

# 서울지역 및 중국 발원지에서 채취한 황사의 자기적 특성 비교 연구

김원년<sup>1)</sup> · 도성재<sup>1)</sup> · 박용희<sup>1)</sup>

## 1. 서론

황사현상은 저기압이 중국과 몽고의 사막지대나 황토고원 지대를 통과할 때, 사막모래나 표층 황토가 건조한 공기 중으로 부유하여 확산되는 현상이다. 지리적으로 중국에 근접해 있으며, 중위도 편서풍 지대에 속해 있는 한반도는 강한 편서풍에 의해 운반되는 황사의 1차 침전지역으로서 매년 봄철이면 주기적으로 유입되는 황사에 의해 공기질 저하 및 대기의 혼탁도 증가와 같은 직접적인 오염을 겪게 된다. 최근 중국의 산업화 및 녹지의 파괴로 인하여 내몽고 고원지역 및 북경 북서쪽의 훈센다크 등지에서 건조지역이 확대됨에 따라 황사의 발생 빈도가 증가하게 되었다. 분진은 입자크기가 작을 수록 상대적으로 표면적이 증가하여 중금속과 유해 대기오염물질의 흡착이 용이해 지기 때문에(Simpton, 1992), 국내로 유입되는 황사는 중국 동부 해안지역의 공업 밀집지역에서 방출되는 오염물질의 운반 매개체가 될 가능성이 있으며, 지화학 분석을 통하여 비황사 기간에 비해 황사 기간 중 서울지역 분진 내 높은 중금속(예, Cu, Ni, Pb, Zn) 함량이 보고된 바 있다(Kim et al., 2003). 그러나, 황사에 혼합되는 오염물질은 대부분 입자성 물질이므로 입자를 구성하거나 입자에 흡착된 화학성분 뿐만 아니라, 황사를 구성하는 입자 자체의 물리적 특성, 특히 발원지와 퇴적지의 황사 입자에 대한 물리적 특성을 비교 연구함으로써 황사의 오염 및 오염원에 대하여 보다 자세한 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 신속하고 경제적인 자기적 방법을 이용하여 발원지와 서울지역 황사의 자기적 특성을 밝히고, 황사의 자기적 특성에 영향을 미치는 자성물질들에 대한 직접적인 전자현미경 관찰 결과를 바탕으로 하여, 황사연구에 있어서 자기적 방법의 활용 가능성을 검토하고자 한다.

## 2. 연구방법

본 연구를 위하여 2003년 3월 내몽고자치구 지펑(Chifeng) 지역 3개 지점의 표층 황토와 커얼친(Khorchin) 지역 2개 지점의 사막모래를 채취하였으며, 란조우(Lanzhou) 북부에서 3개 지점, 그리고 텐겔(Tengel) 사막 남쪽과 남서쪽 5개 지점에서 사막모래를 채취하였다. 서울지역에서는 성북구 안암동에 위치한 고려대학교 아산의학관 옥상과 주차장에서 2002년 3월 19일과 23일, 4월 9일, 그리고 2003년 4월 12일에 각각 6시간 동안 퇴적된 황사를 채취하였다. 채취된 시료는 7cc의 투명한 비자성 플라스틱 박스에 채워 밀봉하였다.

시료내 자성광물 함량을 알아보기 위하여, 질량 대자율( $\chi_{LF}$ ), 무자기이력 잔류자화(ARM), 포화등온 잔류자화(SIRM)값을 측정하였다. 주 자성광물의 종류를 알아보기 위하여, 단계별

---

주요어: 황사, 서울지역, 발원지, 자기특성, 전자현미경

1) 고려대학교 지구환경과학과 (김원년: wnkim@korea.ac.kr; 도성재: sjdoh@korea.ac.kr;

박용희: aegis@korea.ac.kr)

등은 잔류자화(IRM) 획득실험을 수행하였으며, 낮은 항자기력을 갖는 자철석과 같은 헤리자성 광물과 높은 항자기력을 갖는 적철석과 같은 경사반강자성 광물의 상대적인 함량을 알아보기 위하여 SIRM값과 -300mT에서 획득한 IRM값의 비(S-ratio)를 구하였다. 이상의 모든 자기특성 값들은 시료의 무게로 나누어 시료의 양적 변화에 의한 영향을 제거하였다.

시료내 포함된 자성물질의 형태 및 조성을 알아보기 위해 자력선별 방법으로 분리된 자성 물질에 대해 에너지 분산 X-선 분석기(EDX)가 장착된 전자현미경(SEM) 관찰을 수행하였다.

### 3. 결과 및 토의

단계별 IRM 획득 실험 결과(그림 1), 서울지역 황사의 경우 낮은 자화장에서 빠르게 자화를 획득하며 300mT의 자화장에서 90% 이상의 포화자화를 획득하여 주 자성 광물이 자철석과 같은 헤리자성 광물로 해석하였다. 발원지 시료의 경우 시료채취 장소와는 무관하게 비슷한 자화 획득 양상을 보였다. 전반적으로 서울지역 황사시료에 비해 천천히 자화를 획득하며, 300mT에서 80~90%의 포화자화를 획득하고 이후 최대 자화장인 1T까지 점이적인 자화 획득 양상을 보여, 주 자성광물이 자철석과 같은 헤리자성 광물이며, 적철석과 같은 경사반강자성 광물이 일부 포함되어 있는 것으로 해석하였다.

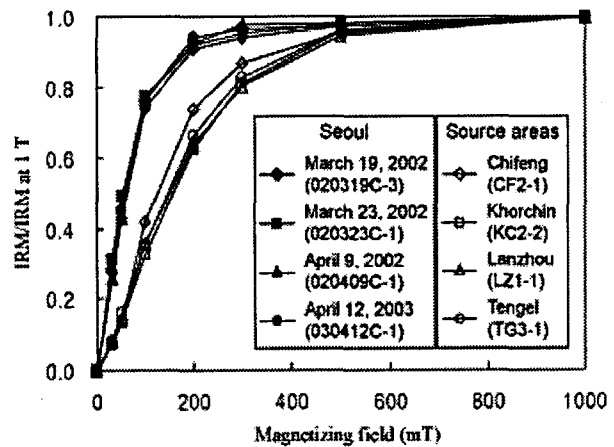


Fig. 1. IRM acquisition patterns of samples from Seoul and source areas.

Table 1. Magnetic concentration parameters for the samples from Seoul and the source areas of the Asian dust

Sampling date in Seoul & sampling area in China	$\chi_{LF}$ ( $10^{-8} \text{m}^3/\text{kg}$ )	ARM ( $10^{-5} \text{Am}^2/\text{kg}$ )	SIRM ( $10^{-5} \text{Am}^2/\text{kg}$ )
Seoul			
March 19, 2002	180.94~250.08	167.85~226.90	19071.22~23646.76
March 23, 2002	118.46~155.65	103.18~165.48	13298.91~20044.89
April 9, 2002	226.64~303.52	170.81~346.51	23813.88~51275.18
April 12, 2003	129.04~302.22	118.58~221.69	16137.00~47131.66
Source areas			
Chifeng	4.45~12.17	9.29~23.94	256.08~1014.70
Khorchin	5.53~23.85	11.10~35.79	348.75~2439.85
Lanzhou	1.05~34.83	5.70~29.51	204.33~3195.19
Tengel	7.50~56.89	6.38~51.65	555.89~5564.40

자성광물의 함량을 지시하는  $\chi_{LF}$ , ARM 및 SIRM값의 범위를 서울시 시료의 경우에는 시간별로, 발원지 시료의 경우에는 지역별로 정리하였다(표 1). 본 연구에서 사용한 모든 자성광물 함량 지시자( $\chi_{LF}$ , ARM, SIRM)들은 발원지 시료에 비해 서울지역 시료에서  $\chi_{LF}$ 값이 2.1~287.8배, ARM값이 2.0~60.8배, 그리고 SIRM값이 2.4~250.9배의 분포를 보였다. 이러한 결과는 황사가 발원지에서부터 국내로 유입되는 과정 중에 많은 양의 자성물질이 혼합되었음을 지시한다.

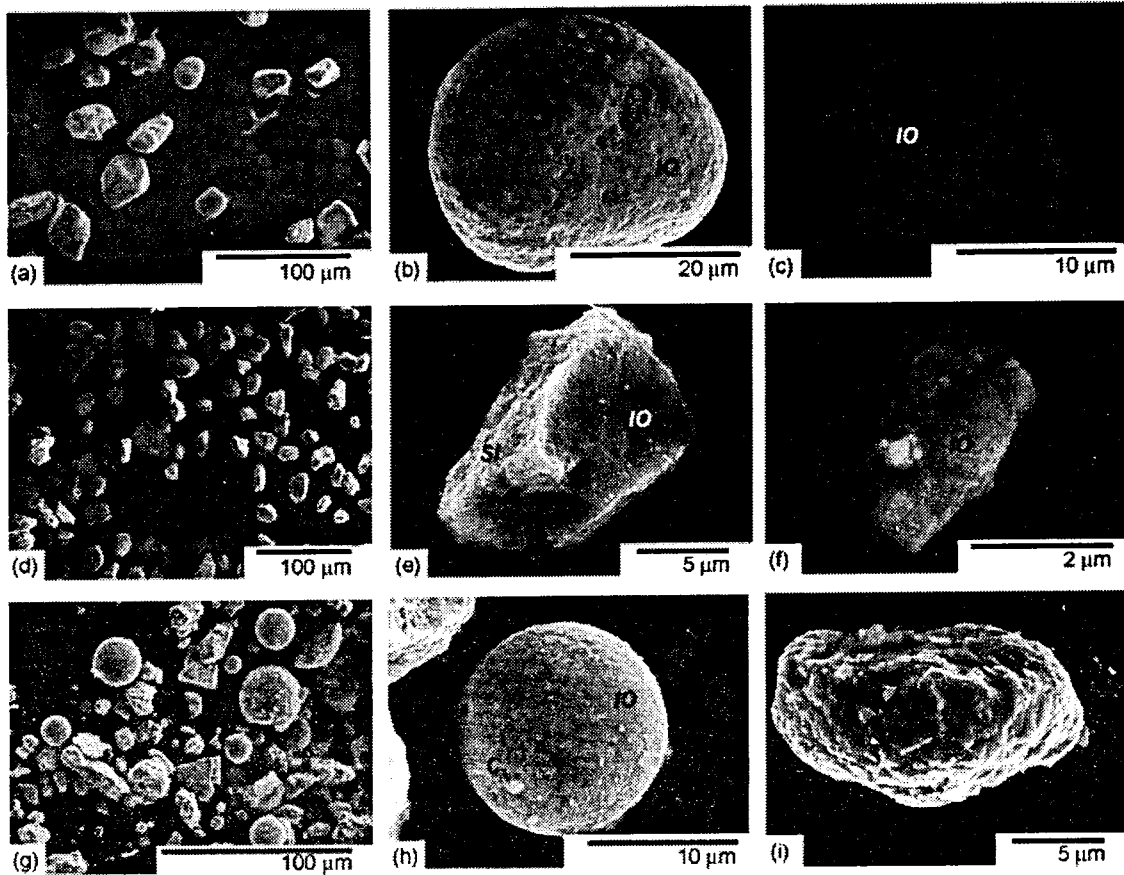


Fig. 2. SEM photographs of magnetic extracts from samples of (a~c) the Tengdel desert and (d~f) the Chifeng area in China, and those of (g~i) Seoul. C: carbon, IO: iron oxide, SI: silicates.

운반도중 혼합되는 자성물질의 형태와 성분을 알아보기 위하여 발원지 시료 및 서울지역 시료에서 자력선별 방법으로 분리된 자성물질에 대해 전자현미경 관찰을 수행하였다(그림 2). 중국 황사 발원지 중 란조우 북부, 커얼친 지역, 텐겔 사막의 사막 모래시료들은 서로 유사한 형태 및 성분을 갖는 자성물질을 함유하고 있다(그림 2a). 이들 지역에서 주로 관찰되는 자성물질은 10~50 $\mu$ m 크기의 철산화물로서 마모가 심하여 roundness가 높으며, 표면에 차별침식과 같은 흔적이 남아있다(그림 2b). 10~20 $\mu$ m 크기의 각진 형태의 철산물이 일부 관찰되지만 역시 모서리 부분에 마모의 흔적을 보이고 있다(그림 2c). 지평 지역 황토고원의 표층 황토시료(그림 2d)의 경우, 사막 모래시료에 비해 전반적으로 입자크기가 작으며, 상대적으로 마모가 심한 자성물질 보다는 각진 형태의 자성물질의 분포가 우세하다. 그림 2e는 황토고원의 표층황토 시료에서 관찰되는 대표적인 자성물질로서 철산화물과 규산염광

물이 공존하는 각진 형태의 자성물질로서 대부분 5~20 $\mu\text{m}$ 의 입자크기를 보인다. 발원지의 모든 시료에서 입자크기가 0.5~3 $\mu\text{m}$  정도의 매우 작은 자성물질도 관찰되며(그림 2f), 철산화물로 예상되지만 EDX의 분해능으로는 정확한 성분분석이 불가능 하였다. 서울지역 황사 시료에서 관찰되는 자성물질의 경우(그림 2g) 다양한 입자형태를 보이며, 주로 10 $\mu\text{m}$  안팎의 입자크기를 갖는다. 특히, 화석연료의 연소에 의해 생성되는 인위적인 구형의 철산화물(Morris et al., 1995)이 다량 관찰되며, 표면에 주로 탄소를 동반한 상태로 나타난다(그림 2h). 또한 발원지 시료에서 관찰되었던 각진 형태의 자성광물과 형태가 비슷한 자성물질이 관찰되지만(그림 2i), EDX 분석 결과 입자 표면은 매우 다양한 화학 조성을 갖는 물질(Al+Ca+K+Mg+Na+Si)로 나타났다. 이는 그림 2c 혹은 그림 2e와 같은 각진 형태의 발원지 자성물질의 표면을 운반도중 혼합된 오염물질이 피복한 결과로 예상되지만 이번 연구에서는 입자 내부 조성을 밝힐 수 없어 정확한 기원을 파악할 수 없었다. 그러나, 화석연료의 연소에 의해 생성되는 인위적인 구형의 자성물질(그림 2h)이 빈번히 관찰되는 것으로서 특히 중국 동부의 공업 밀집지역 및 국내의 서울-인천 공업지역을 통하여 황사가 운반되는 도중에 많은 양의 입자성 오염물질과 혼합되었음을 확인할 수 있었다.

운반도중 황사 발원지 시료의 자기적 특성 변화는 S-ratio값의 분포에서도 잘 나타난다(그림 3). 발원지 시료의 경우 S-ratio 값이 0.56~0.90의 범위를 보이며, 특히 텐겔 사막과 난주 지역 시료의 경우에는 0.7 미만의 매우 낮은 값을 보여 상대적으로 높은 항자기력을 갖는 적철석과 같은 경사반강자성 광물의 영향이 두드러지게 나타나지만, 서울지역 황사 시료의 경우 대부분 0.9이상 1에 가까운 값을 보여 상대적으로 낮은 항자기력을 갖는 자철석과 같은 췌리자성 광물이 주로 존재하는 것으로 해석된다. 발원지에 비해 서울지역 황사에서 낮은 항자기력을 갖는 자성물질의 양이 증가한 것은 황사가 운반되는 도중에 혼합되는 인위적인 자성물질이 대부분 항자기력이 낮은 췌리자성의 특성을 갖는 물질임을 지시한다. 이러한 해석은 화석 연료의 연소에 의해 생성되는 입자성 오염물질이 자철석과 유사한 자기적 특성 보이는 것으로 제시한 기존 연구 결과(Veneva et al., 2004)와도 잘 일치한다.

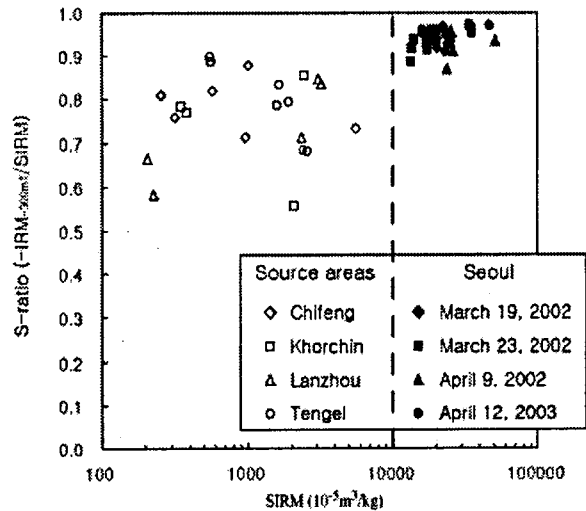


Fig. 3. Plots of SIRM versus S-ratio.

#### 4. 결론

봄철 편서풍에 의하여 국내로 운반되는 중국에서 발생한 황사는 중국 동부의 공업 밀집지역 및 국내의 서울-인천 공업지역을 통과하게 될 때, 이들 지역에서 화석연료의 연소에 의해 생성된 낮은 항자기력을 갖는 인위적인 자성물질과 혼합된 후 서울지역으로 유입된다. 서울지역 황사는 양적으로 증가된 인위적인 자성물질의 영향으로 발원지 시료에 비해 높은 자성물질 함량을 보이며, 발원지 시료에서 나타난 적철석과 같은 높은 항자기력을 갖는 자성물질의 영향이 상대적으로 감소되어 자철석과 같은 낮은 항자기력을 갖는 자성물질의 영

향이 주로 나타나게 되었다.

본 연구에서는 발원지와 서울지역 황사에 대하여 자기적 특성을 비교함으로써 정성적으로 황사의 운반도중 오염을 확인하였으며, 오염물질 자체에 대한 자기적 특성을 제시하였다. 또한, 자기적 특성 및 전자현미경 관찰 결과를 바탕으로 주요 입자성 오염물질 중 하나인 인위적인 구형의 자성물질의 존재를 확인하였고, 그 기원을 추론할 수 있었다. 차후 각각의 자기특성 지시자 값들과 지화학 분석으로 제공될 수 있는 개별 원소에 대한 함량 자료와의 상관관계 분석이 이루어 질 경우, 매년 봄철 국내 대기오염의 주요인이 되는 황사에 의한 오염정도를 경제적이고 신속한 자기적인 방법을 이용하여 손쉽게 예측할 수 있을 것으로 기대된다.

## 5. 참고문헌

- Kim, K.H., Choi, G.H., Kang, C.H., Lee, J.H., Kim, J.Y., Youn, Y.H. and Lee, S.R., 2003, The chemical composition of fine and coarse particles in relation with the Asian Dust events. *Atmos. Environ.*, **37**, 753-765.
- Morris, W.A., Versteeg, J.K., Bryant, D.W., Legzdins, A.E., McCarry, B.E. and Marvin, C.H., 1995, Preliminary comparisons between mutagenicity and magnetic susceptibility of respirable airborne particulate. *Atmos. Environ.*, **29**, 3441-3450.
- Simpton, R.W., 1992, A statistical analysis of particulate data sets in Brisbane. *Australia Atmos. Environ.*, **26B**, 99-105.
- Veneva, L., Hoffmann, V., Jordanova, D., Jordanova, N. and Fehr, Th., 2004, Rock magnetic, mineralogical and microstructural characterization of fly ashes from Bulgarian power plants and nearby anthropogenic soils. *Phy. Chem. Earth*, **29**, 1011-1023.