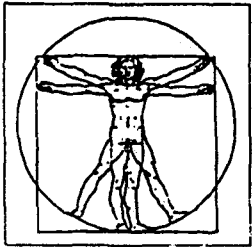


# 전달함수법에 의한 구조물의 미진동 제어기술



미진동 제어기술에는 통상 아래와 같이 2 부분으로 구별된다.

A. 정밀기기가 설치된 기초의 진동특성을 갖는 조건하에서, 정밀기기의 진동허용치와 기초의 진동치의 차를 이용한 기술

B. 정밀기기가 설치된 기초의 진동허용치를 갖는 조건하에서, 조건을 만족하는 작용의 기초에 결합되는 구조요소와 거기에 작용하는 진동요소에 따라 검토하는 기술

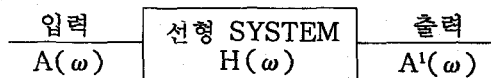
여기서는 B의 기술에 대해서 소개한다. 그것의 개요와 구조요소는 아래와 같다.

1. 전달함수법의 개요
2. 인보행의 가진력SPECTRA
3. 정밀기계기초의 진동특성
4. 건축물에서의 진동전달
5. 전달함수법을 이용한 미진동 대책의 실예

## 1. 전달함수법의 개요

### (1) 전달함수

만일 한 SYSTEM이 선형성(Linear Property)을 갖고 있다면, 입력과 출력사이의 관계는 아래와 같이 나타낼수 있다.



$$A^1(\omega) = H(\omega) \cdot A(\omega) \dots \dots \dots (1)$$

여기서  $H(\omega)$ 는 전달함수 (Transfer Function 혹은 System Function)라 부르

고, SYSTEM의 고유함수이다.

(1)식으로부터 알수있듯이 전달함수는 주어진 입력으로부터 출력의 추정이 가능하다. 이 전달함수를 실험적으로 얻을수있어서, SYSTEM구조의 복잡함에도 불구하고 응답 출력을 간편하게 예측할수 있다.

아래에 전달함수의 예를 기술한다.

1) 진동전달 특성

입력 : A점 진동가속도  $a_o(\omega)$

출력 : B점 진동가속도  $a_1(\omega)$

만일 입출력을 상기와 같이 설정하였다면, 전달함수  $H(\omega)$ 는

$$H(\omega) = a_1(\omega) / a_o(\omega)$$

$H(\omega)$ 는 A점과 B점사이에서 증폭 혹은 감쇠를 나타내는 수치로서 얻을수 있다. 바꾸어 말하면 A점과 B점사이에서의 전달특성을 나타내는 값이다. (그림1 참조) 건축

구조물에서 진동현상 가운데도, 특히 정량화의 복잡한 진동확산을 실험적인 수법으로 추출하는 것은 어렵다.

2) Accelerance

입력 : A점 가진력  $f(\omega)$

출력 : B점 진동가속도  $a(\omega)$

전달함수  $H(\omega)$ 는 일반적으로 Accelerance, Inertance, Admittance라 칭하고 SYSTEM의 동적특성을 나타내는 계수로서 넓게 사용된다.

그림2는 실제 측정에의해 구한 건축구조물(Slab)의 Accelerance를 나타낸다. 1kgf의 힘이 Slab에 작용한다면 가속도응답의 크기를 나타낸다. 즉 Accelerance가 60dB 이고 1kgf가 Slab위에 외력이 작용한다면 그것은 60db(1gal)의 진동가속도가 발생된 것이다.

Measurement

Point: A>B

NOTE. :

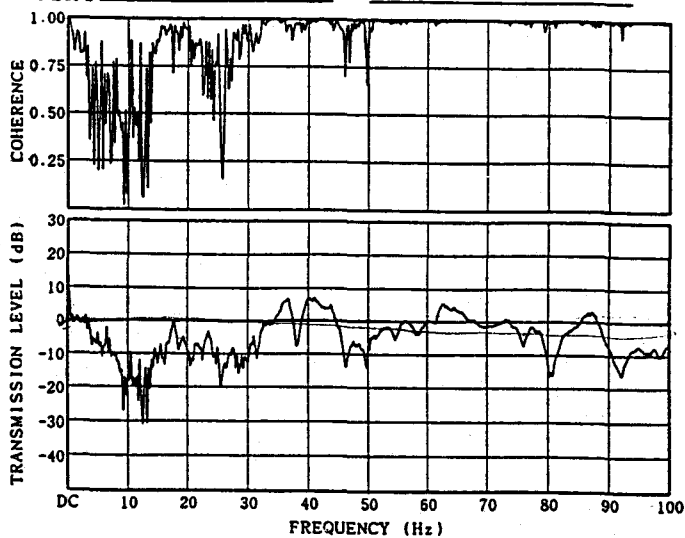


그림1. 진동전달특성

Accelerance와 설치된 기기의 가진력이 정확화되어 진다면, 기기가 설치되었을때에 진동수Level을 추정하는것이 가능하다. 그것은 설치되어진 기기의 운전진동과 Accelerance로부터 기기의 가진력을 추진하는것도 가능하다. 이 방법은 전달함수(Accelerance)는 매우 유용한 요소로서 사용될수있다.

그 표현방법은 많이 있는데 대표적으로는 주파수축(횡축)을 Linear Scale로하여 Spectra로 나타내고, 정의된 Band의 폭으로 나누어서 표현한 1 OCT.와 1/3 OCT.로 나타낸다. (그림3,4 참조) Spectra표시는 특정의 주파수를 관찰하고, 주파수 영역의 고해상도가 요구된 치밀한 분석에 유효한 표현

Measurement

Point: A>A

NOTE. :

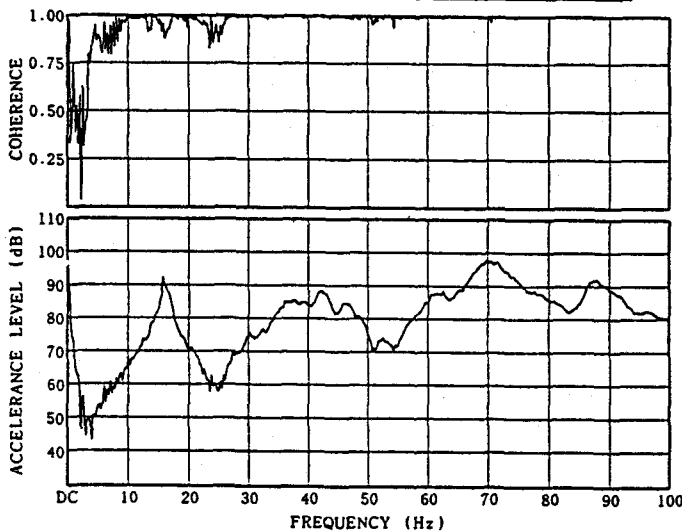


그림2. Accelerance 예

그림1 그림2에 표시된 Coherence는 입력과 출력사이의 상호관계의 힘(Strength)을 나타내는 계수이다. Coherence가 높다는 것은 입출력의 상호관계가 강하고, 얻어지는 데이터의 신뢰성이 크다는 것을 나타낸다. 정확한 데이터를 얻기 위해, Coherence가 충분히 높게 얻기 위한 대책이 필요하다.

(2) 진동특성의 표시법

주파수영역에서 진동현상을 취급할때에,

다른 Band, 1/3 OCT.와 OCT. 표시는 분석주파수 영역에 대해서 주파수분포등 전체의 경향을 아는데 유효하다. 그것의 각각은 자신의 장점을 갖고있다.

전달함수를 이용한 진동을 예측할때 예상되어지는 많은 가진원(공조설비기기, 생산설비기기 등)의 가진주파수를 특정하는것이 어렵고, 정밀기기의 주파수 응답특성이 명확해지지 않으므로 어떤 정도에서 넓은 영

역에서 전체적인 진동특성을 파악하는것이 필요하다. 이런 의미에서 진동특성의 표현법에서는 적당한 주파수대가 1/3 OCT. 표시라 생각한다. 여기서 1/3 OCT. 표시의 사용은 실제의 연산에서 다루는 수치량이 대폭 감소되므로 이 의미에서도 1/3 OCT. 표시 채용이 적절하다.

## 2. 인보행의 가진력 SPECTRA

정밀기기에 크게 영향을 미치는 진동요소는 사람의 보행인데 그러나 그것은 완전히 조사될수 없다. 왜냐하면 거기에는 보행방법, 개인차, 측정방법등이 곤란하기 때문이

다. 여기서는 전달함수법을 채용하여 여러 종류의 건축구조물에서 인보행 가진(加振) SPECTRA를 측정하였다.

보행의 가진력은 바닥의 진동가속도와 전달함수(Accelerance)가 아래의 수식에 의해 정의된다.

$$H(\omega) = A(\omega) / F(\omega)$$

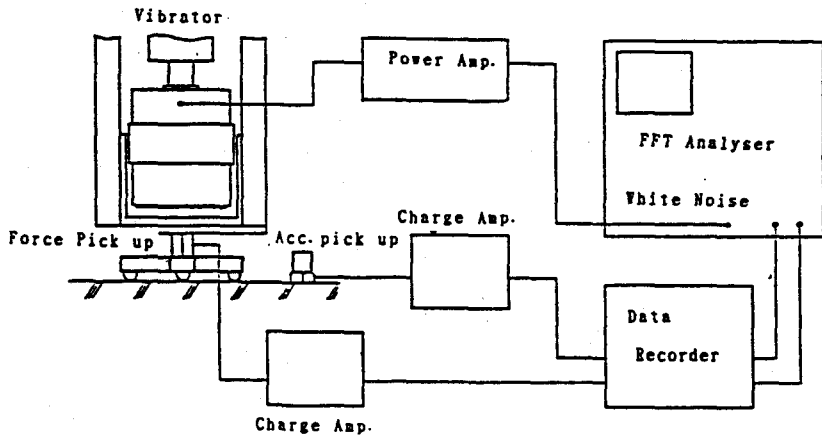
여기서  $F(\omega)$  : Force Spectrum

$A(\omega)$  : Acceleration Spectrum

$H(\omega)$  : Accelerance.

따라서  $F(\omega)$ 는  $H(\omega)$ 와  $A(\omega)$ 가 주어지면 구할수 있다.

Accelerance의 측정



진동의 측정

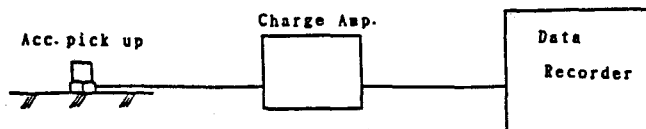


그림3. 측정 Diagram

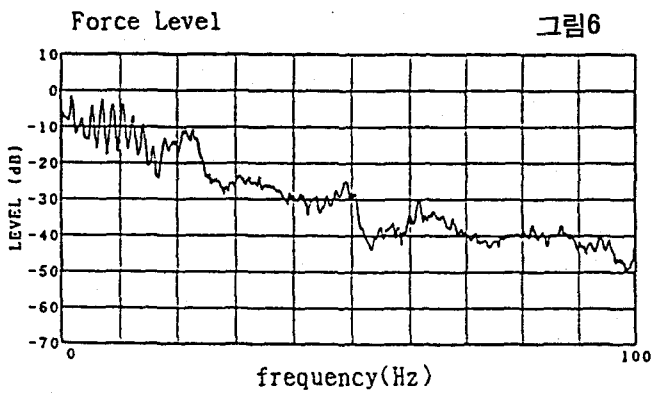
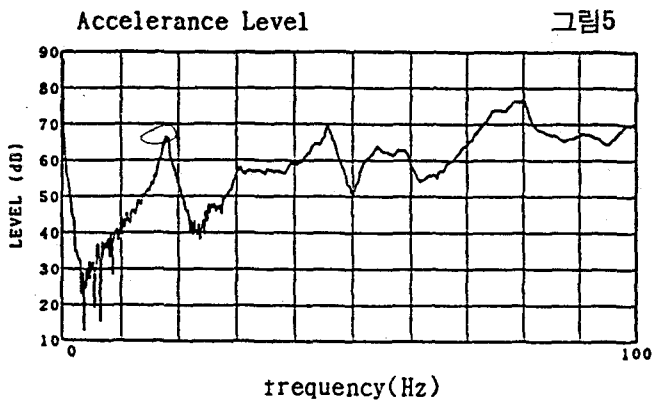
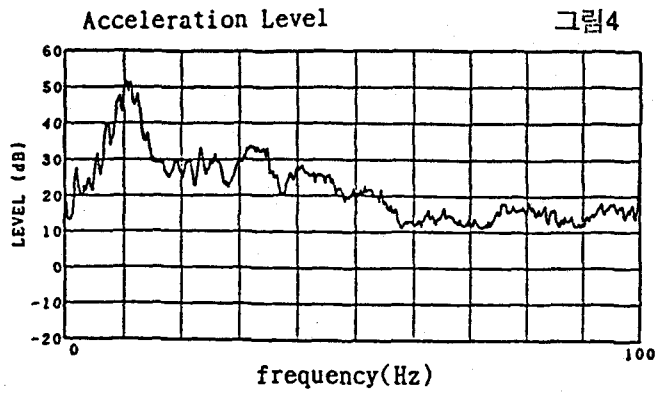


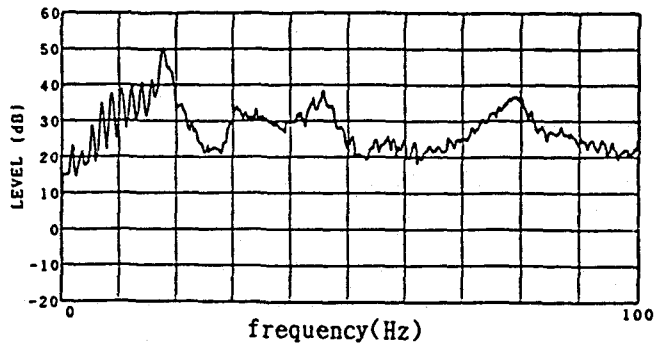
그림7

NOTE.: Force Level

FREQ. [Hz]	Force. LEVEL									
	[dB]	[kgf]	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30
3.15	-7.6	4.16E-001								
4	-9.3	3.41E-001								
5	-4.2	6.17E-001								
6.3	-2.5	7.52E-001								
8	-3.9	6.40E-001								
10	-3.8	6.47E-001								
12.5	-7.0	4.48E-001								
16	-13.2	2.18E-001								
20	-10.5	2.98E-001								
25	-10.6	2.95E-001								
31.5	-23.3	6.86E-002								
40	-26.1	4.95E-002								
50	-25.2	5.50E-002								
63	-30.3	3.07E-002								
80	-36.9	1.43E-002								
AP	4.0	1.58E-000								

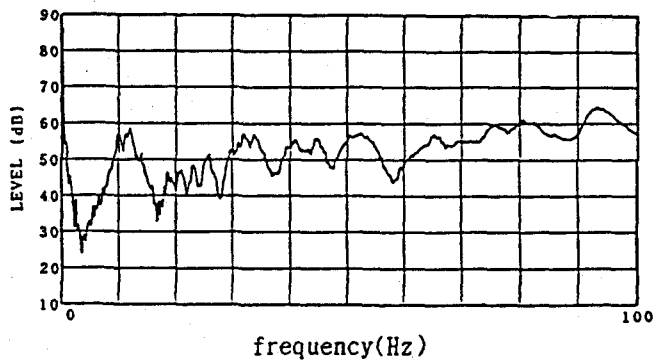
Acceleration Level

그림8



Accelerance Level

그림9



Force Level

그림10

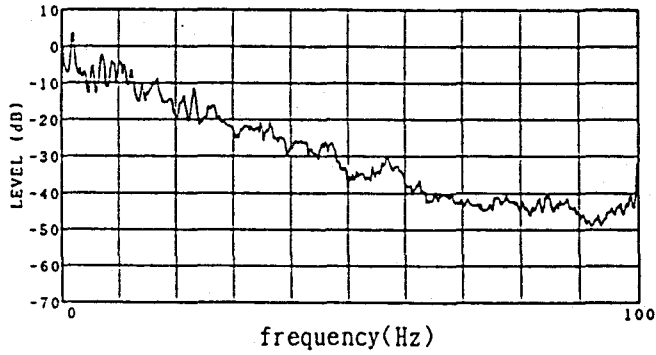


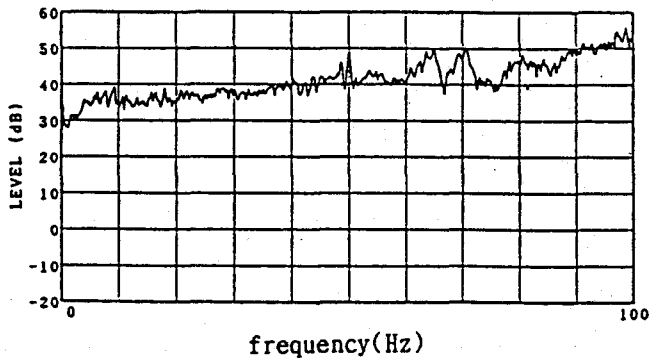
그림11

NOTE.: Force Level

FREQ.	Force. LEVEL								
	[Hz]	[dB]							
3.15	-5.7	5.21E-001							
4	-6.7	4.65E-001							
5	-5.3	5.46E-001							
6.3	-2.3	7.72E-001							
8	-3.1	7.04E-001							
10	-4.3	6.13E-001							
12.5	-6.4	4.81E-001							
16	-8.7	3.69E-001							
20	-13.4	2.14E-001							
25	-11.3	2.73E-001							
31.5	-20.6	9.31E-002							
40	-20.6	9.31E-002							
50	-25.7	5.16E-002							
63	-30.1	3.14E-002							
80	-40.5	9.44E-003							
AP	4.4	1.66E-000							

Acceleration Level

그림12



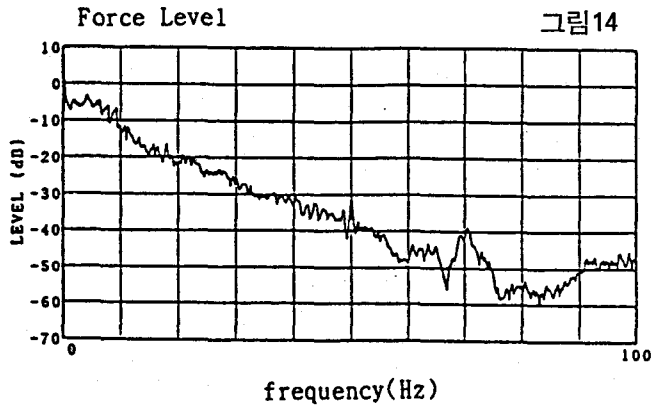
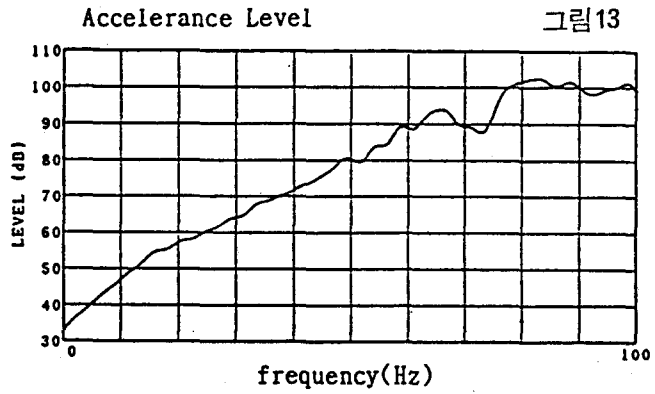


그림15

NOTE.: Force Level

FREQ. [Hz]	Force. LEVEL									
	[dB]	[kgf]	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30
3.15	-3.5	6.70E-001								
4	-5.1	5.55E-001								
5	-4.5	5.96E-001								
6.3	-6.0	4.99E-001								
8	-6.7	4.65E-001								
10	-12.5	2.37E-001								
12.5	-14.1	1.98E-001								
16	-16.6	1.48E-001								
20	-16.3	1.53E-001								
25	-20.3	9.64E-002								
31.5	-24.3	6.10E-002								
40	-29.6	3.33E-002								
50	-31.5	2.68E-002								
63	-38.7	1.16E-002								
80	-43.9	6.40E-003								
AP	2.4	1.32E-000								



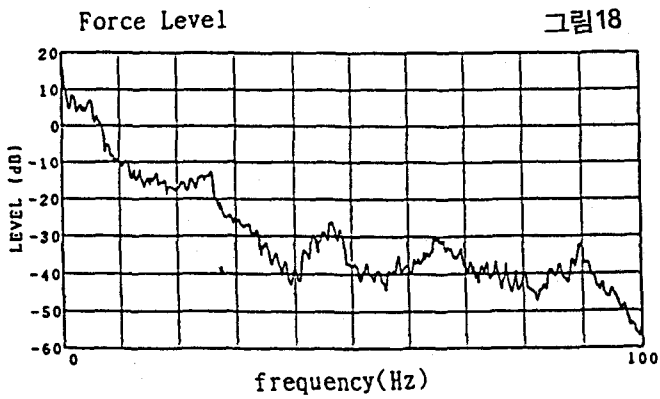
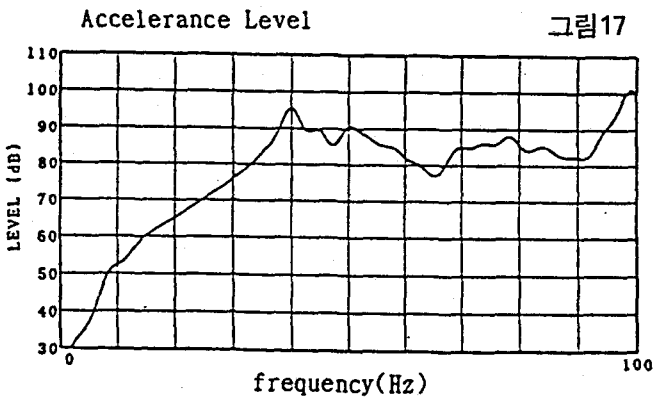
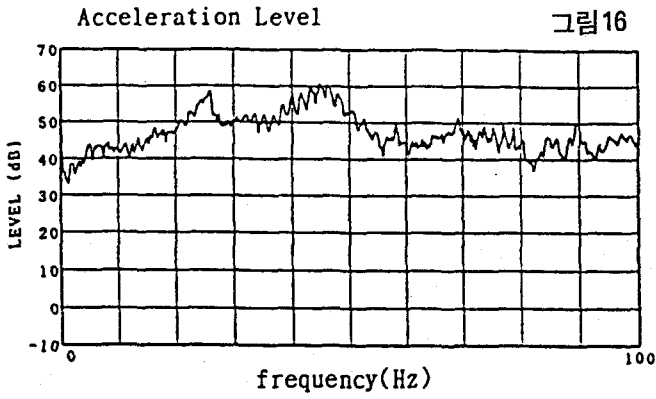
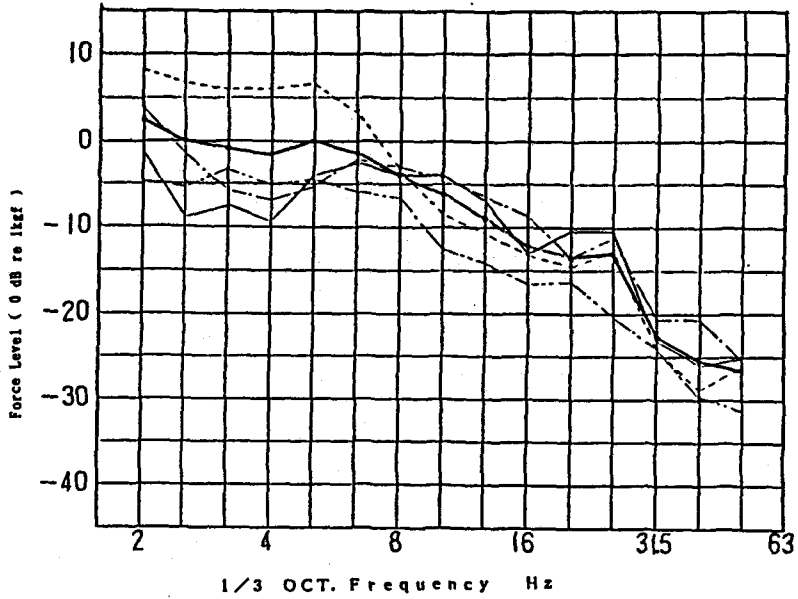


그림19

NOTE.: Force Level

FREQ.	Force. LEVEL		
	[Hz]	[dB]	
3.15	6.0	2.00E-000	
4	6.2	2.03E-000	
5	7.0	2.24E-000	
6.3	2.8	1.38E-000	
8	-3.4	6.78E-001	
10	-8.3	3.87E-001	
12.5	-10.6	2.94E-001	
16	-13.2	2.18E-001	
20	-14.6	1.86E-001	
25	-12.8	2.29E-001	
31.5	-24.2	6.18E-002	
40	-28.7	3.66E-002	
50	-26.2	4.93E-002	
63	-31.4	2.69E-002	
80	-32.1	2.49E-002	
AP	13.6	4.78E-000	



- Walking on the P. C. slab with beam
- Walking on the P. C. Slab without beam
- ..... Walking on the grating floor post pitch :1200\*1200
- Walking on the grating floor post pitch :1800\*1800
- Average

Fig. 20 Human Walking Excitation Force

여러종류의 구조위에서 측정하였음에도 불구하고 4종류의 가진력SPECTRA는 매우 비슷한 형태를 보인다. 이 결과에 비추어 4종류의 평균을 구한 값에 5~10dB 정도의 안전율을 더하여 택할수있다.

### 3. 정밀기기 기초의 진동특성

정밀기기의 기초는 독립기초가 넓게 사용되고 있지만, 독립기초는 특징을 가진 진동 특성을 보이므로 이것을 채용할때에는 주의를 요한다.

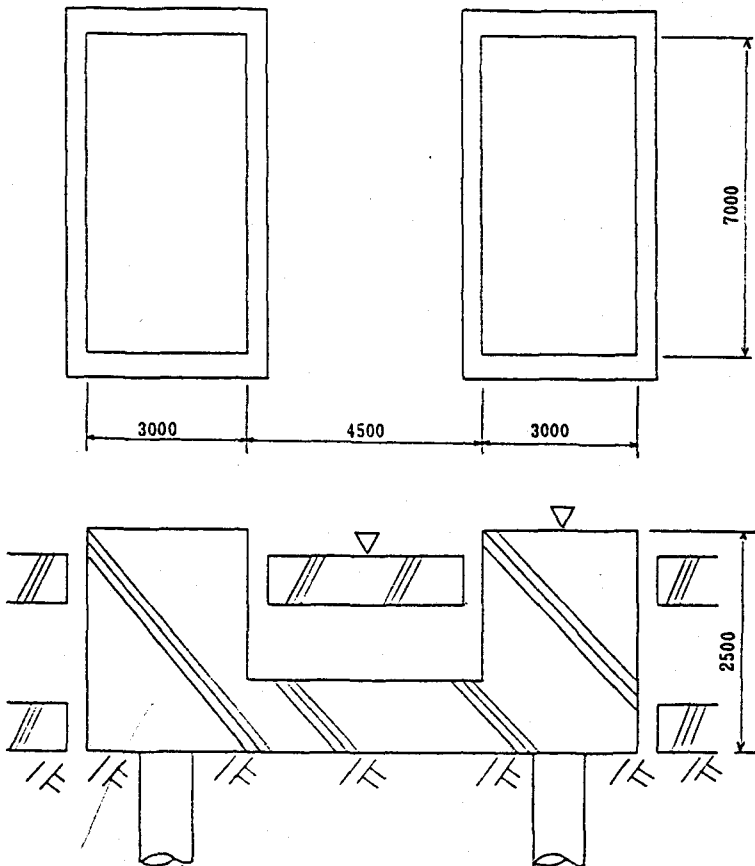


그림23 독립기초의 진동조사 예

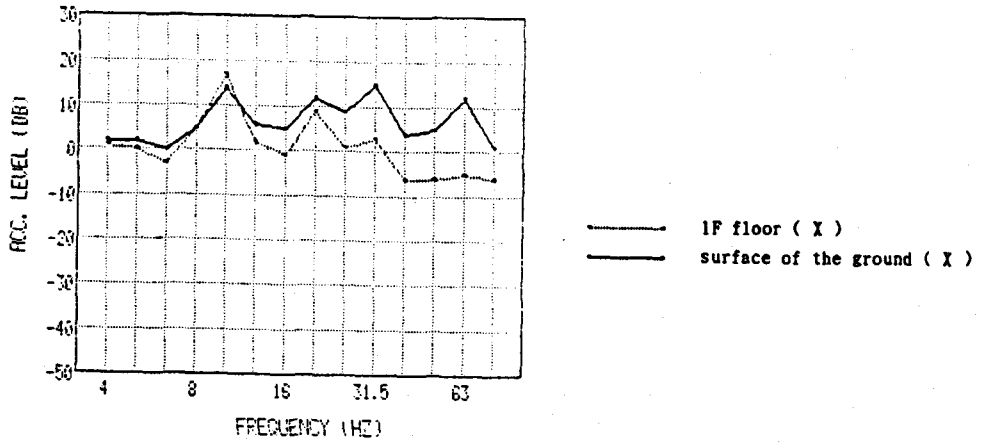


그림 24 Background Microvibration

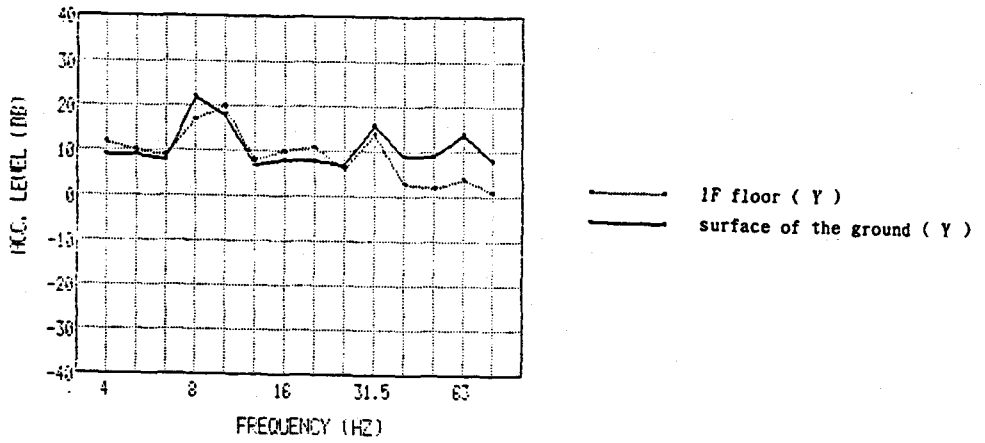


그림 25 Background Microvibration

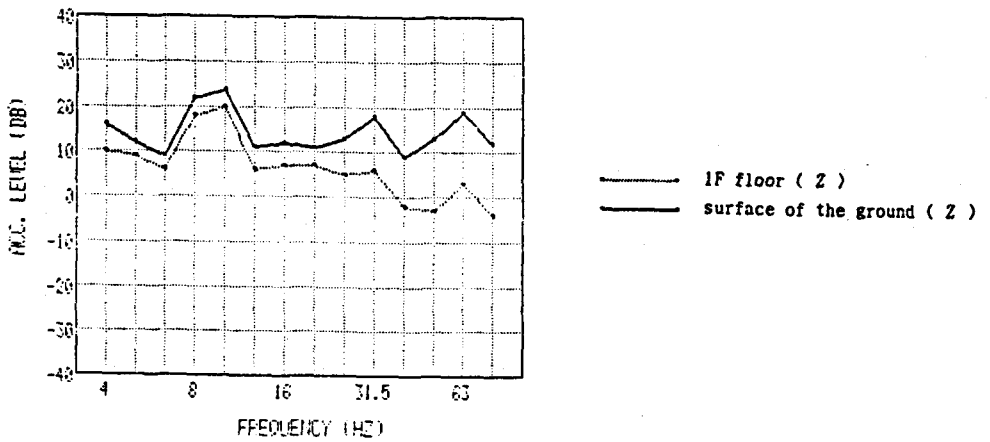
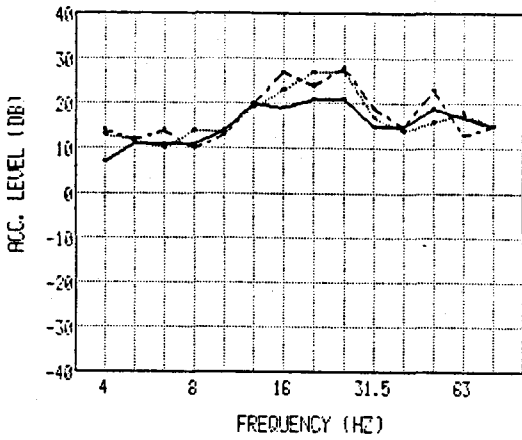
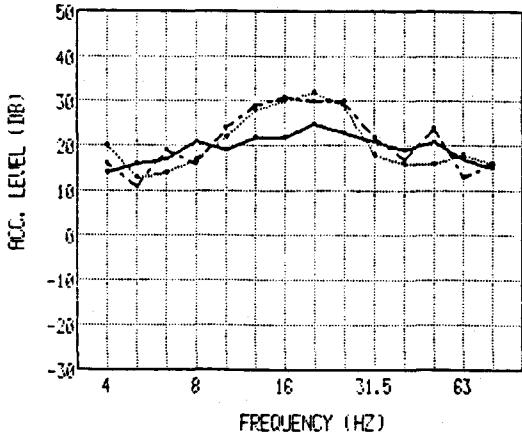


그림 26 Background Microvibration



- ..... background microvibration ( X )
- background microvibration ( Y )
- background microvibration ( Z )

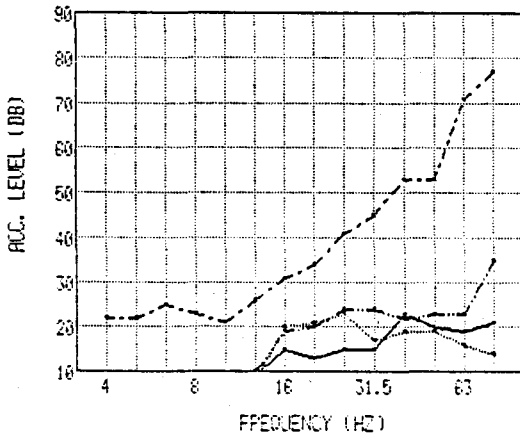
그림 27 Measuring Point :  
Independent Foundation



- ..... Truck passing by ( X )
- Truck passing by ( Y )
- Truck passing by ( Z )

그림 28 Measuring Point :  
Independent Foundation

Measuring Direction : Z



- excited vibration on the independent foundation
- ..... excited vibration on the floor
- background microvibration ( independent foundation )
- background microvibration ( floor )

그림 29

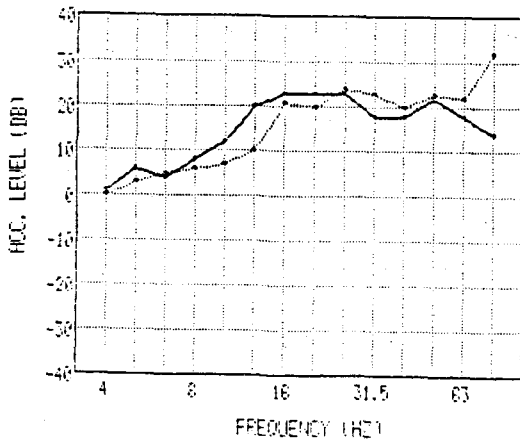


그림 30 Measuring Point : Independent Foundation

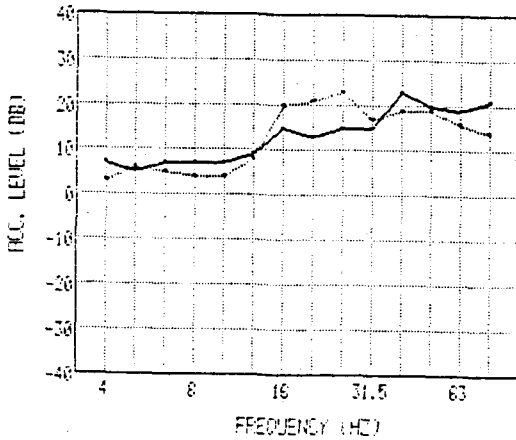


그림 31 Background Microvibration

결 과

독립기초의 특성을 살펴보면

\* 암진동(상시진동) 하에서 독립기초 위에서는 1층 바닥위보다 큰 진동치를 나타낸다.

\* 수평방향의 진동치가 수직방향의 진동치보다 큰 값을 갖는 경향이 있다.

\* 건물내의 진동요소로부터 영향을 받기가 어렵다.

— excited vibration on the floor ( Z )  
 — background microvibration ( Z )

— Independent Foundation  
 — floor

따라서 교통진동등 외란은 적고, 건물내의 진동요소(보행, 생산설비, 공조설비등)가 클경우 독립기초는 매우 유효한 수단이고 반대로 외란진동은 크고 내부진동이 적을경우에는 독립기초는 부적당하다. 독립기초의 설치여부는 기초의 암진동Level과 정밀기기의 진동허용치를 비교하여 결정하여야 한다.

4. 건축물에서의 진동전달

건축물에서 보진동의 전달특성 측정에

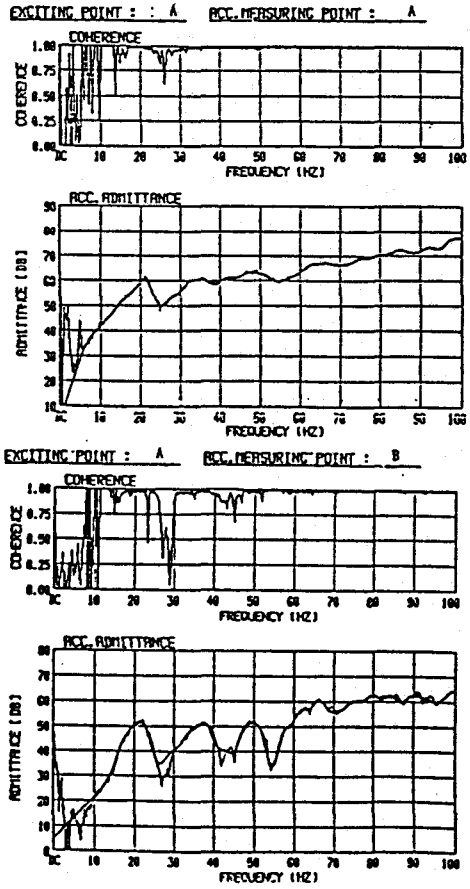
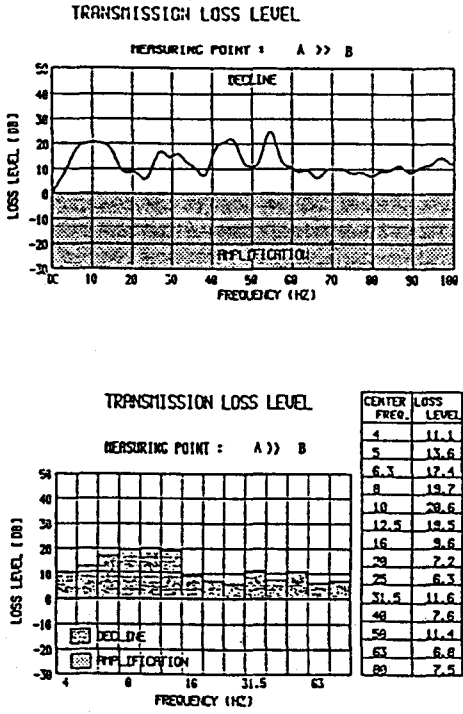
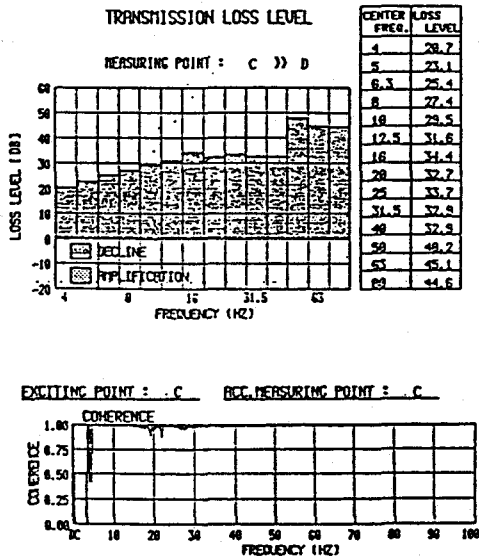
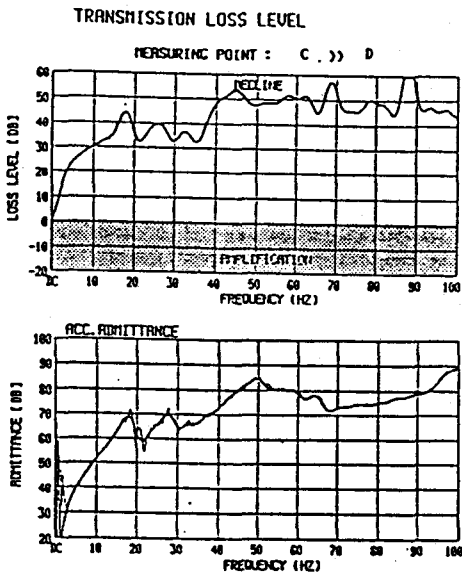


그림 32 Distance 1 Span



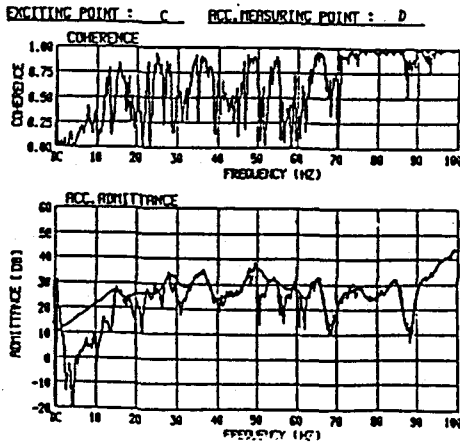


그림 33 Distance [Exp. Joint]

진동전달 특성의 특징

\* Expansion Joint 부의 진동절연 효과

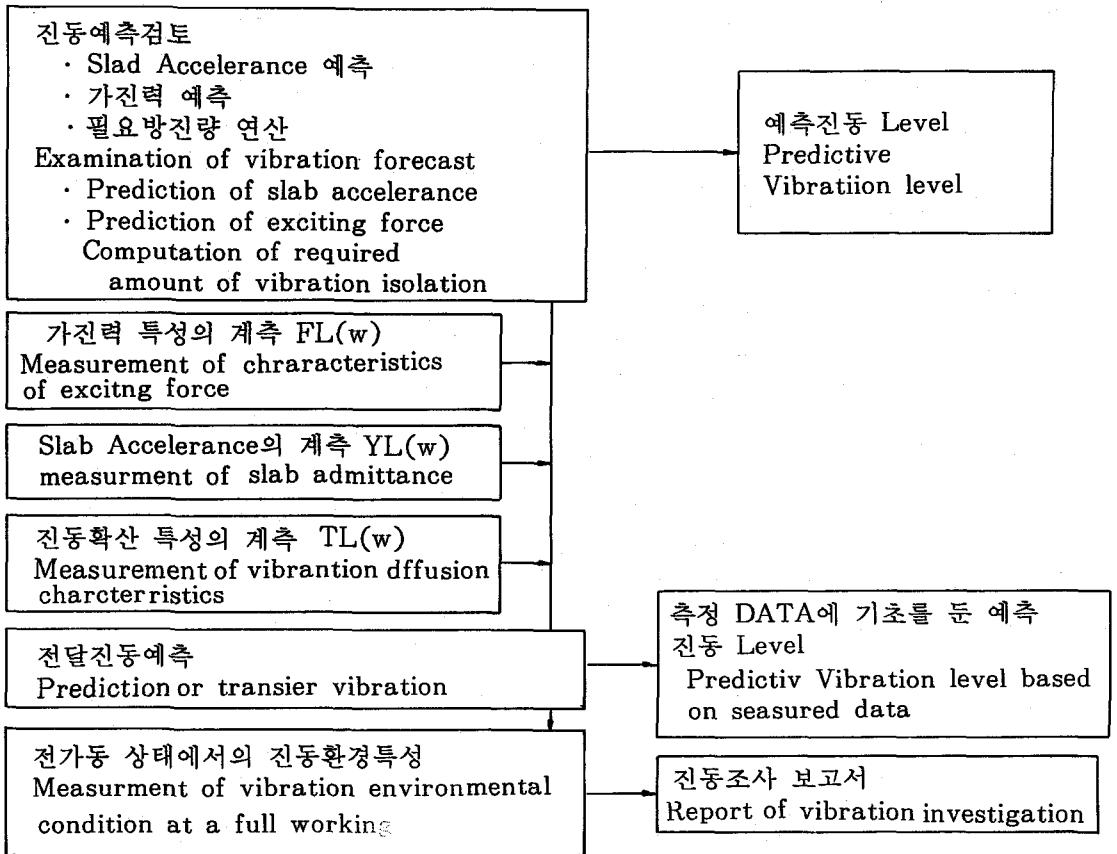
는 통상 1Span의 진동전달손실보다 약 -10 ~25dB정도 크다.

\* 진동전달손실은 주파수특성을 갖고있고 높은 주파수는 큰값이 된다.

\* 현재의 포터블 가진기는 저역의 가진력이 약하여 5~10Hz이하의 전달손실을 정확히 측정하는일이 곤란하다. 앞으로 유한요소법등의 구조해석기술의 향상을 기대한다.

5. 전달함수법을 이용한 미진동대책의 실제

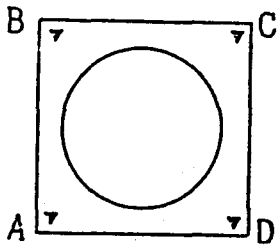
(1) 필요방진설계 검토 FLOW



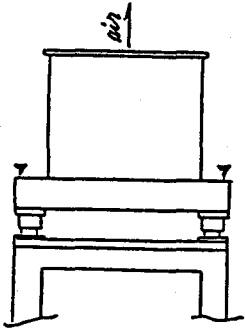


(2) 가진력의 실측예

Specifications of a fan



type : controlable pitch axial fan  
 APA #1600 Type 3  
 power : 55KW  
 weight : 1580kg  
 revolution : 970 R. P. M. (16.2Hz)



Specifications of an isolator

type : OMT-3016  
 upperbase weight : 1050kg  
 total spring stiffness : 479kg/cm

그림 35 Measuring Point

그값을 사용하여 가진력을 계산한다.

$$M = (1580 + 1050) / 980 = 2.68 \text{ kg}$$

$$K = 479 \text{ Kg/cm}$$

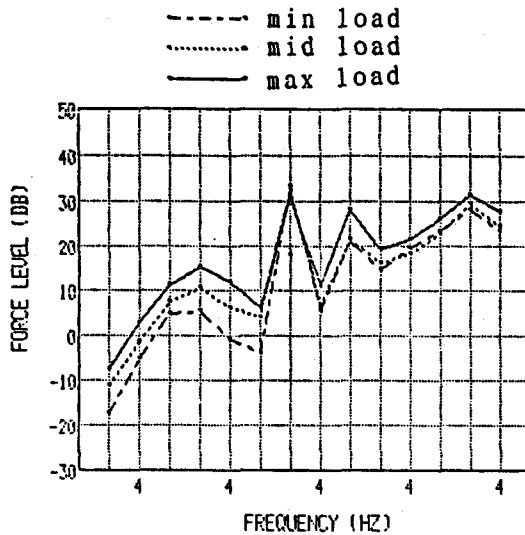


그림 36 MODEL : APA #1600-3 AVERAGE LEVEL

(3) Accelerance 예측

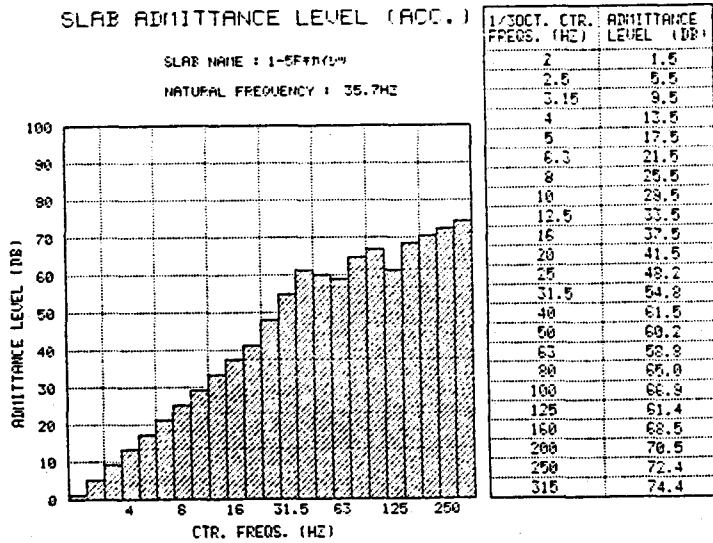


그림 37

(4) 평가 Sheet

Table 7

Slab No. --3F-S1

Allowable limits    1.00  $\mu$ a                      0.40 gal

Evaluating Point    ---3F Clean Room

1/3 OCT frequency Hz	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100
1) AV	36	40	44	48	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
2) YL	14	18	22	26	30	34	38	42	48	55	62	60	59	65	67
3) TL	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
4) CF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5) AF		32	32	32	32	28	24	20	14	7	0	2	3	-3	-5
6) FL	-18	-12	-7	-2	2	6	10	29	16	19	26	23	24	29	26
7) NL									-9	-2	-12	-26	-21	-21	-32
Isolation Grade	----- A -----														

- AV : Allowable VAL value at evaluating point
- YL : Installing point acceleration
- TL : Transmission loss
- CF : Contributing factor
- AF : Allowable input level of exciting force
- FL : Force level
- NL : Necessary isolation level

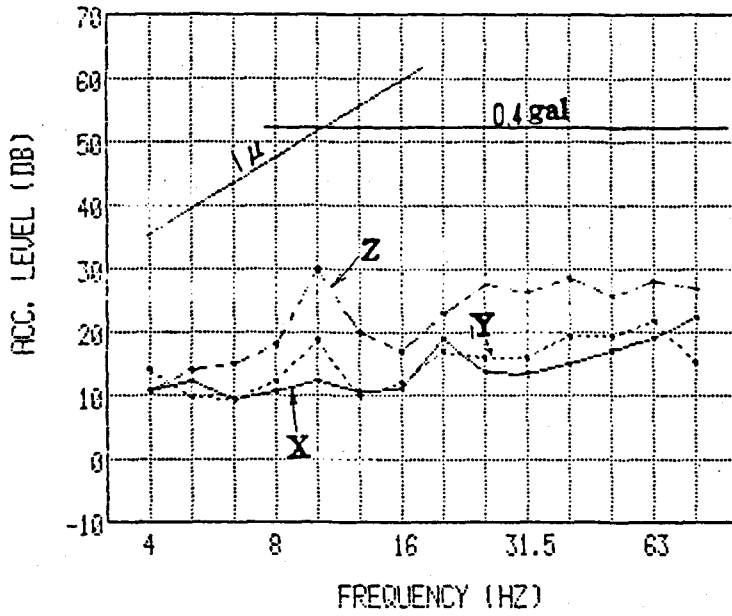


그림 38 Background Microvibration

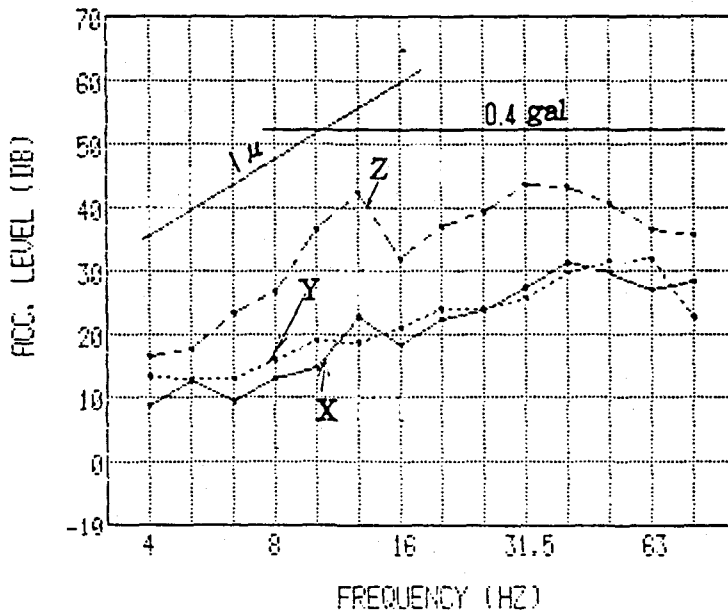


그림 39 Full Working State