

〈論 文〉

전달함수법을 이용한 장비가진력과 바닥진동응답의 예측

Prediction of the Exciting Force of Machine and the Vibration
Response of Floor Using Transfer Function Method

김 석 홍* · 김 준 호* · 이 홍 기*

Seok-Hong Kim, Jun-Ho Kim and Hong-Ki Lee

〈1992년 9월 5일 접수; 1992년 11월 20일 심사완료〉

ABSTRACT

The prediction of vibration response of floor is necessary in order to check whether the floor vibration level will satisfy the allowable vibration standard of precise machinery such as electronic microscopes in semiconductor manufacturing plant before the installation of various neighboring equipment facility. In conventional vibration isolation, we were mainly interested in minimization of vibration transmissibility and stabilization of vibration isolation system. But in order to predict vibration response of floor, it is necessary to know exciting force of equipment installed on the floor and the mobility of the floor. We measured the exciting force of the dropped mass assumed as equipment and the mobility of some practical building floor using large impact hammer. And from this we predicted the vibration response of floor on which the mass dropped. This predicted vibration response of floor is compared with measured vibration response. Through upper procedure, we examined the possibility of predicting vibration response of floor from the information of exciting force of equipment and the mobility of floor.

1. 연구의 배경 및 목적

최근의 반도체 공장등의 정밀광학기기는 미진동에도 매우 민감한 영향을 받는 것으로 알려져 있으며 정상적인 성능을 발휘하도록 하기 위해서는 일정수준 이하로 진동을 제어해야 한다. 이 경우 외부의 진동원에 대한 제반의 방진설계를 실시하게 되는데 이 과정에서 진동허용 기준과의 비교를 위해 방진후의 바닥 및 장비등에서의 진동을 예측할 필요가 있다.

기존의 일반적인 방진설계에서는 주로 진동전달률

의 최소화와 방진계의 안정성에 관심을 기울여 왔다. 그러나 가진력을 갖는 장비가 설치될 바닥의 진동을 사전에 정량적으로 예측하기 위해서는 장비 가진력의 정확한 크기와 장비가 놓여지는 바닥구조물의 Mobility에 대한 정보가 필요하다. 특히 방진설계 현장의 구조물에 대한 Mobility 정보를 이론적 해석방법으로 구하는 것은 매우 번거로운 일이며 편리성을 위해 간단한 동적모델링을 할 경우 그 정확성에 대해서도 신뢰하기가 어렵다. 이러한 현장여건은 방진계 및 그 주변 진동환경에 대한 총체적인 정량적 진동예측이나 평가를 어렵게 하고 있다(Fig. 1).

* 정회원, 유니슨산업주식회사 부설 유니슨기술연구소

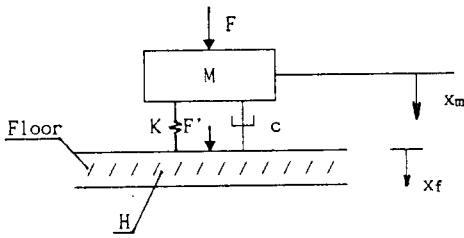
최근에 들어서는 각종 기기의 환경내진시험 및 구조물의 동특성 시험에 대한 관심이 증대되고 있는 추세에 있으며 방진분야에서도 진동측정만이 아닌 진동시험개념 도입의 필요성이 높아지고 있다. 예를 들어 어떤 가진력을 가진 기계가 설치될 바닥의 진동응답 특성을 알 경우 방진설계에 유용하게 이용될 수 있으며 다수의 부재로 구성된 산업기계류의 한점의 힘 입력에 대한 다른 한점에서의 진동응답특성을 알 경우 그 기계에 대한 보다 많은 진동거동 정보를 얻을 수 있다.

본 연구에서는 상이한 진동특성을 갖는 다수의 실제 건축구조물 바닥에서 장비의 가진력 및 바닥의 모빌리티를 측정하고 이들 상호관계로부터 기지의 힘을 갖는 가진원에 대한 바닥의 진동응답예측 가능성을 실험을 통해 검토하고자 한다.

2. 이론적 고찰

2.1 주파수 응답함수의 정의

선형계에 대한 모델중의 하나는 주파수영역 모델로써 출력 스펙트럼 응답 $X(w)$ 는 입력 Force 스펙트



기지항	① M, C, K ② 가진력 F의 강제진동수 ③ 전달률 $T = F'/F$
미지항	① 가진력 F의 크기 ② 바닥의 진동응답 특성 H ③ 기계와 바닥의 응답크기 x_m, x_f

Fig.1 기존의 일반 방진설계의 조건

Table 1 Accelerance 측정 구조물

NO.	구조물 기호	구조물 특성 및 위치	측정 목적	
			가진력산정	응답예측
1	GF	지면에 면한 지하1층 물갈기 바닥	○	○
2	2FB1	2층 사이 보 상부	○	○
3	2FB2	2층 주보 상부	○	○
4	2FS	2층 슬라브 상부	○	○
5	VIB	고무마운트 방진베이스 상부	○	○

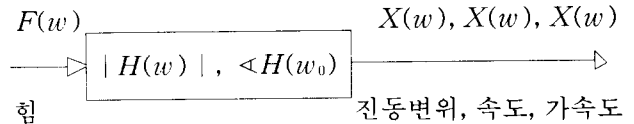
럼 $F(w)$ 와 계의 특성 $H(w)$ 의 곱으로 표현된다.

$$X(w) = F(w) \cdot H(w) \quad (1)$$

이 계의 특성 $H(w)$ 를 주파수 응답함수라 하며 다음과 같이 정의된다.

$$H(w) = X(w)/F(w) \quad (2)$$

이것은 출력과 입력의 복소비율을 주파수 w 의 함수로 나타낸 것으로 크기 $|H(w)|$ 와 위상각 $\angle H(w) = \phi(w)$ 를 갖는다. 힘 입력에 대한 출력, 즉 응답은 변위, 속도, 가속도중의 하나로 표현될 수 있으며 각각에 상응하는 주파수응답함수를 Compliance, Mobility, Accelerance라 한다.



일반적인 의미에서 “모빌리티 측정”이라는 용어는 위의 3종류 주파수 응답함수를 설명하는데 모두 이용되며 3종류중 어느 한가지를 측정하면 계산에 의해 다른 것으로 변환될 수 있다. 구조물의 모빌리티는 Fig. 2와 같이 구조물에 힘을 가하면서 구조물의 진동응답을 측정하고 그 진동응답과 가한 힘의 비로부터 구하게 된다. 따라서 구조물의 모빌리티를 알고 있을 경우 가진력을 알면 진동응답을 구할 수 있고 진동응답을 알면 임의 가진력을 구할 수 있다.

3. 실험개요

본 실험에서는 건축구조물에서도 가진이 용이한 충격가진 방법을 사용하였으며 구조물의 응답특성은 모두 진동가속도에 의해 측정하였고 모빌리티는 Accelerance로 나타내었다. Accelerance 측정은 바닥 구조에 따른 차이를 살펴보기 위하여 Table 1과 같

3.2 자유낙하 물체의 가진력 산정

가진력을 갖는 실제의 장비를 Table 1의 각 위치로 이동하면서 실험을 하기가 어려운 난점이 있어 본 실험에서는 가진력을 발생하는 장비로서 22.6kg에 해당하는 물체를 30cm 높이에서 구조물에 일정하게 자유낙하시키는 방법을 이용하였다. 물체낙하후 1차 충격만을 이용하기 위하여 1차 반발후 2차 충격이 가해지지 않도록 실험을 하였으며 충격 접지면의 접촉상황에 따른 오차를 줄이기 위해 Fig. 6과 같이 낙하물체의 하부를 적은 접지면적을 갖는 구조로 하였다.

① 자유낙하 물체를 3.1절의 Accelerance 측정 가진점에 자유낙하 가진시켰을 때 30cm 떨어진 점의 진동가속도를 측정한다.

② 위의 진동가속도를 3.1절에서 측정한 그 구조

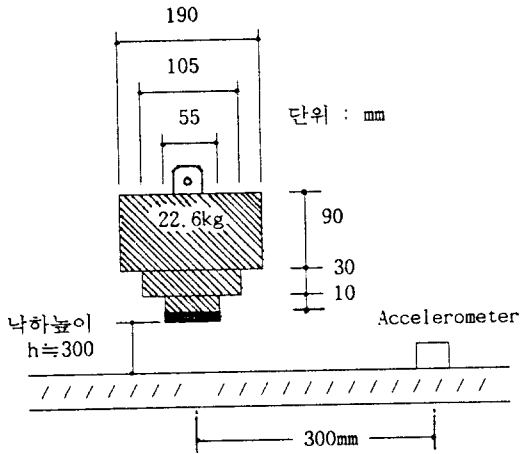


Fig. 6 자유낙하 물체의 가진력 측정

물의 Accelerance로 나누어 자유낙하 물체의 가진력을 구한다.

3.3 바닥진동 예측치와 실측치의 비교

자유낙하 물체 낙하시 바닥진동 예측치는 3.1절에서 측정한 Accelerance와 3.2절에서 구한 가진력을 곱하여 계산하였으며 이를 자유낙하 물체 낙하시 30cm 떨어진 점의 진동가속도 실측치와 비교하였다.

4. 측정결과 및 고찰

4.1 바닥 모빌리티 측정결과

바닥 모빌리티는 바닥 입력힘과 인접지점의 진동가속도 실측치로부터 모두 Accelerance로 나타내었다. Fig. 7에 입력힘의 스펙트럼을 나타내며 Fig. 8에 입력힘과 인접 진동가속도 신호의 Coherence를 나타낸다. 입력힘은 Fig. 7에서 보는바와 같이 가진점 바닥이 모르타르 마감 아스타일 마감등의 경우에는 거의 비슷한 크기를 갖지만 이에 비해 바닥이 단단한 지하 1층 인조적물갈기 바닥의 경우 더 큰 값을 갖는 것으로 나타났다. Coherence는 대부분의 경우 10Hz 이하에서 떨어지고 있으며 지하 1층 바닥 GF의 경우 30Hz 이하에서 Coherence가 좋지 않게 나타나고 있다.

Fig. 9에 각 구조별 Accelerance를 나타낸다. Accelerance는 바닥구조별로 상이한 주파수특성과 크기를 가지고 있으며 바닥의 강도가 클수록 작게 나타나 방진베이스 상부 VIB, 슬라브 중앙점 2FS, 2층 사이보 상부 2FB1, 2층주보 교차점 상부 2FB2, 지하 1층 지면접촉 바닥 GF의 순으로 작은 값을 보

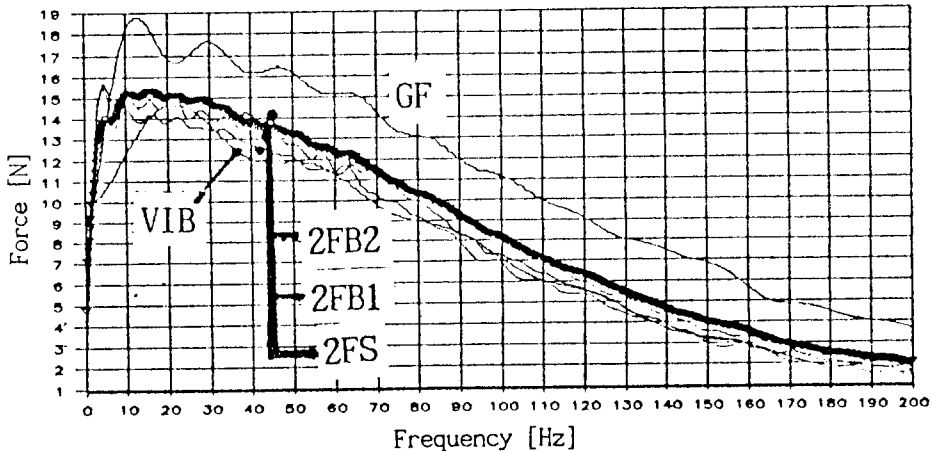


Fig. 7 바닥 Accelerance 측정시의 입력힘 주파수특성

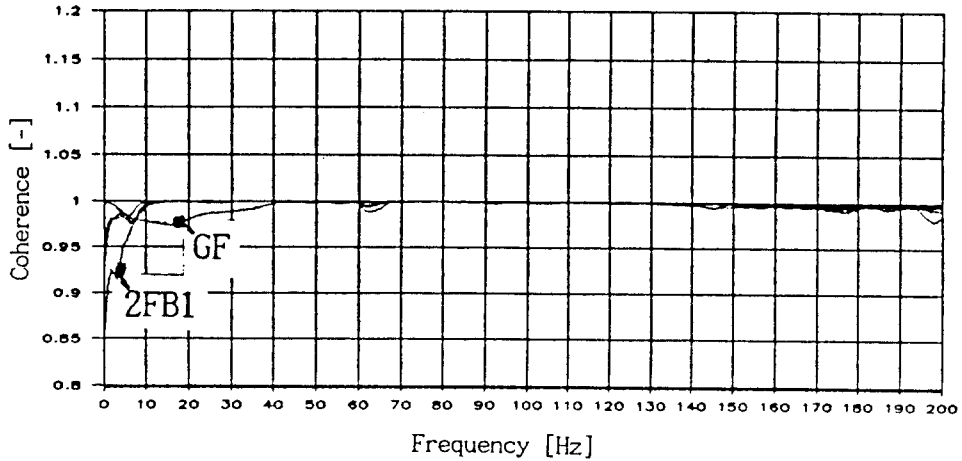


Fig.8 바닥 Accelerance 측정시의 입력힘과 진동가속도신호의 Coherence

이고 있다.

4.2 자유낙하 물체의 충격가진력 산정결과

자유낙하 물체 낙하시 측정된 진동가속도를 Fig. 9의 Accelerance로 나누어 충격가진력을 구하였으며 Fig. 10에 그 결과를 나타낸다. 충격가진력의 크기는 30Hz이상의 주파수에서 고찰해 볼 때 대부분 바닥의 강성순으로 높게 나타나고 있다. 가진력의 주파수특성은 20Hz이상에서는 평균치에서 10N 이내의 차이를 보이고 있는 반면 20Hz 이하 주파수에서는 각 경우별로 큰 차이를 보이고 있다. 모빌리티 개념으로부터 계산한 자유낙하물체의 충격가진력은 같은 중량의 물체를 같은 높이에서 자유낙하시켜도 5종류의 바닥 구조별로 바닥의 마감상태등에 따라 다르게 나타나 본 연구에서는 이중에 어느 하나를 대표값으로 보기 어려워 평균값을 이용하였다. 이로부터 충격성 장비의 충격가진력 측정을 위한 바닥구조는 실제 장비가 설치될 바닥구조와 유사한 구조를 갖도록 신중히 선택되어야 할 것으로 생각되며 충격성이 아닌 일정한 힘을 갖는 장비의 경우에는 이러한 문제는 없을 것으로 판단된다.

4.3 이론예측치와 실측치의 비교

모빌리티 개념으로부터 예측된 바닥의 진동크기와 실측치를 각 바닥구조별로 Fig. 11에 나타낸다. 구조물이 고무마운트에 의해 지지된 방진베이스 VIB의 경우를 제외하고는 대부분의 바닥구조물에서 예측치와 실측치의 주파수특성은 거의 일치하고 있으며 그 크기에 있어서는 바닥구조별로 약간의 차이를 보이고

있다. 예측치와 실측치의 크기가 차이를 보이는 것은 자유낙하 충격가진력 산정시 측정을 실시한 구조물간의 차이가 예측치에 반영되어 나타나기 때문인 것으로 생각된다.

5. 결 론

기존의 방진설계는 기계의 가진력과 방진시스템에 의해 차단된 후 바닥으로 전달되는 힘과의 비율만을 전달률로 제시하는데 그치는 것이 일반적이었으나 보다 정밀한 방진과 기계설치 바닥의 진동응답을 예측하기 위해서는 기계의 가진력과 바닥의 진동특성을 정확히 알 필요가 있다. 본 연구에서는 5종류의 건축 구조물 바닥에서 기지의 힘입력에 의한 충격진동시험을 통한 바닥의 Accelerance 측정 및 자유낙하 물체의 가진력 측정을 실시하고 바닥에서의 진동예측치와 실측치를 비교함으로써 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 기지의 힘입력을 가할 수 있는 대형 충격가진기에 의해 건물바닥 구조물의 정확한 모빌리티 측정이 가능하였으며 측정결과 모빌리티는 바닥의 강도가 강할수록 작게 나타나 일반적으로 예측되는 결과와 일치하고 있다.

(2) 가진력을 갖는 장비로 이용된 자유낙하 물체의 충격가진력 산정 결과 측정을 실시한 바닥구조에 따라 20Hz 이상에서 평균치로부터 10N 정도의 차이를 보이고 있는 것으로 나타났다. 이는 자유낙하물체의 바닥면 접촉상황이 낙하시마다 균일하지 않은 것과 2차 반발가진을 피하기 위하여 사람이 가진한 것등의 원인 이외에 바닥자체의 진동특성에 기인한

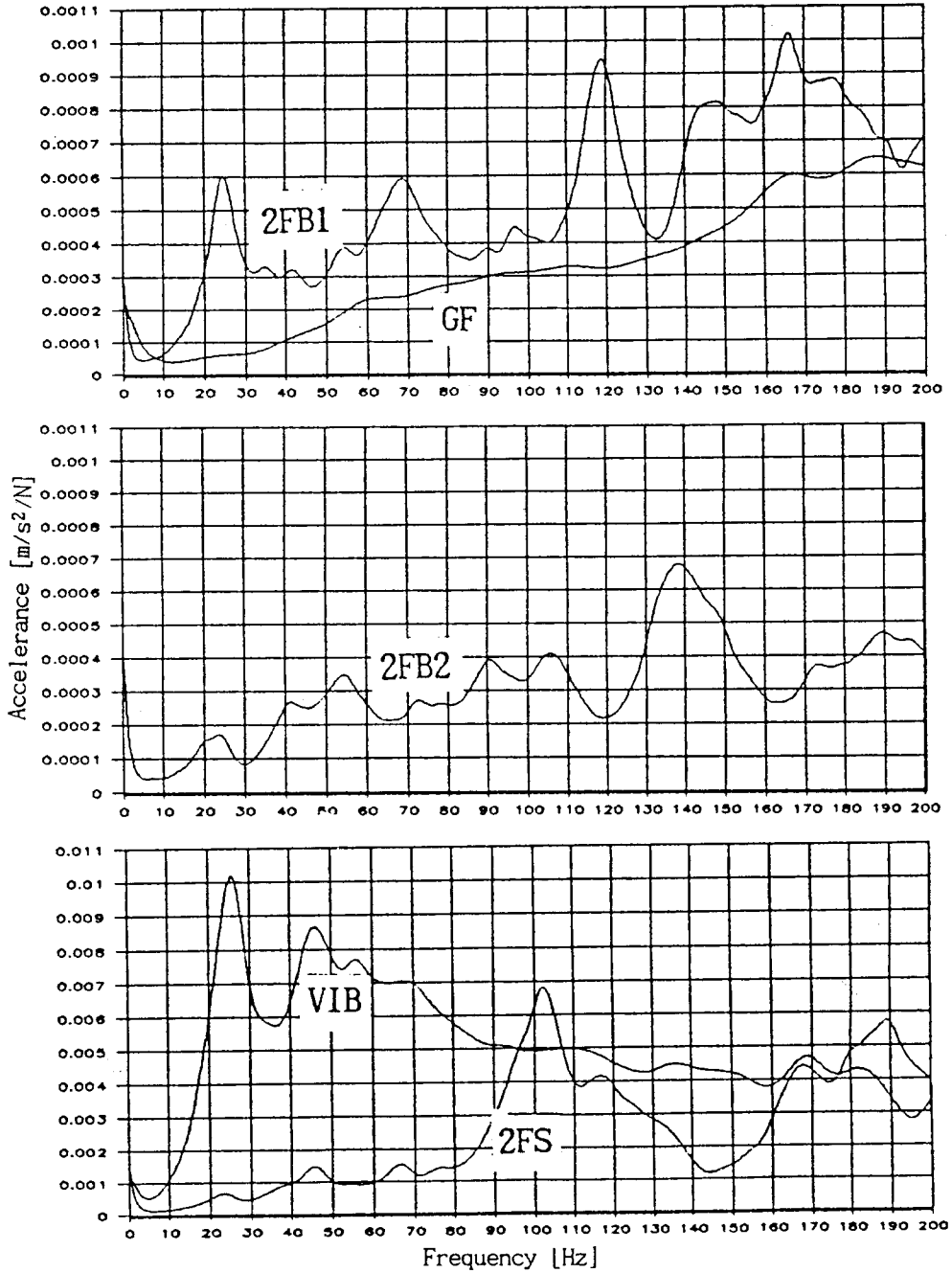


Fig.9 바닥 Accelerance 측정치

것으로 판단되며 충격성의 가진력을 측정할 때 어떤 바닥에서 측정을 실시하는 것이 좋은가에 대한 문제는 계속적인 검토가 필요할 것으로 생각된다.

(3) 바닥 모빌리티와 자유낙하 물체의 가진력으로부터 계산한 바닥진동 예측치는 실제로 자유낙하 물체를 낙하시켜 측정된 바닥진동 실측치와 주파수특성

및 진동 크기면에서 거의 일치하고 있으나 방진베이스 상부와 슬라브 중앙부에서는 약간의 차이를 보이고 있다. 이는 바닥의 모빌리티는 정확히 측정하였으나 자유낙하 물체의 충격가진력을 정확히 측정하기 어렵기 때문인 것으로 생각된다.

본 연구에서는 일반 기계설비와 같이 특정 강제진

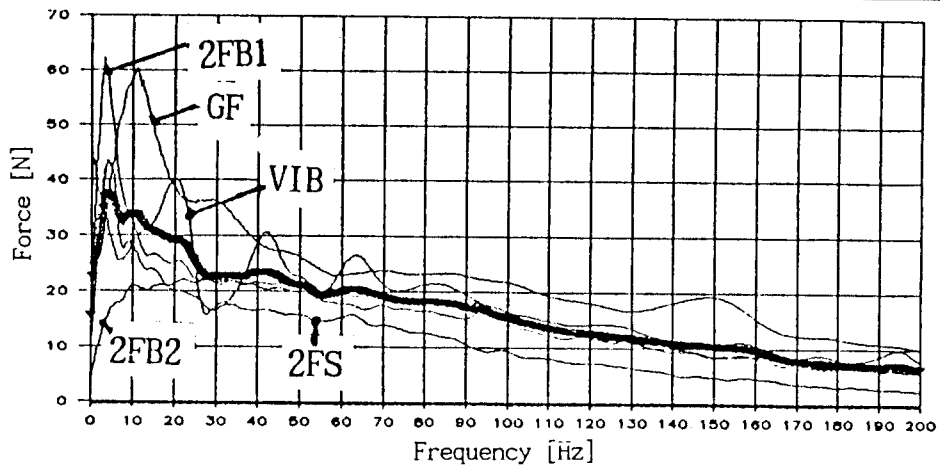
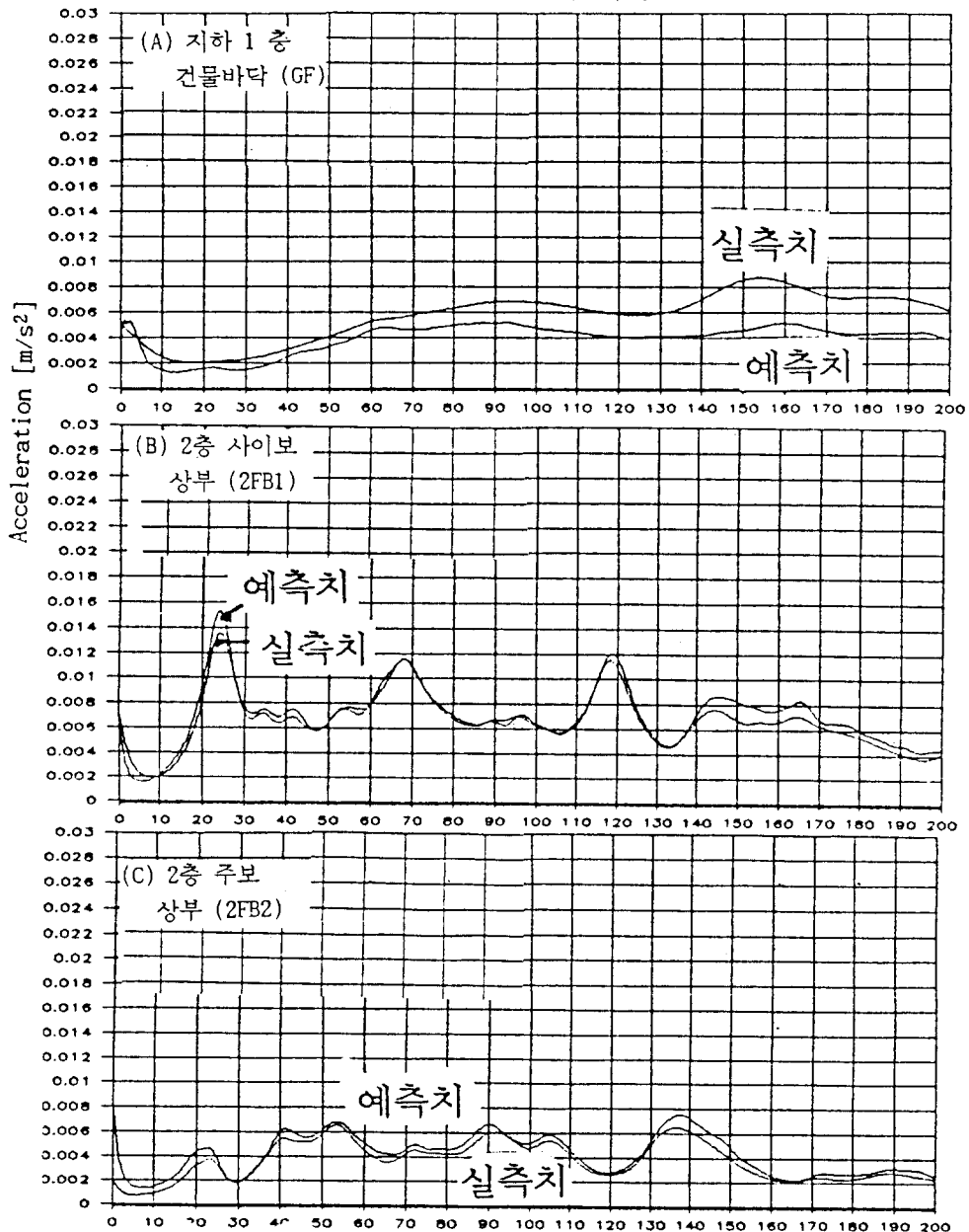


Fig.10 자유낙하 물체의 가진력 산정치



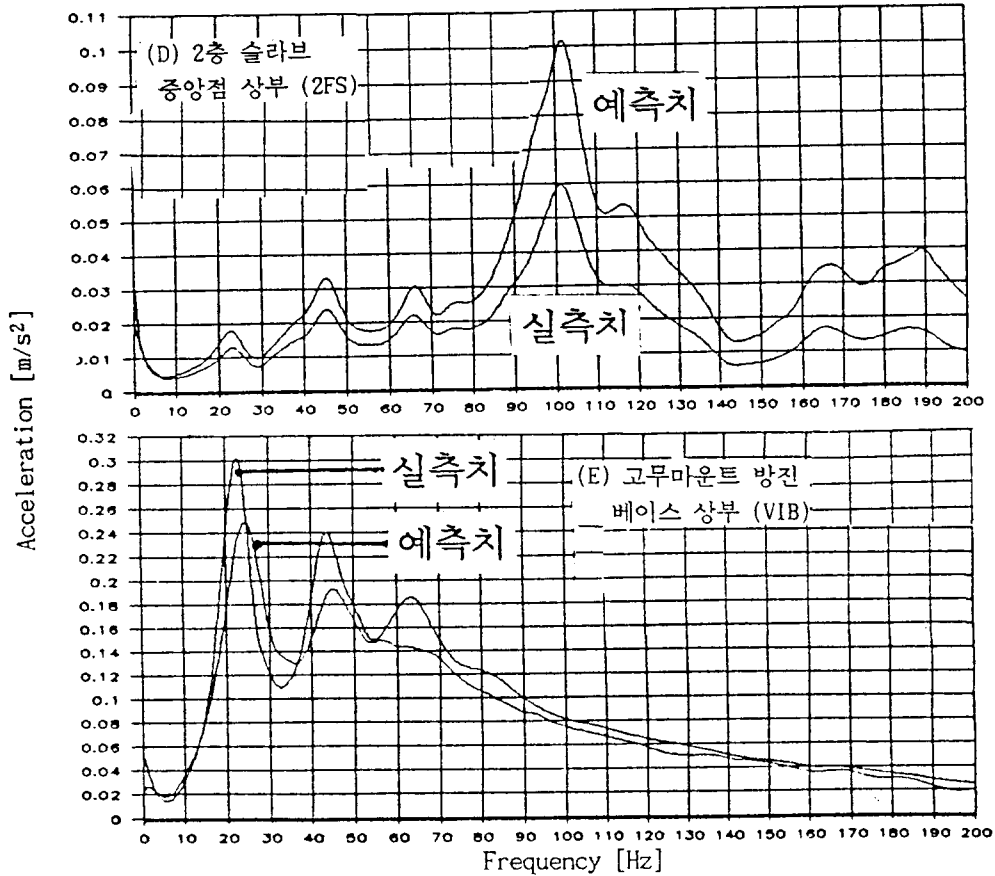


Fig.11 바닥진동 예측치와 실측치의 비교

동수를 갖는 장비가 아닌 자유낙하물체를 이용하여 그 가진력을 일반 건축구조물바닥에서 측정 평가하고 실제의 경우와 같이 장비가 무게를 갖는것에 대한 검토없이 바닥의 진동 예측치와 실측치를 비교하였다.

앞으로 특정 강제 진동수를 갖는 장비를 대상으로 하여 그 가진력 산정을 위한 적절한 진동계의 설정방법 및 실제로 무게를 갖는 장비가 모빌리티를 알고 있는 바닥에 설치될 때의 진동응답 예측방법에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

(1) 金敎斗 譯編, 1985, “建築設備핸드북”, pp. 255~256, 圖書出版 金塔.

(2) 일본건축학회, 1987, “實務的 騒音對策指針 應用編 第 6章 設備振動”, pp.155~156.

(3) G. G. D. Goyder and R. G. White, 1980, “Vibrational Power Flow From Machines Into Builtup Structures, Part III : Power Flow Through Isolation Systems”, J. Sound and Vibration, 68(1), pp.97~117.

(4) R. J. Dinnington, 1987, “Vibrational Power Transmission to a Seating of a Vibration Isolated Motor”, J. Sound and Vibration, 118(3), pp.515~530.

(5) Ole Dssing, Bruel & Kjaer, 1988, “Structural Testing Part 1”, Mechanical Mobility Measurements.