

저소음 Tonpiliz 트랜스듀서의 설계방안 연구

Design and evaluations of Tonpiliz Transducers with self noise suppressing structures

임종인(Jong-in Im)*, 노용래 (Yongrae Roh)**

* 경북대학교 센서공학과

**경북대학교 전자공학과 / 센서기술연구센터

Abstracts

수중 트랜스듀서는 진동하는 물체위에 설치되어 다양한 외부 소음원이 유입되는 환경에 노출되어 있다. 외부 소음원으로는 선체 진동, 프로펠러 소음, 그리고 유동 유기 소음들을 들 수 있고, 트랜스듀서의 실제 작동시 이들의 레벨이 상당히 높아서 센서의 정확한 작동에 장애가 되고 있다. 본 논문에서는 외부 소음원에 무관한 고 정밀, 저 소음 특성을 지닌 음향센서를 개발하기 위하여 유한요소법 (FEM)을 사용하여 소음 전달 특성을 분석하고, air pocket과 음향 감쇠층의 다양한 조합으로 이루어진 구조를 개선한 음향센서의 설계 및 내 소음성 평가를 하였다. 또한 사용한 음향 감쇠층의 최적 물성을 제시하고자 한다. 그 결과 센서 측면 하단부에 소음원이 위치할 경우 가장 큰 잡음 신호로 작용하며, 구조를 변경한 결과 기존 음향센서에 비해 55% 이상 내 소음성을 증진 시켰다. 그리고 음향 감쇠층의 최적 음향 임피던스는 1 Mrayl 이하 혹은 4 Mrayl 이상으로 분석되었다.

1. 서론

선체에 부착되어 사용되는 트랜스듀서는 외부로 음향신호를 발사하고, 또 역으로 외부로부터 입사하는 음향신호를 측정하는 역할을 하며 여러가지 소음원과 진동성분이 유입되는 환경에 노출되어 있다. 음향센서에 영향을 주는 대표적인 환경적 요인으로 급격한 충격이나 각종 경계 조건의 변화등을 들 수 있고, 외부에서 유입되는 잡음 신호로는 선체의 진동, 프로펠러에 의한 소음, 물속의 기포의 폭발에 의한 소음, 센서 주위의 유동 소음등을 예로 들 수 있다. 이들 잡음 신호들은 실제의 경우 그 강도가 상당히 높아서 측정하고자 하는 음향신호를 가리는 경우가 허다하며, 센서의 정확한 작동 및 수신된 음향신호의 정밀처리에 도 결정적인 장애가 되고 있다. 따라서 트랜스듀서의 정확한 작동을 위해서는 이들 소음성분을 효율적으로 차단하는 방안을 수립하여야 한다.

음향센서의 진동 소음 감소 방안으로 외부에서 발생된 소음의 전달경로를 차단하는 방안과 잔류 소음성분의 흡수시키는 음향 감쇠재 삽입하는 방안을 생각할 수 있다. 그러나 이들 두 방안은 각각 장 단점을 가지고 있으므로 적절히 조합, 최적화하여 센서의 내 소음성 구현하여야 한다. 그리고 음파에 대한 감도를 향상되도록 이들 요인들의 정확한 영향성 평가가 이루어져 다양한 외부 환경 요인에 의한 영향을 방지 또는 제거할 수 있는 방안에 대한 체계적인 연구가 필요하다.

본 논문에서는 이상에서 설명한 저소음 음향센서를 개발하기 위하여 기존 음향센서의 소음 전달특성을 분석하고, 이를 바탕으로 저소음 음향센서의 구조설계 및 음향 감쇠층의 최적 물성을 제시함으로써 다양한 외부 소음을 효과적으로 차폐시킬수 있는 고성능 저소음 음향센서를 개발하고자 하였다.

2. 수치해석을 위한 유한요소 모델링

대상으로 하는 트랜스듀서는 압전세라믹스와 전면추, 후면추로 이루어진 여러개의 Tonpitz 트랜스듀서와 내부 및 외부 금속 case, 음향 윈도우, 음향 격리막등으로 구성되어 있다. 본 논문에서는 이 저소음 트랜스듀서의 설계를 위해 유한요소법을 이용하였는데 상기한 음향 센서의 FE 모델 구성은 ANSYS 5.0A를 사용하였고, 전체의 대칭성을 고려하여 1/4에 해당하는 다양한 모델을 구현하고, x 및 y 방향으로 대칭 처리 하였으며 음향센서의 금속case 상단은 모든 방향으로 변위가 구속되었다고 생각하였다.

그리고 외부 소음원의 위치 변화에 의한 음향센서의 상대적인 출력을 알아보기 위해 1000 Pa 압력이 0.5초로 동안 step load로 인가되는 경우에 대해 Transient 해석을 하였다. 이때 소음원의 작용 위치에 따라 하중조건을 분리하였다.

3. 결과 및 고찰

기존 음향센서의 소음 전달 특성 해석을 위하여서는 외부의 개별 소음원에 대한 연구보다는 각각의 소음원이 일단 여러가지 미케니즘으로 발생, 작용하여 트랜스듀서에 도달하였다고 가정하고, 도달된 소음 성분이 작용하는 부위에 의한 Tonpitz의 반응도를 조사하여 소음의 전달 장소에 따른 영향을 해석하고 그 결과를 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Variations of Tonpitz transducer response with the change of the external noise location

	load case 1	load case 2	load case 3	load case 4	load case 5
response point 1	0.0196	0.17	0.72	0.65	0.23
response point 2	0.0199	0.19	0.83	0.79	0.31
response point 3	0.0178	-0.57	1.05	1.02	0.43

unit: mV

하중 인가조건 (1)은 음향센서가 고정되는 위치를 통해 선체의 진동이 센서로 전달되어 오는 경우를 표현한 것이고, 하중 인가조건 (2)부터 (5)까지는 외부의 여러가지 소음원들에 의해 센서의 측면에 발생할 수 있는 유동 유거 소음의 작용 위치 변화를 나타낸 것이다. 하중 조건 (2)는 센서 front의 음향 윈도우 측면에 소음원이 존재하는 경우이고, 센서의 음향 윈도우와 근접한 측면 하단부터 센서의 선체 고정부 근처인 측면 상단부까지 삼등분하여 하중조건 (3), (4), (5)를 선정 하였다.

이 결과로부터 동일한 강도의 소음이 하중조건 (1) 혹은 (2)와 같이 음향센서의 고정부 및 음향 윈도우의 가장자리에 작용하는 것보다는 음향센서의 측면에 작용하는 경우 훨씬 큰 출력을 나타냄을 알 수 있다. 그 중에서도 하중조건 (3)과 (4), 특히 (3)의 경우에 해당하는 소음이 음향센서의 동작특성에 상대적으로 큰 영향을 주는 것으로 분석되었으므로 측면 소음의 차폐가 상대적 중요성을 갖고 있다고 사료된다.

음향센서의 구조 변경시 전달 소음신호의 경로를 차단 혹은 음향 임피던스 부정합을 일으키도록 구조를 변경하여 진동을 흡수 혹은 반사시키는 방법을 사용하였다. 이러한 목적을 위해 여러개의 air pocket과 음향 감쇠층을 고려하여 총 14의 개선된 모델을 고안하였다

이들 개선된 모델에 하중조건 (3)에 해당하는 소음이 인가될 경우 Tonpitz transducer에서 발생하는 전압의 응답특성을 기존 음향센서와 상대 비교하고 그 결과를 Fig. 1에 나타내었다.

여기서 알 수 있듯이 하중조건 (3)에 해당하는 소음이 인가될 경우 내부에 위치한 Tonpitz

transducer에 해당하는 N1과 N2는 구조 변경에 의해 동일한 경향성을 보이거나 외곽에 위치한 N3는 다소 다른 경향성을 보이고 있다. 그러나 종합하여 보면 전체적으로 구조 변경한 모델들이 original 구조에 비해 외부 소음에 대한 반응도가 최소 29%이상 감소하였고, 최대 59%의 감소를 보이고 있다. 최대 감소를 보이는 모델들은 air pocket과 이중의 감쇠층을 사용했다는 공통점을 가지고 있어 단일 감쇠층보다는 이중의 감쇠층을 사용하는 것이 훨씬 좋은 저소음 음향센서를 제조할 수 있다는 것을 의미한다.

그리고 상기 구조 변경 모델중 모델 13을 선택하고, 다른 재질의 음향 감쇠층을 사용할 경우를 가정하여 최적의 재료 물성을 알아보기 위해 음향임피던스를 변경시켜 센서 내부의 음향 결합상태를 변경시킨 경우에 대한 수치해석 결과를 Fig. 2에 나타내었다.

여기에서 알 수 있듯이 음향 감쇠층의 임피던스가 증가함에 따라 압전소자의 출력이 증가하다가 어느 구간을 넘어서면 감소하는 경향을 보이고 있다. 반응도가 증가하는 구간은 1 ~ 4 Mrayl에 해당하며 이 구간에서 흡음재가 들어간 소음 차단벽이 도리어 임피던스 정합층 역할을 하여 소음의 전달을 더 용이하게 한 결과로 판단된다. 따라서 1 Mrayl 이하 혹은 4 Mrayl 이상의 흡음재료를 사용할 경우 효과적인 소음 차폐효과를 거둘 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 저소음 특성을 갖는 고성능 음향센서를 구현하기 위하여 FEM으로 transient 해석을 하여 다양한 외부 소음 전달 특성 분석 및 air pocket과 음향 감쇠층 다양한 조합으로 이루어진 새로운 구조의 트랜스듀서 모델을 구성하고, 이들에 대한 내 소음성을 평가하였다. 그리고 사용한 음향 감쇠층의 최적 물성을 제시하고자 하였으며 이 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 외부 소음원이 센서의 고정부 혹은 음향 윈도우의 가장자리보다는 센서의 측면 하단부에 위치할때 Tonpitz transducer에 가장 큰 침입신호로 작용한다.
- (2) 저소음 음향센서를 구현하기 위하여 구조를 변경한 14개의 모델을 고안하여 소음응답 특성을 분석한 결과 최대 55%이상 개선하였다.
- (3) 음향 임피던스 1 Mrayl이하 혹은 4 Mrayl이상의 값을 가지는 흡음재질을 트랜스듀서의 감쇠층으로 적용할때 가장 효율적인 소음차폐가 이루어짐을 알 수 있었고, 상기한 구조에서 재료의 감쇠도는 그다지 영향을 주지않는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. P. R. Anderson, Low noise transducer system, US Patent No. 5,243,566 (1993)
2. S. J. Zain, W. Thompson, Jr., and M. Kahn, Construction and evaluation of a noise-suppressing hydrophone, J. Acoust. Soc. Am., 92(2), Pt. 1, pp 642 - 645 (1993)
3. M. Kahn, Noise suppressing hydrophone, US Patent No. 4,928,264 (1990)
4. R. Lerch, Simulation of piezoelectric devices by two and three dimensional finite elements, IEEE Trans. Ultrason. Ferroelec. Freq. Contr., 37(2), pp. 233-247 (1990)

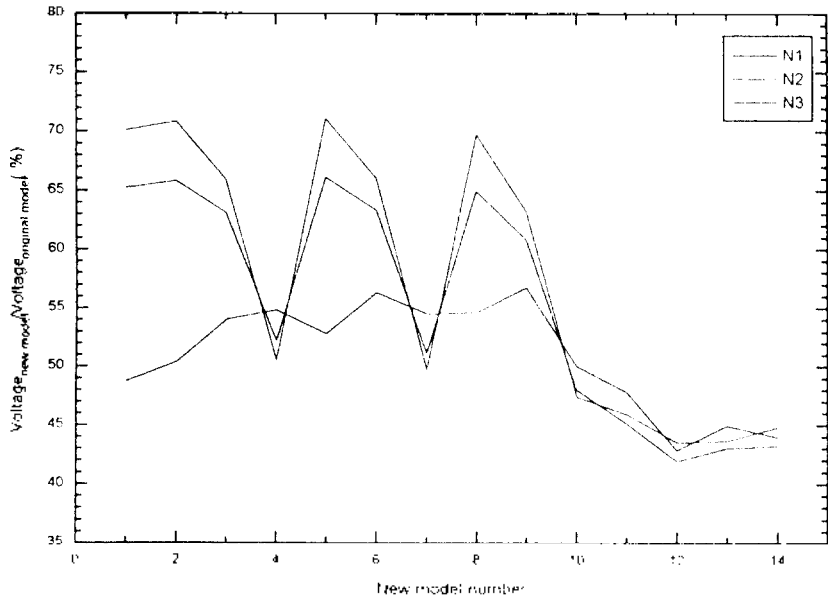


Fig. 1. Piezoelectric voltage response of the modified FE models in the load case 3

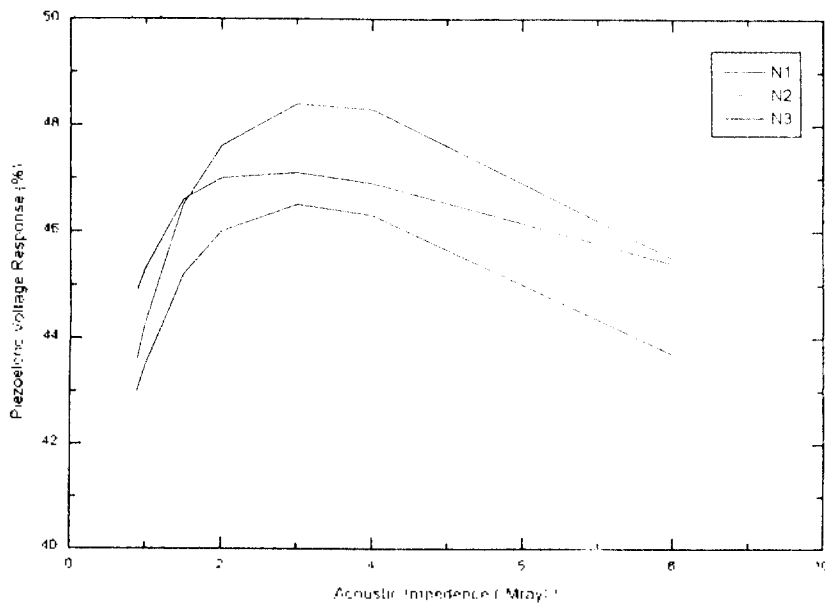


Fig. 2. Effects of the impedance of the damping layer on the piezoelectric voltage response of the model No. 13 in the load case 3