

가새를 사용한 기존 학교건축물의 내진보강 및 내진성능평가

Seismic Retrofit and Seismic Performance Evaluation of Existing School Structures Using diagonal, x-shaped, chevron Braces

김 동 건 | Kim, Dong-keon

정회원, 한양대학교 친환경건축연구센터 연구교수, 공학박사

Abstracts

Occurrence of earthquakes have been increased all over the world and also, magnitude of earthquakes have been larger these days. Earthquake can be happened in Korea and is not a safe country any more. Many buildings are exposed at danger without any alternatives against earthquake in Korea. Among various kinds of buildings, school buildings are very important and urgent, because many students stays at school and young students have some difficulty to evacuate. Also, most existing school buildings in Korea were not designed considering earthquake resistant design codes. Thus, in this study, 3 types of braces were applied for seismic retrofits of existing school buildings using commercial structural analysis software and effective seismic retrofits were evaluated and discussed based on results by time history analysis.

Keywords

Seismic Retrofit, Seismic performance evaluation, Time History Analysis, Earthquake, Brace

키워드

내진보강, 내진성능평가, 시간이력해석, 지진, 가새

* 본 연구는 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 20110001395).

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 들어 일본 동북 대지진 뿐 아니라, 전세계적으로도 지진 발생빈도가 증가하고 있으며, 지진의 규모 또한 증가하고 있다. 한반도 역시 2000년대 이후로 지진의 발생 빈도가 증가하고 있고, 그 강도도 점점 더 세지고 있는 상황이다. 그러므로, 우리나라도 지진에 대비하기 위한 건축물의 설계가 요구되어지지만, 지진에 대한 관련 연구나 관련 건축법규는 미흡한 실정이다.

국내에서 적용되는 내진설계 대상 건축물은 1988년에 제정되었지만 6층 이상 100,000m² 건축물에 해당되어, 대부분의 저층 건축물에 해당되지 않으며, 2005년에 이르러서야, 3층 이상 10,000m²의 건축물로 강화되어 적용되었다. 그러므로 2005년 이전의 건축물은 내진설계 대상 건축물이 아니므로 지진에 대한 위험이 노출되고 있는 실정이다. 한국의 현행규정에 따르면, 전체 건축물 680여만동 중 100만여 동만이 내진설계 적용대상이다. 이 가운데 내진 설계를 적용한 건축물은 16.3%로 전국 680만 건축물 중 내진설계가 적용된 건물은 2.4%에 불과하다. 특히, 학교 건축물의 경우 대다수가 5층 이하의 건물로 내진설계 적용대상이 아니었고, 학생들이 항상 상주하고 있고, 재난 발생시 대피장소로 활용되고 있는 중요도가 높은 시설물인 만큼, 2005년 이전의 학교 건축물에 대한 내진보강이 시급하다. 교육시설물 내진설계 현황에 따르면, 학교 시설물의 86.8%가 내진설계가 되어있지 않은 것으로 조사되었다.

또한 KBC2009에서는 학교건물의 중요도계수를 특등급이 아닌 한 단계 아래인 1등급으로 규정하고 있는 만큼, 학교 건물의 안전성에 대한 평가가 필요하고, 그에 따라 내진보강을 하여 실제 지진 발생시 인명피해나 대피 장소로 활용될 수 있는지 연구해야 할 필요가 있다.

그러므로 본 연구에서는 기존 학교 건물을 대상으로 동적해석방법인 시간이력해석을 통하여 기존 학교 건물이 실제 지진에 대해 어떻게 반응하는지 알아보고, 기존 학교 건물에 3가지 유형의 브레이스를 가지고 내진 보강하여 시간이력해석을 한 다음 그에 대한 결과를 바탕으로 기존 학교 건물과 보강된 학교 건물을 비교 분석하여, 내진 보강된 학교 건물이 얼마나 보강효과가 있는지 알아보고자 한다. 그리고 더 나아

가 학교 건물의 효과적인 내진보강 방법에 대해 제시하고 자한다.

1.2 연구의 방법

본 연구는 기존 학교 건축물에 대한 내진 성능을 알아보고 내진보강된 학교 건축물의 내진성능을 비교 분석하기 위해,

제 2장에서는 기존 초등학교 건축물에 대한 표준설계 도면과 설계하중 등 설계 기본조건에 대해 알아보고,

제 3장은 기존 학교 건축물과 내진 보강된 학교 건축물을 Loma Prieta, San Fernando, Hyougoken 지진 데이터를 사용하여 시간이력해석을 통하여 내진 성능을 평가하고,

제 4장은 3장에서 얻은 해석 결과를 바탕으로 결론을 종합적으로 정리하였다,

2. 해석모델

2.1 기존 학교 건축물

대상 학교 건물은 1980년도 표준설계도면(건설부 공고 제 130호)에 의하여 시공된 철근 콘크리트조의 학교 건물이다. 아래 그림1의 평면도에 표시된 것처럼 라멘조 학교건물이다. 이 학교 구조물의 설계에는 콘크리트 설계 기준강도는 $f_{ck} = 18\text{MPa}$ (재령 28일 압축강도)이고, 철근 강도는 $f_y = 240\text{MPa}$ 이다. 기둥의 단면 크기는 350 x 450mm (C1), 350 x 400mm (C2), 350 x 350 mm (C3), 400 x 500 mm (C4)이며, 조적벽은 모델링에서 제외하였고 건물의 위치는 서울시로 가정하였다. 또한, 스펠은 4.5m간격이고, 층고는 4m로 전 층이 동일한 층고를 갖는 것으로 가정하였다.

표 1. 건물 개요

항 목	내 용
건물 위치	서울시
건물 용도	교육시설
구조 종별	철근 콘크리트조

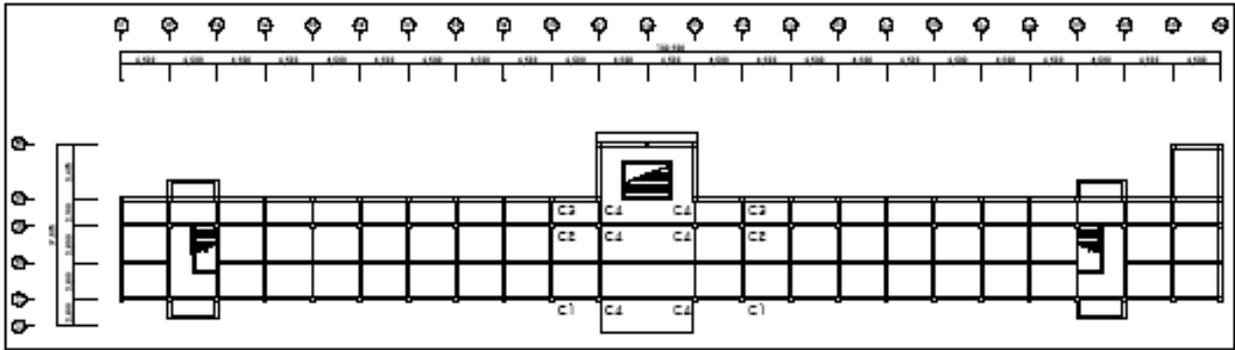


그림 1. 기존 구조물 평면도

2.2 주요 설계하중

대상 학교 구조물의 고정하중은 아래 표2에서 보이는 것과 같이 5kN/m², 적재하중은 KBC2009 건축구조 기준의 설계하중산정부분을 참고하여, 해당실의 용도를 건축교실과 해당복도로 간주하여 3kN/m²로 산정하여 설계되었다.

표 2. 고정하중, 적재하중 ※단위: kN/m² (kgf/m²)

용도	고정 하중	적재 하중
일반 교실	5.0 (500)	3.0 (300)

2.3 대상구조물의 내진보강

기존 대상 학교 건축물을 내진 보강하기 위해서 기본 골조에 대각선형 가새, 웨브론형 가새, X형 가새 등 3가지 형태로 나누어 설계하였다. 이러한 보강에 대한 가새는 표3의 KBC 2009 지진하중에 대한 설계 기준을 만족하도록 설계되었다. 즉, 서울은 지진구역2를 제외한 지역이므로 지진계수 산정시 값은 0.22이고, 지반종류는 단단한 토사지반이라 가정하여, S_D 이고, 중요도 계수는 도시 계획구역내의 3층이상 학교 건물이므로 1.2이다. 또한, 단주기 설계스펙트럼 가속도와 주기 1초의 설계 스펙트럼가속도는 아래의 식 (1), 식(2)과같이 구해진다.

$$S_{DS} = S \times 2.5 \times F_a \times 2/3 \quad (1)$$

$$S_{D1} = S \times F_v \times 2/3 \quad (2)$$

단주기 설계스펙트럼 가속도값은 0.5보다 크므로, 내진등급D에 해당된다. 그리고 주기 1초의 설계 스펙트럼가속도는 0.2보다 크므로 역시 내진등급D에 해당된다.

가새에 사용되는 보강재의 강재의 재료는 SS400강재가 사용되었고, HSSx200x200x20 각형 강관을 사용하였다.

표 3. 지진하중, 건축구조설계기준(2009)

구 분	적용 기준	비 고
지역계수 (S)	0.22	지진지역 I (서울시)
지반종류 (S _D)	S _D	단단한 토사지반
중요도계수 (I _E)	1.2 (도시계획구역)	3층 이상의 학교
단주기설계스펙트럼 가속도(S _{DS})	S _{DS} =0.51>0.5 (내진등급 : D)	S _{DS} =Sx2.5xF _a x2/3
주기 1초의 설계 스펙트럼 가속도(S _{D1})	S _{D1} =0.29>0.2 (내진등급 : D)	S _{D1} =SxF _v x2/3
반응 수정계수(R)	3	철근콘크리트라멘 구조

기존 학교 건축물의 내진보강에 사용되는 가새의 형태는 그림2에서 보는 것과 같이 대각선형 가새(Diagonal Brace), X형 가새(X-shaped Brace), 웨브론형 가새(Chevron Brace)와 같고, 골조의 각 층에 보강되었다.

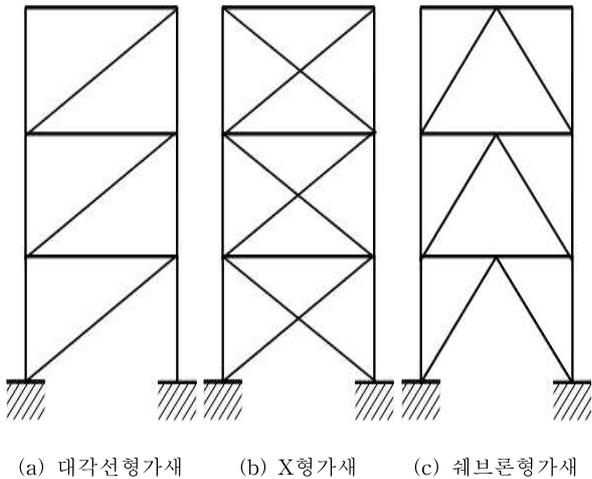


그림 2. 가새형태

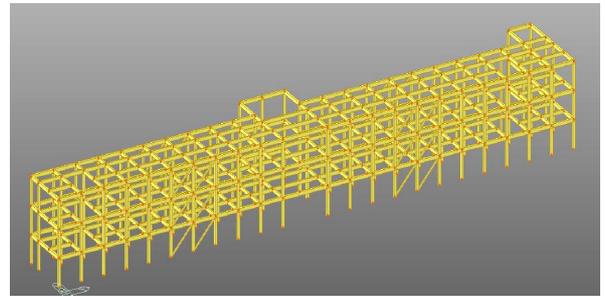
3. 해석 결과

학교 건축물의 내진보강에 대한 비선형 해석을 하기 위해, 구조해석 프로그램인 MIDAS-Gen을 사용하여 기존 학교 건물을 모델링을 한 후, 2장에서 계산된 고정하중, 적재하중, 지진하중을 모델에 적용하고, 각각 가새의 내진보강 형태에 따라 모델링을 추가하였다. 그리하여, 대각선형 가새, X형 가새, 웨브론형 가새를 사용하여 학교건물에 내진 보강된 모델은 그림 3과 같다.

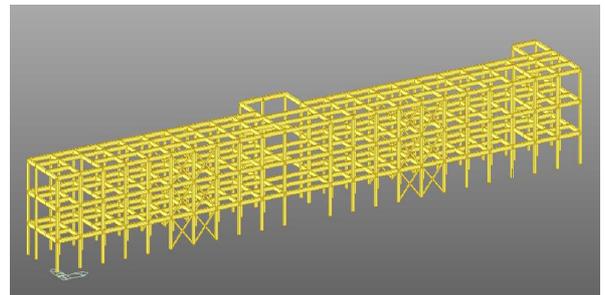
기존의 학교건물에서 코어부분의 벽에 대한 강성이 크기 때문에, 가새는 코어와 코어의 중간지점 그리고 3개층에 장변방향으로 보강되었다. 그리고 단변방향은 지진에 대해서 약한 방향이나, 실제로는 단변방향의 내력벽들이 지진에 대한 강성을 가지므로, 단변방향으로 가새를 보강하지 않았다.

본 연구에서 기존 학교 건물의 지진에 대한 비선형 거동의 특성과 3가지의 가새 형태로 내진 보강된 학교 건물의 비선형 거동을 비교 분석하기 위해서, 시간이력해석을 수행하였다. 시간이력해석에 사용된 Loma

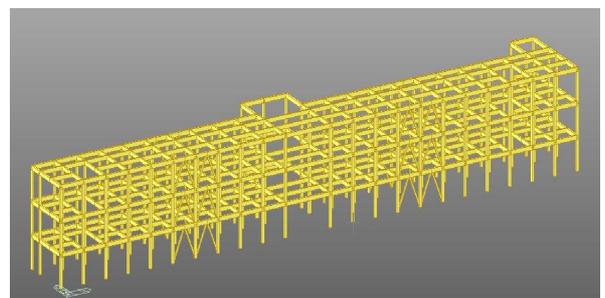
Prieta지진(Oakland Outer Wharf, 280 Deg.)의 최대지반가속도는 0.276g이고, San Fernando지진(Pacoima Dam, 196 Deg.)의 최대지반가속도가 1.075g이고, 마지막으로 Hyougoken지진(South N30W)의 최대지반가속도는 0.751g이다. 그리고, 기존 학교건축물의 시간이력 해석을 위해 주어진 3가지 지진의 시간에 따른 지반가속도 곡선은 그림4의 (a), (b), (c)와 같이 나타내어진다.



(a) 대각선형가새 보강



(b) X-형가새 보강

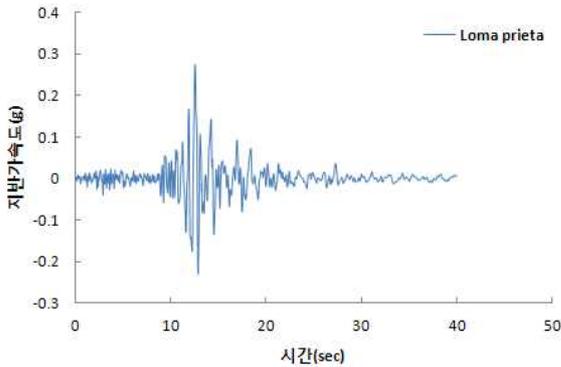


(c) 웨브론형가새 보강

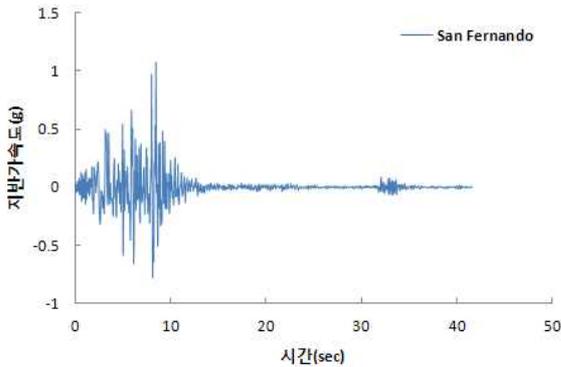
그림 3. 기존건축물의 내진보강

그림 5는 각 지진 적용시 시간이력해석 후 얻어진 최대층간변위비를 나타낸 그래프이다. 내진등급 1의 최대층간변위비의 제한은 1.5%이므로 기존건물은 모

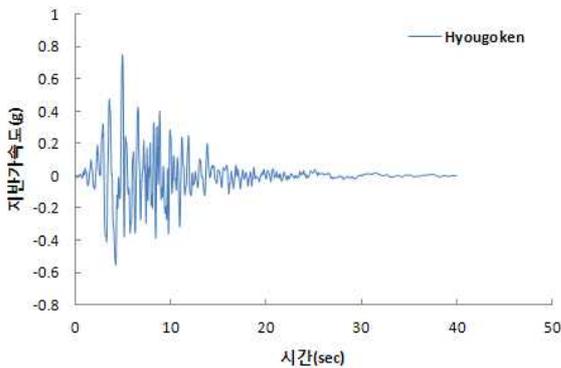
은 3개의 지진에 대하여, 최대층간변위비를 만족하지 않는 것을 알 수 있다. 가새들간의 최대층간변위비를 비교하면, 최대지반가속도가 0.276g인 Loma Prieta 지진에서는 각각의 가새로 보강한 건물에서 최대층간변위비가 거의 차이가 없지만, 최대지반가속도가 1.075g인 San Fernando 지진 또는 최대지반가속도가 0.751g인 Hyougoken 지진에서는 대각선형 가새로 보강한 건물의 최대층간변위비가 다른 두가새로 보강한 건물의 층간변위비보다 더 큰 것을 확인할 수 있다.



(a) Loma Prieta 지진

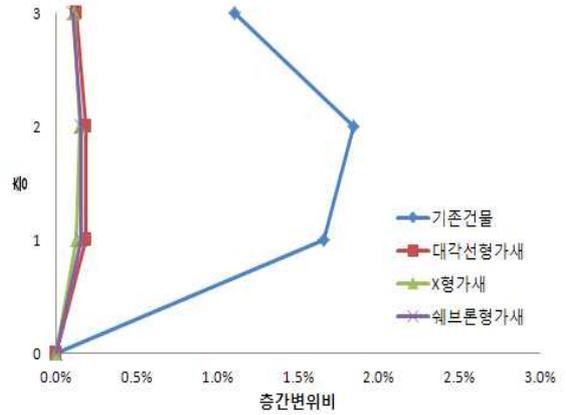


(b) San Fernando 지진

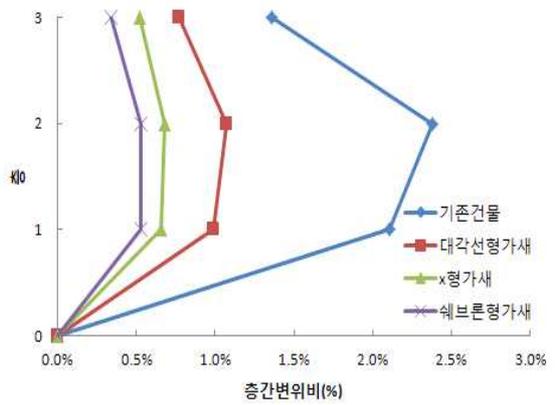


(c) Hyougoken 지진

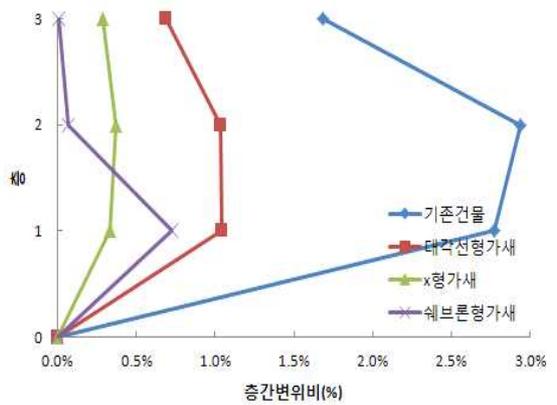
그림 4. 각 지진의 시간이력곡선



(a) Loma Prieta 지진



(b) San Fernando 지진

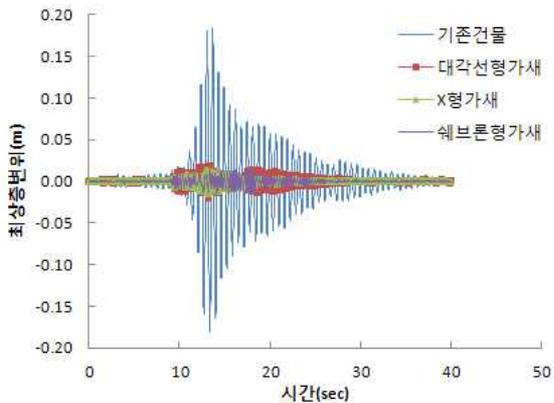


(c) Hyougoken 지진

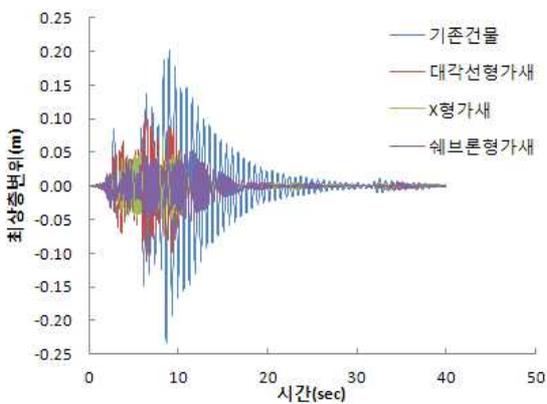
그림 5. 각 지진의 층간변위비

그림 6은 각각의 지진별로 시간이력해석을 수행한 후 최상층 변위의 시간에 따른 변화를 보여주고 있다. 각각의 지진에 대해서 기존건물과 가새로 내진보강을

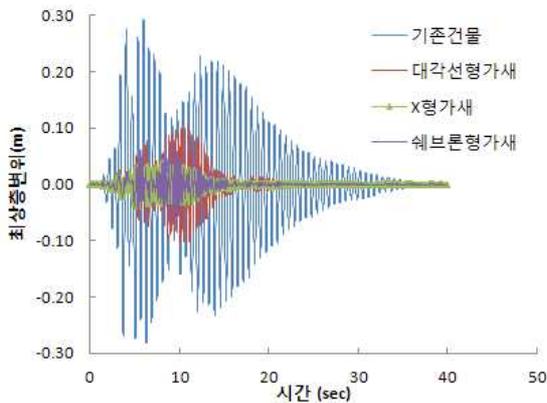
한 건축물을 비교하면 상당한 변위를 감소시키는 것을 확인할 수 있다. 상대적으로 최대지반가속도가 다른 두 지진과 비교해 작은 Loma Prieta 지진에서는 각 가새로 보강한 학교 건물의 최상층 변위는 0.019m, 0.014m, 0.017m로 거의 차이가 없는 것을 확인할 수 있다.



(a) Loma Prieta 지진



(b) San Fernando 지진



(c) Hyougoken 지진

그림 6. 각지진 적용시 최상층 변위 비교

하지만, San Fernando 지진 또는 Hyougoken 지진의 경우에는 대각선형 가새로 보강한 학교 건물의 최상층 변위(0.108m, 0.111m)가 X형가새(0.072m, 0.039m) 또는 웨브론형가새(0.056m, 0.077m)보다 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 즉, Loma Prieta 지진에서는 대각선형 가새의 내력이 도달하지 않아, X형가새 또는 웨브론형가새의 성능과 거의 차이가 없지만, San Fernando 지진 또는 Hyougoken 지진의 경우처럼 강한 지진에서는 대각선형 가새로는 지진에 대한 변위기준을 초과할 가능성이 있으므로 추가적인 보강이나 다른 내진보강방법을 모색해야 할 것이다.

표 4. 내진보강형태에 따른 최대층간변위비와 최상층변위

내진보강형태		최대층간 변위비(%)	최대최상층 변위(m)
Loma Prieta 지진	기존건물	1.84%	0.18
	대각선형 가새보강	0.19%	0.019
	X형가새보강	0.15%	0.014
	웨브론형 가새보강	0.16%	0.017
San Fernando 지진	기존건물	2.38%	0.20
	대각선형 가새보강	1.07%	0.108
	X형가새보강	0.68%	0.072
	웨브론형 가새보강	0.53%	0.056
Hyougoken 지진	기존건물	2.94%	0.29
	대각선형 가새보강	1.04%	0.111
	X형가새보강	0.37%	0.039
	웨브론형 가새보강	0.72%	0.077

8. 문교부, “ 건설부 공고 제130호,”1980

4. 결론

본 연구를 통해 내진설계가 미비한 국내의 기존의 학교 건축물을 간단한 가새 보강만으로 지진에 대한 안정성을 획득할 수 있도록, 대표적인 가새 설치 방법들을 비교 분석하여 가장 구조적으로 효과가 뛰어난 방법을 도출해 내고 기존 건축물에 대한 내진 안전성 확보에 경제적, 효율적 측면에서 적합한 내진 보강 방안을 제시하고자 하였다. 그리하여, 대각선형 가새는 강한 지진에 대해서는 변위기준을 초과할 가능성이 발생할 수 있지만, X형 가새 또는 웨브론형 가새는 최대 층간변위비와 최상층 변위를 상당히 저감시키는 효과를 보이고 있다.

내진 보강에는 다양한 방법들이 있지만 댐퍼나 다른 면진 장치들을 이용하는 것보다 가새 보강이 비용 면에서 훨씬 경제적이며 국내에 발생해온 혹은 발생할 가능성이 있는 지진들이 중간 규모의 지진 가능성이 높으므로 가새 보강만으로도 목표로 하는 안전성을 확보할 수 있으므로 입면 형상에 대한 고려를 제외한다면, 더 효율적이라 할 수 있다. 특히, 초등학교 건축물의 경우 학기 중에는 학생들의 수업에 방해가 될 수 있어 공사를 시행하기가 어려우므로 주로 방학 중에 내진 보강 공사를 시행하게 되는데 이 기간이 극히 짧고 제한적이다. 따라서 여타의 내진 보강 방법들에 비해 공사 기간이 짧은 가새 보강이 효율적인 내진 보강 방법일 것으로 사료된다. 또한 앞으로, 여러 내진보강 공법과 더불어, 입면 형상에 대한 연구도 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 기상청, “국내 기상청 지진 통계 자료,”2008.
2. 대한건축학회, “건축구조설계기준,” 2005
3. 이성렬·김경민·윤태호, “국내 및 일본 내진규준에 따른 학교건물의 내진성능평가”,대한건축학회 학술발표대회 논문집 제28권 제1호, 2008.
4. 金正友, “[일본지진 특집] 강진에 속수무책 한국 건축물: 전국 680만 건축물 중 내진설계 적용된 곳은 2.4%뿐”,月刊朝鮮 2011년 4월호, 2011.
5. 대한건축학회, “건축구조설계기준,” 2009
6. 휘 짜안 춤, 박경훈, 김진구, “가새와 강골조를 이용한 저층 RC구조물의 내진보강”, 한국전산구조공학회 논문집, 제23권 제5호, 2010.
7. 이원호, “기존 철근콘크리트 건축물의 내진성능 평가 및 보강, 대한 건축학회 제48권 제8호, 2004

논문접수일 (2011. 5. 12)

심사완료일 (1차 : 2011. 5. 25, 2차 : 해당없음)

게재확정일 (2011. 5. 30)