

원통형 배열 구조물의 접수진동 해석

신창주* · 홍진숙† · 정의봉** · 서희선***

(원고접수일 : 2008년 10월 17일, 원고수정일 : 2008년 12월 2일, 심사완료일 : 2008년 12월 22일)

Vibration Analysis of Water-loaded Cylindrical Array Structures

Chang-Joo Shin* · Chin-Suk Hong† · Weui-Bong Jeong** and Hee-Seon Seo***

Abstract : This paper summarizes a solution procedure for a large cylindrical structure mounted underneath a ship as a sonar. Vibration analysis of the water loaded structure is required to enhance the structural reliability as well as acoustic performance of the sonar. It is, however, often very difficult to solve such structures since they have many DOFs, considering the frequency of interest and the water-loading. The mode mapping method is proposed and verified to take into account the water-loading with the minimum DOF for the analysis. The cyclic symmetric method is then reviewed to show how the eigen properties of the full model can be obtained from the representative segment model. The solution procedure is finally proposed and applied successfully for a simplified water-loaded cylindrical array structure.

Key words : Cylindrical array structure (원통형 배열 구조), Cyclic symmetric method (주기 대칭법), Mode mapping method (모드맵핑법), Finite element method (유한요소법), Boundary element method (경계요소법), Water loading effect (접수효과)

1. 서 론

선박은 수중의 상태를 탐지하기 위해 음탐기 (Sonar)를 사용한다. 음탐기의 송/수신 성능을 향상시키기 위해 목적과 기능에 따라 여러 가지 형태로 센서를 배열한다. 배열 음탐기의 종류는 선배열 음탐기, 원통형 배열 음탐기 등이 있다. 이들 중 선저고정형 음탐기(Hull mounted sonar)는 일반

적으로 대형의 원통형 벽면 상에 많은 센서가 부착되어 있는 형상을 가지며 선수부 하부에 부착되어 운용되는 장비이다.

음탐기는 수중의 상태를 확인 할 수 있는 중요한 장비로 수중 환경을 정확히 묘사하기 위해 음탐기는 구조 및 음향적으로 외부 환경으로부터 잘 보호되어야 한다. 구조적 외부 환경으로는 수중폭발이나 선체 충격 등으로 강력한 외부 가진이 음탐기

† 교신저자(부산대학교 기계공학부, E-mail: cshong@pusan.ac.kr Tel: 051)510-2494)

* 부산대학교 기계공학부 소음진동실협실

** 부산대학교 기계공학부

*** 국방과학연구소

구조에 전달되었을 때 개별 센서 및 음탐기 구조의 파손 등이 유발될 수 있다. 음향학적 외부 환경으로는 선체로부터 전달되는 진동 및 방사소음이 센서에서 감지되어 음탐기의 자체 소음을 증가시켜 음탐기의 탐지 성능을 저하시키게 된다. 이들의 영향을 예측하여 음탐기 구조물의 생존성이나 성능 향상 측면에서 효과적으로 설계하기 위해 구조 및 음향학적 해석 모델이 필요하다.

구조물의 점수효과를 모델링하는 방법으로는 부가질량법(Added mass method), 반 해석적 방법(Semi-analytical method), 전달행렬법(Transfer matrix method), 유한요소법(Finite element method) 및 경계요소법(Boundary element method) 등을 사용한다. 이들은 나름대로의 한계를 갖고 있으면서 서로 보완적인 역할을 하도록 활용하기도 한다⁽¹⁾⁻⁽⁵⁾. 부가질량법은 주위유체를 비 압축성 유체로 고려하는 방법이며 이 방법은 저주파 대역에서 유용하나 고주파 대역에서 큰 오차를 보인다. 반 해석적 방법과 전달행렬법은 방사면이 복잡한 형상을 가질 경우 적용이 매우 제한적이다. 유한요소법으로 유체영역을 모델링할 경우 유체영역 범위의 한계가 존재하고 그 경계의 조건을 부가하기가 용이하지 않다. 경계요소법은 요소화로 인한 자유도의 증가에 의한 제한사항은 존재하나 무한 원방에서의 경계면에 대한 처리가 용이하다.

본 논문에서 무한 원방의 수중에 잠겨 있는 원통형 배열 구조물의 점수 효과를 고려하기 위해 경계요소법을 사용하였다. 경계요소법을 이용하여 구조물의 점수효과를 고려하기 위해 구조는 유한요소로 모델링하고 유체영역은 경계요소로 모델링하여 결합한다. 우선, 대형 구조물 계산의 부담을 줄이기 위해 모드좌표 계에서 결합하는 방법을 채택할 수 있으며 이를 위해 구조의 모드 해석을 수행한 후 이를 경계요소로 모델링된 유체 영역과 결합하여 결합된 모드를 구하고 이를 중첩하여 구조의 응답을 구하게 된다.

모드좌표계에서 구조-유체 연성해석을 위해 구조의 비연성 모드 해석이 필요하다. 그러나 본 연구에서 해석 대상인 원통형 배열 구조물이 음탐기일

때 관심주파수가 비교적 높으므로 음탐기 구조물의 상세 모델링이 요구되고 해석모델이 대형으로 된다. 수치적으로 효율적인 해석을 위해 해석 자유도를 감소시킬 필요가 있다. 다행히 원통형 배열 구조물은 원주방향으로 반복되는 주기대칭성을 이루는 구조물이기 때문에 주기대칭법(Cyclic symmetric method)^{(6),(7)}을 도입하여 해석 자유도를 감소시킬 수 있다. 반복되는 조각모델로 구조물을 대표할 수 있는 조각만을 유한요소 모델링하여 전체 모델의 고유진동수와 고유 모드를 구하였다.

최소한의 자유도로 구조-유체 연성해석을 위해 모드매핑법을 제안하였다. 모드매핑법은 점수되는 부분의 mesh에 mode를 mapping하여 점수효과를 고려할 수 있다. 이는 한 점의 구조물의 응답을 구할 때 구조물의 가진점에서 모드진폭과 응답점에서 모드진폭만이 응답에 영향을 주기 때문이다^{(8),(9)}. 따라서 점수면에 가진력으로서 압력을 가하면 점수면의 모드진폭만이 응답에 영향을 주는 사실을 정식화하여 모드매핑법에 의한 해석절차를 수립하였다. 본 연구에서 제안한 모드매핑법은 구조와 유체의 연성 문제를 다룰 때 컴퓨터 자원을 효율적으로 사용하기 위하여 주어진 전체 구조물의 점수면만을 모델링하여 앞에서 구한 고유진동수와 고유 모드를 점수 mesh에 mapping시켜 응답을 구하는 방법이다.

본 논문은 2장에서 모드매핑법을 제안하고 정식화 내용을 설명한 후 단순모델을 대상으로 검증하였다. 3장에서는 단순화한 원통형 배열 센서 구조물의 점수진동해석 예를 보였으며 4장에서는 결론을 정리하였다.

2. Mode Mapping 법

구조물의 강제 응답은 구조물의 고유진동수 및 가진점에서의 모드진폭과 응답점의 모드진폭에 의해 구해질 수 있다^{(8),(9)}. 점수효과가 구조물에 미치는 영향을 보면 구조응답에 의한 음파가 구조물에 가진력으로 작용하는 형태⁽⁶⁾이므로 점수효과를 고려하여 점수면의 응답에 주로 관심이 있는 문제라면 전체모드형을 점수면의 값으로 매핑하여 점수시

접수면의 응답을 구할 수 있을 것이다. 이를 본질에서는 정식화하여 모드매핑법이라 하였다. 따라서, 모드매핑법은 구조와 유체 연성 문제의 컴퓨터 자원을 효율을 사용하기 위하여 주어진 전체 구조물의 접수 mesh만을 모델링하여 2절에서 설명한 방법으로 구한 전체모델의 고유진동수와 고유모드를 접수 mesh에 mapping시켜 응답을 구하는 방법이다.

먼저 전체구조물을 생각하면 구조물의 지배 방정식은 식 (1)과 같이 표현한다.

$$[M]\ddot{x} + [C]\dot{x} + [K]x = \{f\} \quad (1)$$

여기서 $[M]$, $[C]$, $[K]$, $\{x\}$, $\{f\}$ 는 각각 구조물의 질량행렬, 감쇠행렬, 강성행렬, 변위벡터 그리고 힘벡터이다. 식 (1)의 해를 모드의 중첩으로 나타내면 식 (2)와 같이 된다.

$$\{x\} = [\Phi]\{q\} \quad (2)$$

여기서 $[\Phi]$ 는 구조물의 고유모드 행렬로 접수영역을 구분하여 정리하면 식 (3)과 같다.

$$[\Phi] = \left[\begin{array}{c} \{\Phi_{1c}\} \\ \{\Phi_{1d}\} \end{array} \right] \dots \left[\begin{array}{c} \{\Phi_{Nc}\} \\ \{\Phi_{Nd}\} \end{array} \right] \quad (3)$$

그리고 변위벡터와 힘벡터를 접수면을 기준으로 구분하여 나타내면 식 (4)와 같다.

$$\{x\} = \begin{Bmatrix} x_c \\ x_d \end{Bmatrix}, \quad \{f\} = \begin{Bmatrix} f_c \\ f_d \end{Bmatrix} \quad (4)$$

식 (3)과 식 (4)에서 Φ_{1c} 는 1번 고유모드의 구조물 접수 mesh의 node에 해당하는 벡터, Φ_{1d} 는 1번 고유모드의 구조물 접수 mesh를 제외한 내부 node에 해당하는 벡터이다. x_c , f_c 는 구조물 접수 mesh node의 변위 및 가진력이며, x_d , f_d 는 구조물 접수 mesh를 제외한 내부 node에 해당하는 각각의 변위 및 가진력이다. 식(2)를 식(1)에 대입하고 $[\Phi]^T$ 를 곱하면 식(5)와 같다.

$$-\omega^2 [\Phi]^T [M] [\Phi] \{q\} + j\omega [\Phi]^T [C] [\Phi] \{q\} + [\Phi]^T [K] [\Phi] \{q\} = [\Phi]^T \{f\} \quad (5)$$

여기서 $\{q\}$ 는 구조물의 모드 좌표 벡터 그리고 ω 는 외부 가진 각속도이다. 모드의 직교성을 이용하고 구조감쇠로 가정했을 때 식 (5)의 각 항은 식 (6)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} [\Phi]^T [M] [\Phi] &= [I] \\ [\Phi]^T [C] [\Phi] &= \text{diag}[2\zeta_n \omega_n] \\ [\Phi]^T [K] [\Phi] &= \text{diag}[\omega_n^2] \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 ζ_n 은 모드별 감쇠비 그리고 ω_n 은 구조물의 고유진동수이다. 식(6)을 식(5)에 대입하면 식(7)과 같다.

$$-\omega^2 [I] \{q\} + j\omega \times \text{diag}[2\zeta_n \omega_n] \{q\} + \text{diag}[\omega_n^2] \{q\} = [\Phi]^T \{f\} \quad (7)$$

위의 과정을 통해 전체모델로 구성된 구조물을 모드좌표계에서 해석이 가능하다. 그런데, 식(7)에서 구조물에 가해지는 가진력이 모두 접수면에 위치한다고 가정한다면 우변의 계산 결과는 접수면의 모드진폭에 의해 결정된다. 예를 들어 Fig. 1에서 보인 모델을 생각해보자. 사각형 형태의 구조물이 사면에 접수되어 있다면 접수효과는 Fig. 2에서 보인 접수영역의 모드진폭만으로 해석이 가능해진다. 접수효과를 정확히 구현하기 위해 필요한 자료는 각 모드의 특성치 $\text{diag}[2\zeta_n \omega_n]$ 와 $\text{diag}[\omega_n^2]$ 와 함께 전체 모드형상인 $[\Phi]$ 중 Fig. 2에서 보인 접수 mesh로 구성된 구조물 절점(node)의 정보만이 필요하게 된다. 결국 Fig. 1에서 보인 전체모델의 모드를 Fig. 2에서 보인 접수mesh에 맵핑하게 되면 $[\Phi]$ 에 구성 성분 중 Φ_{1d} 는 삭제되고 Φ_{1c} 만 남게 된다. 그러므로 모드매핑법을 통해 식 (7)로 표시된 접수면의 모드진폭으로 식 (7)을 다시 쓰면 식 (8)과 같이 된다.

$$-\omega^2 [I] \{q\} + \text{diag}[2\zeta_n \omega_n] \{q\} + \text{diag}[\omega_n^2] \{q\} = [\Phi_{MM}]^T \{f_{MM}\} \quad (8)$$

여기서 $[\Phi_{MM}] = [\{\Phi_{1c}\} \dots \{\Phi_{Nc}\}]$ 그리고 $\{f_{MM}\} = \{f_c\}$ 이며 접수면 이외의 위치에는 가진력이 없다고 가정하여 $\{f_d\} = 0$ 이다. 만약 접수면 이외에 가진력이 존재한다

면 해당하는 절점이 매핑할 매쉬에 존재하여야 한다. 식 (8)로부터 얻은 $\{g\}$ 를 이용하여 접수면의 변위를 식 (9)에 의해 구할 수 있다.

$$\{x_{MM}\} = \{x_c\} = [\Phi_{MM}]\{g\} \quad (9)$$

지금까지 설명한 모드매핑법은 유한요소 상용소프트웨어를 사용하여 구현할 수 있다. 구조물의 모드 해석은 MSC/NASTRAN을 사용하며, 매핑과정은 LMS/SYSNOISE를 통하여 수행할 수 있다. LMS/SYSNOISE에서 구현하는 매핑과정은 내부 구조가 없는 구조물의 접수 진동 해석 과정^[11]과 동일하다. 본 연구에서 제안한 모드매핑법의 유용성을 검증하기 위해 Fig. 3과 같은 내부구조물이 없는 육면체를 LMS/SYSNOISE를 이용하여 해석한 결과와 본 연구에서 제안한 방법을 해석비교하였다. 외부 가진은 모델 왼쪽 하부 하나의 꼭지점에 1N의 수직력을 주고 그 점의 응답을 계산하였다. Fig. 4에서 보인 바와 같이 두 방법으로 부터 구한 변위 응답 결과가 일치하는 것을 확인할 수 있으며 모드매핑법의 유용성을 검증할 수 있었다.

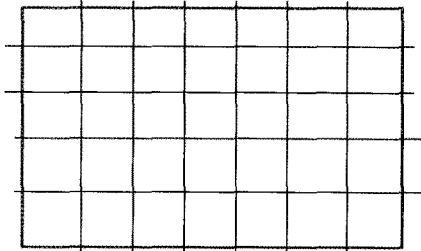


Fig. 1 Full model mesh

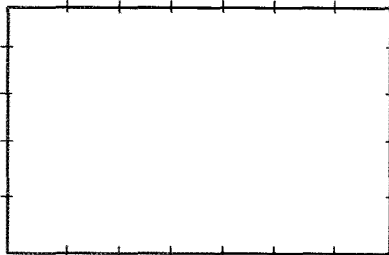


Fig. 2 Exterior mesh

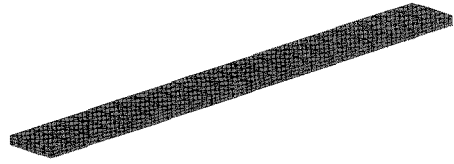


Fig. 3 FE model for the verification of mode mapping method

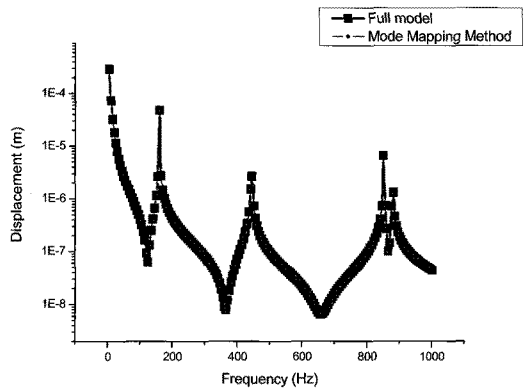


Fig. 4 Comparison of point displacement response obtained by using mode mapping method with that using full model FEM. Solid line denotes the response calculated for the full model while the dashed line for wetted mesh model by using mode mapping method

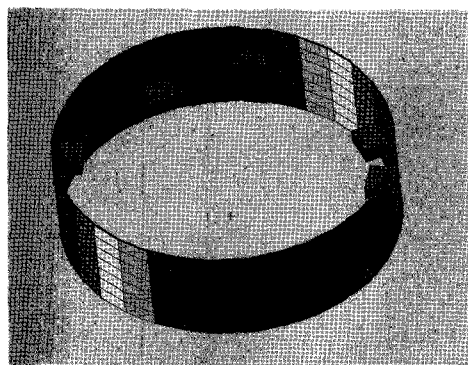
3. 원통형 배열 구조물의 접수 진동 해석

3.1 해석대상 구조물 및 해석절차

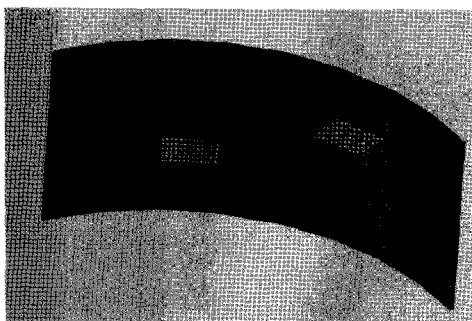
본 연구에서의 해석 대상은 함정용 선저고정형 음탐기와 같은 원통형 배열 구조물이다. 함정용 선저고정형 음탐기는 구조물이 복잡하고 관심주파수 대역이 고주파 대역이므로 해석모델이 대형일 가능성이 높다. 이런 구조물의 해석 시 전산자원의 효율적인 활용을 위해 주기대칭법의 활용과 연동하여 모드매핑법을 제안하고 절차를 수립하였다. 본 연구에서 실제모델에 대한 해석보다는 실제모델의 복잡성을 대변할 수 있는 단순 모델을 해석하였다. Fig. 5에서 보인 바와 같이 동일한 4개의 조각으

로 구성된 단순한 원통형 배열 구조물을 모델링하였다. 접수영역은 구조물의 내부와 외부 모든 영역이고 모든 구조영역은 솔리드 요소로 모델링하였다. 센서를 지지하는 원통형 구조물은 반경과 높이가 각각 1 m이고 두께는 1 cm이다. 센서는 원주 방향으로 규칙적으로 분포되어 있으며 모든 구성품의 재료는 철(Steel)로 가정하였다. 따라서 Young's Modulus는 210GPa, 밀도는 7800kg/m³ 그리고 프아송비는 0.3이다.

원통형 배열 구조물의 접수진동 해석을 위해 먼저 비접수 모드의 계산이 필요하다. 이를 위해 주기대칭형 구조해석 방법을 도입하여 Fig. 5(b)에서 보인 반복조각 모델을 이용하여 전체 모드를 구하였다. Fig. 5(a)에서 보인 전체모델로부터 접수면을 추출하여 비접수 mesh를 활용하고 비접수 mesh에 전체모델의 모드를 맵핑한다. 접수모드를 구하고 이를 중첩하여 접수면의 응답을 계산한다.



(a) Full model



(b) Representative segment model

Fig. 5 A simplified cylindrical array sensor structures

주기대칭 해석은 MSC/NASTRAN을 이용하여 해석하였으며 모드맵핑법 및 접수과정은 LMS/SYSNOISE를 이용하였다.

3.2 주기대칭 구조물의 해석

Fig. 5에서 보인 바와 같이 n 개의 동일한 조각이 원주방향으로 반복하여 이루는 주기대칭성 구조물을 고려한다. 주기대칭성 구조물의 특성 행렬 $[M]$, $[C]$ 및 $[K]$ 는 식 (10)과 같이 순회행렬로 표현될 수 있다. 식 (10)에서 P_0 행렬은 $m \times m$ 행렬 크기를 가지며 대표 조각모델의 특성행렬이다. 여기서 m 은 조각모델의 자유도 수를 나타낸다.

$$[A] = \begin{bmatrix} P_0 & P_1 & P_2 & \cdots & P_{n-2} & P_{n-1} \\ P_{n-1} & P_0 & P_1 & \cdots & P_{n-3} & P_{n-2} \\ P_{n-2} & P_{n-1} & P_0 & \cdots & P_{n-4} & P_{n-3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ P_2 & P_3 & P_4 & \cdots & P_0 & P_1 \\ P_1 & P_2 & P_3 & \cdots & P_{n-1} & P_0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

식(10)의 P_i 행렬($i=1,2,\dots,n-1$)은 P_0 행렬로부터 좌표변환과정을 거쳐 계산될 수 있다^{(6),(7)}. 따라서 전체 자유도를 고려했을 때 $(n \times m) \times (n \times m)$ 의 행렬에 대한 계산을 $m \times m$ 행렬 계산으로 해석이 가능해진다. 이 과정을 주기대칭법라 한다.

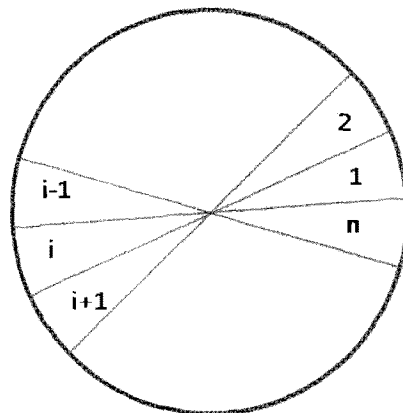


Fig. 6 Cyclic symmetric layout with n repetitive segments

주기대칭법을 적용하여 조각모델로 전체 모델의 모드 해석은 다음과 같은 과정으로 이루어진다. 특성행렬이 $[A]$ 행렬과 같은 형태를 가지면 고유치 문제를 구성하는 행렬 또한 같은 형태가 될 것이다. 이런 형태를 갖는 행렬 $[A]$ 의 고유치와 역행렬 계산의 편의를 위해 $[B]$ 행렬을 식 (11)과 같이 구성한다.

$$[B] = \begin{bmatrix} W_0^0 & W_1^0 & W_2^0 & \dots & W_{n-2}^0 & W_{n-1}^0 \\ W_0^1 & W_1^1 & W_2^1 & \dots & W_{n-2}^1 & W_{n-1}^1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ W_0^{n-2} & W_1^{n-2} & W_2^{n-2} & \dots & W_{n-2}^{n-2} & W_{n-1}^{n-2} \\ W_0^{n-1} & W_1^{n-1} & W_2^{n-1} & \dots & W_{n-2}^{n-1} & W_{n-1}^{n-1} \end{bmatrix} \quad (11)$$

여기서,

$$[W_i^j] = e^{j \frac{2\pi i}{n}} [L_m] \quad (12)$$

이며 $[W_i^j]$ 는 임의로 구성하는 행렬이며 $[L_m]$ 은 $m \times m$ 크기의 단위 행렬이다. $[A]$ 행렬을 $[\bar{B}]$, $[\bar{D}]$ 행렬을 이용해 식 (13)과 같이 쓴다.

$$[A][\bar{B}] = [\bar{B}][\bar{D}] \quad (13)$$

식 (13)의 $[\bar{D}]$ 는 식 (14)와 같다.

$$[\bar{D}] = \begin{bmatrix} Q_0 & & & \\ & Q_1 & & \\ & & \ddots & \\ & & & Q_{n-1} \end{bmatrix} \quad (14)$$

여기서,

$$[Q_i] = \sum_{h=0}^{n-1} [P_h][W_i^h] \quad (15)$$

식 (13)에서의 특성 행렬 $[A]$ 성질은 식 (16)과 같다.

$$[A]^t = [\bar{B}][\bar{D}][\bar{B}]^t = \frac{1}{n} [\bar{B}][\bar{D}]^t [\bar{B}'] \quad (16)$$

$[A]$ 의 고유치 계산을 위해 식 (17)을 구성한다.

$$[A]\{u\} = \lambda\{u\} \quad (17)$$

식 (18)을 식 (17)에 대입하면 식 (19)가 구성된다.

$$\{u\} = [B]\{y\} \quad (18)$$

$$[B]^t [A][B]\{y\} = [D]\{y\} = \lambda\{y\} \quad (19)$$

식 (14)에서 구한 $[D]$ 를 식 (19)에 대입하여 식 (20)을 만든다.

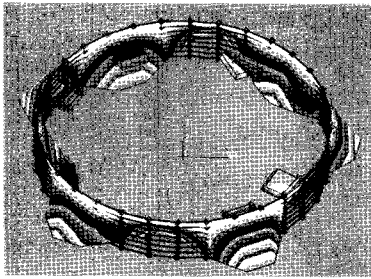
$$\begin{bmatrix} Q_0 & & & \\ & \ddots & & \\ & & Q_{n-1} & \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y_0 \\ \vdots \\ y_{n-1} \end{Bmatrix} = \lambda \begin{Bmatrix} y_0 \\ \vdots \\ y_{n-1} \end{Bmatrix} \quad (20)$$

$$[Q_i]\{y_i\} = \lambda\{y_i\} \quad (21)$$

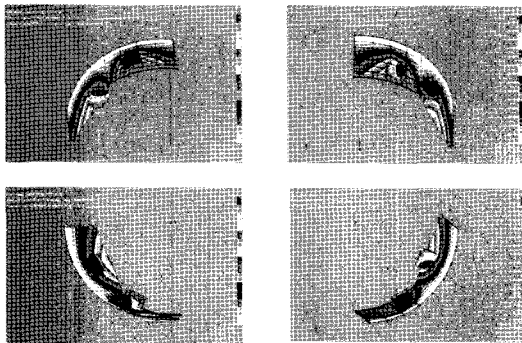
$[D]$ 는 $[Q_i]$ 로 구성되어 있으며 식 (21)에서 i 에 대한 각각의 고유치를 계산할 수 있다. 전체 n 번의 고유치를 식 (21)으로 구할 수 있으며 이는 곧 $[A]$ 의 특성 행렬의 고유치를 구한 것과 같게 된다. 따라서 주기대칭형 구조물의 고유치를 찾기 위해 $[A]$ 의 전체 고유치 해석보다는 식 (21)을 이용하여 $[Q_i]$ 의 고유치 해석을 n 번 수행하여 $[A]$ 의 전체 고유치 해석과 같은 결과를 얻는다.

3.3 원통형 배열 구조물의 모드해석

Fig. 5에서 보인 원통형 배열 센서 구조를 Fig. 5 (a)에서 보인 전체모델과 주기대칭법을 적용하여 Fig. 5 (b)의 조각모델에 대하여 고유모드를 구하였다. 앞 절에서 보인 주기대칭법을 적용하여 조각모델에 대한 해석을 수행하면 결과로 원주방향으로 놓여있는 다른 조각의 결과를 얻을 수 있다. 그러므로 조각 모델의 작은 자유도 만으로도 전체 모델의 고유모드를 얻을 수 있다. Fig. 7에서 전체 모델을 해석한 결과와 주기대칭법에 의한 해석 결과를 비교하였다. 두 결과는 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 본 절에서 구한 조각모델의 모드해석 결과를 모드맵핑을 위한 형태로 변환하여 접수 mesh에 맵핑하였다.



(a) Full model mode shape calculated using full FE model



(b) Typical mode shape of the representative segment and the corresponding cyclic symmetric segments

Fig. 7 Comparison of calculated mode shapes of the full model and the corresponding cyclic symmetric model

3.4 접수진동해석

접수모드를 구하고 중첩과정을 통해 응답을 구할 수 있다. 접수효과 해석의 정성적 분석을 위해 접수효과가 없는 상태의 구조물 응답 역시 구하였다. 가진점의 위치는 접수면 상의 한 점으로 원통의 하단 변 위에 있고 반경방향으로 1N을 가하였다. 응답은 그 점에서 반경방향의 변위로 계산하였다.

Fig. 8은 원통형 배열 센서 구조물에 대하여 본 연구에서 제안한 절차에 따라 접수진동을 해석한 결과이다. Fig. 8의 실선은 접수효과를 고려하지 않은 경우의 변위 응답이며, 점선은 접수효과를 고려한 경우의 변위 응답이다. 접수효과로 인한 가장 일반적인 구조물 응답에서의 특징인 부가질량의 효과가 잘 나타나고 있다. 구조물의 고유 진동수가

공기중의 구조물 고유 진동수보다 낮게 표현되는 것을 확인할 수 있다.

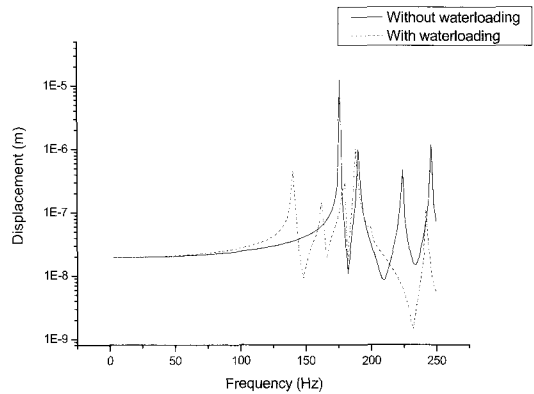


Fig. 8 Comparison of the calculated displacement of a simplified cylindrical array structure with (dotted line) and without (solid line) water-loading by using the mode mapping method

4. 결 론

본 논문은 합정용 선저고정형 음탐기와 같은 대형 원통형 배열 구조물의 접수효과를 고려한 동특성을 효율적으로 계산하는 방법을 제시하였다. 주기대칭법과 모드맵핑법을 통해 원주방향으로 주기대칭성을 갖는 대형 구조물의 접수진동을 효과적으로 해석할 수 있었다

구조물이 접수되어 있을 때 전산자원을 효과적으로 활용할 수 있도록 접수된 자유도만을 고려하는 모드매핑법을 제안하였다. 모드매핑법을 적용하지 않아도 해석할 수 있는 단순모델에 대하여 모드매핑법을 적용하지 않은 경우와 적용한 경우를 비교하여 모드매핑법의 신뢰성과 유용성을 보였다. 본 연구에서 제안한 모드매핑법은 구조물의 가진점은 반드시 접수면에 존재하여야 하며 응답도 접수면에서만 얻을 수 있다.

매핑할 구조물의 모드를 계산할 때 구조물의 주기대칭성을 활용하여 대표되는 한 조각만으로 전체 구조물의 고유 진동수와 고유 모드를 구할 수 있었다. 주기대칭법에 의한 전산자원의 활용성을 높일 수 있었다.

참고문헌

- [1] Gorden C. Everstine and Francis M. Henderson, "Coupled Finite Element/Boundary Element Approach for Fluid-Structure Interaction", JASA, 87(5), pp. 1938-1947, 1990.
- [2] Ian C. Mathews, "Numerical Techniques for Three Dimensional Steady-State Fluid-Structure Interaction", JASA, 79(5), pp. 1317-1325, 1986.
- [3] Ken R Fyfe, Jean-Pierre G. Coyette and Peter A. van Vooren, "Acoustic and Elasto-Acoustic Analysis using Finite Element and Boundary Element Methods", Journal of Sound and Vibration, pp. 16-22, 1991.
- [4] Ian C. Mathews, "Numerical Techniques for Three Dimensional Fluid-Structure Interaction Problems", DTRC-87/047, 1987.
- [5] Chinsuk Hong, "Application of General Purpose Packages for Fluid-Structure Interaction Problems", KSNVE, 7(4), pp. 571-578, 1997.
- [6] 長松, 大熊, 部分構造合成法, 培風館, 1990.
- [7] Maurice Petyt, "Introduction to Finite Element Vibration Analysis", Cambridge University, 1990.
- [8] Singiresu S. Rao., "Mechanical Vibrations", Third edition, Addison-wesley, 1995.
- [9] Lee, J. -M., "Theory and Application of Modal Analysis", pp.1-24~1-30, 1996.
- [10] MSC software, "MSC. Nastran 2001 Quick Reference Guide", 2001.
- [11] LMS software, "SYSNOISE Manual", 2001.

저 자 소 개

**신창주(辛昌柱)**

1981년 1월생. 2006년 부산대학교 기계공학부 졸업(학사), 2006-현재 부산대학교 기계공학부 석·박사통합과정.

**홍진숙(洪鎮淑)**

1966년 5월생. 1988년 영남대학교 기계설계학과 졸업(학사), 1991년 영남대학교 대학원 정밀기계공학과 졸업(석사), 2005년 ISVR, University of Southampton (UK)(박사), 1991년-2003년 국방과학연구소, 2005년-2006년 ISVR, University of Southampton (UK)(Post Doc.), 2006년-현재 부산대학교 기계공학부 미래핵심기계부품소재산학공동사업단

**정의봉(鄭義峰)**

1955년 생. 1978년 서울대학교 졸업(학사), 1980년 한국과학기술원 졸업(석사), 1990년 동경공업대학 졸업(박사), 1980년-현재 부산대학교 교수

**서희선(徐熙善)**

1966년 5월생. 1989년 부산대학교 기계설계학과 졸업(학사), 1991년 한국과학기술원 기계공학과 졸업(석사), 2005년 한국과학기술원 기계공학과 졸업(박사), 1991년-현재 국방과학연구소