

서울지역에서 황사 에어로졸의 통과량 추정 및 강하량 분포

신은상 · 여현구* · 선우영*

동남보건대학 환경위생과 · 건국대학교 환경공학과*

The Estimation of Passage and Dustfall Amounts of Yellow Sand Aerosol in Seoul Area

Eun Sang Shin · Hyun Gu Yeo* · Young Sun Woo*

Dept. of Environmental Sanitation, DongNam Health College

*Dept. of Environmental Engineering, Konkuk University**

Abstract

During the period from Jan. to Dec. 1998 and Yellow Sand phenomena, dustfall samples were collected by simple deposit jar and petridish, and calculation of passage amounts of Yellow Sand by the utilization of environmental air monitoring 4 stations from 1995 to 1998 in Seoul. Passage amounts of Yellow Sand were estimated 3,024 ton in 1995, 367 ton in 1996, 105 ton in 1997 and 3,444 ton in 1998 respectively. The highest passage amount of Yellow Sand was marked 3,444 ton in 1998 that is related to frequency of appearance. Average deposition of dustfall was 6.570 ton/km²/month during the sampling periods, while average deposition of dustfall in Yellow Sand phenomena was 53.68 ton/km²/month which was 8 times higher than average deposition.

I. 서 론

황사 에어로졸의 통과량 추정 및 강하량 분포 특성을 파악하기 위하여 서울시 환경대기 측정소에서 채취한 β 선 흡수법에 의한 대기 미세먼지 (Particles less than 10 μ m, 이하 PM₁₀)를 통한 통과량 추정과 강하분진통 및 페트리접시에 의한 강하량의 관계를 조사하였다. 환경분야에서 대기오염 물질을 상시 감시하는 목적으로 설치된 환경대기 측정소는 전국적으로 47개시 110여 개소¹⁾가 있다.

환경대기 측정소는 대기 중의 중금속 측정망과 미량 유해물질 측정망 그리고 미세먼지 측정망으로 구성되어 하이볼륨에어샘플러법, 로우볼륨에어샘플러법 및 β 선 흡수법에 의한 대기 입자상물질의 연속감시를 정기적으로 행하고 있다. 이 중 β 선 흡수법은 포집면의 직경이 약 1cm인 유리섬유여지 위에 흡인여과방식으로 대기 중 미세먼지를 1시간 정도 포집한 후 그 포집된 면에 일정 강도를 지닌 β 선을 조사(照射)시켜 그 투과강도가 포집된 대기 입자상물질의 증량에 비례하여 감소되는 원

리를 이용한 방법이다. 대기 입자상물질이 포집면에 끌고루 포집이 된다면 포집물질의 성상에 관계없이 예민하게 반응하므로 황사에 대해서도 비교적 정확한 농도를 얻을 수 있는 가능성이 있다.

따라서 본 연구는 현재 대기 중의 입자상 물질을 상시 감시하는 목적으로 설치된 서울의 일반 대기환경 측정소(4개 지점)에서 측정된 β 선 흡수법에 의한 미세먼지(PM_{10})의 관측결과로부터 우리나라로 통과하는 황사의 통과량을 추정하고 황사시와 비황사시로 나누어 1998년 1월부터 12월까지 12개월간 서울시 광진구 건국대학교 옥상에서 채취한 강하분진의 강하량 및 금속성분을 조사하여 이에 따른 연간 강하량을 추정함으로써 앞으로 더욱 진전된 황사연구의 해석에 대한 기본 정보의 제공을 목적으로 하였다.

II. 실험방법

PM_{10} 의 측정지점은 서울시 대기 모니터링 지점 중 PM_{10} 자료가 있는 4개 지점(구로, 반포, 방이 및 방학)을 선정하여 기상청에서 목적으로 관측된 황사발생일과 실제 측정된 농도가 잘 일치하는 날을 분석자료로 하였다. 또한 강하분진은 서울에 소재한 건국대학교 공과대학 옥상(지상 12m)에서 강하분진통을 이용하여 1달 간격으로 측정하였다. 황사기간의 포집은 기상청의 발표에 의한 황사발생일(1998년 4월 14일~21일)을 택하여 행하였다.

비황사시의 시료 채취는 더스트 자(dust jar)법인 강하분진통을 이용하여 실시하였다. 1개월간 채취한 강하분진은 20 mesh의 체를 통과하여 커다란 협잡물을 제거하고 미리 무게를 잰 여과지(Whatman No. 41)를 사용하여 수용성 성분과 불용성 성분으로 분리하여 가용성 성분은 열판 위에서 증발건고 시켰으며 불용성 성분은 여과지 상에 자연건조 시켰다. 이 여과지를 105 °C로 가열 건조 후, 데시케이터에서 24시간 방치하고 각각의 중량을 칭량하여 두 성분의 합을 강하분진량으로 하였다.

황사시의 시료 채취는 특수한 기상조건이므로 단시간에 강하분진을 채취하는 방법인 페트리 접시법을 사용하였으며, 페트리 접시(petridish, 내경 9cm)를 뚜껑과 함께 설치한 다음 24~48 시간 후

Table 1. Operating conditions of ICP.

Instruments	Conditions
ICP Spectrometer	Jobinyvon-70
RF Frequency	40.68 MHz
RF Power	1.2 Kw
Coolant Gas (Ar)	15 l/min.
Carrier Gas (Ar)	3 l/min.
Up-Flow rate of sample	0.3 ml/min

건성 강하물 만을 채취하였다. 접시와 뚜껑에 포집된 강하물을 깨끗한 부러쉬로 면이 매끈한 광택지 위해 떨어뜨려 모은 다음 화학천칭을 사용하여 무게를 분석하였다. 분석시료 중 가용성 금속성분은 HCl로 분해·농축하고, 불용성 성분과 황사 현상시에 채취한 시료의 금속원소에 대해서는 지온회화 후 HNO_3 - $HClO_4$ 용액으로 분해하여 유도결합형 플라즈마(Induced Coupled Plasma; ICP)을 이용하여 분석하였다. Table 1은 ICP의 운전조건을 나타낸 것이다.

III. 결과 및 고찰

1. 황사 에어로졸 통과량의 추정

Fig. 1은 1980년부터 1998년까지 19년간 관측된 황사 현상의 월별 출현수를 나타낸 것이다. 이 자료는 기상청에서 조사된 목적측 자료를 사용하였다. 최근 19년간 황사현상 출현횟수는 총 101회로 3, 4, 5월에 각각 11, 53, 33회로 전체 황사현상 출현회수의 97%를 차지하였으며 1월을 제외한 나머지 기간이 3%를 차지하였다. 일본의 荒生¹¹⁾ 등의 보고에 의하면 가을에도 황사현상이 조금 나타내었는데 그의 보고에서는 전체 80%가 봄철에 황사가 출현한 반면 우리나라에서는 97%로 대부분 봄철에 편중되어 황사가 발생하는 것으로 나타났다. 이 기간 중 황사가 가장 많이 출현한 해는 1993년과 1998년으로 14회씩 발생되었다. 이처럼 최근 들어 황사 발생횟수가 증가하고 있는 추세라 할 수 있다.

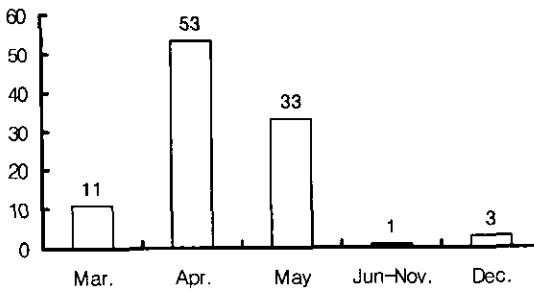


Fig. 1. Monthly Yellow Sand appearance time at Seoul (1980~1998).

서울지역에서 목측된 황사 발생일을 기준으로 하여 1995년부터 1998년까지 β 선 흡수법에 의한 PM_{10} 의 측정이 가능한 구로, 반포, 방이 및 방학 측정점에서 측정된 황사 발생일 중 가장 높은 PM_{10} 농도를 나타낸 날은 1998년 4월 19일부터 4월 20일로 조사되었다. 황사 에어로졸의 통과량에 대한 계산식을 유도하기 위해 이 기간을 중점적으로 다루기로 한다. 이 기간 중 4개의 측정지점에서 조사된 PM_{10} 자료를 시간별로 나타낸 것을 Fig. 2에 나타내었다. 측정된 PM_{10} 농도는 구로, 반포,

방이 및 방학이 각각 125, 162, 133 및 192 $\mu g/m^3$ (평균 153 $\mu g/m^3$)으로 나타난 반면, 같은 달 평상시(1998. 4.1~4.13, 4.23~4.30)에 구로, 반포, 방이 및 방학 측정점의 PM_{10} 농도는 각각 61, 50, 47 및 61 $\mu g/m^3$ (평균 55 $\mu g/m^3$)으로 나타나 황사가 잦은 4월이라 할지라도 황사 발생일이 평상시에 비해 3배정도 높은 농도를 보였다. 1995년부터 1998년까지 황사기간 중의 PM_{10} 1시간 평균은 100 $\mu g/m^3$ 을 초과하였으며, 이 중 1998년 4월 19일 14시경에 모든 측정지점에서 최대 농도를 나타내었다. 이처럼 PM_{10} 농도가 높게 나타난 날은 황사 에어로졸 농도의 증가를 보이는 황사 현상이 생겨났음을 의미한다.

이렇게 β 선 흡수법에 의한 에어로졸 농도의 관측은 황사현상의 모니터링에도 유효할 것으로 판단되었으나 목측으로 관측된 황사 발생일과 PM_{10} 농도의 급격한 증가가 항상 일치하는 것은 아니었다. 그러나 실제로 모니터링 측정지점의 자료가 황사 발생일을 확인할 수 있는 방법으로 사용된다면 그 자료는 매우 유익한 자료라고 생각된다. 그리고 본 연구에서 황사 에어로졸 발생일의 판단기준을

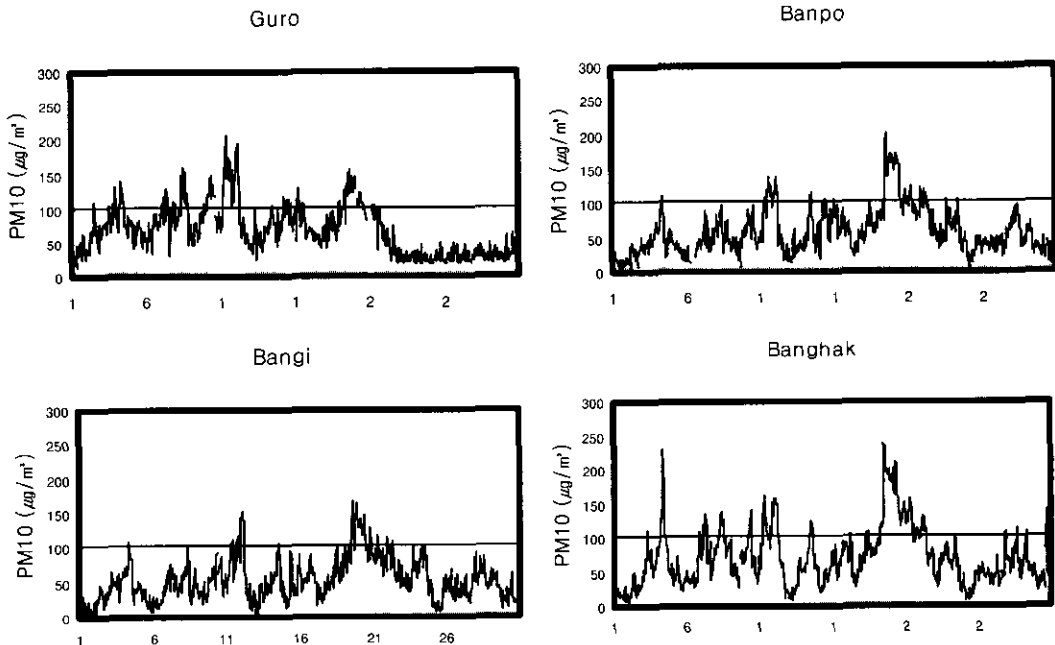


Fig. 2. Hourly PM_{10} concentration of each sites (Apr. 1998).

선정한 결과 다음과 같았다. 첫째, 매일 모니터링 농도의 변동폭을 비추어 볼 때 급격한 고농도를 관측한 날을 선정하고, 둘째, 50km 이상 떨어진 다른 측정지점에서도 동시에 또는 앞, 뒤 시간에 같은 형태의 급격한 농도가 관측되어야 하고, 마지막으로 전날 및 당일 일기도로부터 판단하여 중국 쪽에서 바람이 불어오기 쉬운 날을 황사 에어로졸 발생일로 선정하였다.

황사 에어로졸은 때에 따라 10 μ m 이상의 거대입자를 포함하는 것으로 알려져 있다. β 선 흡수법에 의한 대상 에어로졸은 입경 10 μ m이하의 부유입자상 물질에 한하므로 이 방법에 의한 측정치는 황사 에어로졸 농도를 정확히 나타내지 못할 가능성이 있다. 그래서 측정결과의 신뢰성을 높이기 위하여 1995년부터 1998년까지 황사 발생시 서울시 전 측정지점의 대기오염 자동측정망에서 조사된 TSP (Total suspended particulate)를 이용하여 대기 에어로졸 농도를 얻어 동일 포집시간에 있어서의 β 선 흡수법에 의한 대기 에어로졸 농도(PM₁₀)와 비교하여^{9, 14)} 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3에서 보는 것처럼 측정망에서 조사된 TSP와 PM₁₀의 질량농도 사이에는 대기 에어로졸의 성상 및 관측지점의 차이에도 불구하고 양호한 관계($y = 2.1x - 61, r = 0.90$)를 확인되었다. 따라서 각 황사시에 β 선 흡수법에 의해 측정된 PM₁₀과 TSP는 2.1배 정도로 나타나 황사 에어로졸의 농도를 추정하는데 있어 중요한 보정값이 되었다.

Table 2는 황사 측정 기간 중 PM₁₀ 농도 최고치를 나타낸 4개 지점의 평균 에어로졸의 농도(100 μ g/m³)

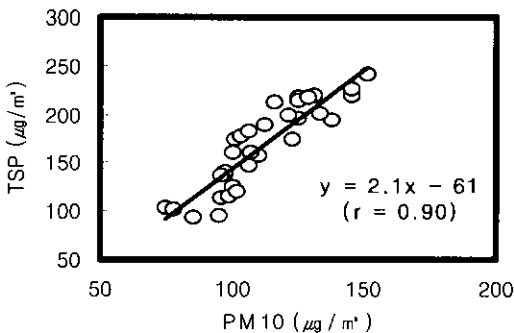


Fig. 3. Comparison of PM₁₀ and TSP of Yellow sand phenomena in Seoul.

이상)와 출현시간을 나타낸 것이다. Fig. 4는 황사 측정기간 중 목측으로 관측된 황사일과 비교하여 서울지역의 측정망 중 PM₁₀ 자료가 있는 4개 지점(구로, 반포, 방이, 방학)을 선정하여 각 지점별로 PM₁₀ 농도가 매우 높은 날(1998년 4월 19일~ 4월 20일)의 시간대별 질량농도를 나타낸 것이다. 구로, 반포, 방이 및 방학의 모니터링 결과를 살펴보면 1998년 4월 19일 13시부터 4월 20일 12시까지 거의 하루동안의 PM₁₀농도가 100 μ g/m³ 이상의 높은 농도를 나타내었다. 특히 모든 측정지점에서 이 기간 중 최고의 농도를 보인 시간은 4월 19일 14시(구로의 경우 17시)로 구로 157, 반포 203, 방이 167 및 239 μ g/m³를 나타내어 서울지역에서 황사의 최대 농도가 관측되었다.

이렇게 하여 4개의 측정지점에서 조사된 PM₁₀ 질량농도로부터 황사현상의 출현기간 뿐만 아니라 지상부근에서의 황사 에어로졸 농도를 추정할 수 있었다. 이러한 결과를 바탕으로 각 지점의 황사 에어로졸 통과량을 계산식을 이용하여 산출해 낼 수 있는데 그 식은 다음과 같다. 여기서 언급한 통과량이란 지면에 대하여 수직으로 황사 에어로졸의 이동방향에 대한 직각인 면(폭 1km×고도 2km)을 황사현상 중에 통과한 황사 에어로졸량으로 정의한다⁹⁾.

$$T_w = 2.1(K_c - B) \times 10^{-3} \times (H_t \times L) \times (P \times V_s)$$

- T_w : 통과량 (ton)
- K_c : 황사 에어로졸의 평균농도 (kg/km³)
- B : 대기 에어로졸의 배경농도 (kg/km³)
- H_t : 황사 에어로졸의 공기피 두께 (Iwasaka¹⁶⁾ 등의 값 사용, 2km)
- L : 황사 에어로졸의 이동방향에 대한 폭(1km)
- P : 황사 에어로졸의 출현시간 (hr)
- V_s : 공기피의 평균이동 속도 (km/hr)

이 식에서 숫자 2.1은 앞에서 언급한 TSP와 PM₁₀의 질량농도 사이에 관계된 직선의 기울기 값이다. 그러나 이 식을 적용하여 황사 에어로졸의 실제 공간농도 분포나 이동속도를 정확히 파악하는 것은 곤란하므로 현재로서는 다음 두가지 가정이 필요하다. 첫째, 황사 에어로졸을 운반하는 공기

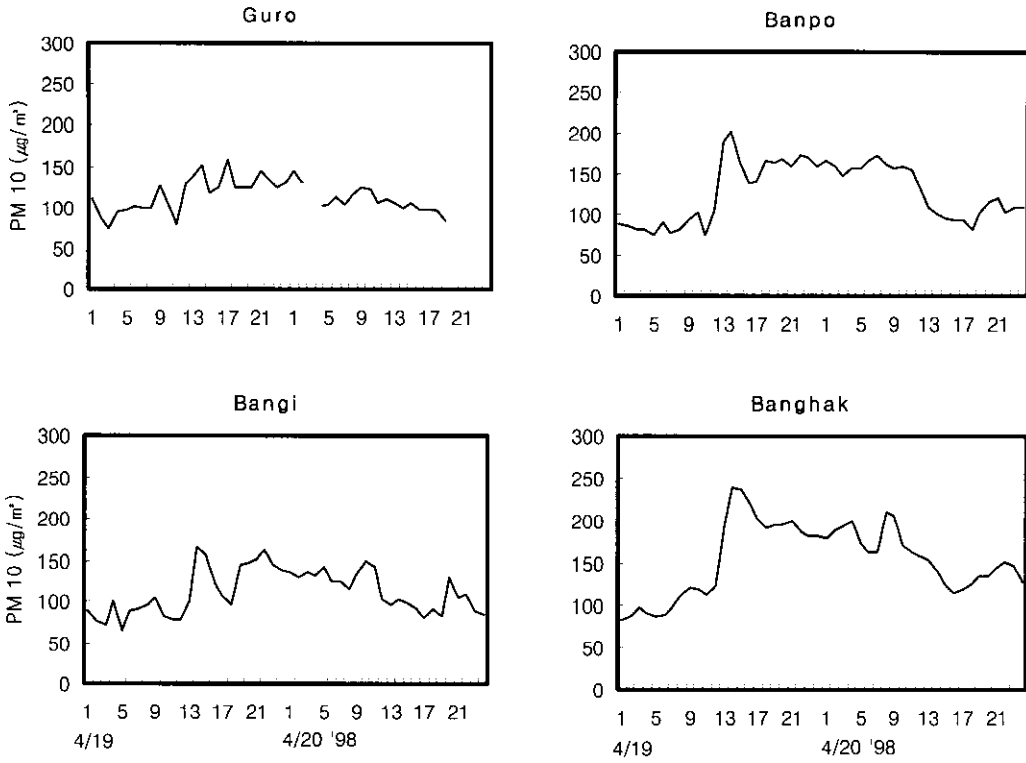


Fig. 4. PM₁₀ concentration of each site in Yellow Sand phenomena (1998/4/19~4/20).

피는 지상에서 2,000 m까지 상하방향으로 균일하게 분포되어 있으며 수평으로 이동한다는 것과 둘째, 황사현상이 관측된 지역의 공기피는 기압 850 mb와 700 mb에서 이동한다는 가정이다. 여기서 서울지역에서 황사현상 기간 중 이동하는 공기피의 평균풍속은 기상청의 상층기상 자료를 이용하여 구한 결과 평균 32 km/hr⁸⁾이었다. 위와 같은 계산식에 의해 계산된 각 지점별 황사 에어로졸 통과량(ton)은 각각 구로(198), 반포(347), 방이(266) 및 방학(405)으로 4개 측정지점의 평균 황사 통과량(ton)은 304로 나타났다(Fig. 5). 더욱이 이 결과로부터 황사 에어로졸을 운반하는 공기피의 한반도 상공에서의 확산폭을 알면 각 지역에서의 통과량으로부터 황사 에어로졸 수송량도 측정할 수 있을 것으로 생각되었다. 정용승 등⁶⁾은 1997~2000년 관측된 황사의 농도와 부하량 및 시정이라는 논문에서 1999년에 발생한 인공위성 영상에 의

한 황사구름의 크기(동서 400km×남북 300km)를 평가하여 황사의 부하량을 산정한 결과 황사현상 발생시 한반도에 대략 154,000~356,000 톤의 황사 에어로졸이 떠 있었고 이 경우 한반도의 침적량은 약 46,000~86,000 톤으로 계산하였다.

Fig. 6은 1995년부터 1998년까지 기상청에서 조사된 황사 발생일을 기준으로 각 지점의 PM₁₀ 농도와 황사 출현시간 및 700mb~850mb에서의 평균 풍속을 기준으로 하여 서울 상공의 황사 에어로졸의 통과량(ton)을 나타낸 것이다. 연도별로 조사된 황사 에어로졸의 통과량(ton)은 측정지점별로 2.4~4.9배의 차이를 나타내었으며 전반적으로 1998년에 최대 통과량을 보인 반면 1997년에 최소 통과량을 나타내었다. 이러한 결과는 연도별로 관측된 황사발생시간과 측정지점에서의 에어로졸 농도와 밀접한 관계가 있는 것으로 사료된다.

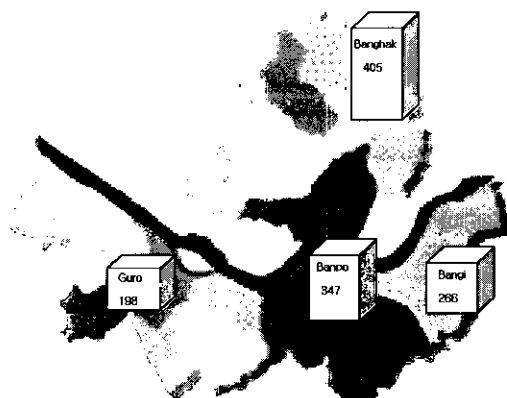


Fig. 5. Passage amounts of Yellow Sand in each site(19 Apr. ~20 Apr. 1998, unit : ton).

1997년의 황사발생시간 및 PM₁₀ 농도는 각각 7 시간과 121 μ g/m³이었으며, 1998년에는 각각 201 시간, 91 μ g/m³으로 나타나 황사발생시간에 의해 통과량이 좌우됨을 확인하였다. 측정지점 전체를 대상으로 측정기간 중 서울을 통과한 평균 황사 에어로졸량은 1,735 ton 이었고, 측정 지점별 황사 에어로졸의 통과량(1995~1998)은 구로(719 ton) < 방이(1,535 ton) < 반포(2,168 ton) < 방학(2,518 ton)으로 방학지점이 최대 황사 에어로졸 통과량을 보인 반면 구로 지점이 최소값을 나타내었다. 이는 황사 발생시 풍향 및 풍속에 기인하는 기상조건에 영향을 준 것으로 사료되었다.

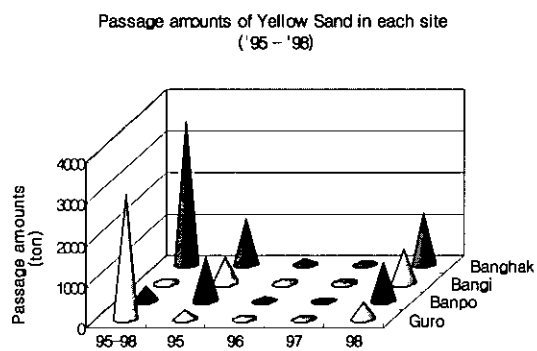


Fig. 6. Passage amounts of Yellow Sand yearly (ton, 1995 ~ 1998, Seoul).

2. 황사 에어로졸의 강하량 분포

우리 나라의 황사현상은 중국의 황하 상류지역과 동북부 지방에 위치한 사막에서 황토(loess)가 건조한 4, 5월에 40~50m/s의 제트기류를 타고 장거리 이동되어 온다고 보고되어지고 있다. 따라서 시각적으로 관측되는 황사현상은 주로 3, 4, 5월에 집중되어 있는데 황사현상시 지표면에 떨어지는 연간 황사 에어로졸의 강하량은 그 강도에 따라 수십~수백 ton/km²에 달하고 있다.^{1, 4, 5)} 서울에서 조사된 황사시, 비황사시의 월별 강하분진량은 강수량이 많은 8월에 1.934kg/km²/month로 최저치를, 황사현상이 다수 목측된 4월에 11.95kg/km²/month로 최고치를 나타내어 최저치의 약 6배에 달하였다. 황사시와 비황사시의 평균 강하 분진량 (ton/km²/month)은 각각 53.68 및 6.570으로 황사시가 비황사시에 비해 약 8배 정도 높게 나타났다. Fig. 7.에 측정기간 중 황사시와 월별 총강하분진량 분포를 나타내었다. 여기서 측정기간 중 황사시 강하량을 기준으로 서울 지역에만 내린 황사 에어로졸의 양은 연간 32,520ton 정도이며, 전국적인 면적으로 계산하면 연간 5.3×10⁶ton에 달하는 엄청난 양임을 알 수 있다. 그러나 황사구름은 대부분 일정한 폭을 갖은 띠를 형성하면서 이동하기 때문에 단순 면적을 곱하여 산출한 이 값은 과다 표현되었다고 말할 수 있다.

계절별 강하량 분포는 봄> 겨울> 가을> 여름의 순으로 나타나 중국에서 발생한 황사의 직접적인 영향과 난방시 필요한 에너지원의 사용으로 인하여 대기오염물질 발생량이 많은 겨울철 기후의 영향이 충분히 반영된 결과라고 사료된다.¹⁵⁾

Table 3은 서울지역에서 황사시 금속원소의 강하량(kg/km²/month)과 비황사시 금속원소의 연평균 강하량(kg/km²/month)을 가용성, 불용성 및 총강하량(가용성+불용성) 별로 나타낸 것이다. 비황사시 금속원소의 강하량은 Al이 가장 많은 325.7kg/km²/month(이하 단위 생략) 이었고, Fe 279.1, Ca 262.8, Na 183.0, K 147.6, Mg 86.20으로 강하분진 중 주된 금속원소를 이루고 있었으며 Ti 26.2, Zn 17.2, Mn 3.77, Cu 2.85 순으로 나타났다. 황사시에도 주된 금속원소의 조성은 비황사시와 일치하였으나 Ca의 강하량이 Fe보다 약간 높

은 값을 나타나는 특징을 보였다.

황사시와 비황사시의 금속성분의 비(Yellow Sand/Non-Yellow Sand: 이하 Y/NY 비)는 Al(9.75), Ca(11.4), Cd(3.65), Cu(7.52), Fe(9.21), K(7.50), Mg(8.52), Mn(8.01), Na(8.69), Pb(7.84), Sr(8.20), Ti(7.66), V(7.72) 및 Zn(8.17)로 평균 Y/NY 비의 범위가 9.39(3.65~11.4)로 Ca과 Al이 11.4, 9.75로 높은 비를 나타낸 반면 Cu는 3.65로 최소비를 보였다(Fig. 8).

이는 岩坂¹⁰⁾ 등이 황사현상의 원인물질인 황토(loess)의 주성분을 조사한 결과 SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, FeO, MgO, K₂O, Na₂O 및 CaCO₃이라고 보고하였는 바, 그 중에서도 가장 많이 분포되어 있는 원소는 Si, Ca 및 Al의 순으로 조사된 결과와 일치하였다. 이 결과를 바탕으로 황사의 원인 물질인 황토(loess)가 방해석(CaCO₃)을 비교적 많이 함유하고 있는 것으로 보아 황사가 출현할 때 Ca농도의 증가가 황사현상의 중요한 지표가 된다고 사료된다. 따라서 본 연구에서 조사된 황사시의 Ca 강하량이 가장 높게 나타난 것은 중국의 영향이 크게 나타난 것으로 생각된다.

황사시 강하량에 대한 측정자료의 부족으로 인해 다소의 위험성을 내포하고는 있지만 이러한 결과로부터 일본의 도시지역인 나라(奈良)시와 청정지역인 오다이하라산에서 측정한 값과 비교한 결과¹²⁾, 일본에 비해 주된 금속원소 대부분이 서울지역에서 2~5배 정도로 강하량이 많았다. 특히 산으로 둘러싸인 청정지역에서는 자연 발생하는 금속원소가 주로 존재하는 반면 도시지역에서는 자연 발생원 뿐만 아니라 인위적인 활동에 의하여 발생하는 Zn, V, Pb와 같은 금속원소가 특히 증가한 결과와도 일치하였다^{5, 9)}. 황사현상시의 시료채취는 건조한 기상조건에서만 채취하였기 때문에 여기서는 비황사시 채취한 강하물질에 대해서만 검토하였다. 금속원소가 토양, 호소 및 식물 등의 생태계에 미치는 영향을 고려해 볼 때 가용성 성분을 파악하는 것이 필요하다¹⁻³⁾. 비황사시 금속원소의 성분비에서 강하물질 중 금속원소의 존재형태를 가용성(용존상태)과 불용성(입자상태)로 분류하면 Al, Fe, Ti 등은 주로 입자상태인 반면 Ca, Na, Cu, Zn, V, Sr 등은 주로 용존상태로 존재하였다. 금속

원소의 존재상태가 다른 것은 발생원(자연 및 인위적)과 강우량, 각 금속원소의 용해도 및 화합물의 형태 등에 영향을 받는다고 생각된다. 더욱이 알칼리 금속원소인 Na, K 및 알칼리 토금속류인 Ca, Mg는 거의 모두 가용성 물질이라고 생각되었으나 그 비율이 Na 86%, K 51%, Ca 82%, Mg 51%로 K, Mg는 불용성 성분과 거의 비슷한 수준을 나타내어 불용성 성분의 존재를 무시할 수 없었다. 이러한 알칼리 금속과 알칼리 토금속원소의 불용성 성분은 토양 중에 다량으로 존재하는 규산염 형태로 사료되어 이들 토양이 건조한 날씨에 비산되어 강하물질에 포함된 것으로 추정된다^{12, 13)}.

Table 3. Average amount(kg/km²/month) of deposits and ratio(%) soluble and insoluble elements(Jan.~Dec., 1998)

Elements	non-Yellow Sand			Yellow Sand		
	Soluble	Insoluble	Total	Ratio (%)		Total
Al	35.5	290	326	11	89	3180
Ca	215	47.3	263	82	18	2984
Cd	0.11	0.02	0.13	88	12	0.474
Cu	2.85	1.75	4.60	62	38	34.58
Fe	41.6	256	297	14	86	2735
K	74.8	72.8	148	51	49	1110
Mg	56.9	29.3	86.2	66	34	734.3
Mn	3.77	2.55	6.32	60	40	50.64
Na	157	25.6	183	86	14	1590
Pb	1.05	1.82	2.87	37	63	22.50
Sr	0.97	0.51	1.48	65	35	12.13
Ti	0.09	26.1	26.2	1.0	99	200.7
V	0.56	0.33	0.89	63	37	6.875
Zn	12.9	4.30	17.2	75	25	140.5

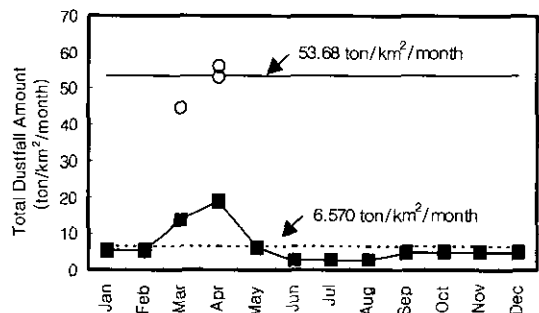
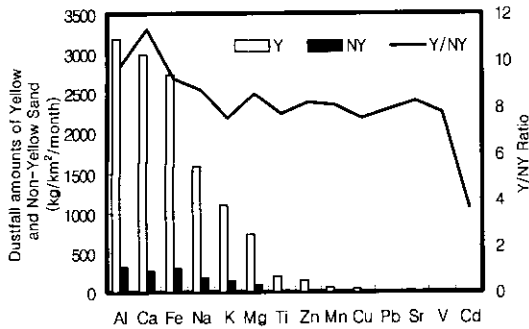


Fig. 7. Monthly(■) and Yellow Sand phenomenon's(○) variations of total dustfall amounts



- Y : Yellow Sand, NY : Non-Yellow Sand
- Y/NY : Yellow/Non-Yellow Sand ratio

Fig. 8. Average amount(kg/km²/month) of deposits and ratio of Y/NY

IV. 결 론

본 연구는 서울지역의 대기환경 측정소 4개 지점에서 측정된 β선 흡수법에 의한 미세먼지(PM₁₀)의 관측 결과로부터 1995년~1998년까지 4개년 동안 서울 상층에 통과한 황사에어로졸의 통과량 추정 및 1998년 1월~12월까지 12개월간 서울시 광진구 건국대학교에서 채취한 분진 금속성분의 강하량을 조사한 결과는 다음과 같다.

첫째, 기상청 목측으로 관측된 황사발생일 중 대기환경 측정소에서 가장 높은 농도를 보인 날은 1998년 4월 19~4월 20일로 4개 지점(구로, 반포, 방이 및 방학)의 PM₁₀ 평균농도는 153 μg/m³이었으며, 비황사시의 평균농도는 55 μg/m³로, 황사시/비황사시의 비가 2.8정도로 높게 나타났다. 이 기간 중 서울 상층에 통과한 황사에어로졸의 평균 통과량은 304 ton으로 나타났다.

둘째, 1995년~1998년까지 서울상공을 통과한 황사에어로졸의 통과량은 측정지점 별로 차이가 나타났다으며 연도별 최대 및 최소 통과량은 각각 3,444 ton(1998년) 및 105 ton(1997)으로 나타났는데 이는 황사발생시간 및 측정지점의 배경농도와 관련성이 큰 것으로 생각된다.

셋째, 측정기간 (1998년 1월~12월)중 황사시와 비황사시의 강하량(ton/km²/month)은 각각 53.68 및 6.570으로 황사시가 비황사시에 비해 약 8배정도 높게 나타났다.

넷째, 측정기간 (1998년 1월~12월)중 황사시/비황사시의 금속원소 강하량의 비는 평균 9.39이었으며, 특히 Ca과 Al의 비는 각각 11.4 및 9.75로 황사시에 Ca과 Al의 유입이 크게 나타나 강한 중국 유래의 대기 에어로졸의 유입을 시사하였다. 또한 그 외의 금속원소에 대한 평가는 앞으로 지속적인 연구를 통하여 충분한 자료의 축적 후에 언급되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2000학년도 동남보건대학 학술연구비 지원에 의하여 연구되었으며, 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참 고 문 헌

1. 손동헌, 양성철: 서울시의 산성물질 강하량에 관한 연구, 한국대기보전학회, 1(1), 33-41, 1985.
2. 서울시립대학교 산업경영 연구소: 서천화력 발전소의 비산분진의 영향조사, 한국전력, 40-43, 1989.
3. 신은상, 김희강: 서울시에서 대기부유먼지에 대한 황사의 영향, 한국대기보전학회지, 8(1), 52-57, 1992.
4. 이종훈: 서울지역에서 강하분진 거동 및 특성에 관한 연구, 건국대학교 환경공학과 석사학위 논문, 1994.
5. 정용승, 윤마병: 황사의 사례분석과 한반도 유입량, 한국대기보전학회지, 10(4), 233-244, 1994.
6. 정용승, 김학성, 박기현, 전종갑, 채수젠: 1997~2000년에 관측된 황사의 농도와 부하량 및 시정: 위성과 기상분석, 36(5), 583~600, 2000
7. 환경부: 환경연감, 1995~1998.
8. 기상청: 고층기상자료, 1995~1998.
9. 西川雅高, 溝口次夫, 笹野泰弘, 金森悟, 金森暢子: 黄砂エアロゾルの降下量分布 - 一般環境大氣測定局の利用 -, 天氣 38, 36~46, 1991.
10. 岩坂泰信, 箕浦宏明, 長屋勝博, 小野 晃: 黄砂粒子の輸送とその空間的ひろがり - 1979年4月に

- みられた黄砂現象のレーザレーダ観測-, 天気, 29, 35~39, 1981.
11. 荒生公雄, 牧野保美, 永木嘉寛: 黄砂に関する若干の統計的研究, 長崎大學校育學部自然科学研究報告, 30, 65-74, 1979.
 12. Mitsuhiro MATSUMOTO, Naotaka UEDA and Tatsumitsu ITANO: Amount of Deposit of Soluble Components of Dustfall-Evaluation by Principal Component Analysis-, J, Japan Soc. Air Pollut., 20(3), 218-227, 1985.
 13. Kwon S. A., Y. IWASAKA, T. SHIBATA and T. SAKAI: Vertical Distribution of Atmospheric Particles and Water Vapor Densities in the Free Troposphere : Lidar Measurement in Spring and Summer in Nagoya, Japan, Atmospheric Environment, 31(10), 1459-1465, 1997.
 14. Shigeru TANAKA, Masanori TAJIMA and Yoshikazu HASHIMOTO: Variation of Chemical Composition of the Atmospheric Aerosol in Japan by Kosa Phenomenon, *The Chemical Society of Japan*, (5), 713~719, 1986.
 15. Xiaoye Zhang, Richard Arimoto, Zhisheng An, Tuo Chen, Guangyu Zhang, Guanghua Zhu and Xinfu Wang: Atmospheric Trace Elements over Source Regions for Chinese Dust: Concentrations, Sources and Atmospheric Deposition on the Loess Plateau, *Atmospheric Environment*, Vol.27A, No.13, pp.2051~2067, 1993.
 16. Iwasaka, Y., H. Minoura and K. Nagaya: The Transport and Spacial Scale of Asian Duststorm Clouds; Important of Week KOSA Events on the Geochemical Cycle of Soil Particles, *Tellus*, 40B, 494~503, 1983.