

## High Power용 재료 개발



**김종선**

삼성전기(주) 종합연구소 재료연구센터수석 연구원



**염상덕**

삼성전기(주) 종합연구소 재료연구센터 선임 연구원

**김남철**

공주대학교 공과대학 신소재공학부 교수

### 1. 서 론

압전세라믹 재료는 공진자, 필터, 초음파기기의 트랜스듀서등에 널리 사용되고 있다. 최근들어 액츄에이터나 모터등의 동력적인 응용 분야와 압전트랜스가 다시 한번 주목을 받으며 대진폭으로 구동되는 소자가 화제로 많이 떠오르고 있다. 전자의 동력 응용이란 큰진폭으로 구동하여 기계적인 변위를 직접 이용하는 것이며, 후자의 압전트랜스에서는 수W 전력의 전기-기계-전기변환 소자로서 전송 전력에 따라 큰 변위를 동반한다. 따라서 이러한 대진폭으로 구동하는 소자에 적용하는 재료로는 동작시 발열이나 압전 특성의 열화가 적은 재료가 바람직하다고 할 수 있다.

### 2. 압전트랜스

PZT의 우수한 압전성이 발표된 1950년대와 동일한 시기에 GE사의 C. A. Rosen에 의해 제안된 것으로 종래의 권선형 트랜스와 전혀 개념이 다른 트랜스이다. 이러한 트랜스에 사용되는 재료를 살펴 보면 초기에는 티탄산바륨이었고 이후 압전성이 우수한 PZT가 사용되기 시작했다. 하지만 이 두가지는 압전성이 떨어진다면 기계적 강도가 약하다는 문제점

을 있어 실용화에는 많은 어려움이 있어왔다.

#### 2.1 압전트랜스의 구조와 원리

Rosen이 제안한 압전트랜스는, 단판형으로 길이 방향의 진동을 이용한 것이다. 즉, 길이 방향의 1/2에 입력전극을 설계하여 공진주파수의 전계를 인가하면 소자가 기계적으로 크게 진동하고, 출력측의 분극 방향을 기계진동의 방향과 일치시킴으로써 단면에 있는 출력 전극으로부터 발생한 전하를 끌어내는 구조인 것이다.

그림 1, 2에 나타낸것이 그 구조와 등가회로이며 출력측이 개방상태 일때의 승압비는 식 1과 같이 표시된다.

$$V_1/V_2 = 4 \cdot Q_m \cdot K_{31} \cdot K_{33} \cdot L/\pi^2 \cdot t \quad (1)$$

$Q_m$  : 기계적품질계수

$K_{31}, K_{33}$  : 전기기계결합계수

따라서 승압효과는 기계적품질계수, 전기기계결합계수, 길이의 곱에 비례하고 두께에 반비례함을 알 수 있다. 한편, 압전트랜스는 권선형트랜스와 비교해서 구조가 간단하고 불연성이며 또한 박형화가 용이하다는 특징을 가진다. 따라서 고전압발생용의 트

랜스에 적합하며 최근에는 액정 백라이트용으로 활발하게 응용되고 있는 추세이다.

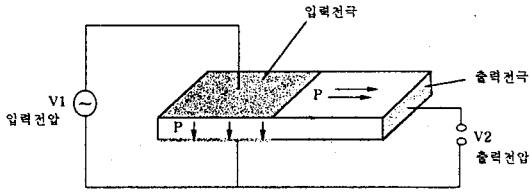


그림 1. 압전트랜스의 기본 구조

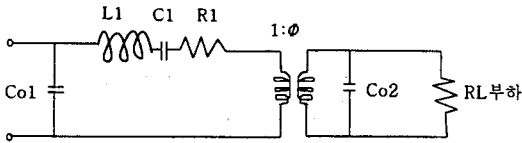


그림 2. 압전트랜스의 등가회로

## 2.2 특성분석

제조공정은 파괴의 원인이 되는 Pore나 흠집등의 내외부 결함 관리가 매우 중요하다고 할 수 있다.  $\lambda$  공진 타입으로 구동주파수 70KHz, 두께 2.2mm,

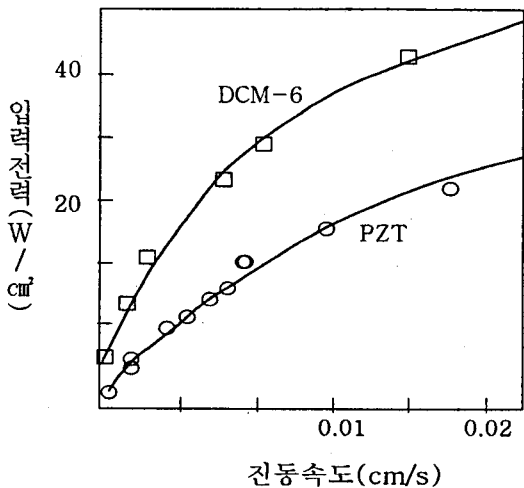


그림 3. 입력전압과 진동속도

길이 48mm, 폭 8mm인 트랜스의 경우 4W까지 출력이 가능하고 각종 냉음극관을 사용한 액정 Backlight 시스템에 응용이 가능하다.

출력특성(그림 3.5~7)과 발열특성(그림 4)을 살펴보면 부하 임피던스가 open에 가까워질때 큰 출력이 얻어짐을 알 수 있다. 반대로 부하 임피던스가 작아지면 송압비가 낮아지고 전류출력이 된다. 이러한 부하 변동 특성은 출력 임피던스가 크기 때문에 일어나는 것으로 냉음극관 점등용 용도에 따라 장점이 된다. 송압비의 주파수 특성은 부하 임피던스가 개방상태에 가까울수록 첨예해진다. 또한 발열은 진동에 의한 것이 주요인이기 때문에 출력전류와 발열의 관계에서는 부하가 개방상태에 가까워 질수록 진동진폭이 커지고 온도상승도 커지게 된다.

## 3. High Power용 세라믹 재료

### 3.1 압전트랜스의 경우 요구 되는 재료 특성

압전트랜스에 사용되는 재료는 High-Power로 구동되는 Hard계 압전세라믹이 일반적이다. 화학조성적으로는 티탄산 지르콘산납계 세라믹(PZT)계를 기본으로 압전트랜스용으로 적합한 특성을 가질수 있도록 제3성분이나 첨가물로 변성시킨 재료가 사용되고 있다. 재료정수로는 전기기계 결합계수  $K_{33}$ ,  $K_{31}$ , 기계적 품질계수  $Q_m$ 가 큰 재료가 적절하다. 실용적인 관점에서는 대진폭으로 구동할 경우 발열, 경시변화, 기계적피로가 적은 재료가 바람직하다. 압전트

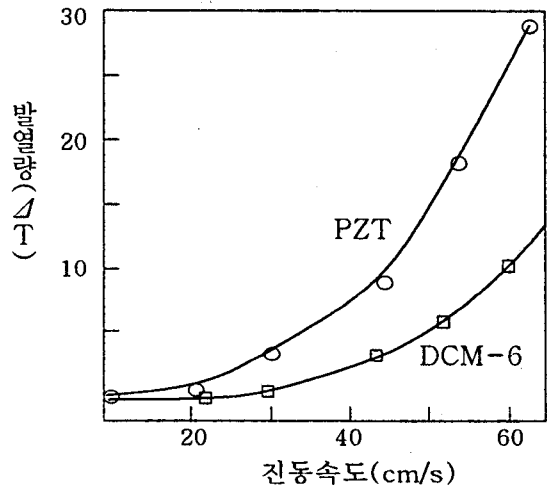


그림 4. 진동속도와 발열량

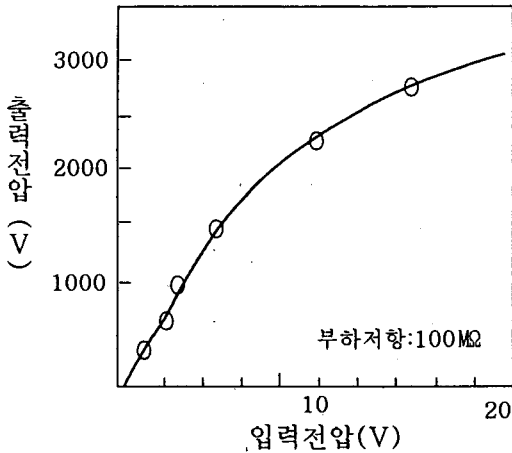


그림 5. 압전트랜스의 입출력 전압특성

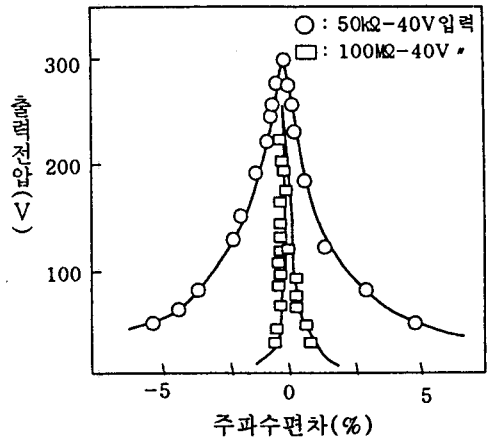


그림 7. 주파수 편차에 따른 출력전압의 변화

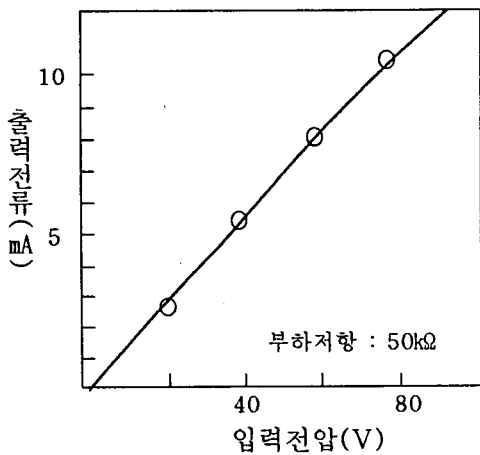


그림 6. 입력전압에 따른 출력전류의 변화

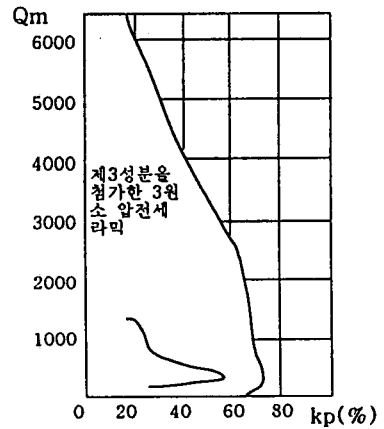


그림 8. 산화물첨가, 제3성분 3원계에 의해 실현시킨 특성영역

랜스에서 요구 되는 세라믹 재료의 특성은 구체적으로 다음과 같다.

① 전기기계 결합계수가 클것

승압비는 (1)식에 의해 전기기계 결합계수 · 기계적 Q 그리고 크기(L/t)로 결정된다. 그중에서 크기는 응용에 적당한 주파수나 필요한 전력에 의해 결정되어야 하며, Q는 구동회로의 설계상 적당한 값이 존재한다. 따라서 승압비를 높게하기 위해서는 가능한한 전기기계 결합계수가 큰것이 바람직하다(그림 8, 9).

② 기계적 강도가 클것

대전력을 입력하여 구동하므로 소자는 기계적으로 크게 진동한다. 기계적강도를 크게 하므로써 대전폭진동시에 절점에 가해지는 응력에 의한 소자 파괴를 방지할 수 있다.  $\lambda$ 와  $1/2\lambda$  mode 구동시 소자에 가해지는 응력과 변위의 양상을 그림 10에, 출력전압과 소자 끝단의 변위량(응력)의 관계를 그림 11에 표시하였다. 변위량 1 $\mu$ m에서 소자의 절에 가해지는 응력을 (2)식으로부터 계산하면 약 120kg/cm<sup>2</sup>이 되어 기계적 강도가 큰 재료는 트랜스의 출력 전력의 허용치를 크게 할 수가 있다.

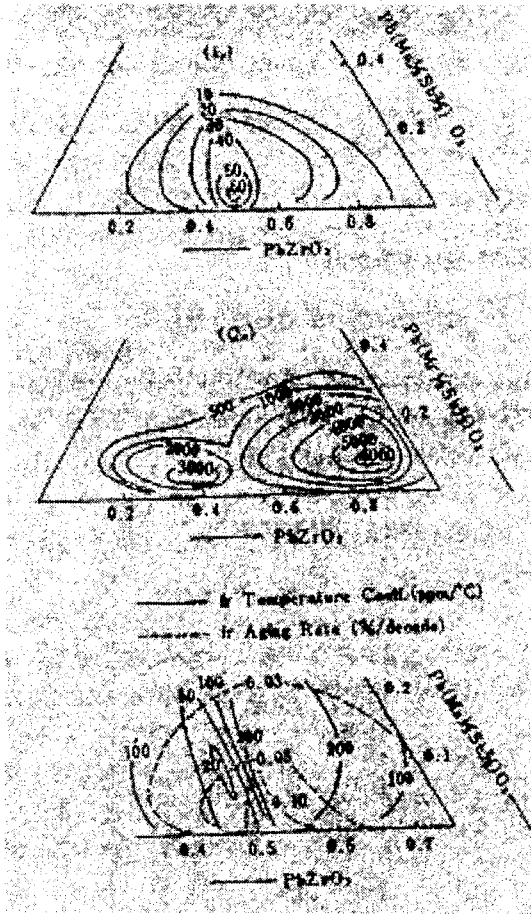


그림 9.  $PbTiO_3$ - $PbZrO_3$ - $Pb(Mn_{1/3}Sb_{2/3})O_3$ 계 세라믹의  $K_p$ ,  $Q_m$  안정성의 조성 의존성

최대응력(S) =  $\rho \cdot c \cdot v/g$  (2)

$\rho$  : 밀도  
 $c$  : 음속  
 $v$  : 소자 끝부분의 진동 속도  
 $g$  : 중력 가속도

③ 전력의 입출력 특성이 좋을것

PZT 재료는 입력 전압을 올리면 특성 열화가 일어난다고 알려져 있다. 전기기계 결합계수의 저하는 승압비에, Q값은 발열 즉, 변환효율의 저하와 관련되어 있다고 생각되므로 High Power 입력에도 이러한 정수가 안정된 재료가 바람직하다.

3.1-①을 고려해보면 PZT가 적합한 재료임을 알 수있고 또한 실제로 전기기계 결합계수( $K_{33}$ )가 70% 정도인 재료도 시판되고 있다. 하지만 3.2-②, ③에

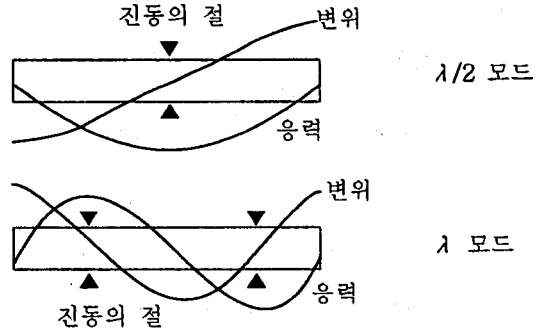


그림 10. 진동에 의한 변위와 응력의 관계

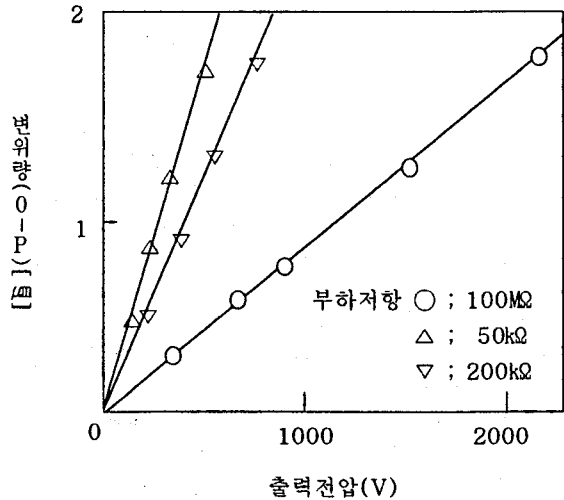


그림 11. 출력전압에 따른 변위량

대해서는 아직도 개선의 여지가 많고 세라믹 결정입자를 미세화하는 것이 그중 하나의 방법이라고 알려져 있다.

이러한 구체적 방법으로는 1) 첨가물을 포함한 재료의 선정, 2) 원료로서 습식 합성등을 이용한 미립물질의 사용, 3) 가공공정에서 분쇄방법 개선에 의한 미립 원료의 사용등이 보고되고 있다. 하지만 실제의 양산 설계에서는 조성이나 원료의 선정에서부터 전 공정을 고려할 필요가 있으며 높은 압전특성을 유지하면서 결정입자를 작게 하는 것이 중요하다.

### 3.2 연구 개발 현황

약 40년전에 Rosen의 연구 보고에서 기본구조가 제안된 이후 실용화 되지 못하다가 최근에 들어서야

표 1. 압전트랜스용 세라믹재료 특성

항목	기호(단위)	업체 별 특성치			
		KDS DCM-6	TOKIN	NEC	Hayashi
비유전율	$\epsilon_{33}/\epsilon_0$	1290	1100	470	1327
손실계수	$\tan \delta$ (%)	0.3	0.3		
전기기계 결합계수	$K_{31}$	0.35	0.35	0.28	0.37
	$K_r$	0.61			0.62
탄성정수	$Y_{11}^E (\times 10^{10} \text{N/m}^2)$	7.49	8.5		8.4
	$Y_{33}^E (\times 10^{10} \text{N/m}^2)$	122			7.0
압전정수	$d_{31} (\times 10^{-12} \text{m/V})$	287	-120		139
	$d_{33} (\times 10^{-12} \text{m/V})$		300		290
기계적품질계수	$Q_m$	1600	1750	1500	2022
	$\rho (\times 10^3 \text{kg/m}^3)$	7.90	7.90	7.97	7.94
큐리온도	$T_c (^\circ\text{C})$	300	330	260	290
항철강도	$\text{kg/cm}^2$	1500			

비로소 활발한 연구 및 실용화가 진행되고 있는것은 재료개발, 구조 및 구동회로의 개선이 뒷받침 되었기 때문이고 이상에서 언급한 특성을 갖는 재료를 개발 키 위한 노력이 지금 이 순간에도 부단히 진행되고 있다. 실례로써 선진 업체가 개발한 재료의 특성을 살펴보면 다음과 같다.

KDS는  $\text{Pb}(\text{SbNb})\text{O}_3\text{-PZ-PT}$ 계로 평균 Grain Size를  $1.0\mu\text{m}$ 이하로 하였으며 저온소결에 따른 Pyrochlore상의 발생을 억제하기 위해 Columbite 법으로  $\text{SbNbO}_3$ 를 합성하는 Process를 채용하고 있다. 한편 NEC는  $\text{Pb}(\text{Mn}, \text{Sb})\text{O}_3\text{-PZ-PT}$ 계로써 고출력화 및 저온소결을 위해 하소분말의 미분화에 초점을 맞추고 있으며 평균 소성온도는  $1050\sim 1200^\circ\text{C}$ , Grain Size는  $0.8\sim 2.0\mu\text{m}$ 이다. 또한 Hayashi는 평균 입경  $0.4\sim 0.6\mu\text{m}$ 의 Powder를 사용하여  $1050^\circ\text{C}$ 의 저온 소결을 하였고 2022에 이르는 High  $Q_m$ 재료로 압전트랜스에 응용하고 있다.

#### 4. 맺음말

현재는 압전트랜스, 압전진동자이로가 주된 관심의 대상이지만 기타 다른 신제품에 대해서도 연구가 많이 진행되고 있으며 시장 확대가 기대되고 있다. 재료적인 측면에서 완전히 다른 신재료의 출현은 미지

수이며 그동안은 Process기술을 구사한 새로운 특성의 발견이나 성능 개선이 주로 진전될 것으로 여겨진다.

비교적 응용이 활발히 진행되고 있는 LCD Backlight용 압전트랜스의 경우를 살펴보면, 이것이 본격적으로 시장에 확대되기 위해서 회로 및 부하(Lamp)와 압전체의 Matching기술이 매우 중요하며 특히 제조에 따른 안정된 품질, 수율 향상에 대한 연구가 절실함을 알 수 있다. 따라서 앞으로 DC-DC 컨버터나 고압전원 등 High Power에의 응용이 가능 하려면 각각의 응용에 적합한 재료개발은 물론이고 회로, 설계, 평가기술 분야에서도 적지 않은 연구가 필요할 것이다.

#### 참고 문헌

1. 전자재료공업회, 「압전세라믹과 응용」, 전파신문사(1974).
2. 尾野, 「일렉트로닉 세라믹스」, 18[88] 49-53(1987).
3. S. Hirose et al., Jpn. J. Appl Phys., 32(1993) 2418-2421.
4. Sunao Hamamura et al., NEC 기보 Vol. 51 No. 4(1998) 92-96.