



[요약문]

환경오염 문제로 인하여 질소산화물의 규제가 크게 강화되었으며 규제에 대응을 위한 연구가 활발히 진행되며 배기가스 후처리 기술 중의 SCR시스템이 연구되고 있다. 이러한 시스템의 개발에 있어 엔진 거동에 대한 NOx 제거효율을 높이고 장비가격을 낮추기 위하여 정확한 농도 측정이 필요하며, 이러한 측정에 들어가는 감시물질은 이용한 가스센서 방식의 반도체 감지 재료를 이용한 방식, SAW(surface acoustic wave)소자를 이용한 구동 방식, Micro / Nano 공진자를 이용한 방식과 광학방식을 이용한 가스센서의 적외선 흡광 방식, 광음향 방식의 기술소개 및 시장동향에 대하여 간략히 기술한다.

1. 서 론

디젤엔진에서 배출되는 유해물질 중 문제가 되는 물질은 질소산화물(NOx)과 황산화물(SOx) 그리고 입상물질(PM) 등이 대표적이다. 디젤엔진 배출가스 규제가 강화되면서 차량이나 선박에서 배출되는 질소산화물이 문제가 되고 있다. 질소산화물을 저감하는 기술들이 제시, 적용되고 있는데 여러 가지 방법들 중 SCR(Selective Catalytic Reduction)시스템이 대표적으로 사용되고 있다. SCR시스템은 Urea수용액을 사용하는데 수용액 분사제어와 NH₃슬립 제어를 위하여 SCR촉매 진단과 후단에 NOx농도를 측정한다. SCR시스템 개발에 있어 엔진 거동에 대한 NOx 제거효율을 높이고 장비가격을 낮추기 위하여 정확한 농도측정이 매우 중요하다.

2. 가스센서의 기술 동향

가스센서는 배출되는 가스 중 특정 가스의 농도를 측정하여 정보를 제공하는 것으로, 감지막과 트랜스듀서라는 신호전달 체계로 구성되어 있다. 전자는 소재를 적절하게 선정함으로써 후자는 적합한 기술을 채택하여 최적화하는데, 가스의 검출은 가스 환경의 변화가 감지막의 특성을 변화시키고 이것이 트랜스듀서에 의해서 신호를 전달하게 되는 것이다.

가스 센서들 중 반도체식 금속산화물 가스 센서가 중요한데 이는 감지물질과 제조 방법의 다양성 및 주위 온도에 대한 적은 영향과 독극화되는 경향이 적기 때문이다.

반도체 표면에 기체 성분이 흡착되거나 미리 흡착해 있던 산소 등과 같은 흡착기와 반도체 표면이 반응할 때, 흡착 분자와 반도체 표면 사이에 전이수소가 일어나게 되고 반도체의 도전율과 표면 전위들이 변화한다. 또한, 고온 상태가 되면 기상 분자와의 상호작용은 반도체 내부에까지 진행되고 산화물 내부의 결함 농도가 영향을 받아서 도전율이 변화하는데 반도체식 가스 센서는 이러한 원리를 이용한 것이다.

이것은 다시 전기 저항식과 비전기 저항식으로 구분할 수 있는데, 전기 저항식 가스 센서는 기체성분이 반도체 표



면에 흡착하여 화학반응을 일으킴으로써 전기저항이 변화하는 것으로 주로 가연성 가스를 감지하는 소자에 이 타입이 많고 비전기 저항식은 다이오드형과 금속 산화물 반도체 전계 효과 트랜지스터형 가스센서가 있으며 FET의 threshold voltage나 다이오드의 전류, 전압 특성 변화를 이용한 것을 말한다.

반도체 방식의 가스 센서는 구조가 간단하고, 자동화에 의한 대량생산이 가능하므로 가격이 저렴하며 응답속도가 비교적 빠른 장점이 있다. 그러나 측정 원리상, 모든 환원성 가스에 대하여 반응이 일어나게 되므로 선택성이 떨어진다. 이를 보완하기 위해 히터 인가 전압을 조정하여 특정 가스만 반응하도록 감지 센서의 온도를 변화시키거나, 특정 가스에 대해 선택성이 있는 모재료와 촉매를 사용하는 방법으로 방해 성분에 의한 영향을 제거시키고 있다.

가스센서에 대한 연구는 오래 전부터 이루어져 왔으며 현재 많은 종류의 가스센서가 실용화되어 있고 여전히 진행 중이다. 감지물질을 이용한 가스 센서 기술과 광학적인 방식을 이용한 가스 센서 기술로 나눌 수 있다.

2.1 감지물질을 이용한 가스센서 기술

2.1.1 반도체 감지 재료를 이용한 방식

스위스에서 2001년에 실리콘 플랫폼 상에 산화주석 감지물을 도포하여 마이크로 가스 센서를 제조하였다. 본딩 패드와 감지층이 놓이는 부분을 제외한 부분을 절연층으로 형성하여 용이하게 감지층이 도포될 수 있도록 유도하였으며, 감지물은 용매에 산화주석 나노 분말을 분산시켜 제조하였다. 스위스의 새로운 도포 증착 방식은 CO 및 CH₄ 가스 감지 특성 확인을 통해 매우 우수한 감도와 신뢰성을 보이는 것으로 확인되었다. 국내에서는 산업자원부의 지원을 받아 전자부품연구원과 경북대가 공동으로 유독 가스를 감지하기 위한 마이크로 센서를 개발하였는데, 그 구조는 멤브레인 형태의 MEMS 구조물 상에 적층형 구조의 마이크로 발열체와 감지 전극을 형성한 후 감지 전극 상에 감지 물질을 형성시켜 제조하였다. 또한, 2006년부터 정보통신부의 지원을 받아 전자부품연구원은 참여기관과 함께 공동으로 32개의 센서 어레이를 하나의 칩 상에서 구성하여 반도체 특성을 나타내는 산화물 및 고분자 나노선, 카본나노튜브(carbon nanotubes) 감지 재료를 이용하여 다종의 가스를 동시에 감지할 수 있는 가스 센서에 대한 연구를 수행했다. 2007년 APL(applied physics letter)에 발표된 내용에 따르면, 캠브리지 대학과 한국전자통신연구원에서 공동으로 SOI(silicon-on-insulator)-CMOS와 SWCNT(single-walled carbon nanotubes) 및 전도성 고분자의 나노 재료 기술이 결합된 가스 센서를 개발하였다. 이 가스 센서는 100°C에서 10mW이하의 저전력으로 10ppb정도의 낮은 가스 농도도 감지가 가능한 것으로 알려져 있다. 그림 1의 가스 감지는 질소, 수소, 암모니아, 아세톤에 대하여 수행되었다.

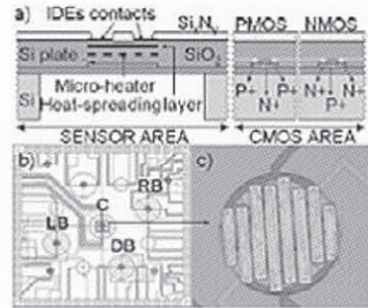


그림 1. SOI-CMOS와 나노 재료를 이용한 가스센서

(출처 : KETI, 대기센서, 2008)

2.1.2 SAW(surface acoustic wave)소자를 이용한 구동 방식

1979년에 처음으로 SAW소자가 가스센서로 이용되었으며, 음파센서는 일반적으로 활성표면에 달라붙는 물질의 질량에 의하여 공명주파수가 감소되는 원리를 이용한다. 고분자, sol-gel 및 높은 표면적을 갖는 물질을 코팅하여 물질의 흡착 및 탈착을 향상시키고 화학적 선택성을 부여함으로써 가스에 대한 화학적 정성 및 정량 분석이 가능하다.

SAW소자를 이용한 가스 센서는 포화 알칸, 방향성 탄화수소, 염소화탄화수소, 알코올, 케톤, 유기인 화합물 및 물의 감지용도로 활발하게 응용이 이루어지고 있다. 여기에는 DC전류를 고주파 펄스로 변화시키고 반대로 주파수 변화를 그에 비례하는 DC변화로 변환시켜주는 ASIC(application specific intergrated circuit) 기술의 발전이 가장 큰 역할을 하고 있다.

2.1.3 Micro / Nano 공진자를 이용한 방식

감지 재료가 형성되어 있는 진동자가 일정한 공진 주파수로 진동하고 있는 동안 외부로부터 특정한 유해 물질을 감지재료가 흡착하게 되면 진동 주파수의 변화가 생기게 되는데, 그 변화량을 측정함으로써 특정 유해 물질의 양을 계산하여 대기에 있는 유해가스를 측정하는 센서이다.

일반적으로 QCM(quartz crystal microbalance)이라는 소자가 많이 사용되고 있으나, 최근 MEMS 기술을 이용하여 마이크로 캔틸레버, 마이크로 멤브레인, 마이크로 브리지 형태의 구조물상에 PZT(plumbum-zirconate-titanate) 등의 압전 재료를 형성시켜 공진자를 제조하고, 그 위에 특정 유해 가스를 흡착하는 특성을 갖는 감지물질을 형성시켜 센서 소자를 제조한다. 그림 2는 그 일례를 나타낸 것으로 성균관대학교와 전자부품연구원에서 공동으로 PNB(piezoelectric nano balance)를 제조하기 위하여 제조된 마이크로 캔틸레버의 SEM 사진이다 최근 연구 결과들에 의하면, 이론적으로 fg(femto gram: 10⁻¹⁵g) 이하의 초극미량도 측정 가능한 것으로 보고되고 있다 따라서 이와 같은 형태의 센서는 선진국은 물론 국내에서도 KIST등에서 최근 바이오센서 용도로 응용하기 위한 연구가 매우 활발하게 진행되고 있다.

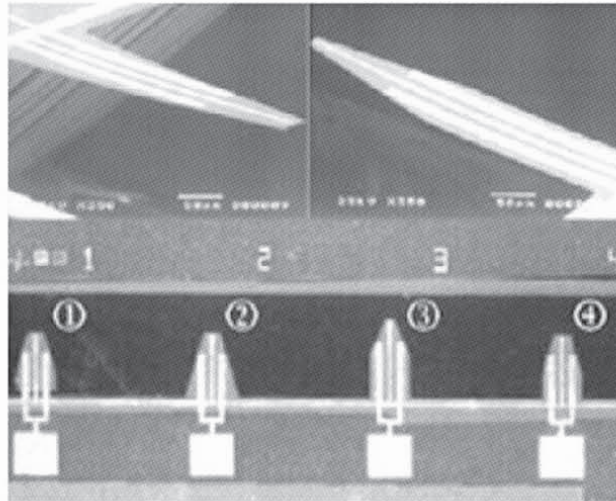


그림 2. Piezoelectric Nano Balance를 위하여 제조된 마이크로 캔틸레버

(출처 : KETI, 대기센서, 2008)

2.2 광학방식을 이용한 가스 센서 기술

광투과 방식을 이용한 측정 장치로는 DOAS(differential optical absorption spectrometer), FTIR(fourier transform infrared spectrometer), TDLAS(tunable diode laser absorption spectrometer), NDIR(non dispersive infrared), 마이크로폰을 이용한 광음향(photo acoustic) 방식 등이 있다 비분산적외선(NDIR) 방식과 광음향(photo acoustic) 방식의 가스 센서는 MEMS 기술을 적용함으로써 보다 소형화가 가능하여 제조 원가를 줄일 수 있기 때문에 넓은 소비자층에 공급할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

2.2.1 적외선 흡광 방식

적외선 흡광 방식의 가스 센서는 비분산적외선, 스펙트로미터, FTIR 등의 다양한 방식을 이용하고 있는데, 특히 비분산적외선 방식은 비교적 소형화된 제품으로 상용화되어 있으며 그림 3과 같이 기본적으로 적외선 광원, 밴드 패스 필터(band pass filter), 적외선 센서, 그리고 가스셀로 구성된다.

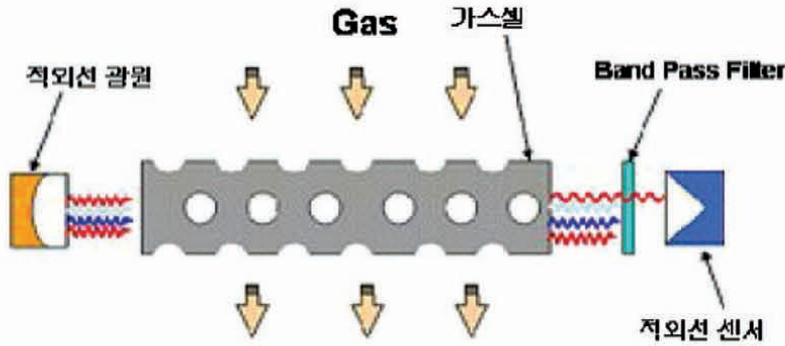


그림 3. 비분산적외선 방식 가스센서 구성도
(출처 : KETI, 대기센서, 2008)

가스들은 서로 다른 고유의 흡수 스펙트럼을 갖고 있기 때문에, 비분산적외선 방식의 대기 센서는 측정 가스의 흡수 스펙트럼에 맞는 밴드 패스 필터를 사용함으로써 특정 가스만을 선택적으로 측정이 가능하다는 장점을 갖고 있다. 그리고 비분산 적외선 방식의 대기 센서를 소형화하기 위해서는 저 소비 전력을 갖는 소형의 적외선 광원, 적외선 흡수를 최대화 할 수 있는 가스 셀의 최적화 설계, 주변 온도 변화에 따른 보상 회로 설계 등의 기술들이 요구된다. 그림 4는 비분산적외선 방식을 이용한 임베디드 타입의 가스 센서로 SenseAir에서 판매하고 있는 제품이다.

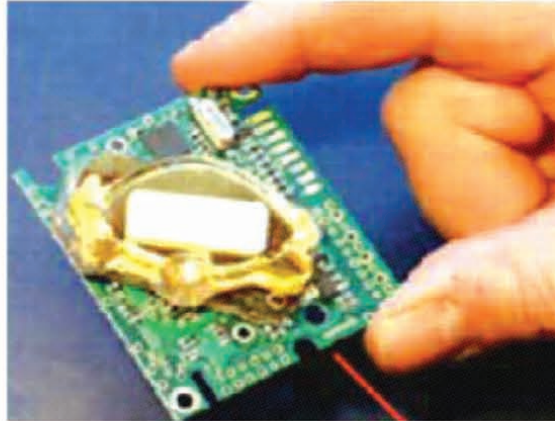


그림 4. 임베디드 타입의 CO₂ 감지 NDIR 방식 센서
(출처 : SenseAir)

2.2.2 광음향 방식

광음향 방식의 가스 센서는 최근 소형의 고출력 적외선 반도체 레이저의 개발과 함께 연구가 활발히 진행되고 있다. 광음향 방식은 기체뿐만 아니라 액체, 고체 시료에 대해서도 측정을 할 수 있는 방법으로 원리적으로는 단파장에서 원적외선 그리고 마이크로파, X-ray 등의 다양한 광원을 이용할 수 있고 레이저와 같은 간섭성 광원 모두를 이용할 수 있다. 광음향 방식의 가스 센서는 적외선 광원, 광변조기, 가스셀, 마이크로폰 등으로 구성되며, 작동 순서를 그림 5에 나타내었다.

광음향 방식의 가스 센서의 원리는, 가스 셀 내의 가스에 특정한 파장의 광을 조사하면 광 에너지를 흡수한 가스 분자들이 들뜬 상태로 여기되어 운동에너지가 증가하게 되며, 이렇게 가스 분자들의 운동에너지 증가로 인해 분자들

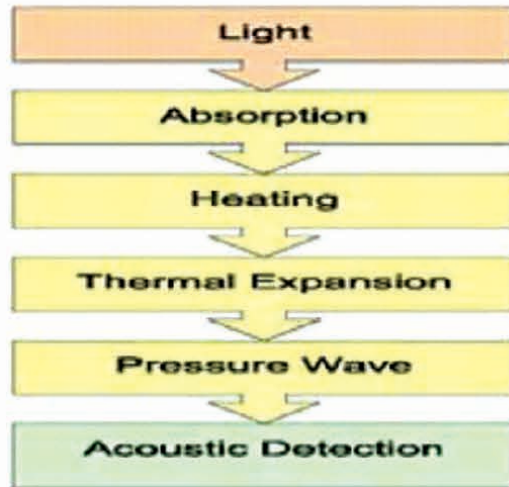


그림 5. 광음향 방식 대기 센서의 작동 원리
(출처 : KETI, 대기 센서, 2008)

간의 충돌이 증가되어 가스 셀에서 압력이 상승하게 된다. 이때 외부에서 변조된 광을 조사하면 이에 따른 가스 분자들의 운동에너지의 변화도 주기적인 변조가 발생하여 결국 가스 셀 내부의 압력은 주기적인 팽창 및 수축이 이루어져 압력의 변화인 음향이 발생하게 되는 것이다

따라서 이러한 음향의 변화를 압력 센서 또는 음향 센서를 이용하여 측정함으로써 가스를 감지할 수 있게 되며, 음향의 변화 크기를 측정함으로써 가스의 농도를 측정할 수 있다. 광음향 가스 센서는 음향 센서, 적외선 광원 등을 MEMS 기술을 이용하여 소형화와 함께 제조비용을 절감할 수 있는 기술에 대한 연구가 이루어지고 있다.

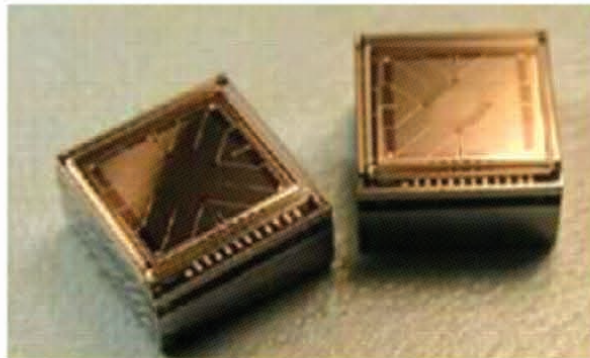


그림 6. MEMS 기술을 이용한 광음향 감지 센서
(출처 : SINTEF)

3. 가스센서 시장동향

지난 반세기동안 진행된 반도체 공정의 혁신적인 발전은 센서 산업에도 지대한 영향을 주어, 종래의 크고 복잡한 구조의 기계식 센서가 3차원 미세 가공 기술을 이용하여 실리콘웨이퍼 상에 대량으로 제작되는 초소형·경량의 전



자식 반도체 센서로 대체되어 가고 있다.

센서 산업은 소수의 선진기업이 세계 센서 시장의 80%이상을 점유하고 있고 기술이전을 기피하고 있으며, 이들 기업들의 광범위한 판매망, 브랜드 인지도, 제품라인 확장 추세에 대응하여 다수의 중소기업도 업체들이 치열하게 경쟁하는 과점적 경쟁의 구조를 가지고 있다.

센서 산업은 전후방산업에 파급효과가 큰 수출 유망산업이고, 소재기술, 회로기술, 응용기술 등 복합기술이 요구되며 사용범위가 매우 넓다. 그리고 다품종, 소량 생산 특성으로 중소, 벤처기업에 적합한 고부가가치 산업이며 고용 창출효과가 큰 첨단 지식산업이다.

센서 시장에서 아직 국산 제품의 품질이 높지 못 하여 센서 수요업체에서도 위험부담을 감수하면서까지 국산제품을 사용하지 않는 것으로 보이며, 실제로 일부 대기업 또는 벤처기업을 제외하고는 기술 개발이 어려운 상황이어서 대부분의 센서 기술이나 제품 등을 해외로부터 수입해 오고 있는 실정이다.

국산 제품의 품질이 높지 못 한 이유는 여러 가지가 있다. 대표적으로 소재의 문제를 들 수 있으며, 개발에 소요되는 비용이 적지 않고, 기존 업체들의 시장을 장악하고 있어 개발한다고 하더라도 시장 개척에 어려움이 있을 것으로 예상된다.

4. 결 론

Urea수용액을 사용하는 SCR시스템에서 Urea수용액의 분사량과 촉매의 양을 결정하는 가장 큰 요소는 NOx농도이다. NOx의 측정이 큰 비중을 차지하는 만큼 시스템 설계 시 센서의 선택은 매우 중요하다. 얼마나 정확하고 안정적으로 농도를 측정하는가는 SCR시스템의 성능에 매우 큰 영향을 끼칠 것이다.

SCR시스템은 디젤엔진과 맞물려 있고 차량이나 선박과 같이 이동수단에 탑재되는 경우가 많다. 이런 점에서 본다면 광학 방식을 이용한 가스 센서 기술은 진동에 대한 안정성을 확보하지 못 한다면 SCR시스템에 적용하기에 어려울 것으로 보인다.

또한, SCR시스템의 국내 개발이 활발히 진행되고 있지만, 경쟁력을 갖출 수 있는지는 아직 미지수이다. 성능측면에서 경쟁력을 갖추는 것은 물론이고 가격측면에서도 경쟁력을 가져야한다. 가격을 결정하는 많은 요인이 있겠지만 기본적인 계측 장비인 NOx센서의 가격이 시스템의 가격 경쟁력에 적지 않은 영향을 미칠 것으로 예상되므로 수요 업체에서 신뢰할 수 있는 정확하고 안정적이고 제조원가가 저렴한 NOx센서의 개발이 국내에서 조속이 이루어지길 바란다.

❁ 참고 문헌

- [1] F. Willems, R. Cloudt, E. Eijnden, M. Genderen and R. Verbeek, "Is Closed-loop SCR Control Required to Meet Future Emission RTPCs?," SAE 2007-01-1574, 2007.
- [2] Yunyoung Ham, Yongsung Park, Development of Map based Open Loop Control Algorithm for Urea - SCR System, Transactions of KSAE, Vol.19, No.2, pp.50-56, 2011
- [3] A.J.Moulson and J.M.Herbert, 'Electroceraamics' p 166-170
- [4] The journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers. Vol. 7 No. 5 1994
- [5] The journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers. Vol. 11 No. 12 1998
- [6] Journal of The Korean Sensor Society Vol. 6 No. 4 1997
- [7] Journal of the Korean Ceramic Society Vol. 36 No. 12 1999

- [8] Journal of the Korean Ceramic Society Vol. 35 No. 8 1998
- [9] Y. Shimizu, Y. Fukuyama, C. Yu and H. Arai : Sensors and Actuators, 14 1998
- [10] S. Mokude and H. Futata : 2nd Int. Meet. Chem. Sensors. (Bordeaux) 1986
- [11] N. Yamazoe, Y. Kurokawa, T. seiyama, "Effect of additives on semiconductor gas sensors" Vol.4 1983
- [12] T. Oyabu, "Sensing Characteristics of SnO₂ Thin Film Gas Sensor", J. Appl. Phys. 1982
- [13] 중소기업청, 가스센서기술동향보고서(인용), 1009
- [14] 한국무역협회, 무역정보네트워크 서비스, 2009
- [15] 한국무역협회, 품목별해외시장동향, 2009
- [16] 한국산업기술진흥원, 나노선 가스센서, 2008
- [17] 전자부품연구원, 환경 센서, 2008
- [18] 전자부품연구원, 센서 개황 및 바이오칩, 2008
- [19] 통계청, 광공업통계조사보고서, 2007
- [20] 한국산업기술진흥원, 2007
- [21] 한국전자정보통신산업진흥회, 센서산업 시장동향, 2006
- [22] 한국과학기술정보연구원, 가스센서기술 혁신방향, 2005
- [23] ㈜밸류애드, www.valueadd.co.kr



정 경 열

- 한국기계연구원 에너지플랜트연구본부 플랜트 안전연구실 책임연구원
- 관심분야 : IT융합기술, 에너지플랜트
- E-mail : kychung@kimm.re.kr



임 병 주

- 한국기계연구원 에너지플랜트연구본부 플랜트 안전연구실 선임연구원
- 관심분야 : 플랜트 상대진단 기술
- E-mail : bzoo77@kimm.re.kr



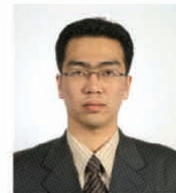
박 참 대

- 한국기계연구원 에너지플랜트연구본부 플랜트 안전연구실 선임연구원
- 관심분야 : 에너지플랜트, 담수플랜트
- E-mail : parkcdae@kimm.re.kr



양 경 성

- (주)씨메카
- 관심분야 : 제어계측, IT
- E-mail : ksyang@seamecca.com



임 희 준

- (주)씨메카
- 관심분야 : 플랜트 통신, IT
- E-mail : hjlim@seamecca.com