

# 연구소 신축건물의 동강성 및 진동응답특성 평가

## Assessment Dynamic Stiffness and vibration response characteristics of the Institutes New Building

이규형† · 이장현\* · 오진우\* · 이정호\*

K. H. Lee, J. H. Lee, J. H. Oh, J. H. Lee

**Key Words** : Dynamic Stiffness(동강성), Frequency Response Function(주파수 응답 함수), BBN Curve

### ABSTRACT

연구소로 사용될 건물의 골조에 대한 FRF 및 Dynamic Stiffness에 대한 평가를 진행하였다. 동강성을 평가하여 정밀설비의 사용 가능여부를 파악하고 Slab의 위치에 따른 진동응답함수를 평가하며 정밀설비에 대한 설치위치의 참고자료로 활용하고자한다. 또한, 추후 진동원 설비에 대한 방진대책 선정 자료로 사용하고자 한다.

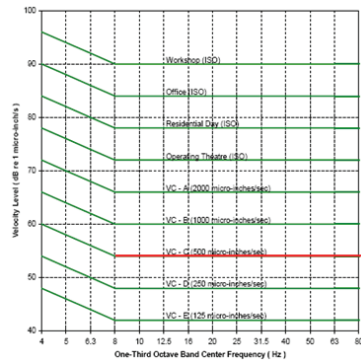
### 1. 서 론

건물 구조시스템은 내부의 공간의 효용성을 높이고 공사기간을 단축하기 위하여 장스팬화, 경량화 되어 가고 있다. 이는 단순 보행 및 작은 진동에 대한 수진점에서의 진동응답특성이 민감하게 반응하는 결과를 가져온다. 경량화에 따른 건축물에 진동수와 감쇠가 감소하여 나타나는 현상이다. 이러한 문제점들은 건물의 설계 단계에서 해석적인 방법을 이용하여 검토를 진행하고 있지만 완공 후 평가 및 문제발생 시 대책마련에 어려움이 있는 것이 사실이다. 본 논문은 기존 사용건물의 용도변경을 위하여 내부 건축분에 대한 철거가 진행되어 현재 RC구조에 대한 골조만 구성된 현장에 대한 동강성 및 보행에 의한 영향을 평가하였다.

### 2. 진동 기준 및 평가방법

#### 2.1 연구소 건물의 진동허용 기준

† 이규형, (주)엔에스브이  
E-mail : khlee@nsv.co.kr  
Tel : 032-816-7992, Fax :032-816-7993  
\* (주)엔에스브이



[그림 2.1] Generic Vibration Criteria (BBN Curve)

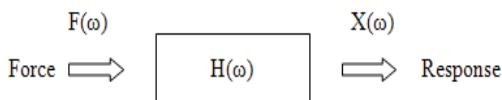
평가 건물은 병원 연구소로서 MRI를 비롯하여 정밀설비 및 검사장비들이 설치될 예정이다. 설비 위치 및 실별 사용 용도가 확정되지 않아 현재 Ambient 상태에서 BBN Curve VC-C를 기준으로 평가하였다.

표 2.1 각 장비별 진동허용 기준치

CLASS	Description of Use	Vrms Velocity	
		μm/s	mm/s
ISO-WS	Distinctly felt vibration. Appropriate to workshops and non-sensitive areas.	800	32000
ISO-OF	Felt vibration. Appropriate to offices and non-sensitive areas.	400	16000
ISO-RO	Barely felt vibration. Sleep areas in most instances. Probably adequate for computer equipment, probe test equipment and low-power microscopes (to 20X)	200	8000
ISO-OT	Vibration not felt. Suitable for sensitive sleeping areas. Suitable in most instances for microscopes to 100X and for other equipment of low sensitivity.	100	4000
VC-A	Adequate in most instances for optical microscopes to 400400X, microbalance, optical balances, proximity and projection aligners, etc.	50	2000
VC-B	Optical microscopes to 1000X, inspection and lithography equipment (including steppers) to 3 micron-meter line widths.	25	1000
VC-C	A good standard for most inspection equipment and lithography to 1 micron-meter detail size.	12	500
VC-D	Suitable in most instances for the most demanding equipment including electron microscopes (TEMs, SEMs, AFMs) and E-Beam systems, operation to the limits of their capacity.	6	250
VC-E	A difficult criterion to achieve in most instances. Assumed to be adequate for the most demanding of sensitive systems including long path, laser-based, small target systems and Other systems.	3	125

## 2.2 주파수 응답 함수

FRF의 측정은 설비의 가진 시 발생하는 진동 응답을 예측하기 위한 측정결과이다. 선형계에 대한 매우 효과적인 모델의 하나가 주파수 영역 모델이며, 여기서 출력 스펙트럼은 입력 스펙트럼에 시스템 연산자를 가중시켜 얻을 수 있다.



이 시스템 연산자  $H(\omega)$ 를 주파수 응답함수라고 하며, 다음과 같이 정의한다.

$$H(\omega) = \frac{X(\omega)}{F(\omega)} \Leftrightarrow X(\omega) = H(\omega) \times F(\omega)$$

Dynamic Stiffness는 FRF의 역수를 취하여 다음과 같이 계산된다.

$$k(\omega) = \frac{F(\omega)}{X(\omega)} [N/m]$$

주파수  $\omega$ 에서 정현파 입력 힘이 같은 주파수에서 정현파 출력 거동을 발생하는 것으로 출력의 크기  $|H(\omega)|$ 가 곱하여 진다. 결국 어떤 시스템에 가진력  $F(\omega)$ 의 충격이 가하여 그 시스템이  $X(\omega)$ 만큼 진동하였다면, 그 시스템의 고유한 특성  $H(\omega)$ 를 구할 수 있으며,  $H(\omega)$ 를 통하여 임의의 하중에 대해서도 그 시스템이 어떻게 진동할 것인가를 유추할 수 있다.

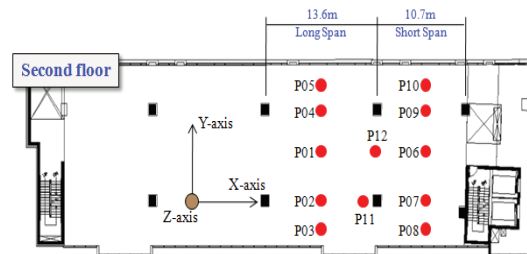
## 2.3 평가 방법

평가건물은 주변 다른 진동에 의한 영향이 없는 상태이며 다음 항목에 대한 평가를 진행하였다.

- Ambient Vibration Level
- Slow Walking adjacent laboratory
- Fast Walking adjacent laboratory
- Floor Natural Frequency & Dynamic Stiffness

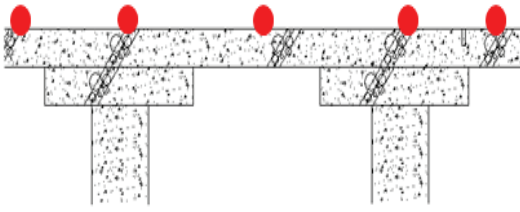
현재의 진동응답특성을 파악하고 보행 시 특성과 바닥 Slab의 동강성을 평가하고자 한다. 보행 시 가진 조건은 몸무게 65kg인 연구원 1명이 2.0m/s로 이동시(Slow Walking), 3.0m/s로 이동시(Fast Walking)로 구분하여 가진 하였다. 동강성 평가를 위해 Impact Hammer를 이용하여 Slab의 FRF를 측정하였다.

측정지점은 Span의 종류에 따라 그림 2.2와 같이 선정하였다.



[그림 2.2] 진동평가 지점

측정지점은 Span 간격이 긴 곳과 짧은 곳, 두 가지 경우에 대하여 구분하여 선정하였다. 측정은 X, Y, Z 축 방향 모두를 측정하였으며, 측정데이터는 1/3 Octave Band와 Narrow Band로 측정하였다.



[그림 2.2] 진동평가 지점 단면도

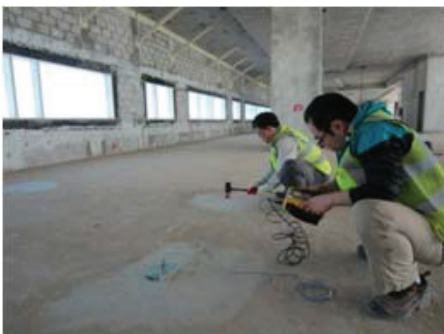
본 연구소는 column이 위치한 부분에 Band Slab가 존재하여 강성을 증가시킨 구조이다. 때문에 Slab 중앙지점, Band Slab 지점 및 Column 근방에서 측정지점을 선정하였다.



[그림 2.3] Ambient



[그림 2.4] Fast Walking

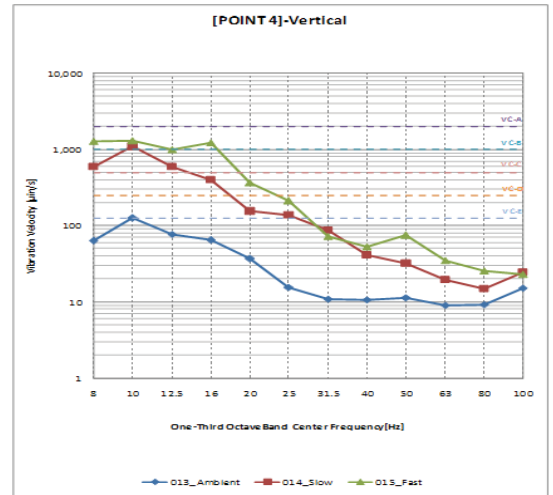


[그림 2.5] Impact Test-FRF

### 3. 평가 결과

#### 3.1 Generic Vibration Criteria BBN Curve

측정결과 수평방향(X, Y-Axis)은 모두 VC-E 이하로 측정되어 수직방향(Z-Axis)에 대한 결과값만을 정리하였다. 그림 3.1은 Band Slab지점에 대한 Ambient, Slow Walking, Fast Walking에 대한 측정결과이며 Fast Walking시 진동응답이 가장 크게 나타나는 것이 확인되었다.



[그림 3.1] Point 4지점의 측정결과

표 3.1 위치 별 평가 결과

측정위치	Ambient	Slow Walking	Fast Walking
P01	VC-C	VC-A	ISO-OT
P02	VC-D	VC-B	VC-A
P03	VC-C	VC-A	VC-A
P04	VC-E	VC-B	VC-A
P05	VC-E	VC-C	VC-A
P06	VC-D	VC-A	ISO-OT
P07	VC-E	VC-B	VC-A
P08	VC-C	VC-B	VC-A
P09	VC-E	VC-B	VC-B
P10	VC-E	VC-C	VC-B
P11	VC-E	VC-E	VC-D
P12	VC-E	VC-C	VC-B

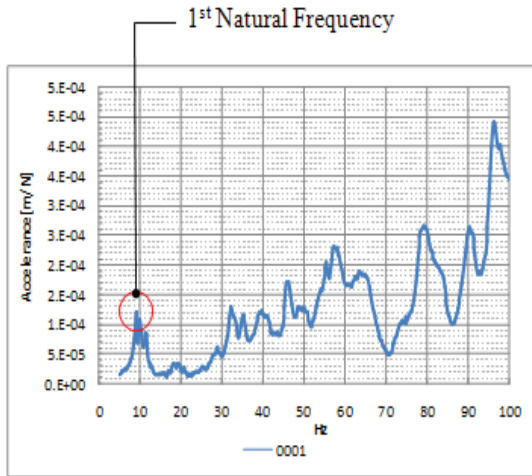
위치 별 측정결과 Slow Walking 시 굽힘 강성이 상대적으로 적은 Slab의 중앙지점이 VC-A로 측정되었고, Band Slab 지점에서는 VC-B로 측정되었다. Curtain Wall(아래측)이 조적벽 지점에 비해 상대적으로 한 Class정도 크게 측정되었다.

Fast Walking의 측정결과 Slab의 중앙지점에서 ISO-OT로 측정되어 Fast Walking에 의한 수직진동의 영향성이 다소 발생할 것으로 판단된다. Isolation 설계 시 Fast Walking Vibration을 하나의 Vibration Source로 반영할 필요가 있음을 알 수 있다.

### 3.2 Frequency Response Function

바닥의 Modal Mass와 바닥의 Stiffness에 의해 바닥의 고유진동수가 정해지는데, 급히 고유진동수인 1차 Mode가 진동에 가장 큰 영향을 준다. 일반적으로 6Hz미만이면 연약한 구조라 할 수 있고, 20Hz이상이면 강구조라 할 수 있다.

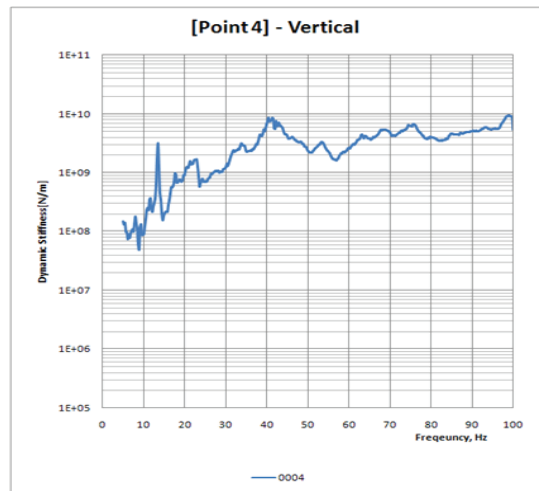
본 현장은 Span간격에 비해 Slab의 두께가 두껍고 Band Slab가 형성되어 적절한 강성을 가진 것으로 판단된다.



[그림 3.2] FRF 측정결과

### 3.3 Dynamic Stiffness

Narrow Band로 측정된 FRF 측정결과를 통하여 Dynamic Stiffness값을 산출하였으며 산출된 Dynamic Stiffness값은 그림 2.8과 같다.



[그림 3.3] Point 4지점의 Dynamic Stiffness

장비의 정상운동을 위한 진동허용 규제치를 만족하기 위해서는 구조물이 일정수준 이상의 동강성을 가져야 하며, 이에 진동원을 발생시키는 각종 정밀 장비는 Maker에서 동적강성에 대한 사양으로 동강성 허용 규제치를 제시한다.

일반적으로 반도체 공장인 경우 STIRRER장비의 동강성 기준을  $8 \times 10^8 \text{ N/m}$  (5~100Hz) 이상으로 하고, Mask Writer는  $2.5 \times 10^8 \text{ N/m}$  이상, Clean Room은  $8.4 \times 10^8 \text{ N/m}$  이상을 기준으로 하고 있다.

표 3.2는 위치별 Dynamic Stiffness의 측정결과이다.

장스판 중앙의 측정결과  $11 \times 10^8 \text{ N/m}$ 이며 단스판 중앙의 측정결과  $13 \times 10^8 \text{ N/m}$ 로 측정 되었다.

표 3.2 위치 별 Dynamic Stiffness

측정위치	Dynamic Stiffness ( $\times 10^8 \text{ N/m}$ )
P01	11
P02	36
P03	18
P04	34
P05	17
P06	13
P07	31
P08	14
P09	28
P10	9
P11	60
P12	10

## 4. 결 론

Ambient는 수직진동은 VC-D로 상당히 양호한 상태를 유지하고 있다. 이것은 현재 주변에 진동요인이 없기 때문이다. Slow Walking과 Fast Walking은 발생 진동원 자체가 변동성이 크므로 진동에 민감한 장비에 영향을 줄 수 있기 때문에 방진대책 설계 시 진동원으로 고려해야 된다.

Dynamic Stiffness는 Slab 중앙에서  $11 \times 10^8$  N/m로 측정되었으며 Cantilever Slab에서  $9 \times 10^8$  N/m로 가장 낮게 측정되었다. Dynamic Stiffness는 적정 권장치가 없으나, 다만 반도체 공장의 Stepper에 대한 바닥진동상태가  $8 \times 10^8$  N/m인 것을 감안하면 바닥 강성은 충분한 것으로 평가되었다. 또한 FRF의 1차 Mode가 10Hz 정도로 바닥의 동적특성은 양호한 수준이다.

향후 해석을 통하여 측정결과와 비교 분석을 진행할 것이며, 측정결과를 바탕으로 연구소 내에 설치될 설비 및 주요시설에 대한 참고자료로 활용할 예정이다.

## 참 고 문 헌

(1) 안상경, 문영중, 오정근 건물바닥 슬래브의 동특성 분석을 위한 가진기와 Impact Hammer의 성능 비교, 한국소음진동공학회, 2007 추계학술대회 논문집 pp. 117~120, 2007.

(2) 이성수, 전호민, 이중위, 홍갑표, 바닥진동 평가방법에 사용된 평가척의 비교분석, 대한건축학회 논문집 2006년 3월

(3) Acentech Report Floor Vibrations at West Point