

## 자동차 센서로서의 세라믹 이용기술

### Utilization Techniques of Ceramic for Automotive Sensors

홍진성, 김종재, 강응천  
J. S. Hong, J. J. Kim, E. C. Kang



홍진성  
·정회원  
·1958년 8월생  
·삼성전기 자동차부품사업부문 FAS팀



김종재  
·1962년 7월생  
·삼성전기 자동차부품사업부문 FAS팀



강응천  
·1966년 6월생  
·삼성전기 자동차부품사업부문 FAS팀

오염 문제, 에너지 문제, 안전성 문제라는 심각한 문제들을 안겨주어 이에 적극적으로 대처하지 않으면 인류의 생존에 까지 영향을 미칠 수 있는 필요악의 존재가 되었으며, 또한 다양화되고 고급화되는 자동차 수요자들의 욕구를 충족시키지 않으면 자동차로서의 생명을 부지할 수 없는 상황에 이르렀다. 이러한 문제에 효과적으로 대응하기 위해서 전자제어를 이용한 대처 방법이 고안되기에 이르러, 현재는 자동차의 각 부분에서 전자제어를 적용하지 않는 부분은 찾아보기 힘들게 되었다.

전자제어를 이용한 자동차의 제어란 인간의 감각 기관과 같은 센싱부, 두뇌와 같은 전자제어 유니트부, 명령을 수행하는 액츄에이터로 구성이 되어 있다.

그 중 센서는 각가지 물리량 및 화학량을 전자제어 유니트가 이해할 수 있는 전기적인 양으로 변환하여 전달하는 부품이라고 할 수 있으며 매우 다양한 원리와 구조로 이루어져 있다. 그 중에서 자동차에서 일어나는 가장 일반적인 물리량인 가속도, 압력, 충격, 변위, 온도 등을 센싱할 수 있는 재료인 세라믹 재료는 자동차의 전자화에 따라서 그 적용

#### 1. 개 요

현대의 자동차 산업은 항상 급변하는 환경에 적응하여 기술 개발을 실행해야 하는 상황에 처해 있다. 인간의 생활을 보다 편리하게 하기 위해서 사용되어져 온 자동차는 편리함, 인류문명 발달에 기여함과 함께 환경

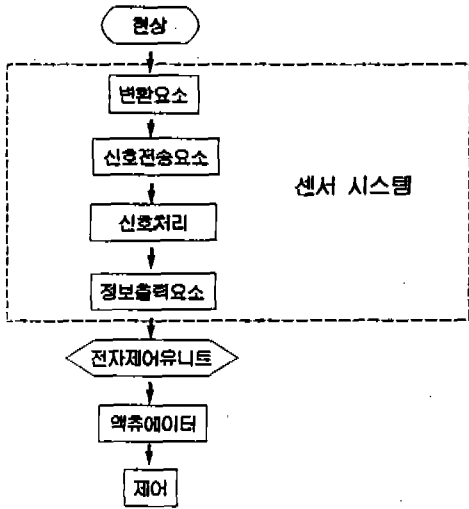


그림 1 전자제어 시스템의 구성

범위가 크게 확대되어 왔다고 할 수 있다.

세라믹이란 단결정의 무질서 집합체이며, 가장 일반적인 것은 원료 분말을 조합해서 그 성형체를 고열로 소성(燒成)함으로써 만들어진다. 세라믹은 절연성, 유연성, 압전성, 초전성, 반도체적 특성등 센서와 관련된 많은 유용한 전자적 기능들을 보유하고 있어 세라믹이 아니고는 실현할 수 없는 기능들도 많이 생겨나게 되었다.

본 기고에서는 세라믹의 자동차 센서에의 응용에서 가장 일반적으로 사용되고 있는 압전 효과를 이용한 센서 재료와 서미스터를 이용한 온도센서 재료에 대해서 소개 하고자 한다.

## 2. 압전 재료

압전 재료란 압전효과를 나타낼 수 있는 재료이며, 어떤 재료의 유전체 재료에서 결정에 찌그러짐을 가하면 대전하거나 또한 결정을 전기 속에 놓으면 찌그러지는 현상을 이용하여 압력이나 진동과 같은 기계량과 전

압과 같은 전기량의 상호 변환작용을 하는 효과를 압전효과라고 하며 다결정체의 세라믹에 압전성이 발견된 것은 약 40여년 전이며 30년 전에는 PZT(티탄지르콘산납)이 발견됨으로서 여러가지 개량 연구가 이루어져 넓은 범위에 사용되어지게 되었다.

압력, 가속도, 충격, 변위와 같은 물리량의 측정은 압전재료 이외에도 반도체 재료 등을 이용하여 센싱이 가능하지만, 반도체 재료를 이용할 경우 설비 및 장치비가 대규모로 투입이 되어야 하는 반면, 압전 세라믹 재료는 비교적 적은 투자로 여러 분야에 적용이 가능하다. 기계적 응력을 전압분극으로 나타내게 하는 압전성을 일으키게 하기 위해서는 결정 구조적으로 볼 때 결정의 대칭 중심을 갖지 않는 것이 필요하다.

결정은 그의 대칭성에서 32결정군으로 분류되는데 그 중에서 결정 대칭 중심을 안 갖는 20종의 결정족이 압전성을 갖게 된다.

압전성은 문자 그대로 기계에너지를 전기 에너지로 변환한다든가 전기에너지를 기계 에너지로 변환하는 성질로서 매우 중요한 성질이다.

위에 서술한 20종의 결정족 중에서 대칭성이 특히 낮은 10종의 결정족은 전계나 응력이 가해지지 않는 상태에서 비로소 분극을 하고 있다. 이 분극을 자발분극(Ps)이라 부르는데 분극 Ps는 결정의 온도를 바꿨을 때 원자의 열운동 상태의 변화나 열팽창에 의한 형상변화 때문에 온도의 함수가 된다. 따라서, 이 결정을 바깥에서 보면 온도변화에 따라서 Ps의 변화가 결정 표면에 나타나기 때문에 전위변화를 일으키게 된다.

이 변화를 특히 초전성(焦電性)이라 부르며 센서재료로서 유용한 성질이다. 초전성 결정은 외부로부터 응력을 가하면 반드시 분극을 일으키기 때문에, 초전성 결정은 반드

시 압전성 재료가 된다. 이러한 초전성 재료를 대별하면 2종류가 있는데, 외부로부터 전계를 가했을 때  $P_s$ 의 방향이 전계에 따라 쉽게 바뀌는 것과, 절연파괴가 생길때까지 그 방향을 바꾸지 않는 것이 있다. 전자가 티탄산바륨( $BaTiO_3$ ) 결정으로 대표되는 강유전체로 불려지는 한 집단이다. 강유전체는 물론 압전체 재료가 될 수 있지만, 여기서는 압전 재료에 요구되는 제조조건으로 재료를 대략 관찰해 보면, 압전 재료는 기계적 에너지와 전기적 에너지를 상호변환하는 역할을 하고 있다. 이들 사이의 관계는 기계적 현상을 나타내는 변형  $S$ 와 응력  $T$ , 전기적 현상을 나타내는 전계  $E$  및 전기 변위  $D$ 를 써서 아래 식으로 기술한다.

$$S = S^E T + dE \quad D = dT + \epsilon^T E \quad (1)$$

여기서,  $S$ 는 탄성 컴플라이언스(compliance),  $d$ 는 압전 변형 정수,  $\epsilon$ 는 유전율이다.  $S^E$ ,  $\epsilon^T$ 는 각각  $E=0$ ,  $T=0$  때의  $S$  및  $E$  크기를 표시하고 있다.

$$S^E = (S/T)_{E=0}, \quad \epsilon^T = (P/E)_{T=0} \quad (2)$$

표 1 대표적인 압전 재료의 특성

압전재료	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	비유전율 $\epsilon_s$	압전정수 (10 <sup>-12</sup> C/N)	탄성정수 (10 <sup>9</sup> N/m <sup>2</sup> )	전기기계 결합정수
수정 X-cut Y-cut	2.65	4.06	-2.0 4.4	86 39	0.098 0.137
로셀염 45° X-cut	1.77	444	435	15	0.78
ADP 45° Z-cut	1.80	13.8	24.6	19	0.29
KDP 45° Z-cut	2.31	19.6	-10.7	20	0.12
BaTiO <sub>3</sub>	5.7	1700	191	110	0.50
Pb(Zr, Ti)O	7.1~7.6	500~850	116~223	75	0.51~0.63

따라서, 이들의 물리정수를 써서 압전 재료에 요구되는 성질을 검토하면 다음과 같이 된다.

- (1) 압전효과가 클 것, 즉 전기 입력  $V_{in}$ 이 극히 클 것. 이들의 관계는  $k = \sqrt{V_{out}}/V_{in}$ 으로 정의되는 전기 기계 결합계수를 써서 평가되는데, 따라서 이런 종류의 재료로서는  $k$ 가 큰 값으로 될 것이 요구된다.
- (2) 양질의 절연체일 것, 절연 성능이 나쁘면 손실의 증대를 가져오기 때문이다.
- (3) 물리적, 화학적으로 안정되고, 온도 변화에 대해서도 안정될 것

이상과 같은 성질을 갖는 재료는 수정을 위해서 표 1에 나타낸 것과 같은 것들이 있다.

상기의 표 2는 자동차용 압전세라믹 센서의 종류를 간략히 나타내었다.

### 3. 온도센서 재료

세라믹 온도센서 재료로서 대표적이며 금속산화물 반도체를 소결하여 만드는 것이 서

표 2 자동차용 압전 세라믹센서

이용특성	자동차용센서	개요	비고
압전효과 응용	Knock Sensor	Knock 임계 이하로 엔진을 보호하도록 점화타이밍을 늦춰 연비 및 동력성능 향상을 목적으로 함	
	Plug 좌금형 통내 압력센서	스파크 플러그와 실린더 사이에 압전 소자를 끼워 넣고 폭발시 발생하는 연소 압력에 대한 파형을 검출함	
	가속도센서	차체의 상하좌우 진동에 대한 정보를 전기적인 신호로 변환하여 노면의 주행상태에 대한 파형을 검출함	
	Suspension 하중 센서	축크-업소바에 가해지는 하중을 검출하여 전자제어 액츄에이터를 제어함	
	Air Bag 충돌 감지센서	충돌시의 충돌가속도를 감지하여 지정된 가속도 이상의 충격이 있을 때 Air Bag이 폭발하도록 신호를 보냄	
초음파 응용	차고센서	노면에 대하여 초음파를 발신하여 되돌아오는 반사파를 감지하여 차고의 상태를 파악할 수 있게 함	
	Back Sonar Sensor	초음파의 발신과 반사파 수신에 따라 주차시에 발견하지 못하는 장애물을 감지하도록 함	
	Air Flow Meter	흡기다기관에 공급되는 공기의 양을 측정하여 이상적 공연비를 이루도록 함. 칼만와류방식이라 함	
	추돌방지센서	주행중 일정 안전거리 이내로 접근되는 장애물이 있을때 경보를 발생하여 추돌을 방지하게 함	

미스터이다. 그 특성도를 그림 2에 나타내었는데, 저항의 온도계수로 대별하면 NTC (Negative Temperature Coefficient)서미스터와 PTC(Positive Temperature Coefficient)서미스터와 CTR(Critical Temperature Resistor)서미스터의 3종류로 구별된다.

### 3.1 NTC 서미스터 재료

NTC 서미스터란 온도가 상승함에 따라 전기 저항이 지수적으로 감소하는 특성을 갖는 소자로 산화니켈, 산화코발트, 산화망간, 산화철 등을 주성분으로 한 것이며, 스피넬 구조에 가까운 결정구조를 갖고 있다.

일반적으로 그들의 저항값은 산수의 영향을 받지 않고 공기 중에서 안정되며 불순물의 영향도 다른 경우만큼 크지 않기 때문에,

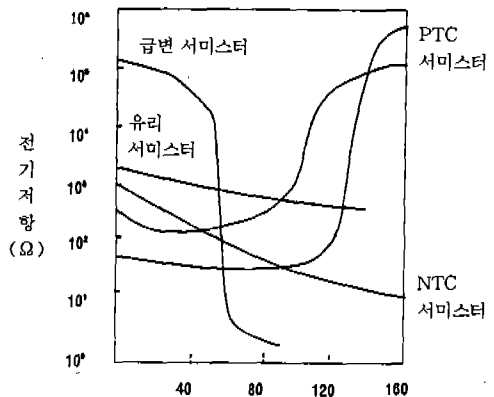


그림 2 각종 서미스터 저항의 온도특성

서미스터로서는 아주 적당하다.

현재 많이 사용되고 있는 것은 서미스터 정수가 2000~5000K 정도로서, 사용할 수 있는 온도는 300℃ 정도 까지 이다.

표 3 Thermistor의 분류

분 류	사 용 온 도	소 재
NTC	극저온용 1mK ~ 100K	C, Ge, Si 상온용의 조성에 Cu 등을 첨가, Mn, Ni, Co, Fe 등의 천이금속 산화물 소결체
	저온용 -130 ~ 350℃	
	상온용 -50 ~ 350℃	
	중온용 150 ~ 750℃	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 천이금속 산화물 첨가의 소결체
	고온용 500 ~ 1300℃ 1300 ~ 2000℃	ZrO와 Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 의 복합 소결체
PTC	-50 ~ 150℃	BaTiO <sub>2</sub> 를 기본으로 한 소결체
CTR	0 ~ 150℃	비나륨 산화물, 산성산화물(P, B, Si)와 염기성 산화물(Mg, Cu, Sr, Ba, Pb, La 등)의 2~3성분계의 소결체

또한 NTC 서미스터의 온도특성은 다음과 같다.

$$R = R_0 \exp \{B(1/T - 1/T_0)\}$$

$$\alpha = (1/R) dR/dT = -B/T^2$$

여기서

R : 온도 T(K)에서의 서미스터의 저항값

B : 서미스터 정수

R<sub>0</sub> : 온도 T<sub>0</sub>(K)에서의 서미스터 저항값

$\alpha$  : 온도 T(K)에서의 서미스터 저항의 온도계수이다.

일반적으로 재료의 특성은 조성비, 소성방법, Annelling처리의 조건에 주로 의존된다.

비저항 및 정수 B가 광범위하게 얻어 질 수는 있으나, 다음의 이유로 인하여 범위가 제한되고 있다.

- (1) 재료의 안정성
- (2) 재료의 소성결과 특성산포(소결온도 및 특성범위)
- (3) 재료, 부재료간의 열팽창율의 매칭에 따른 제약
- (4) 고가격으로 코발트의 제한(원가절감) 위 사항들을 만족할 수 있는 조성의 영역은 제한 받게 되어, 현실적으로 이용되고 있

는 서미스터 제조를 위한 조성의 영역 폭은 작아지며, 서미스터의 용도 및 회로정수와의 매칭에 의해서 조성은 결정되어진다.

## 2.2 PTC 서미스터 재료

PTC 서미스터는 티탄산바륨(BaTiO<sub>3</sub>)을 주성분으로 하고, 어느 온도 이상에서 저항이 급증하는, 정(正)의 온도계수를 갖는 저항소자이다. PTC 특성은 BaTiO<sub>3</sub>가 강유전상에서 상유전상으로 상전이(相轉移)하는 온도, 즉 큐리 온도 T<sub>c</sub>이상에서 현저하게 나타난다.

PTC 서미스터는 BaTiO<sub>3</sub>를 기본으로 하고, 원자가 제어법에 의해 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등을 미량 첨가해서 도전성을 갖게 한 반도체이다.

## 3.3 CTR 서미스터 재료

CTR은 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, SrO 등의 혼합산화물로, 야환원성 분위기 속에서 절반쯤 유리상태로 소결된 것으로서 Ge, Ni, W, Mo 산화물을 첨가함으로써 급변온도를 변화시킬 수 있다.

CTR에서는 적당한 환원 분위기 조건에서 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>가 VO<sub>2</sub>로되어 저항급변이 현저하게 된다. 또한 환원을 강하게 하면 V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>까지 환원

되어 저항율은 낮게 되고, 저항급변현상도 사라지게 된다. 다시 말하면 CTR은 반도체와 금속간의 상전이를 이용한 것이다. 특히  $V_2O_3$ 는 70°C 근처에서 저항변화가 크다.

이상 3종류의 서미스터에서 가장 일반적으로 사용되고 있는 것이 NTC 서미스터인데 보통 서미스터라고 하면 NTC 서미스터를 의미한다. 온도보상, 온도측정, 제어 등의 용도로 이미 2차세계대전 때부터 사용이 되어 온 제품이나, 저가격에 비해 신뢰성 및 정확성이 우수하기 때문에 아직까지 매우 각광을 받고 있으며, 그 적용은 증가할 것으로 예상되어 진다. 특히 자동차용 온도센서로서의 서미스터는 냉각수온센서, 흡기온센서, 배기온센서, 서모타임스위치 등에 의한 엔진온도 및 흡입, 배출가스온도의 효과적인 측정으로 쾌적하고 공해가 적은 자동차의 운행을 가능하게 하고있다.

#### 4. 결 론

근래의 자동차는 환경, 안전, 연료등의 문제로 인하여 보다 복합적이고 고기능적이며

복잡다양하게 발전되고 있다. 자동차에서 센서로 이용되고 있는 소재 중에서는 단연 세라믹 재료의 사용이 증가하고 있으며, 그 적용 범위도 가속도, 충격, 거리감지, 압력감지, 하중감지, 온도 뿐만 아니라, 배출가스의 산소농도, 가스센서, 광센서 등의 거의 모든 물리 및 화학량의 감지로 확대되고 있다. 따라서 가까운 미래의 고기능화, 지능화된 자동차의 제조에 대응할 수 있도록 세라믹 센서 재료 부분의 지속적인 연구 및 투자가 요망된다.

#### 참 고 문 헌

1. 犬石, 中島, 家田 : 誘電體現象論
2. 日野, 山中 : 電氣材料工學
3. Ronald Jurgen, 1995, Automotive Electronics Handbook
4. Christopher O. Nwagboso, 1995, Automotive Sensory Systems
5. 片岡, 高橋, 山岐 : Sensor Handbook, 1990.