적층형 산소센서 기술 및 시장 동향

조정환 선임연구원, 조태진 선임연구원, 강규식 책임연구원, 김상범 소장 (일진머티리얼즈(주) 기술연구소)

1. 서 론

오늘날 자동차 산업은 환경오염 문제와 연비 절감이라는 두 가지 문제에 직면해 있으며 이에 따라 기술이 발전하고 있다.

환경오염 문제는 산업화에 따른 대기환경오염이 심화됨에 따라 쾌적한 대기환경 유지를 위한 각 산업별 규제가 강화되고 있다. 특히, 오늘날 우리나라의 자동차 등록대수는 2011년 약 1,800만대로써 지난 1982년 64만여 대 대비 30년 동안 약 28배의 증가추세를 보이고 있다. 이에 따라 대기질 오염의 주요 원인은 산업, 난방 등에서 자동차로 급격히 전환되고 있으며, 2010년 전국 대기 오염물질 배출량 조사 결과의 수송부분의 기여율은 60%로써, 자동차 오염물질이 국내 대기 물질 악화에 중요한 영향을 미치고 있음을 알 수 있다 [1].

독일 보쉬에서 개발하여 1976년 미국에 수출하기 위한 볼보240에 처음으로 산소센서가 적용되면서 엔진의 부하나 성능에 맞추어 적당한 공기대 연료비를 조절할 수 있었으며, 환경문제로 인하여 새로 만들어진 각 나라의 배출가스 기준을 위해 1973년 개발된 삼원촉매 (3-Way Catalytic / 3-Way Catalytic Converter)와 함께 사용되면서 동일한 자동차에 동일한 엔진을 사용하면서도 각 나라별로 대응이 가능하게 되었다 [2-4]. 또한, 화석연료의 고갈로 인한 국제유가 상승은 자동차의 연비향상 기술을 통한 에너지 절감을 요구하고 있으며 위 두 가지 문제를 해결하기 위해서는 화석연료의 에너지 변환효율을 높이고 완전연소를 통한 유해배기 가스절감이 이루어져야 한다. 에너지 변환 효율과 완전연소는 연소 시 화석연료와 반응하는 공기의 양에 관련되므로 자동차 엔진의 정밀한 공연비 (Air to Fuel ratio) 조절을 할 수 있는 센서기술이 필요하다 [5-7].

가장 대표적인 공연비 조절 방법은 산소센서를 이용하는 것이다. 전 세계적으로 산소 센서 제조업체는 독일의 Bosch社, 일본의 Denso, NTK社 등이 있으며 국내 자동차 업계는 이들 업체들로부터 제작된 산소센서를 공급받아 사용하고 있다.

이에 본고에서는 자동차의 공연비를 제어하는 산소센서 중 가장 많이 사용되는 농담전지 공연비 센서 (Thimble, Planar-Oxygen Sensor)와 광역공연비 센서 (Wide-Band Oxygen Sensor)에 대한 작동원리를 설명하고 산소센서 국산화를 위한 소재 및 공정기술과 국내·외 관련기술 및 시장 동향에 대해 기술하고자 한다.

2. 자동차용 산소센서

자동차용 산소센서는 자동차 엔진의 이론

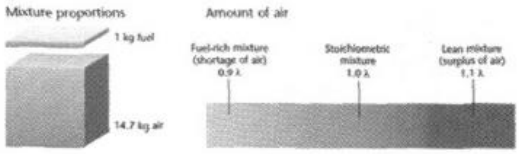


그림 1. 엔진의 이론 공연비 [8].

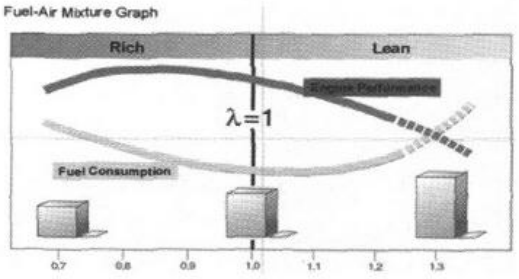


그림 2. 이론공연비에 따른 연료소비와 엔진의 성능 [8].

공연비 λ가 1이 되는지를 확인하기 위한 센서이다. 이론공연비 λ은 그림 1과 같이 자동차 엔진의 유입되는 공기와 연료의 (옥탄기준) 비율을 말하며 연료량이 1 kg일 때 공기의 양이 14.7 kg이 되는 비율을 이론 공연비 (Stoi-chiometric air-to-fuel ratio 14.7, λ=1)라 한다.

자동차 이론공연비가 λ=1로 유지되어야 하는 이유는 앞에서 언급한 에너지 변환효율과 유해가스 절감을 위해서이다. 그림 2는 자동차 엔진에서 사용되는 연료의 양과 이에 따른 엔진효율을 나타낸 것으로 λ=1 경우가 자동차의 연료소비와 엔진성능 측면에서 에너지 변환 효율이 가장 좋은 것을 알 수 있다.

유해가스 저감측면에서는 그림 3과 같이 공연비에 따라 삼원촉매 전후의 유해 가스량이 어떻게 변화하는지를 확인함으로써 산소센서의 역할을 확인할 수 있다. 그림 3의 λ=1 전후의 좁은 영역에서 삼원촉매를 통과한 자동차 유해 배출가스 HC, NOx, CO의 정화효율이 극대화되는 것을 알 수 있다. 이러한 역할을 하는 산소센서의 위치는 그림 4에서와 같이 자동차 엔진후단과 3원 촉매 사이에 1

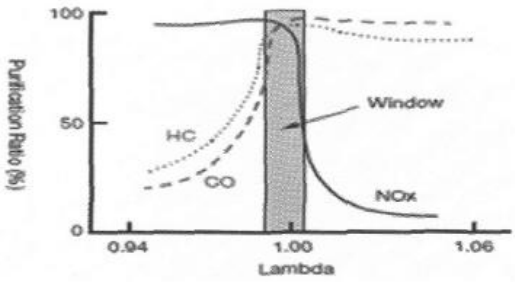


그림 3. 공연비에 따른 3원 촉매 변환 효율.

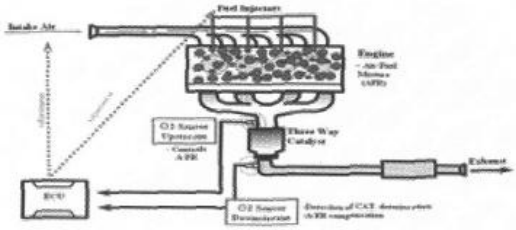


그림 4. 산소센서의 위치 및 역할 [8].

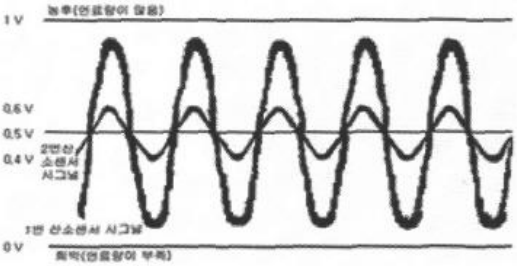


그림 5. 1번 산소센서와 2번 산소센서 정상파형 [9].

개, 삼원촉매 후단에 1개가 각각 위치하고 있으며, 1번 산소센서는 삼원촉매의 정화효율을 높이기 위하여 엔진제어 시스템의 피드백용으로 이용되는데 피드백용 산소센서는 그림 5에서와 같이 엔진제어 시스템에서 연료량을 조절하기 때문에 사인파의 전압을 나타내는 것이 정상이지만 삼원촉매를 통과한 배기가스에는 산소량의 변화가 아주 작기 때문에 엔진과 삼원촉매가 정상이라면 2번 산소센서에서 출력되는 시그널의 사인파형은 높낮이가 거의 변화되지 않고 전압의 크기도 0.5 V 전후에 머물게 된다.

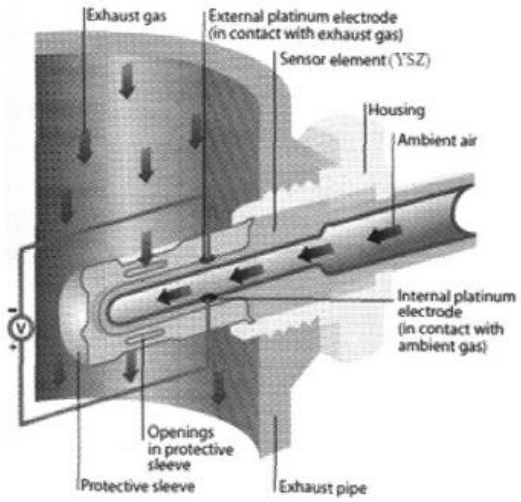


그림 6. UnHeated-Type Thimble 농담 전지형 산소센서 구조 [8].

2.1 농담 전지식 산소센서

(1) Thimble-type Oxygen Sensor

일반적으로 산소센서는 산소이온 전도도를 가지는 전해질 물질을 이용하여 제작한다. 대표적인 사용되는 물질이 지르코니아이다. 지르코니아에 CaO, MgO, Y_2O_3 등을 첨가 시키면 첨가된 산화물의 양이온이 지르코니아의 양이온을 치환하여 산소 빈자리를 생성하게 된다.

$$2ZrO_2+Y_2O_3 \rightarrow 2Y_{zr}' + 3O_o^x + Vo^{\cdot\cdot} \quad (1)$$

이렇게 생성된 고체전해질 YSZ (Yittria Stabilized Zirconia)는 저온으로부터 고온까지 안정하게 존재 할 수 있고 내열 충격성이 우수하고 산소 공공으로 인한 이온전도도 상승의 특징을 가진다. 그림 5와 같이 U자형의 (Thimble) YSZ 관을 성형하여 외부와 내부 표면에 포러스 구조를 가지는 Pt 전극을 인쇄한 후 YSZ 몸체와 일체로 제작되어 엔진과 접지되는 - 전극을 U자관의 내부로 연결하고 공기와 접촉하여 일정한 산소분압을 유지하게하고 + 전극과 연결되는 외부는 자동차 배기가스에 노출되어 양단의 산소 분압차에 의해 기전력이 발생하게 된다.

그림 6의 구조는 Exhaust Gas Ⅱ Pt Ⅱ YSZ Ⅱ Pt Ⅱ Ambient Air로 나타낼 수 있다. 이때 발생하는 기전력은 Nernst식으로 나타낸다 [10].

$$Emf = \frac{RT}{4F} In\left[\frac{P_{O2(air)}}{P_{O2}}\right] \quad (2)$$

여기에서 R, T, F, $PO_{2(air)}$, PO_2는 각각 가스 상수 (=8.33144 J/K · mol), 절대온도 (K), Faraday 상수 (=96485 C), 공기의 산소분압, 측정가스의 산소분압이다. 식 (2)에서 4F는 높은 산소분압에 있는 한 개의 O_2 분자가 농도차이에 의해 $2O^{2-}$로 변하고 낮은 산소 분압쪽으로 이동되어 다시 O_2가 될 때 전자 4개를 이동시킴을 의미한다. 식 (2)는 고체전해질 영역에서만 만족되고 산소분압이 매우 낮거나 높아서 전자전도성이 증가되면 사용할 수 없다. 작동온도가 매우 낮을 경우에는 촉매의 활성이 나빠 삼중점에서의 산소 이온화가 어렵고, 온도가 지나치게 높을 경우에는 이온전도도를 보이는 고체전해질의 산소분압이 좁아지게 된다. 그러므로 일반적인 경우 400-700℃의 범위에서 센서를 작동시킨다 [11].

Thimble-Type의 산소센서는 YSZ 고체전해질을 이온전도체로 활성화시키기 위한 Heater 내장유무에 따라 Unheated-Type과 Heated-Type의 산소센서로 구분할 수 있다. 그림 5와 같이 히터가 내장되지 않은 UnHeated-Type의 산소센서는 자동차 엔진의 열을 이용하여 고체전해질을 활성화시켜 작동시키기며 그림 6과 같은 Heated-Type 산소센서의 경우는 고체전해질 내부에 봉형의 비촉첩식 히터를 삽입하여 센서의 활성화 시간을 단축시켜 센서 초기 작동시간을 줄일 수 있는 장점을 가진 산소센서이다. 그러나 두 종류의 Thimble-Type 산소센서의 경

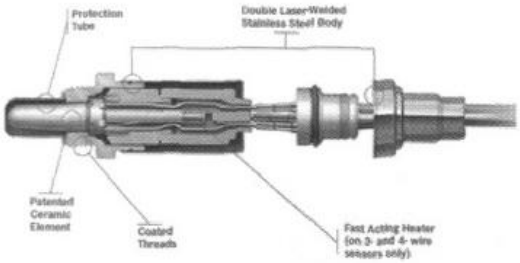


그림 7. Heated-Type Thimble 농담 전지형 산소센서 구조 [9].

우 센서가 활성화되는 시간이 30초~수분 단위로 자동차용으로 센서를 사용할 때 시동직후 대부분 발생하는 배기가스 오염물질에 대한 Feedback용으로 사용하기에는 응답속도가 느린 단점을 가지고 있다.

(2) Planar-type Oxygen Sensor

Thimble-Type의 산소센서로 부터 초기 활성화 시간을 줄이기 위해서 히터를 내장하여 센서 동작 온도도달 시간을 단축시킬 수 있는 센서가 Planar-type 농담전지 산소센서이다. 그림 8은 평판형 산소센서의 단면을 나타낸 것으로 기본적으로 Thimble-Type 산소센서와 구조는 동일하나 센서를 제작하는 방식이 Ceramic Green Sheet를 이용하여 제작되었다.

Ceramic Green Sheet를 이용한 산소센서 제작 방식은 고체전해질 물질인 YSZ와 히터 절연층인 Al_2O_3를 Sheet로 제작하여 적층하는 방식으로 히터가 전해질에 직접 접촉 내장되어 고체 전해질의 활성화 온도까지 빠르게 승온되어 센서작동시간이 10초 이내로 단축되고 Ceramic Green Sheet 기술과 프린팅 공정으로 대량생산이 가능한 장점을 가지고 있다.

그림 9는 Planar-type 농담전지형 산소센서의 층간 구조 및 구성을 나타낸 것이다. 각 층의 역할은 다음과 같다. 1번 다공질 전극 보호층은 Pt 전극의 활성과 장기 안정성을 높이기 위해 제작된 것으로 배기가스 중 포

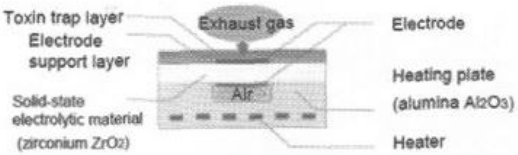


그림 8. Planar-type Oxygen 단면 구조 [12].

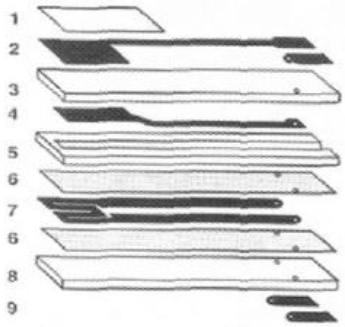


그림 9. Planar-type 산소센서 구조 및 구성 [9].

함되어 있는 H_2S, SO_2 등의 가스로부터 활성 전극을 보호하는 역할을 한다. 2,4번 내·외부 Pt 전극은 3번 YSZ 고체전해질을 통해 산소분압 차이를 측정한다. 5번은 기준 공기층 형성을 위한 내부 중공층이다. 6번 절연층은 7번의 히터 전극과 5번의 고체전해질층이 직접적으로 접촉하지 못하도록 형성된 절연층이다. 8번은 히터 지지체이며, 9번은 각 센서와 히터의 시그널 입력 또는 출력을 인지하는 단자이다. Planar-type 산소센서는 5~7번의 각기 다른 물질을 한 번에 적층하여 동시 소성하는 센서를 제작하는 기술로 각기 다른 3가지 물질의 수축율과 열팽창계수를 고려해야하는 어려움이 있다.

Ceramic Green Sheet 기술을 이용한 Planar-type 농담전지형 산소센서 제작은 각 원료를 Ceramic Green Sheet로 제작하기

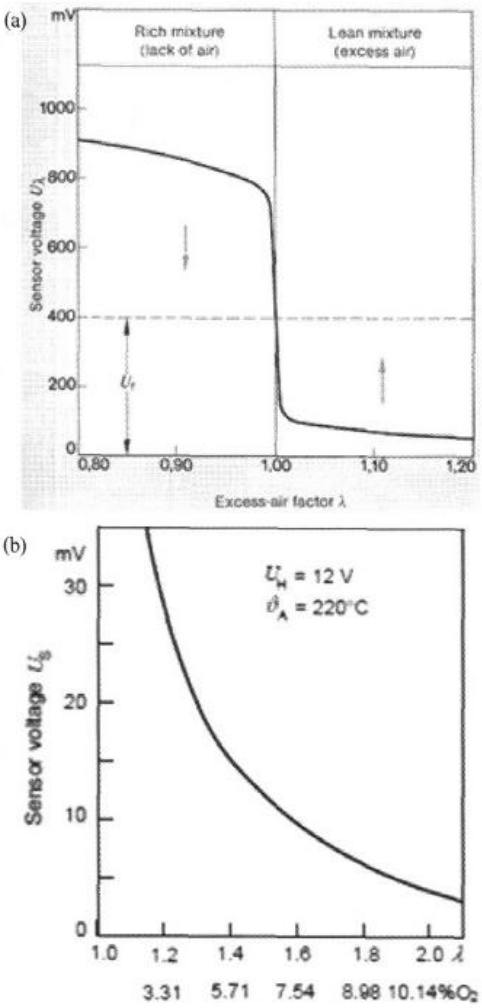


그림 10. λ값의 따른 산소센서 기전력 (a) 산소센서 기전력, (b) λ>1 산소센서 기전력 [9].

위한 슬러리 분산 및 제조 기술이 요구된다.

Ceramic Green Sheet를 그림 8과 같이 내부 중공구조 (Cavity)형성을 위한 공정기술이 동반되어야 하며 히터를 내장하기 위한 YSZ, Pt, Al_2O_3 각각의 재료를 접합할 수 있는 이종접합 기술을 보유해야만 Planar-type 농담 전지형 산소센서를 제작할 수 있어 아직까지 국내에서 제작 및 양산이 되지 못하고 있다.

이러한 산소센서의 출력 전압은 그림 10(a)에서와 같이 가솔린 엔진 제어 시스템의 목표인 연소실에 공급된 이론 연료혼합비인 λ=1 (공기연료비 14.7:1) 전후의 혼합비 람다 윈도우에서 산소량에 따라 민감하게 반응하여 연료량을 조절할 수 있으며 이때 산소센서의 λ=1의 emf은 약 450 mV를 나타낸다. 하지만 그림 10(b)에서와 같이 산소농도가 너무 희박한 상태나 너무 농후한 상태에서는 emf 반응폭이 수십 mV로 너무 작아 혼합비를 정확하게 나타낼 수 없는 단점이 있다.

2.2 Wide-Band Oxygen Sensor

Planar-type 농담 전지형 산소센서의 단점인 산소농도 농후, 희박 상태를 측정할 수 있는 센서가 Wide Band (광역) 산소센서이다. 이론 공연비보다 넓은 범위의 공기연료비를 정량적으로 정확하게 알아낼 수 있는 산소센서로 자동차용으로는 희박연소 엔진용 가솔린 린번엔진이나 GDI엔진에 사용되며 전 영역 산소센서라고 부르기도 한다.

광역산소센서의 구조는 그림 11과 같이 기존의 Planar-type 산소센서에서 사용되는 농담전지 셀1개와 같은 구조이지만 직류전압을 공급하면 산소가 펌핑되는 제한 전류셀 1개를 연결한 구조로 총 2개의 셀로 구성되어 있다. 이때 제한전류셀에 DC전압을 인가할 경우 산소가 Cathode에서 Anode로 펌핑된다.

$$O_2 + 4e \rightarrow 2O^{2-} \text{ (cathode)} \quad (3)$$

$$2O^{2-} \rightarrow O_2 + 4e \text{ (anode)} \quad (4)$$

자세한 구조를 살펴보면 배기가스가 접촉되는 부분부터 보호셀, 펌핑셀 전류제한셀 센서셀 농담전지셀, 기준셀, 히터셀이 순차적으로 연결되고 펌핑셀과 센서셀사이의 배기관과 연결된 확산실을 만들고 센서셀과 기준셀 사이에 기준셀을 만들어 대기공기를 넣어 밀폐시킨 구조로 되어있으며 펌핑셀과 센서셀 양쪽에는 백금전극이 설치되었다. 보호

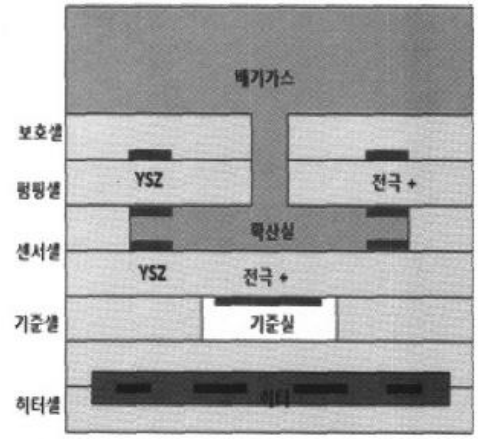


그림 11. Wide Band 산소센서 단면구조 [9].

셀은 펌핑셀의 + 전극을 보호하기 위하여 + 전극과 배기가스 사이에 설치된다.

광역 산소센서 컨트롤 시스템은 이론공연비인 람다1 (14.7:1)일 때 센서셀의 출력전압이 일정하도록 (450 mV) 하고 확산실에 산소가 많은 희박영역에서는 펌핑셀 전류제한셀에 전류를 공급하여 확산실의 산소를 배기관쪽으로 펌핑하고 확산실에 일산화탄소가 많은 농후영역에서는 펌핑셀에서 전류가 발생하면서 배기관의 산소를 확산실쪽으로 펌핑하게 되면 시스템은 전류의 방향과 크기에 따라 공기연료비를 정확하게 알 수 있으므로 시스템에서 요구하는 공기연료비에 해당하는 전압이 센서셀에서 출력되도록 연료량을 조절한다.

그림 12(a)는 엔진에 유입된 공기량에 비하여 연료가 부족해 산소가 남는 희박상태의 배기가스가 기준실 옆의 확산실에 유입되면 배기가스 중에 포함된 산소농도와 기준실의 산소농도차이로 산소가 이동하게 되어 기준전압이 변화되며 이것을 감지한 센서 컨트롤 회로에서 펌핑셀에 전류를 공급하면 지르코니아 소자는 확산실의 산소를 배기관 쪽으로 통과 펌핑시키게 되며 산소 통과량은 전기공급량 (전류량)에 따라 비례하여 증가하게 되어 엔진 제어 시스템은 전기공급량 전류량에

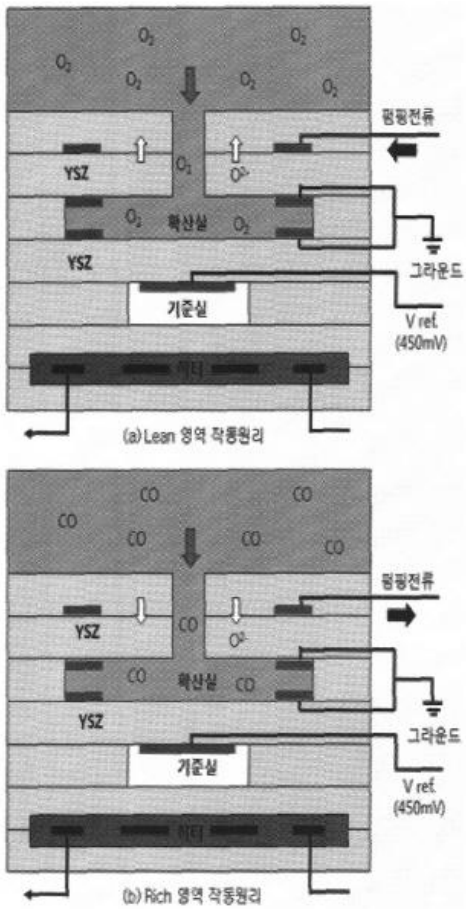


그림 12. Wide Band 산소센서 작동원리 (a) Lean 영역, (b) Rich 영역 [9].

따라 어느 정도 희박한지를 공기연료비로 환산하게 된다.

그림 12(b)는 공기연료비가 농후하여 배기가스 중에 일산화탄소가 증가하게 되면 펌핑셀의 지르코니아 소자는 배기관쪽의 일산화탄소와 이산화탄소에서 산소를 환원하여 확산실로 통과시키게 되는 동시에 전류를 발생시켜 컨트롤 회로쪽으로 흐르게 되고 엔진 제어 시스템은 이때 발생된 전류량으로 현재 엔진 연소실에 공급된 농후한 공기연료비가 얼마나 농후한지를 계산하게 된다.

광역산소센서의 회로는 그림 13과 같이 가열식 지르코니아 산소센서 2개가 연결된 구

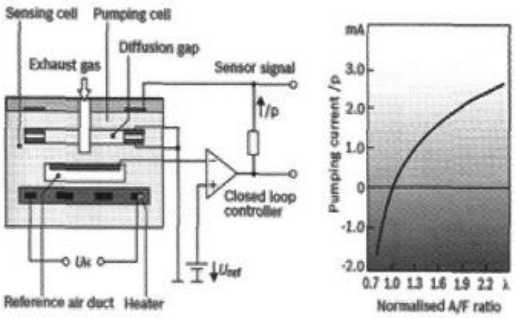


그림 13. Wide Band 산소센서 회로 구성 및 신호 [9].

조이므로 1개의 히터회로 2선에 각 센서의 접지선 2선, 펌핑전류 제어에 사용되는 1선, 기준전압이 흐르는 1선 등 총 6선으로 구성된다. 광역산소센서 컨트롤 회로는 엔진 제어 시스템 컨트롤 모듈 (ECM/ECU/PCM)과 독립적으로 구성되거나 엔진 제어 시스템 컨트롤 모듈과 일체로 되어 있다.

이러한 복잡한 구조를 가지는 Wide Band 산소센서를 제작하기 위해서는 Planar-type 농담전지형 산소센서 제작과 동일한 Ceramic Green Sheet 제작 기술이 요구되며 보다 복잡하고 정밀한 공정기술이 요구된다. 또한, 히터의 온도 보상을 위해 YSZ 전해질의 저항을 측정하므로 일정한 저항을 유지하는 Green Sheet를 제작하는 것도 중요하며 확산실로 유입되는 배기가스의 양을 조절하기 위한 보호층의 미세기공 다공질 크기 제어도 고려하여 센서를 제작해야 한다.

2.3 국내 · 외 개발 현황

앞 절에서 언급한 바와 같이 산소센서 기술은 양산성과 빠른 응답성 특성의 장점을 가지는 Green Sheet 기술기반의 적층형 산소센서 (Planar-type, Wide band)로 발전하고 있다. 1976년 독일의 Bosch社에서 최초로 양산되어 자동차에 적용된 이후로 전 세계적으로 자동차용 산소센서를 개발 양산하는 업체는 3~4개 업체로 독일의 Bosch 일본의 NTK, Denso社 등이다. 이는 정밀한 센서 제작을 위한 높은 세라믹 기술이 요구되고, 기존 업체의 높은 특허 장벽으로 기인한 것으로 알려져 있다. 하지만 최근 들어 국내에서도 YSZ 기반의 Green Sheet 기술에 대한 연구가 지속적으로 이루어짐에 따라 산소센서의 국산화를 위한 기반이 마련되고 있다.

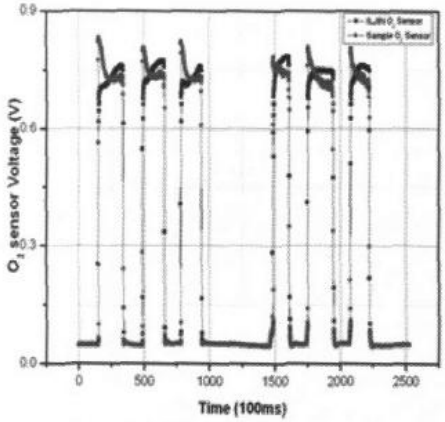
산소센서 기술은 구조체 제작 기술과 특성 구현을 위한 기술로 구분되며, 아래와 같은 기술을 연구 개발하여 확보해야만 산소센서 국산화가 가능할 것으로 판단된다.

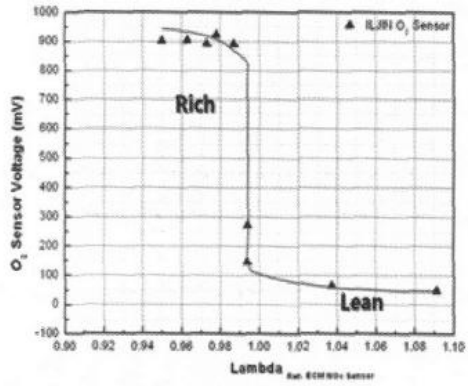
(1) 산소센서 구조체 제작 기술
① YSZ 및 Al_2O_3 Green Sheet 제작 기술
- YSZ 및 Al_2O_3 재료 분산 및 슬러리 제조기술
- YSZ 및 Al_2O_3 Green Sheet 물성 제어 기술

② YSZ 및 Al_2O_3 Green Sheet 적층공정 기술
- 내부 Cavity 확보 기술
- 전해질 YSZ, 절연층 Al_2O_3전극 Pt의 이종접합 기술

(2) 산소센서 특성 구현 기술
① 반응속도
② 장기안정 (전극 보호층)
- 전극 보호층의 기공 제어 기술
- 전극 보호층으로 인한 희박이동 제어기술

이러한 기술을 바탕으로 당사는 Planar-type 산소센서를 개발하여 프로판 가스 버너 시험기를 이용하여 Lean-Rich 가스 조건에서 비교 SPL과 병행 평가한 결과 그림 14와 같은 특성을 구현 하였다. (a)의 경우 프로판 가스 버너 시험기를 이용하여 Lean-Rich 평가 결과이며, (b)의 경우 λ값별 산소센서 기전력 특성을 측정하였다.





(b)λ 값 별 기전력 (일진)

그림 14. Planar-type 산소센서 특성 평가 (a) Lean-Rich 가스 조건별 기전력 (일진, 비교 SPL), (b) λ값별 기전력.

2.4 세계시장 상황 및 전망

현재까지 산소센서 세계시장 Market Share는 그림 15에서와 같이 독일, 일본 업체가 다수를 차지하고 있다. 앞으로도 자동차의 연비 향상 요구와 환경규제 강화에 따라 산소센서 시장 규모는 확장될 것이다. 특히, 환경규제 강화에 따라 그림 16에서와 같이 Vtype 및 Inline 엔진을 사용하는 자동차의 경우 산소센서가 3~4개 장착될 것이다.

2015년까지 산소센서의 시장 규모는 연 평균 7.3%로 높은 성장세를 보일 전망이다. 그 중에서도 특히 적층형 산소센서 (Planar-type, Wide band Oxygen Sensor) 시장은

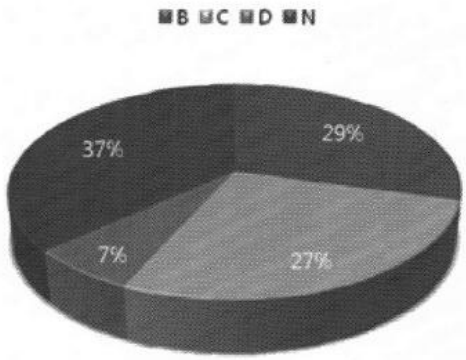


그림 15. 산소센서 세계시장 Market Share [12].

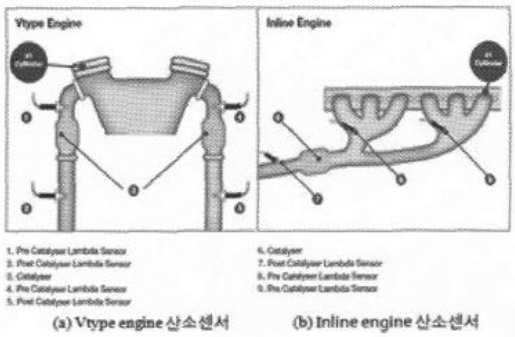


그림 16. 엔진별 산소센서 [12].

표 1. 산소센서별 연 평균 성장률 (2010-2015)[13].

	GAGR(%) 2010-2015
Unheated thimble-type Oxygen sensor	7.1
heated titania-type Oxygen sensor	6.9
heated Planar-type Oxygen sensor	7.6
heated wide-band Oxygen sensor	7.8
Total	7.35

표 1에서와 같이 각각 7.6%, 7.9%로 평균 성장률 보다 높은 성장을 할 것으로 예측된다.

산소센서 세계 시장 규모는 그림 17에서와 같이 확대되는 추세로 2007년 Total 1,160 $Millions 규모에서 2015년 Total 1,780 $Millions 규모로 시장이 확대될 것으로 예측되며 그 중 적층형 산소센서 (Heated titania-type, Heated Planar-type, Heated wide band Oxygen Sensor) 시장은 전체 시장 중 73%를 차지하여 금액으로는 1,300 $Millions 규모로 예상된다.

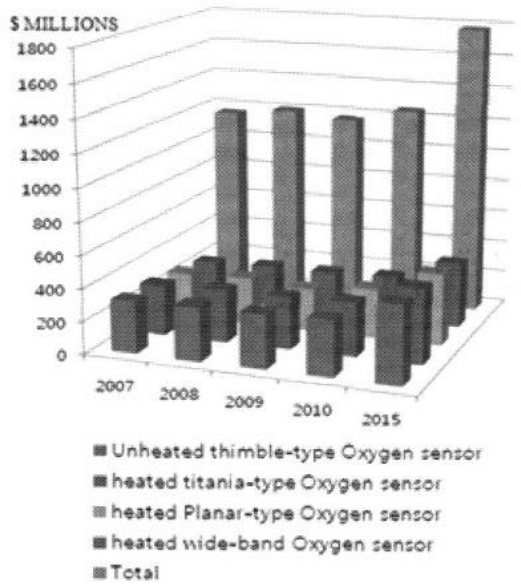


그림 17. 산소 센서별 세계시장 규모 (2007-2015)[13].

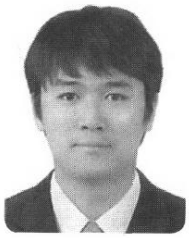
3. 결 론

연비절감과 환경규제의 두 가지 문제를 해결하기 위한 산소센서 기술에 대해 고찰하였다. 특히, 적층형 산소센서 (Heated titania-type, Heated Planar-type, Heated wide band Oxygen Sensor)의 경우 높은 양산성과 빠른 초기안정성을 나타내어 앞으로도 계속 시장규모가 확대될 것으로 판단된다. 또한, 국내 자동차 수출증대와 국내·외 환경규제적용 (Euro-5, 2010년)가 시행되어 가운데 산소센서 중요성이 부각되고 있음에도 아직까지도 산소센서는 전량 수입되어 사용하고 있다. 지금이라도 보다 적극적인 자세로 산학연의 공동연구 및 기술 정보 공유 등을 통한 산소센서의 국산화가 절실히 요구된다.

참고 문헌

[1] 국립환경연구원, 자동차 오염물질 배출계수 산정에 관한연구 (Ⅱ), pp. 1-10 (2000).
[2] S . SUZUKI, Y. NODA and N. SAWAKI, Sensors Update 6(1) pp. 381 (1999).
[3] Y. NODA, S . ISHIKAWA, N. HAYAKAWA, S .KAWARIJI and H. IIMI, in JSAE Spring Convention Proc.9832017 pp. 101 (1998).
[4] Bosch Oxygen Sensors: http://www.forparts.com/Bos02update2.htm
[5] T. Takeuchi, "Oxygen sensors," Sensor and Actuators, 14 pp. 109-124 (1988).
[6] E. C Subbaarao and H. S Maiti, "Oxygen Sensors and Pumps," ed by S. Somiya,N. Yamamoto and H. Yanagina, Advances in Ceramics, 24B, The American Ceramic Society, Inc., Westerville, Ohio, pp. 731-747 (1988).
[7] E. M. Logothesis, "Automotive Oxygen Sensors," ed by N. Yamazoe, Chemical Sensor Technology 3, pp. 89-104. Kodansa and Elsever, (1991).
[8] www.ngksparkplugs.com
[9] www.bosch.com
[10] C. M. Mari and G. B. Barbi, "Solid Electrolytr Potentiometric Oxygen Gas Sensor," ed By s. Yamauchi, Chemical Sensor Technilogy, 4 Kodansa Ltd. and Elsever, pp. 99-110 (1992).
[11] 이종흔, "이온전도 효과를 이용한 공연비 센서 및 응용" , 한국세라믹 학회 학술대회 논문집, pp. 12-28, 한국, (2001).
[12] www.denso-oxygen-sensors
[13] BCC Research, "Automotive Sensor Technologies: Global Markets" pp. 29-34 (2010).

저|자|약|력|

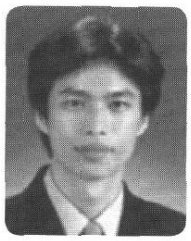


성 명 : 조정환
◈ 학 력
· 2004년
호서대학교 공과대학
화학공학과 공학사
· 2009년
고려대학교 대학원
신소재공학과 공학석사

◈ 경 력
· 2009년 – 현재 일진머티리얼즈(주)
기술연구소 선임연구원

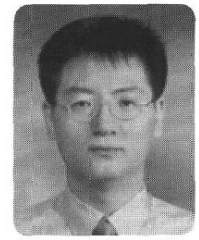
성 명 : 조태진
◈ 학 력
· 2007년
호서대학교 공과대학
화학공학과 공학사
· 2009년
연세대학교 대학원
신소재공학과 공학석사

◈ 경 력
· 2009년 – 현재 일진머티리얼즈(주)
기술연구소 선임연구원



성 명 : 강규식
◈ 학 력
· 2002년
성균관대학교 대학원 화학과
이학석사

◈ 경 력
· 2002년 – 현재 일진머티리얼즈(주)
기술연구소 책임연구원



성 명 : 김상범
◈ 학 력
· 1989년
서울대학교 공과대학
금속공학과 공학사
· 1991년
포스텍 대학원 재료금속공학과
공학석사
· 2001년
KAIST 대학원 재료공학과
공학박사

◈ 경 력
· 1994년 – 현재 일진머티리얼즈(주)
기술연구소 소장/책임연구원