

건물바닥 슬래브의 동특성 분석을 위한 가진기와 Impact Hammer의 성능 비교

Comparison of Performance of the Exciter and Impact Hammer Test for Dynamic Characteristics Analysis of Floor Slabs

안 상 경† 문 영 중* 오 정 근**

Ahn, Sang-Kyung, Moon, Yeong-Jong Oh, Jung-Keun

Key Words : Exciter(가진기), Impact Hammer(임팩트 햄머), Dynamic Characteristics(동특성), Floor Slabs(바닥슬래브)

ABSTRACT

The floor slabs of building structures are often subjected to the periodic force which is induced by vibrating machines or human activity(walking, jumping, running etc). These periodic forces cause excessive oscillation. In order to examine the dynamic characteristics of floor slabs, the dynamic characteristics test is accomplished. Generally, the Impact Hammer and Dynamic Exciter test is used to dynamic characteristics test. But the Impact Hammer test is not suitable to apply in building slabs. In this paper, It compared the performance of the Exciter and Impact Hammer test for dynamic characteristics analysis of floor slabs.

1. 서 론

건물 구조시스템은 내부의 공간의 효율성을 높이고 공사 기간을 단축하기 위하여 장스팬화, 경량화 되어 가고 있다. 이러한 추세를 반영하여 최근 강구조 건축물은 대공간 확보를 위한 장스팬화와 설계기술의 발달, 고강도 강재의 개발, 경량 콘크리트의 사용 등에 의해 건물의 중량이 감소됨에 따라 구조물의 진동수와 감쇠성은 더욱 감소되고 있으며 이러한 현상은 바닥판 위의 동적하중에 매우 취약하여 많은 진동 문제를 발생시키기도 한다. 이러한 경향은 거주자들에게 불쾌감 내지는 불안감을 주고 있고 더 심각해질 것으로 보인다.

건물의 바닥슬래브의 사용성 검토는 일반적으로 사람에 의한 보행하중이나 건물내부에 설치되는 각종 기계설비에 의한 진동에 대하여 수행하게 된다. 이러한 진동에 대한 사용성은 주로 바닥슬래브의 동적특성에 의하여 좌우되며, 동적특성을 파악하기 위해서는 주로 모드해석(Modal Analysis)을 실시하게 된다. 모드해석은 가진력을 구조물의 한 지점에 가하고 진동응답을 전체구조물에 걸쳐 측정

함으로써 각각의 주파수 응답함수(Frequency Response Function:FRF)를 가진력과 응답으로부터 측정할 수 있다. 실험 데이터 분석을 통하여 공진진동수, 감쇠비 및 모드형상 등을 파악하기 위하여 측정된 주파수 응답함수를 그래프로 나타낸다. 이러한 모드해석에는 주로 가진기(Exciter)와 임팩트 햄머(Impact Hammer)를 사용하여 수행한다. 임팩트 햄머는 일반적으로 가진기에 비하여 사용과 취급이 간단하여 많이 사용되고 있지만 저주파영역에서는 오차를 수반하는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 논문에서는 임팩트 햄머의 사용한 주파수 응답함수의 측정상의 문제점과 이를 해결하기 위한 방안에 대하여 연구하였다.

2. 바닥슬래브의 동특성 측정

2.1 주파수 응답함수

선형계에 대한 매우 효과적인 모델의 하나가 주파수 영역 모델이다. 이것은 식(1)과 같이 출력과 입력에 시스템 연산자를 가중시켜 얻을 수 있다.

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

여기서 $H(\omega)$ 는 주파수 응답함수며 다음과 같다.

† 안상경; 삼성물산 건설부문 기술연구소
E-mail : s.k.ahn@samsung.com
Tel : (02) 2145-6474, Fax : (02) 2145-6500

* 삼성물산 건설부문 기술연구소

** 삼성물산 건설부문 기술연구소

$$H(\omega) = \frac{X(\omega)}{F(\omega)} \quad (2)$$

이것은 주파수 ω 의 함수로써 입력과 출력사이의 복소비를 나타낸다. 주파수 응답함수에 대한 물리적인 설명은 주파수 ω 에서 정현파 입력 힘이 같은 주파수에서 정현파 출력거동을 발생하는 것이다. 선형계만 취급하는 것으로 제한되어 있기 때문에 입력 및 출력은 정현파의 합으로 생각할 수 있다. 주파수응답함수는 측정에 사용된 신호 형태와는 무관하게 시스템의 동적 특성을 설명해 준다. 그러므로 주파수 응답함수는 정현파, 충격신호 및 랜덤 가진이 모두 적용될 수 있다. 그림 1은 주파수 응답함수의 계측을 도식적으로 나타낸 것이다.

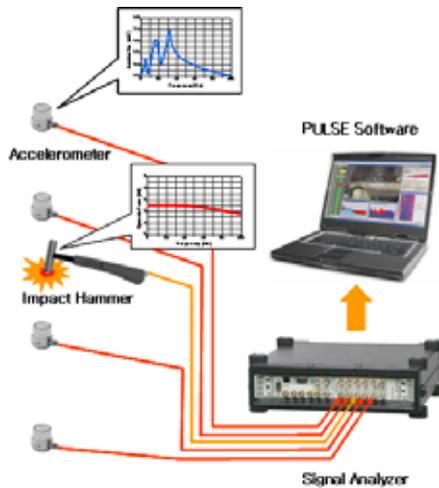


그림 1 주파수응답함수 계측 개념도

물체의 운동은 변위, 속도 및 가속도로 표현될 수 있다. 각각에 상응하는 주파수 응답 함수를 Compliance, Mobility 그리고 Accelerance 라고 한다. 건물의 사용성 평가 측면과 측정에 있어서 일반적으로 사용되는 주파수 응답함수는 Accelerance 이다.

2.2 가진방법

진동 가진기는 정현파 혹은 광대역 신호를 가하여 분석하려는 구조물에 힘을 입력하는 우수한 방법중의 하나이며, 그림 2와 같다. 광대역 신호를 사용하는 경우 출력뿐만 아니라 입력도 측정하여 FFT(Fast Fourier Transform)에 의해 분석된다. 주파수 응답 함수는 힘 변화기로 측정된 입력 스펙트럼과 통상 가속도계로 측정된 출력스펙트럼에 의해 계산된다.



그림 2 진동 가진기

가진기를 사용하는 대신 그림 3과 같은 힘변환기가 부착된 임팩트햄머에 의해 광대역 가진을 할 수 있다. 충격기법은 매우 빠르다. 충격 신호는 모든 주파수에서 에너지를 포함하고 있어서 모든 모드가 동시에 가진된다. 실험 준비시간이 매우 짧고 필요한 장비의 수가 적지만, 신호대 잡음비가 낮아서 높은 감쇠율을 지닌 크고 깨지기 쉬운 구조물의 경우 피시험물체에 손상을 입히지 않는 범위내에서 충분히 큰 응답을 얻을 수 없다.



그림 3 임팩트 햄머

진동가진기는 높은 신호대 잡음비를 갖고 있어 가진 파형의 선택에 따른 제어가 용이하며, 동시에 여러 부위를 가진시킬 수 있다.

3. 임팩트 햄머를 사용한 Accelerance의 측정

3.1 가진시간과 Accelerance와의 관계

일반적으로 구조물의 Accelerance는 것은 비공진점에서의 Accelerance 보다는 공진점에서의 Accelerance가 더 중요하다. 이것은 대부분의 진동문제가 발생하는 것은 공진점 근처의 진동수 영역이기 때문이다. 따라서 충분한 공진을 발생할 수 있는 요건을 충족시켜 주어야 한다.

구조물에 충분한 공진이 발생하기 위해서는 구조물의 고유진동수와 동적하중의 공유진동수가 일치하여야 한다. 또한 충분한 시간동안 공진이 발생할 수 있도록 동적하중이 적용하여야 한다. 그림 4는 감쇠비

에 따른 공진 발생형상을 나타낸 시간이력 그래프이다. 시간이 경과함에 따라서 진폭이 커지는 것을 알 수 있으며, 감쇠비가 클수록 공진진폭에 빨리 도달한다는 것을 알 수 있다.

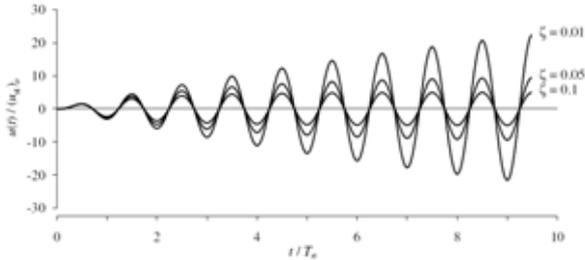


그림 4 감쇠비에 따른 공진 형상

이것을 공진이 발생할 때 까지의 진동횟수로 나타내면 그림 5와 같다. 그림 4에서와 같이 감쇠비가 클수록 공진이 빨리 발생함을 알 수 있다. 예를 들어 감쇠비가 5%인 경우에는 약 25회 정도의 진동을 하게 되면 공진진폭의 100%에 도달하게 되며, 감쇠비가 2% 경우에는 약 50회 정도의 진동을 하게 되면 100%의 공진진폭에 도달하게 된다.

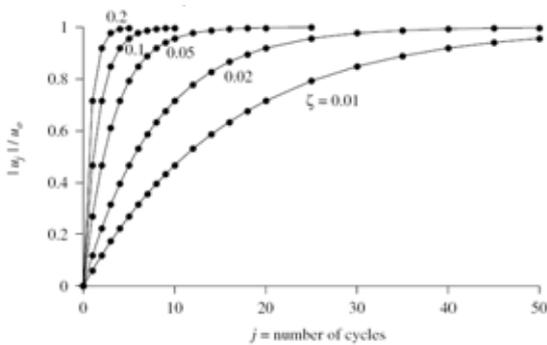


그림 5 진동 횟수에 따른 공진진폭

이것을 수식으로 나타내면 식 (3)과 같다. 철골조 건물 바닥슬래브의 감쇠비는 대부분 3%내외이며, 공진진폭의 95%정도를 감안하면 진동횟수 j 는 약 16회 정도가 된다.

$$\frac{|u_j|}{u_0} = 1 - e^{-2\pi\zeta j} \quad (3)$$

또한 철골조 건물의 바닥슬래브의 고유진동은 약 5Hz~7Hz 정도가 되기 때문에 위에서 언급하였던 16회 정도의 진동횟수를 발생하기 위해서는 약 2.3초~3.2초 정도의 연속가진이 필요하다. 즉 안전측으로 계산을 하게 되면 철골조 바닥슬래브의 비교적 정

확한 Accelerance를 계측하기 위해서는 최소 3.2초 정도의 지속적인 가진이 필요하다는 것이다. 물론 이것은 바닥슬래브의 고유진동수를 5Hz 정도로 가정한 것이며, 정상응답의 95%이상의 값을 얻을 수 있는 조건으로 계산한 것이다. 이러한 가진을 통하여 그림 6에서와 같이 Q값(Quality Factor)을 이용하여 감쇠비를 계산할 수 있다.

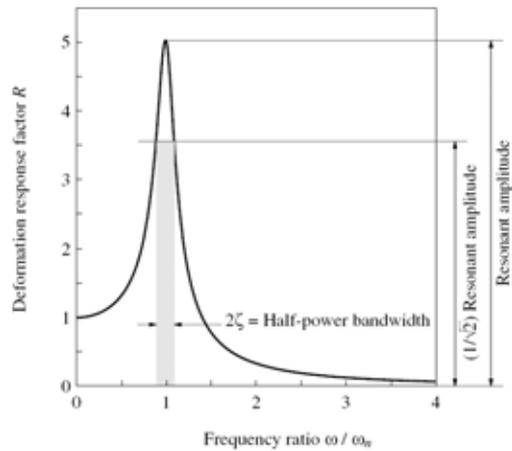


그림 6 감쇠비의 계산

3.2 임팩트 햄머의 가진 특성

임팩트 햄머를 사용하는데 있어서 적당한 햄머링에는 경험을 요하지만 기본적인 특성을 파악할 필요가 있다. 햄머의 가진파형은 접촉시간 t_0 의 반 정현파와 거의 비슷하며, 주파수 대역은 $1/2t_0$ 이하로 된다. 이것은 햄머의 중량, 팁의 종류에 따른 강성 등에 영향을 받게 된다.

그림 7은 임팩트 햄머의 가진에 따른 시간이력을 나타낸 것이다. 이와 같이 임팩트 햄머의 경우에는 가진시간이 매우 무른 팁을 사용한다 하더라도 하중의 지속시간이 0.02 이하로 매우 짧다. 따라서 충분한 공진을 기대하기 어렵기 때문에 정확한 Accelerance를 측정하기 힘들 것으로 판단 된다.

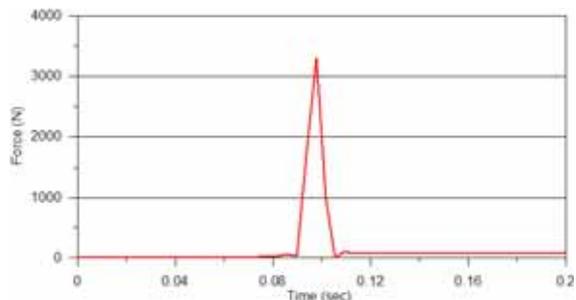


그림 7 임팩트 햄머의 가진시간 예

그러나 임팩트 햄머의 경우에는 ① 단지 몇 번의 평균이면 충분하기 때문에 계측속도가 매우 빠르다. ② 따로 부착물을 제작할 필요가 없다. ③ 구조물에 부가되는 하중이 없다. 이것은 가벼운 구조물을 측정할 때 매우 유리하다. 왜냐하면 측정점이 변함에 따라 하중 효과가 달라져서 각각의 측정에서 서로 다른 모달 주파수의 이동을 초래하기 때문이다. ④ 휴대할 수 있어 현장에서의 측정에 매우 적합하다. ⑤ 비교적 비싸지 않다는 등의 장점을 가지고 있다. 이러한 임팩트 햄머의 장점을 살리면서 비교적 정확한 계측값을 얻기 위해서는 시험자는 구조물에서 가진점과 가진 방향에 주의를 기울여 시험해야 하고, 상관함수(Coherence)는 공진점에서 0.95보다 높게 되도록 해야 한다. 만약 가진점이 노드점에 가까워지면 상관함수는 매우 낮아진다. 그러나 이점에서는 모드강도가 매우 약하기 때문에 문제가 되지 않으며 해석에 있어서 중요하지 않으므로 허용할 수 있다.

전체 시스템을 교정하는 하나의 방법은 간단한 구조물에 대한 주파수 응답함수를 측정하는 것이다. 사용하기 가장 쉬운 구조물은 알려진 질량체이다. 뉴턴의 제 2법칙으로부터 힘 = 질량 · 가속도 이므로 Accelerance는 식(4)와 같이 된다.

$$A(\omega) = \frac{\text{가속도}}{\text{힘}} = \frac{1}{\text{질량}} \quad (4)$$

어떤 주파수에도 Accelerance는 1/질량의 크기를 가지며 0도의 위상을 갖는다. 알려진 질량을 단지 한방향으로만 움직이도록 매달고 가속도계를 부착하여 햄머나 가진기를 사용하여 가진시킨 후 가속도를 측정한다. 이것은 정확한 모빌리티 측정을 보장하기 위한 비교 교정이 아닌 절대교정은 아니라는 것이다.

4. 결 론

이상에서와 같이 철골구조물의 바닥슬래브의 사용성 평가를 위한 Accelerance를 계측하는데 있어서 가진기와 임팩트 햄머의 특성에 대하여 이론적으로 살펴보았다. 비교적 정확한 Accelerance를 계측하기 위해서는 최소 3.2초 정도의 지속적인 가진이 필요하며 이것은 바닥슬래브의 고유진동수를 5Hz 정도로 가정하는 것으로 계산한 것이다. 이러한 값을 이용하여 가진기를 이용할 때 Sweeping 속도의 결정에도 사용할 수 있다. 이에 비하여 특히 임팩트 햄머의 경우에는 하중의 지속시간이 짧고 충격하중성분이 구조물의 응답에 영향을 미치기 때문에 사용전 교정을 통한 보정이 필요

하리라 판단된다. 추후 연구과제로는 이러한 임팩트 햄머의 특성을 고려한 보정방법에 대한 연구가 필요하리라 판단된다.

참 고 문 헌

- (1) Chopra, 2000, Structural Dynamics, Prentice-Hall
- (2) 오재웅, 1985, CAE를 위한 구조물 모드해석의 기초와 응용, 회성출판사
- (3) Vibration & Noise-Principle and Practice
- (4) Kenneth, G. M., 1995, Vibration Testing, John Wiley & Sons, Inc., New York.