

< 논 문 >

전달강성계수법에 의한 격자형 구조물의 강제진동 해석

Forced Vibration Analysis of Lattice Type Structure by Transfer Stiffness Coefficient Method

문 덕 홍* · 최 명 수**

Deok-Hong Moon and Myung-Soo Choi

(1998년 7월 10일 접수 : 1998년 8월 29일 심사완료)

Key Words : Transfer Stiffness Coefficient Method(전달강성계수법), Nodal Dynamic Stiffness Coefficient(절점동강성계수), Force Corrective Vector(힘보정벡터), Lattice Type Structure(격자형 구조물), Finite Element Method(유한요소법), Forced Vibration Analysis(강제진동 해석), Frequency Response(주파수응답) Harmonic Excitation(조화 가진)

ABSTRACT

Complex and large lattice type structures are frequently used in design of bridge, tower, crane and aerospace structures. In general, in order to analyze these structures we have used the finite element method(FEM). This method is the most widely used and powerful method for structural analysis lately. However, it is necessary to use a large amount of computer memory and computational time because the FEM requires many degrees of freedom for solving dynamic problems exactly for these complex and large structures. For analyzing these structures on a personal computer, the authors developed the transfer stiffness coefficient method(TSCM). This method is based on the concept of the transfer of the nodal dynamic stiffness coefficient matrix which is related to force and displacement vector at each node. And we suggested TSCM for free vibration analysis of complex and large lattice type structures in the previous report. In this paper, we formulate forced vibration analysis algorithm for complex and large lattice type structures using extended TSCM. And we confirmed the validity of TSCM through computational results by the FEM and TSCM, and experimental results for lattice type structures with harmonic excitation.

1. 서 론

유한요소법을 근간으로 하는 NASTRAN, ANSYS

* 정회원, 부경대학교 제어기계공학과

** 정회원, 부경대학교 대학원

등과 같은 고가의 외국산 범용 구조해석 소프트웨어들이 구조물의 정적·동적 구조해석 분야에서 폭 넓게 사용되고 있다. 이 소프트웨어들은 편리한 그래픽 인터페이스를 제공하므로 사용자가 이용하기는 쉽지만, 대부분 유한요소법에 의한 근사해를 제공하므로, 사용자는 항상 결과의 검증에 많은 노력과 경험을 필요로 한다.

그리고 유한요소법을 근간으로 하는 대부분의 구조해석 소프트웨어들은 워크스테이션 이상의 대형 컴퓨터의 사용을 전제로 개발하였기 때문에, 복잡한 구조물이나, 정확한 동적 해석이 필요하여 자유도의 수가 큰 해석 모델에 대해서는 아직도 퍼스널 컴퓨터 상에서 이용하기에는 계산 시간과 기억 용량면에서 문제점이 지적되고 있다^(1,2).

많은 연구자들은 동적 해석 분야에서 유한요소법의 취약점을 해소하기 위하여 다양한 연구를 해오고 있고⁽³⁻⁷⁾, 저자들도 오랫동안 이 문제에 깊은 관심을 기울여왔다⁽⁸⁻¹¹⁾. 그 결과, 저자들은 절점동강성계수의 전달에 그 기본 개념을 두고있는 전달강성계수법이라는 새로운 진동해석기법을 개발하여 격자형 구조물의 자유진동 해석에 적용해 본 결과, 전달강성계수법의 신뢰성 및 유효성을 확인한 바 있다⁽¹²⁾.

그러나 해석기법으로서 널리 사용되기 위해서는 자유진동뿐만 아니라 강제진동에 대한 적용이 반드시 필요하므로, 본 연구에서는 전달강성계수법을 확장하여, 강제 조화외력 및 강제 조화변위를 받는 격자형 구조물에 대한 강제진동 해석 알고리즘을 정식화한다.

그리고 현재 가장 많이 사용되고 있는 진동해석 기법인 유한요소법과 본 해석 기법인 전달강성계수법으로 평면 격자형 구조물을 해석 대상으로 하여 강제진동을 해석한 후, 양 방법의 계산 결과와 실제 실험 결과 그리고 자유진동 해석 결과를 비교·검토하여, 강제진동 해석에서 전달강성계수법의 신뢰성 및 유효성 그리고 유한요소법과의 차이점을 제시한다.

2. 전달강성계수법에 의한 정식화

평면 격자형 구조물이 강제 조화외력 또는 강제 조화변위를 받거나, 기초(base)가 조화운동을 하는 경우, 절점동강성계수의 전달에 그 기본 개념을 두고있는 전달강성계수법으로 구조물의 강제진동을 해석하기 위한 알고리즘을 정식화한다.

2.1 해석모델

기초로부터 스프링과 감쇠기와 같은 기초지지요소(base support element)로 지지되는 평면 격자형 구조물을 단순화하여, Fig. 1과 같이 모델링한다. Fig. 1의 X, Y, θ 축은 전체 좌표계를 나타내고, 여기서 X축은 절점동강성계수의 전달 방향이다. 그리고 구조물 중 부재 요소(member element)는 연속계(continuous system)로 모델링하고, 외란으로는 조화외력 Q 또는 기초에 조화변위 \tilde{Q} 가 구조물에

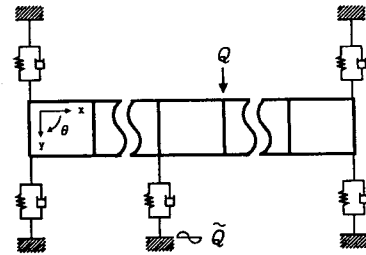


Fig. 1 Analytical model

작용한다.

본 연구에서 절점(node)이란 구조물의 좌단(시작단), 우단(끝단), 기초지지요소와 수평부재가 만나는 점, 수직부재와 수평부재가 만나는 점, 그리고 조화외력이 부재에 작용하는 점과 같은 힘의 불연속점을 뜻한다. 각 절점을 좌단에서 우단으로 각각 절점(0,*), 절점(1,*), ..., 절점(n,*)이라 한다. 여기서 기호 *는 전달방향(X축방향)과 수직인 모든 절점을 의미한다. 모든 절점은 종방향(X축방향), 횡방향(Y축방향), 그리고 회전방향(θ 축방향)의 3자유도를 갖는다.

구조물 좌우의 경계조건은 절점(0,*)와 절점(n,*)의 기초지지요소로 모델링한다. 예를 들어, 구조물의 경계조건이 자유인 경우에는 해당 기초지지 스프링상수의 값을 0, 고정인 경우에는 수치상의 무한대에 해당하는 값을 대입하여 계산한다.

격자형 구조물은 Fig. 2와 같은 부분계(subsystem)의 연속으로 볼 수 있다. 따라서, 본 해석기법의 핵심 개념인 절점동강성계수행렬과 힘보정벡터의 전달 과정을 일반화하기 위하여, 모든 요소를 포함하고 있는 i 번째 부분계를 기본요소로 고려하여 전달과정을 설명한다. Fig. 2의 i 번째 부분계는 수평부재, 수직부재, 기초지지 스프링(종방향 $k_{x(i,*)}$, 횡방향

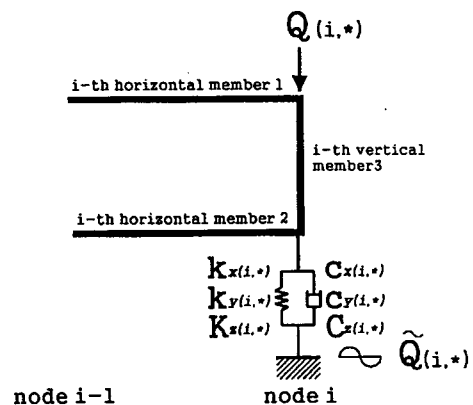


Fig. 2 i -th subsystem

$k_y (i,*)$ 및 회전방향 $K_z (i,*)$, 기초지지 점성 감쇠기(중방향 $c_x (i,*)$, 횡방향 $c_y (i,*)$ 및 회전방향 $c_z (i,*)$), 조화외력 $Q (i,*)$ 그리고 기초의 조화변위 $\bar{Q} (i,*)$ 로 구성된다(Fig. 2에서 $*=1, 2$).

2.2 절점동강성계수행렬과 힘보정벡터의 정의

전달 과정을 쉽게 설명하기 위하여, 절점을 해석적으로 절점의 좌측과 우측으로 나누어 생각한다. 예를들어, 절점 $(i,*)$ 의 좌측이란 Fig. 2의 부분계에서 i 번째 수평부재와 i 번째 수직부재와의 결합점을 뜻하고, 절점 $(i,*)$ 의 우측이란 i 번째 수직부재와 다음에 올 $i+1$ 번째 수평부재와의 결합점을 의미한다.

절점 $(i,*)$ 좌측의 힘벡터(\bar{F}_i)와 변위벡터(\bar{U}_i) 사이의 관계를 다음 식과 같이 정의한다.

$$\bar{F}_i = \bar{S}_i \bar{U}_i + \bar{E}_i \quad (1)$$

여기서 6×6 의 행렬 \bar{S}_i 와 6×1 의 벡터 \bar{E}_i 를 각각 절점 $(i,*)$ 좌측의 절점동강성계수행렬(nodal dynamic stiffness coefficient matrix)과 절점 $(i,*)$ 좌측의 힘보정벡터(force corrective vector)라고 정의한다. 본 연구에서 하첨자 " i "는 절점 $(i,*)$ 또는 i 번째 부분계에 관한 물리량을 뜻하고, 힘벡터(F_i), 변위벡터(U_i), 절점동강성계수행렬(S_i) 그리고 힘보정벡터(E_i)를 나타내는 기호 위에 "-"를 붙인 것은 절점 좌측의 상태량, 붙이지 않은 것은 절점 우측의 상태량을 나타낸다. 절점 $(i,*)$ 우측에서도 식 (2)와 같이 절점 $(i,*)$ 우측의 절점동강성계수행렬과 절점 $(i,*)$ 우측의 힘보정벡터를 정의한다.

$$F_i = S_i U_i + E_i \quad (2)$$

2.3 절점동강성계수행렬과 힘보정벡터의 전달

절점 $(i-1,*)$ 우측(i 번째 수평부재 1, 2의 좌측)과 절점 $(i,*)$ 좌측(i 번째 수평부재 1, 2의 우측)의 변위벡터와 힘벡터 사이의 관계를 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \bar{F}_i \\ F_{i-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_i & B_i \\ C_i & D_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{U}_i \\ U_{i-1} \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서 부분행렬 A_i, B_i, C_i, D_i 는 수평부재로

부터 구성되는 동강성행렬이고, 앞서 발표한 바 있는 자유진동해석에서 사용된 행렬과 동일하다⁽¹²⁾.

절점 $(i,*)$ 에서 동적인 힘의 평형식은 다음과 같다.

$$F_i = \bar{F}_i + P_i U_i - (Q_i + \bar{P}_i \bar{Q}_i) \quad (4)$$

여기서 절점 $(i,*)$ 의 포인트 동강성행렬 P_i 는 기초 지지요소로 구성되는 강성행렬 \bar{P}_i 와 전체 좌표계로 나타낸 수직부재의 동강성행렬의 합이 된다.

절점 $(i-1,*)$ 우측의 절점동강성계수행렬 S_{i-1} 과 힘보정벡터 E_{i-1} 을 이미 알고 있다면, 절점 $(i,*)$ 좌측의 절점동강성계수행렬 \bar{S}_i 와 힘보정벡터 \bar{E}_i 를 식 (1), (3) 그리고 식 (2)의 i 대신에 $i-1$ 을 대입한 식으로부터, 식 (5)와 같이 구할 수 있다. 즉, 식(5)는 i 번째 부분계에서, 절점 $(i-1,*)$ 우측에서 절점 $(i,*)$ 좌측으로의 절점동강성계수행렬 및 힘보정벡터의 필드(field) 전달식이 된다.

$$\begin{aligned} \bar{S}_i &= A_i + B_i V_i \\ \bar{E}_i &= -B_i G_i^{-1} E_{i-1} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서

$$G_i = S_{i-1} - D_i, \quad V_i = G_i^{-1} C_i \quad (6)$$

이다.

절점 $(i,*)$ 좌측의 절점동강성계수행렬 \bar{S}_i 과 힘보정벡터 \bar{E}_i 를 이미 알고 있다면, 절점 $(i,*)$ 우측의 절점동강성계수행렬 S_i 와 힘보정벡터 E_i 를 식 (1), (2), (4) 그리고 변위벡터의 연속조건($\bar{U}_i = U_i$)으로부터, 식 (7)과 같이 구할 수 있다. 즉, 식 (7)은 i 번째 부분계에서, 절점 $(i,*)$ 좌측에서 절점 $(i,*)$ 우측으로의 절점동강성계수행렬 및 힘보정벡터의 포인트(point) 전달식이 된다.

$$\begin{aligned} S_i &= \bar{S}_i + P_i \\ E_i &= \bar{E}_i - (Q_i + \bar{P}_i \bar{Q}_i) \end{aligned} \quad (7)$$

2.4 동적 응답 계산

Fig. 1의 해석대상 구조물 중 첫번째 부분계에 필드전달식인 식 (5)를 사용하기 위해서는, 먼저 절점 $(0,*)$ 우측의 S_0 와 E_0 를 미리 알고 있어야한다. 이는 좌단의 경계조건과 절점에서 힘의 평형식으로

부터 구한다. 즉, 좌단의 경계조건을 절점(0,*)의 기초지지요소로 모델링하였으므로, 절점(0,*) 좌측의 힘벡터 \bar{F}_0 는 해석적으로 영벡터(null vector)가 된다. 따라서 식 (2)에 $i=0$ 를 대입한 식과 절점(0,*)에서 힘의 평형식인 식 (4)로부터 절점(0,*) 우측의 절점동강성계수행렬 S_0 와 힘보정벡터 E_0 를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} S_0 &= P_0 \\ E_0 &= -(Q_0 + \dot{P}_0 \dot{Q}_0) \end{aligned} \quad (8)$$

따라서 식 (8)을 시작으로 식 (5)와 식 (7)에 $i = 1, 2, \dots, n$ 을 반복적으로 대입하면, 각 절점의 절점동강성계수행렬 및 힘보정벡터를 전달해 가면서 구할 수 있고, 최종적으로는 구조물 우단, 즉, 절점($n, *$) 우측의 절점동강성계수행렬 S_n 과 힘보정벡터 E_n 을 구할 수 있다.

우단의 경계조건도 절점($n, *$)의 기초지지요소로 모델링하였으므로, 절점($n, *$)의 우측은 해석적으로 자유($F_n = 0, U_n \neq 0$)가 된다. 따라서 $F_n = 0$ 와 식 (2)에 $i=n$ 을 대입한 식으로부터 우단의 변위벡터 U_n 을 아래와 같이 절점($n, *$) 우측의 절점동강성계수행렬 및 힘보정벡터로부터 구할 수 있다.

$$U_n = -S_n^{-1} E_n \quad (9)$$

절점에서 변위벡터의 연속조건과 식 (3) 그리고 식 (2)의 i 대신에 $i-1$ 을 대입하여 구한 식으로부터 다음식을 유도할 수 있다.

$$U_{i-1} = V_i U_i - G_i^{-1} E_{i-1} \quad (10)$$

따라서 식 (9)로부터 우단의 변위벡터를 계산한 후, 식 (10)으로부터 각 절점의 변위벡터를 절점 $n-1$ 에서부터 절점 0(좌단)까지 순차적으로 계산할 수 있다. 절점 좌우의 힘벡터는 절점의 변위벡터를 먼저 계산한 후, 식 (1), (2)로부터 구할 수 있다.

3. 수치계산 및 실험

2격자형 구조물과 거대 격자형 구조물의 강제진동 해석을 전달강성계수법과 유한요소법으로 수치실험을 행한 후, 그 결과를 비교·검토한다. 전달강성계수법은 2장에서 제안한 방법으로 계산 프로그램을 만든 후, 퍼스널 컴퓨터 상에서 계산하였고, 유한요

소법은 상용 구조해석 프로그램인 NISA II를 이용하여 계산하였다. 그리고 2격자형 구조물에 대하여 강제변위 가진 실험을 행한 후, 수치 계산 결과와 비교하였다.

3.1 강제외력을 받는 2격자형 구조물

계산 모델 I은 Fig. 3과 같이 길이 500 mm인 사각단면(폭 50 mm 두께 4.36 mm 직선 부재로 구성된 2격자형 구조물이다. 재료의 물성치는 종탄성계수가 2.06×10^{11} N/m², 밀도가 7.7523×10^3 kg/m³, 구조감쇠계수가 0.01이고, 기초지지요소는 존재하지 않는다.

가진점 ①에 강제 조화외력(진폭은 1N, 가진 주파수는 1 Hz, 2 Hz, ..., 70 Hz)을 가했을 때, 응답점 ②에서의 종방향, 횡방향 그리고 회전방향 주파수응답을 TSCM으로 계산하였고, 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4에서 횡축은 가진 주파수를, 종축은 변위 응답의 크기를 나타낸다.

주파수응답 계산 결과를 확인하기 위하여, 동일 모델에 대하여 전달강성계수법(TSCM), 전달행렬법

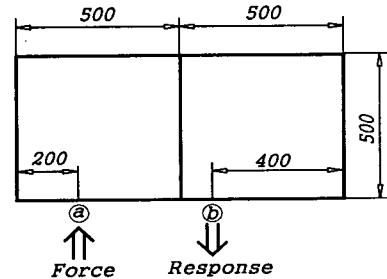


Fig. 3 Computational model I

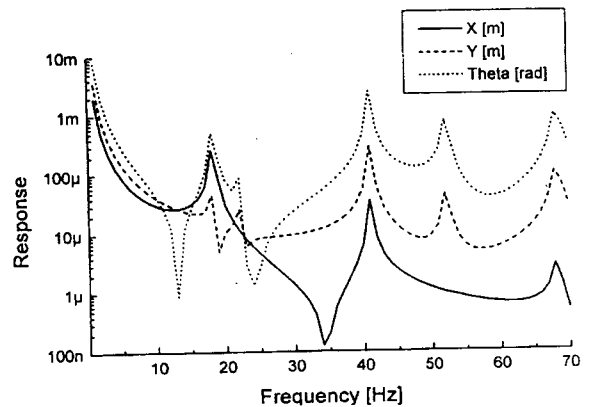


Fig. 4 Frequency-response curves of model I by TSCM

Table 1 Natural frequencies for model I [Hz]

Method Order	TSCM (PC)	FEM (70)	TMM (SC)	TMM (PC)	EXPERIMENT
1, 2, 3	0.000	0.000	0.000	---	0.00
4	18.25	18.25	18.25	18.25	18.5
5	21.93	21.93	21.93	21.93	22.5
6	41.05	41.05	41.05	41.05	41.0
7	52.23	52.23	52.23	52.23	52.6
8	68.33	68.33	68.33	68.33	69.1

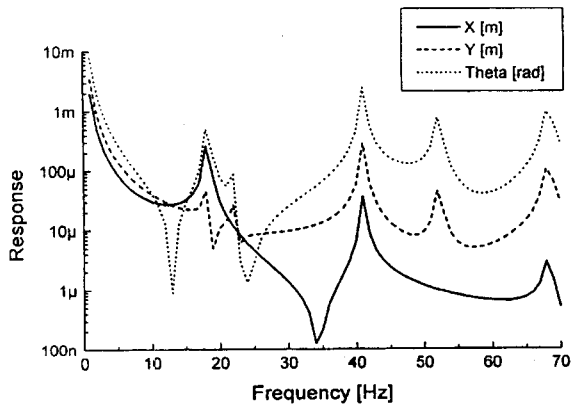


Fig. 5 Frequency-response curves of model I by FEM

(TMM) 그리고 유한요소법(FEM)으로 고유진동수를 계산하였다(Table 1). Table 1에서 TSCM과 TMM의 (PC)와 (SC)는 계산에 사용된 컴퓨터가 각각 퍼스널 컴퓨터(PC)와 슈퍼 컴퓨터(SC)임을 나타낸다. PC에서 계산한 TMM은 저차에서 불안정하였지만, TSCM은 PC에서도 전혀 문제가 없었다. FEM은 구조물을 70개의 직선 부재 요소로 모델링한 후, 고유치해석을 하였다.

TSCM으로 계산한 주파수응답 곡선(Fig. 4)의 공진점이 Table 1의 고유진동수와 잘 일치했다. Fig. 5는 FEM에서 고유치해석을 행한 후, 고유모드를 1차에서 20차까지 합성하여 주파수응답을 계산한 결과이다.

본 해석기법의 주파수응답 계산 결과(TSCM)와 현재 구조해석 분야에서 가장 많이 사용되고 유한요소법의 계산 결과(FEM<20>)가 잘 일치했고, 자유진동 해석 결과(Table 1)와도 잘 대응하므로, 본 해석기법이 강제진동 해석시에도 신뢰성이 있음을 확인할 수 있었다.

Table 2 Comparison of computational accuracy of frequency-response for model I [rad]

Freq.	FEM <8>	FEM <10>	FEM <20>	TSCM
10	2.83e-5	3.67e-5	4.21e-5	4.21e-5
20	6.45e-5	7.32e-5	7.88e-5	7.88e-5
30	4.01e-5	3.08e-5	2.49e-5	2.49e-5
40	4.76e-4	4.66e-4	4.60e-4	4.59e-4
50	1.46e-4	1.57e-4	1.64e-4	1.64e-4
60	6.52e-5	5.08e-5	4.28e-5	4.28e-5
70	2.75e-4	2.94e-4	3.03e-4	3.03e-4

FEM에서 주파수응답 계산시에 선택된 모드의 개수에 따른 주파수응답 결과를 TSCM의 결과와 비교하였다. Table 2는 가진점 ①에 강제 조화외력(진폭은 1N, 가진 주파수는 10 Hz, 20 Hz, ..., 70 Hz)을 가했을 때, 응답점 ⑤에서 각 변위의 주파수응답을 FEM으로 모드 수를 각각 8개, 10개 그리고 20개를 합성하여 주파수응답을 계산한 결과이다.

1차에서 8차 고유모드를 합성하여 주파수응답을 계산한 FEM<8>보다 1차에서 20차 고유모드를 합성하여 계산한 FEM<20>의 계산결과가 TSCM의 주파수응답 결과와 잘 일치하고 있다. 그러나 일반적으로 유한요소법의 고유치해석 결과는 고차로 갈수록 고유진동수나 고유모드가 부정확하므로, FEM으로 정확한 주파수응답을 얻기 위해서 모드를 많이 합성하는 일은 무의미하다. 따라서 사용자가 FEM으로 정확한 주파수응답 결과를 원할 때, 계산에 사용될 적절한 모드 수를 선택하는 일은 상당히 까다로운 문제이다. 특히 사용자가 알고 싶은 주파수 범위가 고차일 경우에는 더욱 난해해진다.

3.2 강제변위를 받는 2격자형 구조물

계산 모델Ⅱ는 Fig. 6과 같이 좌단에서 200 mm 떨어진 곳(절점(1,1))에 구속점을 갖고, 우단에서 50 mm 떨어진 곳(절점(3,1))에서 Y방향의 강제변위를 받는 2격자형 구조물이다. 구조물의 형상이나 물성치는 계산 모델 I과 동일하다.

가진점에 강제 조화변위(가진 주파수가 1 Hz, 2 Hz, ..., 70 Hz)를 가했을 때, 절점(1,2)에서의 횡방향(Y방향)의 주파수응답을 TSCM과 70개의 부재 요소로 모델링하여 계산한 FEM(70)의 계산 결과

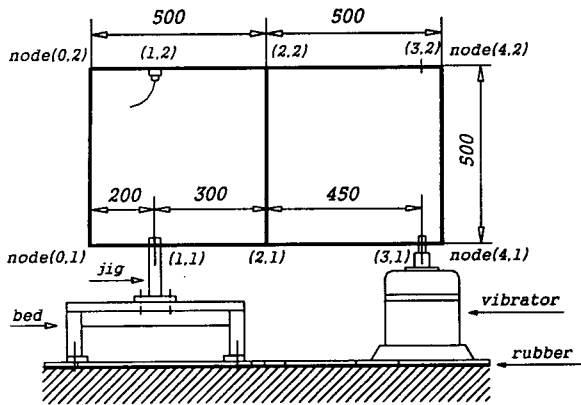


Fig. 6 Computational model II

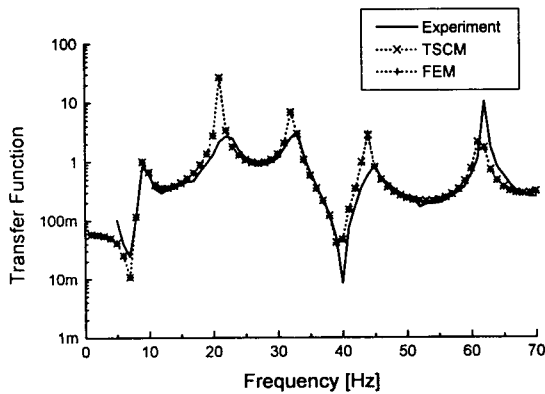


Fig. 7 Frequency-response curves of computational model II

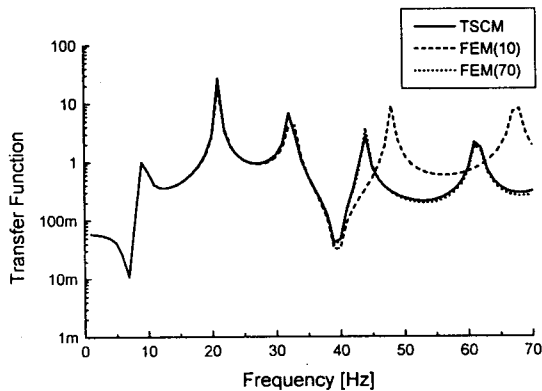


Fig. 8 Frequency-response curves of computational model II

와 실제 보조실험 결과를 Fig. 7에 나타내었다. TSCM의 수치계산 결과가 FEM(70)의 계산 결과와 잘 일치했고, 실제 모델에 대한 실험 결과와도 동일한 경향을 보여 주었다.

FEM에서 모델 II를 모델링 할 때, 사용된 부재

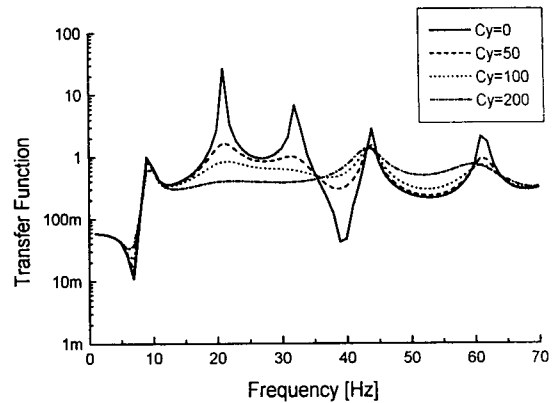


Fig. 9 Frequency-response curves of computational model II with viscous damper by TSCM

요소의 수에 따른 FEM의 주파수응답 결과와 TSCM의 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 10개의 부재 요소로 모델링하여 고유치해석을 하고 10차까지의 모드를 합성하여 주파수응답을 계산한 FEM(10)과 70개의 부재 요소로 모델링하여 고유치해석을 하고 10차까지의 모드를 합성하여 계산한 FEM(70)의 계산 결과가 고차로 갈수록 차이가 많았고, 많은 부재 요소로 모델링하여 계산한 FEM(70)의 결과가 TSCM의 결과와 잘 일치했다. 일반적으로 FEM은 구조물의 분할수, 궁극적으로는 자유도수가 클수록 계산 결과가 정확해지지만, 자유도가 커짐으로 인한 컴퓨터 메모리와 계산 시간면에서 단점을 가지고 있다. 반면에 TSCM은 모델링시에 부재 요소를 연속체로 모델링하여 계산할 수 있고, 또 전달의 개념을 사용하므로, FEM과는 달리 모델링시에 부재 요소 내부의 분할에 대하여 전혀 고려할 필요가 없다. 따라서 해석기법을 이용하는 사용자적인 입장에서 TSCM은 무척 편리하고, 계산 시간이나 계산 메모리면에서 퍼스널 컴퓨터에서 복잡하고 거대한 구조물을 해석할 수 있는 근거가 된다.

Fig. 6의 계산모델 II에서 절점(0,1), 절점(2,1), 절점(4,1)에 Y방향의 기초지지 점성감쇠기가 존재할 경우, 절점(1,2)에서 Y방향의 주파수응답을 TSCM으로 계산하였다. 점성 감쇠계수가 0, 50, 100, 200 Ns/m 인 경우, 주파수응답은 Fig. 9와 같다. 감쇠계수가 커질수록 진폭이 감소하고 있다.

해석대상 구조물의 절점에 점성 감쇠기가 존재할 때, 본 해석기법인 전달강성계수법은 알고리즘상 주파수응답을 계산하는데 전혀 문제가 없지만, 유한요소법은 해석하기가 상당히 까다로워지는 단점이 있다.

3.3 거대 격자형 구조물

계산 모델 III는 Fig. 10과 같이 길이가 1 m인 사각단면(폭 20 mm, 두께 20 mm) 직선 부재로 구성된 거대 격자형 구조물이다. 재료의 종탄성계수가 2.06×10^{11} N/m², 밀도가 7.8×10^3 kg/m³, 구조감쇠계수가 0.01이다.

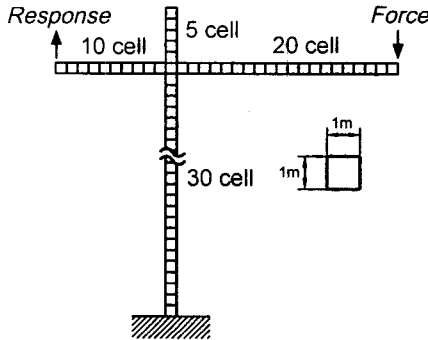


Fig. 10 Computational model III

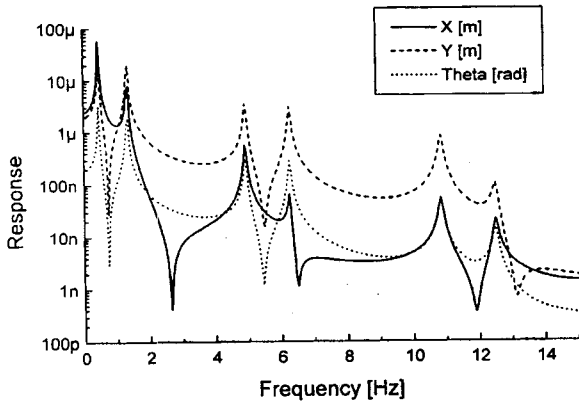


Fig. 11 Frequency-response curves of model III by TSCM

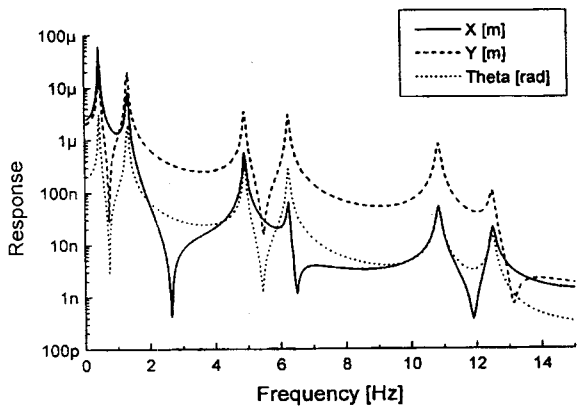


Fig. 12 Frequency-response curves of model III by FEM

Fig. 10의 가진점에 강제 조화외력(진폭은 1N, 가진 주파수는 0.05 Hz, 0.10 Hz, 0.15 Hz, ..., 15.0 Hz)을 가했을 때, 주파수응답을 TSCM(Fig. 11)과 FEM(Fig. 12)으로 계산하였다.

Fig. 10과 같은 거대한 격자형 구조물에 대한 TSCM과 FEM의 주파수응답 계산 결과가 잘 일치했다. TSCM이 거대한 격자형 구조물의 강제진동 해석시에도 신뢰성이 있는 계산이 가능함을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

절점동강성계수의 전달에 그 기본 개념을 두고 있는 전달강성계수법을 확장하여, 강제 조화외력 및 조화변위를 받는 격자형 구조물에 대한 강제진동 해석 알고리즘을 정식화하였다.

현재 널리 사용되고 있는 진동해석 기법인 유한요소법과 새로 개발된 전달강성계수법으로 격자형 구조물의 강제진동을 해석한 후, 양 방법의 계산 결과와 실제 실험 결과 그리고 자유진동 해석 결과를 비교·검토하였다. 그 결과 저자들이 제안한 전달강성계수법이 강제진동 해석시에도 신뢰성이 높고, 퍼스널 컴퓨터에 적합한 진동해석 기법임을 확인하였다.

그리고 전달강성계수법이 유한요소법과는 달리 격자형 구조물 내부의 부재 요소를 분할하지 않고도 정확한 해석 결과를 얻을 수 있고, 주파수응답을 계산하기 위하여 모드 합성을 하는 과정에서 모드 수의 선택에 관한 불편함이 없으므로, 구조해석 분야에 깊은 지식이 없는 일반 사용자들이 이용하기에 편리하다고 생각한다. 그리고 격자형 구조물을 지지하는 기초지지요소 중에 감쇠기가 존재할 경우에도 유한요소법에 비해 쉽게 처리할 수 있는 장점을 가지고 있다.

후 기

이 논문은 1997년 한국학술진흥재단의 자유공모 과제 연구비에 의하여 연구되었으며 이에 관계자께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) 田中基八郎, 三枝省三, 1984, 振動モデルとシミュレーション, 應用技術出版社, pp. 105~128.
- (2) N. S. Sehmi, 1989, Large Order Structural

- Eigenanalysis techniques Algorithm for Finite Element Systems, Ellis Horwood, Chap. 1.
- (3) M. A. Dokainish, 1972, "A New approach for Plate Vibration: Combination of Transfer Matrix and Finite-Element Technique," ASME Journal of Engineering for Industry 94, pp. 526~530.
- (4) J. F. Doyle, 1988, "A Spectrally Formulated Finite Element for Longitudinal Wave Propagation," Int. J. of Analytical and Experimental Modal Analysis, Vol. 3, pp. 1~5.
- (5) M. Geradin, and S. L. Chen, 1995, "An Exact Model Reduction Technique for Beam Structures: Combination of Transfer and Dynamic Stiffness Matrices," Journal of Sound and Vibration, Vol. 185, pp. 431~440.
- (6) 이우식, 강성훈, 1995, "전달 스펙트럴 유한요소법을 이용한 거대격자구조물의 진동해석," 대한기계학회논문집, 제 19권, 제 12호, pp. 3177~3189.
- (7) 양보석, 황형섭, 1997, "동적 유한요소에 의한 회전축 계의 진동 해석," 한국소음진동공학회지, 제 7 권, 제 3 호, pp. 467~475.
- (8) A. Sueoka, T. Kondou, D. H. Moon, and K. Yamashita, 1988, "A method of Vibrational Analysis Using a Personal Computer-A Suggested Transfer Influence Coefficient Method," The Memoirs of the Faculty of Engineering Kyushu University, Vol. 48, pp. 31~46.
- (9) T. Kondou, A. Sueoka, D. H. Moon, H. Tamura and T. Kawamura, 1989, "Free Vibration Analysis of a Distributed Flexural Vibrational System by the Transfer Influence Coefficient Method," Theoretical and Applied Mechanics, Vol. 37, pp. 289~304.
- (10) 문덕홍, 여동준, 1994, "전달영향계수법에 의한 사각형 평판구조물의 자유진동해석," 대한기계학회 논문집, 제 17권, 제 3호, pp. 559~567.
- (11) 문덕홍, 여동준, 1996, "보강재를 갖는 원통형 구조물의 진동해석 알고리즘의 개발에 관한 연구," 한국소음진동공학회지, 제 6 권, 제 4 호, pp. 481~491.
- (12) 문덕홍, 최명수, 강화중, 1998, "전달강성계수법에 의한 격자형 구조물의 자유진동 해석," 한국소음진동공학회지, 제 8권, 제 2호, pp. 361~368.