

Class IV Flextensional 트랜스듀서의 최적설계 및 특성해석

Optimal Design and Analysis of a Class IV Flextensional Transducer

강 국 진*, 노 용 래**
(Kukjin Kang*, Yongrae Roh**)

요 약

본 연구에서는 Class IV Flextensional 트랜스듀서의 여러 설계변수들에 따른 음압 변화 및 열 발생 경향성을 유한요소 해석법으로 해석하였다. 해석되어진 결과를 바탕으로 최대 음압을 구현하고, 열 발생이 최소인 중심 주파수 1 kHz를 가지는 Class IV Flextensional 트랜스듀서의 최적구조를 설정하였다. 본 연구에서 설정한 최적구조는 기본모델에 비해 음압이 2배 이상 크고 열 발생은 아주 작은 것으로 나타났다.

본 연구의 결과는 향후 다양한 중심 주파수 및 최대 음압을 구현하고 열 발생이 최소인 Class IV Flextensional 트랜스듀서를 설계함에 있어 유용한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

핵심용어: Flextensional 트랜스듀서, 유한요소해석법, 최적설계

투고분야: 수중음향 분야(5.6)

ABSTRACT

In this research, with the FEM we analyzed the variation of the sound pressure and thermal distribution of a Class IV Flextensional transducer in relation to its material properties and structures. Based on the results, we determined optimal structure of a Class IV Flextensional transducer that had maximum sound pressure, minimum thermal distribution, and 1 kHz resonance frequency. The sound pressure by the optimal structure is higher than that of the basic structure by two times, and the thermal distribution is much lower.

Results of the present work can be utilized to design Class IV Flextensional transducers of various resonance frequency, maximum sound pressure, and minimum thermal distribution.

Key words: Flextensional transducer, FEM, Optimal design.

1. 서 론

본 연구의 목적은 저주파 대역에서 고출력 음향센서로 사용되는 Class IV Flextensional 트랜스듀서의 작동원리를 규명하고, 설계변수들에 따른 공진 주파수 변화, 음압 변화, 열 발생에 미치는 영향성을 유한 요소법으로 해석하여 트랜스듀서의 최적구조를 설정하는데 있다. 본 연구와 관련된 논문[1]에서는 Class IV Flextensional 트랜스듀서의 작동원리를 규명하였고, 구조를 설정하여 설계변수에 따른 공진 주파수 변화 경향성을 분석하였다. 전술한 논문[1]에서 언급하였듯이 Flextensional 트랜스듀서는 세라믹 적층에 전제를 인가하면 세라믹 적층의 두께(장축) 방향으로 작은 변위가 발생된다. 이때 발생된 변위는 상

대적으로 유연한 타원형 셀에 전달되어 지레 효과에 의하여 단축 방향으로 큰 변위를 발생시키기 때문에 사용되는 중심 주파수 대역에서 고효율을 가진다. 그리고 Flextensional 트랜스듀서는 사용하는 중심 주파수 대역의 파장에 비해 그 크기가 작기 때문에 무지향성 방사체로 볼 수 있다[2]. 따라서 Flextensional 트랜스듀서의 주 용도는 무지향성의 고출력 음파를 발생시키는데 있다.

이러한 목적을 이루기 위한 트랜스듀서의 고출력 특성을 해석하기 위해서는 설계변수에 따른 음압 변화의 경향성을 해석하여야하고, 고출력 음압의 발생에 필수적으로 따르는 열 발생에 의한 성능저하를 막기 위한 방안을 세워야 한다.

따라서 본 연구에서는 Class IV Flextensional 트랜스듀서의 최적구조를 설정하기 위하여 앞서 행한 연구결과[1]를 바탕으로 여러 설계변수들에 따른 음압 변화, 열 발생에 미치는 영향성을 유한요소 상용 도구인 ANSYS를 어

* 경북대학교 센서공학과

** 경북대학교 센서공학과/전자전기공학부

접수일자: 1999년 12월 20일

용하여 분석하였다. 이 결과들을 바탕으로 최대 음압을 구현하고, 열 발생이 최소인 중심 주파수 1 kHz를 가지는 Flextensional 트랜스듀서의 최적구조를 설정함으로써 향후 다양한 중심 주파수 및 최대 음압을 구현할 수 있는 트랜스듀서를 설계함에 있어 유용한 자료를 제공하고 자 한다.

II. FEM을 이용한 Class IV Flextensional 트랜스듀서 모델링

수중에서 사용되는 Class IV Flextensional 트랜스듀서는 각각의 세라믹 조각을 병렬로 묶어서 능동 구동자 역할을 하는 세라믹 적층(Ceramic stack), 음향 방사체로 작용하는 타원형의 셸(Shell), 셸과 구동자를 전기적으로 분리시키는 절연체(Insulator), 중심점을 잡아주고 세라믹 적층의 처짐을 방지하는 Nodal-plate, 세라믹 적층과 셸의 공간에서 전달자 역할을 하는 삽입체(Insert), 물의 침입을 방지하기 위한 End-plate, 셸과 End-plate 틈새 물의 침입을 방지하고 셸의 부식을 방지하기 위한 물딩(Rubber)층, 물 그리고 물과 구조체의 경계층(FSI : Fluid Structure Interface)으로 구성되고 이를 그림 1에 나타내었다.

모델은 유한 요소 상용 도구인 ANSYS를 이용하여 구성하였고, 약 13,000개의 노우드와 약 10,000개의 요소로 형성되어 있다. 모델 구성 시 트랜스듀서의 대칭성을 고려하여 1/8에 해당하는 모델을 구현하였고, x, y 및 z 방향으로 대칭처리 하였다. 경계 조건으로는 트랜스듀서의 모든 부분을 자유상태로 가정하였다. 그리고 물의 최 외곽층에는 무한 경계조건을 적용하였다.

본 연구에서는 전술한 논문[1] 결과를 바탕으로 중심 주파수 1kHz를 가지는 트랜스듀서의 여러 변수들의 변화에 따른 음압 변화의 경향성을 해석하였다. 전술한 논문 [1] 결과 중에서 공진 주파수 변화에 영향이 없는 Nodal-plate의 두께는 변수에서 제외하고, 대신에 세라믹 적층 폭과 물딩층 두께 변수를 첨가하여 해석하였다. 해석 시 사용되어진 변수들의 범위를 표 1에 나타내었고, 고정시킨 물성 변수들의 특성을 표 2에 나타내었다. 여기서 단축/장축 비(b/a)를 1.0까지 하지 않고 0.6까지만 한 것은 대부분 Flextensional 트랜스듀서가 0.4부근에서 사용하기 때문에 실제 사용환경을 고려해서 정한 것이다. 음압의 상대적인 크기를 비교하기 위하여 세라믹 적층에 단위 길이 당 같은 전압을 인가하고, 각각의 음압 크기를 구조체 표면에서 1 m 떨어진 단축방향에서 측정하여 비교하였다.

트랜스듀서의 열 발생에 미치는 영향을 해석하기 위해서는 압전체에 전압을 인가했을 때 열로 바꾸어주는 계수인 전기 전도도와 열 전달 특성을 나타내는 계수인 열 전도도의 두 가지의 계수가 필요하다. 본 연구에서는 트랜스듀서에 사용되는 여러 물질들의 전기 전도도와 열 전도도를 구하여 그 값들을 ANSYS 프로그램에 대입한 후 여러 변수들의 변화에 따른 셸 내부 표면의 온도를 측정하여 변수들의 영향도를 비교 분석하였다. 통상 고효율 PZT-8에 사용하는 인가전압은 2 ~ 3 kV/cm 라고

알려져 있는데, 본 연구에서는 2 kV/cm 의 전압을 인가하여 셸의 장축(X)방향과 단축(Y) 방향에서 온도를 측정하여 비교하였다. 해석 시 계산 시간을 단축하기 위해서 물과 FSI층이 없는 트랜스듀서 모델을 사용하였고, 대신 셸 외부 표면의 온도를 20 ℃라 가정하여 구조체 최 외곽층의 온도를 일정하게 두었다.

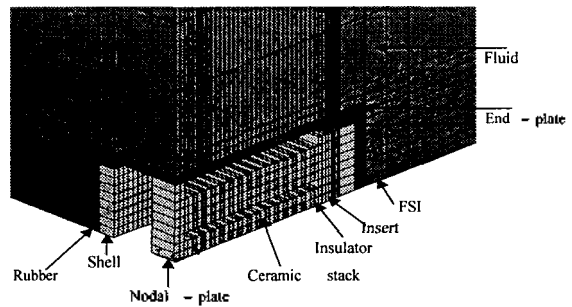


그림 1. Class IV Flextensional 트랜스듀서 유한요소 모델(수중)
Fig. 1. Finite element model of the Class IV Flextensional transducer(In water).

표 1. 본 연구에서 사용된 형상 및 물성 변수들
Table 1. Structural and material variables employed in this work.

변 수	범 위
Semi major axis length (a)	100 ~ 200 mm
Shell thickness (t)	8 ~ 20 mm
Minor/major axis length ratio (b/a)	0.35 ~ 0.6
Ceramic stack thickness (ts)	86 ~ 120.4 mm
Shell height (h)	30 ~ 105 mm
Ceramic stack width (w)	19 ~ 24 mm
Rubber thickness (tm)	2 ~ 10 mm
Ceramic stack materials	PZT-8

표 2. 트랜스듀서 각 부품들의 물성
Table 2. Material properties of the assembly parts in the transducer.

	Young's modulus (Pa)	Density (kg/m ³)	Poisson's ratio
Shell, Insert, Nodal-plate	68.90E9	2,710	0.300
Rubber	2.99E7	1,100	0.495
Insulator	5.80E9	2,900	0.250
End-plate	210.00E9	7,500	0.300

III. 음압에 미치는 영향성 해석

반 장축 길이(a)에 따른 음압 변화를 분석하였다. 분석 결과에 사용된 모든 기호 및 명칭은 참고문헌 (1)의 것을 그대로 따른다. 중심 주파수 1 kHz를 가지는 기본 모델을 구현하고 기본 모델의 치수를 표 3에 나타내었다. 먼저

반 장축 길이가 100, 130, 160, 180, 200 mm인 경우에 대하여 해석하였다. 반 장축 길이가 늘어나면 세라믹 적층 폭(w)과 두께(ts)는 비례적으로 증가하는데, 이 경우에도 단위 길이 당 전압은 일정하도록 인가하여 음압 변화를 해석하였다. 그림 2의 결과를 보면 반 장축 길이가 증가함에 따라 Class IV Flextensional 트랜스듀서의 음압의 크기와 공진 주파수는 감소하는 경향을 보였다. 이는 앞서 행한 공진 주파수 변화 경향성의 결과[1]와 일치하고, 음압의 크기는 주파수의 제곱과 부피 변위 진폭에 비례하는데, 트랜스듀서의 부피가 작아지면 공진 주파수는 증가하고 부피 변위 진폭도 증가하여 중심 주파수 대역에서 큰 음압을 발생시키는 것이다.

표 3. 기본 모델의 치수들
Table 3. Dimensions of the basic model.

변 수	치 수
Semi major axis length (a)	160 mm
Shell thickness (t)	14 mm
Minor/major axis length ratio (b/a)	0.4
Ceramic stack thickness (ts)	120.4 mm
Shell height (h)	80 mm
Ceramic stack width (w)	21.5 mm
Rubber thickness (tm)	10 mm
Ceramic stack materials	PZT-8

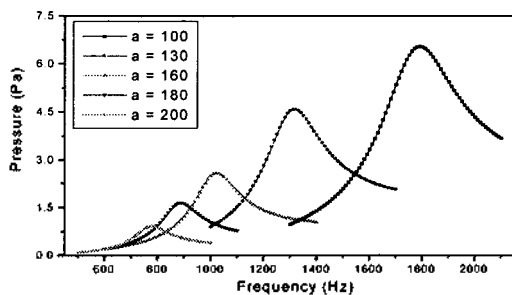


그림 2. 반 장축 길이(a)에 따른 음압 변화(단위 : mm)
Fig. 2. Pressure vs. semi major axis length.

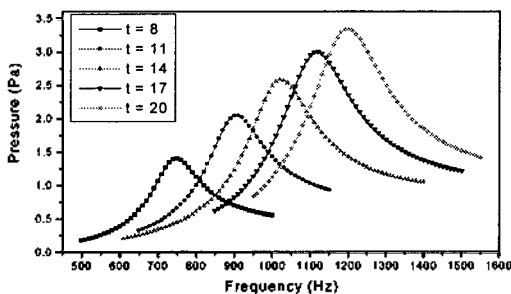


그림 3. 셸 두께(t)에 따른 음압 변화(단위 : mm)
Fig. 3. Pressure vs. shell thickness.

다음으로 셸 두께(t) 변화에 따른 음압 변화의 경향성을 해석하였다. 다른 변수들은 모두 고정시키고, 셸의 두께만 8 mm에서 20 mm까지 3 mm 간격으로 변화시키면서 공진 주파수와 음압 변화의 경향성을 해석하였다. 본 연구의 결과를 그림 3에 나타내었다. 결과를 보면, 셸의 두께가 증가할수록 공진 주파수와 음압의 크기는 증가하는 경향을 보였다. 일반적으로 트랜스듀서의 셸 두께가 증가하면 부피 변위 진폭은 감소하고 공진 주파수는 증가하며[1], 음압의 크기는 주파수의 제곱과 부피 변위 진폭에 비례한다. 그러나 공진 주파수의 영향이 부피 변위 진폭의 영향보다 월등히 크기 때문에 중심 주파수가 증가함에 따라 큰 음압을 발생시키는 것이라 판단된다.

단축과 장축 길이 비(b/a)에 따른 음압 변화의 경향성을 해석하였다. 해석 시에 반 장축 길이(a)는 160 mm, 셸 두께는 14 mm로 고정시키고 b/a가 0.35, 0.4, 0.5, 0.6인 경우에 대해서 공진 주파수와 음압 변화의 경향성을 해석하였다. 그림 4의 결과를 보면 b/a가 클수록 공진 주파수가 증가하고, 반대로 음압은 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 b/a가 작아지면 공진 주파수는 낮아지고[1], 지레효과에 의해 부피 변위 진폭은 증대된다. 따라서 b/a가 작을수록 큰 음압을 발생시키는 것이다.

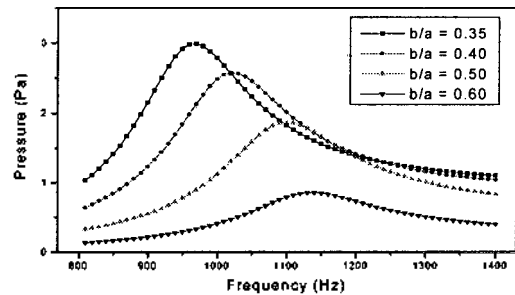


그림 4. 단축/장축 비(b/a)에 따른 음압 변화
Fig. 4. Pressure vs. b/a.

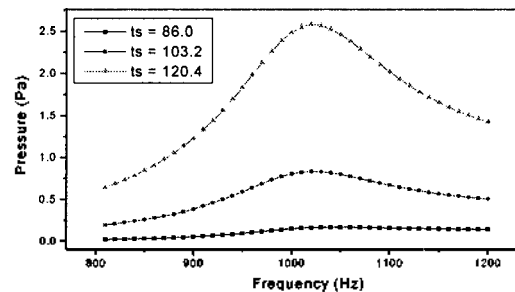


그림 5. 세라믹 적층 두께(ts)에 따른 음압 변화(단위 : mm)
Fig. 5. Pressure vs. ceramic stack thickness.

세라믹 적층의 두께(ts) 변화에 따른 음압 변화의 경향성을 해석하기 위하여 한 개의 두께가 4.3 mm인 세라믹 소자들을 20, 24, 28 조각 적층한 경우에 대해서 해석을

하였다. 해석 시 반 장축 길이(a)를 일정하게 유지하기 위하여 세라믹 적층의 두께가 증가하는 만큼 삽입체 길이를 감소시켰다. 그림 5에 해석 결과를 나타내었다. 결과를 보면, 세라믹 적층의 두께가 증가할수록 큰 음압이 발생한다. 이는 다른 변수들은 변하지 않고 능동 구동자 역할을 하는 세라믹 적층이 많아지므로 해서 더 큰 입력이 인가되고 이로 인해 큰 음압이 발생하는 것은 당연한 결과라 판단된다.

셸 높이(h)에 따른 음압 변화의 경향성을 해석하였다. 일반적으로 Flextensional 트랜스듀서는 높이가 같은 세라믹 적층을 여러 개 병렬로 묶어서 사용한다. 본 연구에서는 세라믹 적층 1개의 높이를 40 mm로 정하고, 세라믹 적층과 적층 사이가 10 mm라고 가정하여 세라믹 적층이 1 개, 2 개, 3 개, 4 개 사용될 때 음압 변화의 경향을 해석하였다. 그리고 세라믹 적층의 개수가 증가하면 셸 높이도 그만큼 증가하는데, 셸 높이는 대칭성을 고려하여 각각 30, 55, 80, 105 mm로 설정하였다. 그림 6의 결과를 보면 셸 높이가 증가함에 따라 공진 주파수는 감소하고 음압의 크기는 증가하는 경향을 나타내었다. 셸 높이가 증가하면 능동 구동자 역할을 하는 세라믹 적층이 많아지기 때문에 큰 음압을 발생시키는 것은 당연한 결과이다.

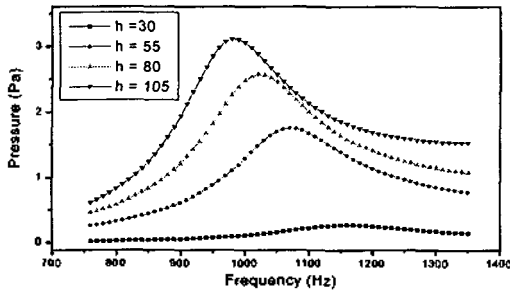


그림 6. 셸 높이(h)에 따른 음압 변화(단위 : mm)
Fig. 6. Pressure vs. shell height.

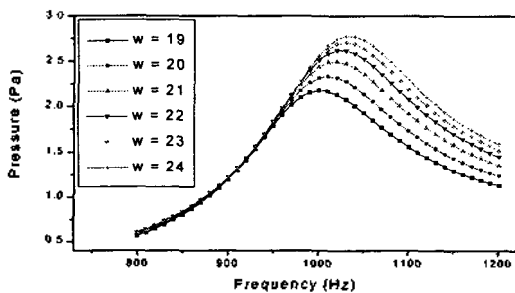


그림 7. 세라믹 적층 폭(w)에 따른 음압 변화(단위 : mm)
Fig. 7. Pressure vs. ceramic stack width.

세라믹 적층 폭(w)의 변화에 따른 음압 변화의 경향성을 해석하였다. 해석 시 사용되어진 변수들은 기본 모델에서 세라믹 적층 폭만 19 ~ 24 mm까지 1 mm간격으로 변화시켰다. 그림 7의 결과를 보면 세라믹 적층의 폭이

넓을수록 음압이 증가하는 경향성을 나타내는데, 이는 세라믹 적층의 두께는 변하지 않고 폭이 넓어짐으로 해서 단위 길이 당 인가전압은 같지만 실제로 압전 효과에 의해 발생되어진 변위는 더 크고, 때문에 출력이 더 크게 나오는 것은 당연한 결과이다.

다음으로 물딩층 두께(tm) 변화에 따른 음압 변화의 경향성을 해석하였다. 물딩층은 셸의 부식을 막아주고 셸과 End-plate 틈새 물의 침입을 막아주는 역할을 수행한다. 해석 시 사용되어진 변수들은 기본 모델에서 물딩층 두께만 2 ~ 10 mm까지 2 mm 간격으로 변화시키면서 순수하게 물딩층 두께 변화의 영향만을 해석하였다. 그림 8의 결과를 보면 물딩층의 두께가 얇을수록 음압이 증가하는 경향성을 나타내었는데, 이는 물딩층이 음향 감소층 역할도 동시에 수행하므로 두께가 얇을수록 감소효과가 낮아지고 때문에 출력 음압이 크게 나오는 것이다.

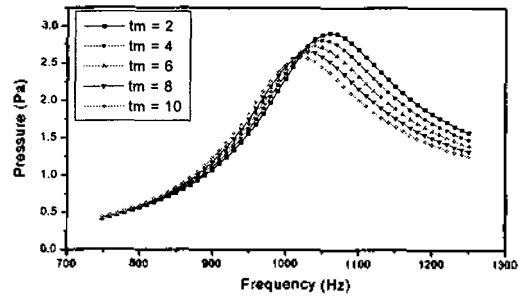


그림 8. 물딩층 두께(tm)에 따른 음압 변화(단위 : mm)
Fig. 8. Pressure vs. rubber thickness.

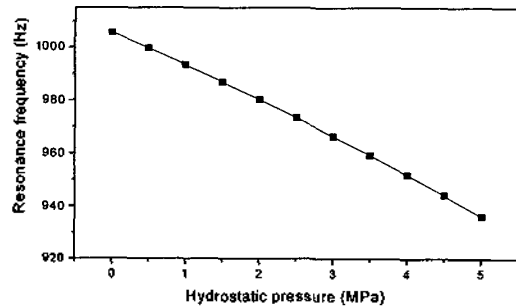


그림 9. 사용깊이에 따른 공진 주파수 변화
Fig. 9. Resonance frequency vs. hydrostatic pressure.

끝으로 사용깊이에 따른 공진 주파수 변화를 분석하였다. 수중에서 사용하는 트랜스듀서는 사용깊이에 따라 성능변화가 일어난다. 대부분의 경우 사용깊이가 바뀌면 stress-stiffening 효과에 의해서 공진 주파수가 달라지게 되어 구동 주파수를 고정시킨다면 많은 손실을 가져오게 되고[3], 성능이 열화된다. 그러므로 사용깊이에 따른 트랜스듀서의 성능변화를 예측하여 설계 시에 이에 대한 보상 방안을 마련하여야 할 것이다. 보상 방안으로는 내부 공기압을 사용하는 방법과 composite filter를 사용하는

방안이 있을 수 있다[4].

본 연구에서는 트랜스듀서 구조체의 최 외곽에 각각의 사용깊이에 해당하는 정수압을 인가하여 공진 주파수 변화를 해석하였다. 그림 9의 결과를 보면 사용 깊이가 깊어질수록 공진 주파수가 감소하는 것을 알 수가 있는데, 이는 구조체의 최 외곽에 인가되는 정수압값이 커지면 트랜스듀서의 장축은 늘어나고 단축이 줄어드는 비율이 증가하고 이로 인한 단축/장축 비가 작아지게 된다. 이는 앞서 행한 단축/장축 비가 작으면 공진 주파수가 낮아지는 결과의 경향과 일치한다.

IV. 열 발생에 미치는 영향성 해석

트랜스듀서의 열 전달 특성을 알아보기 위해 구조체의 최 외곽층 온도를 20 ℃로 일정하게 유지한 상태에서 세라믹 적층에 2 kV/cm 전압을 인가하고 20초 간격으로 Transient 해석을 행하여 시간에 따른 열 전달 특성 결과를 그림 10에 나타내었다. 결과를 보면 세라믹 적층에서 발생하는 열은 일정한 시간이 지난 후 셸로 전달되는 것을 알 수 있고, 셸의 장축방향(X)에서 단축방향(Y)으로 점차적으로 전달되는 것을 알 수 있다.

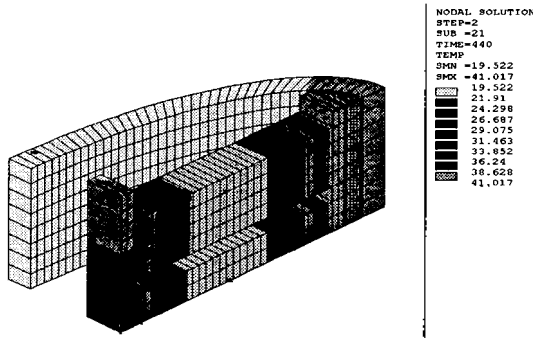


그림 10. 440초 후의 온도 분포도
Fig. 10. Thermal distribution after 440 sec.

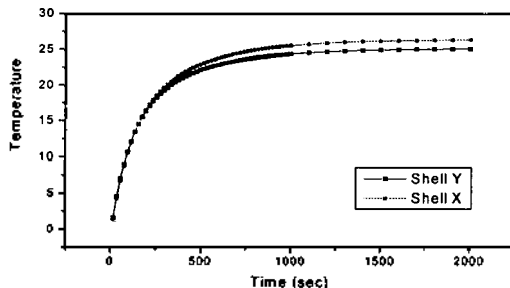


그림 11. 시간에 따른 셸의 온도 변화
Fig. 11. Transient response of the shell.

시간에 따른 셸의 장축방향과 단축방향으로 전달되는 열의 크기를 알아보기 위해 셸 내부표면의 온도를 측정하고 측정된 온도변화를 그림 11에 나타내었다. 결과를

보면 셸의 장축방향(X)에서 발생하는 온도는 약 1,000초 뒤에 약 26 ℃정도의 수렴값을 가지고, 단축방향(Y)은 약 24.7 ℃정도의 수렴값을 가짐을 알 수 있다. 이상의 결과로부터 세라믹 적층에 전압을 인가하여도 일정한 시간이 지나야 셸에 열이 전달되고, 전달되는 열에 의한 온도 변화값이 매우 작은 것을 알 수 있다. 즉 세라믹 적층에서 발생한 열이 셸에 전달되는 양은 매우 작다고 할 수 있다.

다음으로 설계변수들의 변화에 따른 셸의 온도변화를 분석하였다. 분석에 필요한 경우의 수들은 음압 해석 때와 마찬가지로 설정하였다. 그림 12의 결과를 보면 반 장축 길이가 증가함에 따라 셸에 측정되는 온도는 증가하였다. 이는 반 장축 길이가 증가하면 세라믹 적층 두께와 폭도 그만큼 증가하고, 세라믹 적층 두께와 폭이 증가하면 열원으로 작용하는 세라믹 적층에서 많은 열이 발생한다. 때문에 셸에 더 많은 열이 전달되었고, 따라서 측정된 온도가 높은 것은 당연한 결과이다.

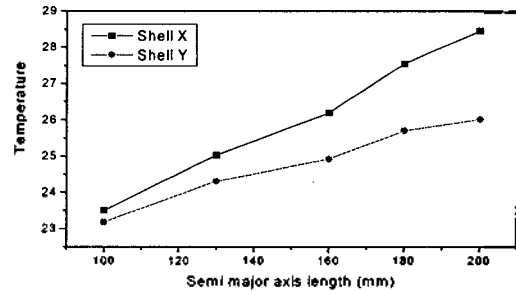


그림 12. 반 장축 길이에 따른 온도 변화
Fig. 12. Temperature vs. semi major axis length.

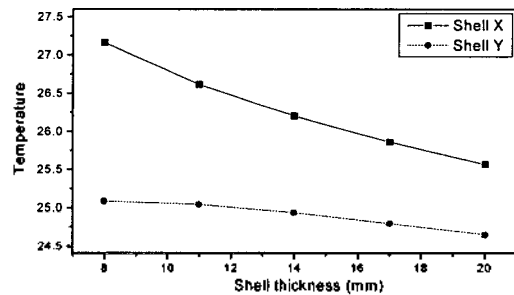


그림 13. 셸 두께에 따른 온도 변화
Fig. 13. Temperature vs. shell thickness.

그림 13의 해석 결과를 보면 셸의 두께가 증가할수록 셸에서 측정되는 온도는 감소하였다. 트랜스듀서에서 열원으로 작용하는 세라믹 적층의 열량은 일정인데, 열이 전달되는 매체의 부피가 증가하면 단위 부피 당 전달되는 열량은 작아지고 이는 곧 측정되는 온도의 감소를 의미하기 때문이다.

그림 14의 해석 결과를 보면 b/a가 클수록 셸에서 측정되는 온도가 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 트랜스듀서에서 열원으로 작용하는 세라믹 적층의 열량은 일정

한데, 열이 전달되는 매체의 부피가 증가함에 따라 단위 부피 당 전달되는 열량은 작아졌기 때문이다.

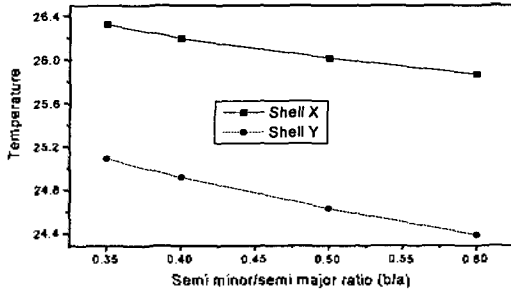


그림 14. 단축/장축 비에 따른 온도 변화
Fig. 14. Temperature vs. b/a.

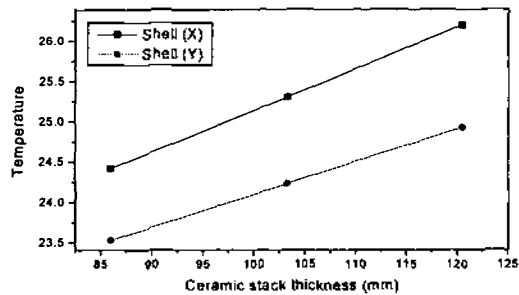


그림 15. 세라믹 적층 두께에 따른 온도 변화
Fig. 15. Temperature vs. ceramic stack thickness.

그림 15의 결과를 보면, 세라믹 적층 두께가 증가할수록 셀에서 측정되는 온도가 증가하는 경향을 나타내었다. 세라믹 적층 두께가 증가하면 단위 길이 당 같은 전압을 인가했기 때문에 열원으로 작용하는 세라믹 적층에서 많은 열이 발생한다. 때문에 셀에 더 많은 열이 전달되었고, 전달된 열을 온도로 측정하였기 때문에 측정된 온도가 높은 것이다.

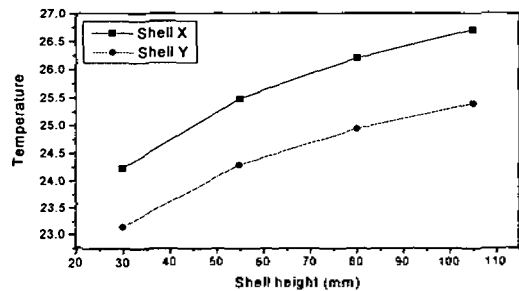


그림 16. 셀 높이에 따른 온도 변화
Fig. 16. Temperature vs. shell height.

그림 16의 해석 결과를 보면 셀 높이가 증가함에 따라 셀에서 발생하는 온도는 증가하였다. 세라믹 적층 개수가

증가하면 열원으로 작용하는 세라믹이 많아졌으므로 더 많은 열이 발생한다. 때문에 셀에 더 많은 열이 전달되었고, 따라서 측정된 온도가 높은 것은 당연한 결과라 판단된다.

그림 17의 해석 결과를 보면 세라믹 적층의 폭이 넓을수록 셀에서 측정되는 온도가 증가하는 경향을 나타내는데, 이는 세라믹 적층 폭이 넓어짐으로 해서 열원으로 작용하는 세라믹 적층에 발생하는 열량이 많아지기 때문이다.

그림 18의 결과를 보면 몰딩층 두께가 얇아수록 셀에서 측정되는 온도가 감소하는 경향을 나타내었다. 열원으로 작용하는 세라믹 적층에서 발생하는 열량은 동일하지만 발생된 열량이 전달될 수 있도록 하는 기준온도 값의 영향도에 따라 전달되는 열량에 차이가 날 수밖에 없다. 본 연구에서는 몰딩층의 외곽과 End-plate 외곽에 기준온도 20 °C를 인가하였다. 따라서 몰딩층 두께가 얇아지면 기준온도 20 °C의 영향이 증가하기 때문에 셀의 장축방향과 단축방향에서 측정되는 온도가 낮은 것이다.

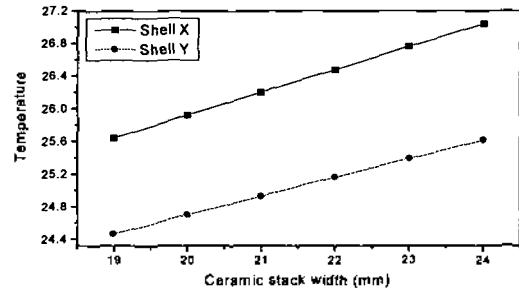


그림 17. 세라믹 적층 폭에 따른 온도 변화
Fig. 17. Temperature vs. ceramic stack width.

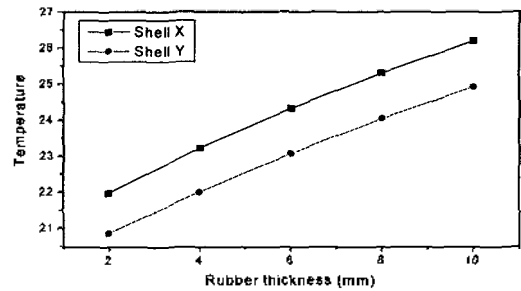


그림 18. 몰딩층 두께에 따른 온도 변화
Fig. 18. Temperature vs. rubber thickness.

V. 최적구조 설정

앞서 해석한 공진 주파수 변화[1], 음압 변화, 열 발생 경향성 결과를 바탕으로 최대 음압을 구현하고, 열 발생이 최소인 중심 주파수 1 kHz의 Class IV Flexensional 트랜스듀서 최적 구조를 설정하였다. 트랜스듀서의 공진 주파수는 반 장축 길이, 셀 두께, 셀 물성에 의해서 많은 영향을 받는데[1], 본 연구에서는 셀 물성을 Aluminum으로 고정시키고 중심 주파수 1 kHz를 구현하였다. 그리고

음압이 높게 나오는 순서와 셸에서 측정되는 온도가 낮은 순서를 표 4에 나타내었다. 위의 결과에서 음압이 높고 셸에서 측정되는 온도가 낮은 경우는 반 장축 길이가 작은 경우, 물딩층 두께가 얇은 경우, 셸 두께가 두꺼운 3가지 경우이다. 그런데 셸 두께가 두껍고 반 장축 길이가 작은 경우를 택하면 중심 주파수 1 kHz를 구현하기가 어려워진다. 먼저 셸 두께가 8, 14, 20 mm인 경우에 중심 주파수 1 kHz를 가지는 트랜스듀서의 유한 요소 모델을 제작하여 주파수에 따른 음압 변화를 해석하여 그림 19에 나타내었다. 해석 결과 셸 두께가 8 mm이고 반 장축 길이가 132 mm인 경우가 음압이 가장 크게 나올 수 있다. 따라서 최적 구조 설정 시 셸 두께는 8 mm로 고정시켰고, 물딩층 두께는 가장 얇은 2 mm로 정하였다. 그리고 음압과 셸로 전달되는 열의 영향을 보면 셸에서 측정되는 온도는 1 ~ 2 °C 정도로 작은 변화 범위를 가지지만 음압은 2배 이상 차이 나는 경우가 허다하다. 따라서 본 연구에서는 트랜스듀서의 최적구조로 높은 음압을 구현할 수 있는 방향으로 설계하였다. 결론적으로 본 연구에서 설계한 최적 구조의 규격은

- (1) 반 장축 길이(a) : 125 mm
- (2) 셸 두께(t) : 8 mm
- (3) 셸 높이(h) : 105 mm
- (4) 세라믹 적층 두께(ts) : 3.4 × 28 mm
- (5) 단축/장축 비(b/a) : 0.35
- (6) 물딩층 두께(tm) : 2 mm
- (7) 세라믹 적층 폭(w) : 19.4 mm

이다. 설정된 최적 구조와 기본 모델의 주파수에 따른 음압 변화 해석 결과를 그림 20에 나타내었고, 본 연구에서 설정한 최적 구조의 최대 음압은 5.21 Pa로서 기본 모델의 최대 음압 2.57 Pa보다 2배 이상 높은 것을 확인하였다. 다음으로 최적 구조의 열 전달 특성을 해석하였는데 셸의 장축방향에서 21.98 °C, 셸의 단축방향에서 20.96 °C로 측정되었다. 이는 본 연구에서 최적 설계한 구조가 열 발생도 아주 작은 것을 의미한다.

표 4. 음압과 열 발생의 순위 표
Table 4. Priority table for the sound pressure and thermal distribution.

우선 순위	최대 음압	최저발생온도
1	반 장축 길이 ↓	물딩층 두께 ↓
2	셸 두께 ↑	반 장축 길이 ↓
3	셸 높이 ↑	셸 높이 ↓
4	세라믹 적층 두께 ↑	세라믹 적층 두께 ↓
5	단축/장축 비 ↓	세라믹 적층 폭 ↓
6	물딩층 두께 ↓	단축/장축 비 ↑
7	세라믹 적층 폭 ↑	셸 두께 ↑

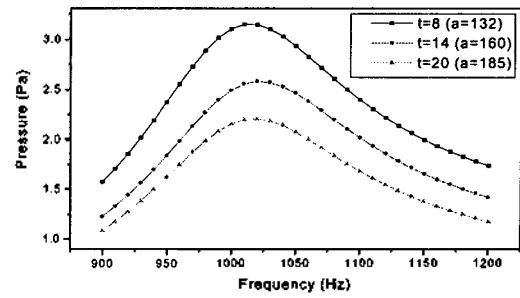


그림 19. 반 장축과 셸 두께에 따른 음압 변화
Fig. 19. Pressure vs. frequency(Resonance frequency 1 kHz).

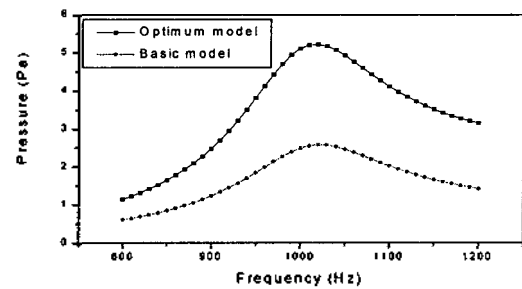


그림 20. 최적 구조와 기본 모델의 음압 비교
Fig. 20. Optimum model vs. basic model.

VI. 결 론

본 연구에서는 저주파 대역에서 사용 가능하고 고효율을 가지며 우수한 내구성을 가지는 것으로 알려진 Class IV Flextensional 트랜스듀서의 여러 형상 및 물성 변수들에 따른 음압 변화 및 열 발생에 미치는 영향성을 유한 요소법을 이용하여 해석하였다.

해석 결과를 바탕으로 최대 음압을 구현하고, 열 발생이 최소인 중심 주파수 1 kHz의 트랜스듀서의 최적구조를 설정하였다. 설정된 최적구조의 음압은 기본 모델에 비해 2배 이상 크고, 열 발생은 아주 작은 것을 확인하였다. 본 연구의 결과는 향후 다양한 중심 주파수 및 고효율을 가지는 Class IV Flextensional 트랜스듀서를 설계함에 있어 유용한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 강국진, 노용래, "Class IV Flextensional 트랜스듀서의 주파수 특성 변화에 관한 연구," 한국음향학회지, 18권 7호, pp. 67-73, Nov. 1999.
2. K. D. Rolt, "History of the flextensional electroacoustic transducer," J. Acoust. Soc. Am. 87(3), pp. 1340-1348, 1990.
3. D. J. W. Hardie, "The effect of depth pressure on a flextensional transducer," Controller HMSO, London, 1990.
4. P. Dufourcq, J. Adda, M. Marines and E. Sernit,

"Transducers for great depths," Power Transducers for Sonics and Ultrasonics, Proceedings of the International Workshop, pp. 75-85, Toulon, France, June 12 and 13, 1990.

▲ 강 국 진(Kukjin Kang)

1998년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학사)

2000년 2월 : 경북대학교 센서공학과 졸업 (공학석사)

2000년 3월 ~ 현재 : 경북대학교 센서공학과 박사과정
재학중

※ 주관심분야 : 수중음향, 초음파

▲ 노 용 래(Yongrae Roh)

한국음향학회지 제19권 2호 참조