

## RC구조물의 진동특성파악과 내진보강효과 확인

Dynamic Characteristics of RC Buildings and Confirmation of the Effect of Retrofitting



이춘길\*  
Choon-Kil Lee

이 기사는 2001년 일본 지진공학회논문집에 게재된 논문으로써, 주저자인 Hiroo SHIOJIRI의 허락하에 번역하여 정리한 것이다. 본 논문은 중요한 공공건물인 학교시설물의 진동특성과 내진보강효과를 다루고 있다. 최근 국외에서 연이어 발생하는 대규모 지진으로 인하여 이와 같은 공공시설물의 내진보강에 대한 관심이 큰 만큼 본 기사의 내용이 우리학회 회원들에게 참고가 될 수 있기를 바란다.

### 1. 서론

한신 대지진 이후, 기존의 토목·건축구조물의 내진성 평가나 내진 보강이 주목을 받고 있다. 합리적인 내진 보강법 확립을 위해 구조물의 내진 보강 전후의 동특성을 파악하여 비교하는 것은 매우 의미있는 연구라고 생각된다.

일본 대학 후나바시 캠퍼스에 있어서는 RC 4층건물의 다수 강의동에 대해 순차적으로 내진보수보강을 실시하고 있다. 실험 내용으로는 강의동 2호관, 3호관에 있어 보강 전후로 기진기를 이용해 진동실험 실시, 8호관에 있어 보강전 상시미동 관측을 실시하였다. 본 논문에서는 실험결과와 시뮬레이션 등에 대해 기술한다.

### 2. 대상구조물

#### 2.1 후나바시 2호관

2호관은 1965년에 준공한 RC지하 1층, 지상 4층 건물이다. 한신 대지진 후 내진 안전성 확보를 위해 내진보강 건물로 지정되어 1997년 내진보강을 실시하였다. 보강 공사는 다음의 4점에 대해 행해졌다<그림 1><sup>1)</sup>.

- 1) 지하 및 1층의 기둥의 전단 보강근(띠철근)의 증가
- 2) 철골브레이싱에 의한 강도보강
- 3) 철근콘크리트 벽체 증설
- 4) 슬릿, 앵커, 발코니 보강

#### 2.2 후나바시 3호관

후나바시 3호관은 2호관과 같은 설계로 동시기에 건설되었다. 이 강의동은 1998년 공사중에도 사용이 가능하도록 지하 1층의 기둥에 면진 장치<그림 2>를 설치하는 면진 보강을 실시하였다. 이와 관련하여 면진장치를 설치하는 기둥단면의 보강과 일부 보강이 이루어졌다.

#### 2.3 후나바시 8호관

후나바시 8호관은 1968년에 건축된 4층 건물의 RC구조이다 <그림 3>. 2001년부터 일부 재건축과 나머지의 부분의 제진방식에 의한 보강이 예정되어 있다.

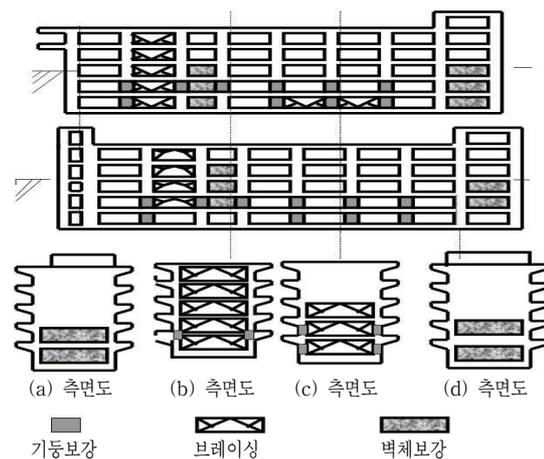


그림 1. 2호관 내진보강

\* 정회원, 상원하이테크(주) 부장  
cklee@hotmail.co.kr

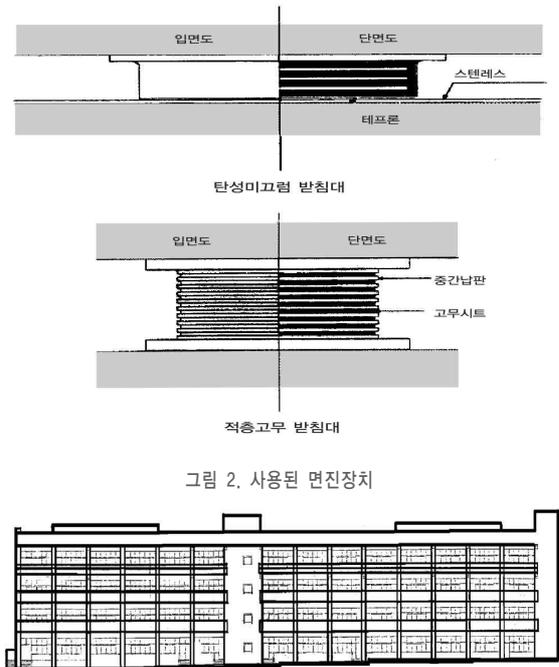
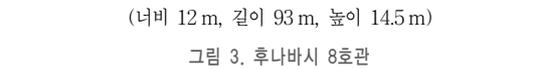


그림 2. 사용된 면진장치



(너비 12m, 길이 93m, 높이 14.5m)

그림 3. 후나바시 8호관

### 3. 실험방법

2호관 및 3호관은 최대기진력 1tf의 유압식기진기를 옥상의 중앙 및 동측에 설치해 0.5Hz ~ 20Hz의 범위에서 정상 가진 및 sweep가진을 실시하였다. 옥상 중앙부분은 수평단축·장축 방향으로, 옥상 동측에서는 수평단축 방향의 가진을 실시했다. 계측은 가속도계와 속도계를 이용해 샘플링 주파수를 100Hz, Lowpass filter를 30Hz로 설정해 디지털 기록을 실시했다. 가진 조건과 계측 시간을 아래 <표 1>과 기진기의 설치점과 계측점의 배치를 <그림 4>에 나타냈다.

8호관은 보강전의 진동특성을 명확히 하기 위해 상시미동 관측을 실시하였으며, 계측은 속도계로 다점동시 계측(12점 36성분)을 실시하였다. 속도계의 설치 위치는 <그림 5>와 같으며,

표 1. 가진조건과 계측시간

	진동수범위	가속도	계측시간
진동수증가율 일정	0.5 - 2 Hz	0.1 G	30 sec
	1.5 - 5 Hz	0.3 G	30 sec
	4 - 15 Hz	1.0 G	60 sec
	10 - 20 Hz	2.5 G	120 sec
진동수증가율/ 진동수 일정	0.5 - 2 Hz	0.1 G	30 sec
	1.5 - 5 Hz	0.3 G	30 sec
	4 - 15 Hz	1.0 G	60 sec
	10 - 20 Hz	2.5 G	120 sec

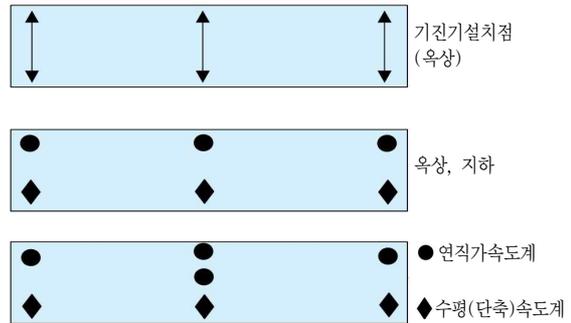
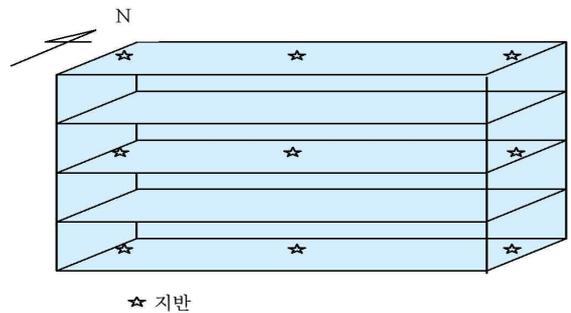


그림 4. 기진기 설치 위치 및 계측점



☆ 지반

그림 5. 센서 설치 위치

<그림 5>의 ☆이 계측점을 나타내며 각 점으로 상하 방향·수평방향(남북·동서 방향)의 세방향으로 동시 계측하였다.

계측에 있어서 속도계가 상하 8대(8 성분), 수평 8대(8 성분) 밖에 없었기 때문에 6개의 케이스(옥상 3점, 3층 3점, 1층 3점, 서측 3점, 중앙 3점, 동측 3점)로 나누어 계측하였다. 각 케이스 모두 30Hz의 Lowpass filter를 설정, 샘플링 간격 10sec로 10분간 계측을 실시했다.

### 4. 해석방법

기진실험 결과에 관해서는 센서로부터 계측한 데이터와 기진기에 부착된 가속도계로부터 계측한 기진기 신호를 교정한 후 기진기 신호를 입력, 각 센서로부터의 신호를 출력하여 FFT로부터 전달 함수를 구하고, 얻어진 전달 함수에서 고유 진동수를 읽어 진동 모드를 구하였다. 상시 미동 관측치에 관해서는 SN비가 작기 때문에 FFT법, AR모델, ARMA모델, ERA법<sup>2)</sup>으로 데이터 처리를 실시하여 비교·검토했다.

### 5. 실험결과

2호관의 기진실험 해석에 의해 얻어진 전달 함수의 예로 옥상 중앙부의 단축방향으로 기진한 옥상 중앙부의 Compliance를

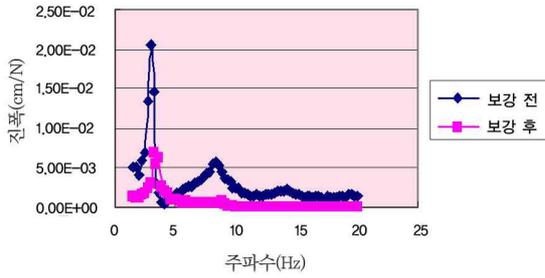


그림 6. 옥상 중앙부 Compliance

표 2. 고유진동수 비교(2호관)

구분	보강 전	보강 후
단축방향		
1차(연직 1차, 평면 0차)	2.9 Hz	3.2 Hz
2차(연직 1차, 평면 1차)	3.4 Hz	3.8 Hz
3차(연직 1차, 평면 2차)	8.3 Hz	8.8 Hz
장축방향 1차	3.3 Hz	3.7 Hz

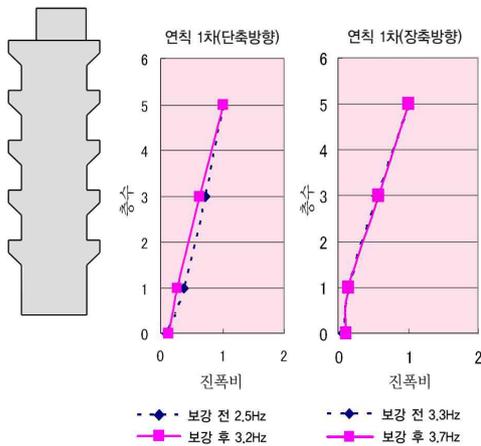


그림 7. MODE그림(2호관 : 연직방향)

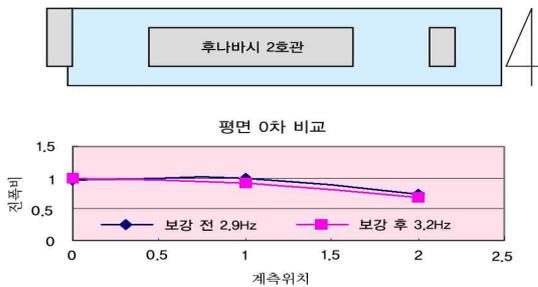


그림 8. MODE그림(2호관 : 수평방향)

<그림 6>에 나타내었다. 그리고 전달 함수에서 얻어진 고유 진동수 비교는 <표 2>에, MODE형상의 비교는 <그림 7, 8>에 나타내었다. 단축 방향 응답에 대해서는 내진보강에 의해 응답 변위가 억제되고 있는 점과 고유 주기가 높게 나타난 점으로 인

해 건물의 강성이 높아졌다고 말할 수 있다. MODE형상의 차이, 특히 지하 및 1층 부분의 단축 방향의 강성이 상승한 것을 확인하였다.

3호관 보강 전, 후의 고유 진동수 비교를 <표 3>에 나타냈다. 면진받침대 설치후 고유진동수는 감소하였다.

상시미동 해석에 앞서 FFT, AR, ERA를 기존의 데이터에 적용성을 검토하였다. <그림 9>와 같은 건물 모델에 Random 파를 가하고 시간 증분 = 0.01초로 계산한 각층의 응답 가속도를 데이터로써 동특성 추정을 실시했다. 덧붙여 이용한 데이터는 아래와 같다.

$$M_1 = 1.0t, M_2 = 2.0t, M_3 = 1.0t,$$

$$k_1 = k_2 = k_3 = 1,580\text{KN/mm}$$

$$c_1 = c_2 = c_3 = 2.0\text{KN} \times \text{s/mm}$$

Random파를 3층으로 추가하고(백색 Gauss 잡음), 데이터 수는 1만개로 계산했다.

각 방법으로 해석한 결과를 <표 4>에 나타냈다. ERA법과 AR모델은 이론치와 거의 일치하는 결과를 얻을 수 있었다. AR, ERA법에서는 고유 진동수, 감쇠는 자동적으로 계산된다. ERA법은 정밀도가 높지만 자유진동 데이터를 이용할 필요가 있고, Random인 응답 데이터에서는 RD법<sup>3)</sup>에 의해 자유진동 파형을 산출해야하며, 장시간에 걸쳐 데이터처리를 해야하는 번

표 3. 고유진동수 비교

구분	MODE	보강 전	보강 후
장축	1차	3.0 Hz	2.1 Hz
	2차	3.8 Hz	7.5 Hz
	3차	9.6 Hz	9.6 Hz
단축	1차	2.7 Hz	1.8 Hz
	2차	7.7 Hz	2.6 Hz
	3차	-	7.3 Hz

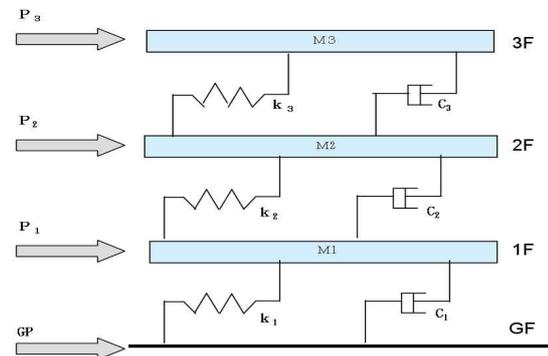


그림 9. 수치모델

표 4. 고유진동수 비교

해석방법	f1(Hz)	f2(Hz)	f3(Hz)
이론값	2.41	7.49	9.91
ERA	2.41	7.49	9.91
AR	2.41	7.51	9.95

거로움이 있다. AR법은 Random 응답 데이터를 그대로 취급하여 정밀도에서도 그다지 나쁘지 않다.

8호관의 상시미동 데이터 처리에 FFT법, AR모델, ARMA 모델을 적용한 결과에 의한 모드 정수를 <표 5>에 나타내고 FFT법, AR모델에 의해 산출한 옥상 NS방향의 속도 파워 스펙트럼을 <그림 10>에 나타냈다.

<그림 11>에는 MODE형상을 나타냈고 있으며, 서로다른 방법에 의해 약간의 차이는 있지만, 대체로 일치하고 있다. ARMA법에서는 MODE파라미터, MODE형상이 자동적으로 계산되므로 편리하다. 덧붙여 <그림 12>에 나타내는 건물의 수치 모델을 이용하여 해석을 실시한 결과 1차 고유진동수는 3.22 Hz로 거의 계측치와 일치했다.

5. 결론

내진 보강을 실시한, 혹은 예정되어 있는 RC건물에 기진실험과 상시미동 관측을 실시해 내진 보강 효과를 확인함과 동시에 데이터 처리법의 적용성을 검토했다.

내진보강 전, 후로 진동특성에는 보강방법에 따라 명확한 차

표 5. MODE정수(8호관)

구분	해석방법	f1(Hz)	감쇠비	f2(Hz)	감쇠비
EW	FFT	3.191	0.090	9.375	0.002
	AR	3.238	0.083	9.375	0.002
	ARMA	3.382	0.125	8.585	0.090
NS	FFT	3.171	0.031	9.375	0.003
	AR	3.153	0.071	9.375	0.002
	ARMA	3.064	0.070	9.379	0.023

(f1 : 1차 고유진동수, f2 : 2차 고유진동수)

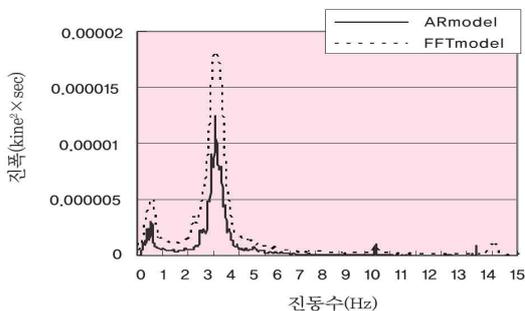


그림 10. 옥상 NS방향 파워 스펙트럼

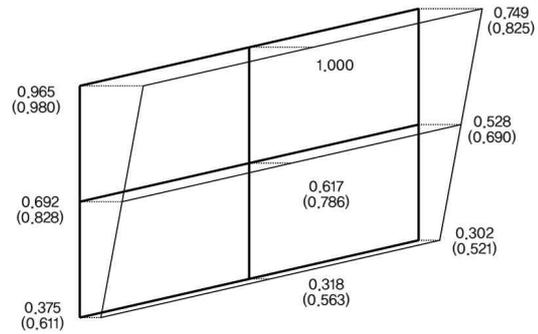


그림 11. NS방향 1차 MODE

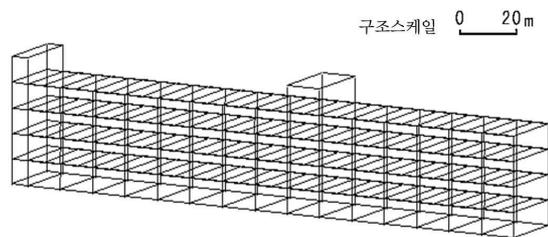


그림 12. 8호관 수치모델

이가 인정되어 진동특성에 의한 보강 효과 확인이 가능하리라 예상할 수 있다.

SN비가 작은 상시미동 관측에 있어서는 관측 시간을 어느 정도 확보한다면 어떠한 방법에서도 거의 타당한 결과를 얻을 수 있다. [4]

참고문헌

- Shiojiri, H., Tanaka, K. and Kitajima, K., Effect of retrofitting of RC building, Proc. of the Civil and Environmental Engineering Conference, Vol. 3, 1999. 11, pp. 11 ~ 18.
- Juang J.N. and Papa, R.S., An Eigensystem Realization Algorithm For Modal Parameter Identification and Modal Reduction, J. Guidance, Vol. 8, No. 5, 1985, pp. 620 ~ 627.
- Ibrahim, S.R., Random Decrement Technique for Modal Identification of Structures, J. Spacecraft, Vol. 14, No. 11, 1977, pp. 696 ~ 701.

담당 편집위원 : 박기봉(강원대학교) [kbpark@kangwon.ac.kr](mailto:kbpark@kangwon.ac.kr)