

중층 규모 철근콘크리트 주거형 건물의 시공 중 구조성능 분석

고준영¹, 김재요^{2*}

Analyses of Structural Performances for Reinforced Concrete Middle-Rise Residential Building under Construction

Jun-Young Ko¹, Jae-Yo Kim^{2*}

Abstract : Middle-rise reinforced concrete residential buildings account for a large portion of the Korea, and structural performance analysis are needed for problems that could occur during the construction of such buildings. Thus, a middle-rise reinforced concrete residential building with 25 stories are selected as a sample model for structural performance analysis. The structural analyses are performed by dividing a sample model into the construction stage models of the 5th, 10th, 15th, 20th and 25th floors and the completion stage models with the design completed. For the comparisons of structural performances, Eigenvalue analysis results and lateral-load-resisting capabilities and structural design performances of structural members are analyzed. As a result of analyses, it was confirmed that both the construction and completion stage do not exceed KBC criteria limits at the lateral displacement and story drift ratio, and structural design performances of structural members confirm structural safety in all components except for some members of the wall. Therefore, it was concluded that if structural stability is obtained during the completion stage of a middle-rise reinforced concrete residential building, structural stability is secured under construction.

Keywords : Reinforced Concrete, Construction Sequence Analysis, Structural Performances, Residential Building

1. 서 론

현재 널리 보급된 중층 규모의 철근콘크리트 주거형 건물은 국내에서 많은 비중을 차지한다. 지진하중의 지배적인 영향을 받을 수 있는 중층 규모의 건물은 횡력저항 성능을 확보하기 위해서 휨과괴형 내진요소와 전단파괴형 내진요소 등과 같이 서로 다른 역학적인 특성을 가지는 내진요소를 추가함으로써 내진성을 향상시킨다. 그러나 이러한 횡력저항 요소가 완성되어 있지 않은 시공단계에서는 건물의 횡력저항 성능이 완전히 발휘되지 않을 수 있다.

또한, 시공 중에는 설계단계에서 설정한 건물의 용도와 다르게 사용될 수 있다. 건물의 시공 작업시 인력, 장비, 가설물, 적재물 등이 건물 내부 공간을 점유하여, 설계단계에서 고려하지 못한 하중이 작용할 수 있다. 따라서 시공단계에 적합한 하중조건을 반영하여 검토가 수행될 필요가 있다. 추가로 시공 중에는 콘크리트 재령에 따라 설계기준강도와 강성이 완전히 발휘되지 않는 부재가 존재할 수 있다. 이러한 부재의 존

재는 하중분배와 같은 구조 안정성에 영향을 끼칠 수 있다 (Jayasinghe and Jayasena, 2004). 따라서 실제 시공단계를 고려한 하중 및 해석 조건을 설계단계와 다르게 설정해야 한다 (Kwak and Kim, 2006; Eom and Kim, 2009; Choe et al, 2013; Hwang and Kim, 2015; Kim, 2016).

기존의 연구들(Hwang and Kim, 2015; Kim, 2016)에서는 초고층 철근콘크리트 주거형 건물을 대상으로 구조성능을 검토한 결과 완공단계에서 구조적 안정성이 확보된다면 시공단계에서도 충분한 구조성능이 확보됨을 확인하였다. 그러나, 기존 연구들은 풍하중의 지배적인 영향을 받는 초고층 건물의 경우가 대부분이며, 지진하중이 지배적인 상황이 될 수 있는 중층 규모의 건물에 대한 시공단계에서의 구조성능 분석 연구는 수행되지 않았다.

이 연구에서는 앞서 기술한 사항들을 종합하여, 중층 규모의 철근콘크리트 주거형 건물 사례를 대상으로 시공 과정에서 발생 될 수 있는 문제점을 고려한 구조성능 분석을 수행하였다. 25층 규모의 중층 철근콘크리트 건물을 예제건물로 선정하여 시공 과정에 적용되는 중력하중 및 시공 활하중을 고려하고, 풍하중 및 지진하중을 적합한 시공조건에 따라 적용하였다. 또한 해석모델을 골조의 진행 상황을 고려해 단계별로 나누어 구성하고 횡하중에 대한 안정성 분석과 단면성능 분석을 바탕으로 완공된 모델과의 구조성능을 비교·분석하였

¹학생회원, 광운대학교 건축공학과 학사과정

²정회원, 광운대학교 건축공학과 교수

*Corresponding author: kimjyo@kw.ac.kr

Dept. Architectural Engineering, Kwangwoon University, Seoul, 01897, Korea

• 본 논문에 대한 토의를 2019년 10월 1일까지 학회로 보내주시면 2019년 11월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

다. 이 연구를 통해, 중층 철근콘크리트 공동주택 건물의 시공 단계에서의 구조성능 분석을 위한 검토 항목 및 과정에 대한 구체적인 가이드라인을 제시하고자 한다.

2. 해석조건

2.1 예제 모델

이 연구에서 사용된 예제모델은 25층의 중층 철근콘크리트 공동주택 건물이다. 공동주택에 주로 쓰이는 내력벽 구조로, 1~25층까지의 높이는 2.8m이 적용되어 건물의 평균 높이는 70m이다. 벽체의 경우 위치별로 벽체 두께를 구분하였으며 내벽의 벽체 두께는 180mm, 코어벽의 벽체 두께는 200mm, 축벽의 벽체 두께는 200mm, 1층에 위치한 벽체는 250mm이다. 슬래브 두께의 경우 단위세대는 210mm, 계단실과 복도는 150mm로 적용하였다. 콘크리트 강도는 벽체, 기둥, 연결보 모두 21MPa를 적용하였다.

이와 같은 예제 모델에 대해서 범용구조해석 프로그램인 MIDAS-GEN (MIDAS, 2019)을 사용하여 구조해석을 수행하였다(Fig. 1). 시점별 구조성능 분석을 위해 5층, 10층, 15층, 20층, 25층의 시공단계 모델들을 만들어 골조의 완성도에 따라 분석을 진행하였다(Fig. 2). 벽체의 경우 Wall 요소, 기둥과 연결보의 경우 Beam 요소를 적용해 모델링하였다.

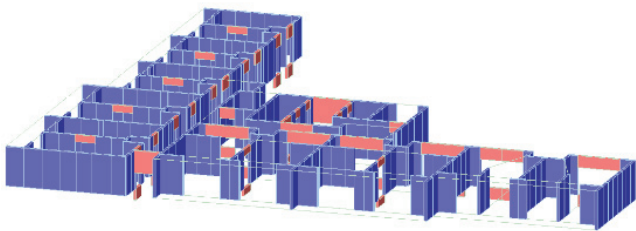


Fig. 1 Typical floor model

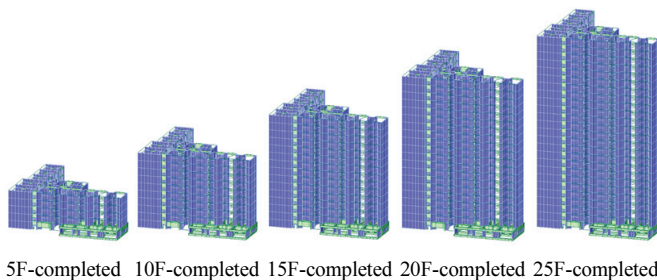


Fig. 2 Numerical models for construction stages

2.2 시공 조건

이 연구에서는 시공 조건을 가정해 연구모델에 적용하였

다. 1개 층의 골조 공사에 소요되는 시간을 5일로 가정하고, 해석의 단순화를 위해 1층에서 25층에 동일한 기간을 적용하였다. 마감은 골조 시공 후 5개층을 후행하여 시공하는 것으로 가정하였다. 시공단계 모델들에 있어서, 최상부 5개층은 골조 공사는 완료되었으나, 마감공사는 진행되지 않은 것으로 가정하였다.

콘크리트의 강도와 강성은 건축구조기준(Architectural Institution of Korea, 2016)에서 제시하는 식을 사용하였다. 골조가 시공되는 건물 상부 5개 층에 재령 5일, 15일, 20일, 25일의 압축강도와 강성을 적용하였고, 상부 5개층을 제외한 나머지 층은 재령 28일에 해당하는 압축강도와 강성을 적용하였다. 콘크리트의 균열에 의한 강성감소를 유효단면에 고려하기 위해 건축구조기준에서 제시하는 강성감소계수를 완공단계와 시공단계에 동일하게 적용하였다(Table 1). 지진하중에 의한 층간변위 검토와 단면설계에 설계하중의 조건을 적용하여 기둥, 벽체(비균열 벽체)에는 $0.7I_g$, 연결보에는 $0.35I_g$ 를 사용하였다. 풍하중에 의한 횡변위 검토에는 사용하중의 조건을 적용해 기둥, 벽체(비균열 벽체)에는 I_g , 연결보에 $0.5I_g$ 를 사용하였다. 고유치해석에는 강성감소계수를 적용하지 않은 I_g 를 사용하였다.

Table 1 Effective stiffness reduction of structural members

Applied Load	Moment of inertia of sections applied to structural analyses		Applications
	Columns Walls	Link beams	
Design load	$0.7 I_g$	$0.35 I_g$	Factored design load for member designs Seismic load for story drift
Service load	$1.0 I_g$	$0.5 I_g$	Wind load for lateral displacement

I_g : moment of inertia gross concrete section about centroidal axis, neglecting reinforcement

2.3 하중 조건

2.3.1 시공 중 설계 하중

시공 중 설계 하중은 ASCE 37-02(American Society of Civil Engineers, 2002)에서 제시하는 조건들을 적용하여 시공단계 모델의 구조성능 분석을 수행하였다. 건축구조기준에 제시된 하중 기준을 기반으로 하고, 시공단계에서 고려되는 사항들(ASCE 37-02)을 반영하여 하중 조건을 일부 조정하였다. 고정하중 및 풍하중, 지진하중과 함께 조합되는 시공 활하중의 경우에 하중조합계수 '0.5'를 적용하였다. 시공단계 및 완공단계의 활하중 저감계수는 '0.5'로 단순화하여 적용했으

Table 2 Load combinations

	Models during construction	Design model
LBC1	1.4D	1.4D
LBC2	1.2D + 1.6 (0.5CL)	1.2D + 1.6 (0.5L)
LBC3	1.2D + 1.3W _x + 0.5 (0.5CL)	1.2D + 1.3W _x + 0.5L
LBC4	1.2D + 1.3W _y + 0.5 (0.5CL)	1.2D + 1.3W _y + 0.5L
LBC5	1.2D - 1.3W _x + 0.5 (0.5CL)	1.2D - 1.3W _x + 0.5L
LBC6	1.2D - 1.3W _y + 0.5 (0.5CL)	1.2D - 1.3W _y + 0.5L
LBC7	1.2D + 1.3R _x + 0.5 (0.5CL)	1.2D + 1.3R _x + 0.5L
LBC8	1.2D + 1.3R _y + 0.5 (0.5CL)	1.2D + 1.3R _y + 0.5L
LBC9	1.2D - 1.3R _x + 0.5 (0.5CL)	1.2D - 1.3R _x + 0.5L
LBC10	1.2D - 1.3R _y + 0.5 (0.5CL)	1.2D - 1.3R _y + 0.5L
LBC11	0.9D + 1.3W _x	0.9D + 1.3W _x
LBC12	0.9D + 1.3W _y	0.9D + 1.3W _y
LBC13	0.9D - 1.3W _x	0.9D - 1.3W _x
LBC14	0.9D - 1.3W _y	0.9D - 1.3W _y
LBC15	0.9D + 1.3R _x	0.9D + 1.3R _x
LBC16	0.9D + 1.3R _y	0.9D + 1.3R _y
LBC17	0.9D - 1.3R _x	0.9D - 1.3R _x
LBC18	0.9D - 1.3R _y	0.9D - 1.3R _y

D : Dead load, L : Live load, CL : Construction load,
W_x, W_y : Wind load, Ex, Ey : Earthquake load

며, 이와 같은 사항들을 반영하여 Table 2와 같은 하중조합을 사용하였다.

ASCE 37-02에서 제시하는 시공 중 최소 설계하중을 적용했으며, 시공단계 해석모델들에 적용된 조건들은 기존연구 (Hwang and Kim, 2015; Kim, 2016)에 적용된 내용과 동일하며 구체적인 내용은 다음과 같다.

- ① 중력하중에는 시공 기간을 고려한 저감계수를 적용하지 않는다.
- ② 작업자 및 장비하중 등을 포함하는 시공 활하중에 활하중 저감계수를 적용한다.
- ③ 설계풍속은 시공 기간을 고려하여 기본 풍속을 저감하여 적용한다.
- ④ 풍하중과 지진하중에 대한 중요도계수는 모두 '1.0'을 적용한다.

중층 공동주택 건물의 경우 시공 기간이 일반적으로 2년으로 ASCE 37-02에서 제시하고 있는 기본풍속 저감계수인 '0.9'를 적용하였다.(Rowsky, 1995; Hwang and Kim, 2015)

2.3.2 예제 모델에 대한 하중 조건

1) 중력하중 및 시공활하중

완공단계 모델에는 Table 3과 같이 중력하중을 적용하였고, 시공단계 모델은 설계 활하중과 다른 시공 활하중을 마감하중의 적용 여부에 따라 적용하였다. 골조 및 마감 시공이 진행 중인 상부 5개 층에는 실제 시공과 유사하게 적용하기 위해 코어 외측과 코어 내측으로 구분해 하중을 각각 적용하였다. 코어 외측에는 건축공사표준시방서(Architectural Institution of Korea, 2015)에서 제시하는 콘크리트 타설시 최소 활하중인 2.5kN/m²을 적용하였고, 코어 내측은 시스템 거푸집, 타워크레인 등의 사용으로 인한 하중이 부가될 것을 고려하여 전동식 카트장비를 이용한 콘크리트 타설하중인 3.75kN/m²을 적용하였다. 나머지 하부층은 마감공사가 끝나 장비나 건설 인원의 출입이 거의 없다고 가정하여, 건축구조기준에서 제시하고 있는 최소활하중인 1.0kN/m²을 코어외측과 코어내측에 동일하게 적용하였다.

Table 3 Design floor loads

Location	Side	Load (kN / m ²)		
		DL	SDL	LL
Roof	Top	3.6	0.95	1.0
	2F	4.68	2.75	2.0
Typical floor	Room	5.04	1.36	2.0
	Corridor	5.04	1.67	2.0
Core		6.22	2.33	3.0

DL : Dead load (Self-weight) , LL : Live load
SDL : Superimposed dead load (including finishes, utilities)


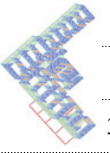
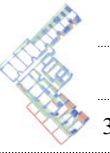

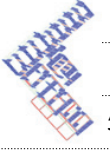
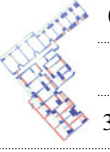
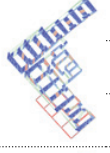
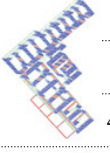
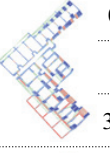
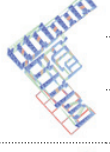
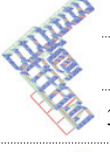
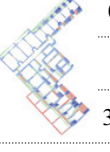
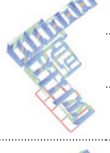
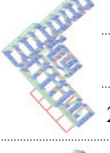

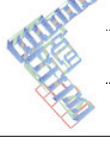
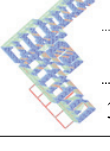

2) 풍하중 및 지진하중

국내 구조기준에 따라 풍하중 및 지진하중을 완공단계 모델에 적용하였고, 시공단계 모델에는 ASCE 37-02를 반영해 일부 조건들을 조정하였다.

풍하중의 경우, 완공단계 모델에는 기본풍속을 26m/sec로 가정하여 적용하였고 시공단계는 앞에서 제시한 기본풍속 저감계수 '0.9'를 반영한 23.4m/sec를 적용하였다. 완공단계에서 중요도계수 '1.1'을 적용했으며, 시공단계의 경우 ASCE 37-02에서 제시하는 중요도계수 '1.0'을 적용하였다. 지형계수는 완공단계와 시공단계 모두 '1.0'으로 동일하게 적용했으며, 가스트영향계수는 공진효과를 무시할 수 없는 건축물이라 가정하여, 각 해석모델에서 고유치해석을 통해 기본진동수를 구해 적용하였다.

지진하중의 경우 지역계수 0.176을 가정하여 사용했으며, 지반조건은 S_c로 가정하였다. 완공단계 모델은 5층 이상의 아파트로 하여 중요도계수 '1.2'를 적용, 시공단계의 경우 ASCE

Table 4 Result of modal analyses

Mode Model	1 ST Mode	2 nd mode	3 rd mode
Design	 1.76s Rz 47.8%	 1.33s Dy 33.2%	 1.07s Dx 39.1%
5F completed	 0.12s Dy 46.4%	 0.11s Dx 59.2%	 0.08s Rz 32.7%
10F completed	 0.35s Dy 33.8%	 0.29s Dx 47.0%	 0.25s Rz 30.3%
15F completed	 0.68s Rz 32.6%	 0.55s Dx 30.1%	 0.48s Dy 34.9%
20F completed	 1.12s Rz 41.5%	 0.88s Dy 24.3%	 0.74s Dx 36.1%
25F completed	 1.68s Rz 47.4%	 1.27s Dy 32.6%	 1.03s Dx 38.7%

37-02에서 제시하는 중요도계수 ‘1.0’을 적용하였다. 내진설계범주의 경우 ‘C’에 해당하여 정적해석법을 적용하였다. 지

진력 저항시스템은 완공단계에서 철근콘크리트 보통전단벽으로서 반응수정계수 ‘4’, 변위증폭계수 ‘4’를 적용하였다.

3. 시공 중 구조거동 분석

3.1 고유치해석

완공단계와 시공단계 모델의 구조거동 특성을 분석하기 위하여 고유치해석을 진행하여 고유주기, 고유모드 등을 확인하였다. Table 4는 예제모델의 고유치해석 결과로서, 각각의 모델에 대하여 1~3차 모드의 고유형상과 고유주기, 주방향 및 질량 참여율(Modal participate mass)을 제시하고 있다.

완공단계 모델의 경우, 최저차 모드에서 횡변위보다는 비틀림에 취약한 형상을 나타내고 있다. 5, 10층 시공단계 모델의 경우 Y축이 약축으로 판단되며, 15, 20, 25층 시공단계의 경우 횡방향의 변위보다는 비틀림에 취약한 형상을 나타내고 있다. 시공단계 모델의 경우 골조의 완성도가 높아짐에 따라 완공단계 모델의 고유치해석 결과와 유사해진다. 즉, 저층 시공단계의 구조체 거동 및 취약 특성은 설계단계의 완공 모델과는 차이가 발생할 수 있음을 확인할 수 있다.

3.2 횡하중에 의한 안정성 검토

Fig. 3은 풍하중에 대하여 완공단계와 시공단계 모델의 층하중, 층전단력, 전도모멘트를 검토한 결과이다. 시공단계에서 골조완성도가 높아짐에 따라 동일층에서의 층하중이 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 건물의 평균 높이의 증가로 인해 설계풍압이 증가했기 때문이다. 25층 시공단계 모델과 완공단계의 모델을 비교해보면, 완공단계보다 시공단계에서 층하중이 상당히 낮게 산정된 것을 볼 수 있다. 이는 앞에서 제시한

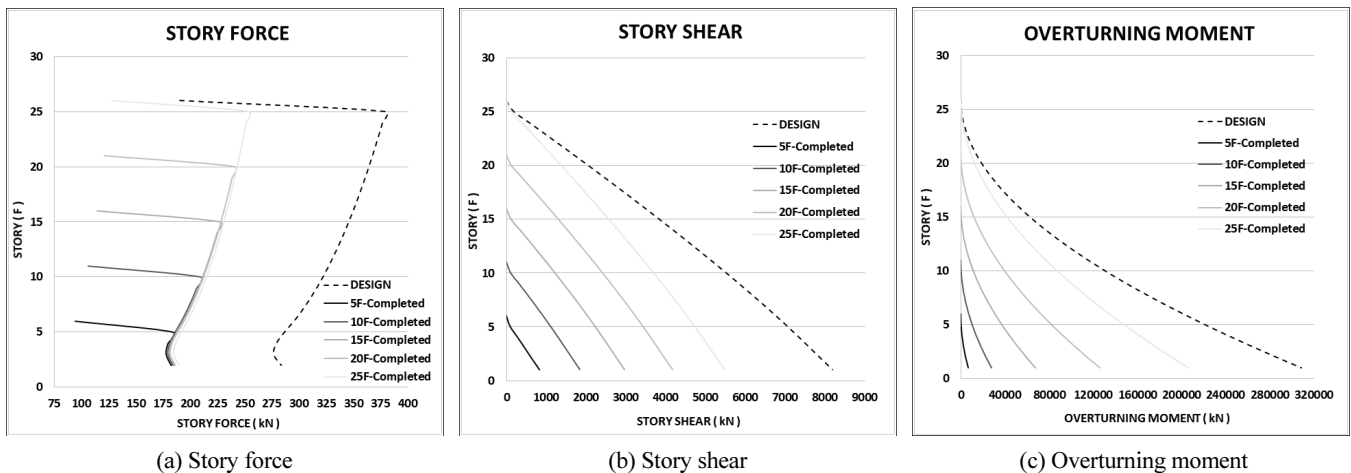


Fig. 3 Comparisons of wind load

Table 5 Lateral displacement ratio for wind load

Model	Height (m)	Displacement (mm)	Displacement ratio to height
Design	70	X-dir	40.17 H / 1743
		Y-dir	26.25 H / 2667
5F - completed	14	X-dir	0.1 H / 140000
		Y-dir	0.09 H / 162791
10F - completed	28	X-dir	0.82 H / 34146
		Y-dir	0.84 H / 33333
15F - completed	42	X-dir	3.76 H / 11170
		Y-dir	3.12 H / 13462
20F - completed	56	X-dir	11.12 H / 5036
		Y-dir	8.14 H / 6880
25F - completed	70	X-dir	26.6 H / 2105
		Y-dir	17.37 H / 3224

ASCE 37-02의 풍하중 조건에 따라 기본풍속과 중요도계수의 저감때문으로 분석된다.

Table 5는 각 예제모델에 대해서 풍하중에 의한 최대 횡변위의 건물 높이에 대한 비율을 나타내고 있다. 골조의 높이가 낮을수록 횡변위가 작음을 보이며, 25층 시공단계 모델의 경우 완공단계와 비교시 횡변위의 차이를 보였는데, 이는 층하중의 결과처럼 기본풍속과 중요도계수의 저감의 이유로 해석된다. 완공단계와 시공단계 모두 건축구조기준의 변위 제한을 초과하지 않고 있으며, 결과적으로 완공단계에서 풍하중에 대한 구조적 안정성이 검증된다면 시공단계에서도 풍하중에 의한 구조적인 문제가 없다고 분석할 수 있다.

지진하중에 대해서도 Fig. 4와 같이 층하중과 층전단력, 전도모멘트를 검토하였다. 동일층에서의 층 지진하중(Fig. 4 a)을 비교하면, 5~15층 시공단계에서의 층 지진하중이 20~25

층 시공단계와 완공단계의 층 지진하중보다 큰 것을 확인할 수 있다. 이는 나머지 예제모델들보다 5~15층 시공단계 모델에서의 고유주기에 따른 응답가속도의 값이 크기 때문이다. 그러나, 상부층으로부터 하중이 누적되어 산정되는 층전단력(Fig. 4 b)과 전도모멘트(Fig. 4 c)의 경우, 시공이 진행될수록 상층부로부터 누적된 하중이 증가됨에 따라 완공단계에 가까울수록 층전단력과 전도모멘트가 증가하는 경향을 보였다. 다만, 일부 저층 구간에서는 완공단계에서 가까울수록 층전단력 및 전도모멘트가 감소하는 현상을 관찰할 수 있었다.

각 시공단계별 지진하중에 의한 층간변위비 비교는 Fig. 5와 같다. 25층 시공단계 모델의 층간 변위비는 완공단계 모델의 층간변위비보다 다소 큰 것으로 확인되었으며, 저층 시공단계에서는 완공단계보다 층간변위비가 현저하게 작다는 것을 확인할 수 있다. 완공단계 모델은 내진등급 'I' 로서 허용 층간변위비 '0.015'를 초과하지 않고 있어 충분히 안전한 수준으로 판단되며, 결과적으로 완공단계에서 구조적 안정성이 확보된다면 시공단계의 구조성능 확보에 문제가 없다는 것을 의미한다. 다만, 완공단계에서 층간변위비의 여유가 충분하지 않을 경우 시공단계에서 허용 층간변위비를 초과하는 경우가 생길 수 있다.

4. 시공 중 단면성능 분석

Table 2의 하중조합을 적용하여 풍하중, 지진하중에 대하여 단면성능 분석을 진행하였다. 수직부재인 벽체와 기둥의 경우 축력과 모멘트의 상관관계를 통해 단면성능을 검토하였으며, 모든 수직부재를 축력과 모멘트의 상관도를 작성함으로써 단면성능 검토를 수행하였다. Fig. 6은 기둥과 벽체의 일부 결과를 정리한 데이터이며, P-M 상관곡선을 통하여 완공

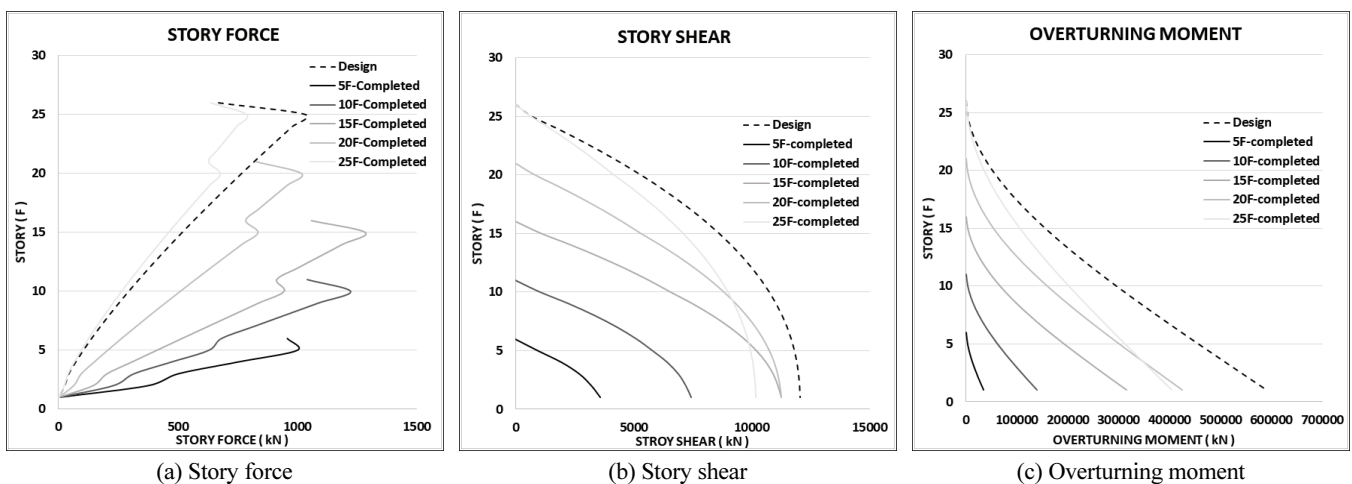
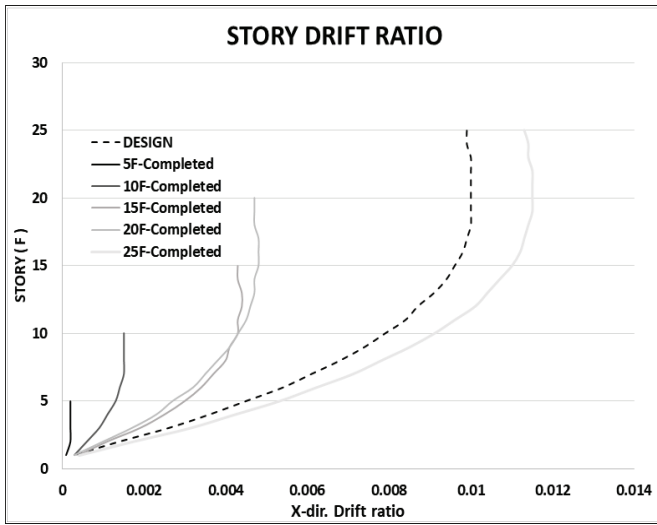
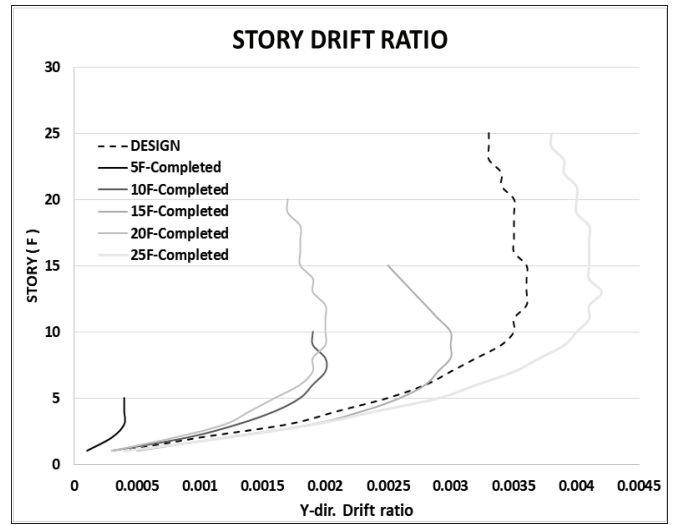


Fig. 4 Comparisons of seismic load

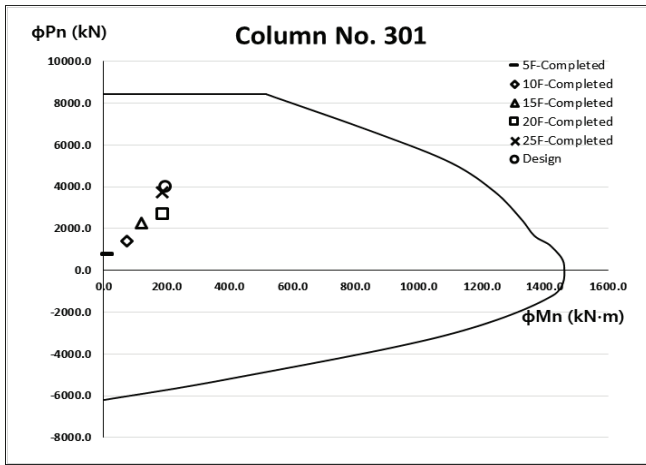


(a) X-direction drift ratio

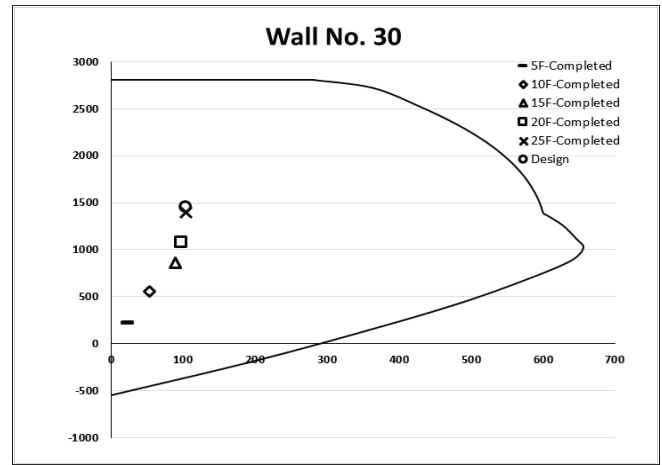


(b) Y-direction drift ratio

Fig. 5 Story drift ratio for seismic load



(a) Column No. 301



(b) Wall No. 30

Fig. 6 PM Interaction Diagrams of Column and Wall

단계와 시공단계에 대한 부재의 소요강도 데이터를 정리하여 나타낸 것이다. 기둥과 벽체 모두 시공단계에서의 골조완성도가 높아짐에 따라 소요강도가 설계강도에 근접하는 것을 확인하였다.

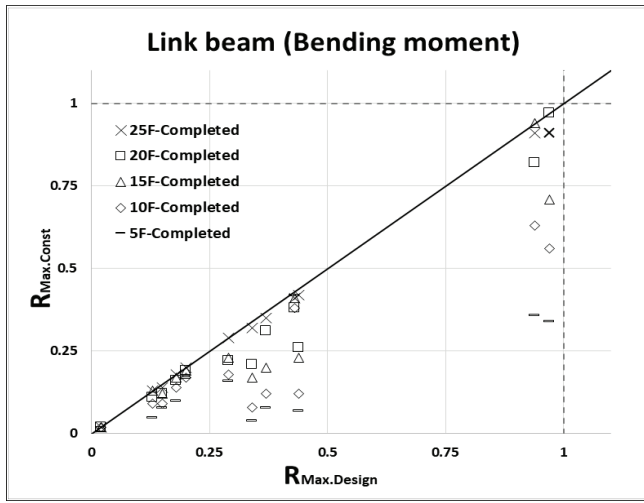
앞에서 정리한 하중결과를 바탕으로, 해석모델에 하중조합을 적용해 부재 단면의 설계강도비를 산정하였다. 부재의 설계강도에 대한 소요강도의 비를 설계강도비로 정의하여 단면 성능을 검토하였으며 시공단계와 완공단계에서의 모든 연결부, 기둥, 벽체에 대한 검토를 진행하였다. 단면성능 검토에 필요한 설계강도비를 식 (1) 및 (2)와 같이 정의하였다.

$$R_{design} = \frac{P_{u.design}}{\Phi P_{n.design}} \quad (1)$$

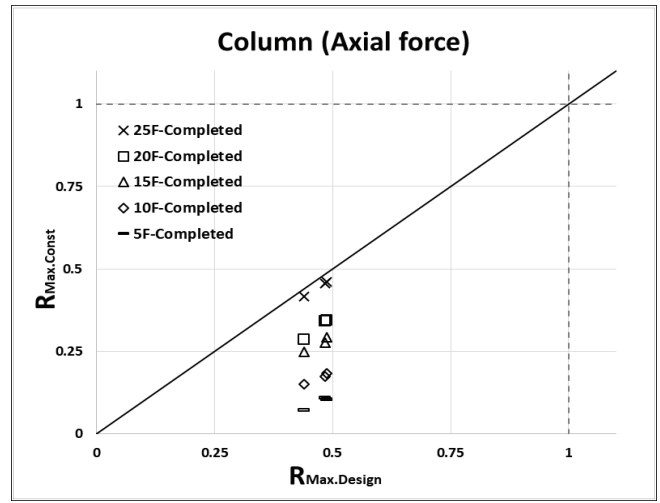
$$R_{const} = \frac{P_{u.const}}{\Phi P_{n.const}} \quad (2)$$

식 (1) 및 (2)는 수직부재의 설계강도비를 나타낸 것으로, R : 설계강도비, P_u : 소요압축강도, ΦP_n : 설계압축강도, $design$: 설계대상인 완공단계를 나타내는 아래첨자, $const$: 시공단계를 나타내는 아래첨자를 의미한다. 기둥과 벽체에 대하여 식 (1) 및 (2)와 같이 설계강도비를 정의하였으며, 벽체의 경우 전단력에 대한 설계강도비를 추가로 정의하여 검토하였다. 연결부의 경우에는 휨에 대한 검토를 진행하였다.

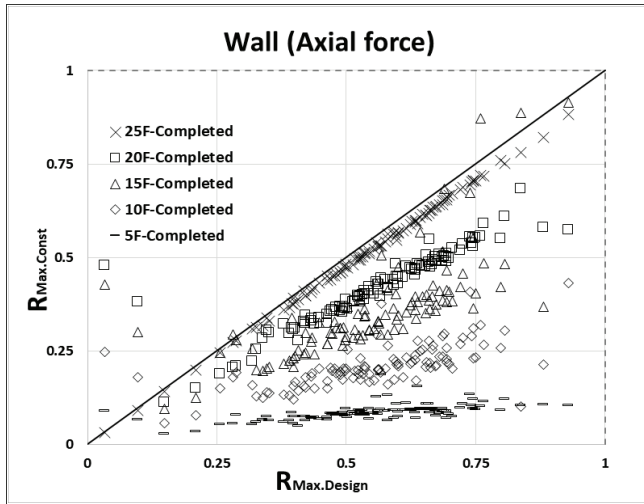
Fig. 7은 시공단계와 완공단계에서의 부재 단면의 최대 설계강도비 비교를 제시하고 있는데, 단면별로 해당하는 부재들의 모든 하중조합들에 대한 설계강도비의 최대값을 최대 설계강



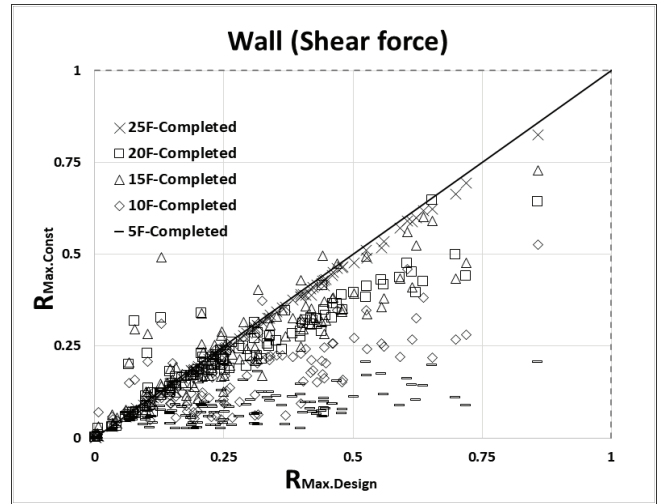
(a) Shear force in wall



(b) Axial force in wall



(a) Axial force in wall



(b) Shear force in wall

Fig. 7 Result summary of design ratio

도비로 정의하여 정리한 결과이다. 기둥의 경우 축력에 대한 설계강도비를 정리하였고, 벽체의 경우 축력과 전단력에 대하여, 연결보의 경우 휨모멘트에 대하여 설계강도비를 정리하였다. 그래프의 가로축은 완공단계 모델의 최대 설계강도비 ($R_{max.design}$)를 나타내며, 세로축은 시공단계 모델의 최대 설계강도비 ($R_{max.const}$)를 나타낸다.

그래프의 대각선상 위치는 완공단계와 시공단계의 설계강도비가 동일하다는 것을 의미한다. 부재 데이터가 대각선보다 위에 위치할 경우 완공단계보다 시공단계에서 하중을 크게 받고 있음을 의미하며, 대각선보다 아래에 위치할 경우 완공단계보다 시공단계에서 하중을 작게 받는 것을 의미한다. 모든 부재의 단면성능을 검토를 통해서 시공단계에서 골조완성도가 높아짐에 따라 설계강도비의 증가하는 경향을 확인하였다. 또한, 대부분의 부재와 단면들에서 시공단계에서의 설계강도비가 완공단계에서의 설계강도비가 작은 것으로 확인되

었다. 일부 벽체에서는 완공단계보다 시공단계에서의 설계강도비가 큰 것으로 나타났으나, 해당 부재들의 설계강도비가 매우 작은 수준으로서 설계강도비가 1.0을 초과하지 않으므로 부재의 설계에 대한 영향은 없는 수준이었다. 소요강도가 작은 부재에서 시공 단계에서의 하중 분포의 변화에 따른 소요강도의 변화가 민감하게 변화함으로써 발생한 일시적인 현상으로 판단된다.

5. 결론

철근콘크리트 중층 건물 사례를 대상으로 시공 중 구조성능을 분석하기 위해 골조완성 시점에 따라 해석모델을 구성하고 시공단계에 적합한 하중조건을 적용하여 지진하중, 풍하중, 단면성능 분석을 통한 구조성능을 검토하였다. 주요 검

토 사항은 다음과 같다.

- 1) 시공 조건을 해석모델에 반영하기 위해 국내외 기준을 검토하여 적절한 조건을 적용하였다.
- 2) 풍하중 검토 결과, 시공단계에서의 풍하중은 기본풍속 저감과 중요도계수의 감소로 인해 완공단계보다 낮게 풍하중이 작용하였다. 횡변위 검토 결과, 시공 중 풍하중에 의한 횡변위는 기준을 충분히 만족함을 확인하였다.
- 3) 지진하중의 경우, 시공단계에서의 중요도계수 저감과 응답가속도 값의 변화로 인해 지진하중과, 층간변위비가 증가하는 구간이 일부 확인되었으나, 구조기준에서 제시하는 허용 층간변위비를 초과하지 않는 것을 확인하였다.
- 4) 부재 단면성능 검토 결과, 시공단계 부재의 설계강도비가 골조완성도와 함께 증가하는 경향을 보였으며, 보와 기둥에서 완공단계 설계강도비를 초과하지 않았지만, 벽체 일부에서 완공단계 설계강도비를 초과하는 경우가 확인되었다.

이와 같이 국내에서 일반적으로 보급된 중층 철근콘크리트 공동주택을 예제모델로 선정해 연구를 진행하였고, 구체적인 구조성능 분석을 통해 완공단계에서 충분한 구조성능이 확보된다면 시공단계에서도 구조적 안정성이 확보된다는 것을 확인하였다.

감사의 글

이 논문은 한국토지주택공사(LH)의 재정적 지원과 2017년도 광운대학교 교내 학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

References

1. American Society of Civil Engineers (2002) Design Loads on Structures During Construction, (ASCE 37-02), 36.
2. Architectural Institution of Korea (2015) Korean Architectural Standard Specification. Architectural Institution of Korea, Korea
3. Architectural Institution of Korea (2016) Korean Building Code and Commentary. Architectural Institution of Korea, Korea
4. Choe, M.M., Eom, T.S., Kim, J.Y. (2013) An Analysis of Structural Behaviors during Construction for Twisted High-Rise Steel Buildings, Journal of the Architectural Institute of Korea (Structure), 29(12), 45-53.
5. Eom, T.S., Kim, J.Y. (2009) An Application of Construction Sequence Analysis for Checking Structural Stability of High-Rise Building under Construction, Journal of Computational Structural Engineering Institute of Korea, 22(3), pp.211-221.
6. Hwang, Y.J, Kim, J.Y. (2015) Analyses of Structure Performaces for RC High-Rise Residential Complex Building under Construction, Journal of Computational Structural Engineering Institute of Korea, 28(10), 19-27
7. Jayasinghe, M.T.R., Jayasena, W.M.V.P.K. (2004) Effect of Axial Shortening of Columns on Design and Construction of Tall Reinforced Concrete Buildings, Practice. Periodical on Structural Engineering 9(2), 70-78
8. Kim, J.Y (2016), Effects of Delayed Construction of Outrigger Joints on Lateral-Load-Resisting Capabilities of RC High-Rise Buildings under Construction, Journal of the Architectural Institute of Korea, 36(1), 3-10
9. Kwak, H.G., Kim, K.J. (2006) Time-dependent Analysis of RC Frame Structures Considering Construction Sequences, Building and Environment, 41(10), 1423-1434.
10. MIDAS (2019) MIDAS Structural Technical Lecture Series
11. Rosowsky, D.V. (1995) Estimation of design loads for resuced reference periods, Structural Safety, 17(1), 17-32.

Received : 08/01/2019
 Revised : 08/20/2019
 Accepted : 08/28/2019

요 지 : 중층 철근콘크리트 주거형 건물은 국내에서 많은 비중을 차지하며, 이러한 건물의 시공단계에서 발생 될 수 있는 문제에 대한 구조성능 분석이 필요하다. 이를 위하여, 25층 규모의 중층 철근콘크리트 주거형 건물을 예제모델로 선정해 구조성능 분석을 진행하였다. 예제모델을 5층, 10층, 15층, 20층, 25층의 시공단계 모델과 설계가 완료된 완공단계 모델로 구분해 구조해석을 수행하였다. 완공단계와 시공단계 모델들에 대하여, 고유치해석, 횡력저항성능, 완공단계에서의 설계강도비와 시공단계에서의 설계강도비를 비교를 통한 단면성능 검토를 수행하였다. 검토 결과, 시공단계와 완공단계 모두 횡변위와 층간변위에서 건축구조기준 제한을 초과하지 않았는 것을 확인하였고, 단면성능 검토에서는 벽체의 일부 데이터를 제외한 모든 부재에서 구조적 안전성을 확인하였다. 따라서, 중층 철근콘크리트 주거형 건물의 완공단계에서 구조적 안정성이 확보되면 시공단계에서도 구조적 안정성 확보가 이루어진다는 결론을 도출할 수 있었다.

핵심용어 : 철근콘크리트, 시공단계해석, 구조성능, 주거형