

# 상향긴장식 부분PT를 사용한 슬래브의 적용성 분석

## A Study on the Applicability of Partial Post-Tension Slab with Top Anchorage System

이 득 행\* 김 강 수\*\* 김 창 혁\*\*\* 김 상 식\*\*\*\* 김 용 남\*\*\*\*\* 정 광 량\*\*\*\*\*

Lee, Deuck Hang Kim, Kang Su Kim, Chang Hyuk Kim, Sang Sik Kim, Yong Nam Chung, Kwang-Ryang

### Abstract

Reinforced concrete (RC) structures have been most widely used because of the economic efficiency. However, it is very weak to tensile stresses and difficult to control deflection due to the heavy self-weight of concrete. Although it is generally known that prestressed concrete structures can be the most effective to overcome the demerit of RC structures, its application is very seldom in domestic construction for the difficult onsite circumstances. The post-tension method, which is well fit for buildings that are mostly indeterminate structures and beneficial for monolithic construction, has been introduced to just a few building construction. The application of full PT method into entire spans makes construction engineers feel very difficult due to the lack of current condition in construction fields. Therefore, this study proposed the partially applied PT method as an alternative, which can improve the deflection control of RC structures and reduce the construction difficulty by applying the PT method in a part of span length as needed, and analyzed its characteristics of structural behavior. In this study, the top anchorage was applied to improve the applicability of partial PT method, and the analysis results of slab behavior were compared to the measured values obtained from the post-tensioned slab constructed by the partial PT method.

### 요 약

철근콘크리트구조(RC)는 경제성이 뛰어나 가장 널리 사용되고 있지만, 인장응력에 취약하고 콘크리트의 자중이 커서 처짐 제어가 어렵다는 단점이 있다. 프리스트레스트콘크리트구조는 이를 극복할 수 있는 가장 효율적인 방법으로 이미 오래전부터 알려져 있지만 국내에서는 건축 현장 여건 때문에 적용사례가 매우 드물다. 특히, 대부분 부정정 구조물인 건축물에 적합하면서 일체성을 확보할 수 있는 포스트텐션(PT) 공법은 국내에서는 최근에서야 비로소 몇몇 건축 현장에 도입하기 시작하였다. 그러나 전구간 포스트텐션 공법을 적용하는 것에는 현장여건상 여전히 많은 엔지니어들이 부담을 가지고 있는 것이 현실이다. 따라서 본 연구에서는 RC구조의 처짐억제 효율성을 높이면서도 현장 실무자들에게 부담을 최소화 할 수 있는 현실적 대안으로 부분 구간에만 PT공법을 적용시키는 방법을 제안하고 거동 특성을 분석하였다. 본 연구에서는 부분 구간PT공법의 적용성을 높이기 위하여 상향긴장방식을 적용하였으며, 실제 현장적용을 통하여 얻은 계측값과 해석결과의 비교를 통하여 거동 특성을 분석하였다.

\*준회원, 서울시립대학교 건축공학과 석사과정

\*\*정회원, 서울시립대학교 건축공학과 조교수, 공학박사

\*\*\*정회원, 인하대학교 건축공학과 석사과정

\*\*\*\*정회원, 인하대학교 건축공학과 정교수, 공학박사

\*\*\*\*\*정회원, 삼성물산 주택사업본부, 차장

\*\*\*\*\*정회원, 동양구조안전기술, 소장

## 1. 서론

건축 구조물의 장경간화에 대한 수요가 지속적으로 증가함에 따라 휨부재의 처짐 성능은 매우 중요한 해결문제로 대두되고 있다. 포스트텐션 공법(Post-Tension, PT)의 도입은 이러한 휨부재의 처짐 성능을 효과적으로 높일 수 있는 가장 좋은 방법 중의 하나이다.<sup>1)3)</sup> PT공법은 북미 및 유럽에서 건축물 및 교량에 널리 사용되고 있으며<sup>4)</sup>, 국내에서도 교량에는 매우 다양한 형태로 적용되고 있다. 그러나, 국내의 건축물, 특히, 슬래브에 PT공법을 적용한 사례가 매우 드물며, 이제 몇몇 건설사들이 적용을 시작하고 있는 도입기로 판단된다. 이와 같은 현상은 PT구조의 공사비가 해외에 비하여 상대적으로 비싸다는 점도 있지만, 국내의 건축물에 아직 PT공법이 일반화 되지 않았기 때문에 PT공법의 효과에 대한 기술적 우려와 함께 공사비의 책정 및 현장관리의 어려움 등에 기인한 결과로서 이해된다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 기존의 철근콘크리트(Reinforced Concrete, RC)공법을 대체하는 공법으로서가 아니라 기존의 RC공법을 보완하는 방법으로 부분PT공법(partial post-tension)의 도입을 검토하게 되었다. 즉, RC구조에 PT구조를 추가하여 처짐을 제어하거나, PT를 부분적으로만 도입하여 전면적으로 도입하는데 따른 부담을 최소화 하는 방법이다. RC공법의 보완으로써 PT공법을 적용하게 되면 처짐 억제를 위하여 슬래브의 두께가 두꺼워지는 것을 피할 수 있으며, 동일한 층에서도 건물의 용도 및 경간 길이에 따라서 슬래브의 두께가 달라져서 발생할 수 있는 시공성 저하 및 공사비 증가에 대한 문제를 효과적으로 해결할 수 있게 된다. 또한, PT공법을 필요한 구간, 즉, 슬래브의 일부 구간에만 도입하여 긴장력의 도입이 비효율적인 구간에서는 이를 선택적으로 배제할 수 있으며, 국내에서 PT공법을 도입함에 따른 현실적인 제약조건에 의한 부작용을 최소화 할 수 있다. 따라서 이 연구에서는 부분PT공법의 적용성을 검토하고 긴장작업을 개선하기위하여 정착구가 상부에 있는 경우 즉, 상향긴장방식의 적용성 검토 및 정착거동의 분석을 목적으로 하였다.

## 2. 부분PT(Partial Post-Tension)와 상향긴장방식(Top Anchorage)의 개념과 특징

일반적으로 포스트텐션(PT) 구조는 긴장재의 종류에 따라 부착방식과 비부착방식, 철근의 혼용여부 또는 균열의 허용여부에 따라 완전PT(full PT)와 부분PT(partial PT), 긴장방식에 따라 내부긴장방식과 외부긴장방식으로 분류된다. 그러나, 본 논문에서 의미하는 부분PT는 일반적인 정의와는 조금 다르며, 철근의 혼용 혹은 부분적인 균열의 허용에 따른 부분PT의 기존 개념에 더불어 일정(부분) 구간에 처짐



(a) 내부 측면 긴장방식      (b) 내부 상향 긴장방식  
그림 1. 슬래브 내부 긴장 방식의 종류

제어나 강도보강의 목적으로 해당 구간에만 PT를 적용하는 방식으로 정의하였다.

국내의 RC 구조물은 일반적으로 철재 수직 거푸집을 사용하는 경우가 많기 때문에 슬래브의 단부에서 긴장을 하는 것이 현실적으로 매우 어렵다. 따라서 PT공법을 도입하는 과도기적인 국내의 현실여건을 고려할 때 부분 PT를 적용할 경우 슬래브 단부가 아닌 내부에서 긴장하는 것이 시공성 면에서 상대적으로 유리할 것이다. 이처럼 긴장재를 슬래브 내부에서 긴장하는 방법은 그림 1 (a) 및 (b)에 나타낸 바와 같이 크게 두 가지가 있다. 슬래브에 오프닝(Block-out)을 형성하여 긴장하는 내부 측면 긴장방식은 긴장 작업후에 콘크리트를 타설하므로 긴장 정착구 뒷면에 발생할 수 있는 인장응력이 효과적으로 제어되는 반면에 거푸집 및 동바리 존치기간이 길고 콘크리트를 채타설해야 하므로 이에 따라 시공성이 저하될 수 있다. 반면에, 슬래브 상부면에 포켓폼을 형성하여 긴장작업을 수행할 수 있는 상향긴장방식은 콘크리트를 채 타설할 필요가 없으므로 시공성이 우수하다. 다만, 상향긴장방식을 적

용하는 경우에는 긴장 정착구 뒷면에 발생할 수 있는 인장응력을 제어할 수 있는 부착철근을 배근하여야 하며, 본 연구에서는 이를 슬래브의 배근 설계에 반영하였다.

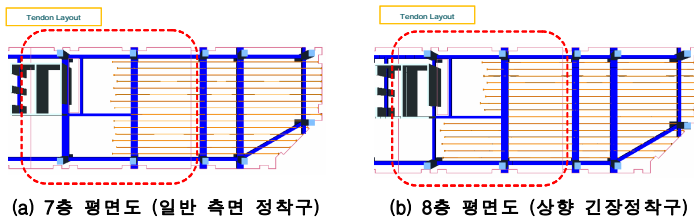
### 3. 상향긴장식 부분PT구조의 현장적용성 분석

앞서 언급된 PT공법 중 긴장 정착구를 상부에 위치시키고, 일정구간에만 PT공법을 적용하는 상향긴장식 부분PT구조를 그림 2(a)에 보이는 바와 같이 국내의 M프로젝트 현장에 실제로 적용하였다. 긴장방식 및 PT적용 구간의 영향을 살펴보기 위하여 지상 7층 슬래브에는 일반적인 측면 정착구를 사용하여 단부에서 긴장하였으며, 지상 8층 슬래브에는 그림 2(b)에 나타난 바와 같이 본 연구에서 제안한 상향 긴장정착구를 사용하여 슬래브 내부에서 긴장작업을 수행하였다. M프로젝트의 7층 및 8층의 평면도와 긴장재 배치형상은 그림 3(a)에 나타난 바와 같으며, 이에 대한 해석모델의 일반사항은 그림 3(c)에 서술하였다.



(a) 철근 및 긴장재 배치 현장 (b) 상향 긴장 방식의 적용  
그림 2. 상향긴장식 부분PT구조의 현장적용

그림 3(a)에 나타난 바와 같으며, 이에 대한 해석모델의 일반사항은 그림 3(c)에 서술하였다.



(a) 7층 평면도 (일반 측면 정착구) (b) 8층 평면도 (상향 긴장정착구) (c) 해석 모델의 일반사항

- 즉시손실만을 반영 (장기손실은 고려하지 않음)
- Load Combination: 1.0 PS
- 콘크리트 강도 30 MPa
- 긴장력 : 0.8  $f_{pu}$
- 마찰계수
  - (1) 곡률마찰계수: 0.07/radian
  - (2) 과상마찰계수: 0.0328/m

그림 3. 현장적용 슬래브의 평면 및 해석 모델의 일반사항

긴장력 도입에 따른 응력을 알아보기 위하여 변형을 게이지를 슬래브 내에 매립하였으며, 게이지의 위치는 그림 4에 나타난 바와 같다. 게이지는 정착구 전면과 후면의 국부 변형을 및 내부 경간의 중앙부와 부모멘트 지역의 변형율을 측정하였다. 그림 5에는 7층 및 8층 슬래브에 긴장력을 도입한 직후에 각 게이지 위치에서 계측된 변형률을 응력으로 환산한 값을 해석값과 비교하여 나타내었다. 그림 내부에 있는 사각형 글상자의 상부에는 현장 계측값을, 하부에는 해석값을 나타내었으며, 이 값들 중 왼쪽은 슬래브 상부에 설치된 게이지 값을, 오른쪽은 슬래브 하부에서 측정된 게이지의 값을 사용하여 나타낸 값이다. ‘+’ 값은 인장응력을 ‘-’ 값은 압축응력을 나타낸다.

그림 5(a)에서 보이는 바와 같이 긴장력 도입 직후 7층 슬래브에서는 정착구 지압판 뒤쪽의 인장응력과 앞쪽의 압축응력이 가장 큰 값을 보이고 있음을 알 수 있다. 정착구 지압판 뒤쪽의 인장응력은 0.3~0.5 MPa 정도의 분포를 보여 휨 균열강도인 2.95 MPa 보다 작게 나타났으며, 지압판 앞쪽의 압축응력은 1.7~2.0 MPa 정도의 분포를 보여 평균압축응력인 1.5 MPa 보다 약간 더 높게 나타났다. 스펀 중앙에서 측정된 응력들은 대략 0.2 MPa 정도의 평균인장응력을 나타냈으며, 부모멘트 지점에서 측정된 압축응력은 정착구 앞쪽의 압축응력보다 약간 낮은 정도의 응력분포를 보였다. 그림 5(b)에 나타난 8층 슬래브의 경우에도 7층 슬래브의 경우와 마찬가지로 긴장력 도입후 정착구 지압판 뒤쪽의 인장응력과 앞쪽의 압축응력이 가장 큰 값을 보였으며, 정착구 지압판 뒤쪽의 인장응력이 대략 평균적으로 0.6 MPa 정도로 7층에 비하여 다소 크게 발생하였다. 이는 정착구의 위치가 강성이 큰 보의 바로 앞에 위치하고 있기 때문으로 판단된다. 반면 정착구 앞쪽의 압축응력은 평균 1.2 MPa 정도의 분포를 보여 7층의 경우보다 약간 작은 값으로 측정되었다. 또한, 7층과 8층 슬래브에서 계측된 결과와 해석값을 비교해 보면, 긴장력 도입후 응력이 실제 계측값과 매우 근접하게 예측되었다는 것을

알 수 있다.

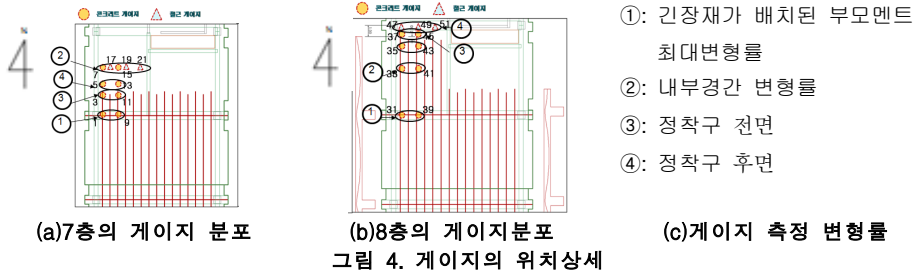


그림 4. 게이지의 위치상세

(+: 인장, -: 압축)

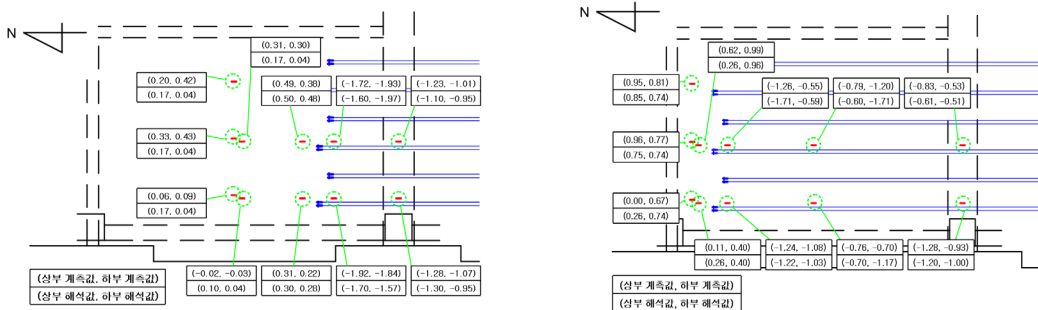


그림 5 현장계측 결과와 해석값의 비교

## 6. 결론

전구간 포스트텐션(PT)구조의 적용이 부담스러운 국내의 현실을 감안하여 본 연구에서는 큰 처짐이 예상되는 공간에 상향긴장식 부분PT를 적용하여 그 적용성을 분석하였다. PT의 상향력에 의한 처짐 제어가 비교적 효율적으로 나타났으며, 현장 공정상 큰 무리없이 적용이 가능하여 현장적용성이 우수함을 확인할 수 있었다. 상향긴장방식은 정착구 전후면에 국부적인 응력을 발생시키지만 이는 추가적인 철근의 배치를 통하여 제어가 가능하다는 것을 확인할 수 있었으며, 현장적용과 현장계측을 통하여 해석값과 거의 일치하는 결과를 얻을 수 있어서 부분PT구조의 거동이 비교적 안정적으로 설계에 반영될 수 있음을 확인하였다. 다만, 실제 계측에 의하여 사용하중에 의한 부분PT구조의 거동을 면밀히 분석하고자 하는 경우에는 온도, 건조수축 및 크리프의 영향을 고려하여 계측할 수 있는 적절한 방법이 필요할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 삼성물산 주택ENG팀의 “주거용 건물의 부분PT공법 최적화 연구”의 지원으로 진행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

## 참고문헌

1. PTI, Post-Tensioning Manual, 6th ed., Post-Tensioning Institute, 354 pp.
2. Collins, M. P., and Mitchell, D., Prestressed concrete structures. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. 1991, 752 pp.
3. Nilson, A.H., Design of Prestressed Concrete, 2nd ed., John Wiley & Sons, 1987, 592 pp.
4. Bijan O. Alami, 정광량 편저, 포스트 텐션 바닥시스템의 설계, 태림 문화사, 2003, 238 pp.