

다중가진을 받는 수중 원통구조물의 방사효율에 대한 수치해석

A Numerical Analysis on the ascoustic radiation efficiency of a stiffend cylindrical structure in underwater under multi-excitation

강명환* † · 이종주* · 한승진* · 배수룡* · 정우진*

Myunghwan Kang, Jongju Yi, Seungjin Han, Sooryong Bae and Woojin Jung

Key Words : Radiation Efficiency(방사효율), Surface vibration field(표면진동장), acoustic radiation power(음향방사파워)

ABSTRACT

This study is on acoustic radiation efficiency of a tiffened cylindrical model in water-multi-excitation with phase difference using commercial numerical program ABAQUS and SYSNOISE. When the stiffened cylindrical model is under multi-excitation with phase difference, the surface vibration field is variated with phase difference of excitation. By this different surface vibration field, the acoustic radiation efficiency is also variated with phase difference of excitation.

기 호 설 명

- σ : 방사효율(radiation efficiency)
- v_n : 표면 법선 속도(normal velocity)
- f : 주파수, Hz
- ρ_0 : 외부 유체 밀도, kg/m^3
- c_0 : 외부 유체 음속, m/s
- Φ : 구조 모드(Structural mode)

1. 서 론

수중 운동체의 방사소음은 적함의 소나(Sonar)에 의한 피탐지 여부와 탐재 소나의 탐지 성능을 결정하는 중요한 요소로 분류되고 있다. 수중 운동체의 방사소음은 기계류에 의한 소음, 유체소음, 프로펠러 소음으로 크게 나눌 수 있으며, 주로 저속에서는 기계류에 의한 방사소음이 주요소음원이 된다. 기계류

에서 발생된 진동에너지는 수중 운동체 표면으로 전달되어 수중 운동체 표면에서의 진동에너지가 수중 운동체 외부에 음향에너지로 전환이 되어 수중방사소음을 야기시킨다. 수중방사효율은 수중 운동체 표면의 진동에너지와 이 진동에너지에 의해 방사된 소음 에너지의 비로 나타내며, 수중방사소음을 해석하는데 중요한 지표로 이용되고 있다.

방사효율에 대한 연구는 평판⁽¹⁾⁻⁽²⁾ 및 원통구조물⁽³⁾⁻⁽⁴⁾ 표면의 진동 정보를 이용한 연구들이 주로 수행되었다. 그러나 실제 수중 운동체의 경우에 다양한 탑재 장비로 인해 하나의 가진력으로 정의되는 것이 아니라 수 많은 탑재 장비에 의해 속도나 운항조건별로 가진 특성이 다른 다중 가진의 영향을 받는다. 따라서 각각의 탑재 장비의 작동여부 및 작동 파워에 의해 수중운동체 표면의 진동장이 다양하게 발생하게 된다.

본 논문에서는 다중가진 상태를 가정하여, 동일한 가진력이 발생하지만 가진력간의 위상차가 존재하는 가진시스템에서 수중 운동체의 수중방사효율을 해석하였다. 수중 운동체의 수중방사효율을 해석하기 위해, 상용수치해석 프로그램인 ABAQUS와 SYSNOISE를 이용하여 다중 가진시 가진력간의 위상차에 의한 보

† 교신저자; 정회원, 국방과학연구소
E-mail : kangmh@add.re.kr
Tel :055-540-6414, Fax :055-542-3737

‡ 발표자; 국방과학연구소

* 국방과학연구소

강 원통형 수치모델의 진동장의 영향, 방사소음의 영향 및 수중방사효율에 대해 해석을 수행하였다.

2. 위상차를 갖는 다중 가진시 원통형 구조물의 방사효율 영향

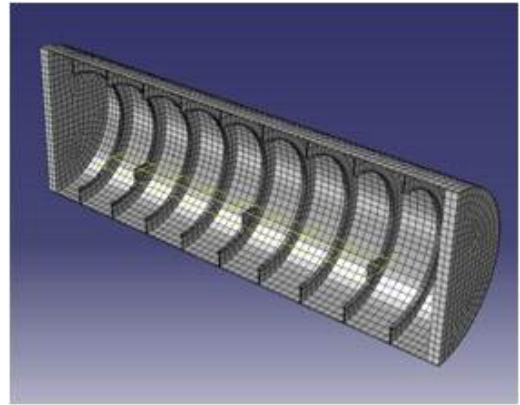
2.1 수치해석 방법

위상차를 가지는 다중 가진시 수중방사효율의 영향을 알아보기 위해 Fig 1과 같은 보강 원통형 구조물을 대상으로 수치해석을 수행하였다. 수치해석모델은 길이 4m, 지름 1.35m, 원주방향 두께는 8mm, 양 막음판 두께는 100mm, 보강재 간격은 0.4m이다. 수치해석용 모델 내부에는 내부구조물, 마운트용 블록 및 보강재가 설치되어있다. 이를 수치해석을 수행하기 위해, 내부구조물은 빔(Beam) 모델을 구성하였고 내부구조물과 마운트용 블록은 강체연결조건을 이용하여 해석하였다.

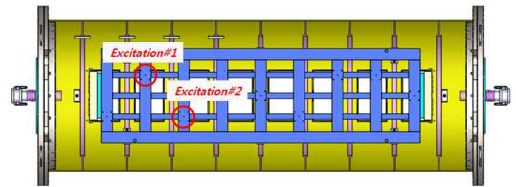
보강 원통형 구조물의 표면 진동장 해석은 유한요소해석(Finite Element Method) 기반인 ABAQUS⁽⁵⁾를 이용하였다. 보강 원통형 구조물의 접수현상을 해석하기 위해 구조-음향 연성해석(Structure-Acoustic interaction analysis)를 수행하였다. 지름 4m 크기의 실린더 형태의 음향 영역과 ABAQUS에서 제공하고 있는 비반사 경계조건을 이용하여 강제진동해석을 수행하였다.

ABAQUS에서 해석된 보강 원통형 구조물의 표면 진동장을 이용하여 음향해석을 수행하기 위해, 경계요소해석(Boundary Element Method)기반인 SYSNOISE⁽⁶⁾을 이용하였다. 실린더 형태의 음향방사면에 ABAQUS에서 해석된 진동장을 속도경계조건으로 입력하여 Direct Exterior unbaffle Method의 해석방법을 이용하여 음향해석을 수행하였다. 수치해석 모델의 표면에 위치한 노드는 총 6600개이며, 수치적 오류를 줄이기 위해 유한요소해석과 경계요소해석의 노드 위치 및 수는 동일하다.

위상차에 의한 수중방사효율을 알아보기 위해, 가진력의 위치는 Fig 1. (b)와 같다. 각 가진력 크기는 1N으로 동일하고, 가진점 #1은 위상을 0으로 고정하고 가진점 #2를 20°, 45°, 120°, 180°으로 변경하여 50~2000Hz범위로 50Hz 간격으로 총 20개 주파수에 대해 위상 변화에 따른 진동장 및 음향해석을 수행하였다.



(a) Abaqus modeling for vibration analysis



(b) Excitation point

Fig 1. The numerical model

2.2 수치해석 결과

방사효율은 구조의 진동에 의한 기계적 에너지가 음향에너지로 변화되는 정도에 대한 비율이며, 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\sigma = \frac{W_{acoustic, active}}{W_{input}} \quad (1)$$

구조공진에 의한 구조 입력 파워는 각 해석된 각 노드의 법선속도(Normal Velocity)에 대한 RMS(Root mean square)과 면적의 곱으로 표현되며, 다음과 같다.

$$W_i = \rho_0 c_0 \int_S |V_s|^2 dS = \frac{1}{2} \rho_0 c_0 \int_S |v_n|^2 dS \quad (2)$$

음향방사 파워는 한 주기 동안에 진동하는 구조체에 의해 방사되는 평균 파워으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$W_{acoustic, active} = \frac{1}{2} \int_S Re(I_n) dS = \frac{1}{2} \int_S Re(pv_n^*) dS \quad (3)$$

여기서, I_n 은 각 노드의 인텐시티(Intensity)이며, p 는 각 노드에서 해석된 음압이다.

본 실린더 수치모델이 선형시스템이라 가정하면, 두 가진력에 의한 보강 실린더 모델 표면의 법선 속도(normal velocity)는 모드참여계수(Modal partition factor)와 모드(mode)으로 표현할 수 있다.

$$v(x, y) = -i\omega \sum_{m=1}^{\infty} (A_m(\omega) + B_m(\omega)) \Phi_m(x, y) \quad (4)$$

위 식과 같이 각 가진력에 의한 법선 속도는 동일한 구조 모드의 각 모드간 모드참여계수의 차이에 의해 발생되며, 다중 가진시 모드참여계수의 벡터합(Vector sum)으로 인해 법선 속도가 결정된다.

Fig 2~ 5는 가진주파수 800Hz에서의 가진력의 위상차에 따른 보강 실린더모델 표면의 진동장을 나타낸다. 그림에서 가로방향은 보강 실린더모델의 길이 방향이고 세로방향은 보강 실린더모델의 원주방향이다. 식 (4)에서 진동장은 각 가진력의 모드참여계수의 벡터합으로 표현되기 때문에, 가진력의 위상차에 의해 진동장의 형태 및 크기가 다르게 나타난다.

Fig 6은 50~2000Hz 범위로 50Hz간격으로 가진력의 위상차가 0°, 45°, 120°, 180°일 때의 구조입력 파워를 나타낸다. 구조입력 파워의 차이는 위상에 따른 진동장 변화에 기인한다. 가진력 위상차에 의한 구조입력 파워는 주파수가 증가함에 따라 유사한 경향을 나타내지만, 수치적으로 볼 때 다소 차이가 발생하며 주파수 1550Hz에서 최대 5dB정도의 차이가 발생하였다.

Fig 7은 50~2000Hz 범위로 50Hz간격으로 가진력의 위상차이가 0°, 45°, 120°, 180°일 때의 음향방사 파워를 나타낸다. 가진력 위상차에 의해, 위상에 따라 다른 진동장에 의한 음향방사 파워이기 때문에 Fig 6의 구조 입력파워 유사하더라도 진동장이 다를 경우에 음향방사 파워가 다르게 나타난다. 구조 입력파워 특성과 유사하게 주파수에 따른 음향방사 파워의 경향은 유사하지만, 절대 크기가 주파수 구간에 따라 다르게 나타난다. 주파수 1800Hz에서 최대 6dB정도 차이가 발생한다.

Fig 8은 Fig 6과 Fig 7의 구조입력 파워와 음향방사 파워를 이용하여 방사효율을 계산한 그림이다. 가진력 위상차에 의해 10배정도 차이가 나는 주파수 구간이 발생하였다. 이는 다중 가진 시스템에서 방사효율은 동일한 가진력을 발생하더라도 가진력의 위상 변화로 인해 방사효율이 다르게 계산될 수 있음을 뜻한다.

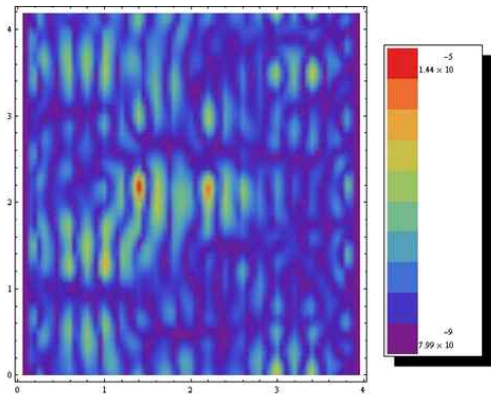


Fig 2. Vibration velocity field of the cylinder model (800Hz, PD0)

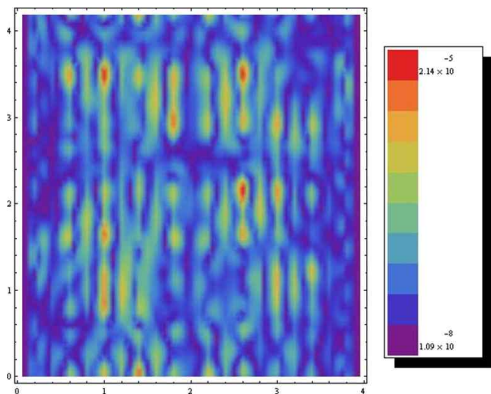


Fig 3. Vibration velocity field of the cylinder model (800Hz, PD45)

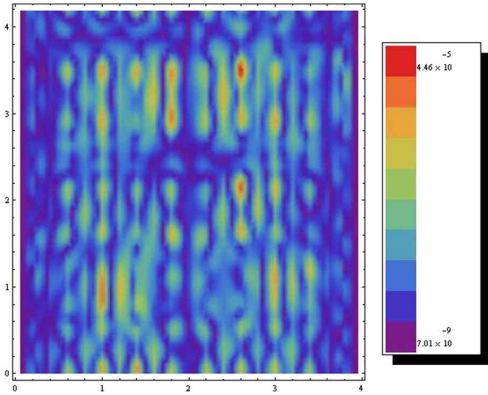


Fig 4. Vibration velocity field of the cylinder model (800Hz, PD120)

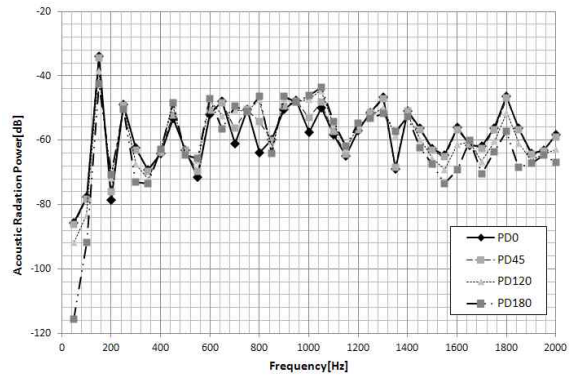


Fig 7. Acoustic Radiation Power due to phase difference of forces

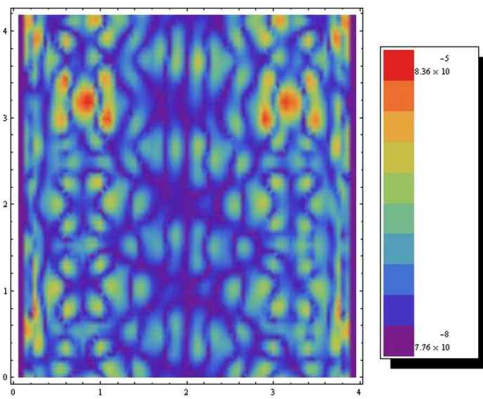


Fig 5. Vibration velocity field of the cylinder model (800Hz, PD120)

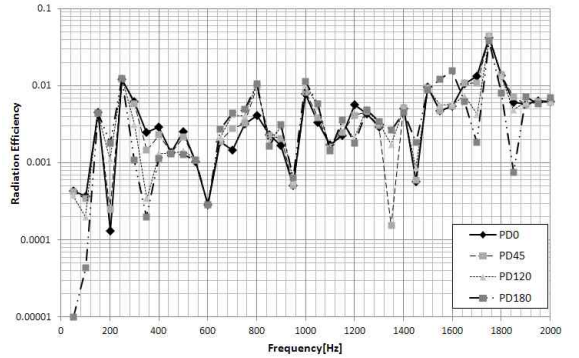


Fig 8. Radiation Efficiency due to phase difference of forces

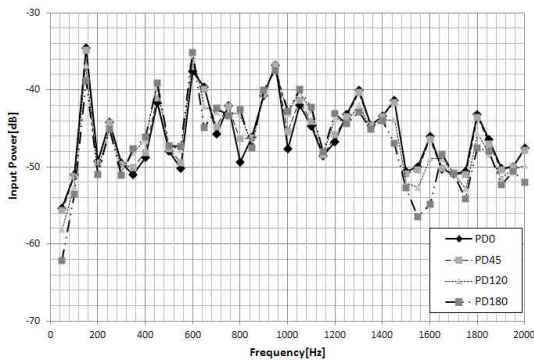


Fig 6. Vibrational input power due to phase difference of forces

5. 결론

4m급 보강 실린더 모델을 이용하여 위상차를 가지는 다중 가진시 가진력간 위상차에 의한 진동장 영향, 음향 에너지 영향 및 방사효율의 영향에 대해 수치해석을 수행하였다.

해석결과, 동일한 가진력이 발생하더라도 가진력간의 위상차가 발생하면 해석모델의 표면의 진동장에 영향을 주고 이러한 진동장 변화에 의해 음향 에너지 및 방사효율에 차이가 발생할 수 있음을 확인하였다.

향후 본 연구는 다중가진에 의한 수중운동체의 실제적인 음향 에너지와 방사효율의 해석 및 실험에

도움이 될 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

(1) H. Nelisse, O. Beslin and J. Nicolas, 1998, A Generalized Approach for the Acoustic Radiation from a Baffled or Unbaffled Plate with Arbitrary Boundary Conditions, Immersed in a Light or Heavy Fluid, Journal of Sound and Vibration, Vol.211, No.2, pp. 207~225

(2) Kim, H. S., Kim, J. S., Kim, B. K., Kim, S. R. and Lee, S. H., 2012. An Analysis of Radiation Efficiency of the Simply Supported Plate in Water with Consideration of Low Order Cross Modest, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 22, No. 8, pp. 800~807.

(3) Lin, T. R., Mechefske, C., and O'Shea, P., 2011, Characteristics of Modal Sound Radiation of Finite Cylindrical Shells, Journal of Vibration and Acoustics, Vol. 133, pp. 051011-1~051011-6

(4) Wang, C. and S Lai, J. C., 2000, The Sound Radiation Efficiency of Finite Length Acoustically Thick Circular Cylindrical Shells under Mechanical Excitation I: Theoretical Analysis, Journal of Sound and Vibration, Vol, 232, No.2, pp.431~447

(5) SIMULIA, 2010, ABAQUS 6.10 Documentation

(6) LMS, 2003, LMS SYSNOISE Rev 5.6 Users Manual