

# Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 첨가된 지르코니아 산소센서의 제조 및 그 특성

孫正德\*, 崔時永\*\*

## Fabrication of a Zirconia Oxygen Sensor Added with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Its Characteristics

Jeong Duk Sohn and Sie Young Choi

### 요 약

이트리아 안정화 지르코니아(92 mole % ZrO<sub>2</sub>+8 mole % Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)에 0.5 mole % SiO<sub>2</sub>와 0~2.0 mole % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 첨가된 소결체의 소결성, 기계적 및 전기적 성질에 대하여 조사하였다. 燒結密度는 0.5 mole % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 첨가되었을 때 가장 높게 나타났으며 1.5 mole % 이상 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 첨가됨에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 비커스 硬度는 燒結密度에 비례하여 나타났으며, 0.5 mole % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 첨가되었을 때 가장 높은 전도성을 나타내었다. 일정한 酸素分壓에 따른 기전력 측정에서도 0.5 mole % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 첨가되었을 때 가장 높았다. 제작된 酸素센서들의 應答特性 결과에서 SiO<sub>2</sub>와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 각각 0.5 mole % 첨가된 센서의 응답특성이 가장 좋았다.

### Abstract

Sinterability, mechanical and electrical properties of yttria-stabilized zirconia(92 mole% ZrO<sub>2</sub>+8 mole % Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) doped with 0.5 mole % SiO<sub>2</sub> and 0~2.0 mole % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> were studied as a function of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> addition. Sintered density increased with increasing Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> addition up to 0.5 mole % but leveled off with further addition. Vickers hardness is proportional to sintered density. The specimen with 0.5 mole % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and 0.5 mole % SiO<sub>2</sub> exhibited the maximum electrical conductivity and revealed a maximum electromotive force for a given oxygen partial pressure. Experimental voltage curve of this oxygen sensor take on a sharper, more steplike transition at the stoichiometric A/F ratio than those of other commercial oxygen sensors.

### I. 서 론

순수한 지르코니아(ZrO<sub>2</sub>)는 常溫에서 單斜晶(monoclinic)이며 1150℃ 이상에서는 正方晶(tetragonal) 그리고 2400℃ 이상에서는 立方晶(cubic)의 3가지 결정 구조를 갖고 있다. 특히 立方晶에서 單斜晶으로 相轉移(phase transformation)시 약 3~5% 정도의 체적 증가에 의한 균열현상 때문에 열충격에 매우 약하여

耐熱材料 및 構造用 材料로서의 應用이 어렵다.<sup>[1]</sup> 따라서 순수한 지르코니아에 MgO, CaO 그리고 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등과 같은 2價 혹은 3價의 金屬酸化物을 첨가하여 高溫相의 立方晶相을 常溫까지 安定化시켜 相轉移를 억제한 다음 사용하고 있는데 이를 安定化 지르코니아라 한다.

Hund 등<sup>[2]</sup>은 安定화 지르코니아 燒結體의 缺陷構造와 缺陷濃度는 주로 첨가시킨 安定化劑의 첨가량에 따라 달라진다고 보고했다. 일반적으로 安定화 지르코니아는 순수한 지르코니아가 갖는 絶緣性과는 달리 結晶缺陷을 통한 높은 陰이온 傳導性을 나타내어 固體電解質(solid electrolyte)의 성질을 나타낸다.<sup>[1,3]</sup>

1957년 Kiukola 등<sup>[4]</sup>이 15% CaO+ZrO<sub>2</sub> 고체 전해질을 이용한 갈바니 전지(Galvanic cell)를 제작하였

\* 慶北大學校 電子工學科  
(Dept. of Electronics, Kyungpook Nat'l Univ.)

\*\* 正會員: 慶北大學校 電子工學科  
(Dept. of Electronics, Kyungpook Nat'l Univ.)  
<접수일자: 1992년 6월 30일>

으며, 1975년 Garvie 등<sup>[5]</sup>은 부분 안정화 지르코니아 (partially stabilized zirconia : PSZ)가 高靱性 및 高強度材料로서 有望하다고 보고한 바 있다. 특히 이트리아 안정화 지르코니아(vitria-stabiized zirconia : YSZ)는 칼시아 안정화 지르코니아(calcia-stabilized zirconia : CSZ)에 비해 低溫傳導性 및 溫度安定性이 우수<sup>[6]</sup>의 자동차용 酸素센서의 母物質로 많이 이용되고 있다.<sup>[6~8]</sup>

高純度の 二成分 안정화 지르코니아는 소결과정에서 粒成長이 급격히 일어나므로 구조상의 緻密化가 어렵고 소성온도가 높은 것이 缺點이다. 따라서 재료의 特性에 영향을 미치지 않고 조직이 치밀한 燒結體를 얻기 위하여  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  및  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  등의 燒結助劑(sintering aids)를 사용하고 있다. 그러나 이들은 불순물로도 작용하므로 이 첨가물이 粒成長과 材料의 機械的, 電氣的性質에 미치는 영향에 대해 연구가 되어왔다.<sup>[9,10]</sup> 1961년 Coble<sup>[11]</sup>이  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 에  $\text{MgO}$ 를 소량 첨가하여 이론밀도에 도달한  $\text{Al}_2\text{O}_3$  소결체를 얻은 이후부터 이 방법이 많이 이용되고 있다.

本 研究에서는 自動車用 酸素센서의 母物質로 많이 이용되고 있는 이트리아 안정화 지르코니아 (92 mole%  $\text{ZrO}_2 + 8$  mole%  $\text{Y}_2\text{O}_3$ )에  $\text{SiO}_2$ 의 첨가량을 0.5 mole%로 고정시키고<sup>[11]</sup>  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 를 0.5~2.0 mole% 첨가하여  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 의 첨가량이 이트리아 안정화 지르코니아 燒結體의 燒結性에 미치는 영향을 X-線回折分析으로 조사하였다. 機械的性質은 비커스 硬度和 破壞靱性으로 조사하였으며, 전기적 성질은 전기전도도와 일정한 산소분압하에서의 기전력으로 평가하였다. 또한 이 소결체들로 시험용 센서를 제작하여 起電力과 應答特性을 측정하여 시편 중인 상용제품과 비교하였다.

## II. 실 험

### 1. 試片의 製造

시편은 일반적인 窯業燒結體의 製造工程이 사용되었으며 그 개략은 그림 1에 나타내었다.

본 실험에서 사용한 원료시약은  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  및  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 였다.  $\text{ZrO}_2$ 는 Merck社의 일급시약,  $\text{Y}_2\text{O}_3$ 는 Aldrich社의 G.R.급 시약,  $\text{SiO}_2$ 는 Hayashi社의 특급시약이며  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 는 和光工業社의 일급시약이 사용되었다.

표 1은 本 實驗에서 사용한 각 試片의 組成을 나타낸 것이다.  $\text{ZrO}_2$  92 mole%와  $\text{Y}_2\text{O}_3$  8 mole% 혼합한 것을

ZY8이라 하고 ZY8에  $\text{SiO}_2$  0.5 mole% 첨가시킨 것을 ZY8S1이라 하였다. ZY8S1 조성에  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 를 0.5, 1.0, 1.5 그리고 2.0 mole% 첨가시킨 시편을 각각 ZY8SA1, ZY8SA2, ZY8SA3 및 ZY8SA4라 하였다.

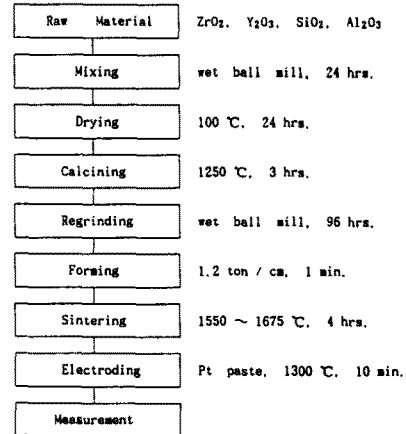


그림 1. 시편의 제조공정도

Fig. 1. Flow diagram of fabrication process.

표 1. 시편의 조성

Table 1. Composition of specimens

| Composition | Component(mole%) Additive(mole%) |                               |                  |                                |
|-------------|----------------------------------|-------------------------------|------------------|--------------------------------|
|             | ZrO <sub>2</sub>                 | Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| XY8         | 92.0                             | 8.0                           | 0                | 0                              |
| XY8S1       | 92.0                             | 8.0                           | 0.5              | 0                              |
| XY8SA1      | 92.0                             | 8.0                           | 0.5              | 0.5                            |
| XY8SA2      | 92.0                             | 8.0                           | 0.5              | 1.0                            |
| XY8SA3      | 92.0                             | 8.0                           | 0.5              | 1.5                            |
| XY8SA4      | 92.0                             | 8.0                           | 0.5              | 2.0                            |

표 1에 나타낸 몰(mole)비에 따라 원료를  $\pm 10^{-4}$ g의 정확도로 稱量하여 원료와 증류수 및 볼(ball)을 1:2:7의 重量比로 하여 폴리에틸렌 용기에 담아 24시간 혼합하였다. 이 때 사용한 볼은 지르코니아 볼이며 혼합기의 회전속도는 120 rpm이다. 혼합된 원료를 100 °C의 건조로에서 충분히 건조시킨 후, 건조된 분말을 알루미늄 도가니에 넣어 슈퍼칸탈 전기로에서 1250°C, 3시간 하소하였다. 하소시킨 분말을 혼합시와 같은 조건으로 96시간 再粉碎한 후 100°C에서 건조시켰다. 結合劑(binder)로 PVA(5%)수용액을 하소한 분말에 대해서 5wt.% 첨가하여 잘 혼합한 후 80번 표준체를

통과시켜 과립상의 분말을 만들었다. 이 분말을 급속제의 다이스에 넣어 1.2 ton/cm<sup>2</sup>의 압력으로 成形하여 직경이 10mm, 두께가 1.5mm인 원판형 시편을 제작하였다. 이렇게 준비된 시편을 슈퍼칸탈 전기로의 공기분위기에서 600°C, 1시간 유지시켜 PVA를 연소시킨 후 1550~1670°C 온도범위에서 4시간 동안 소결하였다. 이 때 昇溫速度는 200°C/hr로 하였고 冷却速度는 300°C/hr로 200°C까지 下降시켰다.

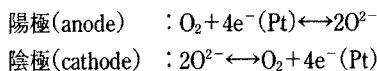
시편의 電極 形成을 위하여 소결된 시편을 SiC 연마지 400번, 600번, 800번 및 1000번 순으로 表面을 잘 연마한 후, 알콜로 시편의 表面을 깨끗이 洗滌하고 스크린 인쇄방법으로 Pt-paste를 시편 양쪽에 도포하여 1300°C에서 10분간 열처리하여 多孔性電極을 형성하였다.

그리고 본 연구에서 제작한 산소센서와 실제 자동차에 사용중인 산소센서와의 기전력과 응답특성을 비교하기 위하여 본 연구실에서 하소과정을 거친 분말을 U자 형태로 제작하였으며, 전극은 붓을 사용하여 Pt-paste를 센서의 안부분과 바깥부분에 입혀 열처리하였다.

2. 측정원리

酸化物固溶體인 안정화 지르코니아는 結晶内에서 電氣的中性(charge neutrality)을 유지하기 위해 산화물 첨가량에 비례한 酸素이온은 空格子(V<sub>o</sub>)가 생성된다.<sup>[12]</sup> 또한 이것은 산소이온 공격자를 매개로 O<sup>2-</sup> 이온의 擴散이 용이하게 일어나 높은 陰이온 傳導性을 나타낸다.<sup>[13,14]</sup> 이러한 固體電解質을 이용해서 그림 2와 같이 酸素濃淡電池(oxygen concentration cell)를 만들면 酸素分壓이 높은 곳(陽極)에서 낮은 곳(陰極)으로 산소이온이 이동한다.

이 때 酸素濃淡電池에서 兩電極에서는 다음과 같은 電氣化學的 반응이 일어난다.



따라서 고체전해질 양단인 酸素濃度差에 의하여 발생하는 起電力(electromotive force)은 Nernst식에 의해 식 (1)와 같이 측정된다.

$$E_{th} = \frac{RT}{4F} \ln \frac{PO_2}{PO_2'} \quad (1)$$

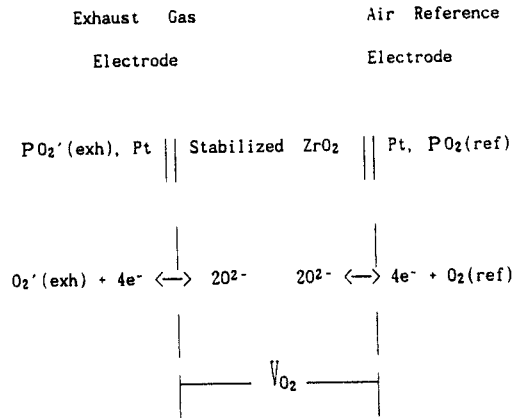


그림 2. 산소농담 전지의 전기화학적 반응  
 Fig. 2. electrochemical reaction corresponding to an oxygen concentration cell.

여기서 PO<sub>2</sub>와 PO<sub>2</sub>'는 양전극의 산소분압, R은 기체상수, F는 Faraday 상수 그리고 T는 절대온도이다.

그림 3은 실제 자동차용 산소센서의 단면도를 나타낸 것이며, 그림 4는 산소센서의 기전력을 측정하는 방법을 나타낸 것이다. 기전력 측정시 산소가 cathode에서 anode로 이동하기 때문에 cathode 부분을 양의 단자로 하여 측정하였다.

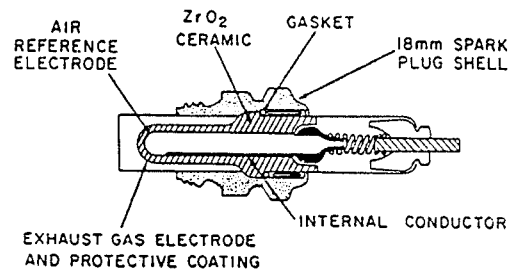


그림 3. 자동차용 산소센서의 단면도  
 Fig. 3. Cross section of a typical automotive ZrO<sub>2</sub> oxygen sensor.

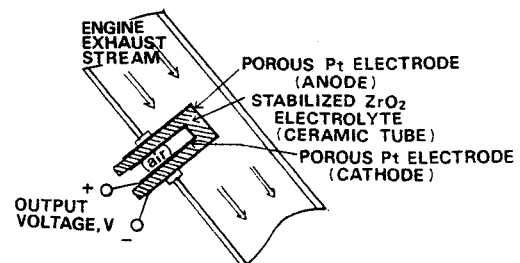


그림 4. 지르코니아 산소센서의 개략도  
 Fig. 4. Schematic illustration of zirconia oxygen sensor.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 燒結性

그림 5는  $\text{Al}_2\text{O}_3$  첨가량에 따라  $1650^\circ\text{C}$ 에서 4시간 소결한 각 시편들의 燒結密度를 나타낸 것이다. 소결밀도는 0.5 mole%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 가 첨가된 ZY8SA1 시편에서 가장 높게 나타났으며 添加量이 그 이상 증가할수록 감소하는 경향을 보였다. 또한 소결밀도는 수축률 변화와 유사한 경향을 나타내었다. 즉 수축률이 증가하면 소결밀도가 증가하고 수축률이 감소하면 소결밀도가 감소하였다.

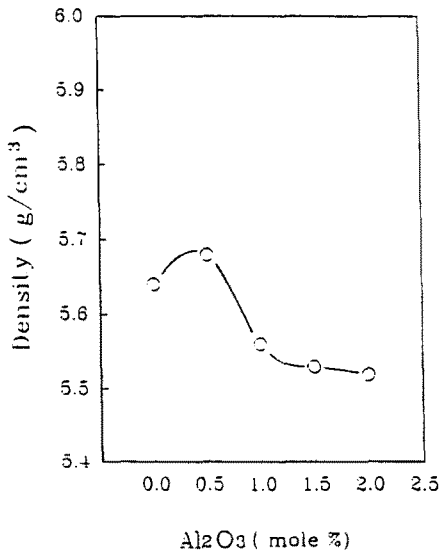


그림 5.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  첨가량에 따른 소결밀도

Fig. 5. Sintering density vs.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  addition.

그림 6은 ZY8S1 그리고 ZY8S1에  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 를 0.5~2.0 mole % 첨가하여  $1650^\circ\text{C}$ 에서 4시간 소결한 각 소결체들의 X-線回折分析의 결과를 나타낸 것이다. 0.5 mole %  $\text{SiO}_2$ 가 첨가된 ZY8S1에서는 단사정의 peak가 없고 立方晶相만이 존재하여 완전 安定化가 되었음을 보여주고 있다. 그리고 0.5 mole %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 가 첨가된 ZY8SA1의 경우 더 많은 안정화가 되어 소결이 촉진되었다. 2.0 mole %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 가 첨가된 ZY8SA4에서는  $28^\circ$  부근에서 單斜晶의 peak가 존재하는 것으로 보아 부분 안정화가 되었으며  $30^\circ$ 와  $60^\circ$  부근에서 doublet가 존재하는데 이는 냉각과정에서 cubic상의 일부가 tetragonal로 상전이(phase transformation)함으로써 나타난 것이라 생각된다.<sup>[15]</sup>

#### 2. 비커스 硬度 및 破壞靱性

그림 7은  $1650^\circ\text{C}$ 에서 4시간 소결한 각 시편에 대하여  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 의 첨가량에 따른 비커스경도(Hv)와 파괴인성치( $K_{Ic}$ )를 나타낸 것이다. 비커스경도는 ZY8S1에서 가장 낮고 0.5 mole%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 가 첨가된 ZY8SA1 소결체에서 가장 높다가 그 이상  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 가 첨가됨에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 燒結密度가 증가하면 비커스 硬度가 증가하고 소결밀도가 감소하면 비커스경도가 감소하기 때문이며 Okasaki 등<sup>[16]</sup>의 실험결과와도 유사한 경향을 나타내었다. 그러나 破壞靱性値는  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 가 0.5 mole% 이상 첨가됨에 따라 증가하는 경향을 나타내었다.

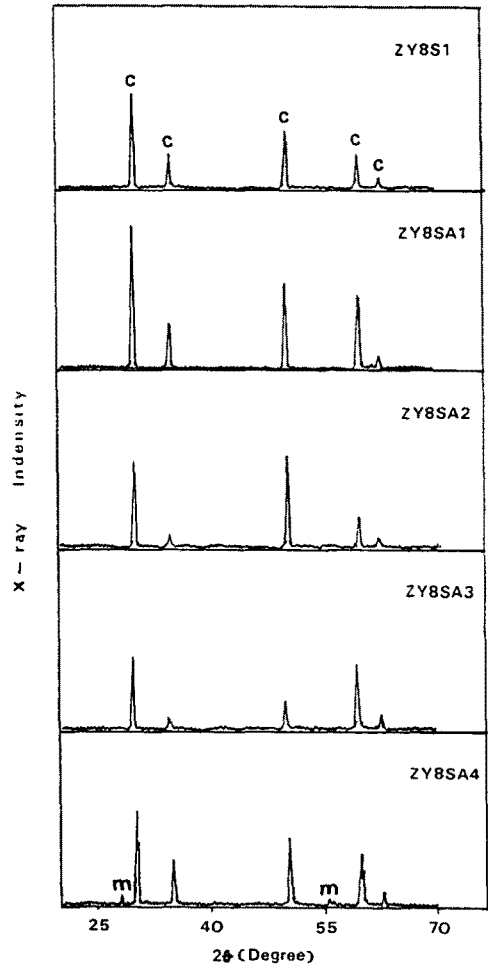


그림 6. 각 소결체들의 X-선 회절분석

Fig. 6. X-ray diffraction patten of specimens sintered for 4 hrs. at  $1650^\circ\text{C}$ .

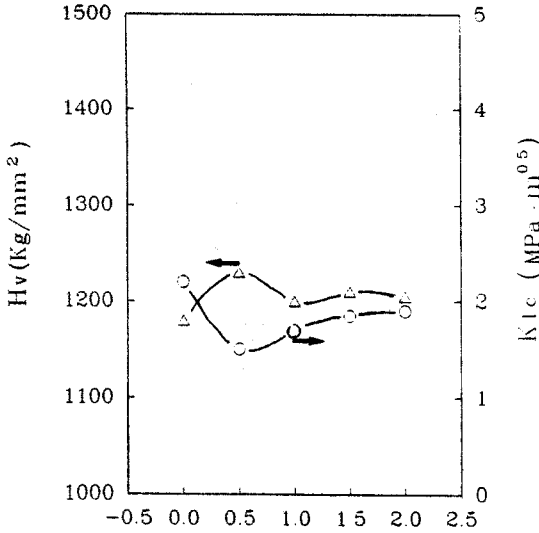


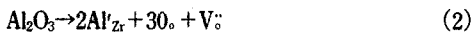
그림 7. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 첨가량에 따른 각 소결체들의 비커스 경도(Hv)와 파괴인성치(K<sub>1c</sub>)

Fig. 7. Change of Hv and K<sub>1c</sub> of specimens with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> addition.

3. 電氣傳導體

그림 8은 1650°C에서 4시간 소결한 ZY8S1과 ZY8S1에 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 첨가량에 따른 시편의 電氣傳導도를 측정온도의 函數로 나타낸 것이다. 전기전도도는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 첨가시 전체적으로 ZY8S1보다 높은 경향을 나타내었다.

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 첨가에 따른 전기전도도의 증가는 다음과 같이 설명될 수 있다. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 안정화 지르코니아에 첨가될 경우 Al<sup>3+</sup> 이온이 Zr<sup>4+</sup> 主格子 자리에 置換되어 酸素 이온 空格子(V<sub>o</sub>)의 증가로 인하여 전기전도도가 증가한다고 생각된다.<sup>[17]</sup>



여기서 Al<sub>Zr</sub>은 지르코니아 주격자 자리에 치환된 Al<sup>3+</sup>를 나타낸 것이고 (·) 및 (○)은 각각 陽과 陰의 有效電荷數를 나타낸 것이다.

4. 起電力 特性

그림 9는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 첨가량에 따른 起電力을 측정한 것이다. 이 때 基準電極의 산소압은 大氣壓으로 하였고 測定電極에는 99.99%의 Ar가스를 유입시켰을 경우와 대기압의 空氣를 유입시켰을 경우에 발생하는 起電力 差를 측정하였다. 대기압의 공기를 유입시켰을 경우에는 기전력 差가 거의 없었으나 Ar가스를 유입시켰을

경우에는 SiO<sub>2</sub>와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 각각 0.5 mole% 복합 첨가된 ZY8SA1 시편의 기전력이 153.26 mV로 가장 높았다.

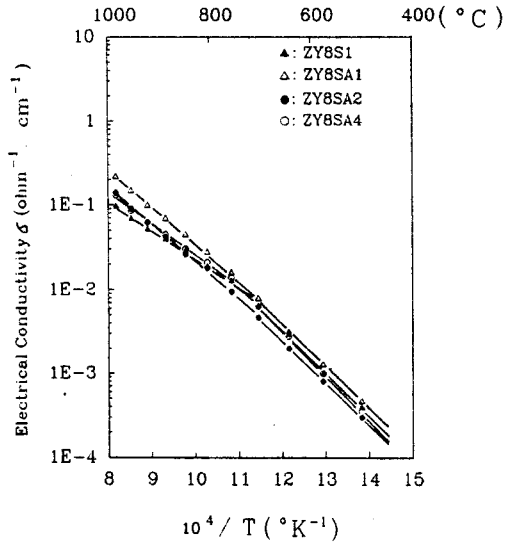


그림 8. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 첨가에 따른 전기전도도

Fig. 8. Arrhenius plots for specimens with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> addition.

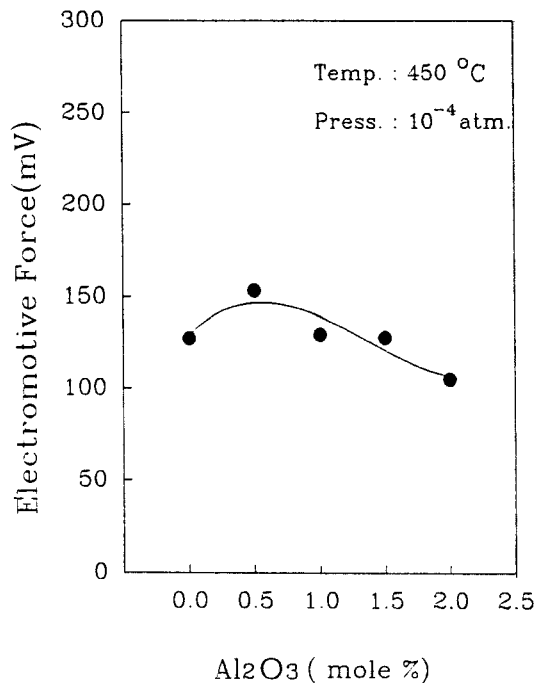


그림 9. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 첨가에 따른 기전력(측정온도 450°C)  
Fig. 9. Electromotive force vs. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content at operating temp. of 450°C.

5. 應答曲線

그림 10은 test gas generator 장비를 이용하여 酸素센서의 起電力을 측정 한 결과 그래프이다. (a)는 본 연구실에서 제작한 산소센서의 시험결과이며 (b)는 국내회사와 현재 사용중인 외국회사 제품을 시험한 결과이다. air-fuel ratio에서 stoichiometric ratio인 14.54보다 적은 값 즉 연료가 많으면 rich 영역, 14.54보다 큰 값 즉 연료가 적으면 lean 영역이라 한다.

電極으로 Pt를 ion coating한 산소센서의 응답특성은 전혀 나오지 않았다. 이것으로 porous한 전극만이 산소센서의 전극으로 적합함을 알 수 있었다. ZY8SA1 센서의 rich 영역 전압특성은 ZY8S1에 비해 조금 낮았으나 기존의 제품보다는 높게 측정되었다. 그리고 ZY8SA1 센서의 lean 영역 전압특성은 ZY8S1에 비해 증가하였으며 기존의 제품과는 큰 차이가 없었다. 시험용 센서들의 전압곡선의 전이 기울기는 이상적인 센서전압 기울기에 비해 떨어지나 기존의 제품과는 차이가 없었다.

표 2는 실제 사용중인 酸素센서와 본 실험에서 제작한 酸素센서와의 起電力과 出力應答性을 비교·분석한 것이다. 출력 응답특성에서 rich와 lean값은 각각 600 mV, 300 mV로 하여 계산하였다.

SiO<sub>2</sub>가 0.5 mole% 단일첨가된 ZY8S1센서에 비해 SiO<sub>2</sub>와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 각각 0.5 mole% 복합 첨가된 ZY8SA1의 R→L 응답특성은 향상되었으나 L→R 응답특성에서 시간적 지연이 있었다. 그러나 기존의 A, B 회사 제품에 비해 본 실험에서 제작한 제품들의 출력응답 특성은 더 좋게 나타났다.

표 2. O<sub>2</sub> SENSOR 검사표

Table 2. Testing table of oxygen sensor

| 검 사 항 목      | ZY8SI | ZY8SA1 | A회사  | B회사  | C회사  |
|--------------|-------|--------|------|------|------|
| 출 력 전 압 RICH | 774   | 752    | 680  | 745  | 690  |
| (mV) LEAN    | 149   | 65     | 240  | 13   | 60   |
| 출력응답특성 R→L   | 0.24  | 0.18   | 0.28 | 0.42 | 0.12 |
| (mm/sec) L→R | 0.08  | 0.12   | 0.36 | 0.12 | 0.14 |

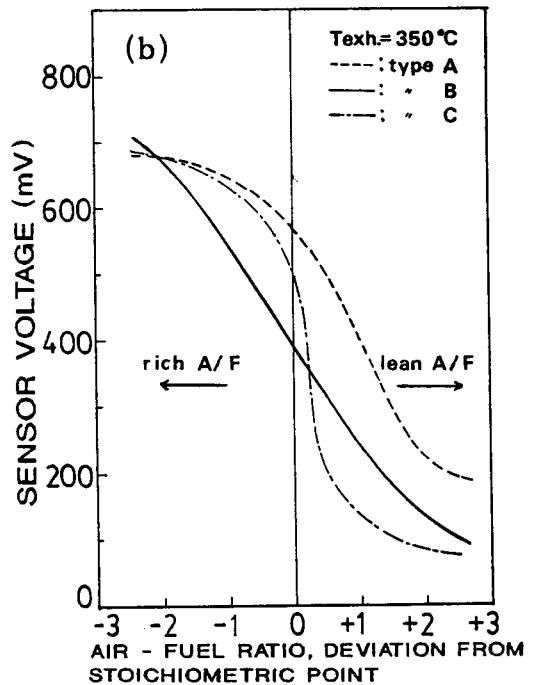
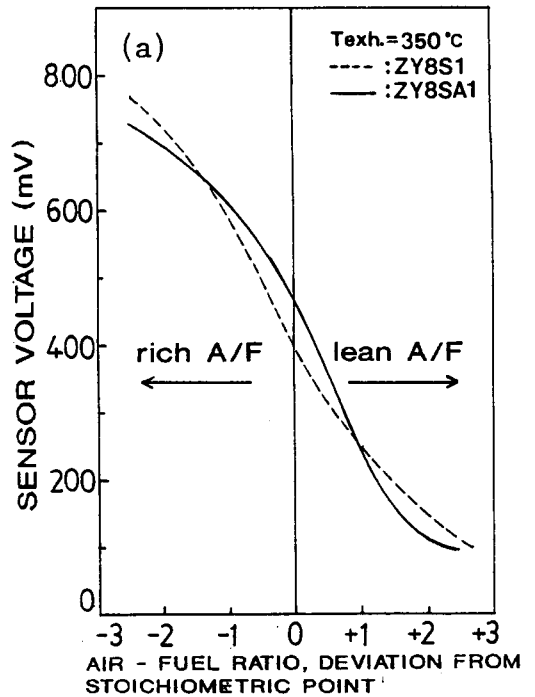


그림 10. 산소센서들의 전압 특성결과  
Fig. 10. Experimental voltage curve of the oxygen sensors.

#### IV. 결 론

8 mole% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 첨가된 安定化 지르코니아(92 mole%)에 SiO<sub>2</sub> 0.5 mole%를 고정시키고 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 0~2.0 mole% 첨가하여 1650°C에서 4시간 동안 공기중에서 燒結한 燒結體들의 燒結性, 機械的 및 電氣的 特性을 조사하였으며, 각 소결체들로 시험용 센서를 제작하여 현재 사용중인 타제품들과의 起電力과 應答特性을 비교·분석하였다.

燒結密度는 0.5 mole% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 첨가되었을 때 가장 높게 나타났으며 1.5 mole% 이상 첨가된 경우에는 감소하는 경향을 나타내었다. 비커스 硬度는 燒結密度에 비례하여 나타났다. 電氣傳導度 측정 결과에서는 0.5 mole% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 첨가되었을 때 가장 높은 전도성을 나타냈으며, 일정한 酸素分壓에 기전력 측정에서도 0.5 mole% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 첨가되었을 때 가장 높게 나타났다. 시험용 酸素센서의 應答特性 결과에서는 SiO<sub>2</sub>와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 각각 0.5 mole% 복합 첨가된 센서의 응답특성이 가장 좋게 나타났으며 현재 사용중인 타제품들의 응답특성과 큰 차이가 없음을 볼 수 있었다. 이상의 결과 자동차용 산소센서의 母物質로 SiO<sub>2</sub>와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 각각 0.5 mole% 첨가된 이트리아 안정화 지르코니아(92 mole% ZrO<sub>2</sub>+8 mole% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)가 가장 적합하였으며, 전극증착 방법을 조금 더 개선하면 국내에서도 생산이 가능하리라 생각된다.

#### 참 고 문 헌

- [ 1 ] E.C. Subbarao, *Advances in Ceramic*, vol.3, *The American Ceramic Society*, Columbus, Ohio, pp.1-24, 1981.
- [ 2 ] F. Hund, Fluorite phase in the system ZrO<sub>2</sub>-CaO : Its Defect Structure and Electrical Conductivity, *J. Phys. Chem.*, vol. 189(1-3), pp. 142-151, 1952.
- [ 3 ] 오영재, 정형진, "이트리아를 함유한 지르코니아 고체전해질의 물리적, 전기적 특성," *요업학회지* vol.23(1), pp.13-19, 1986.
- [ 4 ] K. Kiukkola and C. Wagner, "Measurement on Galvanic Cells involving Solid Electrolytes," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 104(6), pp. 393-398, 1959.
- [ 5 ] R.C. Garvie, R.H. Hannink and R.T. Pascoe, *Nature(London)*, 258(5537), pp. 703-704, 1975.
- [ 6 ] S.P.S. Badwal, "Electrical conductivity of single crystal and polycrystalline yttria-stabilized zirconia," *J. Mat. Sci.*, vol. 19, pp. 1767-1776, 1984.
- [ 7 ] P. Abelard and J.F. Baumard, "Study of the electrical properties of an yttria-stabilized zirconia single crystal.," *Solid State Chem.*, vol.7-9, pp. 259-262, 1982.
- [ 8 ] R.J. Brook, W.L. Pelzmann, and F.A. Kröger, "Platinum Electrodes and Calcia-stabilized Zirconia," *J. Electrochem. Soc.*, vol.19, pp.185-192, 1971.
- [ 9 ] J.F. Shackelford and P.S. Nicholson, "Influence of SiO<sub>2</sub> on Sintered of Partially Stabilized Zirconia.," *Ceramic Bulletin*, vol.53(12), pp.865-867, 1974.
- [ 10 ] Masaru Miyayama and Hiroaki Yanagina, "Effect of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Addition on Resistivity and Microstructure of Yttria-Stabilized Zirconia," *Ceramic Bulletin*, vol.65(4), pp.660-664, 1986.
- [ 11 ] 김상희, 최시영, 조상희, "이트리아 안정화 지르코니아 燒結體의 특성에 SiO<sub>2</sub> 첨가가 미치는 영향," *요업학회지* vol. 25(6), pp. 601-608, 1988.
- [ 12 ] M.M. Nasrallah and D.L. Douglass, "Ionic and Electronic Conductivity in Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Doped Monoclinic ZrO<sub>2</sub>," *J. Electrochem. Soc.*, vol.121(2), pp. 255-262, 1974.
- [ 13 ] C. Pascual, J.R. Jurado and P. Duran, "Ceramic Powders," P. Vincenzini, Editor, p.1015, Elsevier Scientific Publishing Cd., Amsterdam, 1983.
- [ 14 ] W.J. Fleming, "Physical Principles Governing Nonideal Behavior of the Zirconia Oxygen Sensor," *J. Electrochem. Soc.*, vol.124(1), pp.21-28, 1977.
- [ 15 ] G.K. Bansal and A.H. Heuer, "Precipitation in Partially Stabilized Zirconia," *J. Am. Ceram. Soc.*, vol.58(5-6), pp.235-238 1975.

[16] 齊藤安俊, *ジルコアセラツクス1*, pp.109-125 内  
田老鶴園, 1983.

[17] D.W. Strickler and W.G. Carlson, *J. Am. Ce-  
ram. Soc.*, vol.49, pp.286-290, 1965.

————— 著 者 紹 介 —————



**孫 正 德**

1964年 4月 25日生. 1987年 경  
북대 전자과 졸업. 1992년 경북  
대 대학원 전자과 졸업 예정.  
주관심분야는 전자 재료, 산소  
센서 및 물리센서 등임.



**崔 時 永**

1949年 9月生 1972년 경북대 공  
과대학 전자과 졸업. 1986년 일  
본 동북대학교 전자공학과 공학  
박사 취득. 1991년 10월 경북대  
전자과교수. 1989년 12월~1990  
년 12월 미국 LSU 전자과 교환  
교수. 주관심 분야는 물리센서(가속도 및 압력), 반  
도체 IR센서, CVD 비정질 및 다결정 박막트랜지스터  
제작.