

## 란쥬반형 진동자를 이용한 초음파 회전 모터에 관한 연구

이재형, 박태곤, 권오영\*  
창원대학교, (주)영광기전\*

### A Study of Ultrasonic Rotary Motor Using the Langevin Type Vibrator

Jae-Hyung Lee, Tae-Gone Park, and Oh-Young Kwon\*  
Changwon National University, Gloria Techniques Co. Ltd\*

#### Abstract

In this study, ultrasonic rotary motors using a bolted langevin type ultrasonic vibrator were designed and fabricated. The stator vibrator has a longitudinal transducer section composed of two metal blocks and two piezoelectric ceramic elements (thickness-polarized) and a mode conversion metal block section called a torsion coupler. And, three kinds of motors were studied by finite element analysis and experiments. So, as material of torsion coupler which generate mode conversion of vibration copper, brass, and phosphor bronze were used. As a result, speed and torque were changed in proportion to the electrical input voltage, but it was saturated in high voltage. And bad efficiency which was different from a expectation was measured in this motors. So, various problems should be improved for practical use. Finally, The motor which has 1 [cm] diameter was fabricated to present a possibility of miniaturization of this type motors.

**Key Words** : Ultrasonic rotary motor, Bolted langevin type ultrasonic vibrator, Finite element analysis, Torsion coupler, Mode conversion,

#### 1. 서론

1980년대부터, 압전 초음파 모터는 저속 고토크, 우수한 제어성, 간단한 구조와 같은 여러 장점들로 인해 폭 넓은 연구가 진행되어왔다. 특히 초음파 모터는 기존의 전자기식 모터와 비교할 때, 모터의 소형화 분야에서 있어서 많은 이점을 보유하고 있다. 그리하여 MEMS (micro-electro-mechanical system)의 중대성이 인식되면서부터 굉장한 관심을 끌게 되었다[1].

일반적으로 모터가 소형화의 한계를 극복하기 위해서는 간단한 구조로 인해 제작이 용이해야 하며, 작은 크기에서도 높은 효율을 가져야 한다. 여기서, 초음파 모터는 모터자체의 구조가 간단할 뿐 아니라 저속에서 고토크의 특성을 가지기 때문에,

저속용으로 이용되어질 때 감속을 위한 기어박스가 불필요하게 되어 전체적인 시스템 또한 간단하다. 아울러 정재파 방식을 이용할 경우 1상의 교류 전원만이 필요하게 되므로 구동회로와 결선이 간단해진다.

본 논문에서는 모드변환형 초음파 모터의 한 예로서, 앞에서 언급된 조건들이 모두 부합된, 란쥬반형 진동자를 이용한 회전형 초음파 모터에 관해 연구하였다. 본 모델은 1985년 일본의 kumada에 의해 처음으로 제안되었다. 하지만 본 논문에서는 이전에 제안되었던 모델에 대해서, 유한요소해석을 이용한 설계와 해석과정, 커플러 재질의 다양한 변화 그리고 초소형 모터로서의 시도와 가능성을 추가적으로 제시했다는 점에서 기존의 연구와의 차이점과 목적을 발견할 수 있다.

## 2. 구조와 동작원리

그림 1의 (a)와 (b)는 각각 제안된 모터의 구조와 비틀림 커플러의 동작을 나타내고 있다. 본 모터의 고정자는 중, 굽힘, 비틀림의 진동모드변환을 순차적으로 이행하면서 동작하게 된다. 먼저 볼트 조임 란주반형 초음파 진동자에서 발생한 종진동은 비틀림 커플러에 그대로 전달된다. 비틀림 커플러는 그림 1의 (b)에서와 같이 원형의 디스크를 중심으로, 아랫부분은 사각홈에 의한 평행한 두 다리가 위치하고 있으며 윗부분은 아래의 두 다리와 대각선으로 놓인 빔이 위치하고 있다. 이러한 구조의 비틀림 커플러는 종진동이 아랫부분에서 전달되면 두다리와 홈에 의해 굽힘진동이 발생하게 되고, 윗부분의 빔은 굽힘진동에 의해 비틀림진동이 발생하게 된다. 이러한 진동의 조합은 회전자와 접촉을 하는 빔의 끝 부분에서 타원변위를 형성하게 된다. 결국 비틀림 진동이 발생하는 빔의 윗부분에 베어링에 의해 축과 고정된 회전자를 올려놓고, 스프링에 의한 힘으로 적절한 접촉력을 유지시켜주면, 회전자는 접촉면 사이의 마찰에 의해 회전하게 된다[2-4].

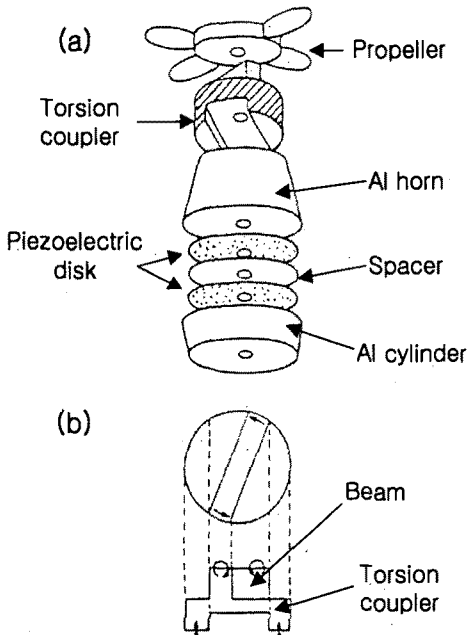


그림 1. (a) 모터의 구조 (b) 진동 커플러의 동작.

본 모터는 회전자의 회전방향이 비틀림 커플러의 형상과 구동주파수에 의해 고정되어있기 때문에, 구동주파수를 가변하지 않고는 역방향 회전이 불가능하다. 이러한 이유로 본 모델은 제어용용분야에 사용하는 데 있어서 어려움이 있다[5].

## 3. 유한요소해석

범용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS를 이용하여, 실제 모터를 제작하기 이전에 해석을 통해 여러 가지 특성을 고찰하였다. 해석은 모터동작의 핵심이 되는 고정자만이 대상이 되었다. 아울러 회전자를 비롯한 회전자 지지구조와 전원을 인가하기 위한 구리판 전극은 해석에선 생략되었다.

그림 2에서는 모드해석의 결과로서 중-굽힘-비틀림의 모드변환이 일어나는 진동모드에서 26.817 [kHz]의 고유주파수를 확인할 수 있다.

그림 3의 (a)와 (b)는 하모닉해석의 결과로서 각각 진동자의 팽창과 수축시 전체 고정자의 변형형상과 등가응력분포를 나타낸다. 여기서 진동자의 수축과 팽창의 관계가 반전되면 빔의 비틀림 방향이 바뀌는 것을 확인할 수 있다. 응력의 경우 란주반형 종진동자와 비틀림 커플러의 접촉 부위에서 집중되는 것이 확인되었다.

그림 4에서는 비틀림 커플러의 재질을 동, 황동, 인칭동으로 가변하였을 경우 입력전압에 따른 비틀림 변위 특성을 나타내었다. 여기서 비틀림 변위는 빔의 X축 변위로 정의하였다. 황동의 경우 다른 두 재질보다 다소 큰 변위를 보였으며, 이상적으로 모든 재질의 비틀림 변위가 입력전압에 선형적으로 비례하는 결과를 보였다.

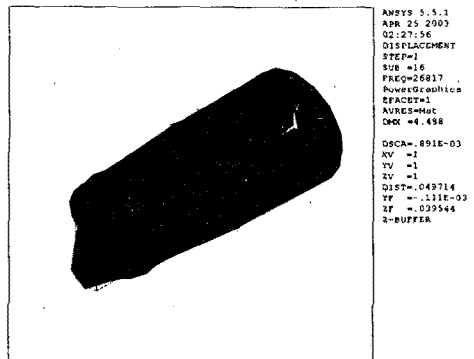
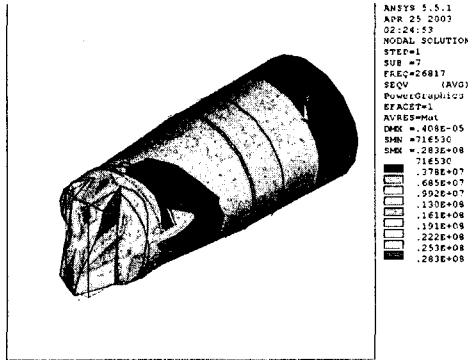
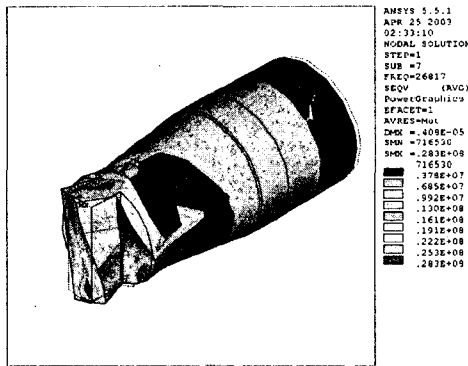


그림 2. 모드 해석의 결과.



(a)



(b)

그림 3. 고정자의 변형형상과 등가응력분포 (a) 종진동자 팽창 (b) 종진동자 수축.

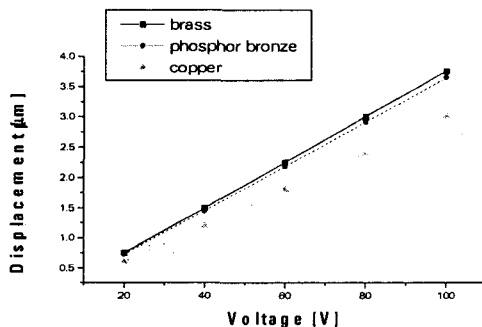


그림 4. 입력전압에 따른 비틀림 변위.

## 4. 제작 및 실험결과

### 4.1 모터의 제작

유한요소해석을 결과를 기본으로 하여 실제 모터를 제작하였다. 제작된 모터의 재료와 치수에 관한 조건은 해석과 일치한다. 그래서 비틀림 커플러의 재질 역시 동, 황동, 인청동으로 하여 세 가지 모델이 제작되었다. 아울러 회전자와 관류반 진동자의 금속 재료는 알루미늄을 사용하였다. 그 외 회전자의 마찰을 줄이기 위한 베어링과 접촉력을 유지시키기 위한 스프링이 부품으로서 중앙에 배치되었다. 전원의 공급과 결선을 위해 구리판 재질의 디스크가 삽입되어 압전세라믹의 전극과 접촉을 이루었다. 그리고 모든 부품은 하나의 볼트와 너트로 체결되어졌다. 제작된 모터는 외경이 35 [mm], 높이가 100[mm], 중량이 250 [g]이다.

진동의 소스가 되는 압전세라믹은 국내 K사에서 제작된 KPZ-12 원환형 압전세라믹을 사용하였고, 외경 35 [mm], 내경 15 [mm], 두께 5 [mm]의 치수를 가진다. 본 세라믹은 두께 방향으로 분극되어 있으며, 분극 방향이 서로 마주보게 구성한 후 진동자의 중심에 삽입되어졌다.

표 1은 사용된 압전세라믹의 재료특성을 나타낸다. 그리고 그림 5에서는 제작된 모터의 모습을 확인할 수 있으며 좌측부터 비틀림 커플러의 재질이 동, 황동, 인청동의 순서로 배열하였다.

표 1. 압전 세라믹의 재료 특성.

Relative Dielectric Constants	$\epsilon_{33} / \epsilon_0$	1250
Piezoelectric Charge Constants	$d_{33} (\times 10^{-12} m/V)$	290
Piezoelectric Voltage Constants	$g_{33} (\times 10^{-3} v \cdot m/)$	27
Mechanical Q	$Q_m$	1800
Curie Point	$T_c (^\circ C)$	340
Density	$\rho (\times 10^3 kg/m^3)$	7.6

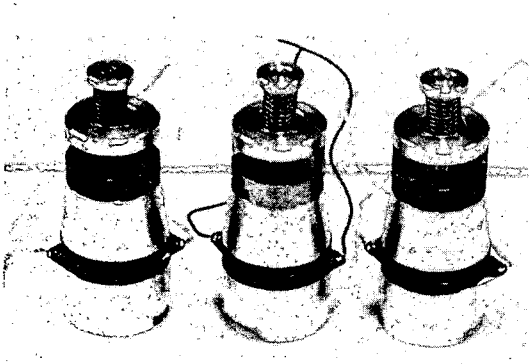


그림 5. 제작된 모터의 모습.

#### 4.2 모터의 특성

제작된 세 가지 모델의 모터는 모두 30 [kHz] 부근에서 가장 양호한 동작을 하였다. 모터가 동작하는 공진 주파수는 제작에 앞서 시행한 유한요소 해석과 다소 차이를 보인다. 이는, 해석과정에서는 고정자 만이 대상이 되었으나 실제 모터는 회전자와 결합하기 때문에, 두 경우의 구조적인 차이가 원인이 되었다고 판단된다.

그림 6과 그림 7은 각각 제작된 모터의 입력 전압에 따른 속도와 토크의 특성을 나타낸다. 모터의 속도와 토크는 입력 전압에 비례하여 증가하다가 높은 전압에서는 다소 포화되는 특성을 보였다. 두 특성에 대한 포화현상은 높은 전압에서 발생하는 과도한 종방향 진동이 고정자와 회전자의 접촉을 불안정하게 만들기 때문이라고 판단된다. 여기서도 해석과 실험의 결과를 비교해 보면, 유한요소해석에서는 비틀림 커플러의 재질로서 황동을 사용할 경우 가장 큰 변위가 확인되어 다른 두 모델과 비교해 우수한 특성이 예상되었다. 하지만 실질적인 실험에서는 속도의 경우 동이 가장 양호한 특성을 보였고 토크는 인청동이 가장 저조한 특성을 보인 것과 같이, 해석을 바탕으로 한 예상과는 일치하지 않았다. 그래서 실질적으로 모터를 제작하는 데 있어서는 진동자의 재질에 따른 진동변위 보다는 회전자와 고정자사이의 접촉을 양호하게 유지하는 것이 보다 중요한 요소라고 사료된다.

본 실험에서 제작된 모터는 평균 0.5%의 아주 불량한 효율을 보였다. 이것은 출력을 좌우는 토크와 속도가 예상외로 매우 저조하였기 때문이다. 보

다 높은 효율을 위해서는 접촉부위에서의 마찰에 관한 특성개선과 더불어 진동자의 안정한 지지구조가 뒷받침되어야 한다고 생각된다. 아울러 볼트 조임 란주반형 진동자는 볼트의 톱 정도에 따라 특성이 다르게 나타나므로 모터의 재현성을 위해서는 이러한 조건 또한 고려되어야 한다.

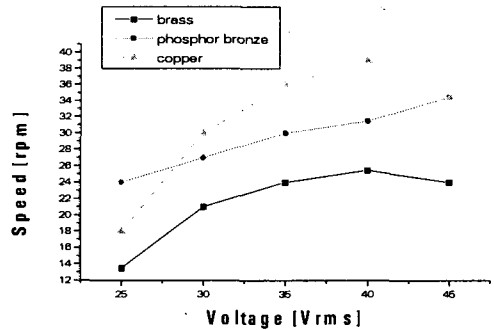


그림 6. 입력 전압에 따른 속도.

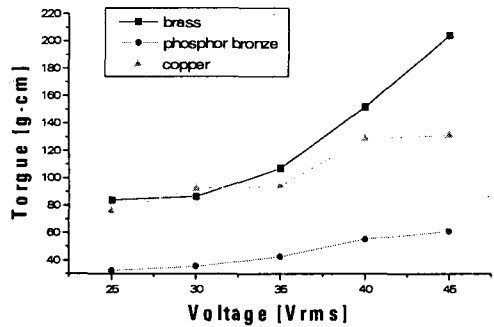


그림 7. 입력 전압에 따른 토크.

### 5. 결론

본 논문에서는 란주반형 초음파 진동자를 이용한 회전형 초음파 모터를 제작하여 그 특성을 살펴보았다. 모터의 속도와 토크의 특성은 모두 입력 전압에 비례하여 증가하다가 다소 포화되는 특성을 보였다. 또한 사용된 비틀림 진동자의 세 가지 재질 중에서, 속도는 동이 가장 양호한 특성을 보였고, 토크는 황동이 가장 양호한 특성을 보였다.

이러한 실험적인 결과는 해석에서 예상했던 결과와 차이를 보인다. 본 모터가 실용화되기 위해서는 높은 출력으로부터의 효율의 개선이 시급하다. 아울러 회전자와 고정자의 접촉에 따라 발생하는 마모와 소음의 문제 또한 개선되어야 할 것이다.

최종적으로, 우리는 본 모터가 가지는 소형화에 대한 장점들을 고려해서 직경 1 [cm]의 소형 모터를 제작하였다. 그리고 그림 8에서 그 모습을 확인할 수 있다. 본 모터는 공진 주파수 100 [kHz]에서 120 [rpm]의 속도로 회전하였으나, 토크의 경우 매우 낮아 측정되지 못했다. 초소형 모터로의 응용에 있어서는 토크의 개선과 더불어 동작주파수를 낮추는 문제 또한 중요하다고 하겠다.

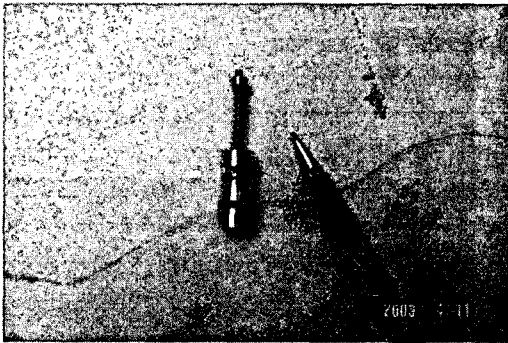


그림 8. 직경 1 [cm]로 제작된 모터.

### 감사의 글

본 연구는 2002(제 10차)년도 창원대학교 산학연 공동기술개발, 컨소시엄사업의 지원에 의해 수행되었습니다.

### 참고 문헌

- [1] Kui Yao, Burhanettin Koc, and Kenji Uchino, "Longitudinal-bending mode micromotor using multilayer piezoelectric actuator", IEEE, Vol.48, No.4, p. 1066, 2001.
- [2] Akio Kumada, "Piezoelectric ultrasonic motor", Jpn. J. Appl. Phys, Vol.24, p. 739, 1985.
- [3] Kenji Uchino, "Ferroelectric Devices", Marcel Dekker, p. 201, 2000.
- [4] 이재형, 정현호, 박태곤, 김명호, "쿠마다형 초음파 전동기의 유한요소해석", 대한전기학회 2002년도 부산, 경남, 울산지부 합동 추계 학술대회 논문집, p. 81, 2002.
- [5] S. Ueha, Y. Tomikawa, M. Kurosawa, N. Nakamura, "Ultrasonic motors theory and applications", Clarendon Press · Oxford, p. 112, 1993.
- [6] 손창현, "유한요소해석 입문과 선형해석", (주) 테성에스엔이, p.424-438, 1999.