

국내 소규모 철근콘크리트 건축물의 내진거동 고찰

A Study on the Seismic Behavior of Small-Size Reinforced Concrete Buildings in Korea

김태완¹⁾ · 엄태성²⁾ · 김철구³⁾ · 박홍근³⁾

Kim, Taewan^{1)*} · Eom, Taesung²⁾ · Kim, Chul-Goo³⁾ · Park, Hong-Gun³⁾

¹⁾강원대학교 건축공학과, ²⁾단국대학교 건축공학과, ³⁾서울대학교 건축학과

¹⁾Architectural Engineering, Kangwon National University, ²⁾Architectural Engineering, Dankook University, ³⁾Architecture, Seoul National University

/ A B S T R A C T /

Since the execution of structural design by professional structural engineers is not mandatory for small-size buildings in Korea, structural design is conducted by architects or contractors resulting in concern about the seismic safety of the buildings. Therefore, the Korean Structural Engineers Association proposed dedicated structural design criteria in 2012. The criteria were developed based on a deterministic approach in which the structural members are designed only with information of story and span length of the buildings and without structural analyses. However, due to the short time devoted to their development, these criteria miss satisfactory basis and do not deal with structural walls popularly used in Korea. Accordingly, the Ministry of Land, Infrastructure and Transport launched a research on the 'development of structural performance enhancement technologies for small-size buildings against earthquakes and climate changes'. As part of this research, this paper intends to establish direction for the preparation of deterministic structural design guidelines for seismic safety of domestic small-size reinforced concrete buildings. To that goal, a typical plan of these buildings is selected considering frames only and frames plus walls, and then design is conducted by changing the number of stories and span length. Next, the seismic performance is analyzed by nonlinear static pushover analysis. The results show that the structural design guidelines should be developed by classifying frames only and frames plus walls. The size and reinforcement of structural elements should be provided in the middle level of the current Korean Building Code and criteria for small buildings by considering story and span length for buildings with frames only, and determined by considering the shape and location of walls and the story and span length as well for buildings with frames plus walls. It is recommended that the design of walls should be conducted by reducing the amount of walls along with symmetrically located walls.

Key words: Small-size building, Reinforced concrete, Seismic capacity, Seismic demand, Moment-frame, Shear wall

1. 서론

현재 국내에서는 건축물의 지진 안전성에 대한 관심이 매우 높아지고 있다. 이에 따라 국내 내진설계기준은 지속적으로 강화되고 있으며 내진설계 대상 건물도 계속 확대되고 있다. 현재는 3층 이상, 연면적 1000m² 이상 건물을 대상으로 내진설계가 의무화되어 있다. 만약 이 조건의 신축 건물이라면 현 건축구조설계기준인 KBC2009[1]의 조항에 따라 내진설계가 이루어져야 한다. 반면 3층 미만, 연면적 1000m² 미만 건물은 법적으로 내진설계 의무 대상이 아니므로 지진에 대한 안전 확보의 사각지대에 위치하고 있

다. 또한 이들 건물은 규모 자체가 작아 건축물 구조설계의 전문가인 건축구조기술사에 의한 구조 안정성 검토 없이 비전문가인 건축사 또는 시공업자의 판단에 의해 구조 부재가 결정되고 있는 현실이다.

건축물의 내진설계는 일반적인 구조설계에 비해 보다 전문적인 지식을 요구하는 업무이므로 전문가인 건축구조기술사에 의해 수행되어야 한다. 하지만 현재 건축법에서는 건축구조기술사의 구조안전(내진설계 포함) 확인 범위를 6층 이상으로 한정하고 있다. 3층에서 5층까지의 건물은 건축사도 구조안전(내진설계 포함)을 확인할 수 있도록 하고 있다. 따라서 5층 이하의 국내 건축물은 실질적으로 내진설계는 물론이고 기본적인 구조안전에 대한 명확한 검증 없이 설계 및 시공이 이루어지고 있다. 저층 건물이라고 해서 상대적으로 지진에 안전한 것은 아니다. 저층 건물은 고유주기가 짧으므로 오히려 큰 지진하중을 받을 수 있다. 따라서 소규모건축물을

*Corresponding author: Kim, Taewan

E-mail: tkim@kangwon.ac.kr

(Received 14 March 2014; Revised 24 April 2014; Accepted 29 April 2014)

포함한 5층까지의 건물에 대한 내진성능 확보는 빠른 시일 내에 해결해야 할 문제다.

최근 이와 같은 소규모 건축물의 구조안전에 대한 문제가 쟁점화하자 국토교통부에서는 내진설계의무 대상에 포함되지 않은 소규모 건축물의 내진성능을 확보하기 위한 방안을 모색하였다. 정부 차원에서 소규모 건축물의 내진성능 확보에 대한 움직임이 생겨나 다행이나, 여기서 한 가지 아쉬운 점은 앞서 언급한대로 3층에서 5층 사이의 건물은 포함되지 않았다는 것이다. 국토교통부의 방침은 KBC 기준을 따른 건축구조기술사의 구조해석 및 설계 작업 없이 건축사 또는 시공업자가 단독으로 구조부재를 선택할 수 있는 간편한 절차를 마련하는 것이었다. 미국에서는 소규모 주택건물에 대해 구조해석 없이 설계할 수 있는 International Residential Code[2]를 사용하고 있다. 국내에서도 이와 유사한 지침을 만들고자 하였다. 그 결과 관련 학계 및 실무 전문가들로 집필진을 구성하여 2012년에 “소규모건축물 구조지침 및 해설[3]”을 작성하였다.

하지만 이 지침은 상세한 실험이나 해석을 통해 결과를 검증한 후 작성된 것이 아니라 현 KBC 기준과 건축구조기술사의 실무 경험을 바탕으로 최대한 안전 측으로 작성한 것이다. 또한 국내 소규모건물에서 많이 사용되는 구조시스템인 골조와 벽체의 조합구조에 대한 내용이 없는 단점이 있다. 따라서 상세한 해석 및 실험을 통한 검증으로 현 소규모건축물 구조지침을 보완할 필요가 있다. 현재 국토교통부의 지원으로 “지진 및 기후변화 대응 소규모, 기존 건축물 구조안전성 향상기술 개발” 연구단이 발족되어 국내 소규모건축물의 현황을 파악하고 상세한 실험 및 해석을 통해 새로운 소규모구조지침을 개발하기 위한 연구가 진행되고 있다. 이 연구가 종료되면 현 소규모건축물 구조지침보다 더 진보한 설계지침이 마련될 것으로 기대된다. 이 논문은 새로운 소규모구조지침을 개발하기 위한 시작단계로서 현 소규모구조지침과 KBC 기준에 따라 소규모 철근콘크리트 건물을 설계한 후 이들의 내진성능을 평가하여 새로운 소규모구조지침이 지향해야 할 방향을 제시하고자 한다.

연구의 목표 달성을 위해 다양한 예제 건물을 사용하여 연구를 수행하였다. 건물의 층수는 1층 또는 2층이며, 경간은 2개 또는 3개를 가지는 철근콘크리트 건물 평면을 선택하였다. 이들을 모멘트골조만 있을 때와 벽체가 함께 있는 경우로 다시 구분하였다. 벽체가 있을 때는 벽체의 위치, 형상, 개수에 따른 영향도 함께 고려하였다. 이들을 현 소규모구조지침과 KBC 기준에 따른 설계하였다. 그다음 비선형정적해석을 통해 초과강도의 크기와 한계변형을 확인하여 이들의 비선형능력을 확인하였다. 역량스펙트럼법[4]을 사용하여 성능점을 추출하여 최대비선형변위가 어느 수준인지도 확인하였다. 이와 같은 절차를 통해 현재의 소규모 철근콘크리트 건축물이 보유하고 있는 초과강도나 변형능력, 이들에 가해지는 요구 성능을 비교할 수 있다. 이러한 결과는 국내 소규모건축물의 구조지침이 지향해야 할 방향을 알려줄 것이다.

2. 소규모건축물의 설계고려사항

2.1 현 소규모건축물 구조지침[3]

현 소규모건축물 구조지침[3]은 구조해석을 하지 않고 단면설계를 수행

할 수 있도록 주요 구조 부재의 치수, 철근량 및 철근 배치의 기준을 제공하고 있다. 단, 벽체를 제외한 골조의 보 및 기둥 부재에 대한 상세를 제공하고 있다. 철근콘크리트 부재의 경우 콘크리트강도는 21 MPa 이상이어야 하고 철근은 항복강도 400 MPa 또는 500 MPa를 사용하도록 규정하고 있다.

먼저 큰보(거더)의 치수는 Table 1과 같이 작은보를 지지하는 경우와 그렇지 않은 경우로 나누어 폭(b)과 깊이(h)를 규정하고 있다. 결국 큰보는 최소한 300 mm×400 mm 이상이어야 한다. 큰보 주철근의 최소 철근비는 Table 2와 같으며 압축철근은 인장철근의 1/3 이상으로 배근해야 한다. 큰보의 주철근은 보의 위치(지붕층 또는 기타 층), 작은보 지지 유무, 그리고 단부 및 중앙부에 따라 다른 값을 규정하고 있다. 큰보의 횡철근은 Table 3과 같이 D10 철근을 보 깊이의 1/2 또는 작은보 지지 유무에 따라 300 mm 또는 200 mm 이하로 배근하도록 규정하고 있다.

기둥의 최소 치수는 Table 4에서와 같이 1층 건물과 2층 건물일 때 구분하여 경간 길이 및 기둥 높이에 따라 규정하고 있다. 경간 길이 및 기둥 높이가 클수록 기둥의 최소 치수는 증가하며 1층 건물보다 2층 건물일 때 최소 요구 치수가 더 크다. 기둥 주 철근의 최소 철근비는 Table 5에서와 같이

Table 1. Minimum dimensions of beams[3]

	w/o supporting sub-beam	w/ supporting sub-beam
Width(b)	≥ 300 mm	≥ 350 mm
Depth(h)	≥ max(1/12 span, 400 mm)	

Table 2. Minimum reinforcement ratio(%) of beams[3]

Location	Type	Ends	Middle
Roof	w/o supporting sub-beam	1.0	0.8
	w/ supporting sub-beam	1.2	1.1
Other floors	w/o supporting sub-beam	1.2	1.1
	w/ supporting sub-beam	1.6	1.3

Table 3. Stirrup of beams[3]

	w/o supporting sub-beam	w/ supporting sub-beam
Diameter	D10	
Spacing	≤ min(d/2, 300 mm)	≤ min(d/2, 200 mm)

Table 4. Minimum dimensions of columns[3]

Variable	1-story building	2-story building
Width, Depth	≥ max(1/16 span length, 1/12 column height, 350 mm)	≥ max(1/14 span length, 1/10 column height, 400 mm)
Area	≥ 140,000 mm ²	≥ 160,000 mm ²

Table 5. Minimum reinforcement ratio(%) of columns[3]

Building story	Location	Minimum ratio
1	All	1.9
2	Interior column in 2 nd story	1.5
	The others	2.2

1층과 2층 건물로 나누어서 규정되어 있으며, 2층 건물일 때는 2층 내부에 위치한 기둥과 그 밖의 기둥으로 나누어 규정되어 있다. 대략 1층 건물일 때는 2% 이하, 2층 건물일 때는 2%를 초과하도록 되어 있다. 기둥 띠철근의 경우, 수직간격은 1) 주철근 지름의 16배 이하, 2) 띠철근 지름의 48배 이하, 3) 기둥 단면의 최소치수 이하로 규정하고 있으며, 수평 배치는 띠철근을 따라 횡지진 인접한 축방향 철근의 순간격이 150 mm 이상 떨어진 경우에 해당 축방향 철근이 지지되도록 띠철근을 배치하도록 규정하고 있는데, 이는 KBC2009[1]의 규정과 동일하다.

이와 같이 현 소규모건축물 구조지침[2]은 설계자가 구조해석 없이 건물의 규모에 따라 일정 수준 이상의 부재를 배치하면 구조안정성 검토 없이 설계를 완료할 수 있도록 하고 있다. 이에 더해 골조만을 횡저항시스템으로 간주하여 상세를 제공하고 있기 때문에 벽체가 일부 혼합되어 있을 때는 직접적인 적용이 어렵다. 따라서 현 지침에 따라 설계한 철근콘크리트 건물이 어느 정도의 초과강도가 있는 지 골조만 있는 경우와 골조와 벽체가 함께 있는 경우를 모두 조사할 필요가 있다. 골조만 있는 경우라도 현 구조지침을 적용한다면 강성이나 강도가 요구 수준에 비해 높을 가능성이 크다. 벽체가 일부 함께 거동한다면 강성이나 강도가 더욱 높을 것이다. 이 점을 중점적으로 조사하여 소규모 철근콘크리트 건축물의 새로운 구조지침 마련을 위한 근거 자료로 활용하고자 한다.

2.2 현 건축구조기준[1]

소규모건축물의 지진 안정성 확보를 위한 최선의 방법은 건축구조기술사가 KBC 기준[1]에 따라 설계하도록 법으로 강제하는 것이다. 하지만 본 연구는 KBC 기준과 다른 소규모건축물만을 위한 구조지침 개발을 위한 것이다. 만약 소규모건축물에 KBC 기준을 적용한다면 어떠한 현상이 발생할 것인지 살펴보고자 한다.

먼저 KBC 기준에서 보와 기둥 부재에 적용하는 규정들을 소규모건축물 구조지침과 비교하였다. KBC 기준에서는 보의 치수에 대한 특별한 규정은 없다. 보의 최소철근비와 최대철근비에 대한 규정은 다음 식과 같다.

$$\rho_{\min} = \frac{0.25\sqrt{f_{ck}}}{f_y}, \quad \rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} \quad (1)$$

$$\rho_{\max} = \frac{0.00255\beta_1}{(\epsilon_{a,\min} + 0.003)} \left(\frac{f_{ck}}{f_y} \right) \left(\frac{d_t}{d} \right) \quad (2)$$

여기서 f_{ck} 는 콘크리트강도, f_y 는 철근항복강도이며, d 는 유효깊이, d_t 는 최외각 인장철근까지의 깊이로서 d 와 동일한 것으로 가정, β_1 은 0.85로 가정, $\epsilon_{a,\min}$ 는 인장철근의 허용최소변형률로서 0.005로 가정하였다.

콘크리트강도를 21 MPa, 철근항복강도를 400 MPa로 가정하면 식(1)에 의해 최소철근비는 0.35%가 된다. 이 값은 보에 대한 소규모구조지침의 최소철근비(Table 2)와 비교했을 때 매우 낮다. 물론 실제 설계에서 이러한 값을 사용하는 경우는 드물다. 최대철근비는 동일한 강도를 적용했을 때 식(2)에 의해 1.42%이다. 이 값을 소규모구조지침의 최소철근비(Table 2)와 비교하면 지붕층에서 Sub-beam을 지지하는 경우를 제외하면 거의 비

슷하거나 오히려 작다. 소규모구조지침은 사양기반으로서 불가피한 점이 있지만 보의 경우 최소철근이 KBC 기준의 최대 철근에 근접하므로 과다하게 배근될 가능성이 크다. 기둥의 경우 기준에서는 최소 1.0% 최대 8%를 규정하고 있다. 최대철근비의 경우 겹침 이음을 고려한다면 실제로 4%가 최대이며, 소규모구조지침의 기둥 최소철근비(Table 5)는 2% 내외이므로 적절한 수준으로 보인다. 결국 소규모구조지침을 따랐을 때 전체 건물의 횡저항 강도가 필요 수준 이상으로 나타날 가능성이 크나, 반면 보 강도의 과다로 인해 약축 현상이 발생할 수도 있다.

이번에는 개별 부재 수준이 아니라 전체 건물의 횡저항 능력과 관련해서 살펴보고자 한다. 현 KBC 기준을 소규모건축물에 적용한다면 지진력저항시스템은 ‘보통’ 모멘트골조나 ‘보통’ 전단벽이 될 것이다. 소규모건축물에 ‘보통’ 시스템보다 설계제약조건(특히 변형능력 확보)이 더 많고 까다로운 ‘중간’이나 ‘특수’ 시스템을 사용한다는 것은 현실적으로 가능하지 않다. ‘보통’ 시스템일 경우는 모멘트골조 및 전단벽의 반응수정계수(R)는 각각 3.0 및 5.0으로서 ‘중간’이나 ‘특수’ 시스템에 비해 상대적으로 작다. 즉, 설계 지지력이 상대적으로 크다는 것이다. 이들의 시스템초과강도계수(Ω_o)는 각각 3.0 및 2.5 이므로, 변형 능력의 정도는 논외로 하고 강도능력만을 본다면, ‘보통’ 시스템의 최대강도는 모멘트골조의 경우 거의 탄성하중, 전단벽의 경우 탄성하중의 50%에 이르게 된다. 여기서 탄성하중이란 반응수정계수로 감소하기 전의 지진하중, 즉 스펙트럼가속도(일반적으로 설계스펙트럼에서 가속도가 일정한 곳의 값)에 건물의 중량을 곱한 값이다. 전단벽 시스템의 경우 대부분의 중력하중은 모멘트골조가 부담한다. 하지만 전단벽과 모멘트골조는 지진 시 함께 거동할 수밖에 없으며, 이 때 지진력에 대한 설계되지 않은 모멘트골조의 강도가 더해져 최대강도가 설계강도보다 훨씬 더 크게 나타날 수도 있다.

앞 단락에서 언급한 내용은 현 설계기준의 내진설계방식인 등가정적해석법을 따랐을 때 나타나는 현상을 설명한 것인데 소규모건축물에서는 이러한 현상이 더욱 심화될 가능성이 크다. 소규모건축물은 1층 내지 2층 건물로서 건물의 높이도 크기 않고 중량도 작기 때문에 설계지진력의 크기는 고층 건물에 비해 작다고 볼 수 있다. 그렇다면 중력방향의 하중(고정하중 및 활하중)에 대한 설계지진력의 비가 상대적으로 작을 수밖에 없다. 이 의미는 설계하중조합에서 지진력(횡력) 보다는 수직력(중력)의 영향이 상대적으로 크다는 것이다. 이로 인한 초과강도로 최대강도가 탄성하중보다 더 큰 값을 보일 수 있다.

이와 같이 KBC 기준의 ‘보통’ 시스템으로 설계한 소규모건축물은 상대적으로 높은 초과강도를 가지며 최대강도가 탄성하중을 초과할 가능성이 크다. 이와 같이 강도능력이 매우 크다면 지진 시 요구 변위는 반대로 매우 낮게 나타날 수 있다. 이런 결과라면 소규모건축물의 경우에는 변형 능력을 크게 확보할 필요가 없을 가능성도 있다. 결국, 초과강도와 요구변위가 어느 정도인지 확인하는 것이 중요하며 그 결과는 소규모구조기준의 방향을 정하는 척도가 될 수 있을 것이다. 이를 위해 예제 소규모 건물의 일반적인 평면을 선택하여 소규모구조지침과 KBC 기준에 따라 설계한 후 골조만 있을 때와 벽체가 골조와 함께 있을 때 초과강도는 어느 정도이고 얼마나 차이가 있는지, 벽체의 크기 및 개수 또는 형상에 따른 초과강도는 어떠한 경향을 보이는 지가 본 연구에서 중점적으로 확인하게 될 주제이다.

3. 예제 건물

본 연구에서 사용한 예제 건물은 소규모 철근콘크리트 건물로서, 평면은 Fig. 1과 같이 수평, 수직축으로 각각 3경간, 2경간으로 구성되어 있다. 이 평면은 소규모구조지침[3]에서 예제로 제시되어 있으며 본 연구에서도 동일한 평면을 사용하였다. 다양한 변수를 고려하기 위해 층수는 1층 및 2층, 경간은 4m 및 6m를 사용하였다. 또한 골조만 있는 경우와 골조와 벽체가 함께 있는 경우를 구분하였다. 골조만 있을 때는 소규모구조지침[3] 및 KBC2009[1]로 모두 설계하였고, 벽체가 골조와 함께 있을 때는 KBC2009[1]에 대해서만 설계하였다. 이 때 벽체의 길이는 경간의 1/2로 고정하였으므로 경간 길이가 변하면 벽체의 길이도 함께 변한다. 이 벽체들이 평면에서 단독으로 위치하는 경우와 서로 수직으로 만나는 경우를 구분하였고, 평면의 한쪽에만 위치하는 지 양쪽에 대칭으로 위치하는지도 구분하였다. 즉, 벽체의 형상, 위치, 및 개수에 따라 벽체의 두께 및 배근은 서로 다르게 설계되었다.

다양한 변수들을 고려한 예제 건물들을 쉽게 구분하기 위해 Fig. 2와 같이 개별 건물의 정보를 정리하였다. 먼저 벽체의 개수는 길이가 경간의 1/2인 경우를 1로 보고 수평방향으로 위치한 벽체의 수를 계산하였다. 이 때 수평방향에 직각으로 위치한 벽체는 계산에 포함하지 않았다. 벽체의 형상은 수평방향에 단독으로 위치할 때를 ‘-’, 두 벽체가 수직으로 만날 때를 ‘L’, 네 개의 벽체가 하나로 거동할 때를 ‘□’으로 표시하였다. 벽체가 평면에서 한 쪽에만 위치할 경우에는 황허중에 대해 인장력(T) 또는 압축력(C)이 발생하는 경우로 구분하였고 대칭으로 위치한 경우는 ‘S’로 표시하였다. 예를

들어 벽체가 왼쪽에 위치하는 경우 ‘T’로 표시된다. 이와 같이 벽체 수, 위치, 및 형상을 나타내는 정보는 Fig. 2의 마지막 세 자리에 위치하고 있다.

건물의 층수와 경간은 첫 번째와 두 번째에 위치하고 있으며, 세 번째는 지반조건을 나타낸다. 이 지반조건이 있다는 것은 KBC 기준에 따라 설계를 했다는 의미이며, 그렇지 않다면 이 자리는 제외되어 나타나지 않는다. 그 다음 두 자리는 골조를 나타내는데 골조는 모든 건물에 존재하므로 ‘F’는 항상 나타난다. 그 다음은 벽체를 나타내는 ‘W’인데 벽체가 있을 경우에만 존재하며 벽체가 없다면 이 ‘W’ 이하 모든 정보는 필요가 없으므로 제외된다. 2층 6m 경간의 벽체가 있는 건물의 평면과 이름을 Fig. 3에 나타내었다. 만약 소규모구조지침에 따라 설계하고 벽체가 없는 1층 4m 경간의 건물은 ‘14F’가 된다.

소규모구조지침은 골조만 있는 경우의 규정만을 포함하고 있으므로 오직 골조만 있는 건물의 설계에 적용되었다. 반면 KBC 기준은 골조만 있는 경우만 아니라 골조와 벽체가 함께 있을 때도 적용되었다. 골조만 있는 경우의 지진력저항시스템은 모멘트저항골조시스템에서 철근콘크리트 보통모멘트골조(R=3)로 설계하였다. 골조와 벽체가 함께 있을 때의 지진력저항시스템은 건물골조시스템에서 철근콘크리트 보통전단벽(R=5)으로 설계하였다. 벽체가 있는 경우의 골조는 중력하중에만 설계되었음을 주지한다. 지진력에 대한 설계는 Fig. 1의 평면에서 수평방향으로만 수행하였다. 벽체의 경우도 형상이나 위치에 관계없이 수평방향으로만 지진력을 가해 설계하였다. KBC 기준에 따른 내진설계변수는 지진구역 I, 중요도계수 I, 그리고 지반

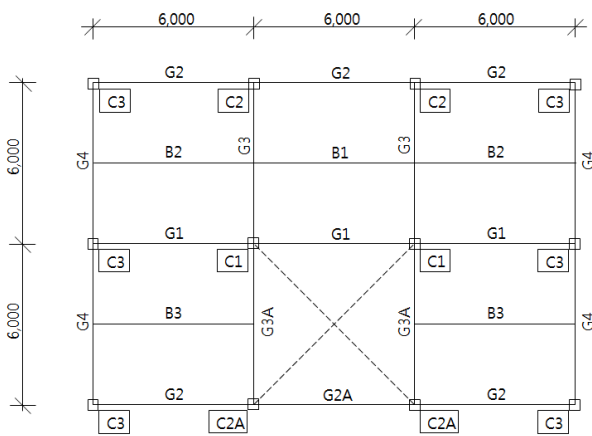


Fig. 1. Plan view of example buildings[2]

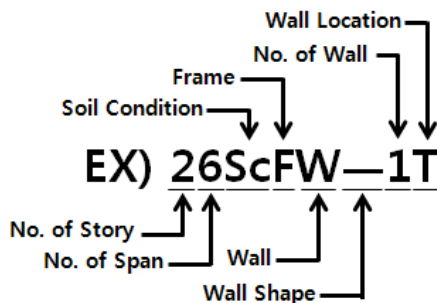


Fig. 2. Nomenclature of example buildings

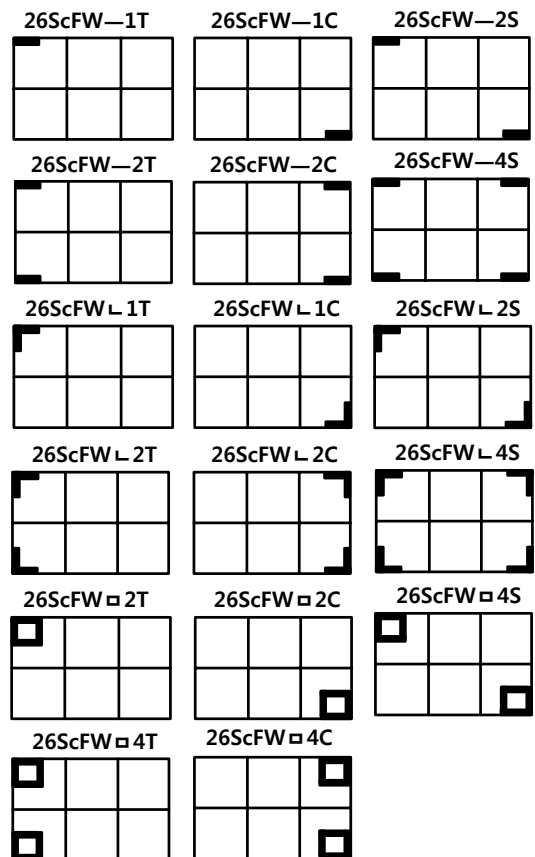


Fig. 3. Shape, location, and nomenclature of shear walls in two-story and 6 m span buildings

Table 6. Vertical loads for design by KBC2009 (kN/m²)

Story	Dead load	Live load
Typical	5.50	4.0
Roof	6.55	1.0

조건 S_C 이다. 설계에 사용한 수직하중은 Table 6과 같다. 설계 시 재료의 공칭강도는 21 MPa(콘크리트), 400 MPa(철근)를 적용하였다.

4. 해석방법

예제 건물의 성능을 비교 검토하기 위해 비선형정적푸시오버해석을 수행하여 건물의 성능곡선을 추출하고 이를 요구스펙트럼과 비교하는 방법을 사용하였다. 이 때 개별 건물의 최대강도가 어느 수준인지, 요구수준에 비해 어느 정도 초과하는 지 확인하였다. 더불어 역량스펙트럼법[4]을 사용하여 성능점을 산정하여 변위능력과 요구변위의 차이가 어느 정도인지 확인하였다. 이를 위한 건물의 비선형 모델링 및 해석은 모두 MIDAS GEN[5]으로 수행하였다.

비선형정적푸시오버해석을 수행하기 위한 절차는 한국시설안전공단 요령[6]을 따랐다. 요령에 따라 각 구조부재의 소성힌지 모델링을 위한 강도, 강성, 및 변형 능력을 결정하였다. 단, 콘크리트 및 철근의 강도는 모두 공칭강도를 사용하였다. 성능평가에서는 지배적인 거동의 종류에 따라 공칭 또는 평균 강도를 사용하나, 여기서는 소규모건축물 시공의 불확실성을 감안하여 모든 경우에 공칭강도를 사용하였다. 모든 구조부재는 비내진 상세로

규정하여 변형 능력은 최소한의 크기로 반영되도록 하였다. 또한 각 구조부재의 변형 능력은 요구력(축력, 전단력, 모멘트)의 변수이므로 보다 정확한 산정을 위해 김태완, 민찬기[7] 또는 한국시설안전공단 요령[6]에서 제시한 2단계 푸시오버해석 절차를 따랐다.

5. 해석결과

5.1 벽체의 유무에 따른 결과 비교

이미 언급한대로 현 소규모구조지침은 골조만을 대상으로 한 규정을 두고 있다. 따라서 KBC 기준과의 비교는 골조만 있을 때로 한정할 수밖에 없다. 이들과 중력하중에만 설계된 골조를 함께 비교함으로써 구조지침과 설계기준을 따른 건물의 능력을 보다 명확히 확인할 수 있다. Fig. 4에서 Fig. 6까지의 곡선들은 비선형정적푸시오버해석을 수행한 결과를 가속도-변위 응답 스펙트럼(acceleration-displacement response spectrum, ADRS) 곡선으로 나타낸 것이다. 범례에서 맨 아래에서 3번째 ‘ScF’로 끝나는 곡선은 KBC 기준, 2번째 ‘F 소규모’로 끝나는 곡선은 소규모구조지침, 맨 아래 ‘gF’로 끝나는 곡선은 중력하중에만 설계된 골조를 나타낸다. 곡선 상에 위치한 원형의 점은 ATC40[4]을 따라 산정한 성능점의 위치를 나타낸다. 이 성능점은 설계하중 수준의 지진 발생 시 구조물에 발생할 최대변위를 나타낸다. 지진 발생 시 건물의 거동이 동적이므로 동적해석을 수행해야 하나 ATC40[4]은 정적해석만으로 최대변위를 산정하는 절차를 제공하고 있다. 이를 역량스펙트럼법(capacity spectrum method)이라 부른다.

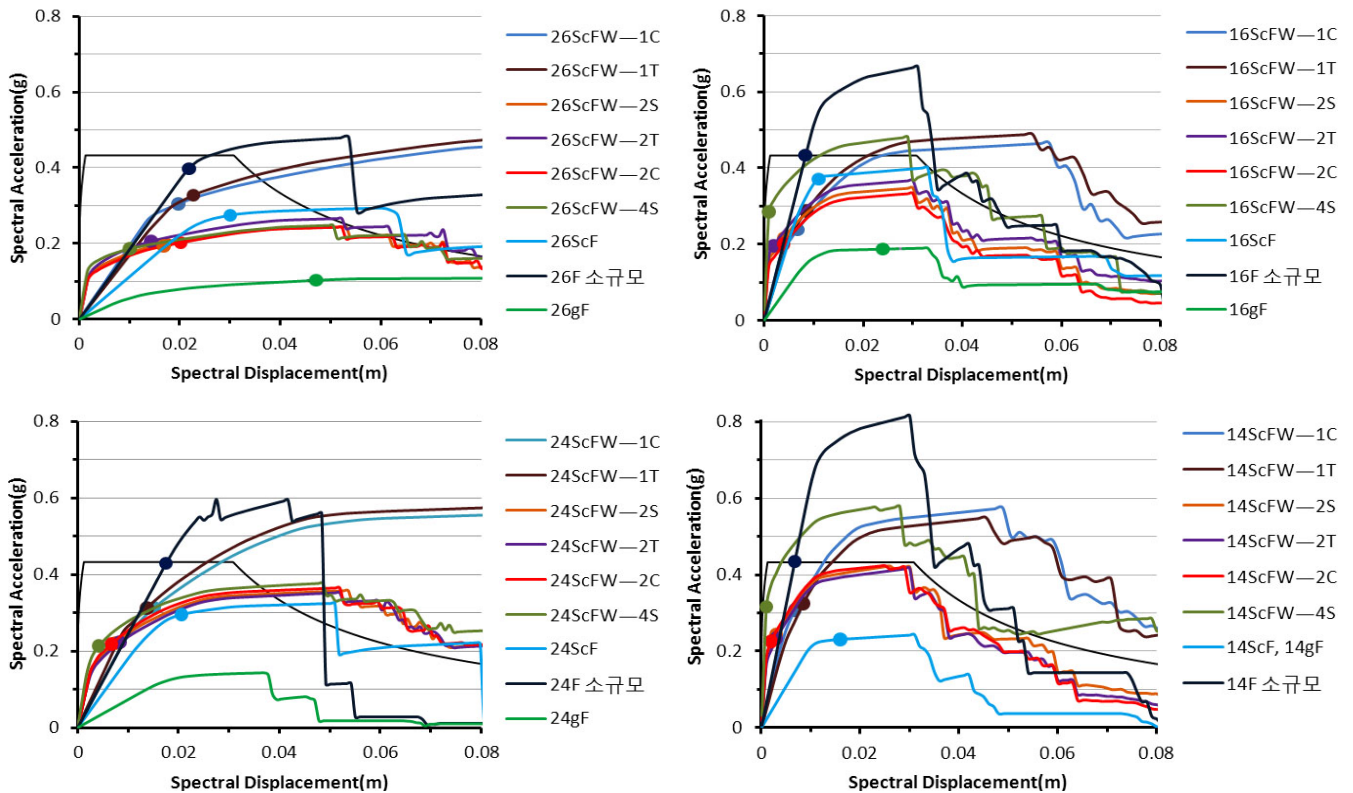


Fig. 4. Capacity curve and performance point of buildings with ‘—’ type wall

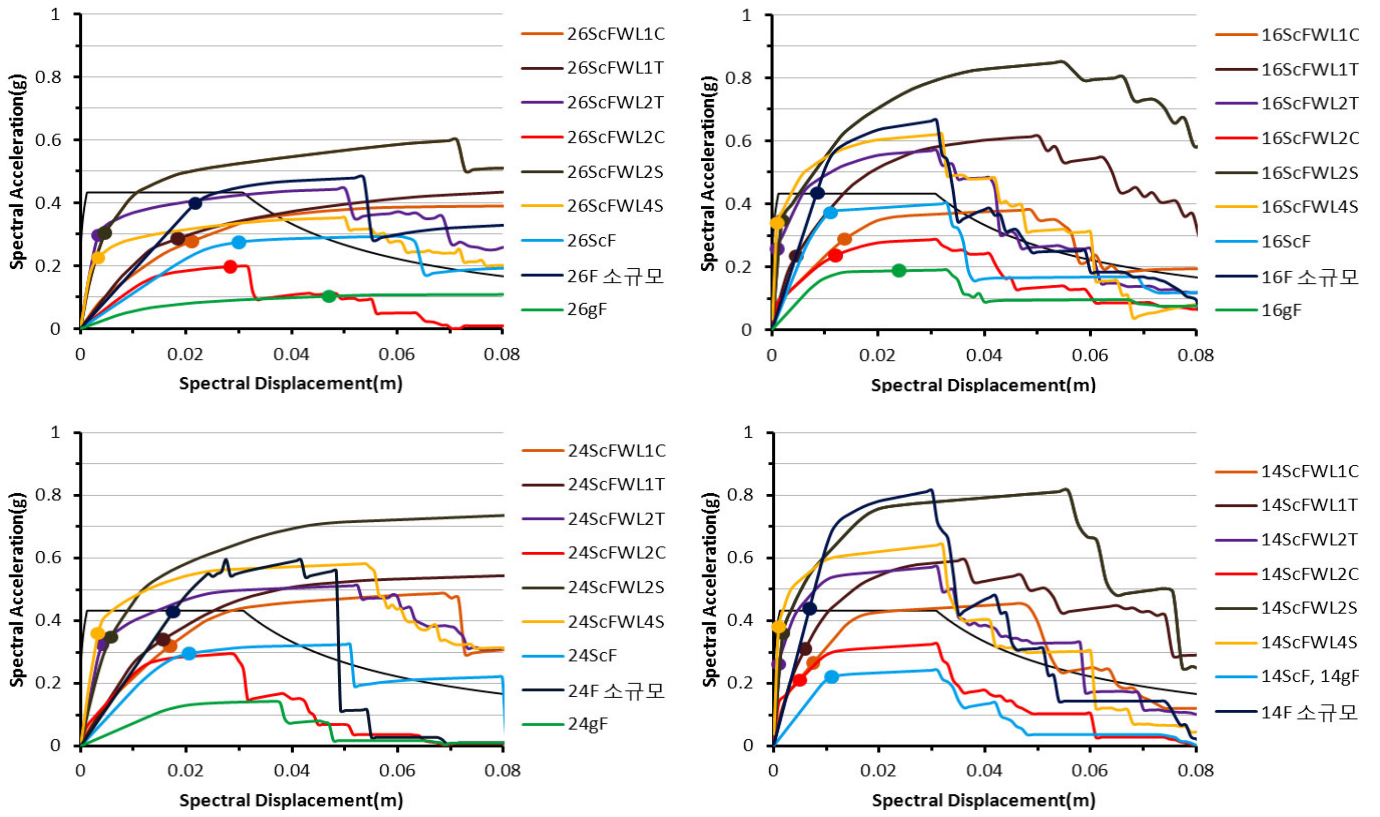


Fig. 5. Capacity curve and performance point of buildings with 'L' type wall

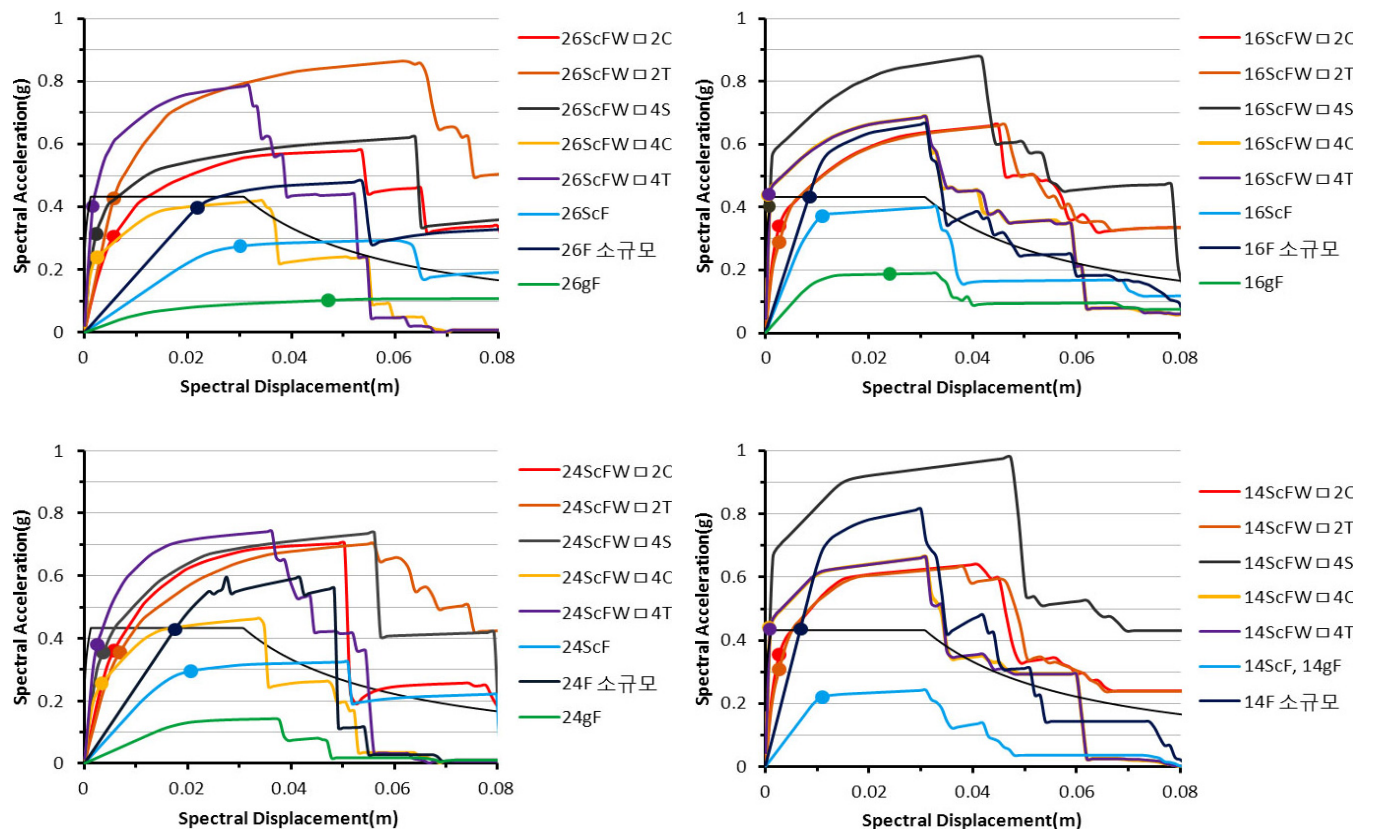


Fig. 6. Capacity curve and performance point of buildings with '□' type wall

소규모구조지침을 따른 골조는 층수 및 경간 길이에 관계없이 모두 요구 스펙트럼의 가속도 일정구간을 초과하고 있으며 성능점도 거의 탄성구간에 위치하고 있다. 이 결과는 소규모구조지침의 부재크기 및 배근량 규정을 감안하면 당연한 결과라 할 수 있다. 최대강도의 크기는 2층/6m 경간, 2층/4m 경간, 1층/6m 경간, 1층/4m 경간 순으로 증가하고 있다. 따라서 층수가 낮을 수록 경간이 작을수록 현 소규모구조지침의 부재 상세 규정은 완화할 수 있는 여지가 크다고 할 수 있다.

KBC 기준을 따른 골조는 반응수정계수가 3이므로 설계스펙트럼의 수준은 대략 0.14g 정도가 된다. 2층 건물의 성능 곡선은 최대강도가 대략 0.3g로 설계스펙트럼의 2배 정도이므로 공칭강도를 사용한 것을 감안하면 적절한 수준의 초과강도를 보이는 것으로 보인다. 반면 1층 건물은 6m 경간일 때는 2층에 비해 훨씬 더 큰 초과강도를 보이나 4m 경간일 때는 초과강도가 상대적으로 작으며 중력하중에만 설계된 것과 동일한 성능곡선을 보이고 있다. 성능점의 경우에는 건물이 선형에서 비선형으로 변화하는 시점 근처에서 형성되므로 KBC 기준을 따른다면 내진성능에 큰 문제가 없을 수 있다.

소규모구조지침과 KBC 기준을 따른 골조와 비교해서 중력하중에만 설계된 건물은 상대적으로 매우 낮은 최대강도를 보이고 있다. 1층 건물이 2층 건물에 비해 상대적으로 높은 최대강도를 보이긴 하나 여전히 낮은 수준이다. 2층 4m 경간의 건물을 제외하고는 성능점이 붕괴방지 수준을 만족하는 위치에 형성되므로 성능에 문제가 없다고 볼 수도 있으나 비내진상세, 시공 정밀도의 부족 및 지진의 불확실성을 고려하면 과도하게 낮은 수준의 강도 능력은 건물의 안전성에 위협이 될 수 있다. 따라서 일정 수준의 안전을 없이 중력하중만을 저항할 수 있는 1층 또는 2층 골조 건물은 주요 구조부재의 크기 또는 배근량의 증가나 횡하중 저항능력이 탁월한 벽체의 추가가 필요할 것으로 보인다.

벽체가 골조와 함께 있을 때는 이미 기술한대로 KBC 기준에 따라 반응수정계수 5를 사용하여 벽체를 설계하였고, 골조는 중력하중에만 저항하는 것으로 설계하였다. 결국 앞 단락에서 언급한 중력하중에만 저항하는 골조에 여러 가지 형태 및 위치를 가진 벽체들이 추가된 것이다. 그렇다면 벽체들이 지진력에 저항하도록 설계되었으므로 이들의 강도능력은 중력하중만을 저항하는 골조와 지진력에 저항하는 벽체의 능력을 합한 것이 되어야 한다. 하지만 Fig. 4에서 Fig. 6의 결과를 살펴보면 반드시 그렇지는 않은 것으로 나타났다. 여기에는 벽체의 형상과 평면상의 위치가 영향을 미친 것으로 보이며(벽체와 골조의 최대강도 발현 시점 차이도 포함), 자세한 고찰은 다음 절에 제시하였다. 그럼에도 불구하고 벽체가 있을 때의 강도는 몇몇 경우를 제외하고 대부분 요구스펙트럼의 가속도 일정구간을 초과하였다. 성능점도 대부분 탄성구간에 위치하여 내진성능에 큰 문제가 없는 것으로 보인다. 따라서 벽체가 있을 경우에는 부재 상세를 보다 완화할 수 있는 가능성이 있으며, 다음 절에 제시한 일부 사항에 유의한다면 소규모건축물에서 벽체의 역할이 매우 클 것으로 보인다.

5.2 벽체의 형상 및 위치에 따른 비교

앞서 골조와 벽체가 함께 있을 때는 건물의 성능이 요구스펙트럼을 초과하여 내진성능 확보에 큰 문제가 없는 것으로 기술하였다. 이는 대부분의 경우 사실이나 벽체의 형상 및 위치에 따라 성능에 약간의 차이가 있는 것으로 나타났다. 형상에 의한 영향은 직사각형 형태의 벽체가 단독(‘—’자형)일 경

우, 두 개가 수직으로 만나는 경우(‘L’자형) 및 네 개가 하나의 코어를 형성하는 경우(‘口’자형)로 구분하여 조사하였다. 벽체의 역할(플랜지 또는 웨브)에 따른 성능 차이가 발생한다. 위치의 영향은 벽체가 평면의 한 쪽에 치우쳐 위치한 경우 지진에 의한 횡력 작용 시 발생하는 추가적인 인장력 또는 압축력이 벽체의 모멘트강도를 변화시키는 것이다. 이 두 가지 요인이 서로 결합하여 전체적인 건물의 성능에 영향을 미치게 된다.

지진이 발생하기 전에 수직부재는 평소애 작용하고 있는 중력하중을 지지하기 위해 축 압축력을 받고 있다. 만약 지진력이 Fig. 3의 평면에서 왼쪽 으로부터 오른쪽으로 작용한다고 가정하면 벽체가 평면의 왼쪽에 위치할 때는 인장력이 추가되고 오른쪽에 위치할 때는 압축력이 추가된다. 이 때 약간의 압축력 추가는 벽체의 축력-모멘트 상관곡선에서 모멘트강도를 증가시켜 성능을 강화하는 역할을 한다. 물론 과도한 압축력의 추가는 모멘트강도 뿐만 아니라 벽체단면을 압축지배로 이동시켜 성능의 약화를 가져올 수 있다. 만약 과도한 인장력이 추가되어 벽체의 축력이 인장력으로 바뀌면 벽체의 모멘트강도는 급격히 감소하고 이는 성능의 저하를 초래한다. 결국 중력 하중 및 지진하중에 의한 영향의 조합이 어떻게 나타나느냐가 관건이다. 그 영향은 벽체의 형상 및 위치에 따라 조금씩 달라진다.

5.2.1 ‘—’자형 벽체일 때

먼저 가장 일반적인 ‘—’자형 벽체가 있을 때를 살펴보겠다. 벽체가 평면의 왼쪽에 위치한 경우(예: 26ScFW—1T 또는 26ScFW—2T) 횡력에 의해서 약간의 인장력이 발생하여 성능점 수준에서 압축력이 감소하나 그 양은 그리 크지 않았고, 평면의 오른쪽에 위치한 경우(예: 26ScFW—1C 또는 26ScFW—2C) 약간의 압축력이 추가되나 그 양은 그리 크지 않았다. 결과적으로 ‘—’자벽일 때는 벽체가 어느 위치에 있는지 중력하중과 횡력의 의한 조합의 결과가 압축력이 되어 벽체 자신의 내진성능을 발휘하는데 전혀 문제가 없었다. 추가되는 인장력 또는 압축력의 양은 중력하중과 지진하중의 상대적 크기 및 건물의 세장비 등에 영향을 받는다. 본 연구의 대상인 소규모건축물인 경우 층수가 낮아 중력하중에 의해 발생하는 수직부재의 압축력은 크지 않고, 세장비가 크지 않으므로 지진하중에 의해 발생하는 추가적인 인장력 또는 압축력도 크지 않아 이와 같은 결과를 나타낸 것으로 판단된다.

이와 같이 성능에 큰 문제는 없으나 벽체가 지진하중 방향에 대칭(예: 26ScFW—2T 또는 26ScFW—2C) 또는 비대칭(예: 26ScFW—1T 또는 26ScFW—1C)으로 위치하는 경우, 평면의 양쪽(예: 26ScFW—2S 또는 26ScFW—4S) 또는 한쪽(예: 26ScFW—2C 또는 26ScFW—1T)에만 위치하는 경우에 따라 약간의 차이를 보였다. 더불어 층수(1층 또는 2층) 및 경간(4m 및 6m)에 따라라도 약간의 차이를 보였다. 일견 벽체의 수가 증가하면 성능, 특히 강도 면에서 골조만 있을 때보다 더 클 것으로 생각할 수 있으나 반드시 그렇지는 않았다.

먼저 2층 6m 경간의 건물에 대해서 살펴보겠다. Fig. 4에서 26ScFW—1T 및 26ScFW—1C와 26ScFW—2T 및 26ScFW—2C의 차이를 보면, 전자는 후자에 비해 최대강도 발현 시기가 느리나 그 크기는 더 클 수 있다. 이러한 결과의 원인은 골조와 벽체의 항복 강도 발현 시점의 차이에 기인한다. 후자(2T 또는 2C)는 벽체의 양이 전자(1T 또는 1C)보다 2배가 많아 대부분의 횡하중이 벽체에 집중되어 아주 초기에 항복함으로써 상대적으로 느리게 증가하는 골조의 강도가 더해지지 않았다. 반면 전자는 후자에 비

해 벽체의 양이 1/2로 상대적으로 적어 벽체와 골조의 강도가 서로 더해질 가능성이 크다. 결국 전자의 성능곡선은 골조의 형태를 보이면서 강도는 후자에 비해 높게 나타났다. 평면의 양쪽(예: 26ScFW-2S 또는 26ScFW-4S)에 위치하는 경우는 벽체가 2개(26ScFW-2T 및 26ScFW-2C)가 있는 경우와 큰 차이가 없었다. 이러한 결과는 층수와 경간이 달라지면서 약간의 차이를 보인다.

2층 6m 경간일 때보다 1층 6m 경간일 때의 강성이 더 크게 나타나며 파괴되는 시점 또한 2층보다 먼저 파괴가 되는 것을 알 수 있다. 1층일 때는 2층일 때보다 중력하중에 의한 압축력이 작아 모멘트 강도가 2층일 때보다 작게 나타나며, 이로 인해 2층일 때보다 1층일 때 더욱 빨리 항복하는 것을 알 수 있다. 유사한 현상으로 동일한 층수일 때 경간 길이에 따라 서로 차이가 있다. 4m 및 6m 경간일 때 모두 벽체가 압축력을 받지만 4m 경간일 때는 6m 경간일 때보다 영향면적이 작으므로 압축력 또한 상대적으로 작다. 상대적으로 작은 압축력은 상대적으로 작은 모멘트강도로 나타나 4m 경간의 항복 시점이 6m보다 빠르다. 따라서 2층 건물에 적합하도록 설계된 벽체를 1층 건물에 사용한다면 과도한 강성으로 하중이 집중되고 항복시점이 매우 빨라 낮은 수준의 변위에서 이른 시점에 소성구간으로 진입할 가능성이 크다. 이 경우 요구연성도가 과도하게 나타나 내진성능에 악영향을 미칠 가능성이 크다. 소규모건축물의 벽체에 대한 기준을 수립할 때는 이점을 반드시 고려할 필요가 있다.

5.2.2 'L'자형 벽체일 때

'L'자형 벽체일 경우에는 'I'자형 벽체와는 달리 횡력에 대한 벽체의 역할(플랜지 또는 웹)에 따라 성능이 다르다. 예를 들어 벽체가 평면의 왼쪽에 비대칭으로 위치하고 있는 26ScFW-1T와 26ScFW-L1T를 비교해 보겠다. 앞 절에서 언급한대로 26ScFW-1T는 횡력에 의해 인장력을 받게 된다. 26ScFW-L1T의 경우에는 횡력 방향에 수직인 벽체는 플랜지, 평행인 벽체는 웹의 역할을 하여, 플랜지 역할을 하는 벽체가 인장력의 대부분을 저항하고 웹 역할을 하는 벽체는 압축력을 받게 된다. 이번에는 벽체가 평면의 오른쪽에 비대칭으로 위치하고 있는 26ScFW-1C와 26ScFW-L1C를 비교해 보겠다. 왼쪽에 위치했을 때와 반대로 26ScFW-1C는 횡력에 의해 압축력을 받게 된다. 26ScFW-L1C의 경우에는 플랜지 역할을 하는 벽체가 압축력의 대부분을 저항하고 웹 역할을 하는 벽체는 인장력을 받게 된다. 이러한 'L'자형 벽체의 구조로 인해 평면에서 오른쪽에 위치한 벽체가 왼쪽에 위치한 벽체보다 강도가 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 그 원인은 이미 언급한대로 수직 벽체의 모멘트강도는 축력-모멘트 상관관계에 의해 영향을 받기 때문이다. 축력의 크기가 크지 않다고 가정하면 일반적으로 압축력의 증가는 모멘트강도의 증가로, 압축력의 감소는 모멘트강도의 감소로 나타난다. 이러한 현상에 의해 오른쪽에 위치한 웹 벽체는 추가적인 인장력으로 인해 모멘트강도가 감소하는 반면 왼쪽에 위치한 웹 벽체는 추가적인 압축력으로 인해 모멘트강도가 상승한다. 지진하중은 한 방향으로만 작용하지 않고 양 방향으로 작용하므로 벽체가 평면에서 한 쪽에만 위치했을 때는 위 두 거동을 모두 경험하게 된다. 즉, 지진하중의 방향에 따라 한 방향으로는 강도가 증가했다가 다른 방향으로는 강도가 감소하게 된다. 따라서 'L'자형 벽체일 경우에는 평면에서 한 쪽에만 위치하는 것보다 양 쪽에 대칭으로 위치하는 것이 지진하중을 저항하는데 상대적으로 유리할 것으로

보인다.

'I'자형 벽체와 유사하게 'L'자형 벽체일 때도 지진하중 방향으로 대칭(예: 26ScFW-L2T 또는 26ScFW-L2C)인지 비대칭(예: 26ScFW-L1T 또는 26ScFW-L1C)인지, 또는 평면의 양쪽(예: 26ScFW-L2S 또는 26ScFW-L4S)에 위치하는 지에 따라 차이를 보이고 있으며, 그 정도는 'L'자형 벽체일 때가 'I'자형 벽체일 때보다 더 컸다. 앞서 언급한대로 'L'자형 벽체일 때는 'C'보다 'T'가 유리한데, 'T'의 경우에 '1T'와 '2T'의 성능곡선에서 강성은 다르나 최대강도는 유사한 반면, 'C'의 경우에는 '1C'와 '2C'의 성능곡선이 큰 차이를 보였다. 'C'의 경우 웹이 인장력을 받아 모멘트강도의 저하가 큰데 '2C'의 경우에는 벽체로의 횡하중 집중이 '1C'보다 더 심해 결과적으로 인장력과 그로 인한 강도의 감소가 더욱 심화되었다. Fig. 5에서 빨간색 선들이 '2C'의 성능곡선을 나타내고 있는데 다른 성능곡선들에 비해 강도와 변형 능력이 낮음을 알 수 있다. 성능점도 거의 붕괴직전(26ScFW-L2C)에 위치할 때도 있다. '2S'와 '4S'의 경우는 'I'자형 벽체일 때와 동일하게 '2S'의 최대강도가 '4S'보다 더 크게 나타났다. 이유는 'I'자형 벽체일 때와 동일하다. 이 결과로부터 'L'자형 벽체를 사용한다면 한 쪽으로 치우치면서 벽체의 양이 증가할수록 성능은 저하되므로 평면의 양 쪽에 대칭으로 위치시키면서 벽체의 양을 감소시키는 것이 가장 유리할 것으로 판단된다.

5.2.3 '□'자형 벽체일 때

'□'자형 벽체일 때는 기본적으로 벽체의 양이 많아 Fig. 6에서 볼 수 있듯이 대부분의 성능곡선이 요구스펙트럼을 크게 초과하고 있다. 따라서 평면에서의 위치에 관계없이 내진성능에는 큰 문제가 없을 것으로 판단된다. 다만 2층 6m 경간일 때는 'L'자 벽체일 때와 비슷하게 평면의 오른쪽에 벽체가 위치했을 때 왼쪽에 위치했을 때보다 강도가 낮게 나타났다. 그 이유는 성능점에서 벽체의 축력을 확인한 결과 왼쪽에 위치한 벽체의 경우 플랜지에서만 인장력이 발생하고 나머지 웹과 반대편 플랜지에서는 압축력이 발생하였으나 오른쪽에 위치한 벽체의 경우 플랜지뿐만 아니라 웹에서도 인장력이 발생하여 모멘트 강도가 감소했기 때문이다. 평면의 오른쪽에 위치한 경우 중에서도 '2C'보다는 '4C'가 상대적으로 가장 낮은 최대강도를 보였다. 그 이유는 앞서 'I'자 및 'L'자 벽체일 때와 동일하다. 이러한 현상은 2층 4m 경간일 때와 마찬가지로이다.

앞 단락에서 언급한 경우를 제외하면 평면상의 위치(오른쪽 또는 왼쪽)에 관계없이 비슷한 성능을 보였다. 물론 여전히 오른쪽에 위치할 때가 왼쪽보다 약간 감소된 강도를 보이고 있긴 하다. 결과적으로는 '□'자 벽체의 경우 2층 6m 경간과 벽체의 위치가 대칭일 때를 제외하면 위치에 관계없이 비슷한 성능을 보인다. 따라서 'L'자형 벽체일 때와 마찬가지로 '□'자 벽체의 경우도 평면에서 양 쪽에 대칭으로 위치하면서 동시에 벽체의 양을 감소시키는 것이 과도한 압축력 또는 인장력이 벽체에 발생하는 것을 방지하여 유리할 것으로 보인다.

5.2.4 해석 결과 요약

골조만으로 구성된 소규모건축물은 KBC 기준을 따라 보통모멘트골조로 설계할 경우 적절한 내진성능을 보이나, 소규모구조지침을 따를 경우 강도

면에서 과다설계가 될 가능성이 높으며, 중력하중에만 저항할 수 있는 수준의 강도로는 내진성능을 확보하지 못하는 것으로 나타났다. 만약 이러한 골조에 벽체가 함께 거동한다면 벽체의 양을 많이 확보하지 않더라도 충분히 내진성능을 확보할 수 있는 것으로 나타났다. 다만 벽체의 형상이나 위치에 따라 내진성능은 약간의 차이를 보였다.

일반적인 직사각형 형태의 벽체가 단독(즉, '—'자형 벽체)으로 골조 사이에 있을 때는 횡력에 의한 축력의 증가이 크지 않아(소규모건축물로 층수가 낮기 때문) 건물의 내진성능은 벽체의 위치에 크게 구애받지 않았다. 단, 벽량이 많을 때는 과도한 강성으로 인한 하중 집중으로 골조와의 시너지효과가 나타나지 않았고 최대강도는 오히려 감소하였다. 따라서 벽체의 양은 적절한 수준으로의 조절이 필요한 것으로 보인다. 적절한 벽체의 양과 더불어 지진하중 방향에 대칭으로 위치한다면 더욱 견고한 내진성능을 보일 것이다.

'L'자형 벽체는 '—'자형 벽체가 서로 수직으로 만나 형성된 것이다. 벽체가 건물의 구석에서 양방향으로 벽체가 존재한다면 'L'자형이 될 가능성이 높다. 'L'자형은 지진하중에 저항할 때 개별 '—'자형 벽체가 횡하중에 대해 각각 플랜지 또는 웹 역할을 하게 된다. 따라서 'L'자형 벽체는 '—'자형 벽체가 개별적으로 위치했을 때보다 매우 큰 강성을 나타낸다. 또한 '—'자형 벽체일 때보다 단부의 면적이 크게 증가하였으므로 횡력에 의한 모멘트에 저항할 때 더욱 유리하다. 이런 이유로 대부분의 예제 건물에서 최대강도가 탄성요구강도를 초과하였다. 단, 과도한 강성은 하중의 집중을 가져와 평면의 한쪽에만 위치한 'L'자형 벽체의 경우 플랜지 역할 벽체에 압축력, 웹 역할 벽체에 인장력이 발생하여 내진성능에 오히려 불리한 결과를 초래할 수도 있다. 따라서 'L'자형 벽체도 횡하중 방향에 대칭으로 위치하면서 과도한 플랜지 압축력 및 웹 인장력이 발생하지 않도록 벽량을 조절한다면 적절한 내진성능을 확보할 수 있을 것이다.

'□'자형 벽체는 고층 건물의 코어와 유사하게 '—'자형 벽체가 사방으로 위치한 것이다. '□'자형 벽체는 'L'자형 벽체가 서로 마주보고 있는 형태이므로 '□'자형 벽체 하나는 각각 두 개의 플랜지 및 웹 역할 벽체를 포함한다. 따라서 동일한 벽체 양이라면 '□'자형 벽체가 '—'자형 벽체를 포함하여 'L'자형 벽체보다 횡력 저항에 훨씬 유리하다. 해석결과에서도 최대강도의 크기가 이를 증명하고 있다. 단, 여기서도 'L'자형 벽체와 동일하게 과도한 강성으로 인한 하중 집중의 문제가 존재한다. '□'자형 벽체는 그 형태로 인해 동일한 벽량이라도 매우 큰 강성을 보인다. 큰 강성은 하중 집중으로 이어져 플랜지 역할 벽체에 압축력, 웹 역할 벽체에 인장력이 발생할 수도 있다. 이 경우 전체적인 건물의 내진성능에는 큰 문제가 없더라도 효율성의 측면에서는 불리하게 된다. 결론적으로 '□'자형 벽체도 'L'자형 벽체와 같이 횡하중 방향에 대칭으로 위치시키면서 벽량을 조절한다면 매우 효율적으로 내진성능을 확보할 수 있을 것으로 보인다.

층수 및 경간에 따른 강도 및 강성의 변화 경향은 '—'자형 벽체와 'L'자형 벽체가 유사하였다. 층수가 낮을수록 경간이 짧을수록 강성이 커졌으며, 벽체의 양이 증가할수록 강성은 증가하였으나 최대강도는 골조와의 시너지효과로 오히려 감소하였다. '□'자형 벽체의 경우는 강성과 강도가 매우 커서 층수와 경간에 따른 차이를 명확히 정의하기는 어려웠다. 만약 '□'자형 벽체의 크기와 배근을 축소한다면 'L'자형 벽체일 때와 유사한 거동을 보일 것으로 예상된다. 따라서 벽체 형상 및 위치뿐만 아니라 층수 및 경간도 함께 고려하여 소규모구조기준을 작성해야 할 것으로 보인다.

6. 결론

소규모건물을 골조만 있을 때와 골조와 벽체가 함께 있을 때로 구분하고 층수 및 경간, 벽체의 형상 및 위치에 변화를 주어 설계한 후 비선형정적푸시 오버해석을 통해 내진성능을 조사하였다. 이를 통해 소규모 철근콘크리트 건축물의 구조지침 개정 방향에 대해 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

- 1) 골조가 단독으로 있을 때와 골조와 벽체가 함께 있는 경우를 분리해서 접근한다.
- 2) 골조가 단독으로 있을 때 보 및 기둥의 크기 및 배근량은 층수 및 경간에 따라 결정하며, 현 KBC 기준과 소규모구조지침의 중간 수준이 적절하다.
- 3) 골조와 벽체가 함께 있을 때 보 및 기둥의 크기 및 배근량은 구조안정성을 해치지 않는 범위 내에서 최소한으로 정한다.
- 4) 골조와 벽체가 함께 있을 때 벽체의 크기 및 배근량은 건물의 층수 및 경간, 벽체의 형상 및 위치에 따라 결정한다. 이때 벽체는 기급적 적은 벽량으로 하중 방향에 대해 대칭으로 위치한다.

위와 같은 결론을 도출하는 과정에서 두 가지 미흡한 사항을 언급하고자 한다. 먼저 구조해석을 위해 사용한 프로그램인 MIDAS GEN[5]의 벽체해석에 대한 신뢰성 부분이다. 이 프로그램의 벽체 해석, 특히 본 연구의 'L' 및 '□'와 같은 형태의 벽체에 대한 비선형해석은 정확한 결과를 산출할 수 있다고 말하기 어렵다. 그 다음은 성능점 산정에 사용한 역량스펙트럼법[4]이다. 이 방법은 소규모건축물과 같은 단주기 건물에서는 신뢰성이 낮은 것으로 알려져 있다. 이를 개선하기 위해 FEMA440[8]이 제안되었으나 단주기 건물의 성능점은 여전히 편차가 크다. 따라서 보다 정확한 해석 결과를 얻기 위해서는 벽체 비선형모델과 이를 해석할 수 있는 프로그램의 선택이 중요하다. 더불어 국내 소규모건축물의 정확한 변위 요구 수준을 알기 위해서는 비선형동적해석의 수행이 반드시 필요할 것으로 보인다. 이러한 문제를 해결해야 보다 정확한 결과를 얻을 수 있으며, 새로 작성될 소규모건축물 구조지침의 신뢰도가 보다 더 높게 될 것이다.

앞으로 계속 추진할 연구 내용은 층수 및 경간, 골조 단독 및 골조와 벽체, 벽체의 형상 및 위치, 벽량 등을 보다 세분화하여 성능을 분석한 후 사양기반 소규모건축물 구조지침 작성을 위한 기본적인 틀을 만드는 것이다. 이러한 틀은 구조해석 없이 설계를 진행한 소규모건축물의 성능이 요구수준을 미달하거나 과도하게 초과하지 않도록 제어할 수 있는 기초가 될 것이다.

/ 감사의 글 /

본 연구는 국토교통부 도시건축 연구개발사업의 연구비지원(13AUDP-B066083-01)에 의해 수행되었습니다.

/ REFERENCES /

1. KBC2009, Korean building code—structural, Seoul, Korea: Architectural Institute of Korea; c2009, p.772.

2. ICC, 2012 International residential code, Washington, D. C.: International Code Council; c2011, p. 904.
3. KSEA, Structural design criteria and commentary for one and two story small buildings, Seoul, Korea: Korean Structural Engineers Association; c2012, p.69.
4. ATC40, Seismic evaluation and retrofit of concrete building, Redwood city, CA: Applied Technology Council; 1996.
5. MIDAS GEN User's Manual, ver 785, MIDAS IT; c2010.
6. KISC, Guidelines for seismic performance evaluation and rehabilitation of existing buildings, Kyeonggi-do, Korea: Korea Infrastructure Safety Corporation; c2013, p.120.
7. Kim TW, Min CG, Analytical Study of the Effect of Full and Partial Masonry Infills on the Seismic Performance of School Buildings, Earthquake Engineering Society of Korea, 2013 Sep;17(5):197-207.
8. FEMA440, Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures, Washington, D. C.: Federal Emergency Management Agency; c2005.