

대기 및 환경 파라메타의 원격측정

Remote sensing of the environmental & meteorological Parameters

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

초기 광학이론의 발달은 태양이 지구로 입사하면서 생기는 여러 현상에서 출발했고 그리고 몇세기를 통해서 연구가 이루어지고 있으나, 대기 중에 국지적으로 존재하는 에어로졸의 종류나, 지구의 온난화, 이상 기온현상, 이상 강우 등 광역적 혹은 국지적 기상변화를 일으키는 여러 가지 원인규명은 아직 정확하게 이루어지지 못하고 있다. 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. 이러한 현상을 야기하는 대기 기상 파라메타는 온도, 습도, 에어로졸 산란계수, 풍향풍속, 기압 등이 있으며, 이러한 변수 들은 현재 레이저를 이용하여 원격으로 수 십 km 영역으로 원격이 측정이 가능하다. 즉 광 기술을 응용하는 여러 분야 중에서 기상분야에의 적용은 다른 어느 분야보다도 직접적으로 파라메타를 제공할 수 있다. 이는 태양광이 대기를 통과하는 과정에서, 먼지나 기타 물질에 의하여 산란 및 흡수가 되는 과정은 지구의 열평형과 직접적인 관련 있어서 대기분야의 연구는 기상학분야에서 요구하는 기상파라메타를 바로 제공할 수 있다는 뜻이다.

대기 중에 조사된 레이저 빛은 공기분자나 에어로졸에 의하여 흡수 및 산란이 일어나면서 점점 그 에너지가 약화된다. 특히 산란된 빛은 사방으로 퍼져 나가게 되고 그 중에서 일부는 다시 레이저가 조사된 방향으로 되돌아오게 되는데, 산란된 빛의 파장은 처음 레이저와 같은 파장의 탄성산란파장, 공기나 에어로졸의 움직임에 의하여 파장이동이 일어나는 도플러 파장 이동이 일어나게 된다. 공기분자는 자체의 운동에너지가 매우 크기 때문에 산란된 도플러 이동 파장은 매우 넓으며, 에어로졸의 경우 선평이 처음 조사된 레이저의 그것과 유사하다. 이러한 파장이동은 대기의 운동 즉 풍향/풍속을 얻는데 사용된다. 그림에서 볼 수 있듯이 산란된 공기분자들은

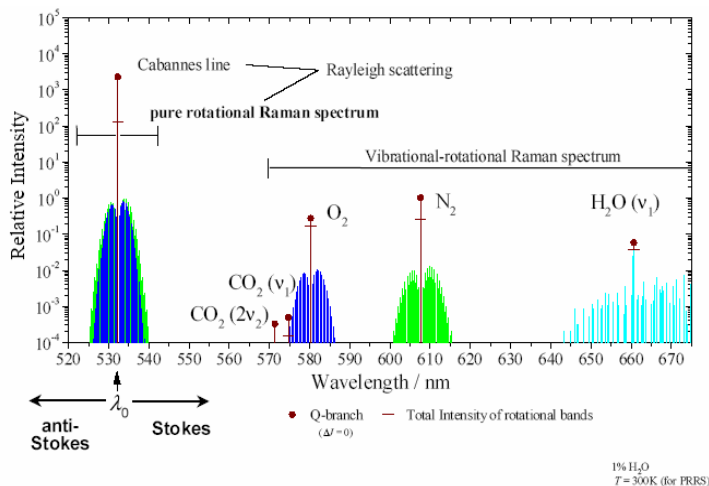


그림 1. 레이저에 의하여 대기에서 산란된 여러 가지 파장

또한 자체의 회전운동에너지, 진동에너지를 가지고 있기 때문에 고유한 Raman 산란을 하게 된다. 공기분자의, 회전 라만 산란은 공기분자의 온도 즉 대기 온도 측정에 이용되고 진동라만 산란 신호는 공기에 포함된 여러 가지 물질의 구성 성분 중에서 수증기의 밀도를 측정하는데 유용하게 사용된다. 특히 수증기의 상태와 물방울 상태는 대기과학에서 매우 중요한데 물방울 상태의 물 분자는 주위의 물 분자와의 수소결합 때문에 파장변화가 다르게 된다. 원격 측정에서는 이러한 현상을 이용하여 물의 상태 변화(액체, 기체 고체)를 알 수 있다. 질소나 산소에 의하여 진동 천이된 파

장은 에어로졸이나 공기분자에 의하여 산란된 탄성산란신호와 더불어 에어로졸의 산란계수(후방산란계수, 소광계수)를 얻는데 유용하게 사용될 수 있다.

에어로졸의 측정은 다른 어떤 변수를 측정하는 것보다 중요한 문제로 떠오르고 있다. 에어로졸이 대기 기상 분야에서 차지하는 비중이 클 뿐만 아니라 그 측정 할 수 있는 변수가 극히 제한적이기 때문이다. 최근에 에어로졸의 굴절률, 크기분포를 측정하는 방법이 제시되고 있으나, 기상에서 에어로졸은 태양으로부터 오는 빛을 차단함과 동시에 흡수하는 역할을 하기 때문에 에어로졸의 후방산란계수와 소광계수(extinction coefficient)를 정확하게 측정하는 것은 그 성분을 정확히 아는 것보다 더 중요하다. 레이저를 대기 중에 조사하고 각 위치(z)에서 산란된 빛을 망원경으로 수신하여 얻게 되면 각 지역에 존재하는 에어로졸의 산란계수를 얻을 수 있다. 그러나 후방산란과정에서도 공기분자와 에어로졸에의 효과가 동시에 일어나고 또한 빛이 대기를 왕복하면서 같은 이유 때문에 빛의 양이 감소하게 된다. 즉 대기 중에는 서로 독립된 두 개의 변수가 존재하기 때문에 다음과 같이 라이다 방정식이 나타나게 된다. 각 변수에서 A는 에어로졸을 나타내고 M은 공기분자를 나타낸다. 공기분자의 밀도나 산란계수는 이론적 계산이나 표준 모델에 의하여 알려져 있다고 하더라도, 에어로졸의 후방산란계수(β_A)나 고광계수(α^a)는 에어로졸의 종류나, 에어로졸의 크기에 따라 다르기 때문에 또 다른 라이다 방정식이 필요하게 된다.

$$P_s(\lambda, z) = K(\lambda) \frac{\xi(z)}{z^2} (\beta_A(z) + N_M(z)\sigma_M(z)) \times \exp\left(-\int_0^z [\alpha^m(\lambda, z') + \alpha^a(\lambda, z')] dz'\right)$$

에어로졸의 중요성 특히 에어로졸의 크기 분포나 상태(모양) 등이 매우 중요하다. 특히 물을 주성분으로 하는 물방울의 상태는 기상변화를 예측하는데 매우 중요한 자료가 될 수 있다. 이러한 상태변화는 물분자의 라만 산란 특성을 측정하여 알 수 있기도 하고 물방울 즉 에어로졸의 크기 변화를 정밀하게 관측함으로써 가능하기도 하다. 물 분자의 상태변화를 관측하기 위한 시도는 여러 연구가들에 의하여 라만 산란 신호를 측정하는 것으로 시도되고 있으나, 아직 뚜렷한 결과를 도출하지 못하고 있다.

공기의 온도를 측정하는 것도 물의 상태변화를 측정하는 것과 함께 매우 중요한 일이다. 성층권 이상에서는 공기의 온도 측정은 공기분자의 밀도 측정을 통하여 이루어지고 있으나, 성층권이상서는 온도 변화가 심하지 않기 때문에 상대적으로 연구가 적게 이루어지고 있다. 성층권이하에서는 주로 공기분자의 회전라만 산란을 하고 있다. 그림 2 는 온도에 따른 공기분자의 회전라만 산란 신호의 크기를 상대적으로 나타낸 것이다.

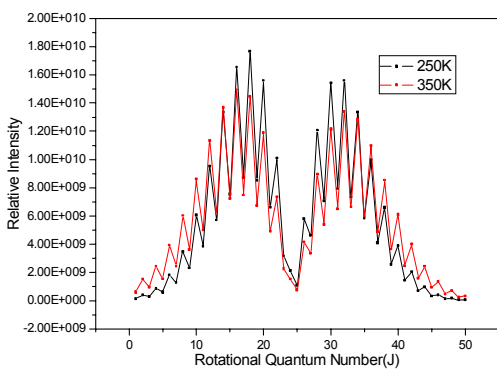


그림 2. 공기분자의 산란 신호크기변화

공기분자의 회전라만 산란 신호는 진동라만 산란신호보다 원래 레이저의 파장에 더 가깝기 때문에 많은 장점을 지니고 있다. 즉 탄성산란신호와 회전라만 산란 신호를 동시에 얻게 되면 공기분자의 온도와 에어로졸의 산란계수를 좀더 정확하게 얻을 수 있다. 이렇게 얻은 두 가지 정보는 물방울의 상태변화를 예측하는데도 사용이 가능하다. 즉 진동라만 산란신호를 이용하여 에어로졸의 산란계수를 측정하는 경우, 진동라만 신호와 에어로졸의 산란신호 파장 차이가 발생하기 때문에, 여러 가지 가정을 하여야하고 이로 인하여 오차가 발생하여 작은 산란계수의 변화를 측정하기 어려웠으나, 이러한 가정 없이 측정함으로써 물방울의 상태변화를 예측할 수 있을 것으로 판단된다.