

3B1) 석영 라만 채널을 이용한 황사-비황사 농도 구분

Concentration Separation of Dust and Non-dust Particles Using Quartz Raman Channel

노영민 · 신동호 · 이경화 · Detlef Mueller

광주과학기술원 환경공학과

1. 서 론

중국 내륙의 타클라마칸 사막, 고비사막, 황토고원, 만주지역 및 몽골에서 발생하여 인접한 중국, 한국, 일본뿐만 아니라 태평양과 알래스카 및 미국본토까지 이동하기도 하는 먼지입자를 일반적으로 황사(Asian dust)로 지칭하며, 북아프리카에서 발생하는 Saharan dust와 함께 주요한 먼지입자의 발생원이다. 봄철에 주로 발생하는 황사는 발생지역 및 이동 경로상 지역의 대기질을 악화시키고 산업, 경제 및 보건에 악영향을 미친다. 황사는 근래에 들어 그 발생 빈도가 증가하고 있고, 발생시 강도가 매우 강한 사례 또한 증가하고 있어 황사에 대한 중요성은 동아시아뿐만 아니라 전 세계적으로 부각되고 있다. 황사와 더불어 동아시아 지역 대기질과 관련된 다른 중요한 성분은 중국의 산업화와 경제발전의 부산물인 인위적 오염 입자(Anthropogenic particles)로 최근 발생량이 감소하고 있는 세계적 추세와는 반대로 동아시아 지역에서는 그 양이 증가하고 있으며 편서풍을 통한 장거리 이동으로 인하여 한국 및 일본의 대기질 변화 및 기후변화에도 많은 영향을 미치고 있다. 이러한 황사와 오염입자의 발생 및 장거리 이동은 매년 동아시아 지역에서 심각한 대기질 저하 현상을 유발한다. 다양한 고도로 이동하는 황사 입자들은 때로는 6 km 정도의 높은 고도로 이동하여 일반적 오염 입자나 biomass burning 에어로졸과는 분리되어 이동하기도 하나, 많은 경우에 중국의 산업 지역 및 도심 지역을 거쳐 이동하면서 오염입자 등과 혼합되어 장거리 이동하므로 황사와 비황사의 농도를 구분하는 것이 필요하다.

본 연구는 동아시아 지역에서 발생하여 장거리 이동하는 황사와 오염입자를 농도를 고도별로 구분하기 위하여 광주과학기술원의 다파장 라만 라이다 시스템에 새로이 석영 라만 채널을 설치하여 성능을 테스트하였다. 그리고, 관측 기간 중 황사가 발생한 2009년 3월 31일의 데이터를 분석하였다.

2. 연구 방법

대기 관측에 사용된 장비는 광주과학기술원의 다파장 라만 라이다 시스템으로 시스템의 구조 및 관측 방법은 Noh et al.(2007, 2008)에 설명되어 있다. 본 연구에서는 기존의 라이다 시스템에 새로이 석영 라만 채널을 추가하여 황사-비황사의 고도별 농도구분을 하고자 한다. 본 연구에 사용된 석영 채널은 정식 채널 구축전에 성능 테스트를 위한 임시 채널 관측 결과를 분석하였다. 석영 라만 산란 신호의 해석은 Ansmann et al. (1990)의 라만 해석방법에 기초하여 분석한다.

$$P_R(r, \lambda_L, \lambda_R) = P_L \frac{B_R F_R(r)}{r^2} \beta_R(r, \lambda_L, \lambda_R) \times \exp\left(-\int_0^r [\alpha_p(z, \lambda_L) + \alpha_m(z, \lambda_L) + \alpha_p(z, \lambda_R) + \alpha_m(z, \lambda_R)] dz\right)$$

여기서, $P_R(r, \lambda_L, \lambda_R)$ 은 라만 파장 λ_R 에서 거리 r 에서의 수신된 신호의 세기를 나타낸다. P_L 과 λ_L 은 조사된 레이저의 세기 및 파장을 나타내며 $F(r)$ 은 송신부 및 수신부의 geometrical form factor이다. B 는 모든 부분의 독립적 요소를 포함하는 상수이며, $\beta_R(r, \lambda_L, \lambda_R)$ 는 라만 후방산란 계수이다. 에어로졸과 공기분자의 소산계수는 각각 a_p 과 a_m 으로 표시된다. 시스템 요소(B 와 $F(r)$)를 알면 수신된 라만 산란 신호로부터 목적 물질(여기선 석영)의 라만 후방산란 계수를 알 수 있다. Geometrical form factor와 효율은 기기보정을 위한 관측을 통하여 산출할 수 있다. 소산계수는 질소분자의 라만 산란광의 관측을 통하여 레이저 파장대에서 가정없이 산출할 수 있다.

위의 식에서 석영 라만 산란식을 해석하기 위해서는 파장 λ 에서 공기분자에 의한 고도별 소산계수와 후방산란계수인 $a_m(r, \lambda_L)$ 와 $\beta_m(r, \lambda_L)$ 의 라만 파장에서 입자의 소산계수를 알아야만 한다. 공기 분자에 의한 산란값은 표준대기나 모델 결과 값으로부터 산출할 수 있고 석영의 라만 파장에서의 에어로졸 소산계수는 레이저 파장에서의 소산계수와 상관관계로부터 산출할 수 있다(Ansmann et al., 1990). 분석 이론에 대한 자세한 설명은 Tatarov and Sugimoto(2005)의 이론을 참조할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

테스트 석영 라만 채널을 이용한 라이다 관측은 2009년 3월 31일 실시되었다. 관측 당시 중국으로부터 유입된 haze가 관측되어 광주지역의 지상 관측 PM₁₀ 농도가 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 달하였다. 그림 1은 3월 31일에 관측된 haze의 소산계수, 라이다 비, 그리고 편광소멸도 값을 보여준다. Haze는 2 km 고도까지 분포하였으며, 발생한 haze의 편광소멸도는 10%의 값을 보여 일반적으로 중국지역으로부터 유입된 오염 입자

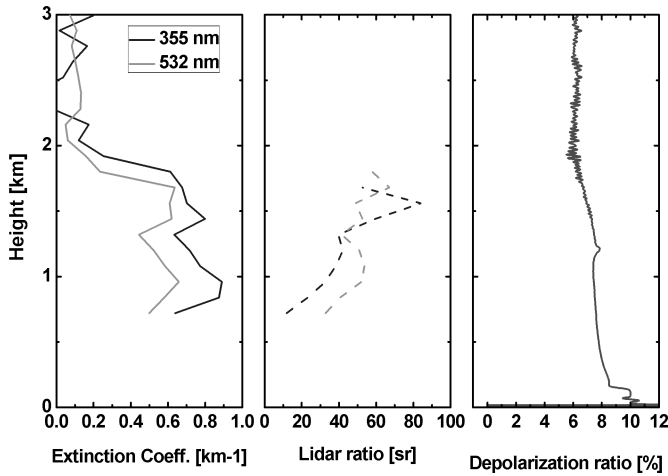


Fig. 1. Extinction coefficient, lidar ratio and depolarization ratio measured at 31 March 2009.

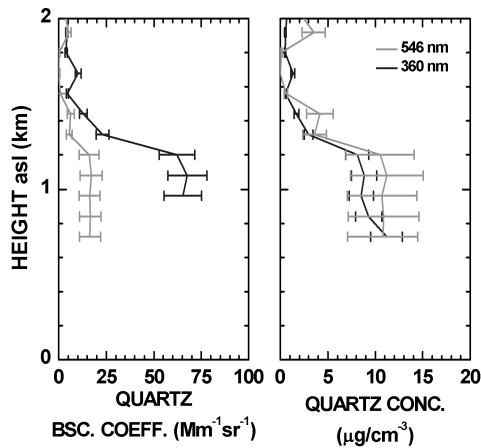


Fig. 2. Quartz backscatter coefficient and Quartz concentration at 360 and 564 nm.

가 보이는 5% 전후의 값보다 높으나 황사가 보여주는 15~30% 보다는 낮은 값을 나타내었다. 이는 관측된 haze가 황사와 비황사가 혼합된 것으로 판단된다. 관측 당일의 석영 라만 채널 분석 결과는 그림 2에 나타나있다. 360 및 546 nm의 두 석영 채널 관측으로 분석된 석영의 후방산란계수는 각각 70과 20 $\text{Mm}^{-1}\text{sr}^{-1}$ 이었다. 이를 바탕으로 산출된 석영의 농도는 8~10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 값을 보였다. 황사 성분에서 석영이 차지하는 비율이 30% 정도로 가정할 때, 관측 당시 haze에 포함된 황사의 농도는 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 고려된다.

정확한 황사의 농도를 알기 위해서는 황사 발원지 별 석영의 비율에 관한 연구가 향후 필요할 것으로 판단된다.

사 사

이 연구는 기상청 기상지진기술개발사업(CATER 2009-3112)의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- Boyan Tatarov, Nobuo Sugimoto, Ichiro Matsui (2002) LIDAR DETERMINATION OF QUARTZ CONCENTRATION IN THE TROPOSPHERIC MINERAL AEROSOLS - METHODOLOGY AND FIRST RESULTS. 24th ILRC, Boulder Colorado, USA.
- Noh, Y.M., Y.J. Kim, and D. Müller (2008) Seasonal characteristics of lidar ratio measured with a Raman lidar at Gwangju, Korea in spring and autumn, Atmospheric Environment, 42, 2208-2224.
- Noh, Y.M., Y.J. Kim, B.C. Choi, and T. Murayama (2007) Aerosol Lidar Ratio Characteristics Measured by a Multi-Wavelength Raman Lidar System at Anmyeon Island, Korea, Atmospheric Research, doi:10.1016/j.atmosres.2007.03.006.