

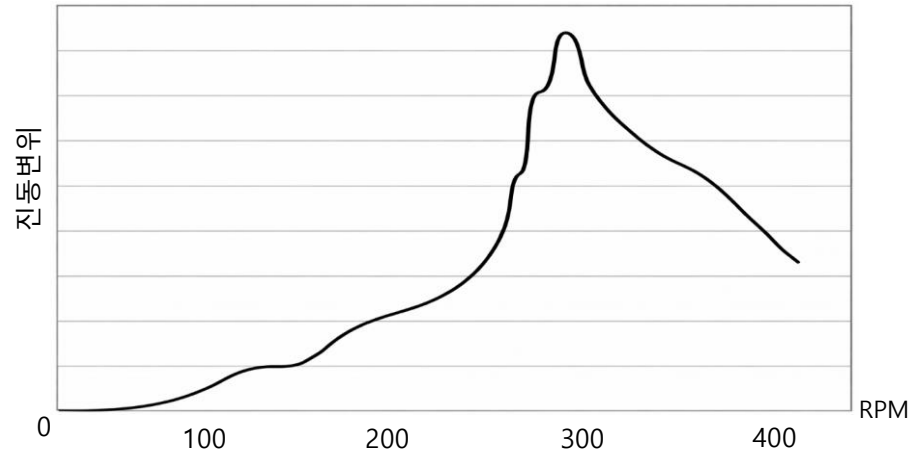
산업용 혼합기의 공진진동 저감을 위한 동흡진기 적용

1. 현상 및 문제점

- 원통형 회전체가 회전하며 원재료를 배합하는 산업용 혼합기가 속도가 증가함에 따라 진동이 커지는 현상이 발생됨
- 진동 측정결과 특정 RPM에서 혼합기 본체가 매우 심하게 흔들리는 현상이 발생됨 : 공진현상으로 추정됨
- 이 혼합기의 최고속도는 420RPM이며 최고속도에 도달하기전 약 300RPM 정도에서 혼합기 전체가 좌우로 크게 흔들림
- 구조공진인 경우 공진회피를 위한 구조변경, 감쇠적용, 운전속도변경등의 대책이 적용될수 있으나 다음과 같은 문제점이 존재
 - 구조변경 : 혼합기의 공진점을 운전속도보다 높이기 위해서는 매우 큰 강성보강이 필요 → 매우큰 비용발생
 - 감쇠적용 : 공진진폭을 줄이기 위한 효과적인 방법이지만 Steel 재질의 Body전체의 감쇠적용에 한계가 있음
 - 운전속도변경 : 운전속도를 공진점 이하로 설정할 경우 원재료의 혼합성능이 저하됨
- 따라서 본 문제가 구조공진인 경우 공진점의 진동저감을 위해 동적 흡진장치의 적용이 합리적임



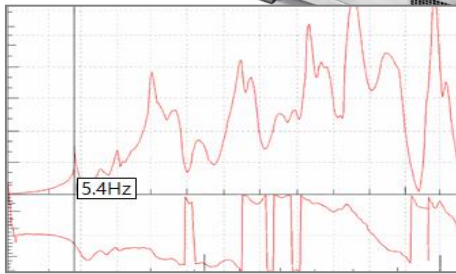
< 산업용 혼합기 : 기업보안으로 인한 이미지 처리 >



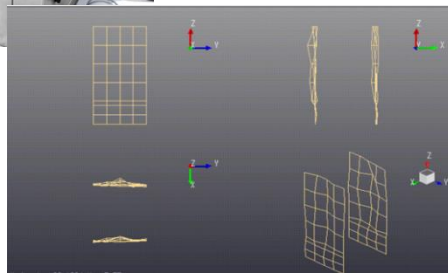
< 산업용 혼합기의 진동응답 >

2. 구조공진 검토 : Modal Testing 및 모드해석

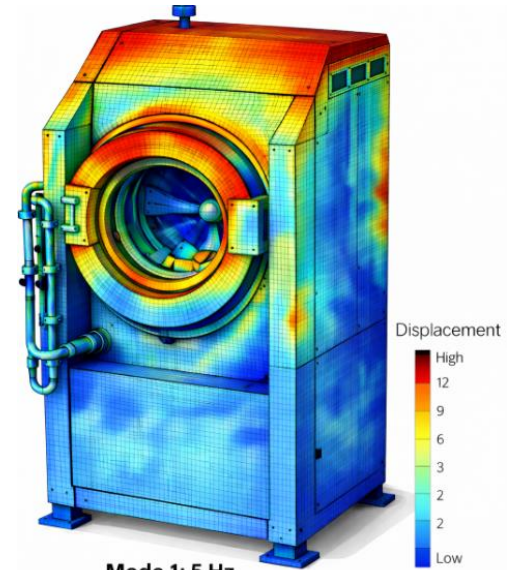
- 산업용 혼합기의 진동이 구조공진에 의한 진동임을 확인하기 위해서 모드실험을 실시함
- Impact Test와 모드해석을 통해 모드형상과 구조전달 함수를 산출하고 해석결과와 비교를 통해서 신뢰도를 검증함
- 모드 실험 및 해석결과 약 5.5Hz에서 전달함수의 위상이 반전되고 모드형상이 좌우로 흔들리는 외팔보의 1차 모드형상이 확인됨
- 운전중 진동응답 증폭현상이 구조공진임이 확인됨에 따라 공진진폭을 감소시키기 위해 동흡진기를 설계함



< 혼합기의 좌우모드FRF 응답 >



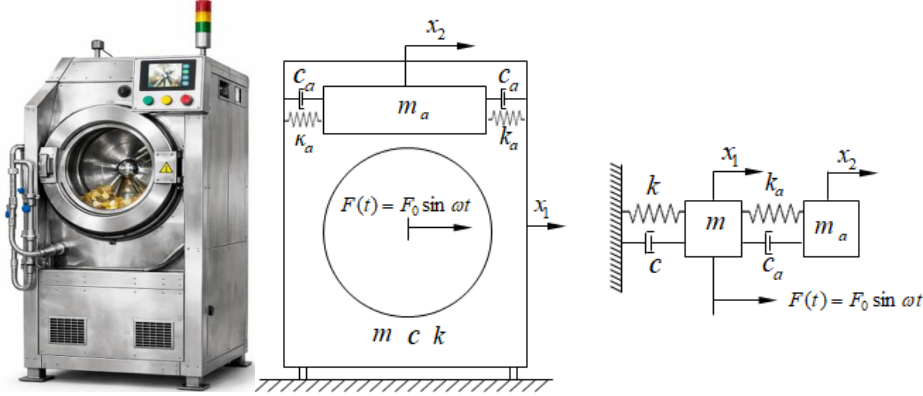
< 혼합기의 1st Mode shape >



Mode 1: 5 Hz
1st Natural Frequency

3. 동흡진기 이론 및 설계

- 산업용 혼합기에 동흡진기를 장착한 구조를 설계하고 자유물체도로 부터 운동방정식을 구성함
- 운동방정식의 이론해로 부터 운전속도와 동흡진기의 질량, 강성, 감쇠를 설계변수로 선정할수 있음
- 공진에서의진폭 최소화를 위해 각각의 설계변수를 최적화 해야함.



[지배방정식]

$$\begin{bmatrix} m & 0 \\ 0 & m_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{x}_a \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c+c_a & -c_a \\ -c_a & c_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{x}_a \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k+k_a & -k_a \\ -k_a & k_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ x_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_0 \sin \omega t \\ 0 \end{bmatrix}$$

[주질량(산업용 혼합기)의 진동응답]

$$\frac{Xk}{F_0} = \sqrt{\frac{(2\zeta r)^2 + (r^2 - \beta^2)^2}{(2\zeta r)^2 (r^2 - 1 + \mu r^2)^2 + [\mu r^2 \beta^2 - (r^2 - 1)(r^2 - \beta^2)]^2}}$$

where) ω_p : 주질량(혼합기)의 고유진동수

ω : 운전주파수

m_a : 동흡진기 질량

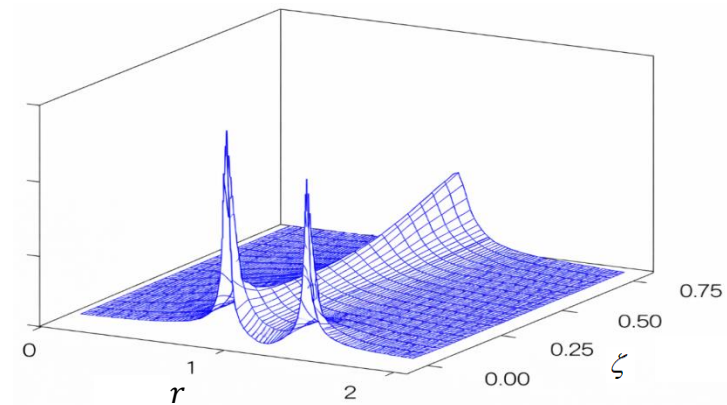
m : 주질량(혼합기 질량)

$\mu = \frac{m_a}{m}$: 질량비

$\zeta = \frac{c_a}{2m_a\omega_p}$: 감쇠비

$r = \frac{\omega}{\omega_p}$: 속도비

$\beta = \frac{\omega_a}{\omega_p}$: 고유진동수 비



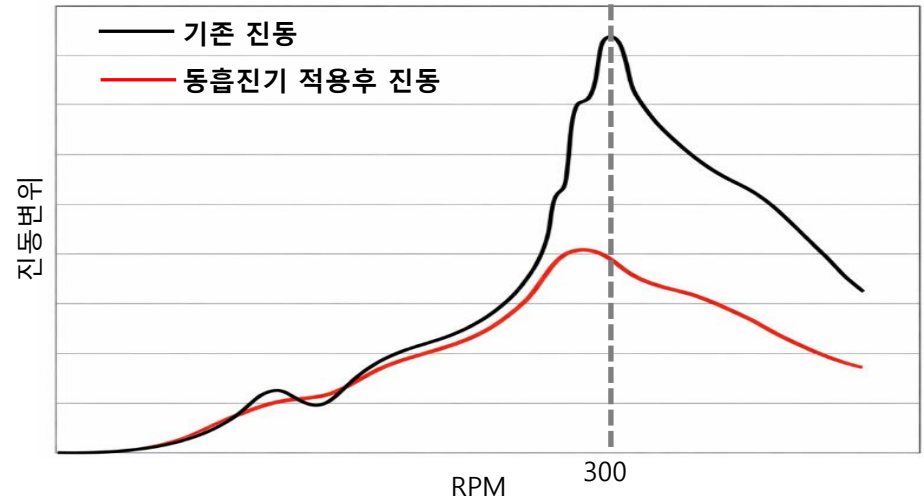
< 동흡진기에 의한 진동응답 Simulation >

5. 적용결과 및 개선

- 혼합기의 전방 상단부에 설계된 동흡진기를 설치후 개선여부를 검증 함
- 고속 혼합시 사용하는 속도인 약 500rpm까지 운전하면서 구조공진에 의한 진동감소 효과를 확인함
- 혼합기의 공진주파수 부근에서 기존대비 약 50%수준의 진동이 개선됨
- 공진주파수 이후의 고속운전 영역에서도 동흡진기 장착 전 대비 진동수준이 감소됨



< 혼합기 상단 동흡진기 설치모습 >



< 동흡진기 설치 전/후 혼합기의 진동 값 >