

## PA30) 환경인자 측정을 위한 이중편광 마이크로펄스 라이더 Dual Polarization Micropulse Lidar for Measuring Environmental Parameters

조 성 주 · 신 은 철

(주)이엔쓰리 광기술부

### 1. 서 론

지구 온난화와 오존층의 파괴로 인한 기후변화와 생태환경의 변화는 전세계적인 문제이기 때문에 가장 활발하게 연구되고 있는 분야 중의 하나이다. 거시적인 지구환경의 변화는 미세기상학적인 요소의 변화를 초래하고, 이것은 직접적으로 인간의 건강과 삶의 질에 영향을 주게 된다. 우리나라의 경우, 대부분의 산업기반 시설과 인구가 도시에 편중되어 있어, 도시지역의 환경모니터링의 중요성은 더욱 커지고 있기 때문에, 각 도시와 지역마다 네트워크를 구성하여 미세먼지와 오존농도 등을 실시간으로 측정하고 있다. 그러나 이와같은 측정망들은 지표면의 지점 측정에 의존한 것이기 때문에 그 지점에서의 오염물질의 농도를 알 수는 있지만, 앞으로 변화를 예측하고 예방하는데는 한계가 있다. 특히, 황사와 같이 외부로부터 유입된 오염물질의 영향이 심각한 국내의 경우는 도시 자체적인 발생과 외부적인 유입을 통한 오염물질의 확산을 예측하는데 결정적인 영향을 주는 기상 및 환경인자 측정의 필요성이 시급하지만, 이를 위한 장비의 개발과 사용은 거의 이루어지지 않고 있다.

본 연구를 통해서, 오염물질의 확산을 계산하고 예측하기 위해서는 오염물질의 연직분포, 특히 에어로졸의 농도가 집중되어 있는 대기 경계층의 높이 측정이 중요한데, 이를 위해 레이저 원격측정장비인 이중편광 라이더를 활용하여 에어로졸의 특성과 분포를 측정하고 적용가능성을 확인하였다.

### 2. 연구 방법

환경인자를 측정하기 위한 라이더는 당사에서 개발중인 DPSS(Diode-Pumped Solid State) 레이저를 이용한 이중편광 마이크로펄스 라이더를 사용하였다. 대부분의 환경관측망이 도심지역에 밀집되어 있어 사람들의 활동이 빈번한 곳이기 때문에 플래쉬램프를 사용하는 고출력의 레이저보다는 저출력 고반복률의 DPSS 레이저가 운용측면에서 더 안전하다고 할 수 있으며, 상대적으로 플래쉬램프보다 수명이 긴 다이오드 방식이 상시 관측목적에 더 적합하기 때문이다. 사용된 라이더의 사양은 표 1과 같다. 후방산란된 P-편광과 S-편광신호의 크기 비가 아주 크기 때문에 532 nm의 파장에서 감도가 PMT(Photo-Multiplier Tube)보다 월등한 APD(Avalench PhotoDiode)를 S-편광 채널에, P-편광채널에는 PMT를 사용하였다(Measures, 1984). 그러나 신호의 절대적인 양이 미세하기 때문에 두채널 모두 광자계수용(Photon-counting) PMT와 APD가 사용되었다.

계절에 따라 대기 경계층의 고도는 일반적으로 1km를 전후하여 겨울철에는 그 이하로 낮아지고, 여름철에는 그 이상으로 확장된다. 마이크로펄스 라이더는 완전중첩고도가 1km 이상 되기 때문에 완전중첩 고도 이하에서 정확한 신호를 획득하는데는 약점이 있다(Campell et al., 2002). 그러므로 본 연구에서는 연직방향 대신 수평에서 22도 사선 방향으로 라이더를 향하게 하여 낮은 연직고도부터 측정가능하도록 해서 상대적으로 중첩거리가 먼 마이크로펄스 라이더의 단점을 보완하였다.

대기경계층 내에서는 대류현상으로 인해 에어로졸의 농도가 높고, 경계층 내의 분포도 거의 균일한 반면, 대기 경계층을 벗어나면 에어로졸의 농도가 급격히 감소하기 때문에 후방산란신호의 감쇄경향이 급격히 변화하게 된다. 본 연구에서는 대기경계층의 고도를 후방산란신호의 감쇄기울기 변화가 급격한 지점으로 정의하고, 그 지점을 찾기위해 P-편광채널 신호의 감쇄기울기를 분석하였다. 한편, 비편광도의 연직분포를 통해 연직고도에 따라 에어로졸의 형상특성을 살펴 보았다.

Table 1. Specification of DualPolarization-MPL.

		DP-MPL
Laser	Wavelength	532nm
	Pulse energy	20uJ @ 1kHz
	type	DPSS Nd:YAG laser
	Beam divergence	100urad 이하
	PRF	1-10kHz
	Pulse width	10ns
Telescope	Diameter	200mm
	Focal length	2,000mm
	FOV	100um
Detector	Photoncounting PMT, APD	
DAQ	Photon Counter	
Resolution	3m	
Max. distance	60km(night time)	

### 3. 결과 및 고찰

그림 1은 P 편광채널의 신호와 도함수를 보여준다. 세로축은 신호의 세기와 도함수값을 표시하며, 후방산란신호는 거리에 따른 감쇄가 심하기 때문에 로그스케일로 나타내었다. 가로축은 관측지점으로부터의 거리를 나타낸다. 도함수( $D(r)$ ;  $r$ 은 거리)는 P 신호의 로그값을 취하여 다음과 같이 구하였다.

$$D(r) = \frac{d \ln(r)}{dr}$$

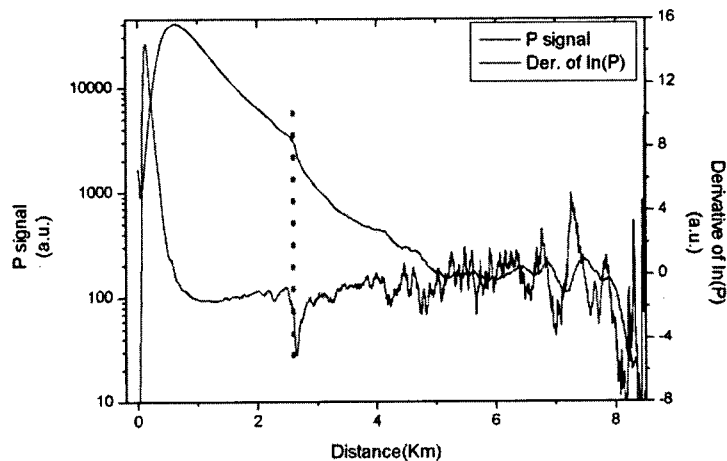


Fig. 1. P signal and its derivative.

그림 1의 붉은 점선은 후방산란신호가 로그스케일 상에서 선형적으로 감쇄하다가 그 경향이 급격히 변하는 지점의 거리로서 도함수의 값이 음의 최고치를 갖으며, 이 고도를 경계로 에어로졸 분포량이 확연히 구별되는 다른 층이 존재함을 알 수 있다. 이 지점의 연직고도( $h$ )는

$$h = 2.7 \sin 22 = 1.01 \text{ km}$$

이다. 이와 같이 라이다 신호를 통하여 대기 경계층의 고도를 손쉽게 측정할 수 있기 때문에 대기확산

모델링의 초기자료로 활용한다면 오염물질의 확산과 예측의 정확도를 크게 개선할 수 있을 것으로 생각된다. 뿐만 아니라 대기 경계층 위에 분포하는 에어로졸은 지역에서 발생한 미세먼지가 대류에 의해 상승하는 것이 거의 불가능하기 때문에, 주요 발생원인은 구름의 물방울, 또는 얼음 알갱이이거나 장거리 이동에 의한 미세먼지입자일 가능성이 크다. 그러므로, 비편광도(Depolarization ratio)의 연직분포를 통해 에어로졸 형상특성이 고도별로 어떤지를 알아내어, 에어로졸의 양과 더불어 고도에 따른 에어로졸의 종류를 구분하는데 중요한 인자를 제공하는 효과적인 원격탐지장비로서 이중편광마이크로펄스 라이다가 사용될 수 있음을 확인하였다.

앞으로의 연구는 광학적, 기계적, 전자적으로 라이다 안정성을 강화하여 환경오염인자의 상시관측에 최적화된 장비로서 에어로졸 분포변화와 대기경계층의 일변화 및 계절별 변화 측정, 그리고 황사모니터링에 활용하고자 한다.

### 참 고 문 헌

- Measures, R.M (1984) Laser Remote Sensing, John Wiley & Sons, New York.
- Campbell, R.J. et al. (2002) Full-time, eye-safe cloud and aerosol lidar observation at atmospheric radiation measurement program sites: Instruments and data processing, J. Atmos. Oceanic Technol., 19, 431-442.