

격간벽 아파트 건물의 지진해석

Seismic Analyses of Staggered Wall Apartment Buildings

전 용* · 공 지 은** · 김 진 구***

Jeon, Yong · Kong, Ji-Eun · Kim, Jinkoo

요 약

최근 공동주택 거주자의 공간변화 욕구에 대응하기 위하여 가변성 평면이 가능한 구조시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이에 따라 건식벽체 구조시스템, 복합 무량 벽체 구조시스템, 격간벽 시스템 등 구조적으로 안정성이 확보되면서 공간가변성이 뛰어난 구조시스템이 대안으로 제시되었다. 본 연구에서는 격간벽 시스템의 지진해석을 통해 내진성능을 평가하였다. 비선형 정적해석 및 동적해석 결과 격간벽 시스템은 벽식 구조시스템에 비하여 초과강도가 작고, 연성이 다소 감소하지만 FEMA-356에서 정하는 붕괴 방지 수준을 만족하여 충분한 내진성능을 보유한 것으로 나타났다.

keywords : 공동주택, 격간벽, 내진성능

1. 서 론

1970년대 이후 산업사회의 사회구조와 인구의 도시집중은 국내의 주거문화를 단독주택에서 공동주택으로 변화시켰으며, 또한 정부의 주택보급을 확대정책에 힘입어 꾸준히 증가해 왔으며, 현재 전체 주택수의 59.2%를 공동주택이 차지하고 있다(홍성욱, 2005; 국토해양부 2009). 그러나 국내 공동주택은 평균주택수명이 20년으로 평균 50년 이상인 선진국에 비해 매우 짧다. 따라서 구조물은 조기멸실을 피할 수 없게 되었고 자원 낭비와 건설 폐기물의 발생으로 환경을 파괴하는 결과로 이어지게 되었다. 따라서 1990년대 이후 구조물의 장수명화를 위한 리모델링의 필요성이 대두되었다. 이러한 구조물의 장수명화를 위해서는 구조부재의 내구성 향상과 함께 구조물의 수명 중 사용자의 다양한 공간 변화 요구에 탄력적으로 대응할 수 있는 공간 가변성의 확보가 필요하다. 하지만 기존 연구결과에 의하면 벽식 구조시스템의 가변성능은 다른 구조시스템에 비해 현저히 떨어진다. 이에 대한 대안으로 무량판 구조시스템이나 혼합형 구조시스템 등의 구조시스템들이 제안되었다. 최근 대한주택공사에서는 무량 건식벽체 구조시스템, 격간벽 구조시스템(STGS, STaGgered System), 복합 무량 벽체 구조시스템 등 구조적으로도 안정성이 확보되는 동시에 공사비를 절감하고, 가변성이 우수한 공동주택 구조시스템을 제안하였다(구교준, 2007). 그 중 격간벽시스템은 전단벽을 한 층 걸러 설치함으로써 재료비를 절감하고 평면 가변성을 높이는 장점이 있으나, 횡력에 저항하는 전단벽이 불연속 되어 지진에 대한 안전성을 검토할 필요가 있다. 본 연구에서는 국내 전형적인 판상형 공동주택 평면을 선정하여 일부의 전단벽을 격간벽으로 바꾸고, 비선형해석을 이용하여 내진성능을 검토하였다.

* 학생회원 · 성균관대학교 건설환경시스템공학과 석사과정 titeto@skku.edu

** 성균관대학교 건설환경시스템공학과 석사과정 jin1525@skku.edu

*** 정회원 · 교신저자, 성균관대학교 건축공학과 정교수 jkim12@skku.edu

2. 예제구조물의 설계

격간벽 구조시스템의 전단벽은 스테거드 트러스 시스템의 트러스와 같이 작용하며, 구조물에 가해지는 외부 횡하중이 바닥 슬래브를 통하여 인접 기둥 및 전단벽으로 전달된다. 격간벽 시스템의 하중전달을 원활하게 하기 위해 제거된 벽체의 상하층에 위치한 벽체는 깊은 보로 설계하고, 양 단부에는 기초까지 이어지는 기둥을 설치하여 축력과 휨모멘트에 저항하게 한다. 그림 1은 해석에 사용된 공동주택의 평면으로 벽식 구조시스템(Wall type)과 격간벽 구조시스템(STGS type) 모델은 각각 12층이며 모든 층의 층고는 2.7m로 일정하다. 대상 구조물의 설계는 건축구조설계기준(대한건축학회, 2005)과 콘크리트 구조설계기준(한국콘크리트학회, 2007)을 바탕으로 범용프로그램인 MIDAS GEN을 이용하여 수행하였다. 대상 구조물의 지반조건은 보통암 지반(s_b)으로 설계하였고 지역계수는 0.22로 가정하였다. 반응수정계수는 철근콘크리트 전단벽 시스템에 해당하는 4.5를 사용하였다. 설계기준에 따라 산정한 중력하중과 지진하중에 대하여 응답스펙트럼법을 이용하여 구조물의 설계를 수행하였다. 설계된 구조물의 설계밀면전단력(V_d)과 동적특성은 표 1과 같다. 또한, 풍하중은 설계풍속 30m/sec와 노풍도 B를 기준으로 산정하였으며 설계에 사용된 콘크리트의 강도는 1층부터 4층까지는 24 MPa, 그 이상 층은 21 MPa이고, 철근은 SD400을 사용하였다.

표 1 예제 구조물의 설계 밀면 전단력 및 동적특성

구조시스템		$V_d(kN)$	1차모드		2차모드	
			주기(sec)	참여율(%)	주기(sec)	참여율(%)
벽식 구조시스템	X방향	4657.3	2.19	63.8	0.36	19.8
	Y방향	6627.1	0.41	66.2	0.09	21.4
격간벽 구조시스템	X방향	4229.5	2.17	63.8	0.36	19.6
	Y방향	6134.0	0.44	66.2	0.09	21.3

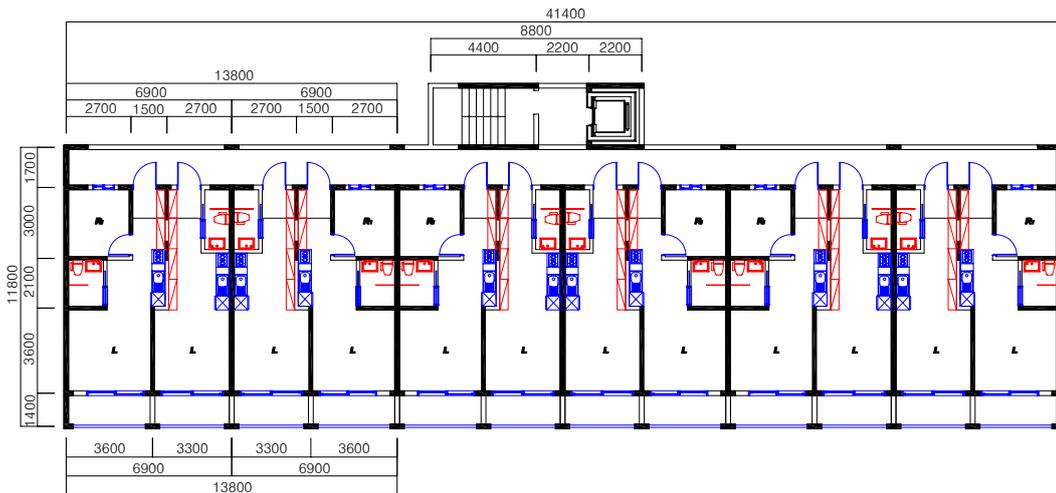


그림 1. 대상 구조물의 평면(12세대)

3. 12층 격간벽 구조시스템의 내진성능 평가

그림 2에 나타난 대상 구조물의 내진성능을 평가하기 위하여 비선형해석 프로그램인 CANNY(Li, Kang-Ning, 2004)를 이용하여 3차원 해석을 수행하였다. FEMA-356에 제시되어 있는 재료의 초과강도를 고려하여 콘크리트의 압축강도는 1.5배, 철근의 항복강도는 1.25배를 사용하였다. 해석에 사용된 콘크리트와 철근의 비선형 이력모델은 그림 3과 같다. 기둥과 벽체의 코어부분의 경우 횡철근에 의한 구속효과를 고려하기 위해 구속콘크리트의 물성을 적용하였다. 구속콘크리트의 응력-변형률 관계는 Kent와 Park의 방법(D. C. Kent, 1971)을 따랐다. 철근은 항복 후 강성비를 초기 강성의 2%로 가정한 이선형 이력모델을 사용하였다.

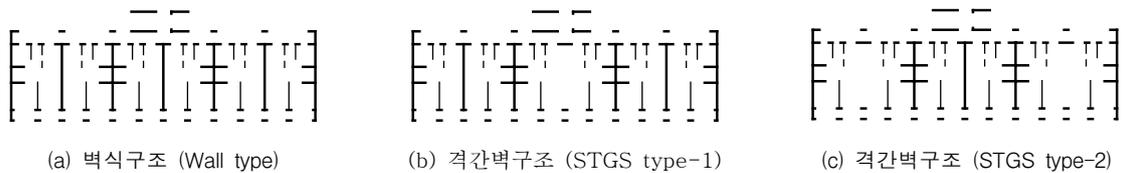
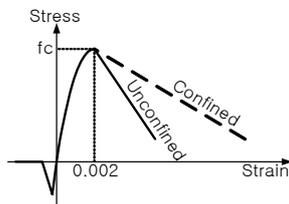
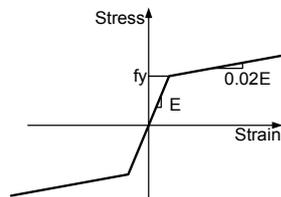


그림 2 해석모델의 구조평면

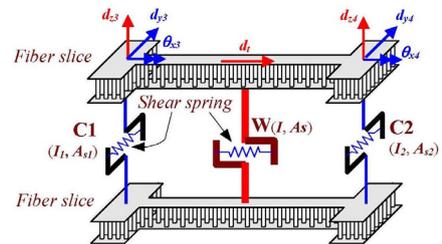
본 연구에서는 정확성을 높이기 위해 전단벽 부재는 fiber 모델을 사용하여 모델링하였다. fiber 모델은 축력과 모멘트는 세분화된 fiber에 의해 분담하여 저항하고, 면내 전단력은 그림 8에 나타난 W스프링이, 면외 전단력은 C1과 C2 스프링이 저항하는 모델이다. 예제 구조물의 비선형 해석 시 발생하는 수렴 오차를 줄이기 위하여 모든 구조물의 슬래브를 면내강성만을 고려한 강막(diaphragm)으로 가정하여 모델링하였다.



(a) 콘크리트 이력모델



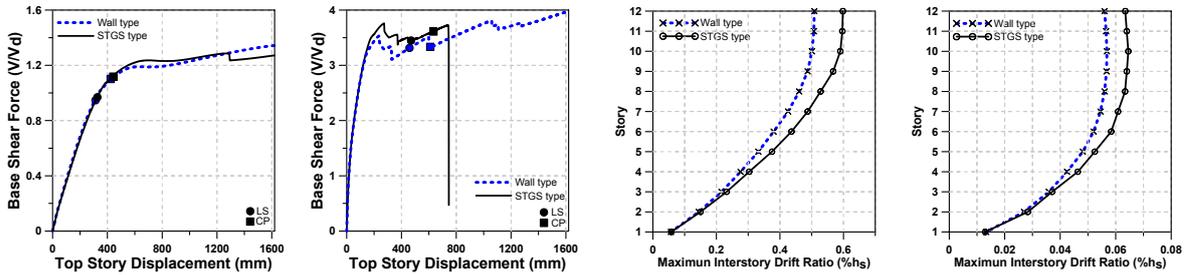
(b) 철근 이력모델



(c) 벽체 이력모델

그림 3. 구조재료의 이력모델

그림 4의 (a),(b)는 격간벽 구조시스템의 장변 방향 응답과 단변 방향 하중-변위 관계를 벽식 구조시스템과 비교하여 나타낸 것이다. 최상층 변위가 구조물 전체 높이의 5%가 될 때까지 횡하중을 증가시키며 해석모델의 하중-변위 관계를 나타내었고 하중-변위 곡선에 FEMA-356 기준에서 정하는 성능수준에 따라 인명안전(Life Safety, Δ_{ls}) 수준과 붕괴방지(Collapse Prevention, Δ_{cp}) 성능수준에 해당하는 층간변위를 표시하였다. 벽식 구조시스템의 경우 인명안전 성능수준과 붕괴방지 성능수준의 층간변위 한계값은 각각 1.0%와 2.0%로 규정되어 있다. 격간벽 구조시스템은 주요 구조부재의 일부분이 격층으로 제거된 방식이므로 하중 전달 경로에 변화가 발생하며 횡력에 대한 저항능력이 다른 구조시스템에 비해 취약할 것으로 예상되므로, 내진 안전성에 대하여 보다 엄정한 검증이 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 설계하중 수준에 맞는 지진기록을 이용하여 시간이력해석을 수행함으로써 내진 안전성을 평가하였다.



(a) 장변 방향 푸시오버 곡선 (b) 단변 방향 푸시오버 곡선 (c) 장변 방향 층간변위 비 (d) 단변 방향 층간변위 비
 그림 4 예제 구조물의 푸시오버 곡선 및 층간 변위 비

현행 내진설계기준에서는 7개 이상의 지진기록을 사용하여 해석할 경우 응답의 평균값을 사용하도록 규정하고 있다. 이를 고려하여 SAC Phase II Program(Somerville, 1997) 에서 제시한 7개의 LA지역 지진기록을 사용하여 비선형 시간이력해석을 수행하였으며, 구조물의 감쇠는 1차 모드와 2차 모드의 감쇠비가 5%가 되도록 Rayleigh 감쇠를 적용하였다. 그림 4의 (c)와 (d)는 해석 모델의 장변 및 단변 방향으로 비선형 시간 이력해석 결과 얻어진 층간 변위의 평균값을 나타낸다.

4. 결 론

본 연구에서는 비탄성 정적 및 동적 해석을 통하여 격간벽 아파트의 지진에 대한 거동을 파악하고, 같은 평면을 갖는 벽식구조의 내진 거동과 비교하였다. 해석 결과에 따르면 벽식구조 아파트가 격간벽구조에 비해 연성 능력이 더욱 우수하지만, 격간벽 구조의 변위 응답 또한 주어진 설계기준을 만족하므로 충분한 내진성능을 보유하고 있는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 07첨단도시개발사업(과제번호:07도시재생B02)의 지원으로 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 홍성욱 (2005) 국내 공동주택의 리모델링 활성화 방안에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 21(1), pp.85-92.
- 국토해양부 (2009) 주택업무편람.
- 구교준 (2009) 공간 가변형 공동주택의 복합구조시스템 개선에 관한 연구, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, pp.353-357.
- 대한건축학회 (2005) 건축구조설계기준, 1판, 기문당.
- 한국콘크리트학회 (2007) 콘크리트구조설계기준 해설.
- Li, Kang-Ning, (2004) CANNY:3-dimensional nonlinear static/dynamic structural analysis computer program-user manual, CANNY Structural Analysis, CANADA.
- D. C. Kent (1971) Flexural members with confined concrete, ASCE, 97, ST7, pp.1969-1990.
- Somerville (1997) Development of Ground Motion Time Histories for Phase 2 of the FEMA/SAC Steel Project, SAC Joint Venture, SAC/BD 97/04.