

기상 측정용 다채널 라만·비편광 라이더 장치 개발 및 황사 측정에 관한 연구

Development of meteorological Raman and depolarization lidar and measurement of the Asian Dust

송입강, 김덕현¹⁾, 백성훈²⁾, 차형기²⁾, 김용기, 류지욱
공주대학교 물리학과, ¹⁾한밭대학교 교양학부, ²⁾한국원자력연구원 양자광학연구부
ik-486@hanmail.net

대기 중의 에어로졸은 태양으로부터 입사되는 에너지의 차단, 흡수 및 산란에 대한 정보를 직접적으로 제공하기 때문에 에어로졸의 광학적 특성을 밝히는 것은 매우 중요하다. 뿐만 아니라 최근 건강에 대한 관심이 높아지면서, 건강과 연관하여 환경에 관한 관심 또한 날이 증가하고 있는 실정이다. 황사의 경우, 2000 년대에 들어 발생 빈도수가 급격히 증가하고 있는데, 이런 에어로졸의 증가는 지구 냉각화에 직접적인 영향을 미칠 뿐만 아니라, 구름 생성의 응결핵으로 작용하여 대기 복사 체계에 간접적인 영향을 준다. 또한 식물의 기도를 막아 광합성 작용을 방해하거나, 입자 크기에 따라 호흡기계에 침착하는 정도의 차이가 있지만 인체에 각종 질환을 일으킨다. 그리고 에어로졸 입자 크기에 따라 빛의 분산 현상 및 시야를 방해하는 현상 등이 발생한다. 이처럼 에어로졸의 후방산란계수 값을 통해 대기 중에 존재하는 에어로졸 입자가 얼마나 많이 분포되어 있는지에 관한 특성 분석이 가능하다. 이에 라이더 기술의 발달과 함께 에어로졸의 분석에 관해 많은 연구들이 이루어졌지만, 에어로졸의 모양이나 크기 분포의 변화 등을 높은 고도까지 동시에 측정하는 연구는 장치의 복잡성과 (S/W)기법이 개발되어 있지 않아서 아직 세계적으로도 그 방법이 완성 단계에 이르지 못하고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 탄성 신호와 라만 신호를 동시 측정할 수 있는 자체 개발한 다파장 라만 라이더를 이용하여 에어로졸의 특성을 파악하고자 한다.

먼저 회전 라만 및 탄성 신호를 이용하여 후방산란비 $[BR = \beta_{ae}^{\lambda_1}(z) / \beta_{ae}^{\lambda_2}(z)]$ 를 구함으로써 에어로졸의 크기 분포를 알 수 있고, 편광소멸도(depolarization) 측정 기술은 기상에서 액체나 고체 상태인 구름의 입자와 에어로졸의 모양을 구별할 수 있다. 즉 편광소멸도 측정 기술은 구형을 갖는 물방울의 형태가 아니라 얼음 알갱이로 구성된 빙정운(Ice cloud) 형태로 존재하는 권운이나 황사층에 대한 측정이 가능하다. 이로써 편광소멸 비율($\delta = P_{\perp} / P_{\parallel}$)을 구할 수 있으며 입자의 모양과 크기에 따라 편광소멸도와 BR 값이 서로 다른 값을 갖기 때문에 산란에서 유용한 정보를 제공할 수 있다.

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

빔은 wave plate($\lambda/2$ polarizer)를 설치하여 선형 편광된 레이저 빔을 임의의 편광 방향으로 변화시켜 대기 중으로 조사하였다. 수신 장치로는 355 nm와 532 nm의 망원경을 설치하여 각각의 수신광학계를 구성하였다. 355 nm의 망원경에서 수신한 산란 신호는, 355 nm 파장용 Mie/Rotation Raman 수신광학계와 물방울/수증기를 측정하는 광학계로 분리하였다. 355 nm의 수신광학계에서는 회전 라만 신호와 탄성 신호를 구별하여 측정한다. 532 nm의 망원경에서 수신한 산란 신호는 빔 분리기에서 532 nm와 편광소멸도를 측정할 수 있는 각각의 수신광학계로 광섬유를 통해서 6 : 4 비율로 유도되는데, 532 nm의 수신광학계에서도 355 nm의 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.

그림 2. 는 개발된 장치로 얻어지는 전형적인 회전라만 신호를 보여준다. 355 nm와 532 nm 수신광학계에서 각각 얻어지는 회전 라만 및 탄성 신호이다. 대체로 작은 에어로졸이 4.5 km 이전까지 분포되어 있다가 4.5 km 부근의 에어로졸(구름)에 산란되면서 탄성 신호는 급격히 증가하고 회전 라만 신호는 현저히 감소하면서 상반된 모습을 나타내고 있다. 그림 3. 은 그림 2. 의 데이터에서 후방산란 계수를 355 nm와 532 nm의 회전 라만 및 탄성신호로 각각 도출해낸 데이터이다. 4.5 km 부근에서 입자가 큰 에어로졸이 형성되어 있음을 알 수 있다. 또한 900 m 부근에서는 지표층의 영향을 받아 에어로졸, 매연 및 부유분진이 존재하는 경계층(boundary layer)이 형성되었음을 관찰할 수 있다. 그림 4. 는 흐린 날과 5월 30 일 황사가 발생한 날의 편광소멸도가 시간적으로 변화하는 것을 보이고 있다. 기상청 관측 자료와 같이 지상 500 m 이내에서 황사 입자가 밀집되어 있는 것을 확인하였다.

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

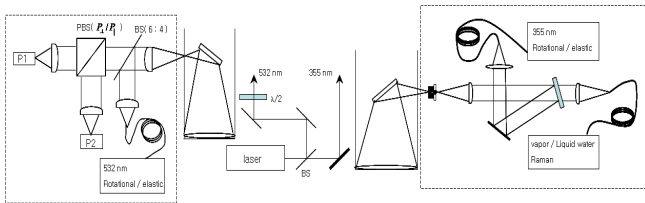


그림 1. 본 연구에서 사용한 라만 라이더 시스템

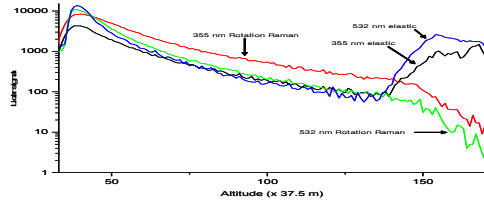


그림 2. 전형적인 라만 라이더 신호

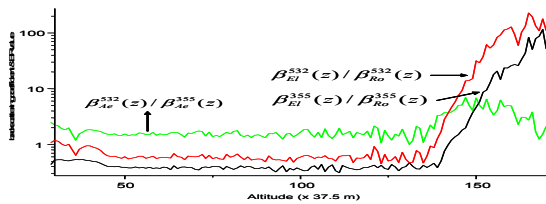


그림 3. 355 nm 와 532 nm 에서 에어로졸의 후방산란계수

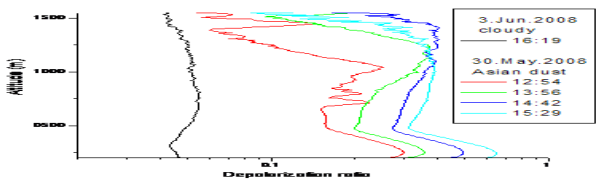


그림 4. 흐린 날과 황사 발생한 날의 편광소멸도

1. U.Wandinger, A.Ansmann, C.Weitkamp (1994) Atmospheric Raman depolarization-ratio measurements, Appl. Opt. 33. 5671
2. A.Veselovskii, H.K.Cha, D.H.Kim, S.C.Choi, 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
3. D. Kim, H. Cha, S. Park, J. Zhou, W. Zhang, Applied Physics B, Vol. 82, 1(2006)