분조사 및 이에 따른 인체영향에 관한 연구 등이 지속적으로 진행 될 필요성이 있다고 생각된다.

IV. 결론

본 연구는 2003년 12월부터 2004년 9월에 걸쳐 동해시 소각장 주변에서 계절별로 7개 지점을 선정하여 PM₁₀의 농도를 측정하고, ICP-MS를 이용하여 금속성분 10개 항목(Na, Mg, Al, Cr, Fe, Cu, Zn, As, Cd, Pb)을 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 계절별 PM₁₀의 농도는 가을($75.84\mu\text{g}/\text{m}^3$), 겨울($63.63\mu\text{g}/\text{m}^3$), 여름($41.42\mu\text{g}/\text{m}^3$), 봄($36.59\mu\text{g}/\text{m}^3$) 순으로, 이는 대기환경기준치 이하의 농도를 나타냈다. 이는 해안에 위치한 지형적 특성, 강한 바람의 세

기, 적은 차량의 통행량에 의한 것으로 생각된다.

2. 측정 장소별 PM_{10} 의 농도는 소각시설이 위치한 사업소 평균농도가 인근마을 평균농도보다 약간 높게 나타났으나 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다. 이와 같은 결과는 소각장에서 발생이 예상되는 입자상오염물질들이 인근 마을에 영향을 미치는지에 대한 좀더 심도 있는 연구검토의 필요성을 제시하는 것으로 생각 된다.

3. 계절별 중금속의 농도를 조사한 결과 봄에는 $Fe \rangle Mg \rangle Na \rangle Zn$ 순으로 나타났으며, 여름철에는 $Na \rangle Mg \rangle Fe \rangle Zn$ 순으로 나타났고, 가을철에는 $Na \rangle Fe \rangle Zn \rangle Pb$ 순으로 나타났고, 겨울철에는 $Na \rangle Fe \rangle Al \rangle Cr$ 순으로 조사되었다. 이와 같은 결과는 교통량이 많지 않은 지점의 특성을 감안하면 겨울철 난방연료의 사용량 증가 등 다른 요인의 영향에 의한 것으로 생각 된다. 특히 인위적 오염물질로 알려진 Cu, Cd, Pb 등의 농도수준은 김성천 외(2000)의 군산연구와 이찬형(2003)의 대구연구결과 등 유사한 연구결과보다 농도가 현저히 낮게 나타났으며 특성도 내륙지방과는 다른 양상을 보였다.

4. 중금속성분의 상관성은 분석한 결과 토양에서 기인하는 오염원으로 알려진 Mg과 Al은 매우 높은 유의한 상관성($r=0.925$)을 나타냈고, Pb는 Cr($r=0.779$)과 Zn($r=0.920$)과, Cu는 As($r=0.781$)와 유의한 상관성을 보였다. 또한 Cr은 Zn($r=0.824$)과 상관성을 보였다. 서로 유의한 상관성을 나타낸 금속들은 발생원이 비슷한 것임을 보여주는 것으로 사료된다.

본 연구결과에서 미세먼지의 농도는 대기환경기준치 보다 낮았지만 청정지역으로 생각되는 동해시도 미세먼지에 대한 관리가 필요하며, 발생원 항목분류를 고려 할 때 비산재 뿐만 아니라 해염 및 토양 등 지형적 특성을 충분히 검토한 관리가 필요하며, 소각장을 효율적으로 관리하기 위해 지속적인 배출량 조사와 더불어 쓰레기의 유형별 오염물질의 발생성분 조사 및 이에 따른 인체영향에 관한 연구 등 중장기적으로 Monitoring이 필요한 것으로 생각된다.

참고문헌

- 공미현, 2002, 아산 및 서울 일부 지역의 미세먼지 ($PM_{2.5}$) 농도와 금속성분 조성, 순천향대학교 석사학위논문.
- 강병욱, 이학성, 김희강, 2000, 수용모델을 이용한 청주시 미세입자($PM_{2.5}$)의 기여도 추정, 한국대기환경학회지, 16(5).
- 김기현, 송동웅, 1996, 국내 주요 쓰레기 소각시설로부터 발생하는 수은의 대기배출량에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 12(5).
- 김기현, 최규훈, 강창희, 2002, 2001년 봄철 서울시 북동부지점에서 관측한 중금속성분의 농도 분포, 한국지구과학회지 23(6).
- 김상렬, 정장표, 이승묵, 2000, 부산지역 $PM_{2.5}$ 와 PM_{10} 의 농도 특성, 대한환경공학회지 22(6).
- 김성연, 2005, 서울시 일부지역의 대기 중 미세먼지에 관한 연구, 서울대학교 보건대학원 석사학위 논문.
- 김성천, 송재중, 임성호, 강달선, 2000, 군산 지역에서 PM_{10} 의 농도 및 성분 특성에 관한 연구, 한국환경위생학회지, 26(3).
- 김정식, 신도식, 방소영, 차주완, 김산, 최성필, 2000, 한국기상학회 2000년도 봄 초청강연 및 학술발표회
- 나덕재, 이병규, 2000, 산업도시 대기 중 PM_{10} 의 농도 및 금속원소 성분의 특성연구, 한국대기환경학회지, 16(1).
- 이무춘, 1997, 생활폐기물 소각장의 입지타당성 평가법, 환경영향평가학회지, 6(2).
- 이우근, 1995, 쓰레기 소각로에서 배출되는 다이옥신 문제, 상지대학교 환경과학 심포지움, 86-99.
- 이찬형, 2003, 대구지역 총 부유분진 중 중금속, 한국환경위생학회지, 29(1).
- 이한국, 최동혁, 이동훈, 2003, 중소형 소각시설 소각재에 의한 중금속 오염도 평가, 한국폐기

- 물학회지 20(6).
- 이혜승, 최용범, 김병욱, 2005, 강원도 동해안지역의 생활폐기물 발생특성, 한국위생학회지 20(1).
- 전병일, 2003, 2002년 부산지역 봄철 황사/비황사 시 PM_{10} 중의 중금속 농도 특성, 환경영향평가학회지, 12(2).
- 정중현, 손병현, 정덕영, 김현규, 이협희, 2003, 폐기물 소각로의 유해 대기오염물질 배출 특성, 한국환경위생학회지, 29(5).
- 최배진, 김기현, 2003, 대기 분진 중 중금속 성분의 공간적 농도분포 특성 비교(서울시 7개 관측점을 중심으로), ANALYTICAL SCIENCE & TECHNOLOGY, 16(2).
- 최성우, 송형도, 1999, 대구지역 겨울철 황사기간 중 중금속농도의 변이특성, 환경과학회지, 4(1).
- 최진수, 박상태, 백성욱, 1995, 대기중 TSP와 PM_{10} 농도의 상관성, 대한환경공학회, 95년 춘계 학술연구 발표회.
- Linak, W. P., A. Miller, and J. O. L. Wendt, 2000, Comparison of Particle Size Distribution and Elemental Partitioning from the Combustion of Pulverized Coal and Residual Fuel Oil. Journal of the Air & Waste Management Association, 50, 1532-1544.
- Qin, Y. and Oduyemi, K., 2003, Atmospheric aerosol source identification and estimate of source contributions to air pollution in Dundee, UK. Atmospheric Environment, 37, 1799-1809.