

김유근¹ · 박종길² · 문덕환³ · 황용식^{1,3}부산대학교 대기과학과¹인제대학교 환경시스템학부²인제대학교 의과대학 산업의학교실 및 산업의학연구소³

1. 서론

산업화·도시화에 따라 인구 증가, 교통량 증가 및 도시 구조물의 증가 등으로 인하여 도시의 대기오염과 열섬 현상 등이 날로 심각한 사회문제로 제기되고 있다. 일반적으로 대기 중에 부유하는 오염물질들은 광화학 반응을 통하여 2차 오염물질이 생성되기도 하고, 기상인자에 의하여 확산 또는 수송되어 대기오염도가 감소하거나, 중력에 의하여 지표 부근에 침적되어 제거된다.

특히, 건성 및 습성 침적되는 강하분진은 단위 지역의 대기오염을 파악하거나, 타 지역과의 비교에 지표로 활용되고 있다.

강하분진을 측정한다는 것은 일반적으로 특정한 오염원을 대상으로 하기보다는 일정한 지역에서 침강하는 대기침적물질의 평균적인 침적량을 측정하는 것으로서 그 지역의 대기오염도를 파악하는 간접적인 평가 인자로서 활용될 수 있는 비교적 간편한 방법이며, 건성과 습성 침적물을 동시에 포집할 수 있는 장점이 있다.(최재천 등, 1995)

대기 침적물에 관한 연구는 건성과 습성 침적물에 대해서 실시되고 있으며, 이 양자의 기여도는 시간과 공간, 그리고 기후 조건에 따라서 큰 차이를 보인다. 특히, 우리나라와 같이 삼면이 바다로 둘러 쌓여 있고, 전국토의 70% 이상이 산지로 형성되어 있는 지역은 기상 현상이 다양할 뿐만 아니라 계절에 따른 강우량의 변화가 심한 기상 여건을 지니고 있어 대기 침적물 성상을 파악함에 있어서 단순히 건성 또는 습성 침적량 중 하나만으로는 그 특성을 정확하게 파악할 수가 없다.(최재천 등, 1995) 강하먼지와 화학적 성분은 기상자료와 매우 밀접한 관계가 있으며, 강하먼지량과 각 성분 농도는 풍향, 풍속과 강수량 자료와 매우 밀접한 관계가 있다.(최재천 등, 1993)

대기 침적물은 자연적이거나 인위적인 오염물질이 포함되어 있어서 경제적인 피해는 물론이고, 문화재의 훼손과 건강장해 요인으로서 인체 및 생활에 직·간접적인 형태로 영향이 미친다. 이러한 이유로 인하여 미국 캐나다 등을 비롯한 많은 나라에서 다양한 연구가 진행되고 있다. 우리나라에서는 서울과 제주도 등에서 일부 진행되고 있으나 부산지역의 경우 강하먼지에 대한 연구자료가 하계 또는 일부 지역에 편중되어 있어서 도시화에서 비롯되는 주거, 상업, 공업, 농업 그리고 해안지역 등에서의 활용도가 매우 낮은 수준이다.

따라서 본 연구는 측정지점에 따른 강하분진의 화학적 조성파 기상조건에 따른 변동량을 연구하고자 한다. 부산지역을 공업지역·상업지역·해안지역·농업지역 그리고 주거지역으로 분류한 측정지점(감전동, 신평동, 개금동, 용호동, 기장읍, 부곡동)에서 대기

침적물의 특성을 파악하고, 자연적 또는 인위적인 오염원으로부터 대기 침적물에 대한 기초자료를 제공하고자 한다. 여기서는 먼저 강하분진의 침적량 및 불용성 성분의 화학적 특성을 평가하고자 한다.

2. 연구방법

1) 측정지점 및 기간

측정지점은 부산지역 내 6개를 선정하였으며, 1999년 3월부터 2000년 2월까지 월별로 1년간 실시하였다. 또한 사상공단에 위치한 감전동 지점과 신평·장림 공단에 위치한 신평동 지점을 공단지역, 도로변에 위치한 개금동을 상업지역, 바다에 인접한 용호동을 해안지역으로, 기장읍을 농업지역, 그리고 부곡동 지점을 주거지역으로 하여 5개 지역으로 구분하여 실시하였다.

2) 시료의 채취 및 분석방법

강하분진의 포집을 위하여 사방이 개방된 2층 건물 옥상에 높이 1.5m인 철재 구조물에 광구병형 dust jar를 설치하여 지상의 영향을 받지 않도록 하였으며, 건성과 습성 강하물이 동시에 포집될 수 있도록 직경 10cm인 3.6ℓ 들이 폴리에틸렌 병에 탈이온수 2.0ℓ를 넣어 포집에 이용하였다. 채취된 시료는 Whatman(No. 42) 여지를 105℃에서 2시간 건조(강병욱 등, 1992)하고 감도가 0.01 mg인 전자저울(Saritorius microbalance, Germany)로 무게를 칭량한후 여과하였다. 분리된 여액은 100 ml 폴리에틸렌 병에 담아 4℃의 냉암소에 보관한 후 수용성 성분을 분석하였다. 또한 여지는 필터전 조건과 동일하게 하여 여과 전후의 중량차로 강하분진의 농도를 측정하였으며, 불용성 성분을 정량하기 위하여 표준 시험법(Standard Method, 1992)에 의거하여 습식 탄화법으로 전처리(비이커에 여지를 넣고, 질산 50v/v% 10ml 가한 후 watch glass를 덮고, hot plate에서 일정량으로 탄화시킨 후 여과하여 0.5% 질산으로 25ml의 용량을 맞춘다)하였다.

강하분진 중의 불용성 성분을 정량하기 위하여 ICP/AES(ICP-IRIS, Thermo Jarrell Ash Co., USA)를 이용하여 Al, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Si 그리고 Zn을 분석하였으며, AAS(Perkin Elmer 4100ZL, Flameless method)를 이용하여 Cd, Cr, Mn, Ni 그리고 Pb를 분석하였다.

3) 계산방법

강하분진 및 각 불용성 성분의 농도 계산은 일반적인 아래식과 같이 수행하였다.

$$\text{강하분진량(ton/km}^2\text{/30일)} = 1.273 \times \frac{W}{D^2} \times \frac{30}{N} \times 10^4$$

여기서, W : 강하분진량의 분석치(g)

D : Dust Jar의 직경(cm)

N : Dust Jar의 방치일(day)

$$\text{불용성 강하물}(\text{ton}/\text{km}^2/30\text{일}) = 1.273 \times \frac{C \times V}{D^2} \times \frac{30}{N}$$

여기서, C : 강하물질의 불용성 성분 농도($\mu\text{g}/\text{ml}$)

D : Dust Jar의 직경(cm)

V : 시료량(ml)

N : Dust Jar의 방치일(day)

3. 결과 및 고찰

3-1. 계절별 분포 특성

부산지역 강하분진량과 불용성 성분을 조사한 결과 Table 1과 같다. 강하분진량의 평균 농도는 1.556 ton/km²/month로 나타났으며, 계절별 강하분진량은 봄 2.701 ton/km²/month, 겨울 1.867 ton/km²/month, 가을 1.137 ton/km²/month 그리고 여름 0.663 ton/km²/month의 순으로 나타났다. 강하분진 중의 금속 농도 분포는 Fe > Al > Si > Ca > Mg > K > Zn > Pb > Cu > Mn > Cr > Ni > Cd 순으로 나타났으며, Pb를 제외한 금속 성분의 계절별 분포는 겨울에 가장 높았으며, 여름이 낮게 나타났다. Pb의 경우 봄 > 겨울 > 가을 > 여름 순으로 강하분진량의 분포와 같은 경향을 보였다.

3-2. 지역별 분포특성

지역별 분포에서는 공단지역의 경우 Dustfall, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb 그리고 Zn이 타 지역에 비하여 우세하게 조사되었으며, 해안지역의 경우 Al, Ca, Cd, K, Mg 그리고 Ni이 높은 농도를 보였고, 농업지역에서는 Si가 우세하게 조사되었다.

3-3. 통계적 해석

강하분진 중 불용성 성분들 사이의 상호 관계를 이용하여 유사한 변수들끼리 분류시키고자 13개 측정변수를 사용하여 요인분석을 실시하였다. 자료의 통계분석은 SPSS for windows version 7.52를 이용하였다. 요인 분석의 적합성 여부를 검토하기 위한 바틀렛 검정(Bartlett test)의 sphericity 값은 993.923으로 0.00001 유의수준에서 공통요인이 존재하였으며, 전체 항목에 대한 표본 적합도를 나타내는 통계값인 Kaiser-Meyer-Olkin(KMO) 값은 0.814로 나타나 요인분석에 적합한 자료임이 통계적으로 확인하였다. 최초 요인행렬을 추출하는 모형으로는 정보의 손실을 최소화하면서 보다 적은 수의 요인을 구하고자 할 때 널리 사용되는 주성분 분석법(Principle component analysis, PCA)을 선택하고, 고유치(eigenvalue), 공통도(communality) 그리고 누적기여율을 고려하였으며, 요인을 결정된 후 해석을 용이하게 하기 위하여 Kaiser(1958)에 의해 제안된 직각회전방법인 varimax 방식을 이용하여 인자부하량(factor loading)을 구하였다. 부산지역 강하분진의 성상에 영향을 미치는 인자를 추출한 결과 1 factor는 Oil burning(Pb, Cu), Tire(Zn), 토양기원(Fe, K, Al) 그리고 해양기원(Mg)으로 나타났다.

각 지역별 주성분을 조사한 결과 Zn의 경우 상업지역, 주거지역, 공단지역 그리고 해안지역 순으로 인자 부하량이 조사되었으나, 농업지역에서는 조사되지 않았다.

4. 결론

본 연구는 부산지역 강하분진의 오염도를 조사하기 위하여 광구병형 Dust jar를 사용하여 부산지역의 각 지역별 특성에 따라 6개 지점을 선정하였다. 1999년 3월부터 2000년 2월까지의 강하분진량과 강하분진 중의 중금속(Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Ni, Pb, Si, Zn)의 농도를 정량하였으며, 계절별 농도변화와 지역별 농도분포를 파악하고, 각 분석항목들 간의 상관성을 분석하여 강하분진의 분포 특성을 조사한 결과 다음과 같다.

1. 부산 지역 강하분진량의 평균값은 1.556 ton/km²/month로 나타났다.
2. 계절별 강하분진량은 봄 2.701 ton/km²/month, 겨울 1.867 ton/km²/month, 가을 1.137 ton/km²/month 그리고 여름 0.663 ton/km²/month의 순으로 나타났다.
3. 강하분진 중의 금속 농도 분포는 Fe > Al > Si > Ca > Mg > K > Zn > Pb > Cu > Mn > Cr > Ni > Cd 순으로 나타났다.
4. Pb를 제외한 금속 성분의 계절별 분포는 겨울에 가장 높았으며, 여름이 낮게 나타났다.
5. Pb의 경우 봄 > 겨울 > 가을 > 여름 순으로 강하분진량의 분포와 같은 경향을 보였다.

5. 참고문헌

- 강병욱, 강공언, 김민영, 1992, 서울시 강하분진 중 수용성 성분의 강하량, 한국대기보전학회지, 8(4), 240~246.
- 김성천, 1999, 서해 도시지역 군산의 강하분진 및 금속원소 침착량 연구, 한국대기환경학회지, 15(3), 291~303.
- 김현섭, 이태정, 김동술, 1999, 수원지역 강하분진의 화학조성 및 공간 분포 분석, 한국대기환경학회지, 15(1), 23~32.
- 최재천 등, 1993, 배경대기 강수의 화학성분 특성, 기상연구논문집, 10(1), 111-118.
- 최재천, 김 산, 이민영, 이선기, 1995, 제주도와 울릉도의 강하분진 중 수용성 성분에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 11(4), 331~337.
- K. W. Nicholson and J. R. Branson, 1993, Lead concentrations in U.K. urban air, Atmospheric Environment, 27B(2), 265~268.
- Standard Methods, for the examination of water and wastewater, 1992, 18th Ed., Preliminary treatment of samples, 3030 E. Nitric acid digestion, 3~5, American Public Health Association, Washington, DC.
- Vallack, H. W. and D. E. Shillito, 1998, Suggested guidelines for deposited ambient dust, Atmospheric Environment, 32(16), 2737~2744.

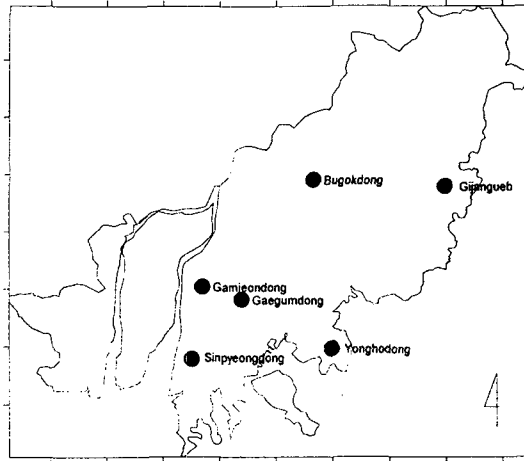


Fig. 1. Map of Pusan area. The dustfall monitoring sites are marked as Gamjeondong, Gaegumdong, Sinpyeongdong, Yonghodong, Gijangueb and Bugokdong.

Table 1. Seasonal variations of water insoluble and dustfall in Pusan area

Elements	Spring	Summer	Fall	Winter	Total
Dustfall	2.701	0.663	1.137	1.867	1.556
Al	24.618	16.206	21.598	33.071	23.402
Ca	5.245	4.088	6.637	16.262	7.701
Cd	1.180	4.250	4.150	5.770	3.950
Cr	0.169	0.083	0.230	0.297	0.191
Cu	0.360	0.300	0.292	0.608	0.379
Fe	51.553	33.368	39.432	61.673	45.620
K	5.370	1.535	4.133	5.422	4.036
Mg	7.943	5.027	6.076	9.578	7.015
Mn	0.276	0.132	0.221	0.945	0.367
Ni	0.100	0.091	0.176	0.366	0.176
Pb	1.562	0.249	0.568	1.003	0.823
Si	6.990	20.564	13.013	21.400	15.312
Zn	1.170	0.985	1.250	1.612	1.239

Dustfall ; ton/km²/month

Cd ; g/km²/month

Other metals ; kg/km²/month