

## 4D4) 탄성-라만 라이다를 이용한 대기중 수증기와 물방울에 관한 연구

### A Study of Water Vapor and Liquid Water in Atmospheric by Using Elastic-Raman LIDAR

최성철 · 차형기<sup>1)</sup> · 김덕현<sup>1)</sup> · 김영준

광주과학기술원 환경공학과, 한국원자력연구소 양자광학기술개발팀<sup>1)</sup>

#### 1. 서 론

지난 몇 십 년 동안 많은 연구가들에 의해 대기중에 존재하는 수증기 농도를 측정하기 위해 차동흡수 라이다와 라만 라이다에 대한 연구가 수행되어왔다<sup>1-2</sup>. 라만 산란 라이다는 레이저원이 복잡하지 않고, 수증기의 라만 전이가 3657  $\text{cm}^{-1}$  정도에서 발생함으로 다른 대기분자나 탄성산란 신호와 쉽게 분리되어진다. 이러한 라만 산란 이론은 수증기뿐만 아니라 물방울에도 적용된다.

라만 산란을 이용하여 대기중에 존재하는 수증기를 측정 할 경우 수증기와 물방울의 라만 스펙트럼이 부분적으로 겹치기 때문에 물방울 라만 신호는 수증기 측정에 중요한 오차를 유발한다. 특히, 넓은 밴드폭을 가지는 엑시머 레이저를 사용할 때 두드러지게 나타난다. 실험실에서 덩어리 물 (bulk water)에 의한 라만 산란은 많은 연구에 의해 보고되었지만, 이를 대기 연구에 응용한 경우는 많지 않다. 대기 중에 존재하는 덩어리 물에 대한 산란은 구름을 측정할 때 물방울 라만 산란 신호를 증가시켜 수신되는 수증기 라만 신호를 증가시키는 결과를 야기한다.

그래서, 본 논문에서는 대류권에 존재하는 수증기와 물방울 라만 산란에 대해 연구하였고, 획득된 결과를 통해 대기중에 존재하는 물방울의 양을 측정하여 수증기 양을 보정하였다. 또한, 라만 신호와 탄성신호의 편광소멸도 측정을 통해 형태학적 특성을 보충하였다. 편광소멸도 기술은 고체 상이나 기체상 구름과 에어로솔을 식별하는데 유용한 정보를 제공한다.

#### 2 연구 방법

본 연구에서 사용된 장비는 대전시 유성구에 위치한 원자력 연구소 (127.2 °E, 36.25 °N)에서 설치된 라이다 장비를 이용하였다. 측정과정은 수증기와 물방울 라만 산란 과정에 중용한 효율을 나타내며, 일반적인 간섭필터를 이용하여 두 라만 신호를 분리할 수 있기 때문에 Nd:YAG 레이저 3 차 조화파(354.7 nm)를 선택하였다. 그림 1과 표 1은 측정에 사용된 시스템의 구성도와 시스템 사양을 나타낸다.

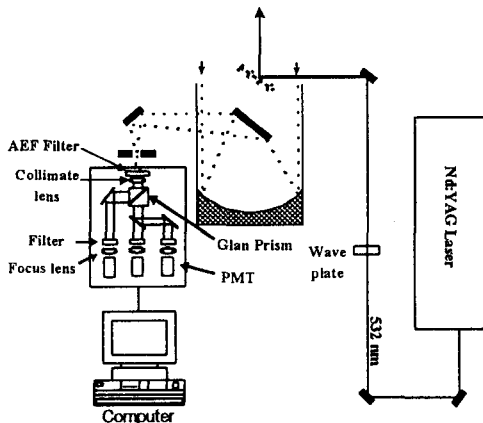


Fig. 1. Schematic of LIDAR System

	Optics	Specification
Transmitting Optics	Laser	Wavelength : 355 nm Energy : 150 mJ Beam Divergence : 0.5 mrad
	Beam Expander	× 5
	Polarization	100 : 1
Receiving Optics	PMT Telescope Field of View	Hamamatsu R372, 20 nsec F = 1000 m, Dia. = 300 mm 2 mrad
Electronics	ADC	30 MHz, 12 bit

Table 1. Specification of LIDAR System

레이저원으로 펄스 반복율이 30 Hz인 Nd:YAG 레이저 3 차 조화파를 이용하였다. 이때의 펄스당 에너지는 120 mJ 이었다. 레이저에서 발진된 354.7 nm의 광원은 Abbe 프리즘을 이용하여 분리하였고, 빔 발산각을 줄여주기 위해 5 배로 확대하였다. 후방산란된 신호를 수신하기 위해 직경이 30 cm인 Newtonian 형태의 망원경을 사용하였다. 차량 위에 있는 조사거울을 통해 조사방향을 임의로 조절하였고, 수직 측정을 위해 조사거울을 제거하여 측정을 수행하였다. 망원경의 시각은 1.5 mrad으로 하였고 중첩함수는 300 m 이내에서 1 의 값을 가진다. 스펙트럼 분석기에서는 이색성 빔분리기(dichroic beam splitter)를 이용하여 두 채널로 나누어 신호를 수신하였다. 1 번 채널에는 질소 라만 신호(386.7 nm)와 탄성산란신호를 수신하였고, 나머지 채널에는 물방울의 라만 신호(401.5 nm)와 수증기의 라만 신호(407.8 nm)를 수신하였다. 각 채널에서의 수신하고자 하는 파장의 선택은 간섭필터를 이용하여 수행하였다.

### 3. 결과 및 고찰

본 연구에서 수행된 수증기 라만 신호와 물방울 라만 신호의 분리 측정은 날씨 상태에 따라 수증기와 물방울에 의한 라만 산란의 상대적 세기를 측정할 수 있었다.

대기중에 존재하는 물방울 라만 산란 신호는 상당히 높게 나타났으며, 물방울 라만 편광소멸도  $\delta_w$  는 탄성산란 신호의 영향 없이 30 %에서 75 % 까지 변화하였다. 만약, 탄성산란 신호에 영향을 받았다면 탄성산란 신호의 편광소멸도 변화와 유사한 결과를 보일 것이다.

이 연구의 궁극적인 목적은 라만 라이더 측정으로 대기중 물 농도에 대한 정량적인 정보를 얻는 것이다. 이와 같은 기술은 물방울의 크기를 측정할 수 있고 구름 형성과정에 대한 보다 높은 이해를 제공할 것이다<sup>3</sup>. 이러한 목적을 성취하기 위해 많은 연구가 시도되어야 한다. 이 연구에서 앞으로 우리는 물방울의 라만 산란을 계산하기 위한 컴퓨터 코드 개발, 대기에서 후방산란 하는 물방울의 스펙트럼 모양 측정, 물방울 라만 신호에서 수증기 라만 신호의 회전 라인의 기여도 측정 등을 수행해 나갈 것이다. 이러한 연구는 실험 결과에 대한 정확한 해석에 도움을 줄 것이고 정량적인 물방울 농도 측정이 가능할 것이다.

### 참 고 문 헌

- Higdon, N. S. E. V. Browell, P. Ponsardin, B. E. Grossmann, C. F. Butler, T. H. Chyba, M. N. Mayo, R. J. Allen, A. W. Heuser, W. B. Grant, S. Ismail, S. D. Mayor, A. F. Carter (1994) Airbone differential absorption lidar system for measurements of atmospheric water vapor and aerosol, *appl. Opt.*, 33, 6422-6438
- Ansmann, A. M. Riebesell, U. Wandinger, C. Weitlamp, E. Voss and W. Michaelis (1992) Combined raman elastic backscatter lidar for vertical profiles of moisture, aerosol extinction, backscatter, and lidar ratio, *Appl. Phys.* B55, 18-28