

나사형 압전 액츄에이터의 특성

The Characteristics of Screw-shaped Piezoelectric Actuator

육형상, 정수현*, 임기조, 박수길
충북대학교 전기공학과, *공업화학과

H.S. Yuk, S.H. Jeong*, K.J. Lim, S.G. Park
Dept. of Electrical Eng., *Industrial Chemical Eng.
Chungbuk Nat'l Univ.

Abstract - A piezoelectric actuator, which is composed of a piezoelectrically driven stator and a rotor, is made and the characteristics are investigated experimentally, a new ultrasonic actuator which transforms rotary motion to linear one is proposed and proved to work successfully.

If an ultrasonic wave is excited to propagate in the stator, particles on the internal surface move elliptically. Since the internal surface is machined as an internal thread and an external thread(rotor) is put into the stator, the external thread is rotated through the friction force and moved in the axial direction. The traveling wave is excited by a piezoelectric element bonded to the stator. This idea is firstly proposed by S.Ueha, et al. in 1987. However, efficiency of their actuator is less than 3%.

In this study, in order to improve characteristics of this type actuator, we used various pitches and number of the screw thread, and materials of rotor, and we obtained good characteristics.

1. 서론

초음파 액츄에이터는 탄성 진동인 초음파 진동을 구동원으로 하는 액츄에이터로서 주로 마찰력을 매개로 하여 얻어지는 추력을 이용하는 것으로 다양한 종류의 초음파 액츄에이터가 일본을 비롯한 많은 나라에서 연구되고 있다. 그러나, 주로 회전 운동형에 많이 치중되고 직선 운동형은 극히 소수의 연구가 보고되었는 바이며, 그 중 1987년, 동경공업대의 S.Ueha에 의한 직선 운동형 액츄에이터에 관한 연구[1]는 원환의 신축 진동의 진행파를 이용하여 이동자의 회전운동을 나사를 이용하여 직선 운동으로 변환시킨 일종의 리니어 액츄에이터로서 중공 구조를 채택한 독특한 구조로서 많은 응용분야를 기대할 수 있다. 그러나 효율이 3% 미만으로 현재로서는 학문적 흥미 수준정도로 실용화를 위하여 그 특성 개선이 절실히 요구된다.

따라서 본 논문에서는 효율 개선을 목적으로 고정자와 회전자의 피치 및 나사의 줄수를 변화시켜, 액츄에이터의 특성실험을 행하고 검토하였다.

2. 구동원리

그림 1과 같은 원통 좌표를 채택하여 신축 진동 모

도에 관한 원형 링의 파동방정식을 풀면, 반경과 접선 변위 $U_r(\theta, t)$, $U_\theta(\theta, t)$ 는 각각 다음과 같이 표현된다[2].

$$U_r(\theta, t) = A \cos n\theta \cos \omega t \quad (1)$$

$$U_\theta(\theta, t) = -nA \sin n\theta \cos \omega t \quad (2)$$

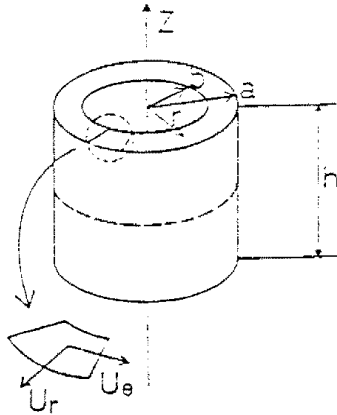


그림 1 진동해석을 위한 원통좌표계

위의 방정식에서, 공진 각주파수 ω 는

$$\omega = \{(1+n^2)E/\rho r^2\}^{1/2} \quad (3)$$

로 표현되며, 여기서 r 은 링의 평균 지름, n 은 정수, A 는 진폭, E 는 Young을, ρ 는 밀도를 각각 나타낸다.

두 개의 축퇴된 정상파를 겹쳐 놓으면

$$U_{r1}(\theta, t) = A \cos n\theta \cos \omega t \quad (4)$$

$$U_{r2}(\theta, t) = A \cos(n\theta - \frac{\pi}{2}) \cos(\omega t - \frac{\pi}{2}) \quad (5)$$

진행파는 아래와 같은 형태가 얻어진다.

$$U_r(\theta, t) = A \cos(\omega t - n\theta) \quad (6)$$

링의 표면에서 미립자 운동은 다음과 같이 표현된다.

$$\left(\frac{U_r}{A}\right)^2 + \left(\frac{U_\theta}{nA}\right)^2 = 1 \quad (7)$$

따라서, 유동성 물체가 링의 내부나 외부에 접촉되면, 그 물체는 마찰력에 의해 회전되도록 된다.

3. 실험

식(4), 식(5)와 일치하는 두개의 축퇴 진동 모드를 여진시켜 고정자에 진행파가 형성되도록 그림 2와 같이 압전 세라믹 재료를 고정자의 표면에 부착하였으며, 전극은 서로 다른 위상으로 두 개의 축퇴 모드를 여진하기 위해 그림 3에 보여지는 바와 같이 압전 링이 전극화되고 여진되면, 2차 진동모드 ($n=2$)의 진행파가 여진된다.

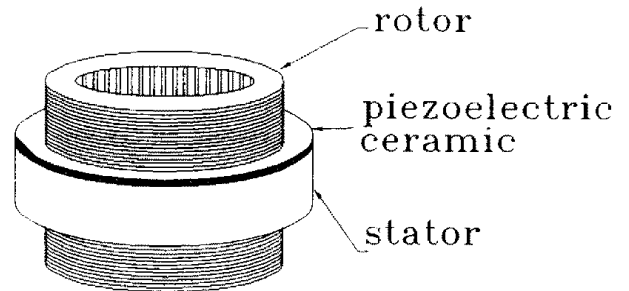


그림 2 나선형 압전 액추에이터

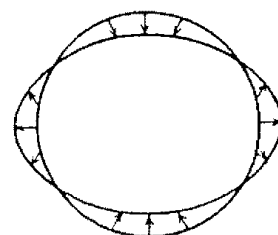
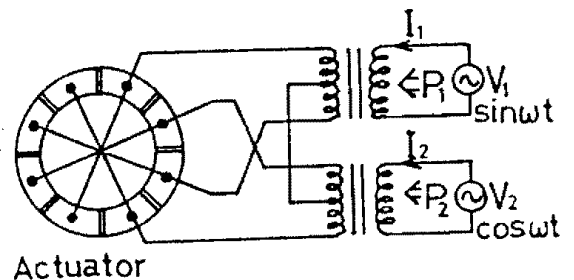


그림 3 전극 패턴 및 여진

표 1 실험에 사용된 액츄에이터의 종류

material of rotor	pitch of the thread (mm)	number of thread	remark (type of actuator)
Brass	1	1	A
		3	B
	2	1	C
		3	D

표 1은 실험에 사용된 회전자의 종류이며, 고정자는 이에 대응하여 두랄루민으로 제작하였다. 고정자의 내경, 외경 및 높이는 각각 40mm, 50mm, 10mm로 하고 회전자의 높이는 30mm로 하여 제작하였다. 액츄에이터의 부하특성을 조사하기 위해 몇 종의 평형추를 회전자 위에 점착하여 부하로 사용하였다.

액츄에이터의 효율은 전기적 입력 P_E 에 대해 기계적 출력 P_M 의 비로서 정의된다. P_M 은 다음식에 의해 계산된다.

$$P_M = (W_r + W_m)gRp \quad (8)$$

여기서, W_r , W_m 은 각각 회전자와 부하 질량의 무게, g 는 중력 가속도, R 은 회전 속도 (rpm), p 는 나사의 피치이다.

측정은 회전자가 윗 방향으로 진행할 때 행하여졌다. 전기적 입력 P_E 는 입력 변압기 바로 앞에서 측정되며, 변압기 내부 손실은 무시한다.

4. 결과 및 고찰

그림 4는 전기적 입력에 대한 회전속도 특성으로 입력의 평방근에 비례하며, 이것은 압전체의 유전손실을 무시한다면 진동변위는 입력의 평방근에 비례하고, 회전속도도 입력의 평방근에 비례한다는 것을 잘 입증하고 있다.

그림 5는 전기적 입력이 일정할 때 부하에 따른 회전속도 특성으로 부하의 증가에 따라 회전속도는 감소하며, 굴곡진동을 이용한 압전 모터의 특성[3]과 유사한 경향을 보이고 있다.

그림 6은 기계적 부하에 대한 효율 특성으로 부하의 증가와 함께 효율은 최대치까지 증가하다 다시 감

소하는 경향을 보였으며 최대 효율은 부하 약 1.000gf에서 6.5%를 나타내었다.

표 2는 표 1에 나타낸 나사의 피치 및 나사의 줄수를 달리하였을 경우의 각 형식에 대한 특성을 나타낸 것으로 1줄 나사보다는 3줄 나사가, 또한 피치가 1mm인 경우보다는 2mm인 경우 좋은 특성을 나타내고 있다.

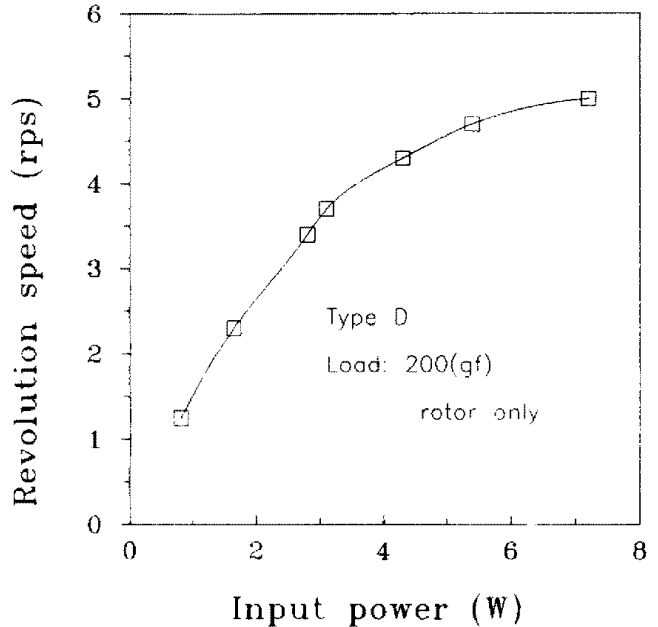


그림 4 전기적 입력에 대한 회전속도

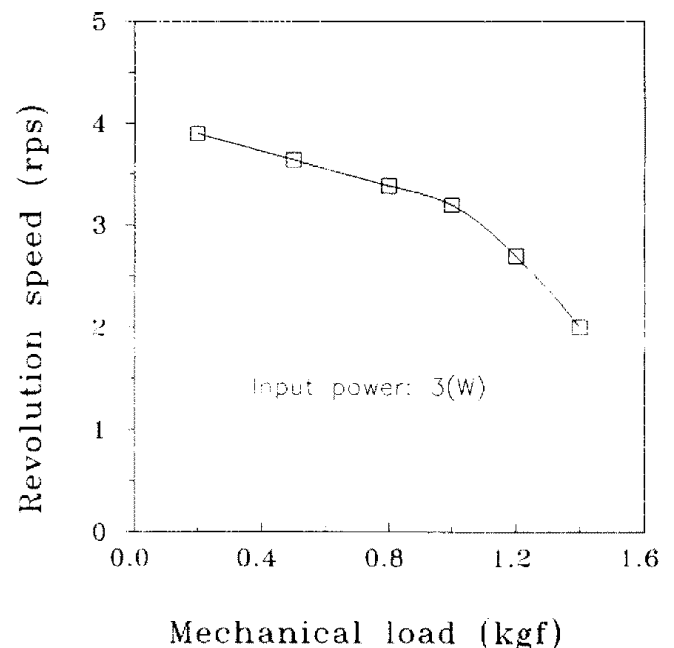


그림 5 기계적 부하에 대한 회전속도

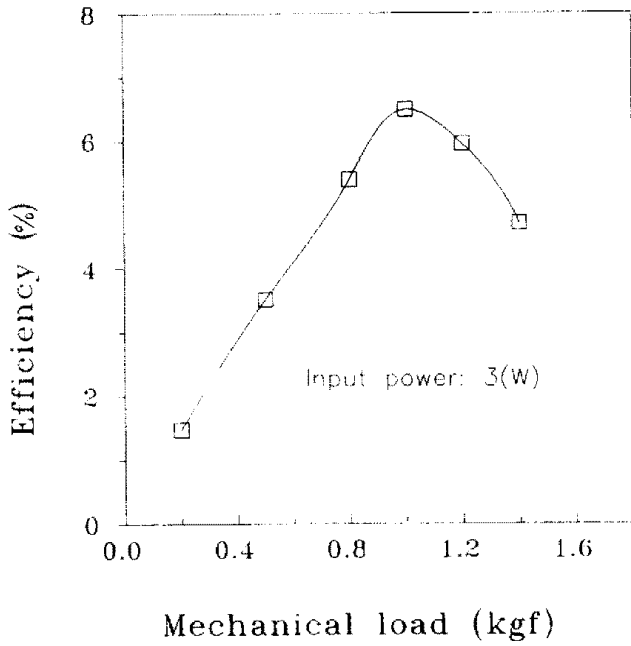


그림 6 기계적 부하에 대한 효율

표 2 액츄에이터의 종류에 따른 특성

종류	A	B	C	D
특성				
f_0 (kHz)	73.8	73.7	74.3	74.3
F_{max} (gf)	1200	1410	1480	1640
η_{max} (%)	4.6	5.2	4.8	6.5

5. 결론

회전 운동을 선형 운동으로 변환하는 새로운 형식의 초음파 액츄에이터인 나선형 압전 액츄에이터를 시작하여 효율을 개선하고자 회전자 및 고정자의 피치와 나선 줄수를 변화시켜 그 특성을 조사하였다.

효율은 피치와 나선 줄수를 적절하게 변화시키는 것에 의해 개선될 수 있으며 최대 효율은 피치 2mm의 3줄 나선에 있어서 전기적 입력 3W에서 약 6.5%를 얻었으며, 최대 기계적 부하는 1640gf였다.

참고문헌

- [1] S.Ueha, A.Ukita, M.Kurosawa, E.Mori, "Ultrasonic Actuator using the Extensional Vibration of Cylindrical Shell", Ultrasonics International 87 Conf. Proc., pp816-821 (1987).
- [2] A.E.H.Love, "A Treatise on the Mathematical

Theory of Elasticity", Dover, pp451-454 (1944).

- [3] R.Inaba, A.Tokushima, O.Kawasaki, Y.Ise, H.Yoneno, "Piezoelectric Ultrasonic Motor", 87 Ultrasonics Symposium IEEE, pp747-756 (1987).