

논문 94-3-3-02

탄화수소계 가스 감지용 접촉연소식 가스센서의 제조

박효덕* 이재석** 김건년* 박종완** 신상모*

Fabrication of catalytic combustible gas sensor for hydrocarbon gas detection

Hyo-Derk Park*, Jae-Suk Lee**, Kun-Nyun Kim* Jong-Wan Park**, Sang-Mo Shin*

요 약

비표면적이 큰 γ - Al_2O_3 와 귀금속 촉매를 이용하여 접촉연소식 가스감지소자를 제조하였다. DT/TGA와 XRD 실험을 통해 γ - Al_2O_3 제조의 최적 조건을 구하였으며, 제조된 γ - Al_2O_3 는 $215.5\text{m}^2/\text{g}$ 의 큰 비표면적을 나타내었다. Pt 코일을 발열체 및 온도감지소자, 미세 γ - Al_2O_3 분말을 담체 모물질, Pd 및 Pt 귀금속을 촉매제로 이용하여 가스센서를 제조하고 가연성 가스에 대한 감도특성을 조사하였다. 실험결과들로부터 본 연구에서 제조된 센서는 1000ppm의 LPG 및 LNG에 대해 각각 20mV와 6.5mV로 높은 감도 특성을 나타내었다.

Abstract

Catalytic combustible gas sensors were fabricated by using γ - Al_2O_3 with large surface area and noble metal catalysts. The optimum conditions for γ - Al_2O_3 fabrication were investigated by DT/TGA and XRD analyses and it was found that fabricated γ - Al_2O_3 had superior value as surface area of $215.5\text{m}^2/\text{g}$. Gas sensors were manufactured and tested to inflammable gases by using Pt coil as a heater and temperature sensing part, fine γ - Al_2O_3 powder as a bead material and Pt, Pd noble metal powder as a catalyst. From the results, fabricated sensor showed good sensitivity to LPG and LNG of 20mV/1000ppm, 6.5mV/1000ppm respectively

1. 서 론

최근들어 천연가스의 풍부한 매장량과 냉동액화기술의 발달로 인해 무독성, 무황분으로 대기환경오염을 유발시키지 않는 고열량의 연료로서 LNG의 사용량이 급증하고 있다. 이러한 LNG 및 기타 탄화수소계 가스 누출을 감지하기 위해 주로 반도체식 가스센서가 사용되어 왔다. 그러나 최근에는 반도체식 센서에 비해 접

촉연소식 가스센서가 큰 관심을 끌고 있다. 이는 접촉연소식 가스센서가 가연성 가스에 대한 선택성과 직선적인 출력특성, 온도 및 습도변화에 대한 안정성, 짧은 안정화 시간 그리고 양호한 재현성 등의 장점을 갖고 있기 때문이다.

이 방식을 이용한 최초의 실용적인 계측기는 1923년 미국 Johnson-Williams사[1]의 모델 B이며, 일본에서는 1958년 光明理化學工業(주)[2]에서 제작한 FM-1형이 있다. 초기 이러한 기기에 사용된 센서는 백금소선(白金素線)을 코일 상으로 형성하여 경보기에 부착한 것으로 백금 코일을 전기로 가열한 후 피검가스의 접촉연소로 발생한 온도상승분을 저항값 변화로 검출하는 것이었다. 이러한 백금소선(白金素線)센서는 가스 응답특성이 우수하여 현재에도 개량되어 사용되고 있

* 전자부품종합기술연구소 센서연구실
(Sensor Lab., Korea Electronic Institute of Technology)

** 한양대학교 공과대학 금속공학과
(Dept. of Metall. Eng., Eng. Coll., Hanyang Univ.)
<접수일자 : 1994년 9월 5일>

으나 800~1000℃의 고온 동작시 백금의 빠른 증발속도에 의해 100 시간 정도의 짧은 수명을 갖는 단점이 있다.

그 이후 1962년에 A. R. Baker[3]가 백금족(Pt 또는 Pt와 Rh, Ru, Pd, Ir과의 합금)의 나선코일상에 nitrate, hydroxide 또는 alkali silicate의 수용액을 이용하여 알루미늄 또는 실리카 비드를 도포하고 그 위에 Pd 또는 Pt/Pd 혼합물 귀금속 촉매를 담지한 검지소자를 개발하였다. 여기서 백금코일은 인가전력에 의한 가열원으로 그리고 가스검지시 센서자체의 온도상승을 검출하는 측온저항체로 사용되는 것으로서 발열저항선으로 칸탈선 등이 사용된 적도 있으나 알루미늄 담체와의 열팽창계수 차이에 의한 박리현상(剝離現象)을 방지하고 화학적 안정성을 위해 백금을 주로 사용하고 있다. 최근에는 보다 낮은 온도에서 촉매활성이 좋고 큰 비표면적을 갖는 γ -Al₂O₃을 모물질로 한 담체개발과 Pt, Pd 및 이들의 혼합물 등의 촉매개발과 피독방지 등에 대한 연구가 이루어지고 있다[4,5].

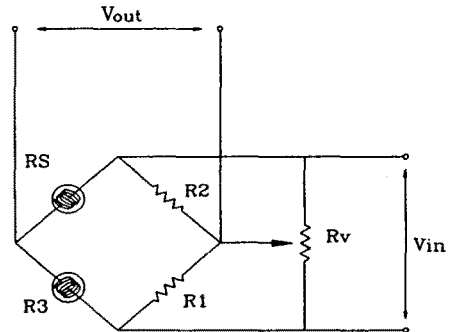
따라서 본 연구에서는 CH₄이 주성분인 LNG에 고감도를 갖는 가스센서를 제조하기 위해 담체와 촉매별로 접촉연소식 가스센서를 제조하고 γ -Al₂O₃ 제조공정이 비표면적에 미치는 영향, 그리고 이를 이용하여 제조한 담체 및 촉매의 조성이 탄화수소계 가스에 대한 감도 특성의 관계에 대하여 조사하였다.

II. 접촉연소식 가스센서의 구조와 원리

접촉연소식 가스센서는 산화촉진 작용을 갖는 촉매와 피검가스를 접촉하게 하여 촉매연소에 의한 연소열을 감지하는 원리를 이용한 것으로 가스검지소자로서 접촉연소식 센서는 가연성 가스에 대한 선택성을 갖고 직선적인 출력특성을 나타내며, 온도 및 습도변화에 안정할 뿐만 아니라 짧은 안정화 시간과 양호한 재현성을 들 수 있으나 촉매의 수명이 한계를 갖고 있고 폭발 상한계(HEL) 이상 농도에서 연소하지 않기 때문에 출력이 감소한다는 점 등의 단점을 갖고 있다[6]. 일반적인 접촉연소식 가스센서의 구조는 직경 15~50 μ m, 내경 0.2~0.5mm 그리고 권수 8~13회의 백금선 코일에 알루미늄 또는 실리카 등의 내화물질을 이용하여 장경 0.5~1.5mm 정도의 bead 모양을 형성하고 여기에 귀금속 산화촉매를 담지한 검지소자와 촉매활성이 일어나지 않도록 피독시키거나 밀폐시킨 보상소자를 브릿지

회로로 구성한다. 보상소자는 가스-촉매반응이외의 주위 온도 및 습도변화등에 의한 열적변화를 보상하기 위해 필요하다.

그림 1에 접촉연소식 가스센서에 이용되는 브릿지회로를 나타내었다. 가스검지소자인 R_S, 보상소자인 R₃, 고정저항 R₁, R₂ 그리고 가변저항 R_V로 구성되어 있으며 피검가스가 존재하지 않을 때 R_S * R₂ = R₃ * R₁이 되도록 R_V를 조정하면 가연성 가스를 주입하면 피검가스 접촉시 연소에 의한 검지소자의 저항은 R_S에서 R_S + Δ R로 증가하게 되고 이는 불평형상태 전압(out of balance voltage)으로 나타나게 된다. 따라서 접촉연소식 센서는 피검가스의 연소에 의한 저항변화를 감지하는 방식이다. 접촉연소식 센서의 검지농도 범위는 1/20 LEL~LEL이며, 센서 주위의 기류에 기인하는 열확산의 급격한 변화로 인한 영점의 변동 때문에 검지감도에 한계가 있어 이에 주의하여야 한다.



- RS : Sensor
- R1, R2 : Resistor (27 Ohm)
- R3 : Compensator
- Rv : Variable resistor (500 Ohm)
- Vin : input voltage
- Vout : output voltage

그림 1. 브릿지회로

Fig. 1. Bridge circuit

III. 실험 방법

A. γ -Al₂O₃의 제조

γ -Al₂O₃의 원료인 Al(OH)₃를 제조하기 위해 AlCl₃ · 6H₂O 수용액에 25% NH₄OH를 첨가하여 pH 7이 유

지되도록 중성화시켜 $Al(OH)_3$ 침전물을 얻은 후 washing과 filtering을 거쳐 $Al(OH)_3$ 에 포함된 Cl 기를 제거하고 110℃에서 충분히 건조시켰다. PL-STA model 1500H 열분석기를 사용하여 침전법으로 제조된 $Al(OH)_3$ 분말에 대해 TG/DTA 분석을 행하였다. 사용된 시료의 양은 5.3mg이었으며, 승온속도는 10℃/min이었다. 비표면적이 큰 미세 $\gamma-Al_2O_3$ 분말을 제조하기 위해 결정성장 억제제인 MgO를 제조된 $Al(OH)_3$ 에 첨가하고 수용성 혼탁액을 만들어 충분히 혼합한 뒤 500, 600, 700℃에서 1시간 동안 하소하여 미세 $\gamma-Al_2O_3$ 분말을 제조하였다. 소결된 분말의 결정구조 변화를 관찰하기 위해 비표면적은 BET 장치를 이용하여 액체 질소 온도 (-196℃) 하에서 질소 기체의 흡착량을 측정하여 구하였다.

B. 담체제조

담체제조는 탈이온수(deionized water)에 Kaolin과 PVA(polyvinylacetate)등의 결합제와 담체모물질을 첨가하여 sol 상태로 만든 후 코일 직경 50μm, 무게 1.51mg의 백금선 코일에 도포하고 건조, 소결공정을 반복하여 무게가 약 1.72mg, 직경 1.5mm 정도의 담체를 성형하였다. 담체 모물질로 Kaolin, $\alpha-Al_2O_3$, $\gamma-Al_2O_3$ 분말과 담체소결시 담체의 기공성을 증가시켜 피검가스와의 접촉 면적을 크게 하기 위해 $\gamma-Al_2O_3$ 에 활성탄(activated carbon)을 첨가한 것, $\alpha-Al_2O_3$ 에 $\gamma-Al_2O_3$ 와 조촉매 특성이 있는 TiO_2 를 첨가한 것등이 이용되었다. 담체의 건조와 소결은 정전류원을 백금선 양단에 인가하여 행하였다.

C. 촉매제조

촉매로는 Pt와 Pd를 혼합하여 사용하였으며 염산과 $PdCl_2$, $H_2PtCl_6 \cdot 6H_2O$ 를 Pt와 Pd가 각각 0.5mol/l, 0.5mol/l 그리고 1.0mol/l, 2.0mol/l이 되도록 혼합하였다. 제조된 Pt와 Pd의 혼합 촉매수용액에 각종 담체를 담그어 이를 건조, 소결한 후 환원공정을 거쳐 K100에서 K400계 센서를 제조하였다. 이 때 담체에 담지된 촉매의 무게는 약 0.47mg이었다.

K500 센서의 촉매는 함침법 중에서 증발건조법으로 제조되었으며, 미세화 된 $\gamma-Al_2O_3$, H_2PtCl_6 및 $PdCl_2$ 을 질량비 1:1:1로 하여 정량한 후 $H_2PtCl_6 \cdot 6H_2O$ 수용액에 $PdCl_2$ 를 첨가하여 혼합 수용액을 만들고 NH_4OH 를 첨가하여 중성화시켜 amine complex를 형성시켰다.

$\gamma-Al_2O_3$ 분말에 촉매 수용액을 함침하여 건조시키고 공기 분위기에서 600℃로 5시간 동안 소결하여 촉매를 제조하였다. 그 후 백금선 코일에 도포, 건조 그리고 소결공정을 거쳐 시료를 제조하였다.

보상소자는 알루미늄 담체를 KOH에 피독시켜 활성을 떨어뜨리는 방법으로 제조되었다.

표 1에 제조된 각종센서들을 요약하여 나타내었다.

표 1. 제조된 접촉연소식 가스센서의 종류와 구성 물질

Table 1. Types of catalytic gas sensors and its composition materials

Sensor	Catalyst Pd:Pt	Bead material	Binder
K100	0.5mol/l:0.5mol/l	$\alpha-Al_2O_3$	Organic
K201	0.5mol/l:0.5mol/l	Kaoline	
K202	2.0mol/l:1.0mol/l		
K311	0.5mol/l:0.5mol/l	$\gamma-Al_2O_3$	
K312	2.0mol/l:1.0mol/l		
K321	0.5mol/l:0.5mol/l	$\gamma-Al_2O_3$ /activated carbon	
K322	2.0mol/l:1.0mol/l		
K401	0.5mol/l:0.5mol/l	$\alpha-Al_2O_3/\gamma-Al_2O_3/TiO_2$ (14:5:1)	
K402	2.0mol/l:1.0mol/l		
K500	$\gamma-Al_2O_3/Pt/Pd$ (1:1:1)		

D. 패키징

가스센서와 보상소자를 2단자 패키지에 용접한 후 각각 100 mesh의 stainless cover로 housing시켰다. 가스검출 특성을 측정하기 위한 브릿지 회로는 27Ω 고정저항, 검지소자와 보상소자로 이루어져 있으며, 회로에 2.0~3.0V의 정전압 전원을 인가하여 가스센서 및 보상소자의 동작조건을 만들어 주고 500Ω 가변저항을 사용하여 브릿지 회로가 평형상태가 되도록 하였다.

E. 감도측정

감도측정은 측정 box내에 피검가스가 주입되면 가스센서 표면에서 피검가스 연소로 인한 불평형상태 유기전압을 측정하여 행하였으며, 피검가스의 농도는 주입가스와 측정 box와의 체적 비로 환산하여 사용하였다. 측정장치는 전원부, 계측부, 브릿지 회로 그리고 측정 box로 이루어져 있으며, box내에 장착된 fan으로 측정 box 내로 주입된 피검가스를 균일한 농도분포가 되도록 하였다.

IV 결과 및 고찰

제조된 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 의 열적성질을 TG/DTA 분석을 통하여 조사하였다. 그림 2는 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 의 TGA-DTA 곡선을 나타낸 것으로 280°C 부근에서 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 의 H_2O 가 탈수되어 Al_2O_3 를 형성하면서 넓은 흡열 피크가 나타났으며, 상전이에 의한 발열 피크는 관찰하기 어려웠으며 이는 상전이시 발생하는 열량이 매우 작아 측정샘플이 발생시키는 발열량이 작았기 때문으로 생각된다. TGA 곡선은 처음 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 의 H_2O 가 탈수되면서 급격한 무게 감소가 보이나 온도가 높아지면서 다소 완만한 감량을 보이고 있다. 400°C 이상에서 완만한 무게감소가 계속되는 것으로 보아 Al_2O_3 표면에 결합된 OH기들이 일부 존재하거나 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 형성시 자체내에 포함되어 있던 불순물에 의한 것으로 생각된다.

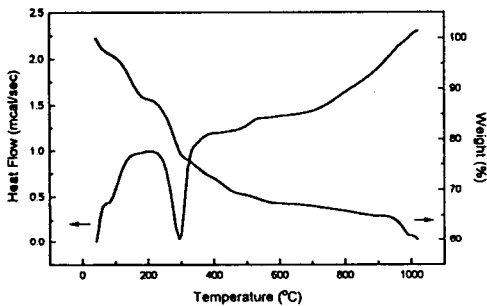


그림 2. $\text{Al}(\text{OH})_3$ 의 DT/TGA 특성
Fig. 2. DT/TGA characteristics of $\text{Al}(\text{OH})_3$

$\text{Al}(\text{OH})_3$ 분말을 고압 및 고습 분위기에서 소결하여 얻은 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 를 온도를 증가시키면서 열처리하여 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 분말의 상전이를 XRD로 관찰한 결과는 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 는 400°C~500°C에서 형성되어 900°C 이상에서 $\delta\text{-Al}_2\text{O}_3$ 와 $\theta\text{-Al}_2\text{O}_3$ 를 거쳐 1150°C 이상에서 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 로 상전이가 일어난다는 보고[7]와 일치하였다. 따라서 1000°C 이하의 고온 후속 공정을 거치더라도 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 담체의 상변화는 일어나지 않을 것으로 생각된다.

표 2는 Scherrer 방정식[8]을 이용하여 얻어진 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 분말의 입자크기를 소결온도에 따라 나타낸 것이다. Scherrer 방정식은

$$t = \frac{0.9\lambda}{B\cos\theta B}$$

으로 나타내지며 여기서 t 는 결정크기 λ 는 입사 X선의 파장, θB 는 bragg 각이고 B 는 최고강도 값의 1/2 되는 곳의 각폭(angular width)이다. 이 때 각폭이 커지는 요인으로 입사 X선의 확대(beam broadening)과 결정의 stress가 있으나 입사 X선은 약 0.001Å의 해상도를 갖고 있다. 또한 stress의 경우 고온처리 공정으로 인해 거의 존재하지 않는다는 가정하에 이들 요소가 B 값에 미치는 영향은 오차 범위로 간주하여 계산한 결과 소결온도가 증가함에 따라 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 의 입자크기가 증가함을 알 수 있었으며, 상용(Johnson-Matthey)의 분말에 비해 상대적으로 아주 미세함을 알 수 있었다.

표 2. 소결온도에 따른 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 분말의 입자크기
Table 2. Particle size of $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ powders with sintering temperature

Sintering temp. (°C)	Particle size (Å)
500	33.9
600	45.6
700	73.4

표 3은 제조된 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 분말의 비표면적을 BET법으로 측정하여 그 결과를 각종 Al_2O_3 계 분말과 비교하여 나타낸 것이다. 상용의 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (Johnson-Matthey)의 비표면적이 가장 작게 나타났으며, 침전법에 의해 제조된 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 와 $\chi\text{-Al}_2\text{O}_3$ 분말은 큰 비표면적을 가졌다. 제조된 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 분말의 비표면적은 상용에 비해 비표면적이 상당히 큰 값을 나타내었는데 이러한 결과로부터 MgO의 첨가는 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 분말의 결정성장을 억제하여 표 2에 나타난 바와 같이 입자크기를 줄이고 이에 따라 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 분말의 비표면적을 증가시키는 것으로 생각된다. 또한 표 2와 표 3을 비교해 보면 입자크기는 비표면적에 반비례하는 결과를 나타내고 있으며 이를 통해 비표면적은 입자크기의 함수임을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서 제작한 MgO가 첨가된 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 분말은 비표면적이 커서 귀금속 촉매제인 Pt와 Pd를 고분산시킴으로써 탄화수소계 가스에 대한 피독 현상을 최소화[9]함으로써 가스센서의 장기안정도에 크게 기여할 것으로 기대된다.

표 3. 각종 Al₂O₃의 비표면적의 비교

Table 3. Surface area of various types of Al₂O₃

	Sample	Surface area(m ² /g)
Commercial	α-Al ₂ O ₃	8.5
	γ-Al ₂ O ₃	75.5
Fabricated	χ-Al ₂ O ₃	128.5
	γ-Al ₂ O ₃ (500℃)	215.5
	γ-Al ₂ O ₃ (600℃)	109.5
	γ-Al ₂ O ₃ (700℃)	104.4

저소비전력으로 촉매활성을 높이기 위해서는 열효율이 좋아야하며 이를 위해서 소자의 크기는 가능한 작아야 한다. 그림 3은 검지소자의 인가전압에 대한 소자의 표면온도특성을 나타낸 것이다. 온도는 spot thermometer (Minolta, IR-0506C)로 측정되었고 소자가 열적으로 안정화될 때까지 충분히 시간을 주었다. 공급된 전력은 전류를 일정하게 공급하였을 때 소자 양단의 전압을 측정하여 계산되었으며, 측정에 사용된 센서의 저항값은 2.1Ω이었다.

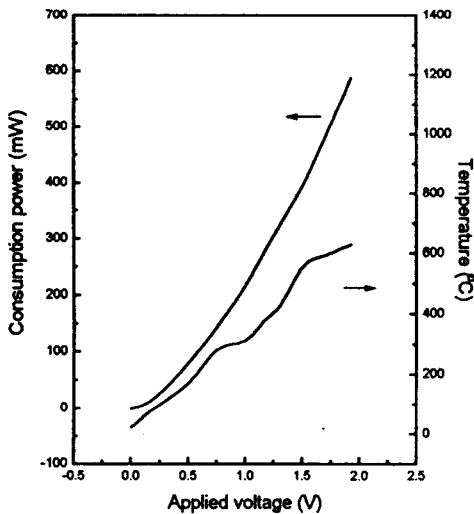


그림 3. 인가전압증가에 따른 가스센서의 소비전력 변화와 표면온도 변화

Fig. 3. Power consumption and surface temperature variation as a function of applied voltage.

그림 4는 각 검지소자의 CH₄에 대한 감도특성을 나타낸 것이다. 이 때 브릿지 회로에 인가된 전압은 2.5V이었다. 감도특성은 전반적으로 Pt와 Pd의 담지량이 많은 쪽이 높은 감도를 나타내지만 반복 측정시

출력값의 편차가 심해 동일한 감도특성을 얻기가 어려운 데 비해 Pt와 Pd가 각각 0.5mol/l의 경우 신뢰성 있는 출력값을 나타내었다. 출력값의 심한 편차는 촉매 물질이 과도하게 담지 된 것이 원인으로 생각되나 자세한 원인은 추후 지속적인 연구를 통해서 밝혀지리라 생각된다. 담체물질의 종류도 CH₄에 대한 감도에 큰 영향을 미치며, TiO₂ 조촉매가 첨가된 K400계 소자가 CH₄에 대해 6.5mV/1000ppm으로 가장 높은 감도를 보였고 다음으로 γ-Al₂O₃, Kaolin의 순으로 나타났으며, α-Al₂O₃를 담체로 한 K100 소자는 CH₄에 대해 거의 감도특성을 보이지 않았다. 함침법으로 제조된 K500 소자는 2.0mV/1000ppm으로 낮은 감도특성을 나타내었는데 이는 표면에 존재하는 귀금속 촉매가 미량이어서 CH₄의 완전 연소에 기여하지 못하기 때문으로 생각된다. 이러한 결과들로부터 TiO₂가 CH₄에 대한 감도를 높이는 조촉매의 역할을 하며, 담체의 비표면적이 큰 담체일수록 높은 감도를 나타냄을 알 수 있었다.

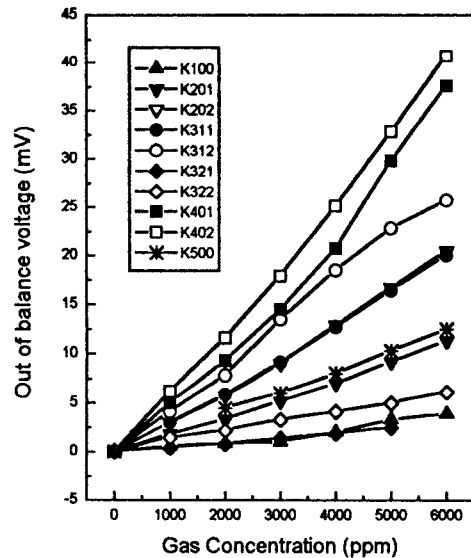


그림 4. 메탄(CH₄)에 대한 가스센서의 감도특성

Fig. 4. Sensitivity of gas sensors to methane(CH₄)

그림 5는 i-C₄H₁₀에 대한 각 소자의 감도특성을 나타낸 것이다. 브릿지 회로에 인가된 전압은 2.5V였다. CH₄에 대한 감도특성과 같이 귀금속 촉매의 함량이 많을수록 고감도를 나타냈지만 CH₄의 경우와 마찬가지로 반복 측정시 출력값의 재현성이 떨어졌다. K100 소자는 CH₄에 대해 거의 감도특성을 나타내지 못하지만

$i-C_4H_{10}$ 에 대해서는 가장 높은 감도특성을 나타내었다. 이로부터 $\alpha-Al_2O_3$ 를 담체로 한 가스센서는 CH_4 가 주 성분인 LNG 감지 가스센서로는 부적합하나 LPG 전용 가스센서로 사용 가능함을 알 수 있었다.

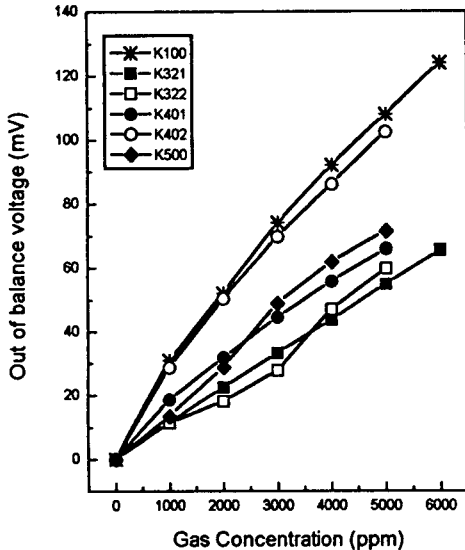


그림 5. 부탄(C_3H_8)에 대한 가스센서의 감도특성
Fig. 5. Sensitivity of gas sensors to buthane(C_3H_8)

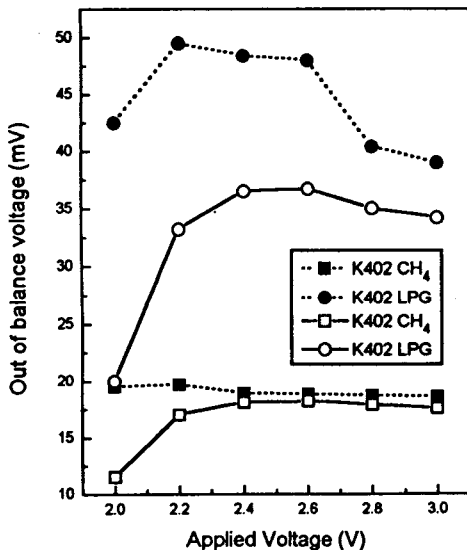


그림 6. 인가전압 변화에 따른 가스센서의 감도 변화
Fig. 6. Sensitivity changes of gas sensors as a function of applied voltage.

그림 6은 브릿지 회로에 인가된 전압에 따른 C_3H_8 이 주 성분인 LPG와 CH_4 에 대한 K400계 소자의 출력 전압을 나타낸 것이다. 인가전압이 높아질수록 LPG에 대한 감도는 계속 감소하였으나, CH_4 에 대한 감도는 증가하다가 2.5V 근방에서 포화된 후 그 이상에서 서서히 감소되었다. 따라서 CH_4 을 감지하기 위해서는 2.4V 이상의 인가전압이 필요함을 알 수 있었다.

V. 결 론

본 연구에서는 미량의 MgO를 첨가하여 비표면적이 큰 $\gamma-Al_2O_3$ 미세 분말을 담체 모물질로 한 가스센서를 제조하고 가연성 가스에 대한 감도특성을 조사하였다. 이러한 결과들로부터 K400계 센서는 LPG 및 LNG에 대해 각각 20mV/1000ppm과 6.5mV/1000ppm으로 우수한 감도를 나타내었다. 향후 turn 수 및 pitch 사이의 균일한 간격유지 등 Pt wire의 제어기술, 최적 촉매제의 선정 및 첨가량의 재결정, 담체형성기술 그리고 촉매담지기술 등을 최적화시킴으로써 메탄가스에 고감도를 갖는 접촉연소식 가스센서의 제조가 가능하다고 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] R.A.Cooney, "Gas detection - The first 50 years," National Safety News, pp.53-56, 1978.
- [2] 米田 登貴彦, "接觸燃焼式 センサ," オートメイション, Vol.24, No.7, pp.174-177, 1979
- [3] Brit. Patent Specification 892 530, 1962.
- [4] J.M.Sonley, "A poison resistant sensor for use in flammable gas detection", 3rd Int. conf. on Chem. Sensors, pp.171-174, 1982
- [5] S.J.Gentry and P.T. Walsh, "Poison-resistant catalytic flammable-gas sensing elements", Sensors and Actuators, Vol.5, No.3, pp.239-251, 1984
- [6] かたおか しよえん, 센서 핸드북, 도서출판 세화, pp.166-173, pp.592-601, 1990.
- [7] Satterfield, "Heterogeneous catalysis in practice", McGraw-Hill ed., 1980.
- [8] B.D.Cullity, Elements of X-Ray Diffraction, 2nd ed., 1978.
- [9] B.M.Willatt, "Catalytic gas detector," U.K patent GB 2 125 554 A, 1982.

著 者 紹 介

박 효 덕

『센서학회지 제3권 제1호』 논문94-3-1-06 참조.
현재 전자부품종합기술연구소 선임 연구원



서, 반도체재료

이 재 석

1965년 6월 25일생. 1988년 한양대학교 금속공학과 학사. 1990년 한양대학교 금속공학과 석사. 현재 한양대학교 금속공학과 박사과정. 주관심분야 : 가스센서, 박막형센서



마이크로센서

김 건 년

1968년 11월 22일생. 1991년 아주대학교 제어계측공학과 학사. 1993년 아주대학교 제어계측공학과 석사. 현재 전자부품종합기술연구소 센서연구실 연구원. 주관심분야 :



박 종 완

1948년 12월 10일생. 1974년 한양대 금속공학과 학사. 1979년 Univ. of Kentucky 석사. 1985년 Univ. of Illinois 박사. 한국원자력연구소 연구원. Coordinated Sc. Lab at Univ. of Illinois 연구원. 삼성종합기술원 반도체 연구실 책임연구원. 현재 한양대학교 금속공학과 교수, 주관심분야 : 전자기재료, 박막재료, 박막센서



신 상 모

1953년 12월 12일생. 1975년 서울대학교 금속공학과 학사 1985년 Univ. of Illinois at Urbana-champaign 재료공학 박사. 1991년 Univ. of Minnesota 경영학 MBA. 국방과학연구소 연구원. 미 Honeywell 센서/시스템연구소 수석연구원. 현재 전자부품종합기술연구소 센서연구실 실장. 주관심분야 : 가스센서 및 기타 마이크로센서