

전기적 신호처리에 의한 환경유해물질 검출연구

전영갑 선종호 이태성
한국전기연구소 한국전기연구소 한국전기연구소

A study on the detection method of environment toxic gases by using electrical signal

Y.K. Chon J.H. Sun T.S. Lee
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract- 본 연구에서 제시하는 기공세라믹(Porous Ceramic)에 의한 누설전류 측정법은 기공 사이즈가 일정한 Open Pore Cell내에서 도전성 물질 및 이온화된 물질이 기공 사이에 침투되었을 때 외부에서 전계를 가하므로써 이들 이온화된 물질이 chain처럼 배열되어 전기적 병렬회로를 구성시켜 미세한 누설전류를 흐르게 한다. 이 누설전류법에 의한 도전성분 검출을 여러 환경 배출가스에 대한 모의실험을 실시한 결과 기공세라믹인 센서 자체의 누설전류는 가스 온도 150 (°C) 이상에서 급격한 변화를 보이고 200(°C)에서 센서 자체의 전류치와 가스를 주입하였을 때의 전류치와는 상당한 격차를 두고 변화됨을 알 수 있었다. 그리고 공장연돌이나 자동차 배기관에서 배출되는 가스 중 HC, CO, NO, CO₂, SO₂, N₂ 등에 대한 센서 특성이 각각 달라 나타남을 알 수 있었다

이온성분의 전자상태를 나타내는 센서의 누설전류를 측정하여 배기 가스량을 측정할 수 있다. 그림 1은 센서의 동작 원리도를 나타낸 것으로 베이스 링을 지지점으로 하여(2) Porous Ceramic(4)을 삽입하여 그 양단에 전극 (3)(3a)를 부착시키면, 배기가스의 도전 성분이 Porous Ceramic(6)을 통과할 때, 저항이 변화되는 순간 일정전압 (V)을 가하여 누설전류 (A)를 측정할 수 있다.⁽³⁾

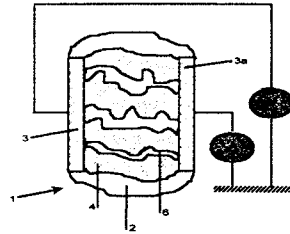


그림 1 센서의 동작원리도

1. 서 론

산업의 다양화와 선진화 과정에서 필연적으로 수반되는 환경오염 문제는 날로 심각해지고 있다. 이러한 환경 문제를 해결하기 위해서는 오염도가 적은 대체 에너지 등의 개발과 더불어 배출되는 오염물질을 정확하게 측정하여 사전에 오염원인을 제거하는 기술개발이 병행되어야 한다. 대기오염 계측기는 대기 환경 중의 오염물질인 SO₂, NO_x, CO, O₃ 등의 가스상 물질을 수 ppm에서 ppb까지 측정하는 정밀 분석기기로서 서구유럽, 미국, 일본 등의 선진국에서는 많은 기술개발이 이루어져 연속 자동측정할 수 있는 기기들이 상품화 되어 공급하고 있으나 국내의 경우에는 환경계측기 생산업체의 영세성 및 부품 소재산업의 취약성으로 기기의 개발 기술이 낙후되어 있고 일부 stack 측정용으로 외국제품의 모방 및 조립생산 단계에 있다.⁽¹⁾

본 연구에서 제시하는 기공세라믹(Porous Ceramic)에 의한 누설전류 측정법은 기공 사이즈가 일정한 Open Pore Cell내에서 도전성 물질 및 이온화된 물질이 기공 사이에 침투 되었을 때 외부에서 전계를 가하므로써 이들 이온화된 물질이 chain처럼 배열되어 전기적 병렬회로를 구성시켜 미세한 누설전류를 흐르게 한다. 이 누설 전류법에 의한 도전성분 검출은 기공세라믹 자체의 물리적 특성을 이용한다는 점에서 미래 환경 기술 분야 적용에 필수적이라 하겠다.⁽²⁾

2. 적용 센서 및 실험장치

2.1 적용센서

센서 재료로서 전하밀도와 이동도가 적은 상태에서 어떤 전기적 원인뿐만 아니라 열적 및 화학적 요인에 의하여 그림 1과 같은 분체층 모델을 이용할 수 있다. 여기서 센서의 단위 거리당 두 전극사이에 떨어진 거리를 평행한 두 전극의 단위면적을 계산하여 Conductance를 계산한다. 식(1)에 의거 도전성 분출물 입자가 센서에 흡착-통과되는 순간 배기가스의 도전성 가스에 함유된

배기가스 검출용 센서의 주 재질인 기공세라믹과 센서의 크기 및 특성은 다음과 같다.

- 재질 : Porous Ceramic
- 기공 크기 : 100 - 300 (µm)
- 센서 외경 : 5 ~ 100 (m/m)
- 센서 두께 : 5 ~ 10 (m/m)
- 성분 : 98 % Al₂O₃
- 열팽창계수 : 6.5 - 8.5 × 10⁻⁶ /°C
- 비중 : 0.75 - 0.85
- 기공율 : 75 - 85 (%)

환경 배기가스센서의 기공율 계산식은 식(1)과 같다.

$$\text{기공율} = \frac{V_3}{V_1 + V_2 + V_3} \times 100(\%) \quad (1)$$

V₁ : Volume of Ceramic Materials
V₂ : Volume of Pore Part
V₃ : Open Pore

2.2 측정 시스템

그림 2는 상기 센서(32) 및 보상용 온도센서(31)의 출력신호를 측정할 수 있는 검출 장치이다. 센서(1)에 직류전압을 인가하여 누설전류를 측정할 수 있는 DC 고압발생부(20)와; 이 DC고압발생부(20)의 출력신호와, 공장 연돌 보상용 온도센서(14)의 출력신호를 증폭기(Amplifier)(21)로 증폭시킨 뒤, 이 증폭신호를 마이크로프로세서부(40)에 입력되면, 마이크로프로세서 부(40)에서 온도 특성에 맞는 기준치와 비교하여 연산한 뒤 메모리(Memory)에 저장 및 디스플레이(Display)하도록 한다. 온도보상회로(50)의 마이크로프로세서부(40)는 증폭된 전류치와 증폭된 온도치가 마이크로프로

3. 실험결과 및 분석

3.1 센서 자체 온도 특성

기공세라믹 센서는 온도에 따라 이온량이 변화되기 때문에 온도 크기에 따라 민감한 특성을 보인다. 그림 4는 온도에 따른 센서 자체의 온도 특성을 평균으로 나타낸 것이다. 본 측정치는 5회 측정된 값을 가스주입이 전혀 없는 상태에서 센서 BOX에 온도를 인가함에 따라 100℃까지는 거의 변화를 보이지 않으나 150℃이상에서는 거의 급격한 변화 상태를 나타낸다. 센서BOX 내부의 공기가 열적인 충격을 받았을 때 내부의 공기가 이온화되어 센서 특성을 변화시키고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 공기에 있어서 carrier의 이동도에 많은 관련이 있는 것으로 본다. 즉 해리이온 A^+ 와 B^- 의 전기전도 carrier는 다음과 같다.



이온성 분자 A^+B^- 는 기체 내부의 구성분자로 센서BOX 내에 혼합된 불순물 기체들이 온도가 상승함과 동시에 전압을 인가시킬 때 인가온도 150℃근방에서 급격하게 변화됨을 알 수 있다.

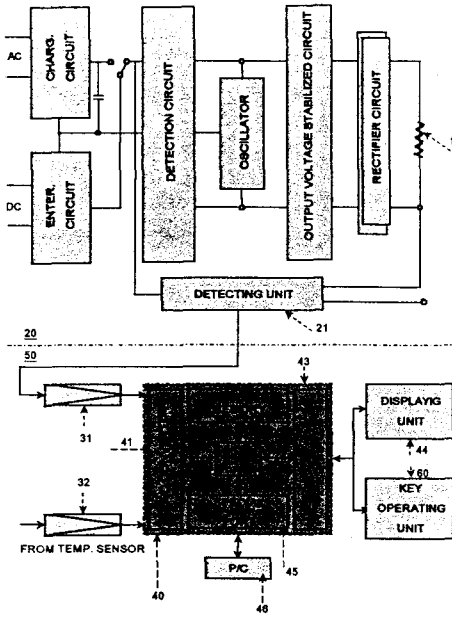


그림 2 배기가스 검출 시스템

세서부(40)에 입력되면 그림 4의 온도특성곡선에 맞는 기준치와 비교한다.

2.3 실험장치

본 연구를 위한 실험장치는 환경가스를 주입할 수 있는 모의설비로 일정 볼륨 (47 Litter, 100 psi)에 다음과 같은 가스농도로 가스를 주입하여 실험하였다.

- (1) HC 계열 : C_3H_6 8% C_3H_8 8%
 CH_4 in Ballance
- (2) CO 2000 PPM/ in Ballance N_2
- (3) SO_2 2000 PPM/ in Ballance N_2
- (4) NO 2000 PPM/ in Ballance N_2
- (5) CO_2 2000 PPM/ in Ballance N_2
- (6) N_2 99.5%

상기 가스 중 HC 계열, CO , SO_2 , NO 등은 배기가스 중 유해 성분으로 N_2 가스를 Ballance로 희석시켜 일정농도로 유지시켜 실험한다. 실험장치는 그림 3과 같이 모의가스 볼륨에 주입된 가스를 Regulator를 거쳐 MFC(Mass Flow Controller)를 거쳐 일단 Mixer를 거치면 센서가 부착된 반응기에 들어오게 된다. 반응기에서는 2.1, 2.2에서 언급된 센서와 터미널을 연결된 측정장치와 측정장치에 연결된 기록계에서 전기적 신호를 검출하게 된다.

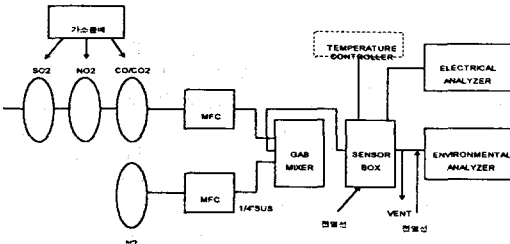


그림 3 가스 측정 모의설비

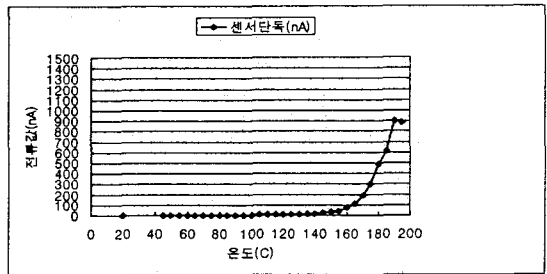


그림 4 센서자체 온도특성

3.2 N_2 유량에 따른 센서의 전류값 변화

N_2 가스는 배기가스중 95%이상을 배출시키는 중요한 요인으로 작용하므로 그림 5는 N_2 유량변화에 따른 전류값 변화치를 나타낸다. N_2 가스 0.2L/min를 주입하였을 때 가스온도 200℃ 근방에서 센서 자체 특성치 보다 급격히 변화됨을 나타낸다. 그리고 N_2 2L/min에서 4L/min로 변화량을 주었을 때 더욱 큰 차를 나타내고 있다. 표 1은 150℃와 200℃에서 나타낸 센서자체의 누설전류치와 N_2 가스량의 변화상태를 나타낸다.

표 1 N_2 유량변화에 따른 센서의 전류치 변화량 (단위: nA)

온도(℃)	센서자체	N_2			비고
		0.2L/min	2L/min	4L/min	
150	31	23	65	55	
200	1366	2500	3900	4500	

3.3 CO_2 , SO_2 600ppm 에서의 센서 전류치

그림 6은 CO_2 600ppm, SO_2 600ppm을 주입하였을 때 변화되는 전류치를 나타낸다. CO_2 가스는 지구 대기 온난화를 일으키는 주원인으로 작용되는 가스이고, SO_2 는 공장 연돌이나 소각로 등에서 주로 발생하는 가스이다. 표 2는 150℃와 185℃에서 나타낸 센서의 누설전류치 변화율을 나타내고 있다. 그림 6에서 알 수 있다

시피 CO₂나 SO₂는 변화량과 변화율이 거의 같음을 알 수 있었다.

표 2 CO₂, SO₂농도에 따른 센서 전류치 변화량

온도 (°C)	센서 자체	CO ₂ 600ppm	SO ₂ 600ppm	비고
150	31	60	50	
185	612	1800	2100	

3.4 NO농도에 따른 센서 전류치

그림 7은 NO 200ppm, 600ppm, 1000ppm으로 변화시켰을 때 센서의 전류치를 나타낸 것은, 특히 NO가스는 자동차 배기관에서 유해가스로 발생하는 것으로 NO200ppm에서 600ppm으로 증가시켰을 때 급격한 변화 상태를 보이고 있다. 표 3은 150°C와 200°C에서 나타낸 센서의 전류치 변화량을 나타내고 있다.

NO2000ppm에서 600ppm, 1000ppm으로 변화율이 감소되는 원인은 CO가스가 포화상태에서는 변화량이 거의 없음을 알 수 있었다.

표 3 NO농도에 따른 센서 전류값 변화량 (단위:nA)

온도 (°C)	센서 단독	200ppm	600ppm	1000ppm	비고
150	31	43	54	43	
200	1366	3500	3650	3800	

3.5 CO 농도에 따른 센서의 전류값 변화

CO가스 또한 자동차 배기관에서 유해가스로 분류되는 가스로 CO농도를 200ppm-600ppm-1000ppm-2000ppm으로 조성시켰을 때, 그림 8에서 볼 수 있다시피 CO가스 200ppm과 1000ppm은 거의 같은 형태로 변화됨을 알 수 있었다. 표 4는 CO 농도에 따른 센서의 누설전류량을 표시한 것으로 CO 600ppm에서는 상당한 변화량을 나타냄을 알 수 있었다.

표 4 CO 농도에 따른 센서 전류값 변화량

온도 (°C)	센서 단독	200ppm	600ppm	1000ppm	2000ppm	비고
150	31	45	160	49	29	
190	903	1500	-	1530	1100	

3.6 HC 농도에 따른 센서 전류값 변화

본 연구에서 가장 중점을 두고 있는 것은 HC(Hydrocarbon) Gas이다. 왜냐하면 원유에서 거의 모든 성분은 HC 계열로 되어 있어, 연료가 불완전 연소되거나 충분한 분해작용이 없으면 대기에 HC가 비산되어 지구 온난화는 물론 인체에 상당한 피해를 주는 가스이기 때

문이다. 특히 자동차 배기가스에서 많이 발생되는 HC는 엔진의 불완전 연소상태에 따라 많은 HC를 발생시키고 있다. 그림 9는 HC농도 변화에 따른 전류 변화량을 나타낸 것으로 HC농도 600ppm-1000ppm-2000ppm-3000ppm-4000ppm 등으로 변화시켰을 때 지금까지 분석된 가스 중 가장 큰 변화치를 보이고 있음을 알 수 있었다. 가스 농도가 포화된 3000ppm 이상에서는 거의 비슷한 변화율을 보이나, HC 600ppm에서는 센서 자체의 누설치 보다 월등히 많은 변화율을 보이면서 안정된 곡선을 그리고 있다. 이것은 앞장에서도 언급된 바와 같이 Carbon 성분 자체가 도전 성분을 띄우고 있기 때문에 센서 전류값이 급격히 변화됨을 알 수 있었다. 표 5는 HC농도에 따른 센서의 누설 전류량을 나타낸 것으로 가스온도 200°C에서 근 3~4배의 전류치를 나타냄을 알 수 있다.

표 5 HC 농도에 따른 센서 전류값 변화 (단위:nA)

온도 (°C)	센서 자체	600ppm	1000ppm	2000ppm	3000ppm	4000ppm	비고
150	31	62	60	110	60	64	
200	1366	4200	4700	4800	6200	6500	

3.7. 가스별 누설전류 측정치

그림 10은 지금까지 측정된 가스별 농도를 일정하게 하였을 때 측정된 센서 전류치를 종합적으로 비교 검토한 것이다. N₂ 0.2L/min, CO₂ 600ppm, NO600ppm, CO 600ppm, HC 600ppm을 주입시켰을 때, 가스온도 200°C에서 HC가스가 가장 높은 변화량을 나타냄을 알 수 있었다.

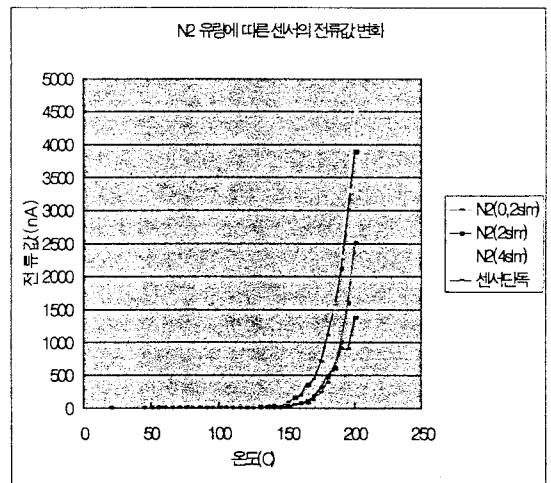


그림 5 N₂ 유량에 따른 센서의 전류값 변화

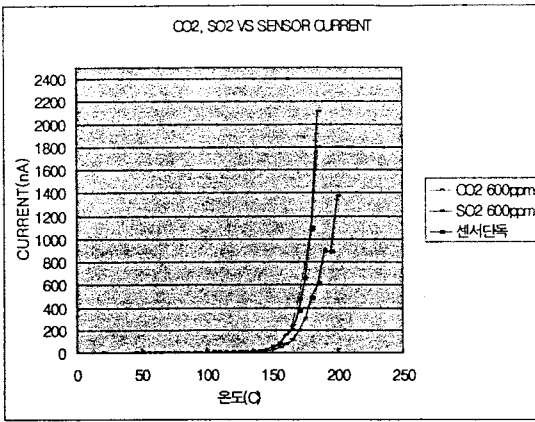


그림 6 CO₂,SO₂ 변화량에 따른 센서의 전류값 변화

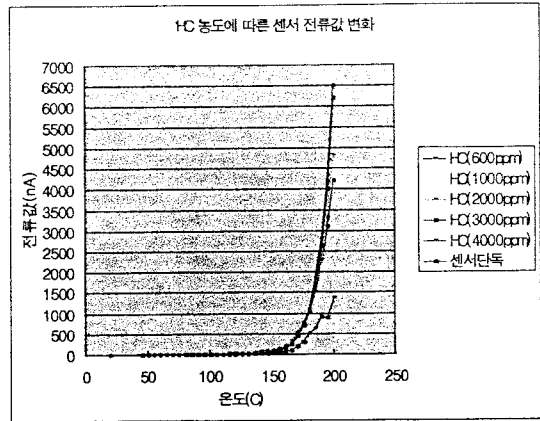


그림 9 HC 농도 변화량 따른 센서의 전류값 변화

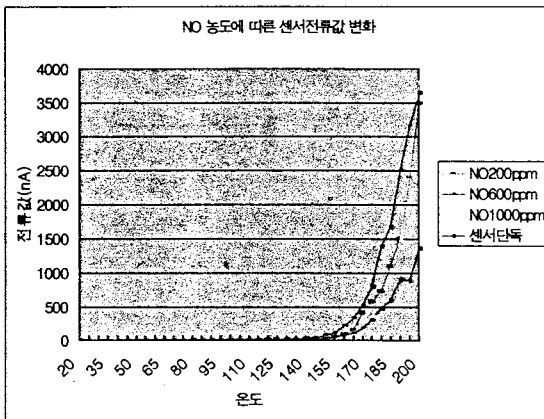


그림 7. NO 농도 변화에 따른 센서의 전류값 변화

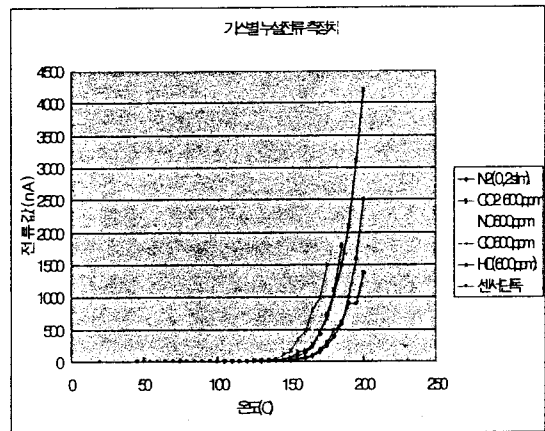


그림 10 가스별 센서의 누설전류값 변화

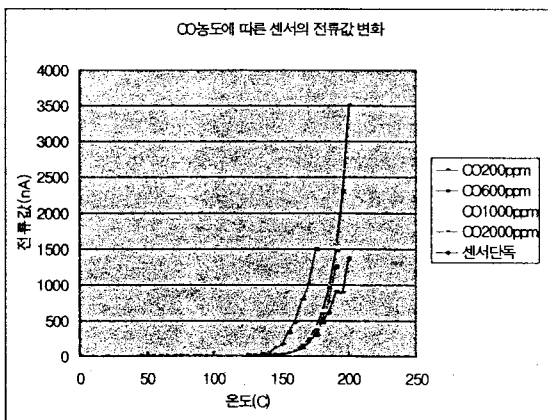


그림 8 CO 농도 변화에 따른 센서의 전류값 변화

4. 결 론

본 연구에 대한 연구요약을 정리하면 다음과 같다.

(가) 기공세라믹인 센서 자체의 누설전류는 가스 온도 150(°C) 이상에서 급격한 변화를 보이고 200(°C)에서 센서 자체의 전류치와 가스를 주입하였을 때의 전류치와는 상당한 격차를 두고 변화됨을 알 수 있었다.

(나) 공장연들이나 자동차 배기관에서 방출되는 가스 중 HC, CO, NO,CO₂, SO₂, N₂ 등에 대한 센서 특성이 각각 달리 나타남을 알 수 있었다.

(다) 원유에서 연료로 사용된 것 중 불완전 연소로 발생하는 가스는 기공세라믹으로 구성된 센서로 유해가스량 및 농도를 간접적으로 측정할 수 있음이 밝혀졌다.

본 연구는 전기적 신호처리에 의한 환경유해물질 검출 기초연구로 국내외에서 처음 개발된 기공세라믹 센서가 환경유해물질을 간단하게 측정할 수 있다는 가능성을 제시하였다는 점과, 앞으로 복합가스를 주입하였을 때 센서의 반응 상태 및 센서의 내구성 등에 대해서는 추가로 연구되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 안대영 외 14인 "대기(굴뚝)오염계측기의 국산화 개발" 생산기술연구원, 1995.12 p 124-130
2. 전영갑 외 13인 "변압기 절연유 열화센서를 이용한 진단 기법 개발" 과학기술처 1996.9 p 47-96
- 3.Y.K.Chon "A study on the characteristics of degradation sensor for insulation oil" IEEE International Symposium on Electrical Insulation, June 16-19,1996