압전단결정을 이용한 초음파 탐촉자 모델링 및 해석

Modeling and Analysis of Ultrasonic Transducer with Single Crystal Piezoelectric Material

권병진†
Kwon Byung-Jin

Key Words : Ultrasonic Transducer(초음파 탐촉자), Single Crystal Piezoelectric Material(압전 단결정)

ABSTRACT

In this research, modeling and analysis of an ultrasonic transducer composed of single crystal piezoelectric material(PMN-28PT) are conducted with FEM in reference with that composed of piezoelectric ceramic(PZT-4). Acoustic performances of the ultrasonic transducer are compared with magnitude, phase of impedance and trasmitting voltage response according to the type of piezoelectric materials.

1. 서 론

시험대상의 물리적 손상없이 특성을 평가하는 방법중 초음파를 사용한 시험방법이 있으며 이는 구조물의 결함이나 강도, 두께 등을 측정하는데에 이용되고 있다. 초음파 시험과 계측을 위한 장비로써 초음파 탐촉자는 물체를 탐지하거나 매질의 특성을 측정하는 핵심부품이다. 초음파 탐촉자의 성능 결정 요인은 송신출력 및 수신감도, 그리고 주파수 대역이다. 탐촉자의 송신출력 및 수신감도가 높아지면 출력되는 신호의 크기가 커지고 수신되는 성능이 좋아져 수신능력이 향상된다. 또한 주파수 대역이 넓어지면 좁은 주파수대역으로 인해 여러 종류의 탐촉자를을 사용하지 않고 하나의 한 종류의 탐촉자만으로 측정하다는 장점을 가지게 된다.

기존의 센서나 측정장비들은 주로 압전 세라믹을 이용하여 제작되어 왔으나 최근들어 향상된 물성치를 가지는 압전 단결정 물질이 대두됨에 따라 압전 단결정 물질을 이용한 다양한 연구들이 이루어지고 있다. 압전 단결정은 기존의 압전 세라믹에 비해 높은 압전상수와 낮은 기계적 임피던스, 높은 효율을 가짐으로써 신호출력 및 주파수 대역폭을 향상시킬 수 있다. 따라서 본 연구에서는 압전 단결정을 적용한 초음파 탐촉자에 대한 모델링 및 해석을 수행함으로써 압전 세라믹이 적용된 초음파 탐촉자와 성능을 비교하였다.

† 교신저자 : 국방과학연구소
E-mail : bjkwon@add.re.kr
Tel : 055-540-6144, Fax : 055-542-3737

2. 초음파 탐촉자 모델링

압전 단결정과 압전 세락믹으로 구성된 초음파 탐촉자를 모델링하기 전에 두께모드 압전소자의 공진주파수 fr이 될 수 있도록 두께와 직경을 선정한다. 두께모드 압전소자는 다음의 식을 통해 무한 평판에 대한 이론적 임피던스를 계산을 할 수 있으며 FEM 프로그램인 COMSOL Multiphysics를 통해 유한한 직경을 가지는 두께모드 압전소자에 대한 임피던스를 비교하였다.

$$Z=\frac{1}{j\omega A\epsilon_{33}^{s}}\left[1-\frac{k_t^2\tan\left(t\omega\sqrt{\frac{\rho}{C_{33}^{D}}}\right)}{t\omega\sqrt{\frac{\rho}{C_{33}^{D}}}}\right]$$

그리고 압전소자의 음파를 매질로 효과적으로 전달하기 위한 음향윈도우와 압전소자 뒤로 전달되는

음파를 효과적으로 감쇄시키는 역할을 하는 백킹 등으로 구성하여 초음파 탐촉자를 모델링하고 압전소자 종류에 따른 송신성능 및 빔패턴 등을 확인하여 성능을 비교하였다. 그림 1은 초음파 탐촉자의 음향성능을 확인하기 위한 모델링이다.

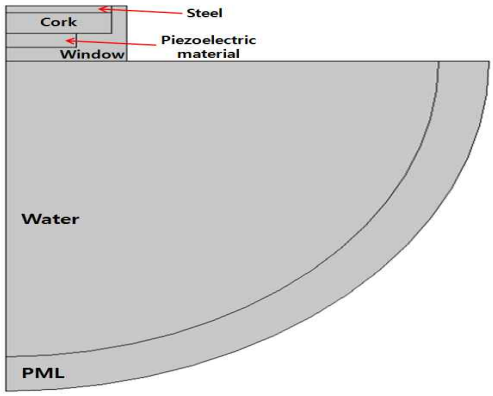

그림 1 Modeling of Ultrasonic Transducer

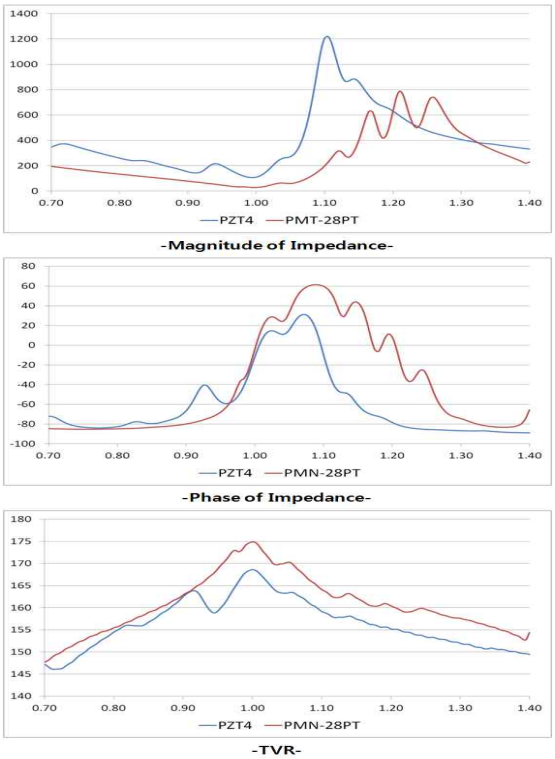

그림 2 Magnitude and Phase of Impedance, TVR regarding to Ultrasonic Transducer

Table 1 Comparisons of bandwidth and beam width

	-3dB 주파수 대역폭	빔폭
PZT-4	50 kHz	8°
PMN-28PT	55 kHz	9.43°

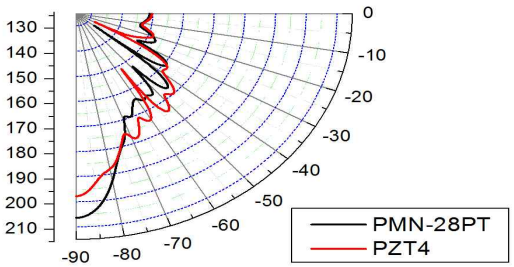

그림 3 Comparison of Beam pattern

그림 2는 초음파 탐촉자의 임피던스 크기, 위상, 송신전압감도를 나타낸다. 압전 단결정을 이용한 초음파 탐촉자는 압전 세라믹을 이용한 것보다 기계적 임피던스가 낮고 압전상수가 높아 송신감도 성능이 향상되었으며 -3dB 주파수대역이 약 5kHz 넓어진 것을 확인할 수 있다. 그리고 공진과 반공진 주파수를 통해 압전 단결정의 초음파 탐촉자가 압전세라믹으로 제작된 초음파 탐촉자보다 효율이 높은 것을 알 수 있다. 또한 초음파 탐촉자의 방사면을 통해 송신되는 음압을 통해 압전소자 종류에 따른 빔패턴을 그림 3에 나타내었다. 압전 단결정으로 제작된 탐촉자의 송신음압이 압전 세라믹으로 제작된 탐촉자 보다 더 크며 빔폭 또한 약 1.43° 넓은 결과를 얻을 수 있었다.

3. 결 론

유한요소해석을 통해 압전소자 종류에 따른 초음파 탐촉자의 임피던스 크기, 위상 그리고 송신전압감도, 빔패턴을 비교함으로써 압전 단결정으로 제작된 탐촉자의 성능을 확인하였다.

참 고 문 헌

(1) WARREN P. MASON, 1964, PHYSICAL ACOUSTICS Principles and Methods, ACADEMIC PRESS Inc., New York.