

## 다채널 라만 · 비편광 라이다 장치 개발 및 구름의 광학적 특성 측정 연구

### Development of the meteorological Raman · depolarization lidar and measurement of the cloud optical characteristics

송임강, 김덕현\*, 백성훈\*\*, 차형기\*\*, 김용기, 류지욱  
공주대학교 물리학과, 한밭대학교 교양학부\*, 한국원자력연구원\*\*  
ik-486@hanmail.net

대기과학에서 중요한 인자들로 작용하는 에어로졸의 크기분포, 온도, 물의 상변화, 그리고 습도는 구름 미세물리를 이해하고 수시로 변화하는 날씨를 예보하는데 중요한 정보로 작용하기에 대기 중의 구름이나 에어로졸의 광학적 특성을 밝히는 것은 매우 중요하다. 라이다 기술의 발달과 함께 이러한 노력들이 이루어졌는데, 특히 구름의 종류(얼음, 물방울)와 구름의 밀도에 대한 실시간 원격 측정 연구는 다양한 라이다 시스템(편광라이다, Mie 라이다)을 이용하여 이루어 졌다. 그러나 구름 주변의 온도나, 습도, 물분자의 상(phase), 그리고 에어로졸의 크기분포와 밀도의 변화 등 다양한 기상변수를 동시에 측정하는 연구는 장치의 복잡성과 기법이 개발되어 있지 않아서 아직 세계적으로도 그 방법이 완성 단계에 이르지 못하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 자체 개발한 다파장 라만 라이다를 이용하여 대기 중 에어로졸의 특성을 파악하는데 있다.

먼저 물의 상변화를 얻기 위하여 기존의 방법(광학 필터를 이용한 방법)과는 다르게 본 연구에서 사용한 장치는 회절판을 이용하여 빛을 분산시키고 이들 중에서 수증기의 진동라만 신호(408 nm) 근처에 32 채널의 다른 센서(채널)를 더 첨가하여(398 nm - 410 nm) 물방울에 의한 라만 산란 신호도 동시에 얻을 수 있도록 구성한 것이다. 이러한 방법은 수증기의 Ro-Vibrational 라만 신호도 동시에 측정할 수 있기 때문에 기존의 필터 방식에서 발생하는 오차(수증기의 회전라만 신호가 물의 진동라만 신호와 겹쳐서 생기는 오차)를 제거 수 있다. 또한 회전 라만 및 탄성 신호를 이용하여 후방산란비  $[BR = \beta_{ac}^{\lambda_1}(z) / \beta_{ac}^{\lambda_2}(z)]$ 를 구함으로써 에어로졸의 크기 분포를 알 수 있고, 편광소멸도(depolarization) 측정 기술을 통하여 구형을 갖는 물방울의 형태가 아니라 얼음 알갱이로 구성된 빙정운(Ice cloud) 형태로 존재하는 권운이나 황사층에 대한 측정이 가능하였다. 이로써 편광소멸 비율( $\delta = P_{\perp} / P_{\parallel}$ )을 구할 수 있었으며 입자의 모양과 크기에 따라 편광소멸도와 BR 값이 서로 다른 값을 갖기 때문에 산란에서 유용한 정보를 제공할 수 있었다.

본 연구에 사용된 실험 장치는 355 nm와 532 nm로 구성된 라만 라이다 시스템으로, 전체 시스템의 구성도는 그림 1과 같다. 레이저 원은 펄스 반복율이 30 Hz인 Nd:YAG 3차조화파(355 nm)와 2차조화파(532 nm)를 사용하였다. 펄스당 에너지는 355 nm는 50 mJ, 532 nm는 150 mJ이고, 레이저에서 발진된 광원은 빔 분리기를 통해 355 nm와 532 nm로 각각 분리하였다. 이때 라이다 시스템의 기하학적 효과가 같도록 하기 위하여 레이저 빛은 광속확대기를 통하여 대기 중으로 조사된다. 532 nm의 빔은 wave plate( $\lambda/2$  polarizer)를 설치하여 선형 편광된 레이저 빔을 수신단의 PBS를 고려하여 원하는 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 수신광학계로 분리하였다. 532 nm의 망원경에서 수신한 산란 신호는 회전 라만 신호를 측정하는 분광기와 편광소멸도를 측정할 수 있는 분광기로 빔분할기를 통하여 5 : 5 비율로 나누어 각각 유도된다. 532 nm의 회전 라만 신호를 측정하는 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 분리기를 통해 구분하여 측정하였다. 그리고 대기의 온도는 532 nm의 수신광학계에서 회전 라만 산란된 신호를 두 가지로 구분하여( $J=2-9$ ,  $J=11-20$ ) 얻은 후 그 비(ratio)를 얻어서 정성적인 온도 분포를 얻는 수 있도록 구성된 것이다.

Fig. 2는 수증기와 물방울에서 얻어지는 물의 라만 신호를 보여준다. 수증기의 라만 신호는 날씨의 변화에 큰 변화를 보이고 있지 않으나, 물방울에 의한 라만 신호는 시간적으로 그리고 날씨의 변화에 따라 변화하는 것을 알 수 있다. 이는 수증기의 라만 채널(408 nm) 근처에서의 라만 신호는 수증기의 진동라만 채널과 Ro-Vibration 채널에 의한 것이고, 물방울의 라만 채널은 수증기의 수소 결합에 의한 것으로, 온도와 물방울의 크기 그리고 수소 결합 상태 등에 민감하게 변화하기 때문이다. 그림 3은 측정된 데이터의 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. 그림 4는 온도 변화에 따른 에어로졸의 입자 크기 변화를 보여준다. 2007년 10월 10일 구름 낀 날의 탄성 산란 신호, 회전 라만 신호( $J=2-9$ ), 또 다른 회전 라만 신호( $J=11-20$ ), 그리고 두 회전 라만 신호를 이용하여 온도를 구한 값을 나타내고 있다. 탄성 산란 신호를 보면 1.2 km - 1.8 km에 걸쳐 입자가 큰 에어로졸(구름)이 형성되어 있음을 알 수 있다. 물이 상변화를 일으킬 때 열을 흡수, 방출한다는 점을 고려한다면 입자 크기가 큰 구름이 1.2 km 지점에서부터 분포되어 있고, 온도에 대한 값도 같은 지점에서부터 급격히 낮아지고 있는 것을 확인할 수 있다. 앞으로 정확하고 많은 기상정보를 획득하여 온도, 물의 상변화, 에어로졸 입자의 크기 분포가 갖는 관계와 특성을 파악한다면 짧은 시간에 일어나는 구름의 변화를 아는데 매우 중요한 단서가 될 수 있다는 것을 보여준다.

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

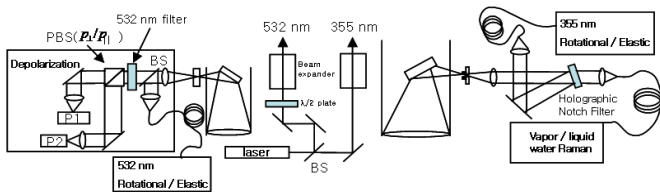


그림 1 본 연구에서 사용한 라이다 시스템의 구성도

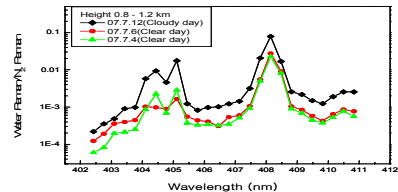


그림 2. 대기상태에 따른 수증기/물방울의 라만 스펙트럼의 비교

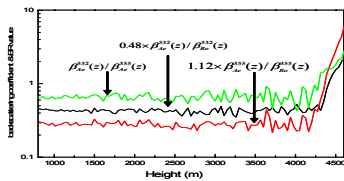


그림 3. 구름 낀 날의 후방 산란 계수와 그 비율

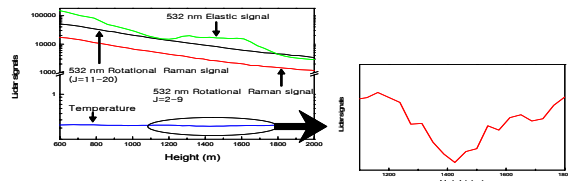


그림 4. 온도 변화에 따른 에어로졸 입자 크기 변화

1. Q. Du, R. Superfine, E. Freysz, and Y. R. shen,, *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 70, 2313(1993)
2. D. Kim and H. Cha, *Optics Letters*, Vol. 31, Issue 19, pp. 2915-2917 (2006)
3. D. Kim, H. Cha, S. Park, J. Zhou, W. Zhang, *Applied Physics B*, Vol. 82, 1(2006)