압전트랜스포머의 기술동향

류주현, 오동언, 박창엽, 홍재일*
세명대학교, 동서울대학*

The Development Trend of Piezoelectric Transformers

Juhyun Yoo, Dongon Oh, Changyub Park and Jaeli Hong*
Semyung Uni., Dongseoul College*

1. 서 론

1957년 Rosen[1]이 $BaTiO_3$ 세라믹스를 이용하여 압전트랜스포머를 개발한 이래 이를 TV 수신기등의 고압전원 인버터로서 이용하려했으나 낮은 전기기계결합계수 및 낮은 기계적품질계수와 더불어 승압비가 낮아 그 응용이 어려웠다. 그러나 Clevite사의 Jaffe[2]에 의해 높은 전기기계결합계수, 적당한 온도특성과 품질계수를 가지는 2성분계 PZT 세라믹스가 개발되었으며, 이후에 PZT에 PMN, PSN등을 첨가한 3성분계 세라믹스로 화학적으로 개량이 미국, 일본 등에서 많이 이루어져 고강도, 고밀도 및 높은 압전특성을 갖는 재료개발이 가능하게 되었다.

압전트랜스포머가 본격적으로 실용화가 이루어진 것은 일본 NEC에서 1990년대 중반 LCD(liquid crystal display) 의 back-light inverter 에 채택하기 시작한 때부터이다.[3] 이후에 현재까지 압전트랜스포머에 관한 연구는 LCD back-light용 inverter, 형광등용 ballast, DC-DC converter, 오존발생장치, adaptor등 여러 가지 응용 목적에 따라 진행되고 있다. 압전트랜스포머가 이와 같이 많은 분야에 응용이 가능한 것은 다음과 같은 장점이 있기 때문이다. 첫째로 경량화, 소형화가 가능하다. 둘째로 고효율(90%이상)을 가진다. 셋째 저가격화가 가능하며 또한 고주파에 의한 잡음이 없다. 그 외로 불연성, 가공의 용이성, 형태변화에 따른 다양한 응용가능성을 가진다. 표1에 권선형 트랜스포머와 압전트랜스포머의 특징을 비교하였다.

표 1. 권선형 과 압전 트랜스포머의 비교

	권선형 트랜스포머	압전 트랜스포머
원리	전자유도	압전 전왜효과
주파수 특성	모든주파수에 동작	공진주파수에서만 동작
승압비	수십배	수백~수천
출력전압	고출력 가능	고전압, 저전류에 적당
전압변동	양호	나쁨
출력파형	입력파형에 준함	정현파
손실	발열및 고주파 손실	발열, 초음파및 음향손실
지지의 안정성	안정	불안정
연소성	과전류시 연소 위험	없음
부피, 무게	크고 무거움	소형, 경량

본 보고에서는 최근에 주목받고 있는 압전트랜스포머의 응용분야와 특성, 기술동향에 대하여 논하고자 한다.

2. 압전트랜스포머에 요구되는 특성

$BaTiO_3$에서 압전성이 발견된 후 이를 여러 분야로 응용하려 했으나 온도특성, 경시변화, 압전특성 등의 이유로 그 응용이 어려웠다. 그러나 B. Jaffe에 의해 개발된 PZT는 $PbTiO_3$와 $PbZrO_3$의 MPB(morphotropic phase boundary) 부근에서 강한 압전성, 유전성을 가지며 또한 경시변화, 상전이점 등이 우수하여 이 2성분계에 화학적 개량을 통하여 3성분계, 4성분계등의 복합 Perovskite 구

조로 연구되고 있다.

Rosen형 압전트랜스포머의 승압비는 다음과 같이 표현할수 있으며, $V_o/V_i = 4/\pi^2 K_{31} K_{33} Qm\ (l/t)$ (여기서 l/t 압전트랜스의 두께와 길이의 비이다). 이식에서 알 수 있는 것처럼 승압비를 증가시키 위해서 전기기계결합계수(k)와 품질계수(Qm)가 큰 값이 요구되고 있다. 또한, 환경변화에 따른 안정된 구동을 위해 낮은 경시변화와 온도특성이 요구된다. 또한 가공을 용이하게 하기 위해 고강도, 고밀도의 특성이 요구된다. 이를 위해서 입경(grain)이 작고 기공(porosity)이 없는 fine 세라믹스가 요구되고있는 실정이다. 표2에 선진업체와 세명대에서 개발한 압전트랜스포머용 재료의 특성을 나타내었다.

표 2. 압전트랜스포머용 세라믹 재료특성

symbol	KDS DCM-6	TOKINO	NEC	Hayashi	Semyung Uni.
$\varepsilon_{33}/\varepsilon_0$	1290	1100	470	1327	1704
tanδ	0.3	0.3		0.37	
K_{31} K_t	0.35 0.61	0.35	0.28	0.67 0.62	0.55
Y^E_{11} Y^E_{33}	7.49 122	8.5		8.4 7	
d_{31} d_{33}	287	-120 300		139 290	
Qm	1600	1750	1500	2022	2041
ρ	7.9	7.9		7.94	7.71
Tc	300	330	260	290	280

3. 압전트랜스포머의 응용

3.1 LCD back-light용 압전트랜스포머

최근 일본에서 고전력 압전재료의 개발에 힘입어 종래의 Rosen형 압전트랜스포머에서 수십~수백[kHz]의 공진주파수를 가지고 90%의 효율을 가지는 압전트랜스포머가 개발되어 LCD back-light 인버터로서 실용화되었다. 휴대용 개인 컴퓨터 LCD back-light로 2mmØ ×210mm 정도크기의 CCFL (cold cathode fluorescent lamp)을 사용하는데 이는 점등시 1,200[V]가 필요하며, 정상상태시에는 400~500[V]로 줄어들어 압전트랜스포머가 무부하시에는 승압비가높고 부하가 감소하면 승압비가 감소하는 특성에 부합된다. 또한 모니터 및 휴대용 display 장치의 소형, 슬림화에 따른 추세에 아주 적합하다.

Rosen형 압전트랜스포머를 단판 혹은 적층형을 이용하여 1~10W급으로 70~140[kHz]의 공진주파수를 가지며 1×8×40mm^3 이내의 크기를 가지게 제작할 수 있어 특히 일본 및 국내에서는 이를 Car Naviagtion 시스템, 노트북, PDA, TFT-LCD 모니터 용 인버터로서 저출력에서부터 고출력까지 요구되는 사양에 맞게 압전트랜스포머를 연구중에 있다.

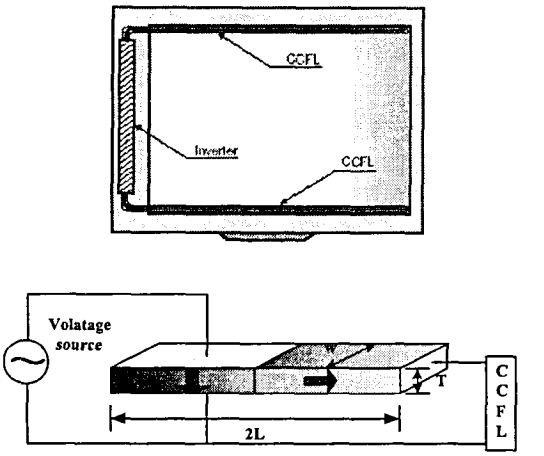

그림 1. 인버터 적용 모니터와 Rosen형 압전트랜스포머

3.2 DC-DC Converter용 압전트랜스포머

현재 DC를 AC로 변환하여 다시 DC로 변환시키는 DC -DC Converter는 소형, 경량화 및 안정적인 전압을 공급하게 하기 위해서, 스위칭주파수를 1MHz이상 높힐 필요가 있다. 종래의 권선형 트랜스포머는 1MHz 이상의 switching 주파수에서 철손 및 동손의 증가에 의해 사용하기가 어려우며 소형화에도 많은 어려움을 가지고 있다. 그러나 두께 방향 진동모드로 구동되는 압전트랜스포머는 전원전압이 크기를 소형화시킬 뿐만 아니라 고주파수 영역에서 구동하기 때문에 고전력전송 밀도를 가지는 장점을 가지고 있다. 제한된 주파수 범위를 가지는 Rosen형 트랜스포머와 core 손실을

가지는 권선형 트랜스포머와 비교하여 두께 진동형 압전트랜스포머는 고주파에서 손실 없이 사용할 수 있다. 두께 진동형 압전트랜스포머 조성세라믹스로서 PZT계 세라믹스 이용시에는 높은 k_{31}과 kp에 의해 고주파영역에서의 경방향 진동에 의해 부료잡음이 많이 발생하게 된다. 그러나 $PbTiO_3$계는 k_p는 거의 0이기 때문에 고주파에서 경방향 진동이 발생하지 않고, 또한 높은 전기기계 결합계수의 이방성(k_t/k_p)을 가지고 있어 두께진동형 압전트랜스포머로의 이용할 시에 큰 장점을 가지고 있다.[4] 또한 순수한 $PbTiO_3$ 세라믹스에 Ca^{2+}, Co^{2+}, W^{6+}와 Sn^{2+}등을 첨가시키면 높은 전기기계 결합계수 이방성을 얻을 수 있다고 보고되었다.[5] 이 때문어 Modified $PbTiO_3$ 세라믹이 두께 진동형 압전트랜스포머로 이용가능하며,이에 대하여 현재 연구가 활발히 진행되고 있다.그림2 는 두께 진동형으로 구동되는 압전트랜스포머의 간단한 형상을 보이고 있으며,입,출력층을 적층함으로써 출력전력의 증가가 가능하다.

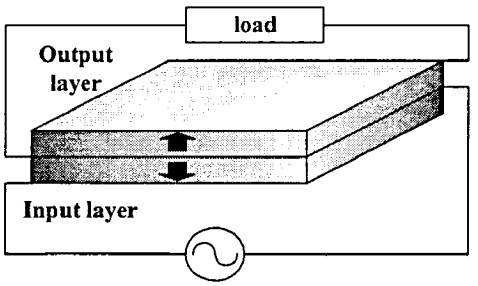

그림 2. Converter용 압전트랜스포머

3.3 Ballast용 압전트랜스포머

최근 발광 효율을 높이기 위하여 26, 16, 7mm의 tube 직경을 가지는 형광등이 개발되어 사용되고 있으며 종래의 형광등을 대체하고 있다. 형광등의 방전을 위해서는 초기에 높은 방전전압이 요구되며, 방전후에는 램프를 지속시키기 위하여 일정한 전류를 유지시켜야 하는데 일반적인 형광등의 부성저항 특성은 이런 전류를 일정하게 유지시키는 것이 아니라 전류의 지속적인 상승을 초래하게 되므로 이 전류의 제한이 필요하게 되는데 이런 목적으로 사용되는 것이 안정기이다. 높은 전압과 낮은 전류로 동작하는 Rosen형 압전트랜스포머는 일반적으로 낮은 전압, 높은 전류를 필요로 하는 형광등용 트랜스포머에 적합하지 않아 새로운 형상의 압전트랜스포머가 필요하다.[6,7] 그림 3은 455kHz AM 라디오와 4.5MHz TV audio 수신장치에 사용되는 윤곽진동을 이용한 filer타입의 형상을 형광등 안정기용 윤곽진동형 압전트랜스포머로 이용한 그림이다. 여기서, 입력측에 소자에 공진주파수에 해당하는 입력전압을 가하면 윤곽진동이 발생하여 전기적에너지가 기계적에너지로 변환되고,다시 기계적에너지가 전기적에너지로 변환되어 출력 전압 전류를 발생하게 된다. 이 때, 링 돗트 부분의 전극 면적을 조절해 주는 것에 의해 출력 전류전압이 변화된다.

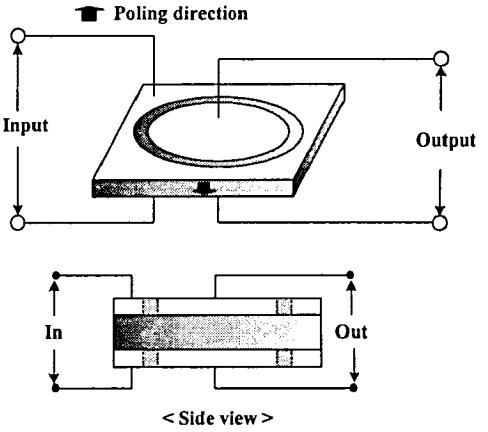

그림 3. Ballast용 ring-dot형 압전트랜스포머

3.4 Adaptor용 적층형 압전트랜스포머

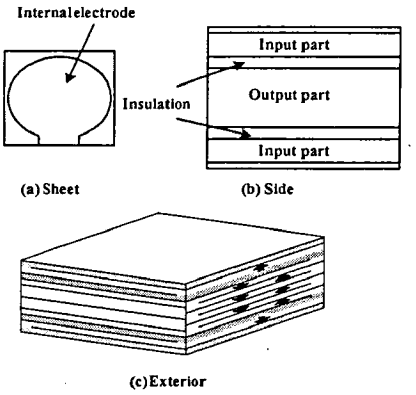

그림 4. Adaptor용 적층형 압전트랜스포머

최근 일본에서는 효율 90%이상이고 V_{in}= 80-120V_{ac}, V_{out}= 13Vdc인 AC-DC Adaptor용으로 14×14×5.8mm^3 크기를 가지는 윤곽진동형 압전트랜스포머를 적층형으로 제작하였다[8]. AC-DC Adaptor로서의 압전트랜스포머는 충분히 작은 크기, 고전력 그리고 낮은 출력 임피던스등이 요구된다. 특히 20-60W 출력전력과 수십 옴의 출력 임피던스가 요구된다. 따라서 Rosen형보다는 윤곽진동형등이 적당하며 또한 출력전력을 높이고 출력 임피던스를 줄이기 위해서는 적층형 압전트랜스포머가 바람직하다. 압전트랜스포머를 적층형으로 제작하기 위해서는 Ag/Pd 등의 내부전극의 제한 및 에너지소비, 환경문제 등의 이유로 낮은 소결 온도를 가지는 재료를 개발해야 한다. 소결 온도를 낮추는 방법으로는 1)출발원료나 하소분말을 미세하게 하는 방법, 2)fast firing 방법, 3) hot-pressing 방법, 4) 융점이 낮은 glass frit등을 첨가시키는 방법 등이 있다. 그러나 많은 연구에도 불구하고 다음과 같은 문제점들이 여전히 남아있다. 1) 고상소결시 소결온도가 여전히 높다. 2) 저융점 산화물등을 첨가시 압전특성이 감소하거나 여전히 소결온도가 높다. 3) 미세 분말이나 hot-pressing 방법의 사용시 제조가 복잡하여 비용이 많이 든다. 따라서 압전특성이 우수하며 저온에서 소결이 가능한 압전재료 개발은 반드시 필요하다.

현재 본 연구팀은 물론 중국등에서 저온소결 압전재료에 관한 연구가 최근들어 활발히 진행되고 있다.이상으로 압전트랜스포머의 응용분야와 기술동향을 간략히 살펴보았다.

이외에도,오존발생용 고압전원, 자외선발생용 전원등으로도 적용가능하기 때문에 이 분야에 대한 연구가 앞으로 필요하다 하겠다.

4. 결 론

현재 압전트랜스포머 및 기타 압전재료는 일본에서 주도적으로 이끌어 가고있는 실정이다. 압전트랜스포머를 개발하기 위해서는 우수한 압전재료의 개발과 소자 설계를 위해 이를 유한요소법(FEM)등으로 시뮬레이션하여 원하는 장치에 맞게 제작하는 것이 바람직하며 여기서 경제적, 환경적, 가격 경쟁력 측면을 고려할 때 저온 소결 및 Pb-free 조성을 세라믹을 이용하는 것이 바람직하다. 아울러 압전트랜스포머는 공진 주파수 부근에서 동작하므로 압전트랜스포머의 응용을 위해서는 압전트랜스포머의 구동 및 feed-back 회로 제어기술등이 필요하다 하겠다.

참고 문헌

[1] C. A. Rosen., " Ceramic Transformer and filter", Proc. Electronic Comp. Symp,. p 205, 1956.

[2] B. Jaffe, W. R. Cook and H. Jaffe, "Piezoelectric ceramics", Academic Press London, p115, 1971.

[3] S. Kawashima, S. Tagami, H. Hakamata, A. Fukuoka and K. Isobe, "Development of Color-LCD Backlight Inverters Utilizing Piezoelectric Transformer", NEC Res. and Develop., Vol. 36, No. 1, p. 187, 1995.

[4] J. H. Yoo, J. I. Hong, and S. Suh, " Effect of MnO_2 impurity on the modified $PbTiO_3$ system ceramics for power supply", Sensor and Actuators, Vol. 78, p 168, 1999.

[5] H. Takeuchi, S. Jyomura and C. Nakaya, preceeding 1985 IEEE Ultrasonics Symp. San Franscisco, CA, October, 1985, p. 605, 1985.

[6] J. H. Yoo, K. H. Yoon, Y. W. Lee, S. J. Suh, J. S. Kim, and C. S. Yoo, " Electrical Characteristics of the Contour-Vibration-Mode Piezoelectric Transformer with Ring/Dot Electrode Area Ratio", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 39, No. 5A, p 2680, 2000.

[7] J. H. Yoo, K. H. Yoon, S. M. Hwang, and S. J. Suh, " Electrical characteristics of high power piezoelectric transformer for 28W fluorescent lamp", Sensor and Actuators, Vol. A 2884, p 1, 2001.

[8] M. Yamamoto, Y. Sakaki, A. Ochi, T. Inoue, and S. Hamamura," Step-Down Piezoelectric Transformer for AC-DC Converters", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 40, No. 5B, 2001.