

논문 94-3-1-05

접촉연소식 센서의 알코올 감지 특성*

金鍾元*, 孫永睦*, 沈揆聖*, 朴基培*, 李相鎬*

Alcohol Detecting Characteristics of Catalytic Sensor

Jong Won Kim, Young Mok Son, Kyu Sung Sim,
Kee Bae Park, and Sang Ho Lee

요 약

알코올증기를 검출하기 위하여 접촉연소식 센서를 제작하고 그 특성을 조사하였다. 감지용 백금코일의 저항을 2Ω으로 하였을 때, 적정인가전력은 메탄올에 대해서 300 mW, 에탄올에 대해서 350 mW에서 400 mW의 범위에 있었다. 감지소자는 백금 또는 팔라듐을 γ -Al₂O₃ bead위에 함침 도포하였으며, 보상소자용으로는 Co₃O₄, Fe₂O₃ 등의 전이금속 산화물을 사용하였다.

Abstract

Catalytic combustion type sensor was fabricated for alcohol detection, and its characteristics were tested. When the resistance of Pt coil for pellistor is 2.0 ohm, suggestible input power to bridge circuit was about 300 mW for methanol detection, and in the range from 350 mW to 400 mW for ethanol. Pellistors were prepared by means of impregnating Pt or Pd on the γ -alumina bead for sensing element, and transition metals such as Co₃O₄, Fe₂O₃ for compensating element.

I. 서 론

도시가스, LPG 등을 대상으로한 가연성 감지소자의 하나이며, 전통적으로 광산보안용^[1]으로서 일반적으로 쓰여온 접촉연소식 센서는 감지대상인 가연성 가스의 연소에 의해 발생하는 온도변화를 측정함으로써 가연성 가스의 농도 혹은 존재여부를 알 수 있도록 해준다. 이 방식에 의한 세계 최초의 실용적 계기는 미국 J&W社의 Model F로서 1923년에 발표되었으며,^[1] 일본의 경우는 1958년 光明理化學工業에서 만든 FM-1 형이 처음인 것으로 알려져 있다.^[2] 초기 단계에서는 백금저항체만으로 온도감지 기능과 열발생용 열선 및 촉매기능을 겸하도록 하였다.^[3] 이러한 백금 素線 센서

는 가스응답특성이 극히 뛰어나서 약간 개량한 상태로 초기의 메탄측정기기로서 뿐만 아니라 백금촉매에 대한 산화특성의 기본연구에도 활용된 바 있다.^[4-8] 1000°C에 이르는 고온에서는 백금이 산소 특히 산소와 가연성가스의 공존하에서 증발되어서, 백금선 단면적 감소에 의한 영점변동(zero drift) 현상이 일어나므로 센서로서의 수명을 늘리기 위하여 백금선은 온도 감지용으로만 쓰고, 촉매기능은 pellistor^[9]라고 하는 형태로 하므로써, 보다 낮은 온도에서도 활성이 좋고 단위질량당 큰 면적을 가지도록 하는 것이 필요하다. 열선으로 백금선 대신에 칸탈선이 일시적으로 쓰이기도 했지만, pellistor용으로 쓰이는 알루미늄 등과 팽창계수 차이 때문에 생기는 박리현상을 막기 위하여 화학적 안정성이 있는 백금선을 주로 사용하는 경향이 있다. 본 연구는 前報^[10]에서와 같은 가연성 감지용의 접촉연소식 센서와 유사한 방법으로 제조한 센서의 알코올 감지 특성을 연구하여 저농도의 알코올 농도 측정 가능성을 확인하고, 최적 제조 조건을 찾고

* 正會員 : 韓國에너지 技術研究所
(Korea Institute of Energy Research)

<접수일자 : 1993년 8월 7일>

※ 본 연구는 과학기술처의 연구비 지원으로 수행되었음.

자 하는 데에 그 목적이 있다.

II. 센서의 구조 및 원리

접촉연소식 센서는 그림 1과 같이 직경 약 15~50 μm 정도의 백금선을 내경 0.2~0.5mm 정도로 8~13 회를 감은 후, 그 위에 알루미나 등을 길이 0.5~1.5 mm 정도의 비드(bead)상으로 만들었다. 백금 또는 팔라듐 등의 산화 촉매를 함침시켜서 만든 검지소자와 산화 촉매를 첨가시키지 않은 촉매활성이 없는 보상소자 등을 2개 1조로 하여 구성하였다.

검지회로는 그림 2와 같은 휘트스톤 브리지 회로로

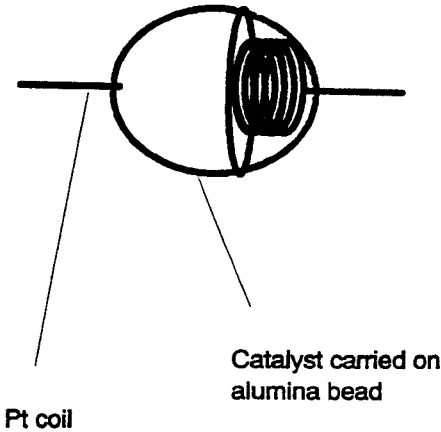


그림 1. 전형적인 소자 형태
Fig. 1. A typical pellistor type element.

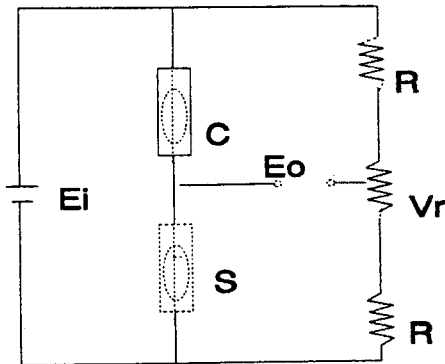


그림 2. 기체 검출용 브리지 회로
C: Compensating element, S: Sensing element
Eo: Output voltage, Ei: Input power
R: Resistor, Vr: Variable resistor
Fig. 2. Bridge circuit of gas detector.

구성하였고, 통상 350°C~450°C 정도로 가열되도록 전류를 공급한다. 브리지 회로의 다른 두변은 고정 저항을 결선하여서 브리지 입력 전압(Ei)을 가하면, 소자에 공급된 전력은 열로 전환되어서 소자 자체의 온도를 높임과 동시에 주위로 방출되며, 공급된 전력과 열손실이 같아졌을 때에 열적인 평형상태에 도달되어서 소자의 온도는 일정하게 유지된다. 이때, 가연성 가스를 넣으면, 가연성 가스는 검지소자의 표면에서 접촉 연소하며, 이에 따른 발생 열량에 의해 검지소자의 온도가 상승하고, 저항체의 저항이 증가하기 때문에 브리지 회로는 비평형 상태에 이르게 된다. 이때, 회로의 평형값으로부터의 차이 즉, 출력전압 Eo는 다음 식에서 구해진다.^[11]

$$E_o = k\delta R_d = k\beta a \left(\frac{Q}{h}\right) x = Kx \quad (K = k\beta a \frac{Q}{h}) \quad (1)$$

β는 검지소자의 전기저항의 온도계수, α는 검지소자의 촉매성능에 따라서 결정되는 정수, Q는 가연성 가스의 연소열, h는 검지소자의 열용량, x는 가연성 가스의 농도(vol %)를 나타낸다. 여기에서, β, h, α는 검지소자의 검지 대상 가스가 정해지면 일정한 값을 가지며, Q는 검지 대상 가스에 따라서 결정되는 값이므로 Eo는 x에 비례하게 된다.

III. 실험

1. 소자의 제조

실험용 검지소자는 우선, 50 μmφ의 백금선으로 권선수 12회, 길이 2mm, 직경 0.5mm의 백금 코일을 만든 다음, 촉매 담체 물질인 감마알루미나 또는 active alumina 분말을 바인더와 혼합하여 직경 1.6mm, 길이 2mm 정도의 ellipsoid aluminium oxide bead 형태로 백금코일에 점착시킨 후, 이것을 건조 및 소성을 하였다.

귀금속 염화물(PdCl2, H2PtCl6 등)을 0.1~0.3 mol/l의 농도로 증류수에 넣고, 염산을 가하면서 가열하여 녹인 촉매수용액에 앞서와 같이 만든 비드(bead)를 실온에서 1~ 6 hr동안 함침시켰다. 이것을 110°C에서 4시간 건조시키고, 800°C로 소결한 후 수소분위기 중에서 400°C, 3시간 동안 환원시켜 검지소자로서 사용하였다.

보상소자는 전이금속[Mn(NO3)2·6H2O, Pb(CH3COO)2·3H2O, Fe(NO3)2·9H2O, Co(NO3)2·6H2O, Ni(NO3)2·

6H₂O 및 Cu(NO₃)₂·3H₂O 수용액의 농도를 0.3 mol/l로 하여, 비드를 2시간 함침시킨 후, 소성시켜서 제조하였다. 페놀수지로 된 base 위에 고정시킨 두 stem 위에 검지소자 및 보상소자 양단을 접착하여, 휘트스톤 브리지회로에 조립하여 두고, 가스농도에 대한 출력을 조사하였다. 이때, 검지소자쪽은 스테인레스망을 씌운 방폭구조로 하였으며, 보상소자쪽은 전이금속을 쓴 경우에는 검지소자와 같이 개방된 구조로 하였으나, 경우에 따라서는 밀봉구조로 하기도 하였다.

2. 장치 및 시험 방법

농도에 따른 제조된 센서의 출력을 검사하기 위한 시험 장치는 그림 3과 같이 구성하였다. 시험조는 검지소자를 넣어둔 주시험조와 알코올을 넣어둔 증발접시를 두는 보조 시험조로 이루어져 있고, 이들 둘 사이를 내경 16mm 정도의 고무관으로 연결시켜서 다이아프램 펌프로써 보조시험조 내에서 증발된 알코올 증기를 순환시켰다. 주시험조에는 가스의 혼합이 이루어지도록 가스교반용 fan을 부착하였으며, 시험기간 중에 가스의 누출을 막을 수 있도록 주 및 보조시험조 모두를 가스 밀봉구조로 하였다.

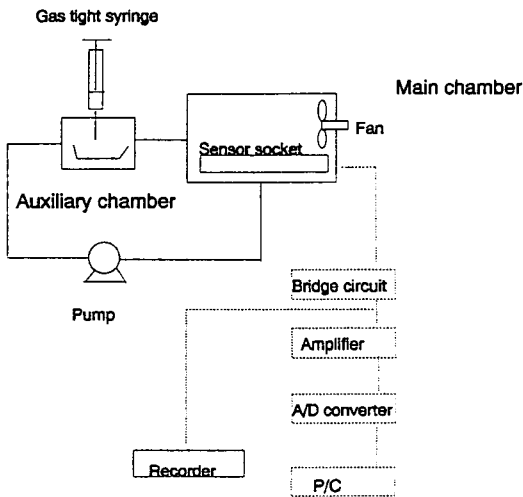


그림 3. 센서 성능시험에 쓰인 장치도
Fig. 3. Schematic diagram of sensor testing apparatus.

시험 순서는 먼저 설정 농도가 되도록 일정량의 순수한 에틸 또는 메틸 알코올을 채취하여 보조시험조에 부착된 주사기를 통하여 증발접시에 넣고, 순환펌프와 팬을 작동시켜서 증발 및 순환이 이루어지도록 하였

다. 이와 같은 방법으로 알코올 농도에 따른 검지소자의 출력을 data acquisition system과 strip chart recorder로써 기록하여 비교하였다. 이때에 회로는 그림 2에서 보인 바와 같이 휘트스톤브리지 형태로서 공기분위기에서 출력이 0이 되게 저항값을 조정할 수 있도록 미세 조정되는 가변 저항을 부착하였다. 전원공급방식은 일반적으로 定置式에 주로 쓰이는 비등온방식(non-isothermal)의 하나인 정전류(constant current) 방식을 사용하였으며, 휴대용 감지기에 쓰이는 정전압(constant voltage)방식에 비하여 동일소자온도에서 출력은 약간 낮다.^[12]

IV. 결과 및 고찰

1. 인가전력에 대한 출력 비교

제조한 소자의 인가전력에 대한 소자표면온도를 그림 4에 나타내었는데, 온도는 spot thermometer (Minolta, IR-0506C)로 측정하였다.

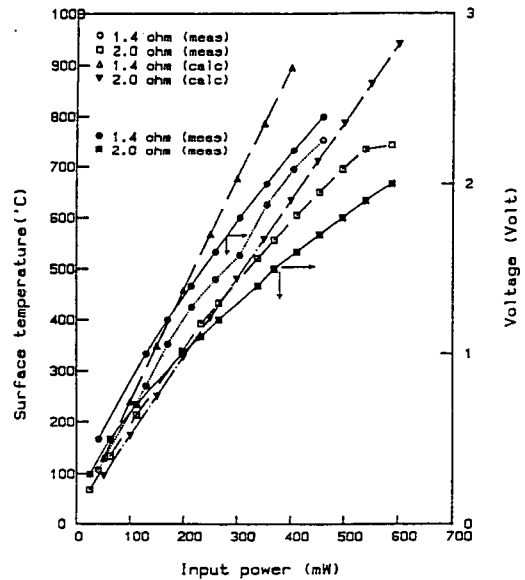


그림 4. 인가전력에 따른 소자의 표면온도
Fig. 4. Surface temperature of pellistor with input power.

그림에서 보인 소자표면온도의 계산값은 전류를 일정하게 공급하였을 때, 전압을 측정하여 공급된 전력을 계산하고, 이를 기준으로 인가전력에서 소자저항을 (2)식에 의해 계산하였으며, 온도에 따른 저항변화식

(3)으로부터 온도를 구한 것이다. 소자의 열손실 즉, 전기적 접촉부위의 전도에 의한 열손실, 소자 표면의 소자에 의한 열손실, 소자 주위와의 전도 또는 대류에 의한 열손실 등을 고려하지 않았기 때문에 계산값이 실측치보다 높은 온도를 보인다.

$$W = IV = R(T_{WA})/V^2 \quad (2)$$

$$R(T_{WA})/R_o = 1.0 + (3.981 \times 10^{-3} T_{WA}) - (5.849 \times 10^{-7} T_{WA}^2) \quad (3)$$

여기서 $R(T_{wa})$ 는 소자 온도 T_{wa} 에서 저항, R_o 는 실온에서 소자 저항이다. 본 연구에서 사용한 소자 코일의 저항은 통상 2.0Ω 로 하였다. 메탄을 또는 에탄올 분위기를 (각 0.1%)에서, 제조한 접촉연소식 센서의 회로 출력을 인가전력에 대하여 그린 것을 그림 5와 그림 6에 보였다.

검지대상 가스에 대해 좋은 감도를 보이는 적정 인가전력은 메탄올에 대해서 300mW, 에탄올에 대해서 350~400mW 였으며, 이때에 각각의 소자표면 온도는 490 및 500~550°C 였다. 이러한 차이는 소자저항, 촉매능, 소자의 형태 등 촉매소자의 특성에 따른 차이 때문이다. 본 연구에서 만든 소자의 경우, 통상 300~400 mW 범위에서 적정 인가전력을 보이므로, 소자별 성능 비교 시험은 이 범위의 전력을 인가시켜서 시행하였으며, 문헌^[13]에 보이는 같은 종류 센서의 출력과의 비교를 표 1에 보였다.

각종 가연성 가스의 연소시작 온도(ignition temper-

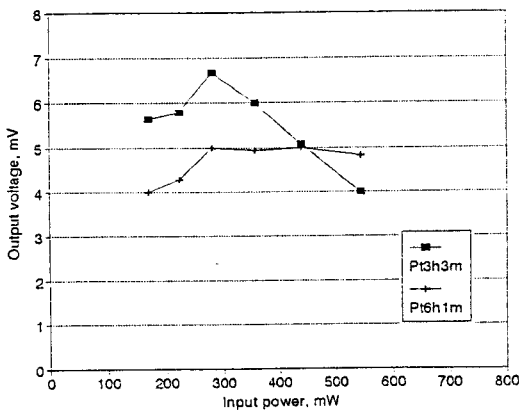


그림 5. 메탄올 농도 0.1% 분위기에서 인가 전력에 따른 백금담지 센서의 출력

Fig. 5. Output voltage of Pt sensor with input power in MeOH 0.1% atmosphere (Legend as in Table 1).

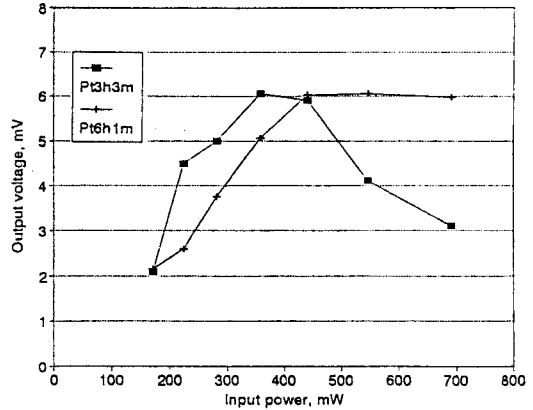


그림 6. 에탄올 농도 0.1% 분위기에서 인가 전력에 따른 백금담지 센서의 출력

Fig. 6. Output voltage of Pt sensor with input power in EtOH 0.1% atmosphere (Legend as in Table 1).

표 1. 적정 인가전력에서 회로출력비교

Table 1. Comparison of output voltage at input power suggested

Sensor type	Bridge output voltage (mV)	
	EtOH	MeOH
	Concentration 0.1%	Concentration 0.1%
Pt3h3m ^{*1}	6.0~6.2 mV	5.2~6.6 mV
Pt6h1m ^{*2}	6.0~6.2 mV	5.0 mV
Kubota et al ^[13]	4.5 mV	n.a.

*1,2 These notations were used for identifying sensing and compensating element. The 1st two characters mean catalyst type, and 2nd two characters show impregnation time(hr), and last two characters mean concentration (mol/l) multiplied by 10. For example, Pt3h3m ; Pt aqueous solution 0.3mol /l, 3hr impregnation. Pt6h1m ; Pt aqueous solution 0.1mol /l, 6hr impregnation.

ature)^[14] 는 메탄올이나 수소는 촉매로 백금을 쓰면 상온에서도 반응이 시작되지만 에탄올의 경우는 이보다 높은 80~100°C 정도의 온도가 필요하다.

인가전력에 따른 출력변화를 에탄올 농도에 대하여 나타낸 것을 그림 7에 보였는데, 이것은 접촉연소식 센서의 특성이자 장점을 잘 보여 주고 있다. 즉, 접촉연소식 센서의 경우에는 회로출력이 각 인가전력에서

농도에 대해 선형적으로 증가하는 특성을 보여주고 있으므로, 농도지시계로서 유용함을 나타내 주고 있다고 하겠다.

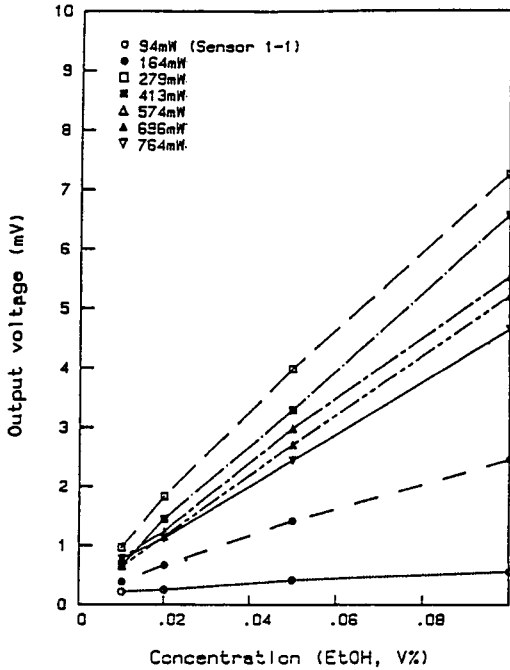


그림 7. 에탄올 농도와 인가전력 변화에 따른 센서 출력 변화

Fig. 7. Output voltage with ethanol concentration and input power.

2. 전이금속의 보상 효과

소자 표면에서 알코올 산화 반응을 억제시킬 만한 전이금속을 보상소자용 촉매로 쓰게 되면, 보상소자도 스테인레스망으로 씌운 개방적인 구조로 할 수 있으며 보상 및 검지소자를 하나의 phenol resin base 위에 둘 수 있으므로 보다 소형의 검지기를 만드는 것이 가능해진다.

백금촉매를 검지소자용으로 사용하고 보상소자용으로 전이금속을 사용하였을 때, 전이 금속의 종류가 회로출력에 미치는 영향을 비교하여 보면 표 2와 같다.

관련 문헌^[13] 과 본 실험 결과를 비교하여 볼 때, 에탄올에 대한 보상효과는 Co_3O_4 와 Fe_2O_3 가 비교적 좋았으며, NiO 에 대해서는 문헌에 보이는 데이터와는 달리 낮은 효과를 보였다. 이러한 전이금속을 보상소자용으로 사용하였을 때, 회로 출력을 그림 8에 보였다. 이때의 회로 인가전압은 2.7V로 하였고, 인가전력은 소자당 약 390mW에 해당되므로 가장 좋은 감도를

보일 것으로 예상되며, 실제로 이보다 높은 인가전압에서는 점차 출력의 저하 현상을 보여 주었다.

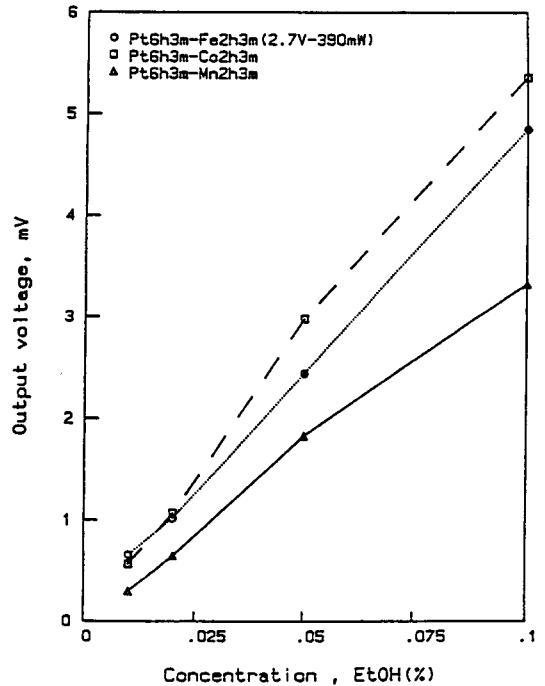


그림 8. 보상소자용 전이금속 종류에 따른 센서 출력 비교

Fig. 8. Comparison of output voltage with the kind of metal oxide for compensating element. (Legend as in Table 1)

표 2. 출력에 미치는 보상소자용 전이금속의 효과
Table 2. The effect of transition metal of compensating element on output voltage

Transition metal	Output Voltage (mV)	EtOH Concentration	MeOH Concentration
		0.1%	0.1%
Mn_2O_3	3.3 (2.8)		n.a.
Fe_2O_3	4.8 (3.8)		3.4
Co_3O_4	5.4 (4.0)		n.a.
NiO	2.6 (4.0)		n.a.
CuO	2.1 (1.2)		1.6
PbO	2.7 (n.a.)		1.9

* Data in parentheses are from Kubota et al^[13]

* Experimental condition : Input power ; 2.7V (390mW)
Sensing element ; Pt6h3m, not treated with hydrogen

3. 촉매능의 비교

본 실험에서는 표면 연소 촉매로서 팔라듐과 백금을 사용하였으며, 에탄올과 메탄올에 대한 산화능은 표 3과 같이 백금이 우수하였다. 즉, 적정인가전력에서 백금촉매를 쓴 경우는 에탄올 농도 0.1%에서 6.4mV의 출력을 보인데 대하여 같은 농도의 팔라듐 촉매를 쓴 경우는 2.5mV의 출력에 불과하였다.

표 3. 알코올 분위기에서 센서 종류에 따른 출력 비교

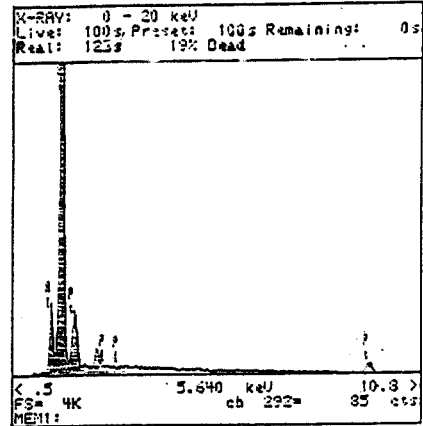
Table 3. Comparison of output voltage according to sensor type in alcohol atmosphere

Sensor type*	Objective gas (0.1%)	Output voltage(mV)	
		Input Power (mW)	
		300mW	400mW
Pd1h3m	EtOH	1.95 mV	2.51
	MeOH	1.42	2.23
Pd3h3m	EtOH	2.80	4.21
	MeOH	2.02	3.47
Pd6h3m	EtOH	3.39	5.24
	MeOH	2.87	4.24
Pt1h3m	EtOH	6.12	6.47
Pt1h1m	EtOH	4.44	4.09
Pt3h1m	EtOH	5.09	5.80
Pt6h1m	EtOH	6.32	6.52
Pt-CMC	EtOH	-	5.19

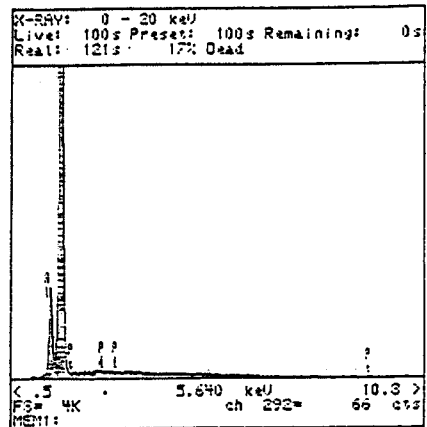
* Legend as in Table 1.

촉매수용액에 비드를 함침시키는 시간이 길어짐에 따라서 에탄올 또는 메탄올에 대한 검지출력은 향상된다. 그러나, 메탄올에 대해서는 함침시간의 영향은 그리 크지 아니하였다. 이것은 메탄올이 에탄올보다 반응성이 좋다는 것을 의미한다. 저온에서도 메탄올은 쉽게 백금촉매하에서 산화되며, 이것은 인가전력량이 낮을 때에도 출력이 크다는 것으로 입증된다. 이와 같이 함침시간이 길수록 출력이 커지는 것은 그림 9에서 보는 바와 같이 소자 표면에 노출되어 있는 촉매의 양이 많기 때문이며, 비드를 너무 오래 촉매수용액에 함침시키면, 소결체의 기계적 강도의 저하를 가져와서 내충격성의 약화를 가져올 수 있다. 본 실험조건 범위에서는 함침시간이 내충격성에 주는 영향을 무시할 만 하였다.

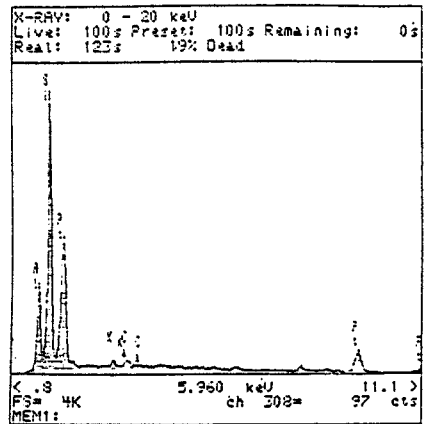
함침법에 의해 만들어진 검지소자는, 소결체 성형시



(a)



(b)



(c)

그림 9. 센서 소자 표면의 EDS 분석

(a) Pt6h1m (b) Pt1h1m (c) Pt-CMC

Fig. 9. EDS (Energy Dispersive Spectrometer) analysis of surface of sensing element (Legend as in Table 1) : (a) Pt6h1m, (b) Pt1h1m, and (c) Pt-CMC.

에 사용하는 무기바인더 때문에 촉매로 작용할 수 있는 유효 면적이 적을 것으로 예상된다. 0.3mol/l의 백금산 용액에 2시간 함침시켜서 만든 소자표면에서 백금촉매의 비율은 0.88%에 불과하며, 이를 개선한다면 감도도 좋아질 것으로 보고 있다. 앞서 설명한 소자제조 방법과는 달리, 먼저 active alumina 분말을 촉매수용액 (Pt 0.3mol/l)에 3시간 함침시켜서 건조(110°C, 4hr), 소성(600°C, 3hr) 시킨 후, CMC(Carboxymethyl Cellulose Sodium Salt)를 바인더로 써서 paste 상으로 하여, 백금선 코일에 dotting하여 건조, 소결 및 수소환원시킨 소자(Pt- CMC로 표시)의 검지 특성도 표 3에서 비교 수록하였는데, 표면에 노출된 백금의 함량이 높음에도 불구하고(그림 9 참고), 비교적 낮은 출력을 나타내었다. 이와 같은 결과는 소자의 소결 강도가 약하여 소자표면에서 연소열이 백금선으로 제대로 전달되지 못하기 때문에 생긴 것으로 보인다.

센서의 장기성능시험은 사용안전성을 고려하면 중요하지만, 본 실험에서는 시행하지 못하였다. 그 대신에 촉매담지후 수소처리를 한 소자와 하지않은 소자의 출력특성을 비교하였는데, 메탄올 농도 0.1%에서 수소처리한 것은 5.0mV, 미처리된 것은 3.4mV의 출력을 나타냈다. 또한 에탄올 농도 0.1%에서는 수소처리한 소자는 6.0~6.2mV, 미처리된 소자는 5.4mV로서 수소처리를 한 경우가 10%이상의 높은 감도를 보여주었다.

수분의 함량이 출력에 미치는 영향을 알기 위하여, 보조시험조의 증발접시에 증류수를 넣어서 상대습도를 95%이상으로 만든 후, 이 상태에서 1시간 이상 통전시킨 상태로 방치시켜서 시험 전후의 출력을 비교하였다. 에탄올 농도 0.1%에서 시험전에는 6.3 mV의 출력을 보였으나, 시험후에는 6.2 mV로써 감도의 변화는 거의 없음을 알 수 있었다.

V. 결 론

알코올 검지기를 위한 접촉연소식 센서의 제조실험과 검지성능시험을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 소자용 백금코일의 저항이 2.0Ω 일 때, 백금 촉매를 산화촉매로 사용하는 경우, 적정인가전력은 메탄올에 대해서 300, 에탄올에 대해서 350~400mV 범위였다.
2. 백금촉매를 산화촉매로 사용하는 경우, 메탄올은 에

탄올보다 낮은 온도에서 산화반응을 일으키므로 낮은 인가전력에서도 에탄올보다 높은 출력 특성을 보였다.

3. 백금촉매가 팔라듐 촉매보다 알코올 산화에 효과적이었으며, 촉매수용액에의 함침시간이 길수록 소자표면에 존재하는 촉매의 양이 많아져서 보다 좋은 검지 감도를 보였다.
4. 보상소자용 전이금속으로는 Co₃O₄, Fe₂O₃가 가장 좋은 결과를 보여 주었으며, 검지능에 미치는 수증기의 영향을 거의 무시할 만 하였다.

참 고 문 헌

- [1] R. A. Cooney, "Gas Detection-The First 50 Years," *National Safety News*, pp. 53~56, August 1978.
- [2] 米田 登貴彦, "接觸燃焼式 センサー," *オートメイシヨン*, vol. 24, no. 7, pp. 174~ 177, 1979.
- [3] A. R. Baker, *The Mining Engineer*, pp. 643~ 653, 1969 (London).
- [4] J. G. Firth and H. B. Holland, "Catalytic Oxidation of Methane on Zeolites containing Rhodium, Iridium, Palladium and Platinum," *Trans. Faraday Soc.*, vol. 65, pp. 1891~1896, 1969.
- [5] L. Hiam, H. Wise, and S. Chaikin, "Catalytic Oxidation of Hydrocarbons on Platinum," *J. Catal.*, vol. 9, no. 10, pp. 272~276, 1968.
- [6] C. G. Rader and S. W. Weller, "Ignition on Catalytic Wires : Kinetic Parameter Determination by the Heated-Wire Technique," *AIChE Journal*, vol. 20, no. 3, pp. 515~522, 1974.
- [7] A. Marcio, A. Cardoso, and Dan Luss, "Stability of catalytic wires," *Chem. Eng. Sci.*, vol. 24, pp. 1699~1710, 1969.
- [8] A. Schwartz, L. L. Holbrook, and H. Wise, "Catalytic Oxidation Studies with Platinum and Palladium," *J. Catal.*, vol. 21, pp. 199~207, 1971.
- [9] A. R. Baker and J. G. Firth, "The Estimation of Firedamp : Applications and Limitations of the Pellistor," *The Mining Engineer*, pp. 237~

- 244, January 1969 (London).
- [10] 김종원, 권혁보, 심규성, 손영목, "접촉연소식 가스센서 개발," 분석과학, 제4권, 제3호, pp. 245~254, 1991.
- [11] 清山哲郎, 化學センサ, 講談社 (1982).
- [12] Walsh, P. T. and Jones, T. A., "Calorimetric Chemical Sensors" in *Sensors : A Comprehensive Survey, Vol II*, edited by W. Gospel, J. Hesse, and J. N. Zemel, VCH, pp. 543~546, 1991(Germany).
- [13] K. Kubota, K. Sukigara, S. Akiyama, K. Sakurai, N. Fukuda, and S. Shikano, "Town Gas Sensor Using Catalytic Beads," in *Proceedings of the 1st Sensor Symposium*, pp. 91~95, 1981.
- [14] 貞森博己, "接觸燃燒技術の 現狀", 燃料協會誌, vol. 58, no. 626, pp. 422~431, 1979.

 著 者 紹 介

金 鍾 元

『센서학회지 제1권 제1호』 논문 92-19, p. 172 참조.
 1987년 한국과학기술원 화공과(박사). 1991~1992년 Southern Illinois University at Carbondale (Post Doc.). 1987~현재 한국에너지기술연구소 선임연구원.

孫 永 睦

『센서학회지 제1권 제1호』 논문 92-19, p. 172 참조.
 현재 한국에너지기술연구소 선임부장.

沈 揆 聖

『센서학회지 제1권 제1호』 논문 92-19, p. 172 참조.
 현재 한국에너지기술연구소 대체연료연구팀장.

朴 基 培

1992년 대전공업대학 전자공학과(학사). 1986년~현재 한국에너지기술연구소 기술기능원.

李 相 鎬

1994년 청주대학교 산업대학원 공업재료전공(공학석사). 1980년~현재 한국에너지기술연구소 기술원.