

학교건축물의 내진평가 및 보강방법

Seismic Evaluation and Rehabilitation Methods of School Buildings



박진화 / DRB동일 면진제진기술연구소 책임연구원
Park, Jin-Hwa



김영주 / DRB동일 수석연구원
Kim, Young-Ju
kim.young.ju@drbworld.com



안태상 / DRB동일 소장
Ahn, Tac-Sang

1. 서론

최근 수년간 일본을 비롯한 이탈리아, 파키스탄, 중국 등 수많은 국가에서 발생한 중·대 규모의 지진으로 인하여 많은 건축물이 붕괴되었다. 특히, 학교 건물 붕괴는 수많은 어린 학생의 희생을 발생시켜 각 국가의 사회적 파장을 불러일으키고 있다. 대표적으로 1995년 고베지진에서는 약 30%의 학교가 지진피해를 받았으며, 2005년 파키스탄의 지진에는 수많은 학교건물의 붕괴는 물론 이로 인하여 약 1만 7천 여명의 어린이가 사망하였고, 가장 최근 중국 쓰촨성 대지진에서는 7000여개의 학교가 붕괴돼 수많은 어린 학생들의 목숨을 앗아갔다.

한편, 국내는 1988년 내진설계법 적용이 시행되기 이전인 1987년 기준으로 1만3천여개교의 학교가 있어 우리나라도 지진에 있어서 안전지대라고 할 수 없는 상황에서 비내진 설계가 적용된 학교 건물에 대한 내진대책 마련이 매우 시급한 상황이다. 그러나 현재 국내의 학교건물 가운데 내진설계가 된 곳은 교육과학부에 따르면 1000m² 이상, 3층 이상 초·중·고교 건물 1만7734동 가운데 13.7%인 2429동에 불과했다. 무려 87%가 지진에 무방비로 놓여 있는 것이 현실이다. 따라서 학교건물에 대한 내진보강이 시급하다고 할 수 있지만, 계획 없는 내진보강절차 및 방안이 관련기관과 내진보강 기술자들을 혼란에 빠트리고 있는 실정이어서 올바른 관련법 체계 및 시공방안 등을 보완할 필요가 있다.

이에 본 고에서는 국내의 관련부처가 제시하여 관련실무자가 수행하고 있는 학교건물의 내진성능평가 및 보강방안에 대한 절차 및 방법을 간략히 소개하고자 한다.

2. 내진성능평가 방법

학교 건축물에 대한 일반적인 내진성능평가는 크게 3가지 과정으로 나누어 실시하고 있다. 우선 1차적으로, 현장 조사를 통하여 본 건물의 전체적인 실측 및 현황조사, 비내진 학교 구조물의 주요 구조부재 구성재료에 대한 콘크리트강도 조사, 철근배근 조사, 콘크리트중성화 조사 등을 실시하고, 2차적으로는 1차 조사결과를 토대로 간략계산 또는 프로그램을 사용한 구조해석을 실시하고 그 결과를 분석하여 구조물의 전체적인 내진성능을 평가하고, 3차적으로 종합적인 결과에 의하여 내진성능이 부족하다고 판정될 때에는 보수·보강방안을 제시하여 최종적으로 건물의 내진안전성을 확보하고 있다.

2.1 현장조사

1) 실측 및 현황조사

내진성능 평가 대상 건축물의 주요 구조부재에 대한 단면치수 실측과 현재 마감상태에 따른 고정하중과 실 구조물 내부의 적재물에 대한 적재하중 상태를 조사하며, 이를 기초 자료로 하여 보수·보강 여부 제시한다.

2) 콘크리트강도 조사

반발경도법(슈미트 햄머)으로 조사한 다음, 콘크리트 부재의 강도를 추정한다.

3) 철근배근 조사

각 부재에 대한 철근의 배근상태 조사는 FERROSCAN을 사용하여 확인한다.

4) 기울기 조사

건물의 외관상 균열이나 피해의 정도가 경미한 경우라도 지반의 부동침하 등에 의한 건물 전체의 안정성에 문제가 발생하므로 경사계를 이용하여 건물을 기울기 등을 확인하여 건물의 안정성을 파악한다.

5) 콘크리트 중성화 조사

콘크리트 부재의 경년변화에 있어서 가장 심각하게 고려되어야 하는 콘크리트의 중성화 정도를 파악하는 부분으로 각 부재에 대한 콘크리트중성화 조사는 페놀프탈레인용액 1%용액을 사용하여 확인한다.

2.2 구조 안전성 검토를 위한 내진성능평가

구조물의 안전성을 파악하기 위해 현장실측에 의한 조사 및 탐사자료와 현재 상태에서의 용도에 따른 하중을 토대로 대상건물의 내진성능을 평가하고 그 성능수준을 판정해야 한다. 국가 부처에서 제시하고 있는 기존건물의 내진성능 평가방법은 아래와 같다.

- 1) 교육과학기술부(한국교육개발원, 전남대) 『학교시설내진성능평가/내진보강 가이드라인(2011)』
- 2) 국토해양부(한국시설안전공단) 『기존시설물 내진성능 평가요령 및 향상요령(2011)』
- 3) 소방방재청(자연재해저감기술사업단) 『기존 저층건축물 내진성능확보기술 개발』

위와 같이 국가부처에서는 기존 건물의 내진보강시에 위의 요령 및 가이드라인을 따르도록 권고하고 있는 실정이다.

2.3 보수·보강 방안 제시

구조해석 결과를 바탕으로 내력이 부족한 부재에 대한 보강, 혹은 구조물 전체의 내력을 향상시킬 수 있는 방안을 제시한다.

3. 내진보강 방안

국외의 다수의 지진 피해사례를 통하여 내진설계가 되어 있지 않은 학교 건축물을 조하한 결과 공통적으로 다음과 같은 문제점들을 가지고 있다.

1) 무보강 조적조

대부분의 노후화된 학교 구조물의 내부를 구획하고 있는 구조시스템인 일반 콘크리트 블록의 무보강 조적조 구조의 경우 지진발생시 면의 방향으로 횡력 저항능력이 거의 없기 때문에 부재의 전도 등에 의한 심각한 손상을 초래할 수 있다.

2) 약 기둥

저층건물은 기둥이 부담해야 하는 축력이 작기 때문에 보에 비하여 기둥이 매우 약하게 되므로 보 보다 기둥이 먼저 파괴될 확률이 높다. 이러한 기둥의 파괴는 보의 파괴보다 구조물 붕괴의 시간이 매우 짧은 취성적인 급작스런 구조물 붕괴의 요인으로 작용한다.

3) 개구부 사이의 노출 기둥(단주효과)

대부분의 학교 구조물에서 창호가 설치된 개구부는 창틀하부의 조적벽이 층높이 중간에서 그치는 경우가 많다. 이 경우 조적벽 상부에 위치한 기둥이 단주거동 패턴으로 바뀌게 되어 일반 장주 기둥보다 전단파괴될 확률이 높아져 구조물의 취성적 파괴 원인이 된다.

4) 비연성 RC 골조

내진설계가 의무화되어 있지 않았던 1988년 이전의 저층 구조물의 경우 기둥과 보의 단면 철근비가 현행 내진설계 규정을 만족하지 못하는 경우가 대부분으로, 이로 인하여 외부횡력 작용에 대하여 주요 구조부재가 응답 시 연성이 부족하게 되어 철근콘크리트 거동보다는 단순한 콘크리트 거동과 유사한 조기 취성 파괴될 확률이 높다.

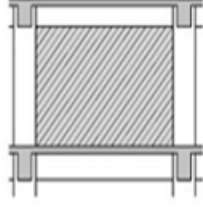
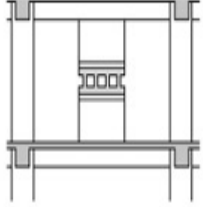

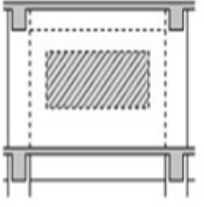
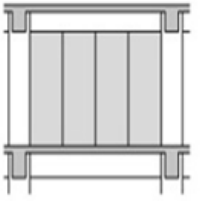
5) 보-기둥 접합부

4)항과 동일한 이유로 내진상세 미고려에 따른 보-기둥 접합부 손상의 문제점을 가지고 있다.



그림 1. 철근콘크리트 내력벽 보강 형상

표 1. 기존건축물 내진보강공법 비교요약

	내력벽 보강	제진댐퍼	탄소섬유, 철판보강	개구부 폐쇄	프리캐스트 벽
보강 공법					
비용	◎	○	○	○	○
공비	△	○	○	△	◎
건축설비 정합성	○ 개구부 치수 제한	◎ 채광통풍 확보용이	○ 개구부 치수 제한	○ 거실공간에 영향이 적다	○ 개구부 치수 제한
시공시 거주 가능성	○ 콘크리트타설 필요 현장마감 용이	◎ 외부시공 용이 반입크기 제한	○ 반입크기제한 마감 난이	○ 보강량 적음	○ 설치 간단

상기의 문제점을 해결하기 위하여 2장에서 기술한 과정에 준하여 기존 학교구조물에 대한 성능을 평가하여 내진보강이 필요한 비내진 구조물에 대하여 보강을 실시하고 있는 것이 비내진 학교구조물에 대한 일반적인 내진보강수준으로, 현재 대표적으로 사용되고 있는 보강방법은 크게 연약부재 자체를 보강하는 방법, 결합부를 철거하고 재시공하는 방법, 혹은 결합부재 이외의 다른 부분을 보강하여 결합부재가 지진에 견딜 수 있도록 하는 방법을 사용하는 보강방법이 있다. 표1은 기존건축물의 내진보강공법을 비교하여 요약정리한 것이다.

3.1 철근콘크리트 내력벽 보강공법

철근콘크리트 내진벽체를 사용한 보강공법은 조적벽으로 이루어진 교실간 칸막이 벽체나 측벽을 철거한 후, 보 및 기둥에 철근을 정착시킨 다음 콘크리트를 타설하여 강도를 증대시켜 내진성능을 향상시키는 공법이다. 보강효과가 우수하며 리모델링 공사와 병행 시에는 공사비가 저렴하고 사용성이 우수하나 자중의 증가로 기초보강이 필요하므로 리모델링 공사와 병행하지 않을 경우에는 오히려

타 공법에 비하여 공사비가 증대된다. 공사기간이 길어 방학기간 내에 공사가 불가능하여 수업에 지장을 초래하므로 제한적으로 적용된다.

3.2 철판 브레이스 보강공법

학교 구조물의 전형적인 구조시스템인 철근콘크리트 라멘조 건물에 철판부재를 이용하여 강도증대 및 변형능력 증대를 통하여 내진성능을 증대시키는 공법이다. 건물의 수직방향인 칸막이 벽체 및 측벽에 철근콘크리트 내진벽으로 적용할 경우에는 마감재를 건식으로 설치하여야 하기 때문에 소음, 파손, 칠판 등의 부착물 정착이 어려워져 적당하지 않은 공법이다. 그러나 수평방향에 대하여는 기존 창문 등의 마감재를 철거하지 않고 외부 기둥 및 보에 보강재를 정착하여 내진성능을 향상시킬 수 있고, 외부에서 보강하게 되므로 공사는 야간, 주말작업이 가능하기 때문에 수업에 지장이 없어 공법 적용이 우수하지만, 부재가 커서 채공, 통풍 등의 저하가 있고 미관성이 떨어지는 단점이 있다.



그림 2. 철판브레이스 보강 완료 형상

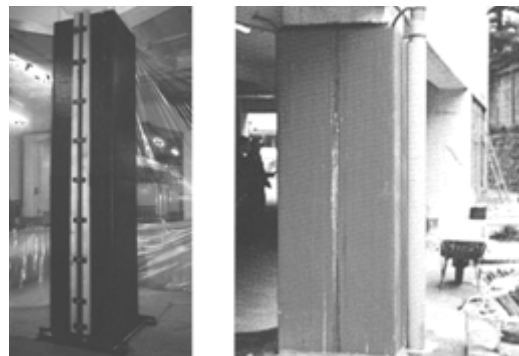


그림 3. 탄소섬유 및 철판 보강 형상

3.3 탄소섬유시트(CFS) 및 철판 보강공법

탄소섬유시트 및 철판 보강공법은 강도증대는 작으나 변형능력이 증가하여 내진성능이 증가되는 특징을 가지고 있다. 탄소섬유시트와 강판은 소재가 비교적 가볍고 강도가 높아서 건물 전체 중량에 영향을 미치지 않고 설치할 수 있으나 보강개소가 증대되고 마감재 철거 등에 따른 부대비용 증가로 비교적 공사비가 많이 들고 기존 마감재를 철거하여야 하므로 공사기간이 길어지는 단점이 있는 것이 특징이다.

3.4 제진 댐퍼(창호 System) 공법

제진 댐퍼 보강공법은 외부 횡력 작용 시 주요 구조부재의 손상을 최소화시키면서 대부분의 진동에너지를 흡수하는 특수한 기능을 가진 제진댐퍼로 구성된 특수 시스템을 기존 창문 등의 마감재를 철거하지 않고 외부 기둥 및 보에 보강재를 설치하여 보강하는 방법으로 철틀 브레이스 보강공법에 비하여 외부 시야확보가 가능함은 물론 상대적으로 채광이나 통풍 등의 실내 환경은 댐퍼가 설치되기 전·후를 비교하여 그 영향을 최소화 할 수 있는 특징을 보유하고 있다.

앞에서 기술한 것 이외에 내진보강방법이 수없이 많다고 할 수 있는데, 어떤 보강방안이더라도 모든 건물에 적합한 방안은 없으며, 건물의 규모 및 형상, 지반의 특성 등을 고려한 최적의 보강방안을 적용할 필요가 있다.



그림 4. 창호형 제진장치 보강형상

4. 결론

본 고에서는 간략하지만 기존 학교건축물의 내진성능평가 및 보강방안을 잠시 살펴보았다. 현재 국가부처에서는 2020년까지 그린스쿨사업이라는 미명하에 학교건축물의 내진보강사업이 진행될 예정이라고 한다.

국내의 내진보강관련 전문가들은 해외의 내진보강방법이 확실한 내진성능평가의 기반에서 시작되고 있음을 많은 문헌들을(FEMA440, ASCE41-06 등) 통해서 익히 알고 있을 것이다. 그러나 몇년 전부터 시작된 학교의 내진보강공사가 2012년인 현재도 계속적으로 진행되고 있지만, 아직도 현장에서는 내진성능평가 및 보강방안에 대한 혼란이 끊임없이 문제제기되고 있는 실정이다. 이는 앞에서 제시한 국가부처의 내진성능평가 절차를 따르지 않고 각 시공업체의 경험적인 방법을 고수하고 있는데 근거하지 않은가를 생각해 볼 필요가 있다. 국내의 경우에는 지진에 의한 피해 및 경험이 매우 부족하여 관련법 및 지침도 최근에야 마련되고 있는 실정임을 감안하면 이는 충분히 이해가 될 수도 있겠다.

비록 늦은감은 있지만 앞에서 기술한 교과부, 국토부 및 소방방재청에서 제시한 내진성능평가법을 잘 숙지하여 기존건물의 내진성능을 명확히 평가하는 것이 중요하며, 이를 근거로 보강방안 및 보강량이 산정될 수 있을 것이다.

학교건물은 국가의 미래를 책임질 인재를 양성시키는 중요한 건물로 긴급한 내진보강에 대한 국가적인 정책 수립과 이행이 반드시 진행되어야 한다. 본고에서 제시한 내진성능평가 및 보강방안과 동반한 국가 및 지자체별 보강절차수립의 정립이 필요하다고 할 수 있다.

참고문헌

1. 현대건설기술연구소, 한양대학교(1998) “기존 건축물의 내진성능 평가기법”
2. 대한주택공사 주택도시연구원(2006), “소규모 건축물 내진보강”
3. 서울시립대학교, 지진방재연구소(2000) “조적조 건축물에 대한 내진성능평가 기법”
4. 국토해양부, 시설안전공단(2011.7), “기존 시설물(건축물) 내진성능, 평가요령 및 향상요령”
5. 한국교육개발원(2011.8), “학교시설 내진성능 평가 및 내진보강 가이드라인(매뉴얼)”
6. 소방방재청(2011.7), “기존 저층건축물 내진성능 확보기술개발”, 저연재해저감기술개발사업단
7. FEMA 356(2000), “Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, Federal Emergency Management Agency”
8. ASCE 41-06(2007), “Seismic rehabilitation of existing buildings”