

## A-3 이동형 LIDAR 시스템을 이용한 SO<sub>2</sub> 밀도 측정

김덕현, 차형기, 이종민, 최성철\*

한국원자력연구소 양자광학랩, \*창원대학교

### I. 서론

대기오염 물질 중에서 중요한 원소의 하나인 SO<sub>2</sub> 를 DIAL(Differential Absorption Lidar) 방법으로 측정하는 것은 전형적인 LIDAR 기술의 응용분야이다.

본 연구에서는 굴뚝과 같이 오염물질을 배출하는 지역과 오염원이 없는 지역을 동시에 측정할 수 있도록 라이다 시스템을 이동형으로 제작하였다. 시스템의 신뢰성을 평가하기 위하여 공단지역과 청정 지역 그리고 실제 동작중인 굴뚝을 대상으로 레이저를 조사하였으며 각각의 경우에 이산화황의 밀도를 계산하고 비교하였다.

### II. 실험장치

LIDAR 기술은 레이저와 같은 강한 빛을 대기중에 조사하여 공기분자나 미립자(aerosol)에 의하여 후방산란(backscattering)되는 빛을 PMT 와 같은 광센서로 감지한다. 후방산란되는 빛은 산란물질 그리고 빛이 진행하면서 만나는 여러 가지의 분자들의 특성에 의하여 그 세기와 파장의 변화가 생긴다. DIAL 라이다 기술은 두가지의 파장을 대기중에 조사하는데, 두 개의 파장 중에서 한 파장은 특정 분자(예:SO<sub>2</sub>)에 흡수가 강하게 일어나고(on파장) 다른 하나의 빛은 흡수가 적게 일어난다(off 파장). 두 빛이 SO<sub>2</sub> 가 다량 포함된 대기중을 진행하게 되더라도 off 파장은 흡수가 강하게 일어나지 않아서 후방산란되는 빛의 감소가 심하지 않으나 on 파장은 SO<sub>2</sub> 때문에 진행거리가 커질수록 감소가 심하게 일어난다. 그러므로 후방산란되는 빛도 감소가 심하게 일어난다. 이러한 DIAL 기술은 원격으로 측정하기 때문에 장비를 한 지역에 머물게 하면서 넓은 지역을 측정할 수 있으므로 다른 기술에 비하여 시간 및 공간분해능이 뛰어나고, 굴뚝과 같은 오염 가능 지역을 실시간으로 모니터링 할 수 있다는 장점이 있다.

LIDAR 장치는 크게 레이저를 포함한 송신부, 원격 신호를 검출하는 수신부 그리고 신호를 해석하여 밀도를 계산하는 해석부로 생각할 수 있다. 레이저는 2 개의 파장을 동시에 발진시킬 수 있어야 하며 에너지가 클수록 원거리까지 신호를 보낼 수 있다. 두 개의 레이저 파장은 파장차이가 적을수록 좋으나 이산화황에 대하여 on 과 off 역할을 충분히 할 수 있어야 한다. 이산화황의 경우는 300nm 근처에서 파장에 따라 흡수단면적이 민감하게 변하므로 본 장치는 300 nm 와 299.5 nm 의 파장을 동시에 발진시킬 수 있는 색소 레이저를 사용하였다. 이 파장에서 레이저의 에너지는 7 mJ 이었으며 펄스폭은 7 nsec 정도 되었다. 미세신호 검지용 망원경은 지름 30 cm 의 초점거리 1 m의 반사형 거울을 사용하였다. 센서는 UV 용 PMT 를 사용하였으며 신호는 아날로그모드로 처리하였다. 사용된 ADC 는 12 bit 이며 sampling 속도는 30 MHz 로써 이때 빛이 진행하여 후방산란 하는 거리가 공간분해능이 되는데 그 값은 약 5 m 이다. 근거리에서 후방산란되는 빛에 의한 신호유도잡음(signal induced noise)을 없애기 위하여 gated 형 PMT를 사용하였다.

### III. 실험

그림 1 는 굴뚝에 의하여 후방산란되는 신호의 전형적인 모양을 나타낸다. 굴뚝에서 발생하는 미립자들에 의하여 후방산란신호가 급격히 커졌음을 알 수 있으며 SO<sub>2</sub> 의 농도가 급격히 증가함을 알 수 있다. 후방산란되는 신호는 3 km 까지 있으나 1.5 km 이상에서는 S/N 비가 작아서 실제 계산시 제외시켰다. 일반적으로 낮시간에는 태양광에 의한 배경신호가 커지므로 300 nm 근처의 간섭필터를 사용하는데 투과도가 20 % 이하로 작아서 PMT 전압을 높여야 하며, 밤시간에는 UV 만으로도 충분히 배경신호를 차단할 수 있으므로 PMT 전압이 낮아 S/N 가 크다. 밤시간의 경우 적은 양의 후방산란신호를 평균하여도 되나 낮시간의 경우 비교적 긴 시간 동안의 후방산란신호를 평균하여 계산에 사용한다. 그러므로 낮시간의 시간분해능은 밤시간에 비하여 길다.

DIAL 시스템에서 파장의 선택은 매우 중요하며 본 연구에서는 on 파장과 off 파장이 같은 상태에서 실

험을 수행하므로써 본 장비의 검출한계를 측정하였다. 같은 파장의 레이저를 사용할 경우 계산되는 이산화황의 농도는 1수 ppb 정도에서 fluctuation하고 있음을 알 수 있었다.

굴뚝과 굴뚝주위의 이산화황 밀도를 구하기 위하여 대형 주사경을 회전하면서 실험하였으며, 그 결과 굴뚝의 연기를 통과하는 경우에는 이산화황의 농도가 급격히 증가하는 것을 알 수 있었다. 이 때 최고 밀도는 수백 ppb 이상 되는 것으로 나타났다. 굴뚝을 직접 통과하지 않는 지점은 수십 ppb 정도가 되었다. 그림 2 은 그림 1 와 같은 후방산란 신호에서 계산된 이산화황의 밀도를 나타낸 것이다.

표 1. 제작된 이동형 LIDAR 시스템의 사양

내용	사양
측정거리	200-2000m
최대 공간분해능	5 m
시간분해능	낮 : 1 분, 밤 : 30 초
검출한계	수 ppb
레이저 조사가능 각도	수평 : 180도, 수직 : -10도 ~ 30도

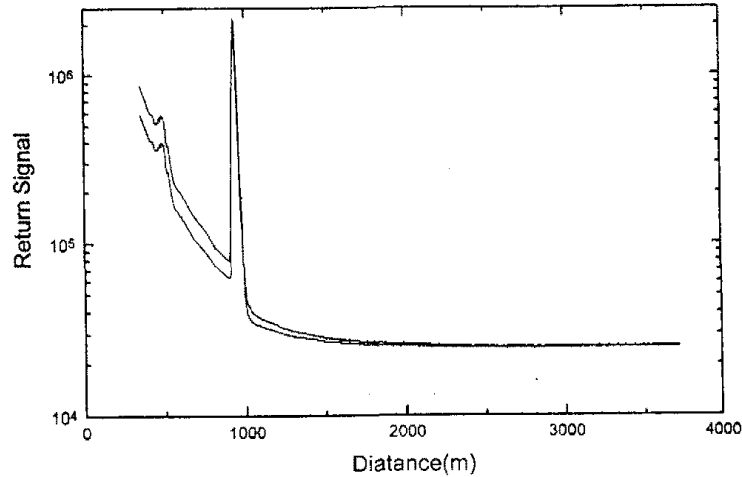


그림 1. 굴뚝을 통과하는 레이저 후방산란 신호의 전형적인 모양

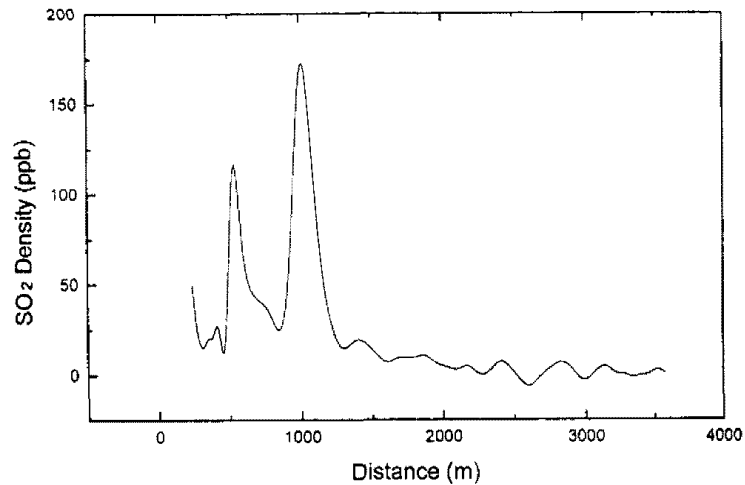


그림 2. 이산화황의 밀도