

오목구조형섬발변환자의 진동특성에 미치는 재료정수들의 영향

리의환, 박명일

섬발변환자는 소형화된 구부림변환자로서 체적이 작고 질량이 가벼우며 원가가 적게 드는것으로 하여 저주파대역의 수중음향안테나제작에 많이 리용된다.[1-4]

처음 개발된 볼록구조형섬발변환자는 그 구조적특성으로 하여 얇은 물속(200m이하)에서만 사용할수 있는 결함이 있다. 이러한 결함을 극복한 새로운 형의 섬발변환자로 오목구조형섬발변환자가 개발되였다.[5]

우리는 오목구조형섬발변환자를 구성하고있는 압전사기재료와 금속모자재료선택을 합리적으로 하기 위하여 변환자의 공진주파수와 전기력학결합결수에 미치는 재료정수의 영향을 고찰하였다.

1. 유한요소해석

압전사기재료정수변화에 따르는 오목구조형섬발변환자의 진동특성을 고찰하였다. 이를 위해 금속모자재료로는 황동을 선택하고 압전사기재료로는 PZT-M, PZT-1S, PZT-MS를 리용하였다. 그리고 변환자의 공진주파수와 전기력학결합결수변화해석에 유한요소해석프로그램 ANSYS를 리용하였다.

표 1에 변환자해석에 리용된 압전사기재료들의 정수들을 보여주었다.

표 1. 변환자해석에 리용된 압전사기재료들의 정수

재료	$\rho/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	$10^{-12}\cdot d_{31}$	$10^{-12}\cdot d_{33}$	$\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$	Q_m
PZT-1S	7 517	-220.4	345.3	2 500	68
PZT-5	7 750	-185	350.0	2 100	80
PZT-M	7 746	-74.02	181.1	713	1 359
PZT-4	7 500	-118	273.0	1 204	$\geq 1\ 000$
PZT-MS	7 640	-97.9	203.1	917	648
PZT-8	7 640	-90	230.0	1 000	≥ 500

표 1에서 보는바와 같이 PZT-M재료는 PZT-4와 유사한 고우량도재료이며 1S재료는 PZT-5와 유사한 저우량도재료이다. PZT-MS재료는 M재료와 1S재료의 중간값에 대응한 재료로서 PZT-8재료와 유사하게 개발된것이다.

기하학적구조로서 변환자의 직경은 $D_1=10\sim 35\text{mm}$ (압전사기의 외경), 금속모자의 밑 직경(압전사기의 내경)은 $D_2=D_1-5(\text{mm})$ 로 변화시키고 금속모자의 옷직경은 $D_3=D_2/3$, 금속모자의 홈깊이는 $h_c=0.6\text{mm}$, 금속모자두께는 $t=0.24\text{mm}$, 압전사기의 두께는 $h_p=3\text{mm}$ 로 설정하였다. 유한요소해석을 진행할 때 계산량을 줄이기 위하여 섬발변환자의 3차원모형을 2차원축대칭모형으로 전환하여 그 절반부분만을 고찰하였으며 압전사기부분의 요소형태로는 PLANE13을, 금속모자부분(황동)의 요소형태로는 PLANE42를 선택하고 그것에 해당

한 재료속성값들을 주었다.

그림 1에 섬발변환자의 2차원축대칭유한요소모형을 보여주었다.

경계조건으로 금속모자와 압전사기는 에폭시에 의하여 역세계 접합되었다고 가정하고 압전사기의 반경방향으로 전압을 걸어주었다. 풀이형식을 보면 진동모드해석을 먼저 진행하여 기본모드에 해당하는 공진주파수를 확인한 다음 공진주파수부근에서의 조화해석을 진행하여 해당하는 전도도특성을 얻고 기본모드에서의 공진주파수와 반공진주파수를 추정하여 구한 값을 다음의 식에 대입하여 전기력학결합계수를 계산하였다.[2]

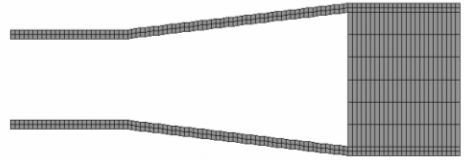


그림 1. 섬발변환자의 2차원축대칭 유한요소모형

$$k = \sqrt{1 - \frac{f_r^2}{f_a^2}}$$

여기서 k 는 전기력학결합계수, f_r 는 공진주파수, f_a 는 반공진주파수이다.

각이한 압전사기재료에 따르는 전기력학결합계수변화는 그림 2와 같다.

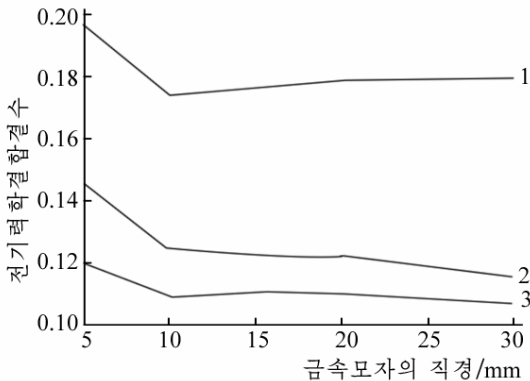


그림 2. 각이한 압전사기재료에 따르는 전기력학결합계수변화

1-IS재료, 2-MS재료, 3-M재료

그림 2에서 보는바와 같이 저우량도재료의 1S압전사기를 리용한 변환자의 전기력학결합계수가 제일 크다.

다음으로 금속모자재료에 따르는 변환자의 진동특성을 고찰하였다.

압전사기와 결합되는 금속모자재료를 황동, 철, 알루미늄, 티탄, 몰리브덴 등으로 변화시키고 변환자의 직경은 $D_1=20\text{mm}$, 금속모자의 밑직경은 $D_2=15\text{mm}$, 금속모자의 옷직경은 $D_3=D_2/3$, 홈깊이는 $h_c=0.6\text{mm}$, 금속판의 두께는 $t=0.24\text{mm}$, 압전사기의 두께는 $h_p=3\text{mm}$ 로 주었다.

각이한 금속모자재료에 따르는 변환자의

공진주파수와 전기력학결합계수는 표 2와 같다.

표 2. 각이한 금속모자재료에 따르는 변환자의 공진주파수와 전기력학결합계수

금속모자재료	공진주파수/kHz	전기력학결합계수
알루미늄	10.3	0.216
티탄	10.0	0.220
철	9.5	0.203
황동	7.0	0.214
몰리브덴	9.8	0.191

표 2에서 보는바와 같이 공진주파수는 알루미늄에서 제일 높고 황동에서 제일 낮으며 전기력학결합계수는 티탄에서 제일 크고 그다음은 알루미늄, 황동, 철, 몰리브덴의 순서로 작게 나타났다. 전기력학결합계수가 제일 큰 티탄은 가격이 비싸고 알루미늄은 가격이 낮고 가벼우나 납땀을 하기 어려운 결함이 있다.

이로부터 금속모자재료로는 황동을 선택하는것이 합리적이라는것을 알수 있다.

2. 실험 검증

유한요소해석결과에 대한 실험검증을 위하여 외경과 내경이 각각 20, 15mm이고 두께가 3mm인 고리형압전사기진동자를 PZT-M, PZT-1S, PZT-MS재료로 각각 제작하였다. 금속모자는 두께가 0.24mm인 황동판으로 $D_1=20\text{mm}$, $D_2=15\text{mm}$, $D_3=D_2/3$, $h_c=0.6\text{mm}$ 의 기하학적크기를 가진 누름형타를 리용하여 압성형하여 연마와 세척공정을 거쳐 제작하였다. 다음 고리형압전사기진동자와 금속모자를 아세톤으로 세척건조한 후 압전사기고리면과 금속모자의 후란지부분에 얇은 두께(약 $20\mu\text{m}$)로 에폭시층을 형성한 다음 조립지구를 리용

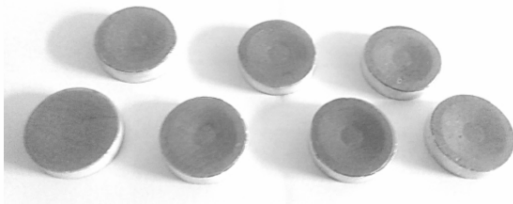


그림 3. 제작된 오목구조형섬발변환자

하여 일정한 압력을 준 조건에서 건조로(약 60°C)에서 4h정도 경화시킨 후 방안온도에서 24h동안 경화시켜 접착을 실현하였다.

그림 3에 제작된 오목구조형섬발변환자들을 보여주었다.

주파수직시기(《LBO-115M》)를 리용하여 개별적인 변환자들의 공진주파수와 반공진주파수를 측정하고 전기력학결합결수를 계산(표 3)

한 다음 유한요소해석결과와 비교하였다.

표 3. 변환자의 공진주파수와 전기력학결합결수측정값

금속모자재료	공진주파수/kHz	전기력학결합결수
알루미늄	10.5	0.22
티탄	10.2	0.23
철	9.7	0.20
황동	7.1	0.21

표 3에서 보는바와 같이 측정값은 유한요소해석결과(표 2)와 거의 일치한다.

맺 는 말

오목구조형섬발변환자의 공진주파수와 전기력학결합결수에 미치는 압전사기와 금속모자재료정수의 영향관계를 고찰하고 변환자의 성능을 보다 높이기 위해서는 압전사기재료로는 저우량도재료인 PZT-1S를, 금속모자재료로는 황동재료를 리용하는것이 합리적이라는것을 유한요소해석을 통하여 밝히고 그것을 실험적으로 확증하였다.

참 고 문 헌

- [1] A. Dogan; Journal of Electroceramics, 13, 403, 2004.
- [2] F. H. Tian; Torpedo Technology, 15, 3, 51, 2007.
- [3] P. Kluk; Acta Physica Polonica, A 127, 3, 719, 2015.
- [4] S. Lin; Sensors and Actuators, A 163, 266, 2010.
- [5] J. Zhang; Mat. Res. Innovat., 2, 252, 1999.

Effect of Material Parameters on Vibration Characteristic in a Concave Cymbal Transducer

Ri Ui Hwan, Pak Myong Il

We considered the effect of material parameters of ceramics and metal caps on the resonance frequency and the electromechanical coupling coefficient in the concave cymbal transducer. We experimentally showed that it is reasonable to use PZT-1S (low Q -factor) as the piezoelectric ceramics and brass as metal caps for high performance.

Keywords: concave cymbal transducer, electromechanical coupling coefficient, resonance frequency