

이동질량에 의한 이산지지 보 구조물의 동적응답

Dynamic Response of a Beam Structure with Discrete Supports Subjected to a Moving Mass

오 부 진* · 류 봉 조† · 이 규 섭** · 이 영 신***

B. J. Oh, B. J. Ryu, G. S. Lee and Y. S. Lee

(2011년 1월 25일 접수 ; 2011년 2월 1일 심사완료)

Key Words : Dynamic Response(동적응답), Runge-Kutta Integration Method(Runge-Kutta 적분 방법), Moving Mass(이동질량), Discrete Support(이산지지)

ABSTRACT

This paper deals with dynamic response of a beam structure with discrete spring-damper supports under a moving mass. Governing equations of motion taking into account of all inertia effects of the moving mass were derived by Galerkin's mode summation method, and Runge-Kutta integration method was applied to solve the differential equations. The effects of the speed of the moving mass, spring stiffness, damping coefficient, span number of a beam structure, mass ratio of the moving mass on the dynamic response of the beam structure have been studied. Some numerical results provide design engineers for the beam structure design with discrete supports under a moving mass.

1. 서 론

이동질량이나 이동하중에 의한 교량의 동적거동에 관한 연구는 구조 동역학 및 진동 분야에서 매우 중요한 문제들로 철도 차량에 의한 철교, 탄환의 발사에 의한 포열, 천정 크레인의 이동활차에 의한 거더, 유체 유동에 의한 배관계 구조물, 차량 이동에 의한 교량 및 고가도로 등 다양한 형태의 기계 구조물에서 예를 들 수 있다.

이러한 보 구조물의 동적 거동 문제는 최초 이동하중 문제로 단순화되어 해석되었으며 Inglis⁽¹⁾는 교량 위를 지나는 철도차량의 해석에 초점을 맞추어 주행하중의 영향과 철도차량의 완충효과를 연구하

였고, Fryba⁽²⁾는 많은 경우의 이동하중 문제의 연구 결과들과 참고문헌들을 정리하여 단순 이동하중 문제에 대한 엄밀한 해석을 제안하였다. Ting과 그의 공동연구자들⁽³⁾은 주행 집중질량이 일정 속도로 이동하는 경우 구조물과 주행질량의 상호 작용력과 주행질량의 속도변화에 관계된 관성항을 포함시켜서 구조물의 동적 처짐을 유한차분법과 실험을 통하여 구하였고, Olsson⁽⁴⁾은 주행물체의 관성력을 무시한다고 가정하여 일정속도의 크기를 갖는 이동하중이 단순지지 보 위를 지날 때의 동적응답을 구하였으며 Esmailzadeh와 Ghorashi⁽⁵⁾는 회전관성과 진단변형을 고려한 Timoshenko 보 위를 이동질량이 지나갈 때에 대한 동적응답을 연구하였다. 그 후, Lee⁽⁶⁾는 일정 속도의 주행질량이 외팔보 구조물과 단순지지 보 구조물을 지날 때의 동적응답을 Runge-Kutta 5차 방법으로 구하였고, Kim과 그의 공동연구자들⁽⁷⁾은 관성력, 코리올리력, 원심력, 보의 초기 정적처짐을 모두 고려한 이동질량을 받는 불균일 단면보의 동적응답을 흡의 깊이 및 흡의 길이

† 교신저자; 정회원, 한밭대학교 기계공학부
E-mail : bjryu701@hanbat.ac.kr
Tel : (042)821-1159, Fax : (042)821-1587

* 충남대학교 대학원 기계설계공학과

** 정회원, 알엠에스테크놀러지(주)

*** 정회원, 충남대학교 기계설계공학과

변화에 따라 수치해석 및 실험을 병행하여 연구하였다. 한편, Dugush와 Eisenberger⁽⁸⁾는 이동하중을 받으며 선형적으로 두께가 변하는 불균일 연속보의 진동과 동적 처짐 문제를 수치 해석적으로 연구하였고, Gu와 Cheng⁽⁹⁾는 볼 나사를 Timoshenko 보 이론을 사용하고 너트는 이동 집중질량으로 간주하여 이동질량이 작용하는 고속 스피들의 동적응답을 연구하였다. 최근에 Wu⁽¹⁰⁾는 보에 작용하는 각각의 이동하중이 이동질량 요소로 간주하면 고려되는 다양한 이동하중과 관계된 모든 적절한 요소를 갖는 문제를 쉽게 계산할 수 있다는 것을 밝혔으며, Ariaei와 그의 공동연구자들⁽¹¹⁾은 이산요소기법과 유한요소법을 이용하여 점 이동질량을 받는 개폐균열을 갖는 Euler-Bernoulli 보의 동적응답에 대한 계산법과 해석적 접근 방법을 제시하였다.

최근 반도체 공장, LCD 공장 등 자동화된 공장 시설에서는 생산성 증대를 위해 고속으로 큰 중량을 이송할 수 있는 자동이송장치(rack master)를 사용하는 것이 보편화되어 있으며 이러한 반도체 또는 LCD 제조에 사용되는 정밀 장비들은 진동에 매우 민감하여 자동이송장치에 의해 발생하는 진동은 시스템의 정상 운용에 큰 피해를 주게 된다. 또한, 철도차량, 경전철 분야에서 열차의 고속화와 중량화가 이루어졌고 이런 추세는 제동 및 기동 시 발생하는 동하중에 크게 영향을 미쳐서 역사 부근의 건물에 빈번하게 소음·진동에 대한 심각한 문제점이 발생된다.

따라서 이 연구에서는 댐퍼와 방진 시스템을 결합한 이산지지된 보 구조물을 모델링하고 이동질량과 보 구조물 사이에 발생하는 모든 관성 효과를 고려하여 이동질량의 속도, 스프링 상수, 감쇠계수, 이동질량과 보의 질량비 및 보의 스펠 수에 따른 동적 응답을 수치 해석적 방법을 이용하여 보 구조물의 동적 거동에 대한 경향을 분석하는데 그 목적이 있다.

2. 이론해석

2.1 수학적 모델과 운동 방정식

이 논문에서는 열차나 자동이송장치 등을 이동질량으로 단순화하고 레일과 슬래브의 결합구조를 Bernoulli-Euler 보 구조물로 단순화하여 해석을 수

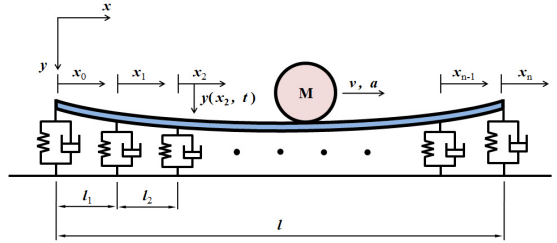


Fig. 1 A mathematical model of a beam structure subjected to a moving mass

행하였으며 보의 정적 처짐은 무시하였다⁽¹²⁾.

Fig. 1은 이동질량에 의한 스프링-댐퍼로 이산지지된 보 구조물 운동의 동적응답을 해석을 위한 수학적 모델을 보여주고 있고, Fig. 1의 수학적 모델에 대한 운동 지배방정식은 식 (1)에 나타난 바와 같으며, 여기서 l 은 보의 길이, m 은 보의 단위 길이 당 질량, EI 는 보의 강성, v 와 a 는 각각 이동질량 M 의 축 방향 속도와 가속도, $y(x, t)$ 는 보의 횡 방향 변위, x 와 y 는 각각 축 방향과 횡 방향 좌표이다. 이와 같이 제시된 대상 보는 스프링 상수 k 와 감쇠계수 c 를 갖는 스프링-댐퍼로 이산지지되어 있다.

$$\begin{aligned}
 & EI \frac{\partial^4 y(x,t)}{\partial x^4} + m \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} + \sum_{j=0}^n c_j \frac{\partial y(x,t)}{\partial t} \delta(x-vt) \\
 & = Mg \delta(x-vt) - M \left[\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial x^2} v^2 + 2 \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial x \partial t} v \right. \\
 & \quad \left. + \frac{\partial y(x,t)}{\partial x} a + \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} \right] \delta(x-vt)
 \end{aligned} \tag{1}$$

식 (1)에 $\xi = \frac{x}{l}$ 관계를 이용하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 & \frac{EI}{l^4} \frac{\partial^4 y(\xi, t)}{\partial \xi^4} + m \frac{\partial^2 y(\xi, t)}{\partial t^2} \\
 & = \frac{M}{l} \left[g - \left\{ \frac{1}{M} \sum_{j=0}^n c_j \frac{\partial y(\xi, t)}{\partial t} + v^{*2} \frac{\partial^2 y(\xi, t)}{\partial \xi^2} \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. + 2v^* \frac{\partial^2 y(\xi, t)}{\partial \xi \partial t} + a^* \frac{\partial y(\xi, t)}{\partial \xi} \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. + \frac{\partial^2 y(\xi, t)}{\partial t^2} \right\} \right] \delta(\xi - v^* t)
 \end{aligned} \tag{2}$$

여기서, $v^* = \frac{v}{l}$, $a^* = \frac{a}{l}$ 이다.

Galerkin의 모드 합 방법(mode summation method)

을 적용하여 무차원화 된 해를 다음과 같이 가정할 수 있다.

$$y(\xi, t) = \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=0}^n \phi_{i,j}(\xi_j) q_i(t) \quad (3)$$

여기서, i 는 진동모드, j 는 지역좌표 하첨자, n 은 스프링-댐퍼 간격 수를 의미하고 $\phi_{i,j}(\xi_j)$ 는 식 (4)의 일반 형태를 갖는 계의 형상함수(shape function)로 보의 형상 및 경계조건에 의해 다음과 같이 결정된다.

$$\begin{aligned} \phi_{i,j}(\xi_j) = & C_{i,j} \cos \beta_i \xi_j + C_{i,j} \sin \beta_i \xi_j \\ & + C_{i,j} \cosh \beta_i \xi_j + C_{i,j} \sinh \beta_i \xi_j \end{aligned} \quad (4)$$

식 (4)에서 고유치(eigenvalue) β_i 는 i 번째 고유진동수 ω_i 와 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$\omega_i^2 = \frac{EI}{m} \left(\frac{\beta_i}{l} \right)^4 \quad (5)$$

이 논문의 경계조건은 이산지지로 식 (6)에 나타난 바와 같다.

$$\begin{aligned} y_0''(0) = 0, \quad y_0'''(0) &= \frac{k}{EI} y_0(0) \\ y_0'''(1) &= \frac{k}{EI} y_1(0) + y_1'''(0), \quad y_0''(1) = y_1''(0) \\ y_0(1) &= y_1(0), \quad y_0'(1) = y_1'(0) \\ y_1'''(1) &= \frac{k}{EI} y_2(0) + y_2'''(0), \quad y_1''(1) = y_2''(0) \\ y_1(1) &= y_2(0), \quad y_1'(1) = y_2'(0) \\ &\vdots \\ y_n'''(1) &= \frac{k}{EI} y_n(1), \quad y_n''(1) = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

식 (4)의 해를 식 (6)의 경계조건 식에 대입하면 식 (7)의 $4n \times 4n$ 행렬식에 대한 고유치 문제가 된다.

$$[S] \{c\} = 0 \quad (7)$$

여기서, 벡터 $\{c\}$ 는 다음과 같다.

$$\{c\} = \{C_{11} \ C_{21} \ C_{31} \ C_{41} \ \dots \ C_{1n} \ C_{2n} \ C_{3n} \ C_{4n}\}^T$$

식 (3)의 해를 식 (2)의 운동 지배방정식에 대입하고 정리하면 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} & \frac{EI}{ml^4} \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=0}^n \phi_{i,j}''''(\xi_j) q_i(t) + \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=0}^n \phi_{i,j}(\xi_j) \ddot{q}_i(t) \\ &= \frac{M}{ml} \left[g - \left\{ \frac{1}{M} \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=0}^n \sum_{j=0}^n c_j \phi_{i,j}(\xi_j) \dot{q}_i(t) \right. \right. \\ & \quad + v^* \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=0}^n \phi_{i,j}''(\xi_j) q_i(t) + 2v^* \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=0}^n \phi_{i,j}'(\xi_j) \dot{q}_i(t) \\ & \quad + a^* \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=0}^n \phi_{i,j}'(\xi_j) q_i(t) \\ & \quad \left. \left. + \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=0}^n \phi_{i,j}(\xi_j) \ddot{q}_i(t) \right\} \right] \delta(\xi - v^* t) \end{aligned} \quad (8)$$

여기서, $\phi_{i,j}''''(\xi_j) = \beta_i^4 \phi_{i,j}(\xi_j)$ 이므로 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \frac{EI}{ml^4} \beta_i^4 \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=0}^n \phi_{i,j}(\xi_j) q_i(t) + \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=0}^n \phi_{i,j}(\xi_j) \ddot{q}_i(t) \\ &= \frac{M}{ml} \left[g - \left\{ \frac{1}{M} \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=0}^n \sum_{j=0}^n c_j \phi_{i,j}(\xi_j) \dot{q}_i(t) \right. \right. \\ & \quad + v^* \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=0}^n \phi_{i,j}''(\xi_j) q_i(t) + 2v^* \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=0}^n \phi_{i,j}'(\xi_j) \dot{q}_i(t) \\ & \quad + a^* \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=0}^n \phi_{i,j}'(\xi_j) q_i(t) \\ & \quad \left. \left. + \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=0}^n \phi_{i,j}(\xi_j) \ddot{q}_i(t) \right\} \right] \delta(\xi - v^* t) \end{aligned} \quad (9)$$

식 (9)에서 $\phi_{k,j}(\xi_j)$ 를 내적하고 무차원 매개변수를 사용하여 표현하면 다음과 같은 무차원 운동방정식을 얻는다.

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^{\infty} \left[\int_0^1 \sum_{j=0}^n \phi_{i,j}(\xi_j) \phi_{k,j}(\xi_j) d\xi_j + \mu \phi_{i,j}(\xi_M) \phi_{k,j}(\xi_M) \right] \ddot{q}_i(\tau) \\ & \quad + \sum_{i=1}^{\infty} \left[\frac{\pi \mu}{\omega_1 M} \sum_{j=0}^n c_j \phi_{i,j}(\xi_M) \phi_{k,j}(\xi_M) \right. \\ & \quad \left. + 2\mu v_o \phi_{i,j}'(\xi_M) \phi_{k,j}(\xi_M) \right] \dot{q}_i(\tau) \\ & \quad + \sum_{i=1}^{\infty} \left[\left(\frac{\beta_i}{\beta_1} \right)^4 \pi^2 \int_0^1 \sum_{j=0}^n \phi_{i,j}(\xi_j) \phi_{k,j}(\xi_j) d\xi_j \right. \\ & \quad \left. + \mu v_o^2 \phi_{i,j}''(\xi_M) \phi_{k,j}(\xi_M) + \mu a_o \phi_{i,j}'(\xi_M) \phi_{k,j}(\xi_M) \right] q_i(\tau) \\ & = \left(\frac{\pi}{\omega_1} \right)^2 \mu g \phi_{k,j}(\xi_M) \end{aligned} \quad (10)$$

식 (10)에서 ξ_M 은 이동질량 M 의 위치를 나타내며

무차원 매개변수는 다음과 같다.

$$\mu = \frac{M}{ml}, \tau = \frac{\omega_1}{\pi}t, v_o = \frac{\pi v^*}{\omega_1}, a_o = \frac{\pi^2 a^*}{\omega_1^2} \quad (11)$$

식 (11)에서 μ 는 이동질량과 보 질량의 질량비 매개변수, τ 는 시간 매개변수, v_o 는 속도 매개변수, a_o 는 가속도 매개변수를 나타낸다.

식 (10)을 다시 정리하면, 식 (12)의 행렬형태의 운동방정식을 얻는다.

$$[M(\tau)]\{\ddot{q}(\tau)\} + [C(\tau)]\{\dot{q}(\tau)\} + [K(\tau)]\{q(\tau)\} = \{f(\tau)\} \quad (12)$$

여기서, 각 행렬들의 요소는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} m_{ij}(\tau) &= \int_0^1 \sum_{j=0}^n \phi_{i,j}(\xi_j) \phi_{k,j}(\xi_j) d\xi_j \\ &\quad + \mu \phi_{i,j}(\xi_M) \phi_{k,j}(\xi_M) \\ c_{ij}(\tau) &= \frac{\pi \mu}{\omega_1 M} \sum_{j=0}^n c_j \phi_{i,j}(\xi_M) \phi_{k,j}(\xi_M) \\ &\quad + 2\mu v_o \phi'_{i,j}(\xi_M) \phi_{k,j}(\xi_M) \\ k_{ij}(\tau) &= \left(\frac{\beta_i}{\beta_1}\right)^4 \pi^2 \int_0^1 \sum_{j=0}^n \phi_{i,j}(\xi_j) \phi_{k,j}(\xi_j) d\xi_j \\ &\quad + \mu v_o^2 \phi''_{i,j}(\xi_M) \phi_{k,j}(\xi_M) \\ &\quad + \mu a_o \phi'_{i,j}(\xi_M) \phi_{k,j}(\xi_M) \\ f_i(\tau) &= \left(\frac{\pi}{\omega_1}\right)^2 \mu g \phi_{k,j}(\xi_M) \end{aligned} \quad (13)$$

3. 수치해석 결과 및 고찰

이동질량에 의한 스프링-댐퍼로 이산지지된 보 구조물의 동적 거동을 위한 수치해석은 무차원화된 매개변수인 스프링 상수 K^* , 감쇠계수 C^* , 이동질량의 속도 v_o , 이동질량과 보의 질량비 μ 와 보의 스패น 간격 수 n 을 변화시켜가며 Runge-Kutta의 적분 방법을

| Specification | Values |
|-------------------------|--------------------|
| L [m] | 40 |
| E [N/m ²] | 3×10^{10} |
| m [kg/m] | 3630 |
| I [m ⁴] | 0.0367 |

사용하여 운동 특성에 대한 경향을 조사하였다.

이 논문의 수치해석에 사용된 보 구조물의 치수 및 물리량은 Table 1과 같다.

Fig. 2는 보의 스패น 수 $n=10$, 이동질량과 보의 질량비 $\mu=0.1$, 감쇠계수 $C^*=10$ 으로 고정시킨 상태에서 이동질량의 속도 $v_o=0.1$ 의 경우에 대하여 스프링상수 K^* 값을 변화시켜가며 이동질량 위치에서의 보의 동적 변위를 나타낸 그림이다. 스프링 상수 K^* 값이 1에서 10으로 증가함에 따라 동적 처짐과 보 구조물의 진동 진폭이 감소하고 있으며 이동질량이 보 구조물의 선단 부근을 지나면서 동적 처짐은 음의 형태로 증가되고 끝단에서 가장 크게 나타나고 있다.

Fig. 3은 보의 스패น 수 $n=10$, 이동질량과 보의

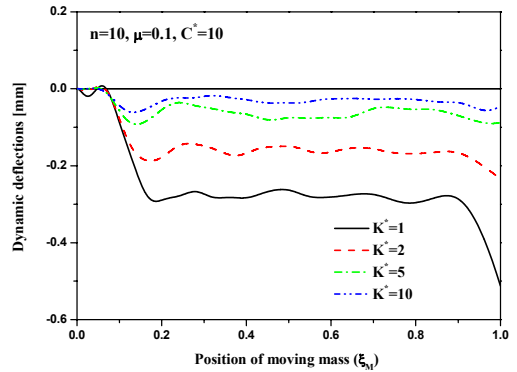


Fig. 2 Dynamic responses of a beam structure at the position of moving mass for different values of K^* and $v_o=0.1$

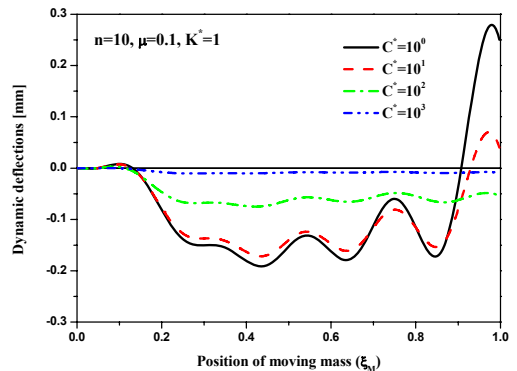


Fig. 3 Dynamic responses of a beam structure at the position of moving mass for different values of C^* and $v_o=0.5$

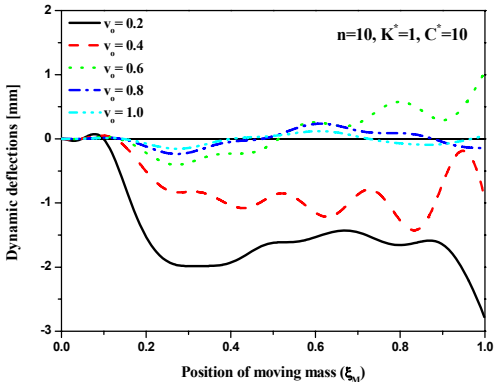


Fig. 4 Dynamic responses of a beam structure at the position of moving mass for different values of v_o and $\mu = 0.5$

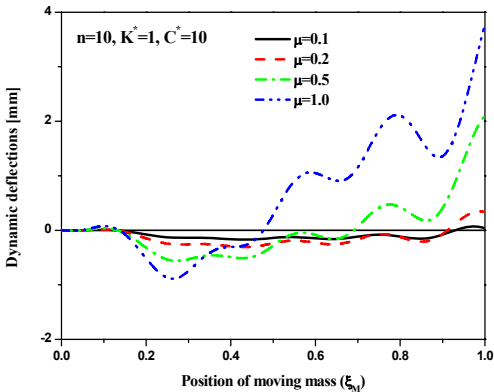


Fig. 5 Dynamic responses of a beam structure at the position of moving mass for different values of μ and $v_o = 0.5$

질량비 $\mu = 0.1$, 스프링 상수 $K^* = 1$ 로 고정시킨 상태에서 이동질량의 속도 $v_o = 0.5$ 의 경우에 대하여 감쇠계수 C^* 값을 변화시켜가며 이동질량 위치에서의 보의 동적 변위를 나타낸 그림이다. 감쇠계수 C^* 값이 10^0 에서 10^3 으로 증가함에 따라 동적 처짐과 보 구조물의 진동 진폭이 감소하는 형태를 보이고 있으며 이동질량이 보 구조물의 선단 부근을 지나면서 동적 처짐이 음의 형태로 증가되고 $C^* = 10^0$, 10^1 의 경우에는 $\xi_M = 0.9$ 를 지나면서 양의 형태로 발생하고 있다.

Fig. 4는 보의 스펠 간격 수 $n = 10$, 스프링 상수 $K^* = 1$, 감쇠계수 $C^* = 10$ 로 고정시킨 상태에서 이동질량과 보의 질량비 $\mu = 0.5$ 의 경우에 대하여

이동질량의 속도 v_o 값을 변화시켜가며 이동질량 위치에서의 보의 동적 변위를 나타낸 그림이다. 이동질량의 속도 v_o 값이 0.2에서 1.0으로 증가함에 따라 동적 처짐과 보 구조물의 진동 진폭이 감소하는 형태를 보이고 있으며 이동질량이 보 구조물의 선단 부근 $\xi_M = 0.1$ 을 지나면서 동적 처짐은 이동질량의 속도에 관계없이 음의 형태로 증가되고 이동질량의 속도 $v_o = 0.6$ 에서부터 보 구조물의 중간 부근 $\xi_M = 0.5$ 을 지나면서 양의 형태의 동적 처짐을 보이다가 이동질량의 속도 $v_o = 0.8$ 에서 1.0으로 증가할수록 다시 감소하는 경향을 보이고 있다.

Fig. 5는 보의 스펠 간격 수 $n = 10$, 스프링상수 $K^* = 1$, 감쇠계수 $C^* = 10$ 으로 고정시킨 상태에서 이동질량의 속도 $v_o = 0.5$ 의 경우에 대하여 이동질량과 보의 질량비 μ 값을 변화시켜가며 이동질량 위치에서의 보의 동적 변위를 나타낸 그림이다. 질량비 μ 값이 0.1에서 1.0으로 증가함에 따라 동적 처짐과 보 구조물의 진동 진폭이 증가하는 형태를 보이고 있으며 이동질량이 $\xi_M = 0.1$ 인 지점을 지나면서 동적 처짐이 음의 형태로 증가되고 다시 양의 형태로 증가하는 경향을 보이고 있다.

Figs. 6~8은 스프링상수 $K^* = 1$, 감쇠계수 $C^* = 10$, 이동질량과 보의 질량비 $\mu = 0.1$ 와 이동질량의 속도 $v_o = 0.5$ 인 경우에 대하여 보의 스펠 수 n 값을 변화시켜가며 이동질량이 보를 지나 통과하는 순간까지 선단, 중간 및 끝단에서 시간의 변화에 대한 보의 진동 변위를 나타낸 그림이다. 여기서, 보의 스펠 수가 줄어드는 것은 보의 스펠 길이가 늘어나는 것과 같은 의미이다. 스펠 수 n 이 40에서 5로 줄어들수록 보의 진동 변위는 선단, 중간 및 끝단에 관계없이 증가하는 경향을 보이고 있으며 끝단에서 가장 크고 선단에서 가장 작은 진동 변위를 나타내고 있다.

Fig. 9는 보의 스펠 수 $n = 10$, 스프링 상수 $K^* = 1$, 감쇠계수 $C^* = 0$, 이동질량과 보의 질량비 $\mu = 0.1$ 이고 이동질량의 속도가 $v_o = 0.5$ 인 경우에 대하여 이동질량이 보를 지나 통과하는 순간까지 선단, 중간 및 끝단에서 시간의 변화에 대한 보의 동적 변위를 나타낸 그림이다. 보의 진동 변위는 이동질량이 보를 지나가는 끝단에서 최대가 되며 선단에서 최소가 된다.

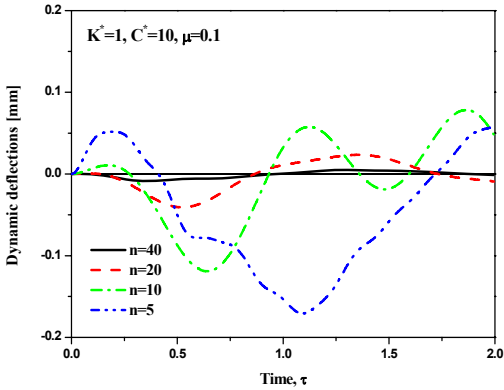


Fig. 6 Dynamic responses at the start position of a beam structure for different values of n and $v_o = 0.5$

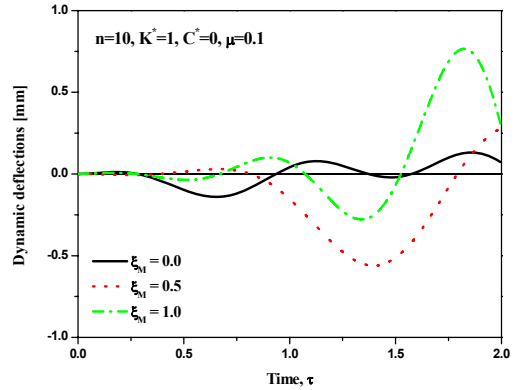


Fig. 9 Dynamic responses at the start, center and end position of a beam structure for the value $v_o = 0.5$

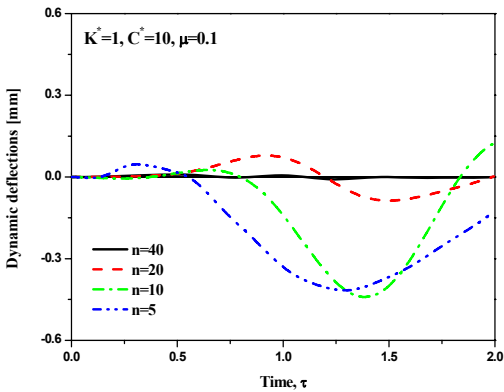


Fig. 7 Dynamic responses at the center position of a beam structure for different values of n and $v_o = 0.5$

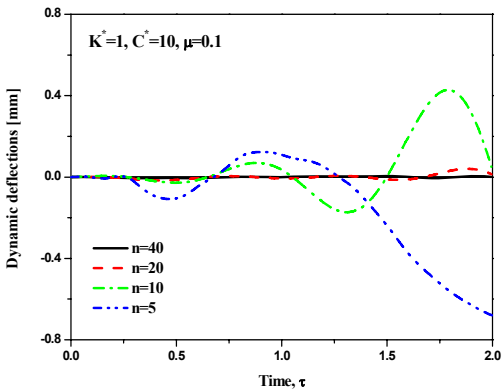


Fig. 8 Dynamic responses at the end position of a beam structure for different values of n and $v_o = 0.5$

4. 결 론

이동질량에 의한 스프링-댐퍼로 이산지지된 보의 동적 특성에 대하여 수치 해석을 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 고정된 감쇠계수 C^* 값, 질량비 μ 와 이동질량의 속도 v_o 에 대하여 스프링 상수 K^* 값이 증가함에 따라 이동질량의 위치에서 보의 동적 처짐과 진동 진폭은 감소되는 경향이 나타나게 된다.

(2) 고정된 스프링상수 K^* 값, 질량비 μ 와 이동질량의 속도 v_o 에 대하여 C^* 값이 증가함에 따라 이동질량의 위치에서 보의 동적 처짐은 감소되는 경향이 나타나게 된다.

(3) 고정된 스프링상수 K^* 값, 감쇠계수 C^* 값과 질량비 μ 에 대하여 이동질량의 속도 v_o 가 증가함에 따라 이동질량의 위치에서 보의 동적 처짐은 감소되는 경향이 나타나게 된다.

(4) 고정된 스프링상수 K^* 값, 감쇠계수 C^* 값과 이동질량의 속도 v_o 에 대하여 질량비 μ 가 증가함에 따라 이동질량의 위치에서 보의 동적 처짐은 증가된다.

(5) 고정된 스프링상수 K^* 값, 감쇠계수 C^* 값, 질량비 μ 와 이동질량의 속도 v_o 에 대하여 보의 스패 수가 감소함에 따라 선단, 중간 및 끝단에 관계없이 보의 진동 변위는 증가되는 경향이 나타나게 된다.

(6) 고정된 스프링상수 K^* 값, 감쇠계수 C^* 값, 질량비 μ 와 이동질량의 속도 v_o 에 대하여 진동변위는

이동질량이 보를 지나는 끝단에서 최대이고 선단에서 최소가 되는 경향이 나타나게 된다.

후 기

이 논문은 중소기업청 지원 2009년도 산학공동기술개발지원사업 선도과제 수행 결과의 일부이며, 재정적 지원을 아끼지 않으신 관계기관에 진심으로 감사드립니다.

참 고 문 헌

(1) Inglis, C. E., 1934, A Mathematical Treatise on Vibration in Railway Bridges, Cambridge: Cambridge University Press.

(2) Fryba, L., 1972, Vibration of Solids and Structures under Moving Loads, Groningen: Noordhoff International Publishing.

(3) Ting, E. C., Genin, J. and Ginsberg, J. H., 1974, A General Algorithm for Moving Mass Problem, Journal of Sound and Vibration, Vol. 33, Issue 1, pp. 49~58.

(4) Olsson, M., 1991, On the Fundamental Moving Load Problem, Journal of Sound and Vibration, Vol. 145, No. 2, pp. 299~307.

(5) Esmailzadeh, E. and Ghorashi, M., 1997, Vibration Analysis of Timoshenko Beam Subjected to a Travelling Mass, Journal of Sound and Vibration, Vol. 197, No. 4, pp. 615~628.

(6) Lee, U., 1998, Separation Between the Flexible

Structure and the Moving Mass Sliding on It, Journal of Sound and Vibration, Vol. 209, No. 5, pp. 867~877.

(7) Kim, I. W., Lee, Y. S., Lee, G. S. and Ryu, B. J., 2001, Dynamic Response of Non-uniform Beam under a Travelling Mass, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 11, No. 5, pp. 275~286.

(8) Dugush, Y. A. and Eisenberger, M., 2002, Vibrations of Non-Uniform Continuous Beams under Moving Loads, Journal of Sound and Vibration, Vol. 254, Issue 5, pp. 911~926.

(9) Gu, U. C. and Cheng, C. C., 2004, Vibration Analysis of a High-speed Spindle under the Action of a Moving Mass, Journal of Sound and Vibration, Vol. 278, No. 4-5, pp. 1131~1146.

(10) Wu, J. J., 2005, Dynamic Analysis of an Inclined Beam due to Moving Loads, Journal of Sound and Vibration, Vol. 288, Issue 1-2, pp. 107~131.

(11) Ariaei, A., Ziaei-Rad, S. and Ghayour, M., 2009, Vibration Analysis of Beams with Open and Breathing Cracks Subjected to Moving Masses, Journal of Sound and Vibration, Vol. 326, Issue 3-5, pp. 709~724.

(12) Ryu, B. J., Koo, H. W., Han, H. H., Lee, G. S., Lee, H. G. and Oh, B. J., 2010, Dynamic Characteristics Study of an Isolation Track with Discrete Supports, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 501~502.