



구조 설계 기사

## 화성 동탄 롯데타운 C.W.S(Top-Down) 설계



| 이 정 배 |

총무위원장  
(주)CWS 엔지니어링  
대표



| 박 헤 인 |

(주)CWS 엔지니어링  
소장



| 이 상 민 |

(주)CWS 엔지니어링  
대리



| 광 민 경 |

(주)CWS 엔지니어링  
대리

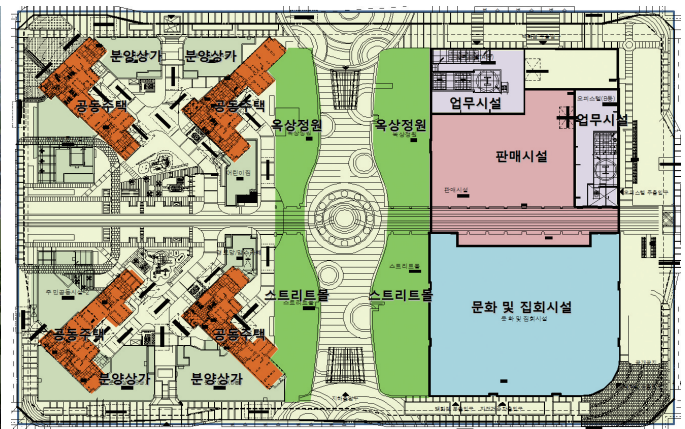
### 건물 개요

경기도 화성시 동탄신도시에 위치한 화성동탄(2) C11BL 주상복합 신축공사 현장은 규모 지상49층, 지하6층의 주상복합시설로 연면적이 506,268.31㎡인 대규모 건축물이다[표 1]. 이 주상복합은 주거부와 비주

거부로 구분되어, 주거부에는 철근콘크리트 벽식구조의 지하4층 지상49층인 4개동의 공동주택으로 계획되었고, 비주거부는 백화점, 영화관, 업무시설 2개동 등이 계획된 복합단지이다[그림 1]. 롯데건설에서 시공중이며, 설계는 (주)DA그룹 엔지니어링 종합건축사사무소와 ANU디자인그룹



[그림 1] 조감도 및 단지 배치도



건축사사무소(주)에서 수행하였고, (주)케이엔지니어링(주거), (주)아이스트(비주거)에서 구조설계를 수행하였다. 당사인 (주)CWS엔지니어링에서 탐다운 공법 관련 공정계획 및 설계, 현장건설팅을 수행하였다.

[표 1] 건축 개요

구 분	내 용
위 치	경기도 화성시 동탄 2신도시 중심영커블록 C11BL
용도 및 규모	
주 거	공동주택 : 지상49층 지하 4층 4개동 근린생활시설 : 지상3층 지하1층
비 주 거	업무시설 : 지상35층 지하 6층 2개동 판매시설 : 지상8층 지하6층 문화집회시설 : 지상8층 지하6층

## 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[표 1].

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 2], [표 3]).

[표 2] 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 3] 변단면 부재(Tapered Beam)의 개념 및 현장사진

구분	평 면	단 면
기 존 안		
적 용 안		
시공 사진		

[표 4] 변단면 부재(Tapered Beam)의 특징

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

[표 5] 굴착공법 검토

구분	A안	B안	C안
지하굴토계획			
특징	• 주거부 순타, 비주거 부분역타 적용 • 주거부 대구역 강관 베타보 적용 • 추가 흙막이 공사 필요	• 주거, 비주거 부분역타 적용 • 주거동 흙막이벽 간섭부 슬래브 타설 • 주거 비주거 경계부 순타	• 주거, 비주거 부분역타 적용 • 지하굴착 공사중 가장 안정적 • 주거 고층부 PRD 공사 최소화
적용안			●

## 굴착 공법 검토

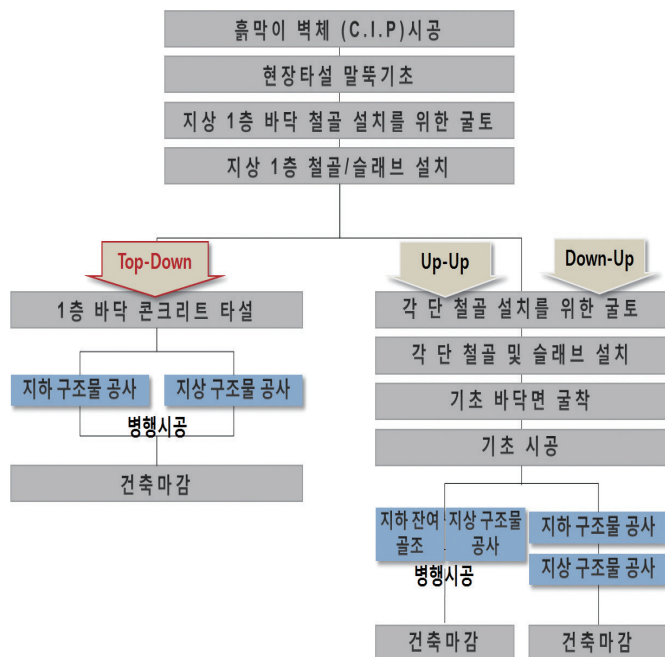
본 프로젝트의 지하층 규모는 가로×세로(289m×179m)의 대규모 현장이고, 4면이 도로에 인접하여 있어 흙막이벽 지지공법으로 어스앵커 공법을 우선적으로 검토하였으나, 적용이 불가능하여(인허가 단계에서 지장물과의 간섭으로 인한 어스앵커 공법 적용의 제한) 탐다운 공법을 포함한 여러 가지 대안을 검토하였다.

[표 5]에 나타낸 바와 같이 A, B, C안 등 여러 가지 굴착 방법에 대해 검토하였다.

A안의 경우, 지하층이 깊고, 굴토공사가 주공정이 되는 비주거구간의 경우 탐다운 공법을 적용하고, 지하층 규모가 상대적으로 작고 벽식구조인 주거부분은 일반 재래식 순타공법을 조합하여 적용하는 방안이다. 이 방식의 경우 후시공되는 구간이 Critical Path가 되어 공기 측면에서 불리한 것으로 검토되었고, 후시공 접합부 시공에 대한 공사비 증가 등을 고려하면 공사비 측면에서도 큰 효과는 없는 것으로 검토되었다.

B안과 C안은 역타 공사가 어려운 벽식구조 구간은 순타시공하고, 그 외의 구간들은 역타로 적용하는 안이다. 두 방안 모두 역타로 시공하는 면적을 최소화하여 공사비 및 시공성을 동시에 확보할 수 있는 방안으로 계획되었다.

최종적으로 C안을 적용하여 설계하였으며, 주거부의 경우 주동부는 벽식구조이므로 역타시공시는 개구부로 사용하였고, 기초 타설후 순타시공(Down Up)하도록 계획하였고, 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.



[그림 2] 탐다운 공법의 흐름도

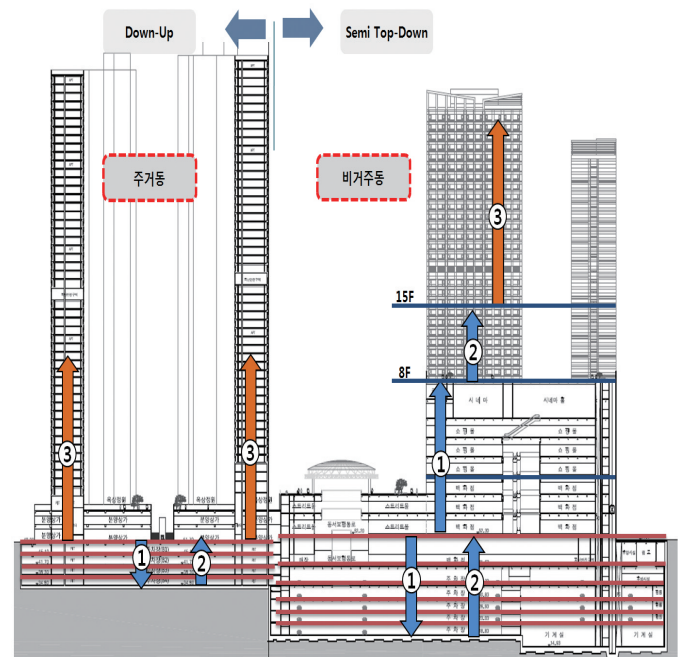
## 공정계획

역타공법(탐다운 공법)은 일반적으로 [그림 2]에 나타낸 바와 같이 Down-up, Up-Up, Top-Down 공법으로 구분할 수 있다.

- Down-Up : 지하층 역타 공사 완료 후 지상층 골조공사 진행(공기단축 효과 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)
- Full Top-Down : 지상/지하 골조공사 병행 시공, 지하골조 완료시 지상 골조가 완료(공기단축 효과 가장 큼)

본 프로젝트에서는 [그림 3]과 같이 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.

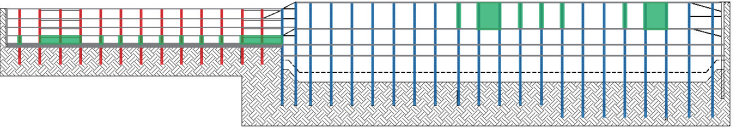
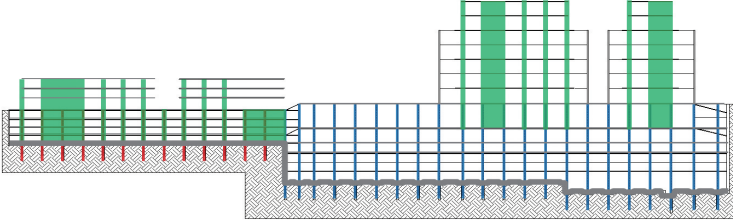
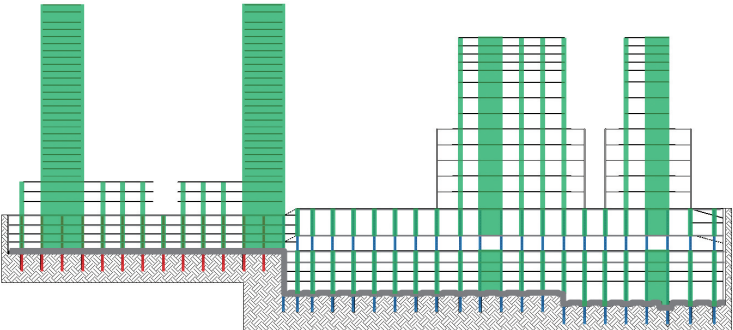
[표 6]은 주거구간과 비주거구간의 주요 시공단계를 도식화해서 표현한 것이다.



[그림 3] 공법 시공공정도



[표 6] 주거구간 및 비주거구간의 주요 시공단계

	주거부(Down Up)	비주거부(Top Down)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>기초타설 완료</li> <li>B4F 코어벽체 타설 및 SRC 기둥 피복</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>B3F바닥 시공 완료</li> <li>B4층 굴착 시공중</li> <li>B1F 코어벽체 타설 및 SRC 기둥 피복</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>지하골조 완료후 지상 2F 바닥 시공중</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>굴토 공사 완료</li> <li>기초타설 완료</li> <li>지상 8F 바닥 시공완료</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>지상 26F바닥 시공완료</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>B2F 잔여골조 완료전 (코어타설, SRC피복 전)</li> <li>지상 15F바닥 시공완료</li> </ul>

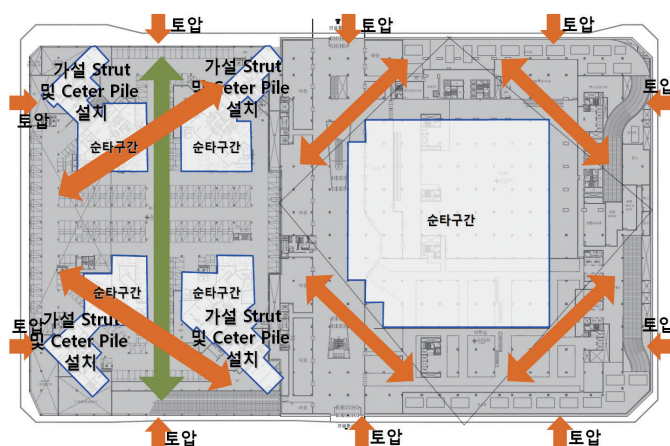
### 토압저항 메커니즘

본 프로젝트의 역타 시공단계에서의 토압저항 메커니즘은 [그림 4]와 같이 개략적으로 표현할 수 있을 것이다.

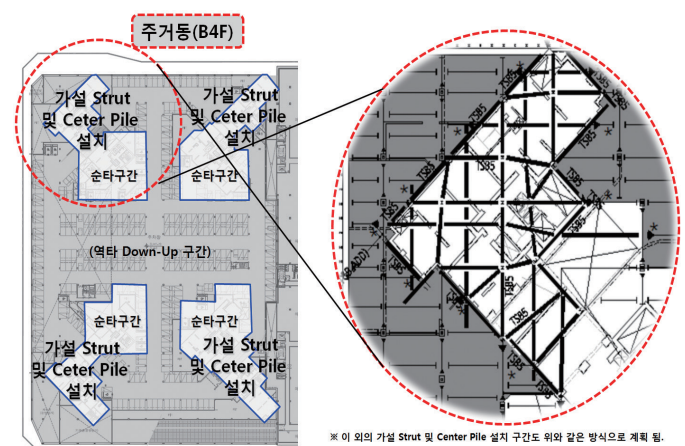
이러한 역타 평면계획의 토압에 대한 안전성을 확보하기 위해 각 층의 슬라브에 대해 유한 요소해석을 수행하였다. 작용 토압은 흙막이벽(C.I.P) 설계 단계 도출되는 지점 반력의 최대값을 적용하였으며(토목설계사), 후

시공구간(공사용 개구부, 주거구간의 주동부 등)에는 [그림 5]와 같이 가설 스트러트 부재를 적절히 배치하여 토압전달이 원활하게 이루어 지도록 계획하였다.

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



[그림 4] 역타 평면계획

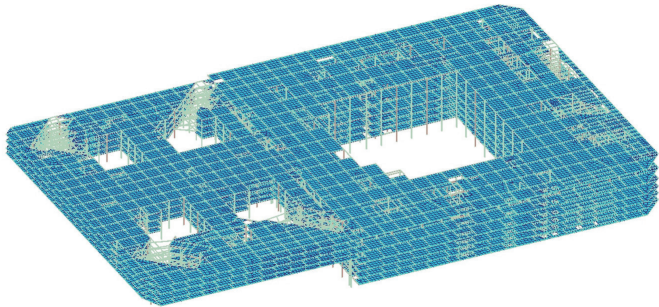


[그림 5] 개구부(후시공 구간) 가설 스트러트 계획

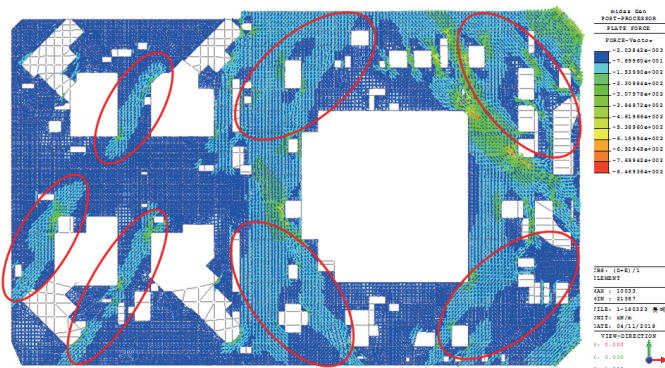
※ 이 외의 가설 Strut 및 Center Pile 설치 구간도 위와 같은 방식으로 계획 됨.



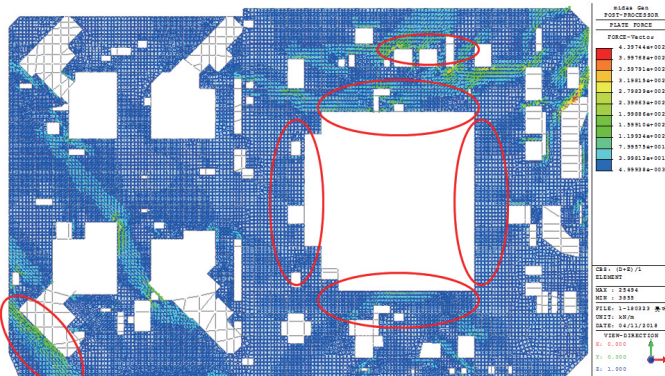
## 구조해석 및 검토



[그림 6] 유한요소해석 3D 모델링

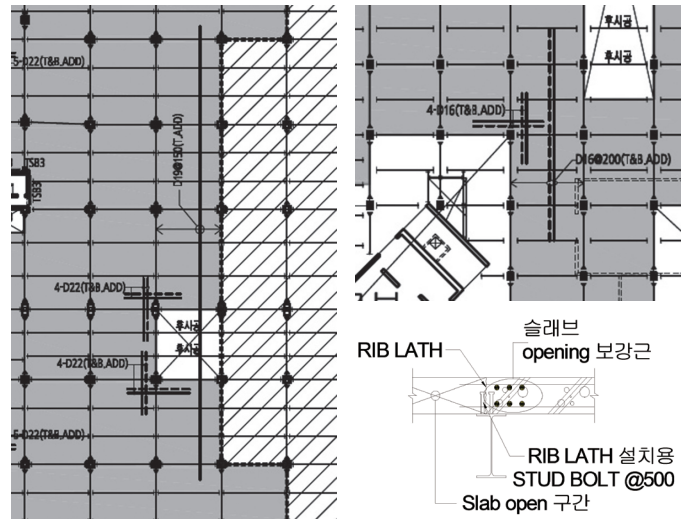


[그림 7] Plate Force(압축)



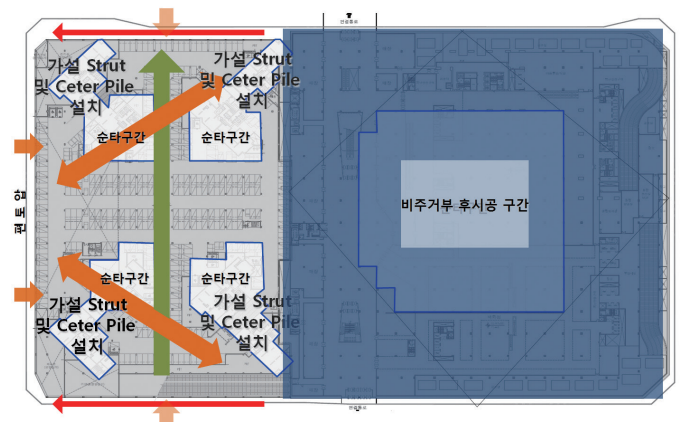
[그림 8] Plate Force(인장)

[그림 6]은 역타 시공단계에서의 3D 구조해석 모델이다. 이러한 구조해석을 통해 슬래브 강막작용에 의해서 슬래브가 토압에 적절하게 저항하도록 계획하였다. 또한 토압에 효율적으로 저항할 수 있도록 적절하게 가설 스트러트 부재를 배치하거나 개구부 모서리부의 슬라브를 추가 타설하여 안전성을 확보하였다. 압축력이 집중되는 개구부의 모서리부와 인장력이 발생하는 중앙부에 적절한 보강설계를 수행하였다(그림 7, [그림 8]). 검토 결과, 대부분 슬래브가 토압을 효과적으로 지지하는 경향을 보였고, 국부적으로 응력이 집중되는 구간에 대해서는 보강철근을 배치하여 보강하였다(그림 9).



[그림 9] 슬래브 보강 배근도 및 상세

## 주거부 비주거부 비대칭 시공 검토

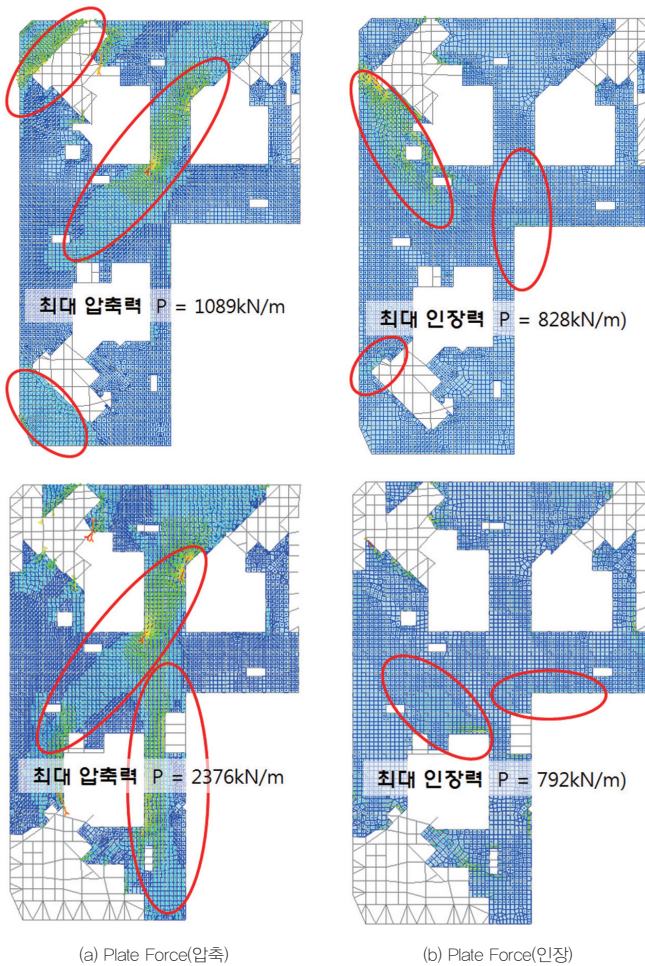


[그림 10] 주거부 탑다운 선행계획

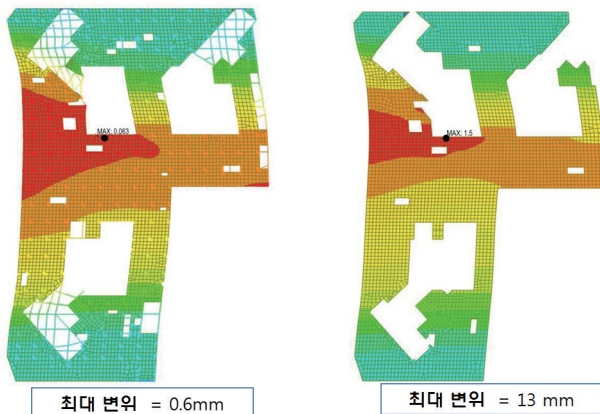
본 프로젝트는 주거부와 비주거부의 지하층 역타 공사가 동시에 시공되는 것을 전제로 계획 되었으나, 실제 현장 시공 공정은 현장 부지 중앙에 존재하고 있던 기존 동탄역(SRT)역사 연결통로 철거로 인해 PRD 공사가 지연되었고, 그에 따라 비주거부의 굴토 및 지하층 공사가 주거부에 비해 약 2개월 지연되는 공정으로 진행되었다. 따라서 주거구간의 우측 슬라브는 비주거 구간에 의해 폐합되지 않은 상태에서 추가 굴토 공사가 진행되는 공정이 발생하였다(그림 10).

이러한 상황을 고려하여 주거부 선행구간의 비대칭시공에 따라 발생하는 편토압 하중에 대해 각 층 슬라브의 구조안전성 및 변위를 유한요소해석을 통해 추가 검토하였다(그림 11).





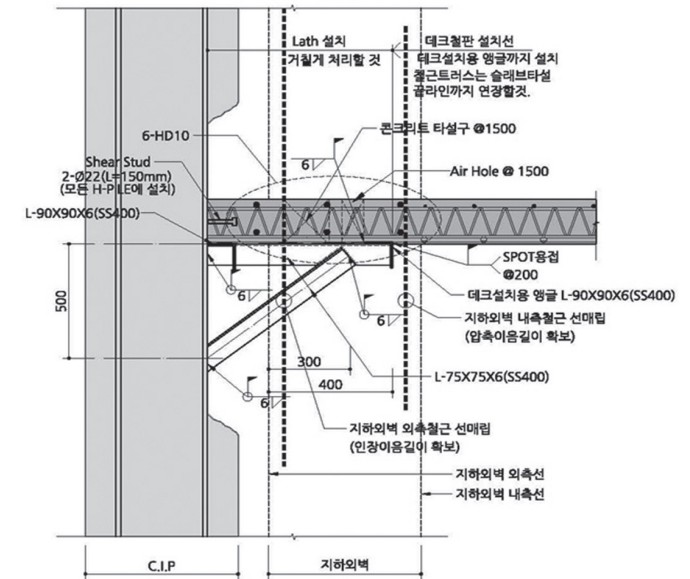
[그림 11] Plate Force



[그림 12] Displacement

편도압에 대한 슬라브의 변형과 응력에 대해 검토한 결과, 일부 구간에 응력집중현상이 발생하였다[그림 11]. 따라서 응력 집중구간에 대해 보강 철근을 배근하여 보강하였고, 지하최외곽 부분은 편도압에 효과적으로 저항할 수 있도록 슬라브를 흠막이 벽과 밀착시공하고 전달연결재로 보강하였다[그림13].

지하층 슬라브 시공시 최대 수평변위는 지하2층에서 13mm, 기초저면 굴토 시 지상 1층부터 지하 3층까지의 누적수평 변위는 30,57mm이다. 이는 흠막이 허용수평변위인 32,8mm 이내로 안전측인 것으로 검토되었다 [그림 13] 흠막이 허용수평변위는 철도설계기준에 따라 총 굴착 깊이의 0.2% 적용함).



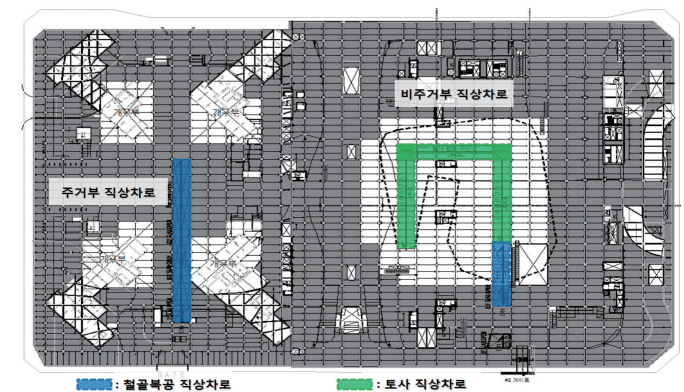
[그림 13] 최외곽부 슬라브 보강안

### 토사 직상차로 계획

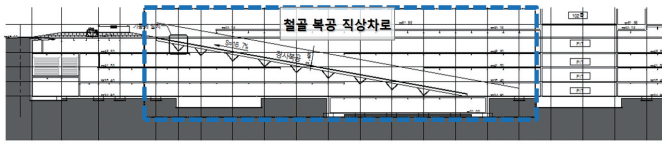
본 프로젝트는 가로×세로(289m×179m)의 넓은 부지와 깊은 굴착고로 인해 토공의 효율성이 전체 공사에 미치는 영향이 큰 프로젝트이다. 따라서 토공 효율성을 높이기 위해 직상차로를 설치할 것을 제안하였다.

주거부의 경우, 지하 3층 바닥 레벨까지 철골복공 경사로를 설치하는 것으로 계획하였고, 비주거부의 경우, 진입부 일부구간은 철골복공 경사로를 설치하고 그 외 구간에 대해서는 중앙부 순타구간으로 계획된 대형 개구부를 활용하여, U자형 토사 직상차로를 계획하였다.

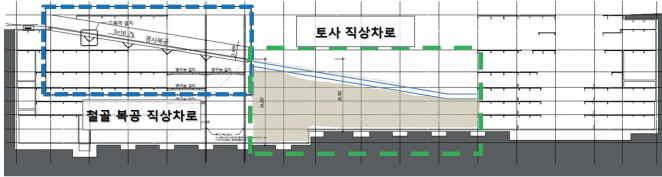
덤프트럭의 차고를 고려하여, 직상차로의 높이를 3.7m로, 경사로의 슬로프를 16.7%로 적용하였다.



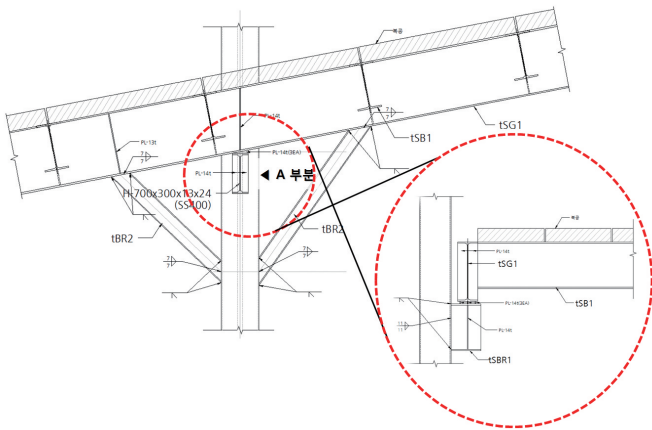
[그림 14] 직상차로 위치도



[그림 15] 주거부 직상차로



[그림 16] 비주거부 직상차로



[그림 17] 복공 램프 부재설계 및 접합상세

## 맺음말

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

- 1) 당사 CWS엔지니어링에서는 CWS공법(탐다운공법) 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 완료 시 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.

본 프로젝트와 같이 대형 프로젝트에서의 탐다운공법 설계는 공법설계자와 시공사와의 긴밀한 협의를 통한 의사소통이 무엇보다도 중요한 요소이다. 따라서, 시공사와의 공정계획, 시공계획이 충분히 협의되어 탐다운 설계시 반영되어야 하며, 이는 탐다운 공사의 성패와 직결된다.

또한 설계 단계뿐만 아니라 시공단계에서도 지속적인 협의 및 현장 컨설팅을 통해 탐다운 공법 설계시 반영된 공정의 준수여부 및 시공 상태를 확인하여야 한다.

본 프로젝트는 시공성과 경제성, 공기를 동시에 만족시킬 수 있는 탐다운 공법 설계를 위해 설계 초기단계에서부터 탐다운공법 설계사와 건설사(롯데건설)의 설계 및 공정관련 미팅을 수행하였으며, 공사 단계에서도 지속적인 미팅을 통해 안정적으로 공사가 수행될 수 있도록 하고 있다.