

인천지역에서 황사 기간 동안 대기 중의 바이러스 검출에 관한 연구

가천의대 길병원 호흡기내과

박정웅, 임영희, 경선영, 안창혁, 이상표, 정성환

Detection of Pathogenic Viruses in the Atmosphere during Asian Dust Events in Incheon City

Jeong Woong Park, MD., Young Hee Lim, MD., Sun Young Kyung, MD., Chang Hyeok An, MD., Sang Pyo Lee, MD., Seong Hwan Jeong, MD.

Department of Internal Medicine, Gachon Medical School, Gil Medical Center, Incheon, Korea

Background : Ambient particles during Asian dust events are usually less than 10 μ m in size, and known to be associated with the adverse effects on the general population. There is little evidence linking Asian dust to adverse effects on the airways. In 2002, the authors found that particulate matter during Asian dust events had an effect on the symptoms and pulmonary function of patients with bronchial asthma. An aggravating factor might be that of a viral infection, but this remains unclear. Conversely, it has been speculated that African dust may carry the virus responsible for foot and mouth disease. Asian dust events are also likely to be responsible for transporting viruses, some of which are pathogenic, and common in many environments. Therefore, in this study, air samples were screened for the presence of viruses.

Methods : Air samples were collected 20 times each during Asian dust events and under non-dust conditions, for at least 6 hours per sample, using a high volume air sampler (Sibata Model HV500F), with an airflow rate of 500L/min, between April and August 2003, and between April and August 2004. The samples were then screened for the presence of targeted viruses (*Influenza A, B, Hog cholera virus, and Aphthovirus*) using a polymerase chain reaction method.

Results : One Asian dust event occurred between April and August 2003, and 3 between April and August 2004, with a 24 hour average PM10 level of 148.0 μ g/m³. The 24 hour average PM10 level was 57 μ g/m³. There was a significant difference in the PM10 concentration between dusty and clear days.

No viruses (*Influenza virus, Aphthovirus, and Hog cholera virus*) were identified in the air samples obtained during the dusty days.

Conclusions : Although no virus was detected in this study, further studies will be needed to identify suspected viruses carried during Asian dust events, employing more appropriate virus detection conditions.

(*Tuberc Respir Dis 2005; 59: 279-285*)

Key words : Asian dust, PM10, virus

서 론

황사는 기상 현상의 하나로 중국과 몽고의 사막지대, 황하 중류의 황토에서 발생하는 모래 바람으로 국내에는 연중 발생이 가능하나 주로 봄철에 영향을 미치고 있다. 황사 발생은 기상전문가의 관측에 의해 통

보되는데 시정 상황에 따라 세기를 결정하게 된다. 황사 중 유입되는 먼지는 큰 입자들은 발원지나 주변에 머물고 국내에 유입되는 먼지의 크기는 대개 10 μ m 이하의 미세먼지(particulate matter 10 : PM10)로 황사 현상이 관찰되는 경우는 PM10수치도 더불어 상승하는 게 일반적이다¹. 기상청 기상연구소에서 발표한 1998년 한반도에서 봄철황사의 특징을 보면 총 부유분진의 평균 질량농도는 98.9 μ g/m³(23.9 ~ 264 μ g/m³)로 황사시 평균 128.4 μ g/m³, 비황사시 85.4 μ g/m³으로 보고하였으며, 이 중 PM10 이 차지하는 평균 점유율은 69%로 3월에 68%, 4월에 65% 5월에 78%로 보고하였다. 미세먼지는 안질환, 피부질환에 영향을 미치며, 흡입이 가능한 입자여서 하부기관지 및 폐의 가스-교환부분에 손상을 일으킬 수 있다². 저자들은 2002년 기관지 천식환자에서 황사기간 중에 천식 증상 및

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R05-2002-000-01294-0)지원으로 수행되었음.

Address for correspondence : **Seong Hwan Jeong, M.D.**
Department of Internal Medicine, Gachon Medical School, Gil Medical Center, Incheon, Korea
1198 Kuwol-dong, Namdong-ku, Incheon, 405-760, Korea

Phone : +82-32-460-3818 Fax : +82-32-469-4320

E-mail : jsw@ghil.com

Received : May. 2. 2005

Accepted : Aug. 24. 2005

폐기능이 악화되는 연구 결과를 발표한 바 있다³. 하지만 아직 악화 기전에 대해서는 많은 연구가 이루어져 있지 않으며 이에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다. 한편, 황사와 비슷한 기상현상으로 생각되는 African dust의 경우에 모래 바람의 영향권에 있는 카리브연안에서 천식의 발생이 높다고 알려져 있어 연관성을 의심하고 있지만⁴ 이에 대한 원인으로 미세먼지를 포함한 미생물등이 관여하는 지는 잘 밝혀져 있지 않다. 또한 이와는 다른 문제로 영국 등지에서 모래 바람이 휩쓸고 지나간 후 구제역이 발생하였던 예와 Aspergillus 감염이 증가한 예가 있어 모래 바람에 의한 미생물의 유입이 천식을 포함한 기저 폐질환자의 악화 요인뿐만 아니라 그 미생물 자체 감염에 의한 질환의 발생에 영향을 미치는 것으로 추정할 수 있다. 국내에서도 2000년, 2001년, 2002년에 황사 발생 시기에 구제역과 돼지콜레라등의 바이러스질환이 유행하여 연관성을 밝히기 위한 연구가 있었지만 확실한 인과관계를 밝히지는 못했다. 현재 PM₁₀에 의한 호흡기질환의 악화에 대한 기존의 설명으로 endotoxin, transition metals, ultrafine particles 등에 의한 염증, 활성산소종의 생성이 거론되고 있는데⁵⁻⁸ 이와 함께 PM₁₀과 함께 전파 될 가능성이 큰 미생물 특히, 바이러스의 검출은 임상적으로 의미가 있을 것으로 생각된다. 이에 연구자는 황사시 대기 중에서 바이러스 검출을 알아 보았다.

방 법

1. 대기 시료 채취 지점

2003년 4월부터 8월, 2004년 4월부터 8월까지 2년

에 걸쳐 대기 시료를 채취하였다. 대기 부유분진은 인천 남동구 구월동 가천의과대학 길병원 옥상에서 채취하였다. 황사가 발생한 날과 황사가 발생하지 않은 맑은 날에도 채취하였다.

2. 시료채취 및 처리

1) 대기중 대기포집기를 이용한 시료채취

고용량 대기 포집기(HA 500F, Sibata, 일본)를 이용하여 하루에 한번씩 포집하였다. 공기포집기의 흡입용량인 500 L/min으로 최소한 6시간 시행하였다. 시료를 흡착하기 위하여 0.25µm pore size의 지름이 110mm 인 Glass microfiber filter(Prefilter AP 15, 124mm)를 이용하였다.

2) 수집한 membrane filter의 전처리

Membrane에 부착된 분진 및 부유물을 50 ml tube에 옮겨 담고, Tube에 3ml의 PBS buffer을 이용하여 흡착된 부유물을 membrane 에서 분리하였다. tube을 저속원심분리기에서 4,000 rpm 으로 원심 분리하여 입자를 선별하였다. 상층액을 1.5 ml tube에 옮겨 담아 다음 실험을 위하여 liquid nitrogen tank 혹은 -80°C에서 보관하였다.

3) polyethylene glycol(PEG)을 이용한 바이러스의 침전 방법

40% polyethylene glycol(PEG)과 2.5M NaCl 용액을 만들어 시료 1ml 당 300ul을 가하여 상층액(시료)과 혼합하였다. 혼합물을 4°C에서 30분 보관 후 냉장 상태로 15000 rpm 에서 원심분리하였다. 원심분리하

Table 1. Primer sets for detection of viruses

Virus	Primer region	Primer sequence (5' 3')	
<i>Influenza virus type A</i>	Membrane protein M1 and M2 gene	sense	aga ggg aga taa cat toc atg
		antisense	ttg aat ogt tgc atc tgc ac
<i>Influenza virus type B</i>	Hemagglutinin 1 gene	sense	ca att gtc tat caa aga ggt a
		antisense	cac oca tat tgg gca att toc tat
<i>Hog Cholera virus</i>	Non coding region(NCR)	sense	ctc tgc tgt aca tgg cac atg
		antisense	tgg tca oct cgc aga act gca ctt
	Non structure protein 5b(NS5B)	sense	tga ggt aca ccc aca atc aac act
		antisense	tgg tca oct cgc aga act gca ctt
Food and mouth disease virus (<i>Aphthovirus</i>)	5' untranslated region & L protease gene	sense	tgg cgg tgg gaa ctc ctc ctt g
		antisense	ctc gtc aac gta cct gaa cag

여 침전된 침전물에서 Trizol Reagent(In Vitrogen)을 이용하여 RNA를 분리하여 제조한 primer (Table 1)로 RT-PCR 을 시행하였다.

결 과

3. 바이러스의 검출

1) *Influenza virus*의 검출

*Influenza virus*의 type은 nuclear protein의 항원성 차이에 의해 A, B, C형으로 분류할 수 있다. 이들의 공통적인 서열을 가지고 있고 변이가 적은 부위인 common site의 위치에서 primer을 선정하였다. 선정 기준은 새로운 유전자 재조합이 일어나 신형의 변이주가 출현하여도 검출이 가능하기 위한 HA1의 primer sets을 이용하여 검출하였다.

2) 구제역에 관계된 *Piconaviridae*의 *Aphthovirus*속인 RNA바이러스의 검출

바이러스의 untranslated region(UTR) & L protease gene 부위를 primer로 합성하여 검출하는데 사용하였다⁹.

3) *Hog cholera virus*(돼지콜레라 바이러스)

ssRNA로 약 12kb의 서열 길이를 가지고 있고 변이가 자주 발생하는 것으로 보고되고 있어 검사에 사용할 부위는 genome간에 높은 homology를 가지고 있는 부위이며 conservative region을 선정하여 사용한다. 이의 검출을 위하여 NCR region 의 primer sets과 NS5B region의 primer sets을 이용하여 검출하였다.

1. 대기 시료 채취

2003년도 기상청에서 발표한 황사시에 비황사기와 비교하여 실제 유의하게 증가된 PM₁₀ 값을 보이지 않았다. 시료의 채취는 4월 12일, 4월 21일, 4월 24일, 5월 9일, 5월 22, 5월 26일, 6월 3일, 6월 26일, 7월 7일, 7월 31일, 8월 14일등 총 11회 시료를 채취하였다. 황사시료는 발생일인 2003년 4월 12일 1회 시료를 채취하였으며, 2004년에는 황사 발생일 중 총 3회 (3월 11일, 3월 30일, 4월 23일)를 포함하여 총 9회(5월 2일, 5월 7일, 5월 18일, 5월 24일, 6월 8일, 6월 23일) 시료를 채취하였다. 2년에 걸쳐 측정된 황사시 일평균 PM₁₀ 은 148.0 µg/m³ 이었다. 나머지 비황사기에 측정된 미세먼지는 일평균 PM₁₀ 값이 57µg/m³ 이었다.

2. 대기 시료에서 바이러스의 검출

각각 황사기 (2003년 4월 12일)와 비황사기에 포집한 시료에서 RT-PCR을 이용한 검출 방법으로 *Hog cholera virus*, *Influenza virus A, B*, 구제역에 관련된 *Aphthovirus* 의 존재를 확인하지 못하였다 (Figure 1, 2, 3). 2004년에 포집한 시료에서도 바이러스는 검출하지 못하였다.

고 찰

저기압의 영향권에서 보통 상승기류가 있고 강수

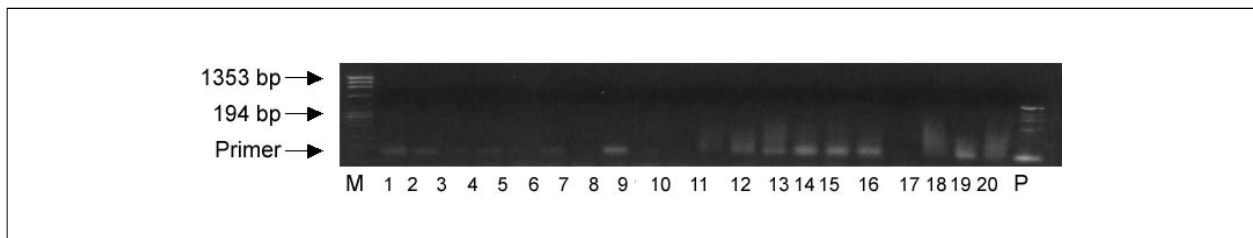


Figure 1. Agarose gel electrophoresis of RT-PCR product for NCR region of *Hog cholera virus*.

M: marker, P: positive control, lane number: serial number of sampling date (dust days: 1, 12, 13, 14); 1 (12 April, 2003); 2(21 April); 3(24 April); 4(9 May); 5 (22 May); 6(26 May); 7(3 June); 8(26 June); 9(7 July); 10(31 July); 11(14 August); 12 (11 March, 2004); 13(30 March); 14 (23 April); 15(2 May);16 (7 May); 17(18 May); 18(24 May); 19 (8 June); 20 (24 June).

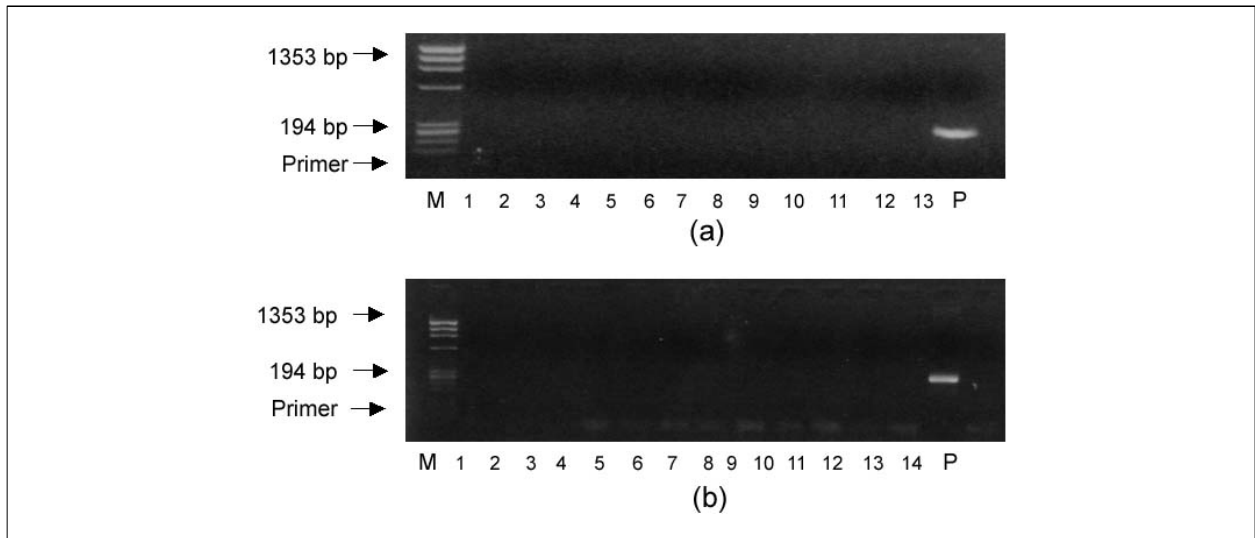


Figure 2. Agarose gel electrophoresis of RT-PCR product for membrane protein M1 and M2 genes of *Influenza virus A* (a) and hemagglutinin 1 gene of *Influenza virus B* (b). M: marker, lane number: same as the legend of Figure 1.

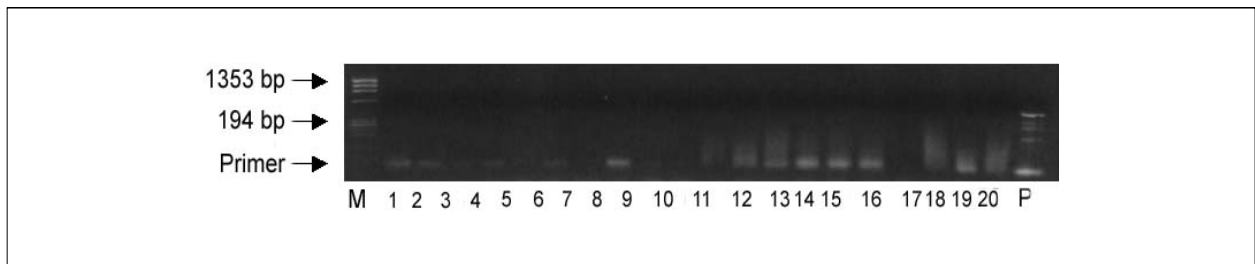


Figure 3. Agarose gel electrophoresis of RT-PCR product for 5' UTR & L protease gene of foot and mouth disease virus(*Aphthovirus*). M: marker, lane number: same as the legend of Figure 1.

현상이 나타나지만 매우 건조한 지역에서는 저기압이 강수 현상을 동반하지 않을 때가 있는데 ‘황사’로 불리는 기상현상은 몽고의 남동부와 중국 북서 지방의 건조 지대를 지나는 저기압대에 강한 바람이 동반되어 발생하게 된다¹⁰. 이러한 황사는 한반도는 물론 알루산 열도와 하와이, 미국 서부지역까지 그 영향을 미치는 것으로 알려져있다. 황사는 1회에 0.6~1.5 백만 톤이 한반도 상공을 지나는 것으로 분석되고 있는데 1995년에 분석된 황사의 화학성분을 보면 나트륨(Na), 염소(Cl), 칼슘(Ca), 칼륨(K), 마그네슘(Mg)등이며, 특히 NO₃⁻ 가 21.2ppm, SO₄²⁻ 가 15.9ppm의 높은 값을 보여 황사의 유입이 중국의 공업지대를 지나온 사실을 알 수가 있다. 황사의 광물 성분은 규소(Si) 계통의 모래와 토양, 알루미늄(Al), 칼슘(Ca), 철(Fe) 등의 물질이 대부분이지만¹¹ 중국의 급속한 공업화로

납(Pb), 카드뮴(Cd)과 같은 중금속과 인위적인 오염물등이 포함되어 대기 오염물질의 구성 성분도 변화하고 있다는 연구 결과도 있다¹. 한편, 중국, 몽고 지역에서 발생하는 황사에 의한 미생물의 유입에 대한 연구는 미미한데 국내에서 배등¹²이 황사시 그람양성균과 진균의 개체수가 증가하는 것으로 발표하였으며 이 연구에서 바이러스는 증명하지 못했다. 하지만 이미 모래바람이라는 같은 기상현상인 African dust에 대한 연구에서 여러 해양 바이러스 감염 질환과의 연관성^{13,14} 및 구제역과의 관련성⁴을 오래 전부터 언급하고 있었으며 Dale 등⁴은 African dust가 영향을 주는 기간에 대기 중의 시료 채취에서 바이러스입자가 맑은 날에 비해 약 20배 정도 높게 측정되고 세균입자의 경우 8.7배 높게 측정되는 것을 보고하였다. 미생물 생태 연구에 의하면 대기 환경에서 채취한 검

체의 약 1% 정도 만이 배양 가능하다고 알려져 있는데 Dale의 연구에서 맑은 날에 비해 African dust가 영향을 주는 날에 훨씬 많은 미생물이 배양되어 세균의 경우 맑은 날에는 19종류, 진균은 28종류가 배양되고, 먼지 바람이 있는 날에는 세균이 171종류, 진균이 76종류로 배양되는 것을 보고하였다. 그 외에도 세균과 진균의 유입에 대해 유사한 결과를 보이는 연구가 여러 연구자에 의해 시행되었으며 진균과 바이러스에 대해서는 알려지지 않았으나 세균의 경우 대략 검출되는 종의 30% 정도는 생태계에 병원균으로 알려져 있다.

저자들은 2002년 기관지 천식환자를 대상으로 황사가 천식 증상 및 폐기능에 미치는 영향에 대해 연구 결과를 발표한 바 있다. 이 연구에서 기존의 대기 오염 물질인 이산화질소 (NO_2), 이산화황 (SO_2), 오존 (O_3), 일산화탄소 (CO) 미세먼지 (PM_{10}) 중에 최대 호기유속 변동률 및 평균 최대호기유속에 대해 영향을 미치는 대기오염물질은 PM_{10} ($p < 0.05$) 과 CO ($p < 0.05$) 이었다. 이 중 CO 는 황사, 비황사시 우리나라 대기 오염기준치 이하였고, 시계열분석에 의하면 이는 최대 호기유속 변동률 및 평균 최대호기유속에 대해 황사와 관계없이 영향을 미치고 있었다. 또한 천식 증상 중 하나인 야간증상에 대한 영향은 PM_{10} 만이 유의하게 영향을 미치고 있었다 ($p < 0.05$). 하지만, PM_{10} 은 여러 입자 및 구성성분의 복합체로 환경, 계절, 기상조건에 따라 다르게 직, 간접적으로 인체의 면역 반응에 영향을 미치게 되는데¹⁵⁻¹⁸ 현재까지는 transition metals, hydrocarbons, ultrafine particle, 내독소 등에 의한 염증반응의 증강과 반응성 산소물의 형성이 손상기전으로 알려져 있다⁵⁻⁸. 우리나라를 포함한 극동아시아 지역에서 황사시 PM_{10} 은 또 하나의 지역적인 특성을 가진 기상현상으로 기존의 PM_{10} 에 의한 기도질환에 대한 영향과는 다른 황사 현상에서 얻어진 PM_{10} 에 의한 천식 증상의 악화나 폐기능 저하 기전에 대해 연구가 필요할 것으로 생각된다. 황사와 비슷한 기상현상으로 생각되는 African dust의 경우에 모래 바람의 영향권에 있는 카리브 연안에서 천식의 발생이 높다고 알려져 있어 연관성을 의심하고 있지만 이에 대한 원인으로 미생물을 포함한 미세먼지 등

이 관여하는 지는 잘 밝혀져있지 않다. 또한 영국 등지에서 African dust의 모래바람이 휩쓸고 지나간 후 구제역이 발생하였던 예와 모래 바람 영향권 지역에서 인간에 치명적인 폐감염을 일으킬 수 있는 *Aspergillus* 감염의 증가등에서 보듯이 모래 바람에 의한 미생물의 유입이 천식을 포함한 기저 폐질환자의 악화 가능성 뿐아니라 그 미생물 자체 감염에 의한 질환의 발생에 직접 영향을 미치는 것으로 추정할 수 있다. 본 연구는 황사기간 중 채취된 대기 시료에서 바이러스가 존재하고 있는 지에 대한 연구로 첫째, 황사기간 중 검출되는 바이러스가 기존의 기도질환의 악화에 관여할 가능성과 둘째, 바이러스 자체의 감염 가능성을 알아 보고자 시행되었다.

최근 국내에서도 황사 발생시기에 구제역, 돼지 콜레라 등이 유행하여 황사를 통한 바이러스의 이동을 의심하고 있으나 현재까지는 바이러스의 검출 예는 없었고 2001년 농림부 산하 '구제역 역학조사위원회'는 구제역 바이러스가 황사를 통해 이동할 가능성은 희박하고 수입 건조와 해외여행객을 통해 유입됐을 가능성이 높다고 결론 내린 바 있다. 본 연구를 시행하기 1년 전인 2002년 봄철 경기, 인천지역에 14회에 걸친 황사 발생이 있었으며, 구제역 또한 이 시기에 경기도에 16건이 발생하여 황사에 의한 바이러스 전파 관련성을 완전히 배제할 수가 없었다. 그러나 2003년, 2004년 본 연구가 시행된 시기에는 구제역의 유행이 없었다. 국립수의검역원 보고에 의하면 돼지 콜레라의 발생이 인천지역에서는 없었으나 전국적으로 2003년에 총 발생 72회 중 65회가 봄철에 발생하였고, 2004년에는 총 발생 9회 중에 5회가 봄철에 발생하였다고 한다. 한편, 인플루엔자의 경우 2004년 봄철(3, 4, 5월)에 인플루엔자의사환자 발생분율이 7% 정도로 연중 최고이었으나, 2002년과 2003년 황사가 발생한 시기인 봄철에 인플루엔자의사환자 발생분율이 높지 않았다. 2003년, 2004년에 본 교실에서 시행한 황사기간 중 바이러스 검출에 대한 연구에서 대기 시료 중에 검출대상으로 했던 *Influenza virus A, B, Hog cholera virus*, 구제역에 관련된 *Aphthovirus*를 증명하지는 못했다. 하지만 많은 양의 먼지 안에서 자외선량이 50%정도 감소한다는 Herman¹⁹등의 연구 결과등을

고려할 때, 황사의 발생시기, 기온, 습도 및 자외선량 등의 조건이 바이러스검출에 합당한 시점에 연구를 시행한다면 바이러스의 검출이 가능할 것으로 보인다. 2003년, 2004년에 저자등이 시행한 대기 중의 바이러스검출 연구는 연구기간 동안에 황사의 발생이 적어 충분한 연구가 되지 못하였으며, 또한 검출하고자 했던 바이러스질환의 발생 및 유행도 적어 실제 황사와의 관련성을 규명하기에 적절한 연구가 이루어지지 못했다. 향후 황사 발생과 바이러스질환의 유행이 일치하는 시점에 좀더 광범위한 시료의 채취 방법으로 연구가 필요할 것으로 생각된다.

요 약

연구 배경 :

세계적으로 Asian dust로 알려져 있는 황사는 주로 봄철 중국과 몽고의 사막지역에서 발생하는 모래 먼지로 수천 킬로미터를 이동하여 낙하하는 자연적으로 발생하는 대표적인 오염 물질이다. 한반도에 영향을 미치는 황사는 주로 10 μ m이하의 미세먼지(PM₁₀)로서 PM₁₀의 증가는 황사현상의 증가와 매우 밀접한 관련이 있다. PM₁₀은 호흡기에 침착이 가능하고 따라서 호흡기 증상 및 폐기능에 영향을 미치는 것으로 알려져있으나 아직 이에 대한 병리기전의 연구는 미미하여 기존에 추정되는 PM₁₀의 병리기전 이외에 황사 먼지의 이동에 따르는 미생물의 전파, 특히 바이러스의 전파에 대한 연구는 임상적으로 의미가 있을 것으로 생각되며 황사시 바이러스 감염 질환 자체의 발생을 알아 보기위해 황사시 대기에서 시료를 채취하여 바이러스의 존재 유무에 대해 연구하였다.

방 법 :

PM₁₀은 인천지역 10군데에서 측정하였으며 고용량 대기 포집기(HA 500F, Sibata, 일본)를 이용하여 하루에 한번씩 포집하였다. 공기포집기의 흡입용량인 500 L/min으로 6시간 시행하였다. 시료를 흡착하기 위하여 0.25 μ m pore size의 지름이 110mm 인 Glass microfiber filter(Prefilter AP 15, 124mm)를 이용하였다. *nfluenza virus*, 구제역에 관계된 *Piconaviridae* 의 *Aphthovirus*속인 RNA바이러스, *Hog cholera virus*

돼지콜레라 바이러스) 의 검출을 위해 수집한 membrane filter를 전처리하여 Polymerase chain reaction으로 바이러스를 확인하였다.

결 과 :

연구 기간 중 24시간 평균 PM₁₀수치는 황사 발생일에 148.0 μ g/m³, 비황사발생일에 57.0 μ g/m³ 로 차이를 보였다. 2003년과 2004년 4월부터 8월 사이에 채취한 시료에서 검출 대상 바이러스인 *Influenza virus A, B, Hog cholera virus*, 구제역에 관련된 *Aphthovirus*등은 검출되지 않았다.

결 론 :

연구는 연구기간 동안에 황사의 발생이 적어 충분한 연구가 되지 못하였으며, 또한 검출하고자 했던 바이러스질환의 발생도 적어 실제 황사와의 관련성을 규명하기에 적절한 연구가 이루어지지 못했다. 향후 황사 발생과 바이러스질환의 유행이 일치하는 시점에 좀더 광범위한 시료의 채취 방법으로 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. Chun YS, Boo KO, Kim JY, Park SU, Lee MH. Synopsis, transport, and physical characteristics of Asian dust in Korea. *J Geophys Res* 2001;106:461-9.
2. Donaldson K, Stone V, Clouter A, Renwick L, MacNee W. Ultrafine particles. *Occup Environ Med* 2001; 58:211-6.
3. Park JW, Lim YH, Kyung SY, An CH, Park GY, Jeong SH, et al. Effects of ambient particulate matter(PM₁₀) on peak expiratory flow and respiratory symptoms in subjects with bronchial asthma during Yellow Sand period. *Tuber Respir Dis* 2003;55:570-8.
4. Griffin DW, Garrison VH, Herman JR, Shinn EA. African desert dust in the Caribbean atmosphere: microbiology and public health. *Aerobiologia* 2001;17: 203- 13.
5. Costa DL, Dreher KL. Bioavailable transition metals in particulate matter mediate cardiopulmonary injury in healthy and compromised animal models. *Environ Health Perspect* 1997;105(Suppl 5):1053-60.
6. Monn C, Becker S. Cytotoxicity and induction of pro-inflammatory cytokines from human monocytes exposed to fine (PM_{2.5}) and coarse particles (PM_{10-2.5}) in outdoor and indoor air. *Toxicol Appl Pharmacol* 1999;155:245-52.

7. MacNee W, Donaldson K. Mechanism of lung injury caused by PM10 and ultrafine particles with special reference to COPD. *Eur Respir J Suppl* 2003;40: 47S-51S.
 8. Nel AE, Diaz-Sanchez D, Ng D, Hiura T, Saxon A. Enhancement of allergic inflammation by the interaction between diesel exhaust particles and the immune system. *J Allergy Clin Immunol* 1998;102:539-54.
 9. Beard CW, Mason PW. Genetic determinants of altered virulence of Twiwanese foot-and-mouth disease virus. *J Virol* 2000;74:987-91.
 10. Yoon YH. On the Yellow sand transported to the Korean Peninsula. *J Korean Meteor Soc* 1990;26:111-20.
 11. Hong YC, Leem JH, Ha EH, Christiani DC. PM10 exposure, gaseous pollutants, and daily mortality in Incheon, South Korea. *Environ Health Perspect* 1999;107:873-8.
 12. Bae KW, Kim JH, Kim YS, Park JS, Jee YK, Lee KY. Microbiological identification and distribution of metal components in suspended particulate matter during Yellow Sand phenomena at TaeAn region in 2003. *Tuberc Respir Dis* 2005;58:167-73.
 13. Shinn EA, Smith GW, Prospero JM, Betzer P, Hayes ML, Garrison V, et al. African dust and the demise of Caribbean coral reefs. *Geol Res Lett* 2000;27:3029-32.
 14. Smith GW, Ives LD, Nagelkerken IA, Ritchie KB. Caribbean sea-fan mortalities. *Nature* 1996;383:487.
 15. Romieu I, Meneses F, Ruiz S, Huerta J, Siemra JJ, White M, et al. Effects of intermittent ozone exposure on peak expiratory flow and respiratory symptoms among asthmatic children in Mexico city. *Arch Environ Health* 1997;52:368-76.
 16. Harre ES, Price PD, Ayrey RB, Toop LJ, Martin IR, Town IG. Respiratory effects of air pollution in chronic obstructive pulmonary disease: a three month prospective study. *Thorax* 1997;52:1040-4.
 17. Higging BG, Francis HC, Yates CJ, Warburton CJ, Fletcher AM, Reid JA, et al. Effects of air pollution on symptoms and peak expiratory flow measurements in subjects with obstructive airways disease. *Thorax* 1995;50:149-55.
 18. Euler GL, Abbey DE, Magie AR, Hodgkin JE. Chronic obstructive pulmonary disease symptom effects of long-term cumulative exposure to ambient levels of total suspended particulates and sulfur dioxide in California Seventh-Day adventist residents. *Arch Environ Health* 1987;42:213-22.
 19. Herman JR, Krotkov N, Celarier E, Larko D, Labow G. The distribution of UV radiation at the earth's surface from TOMS measured UV-backscattered radiances. *J Geophys Res* 1999;104:12059-76.
-