

다 채널 회전라만 산란 신호를 이용한 대기 에어로졸의 후방산란계수 측정

Measurement of Aerosol Backscattering Coefficient Using Multichannel Rotational Raman scattering

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

1. 서론

대기광학에서 대기 중에 존재하는 에어로졸의 양은 매우 중요하지만, 에어로졸의 절대량 혹은 에어로졸의 크기에 따른 밀도는 그 측정 방법이 어려울 뿐만 아니라 많은 오차를 포함하고 있다. 그러나 에어로졸의 후방산란계수나 소광계수는 대기광학에서 직접적인 의미를 지닌다. 즉 태양으로부터 오는 빛이 에어로졸에 의하여 후방산란되어 지구 냉각에 기여를 하고, 입사된 에어로졸에 의하여 소광(extinction)되어 없어지면 지표면으로 도달하는 광의 양이 약해진다. 이러한 산란계수의 측정에 관한 연구는 많은 연구자에 의하여 수행되었는데, 주로 탄성산란 신호만 이용하거나⁽¹⁾, 질소나 산소의 진동라만 산란 신호를 이용한다⁽²⁾. 탄성라만 산란 신호만 이용하는 경우는 에어로졸의 후방산란계수와 소광계수 관계에 적절한 함수관계를 가정 하여야한다. 그러나 에어로졸의 후방산란 계수와 소광계수는 에어로졸의 종류에 따라 다르기 때문에 이 방법은 주로 정성적인 연구에 사용된다. 반면에 질소나 산소의 진동 라만 산란을 이용하는 경우 파장 변화가 원래 파장과 크게 다르기 때문에 도한 파장에 따른 에어로졸의 산란 특성을 가정하여야 한다. 그러나 파장에 따른 산란 특성이 에어로졸에 따라 변하기 때문에 측정되는 두 산란 계수에는 오차를 포함하게 된다. 에어로졸의 산란계수는 궁극적으로 에어로졸의 크기에 따른 밀도 분포를 아는데 매우 중요하다. 에어로졸의 산란계수에 작은 오차가 존재하는 경우 역산되는 에어로졸의 크기분포는 큰 오차를 포함하게 된다. 그러므로 에어로졸의 후방산란계수와 소광계수를 정확하게 측정하는 것은 에어로졸의 크기분포를 아는데 매우 중요하다.

본 연구에서는 회전라만산란을 이용하는 방법에 대하여 연구를 하였다. 본 방법은 탄성산란 신호와 회전 라만 신호의 파장이 같기 때문에 진동라만 산란을 이용하는 방법과 달리 특별한 가정이 필요 없으며, 서로 같은 채널의 라이다 수신 광학계를 이용하기 때문에, 시스템 검정(calibration)이 불필요하고, 라이다 시스템의 기하학적중첩함수(geometric factor)가 같기 때문에 근거리 측정도 가능하다. 또한 회전라만 신호가 온도에 의존하지 않기 때문에 규격화시키는데 사용하여도 무방하다⁽³⁾.

2. 실험 및 결과

탄성라만신호 주위에 존재하는 질소와 산소의 회전라만 천이 산란 신호를 얻기 위하여 두 개의 회절판을 이용하여 수신광학계를 구성하였다. 1 개의 회절판에 의하여 얻어지는 탄성산란 신호의 제거율이 10^{-4} 정도이기 때문에 두 개의 회절판에서 약 10^{-8} 정도의 제거율 얻을 수 있었다. 그림 1 은 본 연구에서 구성한 수신 광학계로 얻은 전형적인 회전라만 신호와 탄성산란 신호를 보여준다. 그림에서 알 수

있듯이 구름이 다량으로 존재하는 곳에서도 회전라만 신호를 얻는 채널에서는 신호가 커지는 현상이 없음을 알 수 있다. 이러한 점으로 미루어 회전라만 천이를 얻는 채널에는 탄성라만 신호가 입력되지 않음을 알 수 있다.

탄성산란신호를 나타내는 라이다 신호와 회전라만 산란신호를 나타내는 라이다 식은 각각 식(2)와 (3)으로 나타나는데 이 두 식을 나누면 식 (4)와 같이 된다.

$$P_R = \frac{C_1}{Z^2} \beta_{Re} e^{-\int_0^z \alpha_{mo}^i(z') + \alpha_{ae}^i(z') dz'} \quad (2)$$

$$P_E = \frac{C_2}{Z^2} (\beta_{ae} + \beta_{mo}) e^{-\int_0^z \alpha_{mo}^i(z') + \alpha_{ae}^i(z') + \alpha_{mo}^e(z') + \alpha_{ae}^e(z') dz'} \quad (3)$$

$$\frac{P_E}{P_R} = C \frac{\beta_{ae} + \beta_{mo}}{\beta_{Ro}} \quad (4)$$

각 식에서 ae, mo, R 은 에어로졸, 공기분자, 그리고 회전라만 산란을 의미한다. 식(4)에서 알 수 있듯이 두 신호를 나눈 값은 상수항이 존재하며 이 상수 값은 이론적으로 계산이 가능하고 온도, 압력 등의 기타 기상 변수에 의존하지 않는다. 그러므로 상수 C는 어떤 가정(assumption) 없이도 그 값을 알 수 있다.

3. 결론

본 방법은 라이다 시스템의 가장 큰 약점인 검정(calibration)이 필요 없고, 회전 라만신호를 모두 합한 신호는 온도에 의존하지 않기 때문에 회전라만 신호를 탄성라만 신호와 함께 에어로졸의 후반산란계수와 소광계수를 구할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 본 방법은 진동라만 산란을 이용하는 것보다, 산란단면적이 크기 때문에 원거리 측정이 가능하다는 것을 알 수 있다.

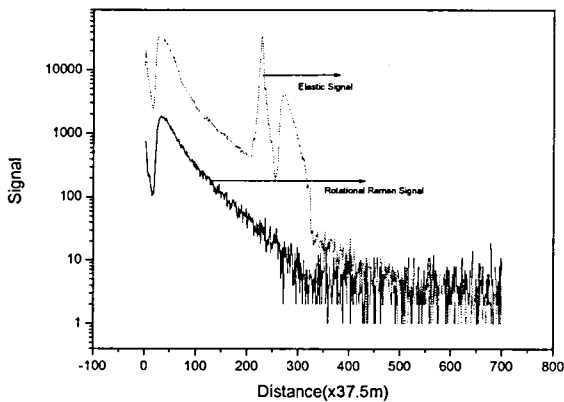


그림 1. 전형적인 라이다 신호

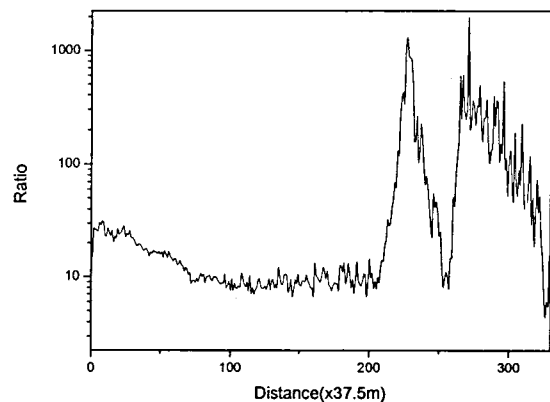


그림2. 두 라이다 신호를 나눈 값

참고문헌

1. J. D. Klett, Applied Optics, Vol. 20, 211(1981)
2. A. Ansmann, M. Riebesell and C. Weitkamp, Optics Letters, vol. 15, 746(1990)
3. Dukhyeon Kim, Hyungki Cha, S. Bobronikov, JKPS Vol. 39, 838(2001)

