

## 적층형 압전 변압기의 내부전극에 따른 구조적 특성

### Structural Characteristics of Multilayer Piezoelectric Transformer According to Designs of Internal Electrode

임인호\*, 박종주\*, 정희승\*\*, 오영희\*\*\*

(In-Ho Im\*, Jong-Joo Park\*, Hoy-Seung Chung\*\*, Young-Hee Lee\*\*\*)

#### Abstract

In this study, we investigated amounts, distributions and sizes of pores of multilayer piezoelectric transformer, and predicted heat emission property and electrical characteristics according to designs of internal electrode. Forming densities of device having MLC, fingered and full filled internal electrode structure were 4.73 g/cm<sup>3</sup>, 4.80 g/cm<sup>3</sup>, 4.82 g/cm<sup>3</sup> and forming porosities were 17.3737%, 13.1475%, 12.6121%, respectively. And sintered densities of MLC structured, fingered and full filled devices were 7.76 g/cm<sup>3</sup>, 7.75 g/cm<sup>3</sup>, 7.84 g/cm<sup>3</sup> and sintered porosities were 4.0967%, 2.7132%, 2.5317%, respectively. Therefore, we concluded that fingered and full filled internal electrode devices, especially, fingered internal electrode devices had cost-effective effect and maximum poling effect due to higher sintered density and lower porosity than MLC structured device. Also we can predict that they have an effect on good heat emission and high output properties of multilayer piezoelectric transformer.

**Key Words** : MLC, internal electrode, fingered electrode, full filled electrode, porosity, poling efficiency

#### 1. 서 론

최근 멀티미디어 산업의 발달과 더불어 각종 표시 장치 산업도 급속히 팽창하고 있다. 특히, 박막 액정 표시장치(Thin Film Transistor Liquid Crystal Display, 이하 TFT-LCD)는 부피가 작고 모니터의 두께가 얇아 휴대성이 용이하기 때문에

노트북 PC나 휴대용 영상장비 등과 같은 응용분야에서 실용화가 점진적으로 이루어지고 있다.[1,2]

표시장치가 TFT-LCD로 이루어진 노트북 PC나 영상장비 등은 정보를 표시하기 위하여 냉음극관(Cold Cathod Fluescent Lamp, 이하 CCFL)을 사용하는데, 이러한 CCFL을 구동하기 위해서는 인버터가 사용되고 있으며 그 중에서도 최근 소형, 경량화, 슬림화의 요구 조건에 적합한 압전 인버터에 대한 연구가 많이 진행되고 있다.[3,4]

현재 압전 변압기의 전기적 특성 평가 및 회로 구성에 관한 연구는 여러 연구자[5,6]들에 의해 진행되고 있으나 내부전극 형태에 따른 적층형 압전 트랜스포머의 구조적 특성 변화 등과 같은 연구는 거의 진행되지 않고 있다.

\* : 삼화콘덴서공업(주) R&D Center  
(경기도 용인시 남사면 복리 124,  
Fax : 031-330-5836  
E-mail : IHKKH@hitel.net )

\*\* : 주성대학 전기과  
\*\*\* : 광운대학교 전자재료공학과  
2001년 7월 31일 접수, 2001년 8월 31일 1차심사완료,  
2001년 9월 25일 2차 심사 완료

따라서 본 연구에서는 적층형 압전 변압기의 내부전극의 형태에 따른 구조적 특성, 특히 제품 내에 존재하는 기공의 크기, 분포 그리고 기공을 등에 대해 조사하고 이를 바탕으로 압전 변압기의 전기적 특성 및 발열 특성 등에 미치는 영향 등을 예측하였다.

2. 실험

본 연구에서 사용한 조성은 PZT-BNW계 세라믹스이였으며, Doctor Blade 방법으로 sheet의 두께는 60 $\mu$ m로 casting 하였다. 이후 적층형 압전 변압기의 내부전극을 그림 1과 같이 적층형 콘덴서(Multilayer Capacitor, 이하 MLC)와 같은 구조(MLC structure, pattern-1), 부분적으로 내부전극이 외부로 인출되어 있는 구조(fingered structure, pattern-2), 그리고 전면 전극 구조(full filled structure, pattern-3)로 인쇄하고 11층 적층한 후 75 $^{\circ}$ C에서 350psi로 30분간 정수압 압착하여 성형체를 제작하였으며 1100 $^{\circ}$ C에서 3시간동안 소결하였다. 내부전극은 metal 함량이 52%이며 30,000cps의 접도를 갖는 70Ag/30Pd 내부전극[7](SYSA52, Samwha Co., Ltd.)을 이용하여 인쇄하였다.

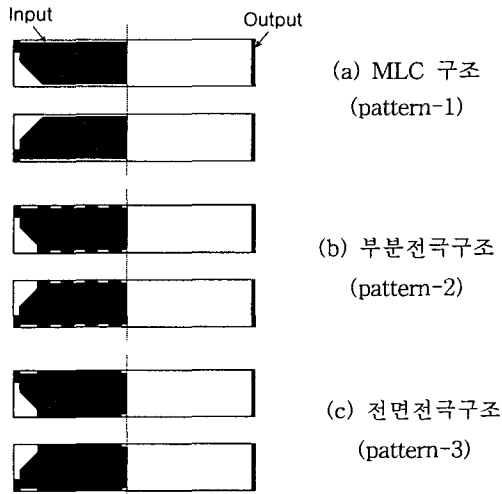


그림 1. 적층형 압전 변압기의 내부전극 구조.  
 Fig. 1. Internal electrode structures of multilayer piezoelectric transformer.

본 연구에서는 적층형 압전 변압기의 내부전극 변화에 따른 구조적 특성을 조사하기 위하여 Mercury Porosimeter (AutoPore III,

Micrometrics)를 사용하였으며, 내부전극 구조가 그림 1과 같이 각각 인쇄된 후 3 종류의 성형 및 소결된 적층형 압전 변압기를 penetrometer assembly에 넣어 압력을 0 psia에서부터 60,000 psia까지 인가시키면서 소자 내로 관입된 수은의 관입량을 측정하여 소자내의 기공의 크기와 분포 그리고 기공을 등을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 적층형 압전 변압기의 성형체 특성

Pattern-1의 구조는 기존의 적층형 콘덴서와 같이 내부전극이 소체 내부에 포획되어 있는 구조이고, pattern-2의 구조는 pattern-1의 구조를 변형한 것으로서 적층형 압전체에 있어서 내부전극이 대향하지 않는 비활성부의 영향을 최소화하고 또한 고출력 구동시 적층형 압전 변압기에서 발생하는 열을 효과적으로 방출하기 위해 고안된 구조이며, pattern-3의 구조는 내부전극 면적과 소자의 면적이 일치하는 전면전극으로 설계된 구조이다.

내부전극 구조를 달리하여 동일한 조건하에서 제작된 적층형 압전 변압기의 성형체에 있어서 결보기 밀도는 pattern-1과 같은 내부전극 구조로 적층된 성형체의 성형밀도가 4.73g/cm<sup>3</sup>, pattern-2 구조의 성형체가 4.80g/cm<sup>3</sup> 그리고 pattern-3 구조의 성형체가 4.82g/cm<sup>3</sup>로 나타났다. 이는 동일한 시편 면적에 도포된 내부전극의 도포량이 증가한 결과이며, 성형체의 미세구조 관찰 결과 미세구조의 큰 변화는 발생하지 않았다. 그러나 세라믹스층과 내부전극과의 계면에서는 전극이 인쇄된 형태의 차이에 의해 미세구조의 차이가 다소 발생하였으며, 이를 SEM 및 수은압 침투법을 이용하여 분석하였다. 분석 결과 성형체에 있어서 기공의 크기와 분포 및 기공율의 차이를 관찰할 수 있었으며 그 결과를 그림 2의 (a), 3의 (a), 4의 (a) 그리고 사진 1에 나타내었다.

그림 2의 (a)에서 알 수 있듯이 기공의 크기 및 분포에 있어서는 pattern-2의 내부전극 구조의 성형체가 pattern-1과 3의 내부전극 구조의 것보다 조대 기공이 많은 특성을 나타내었으며 기공율은 pattern-1의 내부전극 구조 형태의 성형체가 17.373%, pattern-2의 내부전극 구조가 13.1475%, pattern-3의 내부전극 구조는 12.6121%의 값으로 현격한 차이를 나타내었다. Pattern-2의 내부전극 구조를 갖는 성형체에서 조대기공이 많이 나타나

는 것은 내부전극 구조의 형태상 pattern-1과 3의 내부전극 구조보다 pattern-2의 내부전극 구조가 세라믹스 층과 내부전극이 접촉하는 접촉면적이 크므로 접촉면에서의 재료 이방성이 상대적으로 증가하여 조대 기공이 형성될 수 있는 가능성이 높은 것에 기인하며, pattern-1에서 pattern-3으로 변화함에 따라 기공율이 감소하는 것은 pattern-1과 같이 설계된 내부전극 구조보다 pattern-2와 3의 내부전극 구조의 성형체가 성형밀도가 높은 것으로 인해 기공율이 감소하는 것으로 판단되며 미세 구조 결과와도 일치하는 것을 알 수 있다.

또한 그림 3의 (a)에서 알 수 있듯이 성형체의 기공 내부로 침입한 수은의 함량을 측정된 결과 60,000psia의 압력을 가하였을 때 관입된 수은 함량은 pattern-1의 내부전극 구조의 성형체가 0.0363ml/g을 나타내었으며 pattern-2는 0.0362ml/g 그리고 pattern-3은 0.0253ml/g으로 나타났다. Pattern-2의 내부전극 구조가 관입된 수은 함량이 높게 나타나는 것은 조대 기공이 많이 존재하는 것에 기인하며 그림 3의 (a)의 결과로부터 유추할 수 있다.

그림 4의 (a)에 나타나 있는 것처럼 성형체의 pore 누적 면적은 관입된 수은 함량과 유사하게 pattern-2, pattern-3의 내부전극 구조로 변화함에 따라 작은 값을 나타내는 경향을 나타내었으며, 사진 1에 나타나 있는 세라믹스 층과 내부전극과의 접촉면간의 미세구조에서 보여지는 결과와도 잘 일치한다.

### 3.2 적층형 압전 변압기의 소결체 특성

1100℃에서 3시간동안 소결한 적층형 압전 변압기의 소결밀도는 내부전극 구조가 MLC 구조에서 부분전극 형태 그리고 전면전극 형태로 유효 전극 면적이 증가함에 따라 내부전극으로 사용된 AgPd metal이 소결 촉매 작용을 하여 적층형 압전 세라믹스의 소결 구동력을 증대시킨 효과로 인해 소결 밀도가 pattern-1의 내부전극 구조의 소결체가 7.64g/cm<sup>3</sup>을 나타내었으며 pattern-2의 형태가 7.75g/cm<sup>3</sup> 그리고 pattern-3의 형태가 7.84g/cm<sup>3</sup>로 증가하였다. 이는 역시 소결체 내의 기공의 크기와 분포 및 기공율 차이로 나타나는 데 그 결과를 그림 2의 (b), 3의 (b), 4의 (b) 그리고 사진 1에 나타내었다.

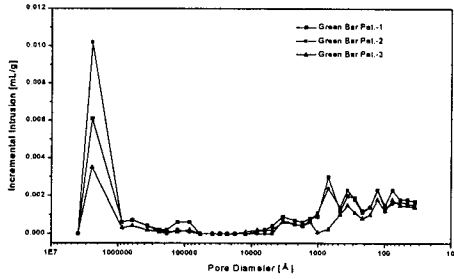
pattern-2의 내부전극 구조로 적층된 소결체는, 성형체의 특성과 같이 조대 기공이 가장 많이 존재하고 비교적 높은 수은 관입량 및 높은 기공율

특성을 나타내었으나 그림 2의 (b)에서 알 수 있는 것처럼 소결체에서는 오히려 조대 기공이 가장 낮은 특성을 나타내었으며 기공율 역시 전면형태의 내부전극 구조인 pattern-3의 기공율과 거의 동일한 특성을 나타내었다. 이는 성형체에서 존재하던 조대 기공들이 물질 확산 경로를 형성하여 바인더 burn-out 공정에서 발생하는 CO<sub>2</sub> 가스 등을 효과적으로 방출하는 역할을 하였으며 소결과정에서도 소체 내부에 잔존하는 pore의 제거를 촉진하고 치밀화를 촉진한 결과로 사료된다.

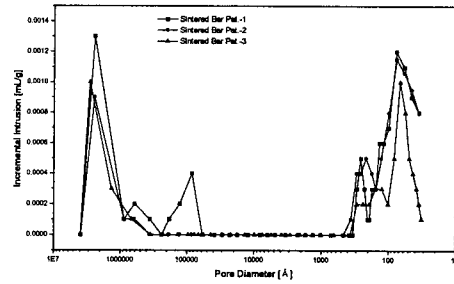
그림 3의 (b)는 소결체의 압력에 따른 수은의 누적 관입량의 결과를 나타내었다. 60,000 psia 압력을 가하여 소결체의 기공 내부로 침입한 수은의 함량을 측정된 결과, 관입된 수은 함량은 pattern-1의 내부전극 구조의 소결체가 0.0103ml/g을 나타내었으며 pattern-2는 0.0092ml/g 그리고 pattern-3은 0.0075ml/g으로 나타났다. 기공율은 pattern-1과 같은 내부전극 구조로 적층된 적층형 압전 변압기가 4.0697%, pattern-2이 2.7132%, pattern-3이 2.5317%로 감소하는 것으로 나타났으며, 이는 적층형 소결체의 치밀화가 증대된 결과인 것으로 판단된다.

특히, pattern-1과 같이 내부에 전극구조가 포획되어 있는 내부전극 구조에서는 소결 후 세라믹스 층에서 delamination이 발생하였다. Pattern-1의 내부전극 구조로 이루어진 적층형 압전 변압기의 경우 delamination 발생으로 인해 소결밀도가 저하하며 기공율 역시 높은 값을 나타내었다. 이러한 delamination은 소결시 밀도가 낮은 세라믹스층과 내부전극으로 사용된 높은 밀도의 AgPd metal과의 shrinkage 차이에 의해 발생하는 것으로 판단된다. 따라서 적층형 압전체의 경우 소자의 단면적 및 크기가 MLC와 비교하여 상당히 크므로 내부전극의 설계 및 바인더 burn-out 조건, 소성 조건 등에 세심한 관심이 기울여져야 한다.

이상과 같은 실험을 통해 pattern-2와 같은 내부전극 구조로 제작된 적층형 압전 변압기는 고가인 Pd의 사용을 최대한 억제함에 따라 단가적인 측면에서 경제성이 우수할 뿐만 아니라 세라믹스 층과 내부전극과의 수축율 차이에 의한 부정합 (mismatching)을 최소화시켜 delamination을 억제할 수 있으며, 또한 내부전극이 대향하지 않는 비활성부르 인한 압전 특성의 열화를 최소화[8]하고 분극시 역전계 형성으로 분극효율을 낮추어 압전 특성에 악영향을 미치는 내부 pore의 형성을 억제시킬 수 있는 유효한 방법임을 확인하였다.



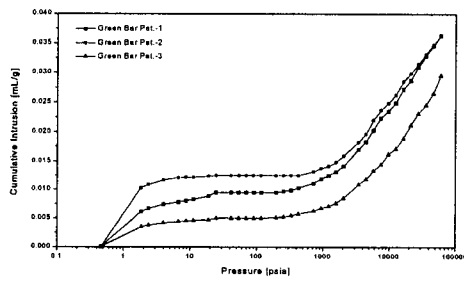
(a) Green body



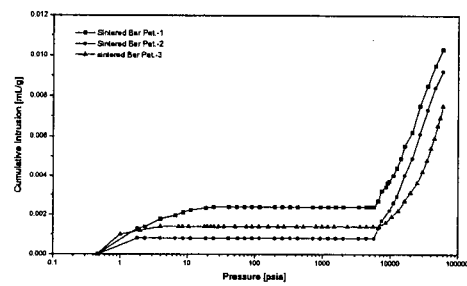
(b) Sintered body

그림 2. 기공 크기에 따른 수은의 관입량.

Fig. 2. Intrusions of mercury according to pore sizes.



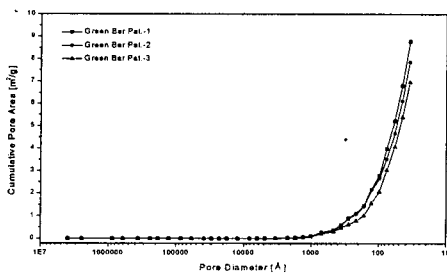
(a) Green body



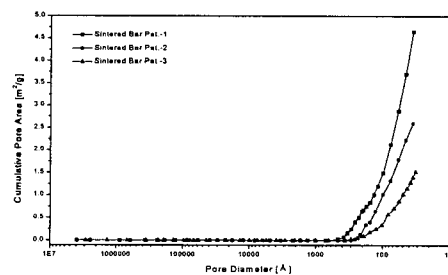
(b) Sintered body

그림 3. 압력에 따른 수은의 누적 관입량.

Fig. 3. Cumulative intrusions of mercury according to pressures.



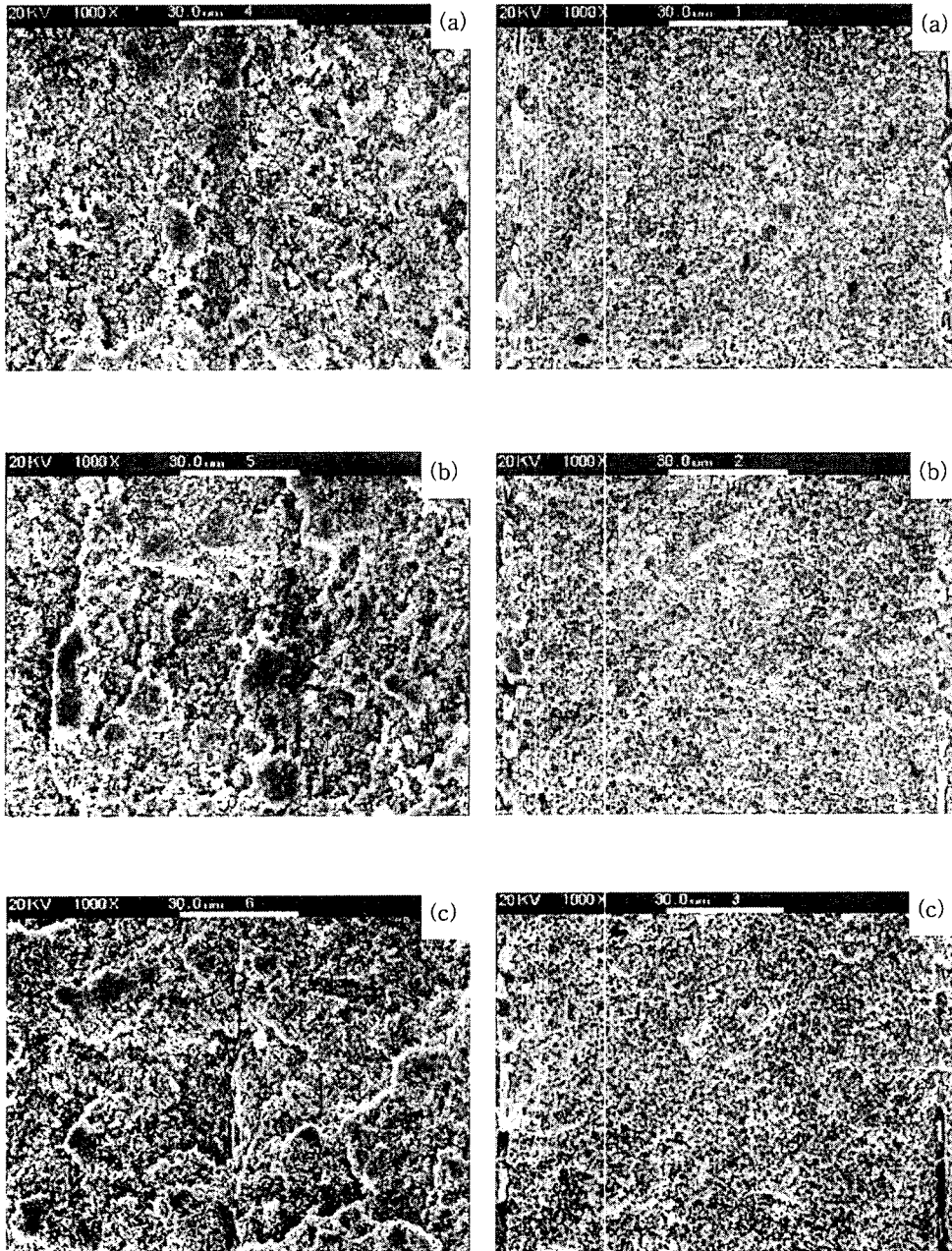
(a) Green body



(b) Sintered body

그림 4. 기공 크기에 따른 누적 기공 면적.

Fig. 4. Cumulative pore areas according to pore sizes.



(1) Green body

(2) Sintered body

사진 1. 내부전극 구조에 따른 (1) 성형체 및 (2) 소성체의 단면사진 ( $\times 1000$ )  
 (a) MLC 형태, (b) 부분전극 형태, (c) 전면전극 형태.

Photo 1. Cross section photographs of (1) green body and (2) sintered body  
 according to internal electrode structure ( $\times 1000$ )  
 (a) MLC type, (b) fingered type, (c) full filled type.

## 4. 결 론

본 연구에서는 PZT-BNW계 세라믹스를 이용하였으며, Doctor Blade 방법을 이용하여 60 $\mu$ m의 두께로 sheet를 casting 하였다. 이후 동일한 조건 하에서 11층 적층한 후 내부전극의 형태를 달리하여 내부전극을 인쇄하였으며 성형체 및 소결체의 기공의 크기, 분포, 그리고 % 기공율을 조사하였다.

내부전극 구조를 달리하여 적층형 압전 변압기의 성형체와 소결체의 특성을 측정한 결과, 적층형 압전 변압기의 내부전극 구조가 MLC 구조, 부분전극 구조 그리고 전면전극 구조로 변화함에 따라 성형밀도는 각각 4.73 g/cm<sup>3</sup>, 4.80 g/cm<sup>3</sup>, 4.82 g/cm<sup>3</sup>를 나타내었으며 성형체의 기공율은 각각 17.3737%, 13.1475%, 12.6121%를 나타내었다.

또한 1100 $^{\circ}$ C에서 3시간 소결한 적층형 압전 변압기의 소결밀도는 내부전극 구조 변화에 따라 각각 7.64 g/cm<sup>3</sup>, 7.75 g/cm<sup>3</sup>, 7.84 g/cm<sup>3</sup>를 나타내었으며 기공율은 4.0697%, 2.7132%, 2.5317%를 나타내었다. 내부전극 구조가 소체내에 포획되어 있는 적층형 압전 변압기는 소결 후 delamination이 발생하였으며 이로 인해 낮은 소결밀도 및 높은 기공율을 나타내었다.

내부전극이 부분적으로 외부로 노출되어 있는 구조를 갖는 적층형 압전 변압기의 경우 세라믹스 층과 내부전극의 접촉계면의 증가로 인해 성형체에서 조대기공이 많이 존재하였으나 소결시 성형체에 존재하던 조대기공이 물질확산 경로를 형성함에 따라 소결이 촉진되어 소결밀도는 향상되었으며 기공율 역시 낮은 값을 나타내었다.

따라서 MLC 구조의 내부전극 구조의 적층형 압전 변압기보다 외부로 인출되어 있는 내부전극 구조, 특히 부분전극 형태의 내부전극을 갖는 적층형 압전 변압기의 경우 단가적인 측면에서 내부전극의 소모량이 상대적으로 작아 경제성이 우수할 뿐만 아니라 전면전극과 유사한 낮은 기공율과 높은 소결밀도로 인해 분극효과의 최대화가 가능하며, 또한 내부전극이 외부로 인출됨에 따라 내부에서 발생하는 열을 효과적으로 방출할 수 있음에 따라 우수한 압전 변압기 출력특성을 나타낼 것으로 기대된다.

## 참고 문헌

- [1] Flat-Panel Display, Nikkei Business Publication Ins. 1998.
- [2] S. Tagami et al., "Development of Piezoelectric Transformer Inverter", NEC TECHNICAL REPORT, Vol. 47, No. 10, pp. 106-110, 1994.
- [3] K. Onedera, "Piezoelectric Transformer Inverter", Tokin Technical Review, Vol. 25, pp. 67-71, 1998.
- [4] 함중걸, 김일남, 백수현, "압전 트랜스포머의 특성 및 기술동향", 전기전자재료학회지, 10권7호, pp.732-736, 1997.
- [5] S. Takahashi, S. Hirose, K. Uchino and K. I. Oh, "Electro-Mechanical Characteristics of Lead - Zirconate - Titanate Ceramics under Vibration Level Change", Proc. 9<sup>TH</sup> IEEE Int. Symp. Application of Ferroelectrics, Penn. State, pp. 377-382, 1995.
- [6] S. Hirose, S. Takahashi, M. Aoyagi and Y. Yamamoto, "High Power Characteristics of Piezoelectric Materials", Proc. 9<sup>TH</sup> IEEE Int. Symp. Application of Ferroelectrics, Penn. State, pp.766-769, 1995.
- [7] In-Ho Im, Hoy-Seung Chung, Dong-Soo Paik, Chang-Yub Park, Jong-Joo Park and Seon-Gi Bae, "Multilayer piezoelectric actuator with AgPd internal electrode", Journal of the European Ceramic Society, Vol. 20, pp. 1011-1015, 2000.
- [8] S. Takahashi, "Multilayer Piezoelectric Ceramic Actuators and Their Application", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.24 supplement 24-4, pp. 41-45, 1996.