

# 외부 강선 보강의 체계적 분류 연구

## A Study on Systematic Classification for External Prestressing Method

한 만 열\*                      박 영 훈\*\*  
Han, Man Yop                  Park, Young Hun

---

### ABSTRACT

With a rapid industrialization, repair and strengthening methods for a damaged bridges are raised a head in face of safety and reduction of physical distribution costs of bridges. Above all, external prestressing method has the high adaptability for concrete structures and the reliable effect of strengthening. Innovative ideas for bridges strengthening were considered along with established methods. That methods are identified, described. However there is not a systematic and categorized manual for external prestressing method. This study will provide a systematic and reliable manual with investigating the arrangement shape of cable and characteristics of brackets. And the key result of this study is an extensive compilation, which can be used by practicing engineers, of the most effective techniques for strengthening existing bridges.

---

#### 1. 서론

시간과 환경적인 요인으로 모든 구조물은 보수나 보강 등의 공법을 필요로 한다. 현재 국내의 대부분의 교량은 2등급 교량이 주를 이루고 있고 또 그 교량들 대부분이 많이 노후화되어 있기 때문에 내하력 문제와 더불어 물류비용 측면에서도 보강 공법이 요구되고 있는 실정이다. 유럽의 OECD Road Research Group의 'Evaluation of Load Carrying Capacity of Bridge'(1979)에 따르면 저등급 교량과 같이 구조 성능에 문제가 있는 교량의 일반적인 성능저하는 초기 10년 동안은 서서히 진행되지만, 그 이후에는 파손과 손상 등의 성능저하가 급격히 진전되는 것으로 보고되고 있다.

교량의 성능 개선 공법의 일환으로 외부 강선 보강 공법이 연구되어 왔고 여러 구조물에 적용되어 왔다. 하지만 외국 기술의 단순한 도입과 함께 기술 연구가 병행이 되지 않아 구조물에 적용할 때 합리적이고 역학적으로 충분히 신뢰성있는 근거를 제시하지 못하는 문제가 있다. 이는 손상된 교량 형식이나 현장 상황에 맞게 적절한 보강 공법을 선정하기 위한 체계적인 분류 기준이 마련되지 않았기 때

---

\* 정희원, 아주대학교 토목설계공학과 교수

\*\* 정희원, 아주대학교 토목설계공학과 석사과정

문이다.

본 연구에서는 성능 향상을 위한 외부 강선의 배치 형태과 보다 큰 긴장력을 도입할 수 있는 개량형 정착 장치들에 대한 충분한 검토와 정리를 바탕으로 외부 강선 보강 공법 적용 시 구조적인 신뢰성과 경제성을 고려한 체계적인 공법의 분류 기준을 제시하고자 한다.

## 2. 단부 정착 공법의 강선 배치 형태

### 2.1 단순교의 강선 배치 형태

단부 정착 장치를 이용한 외부 강선 공법은 거더 단부 또는 슬래브 단부에 정착 장치를 설치하고 외부 긴장을 통하여 기존 구조물에 내하력을 향상시키는 방법이다. 단부 정착 공법은 단부의 정착 장치의 형태나 지지방식에 따라 구분한다. 그림 1은 단순교의 강선 배치 형태를 단순화 시켜 놓은 것이다. 편심 거리가 같을 때 각 강선 배치에 따른 중당 단면에서의 보강 효율은 같지만 기존 단순 거더교의 균열 양상 및 보강 방법에 따라 강선 배치는 달라져야 한다. 그림 1(a),(c)는 전지간에 걸쳐 보강 효과가 확실하지만 단부에 큰 응력이 발생하므로 안전성을 검토해야 하며 그림 1(b),(e)는 중앙단면에서의 보강효과는 그림 1(a),(c)와 같지만 단부로 갈수록 보강 효과가 낮은 것으로 판단된다. 따라서 단부의 안전성이 확실하다면 직선 배치로 그리고 편심 거리가 늘어난 (c)와 같은 형상의 보강 효과가 가장 우수하다. 그림 1(d)는 압축 스트럿과 외부 강선을 병용한 것으로 기존 구조물에 추가적인 축압축력이 발생하지 않는 것이 있는 것이 장점이다. 그림 (f)는 King Post로 scrap timber와 강선을 이용해 경제적인 보강을 할 수 있다.

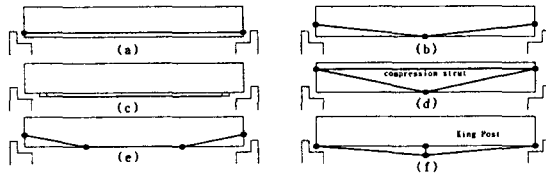


그림 1 단순교의 강선 배치 형태

### 2.2 연속교의 강선 배치 형태

그림 2는 연속교에 단부 정착 장치를 이용하여 외부 강선 보강 공법을 적용할 때의 강선 배치를

나타내고 있다. 2경간 연속교의 단순화된 강선 배치 형태를 보여 주고 있다. 2경간 연속교의 보강시 정·부모멘트 구간의 보강량은 같지 않으며 부모멘트 구간의 보강량이 더 크다. 따라서 그림 2에서 부모멘트 구간을 더 보강 할 수 있는 강선 배치 형태를 보여주고 있다. 연속교의 경우 디비에이터 (Deviator)에 대한 연구가 선행되어야 할 것이다.

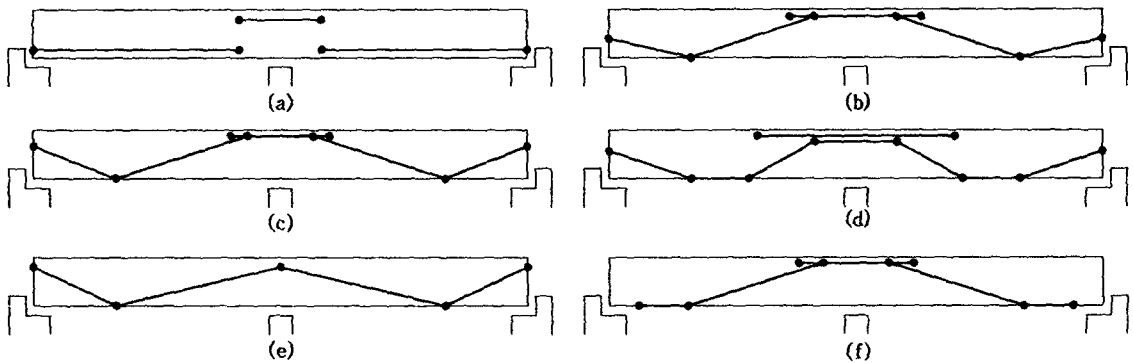


그림 2 연속교의 강선 배치 형태

### 3. 외부 강선 보강용 정착 장치

외부 강선 보강 공법을 이용하여 기존의 교량을 보강함에 있어 외부 강선의 긴장력을 구조체에 전달하는 방법으로 여러 형태의 정착 방식을 사용하고 있다. 크게 1)전단지지방식 2)지압지지방식 3)복합지지방식 4)마찰지지방식으로 구분할 수 있으며, 이러한 기본 방식으로부터 접근하여 구조적 합리성과 경제성 및 시공성을 개선한 개량형 정착 장치들이 개발되고 있다.

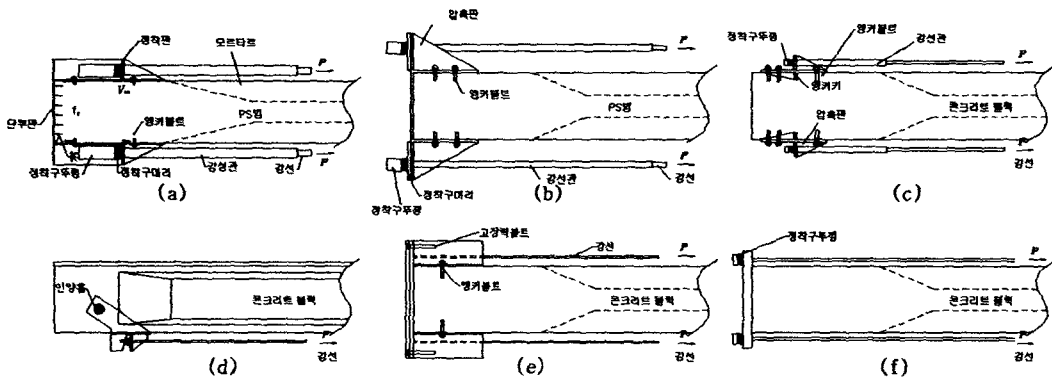


그림 3 개량형 정착 장치의 형상

현재까지 개발된 개량형 정착 장치로는 인장형 정착 장치, 압축형 정착 장치, 앵커키 정착 장치, MK 정착 장치, 조립식 단부 정착 장치가 있으며 개량형 정착 장치들의 특징 및 형태는 표 1과 그림 3에 나타내었다.

표 1 개량형 정착장치의 특징

종류	인장형 정착장치(a)	압축형 정착장치(b)	앵커키 정착장치(c)	MK 정착장치(d)	조립식 정착장치(e)	단순 정착장치(f)
지지방식	지압지지방식	지압지지방식	전단지지방식	복합지지방식	지압지지방식	지압지지방식
보강교량	RC빔교 PSC교 연속교	RC빔교 PSC교 연속교	RC빔교 PSC교 슬래브교 라멘교	RC빔교 PSC교	RC빔교 PSC교 연속교	RC빔교 PSC교
장점	· 원 구조물에 손상이 적다 · 설계 용이 · 큰 긴장력 도입가능	· 원 구조물에 손상이 적다 · 설계 용이 · 큰 긴장력 도입가능	· 앵커볼트수가 적다 · 슬래브교와 라멘교에 적용가능	· 원 구조물의 손상이 적다 · 작은 긴장력으로도 큰 효과	· 원 구조물의 손상이 적다 · 시공 용이	· 원 구조물의 손상이 적다 · 설계 용이 · 시공 용이
단점	· 주형 사이의 최소 간격 유지	· 교대측에는 설치가 어렵다	· 엄격한 품질 관리 요구	· 부식의 우려 · 인양홀 필수 · Cable이 고가	· 보강판 좌굴 고려	· 보강판 좌굴 고려

그림 3(a)는 인장형 정착 장치로 용접 길이를 증가하여 정착이 확실하고 큰 긴장력을 도입할 수 있게 개선하였다. 그림 3(b)는 단부판을 제외한 모든 부재가 압축 응력을 받게 함으로써 큰 긴장력을 도입할 수 있도록 하였다. 인장형과 압축형 정착 장치가 슬래브교나 라멘교에는 적용이 힘들었다면 그 문제를 해결하기 위해 개발된 것이 그림 3(c)에 보이는 앵커키 정착 장치이다. 앵커키 정착 장치는 앵커키를 삽입함으로써 앵커 볼트의 수를 현저하게 줄였으며 작은 크기로 큰 긴장력의 도입을 가능케 하였다. 특히 그간 보강 기술이 부족했던 슬래브교와 라멘교를 보강할 수 있는 정착 장치라는데 큰 장점이 있다. 하지만 정착 장치를 슬래브 하면에 설치하기가 용이하지 않기 때문에 실교량 적용시 엄격한 품질 관리가 요구되어 진다. 그림 3(d)는 MK 정착 장치로 거더 거치용 구멍과 편심을 주기위한 강재 브라켓을 이용하여 Tie Cable을 거더 하면에 직선으로 배치하여 큰 편심을 가지게 하는 보강 방법으로, 비교적 작은 프리스트레스력으로 인장응력을 상쇄하는 공법이다. 이 공법은 거더의 휨과 전단을 일부 또는 동시에 보강할 수 있으며, 정착 장치가 나사식이므로 유효긴장력에 대한 초기 손실량이 췌기식에 비해 작다는 장점을 가지고 있다. 하지만 Tie Cable의 가격이 고가이고, 정착단의 응력상태를 고려하여 강판의 용량에 주의해야 한다. 또 전단보강이 슬래브에 구멍을

뚫고 설치되므로 부식의 우려가 있다. 그림 3(e)는 조립식 정착 장치의 형상을 보여주고 있다. 조립식 정착 장치는 단부판과 정착장치를 고장력 볼트로 체결하여 프리스트레스력을 구조체에 전달하는 것으로, 이 공법의 장점은 고장력 볼트로 단부판과 브라켓을 연결하기만 하면 되는 시공상의 편리성과 전문 기술자가 필요하지 않다는 점, 그래서 공기를 단축 시킬수 있다는 점을 들수 있다. 또 위 그림에서는 앵커볼트를 이용하여 정착 장치를 거더에 정착하였지만 적절한 받침을 이용한다면 앵커볼트를 사용하지 않고서도 긴장력을 도입할 수 있으므로 구조체를 전혀 손상시키지 않을 수 있다. 하지만 단부판과 브라켓의 연결 부위 및 단부판의 좌굴을 검토해야 한다. 그림 3(f)는 단부 정착장치를 가장 단순화한 형태이지만, 긴장력과 단부의 응력 상태를 고려하여 설계한다면 구조적 메카니즘이 매우 간단하며 시공성도 우수하여 접근하기 쉬운 공법이라 할 수 있겠다. 외국의 경우 T-beam 보강시 이 공법을 적용한 사례도 있다.

#### 4. 외부 강선 보강 공법의 적용 시 고려되어야 할 사항 및 기준

손상된 교량을 보강 할 때 가장 먼저 해야할 일은 기존에 그와 유사한 교량의 보강 공사의 자료를 찾는 것이다. 또한 보강 공법의 기술 자료도 구해야 한다. 이는 기존 보강 공법 적용 시의 단가와 문제점을 파악할 수 있으며, 현재의 기술들과 비교를 하기 위함이다. 하지만 이런 자료 수집이 여의치 않을 경우, 다음과 같은 사항을 고려하여 공법을 선정해야 한다.

우선, 공법의 적용 시 소요되는 공사비를 고려해야 한다. 보강 효과의 차이가 그리 크지 않고 구조물의 중요도가 낮다면 당연히 공사비가 적게 드는 공법을 선정해야 할 것이다. 하지만 충분히 신뢰할 만한 각 공법들의 공사비를 비교 분석해 놓은 자료가 없다는데 문제가 있다.

두 번째로 보강할 교량의 형식이 어떤 것인가를 고려해야 한다. 슬래브교량이나 라멘교 같은 경우 인장형이나 압축형 정착 장치 공법은 적용될 수 없다. 또 현장 상황 즉 주형 사이의 간격이라든지 인양홀의 존재 여부 등을 고려하여 공법을 선정해야 한다.

세 번째로 구조적인 성능 개선 효과를 비교해야 한다. 원칙적으로 성능 개선 효과 비교가 공법 선정 시 최우선되어야 하지만 각각의 공법들의 보강 효율이 크게 차이가 나지 않기 때문에 세 번째에 기술 하였다. 인장응력의 상쇄, 처짐 제어, 교량의 내하력 증대 등이 고려 항목이 될 수 있을 것이다.

네 번째로 시공성 측면을 고려해야 한다. 아무리 이론적으로 타당하고 경제성을 갖춘 기술이 있더라도 시공성이 없는 기술은 현장에 적용이 될 수 없다. 정착 장치를 설치하는데 무리가 있다거나 긴장력 도입시 현장 상황을 고려하지 못한 기술은 공법을 선정하는데 있어 제외되어야 한다.

구조적, 경제적 측면과 현장 적용성을 고려한 공법 선정 기준은 바로 위와 같은 고려 사항들을 충분히 검토하고 각각의 공법을 비교함으로써 얻어질 수 있다. 그래서 이러한 기준은 일괄적인 잣대로 평가되어질 수 없으며 신기술이 개발 될 때마다 검토 대상은 늘어나고 기준은 변하게 된다.

## 5. 결론

본 연구는 외부 강선 보강 공법의 합리적인 공법 선정을 위해 강선 배치 형태와 강선 정착 장치의 특징 및 장단점을 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

1) 외부 강선 보강 공법으로 손상된 단순교와 연속교를 보강할 때의 다양한 강선 배치 형상을 제시하였다. 단순교의 경우, 전지간에 균일한 보강 효과를 가지는 직선 배치가 유리하며 이때 단부의 응력 상태를 고려해야 한다. 연속교의 경우, 부모멘트 구간의 보강 효과가 전체 교량의 보강 효과에 많은 영향을 미치며 그 구간의 응력을 제어하기 위한 강선 배치 형상을 제시하였다.

2) 개량형 단부 정착 장치들의 특징 및 장단점을 비교 분석하였다. 지압지지방식에 기초한 인장형, 압축형 정착장치와 조립식 정착장치, 단순 정착장치는 원 구조물의 손상을 적게 하며 설계와 시공이 용이하다는 장점을 가지고 있다. 앵커키 정착 장치는 슬래브교와 라멘교를 보강하기 위해 개발된 것으로 앵커키를 이용하여 앵커볼트의 수를 줄임으로써 구조물의 손상을 최소화하면서 작은 정착판으로 큰 긴장력을 도입할 수 있다. MK 정착 장치는 복합지지방식의 하나로 휨과 전단을 일부 또는 동시에 보강할 수 있고, 강봉과 앵커볼트를 이용하므로 내하력 증대 효과가 탁월할 것으로 판단된다. 또 정착 장치가 나사식이므로 유효긴장력에 대한 초기 손실량이 썬치식에 비해 작다는 장점을 가지고 있다.

3) 외부 강선 보강 공법의 공법 선정시 고려되어야 할 항목을 열거하였다. 비용 문제, 보강할 교량 형식, 구조적 성능 개선 효과 등이 공법 선정을 위한 고려 대상 항목이며 이러한 항목을 기준으로하여 각각의 공법을 비교 분석하여 적절한 공법을 선정해야 하겠다.

## 참고 문헌

1. "Methods of Strengthening Existing Highway Bridges", NCHRP Report 293, 1987. 9.
2. Antoine Naaman, "External Prestressing in Bridge", American Concrete Institute, 1990. 7.
3. 한만엽, 이재형, "외부프리스트레스트 보강 공법에 사용되는 단부 브래킷의 개발 연구", 한국 콘크리트학회 봄 학술 발표회 논문집, 제 11권 1호, 1999. 5., pp.721-726
4. 한만엽, 정문연, "외부 강선보강을 위한 압축형 단부 브래킷의 개발연구", 아주대학교 대학원 석사 논문
5. 한만엽, 이상열, "슬래브교 외부 강선 보강용 정착 장치 개발 연구", 한국 콘크리트학회 봄 학술 발표회 논문집, 제 13권 1호, 2001. 5., pp.93-98
6. 한만엽, "외부 강선 보강의 신기술, 신공법", 구조보강 연구회, 2001. 6., pp.165-188