

원형 압전 변환기의 외경에 따른 진동 특성

Vibration Characteristics of Piezoelectric Circular Transducers for Various Outer Radii

박춘광* · 김대중* · 김진오†

Chunguang Piao, Dae Jong Kim, Jin Oh Kim

1. 서 론

역학적 진동과 전기적 신호 간의 상호 변환을 이용하는 압전 변환기(transducer)가 초음파 센서 또는 액추에이터에 많이 사용된다.⁽¹⁾ 압전소자는 주로 원형으로서, 원판형과 링형이 있다. 압전 변환기는 물성치 뿐만 아니라 형상 치수에 따라서도 진동 특성이 달라지므로, 초음파 변환기 설계 시 두께와 지름에 따른 진동특성을 파악해야 한다.

압전 원판의 진동 특성에 대해 이론적으로 연구된 바가 있고⁽²⁾, 링형 원판에도 적용되었다.⁽³⁾ 본 논문은 후속 연구로서 원형 압전소자의 지름에 따른 경향을 밝힌다. 이론적 해석을 통해 고유진동수와 모드형상을 구하고, 유한요소해석과 실험을 통해 결과를 검증한다.

2. 면내 진동

경계면이 자유로운 원판형 압전소자의 방사 진동 특성방정식과 모드형상은 식 (1), (2)와 같다.⁽²⁾

$$c_{11}^p k a J_0(ka) + (c_{12}^p - c_{11}^p) J_1(ka) = 0 \quad (1)$$

$$U(r) = A J_1(kr) \quad (2)$$

링형 압전소자의 방사 진동 특성방정식과 모드형상은 식 (3), (4)와 같다.

$$H(r_i) G(r_o) - G(r_i) H(r_o) = 0 \quad (3)$$

$$U(r) = A \frac{J_1(kr) H(r_i) - Y_1(kr) G(r_i)}{H(r_i)} \quad (4)$$

$$G(r) = c_{11}^p \left[k Y_0(kr) - \frac{Y_1(kr)}{r} \right] + c_{12}^p \frac{Y_1(kr)}{r}$$

$$H(r) = c_{11}^p \left[k J_0(kr) - \frac{J_1(kr)}{r} \right] + c_{12}^p \frac{J_1(kr)}{r}$$

여기서 c_{11}^p , c_{12}^p 는 압전상수이고 k 는 파동수이며 J 와 Y 는 제1종 및 제2종 베셀함수이다. 특성방정식 (1) 또는 (3)으로부터 고유진동수를 구한다.

유한요소해석은 ANSYS 프로그램을 사용하여 진행하였다. 실험에서 모드형상은 Polytec사의 레이저 면내 진동 측정기(LSV-065-306F)로 측정하였다. 레이저 진동 측정기는 레이저 도플러 원리에 의해 작동한다. 고유진동수는 Agilent사의 임피던스 분석기(4192A)를 사용하여 측정하였다.

3. 외경의 영향

본 논문의 이론적 해석과 유한요소해석에서 대상으로 하는 원형 압전 변환기는 재질이 PZT-4이고 내경이 15 mm, 두께가 5mm로 일정하며, 외경이 28 mm로부터 40 mm까지 1 mm 간격으로 변화한다. 외경의 변화에 따른 1차 고유진동수의 변화를 Fig. 1에 나타냈다.

해석 결과를 검증하기 위해 면내 진동 측정기와 임피던스 분석기를 사용하였다. 면내 진동 측정기를 사용하여 면내 1차 모드형상과 고유진동수를 측정하였고, 임피던스 분석기를 사용하여 고유진동수를 측정하였다. 실험에 사용된 원형 압전 변환기를 Table 1에 나타냈다. 재질이 PZT-4이고 외경이 세 가지인 링형 압전 변환기를 사용하였다. 이 두 가지 방법으로 측정된 1차 고유진동수를 Fig. 1에 네모와 원으로 나타냈다. 측정된 1차 고유진동수는 이론적 해석 결과 및 유한요소해석 결과와 일치한다.

Fig. 1에서 알 수 있듯이 외경이 커짐에 따라 1차 고유진동수는 작아진다. 그 이유는 모드형상에서 이해 될 수 있다. Fig. 2에 보인 바와 같이 1차

† 정회원, 숭실대학교 공과대학 기계공학과

E-mail: jokim@ssu.ac.kr

Tel : 02-820-0662, Fax : 02-820-0668

* 정회원, 숭실대학교 대학원 기계공학과

모드형상에서 안쪽 및 바깥쪽 원주면은 같은 방향으로 진동한다. 따라서 외경이 커짐에 따라 1차 진동 모드의 발생이 쉬워지면서 1차 고유진동수가 점차 작아진다. 원형 압전 변환기의 2차 및 3차 고유진동수도 외경이 커짐에 따라 작아지는 경향이 있으며, 이것도 모드형상에 관련된다.

Table 1 Three types of circular transducers

Specimen	Diameter (mm)		Thickness (mm)
	Inner	Outer	
A	15	30	5
B	15	35	5
C	15	38	5

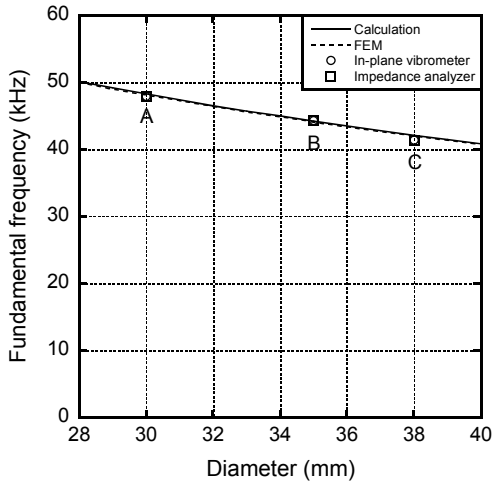


Fig. 1 Comparison of the fundamental frequencies obtained by calculation, finite-element method and measurements

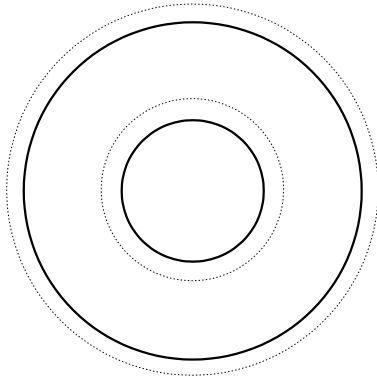


Fig. 2 Fundamental mode shape of a circular ring-type transducer

4. 결 론

원형 압전 변환기의 진동특성을 파악하기 위하여, 이론적 해석과 유한요소해석을 진행하였다. 결과 비교를 위해 레이저 면내 진동 측정기를 사용하여 면내 1차 모드형상 및 고유진동수를 측정하였고, 임피던스 분석기로 고유진동수를 측정하였다. 레이저 면내 진동 측정기 및 임피던스 분석기로 측정한 고유진동수의 결과와 해석 결과가 거의 일치하였다.

원형 압전 변환기의 내경 및 두께가 일정할 때 외경에 따른 진동특성을 파악하였다. 외경이 커짐에 따라 고유진동수는 감소하는 경향을 보였다.

후 기

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 "IT융합 고급인력과정 지원사업"의 지원으로 수행되었음 (NIPA-2013-H0401-13-1004).

참 고 문 헌

- (1) Busch-Vishniac, I. J., 1999, *Electro-Mechanical Sensors and Actuators*, Springer, New York, Ch. 5.
- (2) Oh, S. H., Yang, S. J., Kim, J. O., Lee, S. H., 2012, *Coupled Vibration Characteristics of Piezoelectric Disk Transducers*, Proceedings of the KSNVE Fall Conference, pp. 663~664.
- (3) Piao, C., Kim, D. J., Jeon, B. H., Shin, J. H., Kim, J. O., Kim, Y., 2013, *Radial Vibration Characteristics of Piezoelectric Ring-type Transducers*, Proceedings of the Spring Conference of KSME IT Convergence Division, pp. 83~84.