

# 콘크리트 교량의 외부강선 보강을 위한 앵커키 정착장치의 개발 연구

## Development of the Bracket for External Prestressing Method for Slab Bridge

한 만 엽\*  
Han, Man Yop

이 상 열\*\*  
Lee, Sang Youl

### ABSTRACT

This study is to develop the end anchorage of external steel reinforcement of RC slab bridges. External prestress method using the existing steel is that When the anchorage is installed in slab end, a plenty of anchor bolts were required because the only tangential stress of anchor bolt received a tendon force. Then, for this reason, the wide end anchorage was required and the shape was complicate. But this reinforcement method using method that inserts anchor key at concrete surface cut a groove gets big internal force comparing to the anchorage using existing anchor bolt. Furthermore, the number of anchor bolt for installing apparently will be reduced, and the operation will be convenient because a small anchorage of a simple shape will be received a great tendon force

### 1. 서론

모든 구조물은 시간이 경과함에 따라 물리적, 화학적 손상이 발생하게 되면 내하력이 떨어지고 수명이 짧아진다. 또한 산업의 발달과 더불어 급증된 대형, 과적차량의 무리하고도 빈번한 운행으로 인하여 전국적으로 교량의 파손 현상이 심화되고 있다.

이러한 현상은 현재 전국 교량의 2/3이상이 2등급 이하로 가설되어 있어 중차량의 통행을 견디지 못하고 교량의 수명을 단축시킬 우려가 크며, 이들 등급이 낮은 교량의 대부분은 슬래브교로 되어 있어서, 중국에는 교량의 붕괴사고로 이어질 위험성이 상존하고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 공법으로는 상판 재시공 공법과 강판 보강 공법, 외부 강선 보강 공법 등이 있다.

상판재시공 공법은 기존 교량의 상판을 완전히 제거한 후 고강도 콘크리트를 이용한 공법으로 일부 사용되고 있으나 재시공해야 하는데 막대한 공사비와 인력 및 공사기간이 소요되고, 차량을 완전히 통제해야 하는 문제점이 있어 현재로서는 널리 사용되지 못하고 있다. 그리고 국내 대부분의 보강공사에 강판이나 고강도 섬유재를 부착하는 부착식 보강 공법이 주를 이루어 왔으나 최근 들어 사용재료, 시공품질의 확보 및 유지 관리상의 문제점 야기로 인하여 그 보강 효과 및 내구성에 대한 의문이 점차 증가되어 있다. 이에 반하여 외부 프리스트레싱을 이용한 기존 구조체의 보강 공법은 구조체에 대한 적응성과 보강효율이 높아 다양한 구조체의 보강에 활발하게 이용되고 있다.

\* 정회원, 아주대학교 토목설계공학과 교수

\*\* 정회원, 아주대학교 토목설계공학과 석사과정

따라서 비교적 구조체에 대한 적용성과 보강효율이 높은 외부 프리스트레싱을 이용하여 교량을 보강하고자 할 때 개발된 외부 강선 보강용 정착 장치를 이용하고자한다. 본 정착 장치는 외부 강선의 효율적인 정착을 위하여 거더 단부나 슬래브 단부에 홈을 파서 정착 장치의 앵커키를 삽입하는 공법으로 앵커볼트의 수를 현저히 감소시켜 더욱 작은 크기로 큰 긴장력을 받을 수 있다. 본 연구는 슬래브교 외부 강선 보강용 앵커키 정착장치를 제시, 실험하였다.

## 2. 슬래브교 외부 강선 보강 설계

### 2.1 외부 강선 보강 설계 이론

교량의 외부강선 보강을 실시할 경우 먼저 교량의 내하력이 평가되어야 하며 구조해석을 통하여 보강 모멘트를 산출하여야 한다. 기존 구조물을 보강하는 이유는 매우 다양한 형편이나 이들을 종류별로 분류하면 다음의 3가지 경우로 구분할 수 있다.

- (1) 설계오류 · 시공오차에 의한 보강
- (2) 내하력 증가를 위한 보강
- (3) 손상된 교량의 보강

내하력 증가를 위한 보강일 경우의 보의 공칭 모멘트는 보강후의 재산정된 중립축을 적용하여 산정한 모멘트 분량에서 보강전 부재의 모멘트를 뺀 것으로 그 모멘트 분량이 대상 구조물의 활하중 보다 커야 하므로 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\phi(M'_n - M_n) = \phi M_{rep} = (2.15 M_I^T - 2.15 M_I^P) \quad (1)$$

여기서,  $M'_n$  : 보강후 부재의 공칭 모멘트

$M_I^T$  : 목표 활하중 모멘트

$M_I^P$  : 현재 활하중 모멘트

소요 보강 모멘트를 (1)식을 사용하여 산출한 후 다음과 같은 식을 이용하여 재산정된 중립축을 구하고, 긴장재의 긴장력을 구해야 한다

$$\frac{1}{2} b x^2 - n A_s (d - x) - n A_p (d_p - x) = 0 \quad (2)$$

$$z = d_p - \frac{x}{3} \quad (3)$$

$$P_{ps} = \frac{M_{rep}}{z} \quad (4)$$

상기에 제시된 식(1)을 사용하여 도로교 표준 단면에 교량의 내하력 증가를 위한 외부강선 보강일 경우의 보강 모멘트를 산출하고 식(2)-(4)를 사용하여 긴장력을 구할 수 있다.

### 2.2 슬래브교의 실제 긴장력

건설교통부에서 제시된 표준 RC 슬래브교를 범용 구조해석 프로그램인 SAP2000의 frame요소를 이용하여 구조 검토를 실시하였으며, 교량 등급별 활하중을 모델링 된 요소에 재하하였다.

구조해석을 통해 교량 등급에 따른 활하중 모멘트를 산정하였으며, 식 (1)에 적용하여 보강 모멘트

를 산정하였다. 또한 식 (2)-(4)를 사용하여 설계 긴장력을 표 2.1과 같이 산정하였다.

표 2.1 RC 슬래브교량의 외부 강선 긴장력

재 원	현재 교량 등급	목표 교량 등급	보강 모멘트( $M_{rep}$ )	설 계 긴 장 력
<ul style="list-style-type: none"> <li>• RC콘크리트 slab교</li> <li>• 순경간 : 11.34m</li> <li>• 유효 폭원 : 10.5m</li> </ul>	2등급 (DB-18)	1등급 (DB-24)	12.74 t·m/m	20 t/m
	3등급 (DB-13.5)	2등급 (DB-18)	11.25 t·m/m	17.6 t/m

### 3. 앵커키 정착 장치

본 연구에서는 기존 슬래브교의 보강 공법 중 외부강선을 이용한 보강 공법을 개발하기 위함이다. 외부강선 보강 공법은 기존 구조체에 능동적으로 작용하여 보강 효율이 높고, 구조체의 형상에 관계없이 적용되는 공법이다. 또한 보강 원리도 간단하고 경량으로 기존 구조물에 사하중의 증가 없이 적용할 수 있다. 하지만 국내에서는 적절한 외부 강선 보강용 정착장치의 부재로 슬래브교에 적용한 사례가 드물다. 하지만 본 연구에서 개발된 앵커키 정착장치로 슬래브교 및 거더교에 손쉽게 적용할 수 있는 방법이다. 그림 3.1은 앵커키 정착장치의 실패량 정착 형태를 나타낸 것이다.

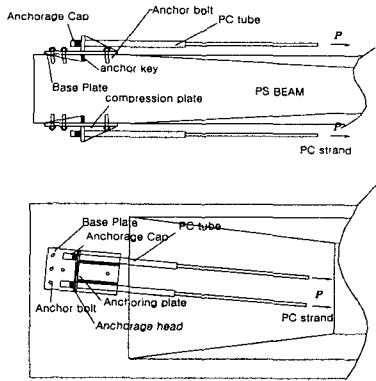


그림 3.1 앵커키 정착 장치

이 공법의 장점은 첫째, 슬래브교량에 적용할 수 있는 매우 효율적인 방법이다. 즉 기존에는 슬래브교에 주로 부착식 공법이 주로 적용되었지만 보강재의 탈락 및 유지관리 등에서 많은 문제점이 발생하였다. 하지만 앵커키 정착장치를 이용한 공법은 구조물을 보강효과가 높은 외부강선 보강공법을 사용하고 있음으로 구조적인 안정성을 갖고 있다. 둘째, 설계가 용이하다. 앵커키가 외부 강선의 큰 긴장력을 대부분 받아줌으로서, 앵커키의 크기 및 삽입깊이를 고려하여 설계하면 구조물에 따라 효율적으로 보강할 수 있다. 셋째, 경제적이고 효율적인 방법이다. 앵커키 정착 장치는 외부 강선의 긴장력을 앵커키가 받아줌으로서 앵커볼트의 수가 현저히 줄어들어 정착장치의 크기가 상당히 작아진다. 따라서 작은 크기로 큰 긴장력을 받을 수 있기 때문에 슬래브교에 매우 효과적으로 적용할 수 있으며, 복수로 사용하게 되면 거더교에도 적용할 수 있는 공법이다.

### 4. 앵커키 정착장치 실험

#### 4.1 실험 개요

본 실험에서는 신 지압지지방식의 정착장치에 대해 실험과 동일한 크기의 정착장치 6세트를 제작, 실험하여 내하력의 크기와 정착장치 각 부분별 거동을 측정하였다. 정착장치의 내하력 크기와 각 부분별 거동의 측정을 위하여 레일 5m H형강을 2개를 제작하여 실험하였다. 실험용 레일은 상하좌우의 이동을 구속하는 역할을 하며, 실험의 안정성을 위한 것이다. 정착 장치는 정착판(Base plate), 앵커키

(Anchor key), 정착대(Anchorage plate), 압축 보강판(Compression plate), 앵커볼트(Anchor bolt)로 이루어져 있으며 이들 부재의 연결 및 위치, 형상은 그림 4.1과 같다.

표 4.1 시험체의 종류

Series	Thickness (mm)	Cutting depth (mm)	Total Size (cm)	The area of anchor key(cm <sup>2</sup> )	Self-weight (kg)
BSK40 (1)	12	40	24 × 30 × 15.2	96	11.7
BSK40 (2)	12	24 × 30 × 15.2	96	11.7	
BSK70	12	70	30 × 40 × 18.2	210	18.9
BDK40	12	40	30 × 55 × 15.2	240	24.1

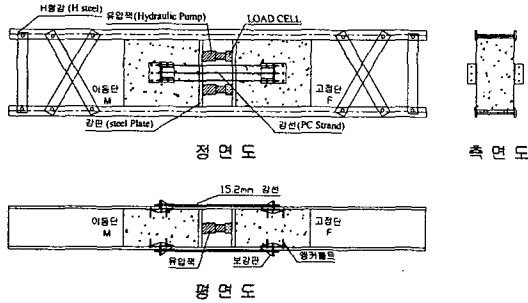


그림 4.1 실험 부재의 재하

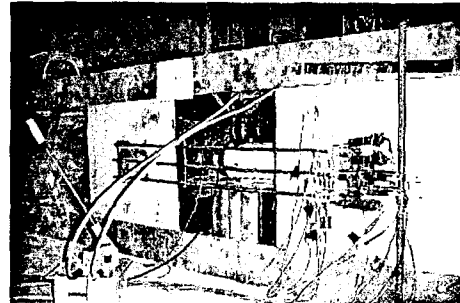


그림 4.2 실험 부재의 재하

#### 4.2 부재 내 변형률

그림 4.3은 정착대 상단의 끝단에서 중앙까지의 변형률을 보여준 것이며, 그림 4.4는 정착대 하단의 끝단에서 중앙까지의 하중별 변형률 그래프를 나타낸 것이다. 그림 내의 점선은 압축 보강판의 위치를 나타낸 것이며, 정착대 중앙까지의 그래프를 표현한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 점선을 경계로 뚜렷한 변형률의 차이를 보이고 있다. 보강판을 경계로 좌측은 2번이 정착판에 지지되었고 우측은 3번이 정착판에 지지되어 있다. 따라서 하중별 변형률은 압축 보강판을 경계로 좌측이 가장 크고 우측으로 갈수록 작아지는 양상을 보이고 있다.

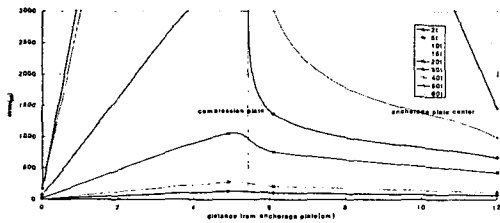


그림 4.3 정착대 상단 하중-변형률 곡선

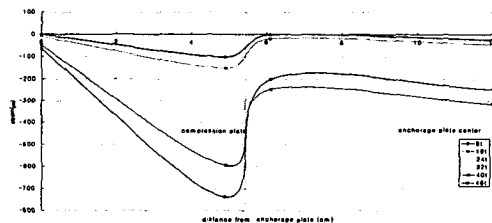


그림 4.4 정착대 하단 하중-변형률 곡선

#### 4.3 부재 내 변형량

그림 4.5는 앵커키 정착 장치의 정착대 상단에서의 변형량 곡선이고 그림 4.6은 앵커볼트가 설치되

어 있는 위치에서 변형량을 측정한 결과를 나타낸 것이다. 부재 내 변형률 곡선과 같이 그림 4.5의 점선은 보강판의 위치를 표현한 것이며, 그림 4.6의 점선은 앵커볼트의 위치를 나타낸 것이다. 따라서 그림 4.5의 보강판의 점선을 따라서 정착대 상단의 변형량의 크기가 달라지고 있으며, 정착판의 변형량도 앵커볼트가 위치한 곳을 경계로 변형량의 증가를 볼 수 있다. 정착판의 변형량에서 양측면의 앵커볼트가 위치한 곳에서의 처짐은 앵커볼트가 위치하지 않은 중앙부에 비해 작음을 알 수가 있었다.

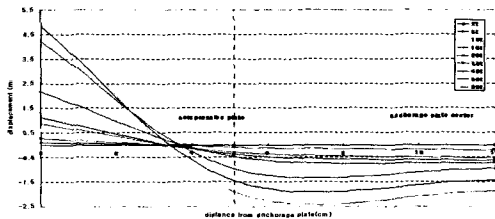


그림 4.5 정착대 상단 하중-변형량 곡선

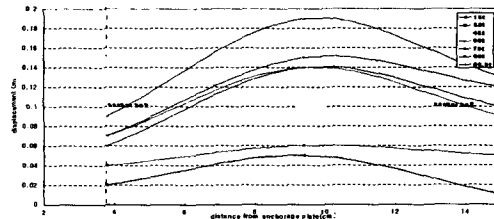


그림 4.6 정착대 하단 하중-변형량 곡선

#### 4.4 실험 결과표

시험체의 실험결과 BSK40(1), BSK70, BDK40은 모두 콘크리트의 전단파괴가 아닌 앵커볼트의 인발에 의한 파괴양상을 보였으며, 콘크리트 파괴 면적은 대략 각 정착 장치의 두 배 정도의 크기였으며, 정착장치의 뚜렷한 소성변형은 발생하지 않았다. 따라서 앵커키 정착 장치는 앵커볼트의 인발강도가 내하력을 결정하는 큰 요인임을 알 수 있었다. 하지만 BSK40(2)는 정착대 보강판을 정착시키지 않은 상태에서 실험을 하였으며, 따라서 다른 시험체에 비해 변형량이 크게 발생하였으며, 소성 변형 또한 관측되었다. 이는 실패량 정착시 본 앵커키 정착장치에 정착대 상단의 보강판을 정착하여 정착장치의 손상을 방지할 필요가 있음을 알 수 있다. 표 4.2는 앵커키 정착장치의 실험결과를 정리한 내용이며 콘크리트 블록 양 측면에 정착장치를 설치하여 긴장하였으므로 표 4.2에 제시된 값은 두 개의 정착 장치에 해당되는 값을 표시한 것이다. 또한 앵커키 정착장치의 내하력이 극한 강도에 이르지 못한 것은 크게 두가지 이유로 판단할 수 있다. 콘크리트 블록 양측면에 정착장치는 서로 구속을 하지 않기 때문에 독립적인 거동을 한다. 따라서 가장 약한 부분에 하중이 집중되어 정착장치가 갖고 있는 내하력보다 큰 힘에 의해 파괴될 수 있다. 두 번째로 시험체에 약간의 편심이라도 작용하면 어느 한 정착 장치에 긴장력이 집중될 수 있는 결과를 초래하게 된다.

표 4.2 앵커키 정착 장치의 실험 결과표

Type	Design strength (ton)	Ultimate strength (ton)	Cutting depth (mm)	The number of anchor key	The number of anchor bolt	Tensile force		
						observed value		measured value
						epoxy crack (ton)	plastic deformation (Anchorage Plate)	concrete destruction (ton)
BSK40(1)	15	28	40	1	6	38	45	45
BSK40(2)	15	28	40	1	6	42	57	60
BSK70	30	50.9	70	1	9	73	49	85
BDK40	30	59.3	40	2	9	83	53	99.5

## 5. 결 론

본 연구는 외부프리스트레스트 보강 공법시 사용되는 단부 정착장치를 보다 개선된 전단지지방식의 단부 정착 장치를 설계, 실험하였다. 실험에서 얻은 하중-처짐, 하중-변형률 그리고 파괴양상을 분석한 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

1) 본 연구에서 설계된 정착장치는 슬래브교 외부 강선 보강용 정착장치이며, 강선 연결장치를 병용하여 적용할 경우 슬래브교 전 지간에 걸쳐 보강 효과를 얻을 것으로 판단된다.

2) 앵커키 정착 장치는 기존의 앵커볼트 정착장치에 비해 정착판이 작고 적은 수의 앵커볼트로도 30-50톤의 설계 긴장력을 갖는 것으로 나타나 이 정착장치를 복수로 사용하게 되면 필요한 큰 긴장력을 손쉽게 얻을 수 있을 것으로 판단되어, 특히 슬래브교의 보강에 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

3) 본 연구의 실험 결과 시험체의 파괴양상은 전단 의한 것이 아닌 앵커볼트 인발에 의한 파괴형태였다. 그것은 정착판에 앵커키의 용접으로 전단에 대해서는 상당히 큰 강도를 갖고 있다는 것을 알 수가 있었으며, 앵커볼트의 인발은 앵커키와 앵커볼트의 거리를 변수로 한다는 것을 의미한다. 따라서 본 앵커키 정착장치는 앵커볼트와 앵커키의 거리를 변화시킴으로서 소요 강도를 정확히 계산할 수 있는 장점이 있다.

4) 본 연구의 앵커키 정착 장치의 각 부재의 설계강도를 분석한 결과 앵커볼트의 인발 강도가 정착 장치의 내하력을 결정하고 있다. 따라서 앵커볼트의 인발에 의한 파괴가 아닌 앵커볼트의 연성파괴를 유도한다면 더욱 큰 긴장력을 견딜 수 있을 것으로 판단된다. 즉 본 연구에서 앵커키 정착장치는 시험체에 앵커볼트를 12cm정착하였는데 그 이상의 깊이로 정착한다면 더욱 안정성이 있으며, 슬래브 상단의 아스팔트와 콘크리트를 일부 제거 후 상단과 하단을 앵커볼트로 연결하여 앵커키 정착장치를 정착시키면 손상 상태가 심한 교량에 적용할 경우 효율적으로 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

## 참고 문헌

1. "콘크리트 구조물의 보수 핸드북," 건설도서, pp.511-514, 1996.
2. 안원호 외, "콘크리트 교량의 보수·보강방법의 표준화," 건설교통부 시설 안전 관리 공단, pp.9-277, 1999. 12.
3. 추영춘, "콘크리트의 균열조사, 보수·보강지침," pp.89-116, 1992.
4. 한만엽, 이재형, "외부프리스트레스트 보강 공법에 사용되는 단부 브래킷의 개발 연구," 한국 콘크리트학회 봄 학술 발표회 논문집, 제11권 1호, pp. 721-726, 1999. 5.
5. 심종성 외, "콘크리트 토목 구조물의 진단 요령," 콘크리트 학회, pp.130, 1997. 10.
6. 한만엽, 박선규, 황의승, "당정고교의 보강방안 및 보강 후 내하력 평가," 아주대학교 토목기술 연구 센터, 1998.
7. Antoine Naaman, "External Prestressing in Bridge," American Concrete Institute, pp.34-37, 1990. 7.
8. Ansel C. Ugural, Saul K. Fenster, "Advanced strength and Applied Elasticity," 1995 pp.45-54.
9. Antoine Naaman, "External Prestressing in Bridge," American Concrete Institute, pp.34-37, 1990. 7.