

## Part. 4 유해가스 차단장치(AQS)

# 예방안전 기술로 발전하는 유해가스 차단 시스템



AQS 센서는 차량의 공조기에 부착되어 유해가스 유입을 차단하는 센서로서 주로 NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, CxHr 등의 유입을 감지한다. AQS 센서는 차량 적용 역사가 길지 않으나 차량 내에서의 쾌적성에 대한 소비자의 요구가 커지면서 장착률이 점차 증가하는 추세다. 최근에는 사고를 적극적으로 방지하는 예방 안전 기술 측면에서 인식의 전환이 요구되고 있다.

글 | 여철호 선임연구원 (sam75@korea.ac.kr), 이의복 연구원, 주병권 교수  
고려대학교 디스플레이 및 나노시스템 연구실

1970년대 들어 급속한 산업화로 인하여 환경오염이 심각해지면서 실내 오염 문제 또한 대두되기 시작하였다. 밀폐된 공간에서 장시간 생활함으로써 나타나는 빌딩증후군(Sick Building Syndrome, SBS)도 이 시기에 처음 보고되었다. 최근에는 새집증후군(Sick House Syndrome, SHS)이나 새차 증후군(Sick Car Syndrome, SCS)이라는

증세가 발생함에 따라 실내 환경에 대한 중요성이 커지고 있다.

현대인은 대부분의 시간을 가정, 사무실, 작업장 등 주로 밀폐된 실내 공간에서 보내고 있다. 이처럼 오염된 공간에 장시간 노출되어 있으면 인체에 악영향을 미칠 수 있다. 특히 자동차 보급이 확대되면서 자동차 공간이 거주 공간의 일부로 자리잡게 된 요즘,

운전자와 탑승자는 자동차 실내로 유입되는 유해가스에 그대로 노출돼 있을 수밖에 없다.

운전자와 탑승자는 외부에서 유입되는 유해 배출가스에 노출되기 쉽고 제한된 공간으로 인하여 심각하게 오염된 환경에 처할 수 있다. 그럼에도 불구하고 운전자와 탑승자를 위한 차내 환경 기준은 아직 마련되어

있지 않다.

현재 오염물질의 발생을 감소시키거나 제거하려는 노력이 진행되고 있으며, 오염된 대기로부터 실내 공기를 보호하기 위한 일환으로 자동차의 내부 유해가스 유입 제어 시스템(Air Quality System, AQS)이 개발, 적용되고 있다.

AQS는 자동차가 오염된 지역을 통과하거나 선행하는 차량이 오염 물질을 과다 배출할 경우 차량 외부로부터 유입되는 오염된 공기를 자동으로 차단하여 차량 내부의 공기를 보호하기 위한 시스템이다. 이 시스템은 유해가스를 감지하는 가스센서와, 이 가스센서로부터 들어오는 신호를 처리하는 신호처리부로 구성된다.

자동차에서 발생하는 유해가스에는 CO, NOx, SO2, 탄화수소 계열 등이 존재하며 이러한 가스에 노출될 경우에 무기력, 두통, 졸음, 피로를 야기하여 교통사고로 이어질 수 있다. 또한 장기적으로 노출될 경우에는 건강에 치명적인 위협이 될 수 있다.

최근 들어 차량 승객의 쾌적, 건강, 안전에 대한 관심이 고조되면서 AQS의 수요가 증가하고 있다. 상용화된 AQS는 크게 2가지로 이용되고 있다. 첫 번째는 공조기기(HAVC)의 환기 시스템을 조절하는 시스템이고 두 번째는 유독성 가스 정보이다.

오염된 외부 가스가 차량 안으로 유입될 때 차량 외부에 있는 AQS는 이를 감지하여 환기 시스템을 닫는다. 차량 실내에는 운전자와 탑승자에 의해 이산화탄소가 증가하게 되고 산소는 감소하게 된다. 산소 결핍과 이산화탄소의 증가는 운전자에게 피로감을 느끼게 한다. 이를 방지하기 위하여 차량 내부에도 AQS를 장착하여 신선한 공기가 유입될 수 있도록 환기 시스템에 신호를 넣게 된다. 이 시스템은 운전자가 수동으로 전환할 수 있으며 자동으로 설정할 경우 AQS가 가스 농도에 따른 감지 신호를 환기 시스템에 보내어 자동적으로 쾌적한 운전 환경을 제어할 수 있다.

**【표 1】 차량 AQS 센서에서 요구되는 기준에 따른 3가지 감지기술 비교**

기준	반도체식	전기화학식	적외선-광학식
가격	10달러	10달러	15달러
수명	>6년	2~5년	>6년
민감도(Sensitivity)	매우 좋음	매우 좋음	매우 좋음
선택성(Selectivity)	나쁨	매우 좋음	아주 좋음
반응시간(Response Time)	초	초	초
크기	소	중	중
사용의 편의성	아주 좋음	아주 좋음	좋음

〈출처: Kosmas Galatsis, Wojtek Wlodarski, Car Cabin Air quality Sensors and systems, Encyclopedia of sensors, (2006)〉

### AQS 동향

자동차 매연이나 배기가스를 감지하여 차내 유입을 방지하도록 신호를 보내는 AQS에서 반드시 감지해야 할 대상은 CO와 NOx이다. 일산화탄소(CO) 가스는 연료의 불완전 연소나 기타 여러 환경 조건에서 발생한다. CO는 공기 중에 미량만 존재해도 인체에 심각한 증상을 일으킬 뿐만 아니라 부식성이 강해 각종 정밀장치의 수명을 단축시키는 무색, 무취의 유독 가스이다. 현재는 외부에서의 유입 여부를 조절하기 위한 한 가지 농도 기준을 사용하고 있다.

주행 차량 전방에서 매연을 내뿜는 가솔린 자동차의 존재를 파악하는 AQS용 센서로 CO센서가 사용되고 있다. 향후 AQS 센서의 시장 확대가 예상되므로 AQS용 CO센서의 개발이 본격적으로 진행될 것으로 예상된다.

자동차 배기가스 성분 중에서 가장 유해한 질소산화물(NOx) 가스는 대기오염의 주요 원인 물질의 하나이며 환경규제 물질 여섯 개 항목 중 하나이다. 이 물질을 삼원 촉매 시스템에서 무해한 N2로 변환하고 있으나 완전한 전환이 이루어지지 않을 뿐만 아니라 고온의 공기가 다량으로 NOx를 배출하는 경우에 처리가 쉽지 않다. 따라서 NOx의 배출량을 줄이는 동시에 그 농도를 수시로 감시해야 한다. AQS는 디젤 자동차에서 배출되는 NOx를 감지하여 차량 내의 환기

시스템을 작동하도록 신호를 보낸다.

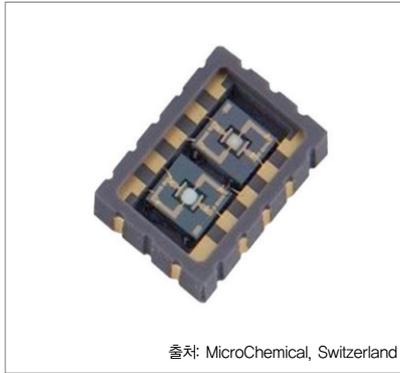
AQS의 핵심 부품은 감지할 수 있는 센서다. 센서는 유해한 가스를 감지하여 그 정보를 전기적인 신호로 변환한다. 가스를 감지하는 방법은 많다. 그러나 자동차용 AQS에서는 가격, 크기, 간편함이 중요하게 고려되어야 할 요소이다. 그 중에서 반도체식(Semiconducting Metal Oxide), 전기화학식(Electrochemical), 적외선-광학식(Infrared-Optical)이 가장 많이 개발되고 있다. 표 1은 AQS에서 요구되는 기준에 따른 3가지 기술을 비교한 것이다.

### 반도체식 가스센서

반도체식은 현재의 가스센서 기술 중에서 가장 경제적이며 그 특성이 잘 알려져 있다. 반도체식 가스센서는 1962년 일본 피가로(Figaro)사의 N. Taguchi가 실용화에 성공했으며, 이후 기술을 계속 발전시켜 현재 다양한 형태로 제작되고 있다. 벌크형 가스센서는 피가로, 네모토(Nemoto), FIS 등 주로 일본 업체에 의해 개발이 주도되고 있다.

벌크형 가스센서는 내구성은 우수하나 제조공정이 복잡하고 제품 가격이 높을 뿐 아니라 신호처리회로의 원칩화 등 향후 스마트화가 어렵다는 단점이 있다.

후막형 가스센서는 수백 개의 센서가 동시에 제조되는 배치 공정의 장점이 있으나 히터 소모 전력이 크고 향후 스마트화가 어렵다는 단점이 있다.



출처: MicroChemical, Switzerland

【그림 1】 듀얼 타입의 반도체식 가스센서

최근에는 MEMS화가 진전되면서 박막형 가스센서가 개발되고 있다. 박막형 가스센서는 양산성과 제품 균일성이 우수하며 향후 스마트화가 가능하지만 대규모 시설투자로 인해 제조 단가가 높고 센서의 안정성이 결여돼 있다. 미국 모토로라 사에서 개발된 이후 스위스의 MiCS 사에서 생산된 바 있으나 고온 또는 장기간 사용 시 멤브레인에 크랙 등이 발생하는 문제가 있어 생산이 중단된 상태다.

반도체식은 감지하고자 하는 가스 종류에 따라 다소 차이가 있지만 대략적으로 350℃ 이하의 온도에서 동작하며 감지체인 산화주석(SnO<sub>2</sub>)의 화학적 내구성이 우수하여 5년 이상 연속 사용해도 센서의 고장이 좀처럼 발생하지 않는다. 또 감지체의 입자 크기를 나노 크기로 조절하면 저농도의 가스를 감지할 수 있는 장점이 있다. 하지만 감지 속도가 수십 초에 달하며 선택성이 낮아 다양한 가스에 반응한다. 또 사용환경의 온도와 습도에 매우 민감하여 기후 조건에 따라 응답이 일정하지 않다. 현재 이를 해결하기 위한 방법으로 MEMS를 이용하여 센서의 크기를 줄여 소비전력을 감소시키고 감지 속도를 수초 이내로 단축시켰으며 다양한 가스에 대한 선택성을 증가시키기 위해 금속 촉매를 통한 재료에 대한 연구개발이 진행



a) 쿼드 타입 서모파일 감지기

b) 듀얼 타입 서모파일 감지기

(출처: PerkinElmer Optoelectronics, 독일)

【그림 2】 AQS용 서모파일 감지기

되고 있다.

현재 피가로, FIS 등 선발업체들이 실내용 및 AQS용 반도체식 CO센서 시장을 선도하고 있으며 CO센서의 연구개발을 활발히 진행하고 있다. 특히, CO 30 ppm 이하의 저농도 검출이 요구되는 AQS용 CO센서의 경우 고감도의 CO센서가 요구되고 있다. 향후 센서가 5~10 ppm 수준의 CO를 검출할 수 있을 경우에 여러 단계의 농도 기준을 운전자가 설정할 수 있을 것이다.

국내에서는 세우엔지니어링, 오토전자 등 서너 개 업체가 CO 가스센서를 반도체식으로 제조하고 있으며 센서 감지 물질 및 소자개발을 활발히 진행하고 있다. 그림 1은 MiCS에서 제작한 반도체식 AQS용 듀얼 타입 가스센서다. MEMS를 통해 실리콘 기판으로 제작되었으며 CO, NOx를 독립적으로 감지할 수 있다. 가솔린 및 디젤 승용차와 트럭에서도 장착할 수 있는 부품이다.

### 전기화학식 가스센서

전기화학식 가스센서는 비교적 정확하나 주기적인 보정이 필요하고 수명이 제한적이며 고가라는 단점이 있다. 전기화학식은 ▲갈바니 전지식, ▲격막 이온 전극식, ▲정전위 전해식으로 분류된다.

갈바니 전지식은 전기화학식 센서 중 가장 일찍 개발된 센서로서 1970년대 초반에

실용화 되었다. 갈바니 전지식은 귀금속 전극의 음극과 금속 전극의 양극을 전해질 수용액 속에 일정한 기전력이 발생하도록 하여 검지 대상 가스가 전해액과 화학반응을 통해 음극과 양극 사이에 산화 환원 전류가 발생하는 원리를 이용한다. 갈바니 전지식 센서의 출력은 가스 농도에 직선적으로 변하고 가연성 가스의 영향을 받지 않으나 대기중의 압력과 온도의 영향을 받기 쉽다. 또한 수명이 1~2년 정도로 다른 제품에 비해 짧다.

격막 이온 전극법은 전극과 전해질이 동종으로서 농도차가 있는 반전지로 구성되며 외부로부터 전원을 사용하지 않는다. 대상 가스가 격막을 통과하고 전해액의 극성과 동종의 금속이온이 결합한다. 이로 인해 전해액 중의 금속이온 농도의 차이에 의해 기전력이 발생한다.

정전위 전해식은 1960년대에 이산화황, 질소화합물 측정기에 사용되었으며 1970년대에는 일산화탄소, 탄수소소용 가스센서가 개발되었다. 전극과 전해질 용액의 계면을 일정한 전위로 유지하면서 전해를 행하는 것으로서, 그 설정 전위를 바꿈으로써 산화 또는 환원 반응을 선택적으로 진행시켜 여러 가지 대상 가스를 정량적으로 감지할 수 있다.

일본의 NGK 사가 최초로 자동차용 NOx

센서를 개발했으며, 이어 독일의 보쉬(Bosch)사가 개발에 뛰어 들었다. NGK와 보쉬에서 개발한 NOx센서는 NOx 가스를 모두 NO 가스로 환원시킨 후에 전기화학적 분해시 증가하는 산소 펌핑 전류로 총 NOx의 농도를 검출한다. 하지만 전류형 센서이므로 NO의 전기화학적 분해에 의해 총 NOx를 검출할 경우 30 ppm 이하의 농도를 재현성 있게 검출하는 것이 거의 불가능하다. 이런 문제를 해결하기 위해 NOx가스를 모두 NO2로 산화시킨 다음 이들의 농도를 기전력의 방식으로 측정할 경우 ppb 레벨의 NOx를 선택성 있게 검출할 수 있을 것으로 기대된다. 반도체식의 경우 외부 유입 속도 변화와 습도에 의해 센서의 검출 특성이 변하기 때문에 5 ppm 이하의 저농도에서는 재현성이 낮다.

**적외선-광학식 가스센서**

적외선-광학식은 대표적인 비분산 적외선 흡수 방식으로 비대칭 구조를 갖거나 3원자 이상의 분자가 자신의 고유 진동 에너지에 해당하는 에너지를 선택적으로 흡수하는 현상을 이용한 방식이다. 가스상 물질들은 특정 적외선(infrared light) 영역의 빛을 흡수하는 특성을 갖는데, 예를 들면 H2O는 1.4 μm와 1.9 μm, SO2는 4.0 μm, CO2는 4.3 μm, CO는 4.7 μm, NO는 5.3 μm의 파장에서 최대 흡수량을 보인다. 흡수 스펙트럼에서 각각의 가스 종류를 판별해서 흡수량의 변화로 농도를 결정하게 된다. 광원(Infrared Source)에서 방출되는 넓은 파장의 IR 복사선이 광학 선택기(gas filter wheel)에서 광학 필터(band pass filter)를 거치며 특정 IR 파장을 불활성 기체(질소, 아르곤)가 충전된 기준 셀과 시료가 흐르는 시료 셀을 번갈아 통과시키게 되는데, 기준 셀은 IR 파장이 모두 통과하고 시료 셀에서는 피검 가스에 의해 흡수가 일어나게 된다. 이때의 흡수도를 검출기(IR detector)에서 검출하고 변환 증폭하여 농도를 측정하게 되는 원리이다. 이산화탄

**【표 2】 각국에서 제작되는 자동차 HVAC 시스템에 장착되는 AQS의 연도별 전망**

	1998	2003	2008
독일	10%	50%	75%
프랑스	30%	40%	65%
영국	10%	50%	75%
이탈리아	2%	20%	50%
미국	1%	5%	30%

(출처: Kosmas Galatsis, Wojtek Wlodarski, Car Cabin Air quality Sensors and systems, Encyclopedia of sensors, (2006))

소는 4.3 μm 파장의 빛을 흡수하는 성질을 가지고 있는데, 적외선 램프로부터 방출된 4.3 μm 파장의 빛이 센서까지 도달하는 과정에서 이산화탄소 가스 농도에 따라 빛의 양이 줄어들게 되며 투과된 빛의 양을 센서에서 검출하여 이를 전기적인 신호로 변환하여 측정하는 방법이다.

그림 2는 PerkinElmer Optoelectronics에서 제작한 비분산 적외선 방식의 쿼드 타입 서모파일 감지기와 듀얼 타입 감지기와, 적외선 필터가 있는 TO5 케이스로 패키징되어 있으며 감지 속도는 10~40 ms이며 쿼드 타입은 한 개의 기준되는 적외선 밴드와 3개의 감지용 적외선 밴드로 나누어져 있다. 듀얼 타입은 한 개의 감지용 밴드와 기준 적외선 밴드로 구성되어 있다.

**맺음말**

자동차 산업은 지난 120년간 기본적인 개념은 크게 바뀌지 않았지만 20세기 근대 산업을 선도하면서 1조 3000억 달러를 상회하는 세계 최대의 산업 규모로 성장했다. 이와 함께 자동차 HVAC 시스템에 장착되는 AQS의 수요도 꾸준히 증가하고 있다. 표 2는 각국에서 제작되는 자동차 HVAC 시스템에 장착되는 AQS의 연도별 전망치이다.

센서 제조업체들은 ppm 이하의 신뢰성을 보증하는 낮은 가격의 AQS용 센서를 개발, 공급하고 있다. 자동차 메이커 및 부품업체들

은 HVAC에 자동 환기 시스템을 구축하여 소비자에게 판매하고 있다. AQS용 센서가 장착된 HVAC 시스템은 외부로부터 유입되는 유해 배기가스를 사전에 자동으로 차단해야 하며 차량 내 운전자가 안전 운행을 할 수 있도록 차량 내부에도 오염된 공기를 감지하여 신선한 공기를 환기시켜 쾌적한 환경을 제공할 수 있어야 한다. 이는 자동차 사고를 적극적으로 방지하는 예방안전 기술이며 안전벨트, 에어백처럼 자동차 안전을 위한 기본적인 시스템으로 인식할 필요가 있다. 

**참고문헌**

- [1] Kosmas Galatsis, Wojtek Wlodarski, Car Cabin Air quality Sensors and systems, Encyclopedia of sensors, (2006)
- [2] W. Gopel, New materials and transducers for chemical sensors, Sensors and Actuators B 18, (1994)
- [3] N. Yamazoe, "New approaches for improving semiconductor gas sensors", Sensors and Actuators B 5, (1991)
- [4] D. Hohl, "The role of noble metals in the chemistry of solid-state gas sensors", Sensors and Actuators B 1, (1990).
- [5] G. Sberveglieri, "Recent developments in semiconducting thin-film gas sensors", Sensors and Actuator B 23, (1995).
- [6] 산업자원부, 산업기술로드맵 -차세대 센서 및 센서 네트워크, (2004)
- [7] MicroChemical Systems SA, MiCS Homepage, URL: www.microchemical.com, 2008.
- [8] PerkinElmer Optoelectronics, PerkinElmer Optoelectronics Homepage, URL: http://optoelectronics.perkinelmer.com, 2008.