

최속 강하법을 적용한 배관 시스템의 마운트 강성 최적 설계 Optimum design of mount stiffness of pipe system by steepest descent method

이성현* · 정의봉†

Seong Hyeon Lee and Weui Bong Jeong

1. 서 론

배관 시스템에 작용하는 외부 기계 가진 또는 내부 맥동 유체의 가진에 의한 진동은 시스템의 파손을 야기한다. 일반적으로 이러한 배관시스템의 진동을 저감하기 위하여 배관을 지지하는 마운트를 부착한다. 마운트의 강성의 크기에 따라 시스템의 진동 레벨이 달라지는데, 본 연구는 최속 강하법을 사용하여 시스템의 진동 레벨을 최소화 하는 마운트 강성 설계법을 제안한다.

2. 관련 이론

Fig. 1 과 같이 일정한 강성을 가진 여러 마운트로 지지되어 있는 배관 시스템이 임의의 외력 F에 의해 가진되고 있다. 이 때 이 시스템의 진동을 최소화하기 위한 마운트 강성의 최적 설계를 위해 최속 강하 알고리즘을 적용하였다.

이 시스템의 진동 레벨을 나타내는 목적 함수를 식(1)과 같이 정의 하였다.

$$J(k_1, k_2, \dots, k_{n-1}, k_n) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\ddot{x}_i)^2} \quad (1)$$

이 목적 함수를 가장 빠르게 감소시키는 경사도 벡터 $-\{c\}$ 가 있을 때 목적 함수를 최소화 하기 위한 강성은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

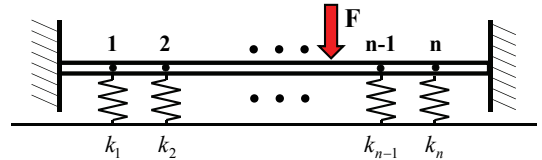


Fig. 1 Pipe-mount system under external force

$$\{k\}^{(N+1)} = \{k\}^N - \alpha\{c\} \quad (2)$$

여기서

$$-\{c\} = -\nabla J = -\left\{ \frac{\partial J}{\partial k_1} \quad \frac{\partial J}{\partial k_2} \quad \dots \quad \frac{\partial J}{\partial k_n} \right\}^T \quad (3)$$

$$\{k\} = \{k_1 \quad k_2 \quad \dots \quad k_{n-1} \quad k_n\}^T \quad (4)$$

목적 함수 J를 최소화 하는 α 는 황금 분할법으로 구할 수 있다. 황금 분할법에 의하면 α 는 식 (4)와 같은 수열로 나타낼 수 있으며 α 변화에 따른 목적 함수 J의 변화는 Fig. 2 와 같이 나타낼 수 있다.

$$\alpha_q = \sum_{j=0}^q \delta(1.618)^j, \quad q=0, 1, 2, \dots \quad (4)$$

초기에 설정된 α 의 상한과 하한사이의 최소 α_{min} 값을 설정하고 Fig. 3 과 같이 구간의 재분할 및 새로운 상한과 하한을 설정하는 과정의 반복을 통해 최적의 α 를 구한다. 구해진 α 는 식(2)에 다시 대입하여 α 값의 변화가 설정된 수렴 조건을 만족할 때까지 위의 과정을 반복하여 최종 α 를 구하게 된다.

† 교신저자: 정희원, 부산대학교 기계공학부

E-mail : wbjeong@pusan.ac.kr

Tel : 051-510-2337 , Fax : 051-517-3805

* 부산대학교 기계공학부

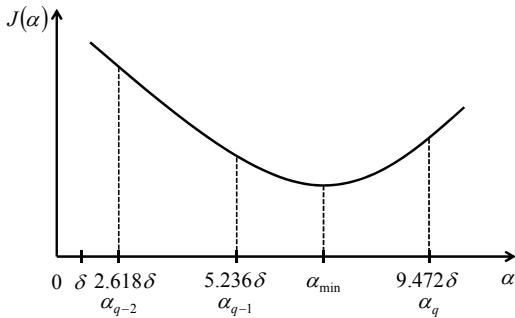


Fig. 2 Objective function J according to α

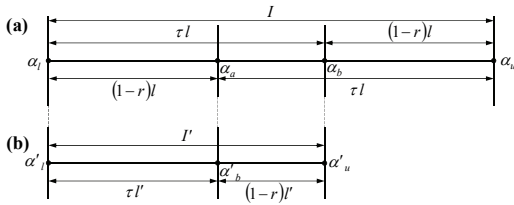


Fig. 3 Re-division of the interval of uncertainty I

3. 응용

Fig.4 와 같이 두개의 마운트로 지지되어 있고 외력 F 가 작용하는 배관 시스템이 있다. 0~400Hz의 주파수 범위에서 이 시스템의 진동을 저감하기 위한 최적의 마운트 강성 값을 소개된 방법을 사용하여 계산해보았다. 목적함수 J 는 식 (5)와 같다.

$$J(k_{1x}, k_{1y}, k_{1z}, k_{2x}, k_{2y}, k_{2z}) = \sum_{f=0\text{Hz}}^{400\text{Hz}} \left(\sqrt{\sum_{i=1}^{31} (a_i)^2} \right) \quad (5)$$

최적 설계 전후의 목적함수값과 강성값의 비교는 Table 1 과 같다.

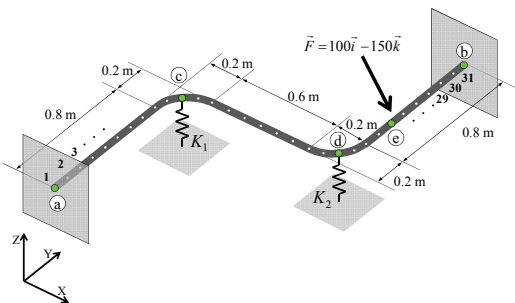


Fig. 4 Pipe and mount system

Table 1 Before and after of mount stiffness optimization

	before	after
$J(\times 10^2)$ [m/s^2]	4.3794	1.7117
$k_{1x}(\times 10^7)$ [N/m]	1.0000	0.9989
$k_{1y}(\times 10^7)$ [N/m]	1.0000	1.0090
$k_{1z}(\times 10^7)$ [N/m]	1.0000	0.9629
$k_{2x}(\times 10^7)$ [N/m]	1.0000	0.9990
$k_{2y}(\times 10^7)$ [N/m]	1.0000	1.0090
$k_{2z}(\times 10^7)$ [N/m]	1.0000	0.9628

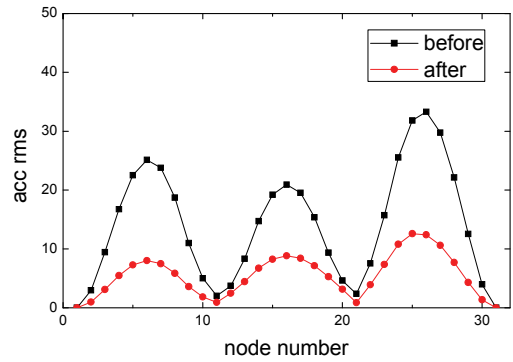


Fig. 5 Accelerations comparison between before and after optimization process

그리고 주어진 주파수 범위 내에서 최적 설계 전후의 배관의 전체 node 에서의 가속도 레벨을 식 (6)과 같이 정의 하였다.

$$A_i = \sum_{f=0\text{Hz}}^{400\text{Hz}} \sqrt{(a_i)^2}, \quad (i=1,31) \quad (6)$$

이때 최적 설계 전후의 각 node 의 값은 Fig. 5 와 같이 나타낼 수 있는데, 최적 설계 후 가속도 레벨이 많이 감소하였음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 최속강하법을 사용하여 배관시스템의 마운트 강성 최적 설계 알고리즘을 설명하였으며 임의의 모델에 대해 이를 적용하여 마운트 강성 최적 설계 전 후의 결과를 비교하였다.