

포스트텐션 공법 소개



강도안 국제위원회 위원장
TSEC그룹 대표이사



이성희
TSEC그룹 연구팀

포스트텐션(Post-Tension, PT) 공법은 일반적으로 텐던(tendon)으로 알려진 고강도 강선 또는 봉을 이용하여 콘크리트 또는 다른 재료를 보강하는 방법으로 많은 경우 건설현장의 제약과 건축적인 요구에 의해 다른 공법으로 해결이 불가능한 경우에 대해 대안으로 사용되어 온 공법이다. 또한, 포스트텐션 시스템은 조립과 설치에 특수한 지식과 경험이 필요하였다. 그러나 최근 건설 시장은 신소재와 신공법의 발달과 함께 친환경 및 경제성에 대한 요구가 증가함에 따라 장스팬 및 충고절감이 가능한 포스트텐션 공법을 일반 건축물에 적용하는 사례가 점차 늘어나는 추세에 있다.

따라서 본 지에서는 3회에 걸쳐 포스트텐션 공법과 설계 및 시공사례 등을 소개하고자 한다.

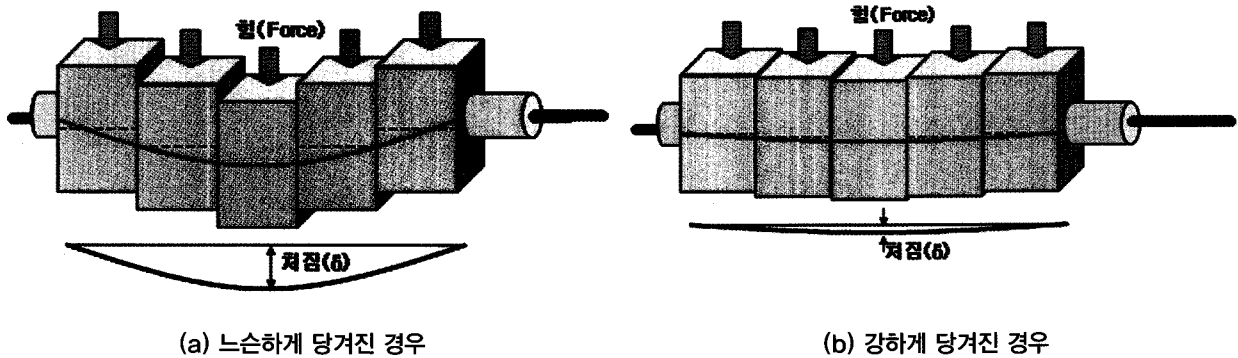
1. 포스트텐션 공법 소개

2. 포스트텐션 공법의 경제성 비교

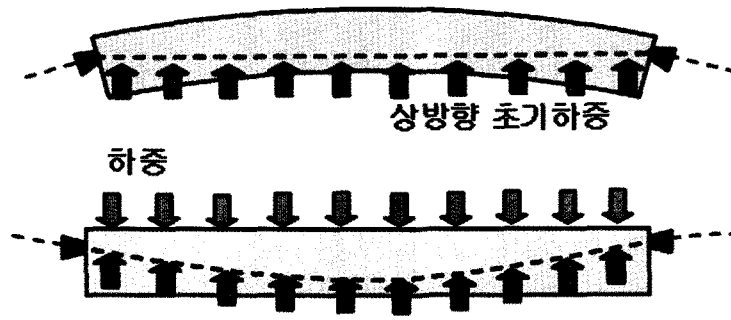
3. 포스트텐션 공법의 설계사례와 설계시 고려사항

1. 포스트텐션 공법이란 ?

포스트텐션 공법은 콘크리트가 경화한 후 콘크리트에 매설된 강연선에 인장력을 도입하여 휨내력과 처짐성능을 증가시키는 공법이다. 포스트텐션 공법을 쉽게 설명하면 그림 1과 같이 몇 개의 나무 블록에 대해 중앙에 구멍을 뚫고 고무 밴드를 관통시켜 당긴 후 양단을 고정시킨 것과 같다. 이때 고무 밴드가 느슨하게 당겨져 있는 경우 나무 블록은 작은 힘에도 쉽게 움직이지만 고무 밴드가 세게 당겨져 있는 경우 동일한 힘에 대해 처짐이 적게 발생하게 된다.



[그림 1] 포스트텐션의 개념



[그림 2] 보와 슬래브의 포스트텐션

[표 1] 일반 철근콘크리트 구조와 포스트텐션 구조의 비교

구조형식		단순보	캔틸레버 보
일반 철근콘크리트 구조			
포스트텐션 구조	재하전		
	재하후		

이 개념을 건물의 주요 구조부재인 보와 슬래브에 적용하면, 시공단계에서 포스트텐션에 도입된 인장력은 상방향 초기하중으로 작용하고 콘크리트의 경화 후 그림 2와 같이 포스트텐션의 상방향 하중에 해당하는 사용하중이 작용하기 전까지 처짐이 발생하지 않는다. 표 1에 일반 철근콘크리트 구조와 포스트텐션 구조의 비교를 나타냈다.

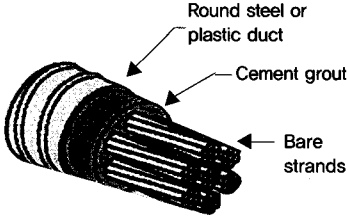
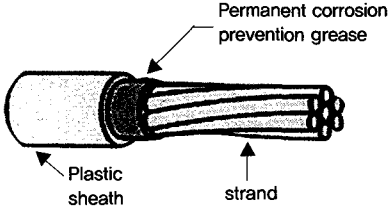
이러한 포스트텐션 공법은 최초 유럽에서 개발되어 1933년 프랑스 해군터미널 기초공사에 적용되었다.(Eugene Freyssinet 특허(1928)) 그리고 2차 세계대전 종료 후 전쟁복구를 함에 있어 전 세계적인 철재파동으로 적은 강재로 교량을 복구할 수 있는 포스트텐션 공법이 적용되기 시작하였다. 이후 이 기술은 유럽보다 미국과 호주에서 연구가 활발히 진행되어, 1950년 Philadelphia의 Walnut Lane 교량에 사용되고, 1960년 이후 미국에서 지반조건에 의해 발생하는 건물의 피해를 줄이기 위해 일반주택의 기초보강용으로 사용되기 시작하였다. 1990년대까지 포스트텐션에 대한 이론적 연구와 실험으로 많은 문제들이 해결되었으며, 이후 고강도 강연선의 개발, 내부식성 정착장치

개발 및 건설기술의 발달로 본격적으로 포스트텐션 기술이 인기를 얻게 되었다. 현재 미국과 유럽에서 포스트텐션 구조는 상업 건물, 사무실건물, 주거용 아파트, 고층 콘도미니엄, 주차장 및 호텔과 카지노와 같은 복합이용시설에 광범위하게 적용되고 있다. 국내에서도 거대한 설비투자가 필요없어 현장여건의 제한 없이 어디서나 간편하게 시공할 수 있는 공법이며 동일평면에서 기둥 숫자의 절감과 얇은 슬래브의 사용으로 층고를 절감할 수 있는 포스트텐션 공법을 적용하는 개발자와 건축주들이 늘어나고 있다.

2. 포스트텐션 공법의 종류

일반적으로 건축물에 사용하는 포스트텐션 방식은 강연선(Strand)에 긴장력을 가한 후 강연선과 콘크리트(보 또는 슬래브)의 일체화에 따라 표 2와 같이 부착(Bonded)공법과 비부착(Unbonded)공법의 2가지로 나뉜다. 부착(Bonded)공법은 강선과 콘크리트를 일체화시켜 외부 환경(돌발하중, 화재 및 부식)에

[표 2] 포스트텐션 공법의 비교

부착(Bonded)공법	비부착(Unbonded) 공법
<ul style="list-style-type: none"> - 콘크리트에 묻혀있는 덕트에 여러가닥의 강선이 삽입되어 있다. - 강선을 긴장하고 시멘트 페이스트를 덕트 내부에 주입하여 강선의 부식을 방지하는 방법 - 주로 교량, 거대구조물 등에 사용 	<ul style="list-style-type: none"> - 한가닥에서 4가닥까지의 묶음 형태로 설치되어 지며, 각각 개별적으로 인장과 정착이 이루어진다. - 영구부식 방지를 위한 그리스(grease)로 덮여 있고 플라스틱 쉬스(sheath)로 감싸져 완제품으로 제작되고 있다. - 가볍고 구부리기 쉬워 시공이 용이하고 그라우팅(Grouting) 작업이 필요하지 않기 때문에 시공과 경제적 인 면에서 장점이 있다. - 일반건물, 주차건물 등의 슬래브나 보에 사용된다.
	

대해 안전하지만 강선과 콘크리트 일체화를 위한 공정이 복잡하다. 비부착(Unbonded)공법은 강연선과 콘크리트를 일체화시키지 않으므로써 시공이 간단하고 추후 재 긴장이 가능하여 유지관리의 중요도가 높은 건축구조물에 주로 사용한다.

재에 전달하기 위한 장치로서 용도별로 긴장정착구, 고정정착구, 연결정착구로 나뉜다. 또한 연결되는 강연선의 수에 따라 단일 강연선 정착장치와 다중 강연선 정착장치로 나뉜다.

3. 포스트텐션 공법의 장비 및 자재

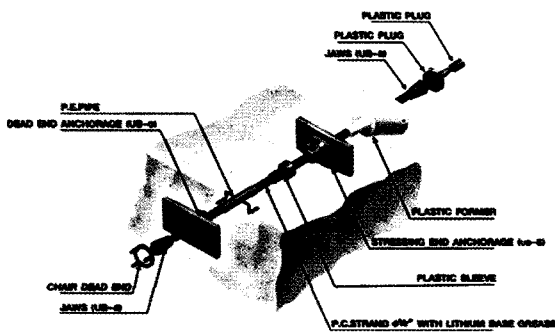
포스트텐션 공법에 사용되는 장비 및 자재는 다음과 같다.

1) 정착장치(Anchorage)

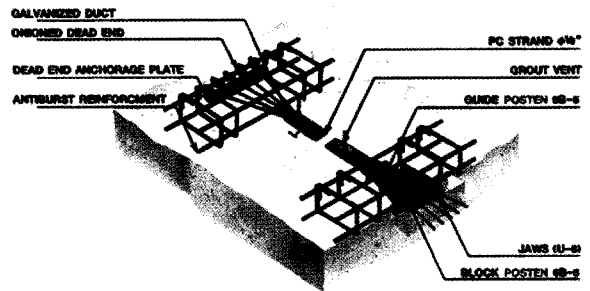
긴장재의 끝부분을 콘크리트에 정착시켜 프리스트레스를 부

2) 긴장재(Strand)

단독 또는 몇 개의 다발로 사용되는 프리스트레싱 강선(Wire), 강봉(Bar) 및 강연선(Strand) 등이 있다. 건축물에 사용되는 것은 강연선으로 7개소의 소선이 꼬인 형태로 제작되는데 가운데 심선을 중심으로 6개의 소선이 감아돌린 형태로 감싸져 있다. 일반적으로 사용되는 강연선은 12.7mm, 15.2mm 의 두 종류가 있다.

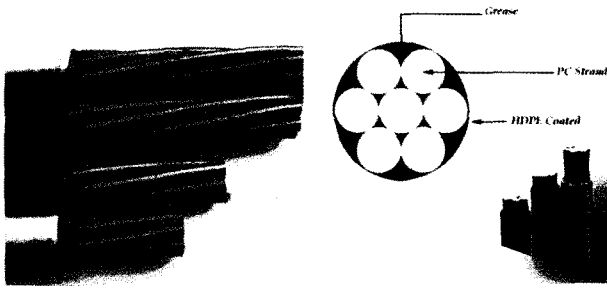


(a) 단일 강연선 정착장치



(b) 다중 강연선 정착장치

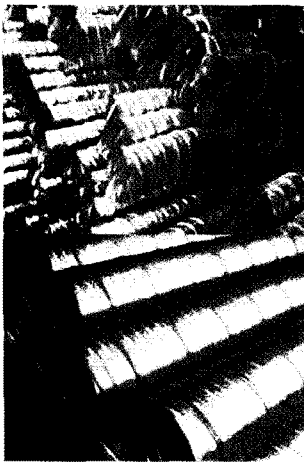
[그림 3] 정착장치



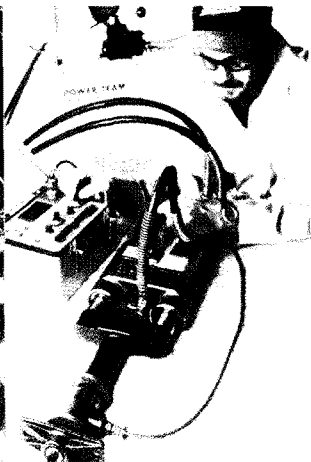
[그림 4] 긴장재

3) 덕트(Sheath or Duct)

시공시 긴장재 배치를 위한 관으로 콘크리트 타설시 긴장되지 않은 강선이 콘크리트와 분리되도록 하기 위한 비구조용 자재로서 0.25mm 이상의 일반철판 또는 아연도금 철판을 파형으로 감아 돌려 제작한다.



[그림 5] 덕트



[그림 6] 유압장치

4) 유압장치

긴장재를 당겨 콘크리트에 압축력을 도입시키는 장비

4. 포스트텐션 공법 적용의 이점

포스트텐션 공법은 설계 최적화를 통해 인장력에 약점을 가지고 있는 콘크리트의 압축강도를 활용하는 효율적인 구조시스템이다.

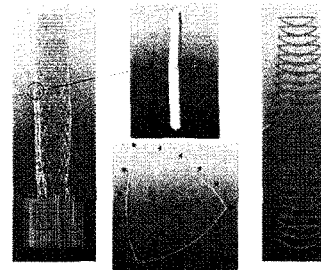
지금까지 포스트텐션 공법은 건축물에서 뗏목기초, 트랜스퍼 플레이트, 트랜스퍼 보, 타이빔, 및 바닥슬래브에 적용되어 왔으며, 건축물에 대한 포스트텐션 공법 적용의 이점은 다음과 같다.

1) 비정형건물, 재건축건물에서 미적으로 만족스러운 건물 시공가능

최근 아시아를 중심으로 고층건물이 많이 시공되고 있으며, 고층건물은 주거 및 상업용도 이외에 랜드마크적 역할을 수행하므로 3T(평면이변하는(Tapered), 꼬여진(Twisted), 기울어진(Tilted))형태의 건물이 시공되고 있다. 이러한 비정형 건물을 가능하게 하는 주요 기술이 포스트텐션 기술이다.



[그림 7] 싱가포르 마리나 베이 샌즈 호텔(쌍용건설)



[그림 8] Radial tensile force 제어

2) 층고 절감 및 경량의 장스팬 건물 가능

포스트텐션 공법은 우수한 처짐 제어성능으로 장스팬 슬래브가 가능하고 슬래브 두께를 줄일 수 있어 입면, 냉난방설비(HVAC) 전기, 펌핑 등 수직이동 시스템의 절감이 가능하다. 이러한 자중의 절감은 기둥의 크기와 개수를 줄일 수 있고 동일 높이의 건물에 많은 층수가 가능하므로 임대바닥면적의 증가로 인한 경제성을 얻을 수 있다.



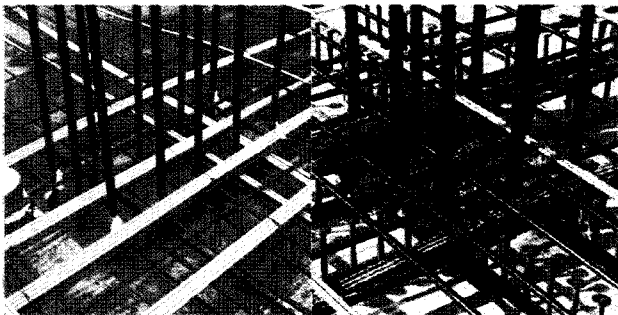
[그림 9] 경량의 장스팬 구조물 가능

3) 처짐과 크랙을 현저히 줄임

일반 콘크리트 구조에서 발생하는 처짐은 인장력을 받는 콘크리트에 크랙을 발생시키며, 크랙을 통해 유입된 수분은 철근을 부식시켜 건물의 내구성을 저하 시킨다. 따라서 포스트텐션에 의해 압축력을 받는 콘크리트는 균열의 발생이 지연되고, 일부 방수효과를 발휘할 수 있다.

4) 부재들 사이에 발생하는 문제점을 제거할 수 있는 단조로운 접합부

철근콘크리트 구조의 접합부는 보 또는 슬래브로부터 오는 철근에 대하여 접합부에서 정착 길이를 확보해야 하므로 접합부의 철근 배근과 상세가 복잡해진다. 포스트텐션 공법이 적용된 슬래브와 보의 경우 주 인장력을 받는 강연선이 접합부를 관통하여 지나가게 되므로 접합부 구성이 단순하게 된다.



[그림 10] 단조로운 접합부

5) 시공양중 절감과 고강도 콘크리트의 사용으로 거푸집 조기탈형에 의한 공기 단축

포스트텐션 강연선의 강도는 대략 일반철근의 4배이며 따라서 철근재료의 무게는 상당히 줄어든다. 줄어든 콘크리트와 철근의 재료량은 시공양중 절감으로 크레인 사용의 유연성을 확보할 수 있다. 또한 고강도 콘크리트의 사용으로 인한 거푸집의 조기탈형과 줄어든 동바리의 개수로 더 빠른 건설주기와 거푸집의 더 빠른 재사용을 가능하게 한다.

5. 포스트텐션 공법의 이해

포스트텐션 공법은 현재 미국, 호주, 유럽 등에서 일반적인 건축물에 많이 적용되고 있지만, 많은 고층건물이 계획되고 시공되고 있는 국내에서는 특수공법으로 인식되어 일반적인 건물에 많이 적용되고 있지는 않다. 이는 포스트텐션 공법이 가지고 있는 경제성, 사용성, 해체시 문제점, 강연선 및 정착구의 부식, 내화성능에 대한 충분한 이해가 없기 때문으로 생각된다.

1) 포스트텐션 공법의 경제성

철근 콘크리트 공법에 대한 포스트텐션 공법의 상대적인 경제성은 각 경우에 따라 다르며 거푸집 작업, 콘크리트, 철근과 포스트텐션을 포함하는 관련된 재료의 양을 고려해야 한다. 또한, 건설 속도, 기초 비용 등과 같은 다른 요소들이 또한 고려되어야 한다. 그림 11은 슬래브의 스패에 따른 철근 콘크리트 공법과 포스트텐션 공법의 비용을 비교한 그래프이며 스패이 7m를 초과할 때 포스트텐션 공법은 철근 콘크리트 공법의 경제적인 대안으로 고려될 수 있음을 보여준다.

(호주 Freyssinet Pty Ltd 자료참조)

2) 포스트텐션 공법으로 시공된 슬래브의 개구부

구조물의 수명동안 시간에 따라 거주자의 요구가 바뀌거나 거주자가 바뀌게 된다. 그리고 각 새로운 거주자는 기계, 설비, 서비스 및 실배치에 대한 새로운 요구사항을 가질 것이며, 구조물은 이를 만족시키기 위해 계단, 서비스, 리프트등의 공급을 위한 유연성과 하중패턴 변화에 의한 가능성을 가져야 한다.

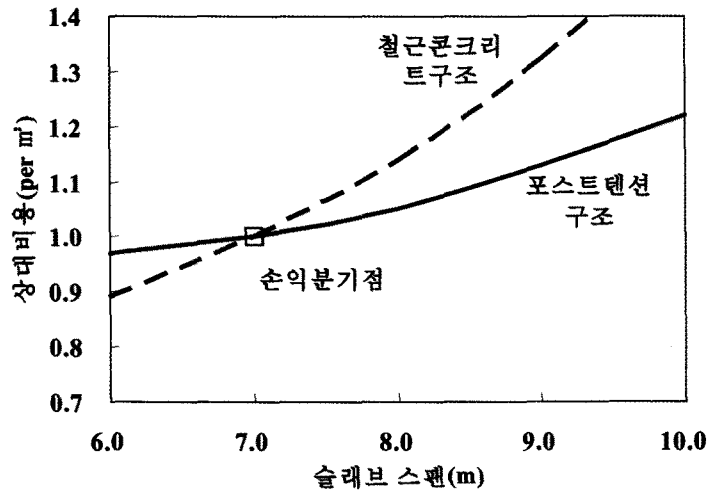
포스트텐션 구조는 강연선에 도입되는 인장력으로 인해 슬래브의 개구부 설치는 구조물 안전성에 영향을 줄 수 있다. 따라서 포스트텐션 공법을 적용하는 건축물은 계획 시 이러한 추가 개구부의 가능성을 고려해야 한다. 한편 포스트텐션 구조의 강연선의 배치는 일반 철근 콘크리트 구조의 철근배치에 비해 촘촘하지 않으므로 포스트텐션 공법이 적용된 슬래브의 작은 개구부 설치는 일반 철근 콘크리트 공법에 비해 용이하다.

3) 포스트텐션 구조의 해체

포스트텐션 구조의 해체는 일반적으로 철근 콘크리트 구조물의 해체와 유사하며 절단해야하는 강연선의 숫자가 철근콘크리트 공법의 철근의 개수에 비해 적으므로 해체가 간편하다. 다만 건물이 급격하게 붕괴되지 않도록 추가 주의를 기울여야 하며, 급격한 붕괴는 이점으로 이용될 수 있다.

4) 강연선과 정착구의 부식

일반 철근 콘크리트 구조는 수분과 염분 등 외부 환경으로부터 철근이 부식되지 않도록 일정한 두께의 콘크리트 피복을 확보하도록 하고 있다. 포스트텐션 구조에서도 정착구와 강연선의 부식은 구조물의 성능에 영향을 줄 수 있으므로 부식방



[그림 11] 포스트텐션 공법과 철근콘크리트 공법의 경제성 비교

지를 위한 노력을 기울여야 한다. 이를 위해 정착장치는 녹이 슬지 않는 합성수지계통의 정착장치를 이용하고 정착구는 몰탈을 충분히 채움으로써 외부 환경에 의한 부식을 방지 할 수 있다.

5) 내화성능

여러 용도로 이용되는 건축물은 화재가 발생할 수 있으며, 이러한 돌발적인 화재에 대비해 건축물은 일정한 내화성능을 확보해야 한다. 현재 각국의 내화기준은 건물의 용도와 규모에 따라 표준가열온도에서 정해진 내화시간을 확보해야 하며, 일반콘크리트 구조와 동일하게 포스트텐션 구조도 일정두께의 콘크리트 피복을 통해 내화성능을 확보할 수 있다. 그러나 화재의 발생을 미연에 방지하는 것이 구조물의 안전성 확보를 위해 무엇보다 중요할 것이다.

6. 결론

포스트텐션 공법은 인장력에 취약한 콘크리트를 강연선으로 보강하여 콘크리트의 크랙 및 처짐을 현저히 줄이고 구조체(슬래브, 보 등)를 얇게 하여 장스팬의 미적으로 만족할만한 건축물을 시공할 수 있는 공법이다. 이러한 장점은 건물의 자중과 층고를 줄이고 기둥의 크기 및 개소를 줄일 수 있어 동일 높이의 건물에서 얻을 수 있는 대실임대료를 극대화 할 수 있는 장점이 있다. 미국, 호주, 유럽 등에서는 포스트텐션 공법이 일반건축물에 까지 널리 적용되고 있으나 국내에서는 다른 공법으로 해결이 안되는 특수한 건축물에만 적용되고 있다. 이는 포스트텐션 공법이 가지고 있는 경제성, 사용성, 해체시 문제점, 강연선 및 정착구의 부식, 내화성능에 대한 충분한 이해가 없기 때문으로 판단된다. 따라서 향후 포스트텐션 공법이 특수공법이 아닌 일반 공법으로 국내에 안정적으로 정착되기를 기대한다.