

## 횡 진동 모드를 이용한 압전 초음파 커터

이원희<sup>\*\*\*</sup>, 강종윤<sup>\*</sup>, 김현재<sup>\*</sup>, 주병권<sup>\*\*</sup>, 윤석진<sup>\*</sup>

한국과학기술연구원 박막재료연구센터<sup>\*</sup>, 고려대학교 전기전자공학과<sup>\*\*</sup>

### The Piezoelectric Ultrasonic Cutter Using A Transverse Vibration Mode

Won-hee Lee<sup>\*\*\*</sup>, Chong-Yun Kang<sup>\*</sup>, Hyun-Jai Kim<sup>\*</sup>, Byeong-Kwon Ju<sup>\*\*</sup>, Seok-Jin Yoon<sup>\*</sup>

Korea Institute Science and Technology, Thin film material research center<sup>\*</sup>

Korea University, Department of electrical and Electronics engineering<sup>\*\*</sup>

**Abstract :** 본 연구에서는 압전체의 횡 진동모드를 이용한 압전 초음파 진동자를 설계 분석하였다. 이전의 란주반 진동자는 진동을 얻기 위하여, 복수의 원판 또는 사각판 형태의 압전 세라믹을 서로 반대 방향으로 분극하여 마주 보도록 설치한 후 전기적으로 병렬로 연결하고 상단 및 하단에 금속부를 부착하여 전체를 볼트로 조인 복잡한 구조와 큰 출력 파워를 갖는 반면, 본 연구에서는 판상형의 압전소자와 일체형 금속진동체를 이용하여 기계적 출력 파워 조절이 용이한 구조의 압전 진동자를 고안하여, 압전진동자의 횡 진동 모드를 이용함으로써 신뢰성과 정확도가 높고 진동효율이 최대가 되도록 설계하였다. 설계 개발된 압전 진동자는 진동의 크기 조절이 용이하여 일반 진동자 뿐 만 아니라, 외과 및 안과 수술에 있어서 인체 조직이나 각막상피의 활성화를 유지한 상태에서 안전하게 절개 및 분리 시술용 진동자로 사용 할 수 있는 이점이있다. 압전 진동자는 유한요소법 시뮬레이션 프로그램 (ATILA 5.2.4)을 이용하여 설계를 하였으며 압전소자의 두께는 각각 0.2 mm, 0.5 mm 로 제작하여 시뮬레이션 결과 와 제작된 샘플의 특성을 비교하였고, 변위측정은 칼날을 결합 한 상태에서 공진 주파수대역 부근 주파수별로 측정 비교하였다.

**Key Words :** 횡 모드, 판상형 압전 세라믹, 압전 초음파 진동자

### 1. 서론

현재 초음파 진동자는 세계 여러 곳에서 개발이 되어 초음파 유평기, 세포파쇄기, 초음파 세척기용으로 극히 제한된 응용이 이루어지고 있다[1]. 일반적으로 널리 쓰이는 란주반 압전 진동자는 고출력이 요구되는 산업용을 중심으로 개발되어 상대적으로 큰 전압과 전류를 인가해서 사용하므로, 의료용 정밀시술이나 생활용 및 정밀 기기용 압전 진동자로 응용하기에는 적합하지 않다. 이에 본 연구에서는 압전체의 횡 진동모드를 이용한 정밀 소형 압전 초음파 진동자를 설계 제작하였다. 종래의 란주반 진동자는 진동을 얻기 위하여, 복수의 원판 또는 사각판 형태의 압전소자를 서로 마주 보도록 설치한 후 전기적으로 병렬로 연결하고 상단 및 하단에 금속부를 부착하여 전체를 볼트로 조인 복잡한 구조와 큰 출력 파워를 갖는 반면, 본 연구에서는 판상형의 압전 진동자와 일체형 금속진동체를 이용하여 기계적 출력 파워 조절이 용이한 구조를 적용하였으며, 압전진동자의 횡 진동 모드를 이용하여 신뢰성과 정확도가 높고 진동효율이 최대가 되도록 설계되어, 효율이 우수하고 정밀구동이 가능하다. Atila 시뮬레이션 프로그램을 이용해 가장 적합한 구조의 압전 진동자를 설계하여 해석하였고 이를 바탕으로 제작하여 시뮬레이션과 비교분석을 하였다.

### 2. 실험

본 연구에서 유한요소법 시뮬레이션 프로그램 (ATILA

5.2.4)을 이용하여 설계를 하였으며 그 구조는 그림 1과 같다. 금속 진동체, 압전소자로 되어있으며 칼날은 앞쪽 끝단에 결합되어진다. 압전소자의 단면적 크기는 27×10 mm<sup>2</sup> 이고 두께는 0.2 mm, 0.5 mm로 설정 하였다. 금속진동체의 전체 길이는 75 mm이다.

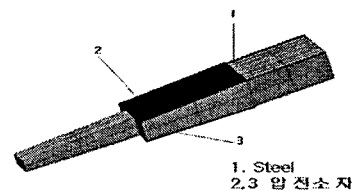


그림 1. 압전 초음파 커터의 구조

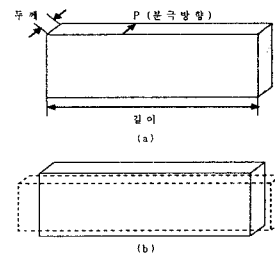


그림 2. 압전소자의 횡 진동모드 형태

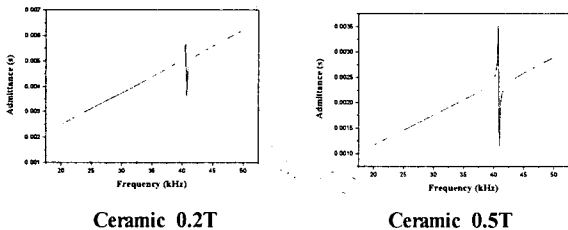
압전 진동자의 횡 모드의 효율을 높이기 위하여 압전소자를 금속 진동체의 양 측면에 구성하였으며, 금속 진동체는 금속으로 진동이 잘 전파 될 수 있도록 밀도가 높고 경도, 강도가 높은 스텐레스스틸로 선정하였으며 하부에

비해 상부의 단면적이 작도록 설계되어 진동이 앞 쪽 부위에 집중되도록 설계되어, 압전 세라믹스에서 발생하는 진동의 효율을 극대화 시키고, 하우징을 쉽게 하여 내과 및 안과 수술자들의 손에 착용성을 증대시킬수 있는 구조로 설계되었다.

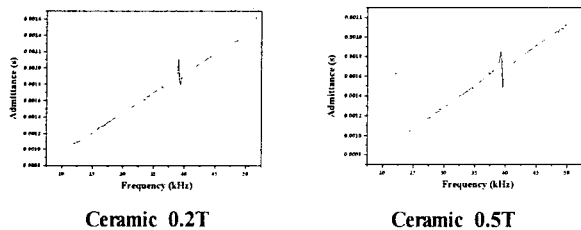
그림 2는 압전소자의 횡 진동모드형태를 나타낸 것으로 초기 (a) 상태에서 전계를 인가하였을 경우 (b)와 같은 형태로 수축과 팽창을 반복한다. 실제 제작된 금속 진동체의 양 측면에 각각 부착된 압전 세라믹스는 진동을 효율적으로 전달할 수 있는 경화성 에폭시를 사용하여 부착시켰다. 본 연구에서 사용된 압전소자는 PAN-PZT계 세라믹으로  $d_{33}=287$  pC/N,  $Q_m=1917$  등의 압전 특성을 갖는다. 압전 소자는 일반적인 산화물 혼합법등에 의하여 제조 되어 가공되었고 압전소자의 양면에 전극을 도포한 후 3.5 kV/mm의 고 전계 하에서 분극하였다. 압전소자를 서로 마주 보도록 부착한 후 전기적으로 병렬로 연결하였다. 샘플의 공진 주파수 측정은 시뮬레이션과 동일한 조건에서 하였고 변위측정은 진동자의 앞쪽에 칼날을 결합한 상태에서 공진 주파수 근방에서 구동 주파수를 변화해가며 측정하였다. 실험에 사용된 측정 장비는 function generator 와 high speed power amplifier로 커터에 70:30 듀티비를 갖는 100 V<sub>p-p</sub> 구형파 전압을 인가하였고 칼날의 부분의 변위는 laser vibrometer를 이용하여 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### [Simulation Result]



#### [Experiment Result]

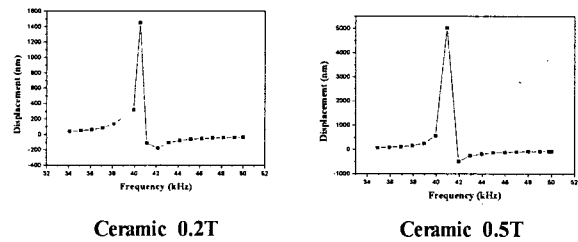


	0.2T	0.5T
Simulation data [Resonance Frequency]	40.5kHz	40.7kHz
Experiment Result data [Resonance Frequency]	39.05kHz	39.2kHz

그림 3. 압전초음파 커터의 시뮬레이션과 제작샘플 공진주파수 분석

그림 3에 나타난 것과 같이 압전 소자의 두께가 0.2 mm, 0.5 mm인 압전 진동자의 측정된 공진 주파수는 시뮬레이션상에서의 공진 주파수와 매우 일치함을 알 수 있다. 개발된 압전 진동자의 변위 측정은 칼날을 결합한 상태에서 측정하였으므로 칼날이 고려되지 않은 시뮬레이션 결과와는 다소 차이가 있으며 0.2 mm 압전 소자가 적용된 압전 진동자의 경우 43 kHz에서 0.5 mm 압전 소자가 적용된 압전 진동자의 경우는 44 kHz 근방에서 가장 큰 변위를 갖는 것으로 나타났다.

#### [Simulation Result]



#### [Experiment Result]

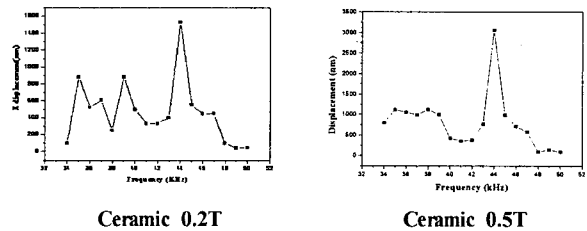


그림 4. 압전 초음파 커터의 주파수 대역별 변위 비교분석

### 4. 결론

기존의 란주반 진동자에 비해 보다 간단한 구조와 정밀 미세 파워조절이 가능하며 동작의 안정성이 우수한 압전 초음파 커터를 설계, 제작하였다. 실제 제작된 압전 진동자는 시뮬레이션 결과와 매우 유사한 공진 주파수를 갖는 것으로 확인되었고, 칼날을 결합한 후, 주파수에 따른 진동의 크기를 측정한 결과 수백 nm의 진동을 갖는 것으로 나타났다. 개발된 압전 커터는 정교함과 균일함이 요구되는 인체 조직이나 각막상피 등의 내과나 안과의 절개 및 분리 수술시 적용이 용의할 것으로 판단되며 또한, 본 압전 진동자는 미세 고속 진동에 의해 치석 제거용 팁에 적용하여 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참고 문헌

- [1] Kenji Uchino "Ferroelectric Devices" Marcel dekker, Inc. New York, USA, 2000
- [2] Kuo-Tsai Chang "Effects of Impulse Forces on Electrical Characteristics of Bolt-Clamped Langevin Ultrasonic Transducer," IEEE International Conference on Industrial Technology 2005. ICIT 2005, pp.893-898, 2005