

서울시에서의 대기부유먼지에 대한 황사의 영향

Influence of Yellow Sand on TSP in Seoul

신 은 상 · 김 희 강¹⁾

동남보건전문대학 위생과

¹⁾ 건국대학교 환경공학과

(원고접수 : 1992. 1. 31)

Eun-Sang Shin, Hui-Kang Kim¹⁾

Dept. of Sanitary Science, Dong-Nam Health Junior College

¹⁾ Dept. of Environmental Eng., Kon-Kuk University

(Received : 31 January 1992)

Abstract

The influence of soil particles on TSP transported from China continent to Seoul by the Yellow sand phenomenon was investigated from the analytical results of TSP during three years, April 1988 through May 1991. The TSP was collected by a high volume air sampler about five times a month, and then analyzed by A.A.S. and UV-Visible spectrophotometry.

During the Yellow sand phenomenon, the mean concentration of TSP at Seoul was about 578 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and three times higher than that in the ordinary time which was about 194 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. The mean contribution of soil particles calculated by Al content to TSP was 28% in the ordinary time, but the degree of contribution jumped to about 60% during the Yellow sand phenomena. The concentration of soil particles transported from China continent to Seoul was estimated to be 175.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ on an average (104 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -231 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

1. 서 론

우리나라에 3월-5월의 봄마다 찾아드는 황사현상의 발원지는 중국의 황하 상류지역의 황토(Loess) 지역과 동북부 지방에 있는 건조한 오르도스(Ordos), 고비(Gobi), 알라산(Alashan)과 타크라마칸(Taklamakan)사막 등인 것으로 파악되고 있다(Lee, M.H. et al., 1986; Liu, T., 1988; Kim, H. K. et al., 1990; Chung, Y.S. et al., 1990). 황사는 이러한 주변지역의 광대한 황토가 봄이 되면 급속히 가열되므로 대류가 일어나기 쉬운 상태가 되었을 때 남부 몽고지방에서의 강한 고기압권에서 한냉전선이 생성되어 강풍을 동반하면 다량의 토사가 고

도 3-6km의 대기중으로 비산되어 생성된다(Liu, T., 1988; Iwasaka, I. et al., 1988). 따라서 황사현상은 엄밀한 의미에서 황토가 봄철에 40-50m/s의 제트기류를 타고 우리나라에 장거리 이동되어 온 것이라고 말할 수 있다(Duce, R.A. et al., 1980; Darzi, D.M. et al., 1982; Tanaka, S. et al., 1983; Chung, Y.S., 1986; Braaten, D.A. et al., 1986).

자연적인 토양발생원으로서의 황사는 그 입경분포가 주로 1-2 μm 이상의 초대입자군에 속하며 그 자체로서는 대기오염물질이 되기는 어렵지만 이 현상에 의하여 지구대기의 열수지 및 기후변화에 커다란 영향을 미칠 뿐만이 아니라 자연계의 대규모적인 토사 이동현상의 하나로서 대기에어로졸의 중요

한 성분이 된다. (Isono, K. et al., 1971; Shaw, G. E., 1980; Carlson, T.N. et al., 1980; Lee, Y.J. et al., 1985).

더욱이 최근 중국의 공업발전에 따른 황해연안의 개발과 에너지 수요의 증가에 의하여 더 많은 대기오염물질의 발생이 예상되며, 이 물질이 우리나라에 미칠 영향이 우려되는 이 시점에서 토양입자의 장거리 이동에 의하여 생성된 황사현상에 관한 연구는 우리나라의 대기여러로줄에 미치는 영향의 해명뿐만 아니라, 중국기원의 대기오염물질의 장거리이동에 대한 지표로서 그 해석이 매우 중요한 것으로 생각된다.

본 연구는 중국대륙으로부터 이동되는 황사가 서울시의 대기부유먼지에 미치는 영향에 대하여 조사하였다.

2. 실험 방법

2. 1. 시료채취 지점 및 기간

시료는 서울시 성동구 모진동에 소재한 건국대학교 공과대학 옥상 (지상 약 17m)에서 총부유먼지의 농도와 부유먼지중의 성분농도를 추정하기 위하여 하이볼륨에어샘플러(KIMOTO사제, MODEL-120)에 실리카섬유여지(TOYO QR-100, 200 × 250mm)를 장착하여 대기부유먼지를 포집하였고, 먼지의 입경분포를 추정하기 위하여 앤더슨에어샘플러(KANOMAX사제, MODEL-3351)에 폴리에틸렌수지(0단-7단)와 실리카섬유여지(BACK UP단)를 장착하여 대기부유먼지를 포집하였다.

시료채취기간은 1988년 4월부터 1991년 5월까지 37개월간으로 하이볼륨에어샘플러는 월 1회-6회(포집시간 1회 24시간)로 하였으며, 앤더슨에어샘플러는 1989년 4월부터 1991년 5월까지 월 1회(포집시간 1회 5-9일간)로 하였다.

2. 2. 분석 방법

시료채취에 사용할 여지는 시료를 포집하기 전에 24시간 동안 방치하여 항량으로 한 후 무게를 칭량하였으며 시료를 포집한 후에도 시료포집전과 같이 여지를 처리하였다. 무게의 칭량은 Micro Balance (Sartorius, 2434)를 사용하였으며 하이볼륨에어샘플러에 의한 여지는 포집전후의 무게 차이에 의하여 먼지농도를 구하였고 원자흡광광도계(GBC 사제, MODEL-901)로 6개의 금속원소(Na, K, Ca, Mg, Fe 와 Al)를 분석하였다. 또한 대기부유먼지중의 수용성 성분인 SO_4^{2-} , NO_3^- 및 NH_4^+ 는 흡광광도계(SHIMADZU사제, UV-240)로 분석하였다.

분석방법은 표 1과 같다. 앤더슨에어샘플러로 측정 한 시료는 먼지의 입경분포를 파악하기 위하여 입도별 총부유먼지의 농도를 측정하였다.

Table 1. Analytical methods.

Components	Methods
NO_3^-	2,4-Xylenol Method
SO_4^{2-}	BaCl ₂ Method
NH_4^+	Indophenol Blue Method
Na^+, K^+	After Water Extraction, Determinating by A.A.S
Ca^{++}, Mg^{2+}, Fe	After Acid Extraction, Determinating by A.A.S
Al	After Alkali Fusion and Acid Extraction, Determinating by A.A.S

3. 결과 및 고찰

3. 1. 먼지농도 및 각 성분농도

1988년 4월부터 1991년 5월까지 서울에서 채취한 대기중 먼지의 월별농도를 그림 1에 나타내었다.

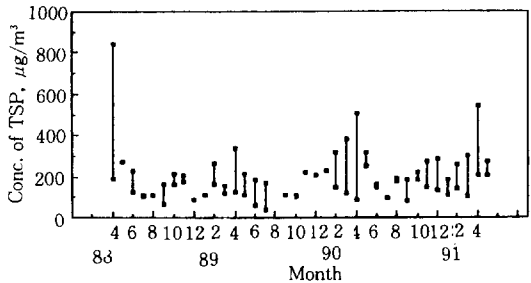


Fig. 1. Variations of TSP conc. in Seoul.

황사현상은 전 시료채취기간 동안에 7일간 목측되었고 (기상연보, 1988-1991)황사현상중 부유먼지의 평균농도는 578 $\mu g/m^3$ 이었다. 이 먼지의 농도는 황사현상이 목측되지 않은 평상시의 평균농도 194 $\mu g/m^3$ 보다 약 3배 증가한 값이다. 1988년 4월에 발생한 황사현상 동안의 부유먼지의 평균농도는 715.5 $\mu g/m^3$ (593 $\mu g/m^3$ -838 $\mu g/m^3$), 1990년 4월에는 517.5 $\mu g/m^3$ (340 $\mu g/m^3$ -753 $\mu g/m^3$) 그리고 1991년 4월에는 543.0 $\mu g/m^3$ 이었다.

그림 2는 부유먼지와 Al의 평균농도에 대한 월별 변화를 나타낸 것으로 황사기간 동안에 부유먼지량이 증가함에 따라서 Al의 농도도 증가하였고 부유먼지와 Al농도의 상관계수 r은 0.93으로서 그 변화

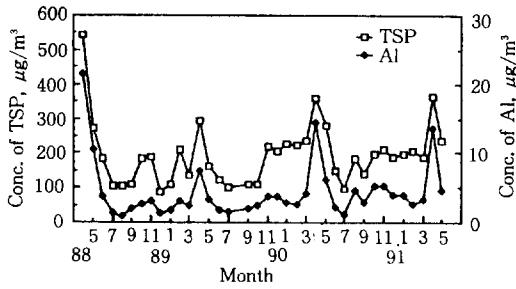


Fig. 2. Variations of TSP and Al conc. in Seoul.

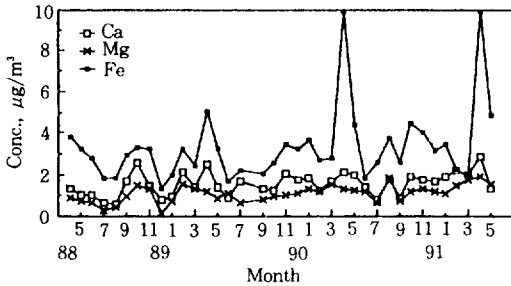


Fig. 3. Variations of Fe, Ca and Mg conc. in Seoul.

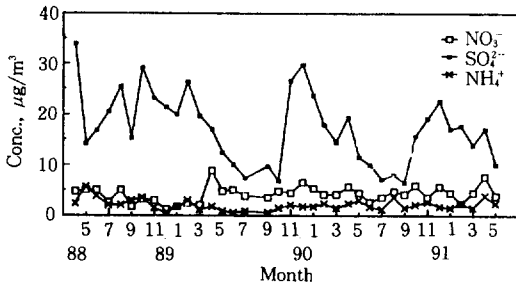


Fig. 4. Variations of NO_3^- , SO_4^{2-} and NH_4^+ conc. in Seoul.

경향이 매우 비슷함을 나타냈다.

그림 3과 그림 4는 각각 금속성분인 Fe, Mg, Ca와 대기부유먼지중의 수용성성분인 SO_4^{2-} , NO_3^- 및 NH_4^+ 의 월별 평균농도의 변화를 나타낸 것이다. 이 결과에서 보면 Fe를 제외한 모든 성분원소는 황사현상에 따른 어떠한 변화도 보이지 않았다. 그러나 Fe도 부유먼지와 의 상관계수는 0.66으로 Al보다는 낮은 상관성을 나타냈다.

황사시와 비황사시에 각 성분원소의 평균농도를 비교하여 그림 5에 나타내었다. 이 그림에서 황사시에 Fe와 Al의 농도가 비황사시에 비해 각각 4배와 6배 높은 것으로 나타났으며, 이 값들은 황사에 의하여 기인된 것으로 추정된다. 반면에 황

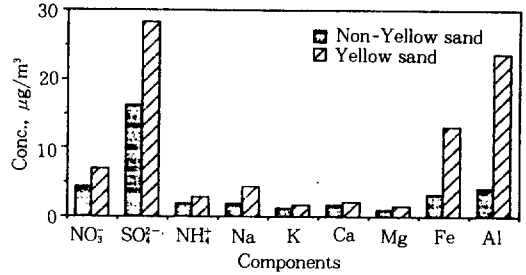


Fig. 5. Conc. of each component in TSP(Seoul).

사기간중에 Ca의 농도는 비황사시보다 1.3배 높았으며 그 값은 Mg, NO_3^- , SO_4^{2-} 그리고 NH_4^+ 의 값과 유사함을 보였다. 이것은 이 원소들이 황사의 주요 구성원소가 아니라는 것을 나타내고 있는 것으로 사료된다.

3. 2. 먼지의 입경분포

측정기간중의 먼지의 평균농도는 황사시에 $332.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 비황사시에 $118.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 황사기간이 비황사기간보다 $1.1 \mu\text{m}$ 이상의 조대입자가 총먼지농도에서 차지하는 비율이 증가하고, 상대적으로 $1.1 \mu\text{m}$ 이하의 미세입자에서는 비황사기간이 황사기간보다 높은 비율을 나타내었다. 즉, 황사기간중의 $1.1 \mu\text{m}$ 이상의 조대입자 비율은 총 부유먼지 농도의 79.2%를 차지하여 측정기간중 조대입자의 평균농도보다 약 24.4%나 높았다.

그림 6은 측정기간중 황사시와 비황사시에 측정된 먼지의 평균 입경분포를 빔도분포곡선으로 나타낸 것이다. 이 그림은 角脇(1974)과 Willeke등(1975)이 앤더슨에어샘플러의 각 단에서 포집된 먼지를 빔도분

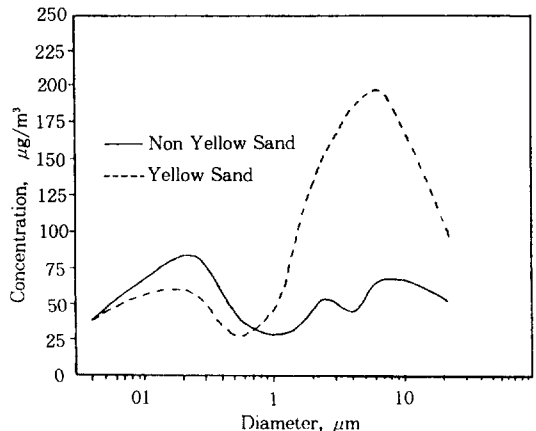


Fig. 6. Size Distribution Curve of Aerosol.

포로 표현한 방법에 따라 곡선으로 나타낸 것으로 황사기간중에 측정된 입경 1.1 μm 이상의 조대입자층의 peak가 미세입자층보다 크게 나타나 황사현상등에 의한 토양입자의 기여가 컸음을 단적으로 보여주고 있다.

3. 3. 지각 농축 계수

그림 7은 대기부유먼지중 각 원소의 농도를 기준으로 각 원소의 지각농축계수를 계산하여 plot한 것이다. 기준물질은 Al로 하고, 각 원소의 지각 구성비는 Taylor가 제시한 값을 사용하여 다음 식으로서 구하였다 (Chronological Scientific and Engineering, 1982).

$$E.F. = \frac{[x/Al]_{\text{atmos}}}{[x/Al]_{\text{crust}}}$$

여기서 $[x/Al]$ 은 대기부유먼지중 또는 토양중의 원소 x와 Al의 농도비를 나타낸다. Al은 토양입자 유래의 전형적인 원소이기 때문에 E.F. 값이 높을수록 인위적 발생원 유래의 원소라고 할 수 있다. 대기먼지시료에서 측정된 Na, K, Ca, Mg 및 Fe의 E.F.값은 Al과 거의 비슷한 1에 가까워 이러한 원소들은 토양입자에 많이 함유된 자연 발생원에 의한 것으로 추정된다.

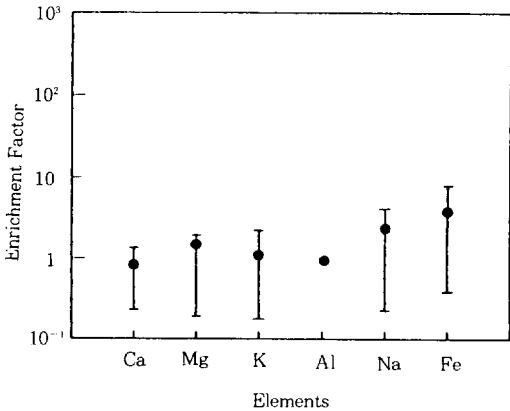


Fig. 7. Enrichment Factor of Each Element Relative to Crustal Composition of Taylor and Normalized by Al in Seoul (1988. 4-199 1. 5).

3. 4. 부유먼지에 대한 토양입자의 기여율

대기부유먼지중에서 다른 성분원소보다 높은 농도를 차지하는 Fe, Ca와 같이 Al은 토양입자의 지표원소로 알려져 있다. 특히 본 연구에서는 E.F.에

Table 2. Correlation coefficients between TSP and each components.

Period	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al
Non-Yellow Sand	0.61	0.28	0.37	0.68	0.61	0.55	0.55	0.72	0.75
Yellow Sand	0.01	0.86	0.19	0.33	0.02	0.01	0.10	0.15	0.99

의하여 Al이 토양유래의 원소이며 표 2에서와 같이 황사기간중의 총먼지농도와 Al과의 상관성이 다른 토양유래의 원소인 Fe 및 Ca보다 월등히 높은 99%를 나타내었기 때문에 토양입자의 지표원소로서 Al을 선택하여 토양발생원인 황사로부터 유래된 토양입자의 농도를 추정하였다. 따라서 대기부유먼지에 대한 토양입자의 기여율은 Al의 농도를 이용하여 구하고 이를 나타낸 것이 그림 8이다. 기여율의 계산은 토양중 Al의 농도를 7%로 하여 다음 식 (1)에 의하여 구하였다 (Tanaka, S. et al., 1983).

$$\text{기여율}(\%) = \frac{C_{\text{soil}}}{C_{\text{TSP}}} \times 100 = \frac{C_{\text{Al}}/0.07}{C_{\text{TSP}}} \times 100 \quad (1)$$

여기에서 C_{soil}은 먼지중 토양입자의 농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), C_{TSP}는 부유먼지의 농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), C_{Al}은 부유먼지중 Al의 농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), 0.07은 토양중 Al의 농도(%)이다.

그림 8에서 보는 바와 같이 대기부유먼지에 대한 토양입자의 기여율은 비황사시에 평균 약 28% (10.95-55.10%)이었다. 비가 많이 내리는 6월, 7월과 눈이 내리는 1월, 2월에 기여율 값은 평균치보다 훨씬 낮았다. 그러나 황사현상이 일어난 기간중에는 평균 약 60% (57.60-63.88%)로 상승하였으며 비황사시보다 2배 이상의 높은 기여율을 나타냄을 알 수 있었다.

대기부유먼지중 황사현상에 의하여 서울지역으로 이동된 토양입자의 농도는 황사현상시 토양입자의

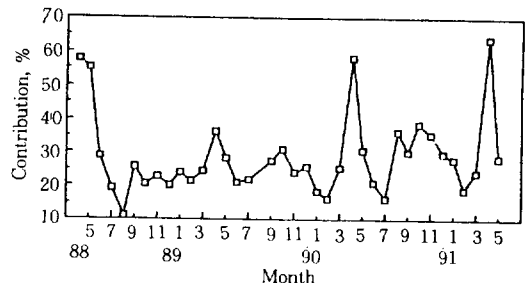


Fig. 8. Variations of contribution of soil particles for TSP (Seoul).

Table 3. Estimated conc. of soil particles in TSP by the Yellow sand phenomena.

Yellow sand (date)	TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Contribution (%)	Estimated Conc. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
88, 4.21-4.22	838	55.8	231
4.22-4.23	593	59.4	185
90, 4.7-4.8	753	58.0	224
4.8-4.9	464	58.0	138
4.9-4.10	504	58.0	150
4.10-4.11	349	58.0	104
91, 4.30-5.1	543	63.9	194
Average	577.7	58.7	175.1

평균농도에서 비황사시의 토양입자의 평균농도를 빼어줌으로써 구할 수 있다. 토양입자의 농도는 추정된 기여율에 의하여 산정된다.

표 3에서 알 수 있듯이 중국대륙으로부터 이동된 토양입자의 농도는 황사시에 평균 $175.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($104\text{-}231 \mu\text{g}/\text{m}^3$)로 추산되었다. 이 농도는 측정기간중 비황사시의 평균 먼지농도인 $194 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 거의 비슷한 값으로 황사에 의한 토양입자의 영향이 매우 큼을 알 수 있다.

4. 결 론

황사현상에 의하여 중국대륙으로부터 장거리 이동되어 온 황사가 서울시의 대기중 부유먼지에 미치는 영향을 알아보기 위하여 1988년 4월부터 1991년 5월까지 측정된 대기부유먼지의 농도로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 황사현상시 부유먼지의 평균농도는 $578 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 비황사시의 평균농도 $194 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 3배 정도 높은 농도를 나타내었다.

2) 토양으로부터 유래된 Al과 Fe의 평균농도는 황사시가 비황사시보다 각각 약 4배와 6배 높은 것으로 나타났다. 그러나 SO_4^{2-} , NO_3^- 및 NH_4^+ 의 평균농도는 비교적 낮은 1.3배-1.7배의 증가율을 나타내었다.

3) 부유먼지에 대한 토양입자의 평균 기여율은 비황사시에 28%이었으나 황사현상이 발생한 시기에는 약 60%로 증가하였다.

4) 중국대륙으로부터 서울지역으로 이동된 토양입자의 농도는 평균 $175.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($104 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{-}231 \mu\text{g}/\text{m}^3$)로 추정되었다.

참 고 문 헌

- 중앙기상대, 기상연보 (1988년-1991년)
- 角脇 恰 (1974) アンダーセンサンプラーによる都市大氣中の粒子狀物質の粒度分布. 分析化學, 23, 490-495.
- Braaten, D. A. and T. A. Cahill (1986) Size and Composition Asian Dust Transported to Hawaii. Atmos. Environ., 20, 1195-1109.
- Carlson, T. N. and S. G. Benjamin (1980) Radiative Heating Rate for Sahara Dust. J. Atmos. Sci., 37, 193-213.
- Chronological Scientific and Engineering (1982) Report of the National Defence Academy. 20, 401.
- Chung, Y. S. (1990) On the Observation of Yellow Sand, Total Suspended Particulates and Acid Rain in Korea. The Report of Ministry of Science and Technology of ROK (), 209-211.
- Chung, Y. S. (1986) The Transport and Deposition of Air Pollutants over Ocean. Atmos. Environ., 20, 617-630.
- Darzi, M. D. and W. Winchester (1982) Aerosol Characteristics at Mauna Loa Observatory. J. Geophys. Res., 87, 1251-1258.
- Duce, R. A. et al. (1980) Long-Range Atmospheric Transport of Soil Dust from Asia to the Tropical North Pacific: Temporal Variability. Science, 209, 1522-1524.
- Isono, K. et al. (1971) Concentration and Nature of Ice Nuclei in the Rain of the North Pacific Ocean. Tellus, 23, 4-59.
- Iwasaka, Y. et al. (1988) Transport of Asian Dust (KOSA) Particles; Importance of weak KOSA Events on the Geochemical Cycle of Soil Particles. Tellus, 40B, 494-503.
- Kim, H. K. et al. (1990) Study on the Characteristics of Particulate Matter including Yellow Sand. The Report of Ministry of Science and Technology of ROK (), 111-151.
- Lee, M. H. et al. (1986) Yellow Sand Phenomena Influence to the Atmosphere in Korea. J. Korea Air Pollut. Res. Assoc., 2, 34-44.
- Lee, Y. J. and H. K. Kim (1985) A Study on the Coarse Particles Burden to Aerosol in Seoul Area. J. Korea Air Pollut. Res. Assoc., 1,

- 71-82.
- Liu, T. (1988) Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Loess in China. 2nd Ed., 3-18.
- Mizohota, A. and T. Mamuro (1978) Some Information about Loess Aerosol over Japan, J. Japan Soc. Air Pollut., 13, 289-297.
- Shaw, G. E. (1980) Transport of Asian Desert Aerosol to the Hawaiian Islands. J. Appl. Met., 19, 1254-1259.
- Tanaka, S. et al. (1983) Long-Range Transportation of Soil Dust from Asian Continent to Japan and Its Influence to the Atmosphere in Japan-by Result of NASA Data. J. Japan Soc. Air Pollut., 18, 262-270.
- Willeke, K. and K. T. Whitby (1975) Atmospheric Aerosol : Size Distribution Interpretation. JAPCA, 25, 529-536.