

보강재가 부착된 3차원 감쇠평판의 충격응답 해석

Shock Response Analysis of stiffened Damping Layered Plate

배승훈* · 정의봉† · 조진래** · 배수룡***

Seung-Hoon Bae, Weui Bong Jeong, Jin Rae Cho, Soo Ryong Bae

적층된 감쇠 평판의 구조물의 굽힘에 대한 운동 방정식은 식(1)와 같이 표현된다.

1. 서 론

감쇠 평판이란 일반적인 철강, 또는 금속 구조물에 고무와 같이 진동을 감쇠시키는 성능을 가진 점탄성 재질이 부착되어 있는 구조물이다. 이러한 구조물의 경우 상용프로 그래밍을 사용하여 해석을 수행할시 여러 가지 문제점이 발생하는, 첫 번째로 해당 구조물을 구현하기 위한 유한요소의 개수가 많이 필요하기 때문에 계산시간, 메모리 및 해석 용량 등의 여러 가지 문제가 생기게 된다. 이러한 문제들로 인하여 여러 가지 예상 시물레이션을 다양한 경우에 대하여 수행하려 할 때 시간과 인적자원이 낭비되는 문제가 있다. 따라서 본 논문에서는 이를 해결하기 위해서 상용에서 복잡하게 표현되는 요소를 간단하게 하나의 요소로 표현하는 방법을 개발하여 이를 이용하여 시물레이션의 단순화를 꾀하였다. 또한 복잡한 요소를 단순하게 표현하기 위해서는 기존의 상용 프로그램에서는 사물의 운동방정식을 실수 체계에서 나타내었던 것에 비해서 복소수 체계를 사용한다. 복소수 체계란 적층구조물의 감쇠재 감쇠특성을 나타낼 때 복소수의 허수부로 표현될 수 있고 이를 복소탄성계수(complex Young's modulus)라 한다. 따라서 시스템의 구성이 복소수로 되어 있으므로 실수로 나타내어지는 충격신호를 힐버트 변환을 이용하여 복소수 꼴로 나타내어 복소수로 표현되는 시스템에 적용하여 충격응답을 구하였다.

2. 복소 등가 판 요소를 이용한 충격응답

$$D^* \nabla^4 w + \left(\sum_{i=1}^n \rho_i h_i \right) \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = q \quad (1)$$

위의 운동방정식에서 감쇠 평판의 운동 에너지와 포텐셜 에너지를 정의 하고 에너지 표현식으로부터 복소 강성행렬과 질량행렬을 구하면 식(2)과 식(3)로 표현되고 여기에 평판의 횡 변위의 형상함수 $B(\xi, \eta)$ 와 면내 변위를 나타내는 $N(\xi, \eta)$ 를 대입해서 적분하면 보의 유한요소 모델을 정의할 수 있다. J 는 자코비안, D 는 평판응력과 변형량의 관계를 정의하는 행렬이다.

$$[K^*] = \left(\sum_i n_i h_i \right) \int [B(\xi, \eta)]^T [D_i^*] [B(\xi, \eta)] \det [J(\xi, \eta)] d\xi d\eta \quad (2)$$

$$[M^*] = \int \left(\sum_i \rho_i h_i \right) [N(\xi, \eta)]^T [N(\xi, \eta)] \det [J(\xi, \eta)] d\xi d\eta \quad (3)$$

평판의 유한요소 지배방정식은 각각의 요소에 대해 중첩하면 식(4)과 같이 나타낼 수 있고, 방정식의 질량행렬과 강성행렬은 각각 복소수 값으로 식(4)와 같이 표현된다.

$$[M^*] \{\ddot{y}(t)\} + [K^*] \{y(t)\} = \{w(t)\} \quad (4)$$

이러한 행렬로 구성된 유한요소 지배방정식 식(4)을 힐버트 변환을 통해 $y(t)$ 와 $w(t)$ 를 해석함수로 만들면 식(5)와 같이 표현된다. 식의 아래 첨자 a 는 원래신호와 힐버트 변환 신호의 함으로 정의된 복소 해석 신호를 의미한다.

$$[M^*] \{\ddot{y}_a(t)\} + [K^*] \{y_a(t)\} = \{w_a(t)\} \quad (5)$$

† 부산대학교 기계공학부

E-mail : wbjjeong@pusan.ac.kr

* 부산대학교 대학원 기계공학부

** MIDAS IT

***국방과학연구소

식(5)에 대하여 Complex lancos method을 이용하여 복소 고유치 해석을 하면 고유값 $\pm s_r$ 과 고유벡터 ϕ 를 얻을 수 있으며 이를 이용하여 모달 좌표계 $q(t)$ 로 표현 할 수 있다.

$$\begin{cases} \dot{q}_1(t) \\ \dot{q}_2(t) \end{cases} = \begin{bmatrix} s_r & 0 \\ 0 & -s_r \end{bmatrix} \begin{cases} q_1(t) \\ q_2(t) \end{cases} + \begin{cases} (2s_r m^*)^{-1} \\ -(2s_r m^*)^{-1} \end{cases} w_a(t) \quad (6)$$

시스템에 가진력으로 작용되는 시간 파형은 일정한 Shock response spectrum 를 사용해서 정의되어 지는 시간 파형을 주고 충격응답을 구한다. 시스템의 시간응답의 발산을 방지하기 위하여 Time inverse 기법을 적용하면 다음과 같은 차분 방정식 (7)이 된다.

$$\begin{cases} q_{k+1}^{(1)} = e^{s_r dT} q_k^{(1)} + (e^{s_r dT} - 1) * (2s_r^2 m^*)^{-1} w_k \\ q_{l-1}^{(2)} = e^{s_r dT} q_l^{(2)} - (e^{s_r dT} - 1) * (2s_r^2 m^*)^{-1} w_l \end{cases} \quad (7)$$

식(7)로부터 모드 좌표에서의 시간응답이 구해지면 모드중첩에 의하여 물리좌표계에서의 시간응답을 해석할 수 있다.

2.2 수치 예제

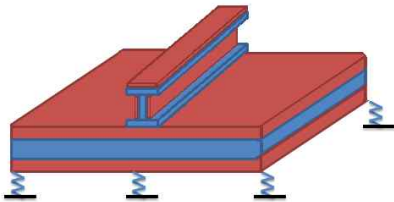


Fig.1 Stiffened damping layered plate

Fig. 1 은 감쇠층과 탄성층의 두께가 10mm 이고, 감쇠평판에 보강보가 설치된 형태를 나타낸다. 평판의 치수가 가로 1.5m 세로 1m이고 보강보는 가로로 0.75m에 설치되었다. 보강보 단면의 가로 세로는 0.1m 이고 두께는 0.01m 이다. 평판에 설치된 마운트는 모두 6개이며 강성은 모두 $1e7N/m$ 이다. 사용된 재료의 물성치는 탄성체는 강, 감쇠재 층은 밀도가 $1000kg/m^3$, 전단계수는 $2e9N/m^2$ 이다.

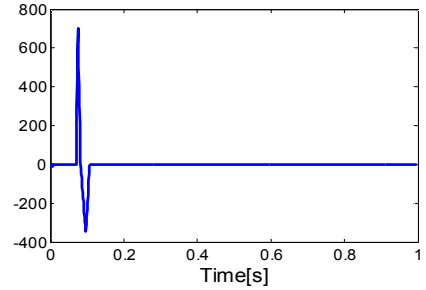


Fig. 2 Impulse signal from SRS

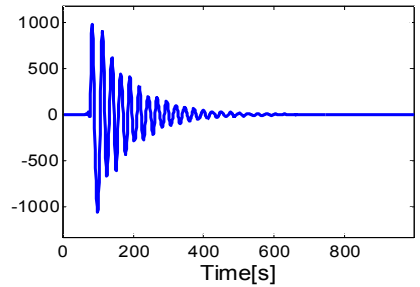


Fig. 3 Time response of plate

Fig. 2 는 시스템에 설치된 마운트를 통해서 입력되는 평판의 가속도 크기를 나타낸다. Fig. 3 은 그때의 평판의 한점(가로1.2m, 세로0.29m)에서 나타나는 가속도 응답을 나타낸다. 구조물의 감쇠 효과로 인해서 파형이 점차 감소하는 것을 볼 수 있다.

3. 결 론

보강제가 달린 등가 감쇠 평판을 해석하기 위해서 등가 평판요소를 만들고 이를 이용하였다. 시간 해석을 하기 위해 힐버트 변환과 Time inverse 방법을 이용하여 수행한 결과 구조물의 감쇠 특성이 잘 나타나는 응답을 구할 수 있었다.

후 기

본 연구는 국방부가 지정한 수중운동체 특화연구센터(UVRC)의 지원에 의해 수행되었습니다.