

PS24(MA27) 차등분광흡수계(DOAS)를 이용한 대기 오염 원격 측정

Air Pollution Measurement using a Differential Optical Absorption Spectrometer, DOAS-3R

이정순 · 이훈 · 이철규 · 배민석 · 김영준

광주과학기술원 환경공학과, 환경모니터링 신기술 연구센터

1. 서론

대단위 공단이나 대도시 등의 환경오염물질의 배출이 심각한 지역이 증가함에 따라 다양한 종류의 대기오염물질이 배출되고 이에 따른 효율적 관리가 필요하게 되었다. 현재 유해가스의 검출방식은 촉매와의 반응을 이용한 화학적 측정방법으로부터 유해가스의 광학적 성질을 이용한 광학적 측정방법으로 그 기술이 발전되고 있다. 본 연구에서는 광투과 방식 중 Differential Optical Absorption Spectroscopy(DOAS)를 사용했으며 이는 실시간 오염물질의 이동 경로나 오염원을 찾을 수 있다. 본 연구에 사용된 DOAS시스템은 러시아 과학 기술센터 'ERIDAN-1'의 DOAS-3R이다. 가스상 오염물질 중 NO₂와 SO₂를 비교 기준 가스로 사용하였으며 비교 자료로써 지점 모니터링 측정 방식의 하나인 Air Monitoring System를 사용하였다.

2. 연구방법

2.1. 측정시스템의 특성

DOAS 시스템은 측정 대상 물질이 각각의 고유한 특성에 의해 서로 다른 파장의 빛을 흡수하는 성질을 이용한 것으로 각 파장대별 물질의 흡수 스펙트럼을 측정함으로써 대기에 존재하는 물질의 종류 및 조성을 관찰하고 데이터화 할 수 있다. 시스템은 크게 자외선영역의 빛을 내는 광원, 역반사경, 망원경, 검출기 및 데이터 처리부로 구성되어 있다. 데이터는 검출기 부분의 Photomultiplier Tube(PMT)와 결합된 기계적인 주사 장치를 이용하여 디지털화 되어 컴퓨터로 보내지고, 컴퓨터는 빛의 경로상에 있는 미량 가스의 흡수에 의한 스펙트럼상의 특징을 분석하여 그에 따른 농도를 분석한다. 광원은 UV 영역으로 고압의 DKSH 150 제논램프이고 출력은 150W이다. 역반사경은 fused silica coner cube prism 이고 200~460nm 영역의 빛을 반사시킨다. 그림1은 DOAS-3R 시스템의 기능도이다.

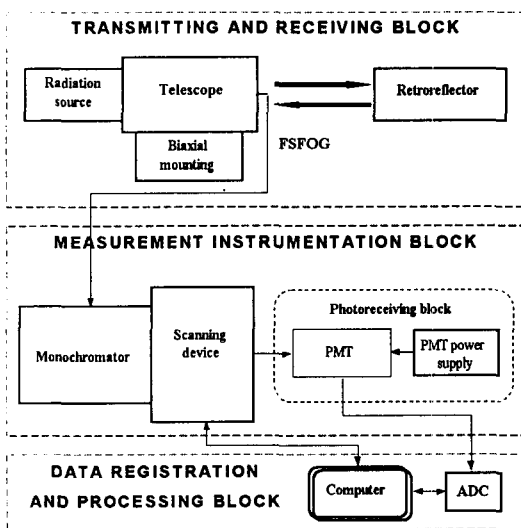


Fig.2 The function chart of DOAS-3R

측정 가능한 가스는 NH₃, NO, O₃, SO₂, HCHO, C₆H₆, C₇H₈, NO₂의 8가지의 가스들이다. 이들 가스를 측정할 수 있는 파장 영역은 특별히 정해져 있으며, 이 영역에서 측정할 때 가장 정확한 농도 값을 얻을 수 있다.

2.2. 측정 알고리즘

DOAS는 다음과 같은 비어-람버트 식을 기본으로 구성된 측정장치이다.

$$I(\lambda) = I_0(\lambda) \cdot \exp[-L\alpha(\lambda)C] \quad (1)$$

위에서 D는 optical density, $\alpha(\lambda)$ 는 흡수 단 면적(Absorption Cross section), L은 광 투과 거리, I₀는 초기 광원에서 발사된 세기, I는 검출기에서 받은 광의 세기를 가리킨다. 위의 간단한 식을

대기중의 감쇄요인을 포함하여 식을 다시 쓰면 다음과 같다.

$$I(\lambda) = \exp\left[-L\left(\sum_i \sigma_i(\lambda) C_i\right)\right] * I_0(\lambda) * \exp\left[-L\left(\sum_j \sigma_{\text{at}}(\lambda) C_j + \varepsilon_R(\lambda) + \varepsilon_M(\lambda)\right)\right] * A(\lambda) \quad (2.)$$

위에서 $\varepsilon_R(\lambda)$ 은 Rayleigh 산란 항이고, $\varepsilon_M(\lambda)$ 은 Mie 산란 항이고 $A(\lambda)$ 는 광학계의 투과율을 나타낸다. 위의 식으로 보듯이 광의 세기가 광 파장에 따라 대기중에서 빠르게 변화하는 부분과 느리게 변화하는 부분으로 나눌 수 있다. 위의 식 2.에서 곱셈의 첫째항은 빠르게 변화하는 부분이고, 둘째와 셋째항은 느리게 변화하는 부분으로써 바로 이러한 특성으로 광 차등 분광 원리를 이용할 수가 있다. I_0 값을 구하기 위하여 다항식 보간법을 사용하였으며 농도값을 구하기 위하여 최소자승법을 이용하였다. 선형 벡터를 풀기 위하여 single variable decomposition법을 이용하였다.

2.3. 측정

DOAS-3R 시스템과 Air Monitoring system은 광주과학기술원 환경공학과 건물 4층에 설치되었고, 반사경은 366m 떨어진 도서관 3층 옥상에 설치되었다. DOAS 측정은 14시에 이루어 졌으며, 데이터는 5분을 평균한 값이고 air monitoring system을 써서 측정한 결과는 15분 평균한 결과이며 연속적으로 측정이 이루어졌다.

3. 결과 및 고찰

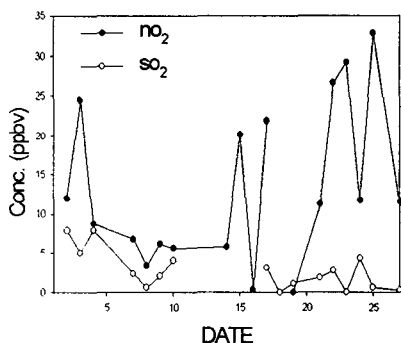


Fig. 2. measurement result of SO₂, NO₂ using doas from 3/2~3/27

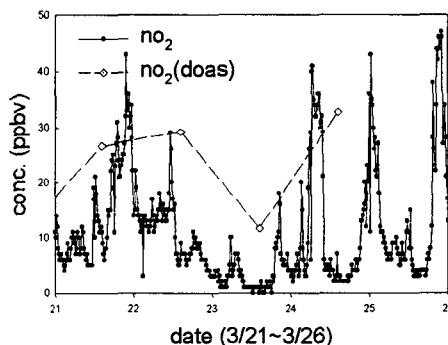


Fig. 3. measurement result of NO₂ gas compared with doas air monitoring system

각각의 오염 가스들이 가른 가스들의 농도에 비교적 간섭을 받지않고 지배적으로 존재하는 파장영역이 있어서 그 영역내에서 측정할 때 비교적 정확한 결과를 얻을 수 있었다. NO₂의 경우 442~444nm를 중심으로 약 10nm를 span 하여 농도를 측정하였으며, SO₂의 경우는 296-300nm를 중심으로 10nm를 span 하였다. NO₂의 값은 22일부터 25일까지 25 ppbv 이상의 높은 값을 보이고 있다. 이는 황사 기간으로서 많은 양의 황사 현상이 있었음을 보이고 있다. fig. 2.의 결과를 보면 Air monitoring System과 DOAS 측정결과간의 변화추이가 매우 비슷한 양상을 보임을 알 수가 있다. DOAS-3R은 자동화가 되어 있지 않아서 광경로 측정과 보정을 각각의 파장 영역에서 지속적으로 수행해야 한다는 단점이 있다. 이러한 점이 측정 결과의 정확성을 고도로 높일 수도 있으니 이와 같은 장점을 살려서 자동화된 시스템을 구축할 필요가 있다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 광주과학 기술원 환경모니터링 신기술 연구센터를 통한 한국 과학 재단 우수 연구센터 지원에 의한 것입니다.

참고 문헌

- U. Platt(1994) "Differential Optical Absorption Spectroscopy (DOAS)", Air Monitoring by Spectroscopic Technique, ed by Markus W. Sigrist
- Robert K et al. "Air quality monitoring with the DOAS", SPIE Vol.1491 remote sensing of Atmospheric Chemistry