

PA57) 탄성, 라만 및 비편광 라이다를 이용한 대기 중 에어로졸의 특성 측정에 관한 연구

Development of Meteorological Elastic, Raman, and Depolarization Lidar and Measurement of the Aerosol Characteristics

송임강 · 김덕현¹⁾ · 백성훈²⁾ · 차형기²⁾ · 양기호²⁾ · 김용기 · 류지욱

공주대학교 물리학과, ¹⁾한밭대학교 교양학부, ²⁾한국원자력연구원 양자광학연구부

1. 서론

환경에 대한 지식이 날로 증대되고 인간의 활동이 다양해짐에 따라 환경과 날씨 정보에 대한 수요는 더 많아지고 그만큼 정확한 정보를 생활에 이용하려는 욕구는 더욱 커지고 있다. 특히 PM₁₀이나 PM_{2.5}와 같은 입자상 물질은 자극성 가스를 흡수하거나 흡착하여 에어로졸 상태로서 폐의 깊은 곳까지 침입하여 침착한 후, 호흡 기능을 저하시킬 뿐만 아니라 폐질환을 유발하는데 입자 크기에 따라 호흡기계에 침착하는 정도가 다르다. 또한 입자 크기에 따라 침전, 빛의 분산 현상 및 시야를 방해하는 현상 등이 발생한다. 최근 건강에 대한 관심이 높아지면서, 건강과 연관하여 환경에 관한 관심 또한 날이 증가하고 있는 실정이다. 이에 라이다 기술의 발달과 함께 에어로졸의 분석에 관해 많은 연구들이 이루어졌는데, 에어로졸의 모양이나 크기 분포의 변화 등을 높은 고도까지 동시에 측정하는 연구는 장치의 복잡성과 기법이 개발되어 있지 않아서 아직 세계적으로도 이루어지지 않고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 탄성 신호와 라만 신호를 동시 측정할 수 있는 자체 개발한 다파장 라만 라이다를 이용하여 에어로졸의 특성을 파악하고자 한다.

2. 연구 방법

에어로졸의 후방산란계수 값을 통해 대기중에 존재하는 에어로졸 입자가 얼마나 많이 분포되어 있는지에 관한 특성 분석이 가능하다. 또한 회전 라만 및 탄성 신호를 이용하여 후방 산란비 $[BR = \beta_{\text{rot}}^{\perp}(z) / \beta_{\text{el}}^{\perp}(z)]$ 를 구함으로써 에어로졸의 크기 분포를 알 수 있으며, 편광소멸도(depolarization) 측정 기술은 기상에서 액체나 고체 상태인 구름의 입자와 에어로졸의 모양을 구별할 수 있다. 즉 편광소멸도 측정 기술은 구형성을 갖는 물방울의 형태가 아니라 얼음 알갱이로 구성된 빙정운(Ice cloud) 형태로 존재하는 권운이나 황사층에 대한 측정이 가능하고 편광소멸 비율($\delta = P_1 / P_{\text{PVER}}$)을 구할 수 있으며 입자의 모양과 크기에 따라 편광소멸도와 BR 값이 서로 다른 값을 갖기 때문에 산란에서 유용한 정보를 제공할 수 있다.

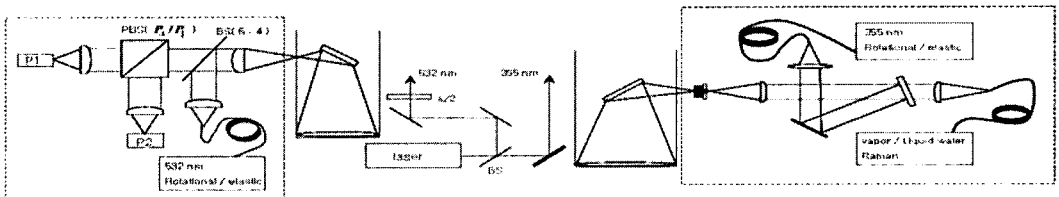


Fig. 1. Raman Lidar system for the meteorological parameters.

본 연구에서 사용된 실험 장치는 355nm와 532nm로 구성된 라만 라이다 시스템으로, 전체 시스템의 구성도는 그림 1과 같다. 레이저 원은 펄스 반복율이 30Hz인 Nd:YAG 3차 조화파(355nm)와 2차 조화파(532nm)를 사용하였다. 이 때의 펄스당 에너지는 355nm는 50mJ이고, 532nm는 150mJ이고, 레이저에서

발진된 광원은 빔 분리기를 통해 355nm와 532nm로 각각 분리하였다. 532nm의 빔은 wave plate($\lambda/2$ polarizer)를 설치하여 선형 편광된 레이저 빔을 임의의 편광 방향으로 변화시켜 대기중으로 조사하였다. 수신 장치로는 355nm와 532nm의 망원경을 설치하여 각각의 수신광학계를 구성하였다. 355nm의 망원경에서 수신한 산란 신호는, 355nm 파장용 Mie/Rotation Raman 수신광학계와 물방울/수증기를 측정하는 광학계로 분리하였다. 355nm의 수신광학계에서는 회전 라만 신호와 탄성 신호를 구별하여 측정한다. 라만 신호에서 진동 라만 산란 단면적은 레일리 산란의 단면적보다 10^{-3} 배 작다. 또한 진동 라만 산란은 Mie 산란과 파장의 차이가 커서 라이다 수식이 복잡해지게 되어 산란계수를 정확하게 알 수 없다. 반면에 회전 라만 산란의 단면적은 레일리 산란의 단면적보다 작지만, 진동 라만 산란 신호보다 수 퍼센트 크다. 그래서 진동 라만 신호보다 회전 라만 신호가 클 뿐만 아니라 정확한 소광계수를 측정할 수 있기에 회전라만 신호를 이용하였다. 532nm의 망원경에서 수신한 산란 신호는 빔 분리기에서 532nm와 편광 소멸도를 측정할 수 있는 각각의 수신광학계로 광섬유를 통해서 6:4 비율로 유도되는데, 532nm의 수신광학계에서도 355nm의 수신광학계와 마찬가지로 회전 라만 신호와 탄성 신호를 구별하여 측정하였다. 편광소멸도를 측정할 수 있는 수신계로 유도된 산란 신호는 에어로졸의 모양에 의한 편광 산란 특성에 따라 편광소멸도 값이 변화되어 빛의 진행 방향과 수직인 편광과 평행한 편광으로 편광 빔 분리를 통해 구분하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 개발된 장치로 얻어지는 전형적인 회전라만 신호를 보여준다. 355nm와 532nm 수신광학계에서 각각 얻어지는 회전 라만 및 탄성 신호이다. 라만 라이다 시스템에서는 라만 채널에 탄성 산란신호를 최대한 제거하는게 가장 중요한데 획득한 데이터를 보면 라만 채널에서 어떠한 peak도 발생하지 않았다. 에어로졸에 산란되어 수신된 신호를 보면, 대체로 작은 에어로졸이 4.5km 이전까지 분포되어 있다가 4.5km 부근의 에어로졸(구름)에 산란되면서 탄성 신호는 급격히 증가하고 회전 라만 신호는 현저히 감소하면서 상반된 모습을 나타내고 있다. 그림 3은 그림 2의 데이터에서 후방산란 계수를 355nm와 532nm의 회전 라만 및 탄성신호로 각각 도출해낸 데이터이다. 4.5km 부근에서 입자가 큰 에어로졸이 형성되어 있음을 알 수 있다. 또한 900m 부근에서는 지표층의 영향을 받아 에어로졸, 매연 및 부유분진이 존재하는 경계층(boundary layer)이 형성되었음을 관찰할 수 있다.

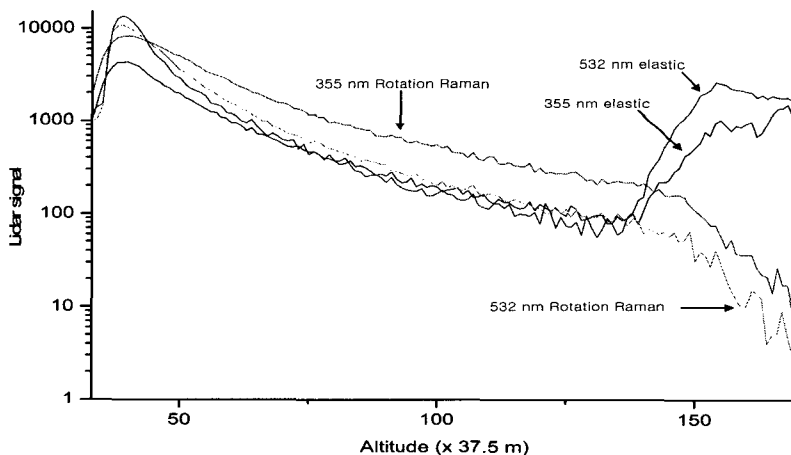


Fig. 2. Rotation Raman and elastic lidar signals.

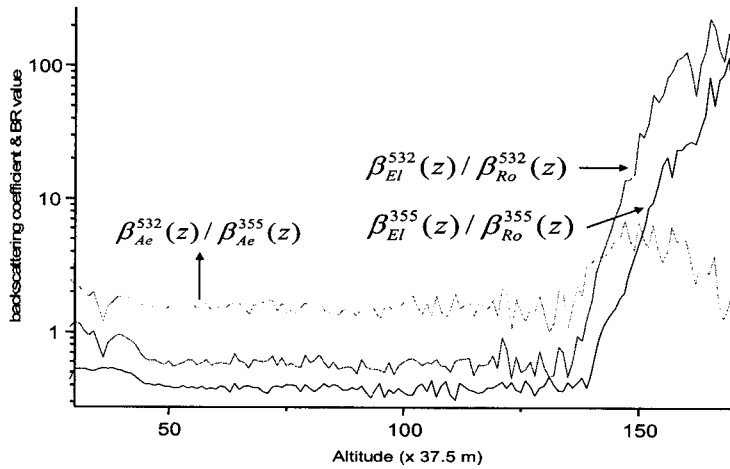


Fig. 3. Aerosol backscattering coefficients at 355nm and 532nm.

사 사

본 연구는 기상지진기술개발사업(CATER-2006-3101)의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- Kerker, M. and D.D. Druger (1979) Raman and fluorescent scattering by molecules embedded in spheres with radii up to several multiples of the wavelength, Appl. Opt. 18, 1172.
- Veselovskii, A., H.K. Cha, D.H. Kim, S.C. Choi, and J.M. Lee (2001) Study of atmospheric water in gaseous and liquid state by using combined elastic-Raman depolarization lidar, Appl. Phys. B 73, 739-744.
- Wandinger, U, A. Ansmann, and C. Weitkamp (1994) Atmospheric Raman depolarization-ratio measurements, Appl. Opt. 33. 5671.