

다층구조를 이용한 수중음향센서의 소음차단구조 설계 최적화에 대한 연구

Study on Design Optimization of Planar Multi-layer Structure for Noise Reduction of Underwater Acoustic Sensors

김강천* · 김성희** · 김준곤* · 길현권† · 홍석윤*** · 송지훈*** · 권현웅** · 서영수**** · 전재진****

K.H. Kim, J.-G. Kim, H.-G. Kil, S.-H. Kim, S.-Y. Hong, J.-H.Song, H.-W. Gwon, Y.-S. Seo, J.-J. Jeon

1. 서 론

수중함에 부착되는 소나(Sonar)는 적함에서 발생하는 추진기, 발전기등의 소음인 저주파수 대역의 신호를 탐지하는 수동 센서이다. 해당 소나는 선체에 부착이 되므로 자함의 기계류 진동 소음이 센서로 유기되진 않도록 소음차단구조를 통해 운용주파수 대역에서 낮은 음압을 갖도록 설계되어야 한다. 또한 소나의 수신 성능, 즉 표적 함정의 기계류의 진동으로 인하여 방사되는 음파를 탐지하기 위한 성능을 높이기 위해서는, 소나의 수신 음압이 운용주파수 대역에서 높고 고른 음압을 갖도록 설계되어야 한다.

소나 설계를 위하여서는 주로 다층 배열 구조가 주로 사용되어져 왔다 [1,2]. 그러나 이러한 다층구조를 이용하여, 자체 진동 저감과 음파 탐지 성능향상의 두 가지 복합적인 설계 목표를 효과적으로 달성하기 위해서는 두 가지 모두를 고려한 최적화 설계 방법의 적용이 요구되어진다. 본 논문에서는 일반적으로 사용되어지는 소나의 다층구조에 대하여 두 가지 설계 목표를 달성하기 위하여, 최적화 알고리즘으로 유전자 알고리즘을 적용하였다.

2. 다층 구조의 동적 해석

소나는 수중함의 선체에 길이 방향으로 부착되는 배열 소나이므로, 그림 1과 같이 무한 평판 형태의 층들로 이루어지는 구조로 모델링할 수 있다.

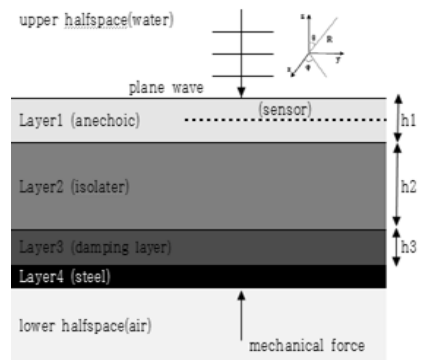


그림 1. 다층 구조 (기계 및 음향가진 고려)

기본적인 다층 배열로서는 강철로 이루어진 수상함 선체에 부착되는 3가지 배열 (흡음층, 차음층, 제진층)을 고려 할 수 있다. 이 경우 선체는 수중함 내부의 공기에 접하게 되며, 소나의 바깥면인 흡음층의 외측 표면은 물과 접하게 된다.

그림 1과 같은 다층 구조에 대한 동적 해석에 대해서는 Skelton의 해석 방법을 적용할 수 있다. 무한 영역의 탄성층과 다층 구조 위 아래 유체층으로 구성된 다층 구조에서 동강렬 행렬과 변위 및 힘의 관계식을 구할 수 있는데, 이 경우 각 층의 상부와 하부 경계면에서 직교좌표계 세 방향에 대해 변위와 응력 또는 변위와 압력의 연속 조건을 이용하게 된

† 교신저자; 정회원, 수원대학교 기계공학과
E-mail : hgkil@suwon.ac.kr
Tel : 031-220-2298, Fax : 031-220-2494

* 수원대학교 대학원
** 서울대학교 조선해양공학과
*** 전남대학교 조선해양공학과
****국방과학연구소

다. 여기서 가진력은 선체 안쪽으로부터 수직 방향으로 작용하는 점가진력과 다층구조 위 무한유체영역으로부터 입사하는 평면파에 의한 가진을 고려한다.

3. 다층구조 모델의 설계 최적화

다층 구조에 삽입되는 센서에서 선체 자체 진동 저감과 음파 탐지 성능 향상의 두 가지 복합적인 설계 목표를 달성하기 위한 설계최적화 과정은 다음과 같다. 설계 변수로서는 선체를 제외한 3가지 층(그림 1)에 대한 2~3가지 재료 선택 (표1)인 이산 변수, 그리고 각 층의 두께인 연속 변수를 고려한다.

표 1. 각 층의 재료 물성치

층번호	재료 종류	밀도 (kg/m^3)	탄성계수 (Pa)	Poisson 비	손실 계수	초기두께 (m)
층 1	1	1600	6.4×10^7	0.48	0.540	0.085
	2	1500	3.9×10^7	0.48	0.520	
	3	1100	2×10^5	0.48	0.200	
층 2	1	400	5.0×10^3	0.20	0.100	0.140
	2	800	2.6×10^6	0.46	0.100	
층 3	1	1100	2.0×10^9	0.40	0.200	0.020
	2	800	2.6×10^7	0.46	0.470	

두 가지 설계 목적 함수는 다층 구조에서 음향센서가 배치되는 지점(물과 접한 표면에서 0.02m 떨어진 지점)에서 주파수 대역 (1600 ~ 5000 Hz)에 대한 음압레벨의 평균 값으로, 선체 가진에 의한 음압레벨 평균값 W_1 과 외부 음향 가진에 의한 음향레벨 평균값 W_2 으로 다음과 같이 표현된다.

$$W_1 = \sum_{j=1}^N PL_{1j} / N, \quad W_2 = \sum_{j=1}^N PL_{2j} / N \quad (1)$$

그리고 구속 조건으로는 다층 구조의 전체 두께 고정, 그리고 각 층의 두께 변화 폭을 다음과 같이 제한한다.

$$h_1 + h_2 + h_3 = 0.245m \quad (2)$$

$$0.5h_{oj} \leq h_j \leq 2h_{oj} \quad (j=1,2,3) \quad (3)$$

여기서 h_{oj} 는 j 층의 초기 두께 값을 의미한다.

최적화 설계과정은 구속조건 (식(2),(3))하에서 2개의 목적 함수 W_1 과 W_2 가 각각 최소값과 최대값을 갖도록 3개의 이산 변수와 3개의 연속변수를 결정하는 과정에 해당한다. 최적화 알고리즘으로서는 이산 및 연속변수를 적용할 수 있는 방법으로서 유전자알고리즘[3]을 적용하였다.

4. 해석 결과

그림 2는 다층 구조에 삽입되는 센서에서 선체 자체 진동 저감과 음파 탐지 성능 향상의 두 가지 복합적인 설계 목표를 고려한 최적화 결과를 보여준다. 이 경우 다층 구조 각 층은 각각 1, 2, 1 종류의 재료가 사용되었으며, 각 층의 두께는 0.081m, 0.137m, 0.027m 이 적용되어졌다.

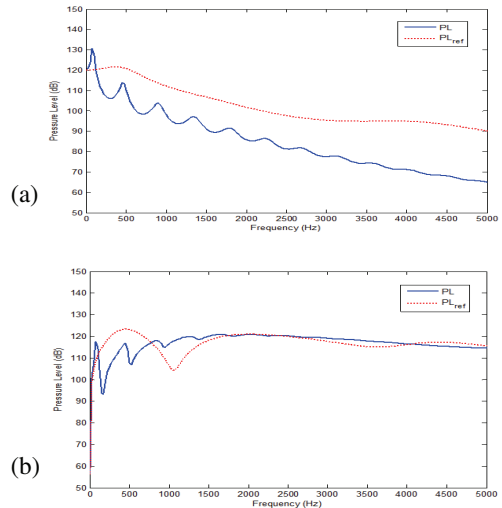


그림 2. 센서위치에서의 음압 레벨 (··· : 초기설계. — : 최적화 설계) (a) 기계가진 경우, (b) 음향가진 경우.

5. 결론

본 논문에서는 일반적으로 사용되어지는 소나의 다층구조에 대하여 두 가지 설계 목표를 달성하기 위하여, 최적화 알고리즘으로 유전자 알고리즘을 적용하였다.

참고문헌

- (1) Skelton, E. A. and James, j. h, 1997, Theoretical Acoustics of Underwater Structures. Imperial College Press.
- (2) S.-H. Kim, S.-Y. Hong, J.-H. Song, H.-G. Kil, J.-J. Jeon, Y.-S. Seo 2, "Acoustical Characteristic Predictions of a Multi-layer System of a Submerged Vehicle Hull Mounted Sonar Simplified to an Infinite Planar Model," Inter. J. Nav. Archit. Oc. Engng, pp.96-111, 2012.
- (3) E. Goldberg, *Generic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley, 1989.