

포스트텐서닝을 이용한 기존 구조물 보강

Strengthening of Existing Structures with Post-Tensioning



민 락 기*



오 창 열**

1. 머리말

모든 구조물은 시간이 경과함에 따라 내구성, 내하력 및 구조물의 수명에 많은 영향을 미치게 된다. 현존하는 국내 구조물의 대부분이 준공한지 이미 오랜 시간이 경과했으며 유지 및 관리의 소홀로 인하여 구조물 자체의 내하력이 상당히 저하된 것들이 많은 실정이다.

또한 보수, 보강공사에 대한 개념이 소홀히 간주되어 지금까지 영세업체를 통한 보수 위주의 공사들이 이루어져 왔고, 지금도 일부에서는 아무런 구조검토나 산출근거 없이 기존 구조체에 대한 보강공사가 이루어지고 있다.

보수라 함은 재료적인 측면의 접근인 반면, 보강은 구조적 측면의 접근이다. 국내의 대부분의 구조체는 내하력의 증진을 위한 보수공사가 대부분이며 보수공사는 재료에 대한 개발이 많이 낙후되어 주로 수입자재에 의지하고 있는 실정이다.

보수, 보강공사는 내구성이나 강도에 문제가 생긴 구조물을 대상으로 하기 때문에 일반적인 공사에 비하여 상당히 복잡하며 각종 공사에 대한 많은 경험과 지식을 바탕으로 이루어져야 한다. 국내 대부분의 보강공사는 철관 보강공사가 주를 이루어 왔으나 최근들어 사용재료, 시공 품질의 확보 및 유지 관리상의 문제점 야기로 인하여 사용례가 줄어들고 있다. 이에 반하여 포스트텐서닝(Post-Tensioning)을 이용한 기존 구조체의 보강공법은 구조체에 대한 적응성과 보강효율이 높아 다양한 구조체의 보강에 활발하게 이용되고 있으며 구조적 및 경제적 측면의 여러 장점이 있어 이에 대하여 소개하고자 한다.

2. 포스트 텐서닝을 이용한 구조물 보강

국내의 기존 구조물에 있어 내하력이 저하된 구조체는 대부분 수명이 오래된 것들로서 부분적 손

* 브이에스엘코리아(주) 공사부 이사

** 정회원, 브이에스엘코리아(주) 기술연구소 차장, 기술사

상에 대한 보수는 있었으나 구구조체 고유의 기능과 성능에 대해서는 소홀히 유지관리된 것들이 대부분이다. 더구나, 교량과 같은 구조물에서는 과거에 비해 경제성장에 따른 통행량이 급증하면서 통과하중의 증가현상이 오래된 기존 구조체의 내하력을 손상시키는 주원인이 되고 있다. 기존 구조물이 보강을 필요로 하는 경우에는 다음과 같은 조건에 의하게 된다.

- ① 설계의 결함 또는 시공의 부실
- ② 구조체의 결함 또는 손상에 의한 구조물의 강도저하
- ③ 구조물의 사용상 수명 연장을 위한 구조보강
- ④ 구조물의 용도변경으로 인한 하중증가
- ⑤ 관령 관련 변경에 의한 강도보강 요구의 발생

2.1 포스트 텐서닝 보강법의 역사적 배경

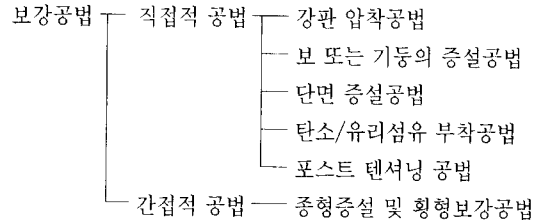
포스트 텐서닝 보강공법은 새로운 공법이 아닌 기존의 프리스트레스트 공법의 한 분야로서 지금껏 내부 텐던(internal tendon) 방식을 주로 사용해왔기 때문에 국내에 잘 알려져 있지 않을 뿐이다. 따라서 포스트 텐서닝 보강법의 역사적 배경을 알아보기 위해서는 1930년대로 거슬러 올라가야 한다. 외부텐던(external tendon)을 이용하여 보강의 개념을 갖는 최초의 포스트 텐서닝 특허는 1934년 독일의 디칭거(Dischinger)가 독일 특허를 획득하면서 처음으로 알려지게 되었다. 최초의 기존 구조물에 대한 보강 차원의 포스트 텐서닝 공법 적용사례는 스위스의 아방겐(Aawangen)에 있는 아래(Aare)강을 건너는 2경간 트러스교(사진 1)로서 1889년에 시공된 교량이 근래의 중량화된 교통하중을 지지할 수 없어 1976년 극한강도 13.7t/cm²의 2연선 2가닥에 의하여 보강되어진 것이다.

2.2 보강법

기존 구조물에 대한 보강공법으로 국내에서 사용 가능한 방식으로는 다음과 같다.



사진 1 아래(Aare)강의 트러스교(스위스Aawangen)



여기서 포스트 텐서닝 공법을 제외하고는 대부분이 수동적 보강법으로서 기존 구조체의 손상복원없이 보강하는 방식인 반면 포스트 텐서닝 공법은 능동적 보강법으로서 기존 구조체의 변형이나 응력을 복원시켜 보강을 하게 된다.

포스트 텐서닝 공법은 다음과 같이 내부텐던 방식과 외부 텐던 방식으로 분류된다.

2.2.1 외부텐던(external tendon) 방식

외부텐던방식은 글자가 의미하는 바대로 구조체 단면의 바깥쪽에 포스트 텐서닝 케이블을 설치하여 긴장하는 보강방식을 말하며 그림 1에서 보는 바와 같이 편심용 블록(deviation block)을 설치하여 구조체에 편심력(deviation force)을 도입하여 보강하게 된다.

외부텐던의 구성은 기존 포스트 텐서닝 방식의 텐던과 다름이 없으나 구조체의 외부에 돌출되기 때문에 외부의 환경적 영향이나 충격에 대하여 보

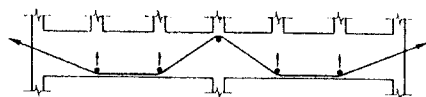
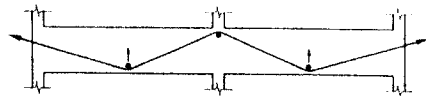


그림 1 외부텐던방식의 기본 배치에

호될 수 있도록 추가적인 세부설계가 추가될 뿐이다. 그림 2은 VSL방식의 외부텐던 단면을 보여주는 것이며 사진 2는 현재 국내에서 가장 많이 사용하고 있는 텐던의 단면과 설치 전경이다.

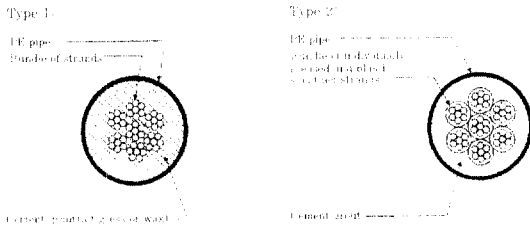


그림 2 VSL외부 텐던의 단면

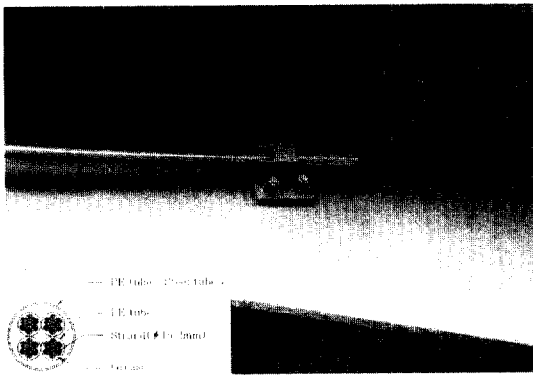


사진 2 국내 PS Beam 보강 및 외부텐던의 단면

가) 외부텐던 방식의 장점

구조체 보강 공법으로서 외부텐던방식은 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

- ① 구조적인 해석이 명확하다.
- ② 적용범위가 광범위하다.
- ③ 보강부재의 자중이 가벼워 하중의 증가가 거의 없다.
- ④ 설치가 간편하며 공기가 짧다.
- ⑤ 타공법에 비해 공사비가 저렴하다.
- ⑥ 시공후 유지관리가 용이하다.
- ⑦ 시공후 응력관리를 위한 긴장력 조절이 용이하다.
- ⑧ 추후 필요시 PC tendon의 교체가 용이하다.

외부 텐던방식은 기존 구조물의 보강뿐만 아니라 신설 구조물에 있어서도 널리 쓰이고 있으며 그 사용 예는 다음과 같다.

- ① 사장교(cable stayed bridge) 또한 현수교(suspension bridge)
- ② 장경간 지붕 구조물(long span roof structure)
- ③ 중앙물 인양(erection & heavy lifting) 등

그림 3과 사진 3은 외부텐던방식을 이용한 신설 교량으로서 철도를 건너는 장경간이 필요하나 지반의 조건이 워낙 취약하여 교량의 자중을 최소화하기 위하여 교량 하부의 인장부에 외부텐던을 사용하여 시공한 예이다.

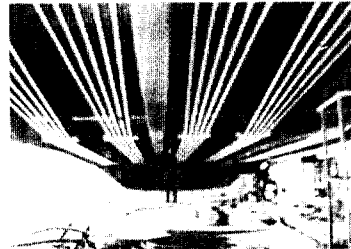


사진 3 철도 고가교 (아웨, 독일)

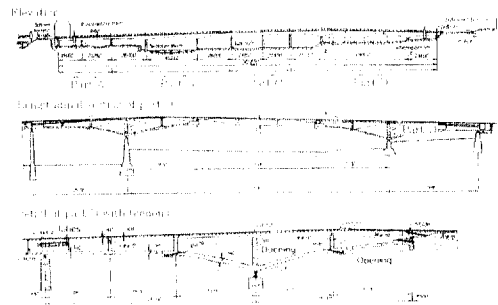


그림 3 철도 고가교 (아웨(Aue) 독일, Dischinger설계 1937년)

나) 보강 및 보수

기존의 휨부재를 보강한 경우 외부텐던방식의 포스트 텐서닝은 구조체에 상당한 압축응력과 편심블럭에서 상향력(up-lifting force)을 유발시켜 기존 구조체 부재의 내하력을 높여주게 된다. 외부텐던의 긴장력은 정착구와 새들(saddle)을 통하여 기존 구조체에 힘을 전달하게 되는데 정착구나 새들의 설치방법은 선단방식이나 지압방식 또는 마찰방식이 주로 사용되고 있다.

사진 4는 새들의 설치 모습으로 선단방식과 지압방식을 보여주고 있다.

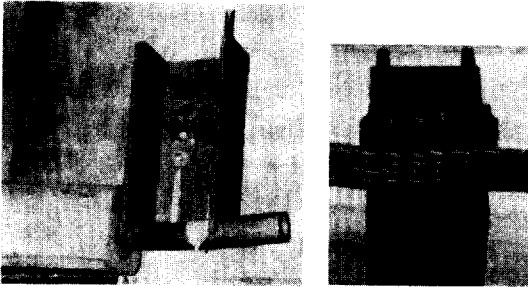


사진 4 새들 (Bracket 전단방식과 지압방식)

위의 포스트텐서닝 텐던의 또다른 응용으로는 원형구조물에 대한 원형 프리스트레싱이 있다. 이는 내압으로 인해 벽체에 균열이 발생한 원형의 구조물 외부를 텐던으로 감아돌려 인장하여 줌으로써 내압에 의한 원주방향의 인장력을 잡아주는 공법이다.

국내에서도 사일로, 물탱크, 가스탱크, 원자력 발전소 등 원형구조물의 신설 및 보강공사에 많이 쓰여지고 있으며 외부에 노출된 포스트 텐서닝 텐던은 외부에 의한 손상을 방지하기 위하여 샷크리트(shotcrete)를 많이 치고 있다.

2.2.2 내부텐던방식

내부텐던방식은 기존 구조체의 부재단면 내에 포스트텐서닝 텐던을 설치하여 프리스트레싱 방식을 의미한다. 국내에서는 거의 대부분의 신설공사에 있어서 내부텐던방식을 사용하고 있으나 기존 구조물을 보강하는 경우에 있어서도 아주 유효하게 사용이 되고 있다. 내부텐던방식에 의한 기존 구조물의 보강은 구조체의 단면 내부에 포스트텐서닝 케이블을 설치해야 하기 때문에 주로 천공 또는 coring을 하여 설치하게 된다. 따라서, 내부텐던방식은 포스트텐서닝 케이블을 직선 배치만이 가능하게 된다.

내부텐던방식은 다른 공법에 비하여 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

- ① 외관이 양호하다.
보강에 의한 PT tendon의 외부 노출로 인한 외관의 손상이 없다.
- ② 외적 환경조건에 의한 PT tendon의 우려가 없다.
- ③ 공사가 어려우며 비용이 비싸다.

- ④ PT tendon의 곡선 배치가 불가능하다.
- ⑤ 적용범위가 한정되어 있다.

그림 4는 내부텐던방식의 실례를 보여준다.

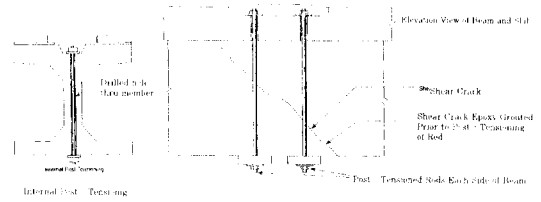


그림 4 내부텐던방식의 시공예

2.3 외부 포스트 텐서닝 텐던의 구성

내부 포스트 텐서닝 텐던의 구성은 신설 포스트 텐서닝 방식과 같기 때문에 여기서는 외부 포스트 텐서닝 텐던방식에 대해서만 언급하기로 한다.

외부 포스트 텐서닝 텐던의 구성은 기본적으로 다음과 같이 구성되어 있다.

- ① 긴장부재로서의 강선
- ② 긴장력을 구조체에 전달시키는 정착구
- ③ 긴장력에 의한 휨응력을 발생시키는 새들
- ④ 텐던의 내구성을 위한 보호장치

2.3.1 스트랜드(strand)

현재 포스트 텐서닝용 긴장재로 사용하고 있는 것은 강선(strand), 강봉(PT bar) 그리고 단선(wire)이 주류를 이루고 있다. 공식적으로 전세계의 포스트 텐서닝용 자재의 사용량이 집계된 것은 없지만 비공식적인 사용량 통계에 의한 시장 점유율은 표 1에서 보는 바와 같다.

표 1 PT용 자재의 시장점유율

재료명	strand	PT bar	wire
점유율(%)	75	15	10

국내에서도 역시 시공성과 가격 경쟁력이 뛰어나며 국내생산이 가능한 강선이 포스트 텐서닝용 자재로서 주를 이루고 있다. 또한 재료의 발달과 더불어 탄소섬유나 aramid와 같은 신소재에 의한 강선

이 선진외국에서는 시험적으로 사용한 사례가 있다. 이러한 제품은 해양구조물과 같이 부식의 우려가 높은 구조물에 사용할 경우에 많은 잇점이 있게 될 것이다.

강선은 또한 비부착식 단일강선(unbonded monostand)이 생산되어 그림 5에서와 같이 자체적으로 1차 부식 방지처리가 되어 있어 외부텐던용으로 주로 사용되어지고 있다.

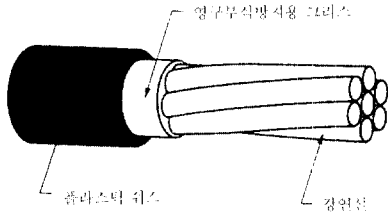


그림 5 비부착식 단일강선 상세

2.3.2 정착구(anchorage)

정착구는 텐던의 긴장력을 구조체에 전달시키는 장치로서 보강대상 구조체의 형태상의 제약을 흡수할 수 있어야 한다. 정착방식의 도입은 공사비 관리 개념에서 구조적 적합성과 경제성을 고려하여 선택하는 것이 보편적인 방법이다.

또한 기술적인 측면에서 볼 때 외부텐던의 정착구는 텐던의 긴장력 뿐만 아니라 구조물의 수명이 다할 때 까지 발생가능한 부분적인 추가응력까지도 견뎌야 한다.

외부 텐던방식의 정착구 설치방식은 다음과 같이 크게 3가지 방식으로 나뉜다.

가) 전단 지지방식

전단 지지방식은 텐던의 인장력에 해당하는 양의 철근을 보강 구조체에 매입시켜 정착불력을 형성시킨 다음에 여기에 지압판을 설치하여 시공하는 방식으로 철근 대신 anchor bolt를 사용하는 경우도 있다. 사진 5는 전단지지방식의 예를 보여준다.

전단 지지방식의 특징은 다음과 같다.

- ① 자체의 구입이 용이하며 시공이 간단하다.
- ② 기존구체의 강도저하에 의한 전단철근 및 anchor bolt의 전단내력 저하 우려가 높다.
- ③ 긴장력이 큰 경우 정착불력의 규모가 커지게 된다.

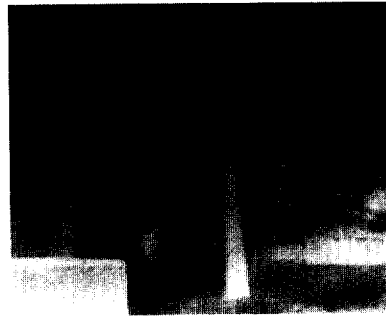


사진 5 전단지지방식의 정착구

- ④ Anchor bolt 설치를 위해 drill 작업시 기존 구조체에 손상을 줄 우려가 높다.
- ⑤ 추후 유지 관리상의 재긴장 및 텐던교체가 불가능하다.

나) 지압 지지방식

지압 지지방식은 구조체 단부에 철물로 ㄷ자 모양의 정착철물을 설치하여 포스트 텐서닝 텐던의 긴장력을 구조체의 단부에 전달시키는 방식으로 구조체 단부의 충분한 지압응력과 정착구 설치를 위한 작업공간의 확보가 되어야만 적용 가능하다.

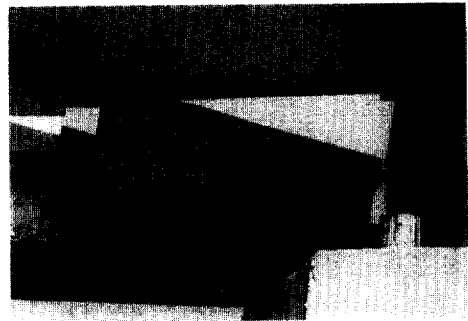


사진 6 지압 지지방식의 정착구

사진 6은 지압방식을 예로 보여준다. 지압 지지방식의 특징은 다음과 같다.

- ① 보강효과가 가장 확실하다.
- ② 정착구 설치단부의 작업공간이 충분히 확보되어야만 한다.(설치 및 인장작업)
- ③ 텐던의 긴장력에 대한 단부의 충분한 강도가 확보되어야 한다.
- ④ 텐던 긴장시 정착구에 좌굴이 발생치 않아야 한다.

다) 마찰 지지방식

마찰 지지방식은 앞에서 언급한 전단과 지압방식의 문제점을 보완할 수 있도록 하기 위하여 VSL자재의 개발로 이루어진 정착방식으로 t텐던의 긴장력에 상응하는 마찰력을 유발시키기 위하여 강봉(PT bar)을 설치하여 정착구와 기존 구조체를 프리스트레싱하여 설치하는 방식이다. 사진 7은 마찰 지지방식의 예를 보여준다.

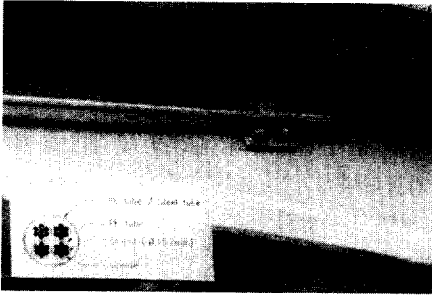


사진 7 마찰 지지방식의 정착구

마찰 지지방식의 특징은 다음과 같다.

- ① 정착구의 크기를 최소화할 수 있다.
- ② 기존 구조체의 손상을 최소화할 수 있다.
- ③ 공사기간이 짧고 공사비가 저렴하다.
- ④ 외관이 양호하며 유지관리가 용이하다.
- ⑤ 추후 재긴장 및 텐던교체가 용이하다.

2.3.3 새들(saddle)

새들은 텐던의 긴장력을 변형하여 구조물에 가장 유리한 응력이 발생할 수 있도록 하기 위한 편심부력을 총칭하며 형태가 말안장과 비슷하여 새들이라 부르고 있다.

보강공사시 새들의 설치는 구조적으로 효과를 최대화 할 수 있는 최소한의 위치에 설치하여 시공성 및 경제성을 확보할 수 있다. 그림 6은 새들의 한

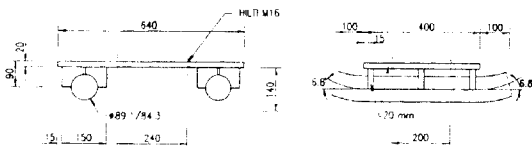


그림 6 새들의 일반예(건물 보강용)

예를 도형화한 것이다.

2.3.4 보호장치(Protection system)

외부 포스트 텐서닝 텐던은 기존 구조체의 단면 외부에 설치되어지기 때문에 외부로 부터의 충격과 화재 그리고 부식으로부터 완전하게 보호되어야 한다. 텐던의 보호는 주변의 환경에 따라 다소 차이가 있겠으나 일반적으로 크게 나누어 부식에 대한 보호와 외부의 충격과 화재에 대한 보호로 구분할 수 있다.

가) 강선의 부식방지법

(1) 아연도금(Zinc coating): 강선의 부식을 방지하기 위한 아연도금의 성패는 도금 두께에 달려 있다. 프랑스에서는 여러 경우에 아연도금 강선을 사용해 오고 있으나 이는 시공중 취급부주의로 인하여 국부적 도금부위가 손상을 입을 경우 그 효과가 떨어지기 때문에 작업조건이 아주 양호한 일부 경우에만 적용이 가능하다.

(2) polymer(epoxy)coating: polymer를 용해하여 긴장재에 접촉시켜 coating하는 방식으로 미국에서 처음 개발되어 많이 사용되고 있는 방식이나 이러한 방식은 주로 긴장재의 표면만이 도금되고 내부의 소신사이와 쐐기(wedge)의 물린 부위가 방청이 안되는 단점이 있다.

나) 충격과 화재로부터의 텐던보호

일반적인 방법은 보호관(Protection tube)을 설치하는 것으로 PE tube 혹은 강관을 보호관으로 가장 많이 쓰이고 있다. 보호관 내부의 공간은 시멘트 그라우트를 주입하나 재긴장 또는 강선의 교체 작업을 고려하여 그리스나 왁스를 채워넣는 경우도 있다. 국내의 경우에는 공장에서 부식처리가 되어 생산되는 비부착 단면강선을 사용하여 PE tube 또는 강관속에 설치하여 시공하고 있으며 화재의 우려가 높은 경우에는 보호관 내부에 시멘트 grout를 주입하고 있다. 그림 7은 외부텐던의 단면예를 보여준다.

2.4 보강 설계시 고려사항

2.4.1 새들

포스트 텐서닝 텐던이 의도적으로 꺾이는 부근에

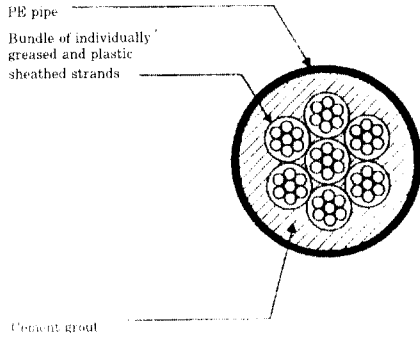


그림 7 외부 텐던의 단면에

설치하게 되는 새들은 구조상 매우 중요한 역할을 하며 텐던의 긴장으로 발생하는 모든 응력을 안전하게 부담하며 구조체에 적절한 힘을 전달시킬 수 있어야 한다. 새들의 설치 위치 및 갯수의 결정은 보강 대상물의 응력분포에 매우 중요한 영향을 미치며 시공성 및 공사비용을 크게 좌우한다. 새들의 제작은 또한 긴장작업시 및 하중의 반복작업에 의한 강선의 국부파단을 방지하기 위하여 텐던의 입사각을 정확히 산출하여 제작하여야 한다.

2.4.2 최소 곡률반경

포스트 텐서닝 케이블은 텐던을 이루고 있는 강선의 단위에 따라 꺾일수 있는 최소의 곡률반경이 있다. 이 최소 곡률반경을 만족시키지 않을 경우는 긴장작업도중 또는 반복하중의 지속으로 인하여 곡률부에서의 쓸림으로 강선이 끊어질 우려가 매우 높다. 따라서, 보강설계시 사용 텐던의 단위별 또는 긴장력별로 표 2에서 제시하는 최소 곡률반경을 만족해야 한다.

표 2 최소 곡률반경(VSL 권고치)

텐던 규격 (VSL 텐던 규격)	최소곡률반경 (m)
(5-19) 또는 (6-12)까지	2.5
(5-31) 또는 (6-19)까지	3.0
(5-55) 또는 (6-37)까지	5.0

2.4.3 긴장력의 마찰손실

보강을 위한 외부 텐던방식도 기존의 포스트 텐서닝 방식과 마찬가지로 마찰력에 의한 긴장력의 손실을

다음식에 의하여 산출할 수가 있다.

$$P_x = P_0 \times e^{-(\mu \times k)l} \quad (식)$$

위의 식에서 P_x = 긴장단에서 거리 x 만큼 떨어진 위치에 도달하는 긴장력, P_0 = 긴장단의 도입 긴장력 (jacking force), μ = 강선의 마찰계수, α = 거리 x 까지의 tendon의 각 변화 합(rad), k = 단위길이 당 wobble계수, l = 단부에서 검도부까지의 거리

외부 텐던은 대부분 텐던의 직선배치가 주를 이루기 때문에 wobble계수는 무시가 되며 현장경험 및 실물 test를 통한 각 경우별 마찰계수 μ 는 다음의 범위를 갖는다.

- ① 강제 새들, 피복과 그리스가 없는 강선사용 0.25 ~ 0.30
- ② 강제 새들, 피복은 없으나 그리스가 도포된 강선 0.20 ~ 0.25
- ③ 새들내부에 plastic tube 설치, 무피복 강선 사용 0.12 ~ 0.15
- ④ 새들내부에 plastic tube 설치, 비부착식 단일 강선 사용 0.05 ~ 0.07

2.5 외부 포스트 텐서닝 텐던의 전망

지금껏 시공해 온 cement grout 방식의 내부 텐던을 사용한 대부분의 구조물이 견제하고 있는 것은 의심할 나위가 없었지만 다음과 같은 경우에는 강선의 부식에 의한 급격한 긴장력의 손실을 가져오게 된다.

- ① 저질의 시멘트 사용(과다한 공기구멍 형성 및 산성화)
- ② 교량상관 방수의 손상 및 시공불량(제설제의 침투)
- ③ 콘크리트의 약성균열(부적합한 설계 및 철근불량)
- ④ cement grouting 불량 등.

또한, 기존의 내부텐던에 대한 비파괴 탐사방법의 신뢰도가 낮기 때문에 텐던에 대한 손상의 정도를 정확히 파악하기란 쉽지 않다. 더구나 기존의 내부텐던은 해체할 수도 긴장력을 풀 수도 없다.

이에 반해 외부텐던은 긴장력의 제조성은 물론 부식상태의 조사 및 텐던의 교체 작업이 용이하며 단면내에 텐던이 없기 때문에 콘크리트의 타설이

용이한 장점이 있어 최근들어 내부텐던방식 보다는 외부텐던방식이 지양되고 있다.

3. 포스트 텐서닝을 이용한 기존 구조물의 보강 예

국내에서 포스트 텐서닝을 이용한 구조물 보강공사를 본격적으로 시행한 것은 그리 오래되지 않았다. 보강 예로는 가능한 국내 시공예를 들었으며 아직 내부텐던방식은 실적이 없어 외국의 사례를 들었다.

- ① 청주 쌍용투자증권 사옥 보강
- ② 서울시 지하철 고가교 PC BEAM보강
- ③ 동양 삼척 시멘트 사일로 보강
- ④ 상진대교 보강
- ⑤ 요나뎀(yonah dam)보강(내부텐던 방식)
- ⑥ 사천 삼성항공 트러스 보강

3.1 청주 쌍용투자증권 사옥 보강공사

3.1.1 개요

청주쌍용투자증권 사옥은 office 건물로서 지하 1층 지상 5층으로 내부 최대경간이 11.0m의 3경간 연속 구조로 된 철근콘크리트 건물이다.

건설하지 못한 업체의 시공에 의한 부실로 전체 층 전경간에 무수한 휨균열과 전단균열이 발생하여 임시적으로 경간중앙에 강관 support를 설치하여 사용하고 있었으나 사진에서 보는 바와같이 옥상층의 균열이 심각하게 진행되어 보강을 의뢰하게 되었다.(그림 8, 사진 8)

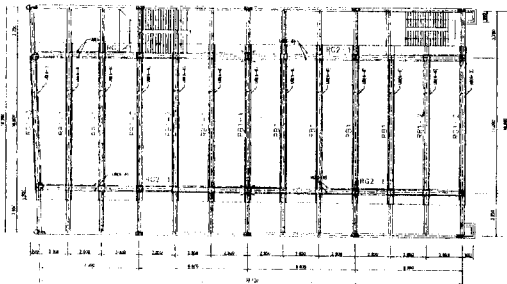


그림 8 보 배치 평면도

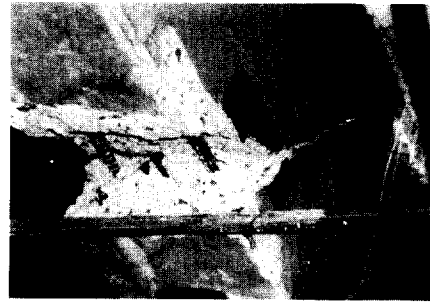


사진 8 보의 균열 손상부

3.1.2 보강

처음 제시되었던 보강공법으로는 철판압착 공법이었으나 공사비를 줄이고 구조물의 자중증가 요인을 최소화하기 위한 방안으로 외부 포스트 텐서닝 텐던공법이 도입되었다. 외부텐던공법의 도입으로 인하여 공사비는 철판압착공법에 비하여 약40% 정도가 절감되었고 공사기간도 약 50% 정도 단축 되었다.(그림 9, 사진 9)

-외부 텐던의 긴장력: 스펀 11.0m보 64 - 128ton
경간 8.6m girder 192ton

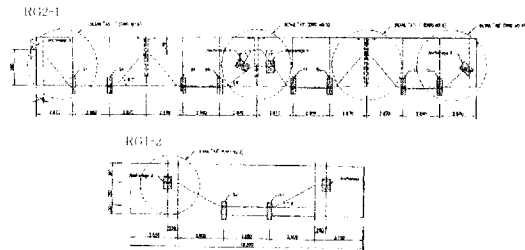


그림 9 보강용 외부텐던의 배치도

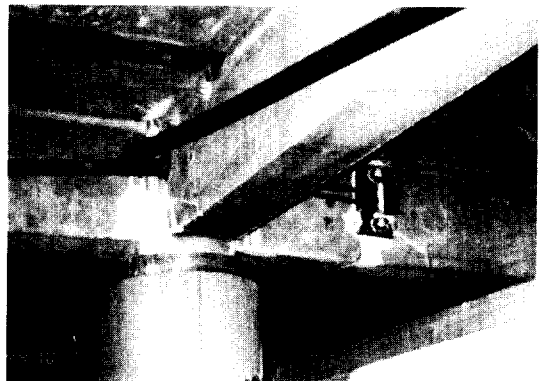


사진 9 외부 텐던의 배치전경

3.2 서울시 지하철 고가교 PS beam 보강

3.2.1 개요

고가교의 PS beam 교량은 기존 내부텐던의 긴장력 손실로 인하여 중앙부에 다수의 횡인장 균열이 발생하여 VSL방식의 외부 텐던을 사용하여 보강하였다. 정착구는 마찰지지방식을 적용하였으며 PS beam의 좌우 양단부에서 48ton씩 총 96ton으로 긴장하였다.(사진 10)

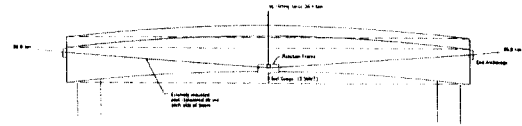


그림 10 포스트 텐서닝 보강에 의한 구조물 변형개요

구 분	상단응력	하단응력	비 고	단위 kg/cm ²
보강전	-89.3	28.5	N.G	
보강후	-82.1	-11.4	O.K	

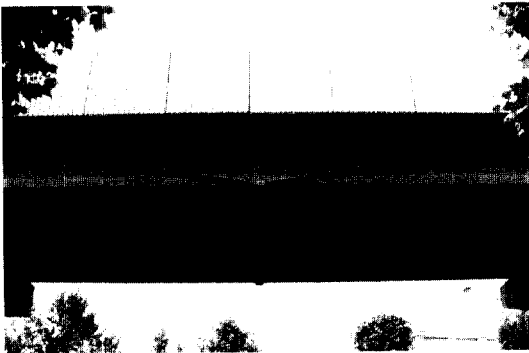


사진 10 지하철 고가교 보강전경

보강설계에 의하면 96ton의 긴장력 도입시 경간 중앙부의 치솟음은 2.5mm 정도 나왔으나 현장에서의 실측결과는 4mm 이상이 나왔다. 이는 주형이 균열발생으로 인한 처짐까지 복원되어 치솟은 것으로 보인다.

열차하중 재하시 경간 중앙부의 하단응력은 다음과 같다.(그림 10)

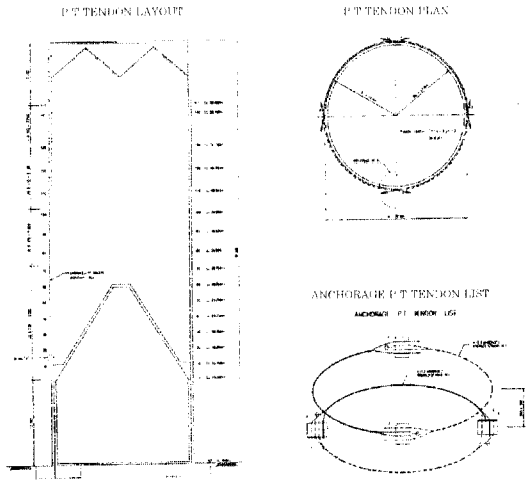


그림 11 외부 텐던의 배치도

3.3 동양 삼척 Cement Silo 보강공사

3.3.1 개요

동양 삼척 시멘트 사일로는 직경 22.4m, 높이 65m의 원형 철근 콘크리트구조물로서 내부저장물에 의한 측압에 의하여 벽체에 수직균열이 무수히 발생하였으며 구조 안전진단 결과 보강이 필요하다는 결과가 나와 구조 형태상 최대의 효과를 기대할 수 있는 외부 원형프리스트레싱 공법을 도입하여 보강하게 되었다.(그림 11, 사진 11)

3.3.2 보강

원 보강방안은 철판 압착공법과 다시 사일로 외부를 sliding form으로 재축하는 것으로 검토되었으나 외부 텐던공법의 제안으로 50% 정도의 공사비 절감효과를 가져왔으며 사일로 1기당 공사기간이 약 15일 정도 소요되어 공장의 정상조업이 보다 더 빨라질 수 있었다.(사진 12, 13)

- 사용 텐던 : $\phi 15.2\text{mm}$ 비부착식 단일 강선
- 긴 장 력 : 16.0t/cm², 강선당

3.4 상진대교 보강공사

3.4.1 개요 - 시공중

상진대교는 국도 5호선상의 단양을 지나가는 경간

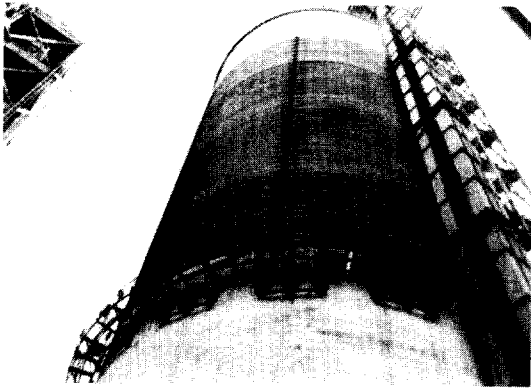


사진 11 보강공사 전경

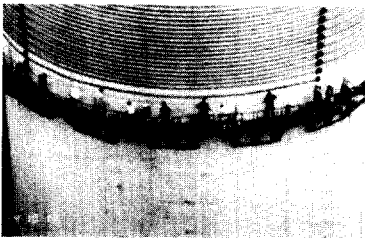


사진 12
보강공사 전경

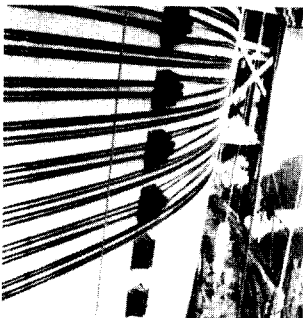


사진 13
보강용 정착구 배치

56.0+3×95.0+56.0m의 FCM(free cantilevering method)교량이다. 원효대교와 같이 경간 중앙부에 hinge system으로 되어 있으며 경간 중앙부의 이상치짐을 보정하기 위하여 외부 포스트 텐딩을 이용한 보강공법을 도입하게 되었다. 상진대교는 FCM교량으로서 13개의 3~4m의 seg로 시공되어 있으며 경간 중앙부가 2m, 단부가 5.25m의 깊이를 갖고있다.(그림 12)

3.4.2 보강

상진대교 보강은 box단면 내부에 추가 외부텐던을 설치하여 프리스트레스를 도입함으로써 경간

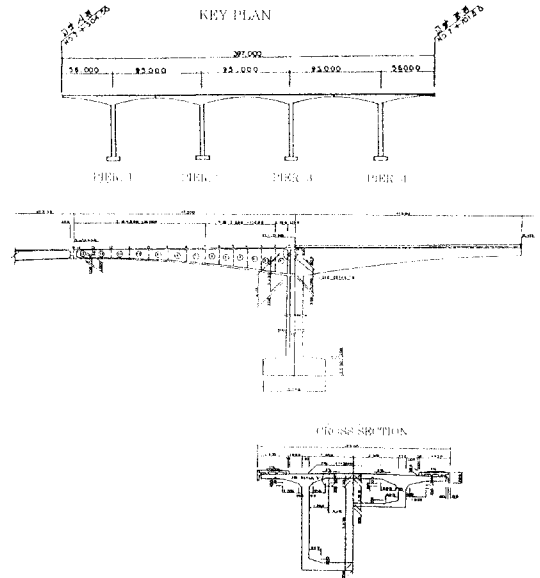


그림 12 상진대교 교량 자원

중앙부의 치짐을 복원하도록 설계되었다. 그러나 원교량의 시공당시 추가 외부텐던의 설치를 위한 고리가 전혀 되어있지 않기 때문에 이를 위한 세부 설계가 수반되었다. 그중에서도 가장 까다롭고 시공이 어려운 부분이 정착부로서 강봉을 이용한 정착블럭을 프리스트래싱하여 설치하였다.(그림13)

- 긴 장 력 : 강봉(PT bar) 103.5 ton/each
- 외부 텐던(6-19) 353.0 ton/each

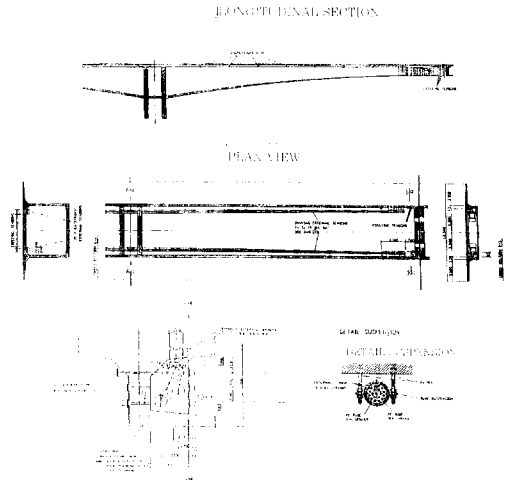


그림 13 상진대교 보강 계획도

3.5 요나댼(yonah dam)보강공사

3.5.1 개요

요나댼은 1925년에 건설된 것으로 Georgia 전력회사는 환경보호청으로부터 댐의 저수용량을 높여 줄 것을 요청받아 이로인한 댐의 안전성을 확보하기 위하여 VSL 앵카(anchor)를 이용하여 강하였다. 댐의 규모는 길이가 297m, 높이 27m, 방수로 길이가 137m나 된다.

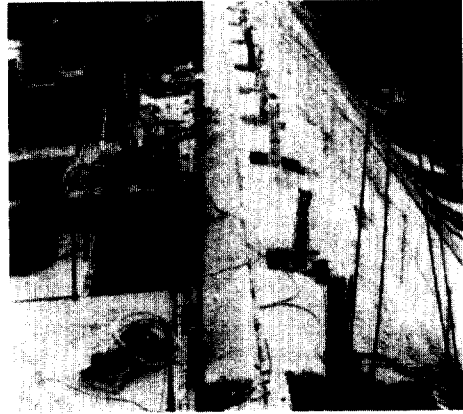


사진 14 요나댼 보강공사 전경

3.5.2 보강

보강방안으로는 rock anchor를 이용하여 댐의 전도를 잡아주는 방법이 가장 타당한 것으로 결정되었다. 댐의 상부에서 하부 저면 암반까지 52개의 포스트 텐서닝 케이블 구멍이 친공되어 설치된 포스트 텐서닝 케이블은 VSL(6-52) 텐던이 설치되었다. VSL anchor체의 전체길이는 54m이며 정착장의 길이는 12m에서 17m로 약간씩 차이가 있다.



사진 15 사천 삼성항공 트러스 보강 공사전경

댐에 보강된 rock anchor의 총인발력은 40.660ton 이 된다.(사진 14)

3.6 사천 삼성항공 트러스보강

3.6.1 개요

본 구조물은 삼성항공의 비행기 조립공장으로서 생산작업의 특수성으로 인하여 장경간이 필요하게 되어 일본의 SDC공법(Stress Displacement Control Method)과 병행하여 120m의 단일 트러스 하현재를 외부텐던으로 하여 시공되었다.

이로 인하여 구조물의 경량화와 공사비절감 및 공사기간의 단축을 꾀 할수 있었다.

(1) 외부 텐던의 규격

- 텐던 규격 : VSL E/E(5-12)
- 긴 장 력 : 120.0 ton
- 트러스 간격 : 2.6 m

4. 결 론

보강은 보수와는 달리 구조물에 대한 구조적인 안전성과 직결되는 작업이기 때문에 시공을 위한 설계 및 현장여건을 충분히 조사·검토하여 실시해야 하며 보강물의 내구성 및 유지관리가 용이할 수 있도록 설계해야 한다. 또한 서둘러 보강공사에 대한 표준내역 및 시방서를 마련하여 시공의 품질을 확보해야 하며 사후의 점검 및 유지관리를 위한 점검요강의 마련이 시급한 실정이다. 