돔 구조체 배플에 부착된 재료에 따른 제진 특성 연구
Vibration Isolation Investigation of Attached Materials on the Baffle of the Dome Structure

*#이종길[1]
*#J. K. Lee(jlee@andong.ac.kr)[1]
[1] 안동대학교 기계교육과

Key words : Dome structure, Baffle, Mode shape, Vibration isolation, Natural frequency

1. 서론

돔 구조체의 하부 구조에서 발생하는 진동의 전파를 차단하기 위하여 돔 구조물 끝단에 환형 구조의 배플(baffle)을 설치하고 여기에 제진재를 부착하여야 한다. 수중 운동체가 기동할 때 돔 앞쪽에 설치된 센서에 유기되는 소음은 모타, 추진기 및 유동에 의해 생성된 소음이 주위의 유체를 통해 전달되거나 구조를 통해 전달된다[1]. 따라서 구조를 통해 전달되는 소음이 음향 센서의 성능을 저하시키는 요인이 되지 않도록 음향 센서 주위에 음향 차단재를 설치하면 그 효과가 클 것으로 판단된다. 수중 운동체 후미부에서 발생하는 프로펠러 소음과 진동은 소음 차단 링(SNORE Ring, Self-NOise REduction Ring)이라 알려져 있는 소음 차단 구조를 이용하면 효과적이다[7].

본 연구에서는 환형 구조의 배플에 여러 가지 종류의 제진 재료를 선정하고 배플에 부착하였을 때 제진 특성을 보고자 하였다. 제진재의 두께는 돔 구조체의 실제 길이가 늘어나지 않는 범위에서 선정하였다. 돔의 외형에는 운동체의 수중 고속 운동으로 인하여 난류 유동 소음이 발생하며 내부에는 운동체의 추진을 위하여 각종 추진 소음과 진동이 발생하게 된다[2, 4, 5]. 극좌표계를 이용한 배플의 진동 방정식은 다음식과 같이 표현된다[3, 6].

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial \eta}{\partial r}\right)+\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 \eta}{\partial \phi^2}=\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} \quad (1)$$

여기서 r, ϕ, η는 배플의 극좌표이며 c는 파속(sound speed)이다. 식 (1)의 진동 방정식의 해는 다음과 같다.

$$\eta(r,\phi,t)=Xe^{-i\omega_{n,m}t}\cos[n(\phi-\phi_o)]J_n\left(\frac{\omega_{n,m}}{c}r\right) \quad (2)$$

식 (2)에서 X는 진폭, $\omega_{n,m}$는 원주파수(circular frequency), m 및 n은 상수, ϕ_0는 초기치, J_n은 n종 베셀함수(Bessel function)이다. 식 (2)를 통하여 제시된 배플의 진동 모드를 계산할 수 있다.

2. 제진 재질

본 연구에서 배플의 끝단에 내부 발생 진동을 차단하기 위하여 4개의 서로 다른 물성치를 가진 제진 재료를 선정하였다. NBR(Acrylonitrile Butadiene Rubber), SBR(Styrene Butadiene Rubber), SR(Silicone Rubber), CR(Chloroprene Rubber) 등을 각각 다른 두께로 시뮬레이션 하였다. 탄성계수는 NBR이 가장 크며 밀도는 SR과 CR이 같은 값으로 가장 크다. 푸아송비는 0.45로 동일한 값이다. 제시된 재료가 고무 계통으로서 푸아송비는 크게 차이가 없다. 각 제진제의 두께는 1mm~5mm로 선정하였고 가진점은 배플 지점에서 선택하고 전면 방향으로 가진하였다.

3. 수치 해석 및 결과

제시한 모델에 대하여 고유진동 해석을 수행하였다. 실제의 응답은Fig. 1과 같은 주파수 특성을 갖는다. 배플의 재질은 알루미늄이며제시한 제진재는 부착하지 않은 상태이다. Fig. 1에서와 같이 배플의 진동 주파수는 주로 440Hz(#1), 1,970Hz(#2), 4,170Hz(#3)에서 높은 진폭으로 나타났다.

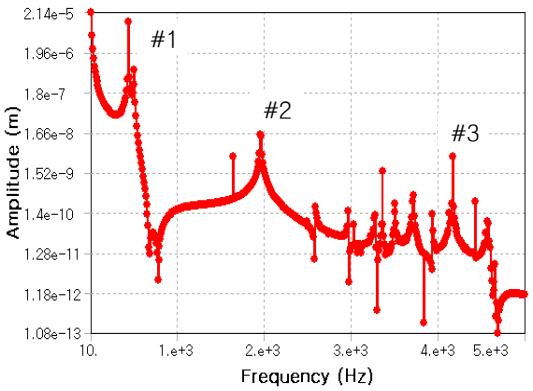
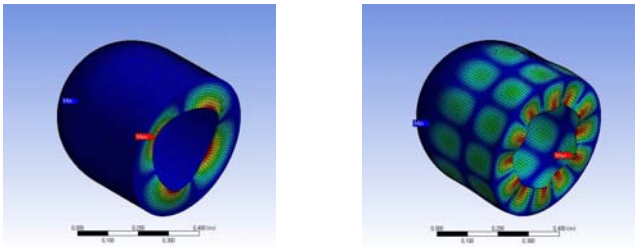


Fig. 1 Frequency spectrum of the aluminum baffle

Fig. 2에는 배플의 진동 모드 형상만 표시하였다. 배플에서의 진동이 특별히 나타나는 것을 중심으로 해석하고자 한다.Fig. 2에서 (a)는 624Hz의 주파수에서의 모드 형상을 (b)는 1,875Hz에서의 모드 형상을 나타내었다. (a)에서는 반경방향 노달 라인이 2개 나타나며 (b)에서는 6개가 나타난다. Fig. 2의 모드 형상은 추진 장치에서 전파되는 진동이 구조체를 타고 어떻게 배플에 전달되는지를 예측할 수 있게 한다. 구조체 배플의 진동은 실제로 진동으로 인한 소음 발생이 우려되고 이것은 돔 형상체 내에 설치된 곡면 배열 센서의 감도에 영향을 미치게 된다. 이러한 원치 않는 진동을 차단할 필요가 있으며 이것은 배플에 제진 재료를 부착함으로서 해결할 수 있다.



(a) 624Hz (b) 1,875Hz

Fig. 2 Mode shape of the baffle without vibration isolation materials

Fig. 3에는 제진 재질을 달리하여 배플에 부착하였을 때 주파수에 따른 진동 변위 특성을 나타낸 것이다.Fig. 3에서 440Hz인 경우 변위는 약 2.75×10-4 mm 정도로 Fig. 1에서 #1의 진폭 2.12×10-2 mm에 비하여 제진효과가 매우 크다는 것을 알 수 있다. 주파수 2,000Hz 근방에서는 3.54×10-5 mm 정도로 Fig. 1에서 1.66×10-5 mm에 비하여 오히려 제진효과가 떨어지는 특성을 나타내고 있다. SBR의 제진 특성을 주파수에 따라 계산해 보면 440Hz인 경우 변위는 약 1.19×10-3 mm 정도로 Fig. 1에서

#1의 진폭 2.12×10-2 mm에 비하여 제진효과가 비교적 크다는 것을 알 수 있다. 그러나 NBR에 비하여 그 성능은 낮음을 알 수 있다. 주파수 2,000Hz 근방에서는 6.74×10-5 mm 정도로 Fig. 1]에서 1.66×10-5 mm에 비하여 NBR의 경우와 마찬가지로 오히려 제진효과가 떨어지는 특성을 나타내고 있다.

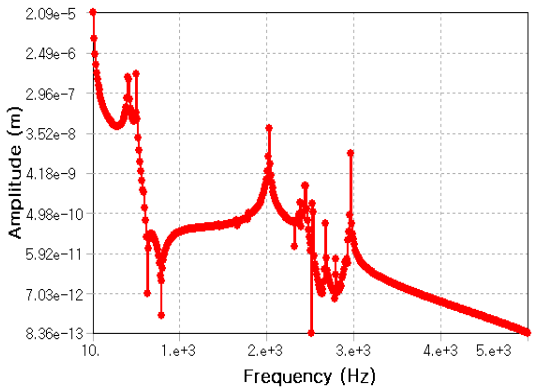


Fig. 3 Vibration isolation characteristics of the NBR with 2mm in thickness(2.75×10-4 mm@440Hz)

NBR과 SBR에 비하여 탄성계수가 낮은 재질인 SR에 대한 제진 특성을 주파수에 따라 나타낸 것과 SBR 재질과 동일한 탄성계수를 갖는 재질인 CR에 대한 제진 특성을 주파수에 따라 나타내어 이를 두께에 따라 정리하면 Fig. 4와 같다. Fig. 4에서 440Hz인 경우 변위는 약 2.97×10-3 mm 정도로Fig. 1에서 #1의 진폭 2.12×10-2 mm에 비하여 제진효과가 비교적 크다는 것을 알 수 있다. 그러나 CR 재질은 주파수 440Hz에서 본 논문에서 제시된 네 종류의 재질 중 가장 낮은 제진 특성을 보였다. 또한 주파수 2,000Hz 근방에서는 5.90×10-5 mm 정도로Fig. 1에서 1.66×10-5 mm에 비하여 제진효과가 약간 커다는 것을 알 수 있다.

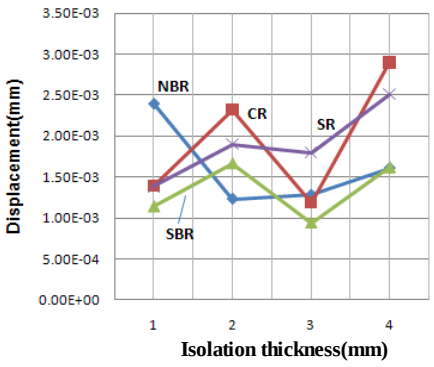


Fig. 4 Vibration isolation characteristics of the NBR, SBR, CR, and SR at the frequency of 440Hz

Fig. 4에서와 같이 SBR과 CR은 동일한 탄성계수 값이므로 제진효과가 같은 두께에서 최대의 효과를 나타낸 것으로 보인다. Fig. 5에서는 주파수 1,970Hz의 경우 재질의 두께에 따른 진동 변위를 나타낸 것이다. Fig. 5에서와 같이 두께가 2mm인 경우 제진 효과는 SR>SBR>CR>NBR의 순으로 나타남을 확인하였다. 그러나 1mm의 두께인 경우 제진 효과는 CR>SR>SBR>NBR의 순서로 나타났다. NBR는 두께가 4mm인 경우, SBR과 SR은 2mm인 경우, CR은 4mm인 경우 각각 제진 효과가 크게 나타났다.

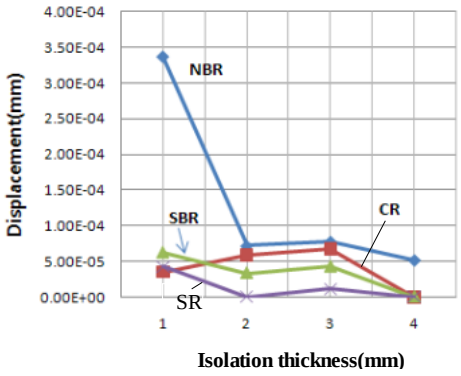


Fig. 5 Vibration isolation characteristics of the NBR, SBR, CR, and SR at the frequency of 1,970Hz

4. 결론

돔 형상의 끝단에 배플이 부착된 수중 운동체에서 구조 진동에 따른 전달을 최소화하기 위한 배플 부착 재질을 NBR, SBR, SR, CR 등을 선정하고 그 제진 특성을 연구하였다. 주파수가 440Hz일 때 재질 두께가 2mm인 경우 제진 효과는 NBR>SBR>SR>CR의 순이며 3mm의 두께인 경우 SBR>CR>NBR>SR의 순서로 나타났다. NBR는 두께가 2mm인 경우, SBR과 CR은 3mm인 경우, SR은 1mm인 경우 각각 제진 효과가 크게 나타났다. 주파수가 1,970Hz일 때 재질 두께가 2mm인 경우 제진 효과는 SR>SBR>CR>NBR의 순으로 나타남을 확인하였다. 두께가 3mm와 4mm에서도 동일한 경향을 나타내었다. 그러나 1mm의 두께인 경우 제진 효과는 CR>SR>SBR>NBR의 순서로 나타났다. NBR는 두께가 4mm인 경우, SBR과 SR은 2mm인 경우, CR은 4mm인 경우 각각 제진 효과가 크게 나타났다.

후기

본 연구는 2009년 국방과학연구소의 지원으로 수행되었으며, 이에 대해 깊이 감사를 드립니다.(계약번호 UD090008DD)

참고문헌

1. 박지혜, 이종길, 신구균, 조치영, “전달함수를 이용한 저파수 영역에서의 센서 유입 소음 특성 연구,” 대한공업교육학회지, 34(1), 238~251, 2009.
2. Anderson, P. R., “ Low noise transducer system,” United States Patent, Patent No. 5,243,566, 1993.
3. Blevins, R. D.,, Formulas for natural frequency and mode shape, Krieger Pub. Co., 246~248, 1984.
4. Ebenezer, D. D., Abraham, P., “Effect of multilayer baffles and domes on hydrophone response,” *Journal of Acoustical Society of America*, 99(4), 1883~1893, 1996.
5. Ko, S.-H., Sherman, C. H., “Flexural wave baffling," *Journal of Acoustical Society of America*, 66(2), 566~570, 1979.
6. Morse, P. M., Vibration and sound, AIP, 208~213, 1976.
7. Hodges, F. P. et al., "Laminar flow quiet torpedo nose," US patent 4,192,246, 1980.