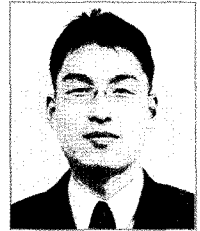


포스트텐션 공법의 경제성 비교



강도안 우리회 부회장
TSEC그룹 대표이사

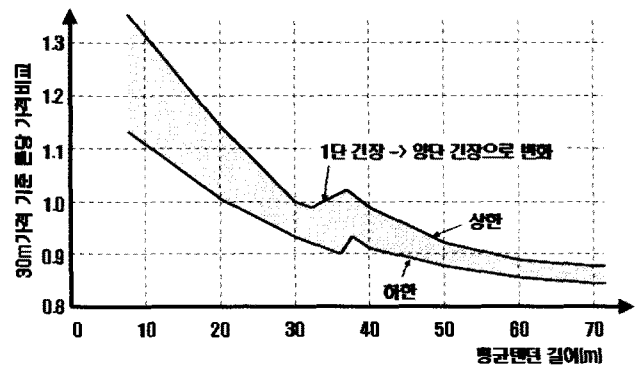


이성희
TSEC그룹 연구팀장/공학박사

현대 산업사회에서는 혁신적인 디자인, 초대형, 장스팬 등 구조엔지니어링이 필요한 다양한 건축물들이 시공되고 있으며, 포스트텐션 공법은 이러한 기술적 요구를 수용하는데 있어 좋은 해결방법의 하나로 적용이 늘어나고 있는 공법이다. 이에 본지에서는 지난호(3월)의 "포스트텐션 공법의 소개"에 이어 경제성을 비교 분석하여 포스트텐션 공법적용의 장점을 소개하고자 한다.

경제성 비교에서는 공법에 사용되는 인건비와 재료비 등의 직접비용을 제외한 공기, 유지관리, 해체 등 다양한 요소들이 고려되며, 각 건물의 특성에 따라 달라지므로 명확한 경제성 분석을 하기는 힘들다. 그러므로 본 기사에서는 포스트텐션 공법의 경제성에 영향을 주는 요소들을 분석하고, 각 구조 공법의 상대비용을 비교하여 포스트텐션 공법 적용을 위한 가이드라인을 제공하고자 한다.

것으로 텐던의 길이가 길수록 톤당 단가가 줄어드는 결과를 보여주고 있다. 한편 텐던의 길이가 30m를 넘을 경우 그림 2와 같이 긴장력을 텐던의 양쪽에서 가하게 되므로 30m에서 40m의 구간에서 텐던의 톤당 단가가 약간 상승하는 결과를 나타낸다.

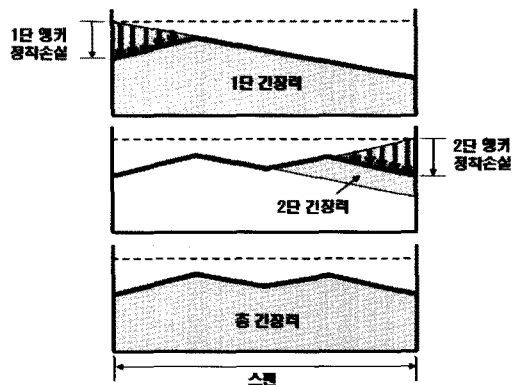


[그림 1] 텐던길이에 따른 톤당 단가

1. 포스트텐션 공법의 경제성에 영향을 주는 요소

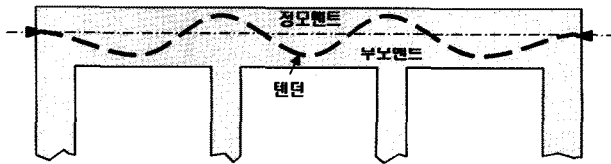
1) 텐던의 길이와 배치

포스트텐션 공법의 경제성은 강연선의 집합체인 텐던의 길이에 따라 달라진다. 짧은 텐던은 긴 텐던에 비해 설치개소와 설치 인건비를 증가시킨다. 그러므로 짧은 텐던의 사용을 피하고 긴 텐던을 이용하여 적은 개소에 배치하는 것이 공사기간과 비용을 줄이고 다른 공정과의 간섭을 피하는데 효과적이다. [그림 1]은 30m길이의 텐던을 기준으로 텐던 길이별 톤당 단가를 나타낸



[그림 2] 텐던의 긴장력

또한 단순보 보다 연속보에서 정·부모멘트에 효율적으로 저항하도록 함으로써 전체적인 텐던 사용의 효율성을 높일 수 있다. 텐던의 곡선배치는 덕트와 강선의 마찰에서 오는 마찰손실을 줄이고 균등한 상방향 하중을 유도할 수 있으므로 시공품질의 향상에 기여할 수 있다.



[그림 3] 텐던의 효율적 배치

2) 텐던의 긴장위치와 시공조인트

텐던에 긴장력을 도입하는 작업위치는 접근성과 작업성이 좋아야 하며 이는 노무비와 공기 단축에 직접적인 영향을 준다. 한편, 시공조인트에서 텐던은 연결정착구에 커플러를 이용하여 연결하게 되는데, 이러한 텐던의 이음개소의 증가는 경제성 저하의 원인이 된다. [그림 4]

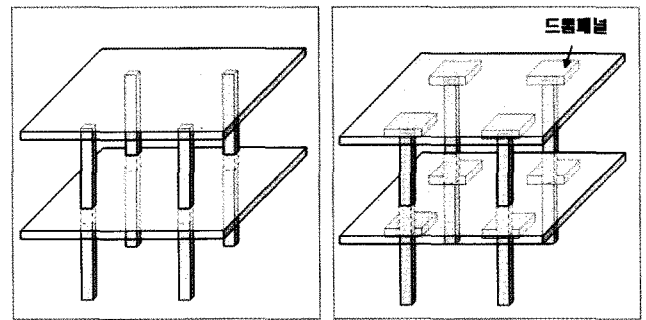
3) 긴장력의 도입시기

고층건물에서 거푸집의 재사용은 공기의 중요한 요소이며, 최근 고강도 콘크리트 사용에 의한 조기 강도발현으로 거푸집의 제거 시간은 점점 빨라지고 있는 상황이다. 한편, 포스트텐션 공법에서 거푸집은 붕괴방지를 위해 텐던에 긴장력이 도입된 이후 제거되어야 한다. 일반적으로 콘크리트는 양생 중 건조수축과 크리프 수축이 발생하게 되며, 너무 빠른 긴장력 도입은 콘크리트의 수축에 의해 텐던의 긴장력이 이완되어 시공품질에 나쁜

영향을 줄 수 있다. 따라서 현재 호주기준(AS3600)에서는 1차 긴장력은 초기수축에 대응하기 위해 콘크리트 압축강도 7MPa 이상에서 도입하며 2차 긴장력은 콘크리트 압축강도 22MPa 이상에서 도입하는 것으로 하고 있다.

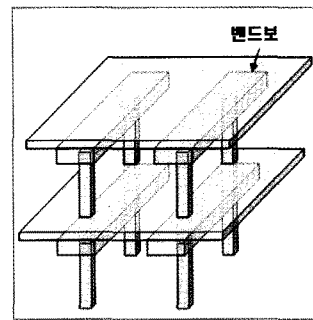
4) 바닥구조 시스템의 선택

포스트텐션 공법의 경제성 향상을 위한 다른 요소는 바닥구조 시스템의 선택이다. 일반 건축물에는 플랫 플레이트 슬래브, 플랫 슬래브, 밴디드 슬래브 등 다양한 종류의 바닥구조가 이용되고 있으며 이들 바닥구조에 포스트텐션을 적용할 경우 경제성은 각각 다르게 된다. 일반적으로 텐던의 교차부가 생기지 않는 1방향 슬래브가 2방향 슬래브에 비해 설치가 간단하다.



(a) 플랫 플레이트 슬래브 (2방향)

(b) 플랫 슬래브 (2방향)



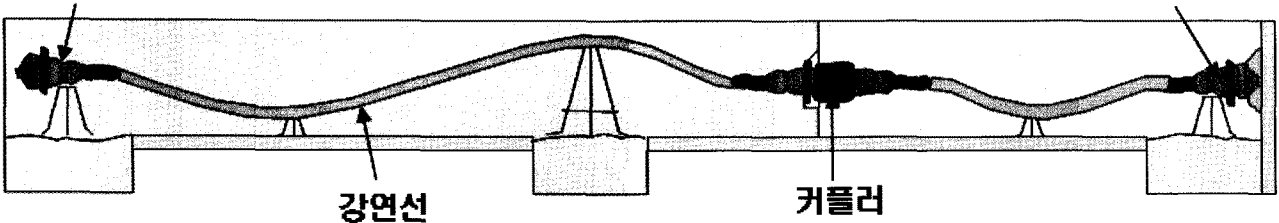
(c) 밴디드 슬래브 (1방향)

[그림 5] 슬래브의 종류

고정정착단

<시공조인트>

인장정착단



[그림 4] 시공조인트에서 텐던의 연결

5) 현장기술자의 능력

설치노무자를 관리하는 현장기술자의 능력은 경제성과 시공 품질관리에 있어 무엇보다 중요하다. 이것은 현장기술자는 모든 노무자들의 작업이 연속적으로 이루어지도록 계획하고 관리하는 역할을 하기 때문에 생산성과 노무비에 직접적으로 관련된다.

2. 바닥 형태별 경제성 비교

포스트텐션 공법을 건축물에 적용하여 가장 큰 경제성을 확보할 수 있는 부분은 바닥구조이며, 적절한 바닥구조의 선정은 재료비 뿐 아니라 전체 공기절감을 가능하게 하므로 본 장에서는 각 바닥형태별 장단점을 소개하고 경제성을 분석하고자 한다. 바닥 형태별 비교의 기준이 되는 기둥간격은 8.5m로 하였으며 단위면적당 하중은 5kPa로 하였다. [표 1]은 바닥구조에서 재료별 상대비용과 각 바닥구조의 상대비용을 비율로 나타내었으며 밴디드 슬래브가 가장 경제적인 것으로 나타났다.

[표 1] 바닥구조의 상대비용

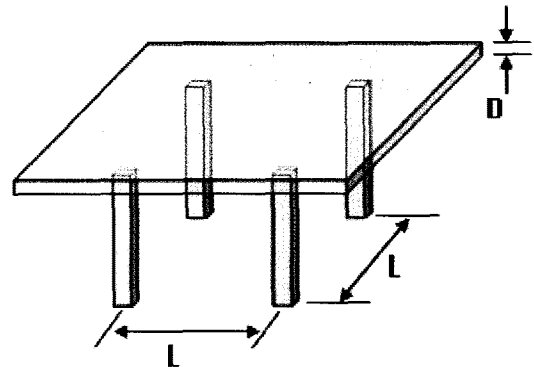
바닥구조	플랫플레이트 슬래브	플랫 슬래브	밴디드 슬래브
콘크리트	25	24	24
철근	6	6	8
포스트텐션	26	23	20
거푸집	43	47	48
총계	100 %	100%	100%
상대 비용	1	0.97	0.96

한편, 포스트텐션 공법의 적용은 [표 1]에 제시한 바닥구조 뿐만 아니라 포스트텐션에 의해 경제성을 확보할 수 있는 어떤 형태의 바닥구조에도 적용할 수 있다. 그렇지만 포스트텐션 공법의 선택은 디자인(설계), 설비배관 및 설계코드가 큰 영향을 줄 수 있음을 명심해야 한다.

1) 플랫 플레이트 슬래브(Flat Plate)

경제적 적용범위 : 스패 : 7-9m, 하중 : 7.5kPa

플랫 플레이트 슬래브는 2방향 슬래브로서 고층 주거용 건물에서 일반적으로 이용되며 스패는 7-8m이다. 플랫 플레이트 바닥구조의 장점은 단순한 거푸집과 공사의 단순화이며 단점은 플랫 플레이트 춤이 바닥구조의 전단내력에 의해 결정된다는 것이다. 플랫 플레이트 슬래브의 부가하중에 대한 스패(L)/춤(D) 비를 [표 2]에 나타냈다.



[그림 6] 플레이트 슬래브

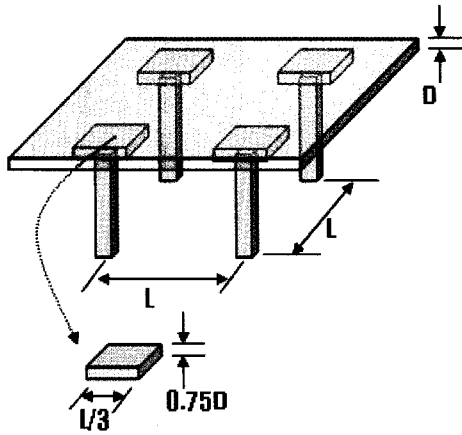
[표 2] 플랫 플레이트 슬래브의 스패(L)/춤(D) 비

	부가하중 (kPa)	스패(L)/춤(D) 비
단스패 (Single span)	3	33
	5	31
	10	28
단부스패 (End span)	3	39
	5	36
	10	32
내부스패 (Internal span)	3	45
	5	42
	10	38

2) 플랫 슬래브(Flat Slab)

경제적 적용범위 : 스패 : 13m까지, 하중 : 10kPa

플랫슬래브는 2방향 슬래브로서 플랫 플레이트의 기둥 상부에 드롭패널(Drop panels)을 설치하여 휨강성과 편칭전단내력을 향상시킨 바닥구조이다. 이 시스템의 특징은 바닥두께가 가장 얇으며, 건물의 높이를 감소시켜 입면비용을 절감할 수 있다. 플랫 슬래브의 부가하중에 대한 스패(L)/춤(D) 비를 [표 3]에 나타냈다.



[그림 7] 플랫 슬래브

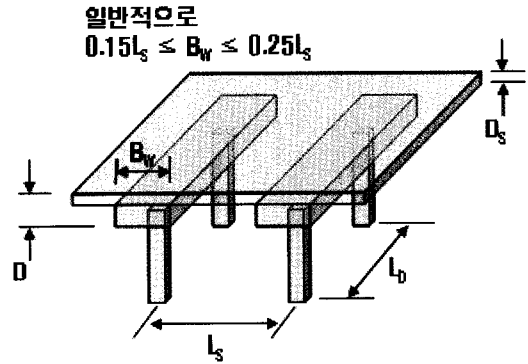
[표 3] 플랫 슬래브의 스패(L)/츄(D) 비

	부가하중 (kPa)	스패(L)/츄(D) 비
단스팬 (Single span)	3	38
	5	35
	10	32
단부스팬 (End span)	3	46
	5	43
	10	40
내부스팬 (Internal span)	3	52
	5	49
	10	45

3) 밴디드 슬래브(Banded Slab)

경제적 적용범위: 밴드보 스패: 8-15m, 슬래브 스패: 6-10m,
부과하중: 15kPa

밴디드 슬래브는 재료비용의 절감과 거푸집의 단순화의 장점이 있으며 일반적으로 1방향 스패가 지배적인 구조에 이용된다. 설계시 밴드보의 폭은 거푸집의 표준크기에 맞추도록 선택한다. 밴드보는 츄이 폭에 비해 상대적으로 적으므로 설비배관이 보 하부를 쉽게 통과할 수 있고, 텐던이 1방향으로 설치되어 접합부에서 텐던이 교차하지 않으므로 시공이 간단하고 공기를 최소화할 수 있다. 한편, 포스트텐션 공법의 단점인 내화성능을 확보하기 위해 슬래브는 2방향으로 설계하고 텐던을 밴드보에 1방향으로 설치할 경우 밴디드 슬래브는 포스트텐션과 철근량에 대해 상당한 경제성을 얻을 수 있다. 밴디드 슬래브의 부과하중에 대한 스패(L)/츄(D) 비를 [표 4]에 나타냈다.



[그림 8] 밴디드 슬래브

[표 4] 밴디드 슬래브의 스패(L)/츄(D) 비

		부가하중(kPa)	스패(L)/츄(D) 비
Ls	단스팬 (Single span)	3	38
		5	35
		10	32
	단부스팬 (End span)	3	46
		5	43
		10	40
	내부스팬 (Internal span)	3	52
		5	49
		10	45
Lb	단스팬 (Single span)	3	20
		5	18
		10	16
	단부스팬 (End span)	3	24
		5	22
		10	19
	내부스팬 (Internal span)	3	27
		5	25
		10	22

3. 철근콘크리트 구조와 포스트텐션 구조의 경제성 비교

본 장에서는 (주)티섹에서 수행된 설계사례를 바탕으로 철근콘크리트 구조와 포스트텐션 구조의 경제성을 비교하고자 한다.

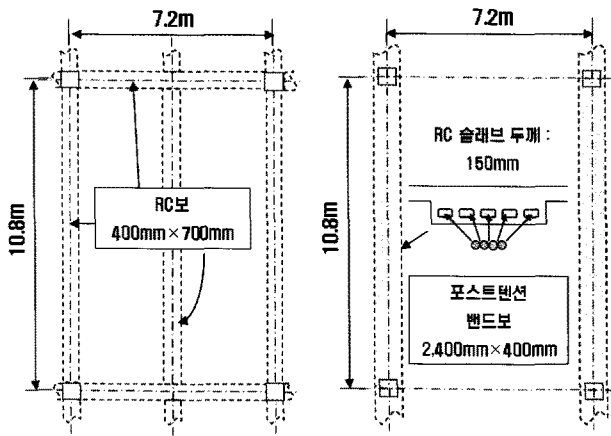
1) 구로동 공장

구로동 공장 건물은 기본 스패인 Ls=7.2m, Lb=10.8m인 건

물이다. [표 5]에서 나타낸 공사비는 오래전의 단가이기는 하지만 두 시스템에 대한 공사비 단가를 비교하기 위해 한 Unit를 설계하여 구조공사비 단가를 비교한 것으로 시스템을 결정하기 전에 현재의 단가를 적용하면 현재의 공사비를 비교할 수 있을 것이며 또한 큰 차이가 없으리라 본다.

분석결과 포스트텐션 구조에서 콘크리트의 물량은 증가되고 거푸집 물량은 감소하였다. 또한 철근물량은 포스트텐션 구조가 줄어들지만 강연선물량이 추가되므로 전체적으로 포스트텐션 구조의 공사비가 증가되었다. 그러나 경간이 10.8m 이므로 경간이 클수록 포스트텐션 구조는 RC 구조에 비해 공사비가 절감되리라 판단된다.

또한, RC구조보다 보의 춤을 300mm를 줄일 수 있으므로 고층화 될수록 같은 높이의 건물에 많은 층수를 가질 수 있을 것이다. 예를 들어 10층 정도 규모일 경우 1개층은(300mm×10=3M) 더 지을 수 있어 임대면적이 늘어나므로 장기적으로는 더 경제적이 될 수있다 하겠다.



(a) 철근콘크리트 공법 (b) 포스트텐션 공법

[그림 9] 구조동 공장의 바닥구조

[표 5] RC바닥구조와 PT바닥구조의 상대비용 (약 10년전 단가기준)

	철근콘크리트구조	포스트텐션 구조
콘크리트	25	32
철근	38	24
포스트텐션	-	18
거푸집	37	26
총계	100%	100 %
상대 비용	1	1.05

2) 양재동 빌딩

이 건물은 지상20층, 지하6층 규모의 사무소 건물이며, 건물 시공에 앞서 3가지 구조시스템에 대해 경제성을 비교하였다.

- 1) 철근 콘크리트 구조시스템
- 2) 포스트텐션 공법 구조시스템
- 3) 철골 구조시스템

한 Unit에 대한 구조설계결과는 [그림 10]과 같으며 그것의 공사비는 철근 콘크리트 구조를 100으로 보았을 때 포스트텐션 구조는 110, 철골 구조는 125 정도의 공사비가 증액이 되는 것으로 나타났다.

이 건물도 앞선 예와 같이 경간이 증가되면 그 격차는 줄어들 것으로 판단된다. 그러나 각 구조시스템의 보의 춤에 따른 층고를 비교하면 RC조는 보춤 600mm, 철골조는 H형강 650mm+Deck Slab THK 125mm = 775mm 이나 포스트텐션 구조는 B×D = 750×450mm 으로 해결할 수 있어 한층당 150mm의 층고 절감 효과가 있었다.

그리고, 20층일 경우 20층×150mm= 3000mm의 층고를 줄일 수 있어 역시 임대면적을 한층 더 증가시킬 수 있으며, 포스트텐션 구조를 지하층에 적용할 경우 지하 6층인 경우 6층×150mm = 900mm의 토공량과 지하외벽 벽체 공사시 지하토류벽등(Strut+토류벽 등)의 시공물량이 절감되며, 측압에 의한 수압에 의한 지하기초물량 등이 줄 것으로 예상되었다. 이런 여러 가지 사항을 고려하면 단기적으로는 공사비를 저감할 수 있으며 장기적으로는 한 개층의 임대료가 증가될 것으로 판단되었다.

[표 6] 양재동 빌딩에서 각 공법의 상대비용(약 10년전 단가기준)

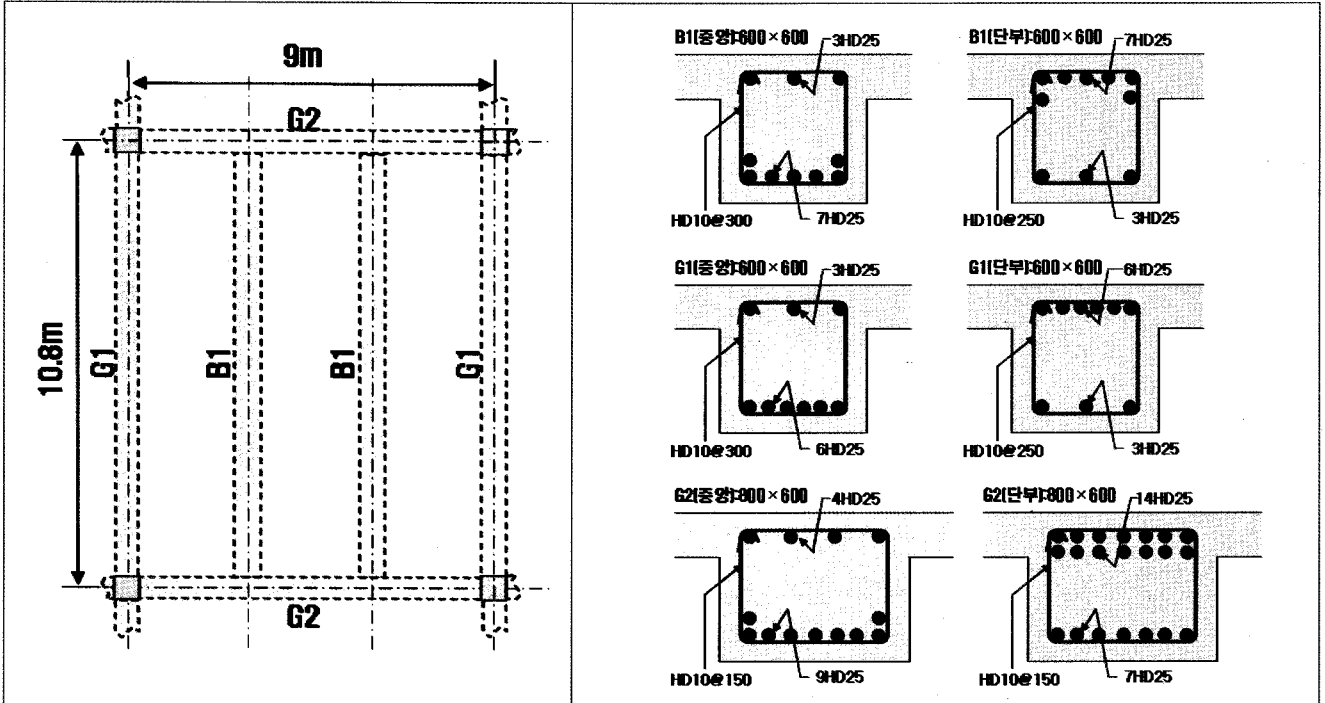
바닥구조	철근콘크리트 공법	포스트텐션 공법	철골 공법
상대 비용	100	110	125

4. 결론

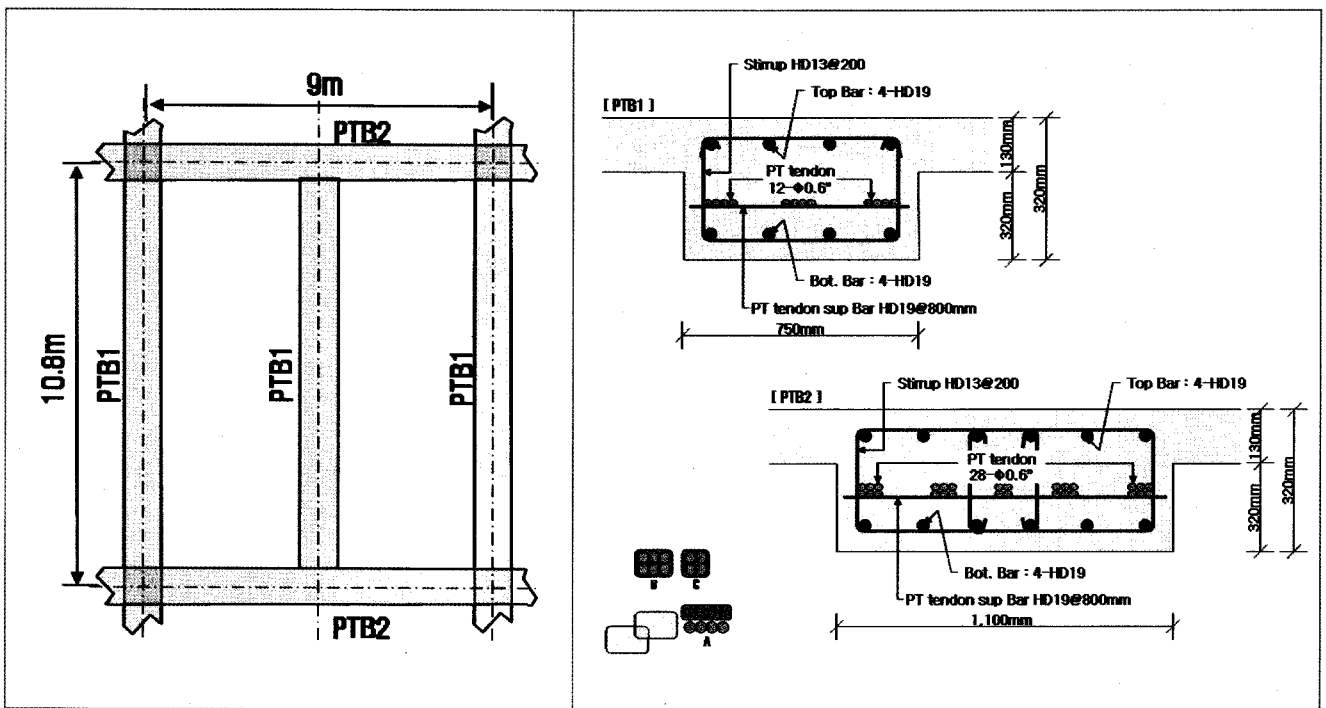
본 기사에서는 포스트텐션 공법의 경제성에 영향을 주는 요소들을 분석하고 각 구조 공법의 경제성을 상대 비교하였다. 포스트텐션 공법의 경제성은 텐던의 길이와 배치, 텐던의 긴장위치와 시공조인트, 긴장력의 도입시기, 바닥구조의 시스템 선정, 현장기술자의 능력 등에 따라 달라지며 이러한 요소들을 적절히 계획 및 시공함으로써 경제적인 포스트텐션 공법을 시공할 수

있다. 그리고, 포스트텐션 공법을 건축물에 적용하여 가장 큰 경제성을 확보할 수 있는 부분은 바닥구조이며 거푸집 및 접합부의 단순화, 내화성능 확보 등의 이유로 밴디드 슬래브가 가장 우수한 경제성을 확보할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 포스트텐

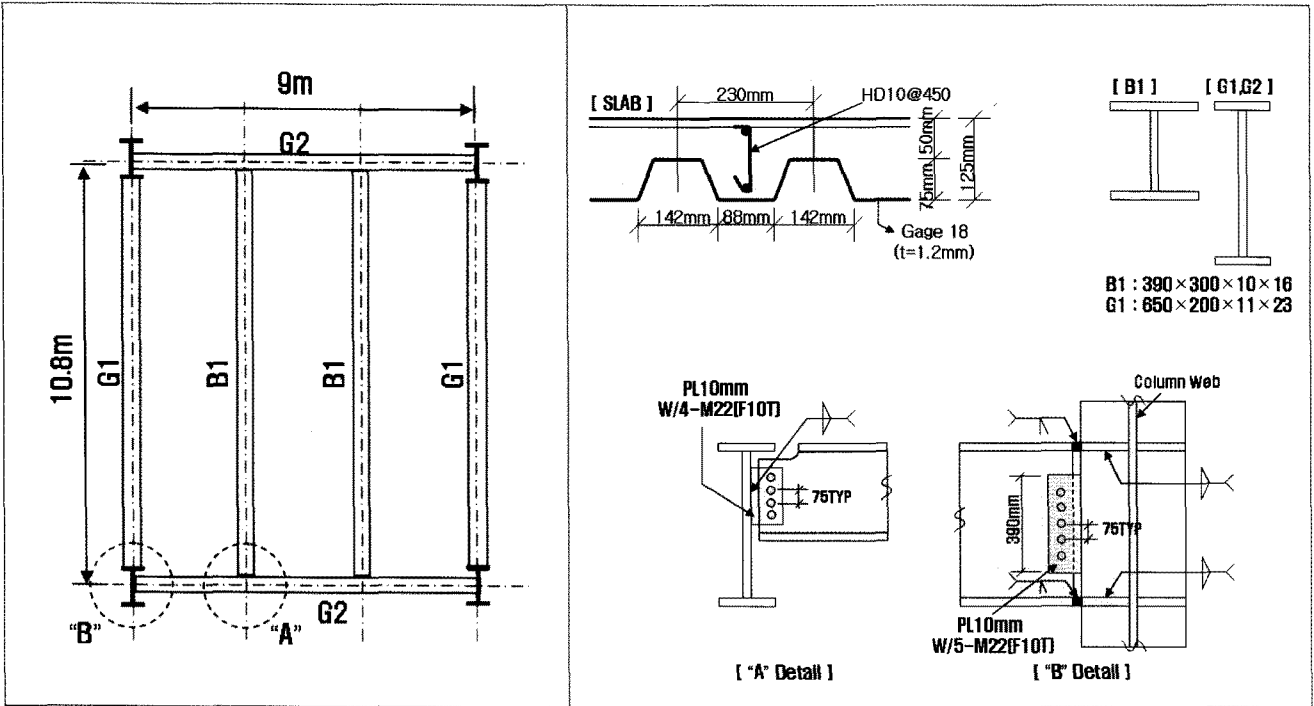
션 공법은 철근콘크리트 구조에 비해 다소 비용증가가 예상되지만 장스팬일수록 그 비용은 역전되리라 판단되며, 장기적으로는 층고 절감에 따른 임대수입 증가, 지하공사비 절감으로 경제적으로 큰 기대 효과가 있으리라 판단된다.



(a) 철근콘크리트 공법



(b) 포스트텐션 공법



(c) 철골 공법

[그림 10] 양재동 빌딩의 바닥구조