

## 원통형구부림진동자의 수중복사음마당에 대한 연구

박명일, 리철수

일반적으로 원통형진동자들은 그것의 호흡진동방식을 리용하여 수중통신과 목표식별을 비롯한 수중탐지분야에 널리 리용되고있다.[2, 3]

선행연구들[1-3]에서는 각이한 등급의 구부림진동자들에 대하여 제기하고 일부를 파동력학적수법으로 해석하였으므로 경제조건에 따르는 오차를 크게 가지였다.

우리는 금속원통안에 압전사기를 적층한 구조로 이루어진 공진주파수 8kHz의 구부림진동자를 ANSYS해석수법을 리용하여 해석설계하고 실험값과 비교하였다.

### 1. 금속원통형구부림진동자에 대한 ANSYS해석

PZT제압전사기만으로 성형 및 소성, 가공하여 각이한 기하학적구조와 특성을 가진 진동자를 제작하는것은 많은 원가가 들므로 우리는 금속원통체내부에 압전사기요소를 적층하여 구부림진동방식을 가진 원통형진동자를 제작하였다.

먼저 원통형구부림진동자의 진동방식과 주파수정수를 ANSYS 10.0의 모의해석수법을 리용하여 결정하였다. 유한요소모의해석에서는 수중통신에 널리 리용되는 고유공진주파수 8kHz를 선택하고 금속원통안에 구동부로서 외경이 30mm, 두께가 4mm인 2개의 PZT제압전사기요소를 적층한 구조의 진동자를 연구하였다.

실험에서 리용한 원통형진동자의 구조와 재료정수는 각각 표, 그림 1과 같다.

표. 압전사기(S1)와 금속(A5083P와 SS41)의 재료특성

| 재료       | 특성  | 텐소르( $x, y, z, xy, xz, yz$ )  |
|----------|---|---|
|          | 밀도/( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )    | 7 520   |
|          |   | $\begin{bmatrix} 0 & -18.56 & 0 \\ 0 & 3.16 & 0 \\ 0 & -18.56 & 0 \end{bmatrix}$                  |
|          | 압전상수/ $\text{cm}^{-2}$                    | $\begin{bmatrix} 15.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 15.1 \end{bmatrix}$                         |
| 압전사기(S1) |   |   |
|          | 유전률<br>( $\text{F} \cdot \text{m}^{-1}$ ) | $10^{-9} \times \begin{bmatrix} 22.144 & 0 & 0 \\ 0 & 21.728 & 0 \\ 0 & 0 & 22.144 \end{bmatrix}$ |

| 재료       | 특성                      | 텐소르( $x, y, z, xy, xz, yz$ )   |
|----------|-------------------------|--|
| 압전사기(S1) | 탄성상수                    | $10^{10} \times \begin{bmatrix} 12.48 & 7.37 & 7.49 & 0 & 0 & 0 \\ & 10.32 & 7.37 & 0 & 0 & 0 \\ & & 12.48 & 0 & 0 & 0 \\ & & & 대칭 & 1.93 & 0 & 0 \\ & & & & & 2.50 & 0 \\ & & & & & & 1.93 \end{bmatrix}$ |
|          | $/(N \cdot m^{-2})$     |  |
| A5083P   | 밀도/ $(kg \cdot m^{-3})$ | 2 700  |
|          | 양그룰/GPa                 | 73   |
|          | 뾰뿔비                     | 0.34   |
| SS41     | 밀도/ $(kg \cdot m^{-3})$ | 7 800  |
|          | 양그룰/GPa                 | 210  |
|          | 뾰뿔비                     | 0.3  |

그림 1에서 금속원통재료는 내부식알루미늄(A5083P), 구동부재료는 압전사기(S1), 구동부뒤단의 질량부재료는 강철(SS41)이다. ANSYS모의에서는 먼저 원통형진동자의 직경과 알루미늄금속원통의 두께변화에 따르는 고유공진방식을 주파수 8kHz를 기준으로 해석하였다.

금속원통의 직경을 40–80mm까지, 그 두께를 3–8mm까지 변화시킬 때 원통형진동자의 1차고유진동주파수변화는 그림 2와 같다.

그림 2에서 보는바와 같이 원통형구부림진동자의 1차고유진동주파수는 금속원통의 직경이 44mm, 너비가 40mm, 두께가 5mm, 질량부의 길이가 13mm일 때 8kHz이다.

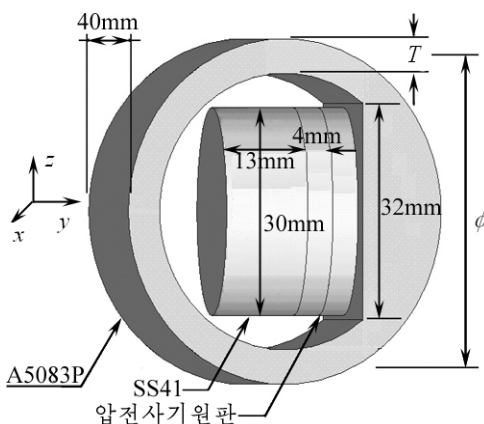


그림 1. 원통형구부림진동자의  
기하학적구조

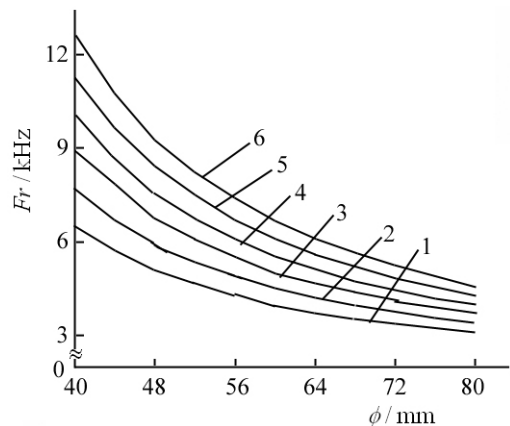


그림 2. 금속원통의 직경( $\phi$ )에  
따르는 주파수변화  
1–6은 두께가 각각 3, 4, 5,  
6, 7, 8mm인 경우

원통형구부림진동자의 구부림진동방식과 공기중전도도해석은 그림 3, 4와 같다.

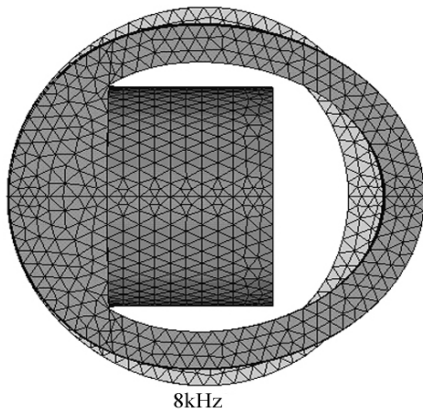


그림 3. 원통형진동자의 1차구부림방식

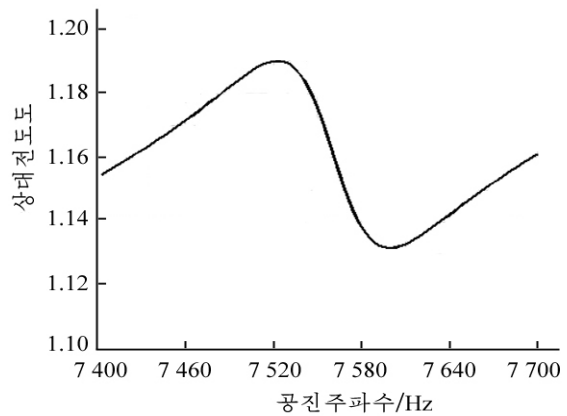


그림 4. 원통형진동자의 공기중전도도곡선

그림 3에서 보는바와 같이 구부림진동방식은 8kHz의 주파수에서 압전사기 중심축에 대칭으로 위상이 반대인 구부림방식으로 이루어진다는것을 알수 있다.

다음으로 원통형구부림진동자의 수중에서의 음마당특성을 모의해석하고 MATLAB프로 그램과 결합하여 그것의 지향특성과 복사음압준위를 구하였다.

그림 5에 원통진동자의 수중복사음마당모형과 지향특성을 주었으며 그림 6에 그것의 복사음압준위를 주었다.

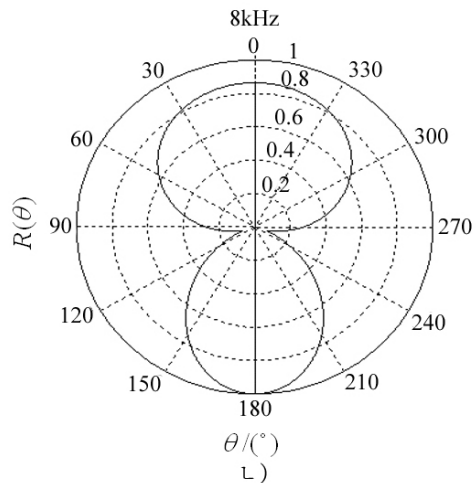
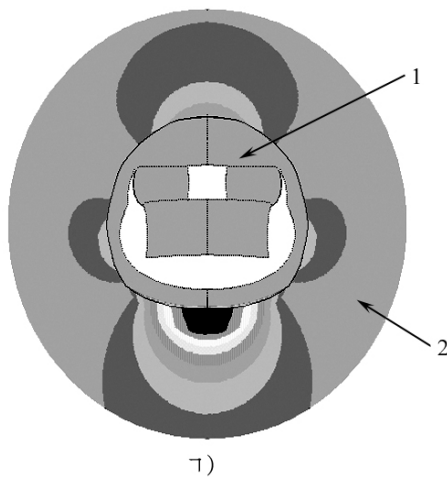


그림 5. 원통형구부림진동자의 수중복사음마당(ㄱ))과 지향특성(ㄴ))

그림 5의 ㄱ)에서 1은 원통구부림진동자(음원), 2는 공진주파수대역(8kHz)에서 형성되는 음압분포이며 그림 5의 ㄴ)는 지향특성곡선이다.

그림 5에서 보는바와 같이 음마당은 위상이 반대인 구부림진동에 의하여 형성된 음마당으로서 쌍극성모형을 가지며 극자리각이 0°인 방향에서의 지향각은 극자리각이 180°인 방향에서의 지향각보다 더 크지만 음압의 크기는 조금 작다.

해석된 원통형구부림진동자의 복사음압준위는 그림 6에서 보는바와 같이 복사면의 양쪽방향으로 약 100dB정도였다.

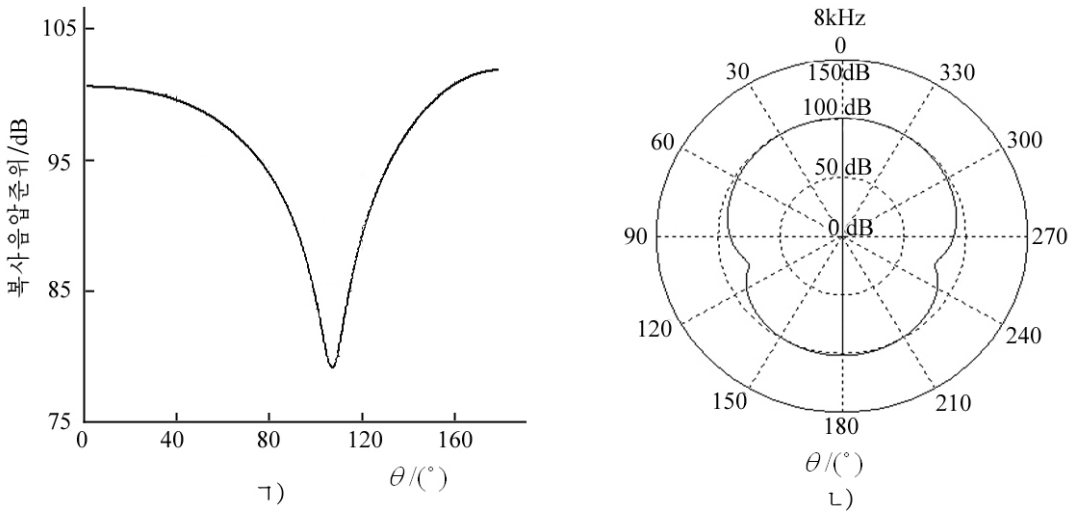


그림 6. 원통형구부림진동자의 수중복사음압준위

1) 직각자리표계에서 복사음압준위, 2) 극자리표계에서 복사음압준위

## 2. 수중음향측정실험

모의설계된 원통형구부림진동자의 출력감도와 수신감도는 표준수음기 《8100》과 측정 증폭기 《2636》, 대역려파기, 출력증폭기 《2706》 등을 리용하여 지향각이 3°인 원판형란즈반구조진동자를 복사음원으로, 설계된 진동자를 수신음원으로 하여 측정하였다.

측정결과 원통형진동자의 앞뒤방향으로 반대칭구부림진동이 형성된 상태에서 복사출력감도와 수신감도는 각각 118, -132dB이었으며 음마당모형은 압전사기요소배치의 방향을 따라 대칭이었다.

다음 한쪽방향으로의 복사감도가 낮아지도록 진동자앞면의 원주방향 120° 구역을 발포수지점착제를 리용하여 음향차폐구역을 형성한 결과 복사출력감도는 120dB, 수신감도는 -128dB 이었다.

그림 7에 음향차폐구조에서 원통형진동자의 수중복사음압준위를 보여주었다.

또한 원통형구부림진동자의 너비방향량쪽면에 고무링그를 끼운 뚜껑을 덮어 조립할 때 뚜껑의 조임력에 따라 진동자의 고유공진주파수가 높아지며 따라서 조임력을 고려하여야 한다.

실험결과 원통형구부림진동자의 공진주파수는 조립전보다 약 1kHz 증가하여 9.2kHz로 측정되었으나 그것의 진동방식과 감도는 ANSYS 해석결과와 비교적 잘 일치한다.

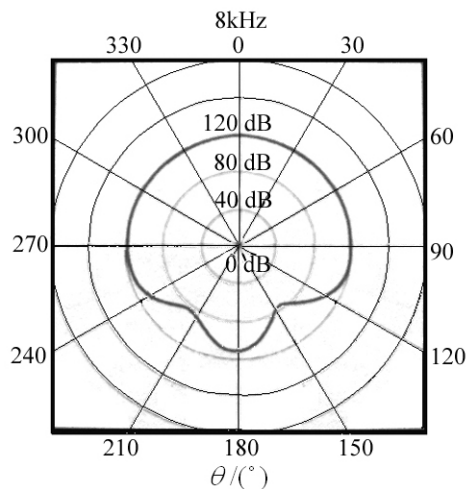


그림 7. 음향차폐구조에서 수중복사음압준위

## 맺는말

1) ANSYS를 리용하여 적층압전사기요소를 가진 금속원통형구부림진동자의 직경과 두께변화에 따르는 진동방식들을 연구하고 합리적인 주파수(8kHz)를 만족시키는 기하학적크기값들을 얻어내었으며 전도도해석과 음마당해석을 진행하여 수중에서의 복사음마당분포와 복사음압준위를 구하고 실험값과 비교하였다.

2) 이 진동자의 수중에서의 정수들은 조립과정에 나타나는 주파수변화를 제외하고는 ANSYS모의해석결과와 비교적 잘 일치한다.

## 참고문헌

- [1] G. A. Brigham; J. Acoust. Soc. Am., 56, 1, 13, 1974.
- [2] K. Saijyou et al.; J. Acoust. Soc. Am., 127, 5, 2863, 2010.
- [3] K. H. Brosnan; J. Acoust. Soc. Am., 126, 5, 2257, 2009.

주체103(2014)년 11월 5일 원고접수

## On Underwater Radiation Acoustic Field of Cylindrical Flextensional Transducer

*Pak Myong Il, Ri Chol Su*

Using ANSYS we analyzed metal cylindrical transducer with laminated piezoelectric ceramics elements appertaining to the class-IV flextensional transducer and verified by experiment.

We considered vibration modes in keeping with the variation of diameter and thickness and obtained geometric dimension satisfied reasonable frequency (8kHz).

Then we also obtained underwater radiated acoustic field distribution and radiated sound pressure level by conductivity analysis and acoustic field analysis of ANSYS and compared with experimental value. The tested results are in good agreement with ANSYS analysis calculations.

Key words: ANSYS, acoustic field, cylindrical transducer