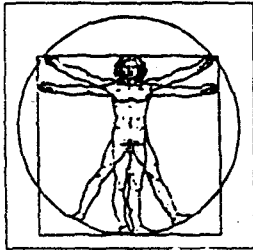


반도체 공장의 방진대책



1. 서 론

산업의 발달과 더불어 진동은 모두 분야에서 관심의 대상이 되어 오늘에 이르기까지 연구가 계속되어 오고 있다. 진동은 어떤 물체가 기준위치에서 반복운동을할때 그 물체는 진동한다고 한다. 또한 진동은 소음과 밀접한 관계를 가지고 있기 때문에 구분하여 생각할 수 없다. 따라서 실제 방진대책을 강구할때 그 우선 순위에 따라 적절한 대책을 하는것이 일반적이다. 그러나 본문에서는 진동에 대한 기본개념, 측정과 분석방법 그리고 그 대책에 대하여만 서술하고자 한다. 실제로 진동을 완전히 피하기란 매우 어렵다. 일반적으로 회전하는기계나 왕복운동을 하는 물체에서는 불균형한 힘들과 각 부속품들 사이에서 발생하는 마찰, 회전접속, 제작상의 공차로 인해 동력학적 영향으로 진동이 발생한다. 때때로 무시할 만한 작은 진동도 그물체에 접속된 다른 구조물의 공진주파수에서 공진되어 큰 진동이 발생되고 이와 아울러 소음을 유발시키기도 한다.

이러한 진동은 산업의 고도화에 따라 제품의 정밀도에도 크게 영향을 미치고 있으며, 모든산업분야에서 진동의 제진 및 방진에 대한 연구가 가속화되고 있다.

또한 진동이 인체에 가해졌을때 육체적인 장애외에도 신경장애를 일으키는 경우도 있다. 특히 진동이 가해지는 부분이 손으로

한정되어 있을 때, White Finger라는 증후군이 발생하게 되어 손의 마비상태를 초래하기도 한다.

이와 반대로 진동을 공학적으로 유용하게 이용할 수도 있다. 예를 들면 부품전달장치나 초음파 세척조 및 착암기와 같은 장비들은 의도적으로 진동을 유발시켜 적절한 목적을 달성할 수 있는 것이다.

특히 최근에 들어와서는 반도체와 같은 첨단산업에 있어서는 진동이 심각한 문제로 여겨지고 있다. SUB-MICRON의 미세가공을 행하는 반도체공장의 CLEAN ROOM과 같은 곳에서는 그 요구성능으로서 CLEAN ROOM의 마루면에서 $0.1 \mu\text{M}$ 이하, 장치상에서는 $0.01 \mu\text{M}$ 이하(장치마다 다소 차이가 있음)의 진폭으로 제어하고 있다.

2. 관련 이론

2.1 진동의 형태

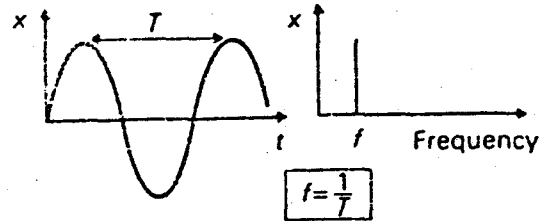
발생되는 진동의 형태는 다음의 세 종류로 나눌 수 있다.

- 주기진동 (PERIODIC VIBRATION)
- 불규칙진동 (RANDOM VIBRATION)
- 과도진동 (TRANSIENT VIBRATION)

1) 주기진동 (PERIODIC VIBRATION)

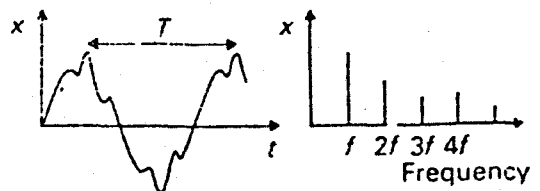
주기진동은 일정한 시간간격으로 물체가 반복운동할때를 말하며 가장 간단한 주기진동의 형태를 시간 변위상에서 사인파(sine wave)의 형태로 표시할 수 있다.

ne wave)의 형태로 표시할 수 있다.



이와 같은 주기운동을 흔히 단순조화운동 (simple harmonic motion)이라고 하며 그 대표적인 예로는 소리굽쇠(tuning fork)의 운동과 단진자(pendulum)의 운동을 들 수 있다. 이러한 형태의 운동은 스펙트럼상에서는 단일주파수로 표시된다.

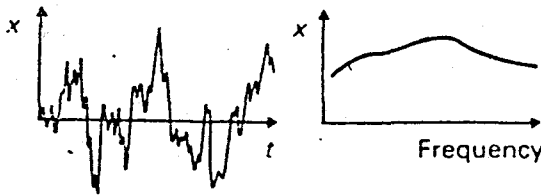
또한 여러개의 사인파가 복합된 합성주기진동의 예로는 내연기관의 피스톤의 운동과 모터나 발전기 같은 회전하는 기계의 회전력에 의해서 발생되는 진동이다. 합성주기진동의 스펙트럼은 기본주파수와 그 주파수의 고조파(harmonics)로 나타난다.



2) 불규칙진동 (RANDOM VIBRATION)

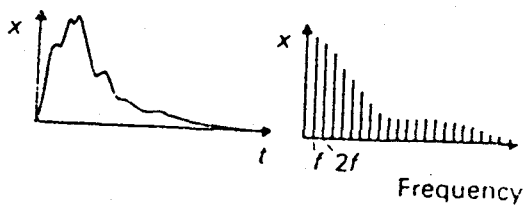
불규칙진동은 주기진동과는 달리 시간에

따라 불규칙하게 운동하고 반복적으로 운동하지 않는 진동이다. 그 대표적인 예로는 바람에 의하여 구조에서 발생된 진동과 비포장된 노면위를 달리는 자동차에서 발생된 진동을 들 수 있으며 스펙트럼상에서는 거의 모든 주파수를 포함한 연속적인 스펙트럼을 갖는다.



3) 과도진동 (TRANSIEN VIBRATION)

과도진동은 운동시작 직후 짧은시간내에 그 운동이 소멸되는 진동으로 차량의 통과로 인하여 건물로 전달되는 진동과 기계부품의 하나인 기어의 이에서 발생하는 충격력이 대표적인 예이다. 특히 바이올린의 줄에서 발생하는 과도진동의 주파수 내용은 합성주기진동과 유사하다.



2.2 진동의 단위 및 용어

진동은 다음의 세 종류로 측정되고 표시된다.

- 변위 (DISPLACEMENT)
- 속도 (VELOCITY)
- 가속도 (ACCELERATION)

1) 변위 (DISPLACEMENT)

진동에서 시간 t 에 대한 변위 X 는 다음 식으로 나타낸다.

$$X = X_0 \sin \omega t \dots\dots\dots (1)$$

여기서, X 는 중심위치로부터의 변위이며 X_0 는 변위진폭 ω 는 $2\pi f$ 로 각 주파수이다. 변위의 단위는 대개의 경우 mm 또는 μm 가 사용된다.

진동의 변위를 데시벨로 나타내면 다음 식과 같다.

$$N = 20 \log (X_{rms}/X_{ref}) \text{ dB} \dots\dots (2)$$

식에서 X_{rms} 는 X_0 의 실효치 (root-mean square value)로 X_0 를 $\sqrt{2}$ 로 나눈값을 의미하며 X_{ref} 는 기준변위값이다.

2) 속도 (VELOCITY)

진동속도는 (1)식을 미분하여 다음 식으로 나타낸다.

$$U = X_0 \omega \cos \omega t \dots\dots\dots (3)$$

여기서 속도진폭 ($X_0 \omega = U_0$)의 단위는 cm/sec 또는 mm/sec 이며 데시벨로 표기하면 다음식과 같다.

$$N = 20\log(U_{rms}/U_{ref}) \text{ dB} \dots\dots(4)$$

식(4)에서 U_{rms} 는 U_0 의 실효치이며 U_{ref} 는 기준속도 값이다.

3) 가속도 (ACCELERATION)

진동가속도는 식(3)을 미분하여 다음식으로 나타낸다.

$$A = X_0\omega^2 \sin \omega t \dots\dots(5)$$

여기서 가속도진폭 ($X_0\omega^2 = A_0$)의 단위는 cm/sec^2 또는 m/sec^2 이며 특히 $1 cm/sec^2 = 1Gal$ 과 같다. 진동가속도 역시 데시벨로 표시하면 다음식과 같다.

$$N = 20\log(A_{rms}/A_{ref}) \text{ dB} \dots\dots(6)$$

식(6)에서도 A_{rms} 는 A_0 의 실효치이며 A_{ref} 는 기준가속도 값이다. 일반적으로 진동가속도레벨 (VAL)의 기준값 (A_{ref})은 $10^{-5} m/sec^2$ 이 권장된다.

참고로 진동레벨 (VL)에 관하여 간략히

설명하면 진동가속도레벨에 인체감각보정을 행한 것으로 주파수마다 그 보정값이 다르다.

$$V_L = VAL - W_n \text{ dB} \dots\dots(7)$$

W_n 는 인체감각에 대한 주파수 보정값

2.3 기본적인 진동모델

모든진동 물체는 다음과 같은 세가지 요소로 구성되어 있다.

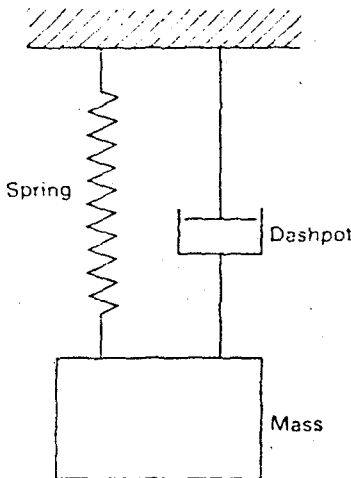
MASS(질량 또는 관성)

STIFFNESS(강성)

DAMPING(감쇠)

계 (system)를 구성하는 요소들의 물리적 성질과 상호작용에 대하여 살펴보면 다음과 같다.

계를 이루고 있는 스프링의 강성은 물체가 진동하면 항상 그 계의 원위치로 되돌아 오려는 복원력을 갖게된다. 이와같은 복원력을 제공해주는 것을 스프링의 강성이라고 한다. 그러나 이러한 운동이 일어날때 그 물체의 질량은 계의 평형상태를 벗어나려고 하는 관성을 갖는다. 이와같이 관성과 복원력의 지속적인 상호작용은 그 계의 고유 진동수에서 진동을 야기시킨다. 따라서 질량의 축적된 운동에너지와 스프링에 축적된 탄성에너지는 계의 운동과 더불어 일부의 에너지가 다른 에너지로 변환된다. 그 대표적인 예로 계에서의 감쇠를 들 수



있다. 감쇠는 계의 진동에너지를 열에너지로 변환하는 역할을 한다. 댐핑에는 크게 VISCOUS DAMPING과 STRUCTURAL DAMPING으로 나누어 생각할 수 있다. 전자인 점성댐핑은 질량에 작용하는 댐핑력이 질량의 속도에 비례하고 후자인 구조댐핑은 질량의 변위에 비례한다. 특히 구조댐핑은 댐핑력이 댐핑재의 주파수에 좌우된다.

다음은 기본적인 진동의 모델을 분류하여 그 대표적인 경우에 대하여 서술하고자 한다. 먼저 진동의 모델은 계의 가진력이 있을때와 없을때를 기준으로 하여 분류하면 다음과 같다.

- 1) 비감쇠 자유진동 (undamped free vibration)
- 2) 감쇠 자유진동 (damped free vibration)
- 3) 강제 감쇠진동 (forced damped vibration)
- 4) 강제 비감쇠 진동 (forced undamped vibration)

1) 비감쇠 자유진동

계는 질량과 스프링으로 구성되어 있으며 고유진동수는 다음과 같다.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

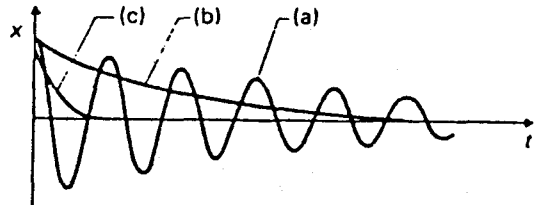
f_0 : 계의 고유진동수

K : 스프링 상수

M : 계의 질량

2) 감쇠 자유진동

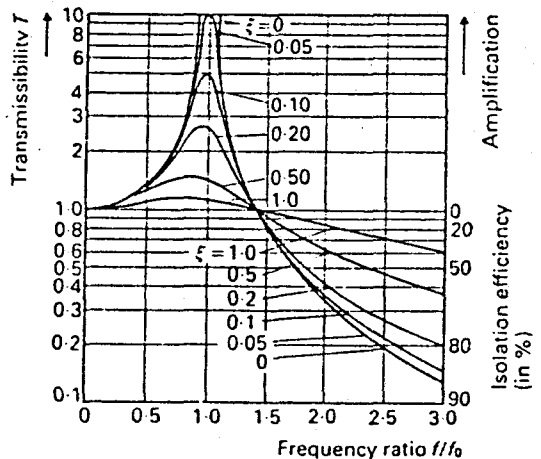
감쇠 자유진동의 형태는 시간-변위상에서 다음 그림과 같이 표시할 수 있으며, 감쇠의 형태에 따라 세가지로 분류할 수 있다.



(a) underdamping
(b) overdamping
(c) critical damping

3) 강제 감쇠진동

강제 감쇠진동은 다음 그림으로 그 물리적 성질을 설명할 수 있다.



위 그림에서 댐핑비의 변화에 따라 횡축은 계의 고유진동수와 강제진동수와의 비를 나타내고 종축은 계의 전달률과 진동차단율을 나타낸다. 강제 진동의 경우는 계의 전달되는 전달율(transmissibility, T)을 고려해야 하며 전달율은 대개 두가지 형식 즉, 힘이 지지대로 전달되는 힘전달율과 지지대의 변위가 계로 전달되는 변위전달율로 구분할 수 있다.

3. 측정 및 분석

진동측정에 사용되어지는 계측기는 여러가지가 있다. 예를 들면 진동의 변위만을 측정하는 게이지로는 휘스톤 브리지를 이용한 스트레인(strain) 게이지가 있으며, 진동속도를 측정하는 VELOCITY PICK-UP이 있다. 그러나 요즘 보편적으로 사용하는 변환기로는 압전형 가속도계와 압전형 가속도픽업(pick-up)이 있다. 압전형 가속도계는 어떤 다른 진동측정 변환기보다 모든 영역에서 보다 좋은 특성을 나타낸다. 특히 매우 넓은 주파수 범위와 그 영역에서의 좋은 선형성을 가지는 동적범위를 가지고 있으며 비교적 튼튼하고 신뢰성이 있어 장기간 동안 변환기의 특성이 변하지 않는다. 대개 압전형 가속도계는 두가지 형식 즉, 압축형과 전단형이 있다. 한편 압전형 가속도픽업은 가속도 계보다 주파수범위와

동적레벨 범위가 넓지는 않지만 간편하게 측정할 수 있는 잇점이 있다.

3.1 가속도계의 설치시 유의점

변환기를 진동표면에 어떻게 설치하는가에 따라 진동측정기에 오차가 있을 수 있다. 변환기와 진동표면사이의 신축성(FLEXIBILITY)은 그 변환기의 상한 주파수범위를 감소시키는 장치공진(mounting resonance)을 초래할 수 있기 때문에 가능한 진동표면과 밀착시켜야 한다. 가속도계의 경우는 나사를 이용하여 진동표면과 가속도계를 접속시키는 것이 좋다. 특히 진동물체에 따라 가속도계의 크기(또는 질량)를 어떻게 선택하는가도 측정결과에 큰 영향을 미친다. 대개 가속도계의 진동에 따라 발생하는 공진주파수는 질량 2g과 100g사이에서 각각 80Hz에서 10KHz까지의 공진주파수가 발생한다.

3.2 진동측정시 주위의 영향

진동측정시 주위의 인자가 측정에 영향을 미치는 요소는 다음과 같다.

- 측정주위의 습도, 온도, 전자기 영향
- 측정케이블의 Tribo-Electric Noise
- 진동표면의 변형과 횡진동 감도

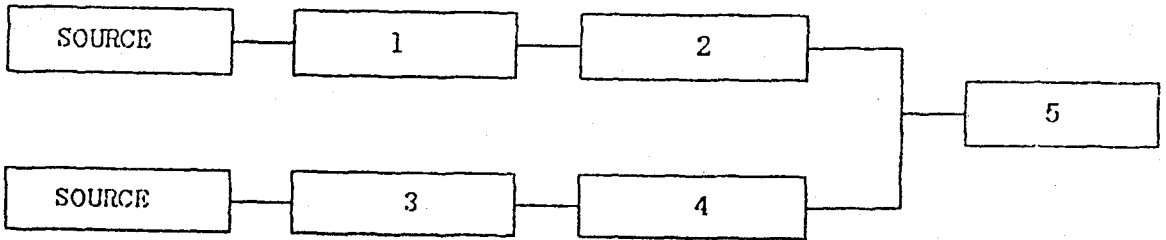
3.3 측정 및 분석장치 구성

진동을 측정하는 방식에는 요구하는 정밀

도에 따라 장비의 선정에 신중을 기해야 한다. 다음은 반도체 공장의 주변도로에서 차량통과 시 공장의 생산라인 (CLEAN ROOM) 으로 전달되는 진동의 크기를 측정하고 또한 공

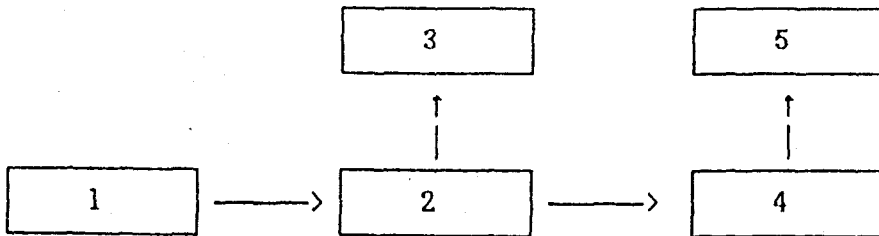
장내부의 설비기기와 CLEAN ROOM 사이에 설치된 EXPANSION JOINT의 진동의 차단정도를 확인하기 위하여 구성된 측정시스템과 분석시스템이다.

측정장치와 구성



- | | |
|---|---|
| 1. Accelerometer (B&K, TYPE4370) | 4. Vibration Level Meter (RION, MODEL VM-14B) |
| 2. Charge Amplifier (B&K, TYPE 2635) | 5. Cassette Data Recorder (KYOWA, RTP-50A) |
| 3. Vibration Pick-up (RION, TYPE PV-83) | |

분석장치와 구성



- | | |
|--|---------------------------------------|
| 1. Cassette Data Recorder (KYOWA, RTP-50A) | 3. Graphics plotter (B & K, TYPE2319) |
| 2. FFT Analyzer (B & K, TYPE 2034) | 4. Computer (TriGem, 88 II) |
| | 5. Printer (TriGem, LQ-1500) |

4. 방진대책

반도체 공장의 방진대책에는 다음과 같이 크게 세가지로 나누어 검토되어야 한다.

- 1) 반도체공장 외부에서 생산라인 (CLEAN ROOM) 으로 전달되는 진동의 방진대책
- 2) 반도체 공장내부의 설비기기에서 생산라인 (CLEAN ROOM) 으로 전달되는 진동의 방진대책
- 3) 생산라인의 기기에서 발생하는 진동의 방진대책

이상의 대책을 수립하기 위해서는 먼저 각 경우에 대하여 진동원대책과 전달 경로 대책을 검토해야 한다. 방음대책과 마찬가지로 방진대책도 진동원 그 자체를 제거하는 것이 가장 효과적인 방법이 될 수 있다. 예를 들면 회전하는 기계의 일반적인 진동원은 회전체의 불균형에 기인되는 것이므로 이와같은 불균형은 많은 진동원을 발생시키지만 그 해결책으로는 단순히 회전체의 불균형을 균형이 되도록 조절하기만 하면 된다. 그러나 대부분 진동원은 여러가지가 복합되어 전달되기 때문에 진동원 그 자체에서 충분히 제거시킬수가 없다. 특히 지반진동의 경우는 지형 및 지질의 특수성 때문에 정밀한 가공을 요하는 장비를 설치하기 위하여 공장을 신축할때는 부지의 선택에 세심한 고려가 필요하다. 아울러 건물의 공법도 일반건물과는 다른 특수한 공

법이 필요하다. 특히 CLEAN ROOM내부의 프로세스 장치중 10 Hz 이하의 진동이 문제가 되는 곳에 대해서는 장치 자체를 방진부품만으로 제어할 수 없기 때문에 생산라인 (CLEAN ROOM) 자체를 진동원과 격리시키는 독립기초방식이 채용되고 있다. 또한 공장내부의 설비기기에서 CLEAN ROOM으로 전달되는 진동을 차단하기 위해서는 EXPANSION JOINT를 설치하여 진동을 차단하는 것이 가장 효과적일 수 있으며 그 차단량은 각 진동방향에 따라 30 dB에서 60 dB정도를 차단시킬 수 있다.

아울러 각 기기의 진동을 전달경로에서 차단하는 대표적인 진동차단기에는 다음과 같은 종류가 있다. 이러한 차단기 (ISOLATOR) 는 각각의 장점이 있지만 필요한 차단의 정도, 가진주파수, 장비의 무게, 사용되는 온도등에 따라서 선택을 해야 한다.

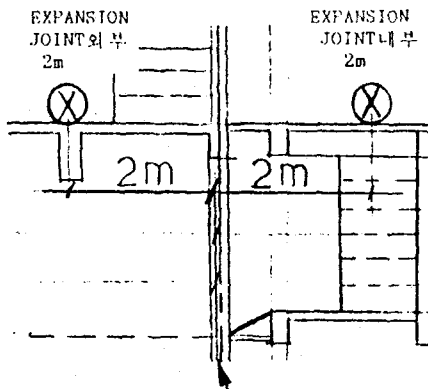
다음은 실제 진동을 차단시키는데 많이 사용되는 차단기들을 종합하여 보면 다음과 같다.

SPRING MOUNTS
ELASTOMERIC ISOLATORS
ISOLATION PADS
RUBBER PADS
CORK PADS
FELT PADS
FIBROUS GLASS PADS

PNEUMATIC ISOLATORS
FLEXIBLE COUPLINGS

5. 측정 및 분석결과의 실례

다음 그림은 EXPANSION JOINT를 실제로 설치한 후 진동의 차단정도를 측정하기 위하여 측정점의 위치를 개략적으로 도시한 그림이며 IMPACT SOURCE에 의한 EXPANSION JOINT의 진동의 차단상태를 측정한 실제의 결과이다.

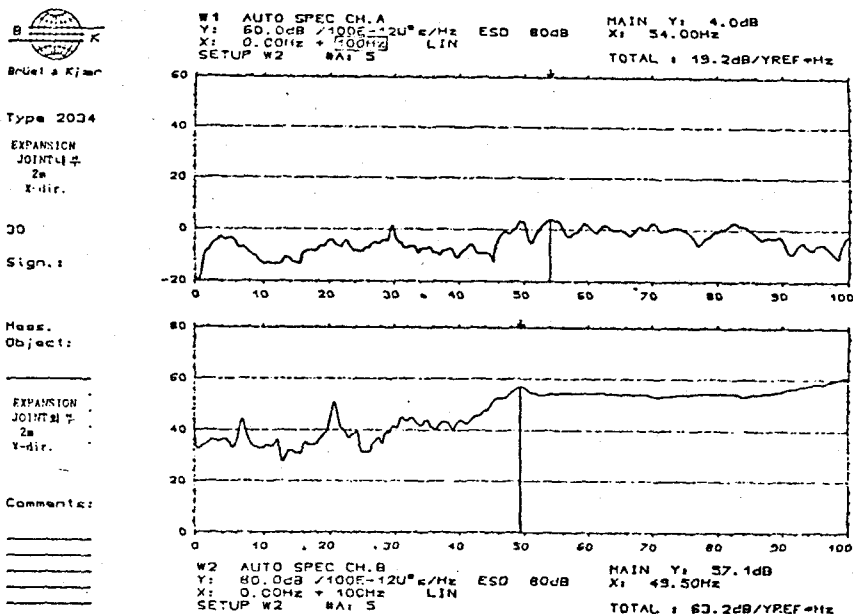


EXPANSION JOINT

측정 위치 (도면 참조)	진동 방향	진동가속도 레벨 (dB)	1/3옥타브 중심주파수
EXPAN JOINT 외부 2 m	X	75.54	100
	Y	76.17	100
	Z	75.75	100
EXPAN JOINT 내부 2 m	X	12.24	100
	Y	21.93	100
	Z	33.87	100

이상의 결과와 같이 EXPANSION JOINT가 진동방향에서 진동의 전달을 상당히 차단시키는 효과가 있음을 실제 측정으로 확인할 수 있다.

다음은 각 진동방향에서 EXPANSION JOINT의 내부와 외부에서 측정된 레벨값을 대비시킨 스펙트럼을 도시한 것이다.





Brüel & Kjær

Type 2034
EXPANSION
JOINT외부
2m
Y-dir.

Page No.
29

Sign.:

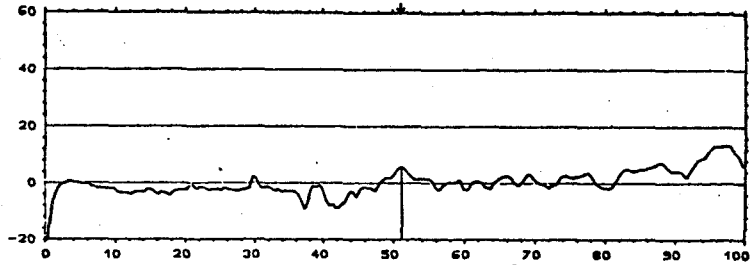
Y-DIR.

Meas.
Object:

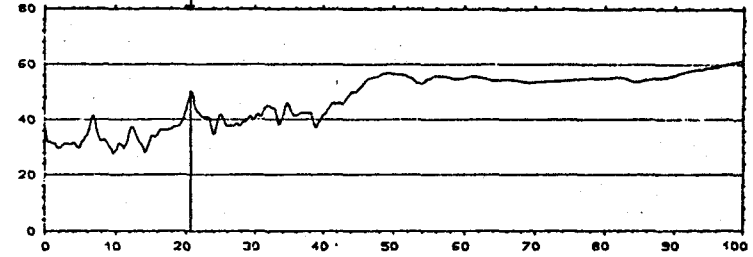
EXPANSION
JOINT외부
2m
Y-dir.

Comments:

W1 AUTO SPEC CH.A () INPUT MAIN Y: 5.8dB
Y: 60.0dB / 100E-12U²s/Hz ESD 80dB X: 51.25Hz
X: 0.00Hz + 100Hz LIN
SETUP W2 #A: 5 TOTAL: 24.9dB/YREF+Hz



W2 AUTO SPEC CH.B
Y: 60.0dB / 100E-12U²s/Hz ESD 80dB MAIN Y: 50.0dB
X: 0.00Hz + 100Hz LIN X: 20.75Hz
SETUP W2 #A: 5 TOTAL: 83.5dB/YREF+Hz



Brüel & Kjær

Type 2034
EXPANSION
JOINT외부
2m
Z-dir.

Page No.
28

Sign.:

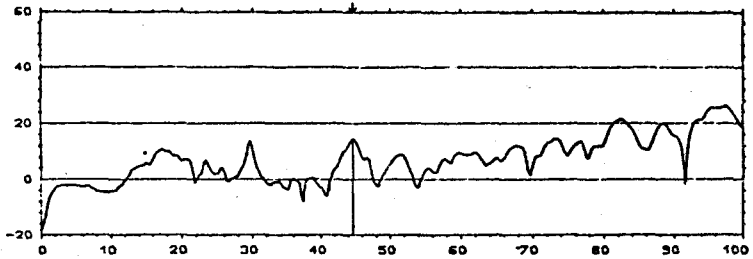
Z-DIR.

Meas.
Object:

EXPANSION
JOINT외부
2m
Z-dir.

Comments:

W1 AUTO SPEC CH.A () INPUT MAIN Y: 14.7dB
Y: 60.0dB / 100E-12U²s/Hz ESD 80dB X: 44.75Hz
X: 0.00Hz + 100Hz LIN
SETUP W2 #A: 5 TOTAL: 35.6dB/YREF+Hz



W2 AUTO SPEC CH.B
Y: 60.0dB / 100E-12U²s/Hz ESD 80dB MAIN Y: 53.0dB
X: 0.00Hz + 100Hz LIN X: 20.75Hz
SETUP W2 #A: 5 TOTAL: 83.4dB/YREF+Hz

