

전달강성계수법을 이용한 3차원 직선형 구조물의 시간이력응답 해석

문 덕 흥* · 강 현 석** · 최 명 수*

Time Historical Response Analysis of Three Dimensional Rectilinear Structure using the TSCM

D-H Moon* · H-S Kang** · M-S Choi*

Key words : Time historical response analysis, Transfer stiffness coefficient method, Transfer matrix method, Time integration method, Newmark method, Lumped mass system

Abstract

This paper suggests a new analysis algorithm for the time historical response of three dimensional rectilinear structure which is frequently found in a pipe line system of plant by the combination of the transfer stiffness coefficient method(TSCM) and the Newmark method.

The present analysis algorithm for a time historical response can improve the computational accuracy and time remarkably owing to advantages of the TSCM in comparison with transfer matrix method(TMM). The structural system is modeled as a lumped mass system in this method. The analysis algorithm was formulated for the three dimensional rectilinear structure. We confirmed the validity of the present algorithm by comparing the numerical computation results of TSCM with those of TMM.

1. 서 론

구조물이 대형화 및 복잡화되어 감에 따라 여러 가지 외란에 잘 견딜 수 있는 안정된 구조물의 설계 및 제작을 위해서 구조물의 정확한 시간응답 해석에 대한 연구가 필요하게 되었다. 특히, 원자력 발전소 및 화학플랜트 등의 기기·배관계에 있어 지진시의 응답해석^{[1], [2]}, 블레이드 파손시의 회전축

계의 비선형 과도응답해석^[3] 및 시간응답 계산의 안정성 및 효율에 관한 연구^{[4], [5]} 등, 외부로부터 가 진을 받는 대형 구조물 및 기계구조물의 시간응답 해석에 관한 연구는 기초설계의 안정성확보와 대형사고를 사전에 미리 예측하여 방지한다는 측면에서 매우 중요시되고 있다.

최근, 퍼스널 컴퓨터(PC ; personal computer)의 성능향상 및 용량증가로 과거 대형의 컴퓨터에

* 부경대학교 기계공학부

** 부경대학교 대학원

의존했던 대형구조물의 시간응답 해석을 PC에서도 가능하게 되었다. 여기에 사용하는 해석기법중에 대표적인 것이 유한요소법을 이용한 기법이다¹⁸⁾. 이 기법을 이용하면 구조물을 유한 자유도를 갖는 이산화된 시스템으로 변환하여 근사해를 구할 수 있지만, 해석대상으로 하는 시스템이 대규모가 되면 구조물의 정확한 시간응답을 파악하기 위해서는 계산에 요구되는 전체 자유도가 증가되어 계산시간과 계산용량이 확대되므로 PC상에서 이 기법의 적용이 비효율적이다.

한편, 이러한 문제점을 해결하기 위한 수단으로 시스템을 이산화한 후, 각종 시간적분법과 응답의 계산에 전달매트릭스법(TMM ; transfer matrix method)을 이용한 기법이 보고되었다^{9), 16)~18)}. 이 기법은 자유도가 큰 이산화된 시스템의 시간응답 해석을 힘과 변위의 자유도만을 가진 이산화 시스템으로 변환하므로 계산시간과 계산용량을 줄일 수 있다.

저자들은 강성계수의 축차전달에 기본개념을 두고 있는 전달강성계수법(TSCM ; transfer stiffness coefficient method)을 개발하여 프레임 구조물에 대한 자유진동 및 강제진동 해석과 다양한 연결부를 갖는 구조물의 진동해석을 통해, 그 유용성을 제시하였다^{9), 10)}. 또한 이 기법과 Newmark 법을 응용하여 간단한 면내 직선형 구조물의 시간이력응답을 구하는 해석 알고리즘을 제시한 바 있다¹¹⁾.

본 연구는 기 보고된 연구결과를 더욱 확장하고 일반화하여 각종 플랜트의 배관계에서 많이 보이는 3차원 직선형 구조물의 해석에 적용할 수 있도록 중·굽힘·비틀림 연성 강제진동에 대한 시간응답 해석알고리즘을 정식화한다. 수치계산 모델에 중간조건과 시간분할수를 변화시키며 수치실험을 수행하고, 타 기법과 비교·검토하여 본 해석기법의 유용성을 제시하고자 한다.

2. 해석알고리즘

해석대상계는 이산화하여 질량과 회전관성 및 보요소가 직렬 결합되어 있는 집중질량계로 모델링한다. 계의 양단과 기초지지(BSE : base support element)가 존재하는 부분 등 힘벡터가

불연속으로 되는 부분은 반드시 절점으로 분할하여, 계의 좌단을 절점0, 우단을 절점 n 이라 하고, 절점 $j-1$ 과 절점 j 사이의 보요소를 j 번째 부재라고 한다.

본 연구에서 사용하고 있는 기호의 의미는 다음과 같다.

- (1) 기호「 \wedge 」는 기초지지 요소에 대한 물리량을 나타낸다.
- (2) 기호「 \cdot 」는 절점 좌측의 물리량, 붙어 있지 않은 기호는 절점 우측의 물리량을 나타낸다.
- (3) 하첨자「 j 」는 절점 j 또는 j 번째 부재에 관한 물리량을 나타낸다.
- (4) 상첨자「 t 」는 전치(transpose)를 의미한다.

2. 1 운동방정식

Fig. 1은 절점 j 와 j 번째 부재에서의 변위와 힘의 정방향함을 나타낸다.

해석모델의 전체계는 Fig. 1과 같은 기본요소들의 직렬결합으로 구성된다.

$$\begin{aligned} \mathbf{d}_j(t) &= [x \ \theta \ y \ \psi \ z \ \phi]_j^t \\ \bar{\mathbf{f}}_j(t) &= [\bar{f}_x \ \bar{M}_x \ \bar{f}_y \ \bar{M}_z \ \bar{f}_z \ \bar{M}_y]_j \\ \mathbf{f}_j(t) &= [f_x \ M_x \ f_y \ M_z \ f_z \ M_y]_j \end{aligned} \quad (1)$$

식(1)은 시간의 함수인 변위벡터 $\mathbf{d}_j(t)$ 및 힘벡터 $\mathbf{f}_j(t)$ 를 나타낸다. x, y, z 및 θ, ϕ, ψ 는 XYZ축에서의 변위 및 각변위를 나타내고, f_x, f_y, f_z 및 M_x, M_y, M_z 는 각 방향의 힘 및 모멘트를 나타낸다.

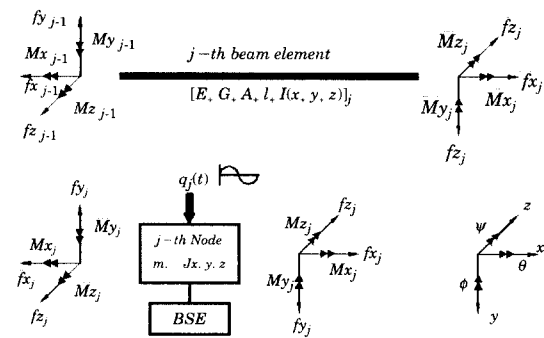


Fig. 1 Positive direction of state vector

Fig. 1에서 E, G, I, I_j, A_j 는 j 번째 부재의 종탄성 계수, 횡탄성 계수, 단면 2차 모멘트, 길이 및 면적을 나타낸다. m 및 J_{xyz} 는 절점 j 에서의 질량 및 XYZ 축에서의 질량관성모멘트를 의미하고, q_j 는 강제력 벡터를 나타낸다.

기초지요소는 XYZ 축에 대한 전단과 회전 의 스프링 및 감쇠기로 이루어져 있다.

이상으로부터 절점 j 에서의 운동방정식은 다음 식과 같다.

$$M_j \ddot{d}_j(t_k) + C_j \dot{d}_j(t_k) + K_j d_j + \bar{f}_j(t_k) - f_j(t_k) = q_j(t_k) \quad (2)$$

식(2)에서, 절점 j 에서의 질량, 감쇠, 강성 매트릭스 및 강제력 벡터의 요소는 식(3)과 같다.

$$\begin{aligned} M_j &= \text{diag} [m \ J_x \ m \ J_z \ m \ J_y]_j \\ C_j &= \text{diag} [c_x \ C_x \ c_y \ C_z \ c_z \ C_y]_j \\ K_j &= \text{diag} [k_x \ K_x \ k_y \ K_z \ k_z \ K_y]_j \\ q_j(t) &= [q_x \ Q_x \ q_y \ Q_z \ q_z \ Q_y]_j \end{aligned} \quad (3)$$

2.2 시간적분법

본 연구에서 시간적분법으로는 Newmark 법을 적용하였다. k 번째 시간스텝 t_k 에서의 가속도 벡터 $\ddot{d}_j(t_k)$ 및 속도 벡터 $\dot{d}_j(t_k)$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \ddot{d}_j(t_k) &= \frac{1}{\beta \Delta t^2} d_j(t_k) - \frac{1}{\beta \Delta t^2} d_j(t_{k-1}) \\ &\quad - \frac{1}{\beta \Delta t} \dot{d}_j(t_{k-1}) - \left(\frac{1}{2\beta} - 1 \right) \ddot{d}_j(t_{k-1}) \\ \dot{d}_j(t_k) &= \frac{\gamma}{\beta \Delta t} d_j(t_k) - \frac{\gamma}{\beta \Delta t} d_j(t_{k-1}) \\ &\quad - \left(\frac{\gamma}{\beta} - 1 \right) \dot{d}_j(t_{k-1}) - \left(\frac{\gamma}{2\beta} - 1 \right) \Delta t \ddot{d}_j(t_{k-1}) \end{aligned} \quad (4)$$

식(4)에서 β, γ 는 차분상수, Δt 는 시간스텝을 의미한다.

2.3 강성계수 및 힘 보정벡터의 전달식

k 번째 시간스텝 t_k 에서 절점 j 의 변위벡터 및 힘 벡터 사이의 관계는 다음식으로 정의한다.

$$\begin{aligned} \bar{f}_j(t_k) &= \bar{S}_j d_j(t_k) + \bar{e}_j(t_k) \\ f_j(t_k) &= S_j d_j(t_k) + e_j(t_k) \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 \bar{S}_j, S_j 및 $\bar{e}_j(t_k), e_j(t_k)$ 는 시간 t_k 에서의 강성계수 및 힘 보정벡터를 나타낸다. 식(2)와 식(4)로부터

$$P_j d_j(t_k) = Q_j(t_k) + f_j(t_k) - \bar{f}_j(t_k) \quad (6)$$

여기서

$$\begin{aligned} P_j &= \frac{1}{\beta \Delta t^2} M_j + \frac{\gamma}{\beta \Delta t} \widehat{C}_j + \widehat{K}_j \\ Q_j(t_k) &= q_j(t_k) - M_j H a_j(t_k) - \widehat{C}_j H v_j(t_k) \end{aligned} \quad (7)$$

식(7)에서 $H a_j(t_k)$ 및 $H v_j(t_k)$ 는 시간스텝 t_{k-1} 에서의 변위, 속도 및 가속도로 결정되는 벡터이고, 시간스텝 t_k 에서는 이미 알고 있는 양이 된다.

$$\begin{aligned} H a_j(t_k) &= -\frac{1}{\beta \Delta t^2} \cdot \left\{ d_j(t_{k-1}) \right. \\ &\quad \left. + \Delta t \dot{d}_j(t_{k-1}) + \left(\frac{1}{2} - \beta \right) \Delta t^2 \ddot{d}_j(t_{k-1}) \right\} \\ H v_j(t_k) &= \dot{d}_j(t_{k-1}) \\ &\quad + \Delta t \cdot \left\{ (1 - \gamma) \ddot{d}_j(t_{k-1}) + \gamma H a_j(t_k) \right\} \end{aligned} \quad (8)$$

j 번째 부재 양단에서의 힘과 변위의 관계는 다음 식과 같다.

$$\begin{bmatrix} \bar{f}_j(t_k) \\ f_{j-1}(t_k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}_j \begin{bmatrix} d_j(t_k) \\ d_{j-1}(t_k) \end{bmatrix} \quad (9)$$

여기서

$$\begin{aligned} A_j &= F_j, & B_j &= -F_j L'_j \\ C_j &= L_j F_j, & D_j &= -L_j F_j L'_j \\ L_j &= \text{diag} [1 \ 1 \ L' \ L']_j \\ F_j &= \left\{ \text{diag} \left[\frac{l}{(EA)_y} \ \frac{l}{(GI_x)_z} \ F_z, F_y \right]_j \right\}^{-1} \end{aligned}$$

$$L_j = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ l & 1 \end{bmatrix}, \quad F_{ij} = \begin{bmatrix} \frac{l^3}{3EI_i} & \frac{l^2}{2EI_i} \\ \frac{l^2}{2EI_i} & \frac{l}{EI_i} \end{bmatrix}_j$$

($i=y$ or z) (10)

식(5)와 식(9)의 관계로부터 절점 $j-1$ 의 우측에서 절점 j 의 좌측으로 강성계수 및 힘 보정벡터를 전달하는 필드 전달식을 구한다.

$$\begin{aligned} \bar{S}_j &= A_j + B_j V_j \\ e_j(t_k) &= -B_j G_j^{-1} e_{j-1}(t_k) \\ (j=1, 2, \dots, n) \end{aligned} \quad (11)$$

여기서

$$\begin{aligned} G_j &= S_{j-1} - D_j \\ V_j &= G_j^{-1} C_j \\ (j=1, 2, \dots, n) \end{aligned} \quad (12)$$

절점 j 의 좌측에서 절점 j 의 우측으로 강성계수 및 힘 보정벡터를 전달하는 포인트 전달식을 구하기 위해 식(5)와 식(6)의 관계로부터

$$\begin{aligned} S_j &= \bar{S}_j + P_j \\ e_j(t_k) &= \bar{e}_j(t_k) - Q_j(t_k) \\ (j=1, 2, \dots, n) \end{aligned} \quad (13)$$

계산량을 줄이기 위하여 필드 전달식과 포인트 전달식을 통합한 필드·포인트 전달식은 식(11)과 식(13)의 관계에 의해

$$\begin{aligned} S_j &= A_j + B_j V_j + P_j \\ e_j(t_k) &= -B_j G_j^{-1} e_{j-1}(t_k) - Q_j(t_k) \\ (j=1, 2, \dots, n) \end{aligned} \quad (14)$$

강성계수 및 힘 보정벡터의 식은 전달식의 형태이므로, 계산을 시작하는 절점 0에서의 강성계수 및 보정벡터 S_0 와 $e_0(t_k)$ 를 구해야 한다. Fig. 1에서와 같이 계의 좌단의 경계조건 ($\bar{f}_0 = 0$)과 식(5)와

식(6)의 관계로부터

$$\begin{aligned} S_0 &= P_0 \\ e_0(t_k) &= -Q_0(t_k) \end{aligned} \quad (15)$$

2.4 좌표변환

식(15)를 시작으로 식(14)를 이용하여 연속적으로 S_j 와 $e_j(t_k)$ 를 전달계산하면서 Fig. 2(a)와 같이 굴곡부 등이 존재하는 경우, 요소들 사이의 좌표계가 다르게 된다.

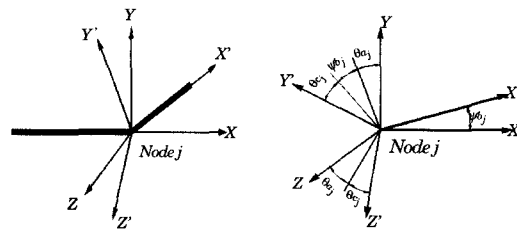
Fig. 2(b)와 같이 요소들이 오일러 각 (θ_a, ψ_b, ϕ_c)만큼 회전이 되어 있다면, 좌표변환 매트릭스 R_j 를 사용하여 XYZ 좌표계에서 $X'Y'Z'$ 좌표계로 변환해야 된다.

$$\begin{aligned} d'_j(t_k) &= R_j d_j(t_k) \\ f'_j(t_k) &= R_j f_j(t_k) \end{aligned} \quad (16)$$

$$R_j = \begin{bmatrix} r_{11} & 0 & r_{13} & 0 & r_{15} & 0 \\ 0 & r_{22} & 0 & r_{24} & 0 & r_{26} \\ r_{31} & 0 & r_{33} & 0 & r_{35} & 0 \\ 0 & r_{42} & 0 & r_{44} & 0 & r_{46} \\ r_{51} & 0 & r_{53} & 0 & r_{55} & 0 \\ 0 & r_{62} & 0 & r_{64} & 0 & r_{66} \end{bmatrix}_j$$

식(16)에서

$$\begin{aligned} r_{11} &= r_{22} = \cos(\psi_b), \quad r_{13} = -r_{26} = \cos(\theta_a) \sin(\psi_b) \\ r_{15} &= r_{24} = \sin(\theta_a) \sin(\psi_b) \\ r_{31} &= -r_{62} = -\sin(\psi_b) \cos(\theta_c) \\ r_{33} &= r_{66} = \cos(\theta_a) \cos(\psi_b) \cos(\theta_c) - \sin(\theta_a) \sin(\theta_c) \end{aligned}$$



(a) Crooked point (b) Euler angle
Fig. 2 Coordinate transformation at node j .

$$\begin{aligned}
 r_{35} &= -r_{64} = \sin(\theta_a) \cos(\psi_b) \cos(\theta_c) + \cos(\theta_a) \sin(\theta_c) \\
 r_{42} &= r_{51} = \sin(\psi_b) \sin(\theta_c) \\
 r_{44} &= r_{55} = -\sin(\theta_a) \cos(\psi_b) \sin(\theta_c) + \cos(\theta_a) \cos(\theta_c) \\
 r_{46} &= -r_{53} = \cos(\theta_a) \cos(\psi_b) \sin(\theta_c) + \sin(\theta_a) \cos(\theta_c) \\
 r_{62} &= \sin(\psi_b) \cos(\theta_c)
 \end{aligned}
 \tag{17}$$

식(16)과 식(5)의 관계로부터 다음식을 구한다.

$$\begin{aligned}
 \mathbf{S}_j' &= \mathbf{R}_j \mathbf{S}_j \mathbf{R}_j' \\
 \mathbf{e}_j'(t_k) &= \mathbf{R}_j \mathbf{e}_j(t_k)
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

식(15)를 계산의 시작으로 식(14)와 식(18)을 이용하여 계의 좌단에서 우단으로 강성계수와 힘 보정벡터를 연속적으로 전달 계산할 수 있다.

2.5 응답계산

강성계수 및 힘 보정벡터를 좌단에서 우단으로 연속적으로 전달 계산한 후, 계의 우단의 경계조건 ($\mathbf{f}_n(t_k) = 0$)과 식(5)로부터 우단의 변위벡터는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\mathbf{d}_n(t_k) = -\mathbf{S}_n^{-1} \mathbf{e}_n(t_k)
 \tag{19}$$

식(19)로부터 구한 $\mathbf{d}_n(t_k)$ 과 식(5), 식(6), 식(9)로부터 다음식을 구한다.

$$\begin{aligned}
 \mathbf{d}_{j-1}(t_k) &= \mathbf{V}_j \mathbf{d}_j(t_k) - \mathbf{G}_j^{-1} \mathbf{e}_{j-1}(t_k) \\
 (j &= 1, 2, \dots, n)
 \end{aligned}
 \tag{20}$$

식(19)에서 계의 우단에서의 변위벡터를 계산한 후, 식(20)을 이용하게 되면 계의 우단에서 좌단으로, 각 시간스텝에서의 전체 절점의 변위벡터를 연속적으로 계산할 수 있다.

3. 수치실험

본 해석기법의 유용성을 확인하기 위해 Fig. 3과 같은 간단한 3차원 직선형 구조물을 수치실험 대상으로 하여 전달강성계수법 및 전달매트릭스법에 의한 수치실험을 하였다.

계산 모델은 각 부재의 길이가 1m이고 중실단

면(외경 : 0.05m)을 가진 총 4개의 부재로 구성되어 있다. 부재의 밀도($\rho = 7860 \text{ kg/m}^3$)와 종탄성계수 및 횡탄성계수 ($E = 2.06 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$, $G = 7.92 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$)는 연강의 물성치를 사용하였다. 또한 수치계산시에 각 부재는 16개로 등분할해서 총 65개의 집중질량계로 모델링하여 계산하였고, Intel사의 Pentium III (CPU : 450 MHz, RAM : 256 MByte) 프로세서를 채용한 PC를 이용하여 수치계산하였다.

Fig. 3과 같이 양단은 전단 및 회전의 스프링(스프링상수 $k_x = k_y = k_z = 10^{12} \text{ N/m}$, $K_x = K_y = K_z = 10^{12} \text{ Nm/rad}$) 및 감쇠기(감쇠계수 $c_x = c_y = c_z = 1 \text{ Ns/m}$, $C_x = C_y = C_z = 1 \text{ Nms/rad}$)로 이루어진 기초 지지요소가 존재하고, 그림에서와 같이 우단으로부터 1m인 지점에 조화 강제력 $q(t) = q_y \cos \omega t$ ($q_y = 100 \text{ N}$, $\omega/2\pi = 15 \text{ Hz}$)가 작용하고 있는 계산 모델로서, 이후의 모든 계산은 10주기(≒0.67 sec)까지 하였다. 계산에 대입한 차분상수는 $\beta = 1/4$,

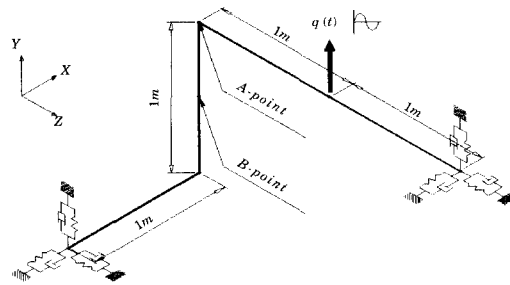


Fig. 3 Numerical model.

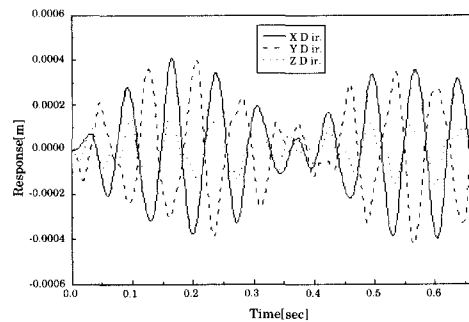


Fig. 4 Time responses by TSCM and TMM.

$\gamma=1/2$ 이고, 각 절점에서의 초기변위 및 초기속도는 모두 0으로 대입하였다.

Fig. 4는 Fig. 3 수치계산 모델의 두번째 부재의 중간지점인 B점에서의 시간응답을 전달강성계수법과 전달매트릭스법에 의해 구한 결과이다. 이 경우 시간분할수(NDT : number of division time)는 외력의 1주기를 50등분($\Delta t \approx 1.33 \times 10^{-3}$ sec)으로 등분할하여 계산한 결과를 나타내는 그림으로서 양기법이 완전히 일치하였다.

직접적분법을 이용한 해석기법의 장점은 계산결과의 정확성에 있다. 따라서, 해석기법으로서의 안정성 및 신뢰성을 검토하기 위해서 시간분할수의 증가에 따른 수치계산결과를 확인해 볼 필요가 있다.

Fig. 5는 시간분할수를 300등분($\Delta t \approx 2.22 \times 10^{-4}$ sec)으로 설정하여 전달매트릭스법으로 시간응답을 계산한 결과를 나타낸다.

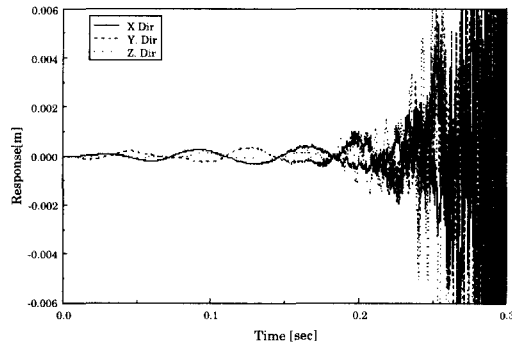


Fig. 5 Time responses by TMM.

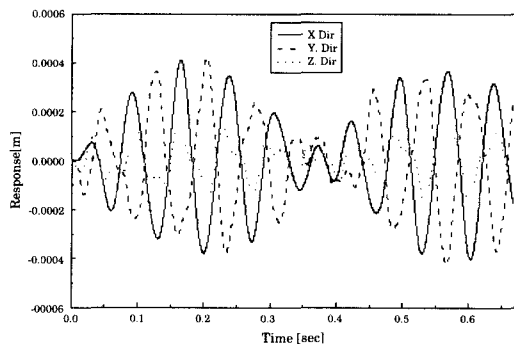


Fig. 6 Time responses by TSCM.

결과에서 잘 알 수 있듯이 0.1 sec가 지나면서 시간응답은 발산하기 시작하여 이후에는 계산 불능 상태가 되었다.

Fig. 6은 시간분할수를 400등분($\Delta t = 11.66 \times 10^{-4}$ sec)으로 설정한 경우에 대한 전달강성계수법으로 계산한 결과를 나타낸다. 결과에서 알 수 있듯이 Fig. 5의 전달매트릭스법으로 300등분의 시간분할수에 의한 계산결과는 불안정한 결과를 나타내었던 반면에 전달강성계수법에 의한 계산결과는 전달매트릭스법에 비해 상대적으로 안정된 계산을 수행함을 확인할 수 있다.

Fig. 7은 시간분할수의 증가에 대한 두 해석기법의 계산시간을 비교한 그림이다. Fig. 7에서 전달매트릭스법의 경우, ▲표시가 생략된 부분은 Fig. 5의 경우와 같이 응답계산이 발산한 상태를 의미한다. 시간분할수가 비교적 적은 경우에는 두 해석

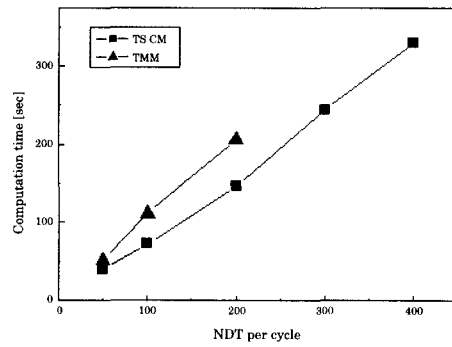


Fig. 7 Comparison of computation time.

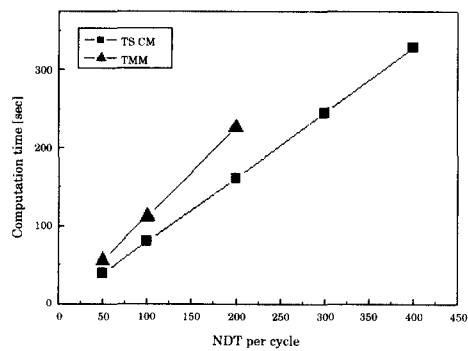


Fig. 8 Comparison of computation time.

기법의 계산시간의 차이는 없지만, 시간분할수가 증가할수록 계산시간의 차이는 점점 더 커지고 있음을 확인할 수 있다.

Fig. 8는 Fig. 7에서 설정한 계산조건과 동일하고, Fig. 3의 계산모델에서 A지점에 탄성지지($k_x = k_y = k_z = 10^{12}$ N/m, $K_x = K_y = K_z = 10^{12}$ Nm/rad)가 존재하는 경우, 시간분할수의 증가에 따른 두 기법의 계산시간을 비교한 결과로서, Fig. 7과 비교해보면, 중간지지가 존재하는 경우에는 중간지지의 강성이 전달매트릭스 내에 곱해지므로 계산오차가 더욱 커지게 된다. 그러므로 전달매트릭스법의 계산시간이 조금 더 늘어난 것을 알 수 있고, 그림 중 ▲표시가 없는 부분은 계산이 발산한 경우를 나타낸다.

이상의 결과에서, 해석기법의 수치적 안정성을 확인하기 위하여 시간분할수를 증가시키는 경우와 구조물에 중간에 탄성지지 등이 존재하는 경우를 비교·검토하였다. 전달매트릭스법에 의한 계산결과는 응답을 계산하는 과정중에 오차가 누적되어 계산이 불안정해지는 결과를 나타낸 반면에 전달강성계수법에 의한 결과는 전달매트릭스법의 결과에 비해 보다 안정된 계산을 수행하였고, 계산시간도 단축됨을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구는 대형 구조물 중에서 특히, 플랜트의 배관계 등에서 자주 보여지는 3차원 직선형 구조물의 중·굽힘·비틀림 연성 강제진동에 대한 시간응답 해석알고리즘을 정식화하였다.

PC환경에 적합한 진동해석기법중의 하나인 전달강성계수법에 Newmark 법을 적용하여 해석알고리즘을 정식화 한 후, 간단한 계산모델에 대한 시간분할수의 증가와 중간지지 조건의 변화에 따른 수치계산을 통해 본 해석기법의 유용성을 확인할 수 있었다.

향후의 연구과제로는 본 해석알고리즘의 장점을 활용하여 다양한 연결부를 갖는 구조물에 대한 해석과 지반가속도에 의한 구조물의 지진응답해석 등에 적용할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] 浪田方郎, 川畑淳一, 市橋一郎, 福田俊彦, "彈塑性タンパ支持配管系の耐震設計手法の開発", 日本機械學會論文集(C編), 61卷, 590, p.p. 3881~3888, 1995.
- [2] 渡邊鐵也, 鈴木浩平, 三森友彦, 清水信行, "支持部にがた・摩擦を有するフロント配管系の地震應答", 日本機械學會論文集(C編), 62卷, 595, p.p. 873~878, 1996.
- [3] 小林正生, 山内進吾, 大鍋壽一, 船渡川治, "ブレード破損時の回轉軸系の非線型過渡應答 解析", 日本機械學會論文集(C編), 59卷, 557, p.p. 85~92, 1993.
- [4] Marek Klisinski, Annika Mostr m, "On Stability of Multitime Step Integration Procedures", Journal of Engineering Mechanics, Vol. 124, No. 7, p.p. 783~793, 1998.
- [5] 정진태, 조은형, 오재용, "구조동역학에서 과도시간응답의 효율적 계산에 관한 연구", 대한기계학회논문집A권, 제23권, 제8호, p.p. 1270~1276, 1999.
- [6] H. Yamakawa, T. Ohinishi, "Dynamic Response Analysis of Structure with Large Degrees of Freedom by Step-by-step Transfer Matrix Method", Bull. of JSME, Vol. 26, No. 211, p.p. 109~116, 1983.
- [7] A. Selva Kumar, T. S. Sankar, "A New Transfer Matrix Method for Response Analysis of Large Dynamic Systems", Computers & Structures, Vol. 23, No. 4, p.p. 545~552, 1986.
- [8] M. Ohga, T. Shigematsu and T. Hara, "A Finite Element-Transfer Matrix Method for Dynamic Analysis of Frame Structures", Journal of Sound and Vibration, Vol. 167, No.3, p.p. 401~411, 1993.
- [9] 문덕홍, 최명수, "강성계수의 전달을 이용한 다양한 연결부를 갖는 구조물의 진6동해석", 대한기계학회논문집A권, 제23권 제2호, p.p. 344~356, 1999.
- [10] D. H. Moon, M. S. Choi, "Vibration Analysis for Frame Structures using Transfer Of Dynamic Stiffness Coefficient", Journal of Sound & Vibration, Vol. 234, No. 5, p.p. 725~736, 2000.
- [11] 문덕홍, 강현석, 최명수, "전달강성계수법에 의한 직선형 구조물의 시간이력응답해석 알고리즘에 관한 연구", 한국동력기계공학회지 제3권 제1호, p.p. 74~79, 1999.

저 자 소 개



문덕홍(文德弘)

1951년 1월생. 1973년 부산수산대학교 기관학과 졸업. 1981년 한국해양대학교 대학원 박용기관학과 수료(석사). 1990년 일본류슈대 대학원 공학연구과 수료(박사). 현재 부경대학교 기계공학부 교수



강현석(姜賢碩)

1968년 3월생. 1994년 부산공업대학교 기계공학과 졸업. 1996년 부산수산대학교 대학원 기관학과 수료(석사). 현재 부경대학교 대학원 제어기계공학과 박사과정



최명수(崔銘秀)

1967년 3월생. 1992년 부산수산대학교 기관학과 졸업. 1994년 부산수산대학교 대학원 기관학과 수료(석사). 1999년 부경대학교 대학원 제어기계공학과 수료(박사). 현재 부경대학교 기계공학부 전임강사