

4D2) 황사 에피소드 발생시 호흡기 침착부위에 따른 대기먼지의 농도 특성

Concentration Characteristics of Atmospheric Particles according to the Deposition Region of Human Respiratory System during Asian Dust Storm Episodes

강공연 · 김남승¹⁾ · 마창진²⁾ · 최금찬³⁾ · 김신도⁴⁾

원광보건대학 보건계열, ¹⁾원광대학교 예방의학교실, ²⁾일본 후쿠오카여자대학,

³⁾동아대학교 환경공학과, ⁴⁾서울시립대학교 환경공학과

1. 서 론

황사가 국민건강에 미치는 보건학적인 문제는 매우 중요한 관심의 대상이 되고 있다. 건강영향에 관한 국내 역학연구로는 초등학생을 대상으로 한 일별 건강자각증상, 천식환자들의 증상, 서울시의 일사망률 등이 있으나, 여전히 미흡한 실정이다. 더욱이 황사입자의 물리화학적 특성에 따른 건강과의 관련성에 대한 연구의 경우 주로 PM₁₀ 자료가 사용되고 있으나, 대기 중 먼지입자에 의한 건강장해는 호흡기계 부위별 침착률과 입자의 독성과 밀접한 관련이 있어 황사입자의 건강피해를 보다 정확하게 이해하기 위해서는 입자의 크기분포에 따른 농도와 그 화학조성이 매우 중요하게 된다. 최근에는 국내의 황사발생빈도가 중국의 산업화와 건조지대의 기온 증가 및 강수량 감소로 인한 사막화 현상, 산림감소 등의 영향으로 계속 증가하고 있다.

2007년 4월 1일에는 근래에 보기 드문 매우 강한 황사현상이 전국적으로 관측되어 국민보건과 관련하여 황사경보가 발령되었는데, 본 연구에서는 황사 에피소드를 중심으로 입자크기분포에 따른 대기먼지농도와 수용성 이온성분을 측정·분석하여 황사를 포함한 대기 중 먼지입자가 보건학적인 관점에서 호흡기에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 이를 위하여 황사입자가 인체에 미치는 잠재적인 영향을 해석할 수 있도록 인체 호흡기내 먼지입자의 주요부위별 침착 가능성을 고려하여 입자의 크기분포에 따른 주요 호흡기 침착 부위별 대기먼지농도를 산출하였다. 또한 이들 자료를 토대로 황사와 비행사시 인체의 건강장해에 대한 정량적인 평가를 시도하였으며, 미세먼지의 고농도 발생시 기류의 역궤적 분석을 실시하여 그 이동경로를 추정하였다.

2. 연구 방법

시료채취는 익산시에 위치하고 있는 원광보건대학 캠퍼스 내 학림관 건물의 3층(지상 약 9m)에서 이루어졌다. 대기 중 먼지입자의 개략적인 입경분포를 파악할 수 있도록 PM_{2.5}(2.5 μ m 이하의 미세입자), PM_{10-2.5}(2.5~10 μ m의 조대입자), PM_{over-10}(공기동력학적 직경이 10 μ m이상의 먼지입자)를 동시에 측정할 수 있는 MCI 샘플러(multi-nozzle cascade impactor, Tokyo Dylec, Inc., Japan)를 사용하여 2007년 3월 28일부터 4월 21일까지 밤과 낮으로 나누어 1일 2회 대기에어로졸을 측정하였다. 측정방법에 대한 세부적인 내용은 강 등의 선행연구인 “익산지역에서 황사발생시 PM_{2.5}, PM₁₀, TSP의 농도 특성(Concentration characteristics of atmospheric PM_{2.5}, PM₁₀, and TSP during the Asian dust storm in Iksan area)”에 기술되어 있다. 먼지입자의 크기분포에 따른 대기먼지농도와 수용성 이온성분의 경우 Cascade Impactor를 사용하여 측정하였는데, 이것은 표 1에서와 같이 포집가능한 입자의 크기에 따라 9개의 단으로 이루어져 있으며, 측정방법과 수용성 이온성분의 분석에 대해서는 강 등의 선행연구인 “호흡기 침착부위에 따른 미세먼지 중 수용성 이온성분의 일별 농도 측정(Daily concentration measurements of water-soluble inorganic ions in the atmospheric fine particulate for respiratory deposition region)”에 자세히 기술되어 있다. 인체의 호흡기는 비인두(nasopharyngeal region, NP), 기관 및 기관지(tracheobronchial region, TB), 폐포(alveolar/pulmonary region, AL) 부위로 나눌 수 있는데, Nag 등은 Cascade impactor의 각 단계 포

집된 먼지시료는 표 1에서와 입자의 크기분포에 따라 3개의 호흡기 부위에 침착하는 것으로 구분하였다(표 1). 따라서 본 연구에서는 1~2단에 포집된 4.7~11 μm 의 먼지입자는 비인두 부위(NP)에, 3~4단에 포집된 2.1~4.7 μm 의 먼지입자는 기관지 부위(TB)에 그리고 5단에서 Backup단에 포집된 2.1 μm 이하의 먼지입자는 폐포 부위(AL)에 침착하는 것으로 분류하였다. 또한 1단에서 Backup단까지 포집된 11 μm 이하의 입자에 대해서는 흡입성 먼지(inhalable particles, IN)로 명명하였다. 시료포집은 MCI 샘플러 운영 중에 부분적으로 이루어졌는데, 황사입자의 세부적인 특성을 이해할 수 있도록 황사현상 발생시점을 중심으로 측정하였다. 황사현상의 경우 기상조건에 따라 일시적으로 발생한 후 소멸되기 때문에 황사 에피소드 기간에 대기 에어로졸을 포집할 경우 황사입자 자체의 특성뿐만 아니라 비황사시의 경우와 비교 평가할 수 있어 황사입자의 인체건강 및 지역대기질에 미치는 영향을 보다 잘 이해할 수 있게 된다. 황사 에피소드에 따른 기류의 역학적 분석은 미국해양대기국(NOAA)에서 제공하는 HYSPLIT-4 모델을 이용하였다.

Table 1. Various stages of cascade impactor which simulates human respiratory.

Impactor stage	Size of particulate matter	Respiratory tract region	Remark
Stage 0	11~30 μm		
Stage 1	7~11 μm	Nasopharyngeal	NP
Stage 2	4.7~7.0 μm	Nasopharyngeal	NP
Stage 3	3.3~4.7 μm	Tracheobronchial	TB
Stage 4	2.1~3.3 μm	Tracheobronchial	TB
Stage 5	1.1~2.1 μm	Alveolar	AL
Stage 6	0.65~1.1 μm	Alveolar	AL
Stage 7	0.43~0.65 μm	Alveolar	AL
Backup stage	0.08~0.43 μm	Alveolar	AL

3. 결과 및 고찰

그림 1은 황사 에피소드를 중심으로 MCI 샘플러에 의해 측정된 대기 중 먼지입자의 입경분포를 강수량과 함께 나타낸 것이다. 여기에서 PM₁₀의 농도는 PM_{2.5}와 PM_{10-2.5}의 농도를 합한 것이 되며, 다시 이 농도에 PM_{over-10}를 더하면 대기 중에 존재하는 총부유먼지(TSP)의 농도가 되는데, 이것은 그림에서 전체 막대의 높이에 해당한다. 또한 그림의 가로축에서 사각형으로 표기된 것은 Cascade impactor에 의해 먼지입자의 크기분포에 따른 측정이 동시에 이루어졌음을 의미한다. 대기 중 먼지입자의 입경별 농도분포를 살펴보면 황사 에피소드를 제외할 경우 모든 시료에서 미세입자인 PM_{2.5}가 전반적으로 높은 농도 경향을 보이고 있으나, 황사 에피소드에는 미세입자의 농도 이외에 조대입자의 PM_{10-2.5}와 입경 10 μm 이상의 PM_{over-10}의 농도도 뚜렷한 증가경향을 나타내었다.

그림 2는 황사 에피소드와 비황사시의 전형적인 사례(PM_{2.5}가 저농도인 경우)에 대한 대기먼지농도의 입경분포를 나타낸 것이다. 여기에서 미세입자에 비해 조대입자 영역에서 상대적으로 높은 피크를 나타내었으나, 수용성 이온성분의 경우 1~2 μm 를 경계로 비교적 뚜렷한 이산형 분포를 나타내었다. SO₄²⁻, NH₄⁺, K⁺ 등은 미세입자 영역에서 상대적으로 높은 피크를 갖는 반면, NO₃⁻, Cl⁻, Ca²⁺, Na⁺, Mg²⁺ 등은 조대입자 영역에서 높은 피크를 나타내었다. 비황사시 경우 PM_{2.5}의 농도수준에 따라 서로 다른 입경분포를 나타내었으며, 미세먼지 영역의 고농도 발생은 익산시 상공으로 유입되는 기류의 이동경로를 분석한 결과 중국에서 장거리 이동된 대기오염물질에 의한 영향으로 나타났다.

대기먼지입자의 호흡기 침착부위별 크기분포를 살펴보면 황사가 발생한 4월 1일 낮과 밤 시료(4.1D, 1N)의 경우 기관 및 기관지 부위에 침착할 수 있는 먼지입자의 평균농도는 216.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로, 이것은 호흡기로 유입되는 흡입성 먼지의 49.8%에 이른다. 폐포 부위에 침착할 수 있는 먼지입자의 경우 89.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 그 점유율은 20.6%이었다. 반면에 비황사기간의 경우 상기도의 비인두 부위와 기관 및 기관지 부위에 침착할 수 있는 먼지농도는 8.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 9.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 비슷한 수준이었다. 그러나 폐포 부위에 침착할 수 있는 먼지입자는 38.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 흡입성 먼지농도의 68.2%를 점유하였으며, 비인두와 기관 및 기관지 부위

보다 상대적으로 높은 점유율을 나타내었다. 또한 이것은 일별 뚜렷한 농도 차이를 보이면서 흡입성 먼지의 농도분포를 주도하는 것으로 나타났다.

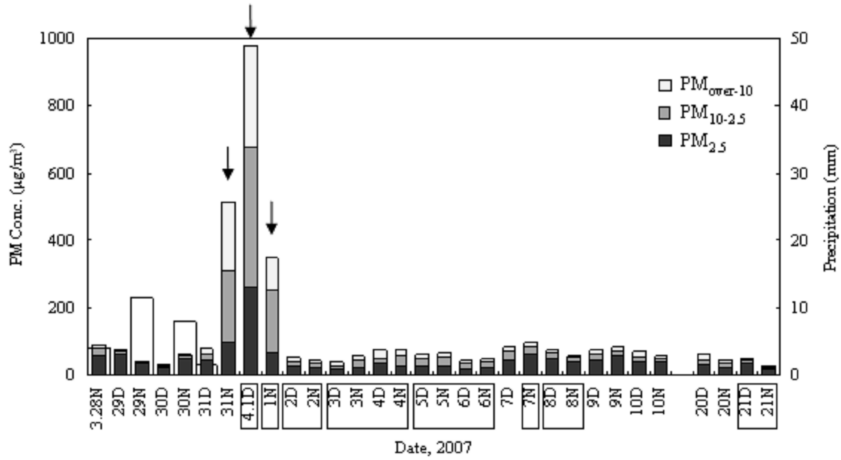


Fig. 1. Temporal variations of mass concentrations for atmospheric particulate matters(PM) in Iksan.

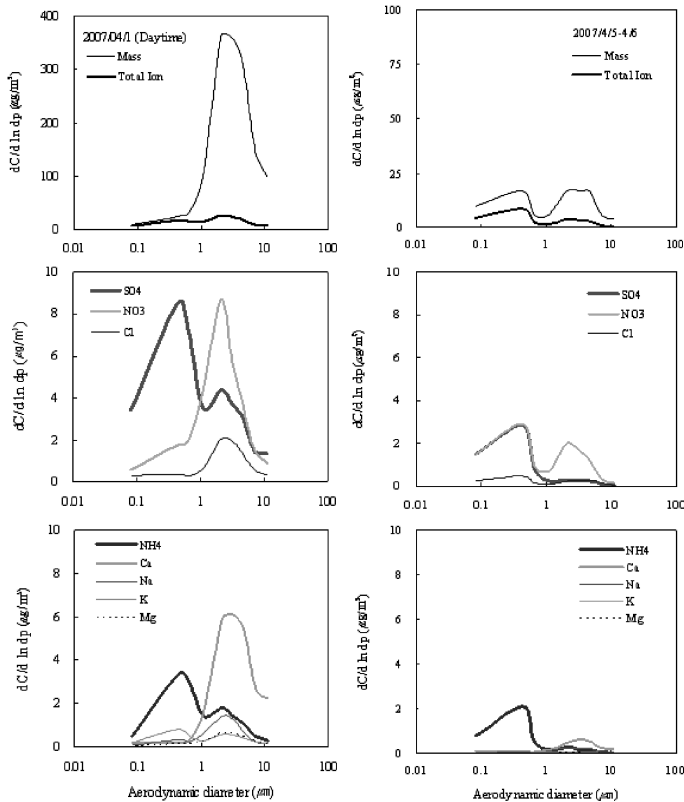


Fig. 2. Size distribution of PM and ion species concentration for atmospheric particulate matters during the period of Asian dust storm episode and non-Asian dust storm in spring 2007 in Iksan.

참 고 문 헌

- Asian dust center (2009) http://www.kma.go.kr/dust/dust_02_01.jsp.
- Chang, J.H., J.K. Chu, K.E. Lee, J.Y. Han, C.W. Kim, J.W. Park, C.S. Hong, P.K. Min, and Y.J. Yun (2001) Effects of yellow sand on respiratory symptoms and diurnal variation of peak expiratory flow in patients with bronchial asthma. *Journal of Asthma Allergy Clinical Immunology*, 21(6), 1179-1186.
- Draxler, R.R. and G.D. Rolph (2003) HYSPLIT(Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY Website(<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD.
- Kang, G.U., N.S. Kim, K.S. Kim, M.K. Kim, and H.J. Lee (2007) Concentration characteristics of atmospheric PM_{2.5}, PM₁₀, and TSP during the Asian dust storm in Iksan area, *Korean Journal of Environmental Health*, 35(5), 408-421.
- Kang, G.U. and S.B. Lee (2005) Daily concentration measurements of water-soluble inorganic ions in the atmospheric fine particulate for respiratory deposition region, *Korean Journal of Environmental Health*, 31(5), 387-397.
- Kwon, H.J., S.H. Cho, Y. Chun, F. Lagarde, and G. Pershagen (2002) Effects of the Asian dust events on daily mortality in Seoul, Korea. *Environmental Research Section A*, 90, 1-905.
- Moon, J.S., Y.S. Kim, S.C. Hong, C.M. Lee, W.S. Park, and H.J. Jeon (2003) A study of health effect on elementary school students of during the Asian dust. *Proceeding of the 36th meeting of Korean Society for Atmospheric Environment*, 3A2, 193-194.
- Nag, S., A.K. Gupta, and U.K. Mukhopadhyay (2005) Size distribution of atmospheric aerosols in Kolkata, India and the assessment of pulmonary deposition of particles mass, *Indoor and Build Environment*, 14(5), 381-389.