

학교건축물의 내진성능 향상 방안

Seismic capacity development Method in School Buildings



송 철 의 / (주)와이즈구조연구소 이사
 Song, Chul-Ui / WISE Structural Engineering Co., Ltd
 chwaly@naver.com

1. 서론

지진은 땅속의 암석이 부딪치거나 갈라지면서 그 충격 에너지가 지표면에 표출되는 자연현상이다. 지진은 그 어떤 화학무기보다 위력이 커 2008년 5월 12일 중국 쓰촨성에서는 리히터규모 7.8의 강진에 의해 약 6만3천여명의 사망자가 기록되기도 하였다. 당시 언론에서는 7천여곳의 학교가 붕괴됐고 2천여명의 학생이 매몰되었다는 보도와 함께 부실한 학교건축물의 실태도 전했다.

쓰촨성 대지진 이후 우리나라에서도 2010년 3월에 교육과학기술부에서 학교건축물에 대한 실태조사를 발표하였다. 발표 자료에 따르면 국내 초·중·고 및 특수계 학교를 포함한 건물 중 내진설계가 반영된 건물은 약 18.1%에 불과하다. 이는 내진설계 의무화 규정 전인 1988년 이전에 준공된 학교건축물이 지진에 얼마나 취약한지를 나타내는 결과이기도 하다. 이에 따라 유사시 학교건축물이 재난대피시설로 사용될 수 있을지 의구심이 야기된다. 교육과학기술부에서는 2014년까지 내진설계 비율을 약 23.3%까지 확대하도록 목표를 설정하였으나 중국, 일본을 비롯한 세



그림 1. 쓰촨성 주위안 중학교 지진피해 현황

계 각국에서 발생하고 있는 지진피해를 시시각각 경험하고 있는 현재로서는 아쉬움이 앞선다.

따라서 이 글에서는 국내 학교건축물 중 내진설계가 반영되지 않은 대다수 기존 건물을 대상으로 기준요소를 설정하고 몇 가지 내진보강방안을 제안하고자 한다.

2. 내진보강의 의의

내진보강에 앞서 보수와 보강의 의미를 살펴볼 필요가 있다. 보수는 손상된 구조물의 내구성, 안전성, 미관 등의 기능을 회복시키는 것이 목적이고, 보강은 손상에 의해 저하된 구조물의 내력을 회복시키는 것이 목적이다. 예를 들어, 종이에 베인 상처에 연고를 바르는 것은 ‘보수’에 해당되고, 닳아 얇아진 관절에 인공관절을 삽입하여 기능을 회복시키는 것은 ‘보강’에 해당된다.(그림 2. 참조)

이런 의미에서 내진보강은 내진능력이 부족한 기존 건물에 대해서 보강재를 덧대거나 단면을 증가시키는 행위일 수 있다. 이러한 보강은 미래의 지진하중에 대비하고자

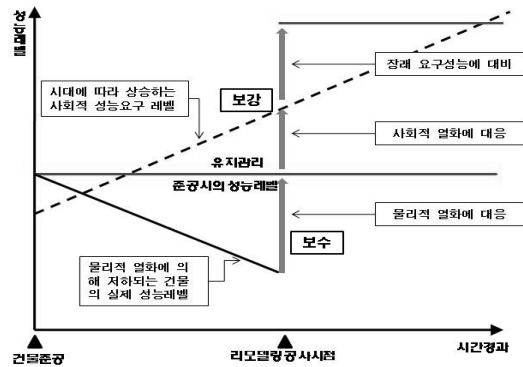


그림 2. 보수·보강의 의미

함이며, 현 시점에서 요구하는 내진성능을 확보하기 위한 수단이기도 하다.

3. 내진구조 고찰

앞 절에서는 내진보강의 의미를 살펴보고 본 절에서는 이러한 내진보강을 위해서 어떠한 구조기술이 존재하는지 간략히 소개하고자 한다.

내진보강방법에는 강성을 증가시키는 내진기술과 지진

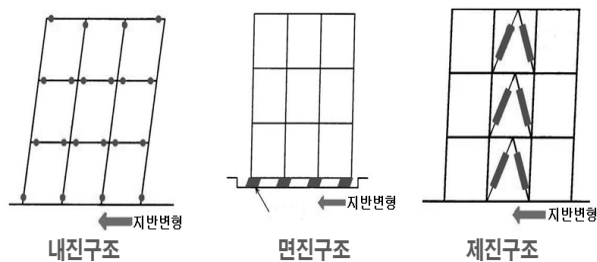


그림 3. 내진, 제진, 면진구조의 비교

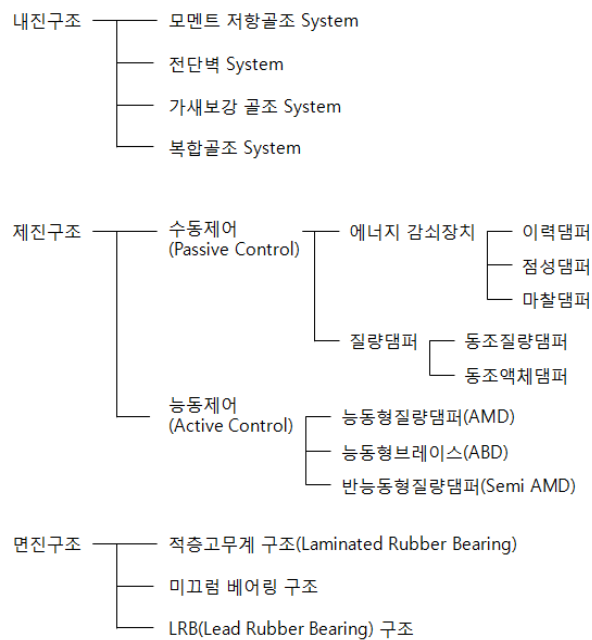


그림 4. 내진, 제진, 면진구조의 종류

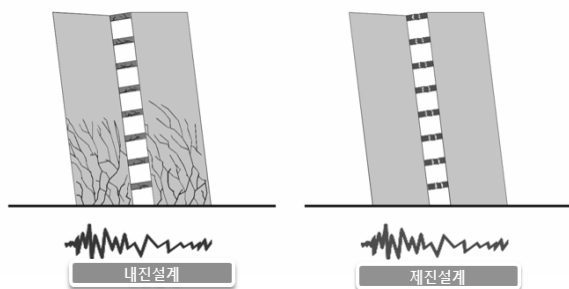


그림 5. 내진, 제진구조의 구조적 거동의 특성

의 응답을 제어할 수 있는 제진 및 면진기술이 있다. 이러한 각 기술들은 지진에 대해 안전성, 사용성 및 내구성을 확보하고자 하는 목표는 같으나 지진을 어떻게 극복하느냐에 따라 방법과 기능적 차이가 있다.

3.1 내진구조

내진구조는 전통적인 구조방법으로서 거주자의 생명을 보호할 수 있는 단계까지 건물이 붕괴되지 않도록 구조부재에 성능을 부여하는 기술이다.

기둥이나 보의 단면을 확대시키거나 내력벽을 곳곳에 배치하여 구조체 자체 내력으로 지진에너지를 흡수하므로 지진발생 후 구조체에 균열과 잔류변형이 발생하게 된다. 이에 건물 재사용시 대규모의 보강조치가 필연적으로 수반되며, 국가중요시설 및 의료시설의 보호에는 한계가 있다.(그림 6. 참조) 또한 부재의 단면 확대와 중량의 내력벽 설치의 구조물의 자중증가로 이어져 중국에는 지진하중이 가중되고 공간가변성을 저하시키는 요인으로도 작용한다.

표 1. 내진구조의 종류별 특징

내진구조	특징
모멘트 저항골조 System	• 취성 및 전단파괴 가능성 적음 • 횡변위가 크게 발생 • 접합부의 설계와 시공이 중요
전단벽 System	• 지나친 횡변위 발생 가능성 적음 • 취성 및 전단파괴 발생
가새보강 골조 System	• 비탄성거동이 대부분 보에 집중 • 가새에 의한 횡변위 저감 가능
복합골조 System	• 모멘트 저항골조 + 전단벽 System • 순수 전단벽 System보다 내진성능 우수

* 출처 : 2009 한국형 제진신공법 실용화기술 개발, SH공사



그림 6. 내진설계된 건물의 피해현황(일본 고베)

3.2 제진구조

제진구조는 특수 제진장치(댐퍼)를 사용하여 건물에 입력되는 진동을 제어하는 것으로서 지진에너지를 댐퍼에 의해 흡수하는 기술이다.

이는 내진구조에 비해 보강범위가 작은 반면 동등이상의 효과를 발휘할 수 있고, 댐퍼에 지진에너지가 집중되므

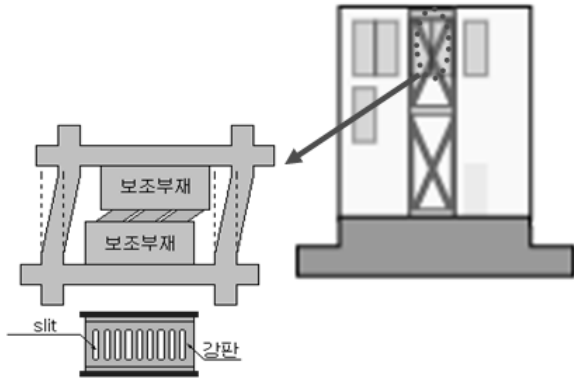

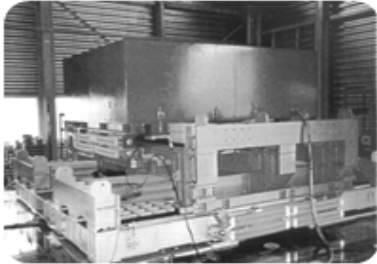


그림 7. 제진구조의 개념도

표 2. 제진구조의 종류별 특징

제진구조	특징
이력댐퍼	<ul style="list-style-type: none"> 강재, 납 등을 주로 이용 진폭의 크기에 따라 제진효과 변화 댐퍼의 전단변형 
점성댐퍼	<ul style="list-style-type: none"> 오일을 이용한 점탄성체 속도에 비례 온도의존성 높음
마찰댐퍼	<ul style="list-style-type: none"> 반복하중에 의한 회전소성거동 주로 마찰패트를 사용 인방보 형식으로 활용 가능
동조질량댐퍼	<ul style="list-style-type: none"> 질량체에 스프링을 달아 주기 증대 고차모드에서 제어 곤란 
동조액체댐퍼	<ul style="list-style-type: none"> 액체의 진동과 건물의 고유진동이 동조 액체의 관성력으로 공진현상 방어

* 출처 : 2009 한국형 제진신공법 실용화기술 개발, SH공사

로 내진에 비해 지진발생시 건물의 손상이 적어 사후에는 경미한 보수가 이루어진다. 또한 국부적인 댐퍼의 배치는 건축 및 구조계획을 수월하게 소화할 수 있어 매우 효과적이고, 국가중요시설과 의료시설의 파손을 최소화할 수 있어 국가기간망의 안전을 위해 효과적인 방법이라 할 수 있다.

3.3 면진구조

면진은 건물과 지반의 기초사이를 분리시키고자 면진장치를 설치하는 것으로 지진발생시 지진하중이 건물의 기초에 전달되지 않는 기법이다. 면진장치의 설치로 상부구조물에는 지진하중이 전달되지 않으므로 건물을 가볍게 할 수 있고 지진발생 후에도 건물의 손상은 전혀 없으며, 건축 및 구조계획이 매우 수월하다. 이러한 면진구조는 고성능 기술이기는 하나 기존 건물에 적용하기에는 과도한 비용이 소요되므로 적합하지 않다.

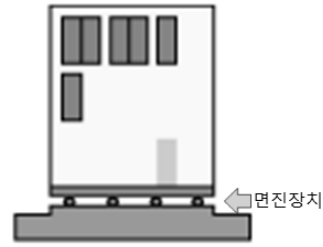


그림 8. 면진구조의 개념도

4. 기존 학교건축물의 내진성능 확보 방안

본 절에서는 기존 학교건축물의 내진성능을 확보하기 위해 주로 사용되는 공법들을 소개하고 각각의 특성을 비교, 분석하고자 하며, 비교기준은 경제성, 공사기간, 구조안전성, 공간가변성, 시공성, 시공시 사용여부 등이다.

4.1 철근콘크리트 전단벽 설치 공법

본 공법은 교실 칸막이 벽체(조적벽)를 대신하거나 R.C 전단벽을 신설하는 방법으로서 설치위치의 제한으로 공간가변성이 부족한 단점이 있으나 구조적인 효과는 매우 우수하다.

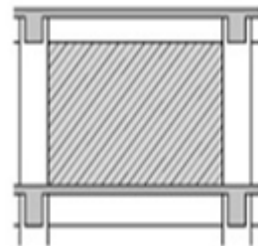


그림 9. R.C 전단벽 보강방안

1) 보강 개념

- 조적벽체 철거가 선행
- 강성이 우수한 전단벽 설치
- 내진보강의 일종

2) 특징

표 3. RC 전단벽 보강공법의 특징

경제성	• 일반적인 수준
공기	• P.C화로 공기단축 가능 • 조적벽체의 철거가 공기에 약점으로 작용
구조 안전성	• 효과 우수
공간 가변성	• 개구부 발생시 효과 제한적 • 채광, 통풍 곤란 • 건축 및 구조계획 어려움
시공성	• 시공 실적 많음 • 내부 작업이 많음
시공시 사용여부	• 이주나 방학 중에만 시공 가능

4.2 강판벽 부착 공법

건물 코어나 측벽을 대상으로 기존 RC 벽체 혹은 조적 벽체에 강판을 부착하여 강성을 크게 증가시키는 방법이며 강판의 현장 반입과 구조적 거동시 기존 벽체와의 일체성이 결여되는 단점이 있다.

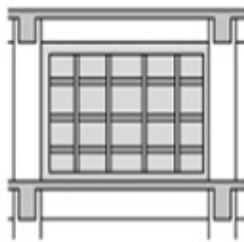


그림 10. 강판벽 보강방안

1) 보강 개념

- 기존 RC 벽체 혹은 조적벽체에 강판 부착
- RC 전단벽에 비해 연성 우수
- 내진보강의 일종

2) 특징

표 4. 강판벽 부착 보강공법의 특징

경제성	• RC 전단벽에 비해 고가
공기	• RC 전단벽과 유사 • 건식공법이나 Anchoring과 용접이 수반
구조 안전성	• 지진발생시 용접부 취성과파괴 우려 • Anchor의 내력확보 제한적
공간 가변성	• 개구부 발생시 효과 제한적 • 채광, 통풍 곤란 • 건축 및 구조계획 어려움
시공성	• 분진, 용접그을음에 대한 보양책 마련 • 내부 작업이 많고, 강판의 반입이 곤란
시공시 사용여부	• 이주나 방학 중에만 시공 가능

4.3 개구부 폐쇄 공법

본 공법은 보강량을 작게 유지할 수 있으나 철근콘크리트 개구부에만 적용이 가능하여 라멘조인 학교건축물에 반영하기에는 제약이 크다.

1) 보강 개념

- 기존 개구부에 철근조립 후 콘크리트 타설
- 철근 콘크리트 개구부에만 해당
- 내진보강의 일종

2) 특징

표 5. 개구부 폐쇄 보강공법의 특징

경제성	• RC 전단벽에 비해 저렴
공기	• 습식공법 • 개구부 크기에 따라 영향 큼
구조안전성	• RC 전단벽과 유사효과 가능
공간 가변성	• 공간 영향 작음 • 건축 및 구조계획 보통
시공성	• 내부 작업 의존도 큼
시공시 사용여부	• 사용 중 부분공사 가능

4.4 브레이스 공법

브레이스 공법은 H, L 형강 등을 보강하여 가새에 의한 횡변위의 저감이 가능하고 연성능력이 우수한 장점이 있으나 가새가 설치된 보나 기둥에 응력이 집중되는 단점이 있다.

표 6. 브레이스 보강공법의 특징

경제성	• 비용 의존도 큼
공기	• 건식공법 • 공사기간 보통 소요
구조안전성	• 연성능력 우수
공간 가변성	• 공간 영향 작음 • 건축 및 구조계획 보통
시공성	• 교실 내 강재의 이동, 설치 어려움
시공시 사용여부	• 사용 중 부분공사 가능

표 7. 제진댐퍼 보강공법의 특징

경제성	• 보강량 최소화로 비용절감
공기	• 최단기 소요
구조안전성	• 댐퍼의 이력거동으로 연성 우수 • 지진발생 후 기존 부재의 안전성 우수
공간 가변성	• 공간 영향 작음 • 채광, 통풍 우수 • 건축 및 구조계획 탁월
시공성	• 주로 외부 작업 수행 • 내부 작업의 의존도 작음
시공시 사용여부	• 사용 중 보강가능

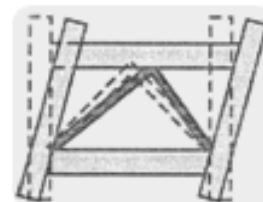


그림 11. 브레이스 보강방안

- 1) 보강 개념
 - 철골 브레이스를 라멘조에 설치
 - 가새의 좌굴길이를 최소화해야 효과적
 - 내진보강의 일종

2) 특징

표 8. 개구부 폐쇄 보강공법의 특징

구분	R/C 전단벽	강판벽	개구부 폐쇄	브레이스	제진댐퍼
경제성	△	×	×	×	△
공기	△	△	△	△	○
구조안전성	○	△	△	△	○
공간 가변성	×	×	△	△	○
시공성	△	△	△	×	○
시공시 사용여부	×	×	△	○	○

주: ○(우수), △(보통), ×(불량)

* 참조 : 2009 인방보형 제진장치를 이용한 제진신공법 개발, 쌍용건설

4.5 제진댐퍼 공법

본 공법은 주로 건물 외부에 댐퍼를 설치하여 기존 구조부재의 훼손을 줄일 수 있고 보강면적을 최소화 할 수 있는 장점이 있다. 또한 댐퍼의 지진에너지 흡수로 대부분의 지진에너지가 소산되므로 지진발생 후 기존 부재의 손상이 적다.

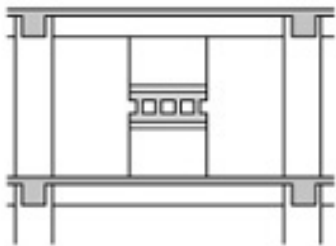


그림 12. 제진댐퍼 보강방안

- 1) 보강 개념
 - 주로 건물 외부에 이력댐퍼 등을 설치
 - 건물 본체의 손상을 최소화시킬 수 있음
 - 공사기간의 단기화로 사용 중 보강이 가능
 - 제진보강의 일종

2) 특징

이상으로부터 학교 건물의 가변성 확보 및 경제성 측면에서는 제진댐퍼가 우수한 것으로 나타났으며, 구조적 안전성 측면에서는 R/C 전단벽과 제진댐퍼가 뛰어난 것으로 나타났다.

5. 제진설계 보강사례

본 절에서는 실제 학교건축물에 제진보강안이 적용된 사례로 구조적으로는 보강시 건물을 최소화하며 내진성능을 향상시킬 수 있었고 시공적 측면에서는 교실 외부공사로 인해 작업이 수월하고 최단기간(1개월미만) 내에 공사를 완료할 수 있었다. 또한 경제적 측면에서는 기존 내진보강 대비 약 40%의 비용절감 효과를 볼 수 있었다.

대상건축물은 준공 후 약 26년이 경과한 지상 3층 규모의 교육시설이며, 구조해석 시 지진하중은 현 기준(KBC 2009)을 토대로 하였다.



그림 13. 대상건축물(강원도 원주시 W초등학교)



그림 14. 제진보강 시공과정(외부 주열부 파취)



그림 15. 제진보강 시공과정(강재댐퍼 설치)



그림 16. 제진보강 후 전경

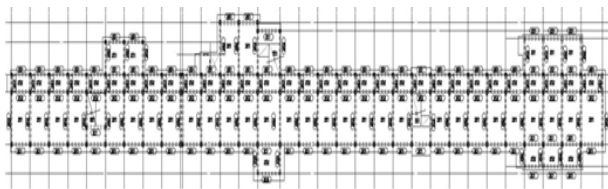


그림 17. 구조평면도

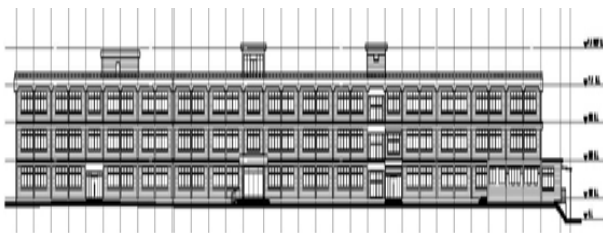


그림 18. 입면도

대상건축물을 내진보강 시 보강범위는 대다수 주요구조 부재에 해당하며, 제진댐퍼로 보강시에는 그림 20과 같이 그 범위가 상당히 축소되는 것으로 나타났다.

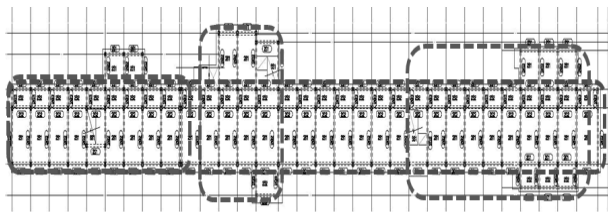


그림 19. 내진보강 위치(빨강색: 기둥보강, 파란색: 보보강)

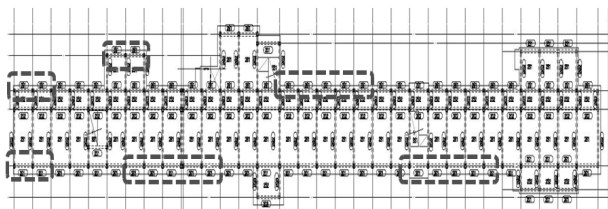


그림 20. 제진보강 위치(보라색: 외곽기둥 전면부 보강)

6. 결론

학교는 아이들의 교육시설 기능과 재난대피시설 모두를 만족해야 하는 국가중요시설물이다. 이러한 중요성에도 불구하고 규모만으로 내진설계기준에 부합되지 않아 내진설계 대상에서 제외되는 수모를 겪은 과정도 있었다. 이에 내진설계기준이 미 적용된 기존 학교 건물은 지진발생시 많은 피해가 우려되므로 내진보강이 필연적으로 수행되어야 한다. 이를 위해 과거의 답습처럼 기둥과 보에 철관을 부착하거나 전단벽을 설치하는 행위는 노후화된 기존 부재를 더욱 악화시키고 자중증가에 의한 더 큰 지진하중의 작용을 초래하게 된다. 따라서 제진시스템과 같은 보다 선진화된 내진보강방안이 널리 보급화 되어야 할 것이다.

참고문헌

1. SH공사, 한국형 제진신공법 실용화기술 개발, 2009
2. 쌍용건설, 인방보형 제진장치를 이용한 제진신공법 개발, 2009
3. 대한건축학회, 콘크리트 구조물의 보수보강, 1997
4. 대한건축학회, 건축구조기준 및 해설, 2009
5. 최원호, 내진설계 이야기(eqstory.skku/ac.kr)