

질소와 산소의 회전-라만 신호를 이용한 대기온도의 원격 측정

Measurement of atmospheric temperature by Using Rotational Raman signal of nitrogen and Oxygen

김덕현, 차형기, 이종민
 한국원자력연구소 양자광학팀
 dhkim3@kaeri.re.kr

1. 서론

대기과학분야에서 대기의 온도는 풍향-풍속과 더불어 매우 중요한 기상파라메타로 사용되고 있다. 수직고도에 따른 온도의 변화는 대기의 안정도를 결정하기도하며 구름의 생성과 소멸에 직접적인 변수가 되기도 한다. 원격으로 온도를 측정하는 기술 중에서 가장 보편적으로 사용되는 방법은 산소나 질소의 회전 라만 신호를 이용하는 기술이다 이 방법은 Cooney에 의하여 최초로 시도되었는데, 온도에 따라 민감하게 변하는 두 개의 회전천이 스펙트럼을 측정함으로써 이루어진다. 온도에 따른 회전천이 라만 신호의 크기는 아래의 식으로 표현되는데, 일반적으로 Boltzman 분포를 하는 것을 알 수 있다.

$$I(T, J) = \frac{C}{kT} \frac{3(J+1)(J+2)}{2(2J+3)} \omega(J)^4 e^{-\frac{hcB_0 J(J+1)}{kT}} \quad (1)$$

식에서 J, k, B₀, C, h 는 각각 분자의 회전양자수, 볼츠만 및 프랑크 상수 및 기타 상수를 종합적으로 나타낸 것이다¹. 그림 1 은 온도 250°K(점선)과 300°K에서 회전천이 라만 스펙트럼의 상대적인 분포를 나타낸 것이다. 그림1에서 수직방향의 선은 회전라만 양자수를 나타내고 있는데, 그림에서 볼 수 있듯이 온도가 증가함에 따라 양자수가 작은 값에 해당하는(10보다 작은값) 라만 심호는 줄어들고 큰 값에 해당하는 라만 심호는 반대로 늘어남을 것을 볼 수 있다. 라만 라이다에서는 즉 J=10을 기준으로 이보다 큰 라만 심호와 작은 라만 심호를 획득하고 이 비를 구함으로써 온도에 대하여 감도(sensitivity)가 좋은 값을 얻는다.

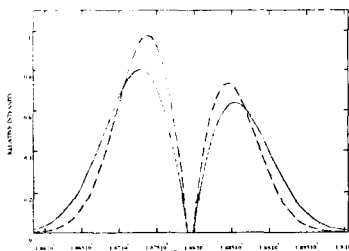
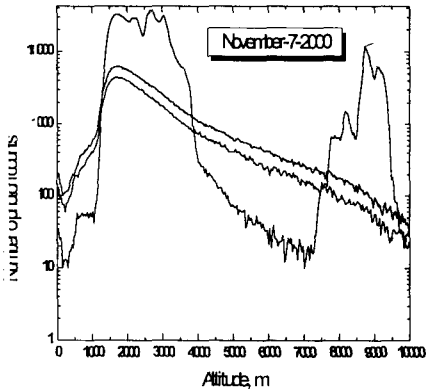


그림 1 온도에 따른 라만 신호의 크기

2. 실험 및 결과

회전천이 라만신호를 대류권 영역에서(10 km)얻기 위하여 Nd:YAG레이저의 2 차 조화파를 송신레이저로 택하고, 지름 30 cm의 Parabolic 망원경을 수신 광학계의 기본으로 설정하였다. 전체 시스템의

광학적 안정을 구현하기 위하여 송신레이저와 망원경을 하나의 시스템, 수신신호를 분석하는 회절판과 센서로 이루어진 스펙트럼 어날라이저를 또 다른 시스템로 구성하였으며, 두 시스템은 광섬유로 연결 되도록 하였다. 전체 시스템을 이루는 핵심 부품의 사양과 특성은 표에 나타내었다. 전체적인 구성과 배열은 기 발표한 논문에 상세히 언급되었으므로 여기서는 생략한다. 그림 2 는 두 개의 회전라만 신호



의 전형적인 모양을 나타낸다. 라만신호를 나타내는 곡선은 매우 부드러운 모양을 나타내며 탄성 산란 신호를 나타내는 신호는 구름에 의하여 강하게 신호가 변함을 알 수 있으며, 탄성산란 신호가 라만 라만 신호에 포함되지 않았음을 알 수 있다. 라만 신호를 나타내는 두 개의 그림에서 (큰 신호가 J=6을 나타내고, 작은 신호가 J=12를 나타낸다) 온도를 추출한 곡선을 그림 3에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 2 km 부근 까지는 고도에 따라 온도의 상승이 있으나 그 이후에는 계속적으로 온도가 감소하는 것을 알 수 있다. 10 km 부근에서는 약 -50도 정도의 온도분포를 하고 있음을 알 수 있다.

그림 2. 획득된 회전 천이 라만 라이다 신호

| 송신부 | | 수신부 | |
|-------------------|---------------------|--------------|------------------|
| 레이저 | Quantel Brilliant B | 수신망원경 | Parabolic mirror |
| 파장 nm | 532 | 크기 mm | 300 |
| 펄스에너지 mJ | 400 | 축적거리 mm | 1500 |
| 펄스반복률 Hz | 10 | 시각 μ rad | 400 |
| 발산각 mrad | 0.7 | 센서 | CPM 962P |
| 발크기 mm | 9 | 광자계수기 | PC Baesed |
| 광축확대기 | 5 배 | 채널 수 | 8 |
| 회절판크기 mm | 100 | Bin 수 | 4096 |
| 회절판 발산각 μ rad | 140 | 속도 | 100 MHz |

표 1 개발된 시스템 핵심부품의 사양

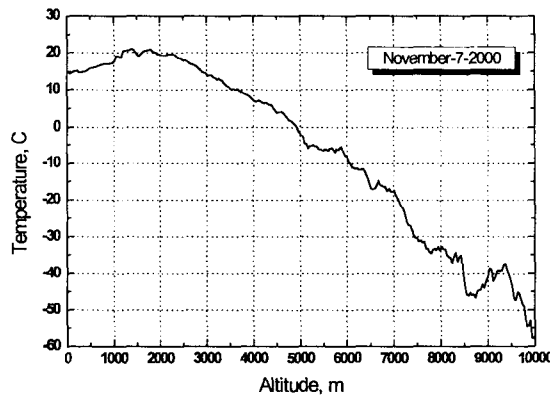


그림 3. 측정된 대류권의 온도 분포

3. 참고문헌

1. J.A. Cooney Measurement of atmospheric temperature profiles by Raman backscatter. J.Appl.Meteorology Vol.11, No.1, pp.108-112, 1972
2. 김덕현, 차형기, 이종민, S. Bobronikov, 제 19회 광학 및 양자전자 학술발표회, “ 대류권 오존 측정용 회전천이 라만 라이다 시스템의 설계”