

서산지역 춘계의 대기 분진과 불완전균류 포자

여 환 구* · 김 중 호

한서대학교 환경공학과

Particulate Matter and Spores of Fungi Imperfecti in the Ambient Air of Seosan in Spring

Hwan-Goo Yeo* and Jong-Ho Kim

Department of Environmental Engineering, Hanseo University, Seosan 356-706, Korea

Abstract - The relationship between SPM (Suspended Particulate Matter) and fungal spore in the air was investigated in Seosan, a rural county of Korea, in spring of 2000. SPM concentrations in the air were $199.8 \mu\text{g m}^{-3}$ in the 1st Yellow Sand Period (March, 23~24), $249.4 \mu\text{g m}^{-3}$ in the 2nd Yellow Sand Period (April, 7~9) and $98.9 \mu\text{g m}^{-3}$ in the Non Yellow Sand Period (May, 12~16), respectively. Although there was somewhat difference in total SPM concentration between the two Yellow Sand Periods, majority of the total SPM were composed of $5 \mu\text{m}$ sized coarse particles over the two periods. However, fine particles sized about $1 \mu\text{m}$ and coarse particles sized about $5-6 \mu\text{m}$ ultimately showed peaks, which was within typical bimodal pattern at the graph of SPM size distribution in the Non Yellow Sand Period. Four mold genera grown from airborne fungal spores were finally identified in full-grown colonies at the SPM samples during the Yellow Sand Periods. These genera were *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium* and *Basipetospora*.

Key words : SPM, Yellow Sand, fungal spore, fungi imperfecti

서 론

우리 나라는 3월~5월 사이에 아시아 대륙 내륙의 건조지대인 고비(Gobi), 타클라마칸(Taklamakan) 사막과 황하 상류의 황토(Loess)지역에서 발생하는 모래먼지 바람에 의해 비산되어 오는 황사현상이 자주 관측된다(이 등 1986; 윤 1990). 황사현상은 엄밀한 의미에서 황토가 봄철에 $40\sim 50 \text{ m sec}^{-1}$ 의 제트기류를 타고 우리나라에 장거리 이동되어 오는 현상이다(Duce 1980; Darzi

and Winchester 1982; Tanaka 1983; Chung 1986; Braaten and Cahill 1986). 자연적인 토양 발생원으로서의 황사는 그 입경 분포가 $1\sim 2 \mu\text{m}$ 이상의 초대입자군에 속하며 그 자체로서는 대기오염물로 언급하기 어렵지만 자연계의 대규모적 토사이동 현상의 하나로 대기 부유분진의 중요한 성분이 된다(Isono 1971; Shaw 1980; Carlson and Benjamin 1980; Lee and Kim 1985). 따라서 우리나라 대기 중 부유분진의 증가 현상은 황사기간에 매우 심각하며 최근 중국의 개방과 공업화에 따른 화석연료 사용의 급증으로 다량의 오염물질이 편서기류에 편승하여 우리나라에 영향을 주고 있는 것으로 알려져 있다(정과 김 1991).

* Corresponding author: Hwan-Goo Yeo, Tel. 041-660-1366, Fax. 041-660-1119, E-mail. yeohg@hanseo.ac.kr

우리 나라에서 관측된 황사현상에 관한 연구는 대기 중 부유분진을 포집하여 황사의 입경 분포 비교 및 화학적 특성분석(이 등 1986; 이 등 1988; 이 등 1989)을 효시로 1980년대 후반부터 시작되었다. 그 이후 최근까지 부유분진의 양 및 물리화학적 특성들에 초점 맞추어 대기환경 연구자들에 의해 꾸준히 보고되어 왔다(신과 김 1992; 이 등 1993; 김 등 1995; 전 등 1999; 신 등 1999; 전 등 2000).

대기 부유입자 중 생물기원의 입자인 바이오에어로졸은 (1) 살아있거나 죽은 미생물, (2) 미생물의 포자, (3) 미생물 또는 대형 생물의 일부 조각, (4) 생명체로부터 기원한 배설물, 독성물질, 알레르기 유발 화학물질 모두를 포함한다(Miller *et al.* 1999). 국내의 경우 일반적인 대기 부유분진의 대기과학적 연구와 집진 처리 등의 기술적 접근은 상당한 연구가 진행되어 왔으나 대기 부유분진의 생명과학적 연구는 많지 않으며 곰팡이 포자(Fungal spore)와 분진의 관계를 논한 연구 역시 희소하기에 본 연구를 시도하게 되었다. 특히 부유분진의 농도가 연중 최고조에 이르는 황사시기를 중심으로 하여 대기중에 부유하는 곰팡이 포자들의 구성을 파악하고자 하였다. 본 연구지는 충남 서산지역으로 지리적 여건에서도 황사의 영향을 심각히 받고 있는 서해안 지역이며 이 지역 대기 부유분진의 입경별 분포와 곰팡이 포자의 연구는 환경 기초자료로서 충분한 의의가 있을 것으로 사료

된다.

재료 및 방법

대기 부유분진 시료의 채집은 한국 서해안 중부역인 서산에 위치한 한서대학교의 건물(지상 6층) 옥상에서 실시하였으며 채집시기는 2000년 춘계 황사시기에 2회(3월 23~24일, 4월 7~9일), 비황사시기에 1회(5월 12~16일) 실시하였다.

일반적으로 사이클론이나 원심분리기처럼 원심력을 이용한 충돌(impaction), 흡수병의 침지(impingement) 방법 및 여과(filtration) 등의 방법이 부유분진을 포집하는데 적용되어 왔다. 비록 침지 흡수병(impinger)이 분진 포집에 폭넓게 이용되어 왔지만 임팩터(impactor)가 바이오에어로졸 채집에는 더 적절한 것으로 보고되어 왔다(Henningson and Ahlberg 1994; Eduard and Heederik 1998). 임팩터는 분진의 농도측정에 직접 시료 처리가 가능하고 흡수병이나 여과방법보다 광범위하게 이용되어 왔다(Li and Lin 1999). 따라서 본 연구에서도 부유분진의 포집은 Cascade impactor를 이용하여 분진을 입경별 9단계로 나누어서 포집하였다. Fig. 1은 Cascade impactor의 분진 충돌 포집의 원리와 각 부유분진 입경 구분의 원리가 인체 호흡기관과 관련되어 분할되어 있음을 보여주고 있다(Hinds 1982). 분진포집 여과지

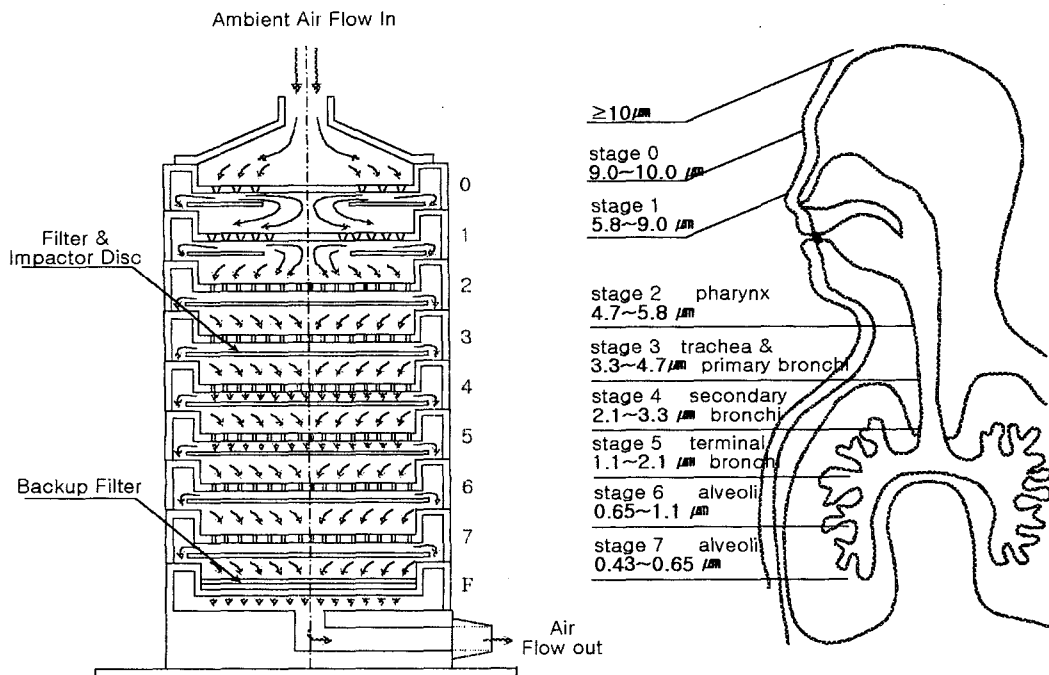


Fig. 1. The shape and principle of Cascade impactor.

는 직경 80 mm, pore size 0.22 μm 의 Hi-Fil 막여과지를 이용하였으며 분진 포집 후 질량을 측정하여 입경 분포별 부유분진의 농도를 산출하였다.

한편 곰팡이 포자를 포함한 바이오에어로졸이 부유분진과 함께 포집된 Cascade impactor속의 여과지를 M-endo Broth에서 25°C로 96시간 동안 배양기에서 암배양하였고, 균은 동정을 위해 agar plate에 접종하여 배양 실험을 보완하였다. 곰팡이 포자가 발아하여 여러 균사가 형성된 모습을 Nikon (E-600 type) 광학 현미경으로 최대 400배율까지 확대 검경하여 속(Genus) 수준까지 동정하였다.

결과 및 고찰

1. 황사 및 분진의 입경 분포

황사 일수는 매년 큰 차이를 보인다. 서울의 경우 최근 21년간의 자료에서 연평균 황사 일수가 약 5일로 보고되었고, 최근 십수년간의 자료에서 전혀 황사가 관측되지 않은 해(1986, 1989, 1994년)도 있어서 황사 일수는 연도에 따라 큰 차이를 보인다. 이는 대규모적 대기 순환과 관련있으며 전반적으로는 최근 들어 황사일수가 약간의 증가추세에 있는 것으로 알려졌다(김 등 1995; 전 등 2000). 물론 한반도에서도 황사일수는 지역적인 차이를 보여 전라남·북도과 서울을 비롯한 경기도 및 본 연구지역을 포함하는 충남 서부일원은 한반도의 동쪽 지역에 비해 더욱 많은 황사 일수를 보이고 있다.

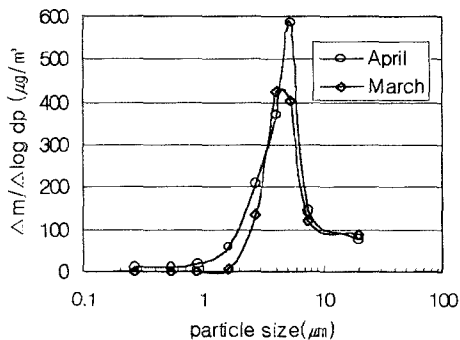
본 연구에서는 2000년 춘계에 충남 서산에서 대기 부유분진의 농도를 관측하였다. 부유분진의 농도는 1차 황사기간(3월 23~24일)에 199.8 $\mu\text{g m}^{-3}$, 2차 황사기간(4월 7~9일)에 249.4 $\mu\text{g m}^{-3}$, 비황사기간(5월 12~16일)에 98.9 $\mu\text{g m}^{-3}$ 으로 각각 나타났다. 총 부유분진 농도의 일

평균 환경기준치는 일본 100 $\mu\text{g m}^{-3}$, 미국 150 $\mu\text{g m}^{-3}$ 이며 한국은 300 $\mu\text{g m}^{-3}$ 이기에(김 등 1995) 본 연구 기간 중 2회의 황사시기에서 측정된 분진농도는 일본과 미국의 기준치는 초과하고 있으나 우리 나라 기준치에는 미달하였다. 1, 2차 황사기간들간에 총 부유분진 농도는 차이를 보였지만 5 μm 정도의 입경 크기를 가지는 조대분진이 2회의 황사기간 모두에서 총 부유분진 양의 대부분을 차지하였다(Fig. 2(a)). 이러한 결과는 우리 나라에 수송되는 황사입자의 크기는 상한이 10 μm 이고 입자크기 2~6 μm 범위에 집중되는 것으로 보고한 전 등(1999)의 연구결과와 일치한다. 그러나 전 등(2000)은 겨울철 황사의 입경분포에서 1 μm 미만과 1~3 μm 에서 최고 농도를 보이는 이산분포형태를 나타낸 것으로 보고하고 있어 본 연구를 비롯한 일반적 봄철 황사의 조사결과와는 상이하였다. 한편, 본 연구기간 중 비황사기간의 부유분진 입경 분포 그래프는 1 μm 정도의 입경 크기를 가지는 미세분진과 5~6 μm 정도의 크기를 가지는 조대분진이 피크를 보이는 전형적인 bimodal 패턴을 나타내었다(Fig. 2(b)).

2. 불완전균류의 조성

본 연구기간 동안 포집한 분진을 25°C에서 배양한 결과 성장하는 진균류는 모두 통상적인 곰팡이로 불리우는 불완전균류(Fungi imperfecti; Deuteromycota)였다. 불완전균류는 통상적으로 유성세대가 나타나지 않는 하나의 그룹으로 설명되곤 한다. 그러나 이 그룹의 종류들은 대체로 자낭균류(Ascomycetes) 또는 일부 담자균류(Basidiomycetes)에 속하는 유성생식을 하는 진균류의 무성세대(anamorph)를 포함한다(Moore-Landecker 1996). 분진 등의 연구에서는 계통유연관계의 연관성이 적은 균류 포자들이 뭉쳐져서 이동하는 경우도 있어서

(a) Yellow Sand Period



(b) Non Yellow Sand Period (May)

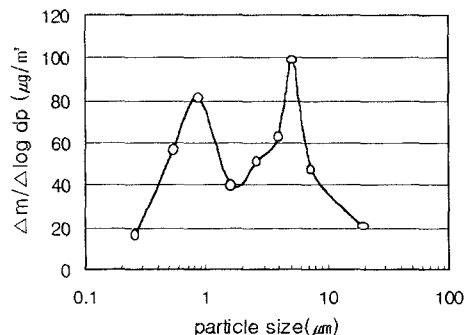


Fig. 2. Size distributions of SPM in the air of Seosan.

함께 관찰할 경우 전혀 다른 강의 균류가 함께 관찰되기도 한다. Moore-Landecker (1996)는 진균류의 유성세대가 형태적 특징보다는 자연적 유연성에 더욱 의존하여 관찰되는 것으로 언급하고 있으며 따라서 진균류 중 무성세대에 한하여 동정되어 온 불완전균류의 많은 종류는 계통분류학상의 위치를 단적으로 언급하기 어려운 점이 있다.

불완전균류 중 중요한 군은 총생균강(Hyphomycetes)을 형성한다. 총생균류는 포자낭과(sporocarp)는 없지만 균사체는 형성하고 포자는 포자를 지탱하는 균사(분생자경; conidiophore)에서 형성된다. 총생균류는 또한 molds로 불리우며 배양시에 가루 같은 또는 솜털 같은 균사체를 형성하곤 한다. Kendrick (1990)은 대기 중에서 알레르기 유발 성분을 가지거나 출현빈도의 측면에서 중요한 8종류의 불완전균류속을 "Big Eight"이라 칭하였는데 그것들이 *Alternaria*, *Cladosporium*, *Curvularia*, *Drechslera*, *Epicoecum*, *Fusarium*, *Nigrospora*, *Stemphylium*속 등이다. 일반적으로 대기 중에 포자 형태로 존재하는 흔한 곰팡이 종류로는 *Aspergillus*, *Peni-*

cillium, *Cladosporium*, *Alternaria*, *Trichoderma* 등의 속들이 알려져 있으며 (한국균학회 1999) 이상의 속들은 모두 불완전균문의 총생균강에 속한다. 본 연구의 배양 실험 결과 나타난 곰팡이 분류군은 *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Basipetospora*속 등에 속하는 몇몇의 종들로 구성되어 있었다. Fig. 3은 *Aspergillus* sp.와 *Penicillium* sp.가 분진 집적물위에 균사체를 형성한 모습이다. 한편, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*속의 다수 종들은 종에 따라 aflatoxin, citrinin, trichothecenes, zearalenone (ZEA) 등의 균독소를 생산하는 것으로 알려져 있어 환경위생상 많은 문제점이 제기되고 있다(이 1995; 한국균학회 1999). 한편 *Basipetospora*속은 건조한 토양 등에서 빈번한 출현을 보이는 것으로 알려져 있는데 본 연구 기간은 봄철 건조시기였고 따라서 일반적인 불완전균류의 발생과 함께 *Basipetospora* sp. 등이 출현한 것으로 생각된다.

적 요

2000년 춘계에 한국 농촌지역인 충남 서산에서 대기 부유분진(SPM)과 곰팡이포자의 관계에 대해 조사하였다. 부유분진의 농도는 1차 황사기간(3월 23~24일)에 $199.8 \mu\text{g m}^{-3}$, 2차 황사기간(4월 7~9일)에 $249.4 \mu\text{g m}^{-3}$, 비황사기간(5월 12~16일)에 $98.9 \mu\text{g m}^{-3}$ 으로 각각 나타났다. 2회의 황사기간들간에 부유분진 농도는 차이를 보였지만 $5 \mu\text{m}$ 정도의 입경 크기를 가지는 조대분진이 2회의 황사기간 모두에서 총 부유분진 양의 대부분을 차지하였다. 그러나 비황사기간의 부유분진 입경분포 그래프는 $1 \mu\text{m}$ 정도의 입경 크기를 가지는 미세분진과 $5 \sim 6 \mu\text{m}$ 정도의 크기를 가지는 조대분진이 피크를 보이는 전형적인 bimodal 패턴을 나타내었다. 대기기원 곰팡이포자로부터 성장한 4종류의 사상균류가 황사시기의 부유분진 시료에서 동정되었다. 이들은 *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Basipetospora*속으로 확인되었다.

사 사

세심한 자문으로 큰 도움을 주신 생명공학연구소(KRIBB) 배경숙 박사님께 감사드립니다.

인 용 문 헌

김우규, 전영신, 이원환, 김현미. 1995. 서울 부유분진 농도와 황사 특성에 관한 사례 연구. 한국대기환경학회지. 11:199

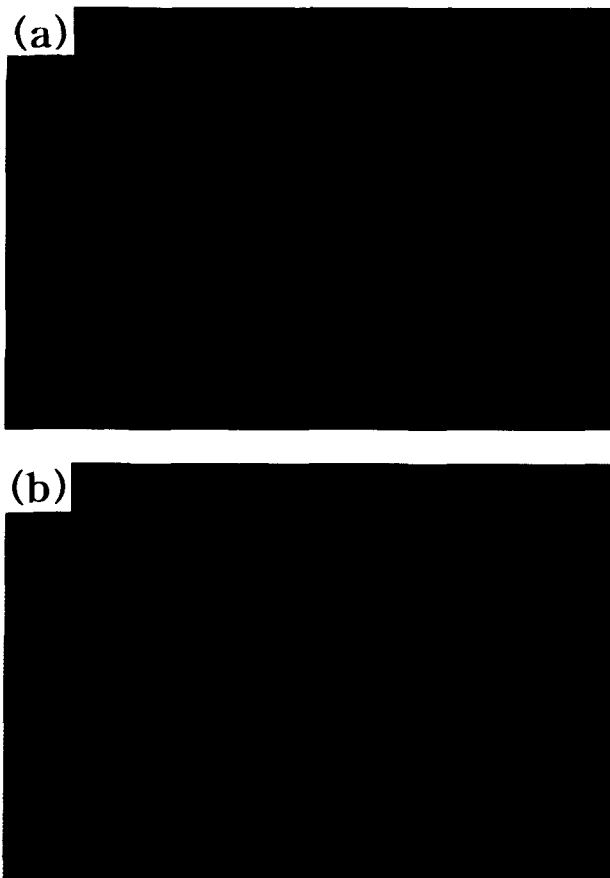


Fig. 3. The molds grown on the SPM aggregations.
(a) *Aspergillus* sp. (b) *Penicillium* sp.

- 209.
- 신도식, 김 산, 김정식, 차주완. 1999. 안면도에서 1998년 봄철에 관측된 황사의 광학적 특징. 한국대기환경학회지. 15:739-746.
- 신은상, 김희강. 1992. 서울시에서의 대기부유먼지에 대한 황사의 영향. 한국대기환경학회지. 8:52-57.
- 윤용황. 1990. 한반도에 수송되는 황사시의 특징에 관한 연구. 한국기상학회지. 26:111-120.
- 이민희, 한의정, 신찬기, 한진석. 1988. 황사현상시 분진의 입도분포와 화학조성에 관한 연구. 한국대기환경학회지. 4: 57-66.
- 이민희, 한의정, 신찬기, 한진석, 김상균. 1993. 황사현상시 대기 에어로졸 중 무기물질의 동태. 한국대기환경학회지. 9: 230-235.
- 이민희, 한의정, 원양수. 1986. 황사현상이 우리 나라에 미치는 영향. 대기환경학회지. 2:34-44.
- 이민희, 한진석, 한의정, 신찬기. 1989. 황사현상시 강수의 화학적 성분에 관한 연구. 한국대기환경학회지. 5:1-11.
- 이인원. 1995. 농산물의 *Fusarium* 곰팡이 독소 오염. pp.95-121. 식물균병학 연구.
- 전영신, 김지영, 부경은, 김남욱. 2000. 겨울철 황사현상의 특징. 한국대기환경학회지. 16:487-497.
- 전영신, 김지영, 최재천, 신도식. 1999. 황사시 서울과 안면도의 대기 중 에어로졸 수농도 특성. 한국대기환경학회지. 15:575-586.
- 정용승, 김태근. 1991. 한국 서해안에서 관측된 산성비의 발원지 추적 연구. 한국대기환경학회지. 7:203-207.
- 한국균학회. 1999. 균학개론. 월드사이언스. 321pp.
- Braaten DA and TA Cahill. 1986. Size and composition asian dust transported to Hawaii. Atmospheric Environment 20:1195-1199.
- Carlson TN and SG Benjamins. 1980. Radiative heating rate for Sahara dust. J. Atmos. Sci. 37:193-213.
- Chung YS. 1986. The transport and deposition of air pollutants over ocean. Atmospheric Environment 20: 617-630.
- Darzi MD and W Winchester. 1982. Aerosol characteristics at Mauna Loa observatory. J. Geophysics Res. 87:1251-1258.
- Duce RA. 1980. Long-range atmospheric transport of soil dust from asia to the tropical north pacific: temporal variability. Science 209:1522-1524.
- Eduard W and D Heederik. 1998. Method for quantitative assessment of airborne levels of noninfectious microorganisms in highly contaminated work environments. Amer. Ind. Hyg. Assoc. J. 59:123-127.
- Henningson EW and MS Ahlberg. 1994. Evaluation of microbiological aerosol samplers: a review. J. Aerosol Sci. 25:1459-1492.
- Hinds WC. 1982. Aerosol technology. properties, behavior, and measurement of airborne particles. A Wiley-Interscience Pub. New York.
- Isono K. 1971. Concentration and nature of ice nuclei in the rain of the north pacific ocean. Tellus 23:4-59.
- Kendrick C. 1990. Fungal allergens. pp.41-49. In Sampling and identifying allergenic pollens and moulds (Smith EG ed.) Blewstone Press. San Antonio, USA.
- Lee YJ and HK Kim. 1985. A study on the coarse particles burden to aerosol in Seoul area. J. Korea Air Pollt. Res. Assoc. 1:71-82.
- Li CS and YC Lin. 1999. Sampling performance of impactors for fungal spores and yeast cells. Aerosol Sci. Technol. 31:226-230.
- Miller S, YS Cheng and JM Macher. 1999. Guest editorial. Aerosol Science and Technology 30:93-99.
- Moore-Landecker E. 1996. Fundamentals of the fungi, fourth edition Prentice-Hall International (UK) Limited, London.
- Shaw GE. 1980. Transport of asian desert aerosol to the Hawaiian Islands. J. Appl. Met. 19:1254-1259.
- Tanaka S. 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.

(Received 12 January 2001, 31 May 2001)