한국동력기계공학회지 제21권 제5호 pp. 48-54 2017년 10월 ISSN 1226-7813(Print) ISSN 2384-1354(Online)
Journal of the Korean Society for Power System Engineering http://dx.doi.org/10.9726/kspse.2017.21.5.048
Vol. 21, No. 5, pp. 48-54, October 2017

영향계수의 전달에 의한 2중 원통형 셸의 자유진동해석
Free Vibration Analysis of Double Cylindrical Shells Using Transfer of Influence Coefficent

최명수* · 여동준**†
Myung-Soo Choi* and Dong-Jun Yeo**†

(Received 25 July 2017, Revision received 25 September 2017, Accepted 26 September 2017)

Abstract: The transfer influence coefficient method which is an vibration analysis algorithm based on the transfer of influence coefficient is applied to the free vibration analysis of double cylindrical shells. After the computational programs for the free vibration analysis of double cylindrical shells were made using the transfer influence coefficient method and the transfer matrix method, we compared the results using the transfer influence coefficient method with those by the transfer matrix method. The transfer influence coefficient method provided the good computational results in the free vibration analysis of double cylindrical shells. In particular, The results of the transfer influence coefficient method are superior to those of the transfer matrix method when the stiffness of internal springs connecting a inside cylindrical shell and a outside cylindrical shell is very large.

Key Words : Double Cylindrical Shell, Free Vibration, Transfer Influence Coefficient Method, Transfer Matrix Method

1. 서 론

원통형 셸은 해양 구조물, 항공우주 장비용, 해저의 자원 비축용, 원자로 등 산업분야의 여러 면에서 매우 중요한 역할을 하는 구조물이므로, 이에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다. Forsberg[1)]는 원통형 셸의 모드특성에 대해 16가지의 경계조건의 영향을 조사하였고, Soedel[2)]은 Beam함수로부터 여러 가지 경계조건을 갖는 원통형 셸의 고유진동수를 구하는 간단한 식을 전개하였다. Koga와 Saito[3)]는 횡진동의 고유치문제에 대한 점근해를 이용하여 원통형 셸의 고유진동수를 구하는 간단한 식을 제시하고, 자유단, 단순지지단 및 고정단을 포함하는 45가지의 경계조건을 조합하는 경우에 대해 특성방정식을 유도하였다. 그 외 Sharma와 Johns[4)]에 의한 Ritz법, Gladwell와 Vijay[5)]에 의한 유한요소법, Irie[6)] 등에 의한 전달행렬법, Soedel[7)]에 의한 Galerkin법, Chung[8)]에 의한 해석적인 방법이 적용되어 진동해석이 행해져 왔다. 그러나 이들 연구들은 모두 단일 원통형 셸에 대한 연구이므로, 2중 원통형 셸에 대한 연구[9)]는 드문 편이다.

**† 여동준(교신저자) : 전남대학교 해양기술학부
E-mail : djyeo@jnu.ac.kr, Tel : 061-659-7133
*최명수 : 전남대학교 해양경찰학과

**† Dong-Jun Yeo(corresponding author) : Faculty of Marine Technology, Chonnam National University.
E-mail : djyeo@jnu.ac.kr, Tel : 061-659-7133
*Myung-Soo Choi : Department of Maritime Police Science, Chonnam National University.

이 연구에서 저자들은 영향계수의 축차 전달에 기본 개념을 두고 있는 전달영향계수법[10,11]을 이용하여 2중 원통형 셸에 대해 진동해석 알고리즘을 정식화하고, 이를 토대로 전산 프로그램을 개발한 후, 종래의 전달행렬법에 의한 결과와 비교·검토한다.

2. 해석 알고리즘

2.1 해석 모델

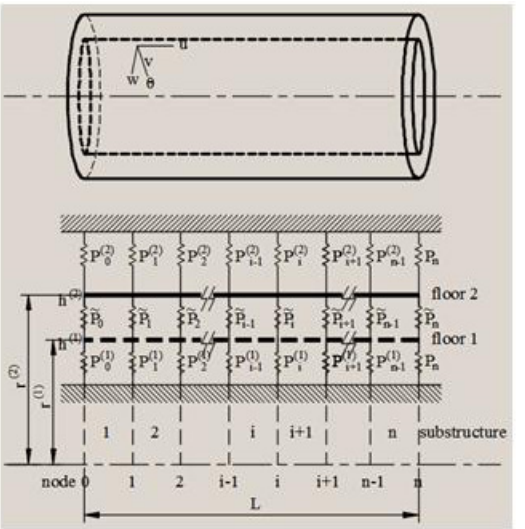

Fig. 1 Analytical model

Fig. 1은 동일한 길이를 갖는 2개의 원통형 셸이 중간 스프링에 의해 연결된 2중 원통형 셸 구조물이다. 2개의 원통형 셸은 중심선에서 가까운 것부터 순차적으로 1층 및 2층 원통셸이라 부른다. Fig. 1에서 $\tilde{\mathbf{P}}$는 1층과 2층 원통셸을 연결하는 중간 스프링이고, L은 원통셸의 길이이다. $r^{(1)}$ 및 $r^{(2)}$는 각각 1층 및 2층 원통셸의 반경이고, $h^{(1)}$ 및 $h^{(2)}$는 각각 1층 및 2층 원통셸의 두께이다. 그리고 $\mathbf{P}^{(1)}$ 및 $\mathbf{P}^{(2)}$는 각각 1층 및 2층 원통셸을 기초로부터 지지하는 스프링이다.

2중 원통형 셸은 총 n개의 부분구조로 분할되고, 좌단에서 우단까지 모든 분할점을 각각 절점 0, 절점 1, 절점 2, …, 절점 n이라 부른다. 그리고 이 논문에서 하첨자 i는 i번째 절점 또는 i번째 원통셸의 부분구조를 의미하고, 상첨자 j는 원통셸의 층(floor)을 의미한다. 힘벡터와 영향계수행렬을 나타내는 기호($\mathbf{f}$, $\mathbf{T}$) 위에 '—'가 붙은 것은 절점 좌측을 의미하고, '—'가 붙지 않은 것은 절점 우측을 의미한다.

2.2 2중 원통형 셸의 부분구조

절점 $i-1$과 절점 i 사이에 있는 i번째 원통셸의 부분구조는 서로 연결되지 않는 1층과 2층의 원통셸로 구성된다. 단일 원통형 셸에 관한 선행연구[6] 결과를 Fig. 1의 i번째 부분구조의 1층 원통셸에 적용하면, 식 (1)과 같은 형태가 된다.

$$\begin{Bmatrix} \mathbf{d}_i^{(1)} \\ \overline{\mathbf{f}}_i^{(1)} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_i^{(1)} & \mathbf{B}_i^{(1)} \\ \mathbf{C}_i^{(1)} & \mathbf{D}_i^{(1)} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{d}_{i-1}^{(1)} \\ \mathbf{f}_{i-1}^{(1)} \end{Bmatrix} \tag{1}$$

Fig. 1의 i번째 부분구조의 2층 원통형 셸에도 이를 적용하면, 식(2)와 같은 형태가 된다.

$$\begin{Bmatrix} \mathbf{d}_i^{(2)} \\ \overline{\mathbf{f}}_i^{(2)} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_i^{(2)} & \mathbf{B}_i^{(2)} \\ \mathbf{C}_i^{(2)} & \mathbf{D}_i^{(2)} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{d}_{i-1}^{(2)} \\ \mathbf{f}_{i-1}^{(2)} \end{Bmatrix} \tag{2}$$

여기서 $\mathbf{d}_i^{(j)}$는 j층 원통셸의 절점 i의 변위벡터로서, $\{u,\ v,\ w,\ \theta\}_i^{(j)}$이고, 여기서 u는 원통셸의 길이 방향의 변위, v는 원주 방향의 변위, w는 반경 방향의 변위, θ는 각변위이다. 그리고 $\mathbf{f}_{i-1}^{(j)}$는 j층 원통셸의 절점 $i-1$ 우측의 힘벡터로서, $\{f_u,\ f_v,\ f_w,\ M_\theta\}_{i-1}^{(j)}$와 같고, f_u, f_v, f_w는 각각 길이 방향, 원주 방향, 법선 방향의 힘벡터이고, M_θ는 모멘트이다. $\overline{\mathbf{f}}_i^{(j)}$는 j층 원통셸의 절점 i 좌측의 힘벡터이다.

식 (1)과 식 (2)를 조립하면,

$$\begin{Bmatrix} \mathbf{d}_i^{(a)} \\ \overline{\mathbf{f}}_i^{(a)} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_i^{(a)} & \mathbf{B}_i^{(a)} \\ \mathbf{C}_i^{(a)} & \mathbf{D}_i^{(a)} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{d}_{i-1}^{(a)} \\ \mathbf{f}_{i-1}^{(a)} \end{Bmatrix} \tag{3}$$

가 되고, 여기서

$$\mathbf{d}_i^{(a)} = \begin{Bmatrix} \mathbf{d}_i^{(1)} \\ \mathbf{d}_i^{(2)} \end{Bmatrix},\ \overline{\mathbf{f}}_i^{(a)} = \begin{Bmatrix} \overline{\mathbf{f}}_i^{(1)} \\ \overline{\mathbf{f}}_i^{(2)} \end{Bmatrix},\ \mathbf{f}_{i-1}^{(a)} = \begin{Bmatrix} \mathbf{f}_{i-1}^{(1)} \\ \mathbf{f}_{i-1}^{(2)} \end{Bmatrix},$$
$$\mathbf{A}_i^{(a)} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_i^{(1)} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{A}_i^{(2)} \end{bmatrix},\ \mathbf{B}_i^{(a)} = \begin{bmatrix} \mathbf{B}_i^{(1)} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{B}_i^{(2)} \end{bmatrix}, \tag{4}$$
$$\mathbf{C}_i^{(a)} = \begin{bmatrix} \mathbf{C}_i^{(1)} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{C}_i^{(2)} \end{bmatrix},\ \mathbf{D}_i^{(a)} = \begin{bmatrix} \mathbf{D}_i^{(1)} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{D}_i^{(2)} \end{bmatrix}$$

2.3 기초 지지 및 중간 연결 스프링

절점 i의 j층 원통 셸이 기초(base)로부터 스프링에 의해 지지된다면, 이 스프링들을 기초 지지 스프링이라 부르고, 스프링상수를 방향별로 각각 $k_{ui}^{(j)}$, $k_{vi}^{(j)}$, $k_{wi}^{(j)}$, $K_{\theta i}^{(j)}$라 정의한다. 이 경우에 절점 i에서 힘의 평형식은 다음 식과 같다.

$$\mathbf{f}_i^{(a)} = \overline{\mathbf{f}}_i^{(a)} + \mathbf{P}_i^{(a)} \mathbf{d}_i^{(a)} \tag{5}$$

여기서,

$$\mathbf{P}_i^{(a)} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_i^{(1)} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{P}_i^{(2)} \end{bmatrix},\ \mathbf{P}_i^{(j)} = \begin{bmatrix} k_{ui}^{(j)} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_{vi}^{(j)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_{wi}^{(j)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & K_{\theta i}^{(j)} \end{bmatrix} \tag{6}$$

절점 i에서 1층 및 2층 원통 셸이 스프링에 의해 연결된다면, 이 스프링들을 중간 연결 스프링이라 부르고, 스프링상수를 방향별로 각각 $\tilde{k}_{ui}$, $\tilde{k}_{vi}$, $\tilde{k}_{wi}$, $\tilde{K}_{\theta i}$라 정의한다. 그리고 이 경우에 절점 i에서 힘의 평형식(식 (5))으로부터 구한 강성행렬은 다음 식과 같다.

$$\mathbf{P}_i^{(a)} = \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{P}}_i & -\tilde{\mathbf{P}}_i \\ -\tilde{\mathbf{P}}_i & \tilde{\mathbf{P}}_i \end{bmatrix},\ \tilde{\mathbf{P}}_i = \begin{bmatrix} \tilde{k}_{ui} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \tilde{k}_{vi} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \tilde{k}_{wi} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \tilde{K}_{\theta i} \end{bmatrix} \tag{7}$$

만약, 절점 i에 기초 지지 스프링과 중간 연결 스프링이 모두 존재한다면, 식(6) 및 식(7)의 강성행렬 $\mathbf{P}_i^{(a)}$을 각각 구한 후, 이들 두 강성행렬들을 더한 행렬을 사용하면 된다.

2.4 전달영향계수법에 의한 자유진동해석

절점 i의 좌측과 우측에서 힘벡터와 변위벡터 사이의 관계를 다음 식과 같이 정의한다.

$$\mathbf{d}_i^{(a)} = \overline{\mathbf{T}}_i^{(a)} \overline{\mathbf{f}}_i^{(a)} \tag{8}$$

$$\mathbf{d}_i^{(a)} = \mathbf{T}_i^{(a)} \mathbf{f}_i^{(a)} \tag{9}$$

여기서, $\overline{\mathbf{T}}_i^{(a)}$ 및 $\mathbf{T}_i^{(a)}$는 각각 절점 i의 좌측과 우측의 영향계수행렬(크기 : 8×8)이다.

식 (8)과 i 대신 $i-1$을 대입한 식 (9)를 식 (3)에 대입하여 정리하면, 다음 식과 같은 필드(field) 전달식을 구할 수 있다.

$$\overline{\mathbf{T}}_i^{(a)} = (\mathbf{C}_i^{(a)} \mathbf{T}_{i-1}^{(a)} + \mathbf{D}_i^{(a)})(\mathbf{A}_i^{(a)} \mathbf{T}_{i-1}^{(a)} + \mathbf{B}_i^{(a)})^{-1} \tag{10}$$

식 (5)에 식 (8)과 식 (9)를 대입하여 정리하면, 다음 식과 같은 포인트(point) 전달식을 구할 수 있다.

$$\mathbf{T}_i^{(a)} = \overline{\mathbf{T}}_i^{(a)} (\mathbf{I} + \mathbf{P}_i^{(a)} \overline{\mathbf{T}}_i^{(a)})^{-1} \tag{11}$$

전달영향계수법은 상기 전달식을 이용하여 구조물의 좌단부터 구조물의 우단까지 모든 절점의 영향계수행렬을 순차적으로 계산할 수 있다. 그리고 식(12)에 나타낸 행렬 $\mathbf{G}$를 구한 후, 진동수 방정식인 $|\mathbf{G}(\omega)| = 0$로부터 고유진동수를 구한다.

$$\mathbf{G} = (\mathbf{C}_n^{(a)} \mathbf{T}_{n-1}^{(a)} + \mathbf{D}_n^{(a)}) + \mathbf{P}_n^{(a)} (\mathbf{A}_n^{(a)} \mathbf{T}_{n-1}^{(a)} + \mathbf{B}_n^{(a)}) \tag{12}$$

고유모드를 계산하는 방법은 기존의 전달영향계수법[10]과 동일하므로, 여기서는 설명을 생략한다.

3. 수치 계산

저자들은 영향계수의 전달을 이용하는 방법으

로 2중 원통형 셸의 자유진동을 해석할 수 있는 전산 프로그램을 개발하였다. 그리고 계산 결과의 비교를 위해 Irie[9] 등이 제안한 바 있는 전달행렬법으로 동일한 해석을 수행할 수 있는 전산 프로그램을 추가로 개발하였다. 영향계수의 전달을 이용하는 방법 및 전달행렬법을 토대로 한 두 전산 프로그램들은 계산 결과의 정도(accuracy)를 향상시키기 위해 상태변수들을 무차원화[9]하여 계산을 수행하였다. 전산 프로그램에서 구하게 될 진동수 파라미터(λ)는 다음과 같다.

$$(\lambda^{(j)})^2 = \rho^{(j)} h^{(j)} (r^{(j)}\omega)^2 / D^{(j)} \tag{13}$$

여기서, h 및 r은 각각 원통 셸의 두께 및 반경이고, ω는 고유각진동수, D는 셸의 종강성(extensional rigidity)으로 $Eh/(1-\nu^2)$와 같다. ρ, E, ν는 각각 원통 셸 재료의 밀도, 종탄성계수, 푸아송 비이다.

1층 및 2층 원통형 셸을 연결하는 중간 연결 스프링의 길이 방향, 원주 방향, 반경 방향 스프링 상수($\tilde{k}_{ui}$, $\tilde{k}_{vi}$, $\tilde{k}_{wi}$)를 무차원화한 스프링상수는 다음과 같다.

$$\hat{k}^{(j)}_{(u,v,w)i} = \{(r^{(j)})^2 h^{(j)} / K^{(j)}\} \tilde{k}_{(u,v,w)i} \tag{14}$$

여기서, K는 원통 셸의 굽힘강성(flexural rigidity)으로 $Eh^3/12(1-\nu^2)$와 같다.

3.1 계산 모델 I

Fig. 3에 나타낸 계산 모델 I은 과거에 Irie 등이 그들의 연구[9]에서 제시한 2중 원통형 셸로서 전달행렬법으로 자유진동해석을 수행한 바 있다. 이 연구에서 제시한 영향계수의 전달을 이용하는 방법의 신뢰성을 확인하기 위하여 저자들은 Irie 등이 제시한 계산 모델을 첫 번째 계산 모델로 도입하였다.

계산 모델 I은 동일한 중심선을 갖는 2중 원통형 셸로써, 절점 1, 2, 3에서 중간 스프링으로 연결된다. 경계조건은 고정-자유이고, 두 원통 셸의 재료와 길이 및 두께는 동일하다. 셸의 푸아송 비(ν)는 0.3, 그리고 셸의 치수가 $r^{(2)}/r^{(1)} = 0.8$, $h^{(1)}/r^{(1)} = 0.03$, $h^{(2)}/r^{(2)} = 0.0375$, $L^{(1)}/r^{(1)} = 3$, $L^{(2)}/r^{(2)} = 3.75$이다. 그리고 두 셸을 연결하는 절점 1, 2, 3의 중간 연결 스프링의 무차원 스프링상수 값은 $\hat{k}^{(j)}_{(u,v,w)i} = 5$ $(i = 1, 2, 3)$이다.

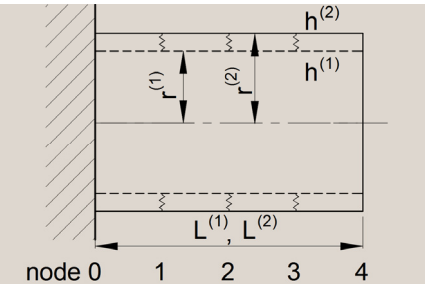

Fig. 2 Computational model I

Table 1에는 원주방향 파의 수(η)가 3일 때, 저자들이 만든 영향계수의 전달을 이용하는 방법(TICM)과 전달행렬법(TMM)의 프로그램으로 계산 모델 I의 진동수 파라미터($\lambda^{(1)}$)를 계산한 결과를 제시한다. 그리고 동일 모델에 대하여 Irie[9] 등이 발표한 결과도 Table 1에 나타내었다. Table 1에서 영향계수의 전달을 이용하는 방법 및 전달행렬법 그리고 Irie 등이 계산한 진동수 파라미터는 완전히 잘 일치하였다.

Table 2는 원주방향 파의 수(η)가 4일 때, 상기 방법과 동일하게 계산 모델 I의 진동수 파라미터($\lambda^{(1)}$)를 계산한 결과이다. 이 결과들 역시 완전히 잘 일치하였다.

Fig. 3부터 Fig. 6까지는 원주방향 파의 수(η)가 3일 때 계산 모델 I의 1차부터 4차까지의 고유모드를 영향계수의 전달을 이용하여 구한 결과이다. 그림에서 실선과 파선은 각각 반경 및 길이 방향의 변위를 나타내고, 길이 방향의 변위는 반경 방향보다 작아서 10배 확대하여 나타내었다. Fig. 3부터 Fig. 6을 보면, 2중 원통형 셸의 1차 및 3차 진동모드가 동위상이고, 2차 및 4차 진동모드는 역위상임을 알 수 있다. 전달영향계수법으로 계산한 계산 모델 I의 고유모드는 Irie 등이 그들의 논문[9]에서 제시한 결과와 잘 일치하였다.

Table 1 Frequency parameters of model I

Order	TICM	TMM	Irie
1	0.091	0.091	0.091
2	0.154	0.154	0.154
3	0.195	0.195	0.195
4	0.253	0.253	0.253
5	0.386	0.386	0.386
6	0.420	0.420	0.420

Table 2 Frequency parameters of model I

Order	TICM	TMM	Irie
1	0.148	0.148	0.148
2	0.199	0.199	0.199
3	0.222	0.222	0.222
4	0.276	0.276	0.276
5	0.329	0.329	0.329
6	0.375	0.375	0.375

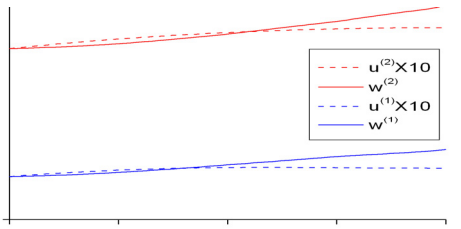

Fig. 3 1st natural mode of model I

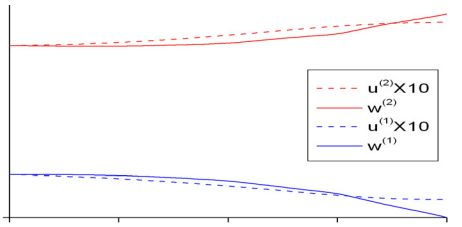

Fig. 4 2nd natural mode of model I

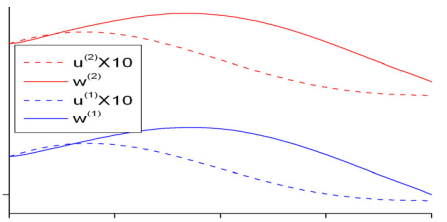

Fig. 5 3rd natural mode of model I

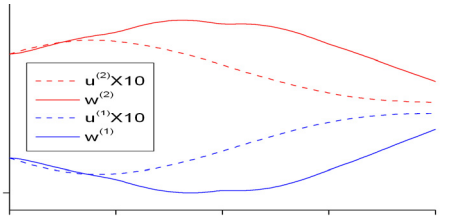

Fig. 6 4th natural mode of model I

따라서 영향계수의 전달을 이용하는 방법에 의한 2중 원통형 셸의 자유진동해석이 신뢰성 있는 계산 결과를 제시해 줌을 확인할 수 있었다.

3.2 계산 모델 II

계산 모델 II는 계산 모델 I에서 중간 연결 스프링의 무차원 스프링상수($\hat{k}^{(j)}_{(u,v,w)i}$) 값을 1, 10, 10^2, 10^3, 10^4, 10^5으로 변경한 것이다.

$\hat{k}^{(j)}_{(u,v,w)i}$의 값이 1, 10, 10^2으로 증가할 때, 원주방향 파의 수(η)별 1차 진동수 파라미터를 영향계수의 전달을 이용하는 방법과 전달행렬법 프로그램으로 구한 결과를 Table 3, Table 4, Table 5에 제시한다. 이들 Table로부터 양 방법의 결과가 잘 일치하고 있음을 확인할 수 있다.

$\hat{k}^{(j)}_{(u,v,w)i}$의 값이 10^3인 Table 6에서 양 방법은 약간의 차이가 있었으나 대체로 비슷한 결과를 얻을 수 있었다. $\hat{k}^{(j)}_{(u,v,w)i}$의 값이 10^4인 Table 7에서는 전달행렬법은 $\eta=0$인 경우를 제외하고는 제대로 진동수 파라미터를 구하지 못했다. 그리고 $\hat{k}^{(j)}_{(u,v,w)i}$의 값이 10^5인 Table 8에서는 $\eta=0$인 경우의 진동수 파라미터마저 오차가 적지 않았다. 반면에 영향계수의 전달을 이용하는 방법은

Table 3 First frequency parameters of model II ($\hat{k}^{(j)}_{(u,v,w)i}$ = 1)

η	TICM	TMM
0	0.3098	0.3098
1	0.1535	0.1535
2	0.0733	0.0733
3	0.0850	0.0850
4	0.1359	0.1359
5	0.2100	0.2100

$\hat{k}^{(j)}_{(u,v,w)i}$의 값이 계속적으로 증가함에도 진동수 파라미터를 안정적으로 모두 계산할 수 있었고, $\hat{k}^{(j)}_{(u,v,w)i}$의 값이 증가할 때 진동수 파라미터가 특정 값에 수렴해 가고 있음을 잘 보여 주고 있다.

Table 4 First frequency parameters of model II ($\hat{k}^{(j)}_{(u,v,w)i}$ = 10)

η	TICM	TMM
0	0.3098	0.3098
1	0.1565	0.1565
2	0.0735	0.0735
3	0.0924	0.0924
4	0.1532	0.1532
5	0.2265	0.2265

Table 5 First frequency parameters of model II ($\hat{k}^{(j)}_{(u,v,w)i}$ = 10^2)

η	TICM	TMM
0	0.3098	0.3098
1	0.1570	0.1570
2	0.0736	0.0736
3	0.0937	0.0937
4	0.1613	0.1613
5	0.2393	0.2393

Table 6 First frequency parameters of model II ($\hat{k}^{(j)}_{(u,v,w)i}$ = 10^3)

η	TICM	TMM
0	0.3098	0.3098
1	0.1572	0.1570
2	0.0739	0.0741
3	0.0943	0.0939
4	0.1639	0.1643
5	0.2447	0.2448

Table 7 First frequency parameters of model II ($\hat{k}^{(j)}_{(u,v,w)i}$ = 10^4)

η	TICM	TMM
0	0.3098	0.3098
1	0.1572	—
2	0.0740	—
3	0.0945	—
4	0.1649	—
5	0.2479	—

Table 8 First frequency parameters of model II ($\hat{k}^{(j)}_{(u,v,w)i}$ = 10^5)

η	TICM	TMM
0	0.3098	0.2820
1	0.1572	—
2	0.0740	—
3	0.0945	—
4	0.1650	—
5	0.2485	—

따라서 전달행렬법은 2중 원통형 셸 사이의 중간에 존재하는 스프링의 강성 값이 매우 클 경우 진동수 파라미터를 구하는데 문제가 발생할 수 있지만, 영향계수의 전달을 이용하면 안정적으로 자유진동해석 수행이 가능함을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

이 연구에서 저자들은 영향계수의 축차 전달에 기본 개념을 두고 있는 영향계수의 전달을 이용하여 산업분야에 많이 사용되는 2중 원통형 셸에 대해 자유진동해석에 적용하여, 알고리즘을 정식화하고 이를 토대로 전산 프로그램을 개발한 후, 종래의 전달행렬법에 의한 결과와 비교·검토하였다.

2중 원통형 셸 구조물을 대상으로 진동수 파라미터와 고유 모드를 구하는 자유진동해석 결과로부터 영향계수의 전달을 이용하여 2중 원통형 셸의 자유진동해석이 신뢰성 있는 계산 결과를 제시함을 확인할 수 있었다. 한편, 전달행렬법은 내부와 외부 원통 셸을 연결하는 중간 스프링의 강성이 클 경우에 진동수 파라미터를 구하는데 문제가 발생하였지만, 영향계수의 전달을 이용하는 방법은 이 경우에도 안정적으로 자유진동해석을 수행할 수 있음을 확인하였다.

후 기

이 논문은 2016년도 전남대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

References

1. K. Forsberg, 1964, "Influence of boundary conditions on the modal characteristics of thin cylindrical shells", AIAA Journal, Vol. 2, No. 12, pp. 2150-2157.
2. W. Soedel, 1980, "A new frequency formula for closed circular cylindrical shells for a large variety of boundary conditions", Journal of Sound and Vibration, Vol. 70, No. 3, pp. 309-317.
3. T. Koga and A. Saito, 1988, "Inextensional free vibrations of circular cylindrical shells", AIAA Journal, Vol. 26, pp. 1499-1505.
4. C. B. Sharma and D. J. Johns, 1972, "Free vibration of cantilever circular cylindrical shells-a comparative study", Journal of Sound and Vibration, Vol. 25, No. 3, pp. 433-449.
5. G. M. L. Gladwell and D. K. Vijay, 1975, "Natural frequencies of free finite-length circular cylinders", Journal of Sound and Vibration, Vol. 42, No. 3, pp. 387-397.
6. T. Irie, G. Yamada and Y. Muramoto, 1983, "Free vibration of a circular cylindrical shell elastically restrained by axially spaced springs", ASME Journal of Applied Mechanics, Vol. 50, No. 3, pp. 544-548.
7. W. Soedel, 1980, "A new frequency formula for closed circular cylindrical shells for a large variety of boundary conditions", Journal of Sound and Vibration, Vol. 70, No. 3, pp. 309-317.
8. H. Chung, 1981, "Free vibration analysis of circular cylindrical shells", Journal of Sound and Vibration, Vol. 74, No. 3, pp. 331-350.
9. T. Irie, G. Yamada and T. Tanaka, 1984, "Free Vibration of a circular cylindrical double-shell system interconnected by several springs", Journal of Sound and Vibration, Vol. 95, No. 2, pp. 249-259.
10. D. J. Yeo, 2005, "Development of Vibrational Analysis Algorithm for Truncated Conical Shells", Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 9, No. 3, pp. 58-65.
11. M. S. Choi and D. J. Yeo, 2015, "Vibration Analysis of Conical Shells with Annular Plates Using Transfer of Influence Coefficient", Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 19, No. 5, pp. 52-59.