

C.W.S(Top-Down)공법 시공사례 : 동탄 롯데타운



이정배 | (주)CWS 엔지니어링 대표이사 | cws@cwseng.co.kr | 02-2082-2992

1. 건물 개요



경기도 화성시 동탄신도시에 위치한 화성동탄(2) C11BL 주상복합 신축공사 현장은 규모 지상49층, 지하6층의 주상복합시설로 연면적이 506,268.31m²인 대규모 건축물이다<표 1>. 이 주상복합은 주거부와 비주거부로 구분되어, 주거부에는 철근콘크리트 벽식 구조의 지하4층 지상49층인 4개동의 공동주택으로 계획되었고, 비주거부는 백화점, 영화관, 업무시설의 복합단지이다<그림 1>. 롯데건설에서 시공중이며, (주)CWS엔지니어링에서 탐다운 공법 공정계획 및 설계, 현장컨설팅을 수행하였다.

2. 구조형식

본 건물의 구조형식은 크게 공동주택은 철근 콘크리트 벽식구조, 업무시설은 지상7층에 전이층을 둔 벽식구조와 R.C 또는 철골 Beam & Girder 구조(백화점 등 상업시설 구간)로 계획되었고, 지하층은 탐다운 시공을 고려하여 철골구조로 계획하였다.

특히, 지하층 철골부재는 Tapered Beam 부재를 적용하여 일반 Rolled Beam대비 약 15% 정도의 물량 저감효과와 각 층에서 약 100~150mm 정도의 층고 감소 효과를 얻을 수 있었다. (<표 1>, <표 2>).

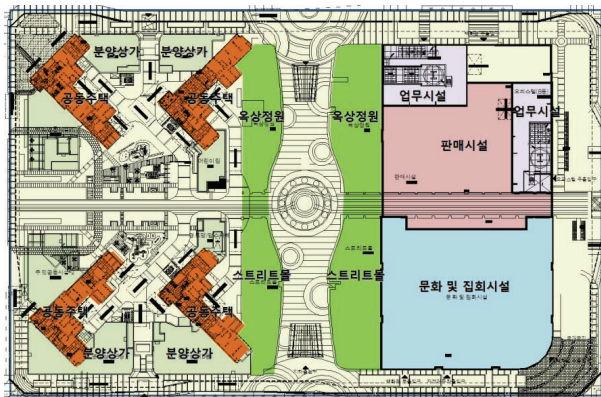


그림 1. 조감도 및 단지 배치도

표 1. 구조형식

구분	구조형식	
	지상	지하
공동주택	철근콘크리트 벽식 구조	철근콘크리트 벽식 구조
업무시설	철근콘크리트 구조	철골구조, SRC구조
근린생활시설	철근콘크리트(B&G)	철골구조, SRC구조
판매시설 및 문화집회시설	철골구조, SRC구조	철골구조, SRC구조

표 2. 변단면 부재(Tapered Beam)의 개념

구분	평면	단면
기존안		
적용안		

표 3. 변단면 부재(Tapered Beam)의 특징

공사비	· 응력분포에 따른 설계로 약 15% 물량저감 효과 · 0.15l 구간(Tapered)이외 구간은 Rolled 부재 적용
충고	· 일반 설계 대비 약 100~150mm 충고 감소
시공성	· 큰거더 부재 강접합, 그외 부재는 핀접합 · Tapered 구간 사전 공장제작, 중간 Roll부재로 길이 조정 후 현장반입

3. 공정계획

역타공법(탑다운 공법)은 일반적으로 Down-up, Up-Up, Top-Down 공법으로 구분할 수 있다.

- Down-Up: 지하층 역타 공사 완료 후 지상층 골조공사 진행(공기단축효과 없음)
- Up-Up: 지하층 굴착 및 기초공사 완료 후 지하/지상층 골조 공사 병행(공기단축 효과 중간)
- Semi Top-Down: 지상/지하 골조공사 병행 시공, 지하골조 완료시 지상 골조가 남아있는 경우(공기단축 효과 큼)

표 4. 주거구간 및 비주거구간의 주요 시공단계

	주거부(Down Up)	비주거부(Top Down)
	· 기초타설 완료 · B4F 코어벽체 타설 및 SRC 기둥 피복	· B3F바닥 시공 완료 · B4층 굴착 시공중 · B1F 코어벽체 타설 및 SRC 기둥 피복
	· 지하골조 완료후 지상 2F 바닥 시공중	· 굴토 공사 완료 · 기초타설 완료 · 지상 8F 바닥 시공완료
	· 지상 26F바닥 시공완료	· B2F 잔여골조 완료전 (코어타설, SRC피복 전) · 지상 15F바닥 시공완료

- Full Top-Down: 지상/지하 골조공사 병행 시공, 지하골조 완료시 지상 골조가 완료(공기단축 효과 가장 큼)

본 프로젝트 주거부의 주동부는 지상49층 지하4층(굴착깊이 약 16.4m), 비주거부의 업무시설은 지상35층 지하 6층(굴착깊이 약 37.4m), 판매시설 및 문화집회시설은 지상8층 지하 6층(굴착깊이 약 37.4m)이다. 따라서 굴토공사와 골조공사의 시공 공정 Balance와 공사의 효율성(주거 주동부 벽식구조), 경제성을 동시에 고려하여 주거부분은 Down-up공법을, 비주거부의 업무시설은 Semi Top-Down공법(지하골조 완료시 지상 15층 시공완료)을, 판매시설 및 문화집회시설은 공사비를 고려하여 Down-up공법으로 계획하였다.

<표 4>은 주거구간과 비주거구간의 주요 시공단계를 도식화해서 표현한 것이다.

4. 토압저항 메커니즘

본 프로젝트의 역타 시공단계에서의 토압저항 메커니즘은 <그림 2>와 같이 개략적으로 표현할 수 있을 것이다.

이러한 역타 평면계획의 토압에 대한 안전성을 확보하기 위해 각 층의 슬라브에 대해 유한 요소해석을 수행하였다. 작용 토압은 흙막이벽(C.I.P) 설계단계 도출되는 지점 반력의 최대값을 적용하였으며(토목설계사), 후시공구간(공사용 개구부, 주거구간의 주동부 등)에는 <그림 3>와 같이 가설 스트럿 부재를 적절히 배치하여 토압전달이 원활하게 이루어지도록 계획하였다.

각 단계별로 3D모델링 해석을 통해 토압에 대한 전체 구조물의 거동을 확인하였고, 가설스트럿 및 슬라브 부재의 토압에 대한 안전성을 확인하였다.

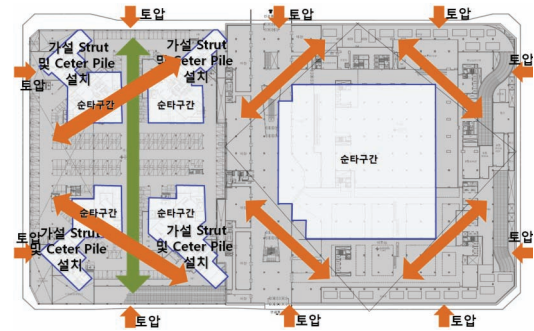


그림 2. 역타 평면계획

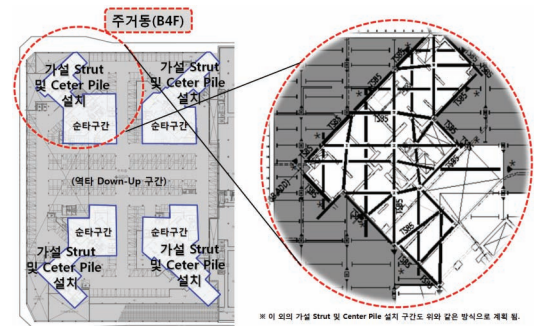


그림 3. 개구부(후시공 구간) 가설 스트럿 계획

5. 구조해석 및 검토

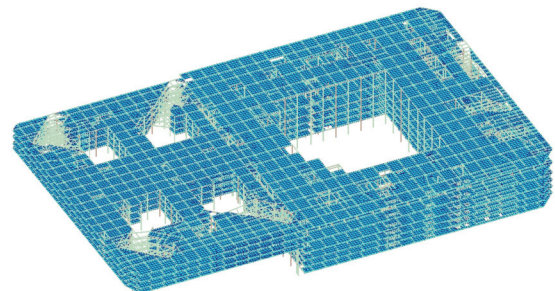


그림 4. 유한요소해석 3D 모델링

<그림 4>은 역타 시공단계에서의 3D 구조해석 모델이다. 이러한 구조해석을 통해 슬라브 강막작용에 의해서 슬라브가 토압에 적절하게 저항하도록 계획하였다. 또한 토압에 효율적으로 저항할 수 있도록 적절하게 가설스트럿 부재를 배치하거나 개구부 모서리부의 슬라브를 추가 타설하여 안전성을 확보하였다. 압축력이 집중되는 개구부의 모서리부와 인

장력이 발생하는 중앙부에 적절한 보강설계를 수행하였다.(<그림 5>, <그림 6>). 검토 결과, 대부분 슬래브가 토압을 효과적으로 지지하는 경향을 보였고, 국부적으로 응력이 집중되는 구간에 대해서는 보강철근을 배치하여 보강하였다<그림 7>.

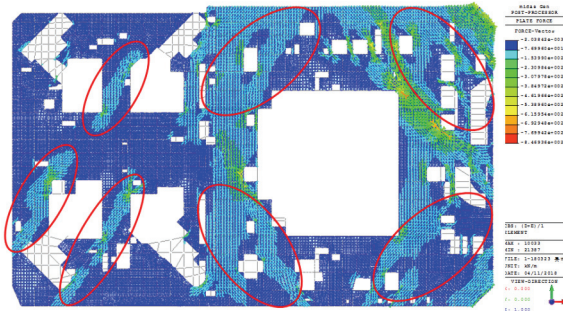


그림 5. Plate Force(압축)

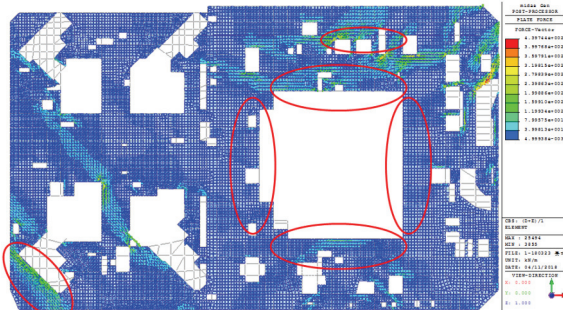


그림 6. Plate Force(인장)

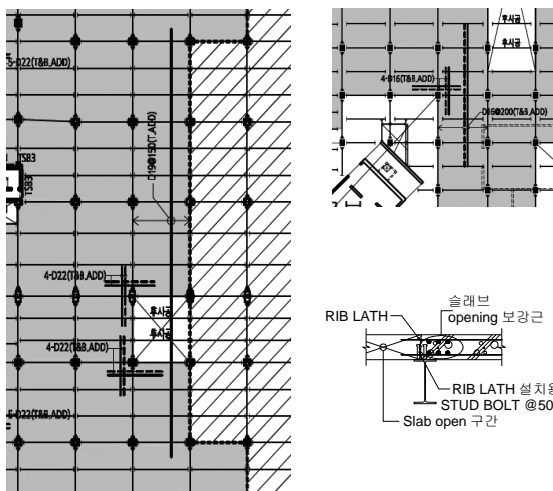


그림 7. 슬래브 보강 배근도 및 상세

6. 골조공사와 굴토공사의 효율성 확보

답다운 공법은 지상층과 지하층 골조를 동시에 시공하는 공사 방법이다. 또한 지하층 골조 시공과 함께 굴토공사를 동시에 수행하는 공법이기도 하므로 골조공사와 굴토공사를 합리적으로 수행할 수 있도록 효율적인 공정계획을 수행하는 것이 공사의 성패를 좌우한다.

본 프로젝트에서도 주거동부와 비주거동부로 구분하여 시공성과 경제성을 동시에 만족할 수 있도록 공정계획을 수립하였으며, 또한 골조공사와 토공사의 효율성을 확보할 수 있는 직상차로 계획을 수립하였다. 주거부의 경우 주동부 구간을 피해서 복공램프를 설치하였고 비주거부의 경우 복공램프와 토사램프를 혼용하여 적용하였다.

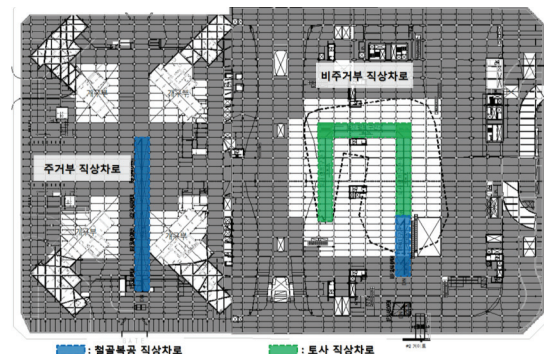


그림 8. 직상차로 위치도

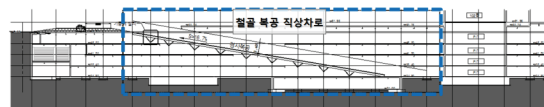


그림 9. 주거부 직상차로

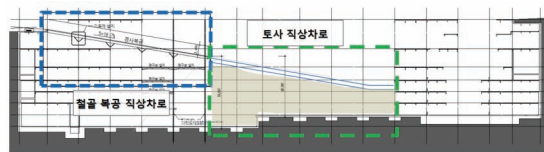


그림 10. 비주거부 직상차로

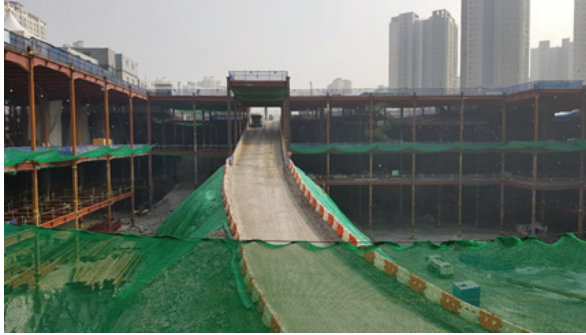


사진 1. 비주거부 직상차로(복공램프 + 토사램프)

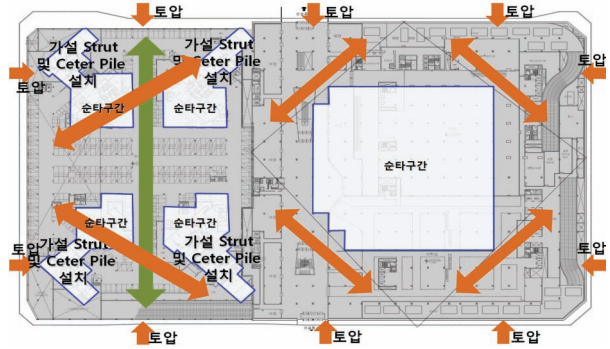


그림 11. 역타 평면계획 - 부분역타(Partial Top-Down)



사진 2. 비주거부 직상차로(복공램프 + 토사램프)

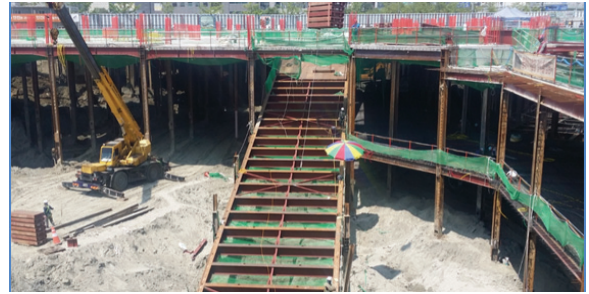


사진 3. 직상차용 복공 램프 설치

7. 부분역타(Partial Top-Down)공법 적용

본 프로젝트의 비주거부의 경우 공기 측면에서 주 공정(Critical Path)인 타워 고층부가 대지의 외측에 위치하고 있어 대지의 중앙부는 순타 시공부로 계획하였고 역타 시공단계에서는 공사용 개구부로 활용하였다. 이러한 방식의 탑다운 공법을 부분역타공법(Partial Top-Down공법)이라고 하며, 다음과 같은 장점이 있다.

- 1) 대지 중앙부에 큰 개구부를 형성할 수 있어, 토사반출, 자재반입, 환기, 채광 등의 측면에서 유리하다.
- 2) 개구부에 토사 반출용 직상차로를 설치 활용할 수 있다.
- 3) 순타로 시공 가능하므로 PRD파일 시공이 필요 없다.
- 4) 외곽부는 탑다운 공사를 수행할 수 있으므로 공기 측면에서도 유리하다.

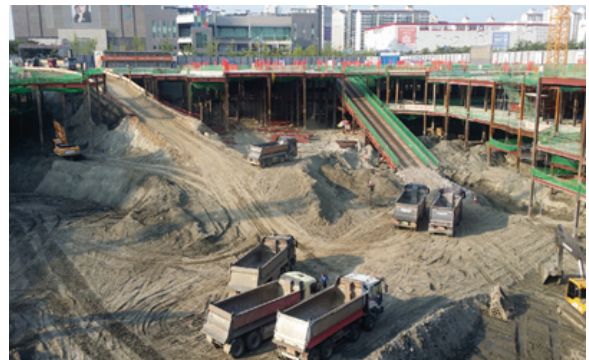


사진 4. 부분역타 구간 직상차용 토공, 복공 램프

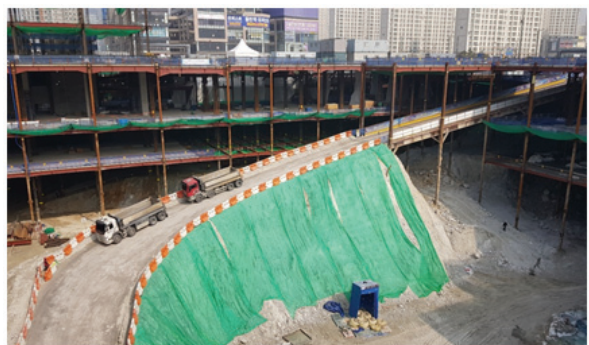


사진 5. 부분역타 구간 직상차용 램프 설치

8. 현장 시공 사진

다음의 사진은 본 프로젝트의 공사 진행과정에 대한 이해를 돕기 위해 착공초기부터 현재(2019년 9월)까지의 항공 사진이다.

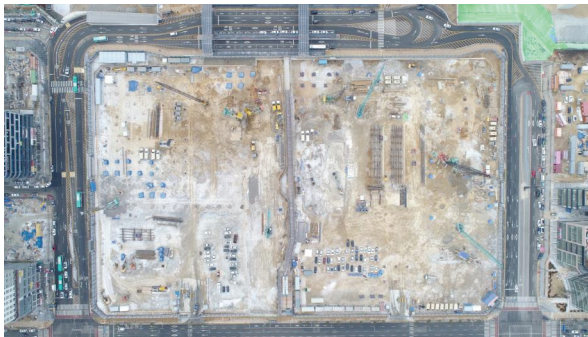


사진 6. 2017년 12월

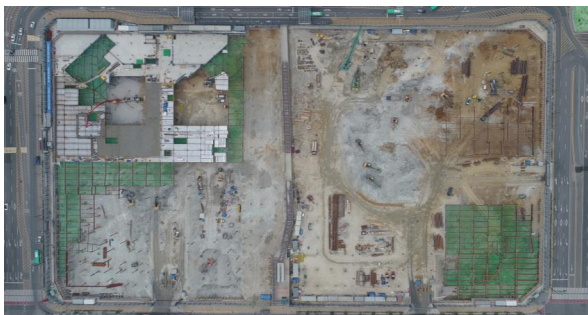


사진 7. 2018년 4월



사진 8. 2018년 5월



사진 9. 2018년 6월

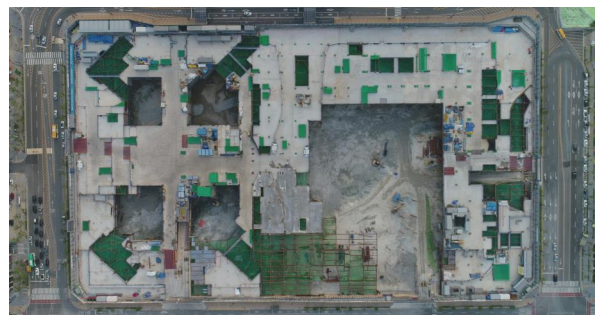


사진 10. 2018년 7월



사진 11. 2018년 9월



사진 12. 2018년 10월



사진 13. 2018년 11월



사진 17. 2019년 3월



사진 14. 2018년 12월

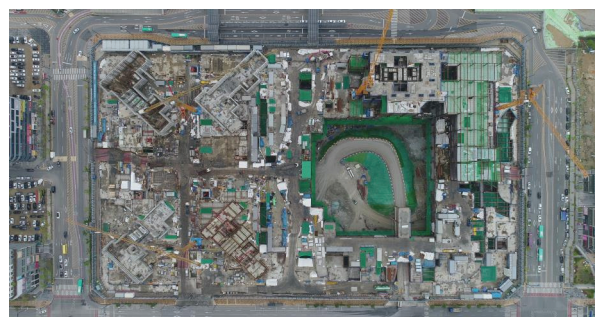


사진 18. 2019년 4월

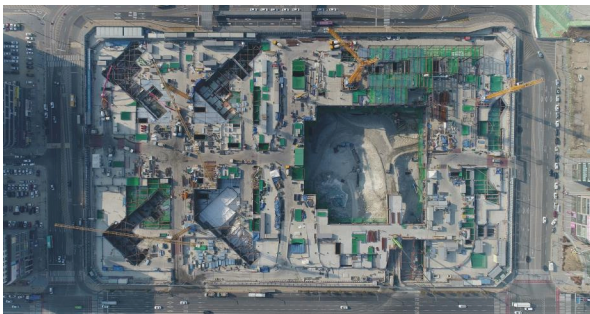


사진 15. 2018년 1월

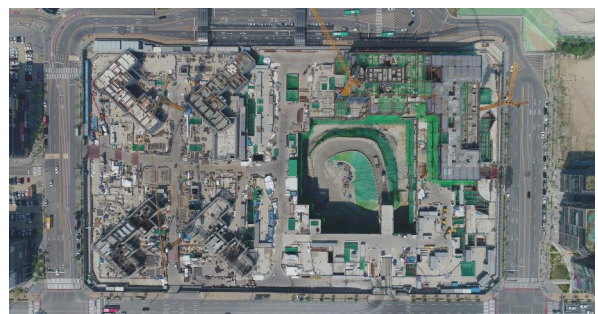


사진 19. 2019년 5월

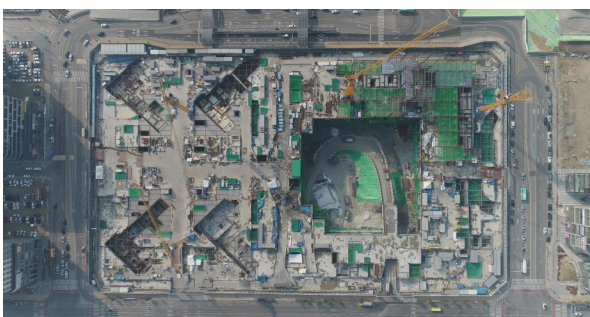


사진 16. 2019년 2월



사진 20. 2019년 6월



사진 21. 2019년 7월

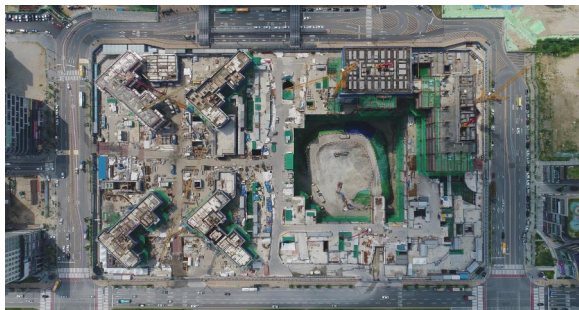


사진 22. 2019년 8월



사진 23. 2019년 9월

본 프로젝트와 같이 대규모 탑다운 공사에서는 골조공사와 굴토공사의 균형과 효율성을 동시에 만족시키는 시공계획이 필수적이며, 지상층 및 지하층 골조공사와 간섭되지 않는 토사반출용 직상차로는 토공효율성을 높이는데 효과적인 방법이다.

직상차로는 전체 공기에 영향을 주지 않는 부위에 설치하며 해체 시점 또한 전체 공기를 고려하여 결정하여야 한다. 이러한 공정계획은 시공단계별로 면밀한 구조 안전성 검토를 기반으로 수립되어야 하며, 건설사와 골조(철골, RC)업체, 토공업체와의 긴밀한

협의과정을 통해 결정되어야 한다.

9. 맺음말

본 프로젝트는 지하 규모가 가로×세로(289m × 179m)의 국내 프로젝트 중 전구간 역타(탑다운) 시공을 적용한 최대 규모의 프로젝트로서,

- 1) 당사 CWS엔지니어링에서는 CWS공법(탑다운 공법) 설계 시 시공성 및 경제성을 동시에 만족시킬 수 있도록 시공공정계획 및 역타 가설 계획을 수립하였다.
- 2) 주거부의 주동부는 지상49층 지하4층(굴착깊이 약 16.4m), 비주거부의 업무시설은 지상35층 지하 6층(굴착깊이 약 37.4m), 판매시설 및 문화집회시설은 지상8층 지하 6층(굴착깊이 약 37.4m)이다. 따라서 굴토공사와 골조공사의 시공 공정 Balance와 공사의 효율성(주거 주동부 벽식구조), 경제성을 동시에 고려하여 주거부분은 Down-up공법을, 비주거부의 업무시설은 Semi Top-Down공법(지하골조 완료시 지상 15층 시공완료)을, 판매시설 및 문화집회시설은 공사비를 고려하여 Down-up공법으로 계획하였다.
- 3) 비주거부의 경우, 타워구조물이 위치하지 않는 중앙부에 대형 개구부(순타구간)를 설치하여 공사용 개구부, 토사반출용 직상차로, 환기 및 채광효과 등 시공성과 경제성을 동시에 만족할 수 있도록 계획하였다.
- 4) 본 프로젝트는 시공성과 경제성, 공기를 동시에 만족시킬 수 있는 탑다운 공법 설계를 위해 설계 초기단계에서부터 탑다운공법 설계사와 건설사(롯데건설)의 설계 및 공정관련 미팅을 수행하였으며, 이를 통해 공사 단계에서 안정적으로 공사가 수행될 수 있도록 하였다.