

레이저광의 편광특성과 대기 온도의 원격 측정을 통한 대기 중 에어로졸 특성 변화 측정

Remote Measurement of Aerosol Characteristics by Measuring Laser Depolarization Ratio and Temperature

김덕현, 박상순, 양기호, 차형기
한국원자력연구소, 양자광학기술개발부
dhkim3@kaeri.re.kr

지구의 온난화, 이상 기온, 이상 강우 등 광역적 혹은 국지적 기상변화를 연구하기 위하여 온실가스의 연구는 오랫동안 수행되어 그 역할이 매우 중요시되고 또한 검증되어있는 실정이다. 반면에 대류권이나 대기 상층에 존재하는 에어로졸의 기상학적 역할은 아직 이해가 부족하고 그 역할이 정확하게 규명되어 있지 못하다. 대기 상층의 에어로졸이 지구의 광역적 기상 변화에 중요한 인자라 한다면 지표면에 존재하는 입자는 국지적 변화에 민감하게 작용한다. 특히 구름의 생성과 발달과 관계하는 대기의 온도, 에어로졸 그리고 수증기의 밀도 변화와 기류의 특성 및 지역적 특성을 면밀히 고찰하는 것은 이상 기온 변화를 조기에 감지하는 선결조건이다.

대기 중의 에어로졸의 절대량과 크기분포를 측정하는 것도 환경/보건학적으로도 매우 중요하지만, 원격으로 그 크기별 밀도를 측정하는 것은 매우 까다롭고 많은 오차를 포함하고 있으며, 많은 고가의 장비들을 필요로 하게 된다¹. 반면에 고체 상태의 에어로졸과 액체 상태의 에어로졸의 구별, 산란계수의 측정, 온도 측정은 레이저와 간단한 분광기만으로도 충분히 측정이 가능하고, 또한 액체상태에서 고체상태로의 상태의 천이 혹은 기체 상태에서 액체 상태로의 천이 등과 같은 변화를 밝힐 수 있기 때문에 매우 유용한 기상 정보를 제공한다.

본 연구에서는 532 nm의 Nd:YAG 레이저를 이용하여 고도에 다른 온도의 변화와 에어로졸의 밀도 그리고 에어로졸의 상태 변화를 관측하였다. 에어로졸의 상태 변화를 측정하기 위하여 편광라이다를 구성하였다. 그림 1 은 전통적인 편광라이다 구성을 보여 준다. 이는 일정한 방향으로 편광된 레이저를 대기 중에 조사시키고 대기 중에서 산란된 빛을 원래의 방향으로 편광된 빛과 직각 방향으로 편광된 빛으로 나누어 산란 물질의 모양을 관측하는 것이다. 이상적인 경우 두 신호의 비는 산란물질의 모양에만 관계된다. 그러나 에어로졸 입자의 밀도가 높아져 산란 신호의 양이 많아지면, 센서의 선형도가 떨어지고, 광학계의 정렬상태에 따라 두 채널의 편광 독립성이 감소하기 때문에 실험 전에 충분한 검증과정을 거쳐야한다. 구형의 입자의 경우 편광도가 깨어지지 않기 때문에 대부분의 산란 신호는 원래 방향의 편광이 수신된다. 반면에 대기 중에 꽃가루, 혹은 황사의 먼지나, 구름을 이루고 있는 입자가 얼음 알갱이 일 경우 그 편광도가 깨어지기 때문에 산란 물질의 상태를 알 수 있다.

온도를 측정하는 원격 측정장치는 공기분자(산소, 질소)의 회전 라만 산란 신호를 얻는 것으로서 양자수 $J=6, -6$ 과 $J=+12, -12$ 에 해당하는 신호를 얻어서 그 비를 구함으로써 온도 측정이 가능하다. 회전라만 라이다 신호는 탄성라만 신호와 인접하기 때문에 탄성라만 산란신호의 파장을 충분히 제거하는 방법이 필요하다. 본 연구에서는 두개의 회절판을 이용하여 산란신호를 두 번 분광기를 통과하도록 하였다. 분광기를 통과한 회전라만 신호의 전형적인 모양은 그림 2 에 나타내었다. 그림에서는 구름이 존재하는 경우에 얻어지는 신호를 나타낸 것이다. 그림에서 극대점이 있는 곡선은 탄성산란신호를 나타낸 것이고, 그렇지 않은 것은 회전라만 신호를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 탄성 산란 신호가 강하게 나타나는 지점은 구름이 존재하는 지점을 나타내

고 있는데, 회전 라만 신호는 그 지점에서 신호가 증가하지 않음을 볼 수 있다. 이는 회전 라만 신호를 얻는 수 실험장치로 탄성산란신호가 유입되지 않는다는 것을 보여준다.

그림 3 은 황사(3km)의 후방산란 계수와 권운(10km)의 후방산란 계수를 나타낸다. 두 경우 모두 큰 산란 신호를 나타내고 있음을 알 수 있다. 후방산란 신호는 에어로졸의 총량에도 관계되기 때문에 그 값 자체로는 에어로졸의 종류를 결정하는 변수가 될 수 없다. 그림 4 는 같은 라이다 신호로 얻은 소광계수에 해당하는 기울기를 나타낸 것이다. 기울기가 큰 것이 소광계수가 큰 것을 의미하는데, 10 km 근처에 존재하는 권운의 경우 후방산란계수는 황사보다 크나 소광계수에 해당하는 기울기는 오히려 더 작음을 알 수 있다. 즉 두 신호의 비는 에어로졸의 종류를 밝히는데 사용할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 산란계수 값, 비편광도 그리고 온도를 동시에 측정하여 에어로졸의 특성 변화가 어떤 변수에 관련되는지 밝혔다.

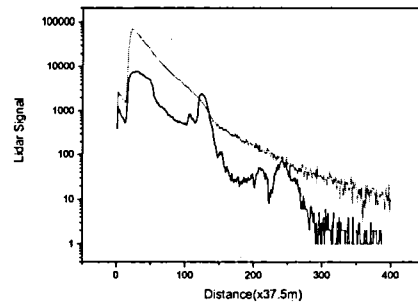
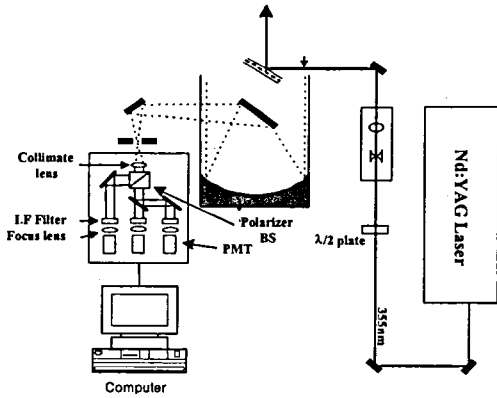


그림 1 편광라이다의 개념도

그림 2 회전 라만 신호 및 탄성라만 신호

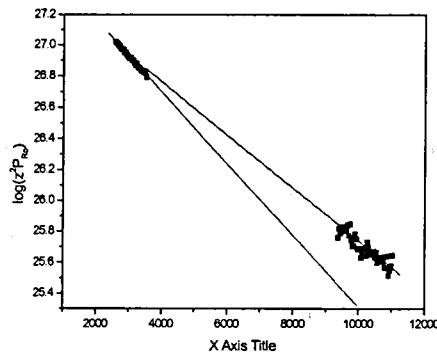
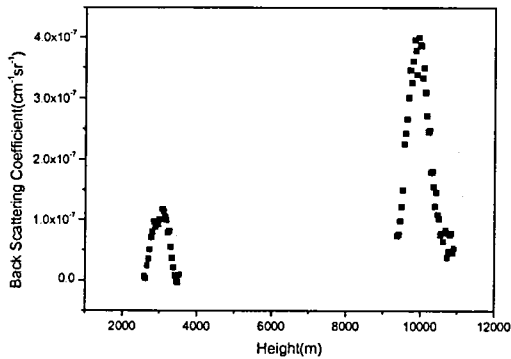


그림 3. 황사와 권운의 편광도

그림 4. 황사와 권운의 소광계수

참고문헌

[1] I. Veselovskii, A. Kolgotin, V. Griaznov, D. Muller, U. Wandinger, and D. N. Whiteman, " Inversion with regularization for the retrieval of tropospheric aerosol parameters from mutiwavelength lidar sounding", Appl. Opt. 41,3685(2002)