

# 특수 및 준특수 상세에 따른 철근콘크리트 전단벽의 비선형 내진거동 해석

## Analysis of Nonlinear Seismic Behavior of Reinforced Concrete Shear Wall Systems Designed with Special and Semi-Special Seismic Details

윤성준<sup>1)</sup> · 이기학<sup>1)\*</sup> · 천영수<sup>2)</sup> · 김태완<sup>3)</sup>

Yoon, Sung-Joon<sup>1)</sup> · Lee, Kihak<sup>1)\*</sup> · Chun, Young-Soo<sup>2)</sup> · Kim, Tae-Wan<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>세종대학교 건축공학과, <sup>2)</sup>한국토지주택공사 토지주택연구원, <sup>3)</sup>강원대학교 건축공학과

<sup>1)</sup>Department of Architectural Engineering, Sejong University, <sup>2)</sup>Land & Housing Institute, Korea Land & Housing Corporation <sup>3)</sup>Department of Architectural Engineering, Kangwon National University

### / A B S T R A C T /

In this paper, analytical models for reinforced concrete shear wall systems designed based on Korean Building Code (KBC2009) are proposed, which have special and semi-special seismic details and are compared with experimental results for a verification of analytical models. In addition, semi-special seismic details aimed to improve constructability and enhance economic efficiency were proposed and evaluated. The analytical models were performed based on nonlinear static and dynamic analysis. Through the nonlinear analyses, two seismic details showed the similar seismic behavior from the cyclic test and the analytical models for the two different seismic details represented the behavior in terms of the initial stiffness, maximum strength and strength degradation. And newly proposed seismic details(semi-special) provided with similar hysteretic behavior as well as the maximum drift.

**Key words:** Special shear wall, Boundary element, Concrete confinement, Seismic design, Nonlinear analysis

## 1. 서론

건물의 내진성능 강화의 일환으로 개정된 건축구조설계기준(KBC2009) [1]에서는 구조시스템에 따라 구조물의 안전성 확보를 위해 높이 제한에 관한 규정을 도입하였다. 이에 따르면 RC 전단벽 구조시스템이 지진 위험성이 높은 내진설계범주 D에 속하고 높이가 60m 이상인 경우, 특수전단벽으로 설계되어야 한다.

건축구조설계기준(KBC2009)의 지진재해도와 주요 도시에 대한 지진 구역별 지역계수를 분석한 결과, 일반적인 지역계수를 사용하였을 경우 많은 지반조건에서 내진설계범주 D에 해당될 수 있으며, 지진재해도에 따른 지역계수를 사용하였을 때도 지역에 따른 차이가 있지만 상당히 많은 경우 내진설계범주 D에 해당하는 것을 알 수 있다. 특히 지반조건이  $S_D$ 와  $S_E$ 인 경우에는 지역이나 건물의 중요도에 상관없이 모두 내진설계범주 D에 해당하므로 현재 건축구조설계기준(KBC2009)의 적용에 있어서 60m가 넘

는 고층건축물에 특수전단벽을 채용해야하는 상황이 빈번하게 발생할 수 있음을 알 수 있다.

특수전단벽은 지진 발생시, 벽체가 큰 하중을 받거나 변형요구량이 큰 경우, 압축을 받는 단부를 특수모멘트골조의 기둥상세와 같이 엄격하게 횡보강한 전단벽을 의미한다. 특수전단벽을 사용할 경우, 일반 보통전단벽을 사용하는 경우보다 큰 값의 반응수정계수( $R$ )를 적용할 수 있으므로 경우에 따라서는 탄성지진하중의 감소로 인하여 경제적인 설계가 가능할 수도 있다. 반면에 특수전단벽을 적용하여 압축단부 횡보강이 결정되면 벽체의 압축단부에 특수모멘트 골조의 기둥에 사용되는 횡보강 상세를 적용해야 하기 때문에 시공이 어렵고, 골조물량도 기존 보통전단벽 구조에 비해 증가하여 건설원가의 상승 및 시공성 저하에 크게 영향을 미치게 된다.

최근 국내 주거시스템의 특성상 25층 이상 고층 아파트에 대한 수요가 증가하고 있는 추세이며, 대부분의 고층 건축물에서와 같이 고층 아파트의 경우에도 RC 전단벽을 주요 횡력저항부재로 사용하고 있다. 이는 아파트의 계획 시 특수전단벽을 채용해야하는 경우가 빈번하게 발생하여 시공성 및 경제성에 영향을 미칠 가능성이 높음을 의미한다.

특수전단벽에 관련된 규정은 강진으로 인해 지진위험도가 높은 지역을

\*Corresponding author: Lee, Kihak

E-mail: kihaklee@sejong.ac.kr

(Received 4 May 2012; Accepted December 11 2012)

대상으로 벽체의 연성확보를 위하여 도입된 규정이고, 우리나라의 경우 지진에 대한 위험도가 강진 지역에 비해 낮은 중/약진 지역으로 감안할 때 현재의 내진 배근상세와 비슷한 내진성능을 가지면서 시공성과 경제성을 보다 쉽게 확보할 수 있도록 개선된 배근상세를 지닌 새로운 구조시스템을 제안할 수 있다. 이때 새롭게 제안되는 배근상세를 갖는 구조시스템은 내진성능평가 등을 통한 합리적인 근거 마련이 필요하며, 이를 위해 본 연구에서는 현재의 건축구조설계기준(KBC2009)에 맞게 설계된 배근상세에 따른 기존의 특수전단벽과 개선된 배근상세를 지닌 가칭 준특수전단벽 구조시스템의 내진성능평가를 위한 비선형 해석모형을 확립하고 내진거동에 대해 검증하는 것을 주목적으로 한다.

## 2. 전단벽 구조시스템 비선형 해석모델의 일반사항

### 2.1 전단벽 모델

본 연구에서는 특수(w/ 경계요소), 특수(w/o 경계요소) 및 준특수전단벽 구조시스템의 비선형 해석모델에 대하여 PERFORM-3D[2,3] 해석프로그램을 사용하여 연구를 수행하였다. 여기서 특수(w/ 경계요소)전단벽은 ACI318-08[11] 및 콘크리트 구조설계기준(KCI)[12]에서 정하는 특수전단벽상세에 경계요소를 가진 것을 말하며 특수(w/o 경계요소)전단벽은 본 연구에서 임의로 설정한 것으로 특수전단벽의 상세를 가지나 경계요소의 상세는 고려하지 않은 것이다. 이는 특수전단벽의 경계요소의 효과를 고려하기 위해 분리되었다. 또한 준특수전단벽의 상세는 Fig. 10에 보이는 것처럼 시공성을 높이기 위해 후프철근 대신 U자형 스테럽과 내진 갈고리만으로 상세가 구성된 것이다. PERFORM-3D 해석프로그램은 벽체를 Fiber 모델로 분할하며 이에 따라 선형 및 비선형 해석을 수행한다. 또한 콘크리트의 구속 및 비구속 효과의 모델링과 철근의 이선형 모델을 이용하여 기존 내진기준에서 프로그램에 요구하는 해석에 관한 사항을 보다 효과적으로 적용할 수 있어 본 연구의 해석프로그램으로 고려되었다.

전단벽 요소는 PERFORM-3D에서 Fig. 1과 같은 Shear Wall 요소로 모델링하여 휨파괴가 지배하는 거동을 충분히 묘사하도록 하였다. PERFORM-3D에서는 Shear Wall과 General Wall 요소가 있지만 본 연구에서 큰 세장비에 따라 전단파괴보다는 휨파괴가 고려되어 Shear Wall 요소를 적용하였다. 전단벽의 수평단면을 대한 Fiber로 모델링하기 위해 특수경계요소를 Node로 구분하여 배근상세에 따른 수직철근비를 변수로 하여 해석모델에 차이를 두었다. 또한 벽요소는 Node에 회전 자유도가 없어 회전 자유도가 필요한 보요소와 변형 불일치가 발생하기 때문에 전단벽

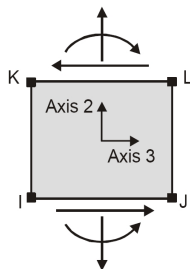


Fig. 1. Element model of shearwall system

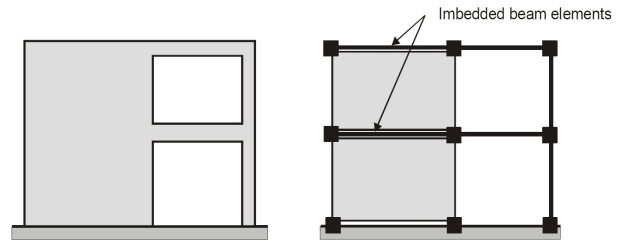


Fig. 2. Shearwall & frame analysis model



Fig. 3. Imbedded beam element using for the shearwall system

요소 내부에 가상의 보인 imbedded beam을 매립하여 이러한 불일치를 해결하는 방법을 Fig. 2와 Fig. 3과 같이 PERFORM-3D에서 제안하였고[3] 그 예는 기존 연구에 제시되어 있다[4,5].

### 2.2 경계요소의 구속 및 비구속 효과

내진성능평가에서 전단벽 구조시스템의 성능은 단부에서 콘크리트 구속여부에 따라 크게 좌우된다. 본 연구에서 제시된 특수상세를 가진 전단벽의 모델은 단면해석을 기초로 하여 경계요소의 구속된 콘크리트, 웨브의 비구속 콘크리트, 그리고 주철근의 특성을 고려하여 모델링되었다[5-9].

Fig. 4와 같이 RC특수전단벽 구조시스템의 구성 요소는 크게 구속 콘크리트 영역과 비구속 콘크리트 영역으로 표시할 수 있다. 이에 따른 거동의 특성은 Kent-Park의 콘크리트 모델을 사용하여 나타내었다[6]. Fig. 5는 Kent-Park의 콘크리트 모델에 따른 구속 및 비구속 콘크리트의 응력과 변

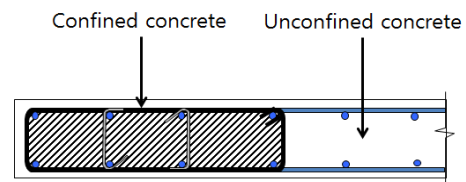


Fig. 4. Modeling of confined and unconfined wall element

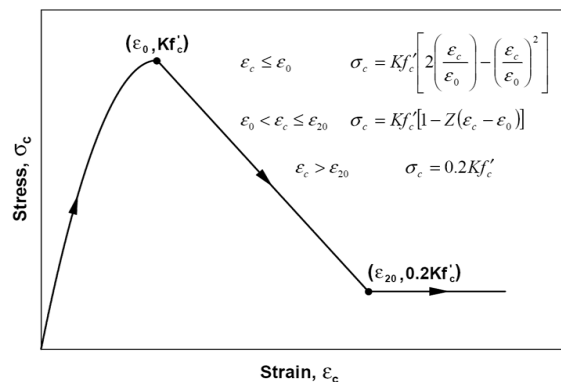
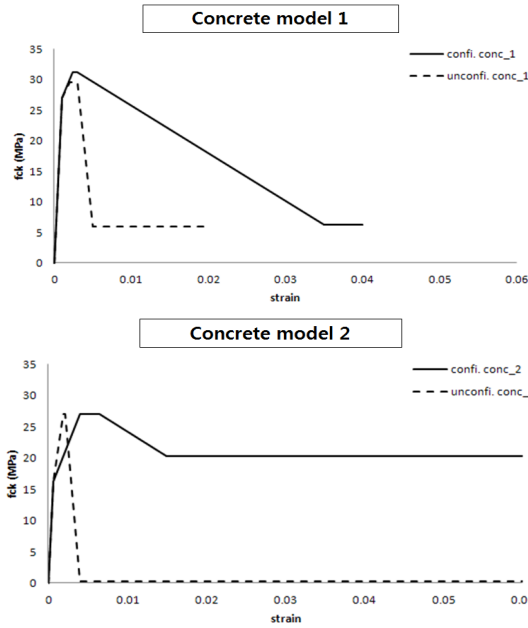
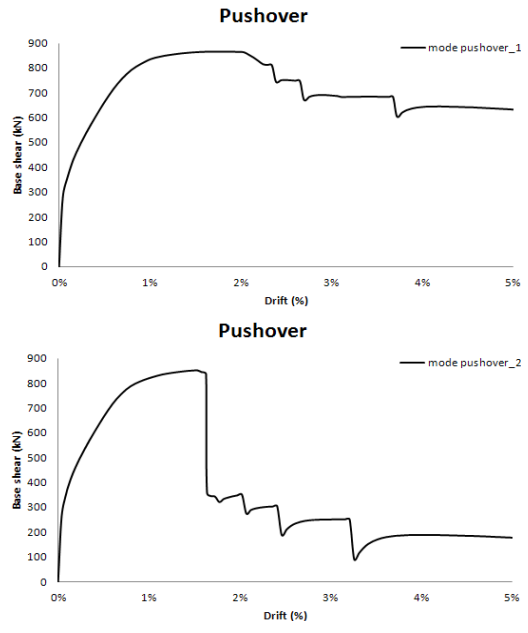


Fig. 5. Kent-Park's material relationship for concrete modeling



stress-strain relationship from confined vs. unconfined model



Nonlinear pushover analysis

Fig. 6. Stress-strain relationships and results of pushover analysis based on confined and unconfined analysis models

형률 관계를 보여주는 그래프이다. K값과 Z값은 각각 구속 콘크리트는 1.14, 19.60이며 비구속 콘크리트는 1.05, 49.95이다.

이 연구에서 전단벽 구조시스템의 모델은 Fig. 6과 같이 콘크리트의 구속 및 비구속효과를 적절히 고려하기 위하여 Kent-Park의 콘크리트 모델 (제안모델 1)과 제안모델 2에 대하여 비선형 정적 Pushover 해석을 수행하여 결과를 비교하였다. 제안모델 1은 콘크리트 구속부분에 대해서는 최대 강도에 도달한 후 비선형 변형이 증가함에 따라 강도가 감소하여 변형률이 4%에 도달하였을 때 파괴에 이르며 비구속 콘크리트는 최대강도에 도달한 후 급격하게 강도가 감소하는 것으로 모델링되었다. 제안모델 2의 경우 콘크리트의 구속효과는 강도의 증가 없이 항복 후 최대강도에 비하여 25%의 강도저하만 발생하도록 모델링하였고 비구속효과에 대하여는 항복 후 강도가 최대강도의 1%만 잔류하도록 모델링하였다. 이를 기반으로 전단벽 구조시스템을 각각 모델링하여 비선형 Pushover 해석을 통해 거동을 분석한 결과는 Fig. 6의 우측에서 보여주고 있다. 이를 비교할 때 전체적으로 특수경계요소에서는 전단벽이 성능을 뚜렷하게 잘 발휘해서 건물의 안정성을 유지하고 있다. 반면, 웹부분의 비구속 콘크리트 모델링에 따라 전단벽 구조시스템이 최대 강도에 도달한 이후 강도 감소비율 및 잔여 강도의 값과 구조물의 안정성에 크게 영향을 미치는 것으로 조사되었다. 본 연구에서는 구속과 비구속 모델에 대해 전문가의 자문을 통해 가장 합리적인 모델링으로 추천된 제안모델 1을 선택하여 비선형 정적 Pushover 해석과 비선형 시한이력해석을 수행하였다.

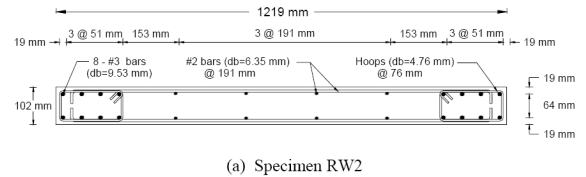


Fig. 7. Section view of special RC shearwall test specimen[4]

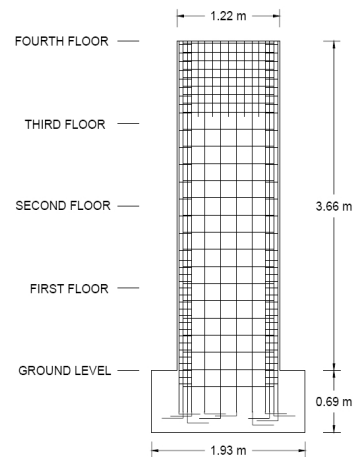


Fig. 8. Elevation view of special RC shearwall test specimen[4]

### 3. 비선형 해석모델의 검증

#### 3.1 기존 실험연구의 시험결과와 비교

본 예제에서 사용된 특수(w/ 경계요소)전단벽의 Perform-3D 해석모델

의 검증은 미국의 특수(w/ 경계요소)전단벽 구조시스템의 실험에서 얻어진 힘-변위 이력곡선의 그래프와의 비교를 통해 이루어졌다[5].

기존 실험연구[5]의 특수(w/ 경계요소)전단벽 구조시스템 실험체의 평면도와 입면도는 Fig. 7과 Fig. 8에서 보여주고 있다. 콘크리트 내진설계기준에서 요구하는 특수경계요소의 규정에 따라 변위기반설계에서 요구되는 압축단을 기둥과 같이 구속하기 위해 횡철근으로 콘크리트와 주철근을 보

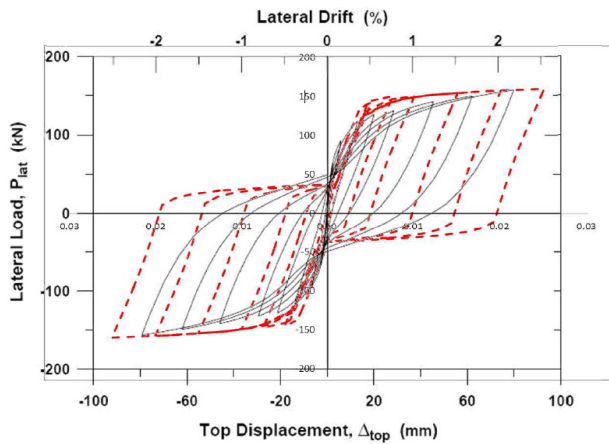


Fig. 9. Comparison of hysteresis behaviors from experimental and analytical calculations

강하였다. 이에 대한 Perform-3D의 모델링은 크게 경계요소에 위치한 구속된 영역과 웨브의 비구속된 영역 및 경계요소의 주철근의 비율에 따라 모델링되었다.

실험결과에 의한 이력곡선과 동일한 횡주기 하중을 컴퓨터 모델링을 통하여 계산된 이력곡선은 Fig. 9에 나타나있다. 이를 비교할 때 전체적인 거동 측면, 예를 들어 최대강도, 초기 슬로프로 나타나는 초기 강성 및 횡변위의 증가에 따른 최대강도의 감소 비율, 균열에 따른 콘크리트의 팽창효과 등을 적절하게 해석모델에서 보여주는 것으로 판단되었다.

### 3.2 국내 실험결과와의 비교

두 번째 해석모델의 검증은 국내에서 송진규 등[10]에 의해서 특수(w/ 경계요소)전단벽의 성능에 준하는 전단벽의 배근 상세를 제안하고, 이 배근 상세를 도입한 새로운 구조시스템의 내진성능을 검증하기 위해 수행된 특수(w/ 경계요소) 및 준특수전단벽의 실험에 대한 이력곡선을 해석결과와 비교, 분석하여 수행하였다.

특수(w/ 경계요소)와 준특수전단벽의 상세로 2개의 실험체가 제작되어 실험이 수행되었다. 주요 변수는 전단벽의 경계요소 설치 구간 내의 횡보강 상세로 하였다. Fig. 10과 같이 특수(w/ 경계요소)전단벽 상세를 갖는 기준 실험체와 준특수전단벽 상세를 갖는 실험체 총 2개의 실험체에 대해 경계요소 설치구간에서의 경계요소 배근 상세와 횡보강철근비를 달리하여 벽체의 거동에 미치는 영향을 파악하였다. 경계요소 부분을 기둥처럼 완전히 구속한 특수경계요소와는 달리 준특수경계요소는 U형의 철근과 2개의 내진갈고리로 구성되었으며 횡철근의 간격은 벽체 두께의 d/4에서 d/3으로 개정된 ACI318-08[11]상세를 고려하여 배근되었다.

Fig. 11은 해석모델을 통한 전단벽의 모델링과 이를 통해 실험에서 얻어진 힘-변위의 이력곡선과 해석모델에서 구한 이력곡선의 비교를 통해 해석모델의 정확성을 평가한 것이다. 실험에서 준특수상세에서 특수상세에 비해 조기의 강도 저감이 발현함에 따라 이러한 현상을 모델링하기 위해 철근의 변형률을 0.04에서 감소하도록 모델링하여 강도의 감소가 이루어지게 모델링하였다. 전체적으로 초기강성, 최대 강도 측면에서 합리적인 예측을 보여주고 있으나 하중이 반대 방향으로 작용할 때 이력곡선의 하강 면에서

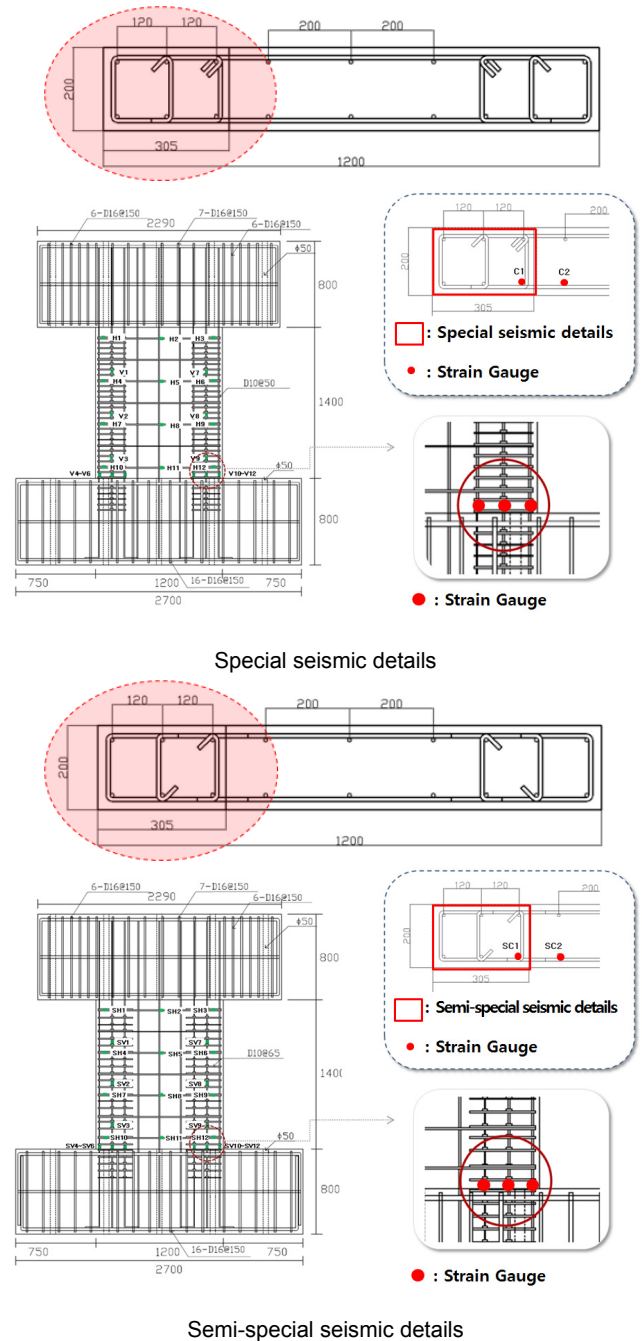


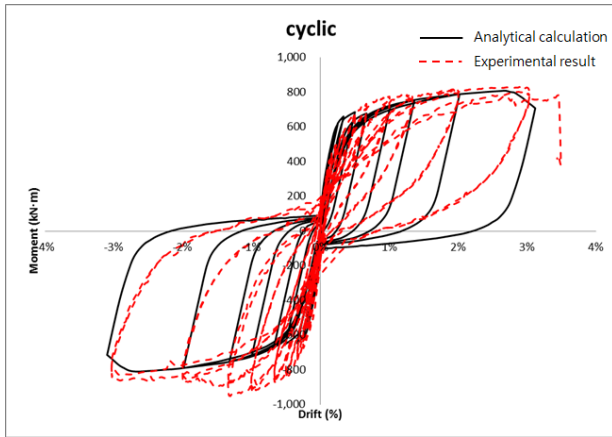
Fig. 10. Reinforcement detailing of the test specimens

보수적인 성능 곡선을 보여주고 있다. 이러한 모델링에 대한 부족한 부분은 차후 연구에서 수정될 예정이다.

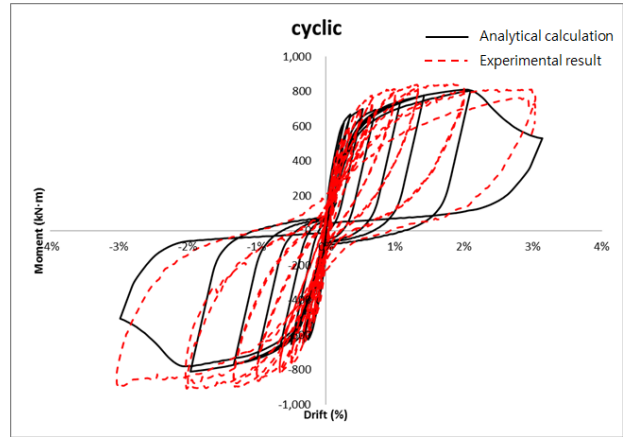
## 4. 본 연구에서 고려된 전단벽 예제 및 지반운동

### 4.1 전단벽 예제

본 연구에 고려된 철근콘크리트 전단벽 예제는 건축구조설계기준 (KBC2009)에 따라 설계되었으며, 서울지역에 위치해 지역계수는 I이며, 지반종류 S<sub>D</sub>, 중요도 1등급, 내진설계범주는 D다.

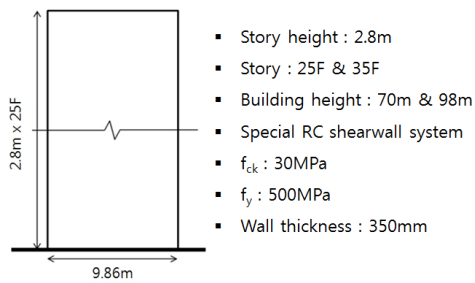


Special detailing with boundary condition model

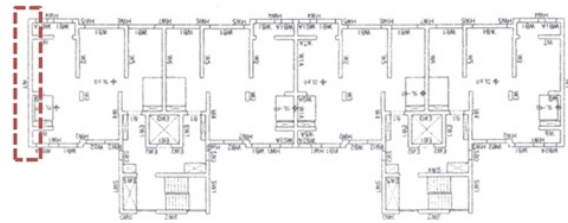


Semi-special detailing

Fig. 11. Comparison of experimental and analytical calculation



Elevation view and typical information



Plan view

Fig. 12. Typical elevation and plan views of the considered 25- and 35-story building model

Fig. 12는 본 연구에서 고려한 대표적인 철근콘크리트 고층 아파트 예로써 이에 대한 평면도와 입면도를 보여주고 있다. 또한 층고와 주기의 영향을 고려하기 위해 25층과 35층의 두 가지로 설계하였으며 이들의 고유주기는 각각 1.18초와 2.26초로 계산되었다.

또한 전단벽 구조시스템의 내진상세 수준에 따라 특수(w/ 경계요소) 전단벽, 특수(w/o 경계요소) 전단벽, 준특수 전단벽의 상세가 고려되었다. 특수(w/ 경계요소) 전단벽 상세는 ACI318-08의 21장과 콘크리트 구조설계 기준(KCI)[12]의 부록 II의 특수상세에 따라 설계된 것이다. 이는 압축단부의 변형률을 고려하여 경계지역의 상세를 결정하게 된다. 탄성진하중에 의한 전단벽의 상부 변위를 가정하여 그에 따른 벽체 하단부에 발생하는 압축변형률을 계산하였다. 여기에서 최대압축변형률이 0.004를 초과하는 경우 예상되는 국부적 및 구조 불안정성을 가져올 수 있는 압축단부의 압축 파괴 및 철근의 좌굴이 발생할 가능성이 높아지기 때문에 이를 방지하고 전단벽이 힘에 대해 연성거동을 할 수 있도록 경계지역을 구속하도록 보강을 하였다. Fig. 13은 특수상세가 고려된 전단벽 구조시스템의 평면도를 보여주고 있다.

본 연구에서 요구되는 특수(w/o 경계요소) 전단벽의 모델은 특수경계요소의 적용없이 21장에서 요구되는 특수경계요소 이외의 지역에 요구되는 상세를 전체 벽체에 적용하여 설계되었다. 이는 수평과 수직방향의 철근비가 0.25%를 갖도록 설계가 이루어졌으며 콘크리트는 비구속 되어있는 것으로 모델링 되었다. 특수(w/ 경계요소) 전단벽 상세와의 가장 큰 차이는 경

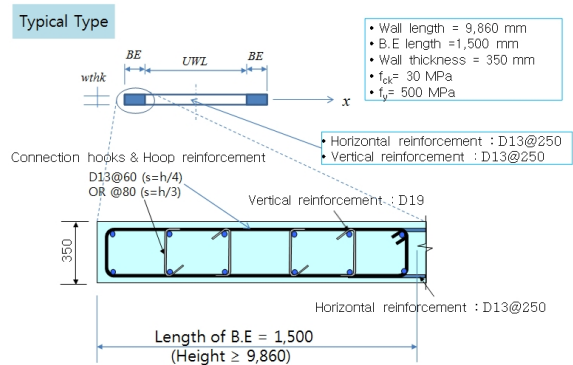


Fig. 13. Seismic detailing of the special RC shearwall system

계지역에서 내진 후프철근으로 경계지역이 구속되어 있지 않고 특수(w/o 경계요소) 전단벽의 상세(U-스터립)을 가지고 있는 것이다. 최종적으로 고려된 준특수 전단벽은 현재 설계기준에서 요구하는 특수(w/ 경계요소) 전단벽 구조시스템의 상세를 시공성을 고려하여 제한한 것으로 송진규 등[5]의 실험에서 설명한 바와 같이 횡철근의 간격을 벽 두께의 1/4에서 1/3로 증가시켰고 주철근을 구속하는 횡철근의 타이이 완전 둘러싼 것이 아니라 U자형 스텐더프로 구성되어 있다.

PERFORM-3D를 이용한 특수(w/ 경계요소) 전단벽의 모델링은 Node를 구분하여 특수경계요소를 분할하여 콘크리트의 물성치를 차이를 두어

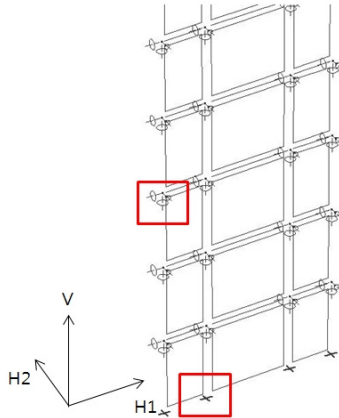


Fig. 14. Boundary element conditions of the analysis model

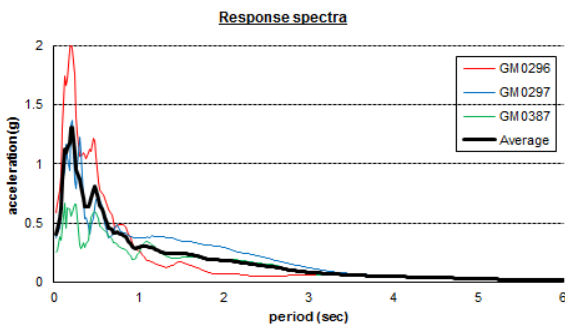


Fig. 15. Response and mean spectral acceleration from 3 ground motions

Table 1. Detailed information of the considered ground motions

Name	Time interval(sec)	Duration(sec)	Max. acceleration(g)
GM0296	0.005	39.925	-0.555
GM0297	0.005	39.925	0.367
GM0387	0.005	55.325	-0.254

특수경계요소를 설정하였다. 또한 전체 구조시스템에 고정하중과 활하중을 고려하여 질량 값을 설정하였고 모델의 경계조건은 2차원으로 해석하기 위해 Fig. 14와 같이 하단부는 모든 방향으로 변위 및 회전을 고정하였고 그 외에는 H2축에 대한 변위, H1축에 대한 회전, V축에 대한 회전을 고정하여 모델링하였다. 또한 해석시 P-delta 효과를 고려하도록 하였다.

#### 4.2 고려된 지반운동 및 스케일링

비선형 시간이력해석을 수행하기 위한 지반운동의 기록은 ATC-63에서 제시된 44개의 지반운동기록이 갖는 조건(mean M=7.0; mean R=16.4km; site class C,D etc.)을 근거로 20개의 지반운동 중 임의로 3개의 지반운동을 고려하였으며 그에 관련된 정보는 Table 1에 나타나 있다. 본 연구에서 고려된 지반운동은 한상환 등[10,13]에 의하여 개발된 것을 사용하였다. 20개 지반운동에 대한 반응 응답스펙트럼은 평균값과 함께 Fig. 15에 나타나 있다.

지반운동기록은 특정 지진위험도 레벨을 산정하기 위해 스케일링 작업

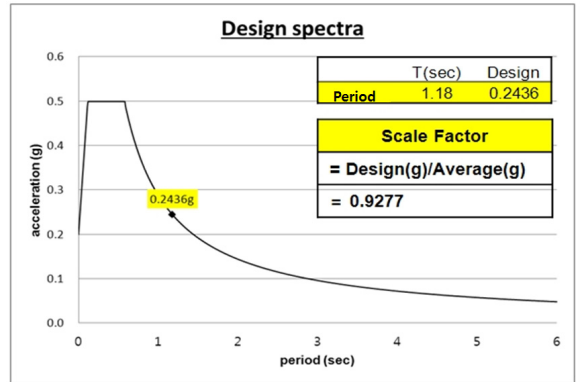
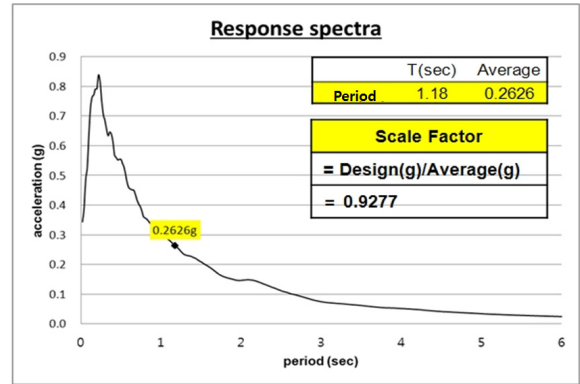


Fig. 16. Scaling parameters used for the scaling procedure of the ground motions

을 수행하였다. 이는 해당된 표준모델의 붕괴 성능점을 일관성 있게 계산하기 위함이다. 정규화된 지반운동 기록은 특정 규모의 지진운동에 맞도록 스케일링 되었는데 여기서는 해당 표준모델의 주기에 따라 스펙트럴 가속도에 평균 지진기록의 크기를 맞추는 것으로 산정되었다. Fig. 16은 평균 스펙트럴가속도의 값이 전단벽 구조시스템의 주기 1.18초에서 0.2626g로 계산되었다. 건축구조설계기준(KBC2009)에 따른 설계스펙트럴가속도에서 해당 주기에 해당하는 크기는 0.2436g로 계산되었다. 따라서 스케일 계수 0.9277(0.2436g/0.2626g)이 계산되어 모든 고려된 지반운동에 적용되었다.

### 5. 해석결과

본 연구에서는 25층과 35층 전단벽 구조시스템에서 특수(w/ 경계요소), 특수(w/o 경계요소) 및 준특수 상세를 가진 전단벽 구조시스템에 대해 비선형 정적 Pushover 해석과 비선형 동적 시간이력해석을 수행하였다.

#### 5.1 비선형 정적 Pushover 해석결과

25층 대표유형의 특수(w/ 경계요소), 특수(w/o 경계요소) 및 준특수 상세를 가진 전단벽 구조시스템에 대한 Pushover 해석결과는 Fig. 17에 나타나 있다. 전체적으로 특수(w/ 경계요소)상세의 전단벽 구조시스템이 가장 높은 초기 기율기(강성)과 최대 강도를 보여주고 있다.

특수(w/ 경계요소)전단벽과 특수(w/o 경계요소)전단벽 구조시스템은 초기에는 강성이 비슷했으나 철근의 항복과 콘크리트의 외곽 압축변형이

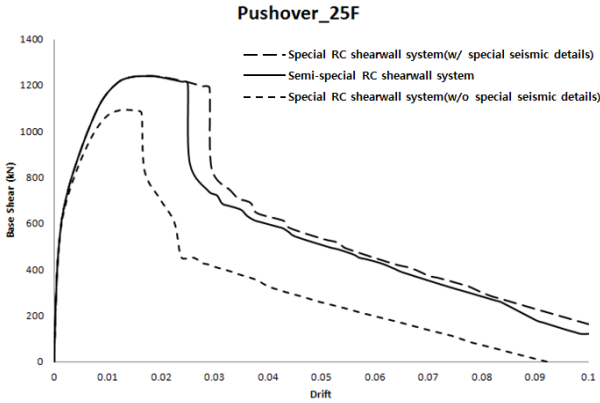


Fig. 17. Pushover results from 25-story shearwall system

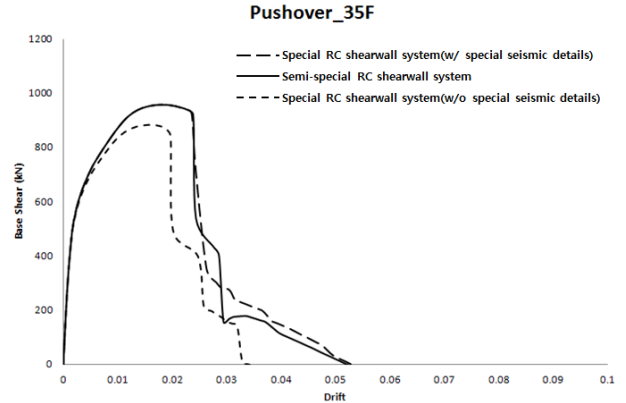


Fig. 18. Pushover results from 35-story shearwall system

Table 2. Results of nonlinear time-history analysis from the 25-story shearwall system

Name	Drift Ratio	Details		
		Special RC shearwall system (w/ special seismic details)	Semi-special RC shearwall system	Special RC shearwall system (w/o special seismic details)
GM0296	Max. Roof drift	0.100%	0.100%	0.109%
	Max. Story drift	0.733%	0.733%	0.924%
GM0297	Max. Roof drift	0.454%	0.454%	0.483%
	Max. Story drift	0.596%	0.596%	0.618%
GM0387	Max. Roof drift	0.193%	0.193%	0.194%
	Max. Story drift	0.916%	0.907%	1.009%

Table 3. Results of nonlinear time-history analysis from the 35-story shearwall system

Name	Drift Ratio	Details		
		Special RC shearwall system (w/ special seismic details)	Semi-special RC shearwall system	Special RC shearwall system (w/o special seismic details)
GM0296	Max. Roof drift	0.122%	0.122%	0.123%
	Max. Story drift	0.339%	0.339%	0.339%
GM0297	Max. Roof drift	0.405%	0.405%	0.397%
	Max. Story drift	0.603%	0.602%	0.588%
GM0387	Max. Roof drift	0.353%	0.353%	0.350%
	Max. Story drift	0.553%	0.553%	0.544%

점점 커지면서 약 800kN의 강도에 도달한 후 뚜렷한 거동의 차이를 보여주었다. 특수(w/ 경계요소)상세로 이루어진 전단벽 구조시스템은 최대 강도가 약 1240kN에 도달한 후 서서히 변형이 증가함에 따라 강도가 서서히 감소하다 3%의 변형 발생 후 강도가 크게 감소하였다. 반면에 특수(w/o 경계요소)상세 즉, 0.25%의 수평 및 수직 철근비를 가진 전단벽로 이루어진 전단벽 구조시스템은 약 1100kN의 최대 강도에 도달한 후 1.6%의 횡변위에서 큰 강도 감소가 이루어졌으며 내력이 점점 감소하는 결과를 보여주었다. 또한 준특수 상세의 전단벽 구조시스템의 경우는 2.5%의 횡변위가 발생할 때까지 특수(w/ 경계요소)상세와 거의 유사한 이력거동을 보였다.

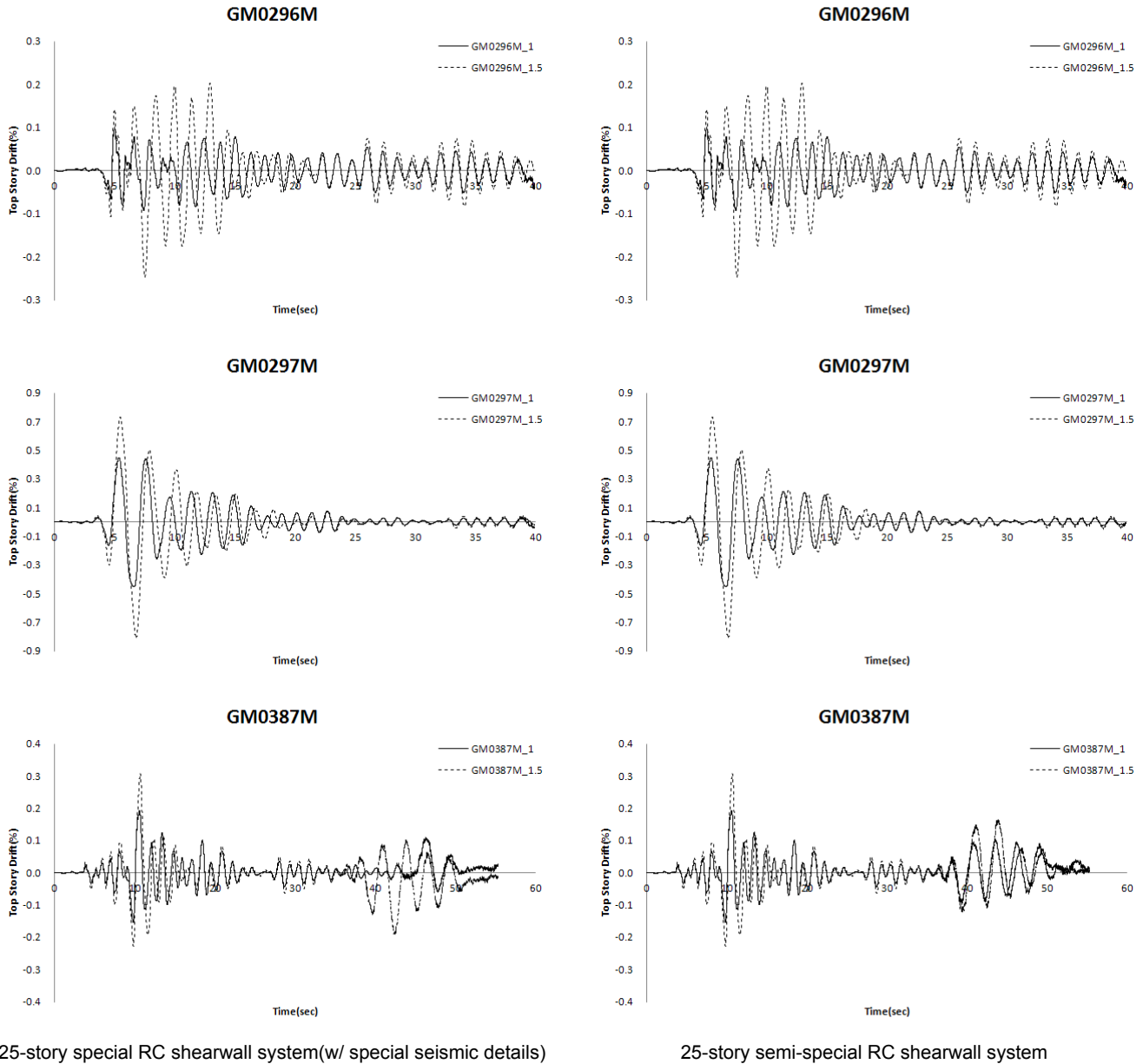
35층 대표유형의 특수(w/ 경계요소), 특수(w/o 경계요소) 및 준특수 상세를 가진 전단벽 구조시스템에 대한 Pushover 해석결과는 Fig. 18에 나타났다.

특수(w/ 경계요소)전단벽과 특수(w/o 경계요소)전단벽 구조시스템은

초기에는 강성이 비슷했으나 약 700kN의 강도에 도달한 후 뚜렷한 거동의 차이를 보여주었다. 특수(w/ 경계요소)상세로 이루어진 전단벽 구조시스템은 최대 강도가 약 960kN에 도달한 후 서서히 변형이 증가함에 따라 강도가 서서히 감소하다 2.2%의 변형 발생 후 강도가 크게 감소하였다. 반면에 특수(w/o 경계요소)상세로 이루어진 전단벽 구조시스템은 약 880kN의 최대 강도에 도달한 후 1.8%의 횡변위에서 큰 강도 감소가 이루어졌으며 내력이 점점 감소하는 결과를 보여주었다. 또한 준특수 상세의 전단벽 구조시스템의 경우는 2.5%의 횡변위가 발생할 때까지 특수(w/ 경계요소)상세와 거의 유사한 이력거동을 보였다.E

## 5.2 비선형 동적 시간이력해석결과

본 연구에서는 GM0296, GM0297, GM0387 세 가지의 지반운동을 사



**Fig. 19.** Maximum roof displacement vs. time relationship calculated from the nonlinear time-history analysis

용하여 25층과 35층 특수(w/ 경계요소), 특수(w/o 경계요소) 및 준특수전단벽 구조시스템에 대하여 비선형 동적 시간이력해석을 수행하였다.

Fig. 19는 25층 특수(w/ 경계요소)전단벽과 준특수전단벽에 대하여 원래 크기의 가속도와 1.5배 증가된 가속도를 적용하여 계산된 시간이력해석 결과를 시간-최상층 변위비로 나타낸 것이다. 지반운동에 따라 25층 특수(w/ 경계요소)전단벽의 최대 층간변위비는 0.73%, 0.60%, 0.92%로 나타났으며, 25층 준특수전단벽은 최대 층간변위가 0.73%, 0.60%, 0.91%로 나타났다. 또한 35층 특수(w/ 경계요소)전단벽과 준특수전단벽의 최대 층간변위비는 0.34%, 0.60%, 0.55%로 동일하게 계산되었다.

25층과 35층 전단벽의 상세에 따른 비선형 동적 시간이력해석결과는 Table 2와 Table 3에서 보여준다. 이를 보면 대체적으로 특수(w/ 경계요소) 전단벽과 준특수전단벽의 해석결과가 거의 동일하게 나타나는 것으로 계산되었다. 그러나 본 연구에서 제한된 평면과 입면 형태의 모델링과 3개의

지진기록에 대한 결과이므로 보다 폭넓은 평면과 입면의 고려를 통한 모델링의 다양성과 해석모델의 검증 및 이에 수반하는 추가해석과 실험을 통한 검증이 필요하다.

## 6. 결론

본 연구에서는 건축구조설계기준(KBC2009)에 맞게 설계된 RC전단벽 구조시스템을 경계요소의 상세에 따른 특수(w/ 경계요소), 특수(w/o 경계요소) 및 새롭게 제안된 준특수전단벽 구조시스템으로 구분한 후 상용 프로그램인 PERFORM-3D를 사용하여 비선형 해석모델을 수립하고 에 대하여 비선형 정적해석과 비선형 동적 시간이력해석을 수행하였다. 도출된 결론은 다음과 같다.



- 1) 비선형 해석모델의 검증을 위하여 해석모델에 Kent-Park의 콘크리트 모델을 적용하여 기존 연구자의 특수(w/ 경계요소)전단벽 실험의 결과 값과 비교하였다. 그 결과, 제안된 해석모델은 최대강도, 초기강성 및 횡 변위 증가에 따른 최대강도 감소비율 등의 전반적인 거동이 유사하게 표현되는 것으로 나타났다.
- 2) 25층, 35층의 특수(w/ 경계요소) 및 특수(w/o 경계요소)전단벽 구조시스템에 대하여 비선형 정적해석을 수행한 결과, 초기강성은 비슷하지만 횡변위가 증가하면서 약 800kN의 강도에 도달하면서 특수(w/o 경계요소)전단벽과 특수(w/ 경계요소)전단벽의 거동차이가 뚜렷해지는 것을 확인하였다. 또한 특수(w/o 경계요소)전단벽의 경우 1.6%의 횡변위가 발생한 후 큰 강도감소가 발생하지만 특수(w/ 경계요소)전단벽의 경우 특수상세의 역할로 3%의 횡변위까지 강도저하가 완만하게 떨어지는 것으로 나타났다. 준특수전단벽 구조시스템의 경우는 2.5%의 횡변위가 발생할 때까지 특수상세와 거의 유사한 이력거동을 보였다.
- 3) 25층과 35층 전단벽의 상세에 따른 비선형 동적 시간이력해석결과는 수행한 결과, 대체적으로 특수(w/ 경계요소)전단벽과 준특수전단벽의 해석결과가 거의 동일하게 나타나는 것으로 계산되었다. 준특수전단벽의 성능을 추가 검증하기 위해서는 보다 폭넓은 평면과 입면의 고려를 통한 모델링의 다양성과 해석모델의 검증 및 이에 수반하는 추가적인 해석과 실험을 수행할 필요가 있다.

**/ 감사의 글 /**

이 논문은 LH공사 토지주택연구원과 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(No. 2011-0010384)이며 이에 깊은 감사를 드립니다.

**/ REFERENCES /**

1. Architectural Institute of Korea, Korean building code and commentary, 2009.

2. Computers and Structures, Inc, Components and Elements for PERFORM 3D and PERFORM-Collapse ver 4, CSI, Berkeley, CA, 2006.
3. Computers and Structures, Inc, PERFORM USER GUIDE ver 4, CSI, Berkeley, CA, 2006.
4. John W. Wallace, Modeling Issues For Tall Reinforced Concrete Core Wall Buildings, LA Tall Buildings, 2007 May.
5. John W, Wallace, Analytical Modeling of Reinforced Concrete Walls for Predicting Flexural and Coupled-Shear-Flexural Responses, PEER Report, 2006 Jul.
6. Kent DC, Park R, Flexural members with confined concrete, ASCE Journal of the Structural Division 1971;97(7).
7. Robert E, Englekirk, Seismic Design of Reinforced and Precast Concrete Buildings, John Wiley & Song, INC, 2003.
8. Wang S, Reinforced Concrete Design-6th, Addison Wesley Educational Publishers, INC, 1998.
9. Kim TW, Jeong SH, You TS, A Simple Model for the Nonlinear Analysis of an RC Shear Wall with Boundary Elements, Journal of the earthquake engineering society of Korea, 2011;15(4):45-54.
10. Korea Land & Housing Corporation, Seismic performance evaluation of semi-special shearwall systems, 2011.
11. Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, ACI318-08, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2008.
12. Korea Concrete Institute, Structural design code and commentary of RC concrete systems, 2009.
13. Han SW, Seok SW, Efficient Method for Selecting Ground Motions with a Mean Response Spectrum Matching a Target Spectrum, Journal of the earthquake engineering society of Korea, 2011;15(5):1-10.
14. Lee KS, Song JG, Moon JH, Seismic Capacity Evaluation of Reinforced Concrete Buildings, Journal of the Korea concrete institute, 2007;19(5):42-50.