

장스팬 RC구조물을 위한 PT설계 소개

Introduction of Pre-and Post-Tension Design for Long Span RC Structure System



이 상 주*
Lee, Sang-Ju



이 동 우**
Lee, Dong-Woo

1. 개요

토지에 정착되어 외부환경으로부터 안전하게 있어야 하는 조형물과 달리 건축구조물은 인간의 삶이라는 내부 공간을 확보해야 한다. 일반적으로 공간구조는 지붕구조에 한정돼 거론되고 강재를 구조부재로 하여 설계 되고 시공되어진다. 이는 경량의 외장재와 감소된 부재자중이 대공간구조를 가능케 하기 때문이다.

그러나 바닥슬래브의 경우에는 사용성을 확보하기 위해 철근콘크리트 부재를 사용하는데 이 때, 자중에 따른 사용성의 문제점이 제기된다. 철근콘크리트 구조물은 강선을 이용한 프리텐션 및 포스트텐션 부재를 통해 처짐이나 균열 등의 사용성을 확보하고, 부재크기의 최소화를 통해 장스팬 구조를 이끌 수 있다.

본고에서는 프리텐션 및 포스트텐션 부재설계의 개념과 이를 적용한 PT시스템의 모델링 및 해석결과를 비교 및 분석한 후, 이를 적용한 사례를 소개하고자 한다.

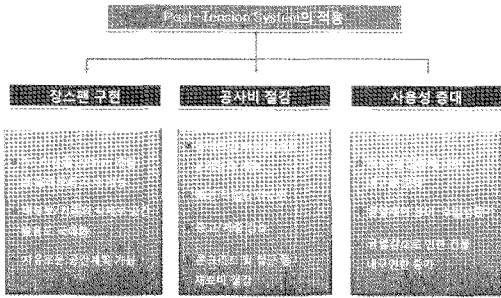
2. PT의 소개

2.1 PT의 개념

일반적으로 콘크리트의 압축강도는 크지만 콘크리트의 인장강도는 압축강도의 약 8~14%정도이다. 스패인이 커지면 자중증가로 인해 콘크리트 휨부재에는 균열 및 처짐의 문제가 발생한다.

프리텐션 콘크리트부재는 긴장재(TENDON)라고 불리는 고강도 강선을 사용해 콘크리트를 보강하는 수단 중의 하나로서, 외부하중이 작용하기 전에 미리 압축응력을 도입함으로써 외부하중이 작용하는 경우, 미리 도입된 압축응력으로 인장응력을 상쇄해 균열이 발생하지 않고 상쇄된 하중만큼 처짐이 줄어들게 한다. PT 시스템 적용에 따른 장점은 부재크기의 감소, 자중 감소에 따른 장스팬의 가능, 균열의 억제 등이며, 이를 요약하면 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. 설계 시 주의할 점은 고강도 콘크리트의 사용, 초기 장력도입 시의 상향변형 고려, 내화성능의 저하 등이다.

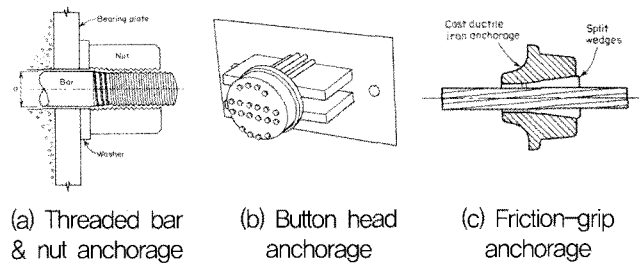
* 정회원 · (주)아이스트 선임연구원
** 정회원 · (주)아이스트 대표이사



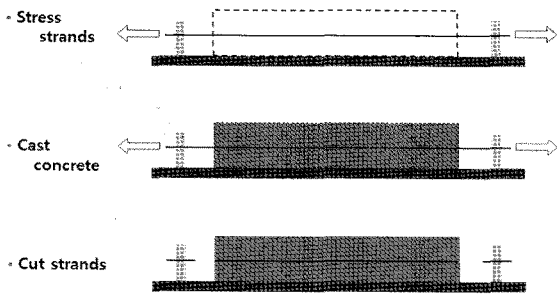
〈그림 1〉 PT 적용시 장점

2.2 PT의 형태

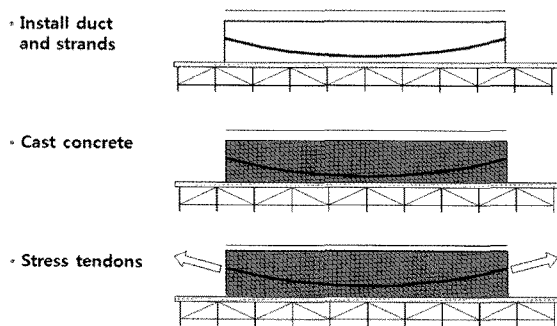
PT의 형태는 프리텐션과 포스트텐션으로 구분된다. 프리텐션은 강선과 콘크리트의 부착력에 의해 압축응력을 도입한 것이며, 포스트텐션은 정착구의 정착력에 의해 압축응력을 도입한 것이다. 각각의 응력도입절차를 그림2, 3에 나타낸다.



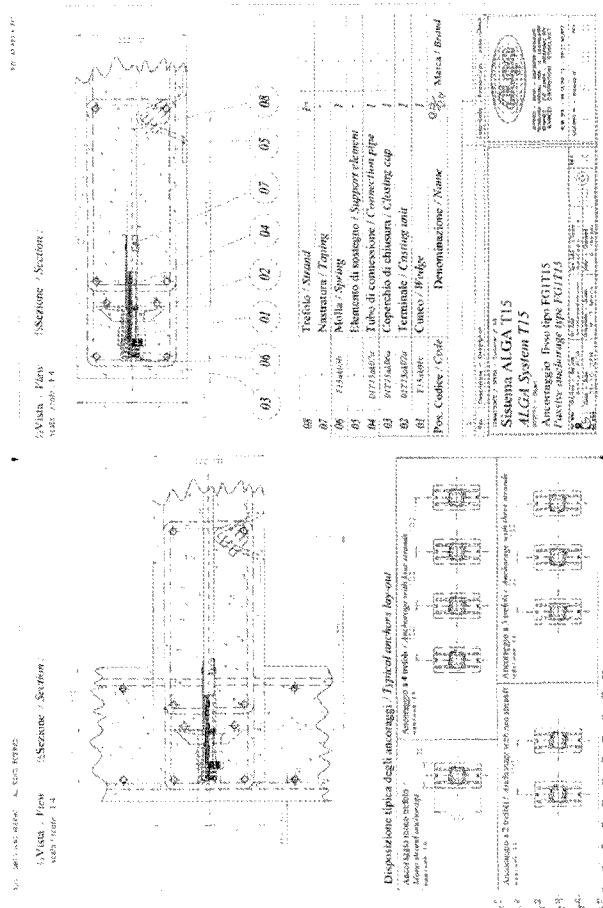
〈그림 4〉 PT 적용시 장점



〈그림 2〉 프리텐서닝 절차



〈그림 3〉 포스트텐서닝 절차



〈그림 5〉 Post-Tensioning 정착구 도면(alga psc제공)

2.3 강선의 응력손실 및 정착구

강선을 이용한 PT설계 시에는 강선의 응력손실을 고

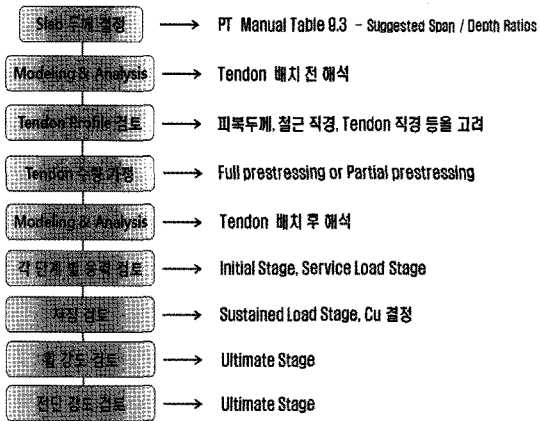
려하여 초기 도입장력을 결정해야 한다. 응력손실에 영향을 주는 요인으로는 탄성 축소현상, 크리프, 건조수축, 강선의 응력이완이 있으며, 특히 포스트텐션의 경우 마찰에 의한 응력손실 및 정착구의 미끄러짐 등이 추가로 발생한다. 응력손실은 초기장력의 15~30%정도이다.

정착구는 다양하게 개발되고 있다. 대표적인 것을 아래 그림 4에 나타내고, 그 상세도면의 일례를 그림 5에 나타낸다.

3. PT 적용에 따른 경제성 분석

3.1 PT 슬래브의 설계절차

PT슬래브 구조의 설계절차는 그림 6과 같다. 강선을 배치하기 전 해석을 통해 강선의 배치를 결정한 후, 응력 및 사용성 검토를 위한 해석을 수행한다.



〈그림 6〉 PT Slab의 설계절차

3.2 PT 부재의 경제성 분석

일반적인 RC구조부재의 스패ん/깊이의 비를 표 1에 나타내고, 스패ん 10m인 경우 RC구조와 PT구조의 깊이를 표 2에 나타낸다. 결과를 보면 약 30%정도 부재크기가 감소함을 알 수 있다.

〈표 1〉 Span/Depth Ratio

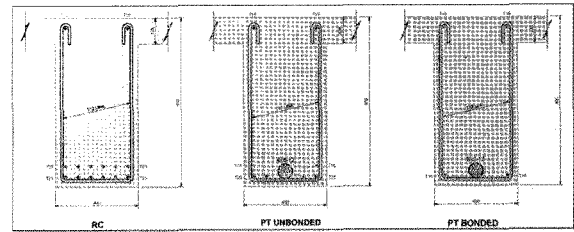
Floor System	Span/Depth Ratio
Two way slab (Flat plate)	45
Two way slab (Drop panel)	50
Beam	20~30

〈표 2〉 10m Span인 경우 Depth

RC	Post-Tensioned
300mm	220mm
260mm	200mm
600mm	400mm

또한 보를 대상으로 동일한 휨성능을 갖는 철근+강선의 양을 비교해 보면 약 20%의 감소효과가 있음을 알 수

있다.

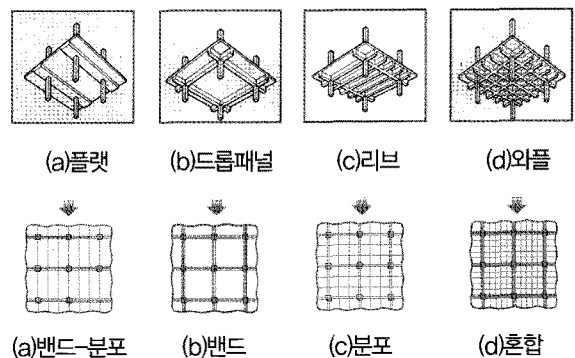


(a) RC (b) PT Unbonded (c) PT Bonded

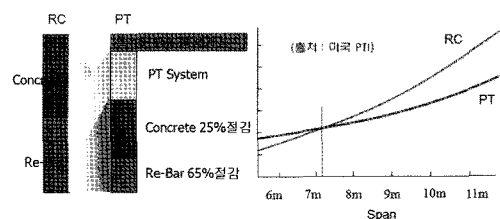
RC의 경우 : $A_{st} = 5,890\text{mm}^2$
 PT Unbonded의 경우 : $A_{st} + A_{pt} = 4,770\text{mm}^2$
 PT Bonded의 경우 : $A_{st} + A_{pt} = 2,800\text{mm}^2$

〈그림 7〉 Comparison of sections with the same flexural capacity

그림 8은 슬래브의 구조형식에 대응하는 강선의 배치 계획을 나타낸 것이며 단위 슬래브의 저항성능을 바탕으로 PT시스템 적용에 따른 경제성을 분석해 보면, 철근량이 약 65%감소하고, 콘크리트가 약 25%감소해 강선의 물량을 고려하더라도 약 10~15%의 물량감소효과를 얻는 것을 알 수 있다. 이는 그림 9에 보이는 것처럼 스패ん 약 7m이상에서 경제성을 가지며, 스패ん이 증가할수록 효과는 커진다.



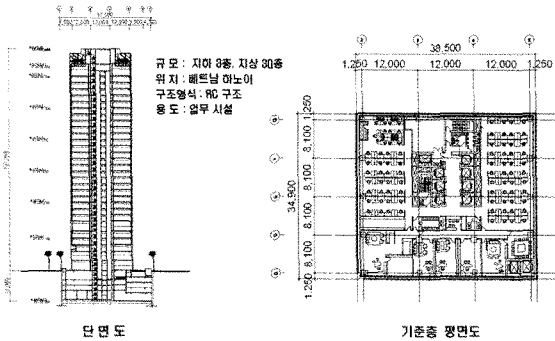
〈그림 8〉 슬래브 구조형식과 Tendon의 배치계획



〈그림 9〉 PT 시스템의 경제성 분석

3.3 구조시스템별 경제성분석

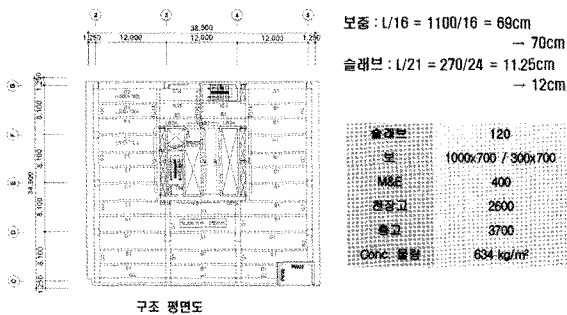
대상구조물은 그림 10에 나타난 것과 같이 베트남 하노이에 위치하는 지하3층 지상30층의 RC구조이다. 여기에서는 3가지의 바닥구조시스템에 대한 층고 및 몰량 검토 등 경제성 평가를 수행한다.



〈그림 10〉 대상 구조물

(1) 보시스템

기둥 및 보를 갖는 라멘구조에서는 보춤 700mm, 슬래브두께는 120mm이고 층고는 3,700mm이다(그림 11).



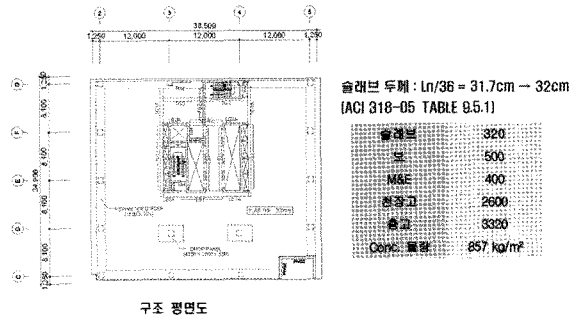
〈그림 11〉 BEAM & GIRDER SYSTEM

(2) 테두리보를 갖는 플랫슬래브

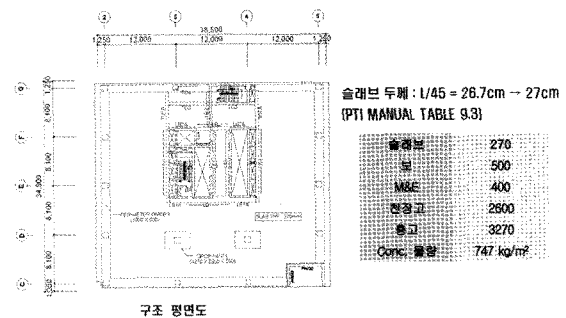
테두리보를 갖는 플랫슬래브구조에서 슬래브두께는 320mm이고 층고는 3,320mm이다(그림 12).

(3) 테두리보를 갖는 PT슬래브

테두리보를 갖는 PT슬래브구조에서 슬래브두께는 270mm이고 층고는 3,270mm이다(그림 13).



〈그림 12〉 RC FLAT SLAB + PERIMETER GIRDER SYSTEM



〈그림 13〉 RC PT SLAB + PERIMETER GIRDER SYSTEM

(4) 시스템비교

3가지 바닥구조시스템을 비교·분석한 결과를 표 3에 나타낸다. 종합적으로 결과를 평가해 보면 플랫 PT슬래브가 유리한 것으로 판단된다.

〈표 3〉 시스템 비교

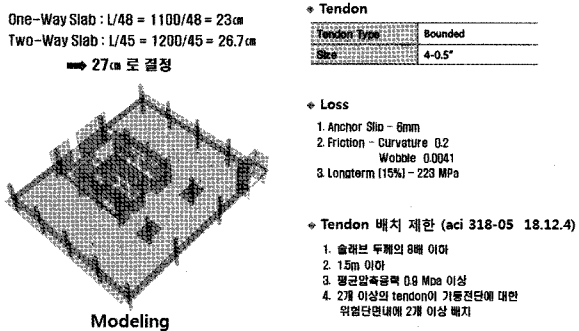
	BEAM & GIRDER	FLAT RC SLAB	FLAT PT SLAB
층고	3700	3300	3270
Conc. 몰량	634 kg/m ²	857 kg/m ²	655 kg/m ²
철근량	34 kg/m ²	42.6 kg/m ²	16.11 kg/m ²
거푸집 량	1.86 m ³ /m	1.17 m ³ /m	1.15 m ³ /m
공사금액	90%	120%	100%
공사기간	8일 / 층	5일 / 층	6일 / 층
Conc. 강도	24MPa	24MPa	30MPa
종합 평가	☹☹	☹	☹☹☹
선정	FLAT PT SLAB 선정		

3.3 PT를 적용한 구조모델링 및 해석

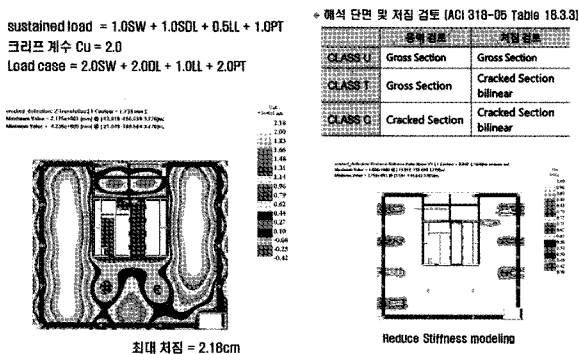
3.3.1 PT를 적용한 구조모델링 및 해석

(1) 모델링 및 해석 예제1

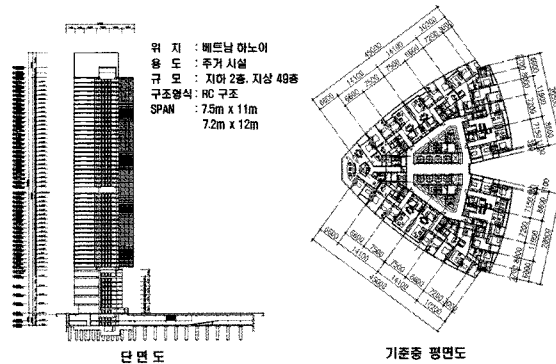
그림 10의 대상구조물에 PT를 적용한 모델링을 수행하여 처짐을 검토한다. 앞 절을 참조하여 그림 14에 나타난 것처럼 슬래브의 두께는 270mm로 하고 정착구의 슬립을 6mm로 장기적인 응력손실을 15%로 하며 ACI 318-05의 강선배치 제한 기준을 적용해 설계하고 모델링한다. 해석결과로 얻어진 처짐분포 형상을 그림 15에 나타낸다.



〈그림 14〉 구조모델링



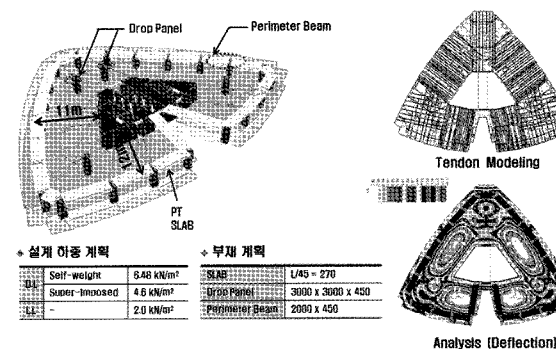
〈그림 15〉 구조모델링



〈그림 16〉 대상구조물

〈표 4〉 사용재료 및 규격

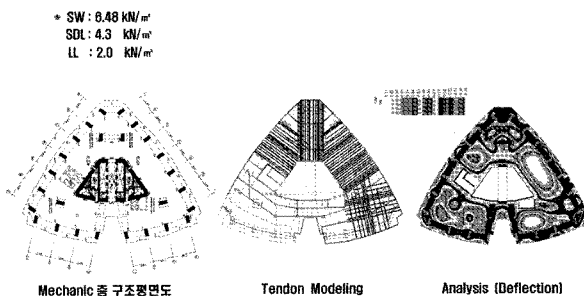
* 콘크리트	압축강도	$f_c = 45\text{ Mpa}$ $f_a = 25\text{ Mpa}$	
* Prestressing Steel	Strand 직경	Low Relaxation Seven Wire 0.5" & 0.6"	0.5" (Ø12.7 mm) - 단면적 99mm ² - 최대 인장력 184kN
	Ultimate Stress	$f_{pu} = 1860\text{ MPa}$	
	Yield Stress	$f_{py} = 1670\text{ MPa}$ (0.9 f_{pu})	0.6" (Ø15.2 mm) - 단면적 140mm ² - 최대 인장력 260kN
	Relaxation after 1000h	2.5% (제품에서 제시)	
* Tendon type	Bonded type	4ea-0.5"	
* Re-Bar		$F_y = 390\text{ Mpa}$	



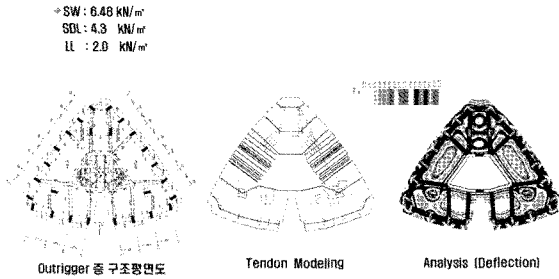
〈그림 17〉 기준층 모델링 및 변형해석결과

(2) 모델링 및 해석 예제2

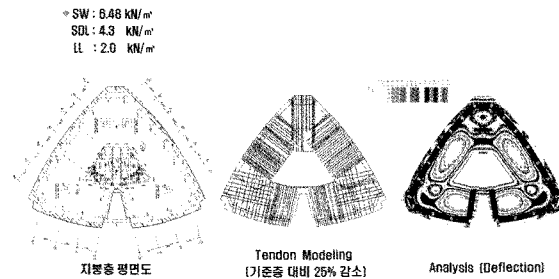
대상구조물은 그림 16에 나타난 것과 같이 베트남 하노이에 위치하는 지하2층, 지상40층의 RC구조이다. 설계코드는 ACI 318 05 & PT Manual을 적용하였으며, 사용재료 및 규격은 표 4와 같다.



〈그림 18〉 기계층 모델링 및 변형해석결과



〈그림 19〉 아웃리거층 모델링 및 변형해석결과

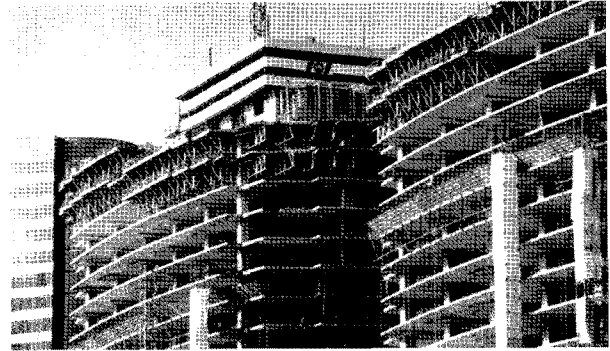


〈그림 20〉 지붕층 모델링 및 변형해석결과

4.2 시공사례

(1) Gateway II

드롭패널을 갖는 스패 10~12m, 플랫 슬래브두께 260mm를 갖는 구조물의 설계사례



〈그림 22〉 Large cantilever span 4.5m

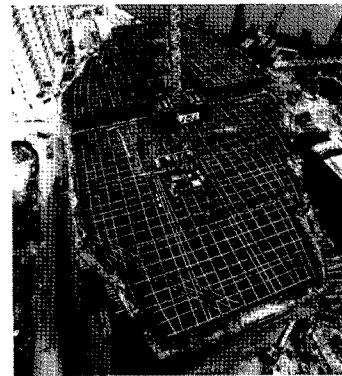
(2) Harbour Front

비정형 형태의 슬래브를 갖는 구조물의 설계사례

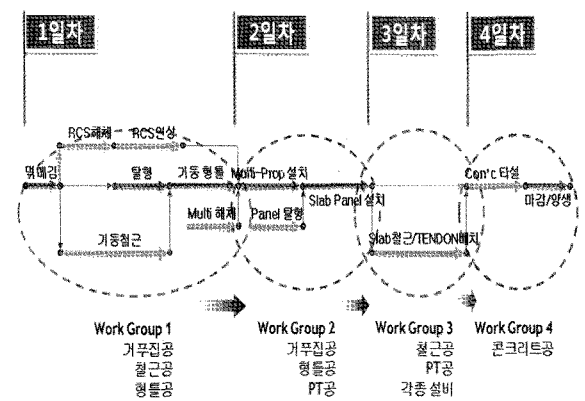
4. 시공사례

4.1 시공계획

PT슬래브 구조의 설계절차는 그림 6과 같다. 강선을 건축구조물의 시공에 있어서, 공기단축은 중요 관건이 되며, PT 슬래브시스템을 적용하는 경우 그림 21에 나타난 것과 같이 4일공정에 따른 시공계획 수립이 가능하다.



〈그림 23〉 Typical floor tendon layout (250 mm flat slab with drops panels)



〈그림 21〉 4-Day Cycle공정

5. 결 언

본 기사에서는 철근콘크리트 수평 구조부재의 스패를 확보하기 위한 방법의 하나로 많이 적용되어지고 있는 PT설계를 소개하고 적용 예를 기술하였다. 향후에도 강선을 이용한 다양한 방법들을 적용함으로써 강구조 뿐만 아니라 철근콘크리트 구조물의 장스팬화가 활성화되기를 기대한다.