

PNW-PMN-PZT세라믹스를 이용한 윤곽진동모드 압전트랜스포머의 전기적특성

Electrical Characteristics of the Contour-Vibration-Mode Piezoelectric Transformer using PNW-PMN-PZT Ceramics

류주현, 오동언

(Ju Hyun Yoo and Dong On Oh)

Abstract

In this study, microstructural and piezoelectric characteristics of PNW-PMN-PZT ceramics manufactured using attrition milling method were investigated. Sintering temperature of the ceramics was varied from 1080°C to 1240°C. With increasing sintering temperature, dielectric constant increased. In the specimen sintered at 1120°C, electromechanical coupling factor(K_p) and density showed the maximum values of 0.546 and 7.78[g/cm³], respectively. In the specimen sintered at 1160°C, mechanical quality factor(Q_m) also showed the maximum value of 1,943. Contour vibration mode piezoelectric transformer with the size of 27.5×27.5×2.5mm using PNW-PMN-PZT ceramics was manufactured and its driving characteristics for T5 fluorescent lamp was investigated. Taking into consideration temperature rise of 6.8[°C] and efficiency of 98.23%, it can be concluded that the transformer is suitable for driving the T5 fluorescent lamp.

Key Words : Mechanical quality factor, Dielectric constant, Efficiency, Piezoelectric transformer, Fluorescent lamp

1. 서론

전력 소비량이 매년 증가함에 따라 조명 기기의 에너지 절약을 위한 연구 개발이 국내외에서 활발히 진행되고 있다. 오스람등에서는 판의 직경이 가는 형광등 램프(직경16mm)를 14W, 21W, 28W, 35W, 40W까지 개발하였다[1]. 여기서, 점차 판의 직경이 가늘어지는 이유는 램프의 재료량을 감소시키고, 효율을 개선시키기 위한 것으로 이에 대응한 안정기

개발이 시급한 실정이다. 기존의 권선형 트랜스포머를 사용한 안정기는 효율이나, 소형의 한계를 가지고 있다. 이는 전자식 안정기에 페라이트 코어를 사용하여 권선을 감은 타입의 권선형 트랜스포머를 사용하기 때문이다[2]. LCD backlight(냉음극관)구동용으로서 압전 트랜스포머가 실용화된 이래 형광등구동용으로서 활발히 연구가 진행되어왔다. 그러나, 기존의 LCD backlight에 이용되는 Rosen형 압전트랜스포머는[3] 출력 임피던스가 높아 고전압, 소전류를 발생하기 때문에 수백 mA 이상의 높은 전류를 필요로 하는 형광등구동용 압전 트랜스포머로는 적용하기 어렵다. 또한, 형광등 구동용 압전트랜스포머는 고출력으로 구동되기 때문에 높은 입력전압을 인가할 경우 소자에 열이 발생하게 되고 이 열은 승압비의 저하와 공진주파수의 변화 등으로 압전특성을 저하시킨다. 따라서, 고

세명대학교 전기공학과

(제천시 신월동 세명대학교,

Fax: 043-648-0868

E-mail : juhyun57@semyung.ac.kr)

2002년 2월 20일 접수, 2002년 3월 22일 1차 심사 완료

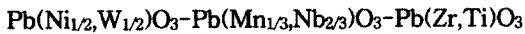
2002년 4월 19일 최종 심사 완료

전력 구동하에 높은 기계적인 강도를 갖는 재료를 제작하여야 한다. 고전력하에서 압전트랜스포머를 구동할 때에 무엇보다도 요구되는 특성은 소자의 그레인을 작게하여 분역에 의한 마찰손실을 줄여야 한다. 또한, 기계적품질계수(Q_m)을 증가시키고, 전기기계결합계수(k_p)를 높게하여 소자의 발열에 의한 온도 상승을 억제하고, 에너지 변환 효율을 증가시켜야 한다[4]. 더불어, 입력되는 전기적 에너지를 증가시키기 위하여 유전상수를 증가시켜, 소자의 정전용량을 크게해야 한다. 본 연구에서는 하소된 분말을 사용하여 attrition milling을 이용하여 미세분말을 만든 다음 소결온도가 유전적, 미세구조적 및 압전적 특성에 미치는 영향을 고찰하여 고효율 압전트랜스포머용 세라믹스의 제조조건을 확립하고자 한다. 더불어, 에너지변환효율을 높이고자 길이방향진동에서의 전기기계결합계수 k₃₁보다 2배로 높은 k_p를 이용한 윤곽진동모드 압전트랜스포머[4,5]를 제작하여 그에 대한 전기적특성 및 T5형광등 구동특성을 조사하여 형광등 구동용 압전트랜스포머로서의 응용가능성을 고찰하고자 한다.

2. 실험

2.1 시편제조

본 실험에서는 다음의 조성식에 의해 산화물 혼합법으로 시편을 제조하였다.



조성에 따른 시료의 정확한 물비를 10⁻⁴g까지 평량하였고, 아세톤을 분산매로 불밀을 사용하여 24시간 동안 혼합 분쇄한 후 건조하였다. 건조된 시료는 알루미늄 도가니로 850 ℃에서 2시간 유지하여 하소하였다. 하소된 시료는 attrition mill을 이용하여 270 rpm의 회전 속도로 4시간 동안 재 분쇄한 후 PVA (5wt% 수용액)을 5wt% 첨가하여 직경 21 mm 물더로 1 ton/cm²의 압력을 가하여 성형하고 승하강 온도 300 ℃/h로 하여 1080 ℃ ~ 1240 ℃ 까지 온도 변화를 주어 2시간 동안 소결하였다. 또한, 하소된 시료를 일반 ball mill을 이용하여 24시간 분쇄하여 1200 ℃ 로 소성을 하여 attrition mill한 시편과 비교하고자 하였다. 시편들은 특성 측정을 위해 두께를 1 mm 로 하여 전극처리를 한 다음 120 ℃ 실리콘유속에서 30 kV/cm 의 전계를 인가하여 분극 처리하였고, 24시간 경과한 후 제 특성을 측정하였다.

표 1. PNW-PMN-PZT 세라믹스.

Table 1. PNW-PMN-PZT ceramics.

Sample No.	Sintering temperature[℃]
S1	1080
S2	1120
S3	1160
S4	1200
S5	1240
Sb	ball mill 1200

미세구조는 시편의 표면을 주사전자 현미경(SEM)으로 관찰하였으며, 시편의 큐리온도는 20~400[℃]의 온도 범위에서 LCR meter(ANDO AG-4304)로 1 kHz에서 정전용량 변화로 측정하였다.

시편의 압전 특성을 조사하기 위하여 전기기계결합계수 및 기계적 품질계수 등과 제작된 압전트랜스포머는 분극 후 24시간 경과 후에 Impedance analyzer(HP 4294)로 주파수에 따른 임피던스, 공진·반공진 주파수 및 제반 등가회로 정수를 측정하였으며, 압전트랜스포머의 유효 전기기계결합계수 k_{eff}, 출력임피던스 Z_{out}, 기계적 품질계수 Q_m'은 다음 식으로 구하였다[4].

$$k_{eff} = \sqrt{\frac{f_a^2 - f_r^2}{f_a^2}} \quad (1)$$

$$Z_{out} = \frac{1}{2\pi f_r C_{out}} \quad (2)$$

$$Q_m' = \frac{1}{2\pi f_r \left[1 - \left(\frac{f_r}{f_a} \right)^2 \right] RC} \quad (3)$$

또한 Power Amp(Trek 50/750)와 실제 제작한 형광등 안정기를 구동 전원으로 사용하여 압전트랜스포머의 전기적 특성 및 T5(28W) 형광등 구동특성을 오실로스코프(Tektronix TDS 3054)와 current probe(Tektronix TCP 202)로 측정하였으며, 온도상승은 비접촉식 적외선 온도계(Raytex MX2)로 측정하였다.

2.2 압전트랜스포머 제작 및 특성측정

PNW-PMN-PZT 세라믹스를 이용하여 CIP법으로 27.5×27.5×2.5mm 크기를 갖는 윤곽진동모드의 장방향 압전트랜스포머를 제조하여 형광등 구동특성

그림 1. Ring-Dot형 압전트랜스포머의 구조.

Fig. 1. Structure of Ring-Dot type piezoelectric transformer.

을 조사하였다.

본 논문에서는 Ring/Dot의 Dot 사이즈를 18mm ϕ 로 하였다.

그림 1은 제작된 압전트랜스포머의 구조이다. 이는 윤곽진동모드의 입,출력 전극 분리형으로 선정하였다. 이 경우 입력과 출력이 원형 전극간격 사이로 절연이 이루어지기 때문에 오동작에 의한 갑작스런 출력측 전류의 상승이 입력부에 귀환되어 구동회로의 손상이 가는 문제를 해결할 수 있다.

여기서, 압전트랜스포머입력은 Function Generator (HP33120A) Power Amplifier(Trek- 50/750)을 이용하였으며, 입,출력전류 전압은 오실로스코(Tektronix TDS3032) 전류프로브(TDS302)를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 미세구조 및 압전특성

본 실험에서는 소결온도를 하강시키고, 그레인 사이즈를 줄이기 위해서 하소된 시료를 attrition mill을 사용하여 4시간 분쇄시켜 시편을 제작하였다. attrition mill를 사용하면 하소된 분말의 입도를 미세하게할 수 있어, 분말의 비표면적이 증가하게 된다. 증가된 비표면적에 의하여 반응을 촉진시키게 되기 때문에 낮은 온도에서에서 소결할 수 있게 된다.

그림 2는 소성온도에 따른 미세구조(SEM) 변화를 나타낸 것이다. 미세구조를 관찰한 결과, 그레인 성장에 필요한 열에너지를 흡수하여 소성온도의 증가

그림 2. 소성온도에 따른 미세구조(SEM).

Fig. 2. Microstructure with sintering temperature.

에 따라 그레인 사이즈는 점차 증가함을 알 수 있었다. 여기서, 그림 2에서 (a), (b)는 10,000배, (c)는 5,000배이다. 그림 3은 소성온도에 따른 밀도의 변화를 나타낸 것이다. 온도가 높아질수록 밀도가 증가하다가 1160 $^{\circ}$ C에서부터는 낮아지는 경향을 보인다. 이는 과소성시에 PbO휘발에 의한 효과로 생각된다.

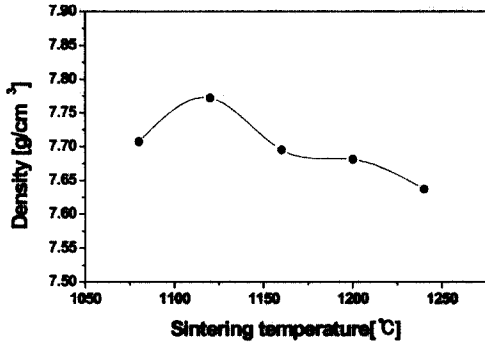


그림 3. 소성온도에 따른 밀도.
Fig. 3. Density with sintering temperature.

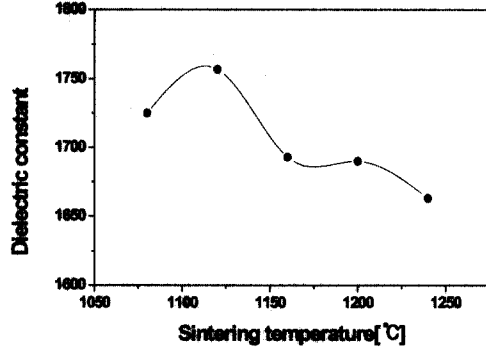


그림 5. 소성온도에 따른 유전상수.
Fig. 5. Dielectric constant with sintering temperature.

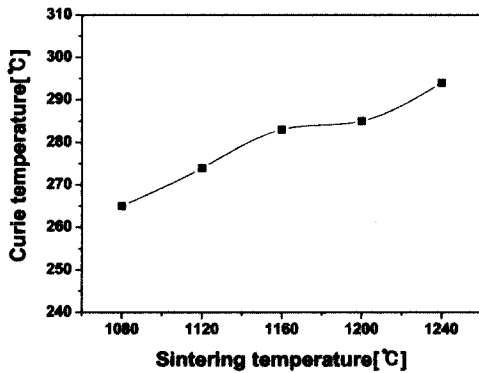


그림 4. 소성온도에 따른 큐리온도.
Fig. 4. Curie temperature with sintering temperature.

표 2. 소성온도 따른 시편의 물성 및 압전 특성.
Table 2. Physical and piezoelectric characteristics with sintering temperature.

No.	K_p	Q_m	Dielectric constant	Density [g/cm ³]	Grain size [μm]
S1	0.536	1389	1725	7.71	2.7
S2	0.546	1511	1757	7.77	3.1
S3	0.540	1943	1693	7.69	3.4
S4	0.535	1547	1697	7.68	4.5
S5	0.529	1415	1663	7.63	4.7
Sb	0.523	1814	1680	7.68	4.09

그림 4는 소성온도에 따른 큐리온도를 나타낸 것이다. 소성온도가 증가함에 따라 큐리온도는 약간씩 증가하였다. 이는 소성온도의 증가에 따라 PbO의 휘발이 증가하여 조성 변동에 의한 정방성이 증가하기 때문으로 생각된다[6]. 그림 6은 소성온도에 따른 유전상수를 나타낸 것이다. 소성온도 1120°C일 때 유전상수가 1760으로 가장 큰 값을 나타내었으며, 그 이후에는 점차 감소하였다. 이는 과소성시에 PbO 휘발에 의한 효과로 밀도의 하락과 더불어 저 유전율층인 기공이 증가하여 압전 성능이 떨어지기 때문이다. 그림 6은 소성온도에 따른 전기기계결합계수(k_p)를 나타낸 것이다. 1120°C에서 역시 최대값을 보였으며, 이는 소결성의 척도를 나타내는 밀도와 거의 유사한 경향을 나타냈다. 이 역시, 과소성시에 PbO 휘발에 의한 효과로 생각된다.

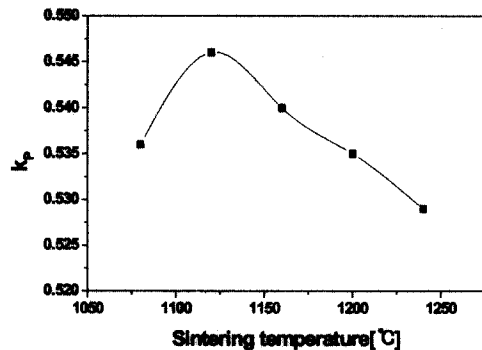


그림 6. 소성온도에 따른 전기기계결합계수(k_p).
Fig. 6. Electro-mechanical coupling factor with sintering temperature.

그림 7은 소성온도에 따른 기계적 품질계수 (Q_m) 나타낸 것이다. 전기기계결합계수와 밀도의 최대보다 약간 높은 1160℃일 때에 최대를 나타내었다.

이는 소결 온도가 증가함에 따라 정방성이 약간 증가하는 원인으로 생각된다. 1200℃ 이후에는 과소성과 PbO 휘발에 의한 소결성저하로서 밀도가 감소하여 기계적품질계수가 저하한 것으로 생각된다. 따라서, 본 연구 결과 1160℃ 제조된 시편이 밀도 7.69g/cm³, 전기기계 결합계수 0.540, 유전상수 1693, 기계적 품질계수 1943 그레인 사이즈 3.4 μm를 고려하여, 고효율 압전트랜스포머용 세라믹스로서의 가장 적절한 특성을 나타내었다.

표 2는 위의 결과를 표로 정리한 것이다. 일반 ball mill로 제조된 시편은 Sb로 나타내어 attrition mill로 제조된 시편과 비교하였다. attrition mill을 이용하여 1160℃로 제조된 시편이 일반 ball mill로 1200℃로

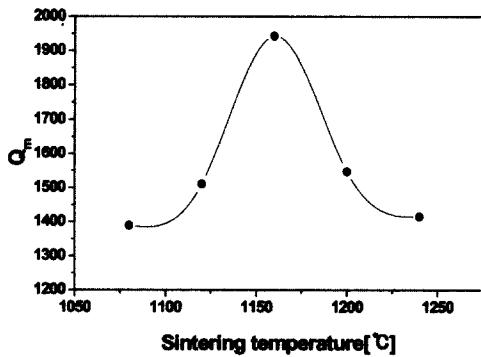


그림 7. 소성온도에 따른 기계적 품질계수(Q_m).
Fig. 7. Mechanical quality factor with sintering temperature.

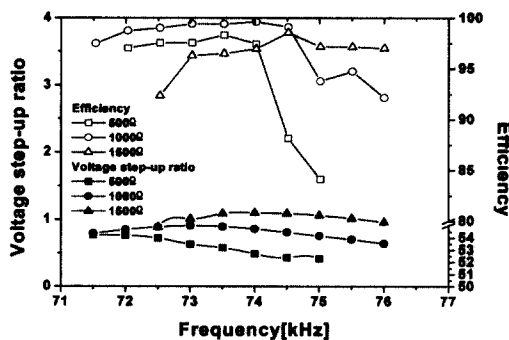
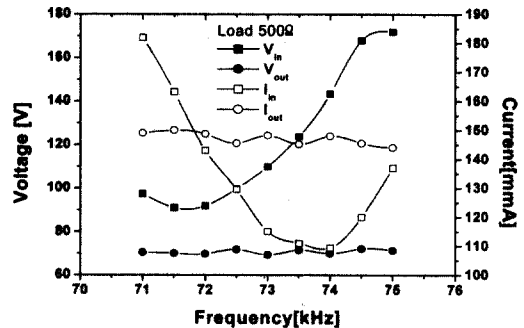


그림 8. 주파수 및 부하저항에 따른 승압비 및 효율.
Fig. 8. Voltage step-up ratio and efficiency as a function of load resistance & frequency.

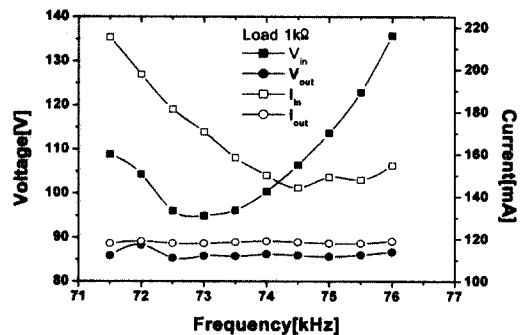
제조된 시편보다 그레인크기도 작고, k_p, Q_m 특성에서 우수한 특성을 보여, attrition mill을 이용하는 방법이 소결온도의 감소와 더불어 압전특성을 향상시킴을 확인하였다.

3.2 압전트랜스포머의 전기적 특성

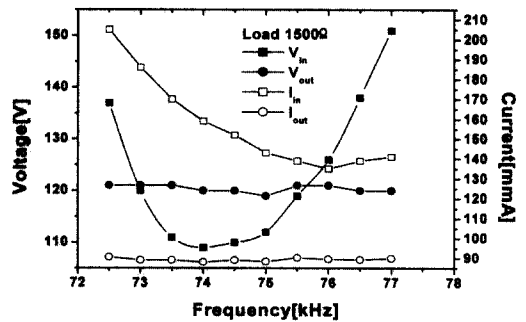
그림 8은 주파수 및 부하저항에 따른 압전트랜스포



(a) 500.Ω



(b) 1000.Ω



(c) 1500.Ω

그림 9. 주파수 및 부하저항에 따른 입력출력전류전압.
Fig. 9. Input and output voltage, current as a function of load resistance & frequency.

머의 승압비 및 효율특성을 나타낸 것이다. 출력전력을 10 W로 일정하게 유지한 상태에서 측정을 하였다. 그림에서 알 수 있듯이 최대승압비를 나타내는 주파수와 최대효율을 나타내는 주파수는 일치하지 않았다. 최대효율을 나타내는 주파수는 공진과 반공진주파수사이였으며, 부하저항이 증가함에 따라 최대승압비를 나타내는 주파수는 점차 주파수가 높은 쪽으로 이동함을 알 수 있었다. 효율은 공진주파수 근방에서 95%이상의 높은 효율을 나타냈으며, 500 Ω에서는 압전트랜스포머의 출력임피던스와 많은 차이를 나타내어 74.5 kHz이후에서 급격히 효율이 하강하였다. 또한, 이 측정치들은 출력전력을 10 W로 고정시켜 측정한 것이기 때문에, 출력전력을 증가시키면 물론 압전트랜스포머 소자의 열발생에 의한 손실의 증가로서 효율은 다소 감소하게 된다.

그림 9는 주파수 및 부하저항에 따른 입,출력전류 전압특성을 나타낸 것이다. 입력전압이 최소가 되는 주파수는 공진주파수이고, 입력전류가 최소가 되는 주파수는 반공진주파수이다. 이 역시 출력전력을 10W로 일정유지하여 측정하였다. 출력전류와 전압은 출력전력을 일정하게 유지하였기 때문에 주파수 변화에 따라 일정함을 알 수 있다. 또한, 부하저항이 증가함에 따라 공진 반공진주파수가 증가함을 알 수 있었다. 이 데이터는 실제로 부하저항을 연결하였을 때의 공진 및 반공진주파수를 알 수 있는 결과로서, 출력전력을 더욱 증가시켰을 때는 압전트랜스포머의 손실의 증가로서 공진 및 반공진주파수가 다소 변하게 된다.

표 3은 제작된 압전트랜스포머의 무부하에서의 특성이다. 입력부의 유효전기기계결합계수가 0.26, 기계적품질계수 700를 나타내어 윤곽진동을 유기하기에 충분한 값을 나타내었다.

그림 10은 부하저항변화와 출력전력변화에 따른 온도상승을 나타낸 것이다. 24분 경과후에 측정을 하였으며, 출력전력을 증가함에 따라 온도상승은 증가하였으며, 다만 상승곡선이 비선형곡선을 나타냄을

표 3. 제작된 압전트랜스포머의 특성.

Table 3. Characteristic of piezoelectric transformer.

	f_d [kHz]	f_{in} [kHz]	Z_0 [Ω]	Z_{in} [Ω]	C [nF]	Q_m	k_{eff}	Z_{out} [Ω]
Input	76.89	79.7	18.2	78.07	2.346	700	0.26	—
Output	72.8	79.7	9.12	319.4	1.567	915	0.41	1350±50

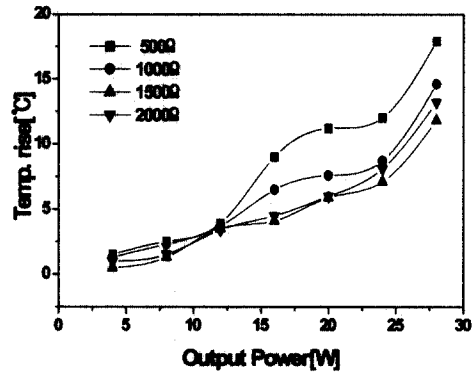


그림 10. 부하저항 및 출력전력에 따른 온도상승.

Fig. 10. Temperature increase as a function of output power.

표 4. 압전트랜스포머의 형광등 구동 특성.

Table 4. Driving characteristic of piezoelectric transformer.

f_d [kHz]	V_{in} [V]	I_{in} [mA]	P_{in} [W]	V_{out} [V]	I_{out} [mA]	P_{out} [W]	η [%]	ΔT [°C]
76.84	197	257	29.38	198	154	28.86	98.23	6.8

알 수 있었다. 이에 대한 결과에 대해서는 더욱 분석이 필요하다. 모든 부하저항에서 28W구동시에 온도상승이 20℃이내로서 28W사용시 안정적인을 나타내었다. 부하저항 1500 Ω에서 가장 작은 온도상승을 나타내었다. 이는 압전트랜스포머의 출력임피던스가 약 1350±50Ω 이기 때문에 부하저항과 압전트랜스포머의 출력임피던스의 매칭효과로 생각된다. 표4는 28W T5형광등을 연결하여 구동할때의 전기적특성을 나타낸 것이다.

제작된 압전트랜스포머는 출력전력 28.26W에서 효율 98.23%, 온도상승 6.8 ℃로 형광등을 구동하기에 적합한 특성을 나타내었다.

4. 결론

본 연구에서는 Pb(Ni_{1/2},W_{1/2})O₃-Pb(Mn_{1/3},Nb_{2/3})O₃-Pb(Zr,Ti)O₃ 세라믹스를 attrition milling 방법을 이용하여 제작하여, 미세구조, 유전 및 압전 특성 등을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 소성온도를 증가시킴에 따라 그레인 사이즈는 점차 증가하였다.
2. 밀도와 전기기계 결합계수는 1120℃ 시편에 7.77g/cm³, 0.546으로 가장 큰 값을 나타내었다.
3. 기계적 품질계수는 1160℃ 제조된 시편에서 1943 가장 큰 값을 나타내었다.
4. 1160℃ 제조된 시편이 밀도 7.69g/cm³, 전기기계 결합계수 0.540, 유전상수 1693, 기계적 품질계수 1943 그레인 사이즈 3.4 μm를 고려하여, 고출력 압전트랜스포머용 세라믹스로서의 가장 적절한 특성을 나타내었다.

또한, PNW-PMN-PZT 세라믹스를 이용하여 CIP 법으로 27.5×27.5×2.5mm 크기를 갖는 장방형 압전트랜스포머를 제조하여 형광등 구동특성을 조사하였다. 실험으로부터 얻어진 결과는 다음과 같다.

5. 부하저항이 증가함에 따라 최대승압비를 나타내는 주파수는 점차 고주파측으로 이동해감을 알 수 있었다.
6. 압전트랜스포머의 부하저항이 1.5 kΩ 에서 출력 전력 증가에 따라서 최소 온도상승을 나타내었다.
7. 압전트랜스포머가 출력전력 28.26 W에서 효율 98.23%, 온도상승 6.8[℃]로 형광등을 구동하기에 적합한 특성을 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 1999년도 과학재단 특정기초연구과제 (과제번호 : R01-1999-00209)로 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] J. H. Yoo, Y. W. Lee, K. H. Yoon, C. S. Yoo, and J. S. Kim, "Electrical characteristics of the contour-vibration-mode piezoelectric transformer with ring/dot electrode area ratio", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 39, p. 2680, 2000.
- [2] S. Kawashima, O. Ohnishi, H. Hakamata, S. Tagami, A. Fukuoka, T. Inoue, and S. Hirose, "Third order longitudinal mode piezoelectric ceramic transformer and its a-

pplication to high-voltage power inverter", Proc.1. Int. IEEE Ultrasonic Symp., p. 525, 1994.

- [3] 이동균, 윤석진, 김현재, 안형근, 한득영, "PMS-PZT, PMN-PZT계 세라믹스를 이용한 압전트랜스포머의 특성", 전기전자재료학회논문지, 13권, 3호, p. 220, 2000.
- [4] 황상모, 류주현, 황락훈, 김주래, 홍재일, 박창엽, 김종선, "압전트랜스포머를 이용한 T5(28W)형 광등 안정기회로의 전기적특성", 전기전자재료학회논문지, 14권, 9호, p. 736, 2001.
- [5] 이용우, 류주현, 윤광희, 정희승, 서성재, 김종선, "PSN-PZT계 세라믹스를 이용한 고출력 압전트랜스포머의 전기적 특성", 전기전자재료학회논문지, 13권, 4호, p. 286, 2000.
- [6] J. H. Yoo, S. K. Min, J. I. Hong, S. J. Suh, and S. C. Ur, "Microstructural and Piezoelectric characteristics of PSN-PMN-PZT Ceramics Produced by Attrition Milling", Trans. on EEM, Vol. 2, No. 3, p. 18, 2001.