

“ Post-Tension공법을 통한, 초고층 주거건물의 친환경 기술혁신 ”

울산 파크폴리스 신축공사 - 코오롱건설(주)



권순철 부장
현장소장



송재경 본부장
건축플랜트 본부장

1. 머리말



그림1. 울산 코오롱 파크폴리스 조감도

최근, 초고층 건축물 수요의 확대에 따라 그에 수반되는 각종 요소기술이 비약적으로 발전하고 있다. 울산파크폴리스 현장은 부재 춤을 감소시킬 수 있고, 처짐 감소 및 내구성 향상이 가능한 포스트텐션 공법을 국내 최초로 기준층에 전면 적용한 사례로써, 새로운 요소기술을 국내에 대중화할 수 있는 계기를 만들었다고 볼 수 있다.

2. PROJECT 개요

표1. 현장개요

프로젝트명	울산 코오롱 파크폴리스
대지위치	울산시 남구 신정동 1102-12번지
공사기간	2005.12 ~ 2009.05 (42개월)
대지면적	3,924.00㎡
건축면적	3,101.70㎡
연면적	72,008.28㎡
용적률	1,292.42%
건축규모	지하 6층, 지상 39층
최고높이	144.5m
구조형식	철근콘크리트구조 Flat Plate(RC)+Perimeter Beam
주차대수	629대

3. Post-Tension 공법 선정 배경

본 건물은 초기에 테두리보가 있는 RC플랫 슬래브구조로 계획되었으나 콘크리트 물량절감에 의한 건물 중량감소와 철근 등의 자원절감, 콘크리트 슬래브의 내구성향상을 통한 건물의 장수명화, 슬래브처짐 등 사용성향상을 위해 그림2.와 같이 포스트텐션 시스템의 적용을 계획하게 되었다. 현장에 적용된 공법은 두께 250mm의 얇은 슬래브에 적용이 용이한 비부착 포스트텐션 공법을 적용하였다.

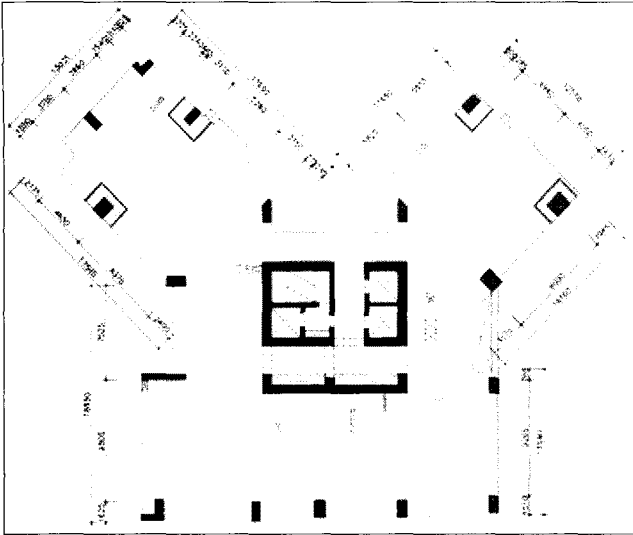


그림2. 포스트텐션구조 (Slab:250mm)

4. Post-Tension 공법적용에 의한 환경부하 저감효과

표2. 초고층요소기술에 의한 환경부하 저감효과

구 분		내 용
Post-Tension	효 과	내구성향상(균열발생방지) 콘크리트수량감소(부재중감소)
	제 원	비부착 포스트텐션
	분 류	내구성향상, 장수명화, 자원절감
고성능 콘크리트	효 과	공기단축, 부채크기 감소
	제 원	35~50Mpa
	분 류	자원절감, CO ² 발생저감
고강도 강연선	효 과	고강도자재 활용으로 철근량 감소
	제 원	1,860Mpa
	분 류	자원절감, CO ² 발생저감
시스템 거푸집	효 과	폐금속, 폐목재 등 폐기를 저감
	제 원	RCS레일폼
	분 류	CO ² 발생저감

5. 초고층 요소기술 적용사항

5.1. Post-Tension 시스템

5.1.1. 개요

부재에 압축력을 도입하는 방식은 크게 프리텐션과 포스

트텐션으로 나누어진다. 두 방식 모두 긴장재를 사용하여 압축력을 도입하는 점은 동일하지만 긴장력 도입시점에 따라 구분된다.

프리텐션 방식은 긴장대 정착단에 긴장력을 가한 긴장재를 설치한 후 긴장대에 콘크리트를 타설하여 부재를 만든 후, 소정의 강도발현 뒤 정착단의 정착을 풀어서 압축력을 도입하는 방식이다.

포스트텐션 방식은 시공현장에서 그림3과 같이 긴장재를 배치하고 콘크리트를 타설 후 소정의 강도발현 뒤 긴장력을 가하는 방식이다.

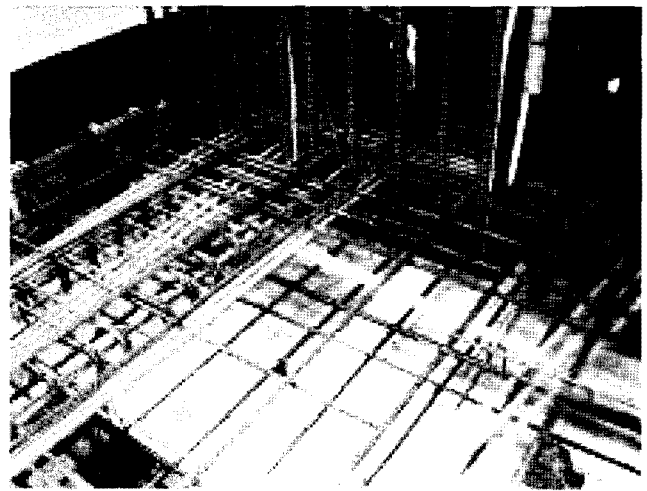
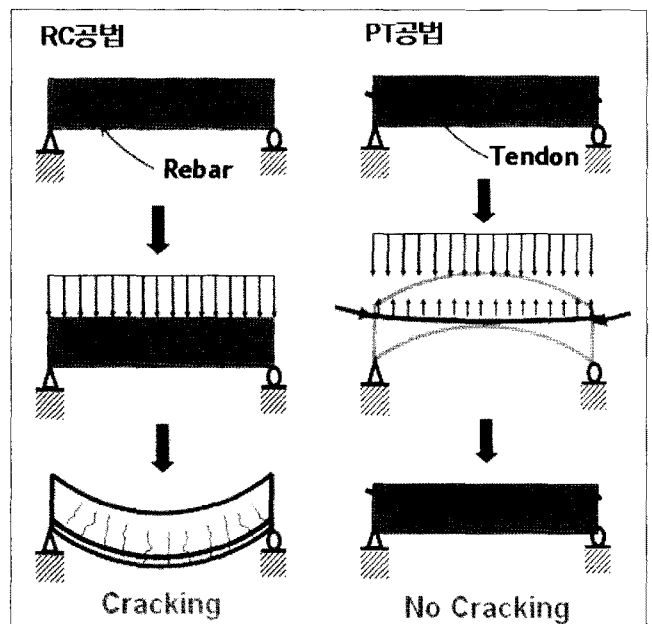


그림3. 비부착 강연선 배치

5.1.2. Post-Tension 공법의 기본개념



5.1.3. Post-Tension 공법 적용

기존 RC구조는 그림4와 같이 두께 250mm의 RC슬래브와 2200*400mm 크기의 테두리보로 설계되었다. RC 구조에 적용된 테두리보는 슬래브 처짐제어 및 풍하중, 지진하중과 같은 횡력에 대한 저항성을 향상시키기 위해 계획되었지만, 평면크기에 비해 보 폭이 크고 불규칙한 구간이 존재하였으며, 슬리브배관 등의 시공성 저하가 예상되었다. 또한 조밀하게 계획된 테두리 보 철근에 의해 전체적인 공사비 증가가 예상되는 상황이었다.

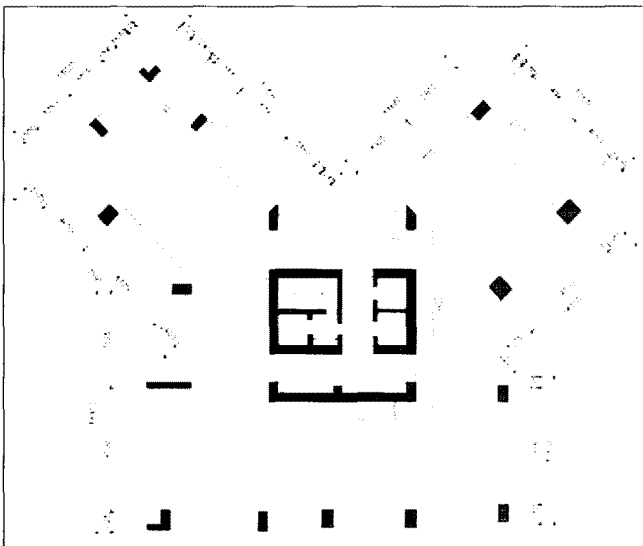


그림4. 기존RC구조

Post-Tension 시스템이 도입된 가장 큰 이유는 콘크리트에 압축력을 도입하여 외부하중에 대한 저항성을 향상시키고, 장스팬 무량판 시스템이 가능하도록 하고 테두리 보를 제거하기 위함이었다. Post-Tension 시스템을 적용하여 테두리보를 제거함으로써 전체 건물의 자중을 경량화하여 건물에 소요된 콘크리트와 철근 등의 자원절감과 구조물의 내구성향상을 달성할 수 있었다. 또한 사용하중 작용시에 슬래브에 균열이 발생하지 않도록 제어하였다.

즉, 포스트텐션 공법은 고성능 자재의 효율적인 사용을 통한 CO² 발생량을 줄이고, 건물 골조의 장수명화로 자원을 절감할 수 있는 친환경적인 공법이다.

가) RC시스템 처짐 검토

기존 RC Perimeter Beam을 설치한 시스템의 경우 최대 장기 처짐 34.58 mm (L/376)가 발생하였다. 다음은 RC 시스템의 장기처짐 검토 결과이다(그림5).

최대 장기 처짐 (유효단면2차모멘트 고려시) :

$$34.58\text{mm} (= L/376 > L/480 = 27.0\text{mm})$$

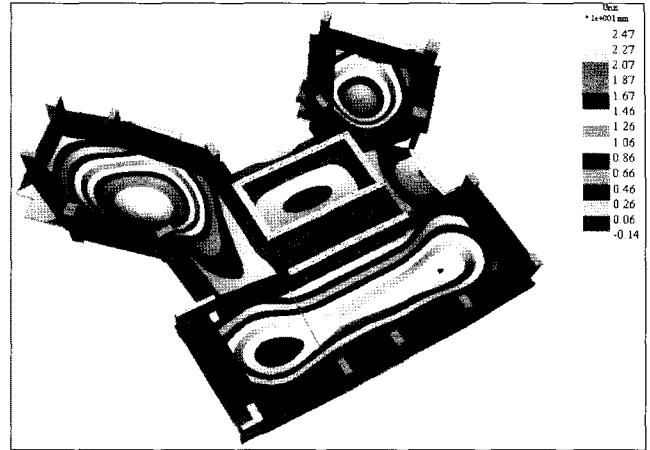


그림5. RC시스템 처짐

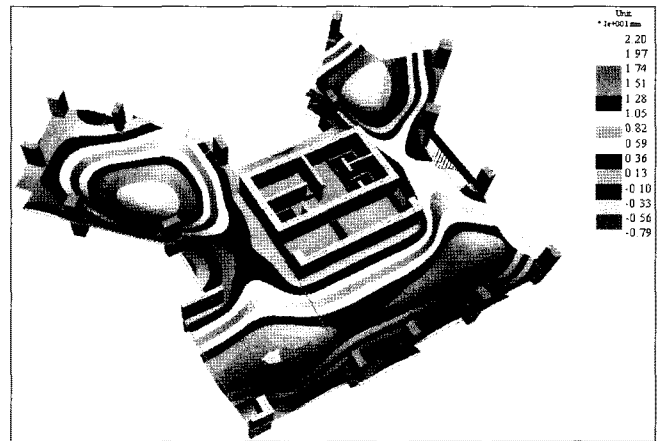


그림6. PT시스템 처짐

나) PT시스템 처짐 검토

포스트텐션 바닥판 시스템을 적용하는 경우 슬래브에 사용하중 상태에서 균열이 발생하지 않는 것으로 가정할 수 있다. 따라서 처짐검토 시에 전단면2차 모멘트를 사용하여 처짐을 산정할 수 있다(그림6).

최대 장기 처짐 : 전단면2차모멘트에 의한 장기처짐

$$22.0\text{mm} (= L/590 < L/480 = 27.0\text{mm})$$

무량판 슬래브에 적용된 비부착 포스트텐션 공법은 사용하중시에 콘크리트의 인장응력이 허용인장응력 이하가 되도록 설계되었다. 슬래브에 균열이 발생하지 않으며 장기처짐이 RC에 비해 상대적으로 적게 발생한다. 또한 강연선의 정착과 거푸집의 조기탈형을 위해 고강도 콘크리트를 사용하여 구조물의 내구수명을 향상시킬 수 있었다.

다) 기준층 PT 시스템 적용

울산 코오롱 파크폴리스 현장 지상9~36층까지 28개층 주거부분을 포스트텐션 시스템이 적용된 플랫 슬래브 바닥판으로 시공하였다. 텐던 배치방법은 시공 시 발생하는 텐던의 간섭을 최소화 하기위해 분산배치와 집중배치가 교차하도록 계획되었다(그림7,8).

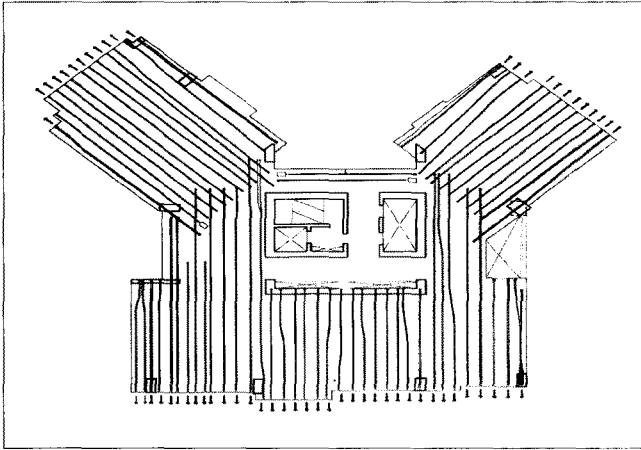


그림7. 분산배치

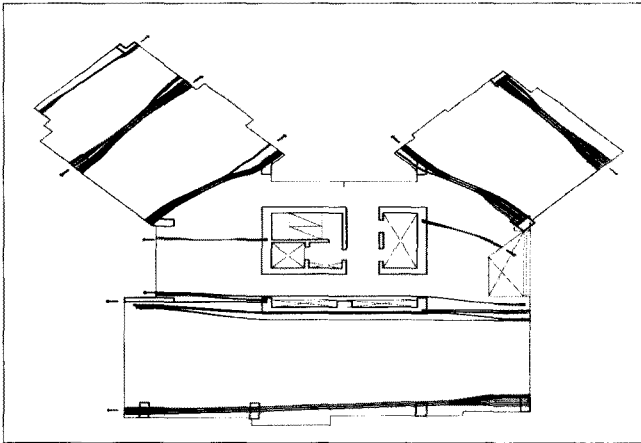


그림8. 집중배치

분산배치 텐던수량은 길이 2.1km에 약 1.65 톤의 텐던이 배치되었다. 집중배치 텐던은 1.29 km 에 약 1.43 톤의 텐던이 사용되었다. 기준층에 사용된 텐던정착구는 426개가 사용되었다. 바닥슬래브 면적은 약 805m²이며, 층당 약 3.07톤의 텐던이 사용되었다. 이는 면적당 텐던 3.8kg/m²에 해당한다.

정착구 수량을 최소화하기 위해 분산배치 텐던은 직경 12.7mm 가 사용되었고, 집중배치 텐던은 15.2mm를 적용하였다.

5.1.4. Post-Tension 시공순서

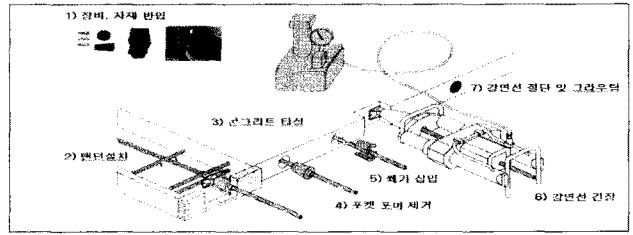


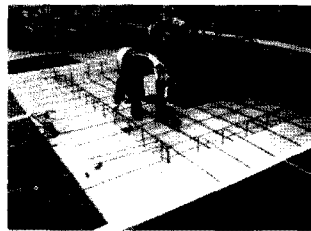
그림9. 비부착 Post-Tension 시공순서

포스트텐션 공법의 시공순서는 아래와 같다.

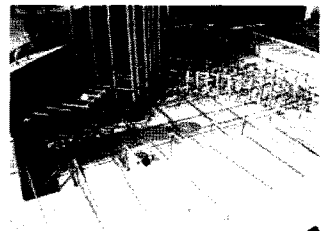
- 1)장비, 자재반입
- 2)텐던설치
- 3)콘크리트타설
- 4)포켓포머제거
- 5)뽑기삽입
- 6)강연선긴장
- 7)강연선절단 및 그라우팅

5.1.5. Post-Tension 현장시공사진

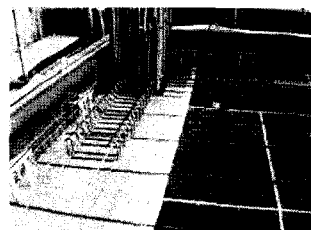
① 드롭하부 철근설치



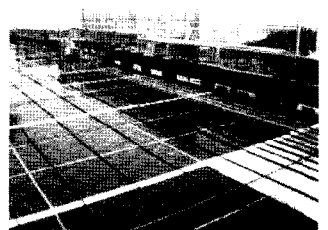
② 드롭전단 보강근 설치



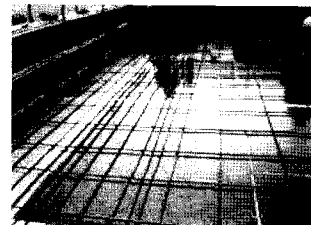
④ 기둥 전단보강근



③ X방향 하부근 설치



⑤ Y방향 하부근 설치

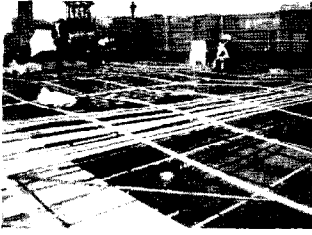


⑥ 집중배치 텐던 설치

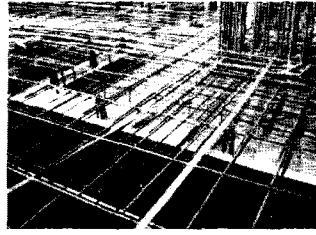


■ 공사기록

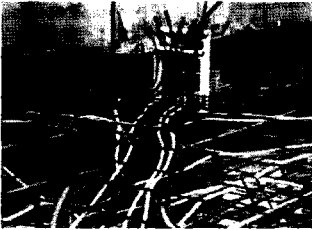
⑦ 분산 텐던 설치



⑧ 상부근 설치



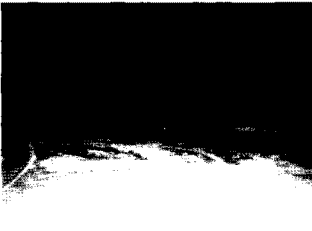
⑨ 전기, 설비배관



⑩ 콘크리트타설



⑪ 양생



⑫ 강선 긴장



5.2. 고성능콘크리트

5.2.1 개요

콘크리트의 사용이 약 200년간 지속되면서 압축강도에 비해 낮은 인장강도 균열저항성 탄성 및 흡수능력의 미비로 구조계획이 제한되고 콘크리트의 중성화 및 염해 등에 의한 철근부식으로 내구성 저하에 따른 구조물의 수면단축 문제가 끊임없이 제기되어 왔다.

이에 콘크리트가 가지는 많은 문제점을 개선하고자 하는 일련의 노력으로 1989년 캐나다에서(High Performance Concrete)라는 용어가 처음 도입되고 지금은 현장에서 실무적으로 사용할 수 있을 만큼 발전하게 되었다.

- 높은 초기 재령강도
- 장기적인 역학적 특성의 개선
- 체적 안전성과 높은 탄성계수
- 열악한 환경에서의 구조물 수명 개선(내구성)
- 재료분리 없이 타설 및 다짐이 쉬운 것

국내에서는 아직까지 고성능콘크리트의 개념보다는 통상 고강도콘크리트라고 부르고 있으며 대부분 지역에서도 각

요구조건에 맞는 정확한 개념을 가지지 못하고 아직까지 고강도콘크리트로 인식되는 경향이 있다.

이와 같이 고성능콘크리트는 고유동, 고내구성, 저발열, 고강도 등을 총괄적으로 내포하고 있는 것으로 특정 성능뿐만 아니라 다방면에 걸쳐 보통콘크리트와 차별된다.

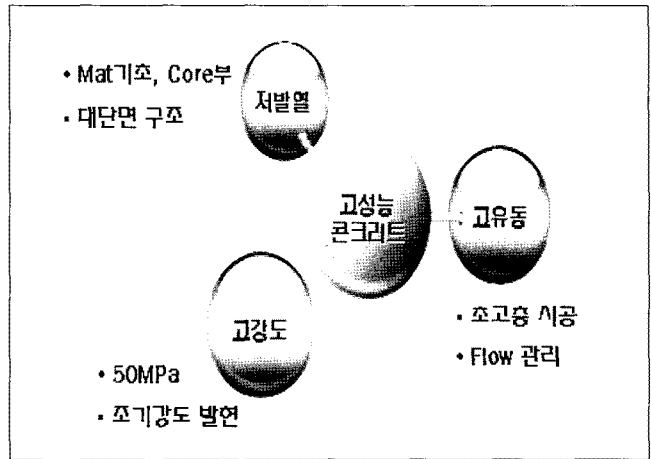


그림10. 고성능콘크리트의 개념

5.2.2. 현장타설 및 양생시 주의사항

- 실생산 후 현장까지 운반시간 Check
- 펌프카 부하 및 타설성능 확인
- 실부재에서의 강도 발현상태 점검
- 수화열 Check 관리
- 마감, 미장시간 Check
- 양생방법 검토 및 소요시간 파악
- 탈형시기 Check

5.3. RCS (Rail Climbing System)

5.3.1. 개요

레일 일체형의 브라켓으로 다목적 용도의 레일을 이용하여 여러가지 시스템으로 전환이 가능한 시스템이다. 고정수에 지지되어 1회 50cm씩 인양이 가능한 클라이밍 디바이스로 플랫폼이 레일과 함께 올라간다. 펌프와 클라이밍 디바이스(실린더)를 수작업으로 이동하며, 각도조정이 가능하기 위한 힌지타입의 분리형수는 전후 경사각도에서도 클라이밍 디바이스(실린더)는 자동으로 인양된다. 복잡한 벽식구조물뿐만 아니라 플랫폼라브가 적용된 구조물에도 적합하다.

5.3.2. 장점

- 고층부 작업시 안전성 확보
- 외부 갱폼 인양시 T/C부하 감소
- 낙하 방지

5.3.3. 현장시공 (파크폴리스)

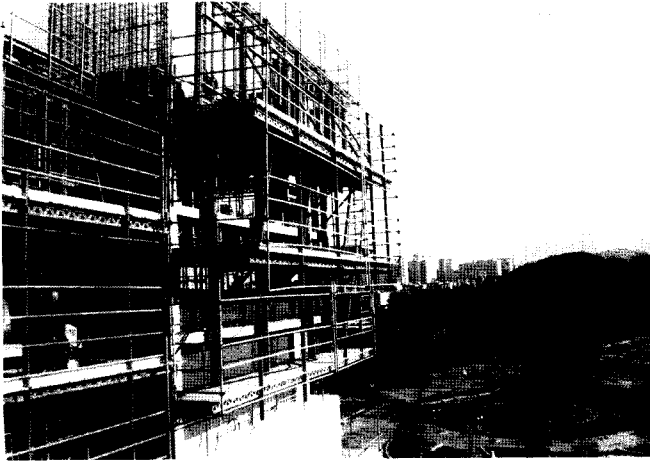


그림11. RCS 현장시공

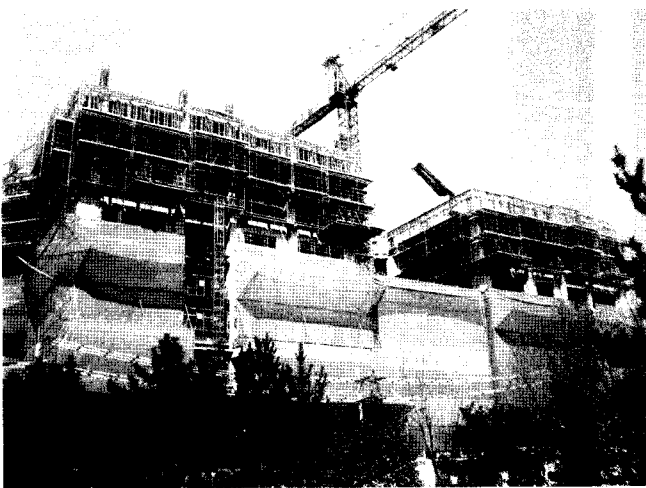


그림12. RCS 현장시공

5.4. Sky-Deck

5.4.1. 개요

경량알루미늄 판넬과 드롭헤드를 사용하여 조립, 설치 및 해체가 신속하고 간편한 슬라브 거푸집시스템을 말한다.

5.4.2. 장점

- 전문 인력이 필요 없고 Level조정 & 먹메김 작업 시

형틀목공필요 (무경험자도 설치/해체가능)

- Slab면이 9mm합판이므로 하절기 및 동절기의 표면 온도 변화가 적어서 혹서기, 혹한기 작업이 수월하며 콘크리트의 이상 발현현상이 없음
- 다른 종류의 거푸집과 접목이 가능함
- 연결핀 불필요, 해체시 소음 없음 (현장청결)
- 넓은 작업통로 확보
- 안전사고 예방

5.4.3. 현장시공 (파크폴리스)

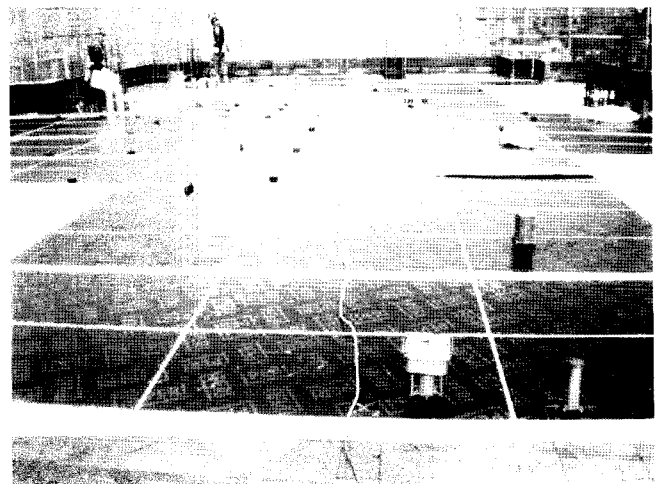


그림13. 타설 전, Slab 설치상태



그림14. 타설 후, 해체모습

5.5. SPS 공법

5.5.1 개요

SPS 공법은 지하 본 구조물용 철골기둥과 보를 굴토공사

진행에 따라 선 시공하여 굴토공사 중에는 흙막이 지보공 Strut으로 사용하고, 굴토공사 완료 후에는 해체과정 없이 본 구조물로 사용하는 공법이다.

5.5.2 특징

- 영구 구조물을 지보공으로 사용하여 구조적 안정성 및 주변변위 극소화
- 토질상태에 관계없이 시공 가능
- 흙막이 벽체공법에 제약 없이 사용 가능
- 1층 바닥 선 시공으로 작업공간 활용
- 변위, 소음, 분진 등 민원 발생 최소화
- 현장여건에 따라 최적 시공안 선택 (Down Up / Up Up/ Semi Top Down / Top Down)

5.5.3 시공 Process

당 현장에 적용된 SPS Up-Up공법의 시공순서는 아래 그림15와 같다.

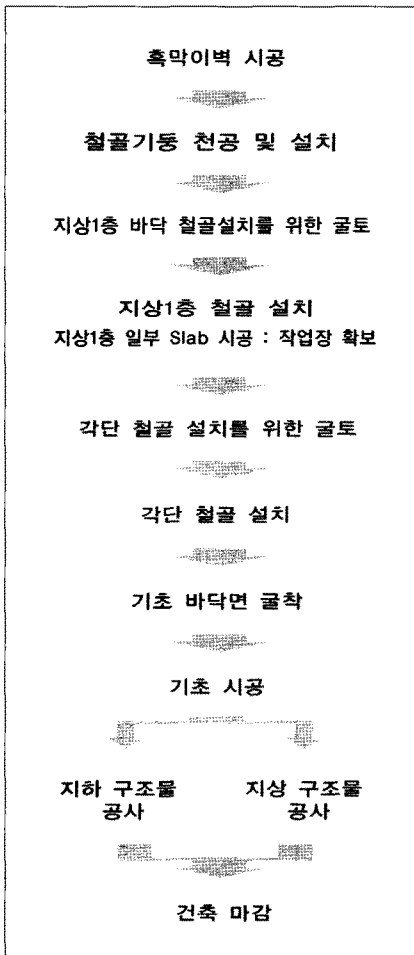


그림15. SPS Up-Up 시공 Process

5.5.4 현장적용효과

당초의 공사 계획은 CIP+LW+가설 STRUT(PS II BE AM)공법이었으나 도심지 공사상의 이유로 SPS 공법으로 변경하였으며 그 효과는 아래와 같이 공사기간 4개월 단축 과 MAT타설 후 지상5개층 UP-UP효과를 얻었다.

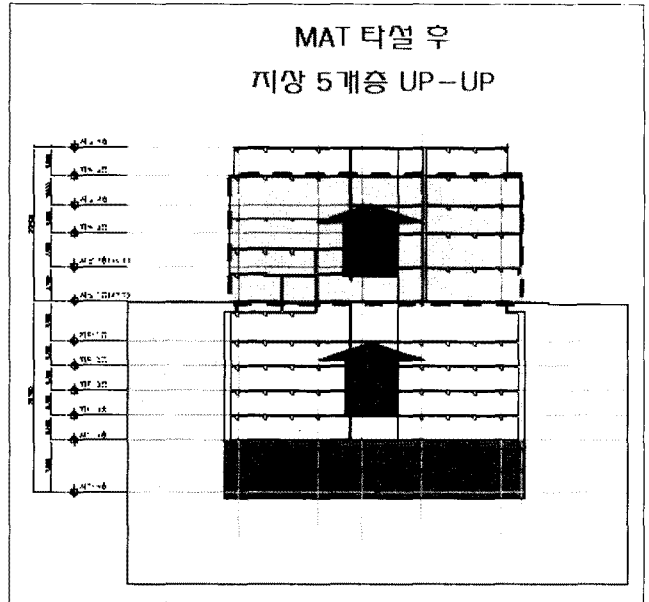


그림16. SPS 공법 적용에 의한 지상5개층 UP-UP

항목	단위	D+기월																비고							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4		5	6	7	8			
흙막이 벽체공사	90일	■																							
굴착 및 상차 (토사, 연압, 알파)	180일		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
바닥경면, 기초타설	45일									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
지하층 골조(-E6)	180일																								
▶																									
흙막이 벽체공사	65일	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
현장타설 알파공사 (P.R.O)	45일																								
굴착 및 철골공사	200일																								
바닥경면, 기초타설	45일																								
지하 및 지상골조	-																								

그림17. SPS 공법 적용에 의한 공기단축(4개월)

6. RC와 Post-Tension 시스템 비교

포스트텐션 공법 적용 시 수평부재 물량을 산출하여 기존 RC공법과 비교 검토하였다. RC공법을 적용할 경우 2200*400의 테두리보가 필요한 반면 PT공법의 경우 기둥 주위에 두께 400mm의 드롭판넬이 있는 슬래브 두께 250mm 무량판구조로 하중을 안전하게 전달할 수 있고, 사용성과 자원절감을 이룰 수 있었다. 콘크리트와 철근의 물량변화는 아래 그림18과 같다.

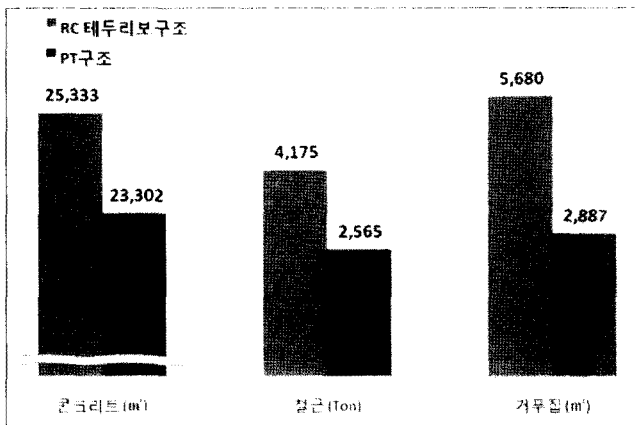


그림18. RC와 PT공법에 의한 자원절감효과 비교

코오롱 파크폴리스 주거부분에 포스트텐션 공법을 적용한 결과 기존 RC공법에 비해 철근량 1,610톤, 콘크리트 물량 2,031m³, 거푸집 2,793m²가 절감되었고 PT 적용으로 텐던 179톤이 추가로 소요되었다.

공법변경에 의한 순수 PT공사원가는 RC대비 89% 수준으로 확인되어, 소요자재량 감소뿐만 아니라, 가격경쟁력도 확보할 수 있었다. 더불어 PT공법 시장이 확대된다면, 관련 추가공사 원가의 절감이 기대되므로, 추가적인 원가절감도 예상할 수 있었다.

향후, 고층건물의 기둥간격이 8m이상 장스팬으로 계획되는 경우 포스트텐션 공법을 설계단계에서 부터 반영해 보는 것이 효율적일 것이라고 판단된다.

7. 기준층 층당 4일 공정

초기 포스트텐션 공법 적용 시 가장 큰 문제점은 정착구

설치, 텐던배치, 강연선 긴장 등의 추가공정이 기준층 골조 공정에 악영향을 준다는 것이었다.

이러한 텐던 추가공정의 문제점을 해결하기 위해 철근작업자가 텐던배치 작업을 할 수 있도록 교육하여 철근과 텐던 작업자의 간섭문제를 해결하였다.

RC 플랫 슬래브 골조의 층당 4일 공정을 위하여 소요되는 동바리는 보편적으로 3~4벌이 적용되고 있다. 파크폴리스 현장의 경우에는 그림19와 같이 포스트텐션 공법을 적용하여 수직 동바리 2벌로 층당 4일 공정을 달성할 수 있었다.

구분	작종	D+1		D+2		D+3		D+4	
		오전	오후	오전	오후	오전	오후	오전	오후
A동	형틀	크레임	경통해체, RCS연명설치 기둥, 벽체 형틀해체 (9MPa 확인 후) 기둥, 벽체 형틀상치	기둥, 벽체 형틀상치	반덕거푸집 해체 (SKY-DECK) 반덕거푸집 설치 (SKY-DECK)	TENDON연장 : FL-1층 (21MPa 확인 후)			
	철근/ TENDON	기둥, 벽체 철근배근			슬래브 철근, TENDON상치 철근, TENDON인양				
	Conc							타설	마감연명
	전기 설비						전기, 설비 배선상치		
시간대별 작업실적	[일몰] ~08:30 기둥연 ~17:00 기둥, 벽체 철근배근 ~18:00 RCS 인양 [Mold Test] (06:40 기둥경도 TEST 11:00 Slab경도 TEST	[일몰] ~12:00 반덕거푸집 형제 ~12:40 기둥거푸집 설치	[일몰] ~16:00 FL-1 TENDON인양 [철근] ~16:00 철근, TENDON 설치 ~17:00 검측 ~18:00 마무리	[콘크리트] 08:30 타설준비 08:30~15:00 타설					

그림19. PT공법 적용에 의한 4일공정표



그림20. 골조공사 중의 현장전경

9. 결론

울산 코오롱 파크폴리스 현장에서는 자원절감에 있어 효과적인 기술로 고강도자재를 활용한 포스트텐션 공법을 검토하였고, 설계변경을 통해 건축물시공에 적용하여 시공성, 경제성을 비교 검토하였다.

포스트텐션 공법 적용으로 콘크리트는 10% 감소하였고 철근은 38%의 감소율을 보였다. 이러한 투입자재의 감소는 자원절감과 함께 폐기물량의 감소효과를 가져오며, 그 결과 지구온난화의 주범인 CO²발생량을 감소 시킬 수 있다.

그러나 국내의 경우 고층 주거 건물에 포스트 텐션 적용 사례가 없으며, 포스트 텐션 공법의 적용을 위해 국내 시공 기술의 정밀성을 향상시켜야 하고 건축물 PT시방서에 대한 연구와 국내 실정에 적합한 강연선의 정착 자재 및 긴장장비의 개발이 더욱 필요할 것으로 사료된다.

10. Post-Tension 관련 자체 특허출원

가) 강연선 단부의 고정 정착구 설치방법

(INSTALLING METHOD FOR DEAD END OF PRESTRESSING STRAND END)

출원일자 : 2008.03.18

출원번호 : 10-2008-0024926

나) 강연선 연결 커플러

(PRESTRESSING STRAND CONNECTION COUPLER)

출원일자 : 2008.06.12

출원번호 : 10-2008-0055362

11. 현장조직 현황

