

서울시 황사의 4년간(2003년~2006년) 자기적 특성 변화 연구 및 전자현미경 관찰 결과

김원년^{1)*} · 도성재²⁾ · 유용재³⁾

1. 서 론

국내의 황사현상은 주로 매년 3월부터 5월까지 나타난다. 발원지에서 연중 20회 정도 발생하는 황사의 10~30%인 4, 5회가 한반도에 영향을 미치게 된다. 최근 중국의 산업화 및 녹지의 파괴로 인하여 내몽고 고원지역 및 중국 북부 혼센다크 등지에서 건조지역이 확대됨에 따라 황사의 발생 빈도가 증가하게 되었다. 황사의 영향범위는 주로 동아시아 영역이지만, 제트기류에 의해 황사가 태평양을 횡단하여 북미대륙에서도 관측된다. 따라서 북반구 전체가 황사의 직·간접적 영향권에 포함되는 것으로 알려져 있다. 특히, 매년 약 5천톤 정도의 황사가 국내로 유입되어 대기의 혼탁도 증가와 같은 직접적인 오염뿐만 아니라, 황사 입자가 중국의 공업 밀집지역에서 배출되는 오염물질과 혼합되어 국내로 유입될 가능성도 있다. 또한, 황사가 발생하게 되면, 면역성이 약한 노약자들에게 알레르기, 호흡기 질환, 안구 질환 등이 유발되며, 반도체 등 정밀 기계 작업과 항공기의 운항에도 악영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 2003년부터 2006년까지 서울시로 유입된 황사의 자기적 특성 변화를 밝히고, 황사 입자에 대한 전자현미경 관찰을 통하여 자기적 특성에 영향을 미치는 자성물질의 종류 및 그 기원을 규명하여, 황사에 의한 오염의 지시자로서 자기적 연구방법의 활용방안을 알아보고자 한다.

2. 본 론

2003년부터 2006년까지 서울시에서 발생한 14회의 황사현상에 대하여, 서울시 성북구 안암동에 위치한 고려대학교 아산이학관 옥상에서 황사시료를 채취하였다. 2004년에서 2006년까지는 3일 혹은 5일 간격으로 고용량 공기포집기를 이용하여 석영필터에 여과되는 대기분진을 포집하였으며, 2003년에는 깨끗한 채집용기(1m×3m)에 6시간동안 퇴적된 황사분진을 채취하였다. 황사에 의한 서울시 오염정도의 변화를 알아보기 위하여, 바람의 영향에 의하여 경인공업지역과 같은 서울시 외부로부터 오염물질이 유입되지 않았을 것으로 예상되는 7월 및 8월 동안의 대기분진과 바람에 의한 외부 영향이 예상되는 12월 및 1월 동안에도 대기분진을 포집하였다. 또한, 서울시 황사와 자기적 특성 비교를 위하여, 황사기원지로 알려진 내몽고차치구 지펑(Chifeng), 커얼친(Khorchin) 지역과 중국 북서부 란조우(Lanzhou) 북부와 텐겔(Tengger) 사막 남쪽과 남서쪽에서 토양시료를 채취하였다. 채취된 모든 시료는 자기적 연구방법에 적합하도록 10 cc의 비자성 플라스틱박스에 채워 밀봉하였으며, 시료내 자성광물 함량을 알아보기 위하여, 질량 대자율(C_LF), 무자기이력 잔류자화(ARM), 포화등온 잔류자화주 자성광물을 규명하기

주요어: 황사, 자기 특성, 전자현미경

1) 고려대학교 지구환경과학과 김원년 (wnkim@korea.ac.kr)

2) 고려대학교 지구환경과학과 도성재 (sjdoh@korea.ac.kr)

3) 고려대학교 지구환경과학과 유용재 (yongjaeyu@korea.ac.kr)

위하여, 단계별 등은 잔류자화(IRM) 획득실험을 수행하였으며 (SIRM)값을 측정하였다.

낮은 항자기력을 갖는 자철석과 같은 쉘리자성 광물과 높은 항자기력을 갖는 적철석과 같은 경사반강자성 광물의 상대적인 함량을 알아보기 위하여 SIRM값과 -300mT에서 획득한 IRM 값의 비(S-ratio)를 구하였다. 이상의 모든 자기특성 값들을 시료의 무게로 나누어 시료의 양적 변화에 의한 영향을 보정하였다. 황사입자의 형태와 조성을 알아보기 위하여, 에너지 분산 X-선 분석기(EDX)가 장착된 전자현미경(SEM) 관찰을 수행하였다.

IRM 획득 실험결과, 서울지역 황사의 경우 낮은 자화장에서 빠르게 자화를 획득하며 300mT의 자화장에서 90% 이상의 포화자화를 획득하여 주로 자철석과 같은 쉘리자성의 특성을 보이는 자성물질이 존재하는 것으로 나타났다. 반면 황사발원지 시료는 300mT의 자화장에서 80~90%의 포화자화를 획득한 이후, 최대 자화장인 1T까지 점이적인 자화획득 양상을 보이는 보여, 주 자성물질이 쉘리자성 물질이지만 적철석과 같은 경사반강자성의 물질의 영향이 일부 나타난다.

주 자성물질이 쉘리자성일 경우, χ_{LF} , ARM 및 SIRM 값은 시료 내 존재하는 자성물질 함량을 지시한다. 서울시로 유입되는 황사에 포함된 자성물질의 양적 변화를 알아보기 위하여, χ_{LF} , ARM 및 SIRM 중 측정이 가장 용이하고 신속한 χ_{LF} 을 이용하여, 4년 동안 서울시에서 발생한 황사현상 기간 동안 채취한 시료의 측정 값을 그림 1에 나타내었다. 또한, 비교를 위해, 2003년 채취한 황사 기원지 시료, 황사 현상 전·후, 그리고 여름 및 겨울의 대기분진에 대한 측정 값을 함께 나타내었다.

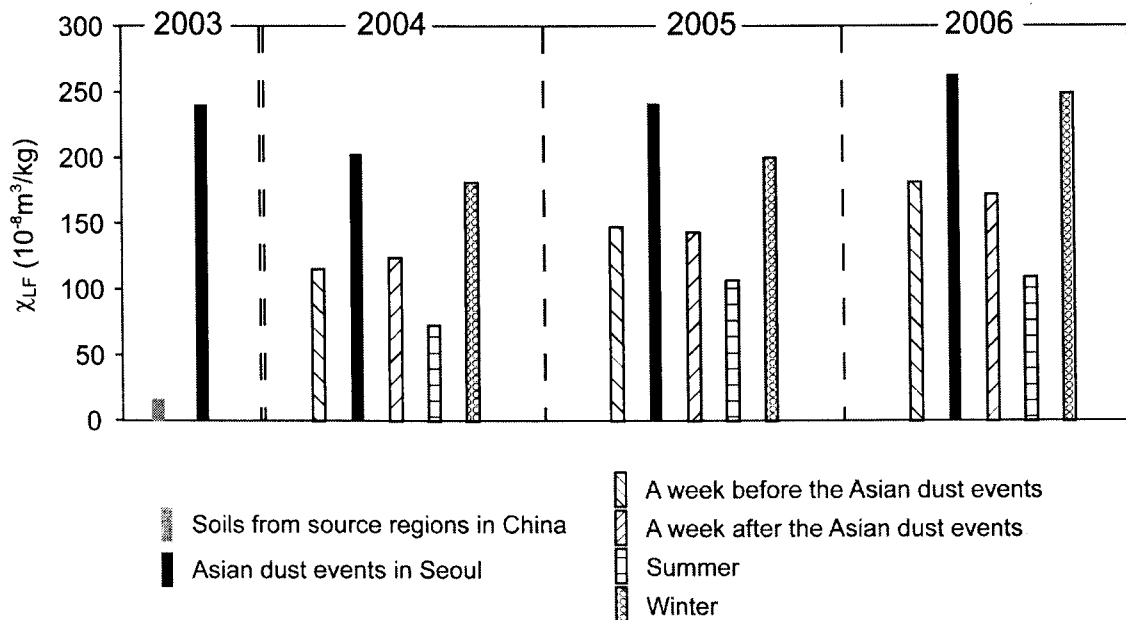


Figure 1. Annual variations of magnetic susceptibility for the Asian dust events occurred in Seoul, Korea. It is worthy of note that the magnetic susceptibilities for source region samples in China are significantly low compared to those for the Asian dust in Seoul, Korea.

서울시에서 발생한 황사기간 동안 채취된 시료의 χ_{LF} 값은 2004년에 가장 낮은 값($202.8 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$)을 보이다가 점차적으로 증가하여 2006년에 가장 높은 값($262.9 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$)을 보인다. 이는 서울시로 유입된 황사에 포함된 자성물질의 함량이 2004년 이후 점차적으로 증가되었음을 의미한다. 그러나, 여름철의 대기분진에 대한 측정 값 역시 2004년에 가장 낮고 ($72.7 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$), 이후부터는 점차적으로 증가 하였다(2006년 여름: $109.5 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$). 빈번한 강우와 비교적 정온한 풍속으로 인해 외부로부터 자성을 띄는 입자성 물질의 유입이 가장 적을

것으로 판단되는 여름의 기후를 감안할 때, 여름철 c_{LF} 값의 증가는 서울시 자체적으로 배출되는 자성물질의 양이 점차 증가하였음을 나타낸다. 이러한 경향성은 황사현상 전·후 뿐만 아니라, 겨울철 시료에도 나타나는 현상이다. 서울시에서 채취되는 황사시료는 황사 자체적인 성분 뿐만 아니라, 유입과정에서 포함되는 물질들과 서울시에서 배출되는 물질도 함께 포함하며, 황사에 포함된 자성물질의 연간 양적변화는 비교적 일정한 것으로 해석된다. 또한, 서울시 황사의 c_{LF} 값은 황사 발원지 시료의 평균 값($17.3 \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$) 보다 100배 이상의 매우 높은 값으로서, 발원지에서부터 서울시로 황사가 운반되는 과정 중, 많은 양의 자성물질이 혼합되었음을 의미한다.

전자현미경 관찰을 통하여, 서울시로 유입되는 황사에 포함된 자성물질의 형태와 성분을 확인하였다(그림 2). 입자 표면에 대한 EDX 성분분석 결과, 특징적으로 매우 높은 탄소성분이 인지되었다(그림 2a와 b). 가장 빈번히 관찰되는 입자는 구형의 형태로 나타나며, 철성분이 포함되어 자성을 띄는 것으로 예상된다(그림 2b). 입자 표면에 피복된 탄소성분의 존재는 황사가 운반되는 도중 공업지역을 통과하면서 공업지역에서 배출된 오염물질과 혼합되었을 가능성을 지시한다. 또한, 구형의 자성물질의 내부(그림 2c) 역시, 높은 탄소성분이 확인되며, 이는 화석연료의 연소에 의해 생성된 인위적 오염물질임을 지시한다. 황사발원지 시료에 포함된 자성물질의 양은 상대적으로 매우 적기 때문에(그림 1), 서울시로 유입되는 황사의 자기적 특성은 주로 구형의 자성물질에 의해 영향을 받는 것으로 판단되며, c_{LF} 와 같이 자성물질의 함량을 지시하는 자기상수는 황사연구에 있어서 인위적 오염원에서 배출되는 입자성 오염물질의 함량을 지시하는 오염의 지시자로 사용될 수 있음을 의미한다.

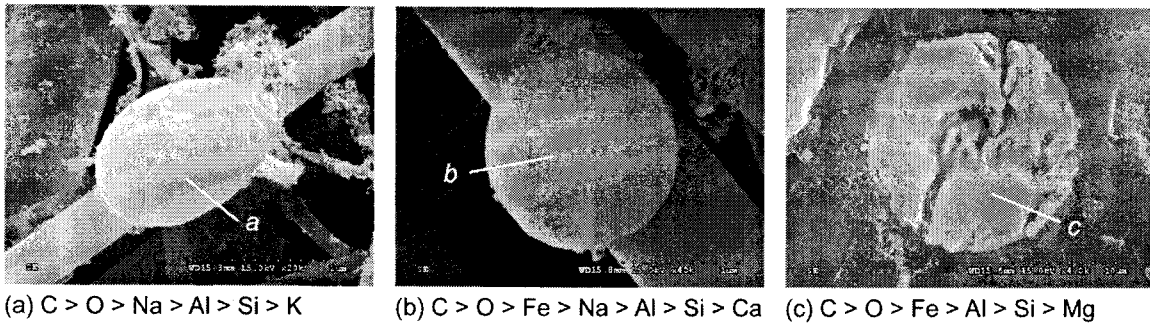


Figure 2. Scanning electron microscope photos for (a) and (b) Air-filter during Asian dust events in Seoul, and (c) inside of a magnetic spherule.

3. 결론

서울시에서 채취한 황사시료에 대한 자기적 특성 연구를 통해, 2004년 이후부터 c_{LF} 값이 점차적으로 증가하는 것을 확인하였으며, 이는 황사에 포함된 자성물질의 양이 점차적으로 증가한 결과임을 나타낸다. 또한, 전자현미경 관찰 결과는 황사에 포함된 자성물질이 주로 화석연료의 연소를 통해 생성되는 구형의 입자성 오염물질임을 지시한다. 이러한 오염물질은 황사와 혼합되어 서울시로 유입되기 때문에, 자성물질의 함량을 지시하는 자기상수는 황사연구에 있어서 인위적 오염원에서 배출되는 입자성 오염물질의 함량을 지시하는 오염의 지시자로 적합한 것으로 판단된다.