

동적특성 평가기술을 이용한 국외 리모델링 사례

Remodeling Examples by Using the Evaluation Technique of Dynamic Properties



윤성원
Yoon, Sung-Won

리모델링의 구조보강시스템과 제진시스템의 설계 및 효과 검증 위해서, 고유진동수와 감쇠율의 진동특성 평가가 필요하다. 리모델링 대상건물의 보유내력 평가 시와 댐퍼의 설계를 위해서는 정확한 고유진동수와 감쇠율의 측정이 매우 중요하다. 이러한 동적특성의 평가는 리모델링전, 내부 구조물 해체후, 리모델링후의 3단계에서 이루어져야 한다. 따라서 리모델링의 동적특성 평가기술을 이용한 일본의 구조보강시스템과 제진시스템 등의 리모델링 사례를 소개하고자 한다.

을 보장함과 동시에 재해 발생 후에 주변 주민의 피난 장소로서의 역할을 가진 건물이다. 이러한 이유로 기존 교사의 내진성을 높일 필요가 있어 각 지자체에서는 기존 학교건물의 내진진단을 수행하고 그것을 근거로 내진보강을 하고 있다. 이 사례에서는 相模原市 교사의 사례를 소개한다. 4개의 건물에서 보강 전과 보강 후에 계측을 하고, 고유주기와 강성의 변화로부터 보강효과에 관하여 검토하였다.

1. 학교건물의 보강효과 검증사례

1.1 개요

학교건물은 지진피해가 발생했을 때 학생의 안전

1.2 건물과 보강개요

4개 교사는 모두 철근 콘크리트조 지상 3층 구조이다. 강은 각 학교 모두 철골 V형 브레이스를 장변방향으로 증설하는 것으로 하였다. 또한 AS 학교에서는 1개소 개구형상의 변경에 의한 보강도 하였다. <표 1>에 각 층의

<표 1> 각 층의 Brace 보강수(개구폐쇄)와 및 스패너

	NM학교			HS학교			SD학교			AS학교		
	북측	남측	스패너	북측	남측	스패너	북측	남측	스패너	북측	남측	스패너
3층	-	-	16	-	-	16	-	3	8	-	2(1)	5
2층	3	3		2	2		-	3		-	2(1)	
1층	3	3		2	2		-	3		-	2(1)	

* 정희원 · 서울산업대 건축학부 부교수

보강수와 스펠 수를 나타내었다.

성의 변화율도 첨부하였다.

1.3 계측 및 해석

계측은 보강 전 1999년 6월, 보강 후 같은 해 10월에 실시하였다. 계측방법은 1층과 3층에서 장변과 단변방향의 수평 2성분의 변위형 지진계를 가지고 주기특성을 1초로 하고, Sampling 간격은 0.01초로 5분간 기록하였다. 해석은 계측기록과형에서 20.48초를 10개 선택하여, Power Spectrum을 구하여 그것들을 가산 평균 하였다. 또한 고유주기는 1층과 최상층의 Spectrum을 구하여 계산하였다.

$$\therefore \frac{k_2}{k_1} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2$$

여기서, T_1 : 보강전의 고유주기,
 T_2 : 보강후의 고유주기
 k_1 : 보강전의 강성
 k_2 : 보강후의 강성

1.4 해석결과

<그림 1>에 각 학교의 단변 방향의 보강 전 및 보강 후의 장변, 단변방향의 Spectrum비를 나타내었다.

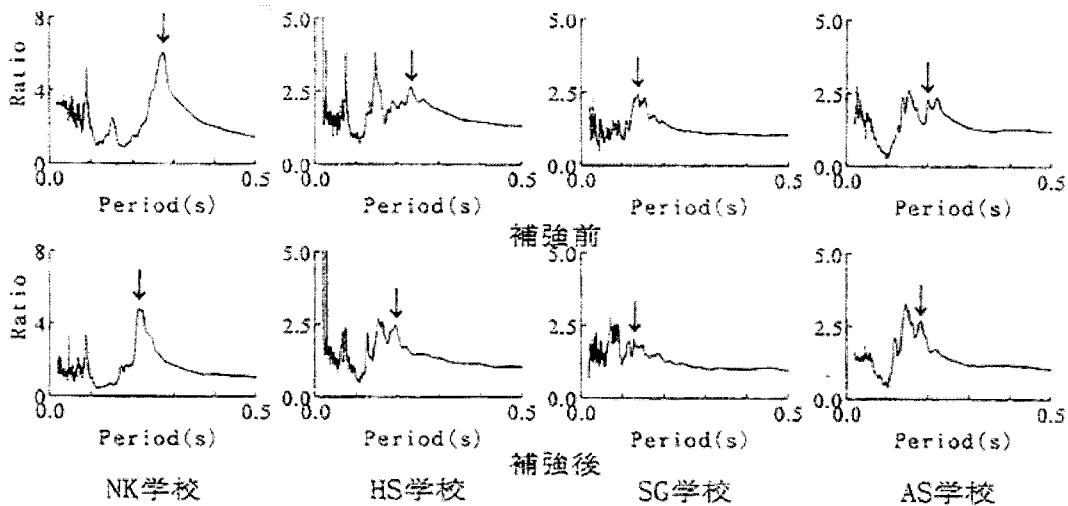
이것들로부터 읽어서 얻은 고유주기를 <표 2>에 나타내었다.

또한 <표 2>에 다음과 같은 방법으로 평가한 강

<표 2>에서와 같이 보강량, 보강 Type도 다르기 때문에 단순히 비교하기가 불가능하지만 하부층의 남북 양측에 보강 Brace를 설치한 NM학교, HS학교의 강성 증가가 보다 명확하게 나타나고 있다. 또한 단변방향에서는 고유주기의 변화가 없거나 또는 약간 길어지는 것으로 나타났다.

1.5 결론

각 학교 모두 장변방향에서는 보강에 의하여 고유주기가 짧아지고 강성이 높아지는 것이 나타났다.



<그림 1> 장변방향의 스펙트럼비의 예

<표 2> 교사의 고유주기와 강성의 변화

	NM학교		HS학교		SD학교		AS학교	
	장변	단변	장변	단변	장변	단변	장변	단변
보강 전(초)	0.273	0.200	0.232	0.139	0.136	0.208	0.201	0.217
보강 후(초)	0.213	0.200	0.195	0.144	0.127	0.217	0.183	0.222
강성 변화율	1.643	1.000	1.415	0.932	1.147	0.919	1.206	0.955

또한 보강 Brace의 배치 방법이 주기특성에 영향을 미치는 것이 나타났다. 계측한 학교 건물의 내진보강효과의 검증이라는 관점에서 고려하면 보강에 의한 강성은 증가하는 보강방향의 고유주기의 감소에 의하여 확인가능하다고 할 수 있다. 또한 Peak의 형상 등이 단순하지 않는 경우도 또한 추후 더욱 계측 사례를 증가할 필요가 있다.

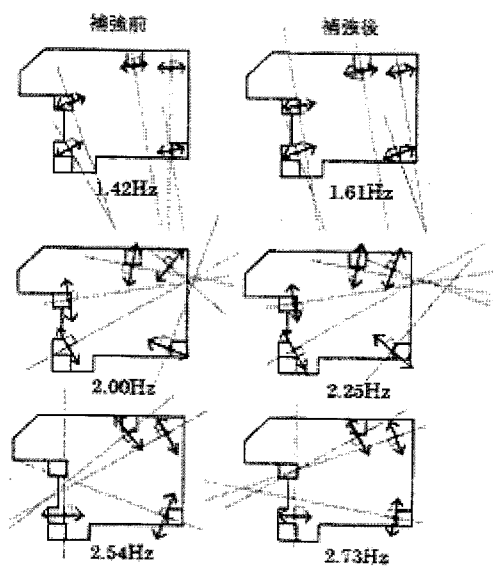
2 기존 RC 중층건물의 내진보강효과 검토

2.1 개요

본 사례는 실제 건물의 내진 보강에 의한 동적특성(탁월주파수, 진동형상)의 변화를 상시진동 측정 결과에 의하여 구하고, 이를 입체 해석 모델을 이용한 고유치 해석의 결과와 비교하여 철골 Brace에 의한 내진보강효과를 검토하는 것을 목적으로 한다.

2.2 대상건물

대상건물은 지상8층 옥탑층 3층 지하 5cm의 경량 콘크리트를 사용한 철근콘크리트조 건물이다. 대로변에 면한 대규모 상업용 건물이고 이 때문에 남쪽과 서쪽에 개구부가 많아 강성에 큰 영향을 미치는 내진요소가 되는 내진벽이 적고 편재하여 있다. 이 때문에 건물의 거동이 꽤 복잡할 것으로 예상했다.



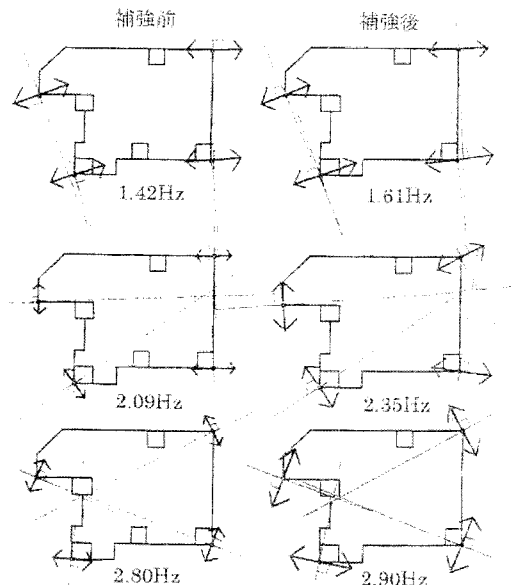
<그림 2> 상시 진동에 의한 회전중심

내진보강은 보통 콘크리트에 의한 콘크리트 내진벽의 신설, 기존경량콘크리트벽의 철거후에 보통콘크리트 내진벽을 신설하는 것 그리고 철골 Brace 사용, 비틀림에 대한 대책이 고려되어 보강되었다.

2.3 상시진동 계측 데이터에 의한 운동특성의 추정

상시 진동계측에서 얻어진 직교하는 2방향의 파형을 합성하여 동일 층 평면상의 복수의 점에서 각 방향성분의 스펙트럼을 구하고 여기서 각 측정점에서의 주파수특성 및 그 탁월한 방향을 얻었다. 이것을 기초로 복수의 점의 특정 주파수 운동방향을 구하고 그 회전중심의 위치를 추정하였다.

<그림 3>는 상시 미진동 계측에 의하여 건물옥상에서의 진동특성을 각 모드별로 나타낸 것이다. 각 모드에서의 주파수는 1차와 2차에서 13%, 3차에서 7% 증가하였다. 이것은 건물전체의 강성에서는 1차, 2차 모드에서 약 28%, 3차 모드에서 15% 증가한 것을 나타내고 있다. 단, 이것은 보강에 의한 건물 중량의 증가를 무시한 결과로서 중량증가를 고려한 경우 더욱 강성은 상승한 것으로 추정할 수 있다. 이것은 내진보강에 의한 비틀림 진동 특성이 개선된 것을 나타내고 있다. 내진보강전후의 각 모드별 탁월주파수 및 강성의 증가율을 <표 3>에 나타내었다.



<그림 3> 입체 고유치해석에 의하여

〈표 3〉 상시진동 계측 및 입체 고유치해석에서 구한 탁월주파수와 강성 증가율

상시진동 계측				
모드	보강전(Hz)	보강후(Hz)	강성증가율	
1차	1.42	1.61	28%	
2차	2.00	2.25	28%	
3차	2.54	2.73	15%	
입체 고유치해석				
	보강전(Hz)	보강후(Hz)	강성증가율	등가벽 두께
1차	1.42	1.54	17%	0cm
2차	2.09	2.20	10%	
3차	2.80	2.88	6%	
1차	1.42	1.59	25%	4cm
2차	2.09	2.30	21%	
3차	2.80	2.89	6%	
1차	1.42	1.61	28%	10cm
2차	2.09	2.35	25%	
3차	2.80	2.90	8%	

또한 상시진동계측 결과를 입체 고유치해석을 통하여 입증하였다.

2.4 소결론

상시 미진동 계측 및 입체고유치해석에 의한 내진 보강된 건물의 동적특성의 개선이 확인되었다. 건물의 보강에 있어 철골브레이스를 내진요소로 하여 사용할 경우 지금까지 연구된 결과에서 보다 큰 효과를 기대해도 좋다고 생각되었다.

3 상시진동 계측에 의한 내진보강효과의 검토 사례

3.1 개요

일본의 「건축물의 내진보강의 촉진에 관한 법률」에서 내진보강공사가 각지에서 행해지고 있지만 보강 또는 보강효과를 실증적으로 검증하는 매우 중요하고 그것을 평가함에 있어 상시미진동계측은 유효한 수법이 되었다. 2000년부터 2001년에 걸쳐서 동경대학 이과대학 Campus내의 건물에서 내진진단에 따라 내진보강공사가 이루어졌다. 본 연구에서는 이 내진보강공사 전후에 실시된 상시진동 계측을 기초로 내진보강의 효과를 검토한 결과에 관하여 소개한다.

3.2 대상건물과 내진보강의 개요

대상건물은 1968년에 건설된 지상 8층의 RC 건물로서 말뚝으로 지지되어 있다. 평면은 단변 29m, 장변 84m로 동서로 긴 건물이다. 2000년에 내진진단이 실시되어 내진보강공사가 실시되었다.

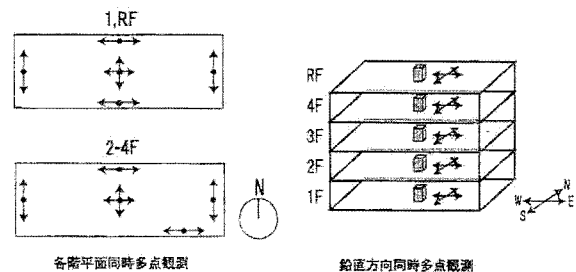
3.3 상시 미진동 계측의 개요

내진 보강 전후에 있어서 대상건물의 상시 미진동 계측을 실시하였다. 계측은 각층 평면내의 동시다점계측과 연직방향의 동시계측을 중심으로 실시하였다. <표 4>에 측정의 개요를 <그림 4>에 지진계의 배치를 나타내었다.

또한 내진보강전후에 있어 미진동 계측 위치는 동일하게 하였다. 계측과형처리에 있어서는 내진보강후의 과형에 장주기 성분이 많이 포함되어 있기 때문에 Low-pass Filter(0.6Hz이하 Cut)를 사용하여 저주파수 성분을 배제하였다.

〈표 4〉 측정의 개요

	내진보강 전	내진보강 후
일시	2000.7.27 ~ 8.2 2000.8.27	2001.7.29 2001.12.02
바람	약하다	약하다
기기	- 증폭기[TA-403 진동기연] 2대 최대계측 CH수 6CH - 지진계 수평성분용[KH-1] 6대 연직성분용 [VH-1] 5대 고유주기 1초, 감쇠율=0.7	



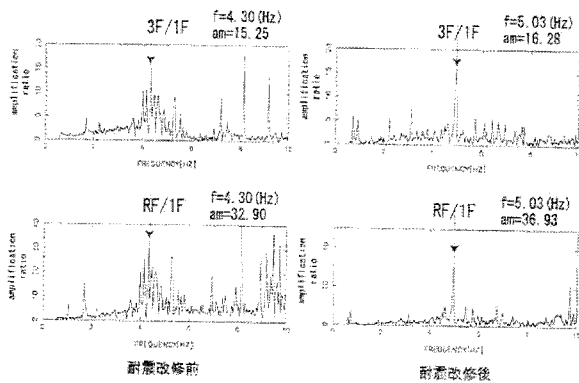
〈그림 4〉 계측위치

3.4 내진 보강 전후의 고유진동수의 변화

3.4.1 병진모드

수직방향의 동시다점계측에 의하여 측정된 과형

을 Fourier변화하여 1층을 기준으로 한 전달함수를 내진보강전후, 단변, 장변 양방향으로 산출하였다. 장변방향의 결과를 <그림 5>에 나타내었다. 또한 <표 5>에 내진보강 전후에 있어서 단변, 장변방향의 1차 고유진동수의 산출결과를 나타내었다. 특히 독립 내진벽을 설치한 장변방향에서의 증가율이 높아진 것이 주목된다. 이러한 결과에서 건물전체의 강성의 증가율은 단변방향에서 약 6%, 장변방향에서 약 37%로 추정된다.



<그림 5> 전달함수(장변방향)

<표 5> 내진보강 전후의 고유진동수의 변화

	고유진동수(Hz)		증가율
	내진보강 전	내진보강 후	
단변방향	4.25	4.39	1.03
장변방향	4.30	5.03	1.37

3.1.2 비틀림 모드

내진보강전후의 1, 4층에 있어서 평면 내 동시다 점계측을 실시하고 얻어진 파형에서 동서 양단부의 파형의 차를 얻고 그것을 Fourier변환하여 비틀림 Spectrum을 산출하였다. 비틀림진동수의 고유원진

<표 7> 내진보강 전에 있어서 내력과 층강성(장변방향)

층	진동측정		내력도 추정				
	추정강성(1KA)		계산강성(1KB)		내력 Q (tf)	Q/1KB (cm)	1KA/1KB
	(tf/cm)	비율	(tf/cm)	비율			
4	5225	0.22	3984	0.52	1968	0.49	1.31
3	8607	0.36	4414	0.57	1968	0.45	1.95
2	9093	0.38	5365	0.69	2479	0.46	1.69
1	23789	1.00	7722	1.00	3478	0.45	3.08

<표 6> 내진보강전후에 있어서 비틀림 고유진동수의 변화

	고유진동수(Hz)		증가율
	내진보강 전	내진보강 후	
1층	3.32	3.15	0.95
4층	3.32	3.47	1.05

동수의 결과를 <표 6>에 나타내었다. 4층에서는 비틀림 고유진동수의 증가가 확인이 가능하였지만 1층에서는 역으로 감소하였다. 이 원인은 1층이 상부 구조물의 영향을 받았기 때문이라고 생각된다.

3.5 바닥슬래브의 면외 변형

연직피크를 건물단변방향으로 일직선으로 배치하여 바닥 슬래브를 다점계측을 하고 측정된 파형을 도형화하는 것으로 1층 슬래브의 면외변형의 상황을 확인하였다. 기존부분과 추가된 슬래브 부분의 사이에서 바닥 슬래브의 변형이 급격한 변화는 감지되지 않아 바닥슬래브는 일체의 거동을 보이는 것으로 생각된다.

3.6 보강효과의 수치계산

3.6.1 각 값의 산출방법

장변방향에 있어서 내진보강 전후의 내력과 층강성을 <표 7>와 <표 8>에 정리하였다. 추정강성 1KA는 대상건물을 4절점의 전단형 구조물로 치환한 각 절점의 힘과 상시진동 계측에 의한 건물의 고유진동수를 기초로 산출한 건물의 수평강성에서 산정하였다. 계산강성 2KA는 수정 N배법에 의하여 계산된 층강성을 사용하였고, 내력 Q는 제1차 전단법에 근거하여 강도지표 C에 대상층보다 위의 층량을 곱하여 산정하였다.

〈표 8〉 내진보강 후에 있어서 내력과 층강성(장변방향)

층	진동측정		내력도 추정				
	추정강성(1KA)		계산강성(1KB)		내력 Q (tf)	Q/1KB (cm)	1KA/1KB
	(tf/cm)	비율	(tf/cm)	비율			
4	8587	0.23	6605	0.43	3805	0.58	1.30
3	18144	0.49	8769	0.58	4253	0.49	2.07
2	20564	0.55	10745	0.71	4566	0.42	1.91
1	37077	1.00	15214	1.00	6278	0.41	2.44

3.7 소결론

내진보강 전후에 있어서 상시진동계측에 의하여 내진보강후의 건물수평강성의 증가가 확인되었다. 특히 장변방향에서 강성의 증대가 현저하게 확인되었다. 내진보강 전에 보여진 1층에 대한 2층의 강성률의 급격한 감소는 내진보강 후에 개선된 것이 진동계측에 의하여 확인되었다.

참고문헌

1. Suda Kenichi et al, Damping Properties of Buildings in Japan, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, September, 1995, pp 383~392
2. Ellis, B.R., Full-scale Measurements of Dynamic Characteristics of Buildings in the UK, Journal

of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 1998, Vol 59, pp 365~382

3. Jeary, A.P., Damping in Tall Buildings - a Mechanism and a predictor, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 14, pp. 733~750, 1986
4. Lagomarsino, S., Forecast model for damping and Vibration Periods of Buildings, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1998, pp 221~239
5. International Conference of Building Officials, Uniform Building Code, 1977
6. EUROCODE 1, Basis of Design and Actions on Structures, Part 2-4, wind Action, CEN/TC 250/SC 1, Steering Panel Draft, 1994
7. 日本建築學會, 建築物の減衰, 丸善株式會社, 2000.10