

## 고출력 압전트랜스포머용 PNW-PMN-PZT 세라믹스의 제조

### Process에 따른 압전 특성

#### Piezoelectric properties of PNW-PMN-PZT ceramics for High power

#### Piezoelectric transformer with Manufacturing process

황상모\*, 이정선\*, 류주현\*, 박창엽\*, 김종선\*\*, 유충식\*\*

(S. M. Hwang, J. S. Lee, Y. H. Yoo, C. H. Park, J. S. Kim, C. S. Yoo)

#### Abstract

In this paper, we manufactured  $Pb(Ni_{1/2}W_{1/2})O_3-Pb(Mn_{1/3}Nb_{2/3})O_3-Pb(Zr,Ti)O_3$  ceramics with variation of milling time and investigated its dielectric and piezoelectric properties. Density was increased with the increase of milling time because the sinterability of specimens were improved with the decrease of particle size. The highest value of electromechanical coupling factor was 0.518 at milling time 5hour. The highest values of mechanical quality factor and dielectric constant were 1566, 1590 at milling time 4hour, respectively.

**Key Words(중요용어)** : Electro-mechanical coupling factor(전기기계결합계수), Mechanical quality factor(기계적 품질계수)

#### 1. 서 론

20W 이상의 고출력 압전 트랜스포머에 사용되는 압전 세라믹스는 높은 에너지 변환을 위해서 전기기계결합계수가 커야 되며, 발열에 의한 온도상승을 억제하기 위하여 높은 기계적 품질계수[1]가 큰 것이 바람직하다.  $PbTiO_3-PbZrO_3-Pb(Mn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$  3성분계는 적당한 전기기계결합계수 및 매우 높은 기계적 품질계수를 갖고 있다[2]. 따라서, 본 연구에서는  $Pb(Mn_{1/3}Nb_{2/3})O_3-Pb(Zr,Ti)O_3$  3성분계 세라믹스 조성에 저온 소결을 위하여  $Pb(Ni_{1/2}W_{1/2})O_3$ 를 치환한

$Pb(Ni_{1/2}W_{1/2})O_3-Pb(Mn_{1/3}Nb_{2/3})O_3-Pb(Zr,Ti)O_3$ 계 세라믹스를 Attrition milling 시간을 변화시켜 제작하여 그에 대한 제반 미세구조, 유전 및 압전 특성 등을 분석하여 형광등 점등용 고출력 압전트랜스포머로서의 응용가능성을 고찰하고자 한다.

#### 2. 실험

##### 2.1 시편의 제조

본 실험에서는 다음의 조성식으로 산화물 혼합법을 이용하여 시편을 제조하였다.

$Pb(Ni_{1/2}W_{1/2})O_3-Pb(Mn_{1/3}Nb_{2/3})O_3-Pb(Zr,Ti)O_3$  (1) 시료의 정확한 mol 비를  $10^{-4}g$ 까지 평량하여 아세톤을 분산매로 볼밀에서 24시간 혼합 분쇄하였다. 건조된 시료는 알루미늄 도가니로  $850[^\circ C]$ 에서 2시간

\* 세명대학교 전기공학과  
(충북 제천시 신월동 세명대학교, Fax: 043-648-0868  
E-mail : juhyun57@venus.semyung.ac.kr)

\*\* 삼성전기(주) R & D Center

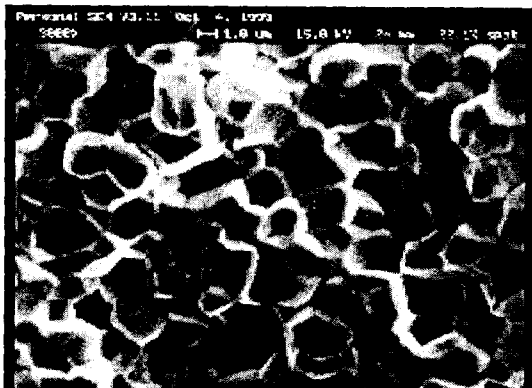
유지하여 하소하였다. 하소가 끝난 시료를 attrition mill을 이용하여 270[rpm]의 회전속도로 1시간~5시간까지 milling 시간의 변화를 주어 재분쇄하였다. 시료를 건조 후 PVA(5wt% 수용액)을 5wt% 첨가하여 1[ton/cm<sup>2</sup>]의 압력으로 성형하였고, 승·하강 온도 구배 300[°C/h]로 1200°C에서 각각 2시간 소성하였다. 소성이 끝난 시편은 연마제를 사용하여 두께 1 [mm]로 연마한 후 Ag 페이스트를 실크스크린법으로 부착하여, 600[°C]에서 10분간 열처리를 하였다. 전극이 형성된 시편에 120[°C] silicon oil에서 30[kV/cm]의 전계를 인가하여 분극하였고, 24시간 경과 후 제 특성을 측정하였다.

## 2.2 특성 측정

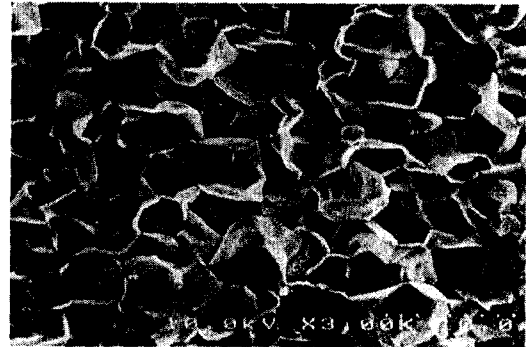
소결된 시편의 milling time 변화에 따른 소결성을 판단하기 위하여 공기 중에서의 질량과 물 속에서의 질량을 측정하여 밀도를 구하였다. milling time에 따른 미세구조를 조사하기 위하여 시편들의 파단면을 주사전자 현미경(SEM)으로 관찰하였다. 유전상수는 LCR meter(ANDO AG-4304)로 1[kHz]에서 정전용량을 측정하여 구하였다. 압전특성을 조사하기 위하여 전기기계결합계수 및 기계적품질계수 등은 IRE 규정[3][4]에 따라 Impedance Analyzer (HP4194A)로 공진 및 반공진 주파수를 측정하여 산출하였다.

## 3. 결과 및 고찰

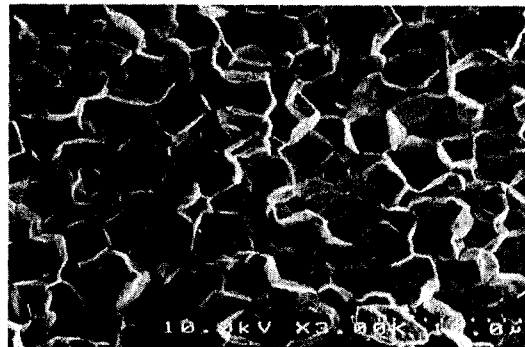
CIP법을 이용하여 소결한 시편과 Attrition milling 시간증가에 따른 미세구조를 관찰한 SEM 사진을 그림 1에 나타내었다.



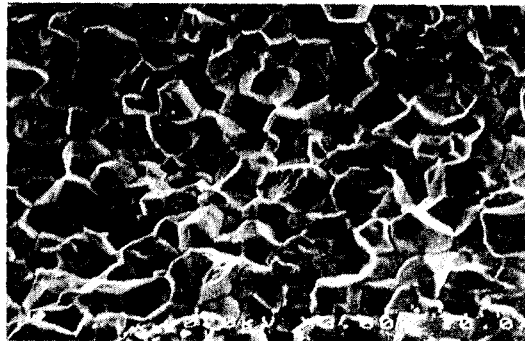
(a) CIP



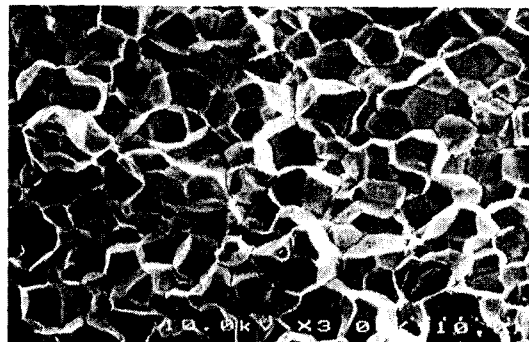
(b) S1



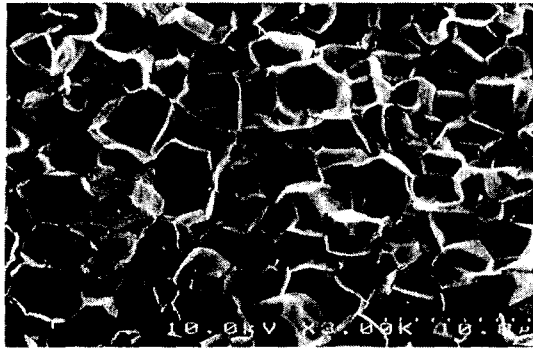
(c) S2



(d) S3



(e) S4



(f) S5

그림 1. Milling 시간에 따른 미세구조(SEM)

Fig. 1. Microstructure (SEM) with milling time

표 1은 milling time에 따른 grain 크기를 나타낸 것이며, 그림 2는 milling time에 따른 밀도의 변화를 나타낸 것이다.

표 1. Milling 시간에 따른 grain 크기

Table 1. Grain size with milling time

	CIP	S1	S2	S3	S4	S5
Grain size [ $\mu\text{m}$ ]	4.09	4.54	4.13	3.92	3.99	4.62

그림 1의 미세구조와 표 1을 보면, milling time의 증가에 따라 그레인 사이즈는 점차 감소하다가 4시간일 때부터 다시 증가하는 경향을 보이고 있다. 그림 2에서의 milling time에 따른 밀도의 변화와 비슷한 경향을 나타내었는데, 그 이유는 milling time이 증가함에 따라 파우더의 입도가 감소하여 소결성이 촉진됨에 따라 점차 밀도 증가 및 그레인 사이즈 감소를 발생시켰으며, 4시간이후에는 다소 감소하는데 이는 소결온도가 다소 높아 PbO 휘발이 원인인 것으로 생각된다.

그림 3은 milling time에 따른 유전상수의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 유전상수는 milling time이 3시간일 때 이외에는 큰 변화를 나타내지 않았다. 또한, milling time이 4시간이었을 때 유전상수가 1590으로 가장 높았다. 고휘력 압전트랜스포머의 요구조건으로서 유전상수가 큰 것이 필요한데, 유전상수가 크면 정전용량이 증가하여 압전트랜스포머의 출력입피턴스를 감소시켜 큰 출력전류를

발생시킬 수 있다.

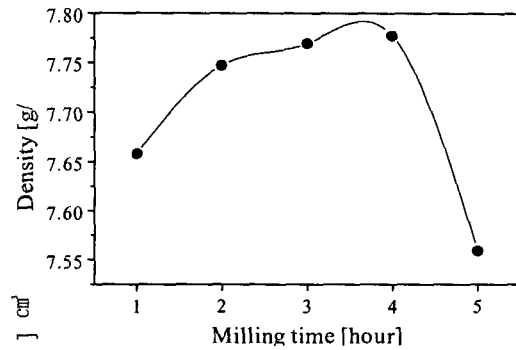


그림 2. milling time에 따른 밀도

Fig. 2. Density with milling time

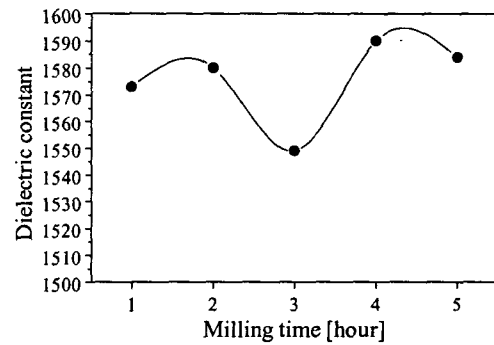


그림 3. Milling 시간 따른 유전상수

Fig. 3. Dielectric constant with milling time

그림 4와 5는 Milling 시간에 따른 전기기계결합 계수  $k_p$ 와 기계적품질계수  $Q_m$ 을 나타낸 것이다.

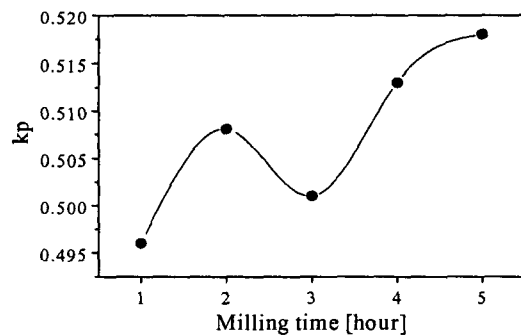


그림 4. Milling 시간 따른 전기기계결합계수  $k_p$

Fig. 4. Electromechanical coupling factor  $k_p$  with milling time

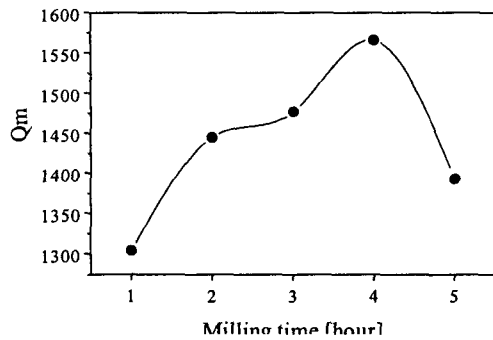


그림 5. Milling 시간 따른 기계적품질계수  $Q_m$   
 Fig. 5. Mechanical quality factor  $Q_m$  with milling time

전기기계결합계수는 milling time의 증가에 따라 소결성 증대로 증가하는 경향을 나타냈으며, 기계적 품질계수는 milling time의 증가에 따라 점차 증가하다가 4시간에서 최대가 되고, 다시 감소하는 경향을 보였다. 기계적 품질계수는 고출력 압전트랜스포머에서 가장 중요한 인자로, 이 값이 높으면 높을수록 발열이 나지 않게 된다. 물론, 대전력 구동 시에는 진동속도의 증가로 기계적품질계수가 저하되지만 소신호에서의 측정값이 1500이상 될 필요가 있다. 본 실험에서 CIP으로 제조하였을 때와 Attrition milling 방법으로 제조하였을 때 CIP방법이 grain 크기를 제외하고는 우수한 특성을 보였으며 Attrition milling 방법으로 제조 시는 4시간 milling하였을 때 기계적품질계수가 1566, 유전상수 1590으로 가장 우수한 특성을 나타내었다.

표 2는 제조된 시편의 각각의 압전 및 유전 특성을 나타낸 것이다.

표 2. PNW-PMN-PZT 세라믹스의 압전 및 유전 특성

Table 2. Piezoelectric and dielectric properties of PNW-PMN-PZT ceramics

Samp. No.	milling time	Density [g/cm <sup>3</sup> ]	dielectric constant	kp	Qm
CIP	ball milling	7.68	1680	0.523	1814
S1	1[h]	7.66	1573	0.496	1304
S2	2[h]	7.75	1580	0.508	1445
S3	3[h]	7.77	1549	0.501	1477
S4	4[h]	7.78	1590	0.513	1566
S5	5[h]	7.56	1584	0.518	1393

#### 4. 결론

$Pb(Ni_{1/2}W_{1/2})O_3-Pb(Mn_{1/3}Nb_{2/3})O_3-Pb(Zr,Ti)O_3$  세라믹스에 Attrition milling 시간을 변화시켜 시편을 제작하였고, 그에 따른 유전 및 압전 특성을 조사하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. milling time이 증가함에 따라 시료의 입도가 감소하여 소결성이 촉진됨에 따라 점차 밀도가 증가하고 있으며, 4시간 이후에는 다소 감소하였다.
2. 전기기계결합계수는 milling time이 5시간인 S5 시편에서 0.518로 가장 높은 값을 나타냈다.
3. 기계적품질계수는 milling time이 4시간인 S4 시편에서 1566으로 가장 높았다.
4. 유전상수는 milling time이 4시간인 S4 시편에서 1590으로 가장 높은 값을 나타내었다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 특정기초연구(과제번호:1999-1-302-004-3)의 연구비로 이루어진 것으로 한국과학재단에 감사드립니다.

#### 참고 문헌

- [1] Juhyun Yoo et al "Electrical Characteristics of the Contour-Vibration -Mode Piezoelectric Transformer with Ring/Dot electrode Area Ratio" Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 39 (2000) pp.2680-2684
- [2] 田中哲郎 外, "壓電セラミックス とその應用", 電波新聞社, pp. 113~116, 1974
- [3] EMAS-6001, 日本 電子材料 工業會, 1977
- [4] EMAS-6003, 日本 電子材料 工業會, 1977