

# 실내 공기질 감시를 위한 센서 기술 현황

○ 유준부 | 강원대학교 삼척캠퍼스  
 Post Doc.(책임급 연구원)  
 E-Mail : jyacht@naver.com

## 1. 서론

사람의 삶에서 깨끗한 공기와 깨끗한 물이 아주 중요한 요소이다. 깨끗한 물의 공급은 일정한 장소나 환경으로 제한할 수 있지만 공기의 공급은 끊임 없이 이루어져야 하며, 유해한 물질이 포함된 공기는 인체에 치명적일 수 있다. 이러한 대표적인 예로는 광산에서 실내공기가 산업이 발전하면서 사람들의 생활공간은 실외에서 실내로 이동하였으며,

최근에는 실내공간에서의 80~90% 정도에 이르고 있으며, 실내환경이 건강에 미치는 영향은 매우 크다고 할 수 있다. 또한 에너지 효율의 개선을 위한 기밀성은 건축 및 실내 내장 또는 장식 재료에 포함된 화합물의 영향으로 실내 공기질의 오염이 발생하여 새집증후군(Sick Building Syndrome: SBS)과 같은 새로운 환경문제로 문제로 대두되었다.

실내공기의 오염 물질은 폼알데하이드(HCHO), 휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compounds:

표 1. 실내에서 발생하는 주요 오염물질

| 오염물질  | 주요 발생원   | 오염물질                           | 주요 발생원  |
|---|--|--------------------------------|---|
| 부유미생물<br>(곰팡이, 세균)                                | 가습기, 냉방장치, 냉장고, 애완동물(비듬, 털), 인간활동(대화, 재채기 등), 음식물쓰레기, 카펫 | 휘발성유기화합물, 탄화수소류, 미세먼지, 타르, 니코틴 | 담배연기  |
| 폼알데하이드  | 각종합판, 보드, 가구, 단열재, 담배연기, 화장품, 의류, 접착제 등                  | 벤젠                             | 건축재료, 세탁용제, 페인트, 살충제, 석유화학제품, 자동차배출가스, 연료(석유 등) |
| 아세트 알데하이드   | 합성수지, 접착제, 향료  | 톨루엔                            | 담배연기, 건축재료, 페인트, 살충제, 페인트, 난방(석탄, 석유연소)         |
| 아세톤   | 칩보드 건축재료, 접착제, 락타, 매니큐어, 제거제                             | 에틸벤젠                           | 자동차 배출가스, 담배연기                                  |
| 연소가스<br>(CO, NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> 등) | 난로, 연료연소, 가스레인지  | 지일렌                            | 접착제, 페인트  |
| 먼지, 중금속   | 외기유입, 생활 활동, 의류  | 스틸렌                            | 접착제, 주방랩, 플라스틱제품, 필름                            |
| 라돈  | 토양, 건축자재, 지하수  | 테트라클로로, 에틸렌                    | 카펫용세제, 얼룩제거제, 드라이크리닝의 용제                        |

VOCs)와 같은 건축물의 내장재에서 나타나는 성분들과 밀폐된 공간에서 환기가 되지 않아 농도가 증가할 수 있는 이산화탄소, 일산화탄소 등의 물질로 분류할 수 있다. 폼알데하이드나 휘발성 유기화합물은 눈, 코, 목 등에 자극을 주며, 불쾌감, 재채기, 구토, 호흡곤란 까지 일으킬 수 있으며, 이 물질들은 합판, 벽지 등의 건축 내장재와 건축시공에 사용되는 접착제, 커튼, 카페트 가구 등의 생활용품, 살충제, 방향제, 흡연 등에서 기인하는 것으로 표 1과 같이 알려져 있다.<sup>1)</sup>

실내공기질의 관리에 관한 법률은 2003년에 “다중이용시설 등의 실내공기질 관리법”을 제정하여 다중이용시설, 지하역사, 지하도 상가, 신축되는 공동 주택 및 대중교통차량 등의 공기질에 대한 내용으로 공기정화 또는 환기시설을 설치하여 오염물질을 없애거나 줄이도록 규정하고 있다. 이 규정에 따라 실내공기질 공정시험기준은 휘발성 유기화합물 및 폼알데하이드 시험 방법은 소형 챔버법 또는 방출 셀법 등이 있다. 라돈(Radon) 측정은 알파비적 검출 법이 정의되어 있고, 그 외의 실내오염 가스는 기체크로마토그래피(Gas chromatography mass spectrometer: GC-MS)분석 등을 적용하도록 환경부고시에 표현되어 있다. 환경부고시 기준은 정성 정량 분석에 의한 기술이 적용되어 있는 기술이다.<sup>2)</sup>

실내공기질을 모니터링하기 위한 센서 및 관련 기술에 대하여 고찰 하고자 한다.

## 2. 실내공기질 센서

### 2.1 가스센서

광산에서 광부들은 석탄을 채굴하기 위하여 굴 속에 들어갈 때 카나리아가 들어있는 새장을 들고 들어갔다. 굴 속에는 산소의 양이 적고, 메탄(Methane) 가스, 일산화 탄소(CO), 폭발성 가스 등의 많은 가스가 있었으므로 직실, 폭발의 위험이 항상 존재하고 있었다. 따라서 안전을 위한 방법으로 카나리아

를 들고 들어가서 광부들의 위험한 정도를 예측하였다. 그 이후 H. Davey에 산소가 줄어들면 불꽃이 작아지거나 꺼지는 원리의 화염 검정등(Flame Safety Lamp)이 개발되어 산소의 농도를 측정하였다. 그러나 광산은 가연성 가스가 많이 존재하고 있으므로 폭발의 위험이 높아 유리병 안에 불꽃을 넣어 측정할 수 있는 방법으로 개선 되었다. 1920년대에 가스검출 분야의 발전이 있었다. 1925년 츠지 지로(Jior Tsuji, Japan)에 의해 광파장을 사용한 가연성가스 측정 방법이 개발되었다. 1927년에는 Oliver Johnson에 의하여 백금 촉매를 사용한 가연성 가스를 검출하는 방법이 개발 되었으며, 그림 1은 “Standard Oil Electric Vapor Indicator” 이란 이름으로 개발된 제품이다. 약 50개가 생산되었으며, 가스를 끌어들이기 위해 흡인기가 사용되었으며, 휘스톤 브리지의 전압 균형에 의한 원리로 측정하였다.<sup>3,4)</sup>



그림 1. Oliver W. Johnson의 의하여 발명된 촉매 연소가스 센서에 의한 첫 번째 연소가스 측정기

가스센서의 연구는 1960년대 이후에 귀금속(백금, 팔라듐, 이리듐, 로듐 등)의 첨가로 산화물 반도체에 의해 많은 발전을 하여 1970년에 주석산화물(SnO<sub>2</sub>)센서를 실용화하기 시작하였다. 1980년대에

표 2. 가스 센싱 기술의 비교

| 특징   | 전기화학식 | 광학식 | 저항형 |
|------|-------|-----|-----|
| 가격   | 중간    | 비싸다 | 싸다  |
| 수명   | 짧다    | 길다  | 길다  |
| 감도   | 높다    | 높다  | 높다  |
| 선택성  | 좋음    | 우수함 | 낮은  |
| 반응시간 | 빠르다   | 빠르다 | 빠르다 |
| 크기   | 중간    | 크다  | 작다  |

는 K.C. Persaud 와 Doddp 의해 센서어레이를 이용한 향 또는 냄새를 인지하는 전자코 시스템에 대한 연구가 진행되었으며, 최근에는 나노물질의 개발이 활성화되면서 고감도, 고선택성에 대한 연구와 다양한 감지재료 개발에 따른 전자코시스템에 연구도 한층 더 활성화 되었다.

가스 센서는 측정원리에 따라 전기화학식(Electrochemical), 광학식(Optical), 저항형(Cheмоresistive)으로 나눌 수 있으며, 이 방식들의 특징은 표 2와 같이 나타나 있다.<sup>5)</sup>

전기화학식 센서는 선택성은 좋지만 수명이 짧고, 광학식은 감도와 선택성이 아주 우수하고, 응답이 빠르며, 또한 수명도 길다. 반면에 센서의 크기가 크고 가격이 비싸다는 단점이 있다. 저항형 센서는 화학적인 작용에 의하여 물질 내부의 저항 변화를 이용하는 방법으로 선택성을 낮지만 저가로 대량 양산할 수 있다는 장점으로 최근에 가장 많이 연구되고 있는 센서 분야이다.

2.1.1 전기화학식 가스 센서

전기화학식 가스센서는 전해질 내에 양극과 음극 사이에서 화학반응이 일어나면, 이때 발생하는 전류를 측정하는 방식이다. 작동방식에 따라 정전위전해식 가스센서와 갈바니전지식 가스센서로 구분된다. 기본원리는 그림 2와 같이 구성되어 가스 분자가 전극과 전해질 계면에서 가스에 따라 일정한 전위가 발생하고 전류는 농도에 비례하므로 전

류의 크기로 가스의 종류와 농도를 측정할 수 있다. 전해액과 가스의 산화·환원 전위는 표 3과 같이 특정가스를 선택적으로 정량화 할 수 있다.<sup>6,7)</sup>

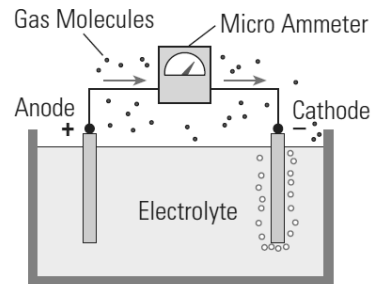


그림 2. 전기화학식 센서의 원리

표 3. 가스의 산화·환원 전위

| 가스              | 반응식  | 산화·환원 전위 |
|-----------------|--|----------|
| CO              | $CO_2 + H_2O \leftrightarrow CO_2 + 2H^+ + 2e^-$   | -0.12V   |
| SO <sub>2</sub> | $SO_2 + 2H_2O \rightarrow SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e^-$ | +0.17V   |
| NO <sub>2</sub> | $NO_2 + H_2O \rightarrow NO_3^- + 2H^+ + e^-$      | +0.80V   |
| NO              | $NO + H_2O \rightarrow NO_2 + 2H^+ + 2e^-$         | +0.102V  |
| O <sub>2</sub>  | $O_2 + 4H^+ + 4e^- \leftrightarrow 2H_2O$          | +1.23V   |

갈바닉 전지식은 정전위식과 마찬가지로 검지대상이 전해에 흐르는 전류로부터 가스의 농도를 측정하며, 그림 3과 같이 구성되어 있다. 양극에서 산화가 일어나고 음극에서 환원이 일어나며, 산소가 센서 내부로 유입될 때 전류가 발생한다. 최근에는 소형화된 전기화학식 가스센서는 휴대용 가스센서 시스템으로 개발이 가능하며, 다양한 환경오염 모니터링에 사용하고 있다.

국내에서 전기화학식 센서는 주로 (주)센코에서 갈바닉 센서 타입의 일산화탄소, 이산화탄소, 이산화질소, 황화수소 등을 측정할 수 센서를 생산하고 있다. 해외에서는 중국의 Winses에서 생산하고 있으며, 일본에서는 Figaro사에서 생산하고 있다. 이들 회사의 몇 가지 센서의 감지 가스와 감지 특성은 표 과 같으며, 그 외 대다수의 센서들이 선택성이 우수하여 많이 활용하고 있다.

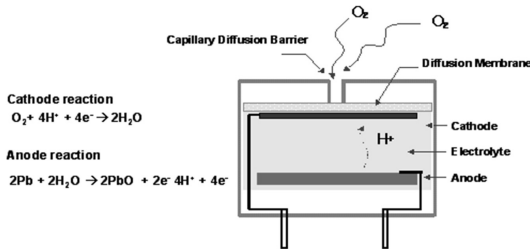


그림 3. 갈바닉 가스 센서의 구조

### 2.1.2 광학식 화학센서

광학식 화학센서는 분자 흡수 분광법에 기초하며, 화학물질은 자외선 또는 적외선의 파장에 따라 흡수 스펙트럼이 다르게 나타나는 성질을 이용한 것이며, 스펙트럼에 사용되는 파장은 자외선(Ultra violet wave)은 200~400nm, 근적외선(Near infrared)은 700nm~2.5um, 중적외선(mid infrared)은 2.5~14um로 정의 된다. 적외선 영역에서 가스 종류에 따른 흡수 스펙트럼이 그림 4와 같이 나타났다. 메탄과 일산화탄소는 각각 3.2um, 4.5um 근처의 좁은 영역에서

표 4. 전기화학식 센서의 종류 및 특징

| 제조사   | 센서의 가스 감지 특성  |
|---|---|
| <br>Figaro   | 검지가스 : CO<br>검지범위 : 0~5,000ppm<br>CO 가스 중 출력전류 : 1.2~3.2 nA/ppm<br>응용 : 화재 감지 보조용 |
|   | 검지가스 : 일산화탄소<br>검지범위 : 0 ~ 300 ppm<br>출력전류 : 400nA/ppm<br>응용 : 실내 주차장의 공조 장치      |
| <br>SENKO    | 검지가스 : 이산화탄소<br>검지범위 : 0 ~ 100%<br>출력전류 : uA/20.9% O2<br>응용 : 산업시설의 모니터링          |
|   | 검지가스 : 이산화질소<br>검지범위 : 0 ~ 20 ppm<br>출력전류 : 220nA/ppm<br>응용 : 디젤차의 배출가스 모니터링      |
|   | 검지가스 : 암모니아<br>검지범위 : 0 ~ 100 ppm<br>출력전류 : 100nA/ppm<br>응용 : 음식,약품, 화장품등의 모니터링   |
| <br>Winsen | 검지가스 : 산소<br>응용 : 산업 모니터링용  |

흡수 되고 있으며, 메탄은 7.8um 근처에서는 크기는 좀 적어도 넓은 파장대에서 흡수되고 있다. 또한 암모니아도 9um를 기준으로 넓은 파장대에서 흡수되고 있다. 이러한 파장에서의 흡착원리를 적용한 광학식 가스센서가 개발되었다.<sup>8)</sup>

비분산적외선(Non-dispersive infrared: NDIR) 센서는 적외선을 이용한 가장 간단한 방법으로 적용한 센서이다. NDIR 센서의 동작은 이산화탄소 측정의 경우에는 광 경로는 3~20cm이고 광원과 광검출기(detector) 검출가스의 주입구등이 구성 되어 있으며 그림 5와 같이 구성되었다. 유사한 방법으

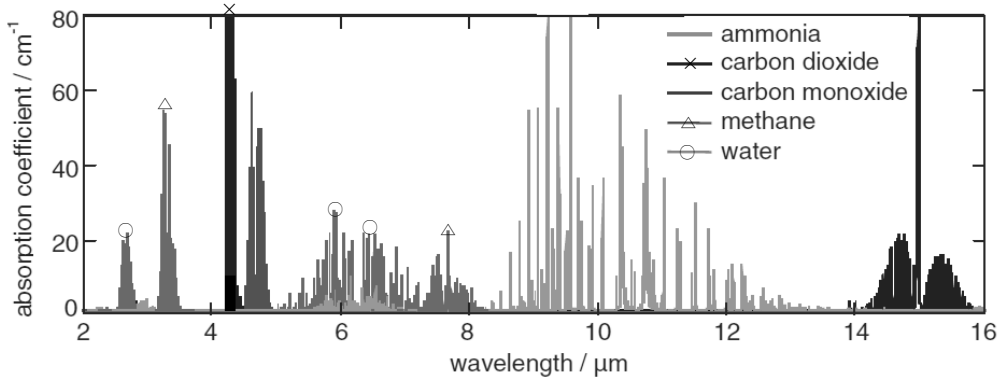


그림 4. 적외선 영역에서 5종 가스에 대한 흡수 스펙트럼

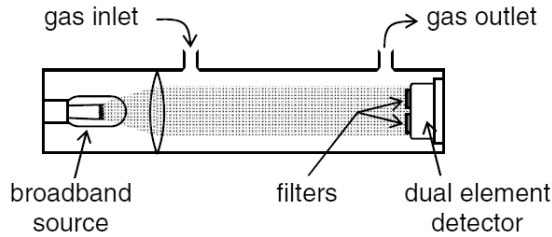


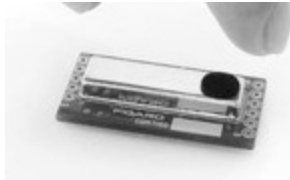
그림 5. NDIR 가스센서의 개략도



Alphasense (영국)  
이산화탄소와 메탄검출용 IR 센서



소하(한국)  
공기질 측정용 모듈



Figaro Engineering Inc. (일본)  
이산화탄소 검출용 NDIR 센서



MIPEX (독일)  
메탄과 이산화탄소 검출용 NDIR 센서

그림 6. 광학식 가스 센서의 종류

로 자외선(UV)등의 광 파장을 이용한 센서들이 개발되어 상용화하였고 그림 6는 상용화 되어 사용하고 있는 IR 또는 NDIR 가스센서의 사진이다.

광원과 광 검출기의 동작 방법에 따라 다양한 종류의 가스를 검출할 수 있으며, 파장과 광이 통과하는 길이에 따라 반응시간과 검출농도의 범위를 조절할 수 있다. 표 5는 가스를 검출하기 위한 광 검출기 파장과 광경로에 따른 검출 농도를 비교하였다. 또한 광 검출하는 기술에 따라 감지 농도의 범위 응답시간이 바뀔 수 있다.<sup>9)</sup>

**2.1.3 저항형 가스센서**

저항형 가스센서는 가스와 반응하는 고체 표면의 저항 변화를 정성 또는 정량화하는 종류의 센서

를 의미하며, 일반적으로 반도체식 가스센서를 의미한다. 반도체식 가스 센서의 본격적인 개발은 1960년대 초에 Seiyama와 Tauchi 등에 의해 이루어졌다. 센서표면과 가스의 반응은 상온에서 잘 일어날 수 없고 고온에서 센서 표면에서 가스와 반응이 잘 이루어지는 특징이 있다. 고온으로 가열하여 사용할 수 있는 금속 또는 세라믹 재료는 융점이 높고, 저항의 변화를 이끌어낼 수 있다. 산화주석(SnO<sub>2</sub>)과 산화아연(ZnO)을 모 물질로 하는 소자는 주로 표면에서 전자의 반응에 의해 그 저항변화를 일으키는 표면 제어형 이라 하고, 산화철(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 산화 코발트(CoO) 및 산화 티타늄(TiO<sub>c</sub>) 등은 환원성가스와 접촉할 때 벌크에까지 반도체적 성질의 변화를 일으키는 벌크 제어형 소자로 나눌 수 있다.

**표 5. 가스 종류에 따른 광 검출기 동작 성능 비교**

| 검출 가스                                    | 파장          | 광 경로 길이 | 응답/평균 시간 | 검출가스의 중간 농도 | 참고  |
|--|-------------|---------|----------|-------------|-----|
| Ammonia<br>NH <sub>3</sub>               | 190-230 nm  | 150m    | 1 s      | 0.15ppm m   | 10) |
|  | 200-230 nm  | 60.5 cm | 1 s      | 1 ppm       | 11) |
|  | 10.34 μm    | 76 m    | 1s       | 0.2 ppb     | 12) |
| Benzene<br>C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> | 230-260 nm  | 100 m   | 5 s      | 2 ppm m     | 13) |
|  | 14.8 μm     | 10 cm   | 1 s      | 11.5 ppm    | 14) |
| Carbon dioxide<br>CO <sub>2</sub>        | 1.572 μm    | 8.7 cm  | 2.6s     | 1.9ppm      | 15) |
|  | 4.24 μm     | 1m      | 20s      | 16ppb       | 16) |
| Carbon monoxide<br>CO                    | 1.582 μm    | 1m      | 1s       | 5 ppm       | 17) |
|  | 4.4-4.8μm   | 30cm    | 3s       | 1.1ppm m    | 18) |
| Formaldehyde                             | 3.53 μm     | 83 m    | 3 s      | 50 ppb      | 19) |
|  | 3.52-3.59μm | 4cm     | 3s       | 3 ppb       | 20) |
| Hydrogen sulfide<br>H <sub>2</sub> S     | 1.578 μm    | 1m      | 1s       | 4 ppm       | 21) |
|  | 1.5716μm    | 1.8km   | 2s       | 0.22 ppb    | 22) |
| Methane<br>CH <sub>4</sub>               | 1.684 μm    | 20 cm   | 0.3 s    | 4.3ppm      | 23) |
|  | 3.3 μm      | 6.8 m   | 60s      | 15 ppb      | 24) |
| Nitrogen dioxide NO <sub>2</sub>         | 6.25 μm     | 9.2 cm  | 120 s    | 0.5 ppb     | 25) |
|  | 463 nm      | 50 cm   | 2s       | 3ppm        | 26) |
| Sulphur dioxide<br>SO <sub>2</sub>       | 290-310 nm  | 19 cm   | 60s      | 0.4ppm      | 27) |
|  | 190 nm      | 100 m   | 5 s      | 6 ppm m     | 10) |

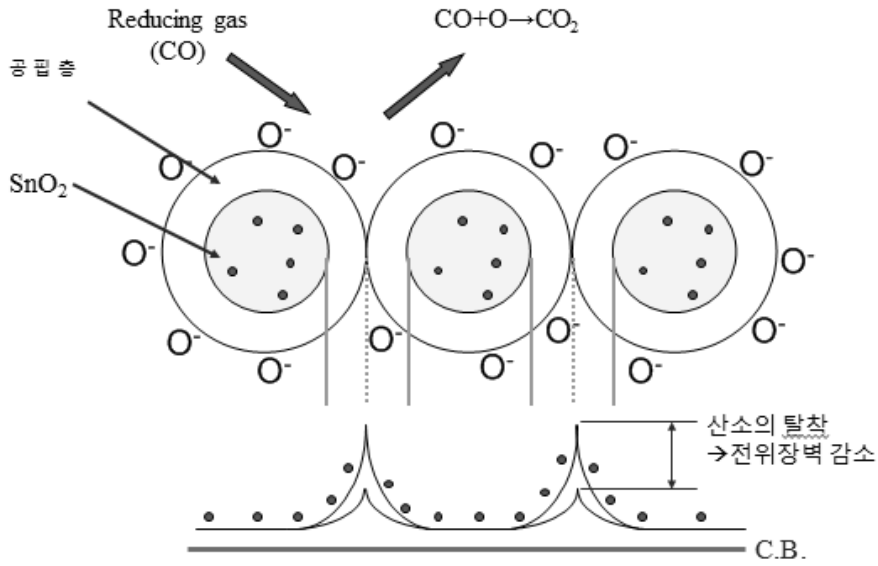


그림 7. 일산화탄소에 의한 전위장벽의 변화

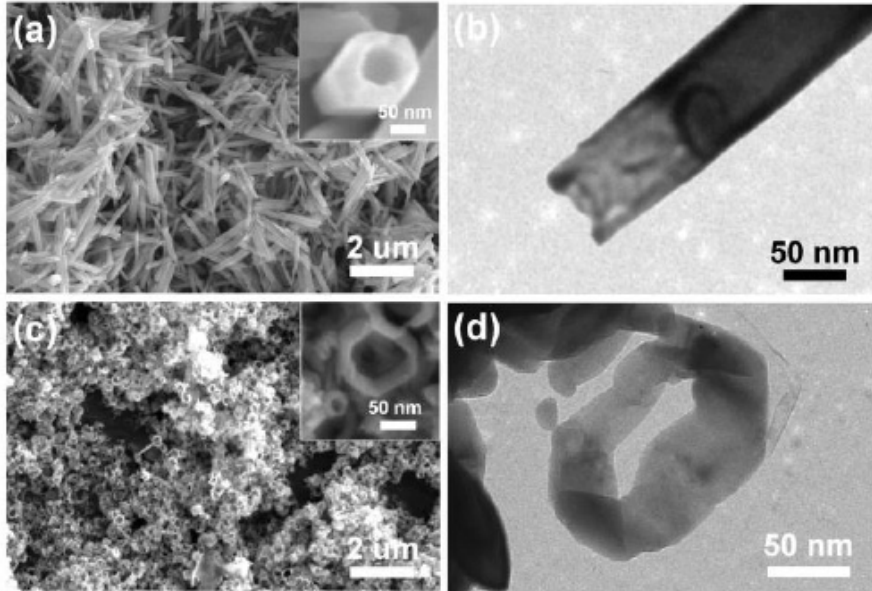


그림 8. 산화아연의 나노구조 합성체 (a) 나노튜브의 SEM 이미지 (b) 나노튜브의 TEM 이미지 (c) 나노링의 SEM 이미지 (d) 나노링의 TEM 이미지

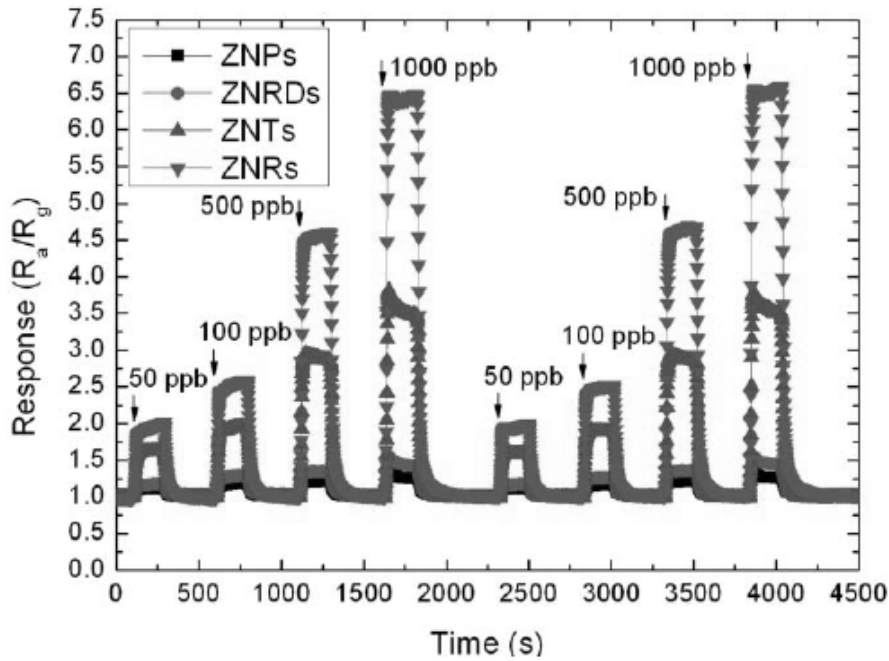


그림 9. 아세트 알데하이드가스에 대한 산화아연의 구조에 따른 감도  
(ZNPs:산화아연 나노 입자, ZNRDs: 산화아연 나노로드, ZNTs: 산화아연 튜브, ZNRs: 산화아연 링)

반도체식 가스센서의 동작은 그림 7에서와 같이 산화 주석(SnO<sub>2</sub>) 입자로 구성되어 있다. 산화주석은 일산화탄소를 공급하면 산화주석 표면의 산소가 일산화탄소와 반응하여 산화주석 표면의 자유전자는 산화주석 입자내로 들어가게 되어 전위장벽은 낮아져 입자간의 전기저항은 낮아지게 된다. 환원성 기체 또는 가연성기체는 산소기체와 만나 산화되기 때문에 이들 기체가 존재하게 되면 SnO<sub>2</sub> 표면에 흡착되어 있는 산소기체를 제거하게 되고 산소기체에 포획되었던 자유전자는 결국 산소기체의 흡착량과 탈착량은 센서의 감도를 좌우하게 된다.

센서 비표면적에 대한 연구로 산화아연(ZnO)을 수열처리 등의 방법으로 나노로드, 나노링 등으로 합성함으로써 센서물질 사이의 공간을 확보하여 센서의 감도의 증가를 볼수 있다. 그림 8은 산화 아연의

나노링과 나노튜브 합성체의 SEM(scanning electron microscopy) 과 TEM(transmission electron microscope) 사진이다. 산화아연의 구조에 따른 센서의 감도도 차이가 크게 나는 것을 그림 9에서 볼수 있다. 산화아연의 구조는 나노크기의 입자, 나노직경의 로드, 속이 비어있는 형태의 튜브, 고리 모양의 링의 형태를 가지고 있으며, 아세트알데하이드에 대한 반응을 비교하였다. 센서의 감도는 나노링의 경우에 가장 높게 나타났으며, 나노튜브는 조금 낮은 감도를 보이고 있다. 나노입자상은 일반적으로 센서물질에 적용되던 구조이며, 감도는 가장 낮게 나타났다. 센서의 반응시간도 많이 줄어들어 수 초에서 20초 이내로 반응하고 있다. 동작 온도 200°C 정도에서 동작하는 특성을 보이고 있다.<sup>28)</sup>

반도체식 가스센서의 단점은 가스에 대한 선택



성이 떨어지는 것인데 이를 개선하기 위한 기존의 산화주석 또는 산화아연 외에 텅스텐, 인듐, 구리 등의 모물질 변화와 촉매로써 백금(Pt), 금(Au), 팔라듐(Pd) 등을 사용하여 선택성을 높이고 있다. 또한 센서에 반응하는 가스의 활성화 되는 온도를 고려할 수 있으며, 센서의 동작온도에 따른 특성을 반영한 가스의 선택성을 높이고 있다. 감지물질의 온도변화에 따른 감도를 표 6에 나타냈다. 표 안의 숫자는 저항의 변화율을 의미하며, (-)표시는 저항의

감소함을 의미한다. 일산화탄소는 전체적으로 저항이 증가하고 있지만 산화주석 400°C에서 저항이 감소하였다. 일산화질소(NO)와 이산화질소(NO<sub>2</sub>)는 산화구리(CuO)에서는 저항이 감소하는 경향을 보이고 있지만 메테인(CH<sub>4</sub>), 일산화탄소(CO), 암모니아(NH<sub>3</sub>), 이산화황(SO<sub>2</sub>), 황화수소(H<sub>2</sub>S)는 저항이 증가하고 있다. 텅스텐 산화물은 수소가 포함된 가스에서 저항이 감소하고 산소가 포함된 가스는 저항이 증가하는 특징이 나타났다.<sup>29)</sup>

표 6. 센서의 감지물질과 동작온도에 따른 가스에 대한 감도

| Sensor                         | Temperature (°C) | Sensitivity (S)    |       |       |                 |                 |                 |                  |
|--------------------------------|------------------|--------------------|-------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
|                                |                  | CH <sub>4</sub>    | CO    | NO    | NO <sub>2</sub> | NH <sub>3</sub> | SO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> S |
| SnO <sub>2</sub>               | 200              | -1.18 <sup>a</sup> | 1.40  | 9.39  | 4.59            | -1.72           | 1.23            | -38.85           |
|                                | 300              | -1.30              | 1.08  | 2.48  | 6.13            | -1.33           | 1.13            | -14.73           |
|                                | 400              | -1.27              | -1.09 | 1.09  | 1.95            | -1.20           | -1.03           | -6.69            |
| ZnO                            | 200              | 1.04               | 3.00  | 3.53  | 1.11            | -1.10           | 1.08            | -16.90           |
|                                | 300              | -1.25              | 1.56  | 9.40  | 11.00           | 1.20            | 1.50            | -21.67           |
|                                | 400              | -1.24              | 1.01  | 1.59  | 5.12            | 1.08            | 1.04            | -13.16           |
| WO <sub>3</sub>                | 200              | -1.10              | 1.20  | 8.92  | 3.73            | -1.42           | 1.3             | -34.11           |
|                                | 300              | -1.16              | 1.03  | 2.56  | 4.53            | -1.04           | 1.07            | -28.18           |
|                                | 400              | -1.14              | 1.01  | 1.18  | 3.11            | 1.11            | 1.02            | -14.02           |
| In <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 200              | -1.04              | 1.56  | 17.00 | 6.66            | -1.99           | 1.53            | -43.08           |
|                                | 300              | -1.04              | 1.06  | 1.85  | 3.42            | 1.22            | 1.03            | -6.98            |
|                                | 400              | -1.02              | 1.02  | 1.09  | 1.40            | 1.08            | -1.01           | -2.60            |
| CuO                            | 200              | 1.01               | 1.01  | -1.03 | -1.03           | 1.02            | -1.01           | 1.16             |
|                                | 300              | 1.03               | 1.01  | -1.03 | -1.09           | 1.04            | 1.01            | 1.18             |
|                                | 400              | 1.02               | 1.01  | -1.01 | -1.04           | 1.07            | 1.01            | 1.24             |

반도체식 센서는 가스에 대한 감도는 많이 증가하여 수십 ppb까지 측정이 가능하며, 최근에는 수 ppb 까지 측정이 가능한 것으로 발표된 연구 결과가 있다. 반도체식 센서의 단점인 여러 종류의 가스에 감도가 나타나고 있다는 것이다. 이를 개선하기 위해서나오는 대안은 몇 가지 종류의 센서를 조합하여 선택성을 높이는 기술의 도입이다. 센서조합 즉 센서어레이의 구성하여 측정하여 신호처리 알고리즘을 접목하여 가스의 종류를 판별하기 위한 알고리즘을 적용하고 있으며, 이러한 방법이 1982년 영국의 K.C. Persaud 와 G. Dodd에 의해 인간의

후각 기관을 대신할 수 있는 기구로 전자코가 언급 되었으며, 전자코의 동작은 사람의 후각기관인 코와 판단하는 뇌와 같은 역할을 하는 센서 어레이와 이들 데이터를 분석하여 인공지능망 알고리즘으로 구성되며, 그림 10과 같이 비교할 수 있다.

코에는 수 천 개의 후각세포가 있으며 이를 대신하는 가스센서의 조합으로 주로 금속산화물 반도체, 전도성고분자 등을 재료로 사용하며, 측정방법에 따라 전압, 전류, 저항, 주파수를 측정하여 정보로 사용하고 있다. 센서어레이의 신호는 특정 값을 추출하고 이 특징들을 사용하여 다변량 분석법이나

인공지능망과 같은 다양한 종류의 알고리즘을 사용하여 가스의 종류를 판단할 수 있다. 전자코의 연구는 대부분 미국과 유럽에서 선도적인 역할을 하였으며, 그 결과 각 연구기관 또는 회사에서는 실생

활에 활용할 수 있는 제품화 되었으며, 표 7과 같이 연구기관에서 연구를 수행하고 있으며, 이를 이용한 공기질 측정, 악취측정 및 폐암 등의 질병의 유무를 찾아내거나 진단하는 기술로 응용하고 있다.

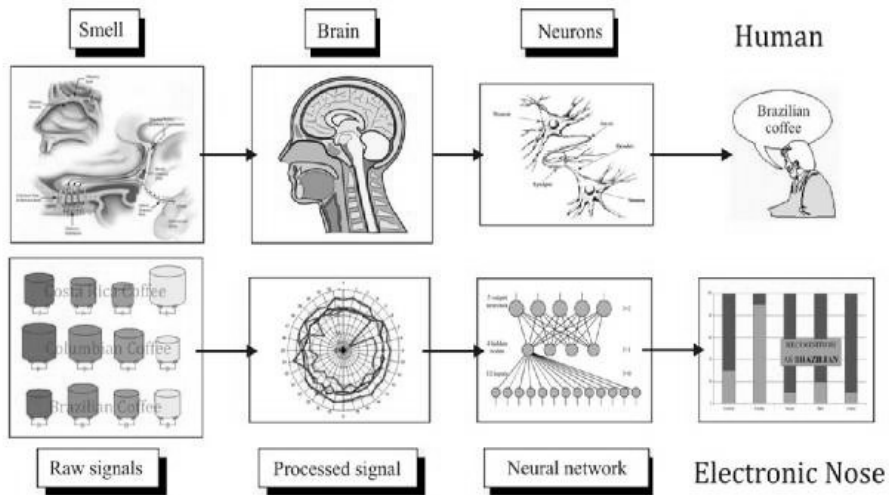



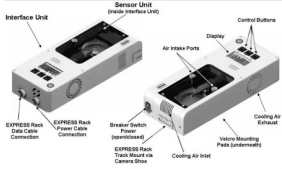


그림 10. 전자코의 개략도

표 7. 전자코의 수행기관과 응용

| 연구 수행 기관   | 연구 수행 내용   |
|--|--|
| Sensigent (미국)<br>                  | Cyranose 320모델 개발 상용화<br>사용센서 : 금속산화물, 전도성 고분자로 측정대상에 따라 주문형 센서 모듈 조합<br>응용분야 : 만성 폐쇄성 폐 질환의 검출<br>기타 건강 상태 모니터링<br>식품 품질 관리<br>오염 탐지 관련 산업 분야 |
| The eNOSE company (Netherlands)<br> | 반도체식 센서 어레이<br>패턴인식 소프트웨어를 업로딩한 시스템<br>응용분야 : 인후염 또는 뇌, 목 등의 암 연구<br>기타 의료기기로 응용 연구  |

| 연구 수행 기관   | 연구 수행 내용  |
|--|---|
| <p>E-nose (Australian)</p>  | <p>반도체식 센서어레이<br/>인식용 소프트웨어는 PC에서 활용 가능<br/>응용연구 : 환경, 보안, 진단 장치로 활용<br/>환경 모니터링 장치<br/>동물사육장, 수질 VOC 등의 측정<br/>폐암진단을 위한 연구</p> |
| <p>NASA (미국)</p>            | <p>JPL E-nose<br/>32개의 금속 산화물 센서를 사용<br/>우주 비행사의 안전을 위하여 냄새를 연속측정<br/>20종의 화학물질을 분석하여 분류<br/>분석 시간은 약 40분 소모</p>                |

### 3. 결론

요즘 사람들의 일상생활은 야외활동을 의식하지 않는 한 대부분이 실내에서 이루어지고 있다. 실내 공기질의 평가는 유해가스, 먼지, 라돈을 들 수 있다. 먼저 유해가스를 측정하기 위한 센서는 광을 이용한 센서, 전기화학식 센서, 반도체식 센서 등이 있으며, 실내공기 속의 측정하려는 유해가스에 따라 다양한 선택을 할 수 있다. 특정 가스는 미량으로도 인체에 치명적일 수 있으며, 이러한 경우 광화학식과 같이 정확한 측정을 할수 있는 것을 설치할 수 있으나 설치공간의 제약을 받을 수 있다. 따라서 센서의 선정은 환경에 따라 적합한 모델을 선정할 필요가 있으며, 센서 선택의 주요 사항으로는 크기, 감도, 선택성, 연속 사용 가능한 시간, 센서 동작을 위한 주변장치 등을 고려하여야 한다.

최근 센서의 연구는 그래핀, 나노크기의 감지물질을 개발하므로써 소형화 뿐만아니라 다양한 촉매를 사용한 센서어레이 연구도 활발히 이루어져, 기존의 전기화학식, 광을 이용한 방식을 대체할 만큼 반도체식 가스센서의 다양화가 이루어졌다. 또한 센서어레이 구성으로 센서의 선택성을 개선할 수

있는 알고리즘 역시 많은 연구가 진행되었다. 특히 전자코 기술은 공기질의 측정뿐만아니라 질병을 진단하는 연구까지 확대되고 있다. 이러한 전자코 기술은 향후 IoT기술과 접목하여 공기질을 모니터링할 수 있는 공기질 지도를 만들 수 있을 것으로 사료된다.

#### - 참고문헌 -

1. www.me.go.kr, 주택 실내공기질 관리를 위한 매뉴얼, 환경부국립환경과학원,
2. 실내공기질 공정시험 기준, 환경부고시, 제2010-24호(2010. 3. 5)
3. <http://www.rkiinstruments.com/pages/history.htm>
4. <http://www.goacd.com/downloads/documentation>
5. Giovanni Neri,(2015) First Fifty Years of Chemoresistive Gas Sensors, Chemosensors, 3, 1-20
6. <http://www.intlsensor.com/>
7. 이덕동, (2009) 화학 센서 기술, J. of the Korean Sensors Society, Vol. 18, No. 1 pp. 1-21
8. Sharpe S W, et al (2004) Gas-phase databases for quantitative infrared spectroscopy, Appl. Spectros. 58 1452-61

9. Jane Hodgkinson & Ralph P Tatam, (2013) Optical gas sensing: a review, *Meas. Sci. Technol.* 24 012004
10. Mount G H, et al (2002) Measurement of atmospheric ammonia at a dairy using differential optical absorption spectroscopy in the mid-ultraviolet, *Atmos. Environ.* 36 1799-810
11. Lou X T, et al (2009) Sulfur dioxide measurements using an ultraviolet light-emitting diode in combination with gas correlation techniques, *Appl. Phys. B* 94 699-704
12. Xu F, et al (2008) Nitrogen dioxide monitoring using a blue LED, *Appl. Opt.* 47 5337-40
13. Pushkarsky M, et al (2006) Sub-parts-per-billion level detection of NO<sub>2</sub> using room-temperature quantum cascade lasers, *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 103 10846-9
14. Sonnenfroh D M, et al (2010), Interband cascade laser-based sensor for ambient CH<sub>4</sub>, *Opt. Eng.* 49 111118
15. Hennig O, et al (2003) Hand-held unit for simultaneous detection of methane and ethane based on NIR-absorption spectroscopy, *Sensors Actuators B* 95 151-6
16. Chen W, et al (2008) H<sub>2</sub>S trace concentration measurements using off-axis integrated cavity output spectroscopy in the near-infrared, *Appl. Phys. B* 90 311-5
17. Modugno G, et al (1998) Detection of H<sub>2</sub>S at the ppm level using a telecommunication diode laser, *Opt. Commun.* 4755 76-80
18. Angelmahr M, et al (2006) Photoacoustic spectroscopy of formaldehyde with tunable laser radiation at the parts per billion level, *Appl. Phys. B* 85 285-8
19. Miller J H, et al (2006) Detection of formaldehyde using off-axis integrated cavity output spectroscopy with an interband cascade laser, *Appl. Phys. B* 85 391-6
20. Barron Jimenez R, et al (2006) Application of a difference frequency mixing based diode-laser sensor for carbon monoxide detection in the 4.4-4.8  $\mu$ m spectral region, *Appl. Phys. B* 85 185-97
21. Engelbrecht R (2004) A compact NIR fiber-optic diode laser spectrometer for CO and CO<sub>2</sub>: analysis of observed 2f wavelength modulation spectroscopy line shapes *Spectrochim. Acta A* 60 3291-8
22. Kim S-S, et al (2009) Mid-infrared trace gas analysis with single-pass Fourier transform infrared hollow waveguide gas sensors, *Appl. Spectrosc.* 63 331-6
23. Koskinen V, et al (2007) Cantilever enhanced photoacoustic detection of carbon dioxide using a tunable diode laser source, *Appl. Phys. B* 86 451-4
24. Chen W, et al (2000) Measurements of benzene concentration by difference-frequency laser absorption spectroscopy, *Appl. Opt.* 39 6238-42
25. Patterson B A, et al (1998) Detection of benzene and other gases with an open-path, static Fourier-transform UV spectrometer, *Appl. Opt.* 37 3172-5
26. Mcmanus J B, et al (2008) Pulsed quantum cascade laser instrument with compact design for rapid, high sensitivity measurements of trace gases in air, *Appl. Phys. B* 92 387-92
27. Chambers P, et al (2007) The potential for development of an NH<sub>3</sub> optical fibre gas sensor, *J. Phys.: Conf. Ser.* 85 012015
28. Shao-Lin Zhang, et al (2012) Controlled Synthesis of ZnO Nanostructures for Sub-ppm-Level VOC Detection, *IEEE SENSORS JOURNAL*, VOL. 12, NO. 11,
29. Alexey A. Tomchenko et al (2003) Semiconducting metal oxide sensor array for the selective detection of combustion gases, *Sensors and Actuators B* 93 126-134