

PMS-PZT계 압전재료의 분극공정에 대한 연구

김현식, 김종영*, 허정섭, 이해연, 오영우*, 박혜영**
(주)매트론 기술연구소, 경남대학교, 경성대학교**

Research on the Polarization Procedure Using PMS-PZT Piezoelectric Materials

H. S. Kim, J. R. Kim*, J. S. Huh, H. Y. Lee, Y. W. Oh*, H. Y. Park**
Matron Corp R&D Center, Kyung-Nam Uni., Kyung-Sung Uni.**

Abstract - 압전재료의 분극공정에서 제어되는 인가전압, 유지시간 및 온도 변수들에 대한 최적의 조건을 확립하기 위해 Rosen형 압전 변압기를 설계 및 제조하여 특성분석 하였다. 분극처리를 위한 분극전계, 온도, 유지시간 등의 외부 에너지가 증가할수록 쉽게 분극되어 포화현상이 나타났으며, 140℃ 이상의 온도에서 4 kV/mm의 분극전계로 3분 이상 분극시키면 최대 전압이득을 얻을 수 있다. 또한 부하저항이 증가할수록 공진주파수는 고주파 방향으로 이동하며, 공진전류가 증가하여 전압이득이 증가하였다.

1. 서 론

압전변압기(Piezoelectric Transformer)는 구동부에 고유 공진주파수를 인가하면 전왜-압전효과에 의해서 발전부에 높은 전압이 유기된다^[1]. 이 압전변압기의 응용형태는 여러 가지가 있으나, 일반적으로 Rosen Type이 가장 실용적인 것으로 알려져 있다. 이 압전변압기의 에너지변환 특성은 PZT계열의 원료 특성에 원천적으로 지배된다. 즉, 압전변압기에 사용되는 압전재료는 전기-기계 결합계수(k_p)와, 전기기계 변환 과정에서 에너지 손실에 대한 척도가 되는 기계적 품질계수(Q_m)가 커야 한다^[2].

그러나 이와 같은 조건을 충족하는 원료를 사용하더라도 제조공정에서 정밀하게 제어되지 않으면 원료자체의 압전-전왜 특성을 발휘하지 못한다. 특히 분극(Polarization) 과정에서 인가전압과 유지시간 및 온도 등의 변수들에 대한 조건이 확립되어야 원료자체의 특성이 발휘될 뿐만 아니라, 되도록 낮은 인가전압과 유지시간 및 온도 조건을 확립해야만 제조단가의 상승을 방지할 수 있다.

폴링은 180°의 도메인과 90°의 도메인이 회전하여 전압이 제거되어도 스핀의 배열이 그대로 유지되어야 하는데, 높은 전압에서 재료가 파괴될 수 있으므로 최소의 전압과 시간으로 최상의 분극이 이루어지도록 유도해야 한다^[3,4]. 일반적인 PZT계 압전재료의 폴링조건은 110℃ 내외의 온도에서 3 kV/mm의 전압으로 약 30분간 유지하는 것으로 알려져 있는데, 30분의 유지시간은 생산성을 저하시키는 주된 요인으로 작용하고 있고, 원료자체의 압전특성이 발휘되지 않는 경우가 종종 발생하고 있다.

따라서 본 연구에서는 일반적으로 압전변압기용으로 가장 많이 이용되고 있는 PMS-PZT계 원료를 Rosen형의 압전변압기를 제조하여 폴링공정에서 제어되는 인가전압, 유지시간 및 온도 변수들에 대한 최적의 조건을 확립함으로써 우수한 특성과 제조단가의 저하 및 생산성을 증대시킬 수 있는 조건을 확립하고자 한다.

2. 실험 방법

압전재료의 폴링조건 확립을 위한 각 변수들에 대한 분석을 위해 PMS-PZT계 압전 원료를 사용하였다. 사용된 원료는 1500의 기계적 품질계수(Q_m)와 0.6의 전기-기계 결합계수(k_p)를 가지는 원료이다. 본 연구에서 제조된 압전변압기의 샘플은 파립화된 원료를 1.5 ton/cm²의 압력으로 가압성형하고 1180℃에서 2시간 동안 소성하였다.

그리고 일반적인 압전변압기의 설계수식을 사용하여 압전변압기를 설계하였으며, 설계결과를 토대로 10×3×1 mm³의 크기로 가공하였다. 가공된 소결체는 Rosen형 변압기의 형태로 Ag전극을 실크 스크린법으로 인쇄하였으며, 700℃에서 30분간 열처리하였다.

분극 처리된 압전 소결체는 단자에 의한 진동이나 응력으로 인한 진동의 감쇄를 방지하기 위해 직경 0.1mm의 동선을 사용하여 단자를 인출하였고, 전기절연특성이 우수한 실리콘 오일 내에서 분극처리 하였다. 이때 실리콘 오일의 온도는 110~150℃ 범위로 10℃ 단위로 변화시켰으며, 인가전압은 3~5 kV/mm 범위에서 변화시켰으며, 폴링전압에서 1~10분 동안 유지시키며 분극처리 하였다.

분극 처리된 압전변압기는 공진특성, 정전용량, 임피던스, 전압이득 등에 대한 특성을 분석하였으며, 이 때 Impedance Analyzer(Agilent, 4294A)를 이용하여 공진주파수특성, 임피던스 등에 대해 관찰하였고, 파형발생기(Agilent, 33120A)와 오실로스코프(Agilent, 54622D)를 이용하여 전압이득 특성과 출력 파형을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 분극처리 시간과 온도에 따른 전기-기계 결합계수(k_p)의 변화를 나타낸 것으로서, 온도가 증가할수록 최대 k_p 에 이르는 시간이 감소하였다. 절연유의 온도가 150℃에서 3분의 유지시간만으로 전기기계 결합계수는 포화점에 이르렀다. 이후 포화 시간은 점점 증가하여 110℃에서는 10분 이내에 포화점이 나타나지 않았다. 이것은 일반적인 PZT계 원료의 폴링시간이 110℃ 내외에서 약 30분이라는 기존의 보고와 부합하는 결과라고 할 수 있다. 그리고 최대값의 k_p 는 약 0.52로 나타났는데 0.6의 k_p 를 가지는 원료를 사용한 것을 감안했을 때 k_p 가 감소한 것을 알 수 있다. 이는 성형 및 소성공정에서 발생하는 재료결함과 분극 시 90° 도메인이 재배열될 때 발생하는 미세결함 및 손실로 인해 에너지의 흡수와 탄성파의 분산이 발생하여^[5] 경진동 모드의 전기-기계 결합계수를 감소시켰기 때문으로 판단된다.

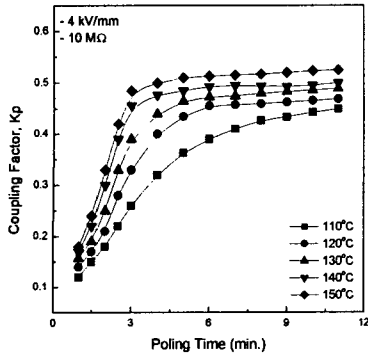


그림 1. 폴링시간에 따른 전기-기계 결합계수

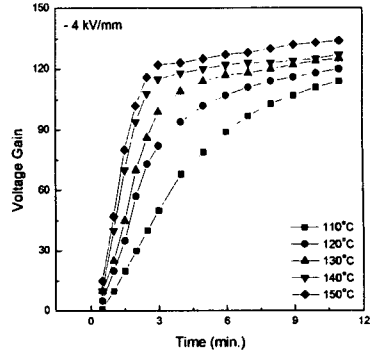


그림 3. 유지시간에 따른 전압이득

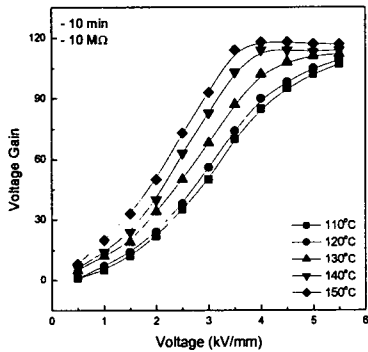


그림 2. 분극전계에 따른 전압이득

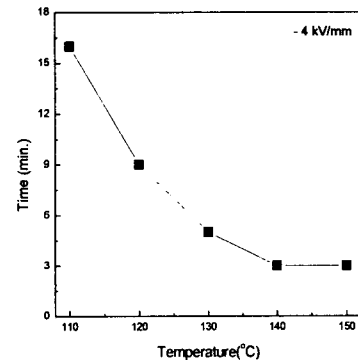


그림 4. 온도에 따른 출력전압의 포화 시간

그림 2는 분극전계에 따라 10분 동안 분극처리하여 전압이득을 폴링처리 온도에 대해 나타낸 것이다. 분극전계가 증가할수록 전압이득은 증가하여 일정 전계 이상에서는 포화되어 변화하지 않았다. 130 °C의 분극처리 온도에서 포화전계는 5.5 kV/mm이었고, 140 °C, 150 °C에서는 4 kV/mm이었다. 반면 분극처리 온도가 120 °C 이하에서는 포화점이 나타나지 않아 분극전계가 아무리 높더라도 10분의 시간으로는 포화되지 않음을 알 수 있다. 이것은 압전재료의 분극처리는 분극전계 또는 온도 등의 외부 에너지가 증가함에 따라 90° 도메인의 재배열 비율이 증가함으로써 전기-기계 결합계수가 증가하여 전압이득이 증가하는데 이와 같은 결과를 나타내는 것이다.

그림 3과 그림 4는 그림 2의 결과로 얻은 4 kV/mm의 분극전계에서 유지시간에 따른 전압이득과 이때 최대의 전압이득을 나타내는 유지시간을 온도에 따라 각각 도시한 그림으로서, 분극전계에서의 유지시간과 온도가 증가함에 따라 전압이득은 증가하였다. 그리고 110 °C에서는 그림 2와 같이 전압이득의 포화점이 나타나지 않았고, 140~150 °C에서는 3분의 유지시간으로 전압이득은 포화되어 그 이후에는 일정한 경향을 나타내었다. 이것은 그림 1과 그림 2의 결과와 일치하는 결과라고 할 수 있으며, 140 °C 이상의 온도에서 4 kV/mm의 분극전계로 3분간 처리하면 압전재료의 압전상수와 전압이득의 최대값을 얻을 수 있어 최대의 특성 발현과 생산성 향상을 동시에 달성할 수 있을 것으로 보인다.

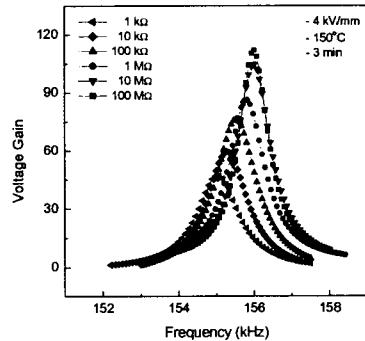


그림 5. 부하저항에 따른 전압이득과 공진주파수 변화

그림 5는 150°C에서 4 kV/mm로 3분간 분극처리 한 압전변압기의 부하저항에 따른 전압이득을 나타낸 것으로서, 부하저항이 증가함에 따라 전압이득과 공진주파수가 증가하였다. 이것은 부하의 증가에 따라 공진 시의 임피던스가 감소하고, 반공진 시의 임피던스는 증가하여 공진과 반공진주파수 사이에 나타나는 위상차는 +90°로 이동하면서 공진주파수는 고주파 방향으로 이동하게 된 것이다⁶⁾. 그리고 전압이득은 입력전류와 공진전류에 비례하여 증가하고, 공진전류는 공진주파수로 이동할수록 증가하여 공진주파수에서 최대에 이른다.

따라서 부하저항이 증가할수록 공진임피던스가 감소하여 공진 전류는 증가하게 되어 전압이득은 증가하게 되는 것이다. 이와 같이 부하저항에 따라 공진주파수와 전압이득이 변하므로 압전변압기 구동회로는 출력측의 전압을 feedback 시켜서 공진주파수를 안정화시키는 발진기가 요구된다.

4. 결 론

압전변압기 및 압전소자의 폴링공정에서 제어되는 인가전압, 유지시간 및 온도 변수들에 대한 최적화를 유도하기 위한 본 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 제조공정에서 나타난 결함과 분극 시 90°의 도메인이 재배열될 때 발생하는 미세결함 및 손실로 인해 에너지의 흡수와 탄성파의 분산이 발생하여 경진동 모드의 전기기계 결합계수가 감소하였다.
2. 압전재료는 분극전계, 온도 및 유지시간 등의 외부 에너지가 증가함에 따라 90° 도메인의 재배열 비율이 증가하여 전압이득은 증가한다. 하지만 일정 에너지 이상에서는 전압이득이 포화되는데, 140 °C 이상의 온도에서 4 kV/mm의 분극전계로 3분 이상 분극시키면 최대 전압이득을 얻을 수 있다.
3. 부하저항이 증가할수록 공진과 반공진주파수 사이에 나타나는 위상차는 +90°로 이동하면서 공진주파수는 고주파 방향으로 이동하며, 공진임피던스의 감소로 공진전류는 증가하게 되어 전압이득은 증가하게 된다.
4. 10×3×1 mm³ 크기의 Rosen형 압전변압기는 140 °C에서 4 kV/mm의 분극전계로 3분 동안 분극처리하여, 10 MΩ의 부하저항 하에서 약 100배 이상의 전압이득을 얻을 수 있었다. 그리고 이 전압이득은 입력전류와 공진임피던스의 제어로 증가시킬 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] 정수태, 최상수, 조상희, "장방형 압전 세라믹 변압기의 전극형상이 전기적특성에 미치는 영향", 전기전자재료학회지, 10권 6호, p562-568, 1997
- [2] 이동균, 윤석진, 김현재, 안형근, "PMS-PZT, PMN-PZT계 세라믹스를 이용한 압전변압기의 특성", 전기전자재료학회지, 13권 3호, p220-225, 2000
- [3] M. Sayer, B.A. Judd, K. El-Assal, E. Prasad, "Poling of Piezoelectric Ceramics", Journal of the Canadian Ceramic Society, vol.50, 1981
- [4] Hoy Seung Jeong, Byung Cheul Chol, In-Ho Im, Chang Yup Park, "Parallel Driving of Piezoelectric Transformers", Japanese Journal of Applied Physics, vol.38 No.9A, p5166-5169, 1999
- [5] 임인호, 김성진, 이수호, 홍재일, 류주현, "DC DC 컨버터용 압전세라믹의 분극전계에 의한 전기적 특성", 전기전자재료학회지, 12권 12호, p1133-1138, 1999
- [6] 정수태, 조상희, "적층 압전 변압기의 전기적 특성", 전기전자 재료학회지, 9권 2호, p138-145, 1996