

유동이 있는 배관-마운트 계의 진동저감설계 CAE Tool개발

Development of CAE tool for reducing vibration of pipe-mount system conveying fluid.

이성현* · 전수홍* · 정의봉**

Seong Hyeon Lee, Su Hong Jeon and Weui Bong Jeong

Key Words : Fluid force(유체력), FEM(유한요소법), Mount Stiffness(배관지지강성), Fluid Pulsation(유체 맥동)Optimum Design of mount(마운트 최적 설계)

ABSTRACT

In this research, the finite element model is formulated taking into consideration of the effects of the fluid flow in a pipe. The characteristic of vibration is presented using mass, damping and stiffness matrix in the finite element equation of this pipe system. The displacement distribution of pipe system caused by fluid force is discussed. The method for optimizing the location of mount and the value of mount stiffness to reduce the vibration of pipe system is introduced.

1. 서 론

본 연구에서는 산업 및 가전 기기 전반에 널리 사용되는 맥동 유체를 운반하는 배관 시스템의 진동 저감을 위한 마운트 최적 설계 설계 프로그램을 개발하였다.

2. 관련 이론

2.1 유체를 고려한 배관의 운동방정식

Fig. 1은 유체를 포함한 배관의 한 요소를 보여주고 있으며, (a)는 유체가 작용하는 힘을, (b)는 배관에 작용하는 힘을 각각 나타내고 있다. Fig. 1의 (a), (b)에서 각각의 유체 요소와 배관 요소의 힘 평형식을 각각 구하여 조합하면 구조 유체 연성 운동 방정식을 유도할 수 있다.

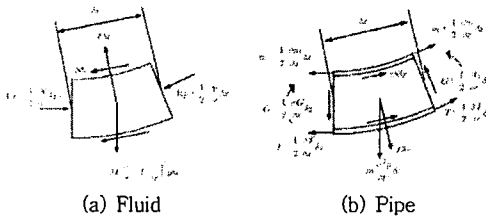


Fig.1 Forces and Moments acting on Element

가중잔차법(weighted residual method) 중에서 가중함수(weighting function)를 시도함수(trial function)와 같다고 가정하는 Galerkin법을 이용하여 운동방정식을 식 (1), (2), (3)과 같이 이산화 된 운동방정식으로 근사할 수 있다.

$$\{([K]_{p,b} - [K]_{f,b}) - \omega^2([M]_{p,b} + [M]_{f,b}) + j\omega[C]_{f,b}\}\{Y\} = \{0\} \quad (1)$$

$$\{[K]_{p,a} - \omega^2([M]_{p,a} + [M]_{f,a})\}\{U\} = \{0\} \quad (2)$$

$$\{[K]_{p,t} - \omega^2[M]_{p,t}\}\{\Phi\} = \{0\} \quad (3)$$

2.2 배관 내 유체력 해석

Fig. 2는 곡률 반경이 R이고, 각 θ 로 휘어져 있는 유체가 흐르는 곡관을 나타낸다. Fig. 2의 곡관에 대하여 Momentum Equation을 유도하여 정리하면 식 (4)를 유도할 수 있다.

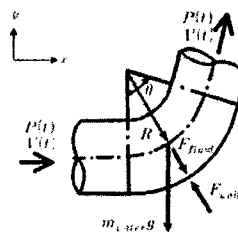


Fig. 2 Curved Pipe

* 부산대학교 대학원 기계공학부

** 부산대학교 기계공학부

$$\vec{F}_{fluid} = \vec{F}_{dynamic} + \vec{F}_{static} \quad (4)$$

2.3 마운트 최적 설계 원리

본 연구에서는 마운트 설치 위치 최적 설계와 설치된 마운트 강성 최적 설계 이렇게 두 가지 최적 설계 방법을 제시한다. 최적 설계 목적함수는 식 (5)와 같다. 함수 f 는 변위, 속도, 가속도, 마운트 전달력을 나타낸다.

$$J_{cost}(i, j) = \frac{1}{n_{node}} \sum_{i=f_{lower}}^{f_{upper}} \left\{ \sum_{j=1}^{n_{node}} \{f(i, j)\}^2 \right\} \quad (5)$$

(1) 마운트 위치 최적 설계

마운트 설치 위치를 최적 설계 하는 방법은 마운트가 설치된 지점을 사용자가 지정한 범위 내에서 식(5)의 목적함수를 최소화 하는 위치를 찾는 것으로 한다.

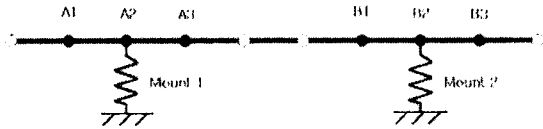


Fig.3 Pipe-mount model

Fig. 3과 같은 배관-마운트 시스템을 가정하자. 위치 최적 설계의 초기 조건은 우선 마운트 설치 위치의 이동 가능 범위를 지정해주는 것이다. 초기 설치 위치를 기준으로 좌우로 한 node 씩 이동하면서 목적함수를 최소화 하는 마운트의 위치를 찾으면 최적 설계가 완료된다.

(2) 마운트 강성 최적 설계

마운트 강성 최적 설계는 초기 설치된 강성 값을 기준으로 상하한 강성 범위를 정하면 목적함수 값을 최소화하는 최적의 강성 값을 설계하게 된다.

3. 사용자 환경

Fig. 4는 본 마운트 최적 설계 프로그램의 GUI 환경이다. 상용 모델링 프로그램으로부터 모델 파일을 불러와서 손쉽게 배관 마운트 최적 설계를 수행 할 수 있도록 개발되었다.

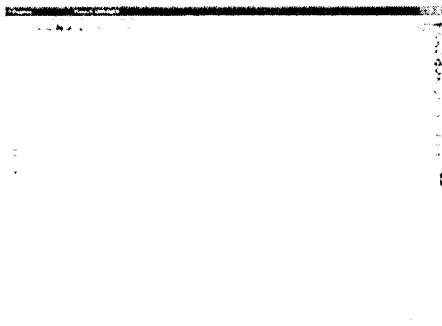


Fig. 4 GUI of mount optimum design program

4. 해석 결과



Fig.5 Pipe-Mount model

Fig. 5 는 본 해석에 사용한 배관-마운트 모델이다. node 30, 31로 맥동 유량과 압력이 들어가고 합류되어 node1로 나오는 구조이다. 배관의 재질은 steel 이고, Fig. 5 와 같이 4곳에 마운트를 설치한다고 가정한다. 마운트 강성의 초기 값은 모두 $1 \times 10^6 [N/m]$ 이다. 입력 유량은 주기가 1초, 최대값이 $12 [kg/s]$ 인 톱니파형, 입력 압력은 주기가 1초, 최대값이 $6.3 \times 10^6 [Pa]$ 인 톱니파형이다. 유량과 압력의 Sampling interval은 $1.95 \times 10^{-3} [s]$ 이다. 이 모델에 대해서 배관 변위를 최소화 하는 마운트 위치 최적 설계를 시행해보았다.

Fig. 6 은 마운트 위치 최적 설계 결과를 보여준다. 최적 설계 전후로 배관의 전체 변위 분포가 감소하였음을 알 수 있다. 마운트 설치 위치는 변화는 node 12, 22, 39, 49에서 node 10, 21, 40, 51로 각각 바뀌었다.

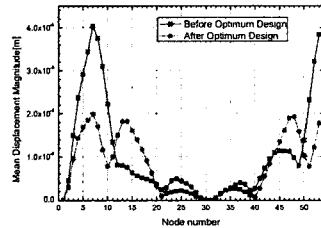


Fig.6 The result of mount location optimization

5. 결론

본 연구에서는 배관 마운트 구조물의 진동을 저감하기 위한 배관 마운트 설치 위치의 최적 설계 방법을 제시하였다. 또한 설치된 마운트의 최적 강성 값을 찾는 방법을 제시하였다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신 인력양성사업으로 수행된 연구결과입니다.