

전달함수 특성을 이용한 연직진동 특성 예측  
Estimation of Vertical Vibration  
using Characteristics of Transfer Function

우 운택\*  
Woo, Woon-Taek

박 태원\*\*  
Park, Tae-Won

정 란\*\*\*  
Chung, Lan

ABSTRACT

Recent building structures are superior in its ability but they are light and flexible, and so have problems of vibration. In general, the problem of vertical vibration is not considered in structural design. However, in terms of serviceability for inhabitants in buildings, the estimation of vibration in design stage is important. Characteristics of vertical vibration is changed by modeling method of beam-column joint. To check the characteristics of vertical vibration, many tests and analyses were conducted on constructing building in Seoul. Results of tests and analyses were compared using transfer function.

As a results, to check the vertical vibration, the cramp ratio of beam-column joint must be considered and reduced in structural design.

**Key words : Vertical Vibration, Transfer Function, Cramp Ratio**

1. 서론

건축물에 발생하는 진동은 크게 수평진동과 연직진동으로 나눌 수 있다. 이러한 진동을 발생시키는 원인으로서 바람, 지진, 교통(차량, 철도), 거주자, 설비기기 등이 있다. 이들 진동원에 의해 발생하는 진동은 거주자에게 불쾌감과 불안감을 주게 된다. 즉 진동은 거주성·작업환경을 손실할 수도 있고, 진동을 싫어하는 정밀기계류에는 지장을 초래하게 된다. 어느 정도의 진동이 불평·장해인가에 대해서는, 대상이 인간인 경우는 확일적으로 정하는 것은 곤란하지만, 특히 진동이 문제가 되는 경우에는 검토를 행하는 것이 바람직하다. 따라서 설계자는 이러한 진동을 거주자가 느끼지 않도록 설계해야 한다. 외국의 경우 이러한 진동에 대해서 규준을 제정하여 검토하고 있다<sup>(1),(2)(3)</sup>. 국내의 경우는 아직 건축물의 구조설계시 적용할 진동에 대한 규준을 나타낸 자료가 미흡하며, 강구조물을 설계할 때 참고할 수 있도록 여러 나라 규준들의 개략적인 내용만을 언급하고 있다<sup>(4)</sup>. 그리고 소음진동규제법 시행규칙에 소음진동 허용규준치를 제시하고 있으나, 이는 소음에 관한 규준치이다. 설계시에 이러한 목적으로 적용할 수 있는 것으로는 내풍설계, 내진설계 규준이 있어서 수평진동에 대해서 검토하고,

\* 정회원, 단국대학교 공학부 건축공학전공, 초빙교수  
\*\* 학생회원, 단국대학교 대학원 건축공학과, 박사과정  
\*\*\* 정회원, 단국대학교 공학부 건축공학전공, 정교수

고층건물인 경우에는 풍동실험을 통해서 사용성까지 검토하고 있지만, 교통(차량, 철도), 거주자, 설비 기기 등에 의해서 발생하는 연직진동에 대해서는 설계시에 검토되고 있지 않는 것이 현재의 실정이다.

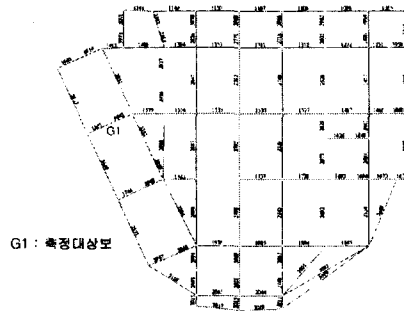
건축물 슬래브 진동에 관한 평가는 슬래브 응답 파형에서 진동수, 진동진폭, 감쇠율 등을 구해서, 참고로 해야 할 평가곡선에 대조하므로써 행해지고 있다. 그리고 이와 같은 경우, 슬래브 응답 파형으로서 보통 변위 혹은 가속도 시각력 파형이 이용된다<sup>(1)</sup>. 국내에서 진행된 슬래브의 사용성에 관한 연구로서 우운택, 김원기 등이 있으며<sup>(5),(6),(7),(8),(9)</sup>, 교통진동에 대한 수직진동 증폭계수를 산정하는 방법을 홍갑표 등이 제시하고 있다<sup>(10)</sup>. 지금까지의 연구로서는 설계단계에서 효과적으로 건축물의 연직진동 특성을 예측할 수 있는 시스템이 구축되어 있다고 하기에는 미흡한 점이 많다.

본 연구에서는 초고층 철골건물의 연직진동에 대한 사용성 평가를 위한 시스템 구축을 목적으로 건축물의 전달함수 특성을 해석적으로 구하고, 실측을 통하여 검증하므로써 설계단계에서 연직진동에 대하여 검토할 수 있는 자료를 제공하고자 한다.

## 2. 진동측정 실험

### 2.1 대상 건물

- 위치 : 서울시
- 구조 : 철골철근콘크리트구조
- 규모 : 지하8층 지상20층
- 용도 : 사무소



### 2.2 진동수 해석

건축물의 진동특성을 조사하는 경우, 기초와 건축물 내부의 2 지점간 상시 미진동을 계측하고, 건축물의 전달함수<sup>(11),(12)</sup>를 구하여 고유진동수, 감쇠율 등을 추정할 수 있다.

건축물은 교통기관, 건설진동 등에 의해서 미약하지만 끊임없이 진동하고 있다. 이들 외력이 정상 불규칙과정이라고 한다면, 건축물의 응답과의 관계는 그림2와 같이 나타낼 수 있다. 여기서,  $S_X(f)$ ,  $S_Y(f)$ 는  $X(t)$ ,  $Y(t)$ 의 푸리에 변환이고, 입출력 관계는 전달함수를 사이에 두고서 다음과 같이 정의된다.

$$S_X(f) \cdot H(f) = S_Y(f) \tag{1}$$

따라서

$$H(f) = S_Y(f) / S_X(f) \tag{2}$$

우변의 분자와 분모에  $S_X(f)$ 의 공액복소수  $S_X^*(f)$ 를 곱하면

$$H(f) = \{S_Y(f) \cdot S_X^*(f)\} / \{S_X(f) \cdot S_X^*(f)\} \tag{3}$$

로 된다. 여기서 (3)식 우변의 분자는 입력  $X(t)$ 와 출력  $Y(t)$ 의 스펙트럼 밀도함수이고, 분모는 입력의 파워스펙트럼 밀도함수를 나타내고 있으므로, 각각을

$$G_{yx}(f) = S_Y(f) \cdot S_X^*(f) \tag{4}$$

$$G_{xx}(f) = S_X(f) \cdot S_X^*(f) \tag{5}$$

로 놓으면, 전달함수는

$$H(f) = G_{yx}(f) / G_{xx}(f) \quad (6)$$

로 정의된다. (6)식의 전달함수  $H(f)$ 는 복소수이고, 그 절대치의 피크값이 증폭율, 위상이 위상차를 나타내고 있다.

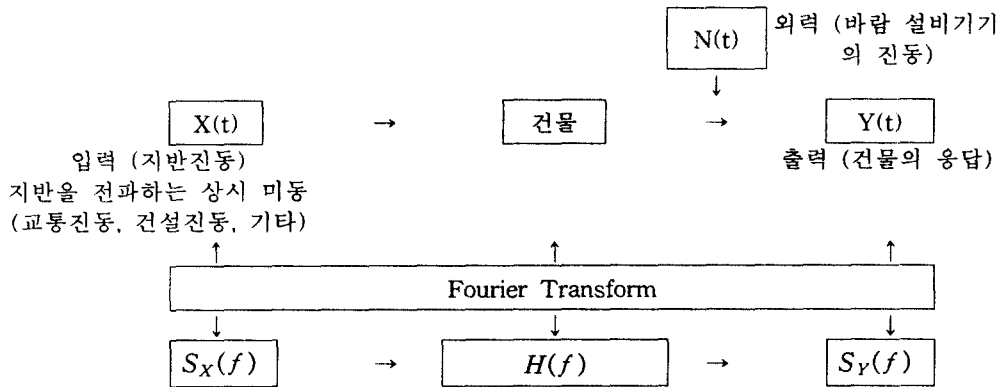


그림 2 시각력 해석과 진동수 해석과의 관계

### 2.2 측정장비

실측에 사용된 장비는 표1과 같다. 측정에 사용된 케이블의 길이는 50m로서 측정된 값에 대하여 길이에 따른 보정이 필요하다.

표1 실측장비

장비	모델명	제원	용도	수량
데이터 취득기	CAS동적변형율측정기 모델 : DA1700	16channel	데이터 취득	1
가속도계	AR-1F	1g	데이터 취득	2개
기타		컴퓨터	데이터 취득	1대
		케이블	데이터 취득	50m×2개
		무전기		3대

### 2.3 실험방법

건축물 주변의 지반과 건축물의 1층, 5층, 10층, 15층, 10층의 큰보 단부 중앙부 및 슬래브 중앙에서 가속도값을 측정하였다. 또 그림 2와 같이 측정된 입력가속도의 푸리에 스펙트럼과 응답의 푸리에 스펙트럼을 이용하여 전달함수를 구했다. 해석에 의해서 구한 전달함수와 측정에 의해서 구한 전달함수를 그림 3(k)에 나타냈다.

### 3. 해석에 의한 전달함수 특성

실제 지진과 및 이를 이용한 응답의 푸리에 스펙트럼은 그림3의 (c), (g)의 가는선과 같이 매우 들쭉날쭉하다. 여기서 성분파의 진폭이 큰 탁월진동수는 대체로 0.3Hz 정도, 1Hz에서 2.5Hz 사이, 4.5Hz 주위에 있음을 알 수 있다. 그러나 매우 들쭉날쭉하여 정확히 스펙트럼의 산이 어디에 있는가

는 잘 알 수 없다. 이와 같은 들쭉날쭉함을 제거하여 완만한 것으로 조사를 할 필요가 있으며, 과거 갖고 있는 본질적인 것을 왜곡시키지 않고 불필요한 것을 제거하여 본래의 성질을 부각시키는 방법으로 (7)식과 같은 Parzen's Window가 있다<sup>(13)</sup>.

$$w(\tau) = \begin{cases} 1 - 6\left(\frac{\tau}{u}\right)^2 + 6\left(\frac{|\tau|}{u}\right)^3 & |\tau| \leq \frac{u}{2} \\ 2\left(1 - \frac{|\tau|}{u}\right)^3 & \frac{u}{2} \leq |\tau| \leq u \\ 0 & |\tau| > u \end{cases} \quad (7)$$

본 연구에서는 Parzen's Window를 이용하여 그림3 (c), (g)의 굵은선과 같이 평활화를 하였고, 이 값을 이용하여 (2)식으로부터 전달함수를 구하여 그림3 (i)에 나타냈다.

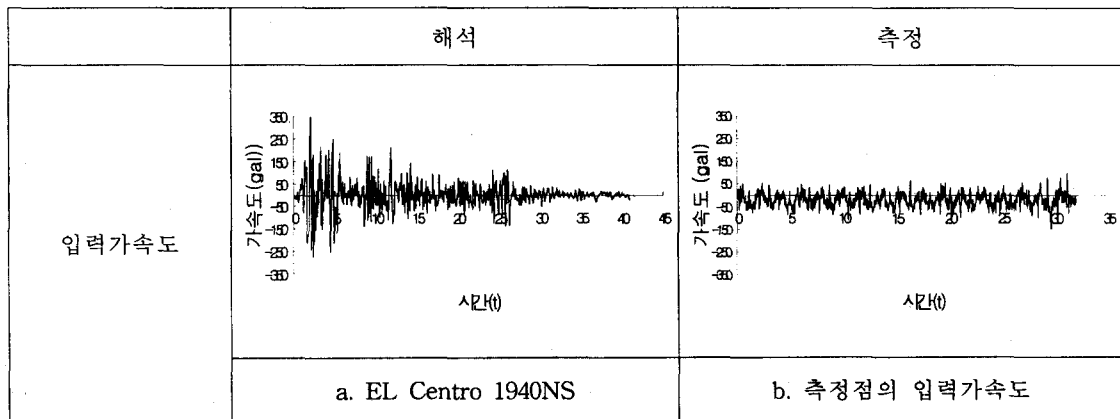
건축물의 구조설계는 많은 실험과 연구결과를 바탕으로 하중의 가정과 구조시스템의 가정으로 모델링하여 해석을 하고 부재를 설계하게 된다. 그런데 고층건물의 연직진동에 대한 실험 데이터 및 해석 데이터가 미흡한 것이 현재의 실정이다. 그래서 모델링의 가정에 의한 차이를 검증하기 보-기동 접합부의 구속정도를 50%, 60%, 100%로 하여 해석하였다. 해석된 결과를 이용하여 전달함수 특성을 비교한 것이 그림3의 (k)이다. 그림3의 (k)에서 알 수 있는 것처럼 해석시에 모델링에 적용하는 보-기동 접합부의 구속정도에 따라 결과에 많은 차이가 있음을 알 수 있다. 따라서 현장 실험결과를 이용한 해석 모델링의 검증이 필요하다.

#### 4. 미진동 측정에 의한 전달함수 특성

측정 대상 건축물은 지하철역에 가까이 있어서 교통진동의 영향이 있을 것으로 예상되어 부지내 지하철역과 가까운 곳과 건축물의 중간층(10층)에서 동시에 측정된 데이터를 그림 3에 나타내었다. 측정된 지반가속도와 건축물의 응답가속를 이용하여 그림3(j)와 같이 전달함수를 구하였다.

#### 5. 결과 비교

그림3의 (k)에서 알 수 있는 것처럼 보-기동 접합부의 강성을 100%로 보고 해석하는 경우는 실험결과와 많은 차이가 있음을 알 수 있다. 보-기동 접합부의 강성을 50%, 60%로 보고 해석하는 경우는 실험결과 비슷한 결과를 나타내고 있다. 따라서 연직진동 해석을 위한 보-기동 접합부의 해석 모델링은 접합조건을 고려하여 강성을 저감하여 해석하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.



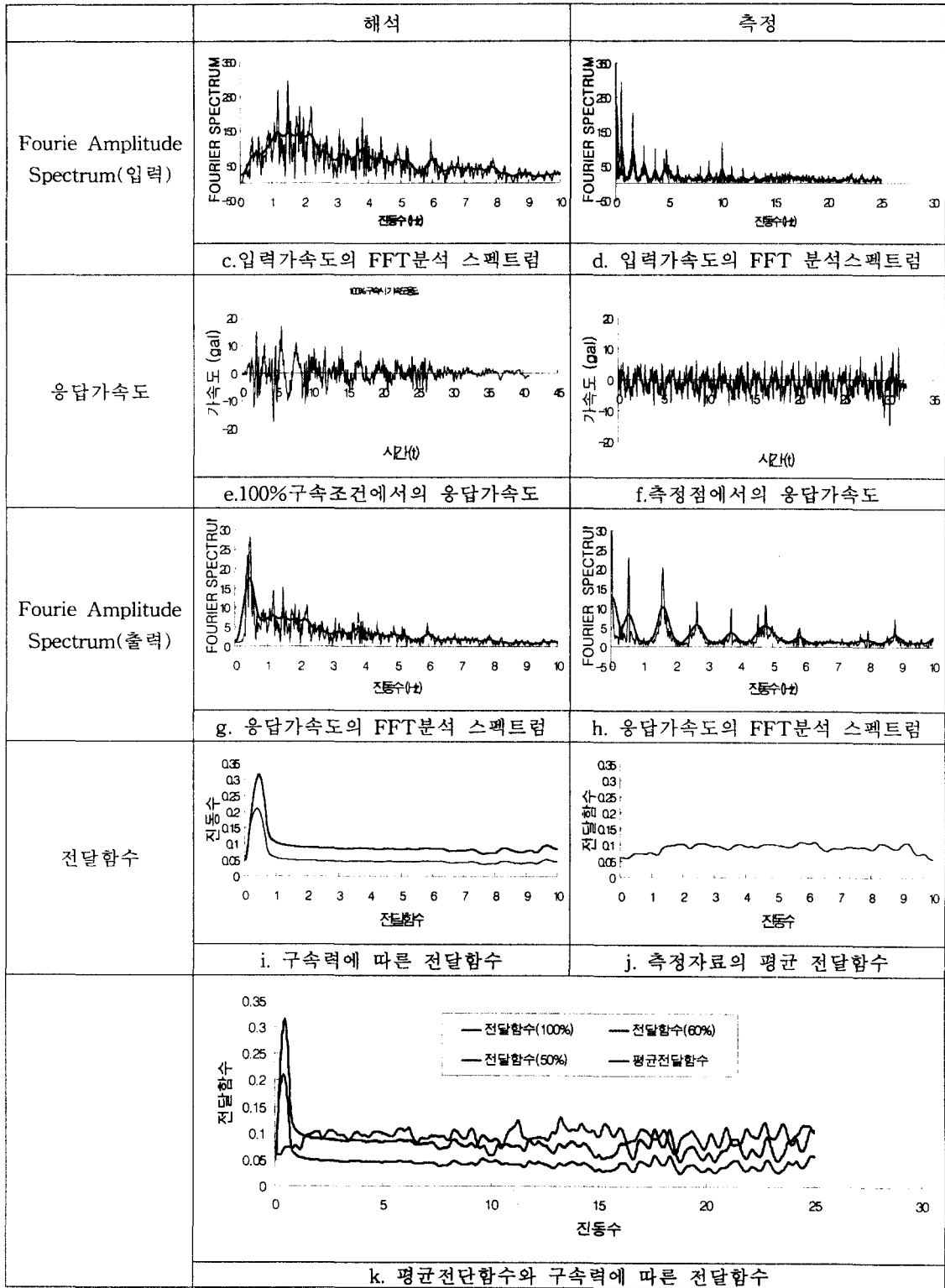


그림 3 결과 비교

## 6. 결론

본 연구에서는 건축물의 연직진동 특성을 파악하기 위해서 구조설계시에 적용할 수 있는 방법을 검토하였다. 이 방법의 타당성을 검증하기 위해서 실측 결과와 비교 검토하였다. 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 설계단계에서 건축물의 연직진동에 대한 전달함수를 구하고, 건설 예정지의 진동특성을 측정하여 건축물의 연직진동 특성을 예측할 수 있다.

(2) 해석시 보-기둥 접합부 강성을 100%로 보고 해석하는 것은 강성을 과대평가하고 있으므로 이에 대한 적절한 평가가 필요하다.

따라서 앞으로 더 많은 건축물에 대한 측정데이터와 해석데이터를 이용하여 보-기둥 접합부 강성에 대하여 검증해야 할 것으로 판단된다.

## 7. 참고문헌

- (1) 日本建築學會, “建築物の振動に關する居住性能評價指針・同解説”, 1991년
- (2) 日本建築學會, “鐵筋コンクリート構造計算規準・同解説”, 技報堂, 1990년
- (3) 鋼材俱樂部, “デッキプレート床構造設計・施工規準”, 技報堂, 1991년
- (4) 한국소음진동공학회, “소음·진동 편람”, 1995년
- (5) 우운택외 2인, “구조용 내화 데크플레이트를 이용한 합성슬래브의 고유진동수와 강성과의 관계”, 대한건축학회 학술발표논문집 제17권 1호, pp.489-492, 1997년
- (6) 우운택외 3인, “합성 데크플레이트 슬래브의 수직진동에 대한 사용성 평가”, 대한건축학회 학술발표논문집 제17권 2호, pp.995-1000, 1997년
- (7) 우운택외 2인, “건축구조물의 슬래브 진동에 의한 사용성 평가 연구”, 한국구조물진단학회 제4권 제4호, pp.225-230, 2000년
- (8) 우운택, “철근콘크리트 슬래브의 고유진동수 추정”, 한국구조물진단학회 제4권 제4호, pp.219-223, 2000년
- (9) 김원기, “강구조 건축물의 바닥진동에 관한 설계법”, 철강이용기술 발표회 발표집 (2000), pp.108-125, 2000년
- (10) 홍갑표외 1인, “건축물의 수직진동 증폭계수 산정에 관한 기초연구”, 대한건축학회논문집 구조계 14권5호, pp.293-301, 1998년
- (11) 稻田 泰夫外9人, “實務者のためめの建物診断”, 丸善, 1990년
- (12) 大崎順彦, “建築振動理論”, 彰國社, 1996년
- (13) 大崎順彦, “地震動解析入門”, 鹿島出版會, 1991년