

1 - 3 형 PZT /Epoxy 복합재료의

압전특성에 관한 연구

○ 김진수 김용혁* 곽호기* 이덕출**
 인하대학원 KAIST ** 인하대학교

A study on the piezoelectric properties with
 PZT / Epoxy composites of 1 - 3 connectivity

Jin-soo Kim[○] Yong-Huck Kim* Ho-Gi Kim* Deok-Chool Lee**
[○]Inha Univ. * KAIST ** Inha Univ.

1. 서론

재료과학의 발전으로 인하여 최근에 전자세라믹스에 대한 연구가 매우 활발히 진행되고 있는데 그 중에 특히 압전재료가 주목되고 있는 실정이다.

그러나 단일상의 세라믹스가 갖는 특성은 한계가 있기 때문에 다른 재료와 복합하여 사용하면 좋은 특성을 얻을 수가 있다. 즉 무기재료인 압전세라믹스는 압전성이 우수하고 전기기계결합 계수가 높아서 좋은 특성이 있는 반면에, 유전율이 매우 높고 음향임피던스가 크며 기계적인 유연성이 부족하기 때문에, 수중에서나 인체에 사용 시에는 많은 문제점이 있게 된다.

이러한 관점에서 1973년에 미국 Gould 사의 Pauer 에 의하여 우레탄 고무와 PZT 분말을 혼합한 압전복합재료가 제작되기 시작한 이래로 Harrison, Banno 그리고 Newnham 등 여러 연구자들에 의하여 연구가 활발히 진행되고 있다.

따라서 본 연구에서는 PZT 세라믹스와 Epoxy 고분자를 복합하여 두 재료 사이에 1-3형 접속도를 갖게 되는 압전복합재료를 개발하였으며, 이 재료는 압력 센서, 수중음향기기, 통신기기, 초음파 진단장치 응용이 기대되며, 이 때의 유전특성 및 압전특성 등에 대하여 조사하였다.

2. 이론

2.1 접속도에 의한 분류

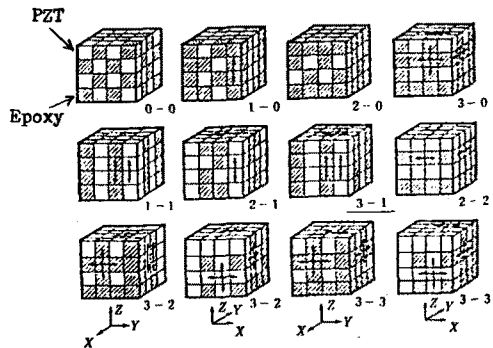


그림 1. 2상으로 된 복합재료의 접속도

2.2 모델 개념도

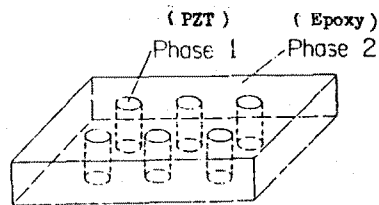


그림 2. 1-3형 복합재료의 병렬모델

2.3 유전상수 (dielectric constant)의 이론식

$$\bar{\epsilon}_{33} = 1_v \epsilon_{33} + 2_v \epsilon_{33} \quad (1)$$

- 다, $\bar{\epsilon}_{33}$: 복합재료의 유전상수
- 1_v : PZT 상의 체적비
- ϵ_{33} : PZT 상의 유전상수
- 2_v : Epoxy 상의 체적비
- ϵ_{33} : Epoxy 상의 유전상수

2.4 압전계수 (piezoelectric coefficient) 의 이론식

$$\bar{d}_{33} = \frac{1 \cdot v_{d33}^1 \cdot s_{33}^2 + 2 \cdot v_{d33}^2 \cdot s_{33}^1}{1 \cdot v_{s33}^2 + 2 \cdot v_{s33}^1} \quad (2)$$

- 단, \bar{d}_{33} : 복합재료의 압전계수
- $1 \cdot v_{d33}^1$: PZT 상의 압전계수
- $2 \cdot v_{d33}^2$: Epoxy 상의 압전계수
- $1 \cdot v_{s33}^2$: PZT 상의 elastic compliance
- $2 \cdot v_{s33}^1$: Epoxy 상의 elastic compliance

2.5 전압계수 (piezoelectric voltage coefficient) 의 이론식

$$\bar{g}_{33} = \frac{\bar{d}_{33}}{\epsilon_{0 \text{ 공}} 33} \quad (3)$$

2.6 공진 특성

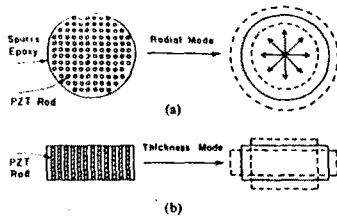


그림 3. 제작 시편의 공진 모드
(a) 경방향 모드 (b) 두께방향 모드

3.2 시편 제작

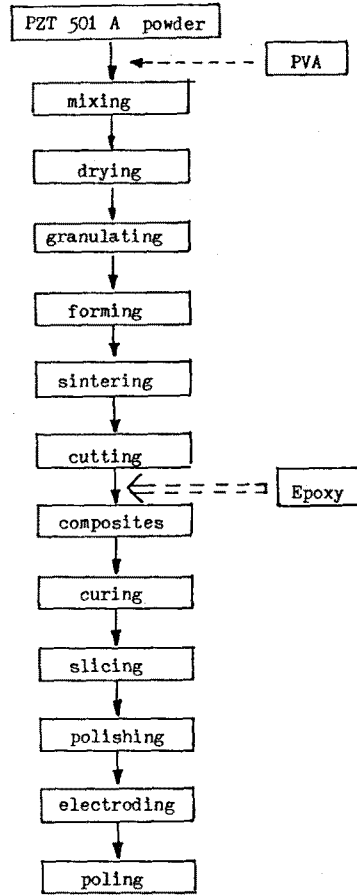


그림 4. 시편 제작 공정도

3. 실험

3.1 사용 재료

표 1. 사용 재료의 특성

성분	PZT 501A	Epoxy
성분	Pb(ZrTi)O ₃	Spurr epoxy
밀도 (g/cm ³)	7.7	1.1
유전상수	1850	4.0
압전계수	400	

표 2. Epoxy 조성표

무게성분	NSA	VCD	DER	DMA
중량 (gm)	26	10	4	0.4

3.3 측정

압전복합재료의 유전상수 ϵ_{33} 및 유전손실 $\tan \delta$ 는 LCR meter 로써 주파수 1 KHz 에서 측정하였다.

그리고 공진특성은 spectrum analyzer

로써 측정하였으며, 압전계수 \bar{d}_{33} 는

Berlincourt piezo d_{33} meter

로 측정하였다.

표 3. 복합재료의 시편 두께 : 2.1 mm

시편	1	2	3	4	5	6	7
vol % PZT	4.5	10.5	18.1	28.8	38.6	47.2	57.0

vol % PZT:18.1 %

시편	11	13	15	17
두께(mm)	0.85	1.5	2.1	2.75

4. 실험결과

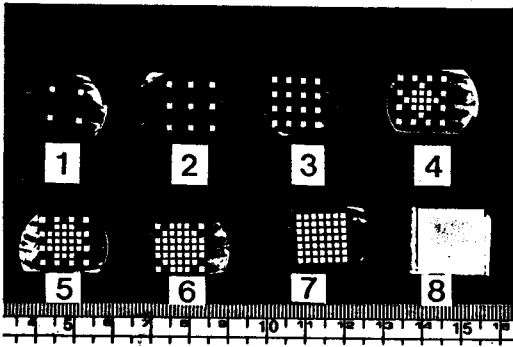


그림 5. 제작 시편의 모양

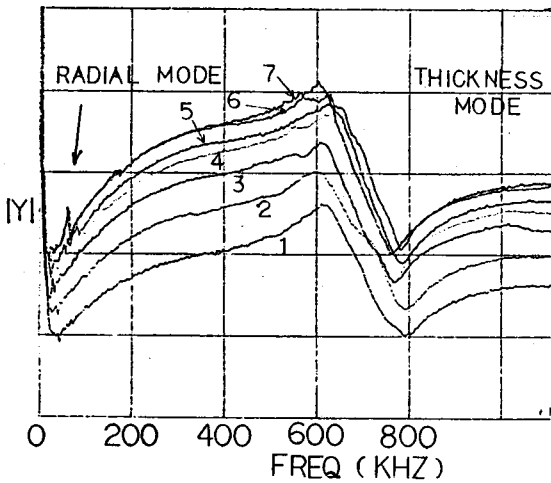


그림 6. PZT 체적비에 대한 경방향 및 두께방향 모드의 공진특성

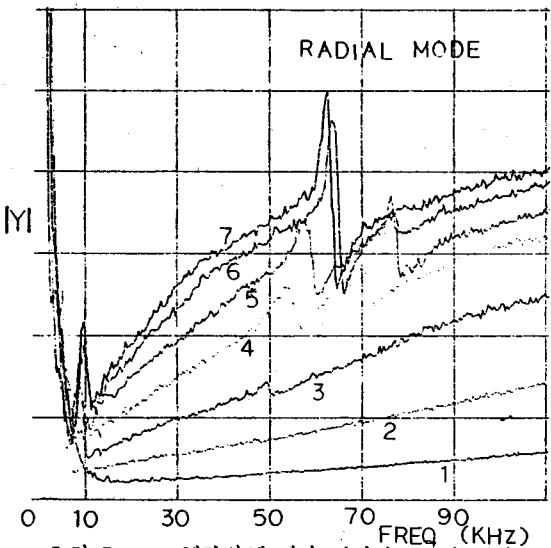


그림 7. PZT 체적비에 대한 경방향모드의 공진특성 (그림 6 의 저주파 영역)

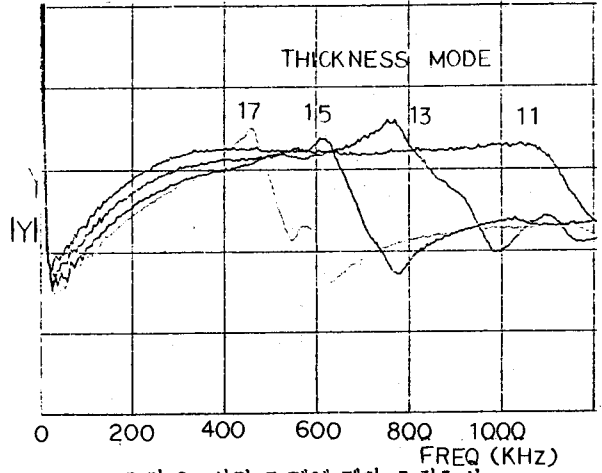


그림 8. 시편 두께에 대한 공진특성

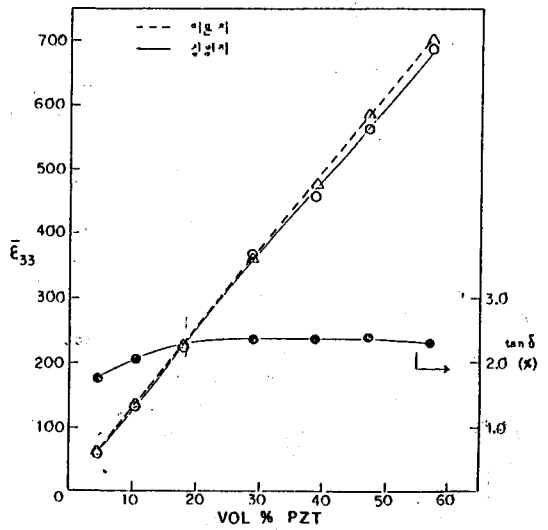


그림 9. PZT 체적비에 대한 유전상수 및 유전손실 (thickness : 2.1 mm)

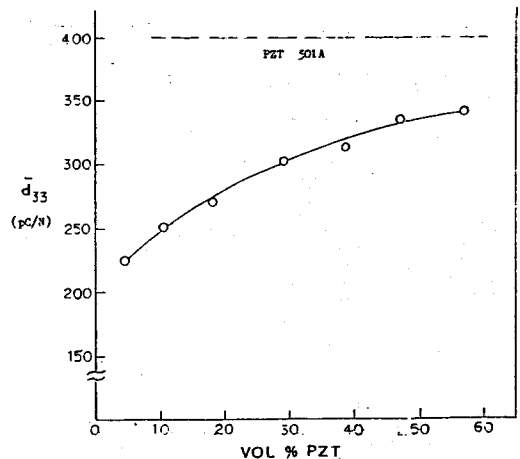


그림 10. PZT 체적비에 대한 압전계수 d_{33} (thickness : 2.1 mm)

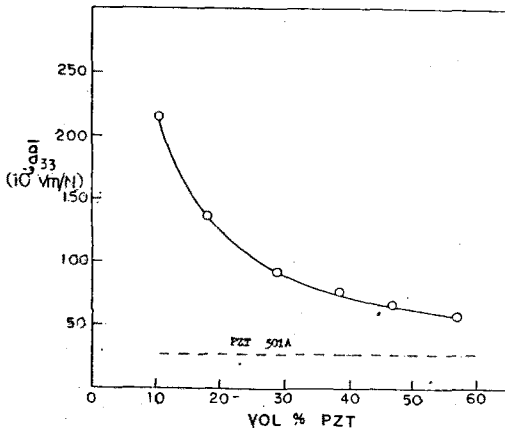


그림 11. PZT 체적비에 대한 전압계수 \bar{d}_{33}
(thickness : 2.1 mm)

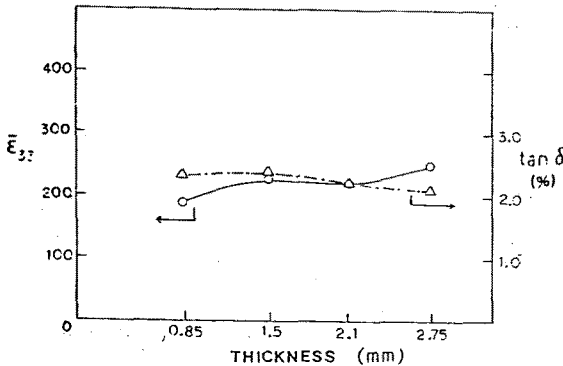


그림 12. 시편 두께에 대한 유전상수 및 유전손실
(vol % PZT : 18 %)

5. 고찰

그림 5는 본 실험에서 제작한 1-3형 압전복합재료의 시편으로서 전극처리를 하기 전의 모습이며, 각각 PZT 체적비가 4.5%에서 100%까지를 나타내고 있다. 그림 6은 공진특성으로서 저주파수 영역에서 경방향 모드와 공진특성이 나타나고, 고주파수 영역에서 두께방향 모드의 공진특성이 나타나고 있다. 그림 7은 그림 6의 경방향 모드 영역을 확대하여 나타낸 그림이다.

그림 8은 시편 두께에 대한 두께방향 모드의 공진 특성으로서 시편 두께가 증가할수록 공진주파수가 낮아지고 있음을 보이고 있다. 그림 9는 PZT 체적비가 증가함에 따라 복합유전상수 $\bar{\epsilon}_{33}$ 가 증가하고 있으며, 이론에서 제시한 식 (1)의

변형 모델과 잘 일치하고 있다.

그림 10은 PZT 체적비가 증가함에 따라 복합압전 계수 \bar{d}_{33} 가 증가하고 있으며, 그림 11은 복합 전압 계수가 단일상 PZT 의 전압 계수 ($26 \times 10^{-3} \text{ Vm/N}$) 보다 상당히 증가하였으므로 성능이 향상되었다. 그림 12에서는 시편 두께에 대하여 유전상수가 약간 변하고 있다.

6. 결론

- 1) PZT 체적비가 감소할수록 유전상수가 감소하였다.
- 2) 두께방향 모드의 공진특성은 700 KHz 영역에서 나타났다.
- 3) 0-3 형의 압전 계수 (50 pC/N) 에 비하여 1-3 형의 압전 계수 (300 pC/N) 가 훨씬 크게 나타났다.
- 4) 유전율의 감소때문에 단일상 PZT 의 전압 계수 ($26 \times 10^{-3} \text{ Vm/N}$) 에 비하여 복합압전 계수는 훨씬 증가하였다.

REFERENCES

1. R.E. Newnham et al, "Connectivity and Piezoelectric pyroelectric Composites", Mat. Res. Bull., vol 13, 1978, pp 525-536
2. B.Jaffe et al, Piezoelectric ceramics, Academic press, London and New York, 1971
3. 家田正文等, 誘電体現象論, 日本電氣學會, 1983
4. T.R. Gururaja et al, "Composite piezoelectric transducers", Ultrasonic Symposium, 1980, pp 576-581
5. K.A.Klicker et al " PZT-Epoxy piezoelectric transducers", Mat.Res.Bull., vol 16, pp 677-680, 1981
6. A.Safari et al "Flexible composite transducers", J. Amer.Cerm. Soc., vol 65, 1982, pp 207-209
7. L.E.Cross et al "Piezoelectric composite Materials for ultrasonic transducer applications", IEEE Trans.on sonics and ultrasonics, vol. SU-32, No 4, 1985, pp 481-498
8. K.A.Klicker et al "Composites of PZT and Epoxy for Hydrostatic transducer applications", J.Amer.Cerm.Soc. vol.64, 1981, pp 5-9
9. 岡崎清, セラミク誘電体工学, 学術社, 1983
10. Brown et al "Piezoelectric composites for underwater transducers", Ferroelectrics, vol.54, 1984, pp 215-218