

Class IV Flextensional 트랜스듀서의 주파수 특성 변화에 관한 연구

A Study on the Frequency Characteristics of a Class IV Flextensional Transducer

강 국 진*, 노 용 래**
(Kuk Jin Kang*, Yong Rae Roh**)

요 약

본 연구에서는 Class IV Flextensional 트랜스듀서의 구조를 설정하고, 여러 형상 및 물성 변수들이 공진 주파수에 미치는 영향을 유한 요소법을 이용하여 해석하였다. 그 결과 공진 주파수에 영향을 가장 많이 미치는 것은 장축 길이, 단축 길이, 셸의 두께, 셸의 물성 등이다. 반면에 Insert의 부피, 세라믹 적층의 물성과 두께는 상대적으로 적은 영향을 미치고, Nodal-plate의 두께는 공진 주파수와 무관한 경향을 나타내었다.

본 연구에서 얻어진 결과는, 다양한 중심 주파수를 가지는 Class IV Flextensional 트랜스듀서를 구현함에 있어 유용한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

ABSTRACT

We constructed a class IV Flextensional transducer, and analyzed the effects of the variation in its material properties and structure on the resonance frequency of the transducer. We used the FEM for the analysis. Major axis length, minor axis length, thickness and material properties of the shell turned out to have large effects, while volume of the insert material, material properties and thickness of the ceramic bar have little. Thickness of the nodal-plate has no effect on the resonance frequency.

Results of the present work can be utilized to design Class IV Flextensional transducers of various resonance frequency.

I. 서 론

일반적으로 트랜스듀서가 저주파 대역에서 고출력을 가지기 위해서는 큰 부피 변위 진폭(volume displacement amplitude)을 필요로 한다[1]. 통상 수중 음향탐지기로 많이 사용되는 Tonpitz 트랜스듀서를 저주파 대역에서 사용하려면 큰 부피와 큰 중량이 요구되며, 또한 큰 부피 변위 진폭을 얻기에는 어려움이 있다. 반면에 Flextensional 트랜스듀서는 저주파 대역에서 상대적으로 부피와 무게는 크게 줄이면서 큰 부피 변위 진폭을 얻을 수 있기 때문에 최근 각광을 받고 있는 고출력 수중 음향 트랜스듀서이다.

Flextensional 트랜스듀서는 셸의 모양에 따라 대략 5 종류로 나눌 수 있으며, 그 중 타원 모양의 셸을 사용하는 Class IV Flextensional 트랜스듀서의 효율이 가장 좋다고 알려져 있다[2]. Class IV Flextensional 트랜스듀서는 세라믹

적층에 전계를 인가하면 세라믹 적층의 두께(장축) 방향으로 작은 변위가 발생된다. 이때 발생된 변위는 지레 효과에 의하여 상대적으로 유연한 타원형 셸에 전달되어 단축 방향으로 큰 변위를 발생시키기 때문에 사용되는 중심 주파수 대역에서 고효율을 가진다. 일반적으로 Flextensional 트랜스듀서는 사용하는 중심 주파수 대역의 파장에 비해 그 크기가 작기 때문에 무지향성 방사체로 볼 수 있으며[2], 지향성을 가지는 Flextensional 트랜스듀서에 관한 연구사례도 보고된 바가 있다[3].

Flextensional 트랜스듀서를 해석하는 방법으로는, 수학적으로 해석하는 방법[4-5], 정확성은 떨어지지만 상대적으로 간단한 등가 회로 법으로 해석하는 방법[6], 그리고 구조의 복잡성으로 인한 오차를 줄이고, 정확성을 높이기 위하여 최근에 가장 널리 사용되고있는 유한 요소법[7]을 이용하는 세 가지 방법이 주종을 이루고 있다.

그러나 Flextensional 트랜스듀서와 같이 수중에서 낮은 중심 주파수를 가지는 음향 탐지기를 사용할 경우, 잠음은 줄어들며 탐지 범위가 넓어지지만 효율성은 저하되는

* 경북대학교 센서공학과

** 경북대학교 센서공학과/전자전기공학부

접수일자: 1999년 4월 28일

문제가 있다[8]. 탐지 범위와 음향 탐지기의 효율은 각각의 사용환경에 따라 다르게 요구되고 따라서 사용환경에 알맞은 중심 주파수를 가지는 음향 탐지기의 설계가 매우 중요하다. 그간 Class IV Flextensional 트랜스듀서에 대한 많은 연구가 수행되어져 왔고, 다양한 공진 주파수에 따른 여러 종류의 Class IV Flextensional 트랜스듀서가 개발되어 사용되고 있다. 그러나 현재까지 Class IV Flextensional 트랜스듀서의 여러 설계변수들 중 대표적인 몇 가지만이 미치는 영향에 대한 보고는 있으나[1,9-10], 트랜스듀서의 모든 설계변수가 트랜스듀서의 주파수 특성에 미치는 영향을 체계적으로 분석한 자료는 보고된 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 먼저 Class IV Flextensional 트랜스듀서의 작동 원리를 규명하고, 이를 바탕으로 Class IV Flextensional 트랜스듀서의 구조를 설정하여 여러 형상 변수와 물성 변수들이 공진 주파수에 미치는 영향을 유한 요소법을 이용하여 해석하고자 한다.

II. 이론적 배경

Class IV Flextensional 트랜스듀서는 그림 1에서 보는 바와 같이 타원형의 셸과 세라믹 적층의 두 부분으로 나눌 수 있다. 일반적으로 공진 주파수는 셸의 3가지 진동모드, 즉 제1 Flextensional 진동모드, 제2 Flextensional 진동모드, 그리고 Breathing 진동모드와 세라믹 적층의 두께 진동모드의 결합으로 이루어진다[6]. 선행 연구결과들에 의하면 먼저 타원형 셸의 제1, 2 Flextensional 진동모드의 공진 주파수는 셸을 두 개의 수직 bar가 결합한 것으로 단순화하여 가정했을 때 식 (1)로 표현될 수 있다[11].

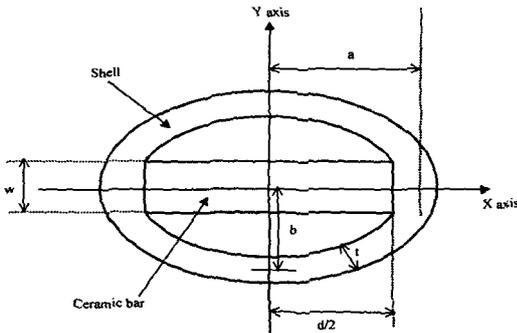


그림 1. Class IV Flextensional 트랜스듀서의 단면도
Fig. 1. Schematic cross section of the Class IV Flextensional transducer.

$$f_{Shell} = \frac{\pi}{8} \frac{t}{\sqrt{12}} \frac{S^2}{L^2} \sqrt{\frac{Y_{Shell}}{\rho_{Shell}}} \quad (1)$$

where t = 셸 두께,
 S = number in series 3.0112, 5, 7, ...
 $L = \pi \sqrt{0.5(a^2 + b^2)}$,
 a = 반 장축 길이,
 b = 반 단축 길이,
 Y_{Shell} = 셸 영률,
 ρ_{Shell} = 셸 밀도

단, 식 (1)은 셸 내부의 세라믹 적층등의 영향은 모두 무시하고 내부가 비어있는 셸만의 특성을 본 것으로서, 세라믹 적층등의 영향을 고려할 시 경향이 다르게 나올 수도 있다. 다음으로 셸의 Breathing 진동모드의 공진 주파수는 원주와 파장이 같을 때 나타나는 것으로 식 (2)로 표현된다.

$$f_{Shell, B} = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{Y_{Shell}}{\rho_{Shell}}} \quad (2)$$

변수는 위의 (1)식과 동일하다. 세라믹 적층의 두께 진동모드 공진 주파수는 식 (3)으로 표현되어진다.

$$f_{Ceramic} = \frac{1}{2d} \sqrt{\frac{Y_{Ceramic}}{\rho_{Ceramic}}} \quad (3)$$

where d = 세라믹 적층의 두께,
 $Y_{Ceramic}$ = 세라믹 적층의 영률,
 $\rho_{Ceramic}$ = 세라믹 적층의 밀도

그러나 위의 (1), (2), (3)식은 셸과 세라믹 적층 각각에 대해서는 적용 될 수 있으나, 셸과 세라믹 적층이 결합한 상태인 복합 구조를 가지는 Class IV Flextensional 트랜스듀서에 대해서는 다른 변수들의 영향을 고려하지 못하므로 정확성이 떨어진다. 그래서 본 연구에서는 먼저 수중이 아닌 공기 중에서의 Class IV Flextensional 트랜스듀서의 구조를 설정하고, 여러 형상변수와 물성 변수들이 Class IV Flextensional 트랜스듀서의 공진 주파수에 미치는 영향을 유한 요소법을 이용하여 해석하고자 한다.

III. Class N Flextensional 트랜스듀서의 유한 요소 모델링

공기 중에서의 Class IV Flextensional 트랜스듀서는 각각의 세라믹 조각을 병렬로 묶어서 능동 구동자 역할을 하는 세라믹 적층, 음향 방사체로 작용하는 타원형의 셸, 절연체, 중심점을 잡아주고 세라믹 적층의 처짐을 방지하는 Nodal-plate, 세라믹 적층과 셸의 중간에서 전달자 역할을 하는 Insert로 구성되고 이를 그림 2에 나타내었다.

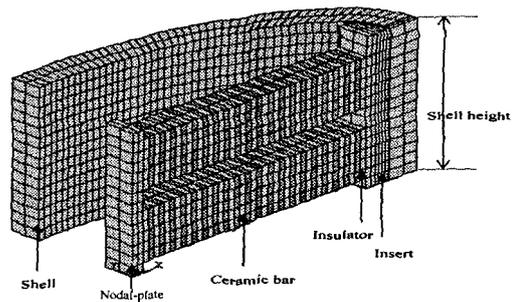


그림 2. Class IV Flextensional 트랜스듀서의 유한 요소 모델
Fig. 2. Finite Element Model of the Class IV Flextensional transducer.

본 연구의 대상인 Class IV Flextensional 트랜스듀서의 수치 해석 모델은 유한 요소 상용 package인 ANSYS 5.3 을 사용하여 구성하였고, 약 4,000개의 노우드와 약 2,500 개의 요소로 형성되어 있다. 모델링 해석 시 Class IV Flextensional 트랜스듀서의 대칭성을 고려하여 전체의 1/8 에 해당하는 모델을 구현하였고, x, y 및 z 방향으로 대칭 처리 하였다. 경계 조건으로는 Class IV Flextensional 트랜스듀서의 모든 부분을 자유상태로 가정하였다.

본 연구에서 분석하고자 하는 형상변수 및 물성 변수 들의 범위는 중심 주파수 1.2 kHz 주위에서의 사용환경 을 고려하여 표 1과 같이 정하였다.

표 1. Flextensional 트랜스듀서의 형상 및 물성 변수들
Table 1. Structural and material variables of a flextensional transducer.

Variables	Variation range
Semi major axis length (a)	150 ~ 300 mm
Shell thickness (t)	10 ~ 40 mm
Shell materials	Aluminum, GRP, Graphite, S-Glass, Steel, Titanium
Minor/major axis length ratio (b/a)	0.3 ~ 1.0
Ceramic bar thickness (d/2)	120 ~ 160 mm
Ceramic bar materials	PZT-4, PZT-5A, PZT-5H, PZT-8
Shell height	45 ~ 150 mm
Insert materials	Aluminum, GRP, Rubber, Steel
Insert shape	5
Nodal-plate thickness	0 ~ 12 mm

IV. 결과 및 고찰

4.1. Class IV Flextensional 트랜스듀서의 진동모드 해석

타원형 셸의 진동모드에는 제1 Flextensional 모드, 제2 Flextensional 모드 그리고 Breathing 모드가 있다. 그리고 세라믹 적층은 두께 진동모드를 가지고 있다. 본 연구에서는 첫 단계로 셸의 3가지 진동모드, 세라믹 적층의 두께 진동 모드 그리고 전체 Class IV Flextensional 트랜스듀서의 진동모드를 해석하였다. 모드 해석 시 사용된 Flextensional 트랜스듀서의 형상으로서 반 장축 길이(a)는 200 mm, 단 축 길이(b)는 80 mm, 셸 두께는 20 mm, 세라믹 적층의 두께(d/2)는 120 mm, Nodal-plate 두께는 8 mm, Insulator 두께는 4 mm, 그리고 셸 높이는 150 mm로 하였다. 그리고 셸, Nodal-plate, Insert의 재료로는 Aluminum, 세라믹 적층으로는 PZT-8을 사용하였다. 해석 결과는 그림 3, 4, 5, 6, 7에 나타내었다. 이상의 결과를 종합해 보면, 각 진동모드 공진 주파수는 식 (1), (2), (3)과 잘 일치함을 알 수가 있고, 트랜스듀서의 공진 주파수에 지배적인 영향을 미치는 것은 타원형 셸의 공진 주파수임을 확인할 수 있었다.

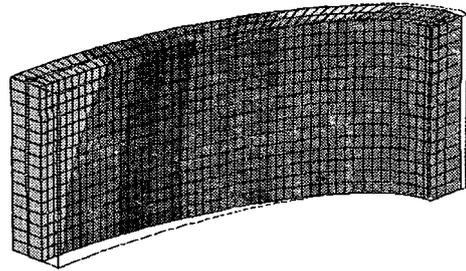


그림 3. 셸의 제1 Flextensional 진동모드 (공진 주파수 : 519 Hz)
Fig. 3. The first Flextensional mode shape of the Shell.

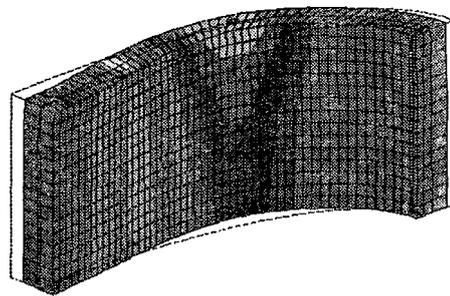


그림 4. 셸의 제2 Flextensional 진동모드 (공진 주파수 : 2806 Hz)
Fig. 4. The second Flextensional mode shape of the Shell.

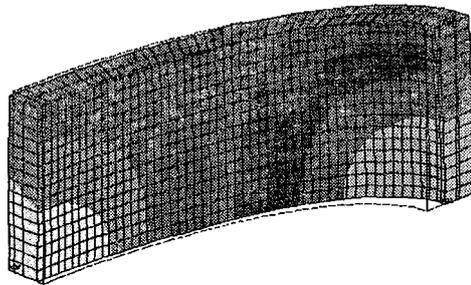


그림 5. 셸의 Breathing 진동모드 (공진 주파수 : 5419 Hz)
Fig. 5. Breathing mode shape of the Shell.

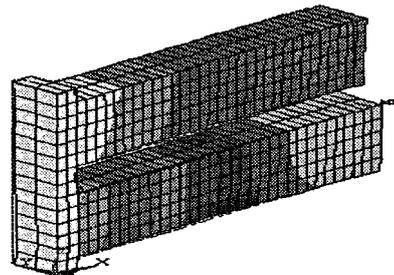


그림 6. 세라믹 적층의 두께 진동모드 (공진 주파수 : 6531 Hz)
Fig. 6. Thickness mode shape of the Ceramic bar.

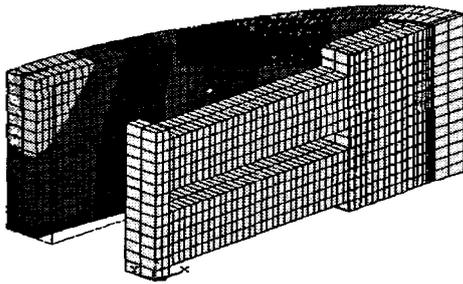


그림 7. Class IV Flextensional 트랜스듀서 전체 진동모드(공진 주파수 : 1235 Hz)

Fig. 7. Overall mode shape of the Class IV Flextensional transducer.

4.2. 장축 길이에 따른 공진 주파수 변화

트랜스듀서의 장축 길이 변화에 따른 공진 주파수 변화를 분석하였다. 이때에 사용되어진 형상 변수로는 셸 두께는 40 mm, b/a는 0.4로 고정시킨 상태에서 반 장축 길이(a)를 150 mm~300 mm 까지 50 mm 간격으로 변화시키면서 그 결과를 관찰하였고, 물성은 4.1항과 동일하다. 세라믹 적층의 두께(d/2)는 a에 따라 거의 비례적으로 증가시키면서 순수하게 장축 길이 변화에 따른 공진 주파수의 영향을 관찰 하고자 하였다. 본 연구의 결과를 그림 8에 나타내었다. 결과를 보면 반 장축 길이가 증가함에 따라 Class IV Flextensional 트랜스듀서의 공진 주파수는 급격하게 감소하는 경향성을 보였다. 이상의 결과에서 Class IV Flextensional 트랜스듀서의 공진 주파수에 지배적인 영향을 미치는 것은 셸의 공진 주파수임을 알 수 있고, 수식 (1)에서 셸의 공진 주파수는 a와 b가 증가하면 전체적으로 L이 증가하여 Class IV Flextensional 트랜스듀서의 공진 주파수가 감소하는 것으로 설명될 수 있다.

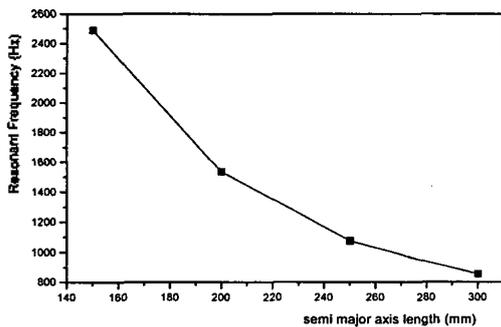


그림 8. 반 장축 길이에 따른 공진 주파수 변화
Fig. 8. Resonance frequency vs semi major axis length.

4.3. 셸 두께 변화에 따른 공진 주파수 변화

다음으로 셸 두께 변화에 따른 공진 주파수 변화를 분석하였다. 다른 변수들은 모두 고정시키고, 셸의 두께만 10 mm에서 40 mm까지 10 mm 간격으로 변화시키면서 공진 주파수의 변화를 관찰하였다. 여기서 반 장축 길이를 200 mm로 고정시킨 상태에서 해석을 하였기 때문에 셸의 두께

가 증가할수록 반대로 Insert의 부피는 줄어든다. 본 연구의 결과를 그림 9에 나타내었다. 결과를 보면, 셸의 두께가 증가할수록 공진 주파수는 증가하는 경향을 보였고, 이 결과는 수식 (1)에서의 경향과 잘 일치한다.

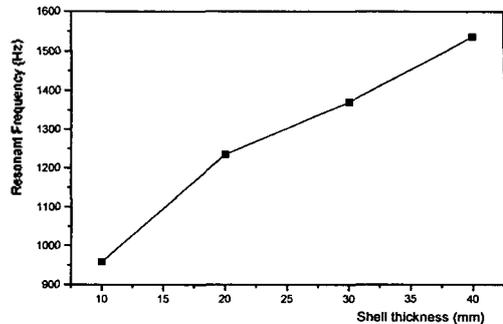


그림 9. 셸 두께에 따른 공진 주파수 변화
Fig. 9. Resonant frequency vs Shell thickness.

4.4. 셸 물성에 따른 공진 주파수 변화

다음으로 셸의 물성을 변화시키면서 공진 주파수 변화를 분석하였다. 셸의 종류로는 Aluminum, Graphite, GRP-(Glass Reinforced Plastic), S-Glass, Steel, Titanium의 6가지로 정하고, 사용되어진 각 물성을 표 2에 나타내었다. 위의 해석 결과, 셸의 재질이 GRP일 때 공진 주파수가 1016 Hz, Steel일 때 1045 Hz, Titanium일 때 1127 Hz, Aluminum일 때 1223 Hz, S-Glass일 때 1244 Hz, Graphite일 때 1911 Hz 이었다. 이상의 결과는 셸의 영향이 낮고 밀도가 높을수록 공진 주파수가 감소하는 식 (1)의 경향과 잘 일치한다.

표 2. 셸의 물성
Table 2. Properties of the Shell materials.

	Young's modulus (GPa)	Density (kg/m3)	Poisson's ratio
Aluminum	68.9	2710	0.3
Graphite	110	1500	0.41
GRP	27.4	1920	0.25
S-Glass	48	2000	0.26
Steel	210	7500	0.31
Titanium	110	4400	0.33

4.5. 단축과 장축 길이비(b/a)에 따른 공진 주파수 변화

단축과 장축 길이의 비에 따른 공진 주파수의 변화 해석 시에는 a는 200 mm, 셸 두께는 20 mm로 고정시키고 b 길이를 변화시키면서 공진 주파수 변화를 분석하였다. 그림 10에 나타낸 결과를 보면 b/a가 0.6까지는 b/a가 클수록 공진 주파수가 증가하고, 0.7보다 클 경우는 b/a가 증가할수록 공진 주파수가 감소하는 경향을 나타내었다. 수식

(1)에 따르면 b/a 가 증가할수록 공진 주파수가 감소해야 하는데, b/a 가 0.6이하에서는 반대의 경향을 나타내었고, 0.7이상에서는 수식 (1)과 일치하는 경향을 나타내었다. 이는 수식 (1)이 셸을 두 개의 수직 bar로 가정하여 셸에만 적용되는 수식으로서 본 연구에서와 같이 복합구조를 가지는 Flextensional 트랜스듀서의 곡률 변화에 따른 영향을 관찰하기에는 부적절하기 때문이다. 대신에 그림 10의 결과는 실험적인 선행연구결과[10]와 잘 일치하는 경향성을 나타내었다.

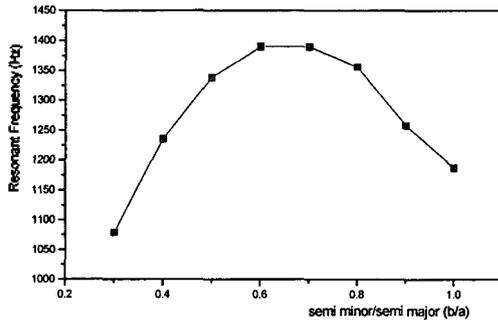


그림 10. b/a 에 따른 공진 주파수 변화
Fig. 10. Resonance frequency vs b/a .

4.6. 세라믹 적층의 두께($d/2$) 변화에 따른 공진 주파수 변화

세라믹 적층의 두께 변화에 따른 공진 주파수 변화를 관찰하기 위하여 세라믹 적층의 두께($d/2$)를 120 mm에서 160 mm까지 변화시켰으며, 이때 a 를 일정하게 유지하기 위하여 세라믹 적층의 두께가 증가하는 만큼 Insert 길이를 감소시켰다. 그림 11의 결과를 보면, 세라믹 적층의 두께가 증가할수록 공진 주파수는 미세하지만 조금씩 낮아진다. 이는 적층의 두께가 증가함에 따라 세라믹 적층만의 두께 진동 공진 주파수는 급격하게 감소하나, Insert를 포함한 셸의 공진 주파수는 큰 변화를 겪지않고, 따라서 전체 트랜스듀서의 공진 주파수가 약간 낮아지는 것으로 판단되어진다.

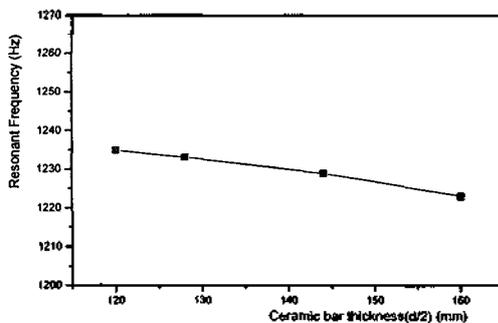


그림 11. 세라믹 적층 두께에 따른 공진 주파수 변화
Fig. 11. Resonant frequency vs Ceramic bar thickness.

4.7. 세라믹 적층의 물성에 따른 공진 주파수 변화

본 연구에서 사용되는 세라믹의 종류를 압전 물질인 PZT-4, PZT-5A, PZT-5H, PZT-8로 변화시켜 공진 주파수 변화를 관찰하였다. 여기서 세라믹 적층은 Poling 방향이 서로 반대인 PZT 조각을 적층으로 쌓아서 적층 중 효과를 이용하고자 하였다. 세라믹 적층의 물성은 참고문헌 (12)의 값을 인용하였다. 이상의 결과를 그림 12에 나타내었다. 결과를 보면 사용된 세라믹 적층의 물성 중에서 PZT-5 계열을 사용했을 때 공진 주파수가 낮고, 그 다음으로 PZT-4, 그리고 PZT-8을 사용했을 때 공진 주파수가 가장 높은 값을 나타내었다. 이 결과는 PZT-5 계열이 PZT-8보다 등가 영율이 낮기 때문인 것으로, 식 (3)과 일치하는 경향성을 나타낸다.

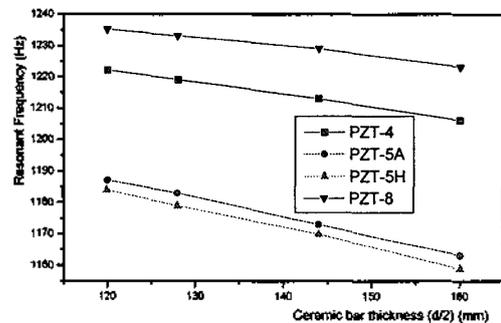


그림 12. 세라믹 적층의 물성에 따른 공진 주파수 변화
Fig. 12. Resonance frequency vs Ceramic bar materials.

4.8. 셸 높이에 따른 공진 주파수 변화

일반적으로 Class IV Flextensional 트랜스듀서는 높이가 같은 세라믹 적층을 여러 개 병렬로 묶어서 사용한다. 본 연구에서는 세라믹 적층 1개의 높이를 50 mm로 정하고, 세라믹 적층이 1개, 2개, 3개, 4개 사용될 때 공진 주파수 변화를 분석하였다. 그리고 세라믹 적층의 개수가 증가하면 셸 높이도 그만큼 증가하는데, 본 연구에서 셸 높이는 대칭성을 고려하여 각각 45 mm, 80 mm, 115 mm, 150 mm로 하였다. 그림 13의 결과를 보면 셸 높이가 증가함에 따라 공진 주파수는 미세하지만 약간 증가하는 경향을 나타내었다.

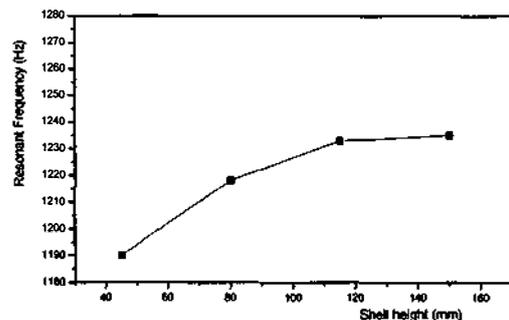


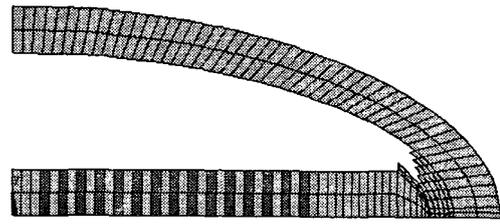
그림 13. 셸 높이에 따른 공진 주파수 변화
Fig. 13. Resonance frequency vs Shell height.

4.9. Insert 물성 및 형상에 따른 공진 주파수 변화

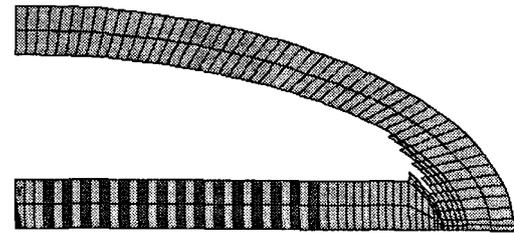
Insert의 재질로 가장 흔히 사용하고 있는 Aluminum 과 GRP, 그리고 영율이 매우 낮은 Rubber, 영율이 매우 높은 Steel 의 4가지 경우에 대하여 해석을 실시하고 Insert의 물성과 그때의 결과를 표 3에 나타내었다. 또한 Insert 형상을 5가지로 정하고 각각 경우의 유한 요소 모델을 제작하여 아래 그림 14에 나타내었고, 해석 결과를 표 4에 나타내었다. 이때 Insert 재질은 Aluminum으로 고정된 상태에서 해석을 하였다. 위의 두 결과를 보면 Insert 물성 중에서 영율이 낮을수록 공진 주파수는 낮아지고, 형상에서는 Insert 부피가 작을수록 공진 주파수는 낮아진다고 결론 지을 수 있다.

표 3. Insert 물성에 따른 공진 주파수 변화
Table 3. Resonance frequency vs Insert materials.

	Young's modulus (Pa)	Density (kg/m ³)	Poisson's ratio	Resonant Freq. (Hz)
Aluminum	68.9E9	2710	0.3	1235
GRP	27.4E9	1920	0.25	1172
Rubber	3.02E7	1150	0.475	523
Steel	192E9	7900	0.31	1261



(d). Model 4



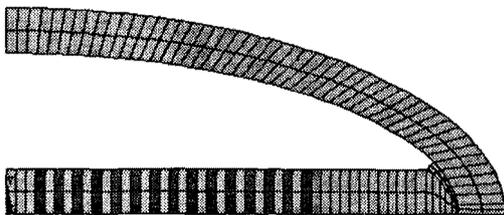
(e). Model 5

그림 14. Insert 형상에 따른 Model
Fig. 14. Models with Insert shape.

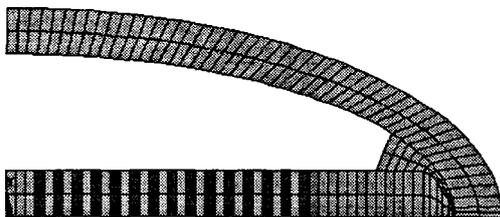
표 4. Insert 형상에 따른 공진 주파수 변화

Table 4. Resonance frequency vs Insert shapes.

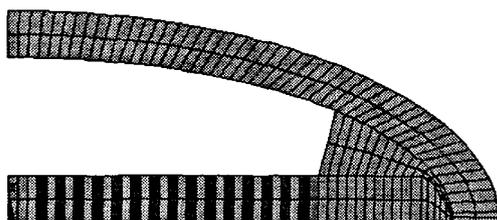
Model Num.	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
Resonant Freq. (Hz)	1235	1280	1420	1223	1244



(a). Model 1



(b). Model 2



(c). Model 3

4.10. Nodal-plate 두께에 따른 공진 주파수 변화

대칭성을 고려하여 Nodal-plate 두께를 0mm에서 12mm 까지 변화시키면서 공진 주파수 변화를 분석하였다. 그림 15의 해석 결과를 보면 Class IV Flexensional 트랜스듀서의 공진 주파수는 Nodal-plate 두께와는 무관한 특성을 보이고 있음을 알 수 있다. 이는 세라믹 적층의 두께(d/2)가 120mm로 고정된 상태에서 Nodal-plate의 두께가 늘어나면 Insert 부피가 그만큼 줄어들는데 두 물성은 모두 동일한 Aluminum이기 때문에 공진 주파수에 영향을 미치지 않는 것이라 판단되어진다.

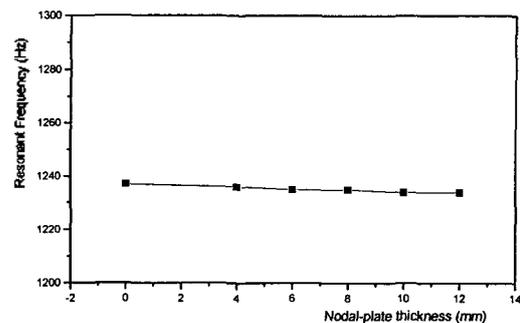


그림 15. Nodal-plate 두께에 따른 공진 주파수 변화
Fig. 15. Resonance frequency vs Nodal-plate thickness.

V. 결 론

본 연구에서는 Class IV Flextensional 트랜스듀서의 여러 형상 변수와 물성 변수에 따라 공진 주파수 변화를 분석하였는데, 공진 주파수 변화에 영향을 많이 미치는 순서대로 나열하면 다음과 같다.

- (1) 장축 길이(2a), 단축 길이(2b).
- (2) 셸의 두께(t).
- (3) 셸의 물성.
- (4) 단축과 장축 길이 비(b/a).
- (5) Insert 물성 및 부피.
- (6) 세라믹 적층의 물성.
- (7) 셸의 높이.
- (8) 세라믹 적층의 두께(d/2).
- (9) Nodal-plate의 두께와 공진 주파수는 무관하다.

따라서 낮은 중심 주파수를 가지는 Class IV Flextensional 트랜스듀서를 구현하려면, 먼저 장축을 크게 하고, 셸의 두께는 얇게, 영율이 낮고 밀도는 높은 셸을 사용하여야 한다. 다음으로는 b/a와 Insert의 부피는 작게 하고 세라믹 적층은 PZT-5계열을 사용하는 것이 유리하다. 그리고 셸의 높이는 낮게, d/2는 크게 하면 낮은 중심 주파수를 가지는 Class IV Flextensional 트랜스듀서를 구현 할 수 있을 것이다. 본 연구의 결과는 향후 다양한 중심 주파수를 가지는 Class IV Flextensional 트랜스듀서를 구현함에 있어 유용한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. J. Oswin and J. Dunn, "Frequency, Power and Depth Performance of Class IV Flextensional Transducers," Proc. of the International Workshop, pp.121-133, Lille, France, May 26 and 27, 1987.
2. Kenneth D. Rolt, "History of the flextensional electroacoustic transducer," J. Acoust. Soc. Am. 87(3), pp.1340-1348, 1990.
3. Stephen C. Butler, "Directional flextensional transducer," J. Acoust. Soc. Am. 92(5), pp.2977-2979, 1992.
4. G. Brigham, "Analysis of the class IV flextensional transducer by use of the wave mechanism," J. Acoust. Soc. Am. 56, pp.31-39, 1974.
5. Y. W. Lam, "Mathematical Model of a Class IV Flextensional Transducer and its Numerical Solution," Applied Acoustics. 36, pp.123-144, 1992.
6. J. C. Debus, J. N. Decarpigny and B. Hamonic, "Analysis of a Class IV Flextensional Transducer Using Piezo-Part Equivalent Circuit Models," Proc. of the Third International Workshop, pp.181-197, Orlando, U. S. A, May 6 and 8, 1992.
7. M. D. Ring, "Two Methods for Modeling the Longitudinal Resonance of Class IV Flextensional Transducers," Proc. of the Third International Workshop, pp.198-208, Orlando, U. S. A, May 6 and 8, 1992.
8. D. Boucher, "Trends and Problems in Low Frequency Sonar

Projectors Design," Proc. of the International Workshop, pp.100-120, Lille, France, May 26 and 27, 1987.

9. G. Bromfield, "Class IV Flextensional Transducers," Proc. of the International Workshop, pp.48-59, Toulon, France, June 12 and 13, 1990.
10. J. R. Oswin and A. Turner, "Design Limitations of Aluminium shell, Class IV Flextensional Transducers," Proc. Inst. Acoustics. 6, pt.3, pp.94-101, 1984.
11. Lawrence E. Kinsler, Austin R. Frey, Fundamentals of Acoustics, (John Wiley & Sons, Inc, New York, 1980), Chap.3, pp.75-76.
12. Oscar Bryan Wilson, Introduction to Theory and Design of Sonar Transducers, (Peninsula, Los Altos, 1988), chap.4, pp.65-88.

▲감 국 진(Kuk Jin Kang)



1998년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)

1998년 3월-현재: 경북대학교 대학원
센서공학과 석사과정

* 주관심분야: 초음파 트랜스듀서

▲노 용 래(Yong Rae Roh)

한국음향학회지 제18권 4호 참조