

# 외부 포스트텐서닝공법에 의한 콘크리트 구조물의 보강사례 연구

## Reinforcement of RC Structures with External Post-Tensioning Method

정 원 용 \*                      김 승 익 \*  
Chung, Won Yong              Kim, Seung Ik

---

### ABSTRACT

In many years, post-tensioning method has been used for structural reinforcement of RC structures due to easy installation and good quality control. This study presents practical application results for the effectiveness of structural post-tensioning reinforcement of the FCM bridge girders, cement silos and building girders. For the FCM bridges deflected excessively at the end of girders, for cement silos cracked vertically at silo surface and for building girders deflected due to heavy load from roof, the external post-tensioning method was used for uplifting deflected girders and closing cracks with increasing resisting capacity of the structures. It was demonstrated that all the items were rehabilitated nearly to the initial construction status according to the field test results.

---

### 1. 서론

우리나라에서 프리스트레싱공법을 최초로 도입하여 가설한 교량은 1962년 후레씨네공법에 의해 완공된 경춘국도의 구운교이며, 이후로 많은 교량, 산업시설물 및 건축구조물에 적용하여 구조물을 축조하여왔다. 현재까지 원자력발전소의 원자로 및 LNG탱크 구조물 등에 많이 사용되어 왔으며 최근에는 고속철도의 교량구조물에도 적용되어 공법의 안전성 및 효용성을 다시 한번 입증시켜주고 있다. 특히 각종구조물이 노후화되거나 사용하중의 증가에 따라 기존 구조물의 원상회복 및 하중지지능력을 증대시켜야할 필요가 발생됨에 따라 기존구조물에 최소한의 손상을 주면서도 능동적인 외적하중을 작용케 하여 비교적 간단하면서도 안전하게 구조물의 성능을 증대시키는 공법으로 외부 포스트텐서닝공법이 국내외적으로 광범위하게 적용되고 있다. 본 논문에서는 상기 공법에 의해 최근 보강된 콘크리트 구조물의 사례와 보강효과를 분석하였다.

---

\* 정희원, (주)후레씨네코리아 상무이사

## 2. 외부포스트텐서닝 공법의 특징

외부 포스트텐서닝에 의한 구조물 보강공법은 프리스트레스를 기존의 철근콘크리트 구조물에 도입하여 내력증진 효과를 얻는 방법으로서, 경제적이며 처짐이 보완된다는 장점이외에 균열을 처리할 수 있다는 특징도 갖고 있다. 슬래브나 곡면체의 경우에 적용하기 쉬우나 균열이 많이 발생한 슬래브의 경우에는 정착구의 위치에 주의해야 한다. 보강설계 방법은 일반적인 프리스트레스트 콘크리트와 같으며 보강정도를 정밀하게 계산하여 긴장재의 위치, 긴장정도를 산정하여야 한다. 특히 정착구 주변에서 발생하는 응력 및 긴장에 따른 구조물의 추가 변형등을 충분히 검토해야 하며, 플랫 슬래브의 경우 적용하기 쉬우나 프리스트레스를 도입하기 위해서는 슬래브의 중앙부에 별도의 부재를 설치해야 효과적이므로 사용공간의 감소에 따른 영향등을 고려하여야 한다. 또한 보강공사후 긴장재의 과도한 이완이나 하중증가에 따른 추가 긴장을 위한 방안도 수립되어야 한다.

## 3. FCM교량 보강공법<sup>1-3)</sup>

### 3.1. 공사개요

대상교량은 1985년에 FCM(Free Cantilever Method)공법으로 시공되었으며, 지간 중앙이 힌지인 활절라멘교로서 구조해석의 편리함으로 초기 PSC교량에 주로 사용되었으나, 설계당시 예측했던 수치보다 큰 값의 크리이프 및 건조수축과 강선의 릴렉세이션등에 의해 힌지 지점의 과도한 처짐이 발생되었다. 이로인해 외적인 불안감과 주행성이 저하되었고, 차량의 충격에 따른 영향등에 의해 통행하중을 1등급에서 2등급 수준으로 낮추었으며 주행속도도 30km/hr로 제한하게 되었다. 이에따라 1등급로의 성능회복과 주행성향상 및 내구력 증진을 위해 보강공사가 필요하게 되어, 경간 중앙부의 힌지부를 연속화시켜 추가적인 처짐과 진동현상을 방지하고 외부 포스트텐서닝에 의해 처짐 현상의 회복과 강성을 증대시켜 내하력을 향상시키는 효과를 확보하고자 하였다.

### 3.2 보강공법

보강공사는 1998-2000년에 걸쳐 수행되었으며, 주요공정으로는 경간 중앙부의 힌지부 연속화와 전구간에 걸친 외부 포스트텐서닝에 의한 보강공법을 도입하였다. 특히 본 공사에서는 외부 포스트텐서닝에 의한 압축력을 도입하기전에 교각의 수평 변위를 방지하기 위해 힌지부에서 외곽쪽으로 Pre-compression을 위한 Jacking작업이 수행되었으며, 하부 Flange콘크리트의 압축강도가 소요강도에 부족한 것으로 조사되어 박스내부에 강재 트러스를 설치하여 트러스에 압축력을 도입함으로써 정착구와 교각사이의 하부Flange콘크리트에 인장력을 도입하여 외부 포스트텐서닝에 의한 압축력 부족을 상쇄하는 개념을 도입하였다. 통상적으로 교량을 신설할 때에 비해 보강공사를 시행함에 있어서는 기존 구조물의 재료강도 및 보강 공사후의 구조계의 변화를 철저히 분석하여야 하며, 이를 충분히 고려하지 못할 경우에는 구조보강으로 인해 오히려 구조물의 붕괴를 초래 할 수도 있음을 성수대교의 경우를 통해 되새겨 볼 필요가 있다.

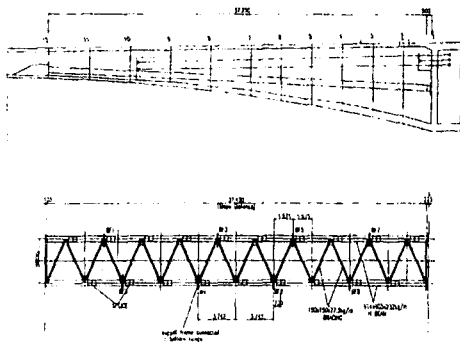


그림 1 트러스에 의한 하부Flange 인장력도입

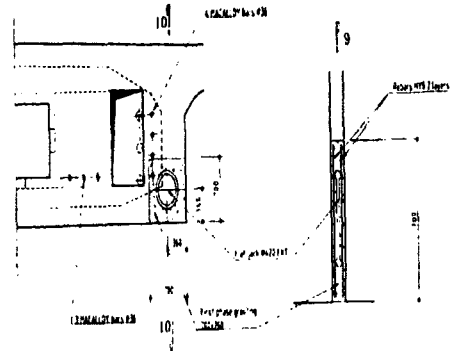


그림 2 Flat Jack에 의한 Pre-compression

그림 1과 그림 2는 각각 하부Flange에 인장력을 도입하는 형상과 경간 중앙부에서 Pre-compression을 도입하여 교각 구조물에 외부 포스트텐서닝에 의해 발생하는 변위를 상쇄 할 수 있는 공법을 보여주고 있다. 공사순서는 그림 1과 같이 박스내부에 강재 트러스를 설치하여 총 1000여tonf의 압축력을 도입하여 하부Flange콘크리트에 인장력이 발생하도록 하였으며, 보강 텐던의 프리스트레스힘에 의해 교각이 내측으로 변형이 발생되어 교각의 단면력이 증가하는 것을 방지하기 위해 그림 2와 같이 힌지부에 250여tonf의 힘을 외부로 가하여 줌으로서 보강 텐던의 영향을 상쇄시키도록 하였다. 이와같은 선행 작업후에 전 경간에 걸쳐 그림 3과 같이 외부 포스트텐서닝에 의한 보강공법을 수행하였다. 보강공사후 보강전/후의 고유진동수를 비교한 결과 보강후의 강성이 증가하는 것으로 나타났으며, 내하력 평가결과 보강전보다 보강후의 내하력이 최소 1.5배이상 상승한 것으로 조사되어 설계하중 DB-24를 상회하는 것으로 평가되었다.

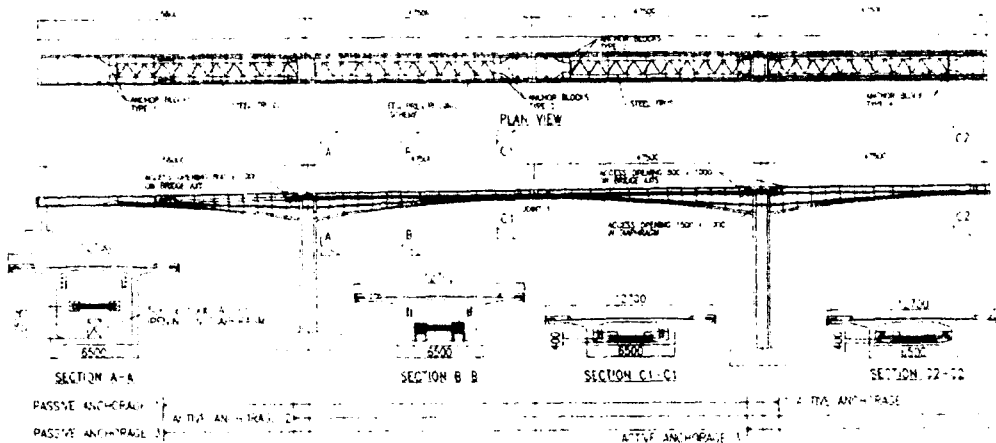


그림 3 외부 포스트텐서닝에 의한 보강 현황도

#### 4. Cement Silo 보강공법<sup>5)</sup>

##### 4.1. 공사개요

대상구조물은 1991년도에 준공된 시멘트 사이로로서 높이 50m, 직경 18.7m의 철근 콘크리트 원통형 구조체이다. 구조물의 열화 상태는 하부 Opening구간의 기둥 및 테두리보에 상재하중으로 인한 휨 및 전단 균열이 상당수 발견되었으며, 사이로 본체 원통형 표면에서도 수직으로 인장균열이 발견되어 이로인한 철근의 부식이 우려되는등 보수/보강이 필요하게 되었다. 국내에서 그동안 통상적으로 적용하고 있던 사이로 구조물에 대한 보강공법은 외부 철판부착에 의한 수동적 방법이었으나, 중량의 과다 및 부식의 우려등에 따라 최근에는 FRP시트에 의한 부착공법 및 외부 포스트텐셔닝에 의한 능동적인 보강공법 등이 사용되고 있다. 이에따라 대상 구조물에도 외부 포스트텐셔닝에 의해 압축력을 도입하여 인장력(Hoop Tension)에 의한 균열발생을 억제시키고, 시멘트 모르타르에 의한 슛크리트로 마감한 후에 페인팅하는 공법을 채택하였다.

##### 4.2 보강공법

보강공사는 2002년 상반기에 시행되었으며 주요공정은 균열부의 에폭시 주입공법에 의한 보수, 표면처리(Chipping), 외부 포스트텐셔닝공법에 의한 사이로 본체 보강, 하부 테두리보의 철판 압착공법에 의한 보강, 하부 기둥의 Flat-Bar와 강봉에 의한 긴장보강, 강제 와이어 매트쉬의 설치, 시멘트 모르타르에 의한 슛크리트 및 마감 페인팅 작업이다. 사진 1은 외부 포스트텐셔닝공법에 의한 사이로 보강 현황도로서 X타입의 정착장치에 케이블이 고정되어있는 모습을 보여주고 있으며, 사진 2는 슛크리트에 의한 외부 마감이다. 사진 3은 기둥부의 Flat-Bar와 강봉에 의한 긴장도 이며, 사진 4는 테두리 보의 보강 현황도이다.



사진 1 외부 포스트텐셔닝에 의한 보강

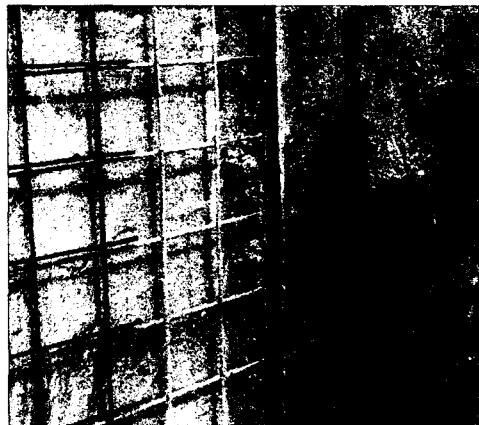


사진 2 슛크리트에 의한 외부마감

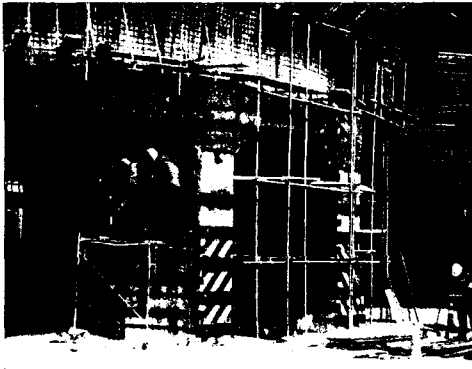


사진 3 Flat-Bar와 강봉에 의한 기둥보강

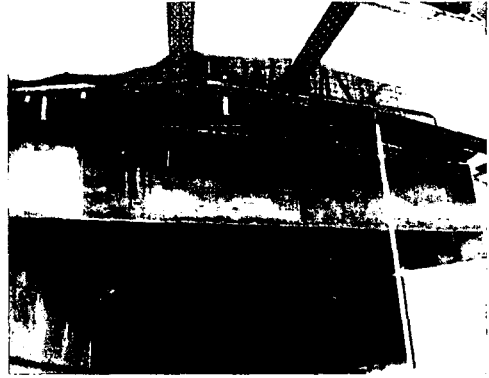


사진 4 철판압착에 의한 테두리보의 보강

## 5. 00건물 보 보강공법<sup>6)</sup>

### 5.1. 공사개요

대상구조물은 1980년대에 준공된 체육관 시설로서 이를 사무실로 사용하기 위해 용도 변경 하던중 상부 슬래브의 하중에 의한 가로보 및 세로보의 처짐이 증가하여 이를 회복시키고 추가적인 내력을 증진시키기 위해 건물의 보 부재에 긴장력을 도입하는 공사이다.

### 5.2 보강공법

체육관 시설로 사용시 중간 기둥이 없이 지붕 슬래브의 가로보 및 세로보에 의해 상부 슬래브의 하중을 지지하고 있었으며, 이로인해 이미 가로보 및 세로보는 처짐 현상이 상당히 진행된 상태였다. 처짐의 회복, 균열의 폐합과 내력을 증진시키기 위해 보 중앙부에 Deviator를 설치하고 보의 양단부에 정착장치를 설치하는 공법을 채택하였으나, 보 부재의 크기가 긴장재의 정착력을 지지할 수 있을 정도의 크기가 되지 못하여 일부는 외부 포스트텐서닝으로 보강하고 일부는 보 중앙부에 기둥 부재를 설치하는 공법으로 변경하였다. 그림 4는 보 보강 현황도를 보여주고 있다.

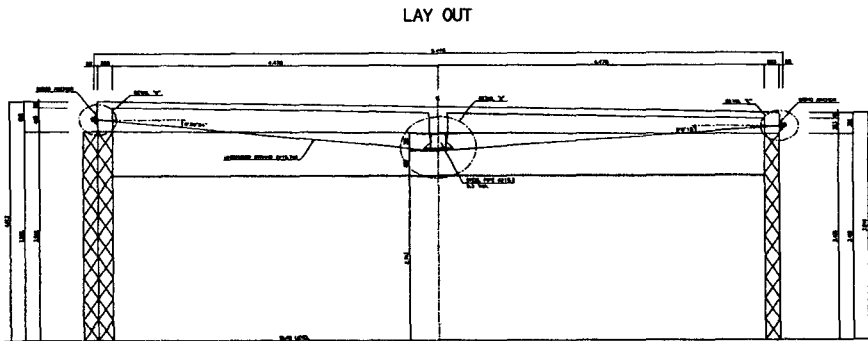


그림 4 보 보강 현황도

## 6. 보강효과분석

FCM교량의 경우 보강전에는 DB-18정도의 통과하중 및 30km/hr의 주행속도의 제한을 받았으나, 보강후에는 재하시험을 통해 내하력이 부재별로 최소 1.5배 이상 향상된 것으로 나타나 DB-24를 초과하는 내하력을 갖는 것으로 조사되었다. 특히 중앙경간 힌지부의 강결로 주행속도에 대한 제한도 해제되었으며, 처짐부의 교면 평탄화 작업으로 교량 신설시의 상태이상의 구조적인 내력과 사용성이 회복되었다. 현재 보강 공사후 2년정도가 경과되었으나 추가적인 변형과 내력 감소와 같은 문제점은 발견되지 않고 있으며, 추후 유사한 보강공사에 많은 참고가 될 수 있을 것으로 사료된다.

시멘트 사이로의 경우 외부 포스트텐서닝에 의해 긴장력을 도입하여 균열의 추가발생이 방지되었고 테두리보의 보강과 기둥부재의 보강으로 지진동에 의한 횡방향 하중에 대한 내력 증진 효과도 있으며, 현재 슛크리트 마감과 페인팅 처리로 신설 구조물과 동일한 상태로 회복되었다. 건물의 보에 대한 보강 효과는 보 중앙부의 처짐회복과 균열의 폐합현상이 확인되었으며, 기둥의 추가보강에 의해 상재하중에 따른 보강은 충분한 것으로 사료된다.

## 7. 결론

본 연구에서는 외부 포스트텐서닝 공법을 이용하여 철근 콘크리트 구조물을 보강한 후 그 보강효과를 분석한 결과로 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 다양한 구조 형식의 열화된 콘크리트 구조물에 외부 포스트텐서닝에 의한 보강공법을 적용한 결과 처짐의 회복, 균열의 폐합 및 내하력이 증진되는 것으로 나타났다..
- 2) 외부 포스트텐서닝에 의한 보강공법을 적용시에는 기존 구조물의 재료강도 및 구조계의 변화로 인해 발생할 수 있는 손상의 가능성에 대비하여 공법의 보완 및 기존구조물의 부분적인 보강이 수행되어야 하며, 이는 모든 보강공법 적용시에도 반드시 고려되어야 할 사항으로서 최근 들어 검증되지 않은 많은 보강공법이 무분별하게 사용되고 있어 보강공사후에도 구조물의 거동에 관한 주의 깊은 관찰이 필요하다.
- 3) 외부 포스트텐서닝공법은 현재 적용되고 있는 많은 보강공법중에서 확실한 설계 및 시공이 가능한 공법중의 하나이며, 이 공법을 이용한 보강방법에 대한 많은 연구가 진행 중에 있다.

## 참고문헌

1. 건설교통부 대전지방국토관리청, "상진대교 건설지," 2000.
2. EEG, "Final Report of Sang Jin Bridge Rehabilitation," 1998.
3. 한국콘크리트학회, "2001년도 가을 학술발표회 논문집," 2000, pp 979-984.
4. 대한건축학회 "콘크리트 구조물의 보수보강," 1997.
5. 후레씨네코리아 "한라 라파즈 시멘트 사이로 보강공사," 2002.
6. 후레씨네코리아 "오산 AB체육관 보강공사," 2001.