

고출력 NDIR 가스센서를 위한 새로운 optical cavity 설계

유 선 화*, 이 승 환**, 권 광 호*, 민 남 기*
*고려대학교 **충주대학교

Design of novel optical cavity for NDIR gas sensor with high output power

Seon-Hwa Yu*, Seung-Hwan Yi**, Kwang-Ho Kwon*, Nam-ki Min*
*Korea university, **Chungju university

Abstract - 본 연구에서는 NDIR(non dispersive infrared absorption) 가스센서의 소형화와 저가화를 목표로 2개의 오목 거울을 이용한 새로운 광 공동(optical cavity) 구조를 제안하고, 구조에 따른 광 출력 특성을 시뮬레이션하였다. Optical cavity는 광 경로 증가 및 광 집속 구조로 설계하고, 각각의 출력단에서 검출되는 광 출력을 시뮬레이션한 결과 광 집속 구조의 광 출력이 더 효율적인을 확인하였다. 집광구조에서의 광 출력을 최대로 하기 위해 광의 초점을 찾아보았다. 집광 구조를 사용하지 않는 단순 평행 광이 조사되는 경우, 적외선 센서부에 입사되는 광 출력은 최대 0.024W이다. 그러나 집광구조에서는 optical cavity의 광축에서 센서의 위치를 15-20mm까지 변화시켜 시뮬레이션한 결과 거리 18.83mm 일 때 조사되는 광 출력이 약 0.153W로 약 7배 증가됨을 확인하였다.

집속되도록 설계하였다. 이때 광의 집속은 센서의 위치와 거울의 반경에 의해 좌우되므로, 최적의 광 집속을 얻기 위하여 센서의 위치와 반사경의 반경을 변화시켜 집속되는 광의 출력을 시뮬레이션하였다.

1. 서 론

인간은 CO₂의 농도가 1000ppm 이상인 환경에 장기간 노출될 경우, 피로와 졸음을 느끼게 된다. 공기 중의 CO₂의 농도가 급격하게 2% 증가하면 활기가 떨어지거나 졸리며, 3%가 증가하면 CO₂의 약한 마취성에 의해 혈압이 증가하고 청력이 떨어질 수 있다. 그리고 5%가 증가하면 호흡이 곤란해지며, 정신 혼란을 느끼게 되는데 특히 CO₂의 농도가 5% 이상 증가했을 경우엔 의식 불명으로 진행되는 속도가 빨라진다.[1]

이러한 현상을 억제하기 위해서는 공기 중의 CO₂ 농도의 측정이 선행되어야 한다. 더욱이 CO₂의 농도를 측정하여 냉·난방, 환기를 제어하고 공기환경을 필요한 수치만큼 제어하는 전열시스템을 사용할 경우, 타이머로 환기를 할 때보다 약 50% 정도의 에너지 절약이 가능하다.[2] 따라서 이러한 요구에 따라 CO₂의 농도를 측정하는 센서는 광범위하게 사용되고 있으며, 다양한 방법으로 개발되고 있다.

CO₂검출 방식에는 반도체식, 고체전해질식, 열전도도식, NDIR 방식[3,4] 등이 있다. NDIR CO₂ 센서는 선택성이 우수하고, 고정밀도, 고신뢰도 및 장시간 동작 안정성이 좋아 현재 가장 널리 사용되고 있다. 그러나 NDIR CO₂ 센서모듈이 그 동안 전량 수입에 의존하여, 가격이 비싸고, 크기가 커서, 널리 사용하는데 어려움이 있다. 한편 NDIR CO₂ 센서모듈의 성능은 광 경로나 광 집속을 위한 optical cavity 구조에 의해 크게 좌우된다. 따라서 효율적인 optical cavity의 설계는 NDIR 가스센서 모듈의 특성 향상을 위하여 매우 중요하다.[5]

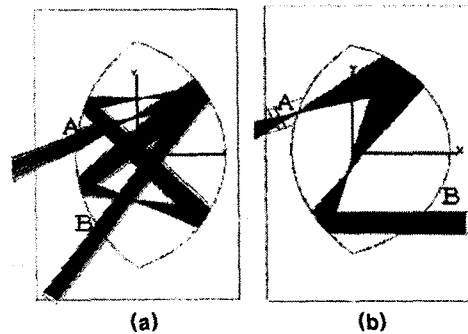
이에 따라 본 연구에서는 센서의 소형화가 용이하도록 optical cavity 내에 2개의 오목 렌즈를 사용하여, 광 출력을 극대화할 수 있도록 optical cavity를 설계하고, 각각의 optical cavity의 광 출력(optical power) 특성을 시뮬레이션을 통하여 비교, 검토하였다.

2. 본 론

2.1 Optical cavity 디자인

그림 1의 (a)는 광 경로를 확장하기 위해 설계된 optical cavity 구조에서 광 경로를 나타낸 것이다. 그림에서 A는 센서 위치를 나타내고, B는 평행 광이 입사하는 위치를 나타낸 것이다. 먼저 적외선 광원에 의하여 방출되는 빛은 이를 평행 광으로 B의 위치에서 입사하여 optical cavity에서 다중반사가 일어나도록 하여 광 경로가 증가하도록 설계하였다. 광 경로를 증가시키기 위해서는 다중 반사의 횟수를 증가시키는 것이 중요하다. 이러한 다중 반사의 횟수는 오목반사경의 반경과 광원의 위치(광원이 센서와 같은 쪽에 있는 경우와 광원이 센서와 다른 쪽에 있는 경우)에 따라 좌우된다. 따라서 광원의 위치와 거울의 반경을 변화시켜 초기 광 출력에 대한 센서의 전단부에 입사되는 광 출력을 시뮬레이션을 통해 비교해보았다. 이때 입사되는 평행광은 반사경을 통해 5회 반사되었다.

그림 1의 (b)는 A의 위치에 센서가 위치하고, B에 광이 입사되도록 설계한 optical cavity를 나타낸 것이다. 그림 1(a)의 구조는 반사경을 통한 입사광이 센서에서 집속되지 않는 반면 그림 1(b)의 구조는 입사된 평행 광이 반사경에 의해 2회 반사되고, 센서에서 광이

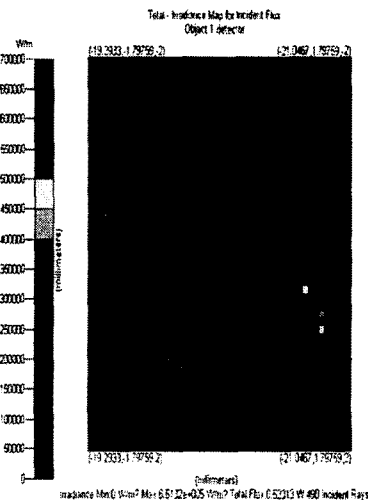


〈그림 1〉 (a) 광경로를 길게 한 2D 설계 (b) 집광되도록 한 2D 설계

2.2 Optical simulation

Optical ray tracing 소프트웨어(Lambda research)를 이용하여 구조에 대한 광 출력을 시뮬레이션을 하였다.

Optical cavity의 표면은 금으로 coating 되어, 금의 빛에 대한 반사도(0.97)를 고려하여 입사 광 출력에 대한 센서에 도달하는 광 출력을 계산하였다. 그림 2의 경우, 광 경로가 증가되도록 설계한 후, 이를 시뮬레이션한 결과를 나타낸 것이다. 이때 광 경로는 optical cavity내에서 5회 반사하도록 반사경의 반경과 광원의 위치를 설계하였다. 그림 1(a)의 시뮬레이션 결과를 나타낸 것으로 이때의 광 출력은 0.523W로 나타났다. 한편 그림에서 광의 집속이 일어나지 않아 optical flux가 전체적으로 분포하고 있는 것을 알 수 있다. 그림 3의 경우에는 그림 1(b)의 광 집속구조를 시뮬레이션한 결과로 광 출력이 0.621W임을 확인하였다. 한편 그림에서 확인할 수 있는 바와 같이 optical flux가 중앙 부분에 집중되어 있음을 확인할 수 있다. 그림 2와 그림 3으로부터 집광 구조의 optical cavity가 광 경로 증대 구조에 비하여 센서에 도달하는 광 출력이 증가함을 확인할 수 있다.



〈그림2〉 긴 광 경로의 시뮬레이션

3. 결 론

본 연구에서는 CO₂ 가스 측정을 위한 optical cavity를 최소화할 수 있는 새로운 구조를 제안하고, 그 특성을 시뮬레이션하였다. 새롭게 제안된 optical cavity에서는 2개의 오목 반사경을 사용해 광이 집속되도록 하였다.

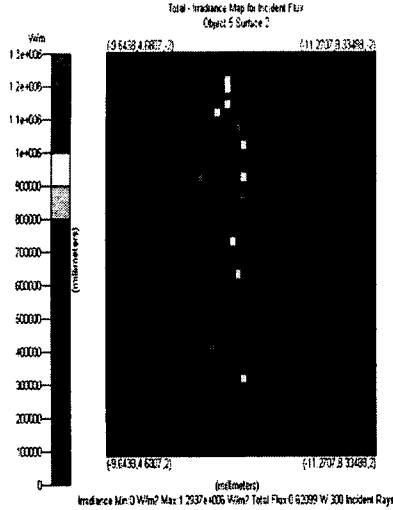
본 연구에서 제안된 optical cavity는 기존의 개념과 비교해볼 때 소규모의 체적 내에서 광로를 증가시키고 집광시킴으로써 약 7배 향상된 결과를 확인할 수 있었다. 비록 구현에 따른 오차를 감안한다 하더라도 본 연구를 바탕으로 제작된 센서 모듈은 CO₂를 효율적으로 감지하고 전열시스템을 통한 에너지 절약에도 크게 기여할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한국산업자원부 신기술 실용화 지원으로 수행되었으므로, 이에 감사드립니다.

[참고 문헌]

- [1] 환경부, "다중이용시설등의 실내공기질 관리법" 2004. 5. 30
- [2] 이상렬, "일본의 하이브리드 환기시스템", Journal of KSME, Vol. 44, No. 4, p. 26, 2004
- [3] G. Zhang, j. Lui, M. Yuan, "Novel carbon dioxide gas sensor based on infrared adsorption", Opt Eng, Vol. 39, No. 8, p. 2235, 2000.
- [4] O. Zhelondz, M. Horn, O. Kanoun, H. R. Trankler, "Temperature influence correction of a NDIR carbon dioxide sensor", Proceedings of Sensor, p. 243, 1991.
- [5] H. Martin and E. Goran, "Gas Sensor", International Patent, Patent, No. W098/ 09152, 1998.



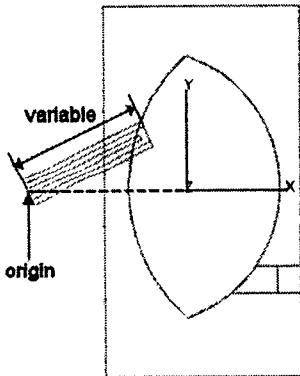
<그림 3> 집광시의 시뮬레이션

2.3 Optical cavity 에서의 센서 위치 선택

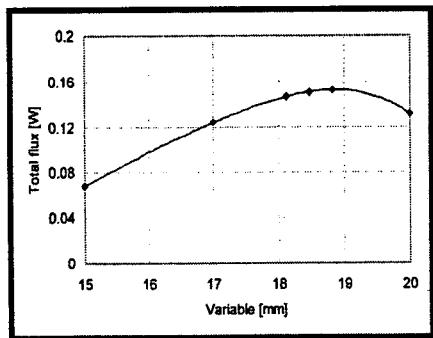
집광 구조에서는 optical cavity에서 추출되는 광의 초점거리에 센서를 위치하는 것이 센서에 도달하는 광 출력이 최대가 된다. 따라서 센서의 위치에 따른 광 집속 특성을 시뮬레이션하였다.

그림 4는 optical cavity로부터 센서 거리에 따른 광 출력 변화를 나타낸 것이다. 이때 거리는 15-20mm 사이에서 변화 시켰다. 그림 5를 살펴보면 18.83mm일 때 센서 표면에서의 광 출력이 가장 높음을 알 수 있다.

한편 단순한 평행광일 경우, active area가 전체면적의 3.9%인 것을 감안하면 출력전압은 0.024W가 된다. 그러나 빛을 집광시키면 그림 5에 나타난 바와 같이 광 출력은 0.153W가 된다. 이는 단순 평행광과 비교하여 집광효과를 사용함으로써 약 7배로 향상된 광 출력을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 active area에 입사되는 빛의 양이 전체의 33%로 증가한 결과로 나타난다.



<그림 4> Optical cavity 에서의 센서 위치 변화



<그림 5> 센서 위치에 따른 출력전압