

PS8(SM) 군산지역에서의 강하분진 및 금속원소의 침착속도 측정

Measurement of dustfall and metallic elements deposition rates in Kunsan

김성천

군산대학교 해양환경공학과 대기오염연구실

1. 서론

환경중에 침착된 물질의 영향으로 인해, 과거 10여년에 걸쳐 대기 침착에 대한 관심이 증가하고 있다. 대기중 습,건식 침착은 대기 중 독성과정에 영향을 주고, 종종 대기로부터 지표면으로의 물질수송에 관여한다(Allen et. al., 1991). 건식침착에 관한 연구의 대부분이 미세입자(<직경 $2.5\mu\text{m}$)의 침착에 대한 것이었고, 거대입자(>직경 $2.5\mu\text{m}$)에 대한 건식침착 연구는 적다. 최근 연구에서 보면 거대입자가 대기중 건식침착의 대부분을 차지하고 있음을 보여주고 있다(Lin et. al., 1993). 분진은 크게 2가지로 구분할 수 있다. 즉, 공기 중에 부유하고 입경이 작은 부유분진과 입경이 크고 자연상태로 지상에 낙하하는 강하분진이 있다. 보통 분진의 크기는 $0.001\text{-}500\mu\text{m}$ 정도이며, 보통 $100\mu\text{m}$ 미만의 경우 TSP라하며, $10\mu\text{m}$ 이하 일 경우를 PM-10이라 한다. 그리고 강하분진은 부유분진이 모두 포함되지만 일반적으로 $100\mu\text{m}$ 이상을 의미한다. 그리고 대기중 입자상 물질의 소멸과 지표면으로의 침착은 두가지 기본 경로로 이루어 진다. 첫째, 강수없이 진행되며, 중력, 침강, 확산과정에 의해 직접 지면으로 이동하는 건식침착이 있고, 둘째, 대기중 오염물질이 강우, 안개, 응축 등에 의해 표면으로 이동되는 습식침착이 있다. 일반적으로 습식침착은 구름내에서 응결핵으로 작용하여 오염물질이 흡수 및 흡착되어 제거되는 rain-out 과정과 비 또는 눈 등의 강하시 충돌, 간섭, 흡수 및 흡착과정에 의해 제거되는 wash-out 과정으로 나눌수 있다. 이러한 오염물질의 제거기전은 대기중의 분진농도를 저감시키는 주요 메커니즘이나 역으로 대기중 오염물질의 소멸로 인하여 토양, 수계, 및 동식물 생태계에 피해를 줄수 있는 2차 오염과정이기도 한다. 특히 대기중으로 방출되는 황산화물, 질소산화물 등은 강수에 의한 습식침착으로 제거되기도 하며, 입자상물질로 전환되어 건식침착으로 제거되기도 한다. 이러한 침착 현상은 산성우, 시정, 장거리 수송연구 등에서 기본이 되는 연구분야이며, 대기오염물질이 토양, 수계, 동식물 생태계와 재산상에 미치는 영향을 연구시 가장 중요시 되어야할 기초 연구 중 하나이다. 본 연구는 군산지역을 대상으로 영국식 침착포집기를 이용한 강하분진을 포집하고 침착량을 계산하며, 저유량 공기 포집장치(Mini Vol. portable sampler, Airmetrics Co.)를 이용하여 TSP의 농도를 측정한 후, AAS를 이용한 화학분석을 통해 중금속을 정량화하고, 두 관계를 이용하여 침착속도를 추정하여 서해안 지역의 대기오염 자료를 축적하려 한다.

2. 연구 방법

본 연구는 대기 중 강하분진을 포집하기 위해 깔테기 직경이 32cm (면적 804.2cm^2)이고 6 리터 PE bottle을 장착한 영국식 deposit gauge를 제작하여 사용했다. 시료 포집장소는 군산대학교 해양과학대학 옥상으로, 1997년 9월부터 측정작업을 수행해오고 있으며, 총 14개월 동안의 자료(총침착 시료 11개, 건식침착 시료 11개, 부유분진 시료 12개)를 분석하였다. 총강하분진(bulk) 포집은 1개월에 1개로 하였으며, 건식침착물은 1주일 단위로 비나 눈이 내리지 않은 시료를 측정 분석하였고, 동시에 부유분진의 포집은 강하분진 포집장치 부근에서 24시간 동안 가동하였다. 본 연구는 여러 기기를 이용하여 강하분진 및 부유분진의 농도 및 중금속의 농도를 측정, 분석하고 최종적으로 습식, 건식 침착량(deposition flux)을 계산한 후, 건식 침착속도(dry deposition velocity)를 방정식 $V = \text{Flux}/\text{concentration}$ 을 이용해서 실험적으로 결정하였다. 이 방정식으로 얻어진 침착속도는 모델화된 침착속도에 대해 매우 잘 일치하는 것으로 판명되었다. 그런데 대기 중 분진의 건식침착은 매우 복잡한 과정이며, 지표면의 거침도, 지형, 기상학적 조건과 입자특성 등과 밀접한 관계를 가지고 있다. 분진의 침착은 시공간적으로 매우 변화가 크다고 볼 수 있다. 최근까지 오염물질의 건식침착량을 정량화할 때 운동학 이론을 활용하고 있지만, 공정측정법은 존재하지 않고 있다. 이는 분진의 건식침착 과정이 지

표면의 거침도, 지형, 기상학적 조건과 입자의 특성 등에 영향을 받기 때문이며 이로 인해 분진의 침착 속도가 시공간적으로 크게 변화하기 때문이다. 그럼에도 불구하고 침착판(deposition plate)(Noll et. al., 1989), Cascade Impactor(Nicholas, 1988; Vawda et. al., 1992), 침착용기(deposit gauge)(Galbraith et. al., 1991; Lin et. al., 1994) 등이 사용되고 있다.

3. 결 과

조사기간 동안의 평균 건식침착량은 강하분진의 불용성분이 13,637.7 kg/km²/yr, 수용성분이 141,907.3 kg/km²/yr로 전체의 91%가 수용성분으로 나타났다. 계절별로는 1997-1998년 겨울철이 가장 많은 침착량(805,096.1 kg/km²/yr)을 보였으며, 총량 중에 수용성분이 차지하는 비율면에서도 겨울철이 수용성분이 차지하는 비율이 높게 나타나 인위적인 오염원에서 배출되는 미세입자의 분포가 높음을 알 수 있었고, 봄철과 여름철은 비율이 0.36, 0.17로 상대적으로 자연적인 오염원에서 배출되는 거대입자가 많이 차지하는 것으로 나타났다. 그리고 금속원소들의 건식침착량은 Zn 40.88kg/km²/yr, Cd 4.71kg/km²/yr, Cr 97.09kg/km²/yr, Fe 1412.02kg/km²/yr 그리고 Pb 45.96kg/km²/yr으로 조사되었으며, 비율은 거대입자 영역에 속하는 Fe(0.09)을 제외하고는 미세입자 영역의 금속원소들은 Zn 0.69, Cd 0.54, Cr 0.89, Pb 0.49로 조사되었다. 그리고 총침착량을 살펴보면, 불용성분이 13,071.9 kg/km²/yr, 수용성분이 27,008.9 kg/km²/yr로 전체의 67%가 수용성분으로 나타났다. 계절별로는 1997년 가을철이 가장 많은 침착량(63,469 kg/km²/yr)을 보였으며, 비율면에서는 1998년 여름철이 수용성분이 차지하는 비율이 높게(0.9) 나타났다. 그리고 금속원소들의 총침착량은 Zn 53.18 kg/km²/yr, Cd 11.87 kg/km²/yr, Cr 117.59 kg/km²/yr, Fe 707.82 kg/km²/yr 그리고 Pb 24.81 kg/km²/yr으로 Fe과 Pb를 제외하고는 건식침착량 보다 높게 조사되었다. 그리고 비율은 거대입자 영역에 속하는 Fe(0.76)을 제외하고는 미세입자 영역의 금속원소들은 Zn 0.92, Cd 0.98, Cr 0.99, Pb 0.83로 건식침착시 보다는 수용성분이 차지하는 비율이 높게 조사되었다. 표 1에서 계절별로 총침착량에 대한 건식침착량의 비를 나타내었는데, 강하분진 5.33, Zn 1.80, Cd 1.32, Cr 1.67, Fe 4.63 그리고 Pb 1.85로 대기중에서 지표면으로 침착되는 양이 건식침착시 더욱 많이 침착된다고 볼 수 있다. 특히 강하분진의 경우 1997-1998 겨울에 25.05배나 많은 양이 건식침착으로 지표면으로 침착되었고, Zn, Cd, Fe, Pb은 하강 기류인 고기압이 많은 가을철에 높게 침착되었다. 그리고 건식침착 속도를 계산하기 위해 침착물질을 채집하는 동안 24시간 동안 mini vol. air sampler를 가동한 결과, TSP의 농도는 1998년 황사가 심한 봄철에 89µg/m³를 제외하고는 평균 71µg/m³로 조사기간 내내 비슷하였고, AAS를 이용해 금속원소의 농도를 측정된 결과는 Zn 30.27ng/m³, Cd 0.60ng/m³, Cr 0.13ng/m³, Fe 1071.38ng/m³ 그리고 Pb 4.30ng/m³로 조사되었다. 위에서 구한 건식침착량과 부유분진 농도를 이용해 모델식에 적용하여 건식침착속도를 추정하였다(표 2). 침착속도 범위가 강하분진 0.71*10⁻²-38.01*10⁻²cm/s, Zn 0.70*10⁻²-5.02*10⁻²cm/s, Cd 0.07-3.54cm/s, Cr 1.65-13.61cm/s, Fe 0.73*10⁻²-14.04*10⁻²cm/s 그리고 Pb 0.06-2.26cm/s로 Cr의 침착속도가 다른 원소보다 매우 높았으며, 강하분진과 Zn은 겨울철, Cd, Pb은 가을철, 그리고 Cr, Fe은 봄에 침착속도가 높게 조사되었다.

Table 1. Ratio of dry deposition flux and bulk deposition flux of dustfall and metallic elements by seasons.

season	97fall	97,98win	98spr	98sum	98fall	98win	avg
dustfall	0.77	25.05	0.32	0.30	4.90	0.63	5.33
Zn	3.20	0.83	0.34	0.16	5.02	1.27	1.80
Cd	0.35	0.77	0.19	0.24	5.04	1.34	1.32
Cr	0.08	4.99	1.29	0.27	0.05	3.37	1.67
Fe	17.39	2.11	2.07	0.59	1.45	4.14	4.63
Pb	0.00	0.26	0.68	0.68	2.16	2.59	1.85

Table 2. Dry deposition velocity of dustfall and metallic elements by seasons. (cm/sec)

season	97fall	97,98win	98spr	98sum	98fall	98win	avg
dustfall	0.02311	0.38006	0.00713	0.00800	0.01256	0.00777	0.07310
Zn	0.03208	0.04253	0.05015	0.00699	0.03208	0.07818	0.04033
Cd	3.53564	1.70757	0.07072	0.19356	3.53564	3.13293	2.02934
Cr	1.64628	13.60723	54.49101	12.52898	1.64628	4.91223	14.80533
Fe	0.00733	0.01856	0.14045	0.01212	0.00733	0.01081	0.03277
Pb	2.25774	1.33023	0.73688	0.05675	2.25774	1.82014	1.40991

참 고 문 헌

- Allen A.G., R.M. Harrison and K.W. Nicholson(1991) Dry deposition of fine aerosol to a short grass surface, Atmospheric Environment, Vol. 22, pp. 2653-2666.
- Lin J-M., G-C. Fang, T.M. Holsen and K.E. Noll(1993) A comparison of dry deposition modeled from size distribution data and measured with a smooth surface for total particle mass. Lead and Calcium in Chicago, Atmospheric Environment (In Press)
- Noll, K.E., K.Y.P. Fang, and A.W. Laura (1989) Characterizat on of the deposition of Particles from the atmosphere to a flat plate. Atmospheric Environment, Vol. 22, No. 7, pp. 1461~1468.
- Nicholas, K.W. (1988) The dry deposition of small particles: a review of experimental measurement, Atmospheric Environment., Vol. 22, pp. 2653~2666.
- Vawda, Y., I. Colbeck, R.M. Harrison, and K.W. Nicholson (1992) Assessment of the performance of a tunnel sampler and cascade impactor system for ambient air sampling. Aerosol Sci.,Vol. 23, No. 3, pp. 233~243.
- Lin, J.J., and K.E. Noll, and T.M. Holsen (1994) Dry deposition velocities as a function of particle size in ambient atmosphere. Aerosol Science, Vol. 20, pp. 239~252.
- Galbraith, J.H., and F.J. Hingston (1991) Application of a directional dust gauge to measurement of impaction of atmospheric salt. Atmospheric Environment, Vol. 25A, No. 10, pp.2211~2221.