

네트형 슬래브교 외부강선 보강 공법 연구

A Study of Net Type External Prestress Strengthening Method for Slab Bridges

한만엽*
Man-yop Han

황태정**
Hwang, Tae Jeong

ABSTRACT

This study is to develop a strengthening method for slab bridges with external prestressing. There are so many different strengthening methods for damaged slab bridges, external prestressing method is the most effective, economical and durable strengthening method among them. But, its problem lies in anchoring devices, so recently, an effective anchoring method was developed and showed its improvements. In this study, a more improved method is suggested. Longitudinal tendons placed on both side of slab strengthens the whole bridge, and lateral tendons placed under the slab strengthens the middle of slab, and conveys the load at middle slab to both sides. Structural analysis for the tensile force for strengthening were analysed. Generally, 200-280tons for longitudinal tendon and 130-190 tons for lateral tendons are good enough to strengthen the damaged slab. This method has no upward roof work, so it is very convenient for installing. And no spaces under the slab are need, so it is good for shallow slabs which has less space under the slab.

1. 서론

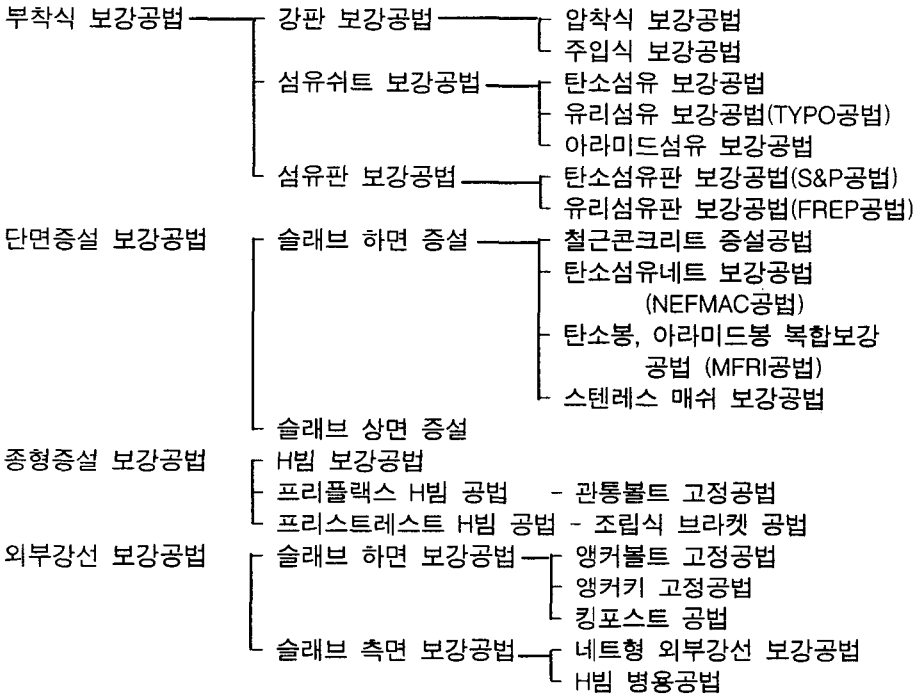
슬래브교는 단기간 소형 교량에 적합한 가장 보편적인 형식으로서, 교량이 작기 때문에 수량 면에서는 많은 비중을 차지하고 있으나, 연장면에서는 그 중요성이 줄어든다. 또한 슬래브교는 거의 대부분 3등급 교량이 많기 때문에 중차량의 비중이 증가한 요즘에는 균열과 처짐 등이 심해져서 보강을 필요로 하는 교량의 숫자가 증가하고 있다. 따라서 최근에는 보강대상 교량의 80% 이상이 슬래브교를 차지하고 있을 정도로 중요성이 대두되고 있다. 이에 따라 다양한 슬래브교의 보강공법이 개발되고 사용되고 있으나, 대부분의 방법들이 각각의 장단점을 갖고 있기 때문에 가장 두드러진 장점을 갖고 있는 방법이 없는 실정이다. 본 연구에서는 이런 슬래브교의 보강에 관한 문제점을 해결하기 위해 네트형 외부 강선 보강 공법을 제시하고자 한다. 본 보강공법은 손상된 슬래브 교량에 강선을 이용한 외부 프리스트레싱 방법을 사용하고 있다. 기존의 외부 프리스트레싱 방법은 슬래브 하면에 정착장치를 이용하여 프리스트레싱을 도입하는 방식이 일반적인데 이런 기존의 공법은 정착장치의 정착에 있어 앵커볼트에 의존하거나 앵커키를 도입하는 방식을 사용함으로써 슬래브 하면에서의 시공이 어렵고,

* 정회원 아주대학교 토목공학과 교수

** 정회원 아주대학교 토목공학과 석사과정

앵커볼트의 전단력에 긴장력을 단순 의존함으로써 부착성이나 정착구의 내하력에 큰 문제점을 나타내고 있다. 그러나 본 보강 공법은 슬래브의 측면에 정착장치를 설치하고 프리스트레싱을 도입하여 일차적으로 슬래브교를 보강하고 이차적으로는 슬래브교의 횡방향으로 슬래브교 하면에 외부 강선을 설치함으로써 슬래브교의 종·횡방향 길이 특성을 고려하고 정착장치의 시공성이나 부착성이 향상된 보강 방법을 제시하고자 한다.

2. 슬래브교 보강 공법의 분류



부착식 공법은 크게 섬유 시트 보강 공법과 강판 부착 보강공법으로 나누어지는데 시공성이 좋아서 우리나라에서 널리 사용되었었다. 그러나 부착식 공법의 가장 중요한 요인인 부착에 있어 그 메카니즘이 불명확하여 장기적으로는 보강효과가 유지될 것인지가 의문시된다.

단면 증설 공법은 주로 슬래브 하면에 철근과 콘크리트를 사용하여 인장력을 증가시킴으로서 내하력을 증가시키는 방식이나 공정이 복잡하고 공사 비용이 높아 시공성이 떨어지며, 단면 증설로 인한 사하중 증가로 기존 구조물의 손상이 우려된다. 폴리머 몰탈과 보강재를 이용한 증설공법은 비교적 최근의 보강 공법으로 그 방법이 단면 증설 공법과 유사하나 철근 대신 섬유봉이나 스텐레스를 사용하고 폴리머를 모르타르로 미장처리 한 것으로 부식에 강하고 강도가 높은 장점이 있으나 신기술로서 장기적인 안전성에 대해서는 성능검증이 안 되어 있고 시공실적이 적은 단점이 있다.

중형 증설 공법은 기존의 구조물에 H빔이나 탄성빔을 통하여 새로운 중형을 설치하여 기존 중형에 작용하는 하중을 분담함으로써 모멘트를 줄여주는 방식으로 상판의 내력을 증가시킬 수 있다. 그러나 빔과 기존 구조물과의 접착이 어려워 실질적인 내하력 증진 효과가 의문시되며, 별도의 중형 받침장치를 설치해야 하는 단점이 있다.

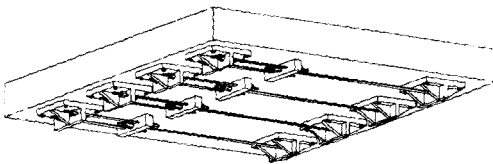
외부 강선 보강공법은 슬래브 하면에 앵커 볼트를 사용하여 정착장치를 설치, 프리스트레싱을 가함으로써 교량을 보강하는 방법으로서 기존의 구조물과의 적응성이나 보강효율이 높아 유리하다고 할 수 있다. 그러나 정착장치를 슬래브의 하면에 부착하는 시공이 어렵고, 앵커볼트만으로 정착장치를 지지 할 경우, 정착장치의 내하력이 크지 않아, 탈락이 우려되는 단점이 있다.

본 논문에서는 가장 보강효율이 뛰어나고 내구성이 좋은 외부강선 보강공법을 이용하나, 외부 강선 보강 공법의 단점인 정착장치의 시공성과 정착장치의 내하력 증대 문제 등의 문제가 없는 측면 보강공법인 네트형 외부강선 보강공법을 제시하고자 하였다.

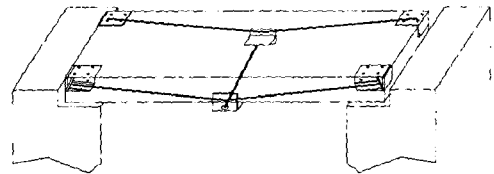
3. 네트형 외부강선 보강 공법의 개요

아래 그림1은 기존의 슬래브교 외부 강선 보강 공법과 네트형 슬래브교 외부 강선 보강 공법의 개요를 비교한 그림이다. 새로운 공법(그림1 b)은 기존의 외부 강선이 슬래브의 하면에 전체에 분산 설치된 것과 달리, 슬래브 측면에 주 강선을 배치하고, 슬래브 하면에는 횡방향으로 강선이 배치되어 있는 보강공법이다. 이 횡방향 강선은 폭이 넓은 슬래브교의 경우, 슬래브의 양 측면만 외부강선으로 보강될 경우 슬래브의 중앙부가 측면에 비하여 상대적으로 보강효과가 떨어질 것이 예상되기 때문에 이를 보완하기 위한 설계이다. 이 횡방향 강선은 그림에서는 편의상 1개의 강선을 표시하였지만 실제로는 여러 개의 강선을 사용할 수도 있다. 또한 슬래브 측면의 중앙에 설치된 종방향 강선을 편기시키기 위한 장치가 횡방향 강선의 정착장치로 동시에 사용될 수 있기 때문에 강선의 정착에 따른 정착장치에 작용하는 인장력이 서로 상쇄되는 특징이 있다.

네트형 슬래브교 외부강선 보강 공법의 특징은 기존의 외부 강선 공법의 장점 이외에도 단부 정착장치가 슬래브 상면의 외부에 설치되므로 시공이 간편한 장점이 있으며, 슬래브 단부 및 중앙의 정착장치들에 작용하는 힘들이 서로 상쇄됨으로써 정착장치의 크기가 작다는 장점도 있다. 또한 슬래브 하면으로 강선의 직경에 해당되는 높이 만큼만 공간을 침식하기 때문에 타 슬래브 보강공법에 비하여 슬래브교의 하부 교통이나 홍수수위 확보에 매우 유리한 장점이 있다.



a) 하면 외부강선 보강공법



b) 측면 네트형 외부강선 보강공법

그림 1 슬래브 외부강선 보강공법의 개요

3. 슬래브교 보강공법의 효과분석

3.1 종방향 강선의 보강량 산정

건교부 표준 단면에 제시된 슬래브교를 선택하여, 네트형 슬래브교 외부강선 보강공법의 보강 효과를 분석하였다. 보강효과 분석을 위하여 기존 슬래브교의 내하력을 산정하고, 슬래브의 측면에 설치된 외부강선 2조로 보강을 해야 하므로 슬래브교 전체를 하나의 구조물로 보고 해석하였다. 이런 방법으로 전체 슬래브교에 대한 자중 모멘트와 활하중 모멘트를 모두 구하였다. 활하중은 DB하중과 DL 하중을 모두 고려하였으나, DB하중이 월등하게 크기 때문에 DB하중의 결과만 다음 절에 제시하였다. 또한 슬래브교의 보강시에는 사전에 안전진단을 통하여 교량의 현재 내하력을 알고 하는 경우가 대부분이므로 교량의 현재 내하력을 아는 것으로 가정하여 보강량을 산정하였다.

외부 강선 보강량은 다음 식에 따라 필요한 보강 모멘트를 결정하였다.

$$M_{rep} = M_t - M_p$$

단 M_{rep} 는 보강 모멘트이고, M_t 는 보강후 모멘트이며, M_p 는 현재의 내하력이다.

보강 모멘트가 결정되면 교량의 제원을 고려하여 편심이 정해지므로, 가능한 최대 편심을 산정하여 필요한 보강 모멘트를 발생시킬 수 있는 긴장력과 이에 따른 상향력을 다음식에 의하여 산정하였다.

$$P = M/e \quad \& \quad U = 2P * \sin\theta$$

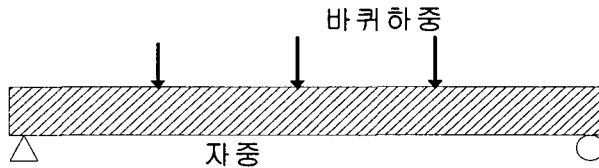


그림 2. 슬래브에 작용하는 하중 (아스팔트 하중은 무시)

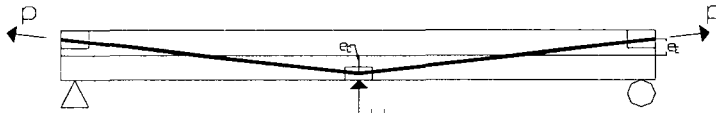


그림 3. 외부 강선의 긴장력과 상향력

3.2 횡방향 강선의 긴장력 해석

슬래브 측면에 종방향으로 설치된 외부강선에 의해 측면 중앙부 정착장치에 발생된 상향력(U)은 슬래브의 양측면 중앙에 하나의 탄성지점이 생성된 것과 같은 효과를 갖고 있다. 이 상향력은 종방향으로는 하중을 감소시켜 주는 효과가 있으며, 횡방향으로는 슬래브 중앙에 작용하는 하중 중 상향력에 상당하는 만큼의 하중을 분담하는 효과가 있다.

이 상향력은 횡방향 강선에 의하여 슬래브 중앙부에도 상향력으로 분산 작용하는데, 이 횡방향 강선에 의한 상향력의 횡분배 효과를 분석하기 위해서는 슬래브의 횡단면의 양편에 지점이 있고, 작용

하는 하중은 지점반력의 합과 같은 크기의 하중이 등분포로 작용하는 단순보와 같다고 가정하여 하중에 의한 정모멘트와 횡방향 강선에 의한 부모멘트가 서로 같다고 놓고 계산을 하면 된다. 이런 방법으로 계산을 하게 되면 양측면에 발생된 상향력을 중앙부의 슬래브에 횡방향으로 등분포 상향력으로 분포시키는데 필요한 긴장력을 구할 수 있다. 또한 이 횡방향 강선은 슬래브의 하면에 설치되어 있으므로 슬래브의 중앙부를 들어올리는 효과가 있으므로 슬래브의 정중앙에 발생하는 처짐을 방지하거나 완화시킬 수 있다.

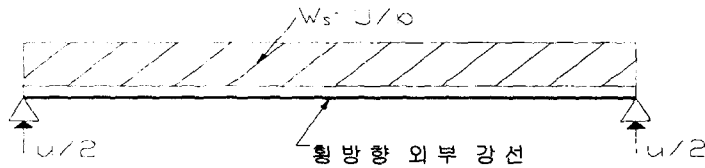


그림 4. 횡방향 외부강선의 보강효과 분석을 위한 구조해석 모델

3.3 구조해석 결과 분석

건교부의 RC슬래브교 표준 단면을 사용하여 슬래브의 내하력 등급을 올리기 위한 보강 모멘트와 긴장력을 산정하였다. 표1에는 보강 대상 슬래브교의 제원이 제시되어 있다. 이 교량에 1등급, 2등급, 3등급 하중이 작용할 때 발생하는 모멘트와 2등급 3등급을 각각 한 등급씩 상향 조정하는데 필요한 보강 모멘트와 긴장력을 산정한 결과가 표 2에 요약되어 있다. 2등급과 3등급 슬래브교를 1등급씩 상향 보강하려면 각각 280톤과 199톤 정도의 긴장력이 필요한 것으로 나타났으며, 횡방향 강선의 긴장력은 186톤에서 132톤 정도가 필요하나 것으로 나타났다. 2등급을 상향 보강하려면 종방향으로는 480톤, 횡방향으로는 320톤의 긴장력이 필요한 것을 의미한다. 자중과 활하중(DB-24)을 합한 총하중이 310톤이고, 종방향 긴장력에 의한 상향력은 64톤이므로 약 20%내외의 하중 분배 효과가 발생하였다.

표 1. 구조해석 대상 슬래브교의 제원

구조 형식	단경간 RC슬래브교
순경간	11.34m
유효폭원	10.5m
슬래브 두께	0.75m

표 2. 슬래브 보강 모멘트와 필요 긴장력

	종방향 모멘트(tf·m)		종방향 긴장력(tf)	횡방향		
	활하중	보강모멘트		상향력(tf)	모멘트(tf·m)	긴장력(tf)
DB-24	147.9	84.2	280.8	64.0	83.9	186.5
DB-18	108.7					
DB-13.5	80.9					

4. 결론

본 논문에서는 슬래브교의 새로운 보강공법을 제시하고, 이 공법의 장단점과 보강량 산정방법을 검토한 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

- 1) 슬래브 교량의 보강에 사용되고 있는 다양한 보강공법을 비교 분석하여, 기존의 슬래브교 보강공법을 체계화하였다.
- 2) 시공성과 보강효과가 뛰어나고, 경제성이 좋으며, 슬래브 하부 공간의 침식이 없는 네트형 외부강선 보강공법을 개발, 제시하였다.
- 3) 2등급과 3등급 슬래브교를 1등급씩 상향 보강하려면 각각 130톤과 93톤 정도의 긴장력이 필요한 것으로 나타났다으며, 횡방향 강선의 긴장력도 60톤에서 87톤 정도가 필요한 것으로 나타났다. 2등급을 상향 보강하려면 종방향으로는 233톤, 횡방향으로는 147톤의 긴장력이 필요한 것을 의미한다.
- 4) 자중과 활하중을 합한 총하중이 310t이고, 종방향 긴장력에 의한 상향력은 64t이므로 약 20%내외의 하중 분배 효과가 발생하였음을 알 수 있다.

참고 문헌

1. 심종성, 배인환, “구조물의 보수·보강(국내 콘크리트교량의 보수,보강 기술 현황)”, 한국콘크리트학회 특집기사, 1999.4, pp24-33.
2. 한만엽, 이상열, “슬래브교 외부강선 보강을 위한 앵커키 정착장치의 개발 연구.” 아주대학교 토목기술연구센터, 2001.3, pp94.
3. 건설교통부, “콘크리트 교량의 보수·보강 방법의 표준화”, 시설안전기술공단 1999.12, pp59-277.
4. 한만엽, 최완철, 김병국, “99 콘크리트 구조물의 보수·보강 기술 세미나”, 구조보강연구회, 1999.8, pp1-13, pp44-86.
5. 연규석, “콘크리트 구조물의 진단·보강 및 유지관리”, 한국콘크리트학회, 1995.3, pp20-36.
6. 건설교통부, “교량구조물의 보수·보강공법 편람”, 건설교통부, 1995.5, pp191-198.
7. 추영수, “콘크리트의 균열조사 보수·보강 지침”, 건설도서, 1988.1, pp105-116.
8. Antoine Naaman, “External Prestressing in Bridge”, American Concrete Institute, pp.34-37.