

철근콘크리트 보통모멘트 골조형식 학교건축물의 내진성능 향상 방안 연구

김현진 · 이상현[†]

단국대학교 건축공학과

(2009. 3. 27. 접수 / 2009. 7. 3. 채택)

A Study on the Methods of Enhancing the Seismic Performance for Reinforced Concrete School Buildings - Ordinary Moment Frame

Hyeon Jin Kim · Sang Hyun Lee[†]

Department of Architectural Engineering, Dankook University

(Received March 27, 2009 / Accepted July 3, 2009)

Abstract : In this study, the seismic performance of RC school buildings which were not designed according to earthquake-resistance design code were evaluated by using response spectrum and push-over analyses. The torsional amplification effect due to plan irregularity is considered and then the efficiency of seismic retrofitting methods such as RC shear wall, steel frame, RC frame and PC wing wall was investigated. The analysis result indicate that the inter-story drift concentrated in the first floor and most plastic hinge forms at the column of the first story. Among the retrofitting methods, the PC wing wall has the highest seismic performance in strength and story drift aspect. Especially, it can make building ductile behavior due to the concentrated inter-story drift at the first column hinge is distributed overall stories. The axial force, shear force and moment magnitude of existing elements significantly decreased after retrofitting. However, the axial and shear force of the elements connected to the additional retrofitting elements increased, and especially the boundary columns at the end of the retrofitting shear wall should be reinforced for assuring the enhancement of seismic performance.

Key Words : seismic performance, RC school buildings, seismic retrofit, plan irregularity, torsional amplification

1. 서론

전 세계적으로 지진으로 인한 학교건축물의 피해가 많이 보고되고 있다. 2003년 알제리의 Boumerdes 지진에서는 전체의 38%에 달하는 학교건축물이 지진피해를 입었고, 2002년 이탈리아에서는 지진에 의해 학교건축물이 무너지면서 29명의 아이들이 사망하는 참사를 낳았다. 특히 지난 2008년 발생한 쓰촨성 지진에서 수많은 학생들이 학교건축물의 붕괴로 사망하면서, 학교건축물의 지진취약성에 대한 관심이 증대되었다.

국내의 내진설계는 1985년 멕시코 대지진을 계기로 1986년 내진설계법이 마련되었고, 1988년 내진기준이 제정되었으며, 이후 2005년 더욱 강화된 신 내진기준¹⁾이 제정되었다. 학교건축물은 재난 발

생 시 피난시설로 이용 될 수 있기 때문에 자연재해에 더욱 안전하게 설계되어야 하나, 현재 우리나라 학교건축물은 대부분 내진설계기준이 적용되기 전인 1988년 이전에 지어졌기 때문에 지진과 같은 횡 하중에 대한 저항능력이 거의 없어 실제 지진 발생 시 엄청난 인명피해가 발생할 수 있다.

학교 건축물의 지진에 대한 취약성은 장변방향의 긴 창으로 인한 벽체의 부족, 내림벽과 허리벽에 의한 기둥의 단주효과, 편복도와 평면의 비정형에 의한 강성불일치 등과 같은 전형적인 학교건축물이 가지는 구조적 특징에서 찾을 수 있다. 특히, 강성불일치는 P- Δ 효과에 의해 기둥에 발생하는 모멘트를 증가시켜 기둥의 내력을 크게 감소시킴으로써 최초 설계하중 이하에서 기둥의 파괴를 유발할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 지진에 취약한 현재 우리나라 학교건축물의 내진성능 실태 파악 및 강성불

[†] To whom correspondence should be addressed.
lshyun00@dankook.ac.kr

일치에 대한 지진취약성을 분석하였다. 이를 토대로 내진보강이 필요한 학교건축물에 대한 합리적인 보강방안 선정에 위해 강도 및 강성을 증가시키는 보강공법을 적용한 후, 보강 전·후의 내진성능을 검토하였다. 내진성능평가 대상건축물은 경기도 관내의 학교 건축물로, 평면상의 비정형을 고려하여 직렬형과 굴절형으로 선정되었고, 내진성능평가를 위해 상용 구조해석프로그램인 Midas를 이용해 응답스펙트럼해석과 비선형정적해석을 수행하였다.

2. 내진성능평가

2.1. 내진성능평가 해석조건

학교건축물의 내진성능 검토를 위해 다음과 같은 해석 조건을 적용하여 평가를 수행하였다. 먼저, 해석 대상 구조물을 철근콘크리트 보통모멘트골조로 가정하였다. 이는 해석 대상 구조물 중 벽체가 있는 경우에도 내진상세를 갖추고 있지 않기 때문에 이중 골조로 볼 수 없기 때문이며, 또한 대부분의 학교는 내진설계가 되어 있지 않은 보-기둥 골조식으로 설계되어 있기 때문이다. 또한 응답스펙트럼은 KBC 2005의 규정에 따라 내진등급 1등급, 중요도 계수 1.2로 설정하였고, 내진성능평가를 위한 허용층간변위비는 0.015hx이다. 비선형 정적해석에서는 변위제어를 하였고, P- Δ 효과를 고려하여 해석을 수행하였다. 소성힌지설정은 FEMA-273²⁾에 따라 기둥부재는 축력과 모멘트를 받는 부재, 보부재는 모멘트만을 받는 부재, 벽부재는 전단력을 받는 부재로 설계하였다.

2.2. 내진성능평가 대상 건축물

‘A’학교는 지상 4층 규모로 편복도를 가진 변형된 일자 형태의 건물이고, Fig. 1(a)는 구조해석을 위해 모델링한 그림이다.

‘B’학교는 굴절형의 건물로 Fig. 1(b)에서와 같이 동과 동이 하나의 좁은 복도로만 연결되어 있어, 구조도면을 확인해 본 결과 해당복도는 지진 시 두 개의 구조물을 구조적으로 연결할 수 있는 기능이 없는 것으로 파악되었다.

따라서, 본 해석에서는 복도의 내진성능이 전무한 것으로 판단하고 두 개(B-1,2)동으로 분리하여 해석결과를 분석하고, 내진성능을 파악하였다.

‘C’학교는 지하 1층, 지상 5층의 규모를 갖고, 1998년 준공된 철근콘크리트 라멘조 구조물로 결

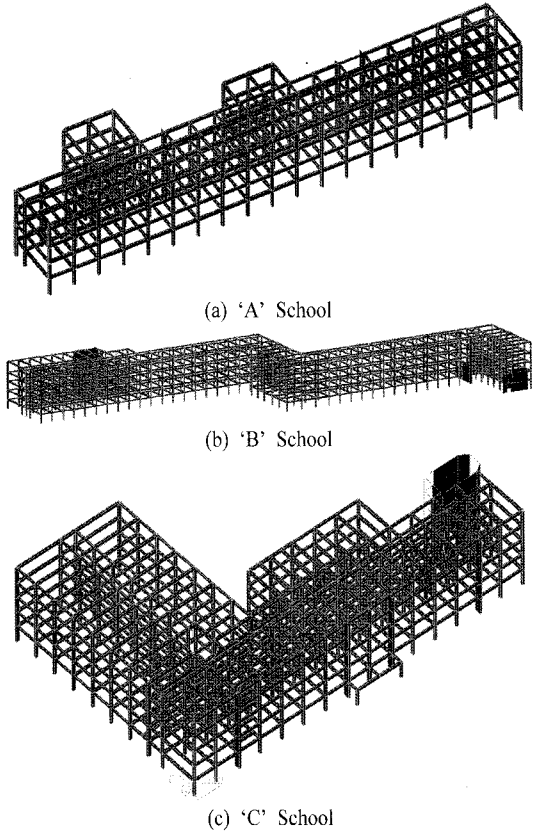


Fig. 1. 3D modeling.

정하였다. Fig. 1(c)에서와 같이 대상구조물의 평면형상은 ‘L’자 형태를 띠는 굴절형으로, 기본적인

Table 1. Base Shear and scale factor

School	Base Shear		Value
A	Dynamic Base Shear	V_{RX}	362.24
		V_{RY}	425.53
	Static Base Shear	V_S	596.45
		Scale factor	R_X
B	Dynamic Base Shear	V_{RX}	1090.43
		V_{RY}	846.1
	Static Base Shear	V_S	1890.08
		Scale factor	R_X
C	Dynamic Base Shear		V_{RX}
		V_{RY}	315.2
	Static Base Shear	V_S	995.08
		Scale factor	R_X
R_Y	2.37		

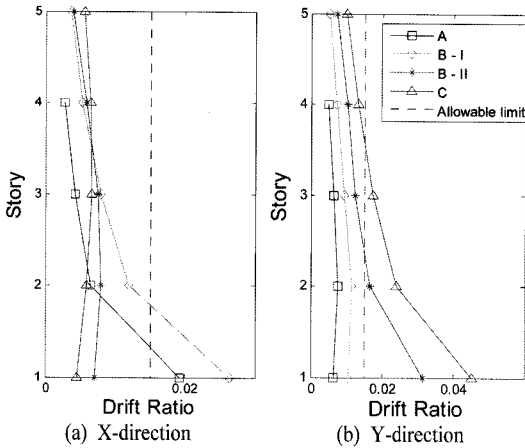


Fig. 2. Story drift ratio.

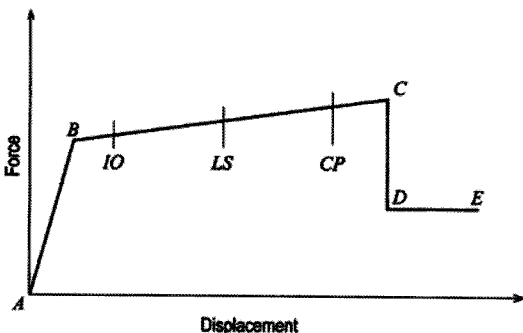
구조형식은 철근콘크리트 라멘조이나 계단실은 벽식으로 되어 있다. 해석 대상 구조물의 밀면 전단력 및 scale factor를 Table 1에 나타내었다.

3. 내진성능평가 결과

3.1. 응답스펙트럼 해석

KBC 2005를 기준으로 응답스펙트럼 해석을 통해 파악된 각 학교별 층간변위비를 X, Y 방향에 따라 Fig. 2에 표현하였다. 각 방향에서의 층간변위비를 살펴보면 저층부에서 허용층간변위비를 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 특히 'B-I'학교의 X 방향과 'C'학교의 Y 방향에서, 1층의 층간변위비가 각각 허용치의 2, 3배를 넘어 응력 및 변형의 집중으로 인한 집중적인 파괴가 예상된다.

3.2. 비선형 정적해석



IO = 즉시사용 한계상태 (Immediate Occupancy)
 LS = 안전 한계상태(Life Safety)
 CP = 붕괴방지 한계상태 (Collapse Prevention)

Fig. 3. The hysteresis behavior characteristic.

Fig. 3은 부재의 손상도 판정을 위하여 ATC-40³⁾ 및 FEMA-273에서 제시하는 반복하중을 받는 부재의 이력거동 특성과 그에 따른 성능수준을 도식화한 것이다. 비선형 정적해석을 통하여 소성힌지의 분포를 확인하고 Fig. 3을 바탕으로 성능수준을 평가하였다⁴⁾.

1) A 학교

Fig. 4는 비선형 정적해석을 통해 파악된 'A' 학교의 성능점에서의 소성힌지분포를 나타낸 것이다. X방향 소성힌지의 분포형태를 보면 거의 모든 1층 보단부에서 소성힌지가 발생함을 알 수 있다. 대부분의 힌지가 즉시사용 한계상태(IO)의 성능을 가지고 있지만, 부분적으로 안전 한계상태(LS)내의 소성힌지가 발생하여 국부적인 손상이 예상된다. Y방향의 경우에는 요구성능내에서 구조물이 탄성 거동을 보여 추가적인 보강이 필요하지 않을 것으로 판단된다.

2) B 학교

비선형정적해석을 통해 얻어진 'B'학교 1, 2동 각각의 소성힌지분포를 Fig. 5에 나타내었다.

B-I학교 X방향은 거의 모든 1층 기둥상부에서 안전 한계상태(LS)범위 내의 소성힌지가 분포 하고 있으나 모든 변위와 응력이 1층 기둥 상부에 집중되어 전단파괴모드를 보인다. 따라서 1층의 보-기둥접합부의 전체적인 보강 또는 1층에 집중되는 응력과 변위를 분산시킬 수 있는 보강이 요구된다.

B-I학교 Y 방향에서는 기둥의 크기가 다른 기둥에 비해 상대적으로 큰 기둥에서 전층에 걸친 소성힌지가 발생하였다. 이는 해당 기둥들이 다른 기둥에 비해 강성이 크기 때문에 응력 집중현상이 나타난 것으로 판단된다. 이러한 응력 집중현상에 의

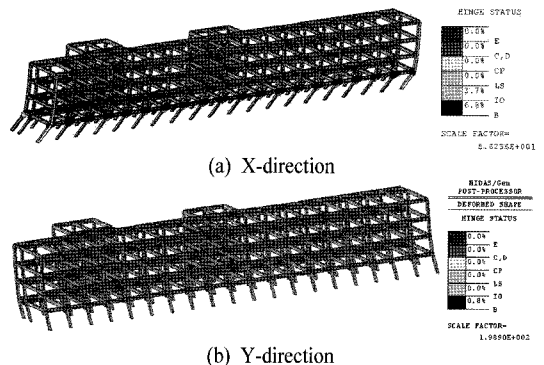


Fig. 4. Plastic hinge distribution in school 'A'.

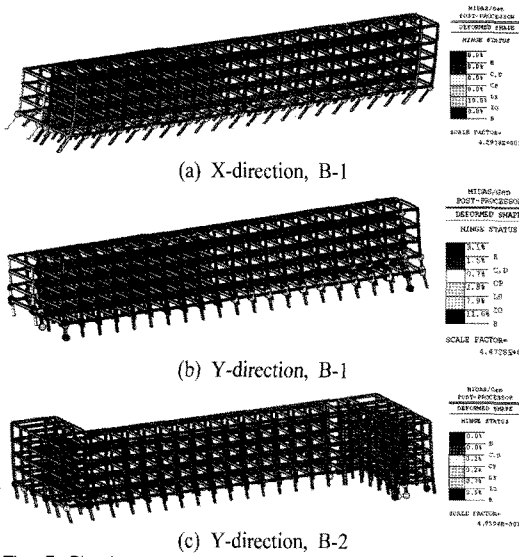


Fig. 5. Plastic hinge distribution in school 'B'.

해 Fig. 5(b)나타난 것과 같이, 강성이 상대적으로 큰 기둥에 소성힌지가 집중적으로 발생하게 되어 붕괴방지 한계상태(CP)를 넘어 더 이상 증력하중을 받을 수 없는 상태에 까지 이르는 것을 확인 할 수 있다. 이 같은 경우 파괴가 집중되는 기둥의 연성능력을 키워 다른 부재에 응력 재분배가 이루어지게 하는 내진보강이 필요할 것으로 사료된다.

또한, Fig. 5(b)에서 평면 위치별 소성힌지 분포형태를 살펴보면 소성힌지가 건물의 우측에 집중되어 있음을 확인할 수 있다. 건물 좌측부 뒤편에 위치한 4개 층의 돌출된 교사에 의해 건물 전체의 강성과 질량중심간의 편차가 커지게 되고 이에 따른 비틀림에 의해 건물의 변위가 증폭되는 것으로 판단된다.

B-2학교의 경우 X 방향으로서는 성능점이 생성되지 않아 내진성능이 확보 되지 않은 것으로 판단되며, 구조물에 전반적이 내진보강이 필요한 것으로 사료된다. Y 방향으로서는 돌출된 부분의 1층부에 즉시사용 한계상태(IO) 수준의 힌지가 분포 하고 있고, 부분적으로 초기파괴구간(C-D)의 힌지가 발생하여, 전반적인 보강보다는 부재단위의 내진보강이 필요 할 것으로 판단된다.

3) C 학교

Fig. 6은 'C'학교의 성능점에서의 힌지분포이다.

X 방향의 경우, 성능점에서의 소성힌지가 1~4층에 넓게 퍼져 있다. 또한 계단실 1층 벽을 제외한 거의 모든 힌지에서 즉시사용 한계상태(IO)의 성능수준을 보여, 지진에 안전한 것으로 판단된다.

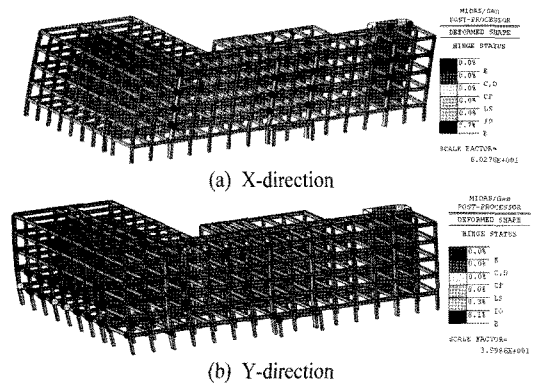


Fig. 6. Plastic hinge distribution in school 'C'.

Y 방향의 경우, 성능점에서 좌측부 1~3층 기둥에 소성힌지가 발생되어 있고, 내부 기둥에도 소성힌지가 발생하고 있는 것을 확인 할 수 있다.

4) 강성불일치에 대한평가

각 학교별 강성불일치와 평면 비정형에 의한 비

Table 2. Torsional amplification factor at X-direction

School	Story	Average displacement of extreme points(m)	Maximum displacement(m)	$A_x (d_{max}/1.2d_{avg})$
A	Roof	0.028	0.029	0.842
	4F	0.026	0.026	0.840
	3F	0.022	0.022	0.837
	2F	0.016	0.017	0.838
	1F	0	0	0
B-1	Roof	0.088	0.088	0.837
	5F	0.081	0.082	0.837
	4F	0.073	0.073	0.839
	3F	0.060	0.060	0.839
	2F	0.041	0.041	0.837
B-2	Roof	0.052	0.055	0.873
	5F	0.045	0.047	0.877
	4F	0.036	0.038	0.881
	3F	0.024	0.026	0.894
	2F	0.012	0.013	0.928
C	Roof	0.041	0.046	0.944
	5F	0.033	0.037	0.946
	4F	0.024	0.027	0.947
	3F	0.014	0.016	0.945
	2F	0.006	0.007	0.922
1F	0	0	0	

Table 3. Torsional amplification factor at Y-direction

School	Story	Average displacement of extreme points(m)	Maximum displacement(m)	Ax ($d_{max}/1.2d_{avg}$)
A	Roof	0.024	0.026	0.877
	4F	0.019	0.020	0.893
	3F	0.013	0.014	0.923
	2F	0.005	0.006	0.950
	1F	0	0	0
B-1	Roof	0.059	0.070	0.997
	5F	0.051	0.061	0.991
	4F	0.039	0.049	1.036
	3F	0.028	0.034	1.015
	2F	0.014	0.016	0.967
B-2	Roof	0.094	0.130	1.151
	5F	0.081	0.117	1.199
	4F	0.066	0.101	1.274
	3F	0.048	0.080	1.398
	2F	0.030	0.052	1.467
C	Roof	0.118	0.174	1.221
	5F	0.104	0.160	1.280
	4F	0.085	0.139	1.357
	3F	0.062	0.110	1.475
	2F	0.036	0.072	1.651
	1F	0	0	0

틀림 및 변위 증폭 효과를 분석하기 위해 각층의 평균변위(d_{avg})와 최외각기둥의 최대변위(d_{max})의 비를 계산하여 Table 2, 3에 나타내었다. FEMA에서는 비틀림 증폭 계수(A_x)값이 1.0 이하이면 비틀림에 의한 증폭을 고려하지 않고 있다⁹⁾.

분석결과 편복도에 의해 비틀림 및 변위증폭이 예상되었던 A, B학교의 X방향에서의 A_x 값이 모두 1 미만으로 비틀림에 대한 영향을 고려하지 않아도 됨을 확인하였다. 따라서 편복도에 의한 변위증폭 효과는 거의 없는 것으로 판단된다.

B-1 학교의 Y방향에서, 3, 4 층의 A_x 값이 1.015, 1.035 로 비틀림에 의한 변위증폭이 확인되었다. 특히, 'B'학교의 2동과 'C'학교의 경우, Y방향의 A_x 값이 1.15~1.65에 이르는 것으로 확인되어 평면 비정형에 의한 영향을 확인 할 수 있었다.

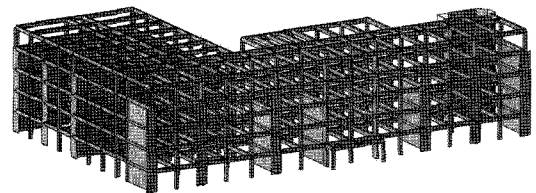
따라서 비내진설계 건물의 내진보강 시 평면비정형에 의한 변위증폭 효과를 반드시 고려하여 비틀림이 발생하지 않는 균형적인 내진보강이 요구된다.

4. 내진보강 방안별 내진성능평가

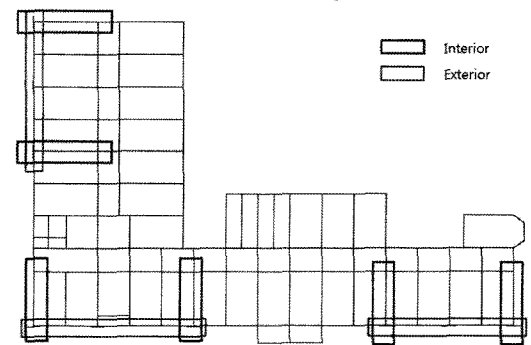
본 장에서는 A~C 학교의 내진성능평가결과를 토대로 'C'학교를 대상으로 내진보강방안에 따른 성능변화를 비교·분석 하였다. 대상구조물의 경우 하나의 방향으로만 보강이 이루어질 경우, 앞서 기술한 비틀림에 의한 변위증폭 및 응력의 집중현상이 발생할 수 있다는 점을 고려하여, 내진진단결과 보강이 불필요하다고 나타난 X방향에 대해서도 보강을 수행하였으며, 보강방법은 다음 3가지 방안을 적용하였다^{6,7)}.

- ① Type I (PC날개벽+전단벽) : 외부기둥에 날개벽 형상을 갖는 PC 부재를 사용하고 실과 실 사이의 내부 간벽에 전단벽을 신설.
- ② Type II (철골 프레임 + 전단벽) : 외부에는 철골프레임을 신설하고 내부에 전단벽을 신설.
- ③ Type III (철골가새) : 외부에 철골가새프레임을 신설하고 내부 간벽에 대각 철골가새를 신설.

전단벽 신설과 같은 내부공사는 학교건물의 특성상 경제성 보다는 수업에 대한 영향을 최우선으로 고려하여 교사의 단부와 화장실 등에 설치하였다. 또한 보강되는 위치에 따라 발생할 수 있는 변위를 배제하기위해 Fig. 7과 같이 보강위치를 동일하게 설정하여 해석을 수행하였다.



(a) 3D modeling



(b) Retrofitting location

Fig. 7. Seismic retrofitting modeling.

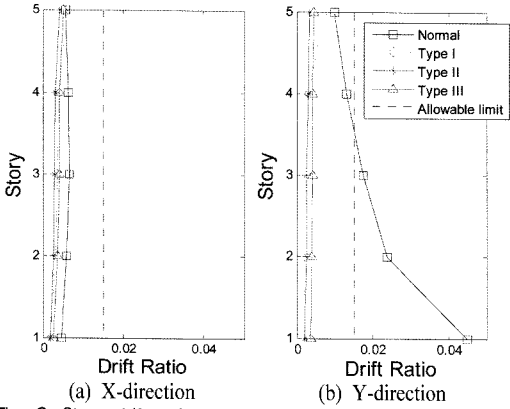


Fig. 8. Story drift ratio.

4.1. 응답스펙트럼해석

1) 층간변위비 검토

허용층간변위 제한규정에 따라 보강 전 구조물의 층간변위비를 검토한 결과, Fig. 8과 같이 X방향은 모든 층에서 허용층간변위를 만족하고 있으며 1층의 변형 집중현상도 발생하지 않았다. 하지만 Y방향은 1~3층에서 허용층간변위를 만족하지 못하였고, 1층의 경우 허용층간변위의 3배 이상의 층간변위가 발생하는 것으로 나타났다.

하지만 4개 층에 각각의 보강방법을 적용한 결과 1, 2층의 층간변위가 크게 감소하였으며, 전 층에서 균형적인 변형이 발생하였다. 또한 모든 보강방법에 대해서 층간변위비가 감소하여 내진성능향상을 확인할 수 있었다.

2) 부재력 검토

응답스펙트럼 해석을 통해 보강 후 기존 구조물에 발생하는 부재력의 변화 및 위치에 따른 분포를 검토하기 위해 Fig. 9와 같이 4개의 기둥을 선정하여, 내진성능평가 결과 내진성능이 부족한 것으로 판단된 Y방향에서의 부재력을 검토하였다. 파악된 각 기둥별 부재력은 Fig. 10과 같다.

Fig. 10(a)는 보강 유무에 따른 기둥별 축력의 변화를 나타낸 것으로 Type I 보강 방안에서 B부재의 축력이 크게 증가하는 것을 확인하였고, 그 외 보강방안에서는 저층기둥을 중심으로 축력의 감소를 확인할 수 있었다. Type I 보강에 따른 축력 증가는 외부, 내부에 전단벽이 설치되는 위치의 기둥에서 큰 증가를 보이고 있어, 신설되는 전단벽과 연결되는 기둥은 실제 내진보강 공사 시, 내력 증가를 위한 추가적인 보강이 병행되어야 할 것으로 판단된다.

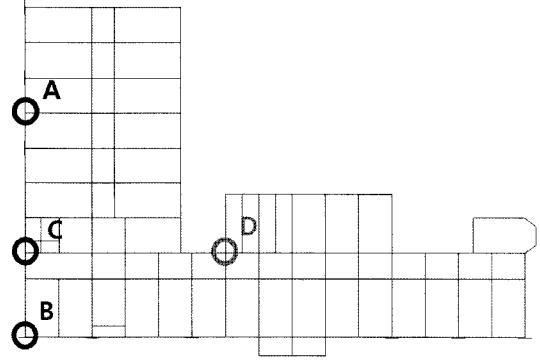
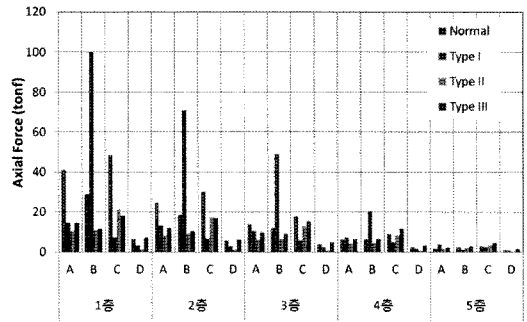
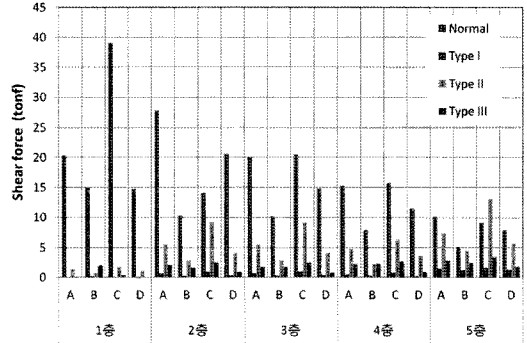


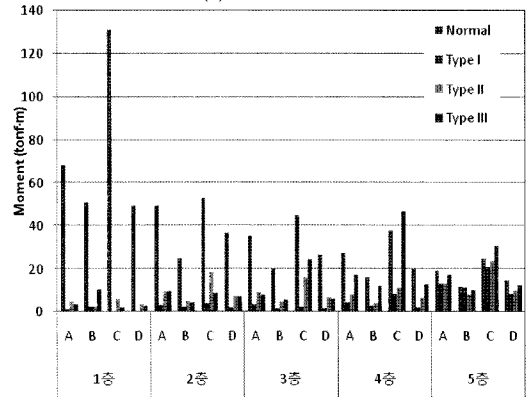
Fig. 9. Location of column for checking the element force.



(a) Axial force



(b) Shear force



(c) Moment

Fig. 10. Element force (Y-direction).

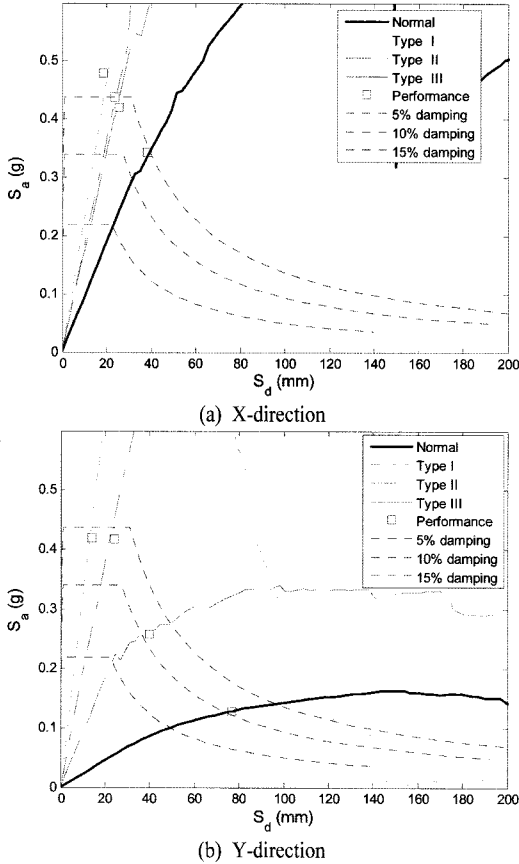


Fig. 11. Capacity spectrum of each retrofitting methods.

Fig. 10(b), (c)는 기둥별 전단력 및 모멘트의 변화를 나타낸 것으로 저층부에 집중되던 전단력과 모멘트가 크게 감소하였다. 하지만 Type II 보강공법은 최상층부에서의 전단력을 증가시키는 것으로 나타났다.

4.2. 비선형 정적해석

1) 능력스펙트럼 및 성능점

비선형정적해석에 의한 능력스펙트럼 곡선을 하중작용 방향별로 X, Y로 구분하여 Fig. 11에 나타내었다. X 방향의 경우에는 무보강시에도 거의 탄성거동을 보여 보강이 필요 없는 것으로 나타났으나, 앞서 말한 바와 같이 비틀림의 영향을 최소화하기 위해 X, Y방향으로 모두 보강을 실시하였다. Y방향에서 Type I 보강방안의 경우 강도 및 강성을 크게 증가시켜 주는 것으로 확인되었다. Type III의 경우 기존 건물에 비해 강도 및 강성도 크게 증가하였고, 연성 또한 확보되어 우수한 내진성능을 보였다.

2) 소성힌지 분포형상

Y방향의 소성힌지 분포 형상을 Fig. 12에 표현하였다. 보강 전 성능점에서는 좌측부 1~3층 기둥에 소성힌지가 집중되어 있고, 내부 기둥에도 경미한 소성힌지가 발생하고 있다. 각각의 보강공법을 적용한 후에는 보강 부재와 연결된 기둥에서 소성힌지가 집중되고 있는 것을 알 수 있다. 각각의 보강공법별 소성힌지 분포를 살펴보면 Type I의 경우, 전면부 날개벽 부분과 기초부에서 붕괴수준의 소성힌지가 발생하고 있어, 기존 기둥부재의 보강이 병행되어야 한다. Type II에서는 전면부 기초와 1층 보-기둥 접합부에서 붕괴수준의 소성힌지가 발생하였고, 4~5층 내부기둥에서 경미한 소성힌지가 발생하고 있다. 따라서 전단벽으로 보강하는 경우에는 반드시 해당 기둥에 대한 보강이 병행되어야 할 것으로 판단된다. Type III를 이용한 보강법에서는 가새 보강위치에서 가새에 최대변형능력(E) 수준의 소성힌지가 발생하였고, 기존 골조에서는 즉시사용 한계상태(IO) 수준의 소성힌지가 분포하는 것으로 나타났다.

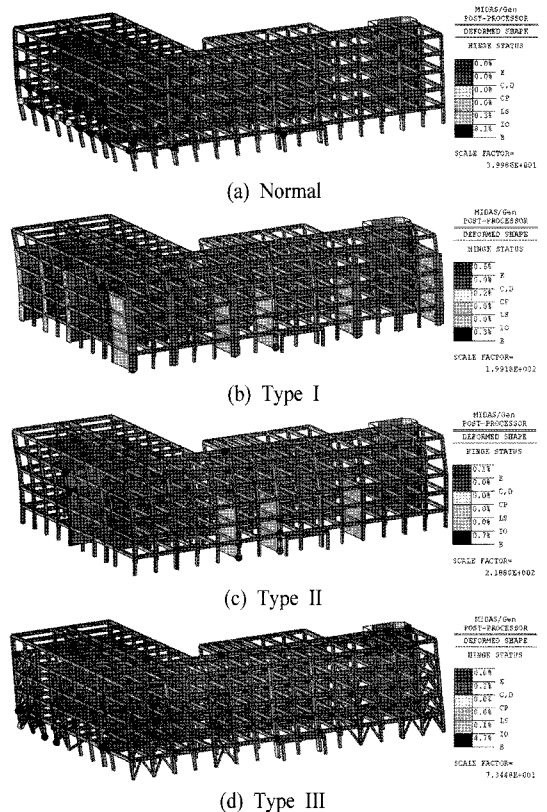


Fig. 12. Plastic hinge distribution of each retrofitting methods.

5. 결론

본 연구에서는 경기도 관내의 철근콘크리트조 학교건축물을 대상으로 응답스펙트럼해석 및 비선형정적해석을 이용하여 내진성능을 평가하고, 학교건축물의 내진취약성의 요인 중 하나인 강성불일치에 관하여 분석하였다. 또한, 그 결과를 바탕으로 보강이 필요한 것으로 판단되는 구조물에 대하여 강도 및 강성을 증가시킬 수 있는 보강방법을 적용하고, 응답스펙트럼해석 및 비선형정적해석을 통해 내진성능보강효과를 평가하였다.

1) 비선형정적해석과 응답스펙트럼 해석결과 저층부 기둥에 전단응력과 변형이 집중되는 전단파괴 양상을 보였다.

2) 편복도에 의한 강성불일치의 경우 학교건물이 저층건물이고, 단위 모듈이 반복됨에 따라 큰 강성편심을 가지지 않는 것으로 판단된다. 하지만, 평면비정형에 의해 나타나는 강성불일치는 건물의 변위가 증폭 되는 결과를 낳는 것을 확인 할 수 있다.

3) 보강방안별 내진성능 평가 결과 단변방향으로는 Type I 보강방안이 강도와 변위요구조건에 있어 가장 우수한 것으로 나타났다. 또한, 내진보강이 많이 요구되는 저층부 보강을 통해 기존의 1층에 집중되었던 변형을 전층에 걸쳐 고루 분포시킴으로써 구조물이 연성적 거동을 보이도록 설계할 수 있었으며, 보강재가 대부분의 지진력을 분담함으로써 타 기존부재에 발생하였던 축력, 전단력, 모멘트 등의 부재력이 크게 감소하여 기존 골조의 피해를 최소화시킬 수 있었다.

4) 보강재가 설치되는 기존 골조에는 추가의 축력과 전단력이 크게 분담되어, 보강부재와 직접연결되는 기존 골조에도 추가적인 보강이 요구된다. 특히, 단변방향으로 기둥사이에 전단벽을 추가하는 경우 양단의 기둥에 적절한 보강이 수행되면 전체 내진저항시스템의 성능을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글 : 이 연구는 2008년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음.

참고문헌

- 1) 대한건축학회, 건설교통부 고시 건축구조설계기준(KBC 2005), 기문당, 2005.
- 2) NEHRP Guidelines for the seismic rehabilitation of buildings : Reports FEMA-273(Guidelines) and 274 (Commentary), Federal Emergency Management Agency Washington, D.C., 1997.
- 3) Applied Technology Council, Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings : Report ATC-40, Applied Technology Council, Redwood City, California, 1996.
- 4) 기존 학교건물의 내진성능 평가와 향상 방안, 경기도교육청, 2006.
- 5) NEHRP Recommended Provisions : Design Examples FEMA 451, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., 2006.
- 6) NPO 法人耐震総合安全機構 (JASO), 耐震改修實例 50, 日経BP社, 2008.
- 7) 學校施設の耐震補強マニュアル - RC造校舎編, 文部科學省, 2003.