

O₂ 센서와 기관 성능과의 관계

Relationship Between an O₂ Sensor and Performance of a Gasoline Engine

조진호
J. H. Cho



조진호
· 한양대학교 자동차공학과
정회원

1. O₂ 센서의 구조와 특성

1973년에 시작된 배출가스 규제가 1978년에 강화되어 이것에 대응하기 위하여 배출가스 청정화 장치로서 3원촉매가 사용되기에

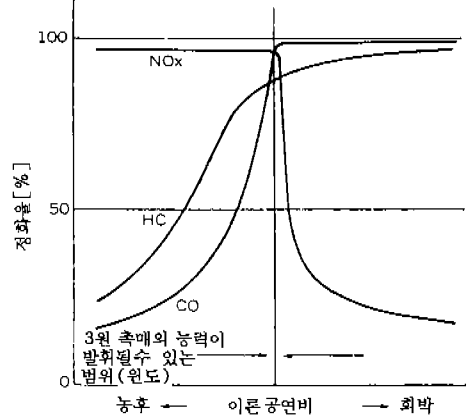


그림 2 3원 촉매의 정화율

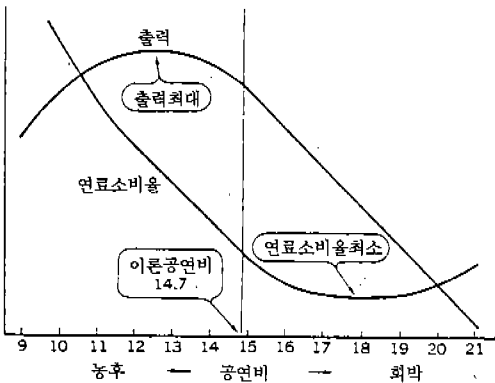


그림 1 공연비와 출력·연료소비율

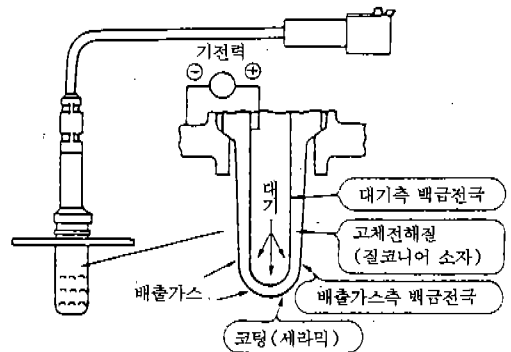


그림 3 질코니아 O₂ 센서

이르렀다. 이 3원 촉매가 가장 좋은 정화 특성을 발휘하기 위해서는 그림 2에 나타낸 것과 같이 이론공연비($\lambda=1$) 부근의 좁은 범위(원도)로 공연비를 제어하여야 할 필요가 있다.

그러기 위하여 이론 공연비를 검출하기 위한 O_2 센서를 배기관에 부착. 공연비가 이론 공연비에 대하여 농후(rich) 상태인가 또는 희박(lean) 상태인가를 검출한다. 이 O_2 센서로서 현재 실용화되고 있는 것으로서는 질코니아 O_2 센서와 티타니아 O_2 센서가 있다.

1.1 질코니아 O_2 센서의 구조

질코니아 O_2 센서는 가장 일반적으로 쓰여지고 있는 O_2 센서로서 그 구조는 그림3과 같다.

시험관 모양으로 된 고체 전해질인 질코니아(ZrO_2)소자의 안쪽과 바깥쪽 내외 양면에 백금 전극이 부착되고 이전극의 보호를 위하여 전극 바깥쪽은 세라믹으로 코팅한것으로 안쪽에는 대기가 도입되고 바깥쪽은 배출가스에 닿도록 되어있다.

질코니아 소자는 내외 양쪽면의 산소의 농

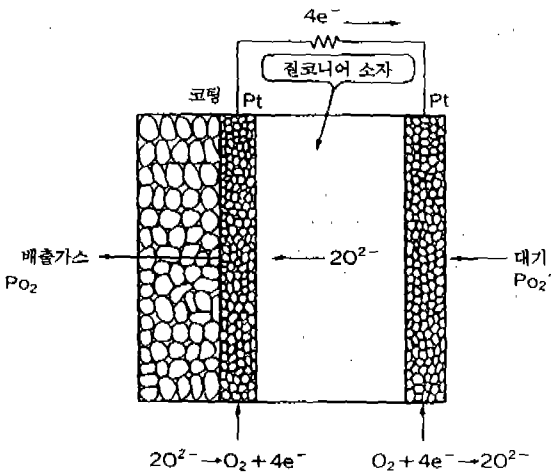


그림 4 O_2 센서의 작동원리

도차가 크면 고온하에서 기전력을 발생하는 성질이 있다. 즉 대기측과 배출가스측에서의 산소농도(산소분압)가 달라지면 그림 4에서와 같이 산소 분압이 높은 대기측으로부터 배기측을 향하여 산소이온이 이동, 그결과 두전극 사이에는 기전력이 발생된다.

그리고 이 기전력은 산소분압비의 대수에 비례하는 관계를 가지며 O_2 센서의 표면의 산소농도차가 클수록 기전력의 값은 커지게 된다. 다만, 배출가스 중의 산소는 이론공연비보다 농후한 혼합기로 연소하였다고 하여도 실제로는 약간의 잉여산소분이 존재하기 때문에 충분한 기전력을 발생하지 못한다.(그림 5의 가선) 그때문에 이론공연비 근방의 공연비에 대하여 기전력의 변화가 작아서 이 전압을 검출하는 것만으로는 이론공연비를 정확하게 검출하기는 곤란하게 된다. 그러므로 촉매작용을 가진 백금을 전극으로 사용함으로써 이론공연비를 경계로 기전력이 크게 변화되도록 한다.

농후한 혼합기로 연소하였을때의 배출가스가 백금에 닿게되면 백금의 촉매작용으로 남아있는 낮은 농도의 O_2 가 배출가스중의 CO

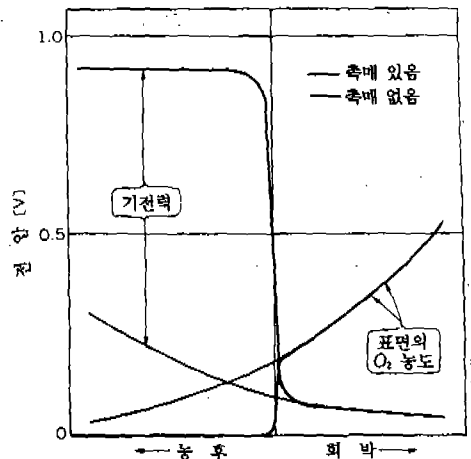


그림 5 백금의 촉매작용과 O_2 센서의 출력 특성

나 HC와 반응하여 질코니아 표면의 O₂는 거의 없어지기 때문에 O₂센서 내외면의 농도차가 매우 커지게 되고 약 1V의 기전력을 발생하게 된다.

그리고 역으로 희박한 혼합기로 연소하였을때의 배출가스는 고농도의 산소와 저농도의 CO가 있기 때문에 CO와 O₂가 반응하여도 여분의 O₂가 존재하게 되고 산소 농도차가 작아서 거의 기전력을 발생하지 않는다 (그림 5의 실선)

그런데 위에서 서술한 특성은 비교적 고온의 조건하에서 일어나는 특성으로 저온시에는 그 특성이 크게 변화되므로 안정된 출력을 얻기 위하여는 O₂ 센서의 온도가 되도록 낮아지지 않는 위치에 부착하거나 질코니아 소자 안쪽에 세라믹 히터를 설치하여 O₂센서의 온도를 고온의 상태로 유지되도록 하고 있다.

1.2 O₂ 센서의 특성

그림 6은 이론공연비 부근에서 출력전압이 급하게 변화하여 농후한 혼합비(O₂가 적다) 쪽에서 기전력이 높고 희박한(O₂가 많다) 쪽에서 기전력이 낮아지는 것을 나타낸 것이다. 그리고 그림 7은 3원촉매의 처리 회로를 도시한 것으로 앞에서 기술한 바와같이 이론

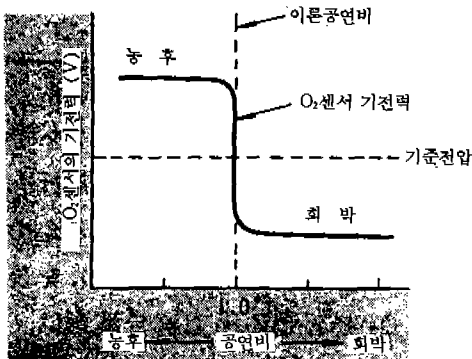


그림 6 공연비와 O₂센서의 기전력

공연비 부근에서 출력 전압이 급하게 변화하는 것을 이용하여 컴퓨터에서 연료분사량을 제어, 이론공연비 영역에 근접되도록하여 배출가스의 정화는 물론, 연비나 운전성등 기관의 성능이 최량의 상태가 되도록 한다.

2. O₂센서와 기관의 성능

2.1 O₂ 센서와 기관의 운전성

기관이 점화계, 연료계, 압축계등이 모두 정상상태인 경우 기관의 아이들중 심한 진동이나 회전이 멈추어지기 직전까지 그 상태가 고루지 못하게 되는등 기관의 부조화외에 연비가 악화되는 현상이 일어나는 때가 있고 이것은 의외에도 O₂센서의 부적합이 원인인 경우가 있다. 앞에서 기술한바와 같이 O₂센서는 공연비 피드백의 핵심 부품이고 이 O₂센서가 부적합하게되면 위에서와 같은 증상의 기관 부조화 증상이 발생한다. 그리고 기관에 따라서는 O₂센서 단체의 자기 진단 기능이 없고 또 있다고 하여도 O₂센서가 정상으로 작동될때 공연비 피드백 제어의 점점에만 국한된다. 그리고 이밖의 기관인 경우는 O₂센서의 자기 진단기능은 있으나 부적합한 것의 모두를 검출하는 것이 아니어서 O₂센서

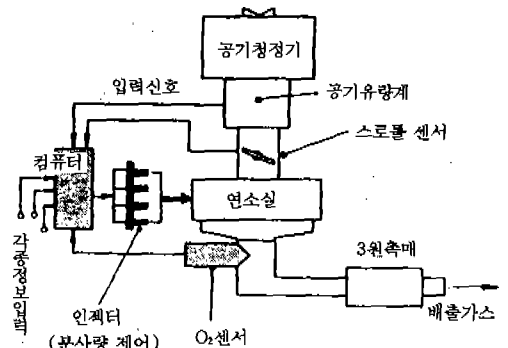


그림 7 3원촉매의 처리회로

단체의 점검은 그다지 쉽지만은 않다. O₂센서의 특성에 이상이 생겨서 배출가스의 성분이나 연비등이 악화되어도 운전상으로는 크게 지장을 느끼지 않기 때문에 점검을 하기 까지에는 이르지 않는것이 일반적인 실정이다.

2.2 O₂센서의 부적합품과 그 시험방법

O₂센서의 부적합품을 사용하였을때 기관에 나타나는 증상으로는

- ① 주행정지직후 아이들 상태의 불안정
- ② 기관의 운전정지
- ③ 연비의 악화

등으로 표출된다.

또한 부적합 O₂센서 단품의 특성은 정상품보다 출력전압이 낮은 것으로 나타나며 기관에 대한 증상이 발생되기까지의 과정은 다음

과 같이 생각할 수 있다.

즉, O₂센서의 출력전압이 낮기 때문에 컨트롤유닛은 공연비가 희박한 것으로 판단하고 공연비를 농후하게 만들기 위하여 연료의 분사량을 증량시키는 쪽으로 작동하게 되며 이로써 앞에서 기술한 증상외에 배출가스의 성분과 연비의 악화로 이어지는 것으로 판단된다.

2.3 부적합 O₂센서의 점검예

예 1)

(가) 증상으로는 아이들상태의 불안정이나 주행정지직후 기관의 운전이 정지되기 직전의 상태로 되던것이 O₂센서를 교환한 다음부터는 모든 증상이 정상으로 되면서 연비도 매우 좋아진 케이스이다.

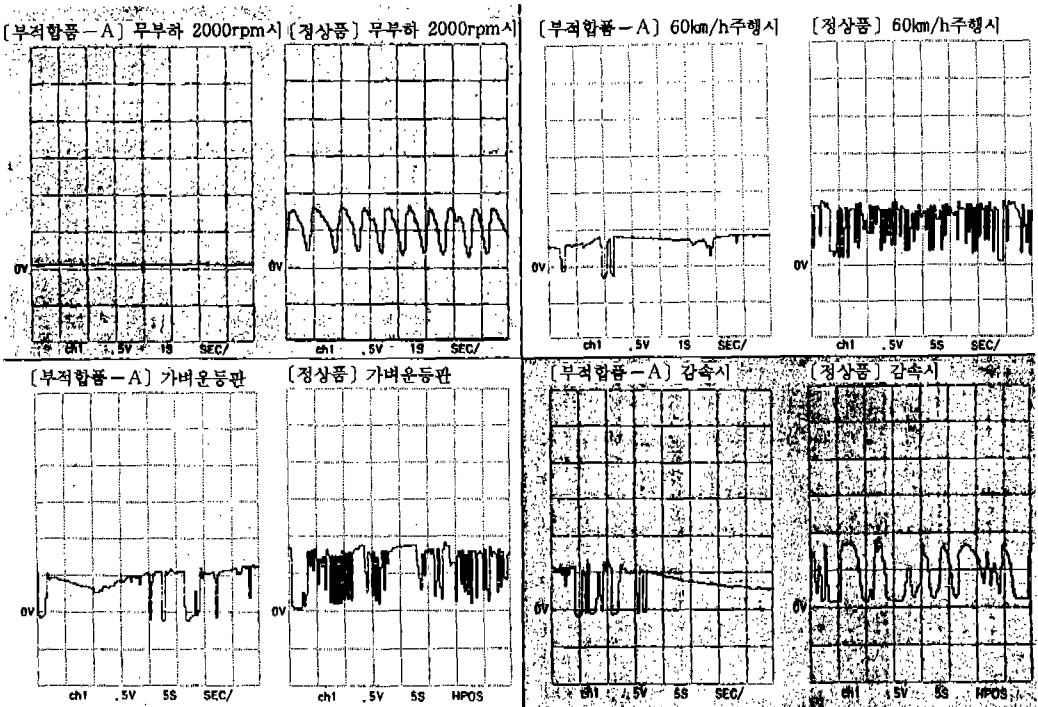


그림 8 아이들이 불안정하고 주행정지후 기관의 운전이 정지 직전에 이르는 증상인 O₂센서의 출력파형

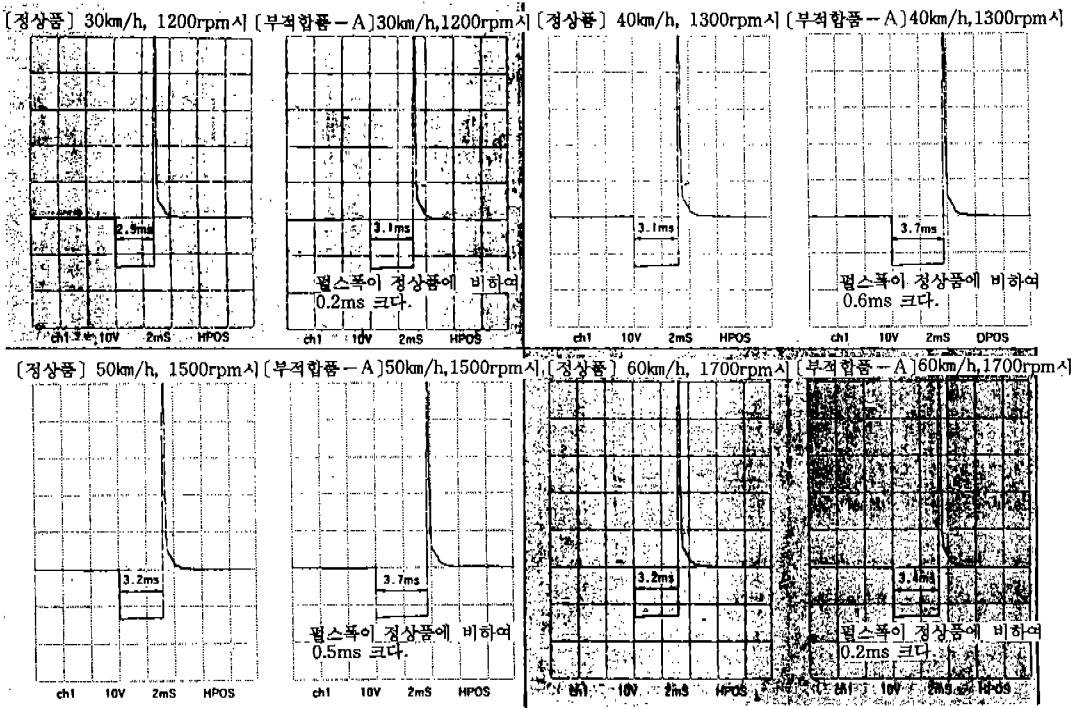


그림 9 주행상황별 부적합 O₂센서와 정상 O₂센서의 출력파형 비교

표 1 정상품인 O₂센서와 부적합품인 O₂센서를 장착한 경우와 CO와 HC의 농도를 차속마다에 대하여 측정한 결과

차속	아이들	10km/h	20km/h	30km/h	40km/h	50km/h	60km/h
정상품인 O ₂ 센서인	CO%	0.02	0.01	0.03	0.02	0.04	0.05
	HC ppm	50	10	10	10	10	20

↓ 매우 악화된다.

O ₂ 부 센서 서합	CO%	3.50	6.40	4.32	6.68	6.03	6.50	7.34
	HC ppm	630	450	460	470	480	470	440

- (나) 그림 8은 부적합 O₂센서(A)를 시험차에 장착하여 부적합현상의 재현을 확인하고 주행중인 O₂센서의 출력신호를 정상인 것과 비교한 결과이다. 부적합품인 O₂센서(A)는 정상품에 비하여 출력이 전반적으로 낮아 0.1V 이어서 농후와 희박의 상하 움직임이 극단적으로 작다.
- (다) 이와같이 출력전압이 낮으면 컨트롤 유닛은 이론공연비로 제어하기 위하여 연료의 분사량을 증량하여 혼합기를 농후하게 만드는 쪽으로 작동할 것이다.
- (라) 그림 9는 새시 동력계 위에서 주행

에 의한 시험이다. 각 차속마다의 인젝터 분사시간을 정상적인 O₂센서와 비교한것으로 부적합의 O₂센서(A)를 장착한 경우가 연료의 분사 시간이 길어져서 공연비가 농후하게 되는 것을 알 수 있다.

- (마) 이와같이하여 공연비가 농후하게되면 주행직후 정지시 여분의 연료가 흡기 메니폴드의 벽등으로부터 연소실내로 유입 혼합기의 지나친 농후함으로 인하여 기관의 운전이 정지의 직전까지에 이르거나 아이들 상태의 불안정으로 이어지는 이유가 됨을 알 수 있다.

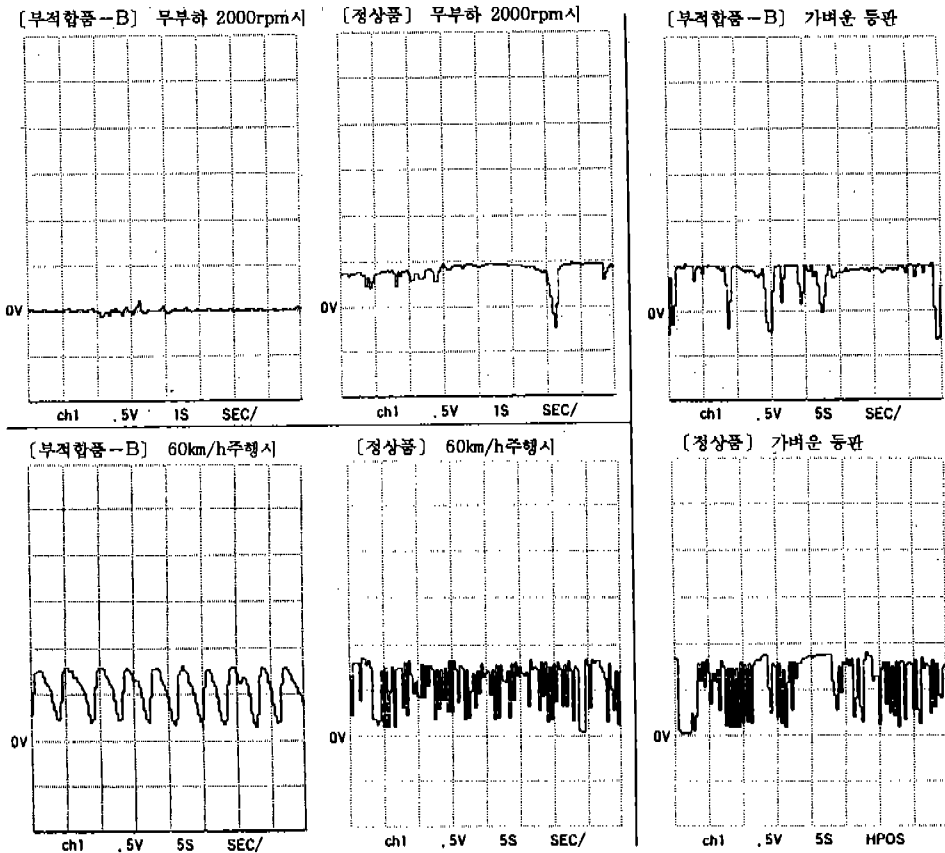


그림 10 부적합 O₂센서 (B)의 주행상황별 출력파형

(바) 연비에 대하여는 60km/h 주행을 포함하는 교외의 고속시에는 약 9%, 시가지 주行的 경우는 약 15%의 악화를 가져 오는 등 하며 이 값은 5회의 실험에서 얻은 평균값이어서 신뢰될 수 있다.

표 1은 배출가스에 대하여 CO/HC 미터를 사용. 각 차속마다에 대하여 계측한 결과로서 앞에서 기술한바와 같이 공연비가 농후하게 됨으로써 그 측정값이 대단히 나쁘고 이 값들도 5회에 걸친 측정값들을 평균한 값이므로 신뢰성이 있다.

2.4 부적합 O₂센서의 특성변화

O₂센서는 발전기능을 가지고 있어서 테스트등에 의한 내부저항의 측정은 불가능하다. 따라서 전류의 계측에 의하여 그 특성의 변화를 구할 수 있다. 질코니어 O₂센서의 정상품은 무부하 2,000rpm시 계측값이 0~0.7 μ A 사이에서 변동되고 있으며 그 값이 매우작다.

이에 대하여 부적합 O₂센서(A)는 동일한 운전조건에서 그 값이 0~0.2 μ A 사이로서 더욱 낮은 변동을 보이고 있으며 이것은 O₂센서의 내부에서 \oplus 로부터 \ominus 로 약간의 리크가 있는 것으로 생각되고 이것이 O₂센서 부적합의 원인인 것으로 판단된다.

예 2)

증상으로는 주행직후에 아이들상태가 불안정하게되고 그 상태에서 잠시동안 운전이 계속되면 다시 정상상태로 되돌아가는 경우이다. 그림 10은 부적합품(A)와 같이 부적합품(B)를 시험차에 장착하여 부적합의 재현을 확인하고 작동중인 O₂센서의 출력신호를 오실로스코프를 사용, 정상품과 비교한 것이다.

(가) 정상인 O₂센서인 경우와 비교하면 0.5V 부근의 출력신호가 대단히 번잡하고 0.5V 부근이라고 하는 것은 공연비에 있어서 농후함과 희박함의 중간적인 상태를 의미하는 것인지의 판단은 어려우나 다만 표 2에서와 같

표2 부적합 O₂센서 B의 차속별 CO/HC 농도

정 상 센 서 인	차속	아이들	10km/h	20km/h	30km/h	40km/h	50km/h	60km/h
	CO%	0.02	0.01	0.03	0.02	0.04	0.05	0.05
	HC ppm	50	10	10	10	10	20	20



O ₂ 부 센 적 서 합	차속	아이들	10km/h	20km/h	30km/h	40km/h	50km/h	60km/h
	CO%	0.01	0.01	0.13	0.10	0.26	0.26	0.30
	HC ppm	50	10	170	160	210	220	170

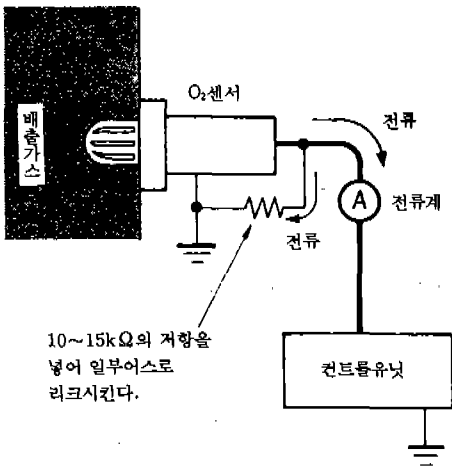


그림 11 O₂센서의 점검(1)

리크에 의한 부적합으로 생각하여 정상인 O₂센서에 저항을 넣어 어스한 결과 같은 부적합이 재현되었다.

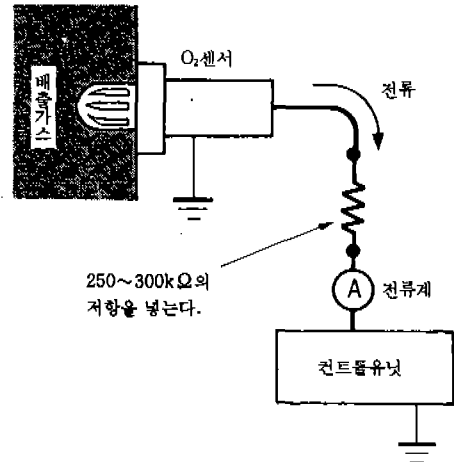


그림 12 O₂ 센서의 점검(2)

정상인 O₂센서의 신호선 중간에 저항을 직렬로 접속하여 출력을 부적합 O₂센서(B)와 같은 0.5V 근방으로 조정하면 같은 증상이 재현되었다.

이 부적합품을 사용할 경우는 20km/h 이상 또는 가벼운 등판길에서와 같이 부하가 걸리면 배출가스나 연비 등이 악화됨을 알 수 있다. 그리고 출력신호가 무부하 2,000rpm시 정상품은 0~0.7 μ A 사이에서 변동되는데 대하여 부적합품(B)는 0~0.3 μ A로서 낮은 값으로 변동된다.

(나) 부적합품 O₂센서(B)의 출력신호파형이 거의 0.5V를 기준으로 하고 있어서 정상품인 O₂센서의 신호선 사이에 그림 12에서와 같이 적정의 저항값을 가진 저항을 직렬로 접속하여 출력을 부적합 O₂센서(B)와 같은 0.5V로 조정하였던 바 거의 같은 출력 파형을 얻을 수 있고 기관에 대하여도 같은 증상을 재현할 수 있었다. 또한 전류값이 동일값이 되는 점으로 보아 센서소자의 열화등이 원인으로 되어 내부저항이 커지는 것으로 이것이 부적합의 원인인 것으로 판단된다.

3. 맺음말

O₂센서는 그 점검이 어렵고 더구나 분해하여 구성품을 수정하거나 교환할 수도 없는 부품이다. 따라서 최종적으로는 O₂센서를 교환함으로써 기관에 나타내는 모든 증상을 개선할 수 밖에 없다. 그리고 아이들 상태의 불안정이나 기관의 운전 정지등외에 확실하게 느낄 수 있는 증상이 없는 한 O₂센서를 점검하는 예는 지극히 드물다.

그러나 O₂센서의 특성에 이상이 발생하게 되면 차량의 운행상 지장은 없어도 숨겨진 고장으로서 배출가스의 성분이나 연비의 악화를 초래하는 것은 앞에서 기술한바와 같다.

특히 배출가스는 연비외에도 환경문제와 직접적으로 관련되므로 이에대한 충분한 배려가 필요하다.