

5 공동주택 지하주차장 구조시스템에 따른 경제성 검토

글 김재성 \ 건축기술팀 과장 \ 전화 02-3433-7712 \ E-mail jssj0416@ssyenc.com
 글 조수연 \ 건축기술팀 과장 \ 전화 02-3433-7726 \ E-mail sycho@ssyenc.com
 글 이진아 \ 건축기술팀 대리 \ 전화 02-3433-7722 \ E-mail jalee@ssyenc.com

1. 머리말

현재 전세값의 폭등과 집에 대한 가치 상승으로 인해 건설사들이 공사원가를 절감하여 평당 분양가를 낮추고, 최상의 퀄리티를 자랑하는 공동주택을 공급하기 위해 많은 노력을 하고 있다. 수요자들 또한 최고의 인테리어와 최상의 편의시설을 갖춘 공동주택을 선호하는 비율도 점차 증가하는 추세이다. 하지만 공동주택에서 안전성 및 편의성을 확보하면서 경제적인 공동주택을 시공하는 것은 쉬운 일이 아니다. 설계단계에서 구조형식 검토 및 변경으로 인한 최적의 설계가 될 수 있도록 확인해야 한다. 공동주택의 주동부분에서 경제성을 확보할 수 있는 방안은 제한적이다. 이미 충분히 모듈화되고, 최적화 된 벽체두께가 선정되어 있기 때문에 본 고에서는 공동주택 지하주차장에 대해 검토하였다.

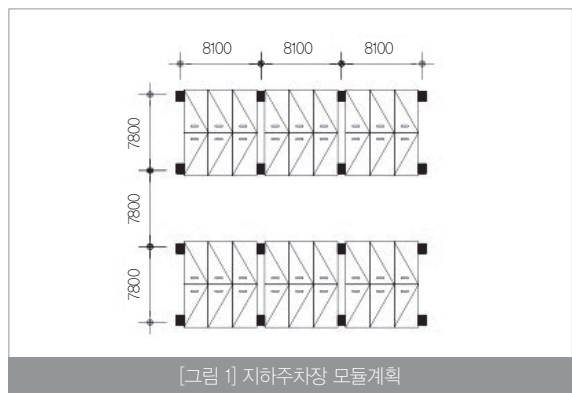
지하주차장 지붕층은 공사중 발생하는 차량 및 야적에 의한 시공하중과 완공 시 사람들에게 쾌적함을 줄 수 있는 조경 등으로 인해 과도한 적재하중이 발생하게 된다. 이런 과도한 하중에 의해 부재의 사이즈와 배근이 증가하고, 층고도 높아진다. 현재까지 지하주차장의 경제성 분석과 시공성에 관한 연구들이 많이 진행되고 있으며, 안전성을 최우선으로 선정하긴 하지만, 아직까지도 설계 시 계획적인 측면이 우선시 되고 있어 시공방법 및 경제적인 측면의 검토가 미흡한 실정이다.

본 고에서는 공동주택 지하주차장의 시공성 및 경제적인 측면에서 기여도가 높은 바닥구조시스템과 기초구조시스템에 대하여 검토하였다.

2. 지하주차장 설계 조건

2-1. 평면계획선정

주차장모듈은 주차장법 시행규칙 제3조(주차장의 주차구획)를 기준으로 7.8m X 8.1m 스펠 3대 주차를 선정하였으며, 지하 2개층을 기준으로 계획하였다.



2-2. 재료 및 설계기준

주요 구조부재에 대한 콘크리트 강도 $f_{ck}=24\text{MPa}$, 철근의 항복 강도 $f_y=400\text{MPa}(D10)$, $f_y=500\text{MPa}(D13)$, $f_y=600\text{MPa}(D16\text{이상})$ 를 사용하였고, 구조설계기준은 건축구조기준(KBC2009)을 적용하였다.

2-3. 설계하중

지하주차장 지붕층의 고정하중은 각 부재의 자중과 누름콘크리트 ($t=100\text{mm}$), 천정실비하중을 고려하였으며, 기준층은 각 부재의 자

중과 천정설비하중을 고려하였다. 지붕층에는 조경 및 토목 관로로 인해 쌓이는 토피($t=1,100\text{mm}$)를 활하중에 고려하였다. 차량중량 180kN 이하의 차량에 대한 옥내주차장 차로의 등분포활하중은 기준에 나타나 있는 건설교통부 제정 도로교시방서를 근거로 하였다. 즉, 차량중량 180kN 바퀴하중 최대 분담률인 $0.4/1.8$ 과 하나의 바퀴에 대한 점유면적 $1.8\text{m} \times 1.8\text{m}$ 를 고려하였다. 또한 옥내주차장 차로 및 경사로와 옥외주차장의 180kN 이하의 차량에 대해서는 충격계수를 고려하여 식 (1)과 같이 적용하였다.

$$w = (1+0.3) \frac{0.4}{0.8} \times 180\text{kN} / (1.8\text{m} \times 1.8\text{m}) \cong 16\text{kN/m}^2 \quad \text{식 (1)}$$

승용차전용 옥내 주차 구간은 3.0kN/m^2 을 적용하였다.

표 1 지붕층 적용하중

하중종류	구분	적용하중
고정하중	누름콘크리트($t=100\text{mm}$)	2.3kN/m^2
	천정설비	0.3kN/m^2
활하중	상재층($t=1,100\text{mm}$)	19.8kN/m^2
	상재하중	16.0kN/m^2

※ 부재 지중 별도

표 2 기준층 적용하중

하중종류	구분	적용하중
고정하중	천정설비	0.3kN/m^2
활하중	-	3.0kN/m^2

※ 부재 지중 별도

3. 지하주차장 바닥구조 시스템

국내 공동주택 지하주차장에 적용되는 공법 중 크게 PC공법과 RC공법으로 구분 할 수 있다.

RC공법에서 적용되는 바닥구조시스템의 종류로는 Beam & Girder System, Flat Slab System, Flat Plate Slab System, Wide Beam System 등이 있으며 각 시스템에 대한 특징을 분석하였다.

3-1. Beam & Girder System

Beam & Girder System은 일반적으로 가장 많이 사용하고 있는 바닥 구조시스템이다. 철근콘크리트 Beam & Girder System은 진동 및 처짐 성능이 우수하고, 균열 및 유지관리가 우수하다. 하지만 지붕층의 과도한 적재하중에 의해 보의 춤이 커져서 층고가 높아지고, 다른 구조시스템보다 거푸집량이 많아져 경제성 및 시공성이 불리하다.

3-2. Flat Slab System

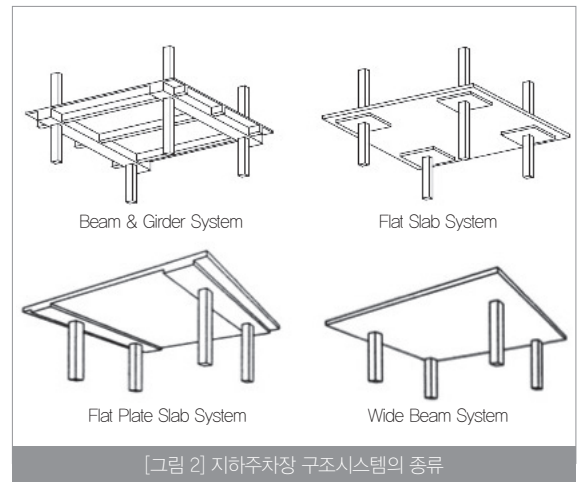
Flat Slab System은 지판의 춤이 보의 춤보다 크지 않아 층고 절감이 가능하며, 설비공간 활용 효율성을 증대시킬 수 있다. 또한 Beam & Girder System 보다 콘크리트량은 증가하지만 철근 및 거푸집량을 줄일 수 있기 때문에 경제성 확보가 가능하고, 거푸집 재 활용성 극대화로 인해 시공성 향상 및 공사기간을 단축시킬 수 있다. 하지만 과하중 적재로 인한 균열 발생이 증가되어 시공시 균열에 대한 품질관리가 필요하다.

3-3. Flat Plate Slab System

Flat Plate Slab System은 시공성능은 우수하지만 과도한 적재하중으로 인해 처짐 및 진동에 매우 취약한 구조이다.

3-4. Wide Beam System

Wide Girder System은 시공성은 양호하나 진동 및 처짐에 불리하고, Beam & Girder System에 비해 경제성이 불리하다.



[그림 2] 지하주차장 구조시스템의 종류

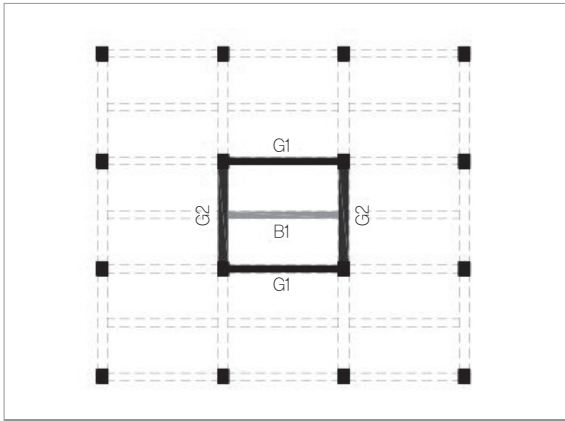
4. 지하주차장 바닥구조시스템 검토

공동주택 지하주차장 바닥구조시스템 중 현재 국내에서 가장 많이 적용되고 있는 Beam & Girder System과 Flat Slab System의 경제성에 대해 비교 검토하였다.

4-1. Beam & Girder System

1) 부재 단면 가정

Beam & Girder System의 구조평면 및 부재 부호는 [그림 3]과 같고, 지붕층과 기준층의 슬래브 두께와 Beam & Girder 부재크기는 아래의 <표 3>과 같다.



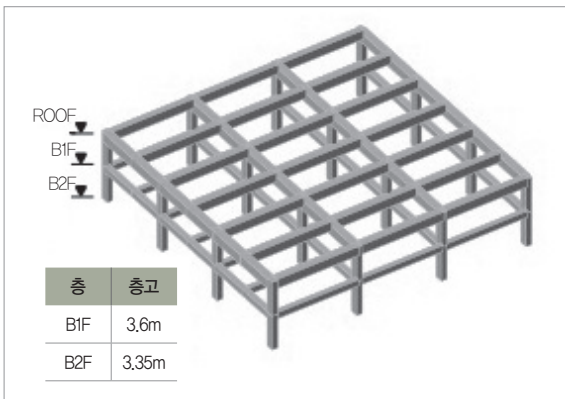
[그림 3] Beam & Girder System 구조평면도

표 3 Beam & Girder System 부재사이즈

구분	지붕층	기준층
Slab	THK 250mm	THK 150mm
B1	500mm x 900mm	400mm x 600mm
G1	500mm x 900mm	400mm x 600mm
G2	700mm x 900mm	500mm x 600mm

2) 해석

3D Modeling을 이용하여 부재의 응력을 검토하였고, 부재설계 프로그램을 이용하여 배근 및 부재의 적정성을 검토하였다. 3D Modeling은 7.8m x 8.1m의 모듈을 여러개 만들어 불균형 응력이 가장적인 중앙부에서의 응력값으로 부재를 검토하였다.



[그림 4] Beam & Girder System 3D Modeling

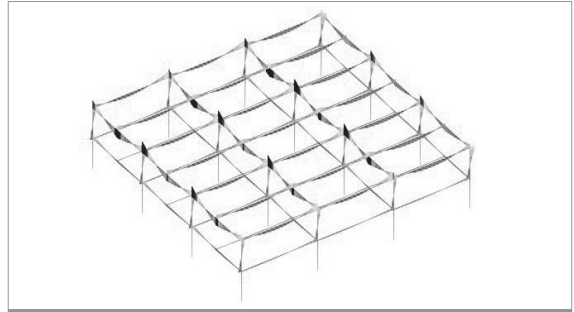
3) 부재설계

① 슬래브

지붕층 슬래브는 주방향 D13@150(T/B), 부방향 D13@250(T/B)으로 설계하였고, 기준층은 D10@250(T/B)으로 설계하였다.

② Beam & Girder

Beam과 Girder는 3D Modeling을 통해 응력[그림 5]을 반영하여 설계를 수행하였다. 각 부재의 배근은 <표 4>와 같다.



[그림 5] Beam & Girder Moment Diagram

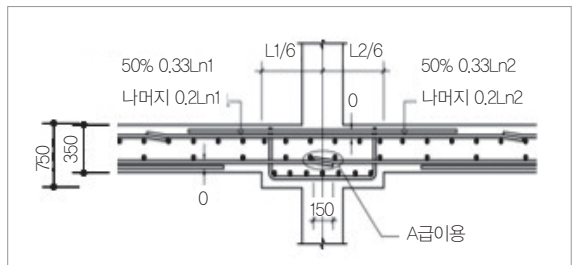
표 4 Beam & Girder 배근

구분	단부	중앙부	
RB1 RG1	상부근	8-HD25	3-HD25
	하부근	3-HD25	5-HD25
	스트립	HD13@100	HD13@150
RG2	상부근	15-HD25	5-HD25
	하부근	6-HD25	12-HD25
	스트립	4-HD13@100	4-HD13@150
-1B1 -1G1	상부근	4-HD19	2-HD19
	하부근	2-HD19	3-HD19
	스트립	HD10@200	HD10@250
-1G2	상부근	7-HD19	2-HD19
	하부근	3-HD19	6-HD19
	스트립	HD10@200	HD10@250

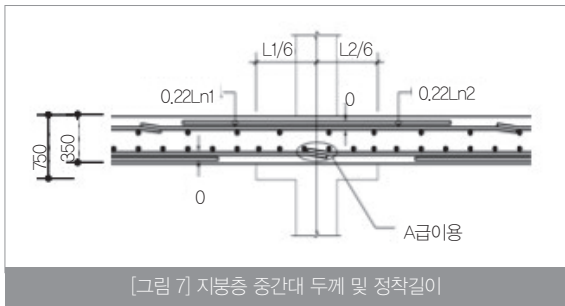
4-2. Flat Slab System

1) 부재 단면 가정

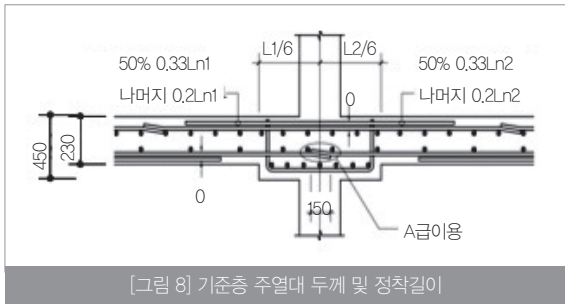
지붕층 슬래브는 토피 및 작업차량 하중을 고려하여 전단에 대해 만족하는 슬래브 두께 350mm, Drop판 두께 750mm, 기준층 슬래브 두께 230mm, Drop판 두께 450mm를 적용하였다.



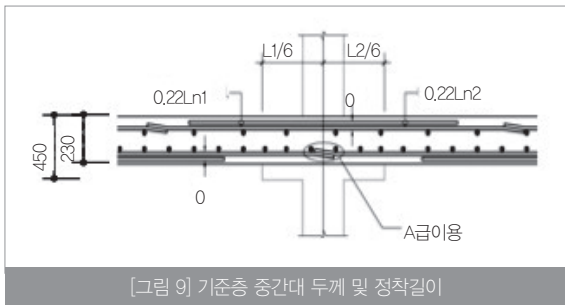
[그림 6] 지붕층 주열대 두께 및 정착길이



[그림 7] 지붕층 중간대 두께 및 정착길이



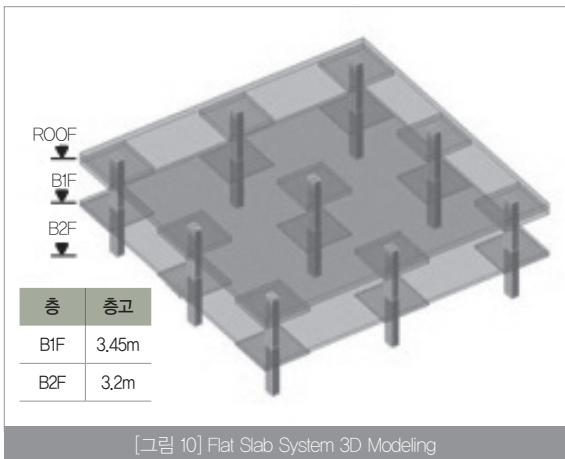
[그림 8] 기준층 주열대 두께 및 정착길이



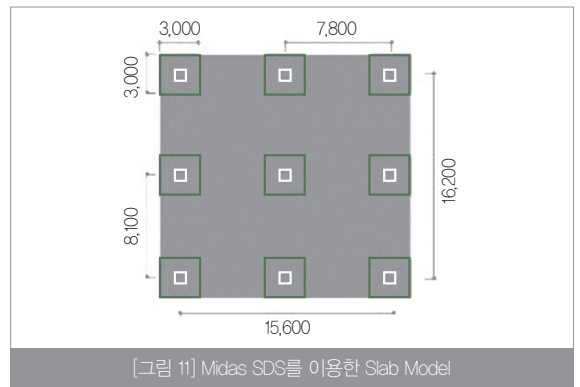
[그림 9] 기준층 중간대 두께 및 정착길이

2) 해석

Flat Slab는 판 해석 프로그램을 이용하여 유한요소해석을 통해 Slab의 응력을 검토하였다.



[그림 10] Flat Slab System 3D Modeling

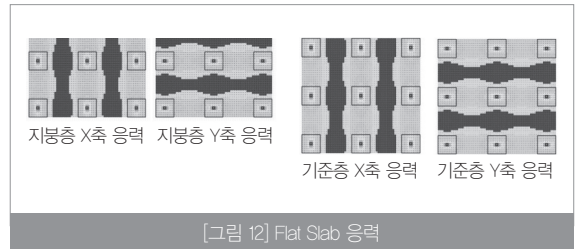


[그림 11] Midas SDS를 이용한 Slab Model

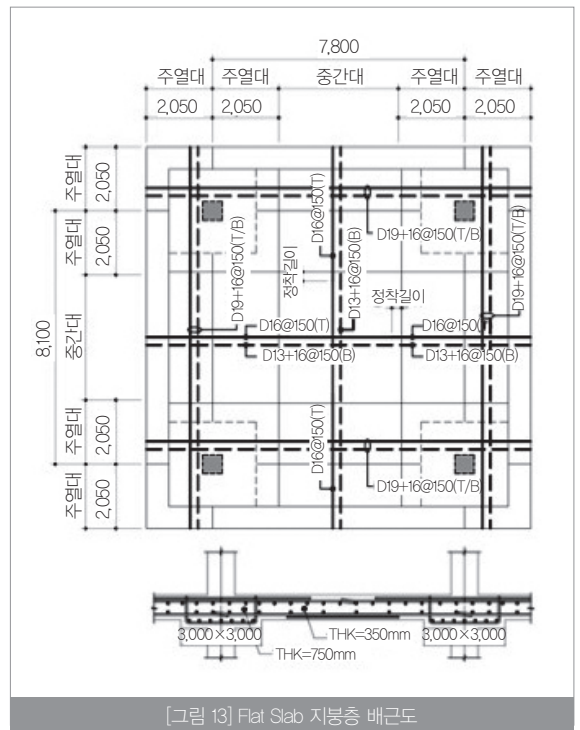
3) 부재설계

① 슬래브

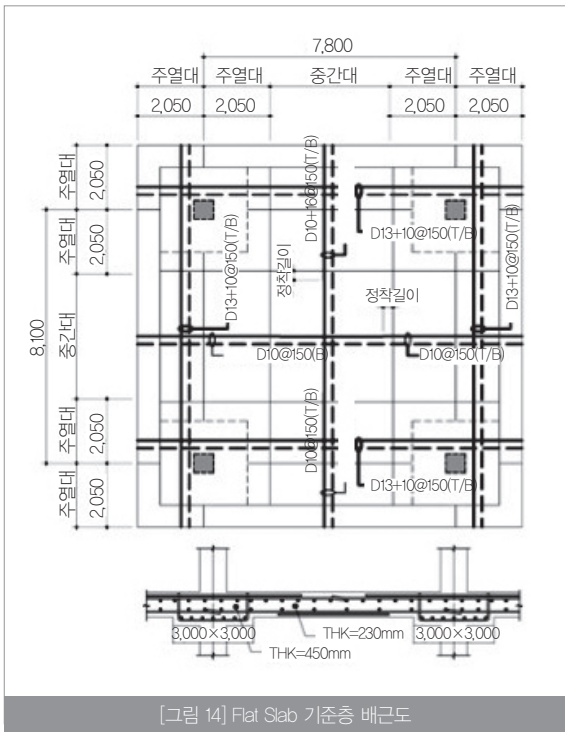
Flat Slab 응력은 [그림 12]와 같고, 각 층의 슬래브 배근은 [그림 13 및 14]와 같다.



[그림 12] Flat Slab 응력



[그림 13] Flat Slab 지붕층 배근도



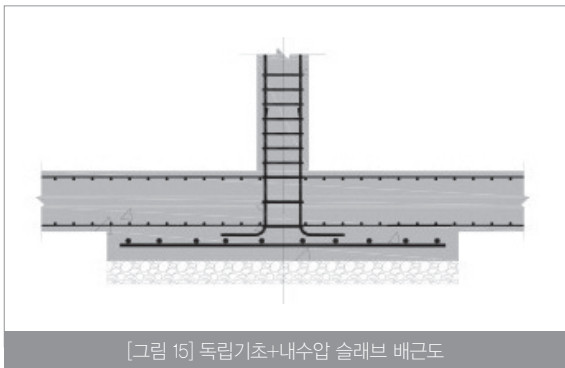
[그림 14] Flat Slab 기준층 배근도

5. 지하주차장 기초구조시스템 검토

지하주차장 기초구조시스템은 독립기초+내수압 슬래브(지내력 파일), 온통기초로 구분하였고, 독립기초는 지내력에 따라서 상세하게 분류하였다. 부재설계 프로그램을 이용하여 설계를 수행하였고, 판해석 프로그램을 이용하여 유한요소해석을 통해 내수압 슬래브와 온통기초의 응력을 검토하였다.

1) 독립기초

독립기초는 지내력에 따라 부재 크기 및 배근을 검토하였고, 파일 기초는 $\Phi 500$ PHC Pile($f_p=1600\text{kN/ea}$)일 때 부재크기 및 배근을 검토하였다. 독립기초 부재 크기 및 배근은 <표 5>와 같다.



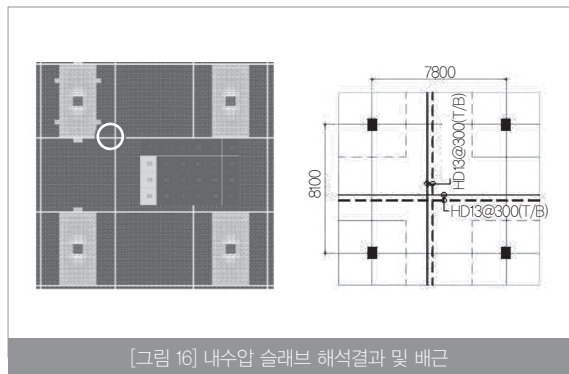
[그림 15] 독립기초+내수압 슬래브 배근도

표 5 독립기초 부재크기 및 배근

허용응력	부재크기(BxHxD)	배근
300kN/m ²	3600 x 3600 x 850	D16@150(B)
250kN/m ²	3900 x 3900 x 850	D16@150(B)
200kN/m ²	4500 x 4500 x 850	D16@140(B)
150kN/m ²	5200 x 5200 x 850	D16@140(B)
$\Phi 500$ PHC PILE ($f_p=1600\text{kN/ea}$)	2500 x 2500 x 850	D16@140(B)

2) 내수압 슬래브

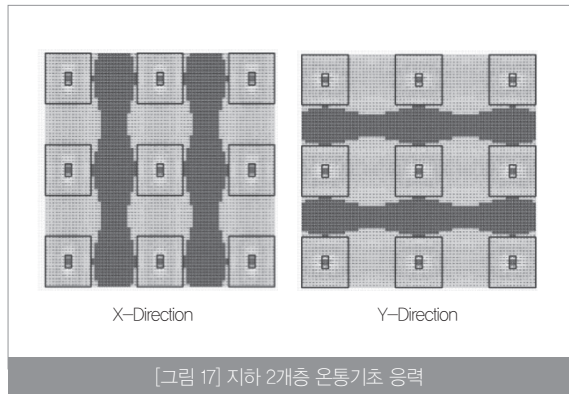
내수압 슬래브는 상부의 바닥하중에 대한 응력과 내수압 슬래브 하부에서 작용하는 수압(B.O.F + 2.0m)의 하중 중 불리한 경우를 고려하여 설계에 적용하였다. 내수압 슬래브 응력 및 배근은 [그림 16]과 같다.



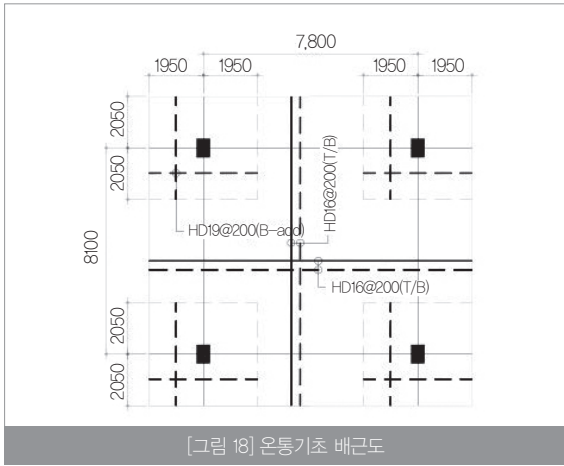
[그림 16] 내수압 슬래브 해석결과 및 배근

3) 온통기초

온통기초는 허용지내력 250kN/m²일 때를 검토하였고, 응력은 [그림 17], 배근은 [그림 18]과 같다.



[그림 17] 지하 2개층 온통기초 응력



[그림 18] 온통기초 배근도

6. 지하주차장 구조시스템 경제성 검토

원가 경쟁력이 요구되는 건설시장의 성장에 따라 공사원가를 절감할 수 있는 방안은 꾸준히 연구되고 있다. 이에 본 고에서는 바닥구조시스템 중 Beam & Girder System과 Flat Slab System의 경제성을 비교하고, 기초형식에 따른 기초구조시스템의 경제성을 비교하였다.

6-1. 바닥구조시스템 경제성 검토

Beam & Girder System 대비 Flat Slab System이 콘크리트량은 증가하였으나 철근 및 거푸집량의 감소로 인해 경제성이 유리하였다. 또한 Flat Slab System은 지하주차장 층고 감소로 인해 골조 물량 및 터파기량을 줄일 수 있고, 설비공간의 간섭을 최소화 할 수 있으며, 공사기간을 단축시킬 수 있는 것으로 검토되었다. <표 6>은 단위 면적당 Beam & Girder System과 Flat Slab System의 경제성을 분석한 것이다.

표 6 바닥구조시스템 경제성 검토

구분	Beam & Girder System		Flat Slab System	
	물량	비교	물량	비교
Concrete	0.614m ³	100%	0.668m ³	109%
Re-bar	0.071ton	100%	0.068ton	96%
Form	2,856m ²	100%	2,118m ²	75%

6-2. 기초구조시스템 경제성 검토

기초구조시스템 경제성 검토는 기초형식에 따라 독립기초+내수압 슬래브(지내력,파일), 온통기초(지내력)로 분류하여 검토하였다. 경제성 검토결과 독립기초+내수압 슬래브(지내력250kN/m²), 독립기초+내수압 슬래브(파일기초, 길이 5m기준), 온통기초 순서로 경제

성 측면에서 유리한 것으로 검토되었다. <표 7>은 기초구조시스템의 경제성을 분석한 표이다.

표 7 기초구조시스템 경제성 검토

기초형식		콘크리트 (m ³)	철근 (kg)	공사비 비교
독립기초 + 내수압 슬래브	3.6m x 3.6m x 0.85m (300kN/m ²)	26.08	1105.63	100%
	3.9m x 3.9m x 0.85m (250kN/m ²)	27.32	1198.37	104%
	4.5m x 4.5m x 0.85m (200kN/m ²)	30.09	1347.19	116%
	4.5m x 4.5m x 0.85m (150kN/m ²)	33.83	1502.57	130%
	2.5 x 2.5 x 0.85 (1600k/ea-5m)	22.39	1083.58	174%
온통기초	THK 0.85 (250kN/m ²)	53.70	2125.62	197%

7. 맺음말

현재 공동주택의 시장성과 건설시장의 성장에서 원가 경쟁력은 매우 중요한 요소이다. 건축물의 안전성과 사용성을 고려하여 최적화 설계기법을 적용하는 것은 공사비 절감에 가장 큰 원동력이라고 볼 수 있다. 그 중에서도 지하주차장의 설계공법 선정은 공동주택 원가 절감에서 큰 비중을 차지한다. 지하주차장의 구조시스템을 검토해 본 결과 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- ① Flat Slab System 적용시 설비공간의 간섭이 최소화 되고, 지하층 층고 절감으로 인해 골조 물량 및 터파기량이 감소한다.
- ② Flat Slab System과 Beam & Girder System 경제성 비교시 콘크리트 물량 9%증가, 철근 물량 4%감소, 거푸집 물량 25%감소 하는 것으로 판단된다.
- ③ 콘크리트, 철근, 거푸집 물량을 금액으로 산정시 공사비 약 12% 정도 경제적인 것으로 판단된다.
- ④ 단위 공사비의 주요 요소는 거푸집 량에 의해 좌우되고 Flat Slab System 적용시 거푸집 재활용의 극대화가 가능하다.
- ⑤ 기초형식에 따른 기초구조시스템 경제성 검토 결과 독립기초+내수압 슬래브, 파일기초, 온통기초 순으로 경제성이 유리하다. 이처럼 공동주택 지하주차장 설계 시 설계단계에서부터 최적의 구조시스템을 적용한다면 우수한 원가 경쟁력을 가질 수 있다고 사료된다. S

참고문헌

- ① 대한건축학회, 건축구조기준 및 해설 2009
- ② 대한건축학회, 콘크리트 구조설계기준 건축구조물 설계예제집 2008