



II. 진동 이론



1. 진동의 정의

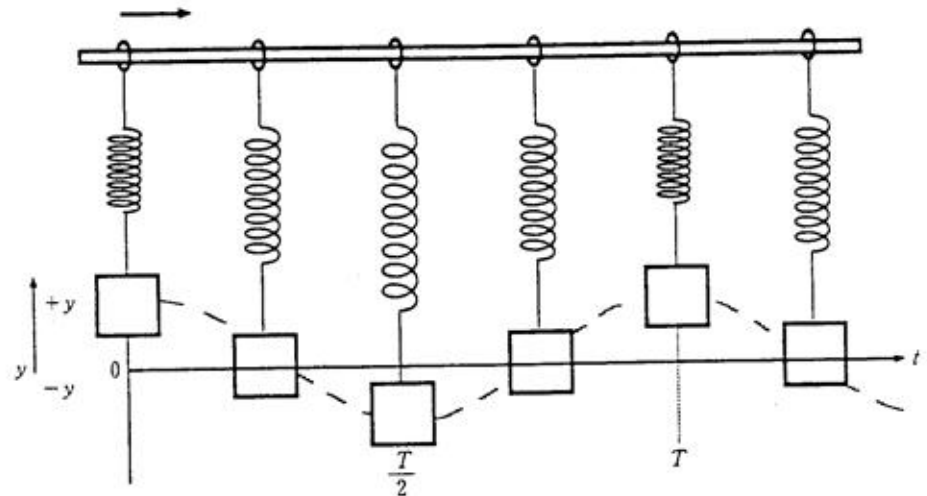
1) 진동의 발생원

인위적으로 발생하는 진동으로 다음 3가지 요인에 의해 주로 발생됨.

- 충격진동 : 폭발, 타격 등에 의한 충격진동
- 정상진동 : 일반 산업장의 기계 등에서 정상적으로 발생하는 지속적인 정상진동
- 복합진동 : 충격 및 정상진동의 혼합, 중첩된 진동

2) 진동용어

- 주 기 (Sec)
- 주파수 (Hz)
- 변 위 (mm)
- 속 도 (cm/sec, kine)
- 가속도 (cm/s^2 , gal)





1. 진동의 정의

3) 진동레벨

가속도 진동에 대한 표현단위를 “레벨” 즉 log 단위로 표현한 것

- 진동가속도레벨(VAL, Vibration Acceleration Level)
진동 물리량을 dB로 나타낸 것.

$$VAL = 20 \log (A_{rms} / A_{ref})$$

- 진동레벨(VL, Vibration Level)

: VAL에 1~90Hz 범위 내에서 인체의 진동감각특성(수직 or 수평)을 보정한 후의 레벨

$$VL = VAL + W_n \quad [dB(V)] \text{ or } [dB(H)]$$

Quantity		Definition	Ref.level
Amplitude Ratios	Vibatory Acc.Level	$L_a = 20 \log_{10} (a / a_o) dB$	$a_o = 10^{-6} m / s^2$
	Vibatory Vel.Level	$L_v = 20 \log_{10} (V / V_o) dB$	$V_o = 10^{-9} m / s^2$
	Vibratory Force Level	$L_F = 20 \log_{10} (F / F_o) dB$	$F_o = 10^{-4} N$



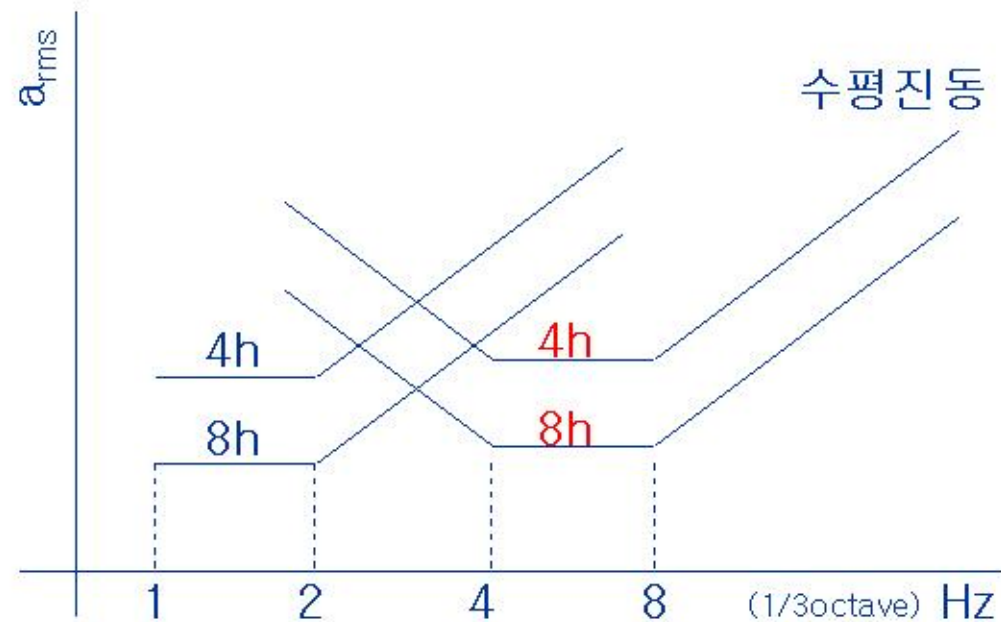
1. 진동의 정의

4) 등감각곡선 (Equal Perceived Acceleration Contour)

- 수평진동 : 1~2Hz, 수직진동 : 4~8Hz

- 수직보정레벨

“진동레벨계에는 소음계와 같이 감각보정회로가 내장되어 있는데, KS(소음진동규제법)에서는 V특성으로 계측토록하고 있으며 이는 공해진동의 대부분이 상하진동 성분이기 때문”



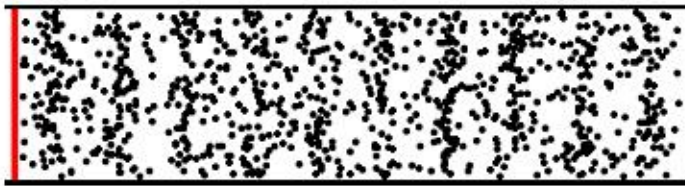


1. 진동의 정의

5) 진동의 인체 감각

- 최소 감각 진동레벨 : 진동의 역치 (Threshold Shift)
- $55\text{dB} \pm 5$ (소음의 경우 역치 : 0dB)

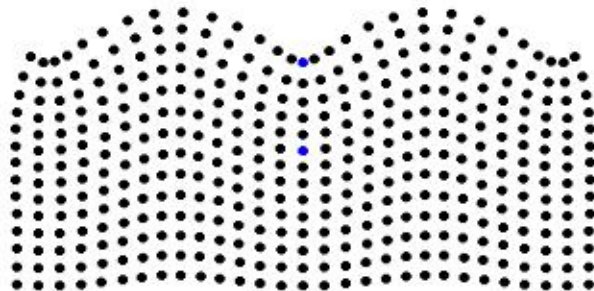
6) 진동의 형태



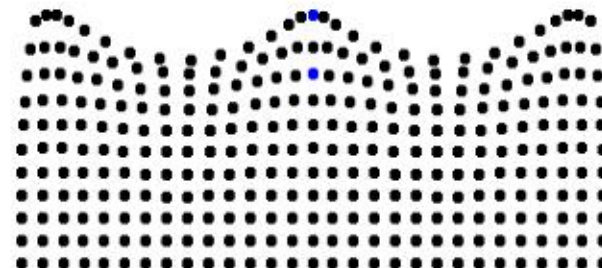
종파(Longitudinal Wave)



횡파(Transverse Wave)



레이리파(Rayleigh Wave)



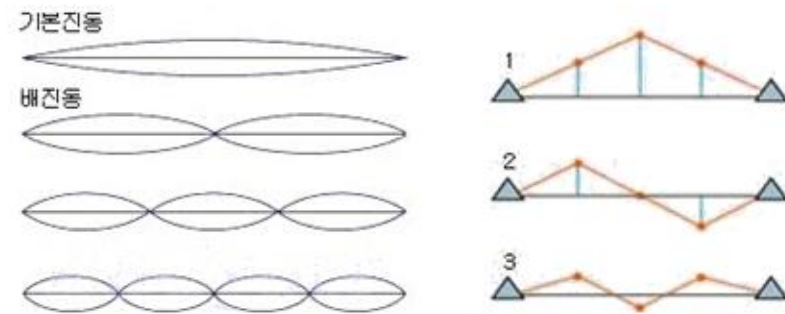
수면파(Water Wave)



1. 진동의 정의

7) 진동형태

- 자유진동
비감쇠자유진동
감쇠자유진동
- 강제진동
비감쇠강제진동
감쇠강제진동

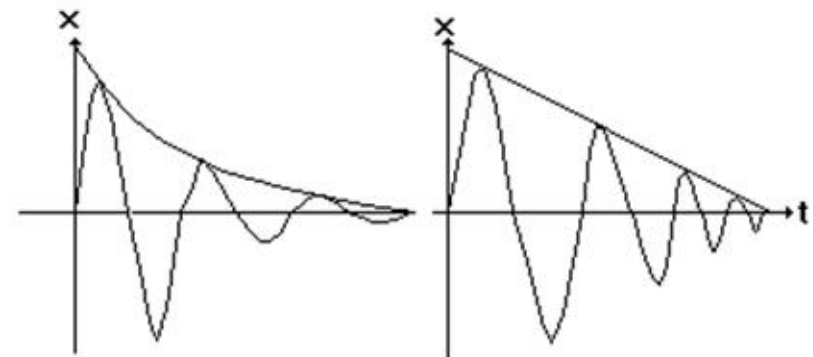


기본진동

고유진동

8) 감쇠 (Damping)

- 점성감쇠
: 유체를 사이에 둔 상태
- 건마찰감쇠
: 평판사이의 마찰
- 구조감쇠



Viscous Damping

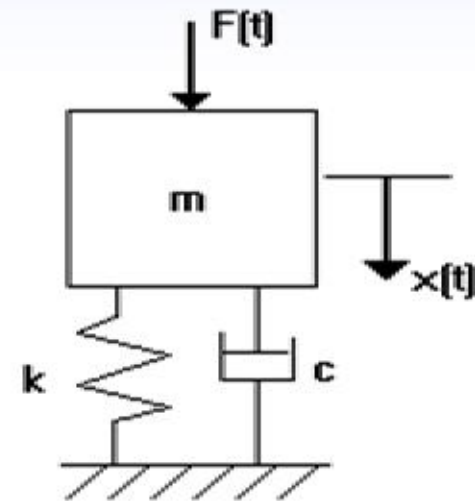
Structural Damping

2. 계의 운동

1) 계의 운동방정식

$$m\ddot{x} + c_e\dot{x} + kx = F_o \sin \omega t$$

m : 질량
c_e : 감쇠계수
k : 스프링 상수
F_o : 가진력 크기
ω : 가진 각주파수
x : 변위



SDOF

2) 정적수축량과 고유진동수

$$\delta_{st} = \frac{mg}{k}, \quad f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{\delta_{st}}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{980}{\delta_{st}}} \approx 4.98 \sqrt{\frac{1}{\delta_{st}}}$$

δ : 정적수축량(cm)
m : 질량
k : 스프링 상수
g : 중력가속도



2. 계의 운동

3) 전달율 (Transmissibility)

$$T_R = \frac{F_T}{F_0} = \sqrt{\frac{1 + (2\xi\eta)^2}{\{1 - \eta^2\}^2 + (2\xi\eta)^2}}$$

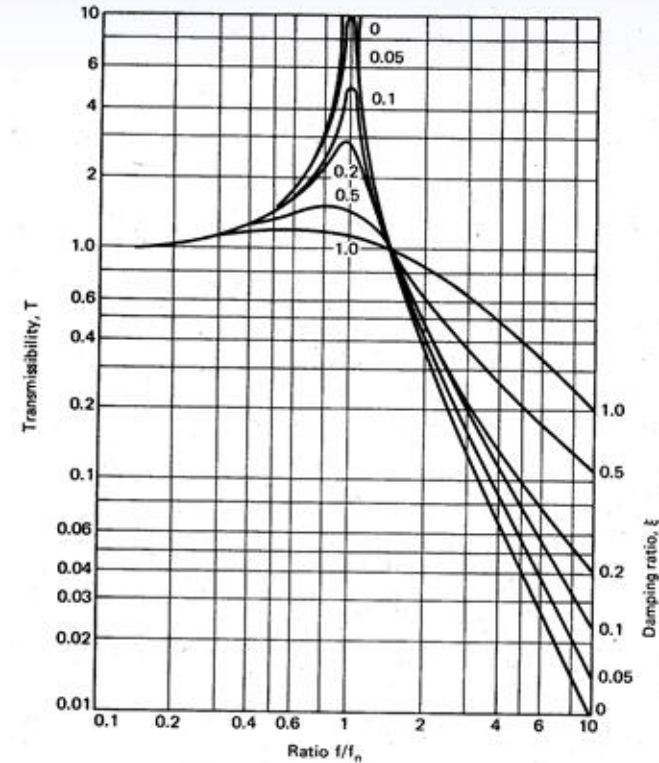
F_T : 전달력
 F_0 : 외력
 ξ : 감쇠비
 η : 진동수비

4) 방진효율

- 차진율($1-T_R$)이라고도 함
- 진동에너지 관점에서의 효율

$$\text{방진효율} = (1-T_R) \times 100(\%)$$

$$\text{진동저감량} = 20 \log\left(\frac{1}{T_R}\right)$$



$$\frac{\omega}{\omega_n} = 1 : \text{공진}$$

$$\frac{\omega}{\omega_n} < \sqrt{2} : \text{증폭}$$

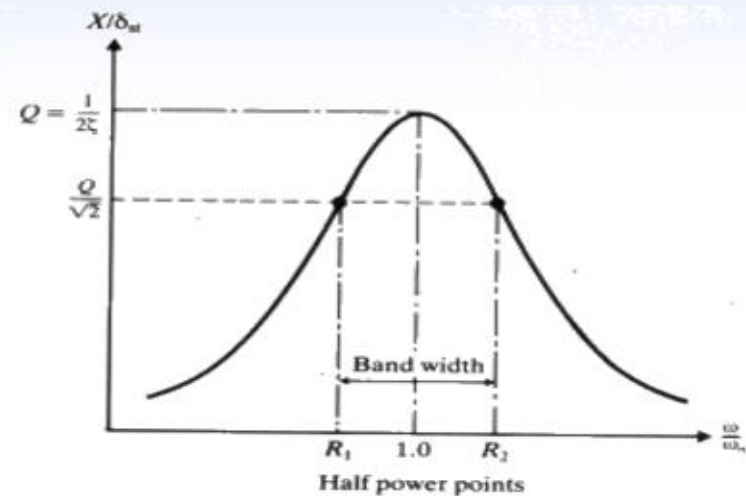
$$\frac{\omega}{\omega_n} > \sqrt{2} : \text{차진영역}$$



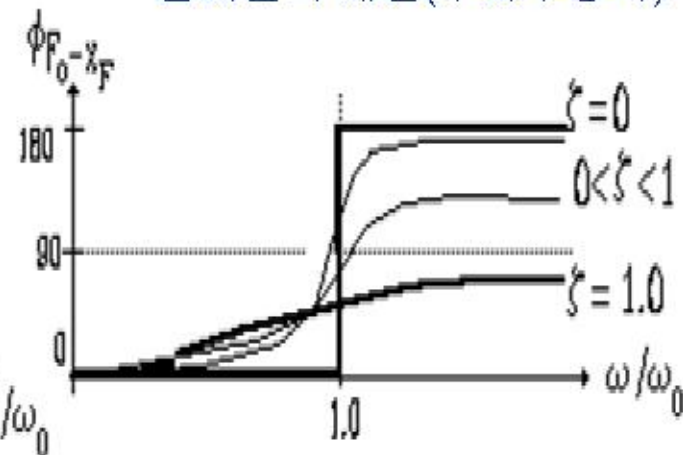
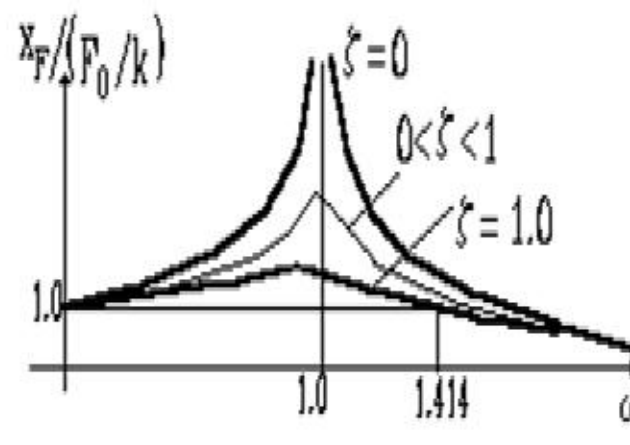
2. 계의 운동

5) 감쇠계수 (Damping Coefficient)

- 부족감쇠 ($0 < \xi < 1$)
- 임계감쇠 ($\xi = 1$)
- 과감쇠 ($\xi > 1$)



감쇠율의 계산(주파수영역)

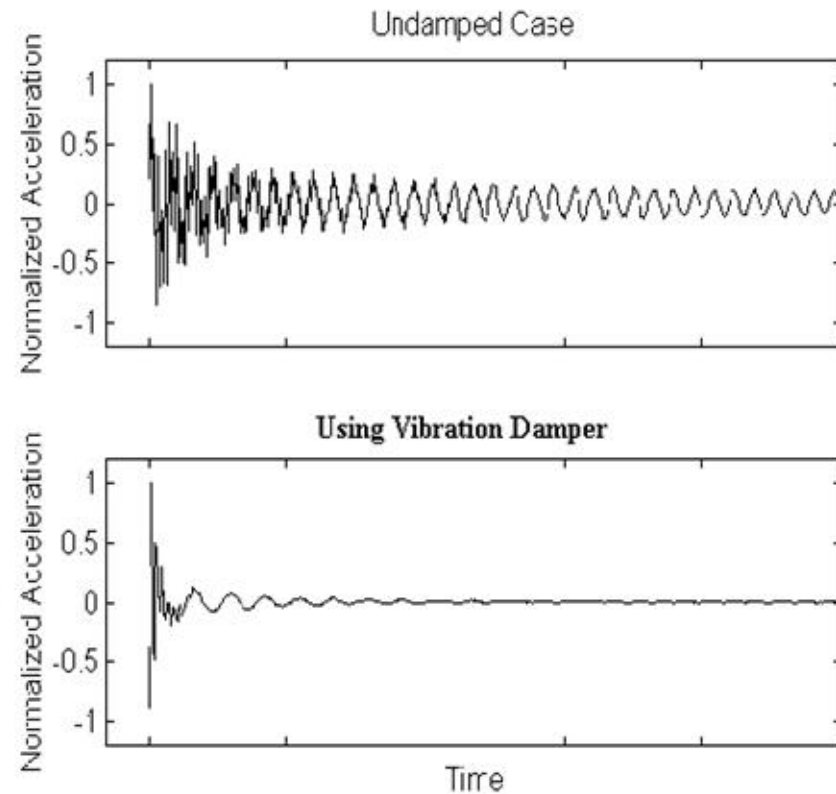
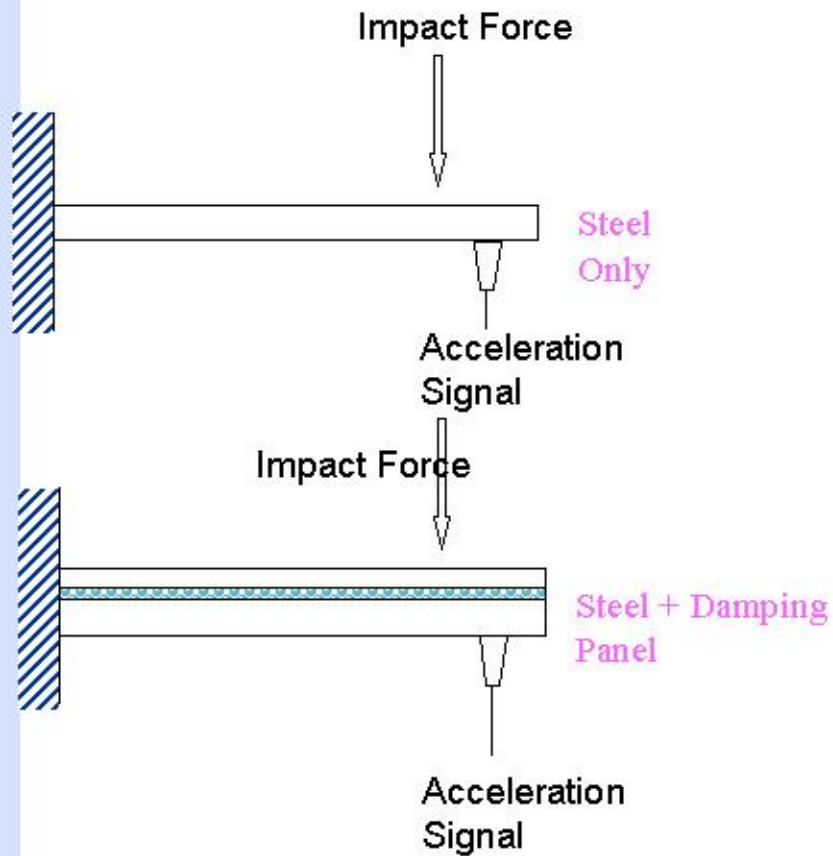


감쇠비에 따른 진폭비 및 위상변화

2. 계의 운동

6) 감쇠계수 (Damping Coefficient)

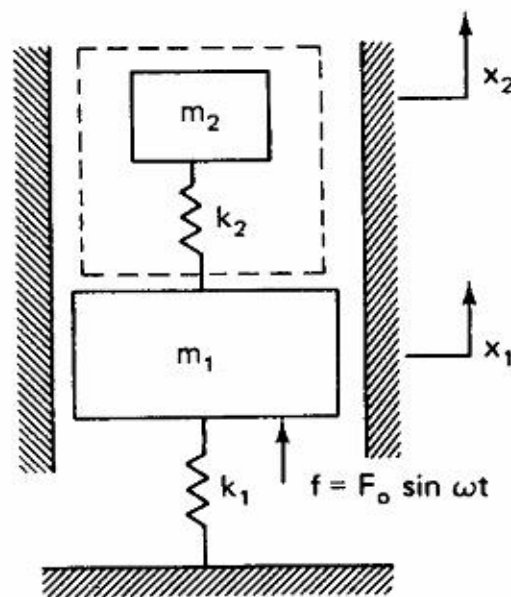
- 시간영역에서 감쇠율 계산
대수감쇠율



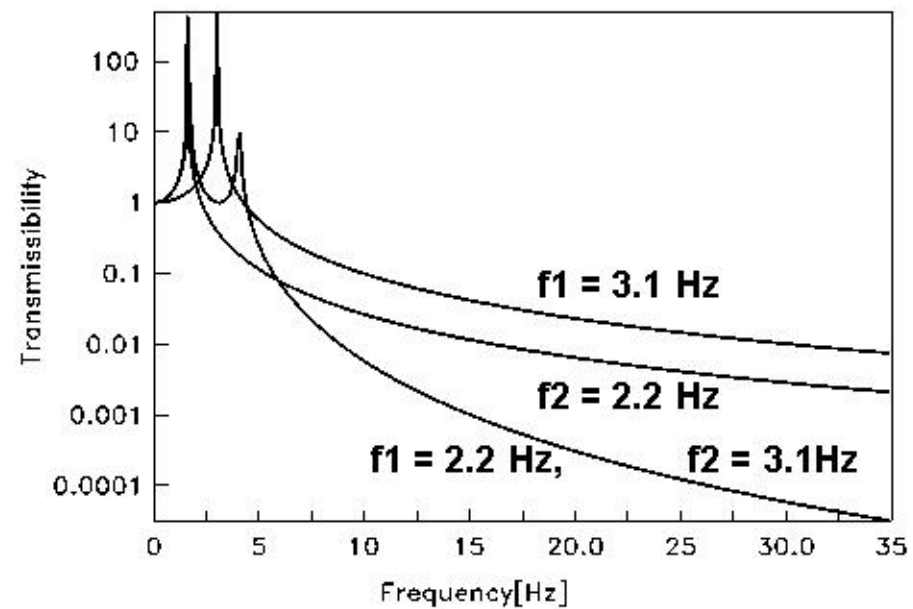
2. 계의 운동

7) 2자유도 진동계

- 자유도(DOF : Degree of Freedom)
System의 운동을 제어할 수 있는 질 점의 수



2자유도 진동계



전달을 비교(단일방진 및 2중 방진)



3. 탄성지지 재료

1) 탄성지지 재료의 선정기준

구분	펠트류	코르크	방진고무	금속스프링	공기스프링
유효주파수범위	25~50	20~30	5~20	2~10	5 이하
정적변위의 제한	-	최대 10cm 두께 일때 6%까지	최대두께의 10%까지	설계자유	설계자유
허용하중 kg/cm ²	0.2~1.5	2.5~4	2~6	설계자유	설계자유
감쇠비	0.05~0.06	0.05~0.06	0.05	0.005	-
간결성	양호	양호	우수	양호	보통
내열성	양호	양호	우수	양호	보통
내유성	양호	양호	보통	우수	양호
내구성	보통	양호	양호	우수	양호
설치성	우수	우수	보통	보통	주의 요망
경제성	저렴	저렴	보통	보통	고가



3. 탄성지지 재료

2) 스프링 방진 마운트



VHS 밀폐형



VOS 개방형



스프링 행거



LSM-1 제한형



LSM-2 제한형



HDSI



SCH



3. 탄성지지 재료

3) 방진 고무 마운트 & PAD



VGA 입상관용



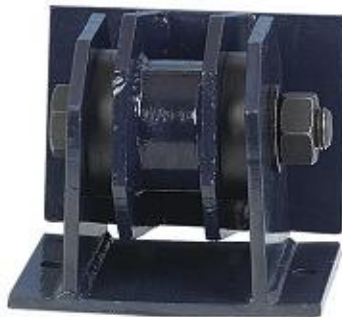
VNH 고무 행가



HERM 고효율



VNP 패드



VSS SNUBER



VNM 고무 마운트



PPM 마운트



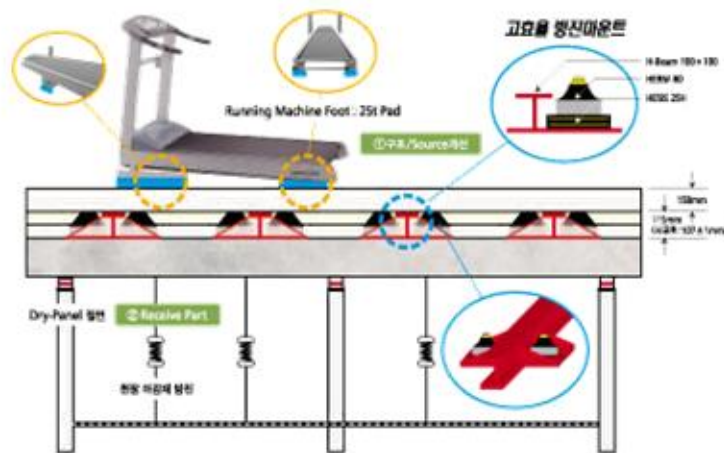
CR PAD



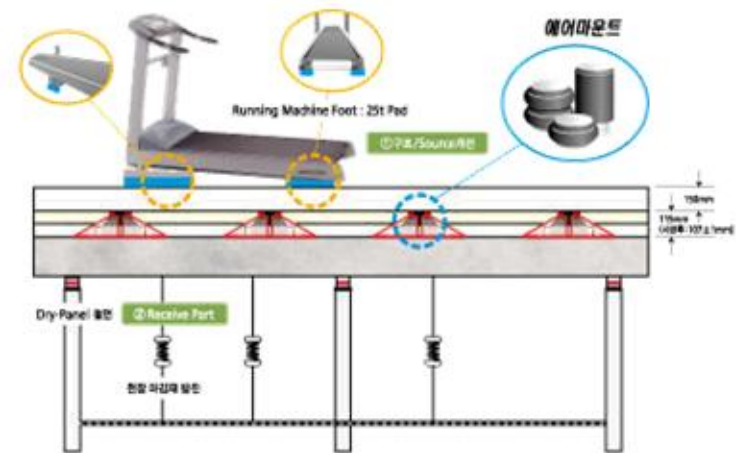
3. 탄성지지 재료

4) AIR 스프링 마운트

소음, 진동저감대책 설계 A안



소음, 진동저감대책 설계 B안



구조해석을 통한 에어스프링 설치





3. 탄성지지 재료

5) 처짐량과 고유진동수의 관계

$$d = \frac{W}{k} \text{ [cm]}$$

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{g}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{M}}$$

$$= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{d}} = \frac{5.0}{\sqrt{d}}$$

W : 기계의 중량
M : 기계의 질량
k : 스프링 상수

(예)

가진 주파수	정적 처짐량	고유진동수	전달률 (Tr)	방진 효과	
10Hz(600rpm)	2.54cm(1in)	3.1Hz(186rpm)	0.106	90.0%	20dB
	5.08cm(2in)	2.2Hz(132rpm)	0.051	95.0%	26dB
	7.62cm(3in)	1.8Hz(108rpm)	0.033	96.7%	30dB
20Hz(1,200rpm)	2.54cm(1in)	3.1Hz(186Hz)	0.025	97.5%	32dB
	5.08cm(2in)	2.2Hz(132rpm)	0.012	98.8%	38dB
	7.62cm(3in)	1.8Hz(108rpm)	0.008	99.2%	42dB



4. 진동의 응용

1) 동흡진기

- 방진설계의 오류로 인해 시스템에 진동이 발생하는 경우 System에 추가적인 질량과 탄성을 부가하여 전체적인 System의 진동을 저감하는 방법

