

# 고층 주거용 건물에 대한 횡력저항성능 해석

## Analyses for Lateral Load-Resisting Capabilities of Residential Tall Buildings



김재요\*



최미미\*\*



윤장근\*\*\*



강수민\*\*\*

\* 광운대학교 건축공학과 부교수  
 \*\* 광운대학교 대학원 건축공학과 석사과정  
 \*\*\* 대림산업 기술개발원 건축연구지원팀 과장

### 1. 서론

고층건물은 일반건물에 비해 높고 세장하다는 기본적인 특징이 있다. 따라서, 큰 중력하중에 저항하기 위해 기둥 등의 수직부재에 고강도 재료가 사용될 뿐만 아니라, 바람과 지진 등의 큰 횡하중에 저항하기 위한 특별한 횡력저항시스템(lateral load resisting system)이 필요하다. 특히, 건물의 높이가 높아짐에 따라, 횡력저항시스템에 포함되는 구조 부재들은 중력하중보다 횡하중에 의해 구조설계가 지배되는 경우가 빈번하게 발생한다. 일반적으로, 고층 건물의 초기 계획단계에서부터, 풍하중의 작용에 대한 효과적인 횡변위 제어를 위하여 기둥 및 벽체 등의 위치를 조절하거나, 아웃리거 및 가새, 메가 부재 등의 중력하중 조절에 사용되지 않던 새로운 구조 부재들을 이용한 횡력저항시스템을 적용한다.

건물 높이가 증가하고 설계기술의 발전에 따라 새로운 횡력저항시스템이 제안되고 적용되어 왔으며, 근래에는 여러 구조시스템이 복합적으로 사용되는 경우가 많다. 고층 건물의 횡력저항시스템은 크게 아웃리거시스템, 튜브시스템, 메가시스템 등으로 분류할 수 있으나, 본 기사의 대상인 60층 규모의 주거용 건물에 대해서 튜브시스템과 메가

시스템은 횡력저항부재의 배치 등을 고려할 때 적절하지 않은 횡력저항시스템이며, 코어전단벽을 기반으로 하는 아웃리거시스템이 적절하다고 할 수 있다.

본 기사에서는 철근콘크리트 전단벽이 적용된 60층 규모의 주거용 건물에 대하여 초기설계단계에서 횡력저항시스템의 구조성능을 평가할 수 있는 해석법을 고찰하고, 횡력저항 부재의 배치에 따른 횡력저항성능을 분석한다.

### 2. 횡력저항해석 모델링

#### 2.1 유효강성 적용

철근콘크리트 구조물은 콘크리트의 균열로 인하여 강성저하가 발생하며, 이는 부재들간의 하중 분배 및 부재의 변형 등에 영향을 준다. 특히, 고층건물의 횡력저항성능은 횡방향 변위 기준(풍하중에 의한 최대 횡변위, 지진하중에 의한 층간변위비 등)에 지배받는 경우가 많으므로, 콘크리트 균열에 의한 강성저하를 횡력저항해석에 적절하게 반영할 수 있어야 한다. 콘크리트 균열 발생 등의 비탄성 효과를 고려하여 구조 거동을 정밀하게 예측할 수 있는 비선형 해석 기법을 적용할 수 있으나, 구조설계 및 현장시공 기술지

표 1 횡력저항해석을 위한 유효강성(단면2차모멘트)

작용 하중	유효단면2차모멘트			적용 대상
	기둥 비균열벽체	보 균열벽체	플랫 플레이트 플랫 슬래브	
사용하중	$I_g$	$0.50 I_g$	$0.35 I_g$	· 풍하중에 의한 횡변위 검토
설계하중	$0.70 I_g$	$0.35 I_g$	$0.25 I_g$	· 지진하중에 의한 층간변위 검토 및 단면 설계

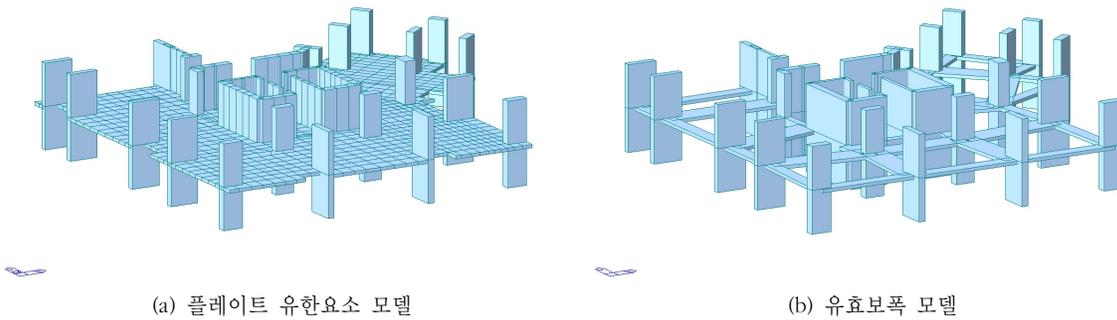


그림 1 무량판 슬래브 모델링

원을 담당하는 실무 엔지니어의 입장에서 비선형해석 프로그램은 익숙하지 않은 해석도구이며, 재료 성질 및 단면 특성 등이 확정되지 않은 초기 설계단계에서 비선형해석 프로그램을 사용하는 것은 효율성이 떨어진다. 따라서, 실무 엔지니어가 쉽게 사용할 수 있는 범용 선형해석 프로그램을 이용하여 콘크리트 균열 효과를 적절히 반영하여 횡력저항 해석을 수행할 수 있는 방안이 적용되어야 한다.

국내의 콘크리트 구조기준<sup>1,2)</sup>은 콘크리트 구조시스템에서 항복 또는 항복을 초과한 경우에 사용되는 유효강성을 제시하고 있으며, 이를 사용하면 합리적인 변형 값을 추정할 수 있다. 콘크리트 구조시스템의 안정성(stability) 해석에 사용하기 위하여, 부재 종류별로 설계하중에 의한 골조 횡변위 산정시 적용할 수 있는 유효강성을 제시하고 있으며, 사용하중(비계수하중)에 대한 횡변위를 산정하는 경우에는 설계하중에 대한 휨강성에 1.4배를 적용하도록 하고 있다. 따라서, 단면설계 혹은 횡변위 검토 등의 목적에 따라 적절한 부재 휨강성을 적용하여 구조해석을 수행하여야 하며, 국내의 구조기준에서 제시하는 내용을 요약하면 표 1과 같다. 풍하중에 의한 최대 횡변위 검토(H/500 미만)를 위해서는 사용하중 조건에 대한 휨강성을 적용하며, 극한하중인 지진하중에 의한 층간변위비 검토시에는 설계하중 조건에 대한 휨강성을 적용하여야 한다.

## 2.2 슬래브 모델링

RC 무량판(플랫 플레이트 또는 플랫 슬래브) 구조는 기

둥 또는 벽체가 슬래브를 직접 지지하므로, 시공성 향상 및 층고 감소에 따른 골조 및 설비 공사비 절감을 기대할 수 있으며, 향후 리모델링에 유리한 구조이므로 주거용 건물에 대한 적용이 크게 증가하고 있다. 무량판 구조는 보가 없어 휨성능이 저하되므로, 횡하중에 저항하는 횡력저항능이 구조설계의 지배적인 조건이 될 수 있으므로, 무량판 슬래브의 구조성능을 적절히 반영하여 골조의 횡력저항 거동을 합리적으로 해석할 수 있어야 하겠다.

일반적으로, 보-기둥 시스템에서는 보에 비해 슬래브의 휨강성이 매우 작으므로, 슬래브를 구조해석 모델링에서 제외하고 구조해석 프로그램에서 제공하는 “다이아프램” 옵션을 선택하여 슬래브의 효과를 반영한다. 다이아프램 옵션이란 슬래브 위치에 강성이 매우 큰 부재가 위치하여, 연결 절점들의 면내 이동 및 회전이 서로 종속되도록 해석하는 기법이다. 다이아프램을 설정할 경우, 면외 이동 및 회전에 대한 구속을 제공하지 않으므로, 횡변위에 대한 슬래브의 직접적인 휨강성이 없는 것으로 해석된다.

골조의 횡력저항해석에 무량판 구조의 휨강성을 가장 정확히 반영하는 방법은 슬래브를 플레이트 요소로 직접 모델링하는 방법이다(그림 1(a)). 그러나 기둥 및 벽체를 구성하는 절점들을 연결하면서 유사한 크기의 유한요소를 형성하기 위해서는 많은 수의 절점과 요소가 추가됨으로써 해석의 복잡성 및 소요시간이 증가한다. 일반적으로 횡력저항 기여도가 큰 부재(아웃리저 및 벨트 부재)를 연결하므로 휨강도가 중요한 역할을 하는 아웃리저층에 대해서만 슬래브를 플레이트 유한요소로 모델링하고, 일반층의 무량판

슬래브는 유효보로 모델링하는 방법이 많이 사용된다. 유효보 모델에서는 기둥의 전달 모멘트가 슬래브에 직접 전달되는 것을 가정하여, 두께는 무량판 슬래브와 동일하도록 적용하고, 무량판 슬래브의 일부만 유효한 것으로 가정하여 동일 휨강성을 유지할 수 있도록 유효보의 폭을 정의하여 무량판 슬래브를 유효보 요소로 모델링하여 구조해석을 수행한다(그림 1(b)).

탄성 유효보폭 제안 식<sup>3,5)</sup>은 작용 횡하중의 크기가 작아 무량판 슬래브에 균열이 발생하지 않는 콘크리트의 탄성 상태를 대상으로 하고 있다. 대부분의 제안식들은 하중에 평행한 방향으로의 무량판 경간 길이( $l_1$ ), 직교 방향으로의 무량판 경간 길이( $l_2$ ), 하중에 평행한 방향으로의(슬래브 스패에 평행한) 기둥면의 폭( $c_1$ ), 직교 방향으로의(슬래브 스패에 직교하는) 기둥면의 폭( $c_2$ ) 등을 이용하여 유효보폭을 정의하였다. 그러나 유효보폭 산정을 위해 적용하는 횡하중에 평행하거나 직교인 방향으로의 무량판 경간 길이는 기둥이 정형(직교) 배치된 경우에는 명확하게 정의될 수 있으나, 기둥이 불규칙적으로 배치되고 다양한 형태의 슬래브가 배치될 경우에는 적용의 불명확성이 크다. 따라서, 기둥이 직교로 배치되지 않은 골조의 초기 횡력저항해석/설계에는 기둥의 폭과 슬래브 두께만으로 유효보폭의 길이를 산정하는 식<sup>6)</sup>이 보다 적합할 수 있다:

$$\text{정방향 유효보폭} : C_2 + 3t \tag{1}$$

$$\text{장방향 유효보폭} : \frac{C_1 + C_2}{2} + 3t \tag{2}$$

여기서,  $c_1$  : 슬래브 스패에 평행한 기둥면의 폭,  $c_2$  : 슬래브 스패에 직교하는 기둥면의 폭,  $t$  : 슬래브 두께이다.

유효보폭 모델에서 슬래브의 균열을 고려하지 않을 경우, 슬래브의 실제 강성을 과대평가하여 슬래브에 분배되는 모멘트가 실제보다 증가할 수 있고, 전체 골조의 횡변위는 과소평가될 수 있다. 균열에 의해 슬래브의 휨강성이 감소하는 현상을 해석모델에 반영하기 위한 여러 연구들이 진행되어 왔다<sup>7-10)</sup>. 기존 연구는 크게 계수 산정식을 이용하여 다양한 변수효과에 의해 감소된 강성을 구하는 방법과 계수 1/3 또는 1/4 등의 일정값을 사용하여 강성의 하한치를 제공하는 방법으로 구분할 수 있다. 여러 변수들을 적용하는 계수 산정식은 작용하중 및 횡변위 크기에 따른 건물의 거동 분석이 가능하나, 초기 설계단계에서의 적용에는 부적합할 수 있다. 횡력저항시스템 설계를 위한 횡력저항 해석을 수행하는 초기 설계단계에는 특정 상수값으로 정의되는 강성감소계수를 적용하는 것이 보다 실용적이다. 고

층 건물의 횡력저항시스템 설계는 주로 풍하중에 대한 횡력저항 성능으로 검토되며, 일반적으로 최대 횡변위가 건물높이의 1/500이 되도록 제어된다. 무량판 유효보폭 모델에 대한 기존연구들<sup>7-9)</sup>에서, 풍하중 횡변위 제한값  $H/500$ 에 해당하는 횡변위비(층간변위비) 0.2%에 대해서 강성감소계수 1/3이 제안되어 왔다. 이는 구조설계기준에서 플랫플레이트/플랫슬래브에 대한 사용하중 상태의 유효강성계수 0.35와 유사한 값으로서, 횡력저항해석에 적용하기에 적합한 것으로 판단할 수 있다.

### 2.3 슬래브 모델링 효과

무량판 구조가 사용된 고층 주거용 건물에 대해서 슬래브를 모델링하는 기법에 따른 횡력저항해석 결과를 분석하기 위하여, 3차원 해석모델을 구성하였다. 이는 기존의 30층 규모 주거용 건물의 평면(그림 2)을 적용하여 건물의 높이를 60층으로 확장한 가상의 건물이다.

슬래브 모델링 효과 분석을 위하여, 다이아프램 모델, 플레이트 모델, 유효보 모델의 3가지 해석모델을 구성하였다(그림 3). 다이아프램 모델(그림 3(a))은 일반적인 보-기둥 시스템을 모델링할 때와 같이 슬래브를 모델링하지 않고 구조해석 소프트웨어가 제공하는 다이아프램 옵션만을 적용한 모델이다. 이 경우, 무량판 슬래브의 면내 강성은 무한 강성이 적용되지만, 면외 강성은 없는 것으로 해석이 수행된다. 모델링 과정이 간편하며 해석시간을 단축시킬 수 있으나, 골조의 횡변위에 대한 무량판 슬래브의 휨강성이

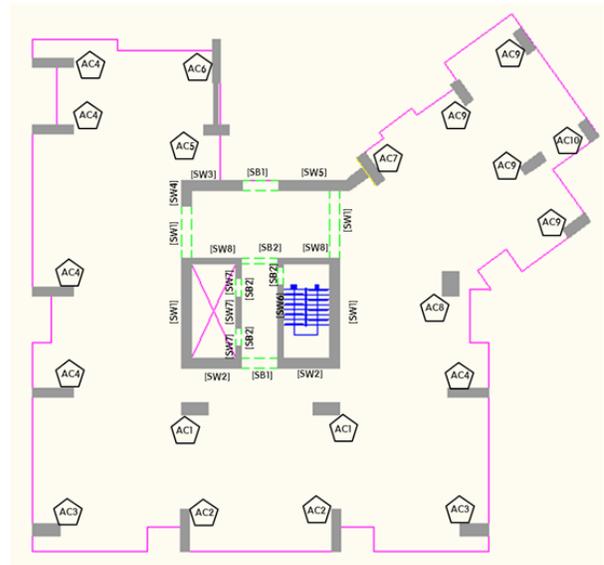


그림 2 슬래브 모델링 분석 모델의 평면

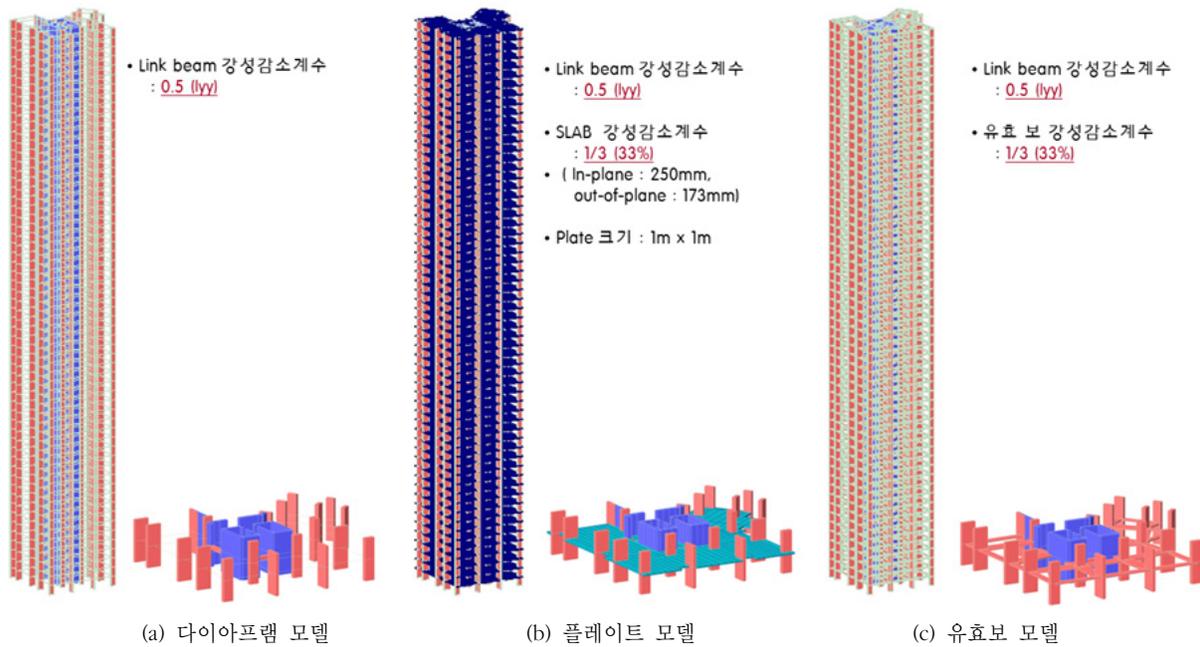


그림 3 무량판 슬래브 모델링 효과 분석 모델

표 2 슬래브 분석 모델에 사용된 절점 및 요소 수

해석 모델	해석 모델 구성 요소				
	절점 수	요소 수			
		Beam	Plate	Wall	Total
다이하프램 모델	2562	3480	-	1140	4620
플레이트 모델	56175	2160	50280	3120	55560
유효보 모델	2562	3480	-	1140	4620

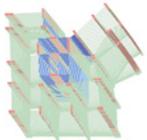
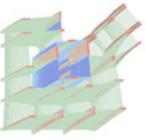
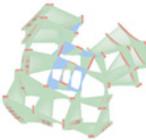
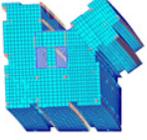
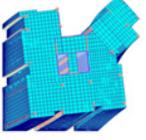
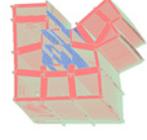
포함되지 않으므로, 골조의 횡력저항성능을 과소평가하여 횡변위가 실제보다 크게 산정된다. 또한, 무량판 슬래브에 대한 바닥하중을 입력하기 위해서는 기둥과 기둥 또는 기둥과 벽체 사이에 강성이 없는 더미보(dummy beam)를 모델링하여야 한다.

플레이트 모델(그림 3(b))은 무량판 슬래브를 플레이트 요소로 모델링함으로써, 슬래브를 실제와 동일하게 모델링하였다. 슬래브의 실제 거동 및 강성을 그대로 횡력저항해석에 모델링할 수 있으나, 기둥과 벽체의 위치 등을 고려한 절점 배치 및 플레이트 요소 분할 등의 슬래브 모델링 과정이 복잡하다. 특히, 기둥과 벽체가 정형적으로 배치되지 않은 경우 플레이트 요소 생성이 난해하고, 4절점 플레이트 요소와 3절점 플레이트 요소가 혼용될 수 있으며, 평면의 요철이 발생하거나 기둥의 비정형적으로 배치된 구간에서 슬래브 요소가 불규칙적으로 분할된다. 플레이트 요소의 크기를 크게 할수록 비정형 형상에 따른 슬래브 요소의 불규칙성이 커지고, 플레이트 요소의 크기를 작게 할수록 불

규칙성을 감소시킬 수 있으나 구조해석 모델을 구성하는 절점 및 요소의 수가 크게 증가하여 해석시간을 증가시킬 수 있다. 표 2는 각 해석 모델을 구성하는 절점 및 요소의 수를 요약하고 있다. 대상 모델에서 슬래브를 1m × 1m의 크기를 기본으로 하는 플레이트 요소로 모델링할 경우, 다른 해석모델들에 비하여 절점 수는 약 22배로, 요소 수는 약 12배로 증가하였음을 확인할 수 있다. 절점과 요소의 수 증가는 증가 수치만큼의 모델링 구성의 복잡성과 해석시간의 증가로 이어지게 된다.

유효보 모델(그림 3(c))은 무량판 슬래브를 유효보로 모델링한 해석모델이다. 유효보의 폭은 식 (1) 및 (2)의 계산식<sup>6)</sup>을 적용하였다. 모델링 수행과정 및 해석시간의 측면에서, 다이하프램 모델과 동일한 수준으로 모델링을 단순화할 수 있으면서, 무량판 슬래브의 휨강성을 횡력저항해석에 반영할 수 있다. 모든 해석모델들은 설계 풍하중에 대한 횡력저항성능 검토를 위한 해석이 수행되므로, 표 1의 사용하중에 대한 유효강성이 적용되었으며, 플레이트 모델과

표 3 슬래브 분석 모델의 고유치해석 결과

해석모델	Mode 1		Mode 2		Mode 3	
다이아프램 모델		12.5 SEC DX : 21.57 % DY : 42.33 %		10.8 SEC DX : 41.80 % DY : 21.70 %		5.5 SEC RZ : 75.45 %
플레이트 모델		10.1 SEC DX : 28.41 % DY : 38.20 %		9.6 SEC DX : 36.88 % DY : 27.55 %		5.8 SEC RZ : 74.37 %
유효보 모델		11.0 SEC DX : 29.48 % DY : 35.86 %		9.9 SEC DX : 34.86 % DY : 29.28 %		5.6 SEC RZ : 74.68 %

유효보 모델에서 무량판 요소의 강성감소계수는 1/3이 적용되었다. 슬래브 모델링 방법에 따른 횡력저항성능 비교 분석을 위하여, 고유치해석 결과의 고유주기 및 고유모드를 분석하였다.

표 3은 무량판 슬래브 모델링 방법에 따른 각 해석모델의 고유치 해석결과(1~3차 모드)를 요약하고 있다. 일반적으로 초기설계 단계에서 고유치 해석결과를 통하여 횡력저항시스템의 횡력저항성능을 검토한다. 1차주기 값이 클수록 유연한 구조물이고, 1차주기 값이 작을수록 횡력저항성능이 높은 구조물로 평가할 수 있다. 또한, 고유형상을 통하여, 횡력저항시스템의 약축/강축 방향을 판별하거나 횡력저항성능의 수직 분포를 분석함으로써 취약 부위를 보강할 수 있다.

모든 해석모델에서 X방향과 Y방향으로 조합된 방향으로 1차 모드가 발생하였으며, 2차 모드는 이와 직교한 방향으로, 3차 모드는 비틀림 형상이 발생하였다. 각 고유모드별로, 플레이트 모델의 고유주기에 비하여 유효보 모델의 고유주기는 최대 10% 미만의 차이를, 다이아프램 모델은 최대 25% 미만의 차이를 보였다. 횡력저항성능은 플레이트 모델에 비하여 다이아프램 모델에서 지나치게 과소평가되었던 것으로 평가할 수 있다. 이에 비해, 유효보 모델은 유효보를 통해 무량판 슬래브의 휨강성을 반영함으로써 횡력저항성능의 차이가 크지 않았다. 1,2차 고유모드에 대해서, 플레이트 모델과 유효보 모델 결과의 각 방향별 질량 참여율이 매우 유사하나, 다이아프램 모델의 각 방향별 질량 참여율은 다소 상이하다. 이는 횡력저항거동의 차이를 의미하며, 다이아프램 모델은 슬래브의 면외 휨강성을 무시함으로써, 중심 코어 벽체와 기동식 무량판 구조를 적용한 고

층 건물의 횡력저항거동을 나타내기에는 부적합하다고 평가할 수 있다.

### 3. 횡력저항시스템에 따른 횡변위 제어 효과

60층 주거용 건물에 대하여 구조 요소에 대한 주요 변수가 횡력저항성능에 미치는 영향을 분석하였다. 기둥 및 벽체 배치 측면에서 주거용 평면에 적합한 고층 횡력저항시스템인 전단벽-아웃리저 구조를 대상으로 주요 횡력저항성능 변수들에 대하여 횡력저항해석을 통한 변수연구를 수행하였다.

대상 건물은 “2.3 슬래브 모델링 효과”에서 슬래브 모델링 방법에 따른 횡력저항해석 결과 분석을 위해 사용되었던 60층 주거용 고층건물(그림 2)을 기본모델로 하였다. 기본 층고는 3.3m로 가정하여 건물의 총 높이는 198m이며 건물의 세장비는 7 이상이다. 횡력저항시스템에 대한 변수로는 벨트월(Belt Wall)과 아웃리저(Outrigger)의 적용 유무, 코어 벽체(Core Wall)의 두께 변경을 선정하였는데, 이는 주거형 평면의 레이아웃을 변경하지 않는 범위에서 구조적인 요소의 변경만을 변수연구의 범위로 설정한 것이다. 그림 4는 아웃리저와 벨트월 설치 유무에 따른 아웃리저층 해석모델을 제시하고 있는데, 아웃리저와 벨트월의 두께는 모두 코어벽체 두께와 동일한 600mm를 적용하였다. 일반적으로 아웃리저나 벨트월은 설비나 계획적인 측면을 고려하여 결정되는 기계실층에 설치되며, 본 기사에서는 건물 중간 높이에 1개 층 규모의 기계실층이 설치되는 것으로 가정하여 30층에 아웃리저와 벨트월을 배치하였다. 기본모델에서 코어벽체의 두께는 600mm이며, 코어벽체 두께 증

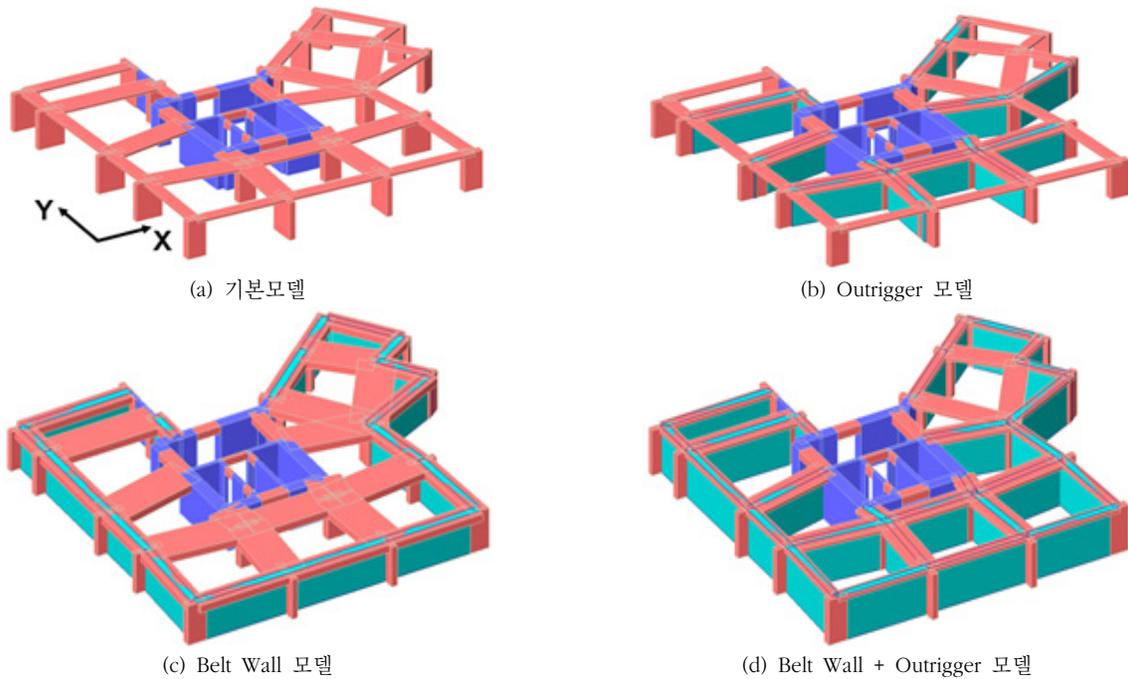


그림 4 횡력저항시스템 변수연구 모델

표 4 횡력저항시스템 변수연구 모델

변수 모델	코어벽체 두께 (mm)		아웃리거 두께 (mm)	벨트월 두께 (mm)
	X방향	Y방향		
Model 1 - 기본모델	600	600	-	-
Model 2 - Belt wall	600	600	-	600
Model 3 - Outrigger	600	600	600	-
Model 4 - Belt wall + Outrigger	600	600	600	600
Model 5 - Core wall THK	900	1100	-	-
Model 6 - Belt wall + Core wall THK	900	1100	-	600
Model 7 - Outrigger + Core wall THK	900	1100	600	-
Model 8 - Belt wall + Outrigger + Core wall THK	900	1100	600	600

가에 따른 횡력저항성능 변화를 분석하기 위하여 코어벽체를 증가시켜 횡력저항해석을 수행하였다. 이 때, 약축인 Y축방향의 코어벽체 두께는 1,100mm로, 강축인 X축방향의 벽체 두께는 900mm로 증가시켰다.

표 4는 횡력저항시스템 변수연구에 사용된 8개의 해석모델들의 횡력저항부재의 설치 유무 및 벽체 두께를 요약하고 있다. 벽체 및 기둥에 사용된 콘크리트는 전 층에 대하여 C60( $f_{ck}=60\text{MPa}$ )을 적용하였으며, 슬래브는 C21( $f_{ck}=21\text{MPa}$ ) 콘크리트를 적용하여 두께 250mm로 모델링하였다. 횡력저항성능 검토를 위한 풍하중은 건축구조기준(KBC2009)<sup>11)</sup>에서 제시하는 풍하중을 적용하였다. 각 모델별로 모든 조건이 동일하며, 기본풍속 30m/s, 노풍도 B, 중요도계수 1.1을 적용하였고, 가스트 영향계수는 각 모델별로 고유치 해석을 수행하여 풍하중 작용방향별 기본 진동수를 적용하여

산정하였다. 모든 해석모델들은 설계 풍하중에 대한 횡변위 검토를 위한 해석이 수행되므로, 사용하중에 대한 유효강성이 적용되었고, 무량판 슬래브는 유효보로 모델링되었으며, 유효보에 대한 강성감소계수는 1/3이 적용되었다.

표 5는 횡력저항시스템 변수모델 해석결과를 요약하여 제시하고 있다. 고유치 해석 결과, 모든 변수모델들에서 1차/2차 모드로 X/Y방향 변형이, 3차 모드로 Z방향 회전이 발생하였다. 중심형 코어 시스템을 적용함으로써, 골조의 비틀림에 취약하지 않은 것으로 평가할 수 있다. 횡력저항부재(아웃리거 and/or 벨트월)를 추가하거나 코어 벽체 두께를 증가하는 경우 고유주기 값이 작아졌으며, 이를 통해 횡력저항성능의 향상을 확인할 수 있다. 기본모델에서는 1차/2차 모드에서 X방향과 Y방향의 변형이 혼합된 고유모드 결과가 얻어졌으나, 아웃리거나 벨트월을 추가한 해석모델에

표 5 횡력저항시스템 변수모델 해석 결과

변수 모델	고유주기 (Sec)		횡변위(m)	
	Dx	Dy	Wx	Wy
Model 1 - 기본모델	9.89 (100.0%)	10.99 (100.00%)	1.357 (100.0%)	1.827(100.0%)
Model 2 - Belt wall	7.27 (73.51%)	7.57 (68.88%)	0.637(46.94%)	0.930(50.90%)
Model 3 - Outrigger	7.24 (73.21%)	7.54 (68.61%)	0.605(44.58%)	0.996(54.52%)
Model 4 - Belt wall + Outrigger	6.85 (69.26%)	7.36 (66.97%)	0.550(40.53%)	0.889(48.66%)
Model 5 - Core wall THK	8.46 (85.54%)	9.54 (86.981%)	0.872(64.26%)	1.269(69.46%)
Model 6 - Belt wall + Core wall THK	6.32 (63.90%)	6.79 (61.78%)	0.434(31.98%)	0.684(37.44%)
Model 7 - Outrigger + Core wall THK	6.21 (62.79%)	6.94 (63.15%)	0.412 (30.36%)	0.734(40.18%)
Model 8 - Belt wall + Outrigger + Core wall THK	5.94 (60.06%)	6.58 (59.87%)	0.371(27.34%)	0.654(35.80%)

서는 1차모드에서 약축방향(Y방향)으로, 2차모드에서 강축방향(X방향)으로의 변형이 뚜렷하게 구별되어 발생하였다. 이는 아웃리거와 벨트월 부재들이 대부분 X/Y축에 직교하는 방향으로 배치되어 있어, X축 또는 Y축 방향으로의 독립적인 거동이 더욱 지배적으로 작용한 것으로 판단된다.

표 5는 설계 풍하중에 의해 발생하는 횡변위 결과를 함께 제시하고 있다. 일반적으로 고층 건물의 횡력저항설계는 설계 풍하중에 대한 최대 횡변위가  $H(\text{건물높이})/500$  이내로 제어되도록 횡력저항시스템의 결정과 횡력저항부재의 배치 및 크기 결정을 수행한다. 본 기사의 변수연구 해석모델들은 아직 횡력저항설계가 진행되지 않았으므로, 최대횡변위가  $H/500$ 를 크게 넘어서고 있다. 그러나 횡력저항부재의 변경에 따른 횡력저항성능 비교라는 변수연구 목적을 감안할 때, 설계 풍하중에 대한 최대 횡변위값의 상대적인 비교만으로도 횡력저항시스템의 횡력저항성능을 평가하고 비교하기에 충분하다.

변수모델별 횡력저항해석 결과를 종합적으로 분석하면, 기본모델(Model 1)과 비교할 때, 벨트월을 추가(Model 2)하거나 아웃리거를 추가(Model 3)할 경우 횡력저항성능이 향상되었으며, 향상 정도는 유사하였다. 아웃리거와 벨트월을 함께 추가(Model 4)할 경우, 횡력저항성능이 증가하나 아웃리거와 벨트월을 각각 추가한 Model 2 & 3에 비해 성능 향상이 다소 증가한 정도였다. 코어 벽체의 두께를 증가시킨 Model 5의 경우, 기본모델(Model 1)에 비해 횡력저항성능이 향상되었으나, Model 2~3에 비해서는 향상 정도가 작았다. 코어벽체의 두께 증가와 함께 아웃리거 and/or 벨트월을 추가한 경우(Model 6~8)의 횡력저항성능 향상 정도가 가장 컸다.

#### 4. 맺음말

고층 건물은 일반 건물에 비하여 높고 세장하여, 바람 등의 횡하중에 의한 구조적인 영향이 크므로 횡하중에 저항하

기 위한 횡력저항구조시스템이 요구된다. 60층 규모의 탑상형 기동식 주거용 건물에 대하여 횡력저항해석 모델링을 위한 주요 가정사항을 분석하고, 횡력저항시스템에 대한 변수연구를 통해 횡력저항성능에 대한 분석을 수행하였다.

고층 건물의 횡력저항성능은 횡하중에 의한 횡변위에 의해 지배되는 경우가 많으므로, 작용 하중 및 적용 부재의 성능에 따라 적절한 유효강성을 적용하여 골조의 횡력저항 거동을 합리적으로 예측할 수 있어야 한다. 탑상형 주거 건물에 일반적으로 사용되는 무량판 슬래브의 모델링 방법이 횡력저항해석 결과에 미치는 영향을 분석하기 위하여, 60층 규모의 프로토타입 모델에 대한 횡력저항해석을 수행하였다. 무량판 슬래브를 플레이트 요소로 모델링할 경우, 슬래브의 구조적 거동 및 횡력저항 기여 성능을 가장 정확히 반영할 수 있을 것으로 기대할 수 있지만, 모델링 구성의 복잡성과 해석시간의 증가를 유발할 수 있으므로 무량판 슬래브의 휨강성이 골조 전체의 횡력저항성능에 기여도가 큰 부분에 국부적으로 적용하는 것이 바람직하다. 무량판 슬래브를 모델링에 포함하지 않을 경우, 슬래브의 휨강성을 고려하지 않으므로 골조의 횡력저항 성능 및 거동이 슬래브를 모델링한 경우와 많은 차이를 유발하였다. 따라서, 고층 건물의 횡력저항해석에서 슬래브를 모델링에 포함하지 않고 면내 다이아프램 작용만을 반영하는 것은 적절하지 않다. 골조의 횡력저항 거동에 무량판 슬래브의 일부 폭만 유효하다고 가정하여 슬래브를 유효보로 모델링하는 경우, 모델링 구성이 단순하고 해석모델을 구성하는 절점과 요소 수가 적음에도 불구하고 횡력저항해석 결과는 슬래브를 플레이트 요소로 직접 모델링하는 경우와 오차가 크지 않았다. 따라서, 해석모델의 단순화와 해석결과의 정확성을 종합적으로 판단할 때, 고층건물의 횡력저항해석을 위해서는 무량판 슬래브를 유효보로 단순화하여 모델링하는 것이 효율적이라 할 수 있다.

60층 주거용 모델에 대하여 횡력저항시스템을 구성하는 기동 및 벽체의 배치에 따른 횡력저항성능을 분석하기 위

하여 아웃리거/벨트월 유무 및 코어벽체 두께를 변수로 하는 변수연구를 수행하였다. 총 8개의 변수 모델을 구성하여 고유주기 및 고유형상에 대한 비교와 설계 풍하중에 의한 횡변위 비교를 통해 횡력저항성능을 분석하였다. 해석결과들에 대한 분석 결과, 코어벽체를 증가시키는 것보다 아웃리거나 벨트월을 설치하는 경우의 횡력저항성능 향상이 컸으며, 아웃리거와 벨트월을 함께 설치하여 얻게 되는 시너지 효과는 크지 않았다. 코어벽체 두께 증가와 아웃리거/벨트월 설치를 함께 하는 경우의 횡력저항성능 증가 효과가 가장 컸으나, 주거형 건물에서의 횡력저항부재의 배치는 구조적인 성능뿐만 아니라 계획적인 측면에서의 영향을 함께 고려하여 결정되어야 할 것이다.

### 참고 문헌

1. ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-11), American Concrete Institute, 2011.
2. 한국콘크리트학회, 콘크리트구조기준, 기문당, 2012.
3. Luo, Y. H. and Durrani, A. J., "Equivalent Beam Model for Flat-Slab Buildings - art I : Interior Connection", *ACI Structural Journal*, Vol.92, No.1, 1995, pp.115-124.
4. Luo, Y. H. and Durrani, A. J., "Equivalent Beam Model for Flat-Slab Buildings - art II : Exterior Connection", *ACI Structural Journal*, Vol.92, No.2, 1995, pp.250-257
5. Hwang, S. J., and Moehle, J. P., "Models for Laterally Loaded Slab-Column Frames", *ACI Structural Journal*, Vol.97, No.2, 2000, pp.345-352.
6. 이영욱, 김정웅, "단순등가보 모델에 의한 플랫 플레이트 구조물의 해석", 대한건축학회논문집(구조계), Vol.19, No.11, 2003, pp.57-64.
7. Vanderbilt, M.D., and Corley, W. G., "Frame Analysis of Concrete Buildings", *Concrete International : Design & Construction*, Vol.5, No.12, 1983, pp.33-43.
8. Moehle, J. P., and Diebold, J. W., "Lateral Load Response of Flat Plate Frame", *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol.111, No.10, 1985, pp.2149-2165.
9. Pan, A. P., and Moehle, J. P., "An Experimental Study of Slab-Column Connections", *ACI Structural Journal*, Vol.89, No.6, 1992, pp.626-638.
10. Grossman, J. S., "Verification of Proposed Design Methodologies for Effective Width of Slabs in Slab-Column Frames", *ACI Structural Journal*, Vol.94, No.2, 1997, pp.181-196.
11. 대한건축학회, 건축구조기준 및 해설, KBC 2009, 기문당, 2009. 

[담당 : 윤길호 편집위원]