

## 광음향 효과를 이용한 CO, CO<sub>2</sub> 기체농도 분석

### Photoacoustic Analysis of CO, CO<sub>2</sub> Gas Concentration

김태우, 김건식, 조혜륜\*, 최종길\*, 박승한  
 연세대학교 물리학과, \*연세대학교 화학과  
 tomwoo@phya.yonsei.ac.kr

차량의 증가로 인한 유독성 가스의 배출은 대기오염과 생태계 파괴 그리고 생활환경의 위협 요인으로 부각되었고, 이로 인해 유독성 배출가스를 감지할 수 있는 고감도 센서의 필요성이 대두되었다. 센서 기술 개발은 자동화, 무인화의 급속한 진전 및 환경규제의 강화로 인하여 그 응용범위가 날로 확대되고 있기 때문에 최근 들어 더욱 중시되고 있다.

본 연구에서는 정밀한 기체농도 측정을 위해 광음향 효과<sup>1</sup>(Photoacoustic Effect)를 이용하여 CO, CO<sub>2</sub> 기체를 분석하였다. 이를 위해 기체상태 시료의 광음향 특성을 측정할 수 있는 Photoacoustic System과 Photoacoustic Cell을 제작하였고 제작된 Photoacoustic System을 이용하여 Helmholtz Resonator의 특성과 CO, CO<sub>2</sub> 기체의 농도에 대한 광음향 신호의 선형성을 조사하였다.

제작된 Helmholtz Resonator의 특성을 조사하기 위하여 두 가지 실험을 수행하였다. 첫 번째로 변조 주파수의 변화에 따른 광음향 신호의 변화를 조사하였는데 이는 공명 Cell(Resonance Cell)에서 광음향 압력(Photoacoustic Pressure Response)이  $1/f$ 에 의존하기 때문에 이를 피하기 위해 정상파증폭(standing Wave Amplification)이 되는 공명 주파수(Resonance Frequency)를 얻기 위함이다. 이 때 시료는 CO<sub>2</sub> 기체를 사용하였고, CaF<sub>2</sub> Window 앞부분에 CO<sub>2</sub> Filter를 부착하였다. 실험을 통해 주파수에 따른 광음향 신호 의존성을 이용하여 공명 주파수(Resonance Frequency)를 측정할 수 있었다. 두 번째로 원적외선 광원의 출력을 변화시키기에 따라 얻어지는 광음향 신호의 변화를 조사하였다. 시료는 CO 기체를 사용하였고, CaF<sub>2</sub> Window의 앞부분에 CO 기체용으로 제작된 Filter를 부착하였다. 실험은 변조주파수에서 수행되었고, 광원의 출력을 변화시키면서 광음향 신호를 얻었다.

기체농도에 대한 광음향 신호의 선형성을 조사하기 위해 CO, CO<sub>2</sub> 기체를 이용하였다. 또한 Filter의 효과를 조사하기 위하여 Filter를 부착하였을 때 얻어지는 광음향 신호와 Filter를 제거하였을 때 얻어지는 광음향 신호를 비교하였다. 실험을 통해 광음향 신호가 일반적인 경우와 마찬가지로 광원의 출력에 비례하는 것을 확인할 수 있었다.

광원의 출력과 변조주파수를 고정하고 CO Filter를 부착하여 CO 기체의 농도를 변화 시켜가며 얻은 결과,  $R^2$ 이 0.9614로 선형성을 보이고 있음을 확인할 수 있었다. 여기서 0ppm은 CO 기체가 전혀 들어있지 않고 Buffer 기체로 사용된 N<sub>2</sub>만 대기압 상태로 들어있을 경우의 결과를 뜻한다. CO Filter를 사용하지 않고 CO 기체의 농도를 변화시켜주면서 측정한 결과, 광음향 신호는 CO Filter를 부착하여서 얻어진 신호에 비해 매우 크다. 이는 CO Filter에 의해 제거되던 파장의 빛을 N<sub>2</sub>가 흡수하여 발생하는 신호라 할 수 있다.

CO 기체와 동일하게 CO<sub>2</sub> 기체도 광원의 출력과 변조주파수를 고정하고 CO<sub>2</sub> Filter를 부착하여 CO<sub>2</sub> 기체의 농도를 변화 시켜가며 실험하였다. CO<sub>2</sub> Filter가 Filter를 사용하지 않았을 때 N<sub>2</sub>의 흡수에 의해

발생되는 광음향 신호를 효과적으로 감소시키는 지를 조사하기 위하여 앞의 CO 기체에 대한 실험에서와 마찬가지로 CO<sub>2</sub> 0ppm에 대한 실험 또한 수행하였다. 여기서 0ppm에서의 신호는 CO 기체의 실험에서와 마찬가지로 CO<sub>2</sub> 기체는 전혀 주입하지 않고, Cell내부를 대기압으로 맞추기 위해 주입하는 N<sub>2</sub> 기체만을 Cell에 넣었을 때 측정된 광음향 신호를 뜻한다. 이와 같은 조건에서 CO<sub>2</sub> Filter 역시 CO Filter와 마찬가지로 CO<sub>2</sub> 기체가 흡수하는 좁은 영역의 파장만을 투과시킴으로써 Buffer 가스에 의해 발생될 수 있는 광음향 신호를 효과적으로 제거하고 있음을 확인하였다. CO<sub>2</sub> 기체의 농도에 대한 광음향 신호의 의존성은 R<sup>2</sup>이 0.9912로 선형성을 보이고 있음을 확인할 수 있었고 낮은 검출 한계를 얻어졌다.

본 연구는 실제 공기 중에 존재하는 CO<sub>2</sub> 기체와 대기 오염의 원인이 되고 생명에 치명적인 CO 기체의 농도별 신호검출 위해 Photoacoustic Effect를 이용하였다. 이 결과 광음향 신호 의존성이 선형성을 보이고 있음을 확인할 수 있었고 낮은 검출한계 얻을 수 있었다.

흡수파장영역이 겹치는 CO 기체와 CO<sub>2</sub> 기체는 실제 공기 중에 공존하므로 두 기체의 농도 비에 따른 광음향 신호의 선형성 조사와 NO<sub>x</sub>와 SO<sub>x</sub>등에 대한 선형성과 검출 한계에 대한 실험을 수행하여 전반적인 기반을 구축하고자 한다. 또한 보다 효과적인 공명셀을 고안, 제작한다면 각각의 가스에 대한 보다 낮은 검출한계와 더 좋은 Linearity를 확보할 수 있을 것이다.

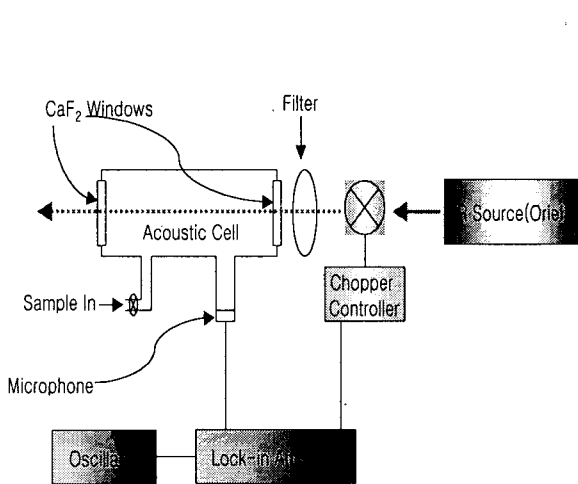


그림 [1] Photoacoustic System

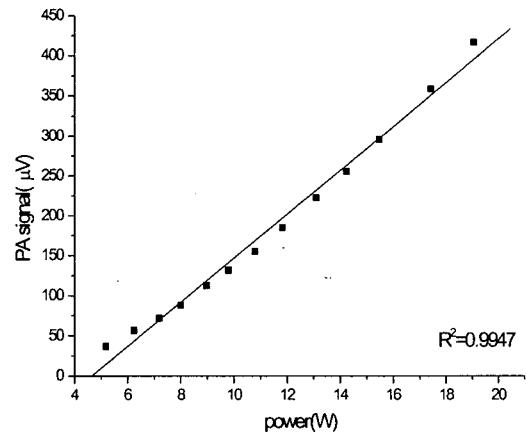


그림 [2] 광원의 세기에 대한 광음향신호의 의존성

참고문헌

1. A.G. Bell, Ann. J. Sci., 20, 305 (1880) ; Philoso. Mag.,11,510 (1981).