

# 비부착 포스트텐션 플랫 슬래브의 설계와 시공

## Design and Construction of Flat Slab using Unbonded Post-tension System

정 광 량\*

박 정 우\*\*

Chung, Kwang-Ryang

Park, Jung-Woo

### Abstract

The flat slab is well-known as a structural system to reduce the story height, so it is broadly used for recent building. However, the normal RC flat slab is not appropriate for the long span, and the quantity of reinforcement bar and concrete is raised. Recently, the post-tensioning system has been introduced and used widely as an alternative method. Nevertheless, in Korea, it is not used broadly due to lack of the understanding and field experience. Especially, the post-tensioning system is hesitated to use due to uncertainty of construction ability and economics. This paper will introduce applicability to site and economics of unbonded post-tensioning system through construction examples.

키 워 드 : 포스트텐션, 비부착 방식, 플랫 슬래브  
Keywords : post-tension, unbonded type, flat slab

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 목적

최근 건축의 동향은 보다 넓은 공간을 보다 독특하게 구성하는 것으로 표현할 수 있다. 건축주는 공간활용도를 높이기 위해 기둥 등 수직재를 최소화하여 공간을 구성하기 원하고 건축가는 정형화되지 않은 독특한 외형과 공간 구성을 계획함으로써 건물의 개성을 나타내고자 한다. 이와 같은 개념의 변화로 현재 대부분의 건물은 과거의 단순하고 획일적인 형태에서 벗어나서 다양한 평입면이 하나의 건물내에서 구현되고 있다.

이러한 경향은 구조계획에도 영향을 끼쳐 이전과 동일한 일반적인 구조형식으로 설계할 경우 구조체 크기가 지나치게 증가되어 건축가의 의도를 충분히 반영하지 못하거나 경제성이 크게 저하되는 문제점을 나타낼 수 있다. 가장 널리 사용되는 철근콘크리트(Reinforced Concrete; 이하 RC) 구조는 시공 경험이 풍부하고 철골 구조에 비해 경제적이지만 장스팬 구현이 어려운 단점이 있다. 철골 구조는 장스팬 구현이 용이하지만 사용성이 좋지 못하고 자재비가 상승하는 단점이 있다.

이를 보완하기 위해 다양한 새로운 구조시스템이 연구개발되고 있지만 널리 적용되지는 못하고 있다. 대안으로 고려되는 구조시스템 중 포스트텐션(Post-tension) 시스템은 이미 해외에서는 일

반화된 것으로 장스팬 구현 능력과 사용성이 우수하고 경제성 또한 타 구조형식에 비해 유리하다. 특히 비부착 방식(Unbonded Type)의 포스트텐션 시스템은 경제성 및 시공성 측면에서 보다 많은 이점을 가지고 있다. 그러나 국내에서는 개념 및 공법에 대한 이해 부족으로 적용을 꺼리고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 포스트텐션 시스템의 실제 사례를 통해 공기 및 경제성 등의 장점과 현장에서 고려해야할 사항에 대해 살펴보고 국내에서의 현장 적용성에 대해 평가해보고자 한다.

## 2. 비부착 포스트텐션 시스템의 특징

포스트텐션 시스템은 크게 부착 방식(Bonded Type)과 비부착 방식으로 구분된다.

부착 방식은 원형(Round) 또는 플랫(Flat) 덕트 내에 강연선을 삽입하고 긴장작업을 마친 후 덕트 내부를 시멘트 모르타르로 충전한다. 반면 비부착 방식은 쉬스(Sheath)로 감싼 강연선 한 가닥씩을 배치한 후 긴장작업을 하기 때문에 후속 공정이 불필요하다.

KBC 2009 및 ACI318에 따르면 텐던 간격은 슬래브 두께의 8배 또는 1,500mm 중 작은 값을 따르도록 규정하고 있다. 슬래브에 포스트텐션 시스템을 적용할 경우 2~3가닥의 강연선이 900~1,200mm의 간격으로 배치되는 것이 일반적이다. 이 경우 부착 방식은 최대 허용 간격인 1,500mm로 배치하더라도 하나의 덕트 내에 3~4가닥만을 삽입한 상태로 배치되어 효율성이 떨어

\* (주)동양구조안전기술 대표이사, 공학박사  
\*\* (주)동양구조안전기술 팀장, 교신저자(jwpark@dysec.co.kr)

지게 된다. 반면 비부착 방식은 각각의 강연선을 별도로 배치하기 때문에 배치 간격을 자유롭게 조절할 수 있다. 이러한 이유로 얇은 슬래브에서는 비부착 방식의 경제성이 우수하며 슬래브가 얇을수록 이러한 경향은 강하게 나타난다.



그림 1. 부착 방식 포스트텐션 텐던 배치



그림 2. 비부착 방식 포스트텐션 텐던 배치

시공성 측면에서도 여러 측면에서 비부착 방식이 보다 유리하다. 첫 번째로 덕트내 강연선 삽입 및 그라우팅 작업이 필요 없기 때문에 공정을 단순화시킬 수 있다. 두 번째로 부착 방식의 플랫 덕트는 정착구 폭이 200mm를 초과하기 때문에 슬래브 단부에 기둥 또는 테두리 보가 위치하는 경우 철근과의 간섭이 발생하기 쉬우며 정착구 설치를 위해 철근 배근을 조절해야하는 경우도 빈번하게 발생한다. 반면에 비부착 방식은 정착구 폭이 75~85mm 내외이기 때문에 기둥 주근과 보 스트립 사이에 설치가 가능하다. 마지막으로 플랫 덕트는 납작한 형태이기 때문에 수평곡률 구현이 어려운 반면 비부착 방식 강연선은 개개의 강연선을 자유로운 수평 곡률로 배치할 수 있기 때문에 시공성이 우수하다. 특히 국내 주거용 건물의 경우 많은 슬리브와 설비 배관들이 슬래브에 매립되기 때문에 현장 상황에 따라 곡률 수정이 용이한 비부착 방식이 보다 유리하다. 단 부착 방식은 추후 오프닝 생성이 보다 용이

한 장점이 있다.

이와 같이 건축 구조물 특히 플랫 슬래브에서 비부착 방식 포스트텐션은 RC 구조, 철골 구조 뿐만 아니라 부착 방식 포스트텐션에 비해서도 경제성 및 시공성 측면에서 우수하다.

### 3. 적용 사례와 결과 분석

#### 3.1 Twin Tree



그림 3. Twin Tree 전경

표 1. Twin Tree 개요

사업명	중학 2구역 2-1지구 도시환경정비사업
위치	서울시 종로구 중학동 14번지 일대
용도	업무시설, 근린생활시설, 문화 및 집회시설
규모	지상 17층, 지하 8층
건축면적	2,201.50 m <sup>2</sup>
연면적	55,517.43 m <sup>2</sup>
건축설계	(주)BCHO 건축사사무소
구조설계	(주)동양구조안전기술
시공사	한일건설(주)

본 프로젝트는 서울특별시 종로구 중학동 14번지에 위치하며 경복궁 사거리에 위치하여 접근성이 용이하며 위치 특성상 랜드마크적인 역할을 할 가능성이 높다. 이러한 특성을 반영하여 나무 등치를 형상화한 독특한 곡선형의 건물이 계획되었으며 이로 인한 건물의 외형은 설계 및 시공에 있어서 세심한 주의를 필요로 한다.

지상층은 대부분 업무시설이며 지하층과 2층, 최상층 등은 주차장과 근린생활시설로 계획되었다.

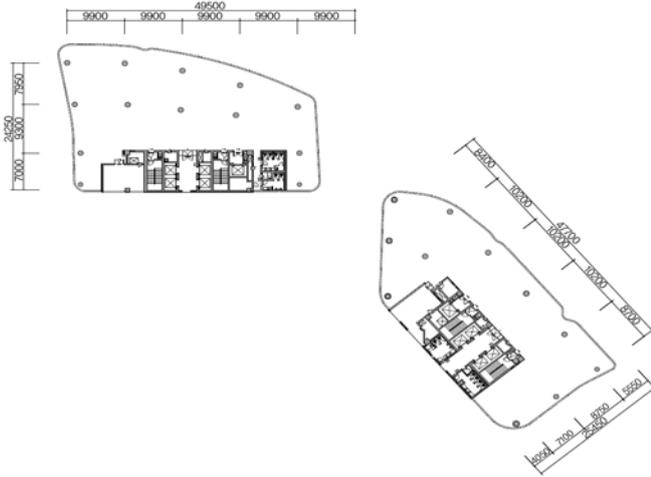


그림 4. 지상 8층 구조 평면도

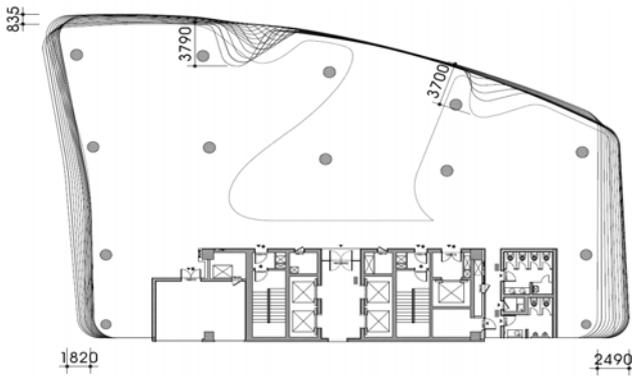


그림 5. 슬래브 외곽 라인의 변화(지상 2층~지붕)

기준층의 평면 형상은 그림 4와 같이 슬래브 라인이 곡선 형태를 이루고 있으며, 그림 5와 같이 각 층은 모두 다른 불규칙한 형태를 지니고 있다. 내부 스패ンは 약 8~10.5m, 캔틸레버는 3~4m로 내부 스패ン에 비해 긴 캔틸레버를 지니고 있다. 기준층 층고는 3.66m이며, 천정고는 2.6m 이상을 목표로 하였기 때문에 건물 높이 제한으로 층고를 최소화할 필요가 있었다.

표 2는 바닥구조시스템별 천정고를 비교한 것으로 일반 RC 구조 또는 철골 구조로 계획할 경우 장스팬 및 캔틸레버에 의해 구조체 높이는 750~900mm가 소요되어 천정고는 2.16m~

표 2. 구조시스템별 천정고 비교

구분	RC 구조	철골 구조	포스트텐션 플랫 슬래브
층고 비교			
구조체 높이	900mm	750mm	250mm
천정고	2,160mm	2,310mm	2,810mm
적용	-	-	◎

2.31m에 불과하게 된다. 이 경우 적정 천정고를 확보하기 위해서는 약 2개 층을 줄여야만 한다. 또한 건축 계획상 천정 마감이 없이 구조체와 설비가 노출되는 컨셉이 적용되어 보를 제거할 수 있는 방법을 고려하게 되었다.

이와 같은 배경에 의해 철골 구조에 대한 대안으로 포스트텐션 플랫 슬래브가 고려되었다.

공기단축을 위해 세미 탑다운(Semi Top-down) 공법을 적용하였다. 지하는 SRC 구조와 철골 구조로 설계되었고, 포스트텐션 구조는 지상 2층부터 적용되었다.

본 건물은 기동열 또한 규칙적이지 않기 때문에 텐던 배치시 곡률 구현이 자유롭고 경사진 슬래브 단부의 긴장 정착구 설치가 상대적으로 용이한 비부착 방식(unbonded type)이 사용되었다. 일부 지판(Drop Panel)을 제외하고 대부분의 구간이 두께 250mm로 플랫 플레이트로 설계되었다.

슬래브 라인이 매층 변화하기 때문에 일반적인 형태의 갱폼(Gang Form)은 사용할 수 없으며, 테이블폼(Table Form)이 대안으로 고려되었다.

본 건물은 슬래브 단부의 위치 변화가 발생하여 서포트가 수직 배치될 경우 캔틸레버가 지나치게 길어지게 되어 타설시 거푸집의 안전성에 문제가 발생할 수 있다. 또한 포스트텐션 관련 작업을 원활히 하기 위해서는 단부 작업공간이 확보되어야 한다. 테이블폼은 서포트가 자체적으로 캔틸레버를 형성할 수 있기 때문에 이러한 문제점들을 동시에 해결할 수 있다. 그러나 본 현장에 대해 검토한 결과 일반 거푸집에 비해 고가인 경제적인 측면과 양중 및 운용시 공간 확보가 여의치 않은 시공성 측면의 문제로 인해 알루미늄폼이 대안으로 채택되었다.

표 3. 바닥 거푸집 시스템 비교

	테이블폼	알루미늄폼
개념도		
특징	고가의 재료비 설치 및 해체가 용이 공기단축 슬래브 단부 작업성이 우수함	저렴한 자재비 작업에 장시간 소요 공기지연 단부 공간 확보가 어려움 안전성 주의 필요



그림 6. 캔틸레버 슬래브의 서포트 설치



그림 7. 서포트 Shoring & Reshoring

각 층의 슬래브 단부 위치가 일반적으로 200 ~ 300 mm 차이가 발생하기 때문에 캔틸레버 구현을 위해 그림 6과 같이 서포트를 경사 배치하였다.

포스트텐션 슬래브의 안전성을 위해 해당층 강연선을 긴장한 후 거푸집을 제거하는 것이 일반적이지만 본 현장에서는 공기 단축을 위해 강연선 긴장전 거푸집을 해체하고 상부층 타설전 긴장력을 도입하였다. 단 거푸집만을 탈형하고 서포트는 존치시킴 3개층 지주 재설치(reshoring)를 적용하고 캔틸레버 부분은 1개층 추가 지주 재설치를 하였다(그림 7).

측면 거푸집은 그림 8에서와 같이 합판과 지지대로 곡면을 형성하여 설치하였다. 포스트텐션 슬래브의 측면 거푸집을 목재를 사용할 경우 긴장 정착구 설치시 갭폼에 비해 큰 이점을 얻을 수 있다.

강연선은 직경 12.7 mm(7 wire, Low Relaxation)가 사용되었고, 현장 공지에서 소요 길이로 절단된 후 하부 철근 배근 후 해당 층으로 인양되어 설치된다. 포스트텐션 공사는 (주)후레씨네 코리아에서 담당하였다. 층당 약 5톤의 강연선이 사용되었고, 단 위면적( $m^2$ )당 4.5 ~ 4.7 kg이 배치되었다. 그리고 불규칙한 텐던 배치를 고려하여 배근 효율성을 높이기 위해 텐던과 간섭이 최소화되는 전단 스티드(shear stud)를 전단 보강재로 사용하였다(사진 9, 10).

공정 효율을 높이기 위해 강연선 설치와 철근 배근을 수행하는 골조 업체에서 담당하였으며, 포스트텐션 업체는 하부 철근 배근 시점에 긴장 정착구를 슬래브 단부에 설치하였다. 텐던 배치는 하부 철근 배근과 상부 철근 배근 사이에 이루어지기 때문에 서로 다른 업체가 이를 수행할 경우 시간 및 인력 손실이 발생하게 된다. 따라서 한 업체에서 철근 및 텐던 배치를 수행하는 것이 중요하며, 포스트텐션 업체는 정착구 관련 작업과 긴장작업을 전담하는 것이 효율적이다.

각 층 공기는 약 7일이 소요되었으며, 형상과 배근의 난이도를 고려할 때 일반 RC 구조에 비해 약 2 ~ 3일 단축되는 수준으로 판단된다.



그림 8. 슬래브 측면 거푸집



그림 9. 텐던 배치 전경

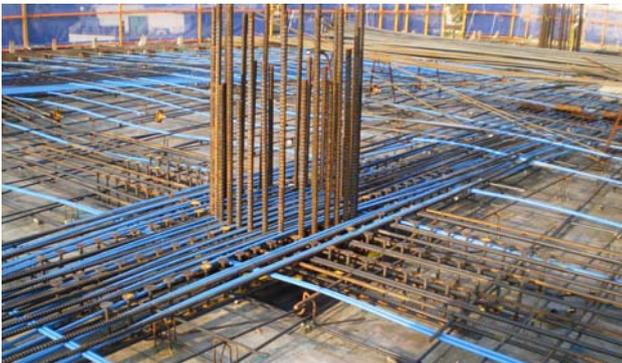


그림 10. 전단 스티드 배치 전경

### 3.2 삼성 GEC



그림 11. GEC 투시도

표 4. GEC 개요

사업명	글로벌 엔지니어링센터 신축
위치	서울특별시 강동구 상일동 367-4 일원
용도	업무시설, 교육연구시설, 근린생활시설
규모	지상 15층, 지하 4층
건축면적	14,480.57m <sup>2</sup>
연면적	181,468.55 m <sup>2</sup>
건축설계	(주)삼우종합건축사사무소
구조설계	(주)동양구조안전기술, 리엔텍구조기술사사무소
시공사	삼성엔지니어링(주)

삼성 GEC(Global Engineering Center)는 삼성엔지니어링(주)의 사옥으로 건설된 프로젝트로 상일동에 위치하고 있다.

평면 형상은 그림 12와 같이 약 11.6m의 스팬을 가지는 장방형의 건물이다.

초기에는 RC Frame 구조와 철골 구조가 구조형식으로 고려되었지만 건물 높이 제한(해발 98m 이하)에 의해 목표 천정고(2.85m)를 확보하기 위해서 구조체 최대 높이가 450mm 이하로 제한되었다. 그러나 RC 및 철골 구조로는 구현이 불가능하였다. 이에 따라 Wide Beam과 Wall Drop(450mm)를 가지는 두께 270mm의 포스트텐션 플랫 슬래브(Unbonded Type)가 적용되었다. 포스트텐션 시스템은 지상 2층~지붕까지 적용되었다.

공기 측면에서 1개 층을 한번에 시공하는 것은 불합리하기 때문에 1개 층을 2개로 분할하여 시공하였다. 이때 이어지기 부분에서 연결정착구가 생길 경우 포스트텐션 공사비가 증가하고 공기가 지연되는 요인으로 작용할 수 있다. 이를 방지하기 위해 본 건물에서는 일방향 슬래브 부분은 주근 방향으로만 텐던을 배치하고 부근 방향은 철근만을 배근하여 이어지기 부분의 시공성을 향상시켰다. VH 분리타설이 적용되어 기둥이 선시공 되었으며 테이בל폼과 알루미늄폼을 혼용하였다.

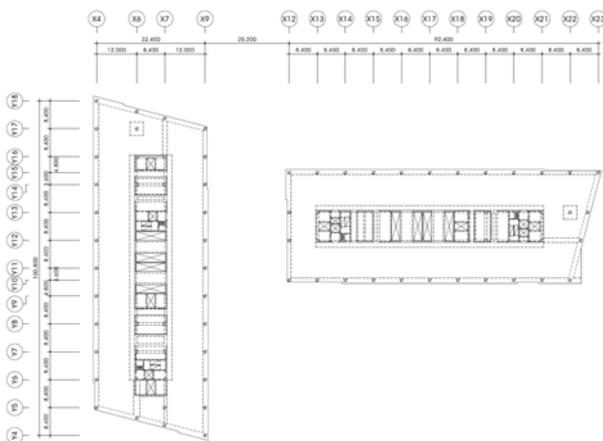


그림 12. 지상 8층 구조 평면도



그림 13. 일방향 슬래브 텐던 배치 전경



그림 14. 시공 전경

강연선은 직경 12.7mm와 15.2mm를 동시에 사용하였는데 이는 보에 배치되는 텐던의 경우 정착구 개수를 최소화하는 것이 경제성 및 시공성 측면에서 유리하기 때문에 15.2mm를 적용하였다. 층당 약 8~9톤의 강연선이 사용되었고 단위면적(m<sup>2</sup>)당 3.6~3.7kg이 배치되었다.

또한 본 건물은 국내 최초로 Encapsulated System이 적용되었다. Encapsulated System은 부식에 상대적으로 취약한 정착구 주변을 외부 환경에서 밀봉시킨 시스템으로 미국에서는 해안 지역 등 염해가 우려되는 지역에서는 기본적으로 사용되고 있다.



그림 15. Encapsulated System

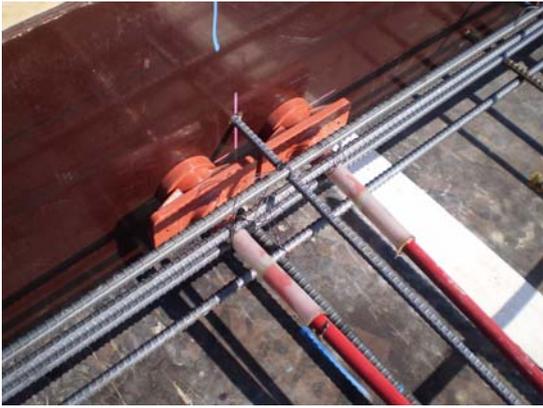


그림 16. 긴장 정착구 배치



그림 17. 시공 전경

본 건물은 앞서 살펴본 바와 같이 포스트텐션 플랫 슬래브를 사용하여 내부 보를 제거함으로써 거푸집 공사와 배근 작업을 단순화하였다. 층당 7일 공정으로 시공되었으며 RC Frame 구조에 비해 약 2일 이상 공기가 단축되었다.

#### 4. 결 론

최근 국내 건축 시장은 공간 활용도와 경제성을 중요시하여 보다 넓은 공간을 보다 경제적으로 구현하려는 움직임이 강하다. 포스트텐션 구조는 이러한 경향에 부합하는 구조시스템으로 국내 건축 시장에 적용시 기대되는 효과는 다음과 같다.

- 1) 비부착 포스트텐션 시스템은 플랫 슬래브 구현에 효율적이며 내부 스팬은 약 40~45, 캔탈레버는 약 12~15의 Span/Depth 비율을 나타낸다.
- 2) 8~12m의 스팬을 가지는 주거 또는 사무용 건물에 포스트 텐션 시스템을 적용할 경우 타 구조 시스템에 비해 층고 뿐만 아니라 경제성 및 시공성 측면에서도 높은 이점을 가진다. 골조공사비는 RC에 비해 90~95%, 철골에 비해 70~80%이며 공기 또한 RC에 비해 1~2일 단축 가능하다.

#### 참 고 문 헌

1. 김강수 외, 긴장재 배치에 따른 PT슬래브공법의 효율성에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 구조계, 제25권 제9호, pp.59~68, 2009.9
2. 윤장근 외, 공동주택 장스팬 기동식 구조시스템의 효율성에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회논문집 구조계, 제30권 제1호, pp.51~52, 2010.10
3. Cary Kopczynski 외, 미국 서북부 건설 현장의 포스트 텐션 적용 장경간 무량판 최근 사례, 대한건축학회 학회지, pp.81~84, 2010.3
4. Post-tensioning in buildings, fib Task Group 1.1, fib, pp.8~19, 2005