

RC조 공공건축물의 거주병행이 가능한 내진보강기술 개발

Development of Seismic Retrofit for RC Public Buildings During Building Use

유홍식 Hong-Sik Ryu
(재)포항산업과학연구원
책임연구원

김진원 Jin-Won Kim
(재)포항산업과학연구원
책임연구원

김영주 Young-Ju Kim
(주)DRB동일
수석연구원

오상훈 Sang-Hoon Oh
부산대학교 건축공학과
교수

1. 머리말

최근 전 세계적으로 발생한 대지진, 즉 일본 고베(神戸) 지진(1995), 터키 코카에리 지진(1999), 대만 지지(集集) 지진(1999), 인도 구자라트 지진(2001), 파키스탄 지진(2005), 중국 쓰촨성 지진(2008), 아이티 지진(2010), 칠레 지진(2010), 뉴질랜드 크라이스트 처치 지진(2011) 및 동일본 지진(2011), 인도네시아 수마트라 지진(2012), 러시아 캅카스 반도 지진(2013) 등에 의해 과거에는 상상하기 힘들었던 대규모의 지진피해가 발생하였다. 최근 발생한 대규모 지진은 과거부터 발생되어 왔던 지진활동에 비해 크게 대규모화 되거나 빈번해진 것은 아니며, 지금까지의 지진활동에 비해 크게 벗어나는 것은 아닌 것으로 보고되고 있다. 따라서 최근의 대규모 지진피해는 지진규모의 증가보다는 급격한 도시화 및 산업화에 따른 밀집현상에 의한 것으로, 특히 규모면에서 내진성능을 충분히 고려하기 힘든 저층 건축물의 증가가 가장 큰 원인으로 판단된다.

〈그림 1〉에서 나타낸 바와 같이 일본의 고베지진(1995)에서는 전체 붕괴 건물 수에 대한 10층 이하 건물의 비율이 약 95%이며, 5층 이하의 저층 구조물은 약 68%를 차지하고 있다. 또한, 대만지진 지진(1999)에서는 전체 460개동의 건축물 중 5층 이하의 건축물 피해 동수는 436개동으로 95%를 차지하고 있다. 〈사진 1, 2〉와 같이 저층 건축물의 지진피해가 심각한 이유는 저층 건축물의 내진성능확보가 부족한 점도 있지만 대부분의 지진에서 지진파의 탁월주기가 1초 미만으로 고유주기가 짧은 저층 건축물에서 응답이 크게 증가하는 현상이 발생하기 때문인 것으로 파악된다. 이와 같이 저층 건축물은 지진발생 시 지진응답이 증폭되어 지진피해가 발생할 가능성이 높아지며, 국내에서도 전체 건축물의 동수에 비해 저층 건축물의 동수가 차지하는 비율은 약 97.5%, 규모 6.0 이상의 지진 발생 시에는 약 80%의 저층 건축물에서 지진피해가 발생할 가능성이 있는 것으로 보고되고 있다.

우리나라의 경우 지진 빈도 및 규모가 크지 않고 내진설계에 대한 인식부족으로 대부분의 건축물이 내진설계가 이뤄지지

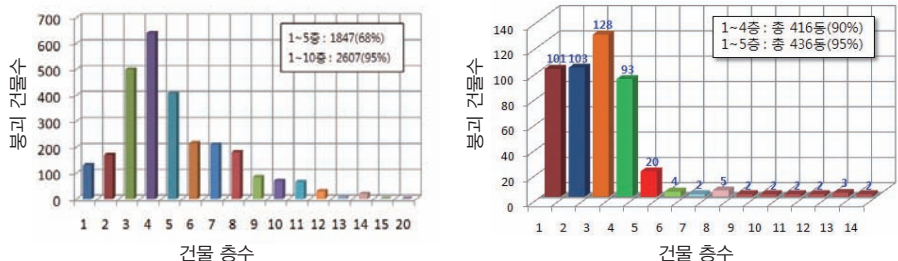


그림 1. 층수별 지진피해 현황



사진 1. 조적조 저층 건축물의 지진피해 사례



사진 2. RC조 저층 건축물의 지진피해 사례

않았으나 경제성장, 대도시 인구밀집화, 건물의 고층화가 됨에 따라 지진의 대한 경각심이 고조되어 내진 설계 기준을 강화 시키고 있다. 그러나 내진설계기준이 적용되기 전인 1970 ~ 1990년에 지어진 저층구조물은 내진 설계기준에 만족 시키지 못하고 있다. 정부에서도 이에 발 맞춰 2011년에 지진재해대책법 시행령을 고시하여 내진설계기준이 강화된 건축물, 학교 등 31개 기존 공공 시설물의 내진보강 기본 계획을 5년마다 수입하도록 의무화하고 있다. 학교의 경우 1~2개월간의 방학기간동안 내진보강공사를 실시하면 되지만, 동사무소, 구청과 같은 공공건축물은 학교와 같이 쉬는 기간이 없어 실질적인 내진보강 공사를 수행하기에 상당한 어려움이 따

른다.

따라서 본 고에서는 비내진 상세를 가지는 학교 및 공공건축물을 대상으로 하면서 거주병행 공법이 가능한 이중골조 시스템을 소개한다. 이 시스템은 기존 RC 구조물, 그리고 구조물과 주기가 다른 외부 보강골조, 이들 사이에 강재이력댐퍼를 연결한 상세를 가진다.

2. 이중골조에 의한 내진보강 시스템 개념

특집에서 소개하는 내진보강기법은 이중골조 시스템으로 내진보강이 필요한 구조물과 보강체인 외부골조의 서로 다른 고유주기를 이용하며, 구조물, 외부골조, 강재이력댐퍼로 구성된다. 이중골조 시스템은 <그림 2>와 같이 비내진 상세를 가지는 기존의 구조물 양옆에 외부골조를 세우고 구조물과 외부골조에 강재이력댐퍼를 연결한다. 외부골조는 강성을 크게 설계하고 적재하중 또한 매우 작기 때문에 매우 짧은 주기를 가지게 되는 것을 알 수 있다. 저주기 영역에서는 주기가 길어질수록 응답변형이 증가하므로 주기가 짧은 외부골조의 응답변형은 구조물에 비해 매우 작아진다. 따라서 구조물과

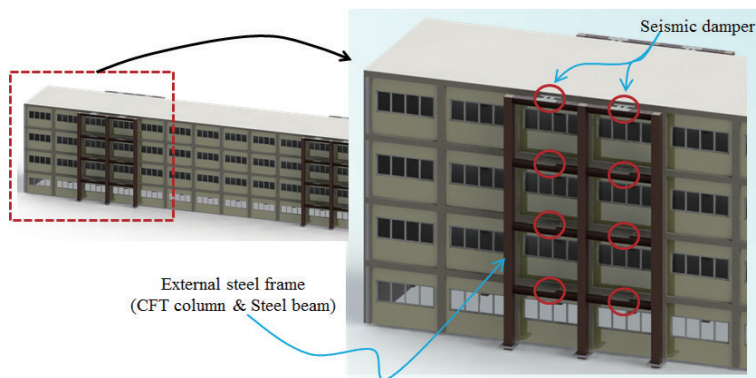


그림 2. 이중골조 내진보강 시스템 개념도

외부골조 사이에 강재이력댐퍼를 설치한다면 구조물의 변형이 저감되어 손상을 감소시키고, 댐퍼의 변형을 통해 지진에너지를 흡수할 수 있다.

내진보강방법은 보강체의 설치위치에 따라 구조체 내 보강과 구조물의 외부보강 방법으로 나뉜다. 구조체 내 보강방법은 벽체보강, 브레이스 보강, 창호시스템 등이 있으며, 구조체와 보강체와의 일체성 확보 및 내력보강 효과에 우수한 장점을 가지는 반면 기존의 창호 또는 벽체의 교체로 인해 공사비가 상승할 수 있다. 또한 보강체로 인해 채광 및 통풍이 기존에 비해 저하되며, 시공 시 구조물 사용 및 거주가 불가능하여 시공성 및 경제성이 저하될 수 있다. 구조물의 외부보강방법은 브레이스 보강, 토클시스템 등이 있다. 이와 같은 방법은 시공 시 거주가 가능하고 채광 및 통풍 확보가 쉬우나 구조체와 보강체와의 일체성을 확보하기 위해 복잡한 접합 상세를 가지므로 시공성 및 경제성이 저하될 수 있다. 그리고 일체성 미확보 시 구조체와 보강체가 독립적인 거동을 하여 보강효과 또한 저하될 수 있다. 본고에서 소개하는 이중골조 시스템도 구조물의 외부에 보강체를 세우고 구조물과 보강체 사이에 댐퍼를 연결하는 외부보강방법이다. 하지만 외부보강방법임에도 불구하고 구조체와 외부보강체 사이에 강재이력댐퍼만 연결하기 때문에 간단한 접합상세를 가지고 기존의 외부보강방법에 비해 일체성 확보가 쉽다. 또한 기존의 창호를 교체할 필요가 없고, 거주 병행 공사가 가능하며, 통풍 및 채광 확보가 유리하다. 그리고 구조물의 손상이 발생되기 전 강재이력댐퍼를 통해 지진에너지를 흡수하므로 내진 성능의 향상을 기대할 수 있다.

3. RC프레임의 동적성능 평가

개발 이중골조 시스템의 내진성능평가를 실시하기 위해 실험체의

실험체를 제작하여 진동대를 이용한 동적성능평가를 실시하였다. 진동실험에 수행한 RC프레임 실험체는 0.4초의 비교적 긴 주기를 가진 비내진 상세로 설계된 저층 건축물을 대상으로 강보-약기둥의 기둥 항복형 내부프레임을 계획하였다. 기둥의 전단보강근은 300mm 간격에 90° 후크의 전형적인 비내진 상세로 설계하였다. 외부 프레임은 강성 확보를 통하여 0.05초의 짧은 주기를 구현하기 위해 CFT 기둥으로 계획하였다. RC조 내부 프레임 실험체 수는 2개이며, 1개는 비보강 실험체로 계획하여 동적실험으로 중국상황에 이르기까지 가진하였다. 나머지 1개는 본 연구에서 제안한 이중골조 시스템을 적용하여 동적실험을 수행한다. 강재이력댐퍼는 내부프레임 내력의 0.4배, 0.6배로 설계하고 0.6배 댐퍼를 적용하여 가진한 뒤 0.4배 댐퍼로 교체하여 재가진하였다. 실험체의 Set-Up 상황은 <사진 3>과 같다. <그림 3>은 가진 단계의 증가에 따른 고유주기변화



(a) 비보강 실험체 (b) 보강 실험체(이중골조)

사진 3. 실험체 set-up 상황

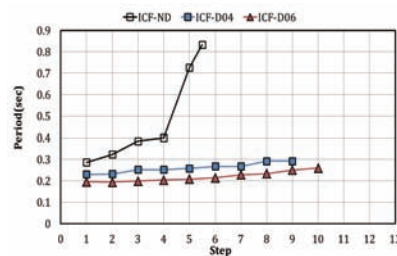


그림 3. 가진단계별 고유주기 변화

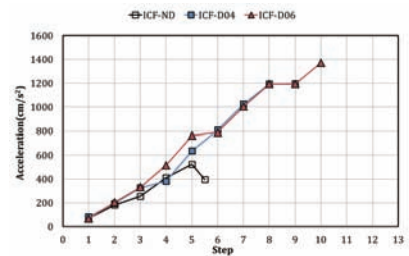


그림 4. 최대 응답가속도

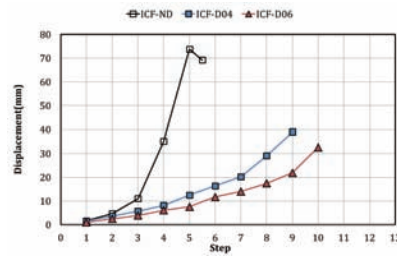


그림 5. 최대 응답변위

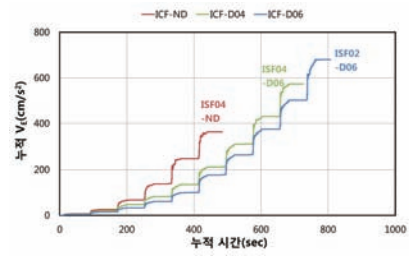


그림 6. 누적 에너지 등가속도

를 나타낸 것이다. 고유주기는 이중골조 시스템을 적용한 실험체가 미보강 시험체에 비해 작게 나타났고, 댐퍼 내력이 증가할수록 고유주기는 짧아지는 것으로 나타났다. 그리고 모든 시험체에서의 주기는 가진 단계가 진행될수록 증가하였다. <그림 4>는 각 가진 스텝별 응답 가속도의 최대값을 나타낸다. 응답 가속도는 가진 스텝이 진행될수록 증가하였으며, 댐퍼의 내력이 클수록 응답가속도가 증가하는 것으로 나타났다. <그림 5>는 실험결과에 의한 각 스텝별 응답 변위의 최대값을 나타낸 것이다. 응답 변위는 가진 스텝이 진행될수록 증가하였으며, 댐퍼의 내력이 클수록 응답변위는 저감되었다. 동일한 가진 스텝 비교 시 이중골조 시스템을 적용한 시험체는 미보강 실험체에 비해 83~89% 저감되는 것으로 나타났다. EI-Centro NS 성분의 지진파를 사용한 동적실험에서 각 실험체에 입력된 에너지 등가속력을 누적시켜 <그림 6>에 나타내었다. 그래프의 종축은 에너

지 등가속도를 가진 단계별로 누적시켜 나타내었고, 횡축은 가진 단계별 동적실험시간을 누적하여 나타내었다. 중국상항 시 누적 입력에너지는 ICF-ND 실험체가 363.1cm/sec, ISF06-D04 실험체가 679.8cm/sec, ISF06-D06 실험체가 573.9cm/sec로 나타났다. 입력된 누적 에너지 등가속도는 보강실험체가 미보강 실험체에 비해 158%~187%로 크게 입력되었다.

4. 현장적용 사례

개발한 이중골조 시스템을 <사진 4>와 같이 강원도 명륜 초등학교에 적용하였다. 기존 학교 건물 외부에 기초 작업 후 철구조제작사에서 미리 제작한 이중골조를 인양, 조립 후 댐퍼를 연결하고 콘크리트 타설 후 공사를 마치는데 20일 소요되었다. 최종 설치된 상황은 <사진 5>와 같다.



(a) 터파기 작업



(b) 로터리파일 삽입



(c) 접합부 천공 및 볼트삽입



(d) 골조프레임 인양 및 조립



(e) 하부 기초 콘크리트 타설




(f) 구조 보강 마무리

사진 4. 현장 설치 과정



사진 5. 강원도 명륜 초등학교 이중골조 설치후 전경

5. 맺음말

이상과 같이 새롭게 개발한 이중골조 시스템에 대하여 비내진 상세로 설계된 저층 구조물을 대상으로 주기차를 이용한 내진보강기법인 이중골조 시스템을 제안하였으며, 내진성능 검증 및 기초자료를 확보하기 위하여 동적 실험의 결과를 분석한 결과 이중골조 시스템이 지진시 발생되는 에너지를 강재이력댐퍼로 통해 안정적으로 흡수하고, 구조물의 변형 및 손상을 감소시키는 것을 확인할 수 있었다. 또한 실제 현장에 적용해 본 결과 거주병행이 가능하며, 급속 시공이 가능한 공법임을 확인하였다. 향후 많은 내진보강 현장에 적용되어 국내 공공 건축물의 내진성능 향상에 기여하였으면 하는 바램이다. 

담당 편집위원 : 최세진(포항산업과학연구원) csj2378@hanmail.net

참고문헌

1. Vandoros, K. G. and Dritsos, S. E., "Concrete Jacket Construction Detail Effectiveness When Strengthening RC Columns", Construction Build Material, Vol. 22, 2008, pp. 264 ~ 276.
2. Bartera, F. and Giacchetti, R., "Steel Dissipating Braces for Upgrading Existing Building Frames", Journal Construction Steel Res., Vol. 60, 2004, pp. 751 ~ 769.
3. Dolce, M., Cardone, D., Ponzo, F. C., Valente, C., "Shaking Table Tests on Reinforced Concrete Frames Without and with Passive Control Systems", Earthquake Engng Structure Dyn., Vol. 34, 2005, pp. 1,687 ~ 1,717.
4. Ghobarah, A. and Khalil, A. A., "Seismic Rehabilitation of Reinforced Concrete Walls Using Fiber Composites", 13th WCEE, Vancouver, B. C., Canada, 2004.
5. Iacobucci, R. D., Sheikh, S. A., and Bayrak, O., "Retrofit of Square Concrete Columns with Carbon Fiber-reinforced Polymer for Seismic Resistance", ACI Structure Journal, Vol. 100, No. 6, 2003, pp. 785 ~ 794.
6. 高井茂光, 栗原和夫, 長谷部廣行, 飯塚信一, 中川肇, 浅沼裕之, 吉田格英, 鉄筋コンクリート建造物の制震補強に関する振動台実験, 日本建築学会学術講演梗概集, 1999, pp. 157 ~ 160.



유흥식 박사는 한양대학교 건축공학대에서 비좌굴가새형 댐퍼를 이용한 내진성능평가에 관한 연구로 박사학위를 취득한 후 2003년부터 (재)포항산업과학연구원 강구조연구소에 입사하여 내진보강, 제진 커플링보, 철골-무량판, 합성보 등 강합성 구조와 관련된 다양한 연구를 수행하고 있다.
rhs@rist.re.kr



김진원 박사는 서울대학교 건축학과에서 CFT기둥과 무량판 접합부의 거동 및 설계에 관한 연구로 박사학위를 취득한 후 2010년부터 (재)포항산업과학연구원 강구조연구소에 입사하여 HSA800 강재, 내진구조, 합성보, 내진구조 등과 관련된 다양한 연구를 수행하고 있다.
jwkim0199@rist.re.kr



김영주 박사는 한양대학교에서 철골구조 내진접합부 보강에 대해서 박사학위를 취득하고, (재)포항산업과학연구원의 연구원과 고려대학교 연구교수를 거쳐 현재 (주)DRB동일에서 근무하고 있다. 주 관심분야는 제진설계 및 장치 개발, 합성구조 및 내진보강 등이다.
kim.young.ju@drbworld.com



오상훈 교수는 Tokyo University에서 '유강혼합형식 접합부로 이뤄진 에너지 분산형 다층골조의 내진설계'의 연구로 박사학위를 취득한 후 1998년부터 (재)포항산업과학연구원 강구조연구소에서 근무하였으며, 2008년부터 부산대학교 건축공학과에서 강구조 접합부, 합성보, 전단벽구조, 커플링보, 리모델링기법, 내진설계기법, 내진보강기법 등과 관련된 연구를 수행하고 있다.
osh@pusan.ac.kr