

정착방법에 따른 외부 프리스트레스트 도입공법의 보강성능평가

Strengthening Evaluation of Post-Tensioning Due to Anchorage System

박 승 범^{*}
Park, Seung Bum

홍 석 주^{**}
Hong, Seok Joo

ABSTRACT

The bridge is nation's principal structure and its influence for national economy is enormous. But it is essential for maintenance of deteriorated bridge because of the increased service life and the decreased performance. For the bridge reinforced by continuous slabs and post-tensioning, we evaluate the stress properties of girders and internal support. Results are almost coincidence between measured data in the field and analysed data by computer. We compared the effects by successive order of post-tensioning and order considered distribution of each girder's camber and stress. Bridge's camber and stress showed respectively symmetry and asymmetry shape by post-tensioning order. For the effects of post-tensioning force partition, we divided the post-tensioning force into 3 types (100%, 50%, 30%), and the results show the difference of final stress and camber.

1. 서 론

교량현황조사서(1999)에 따르면 전국의 교량은 15,270개소이며, 설계하중이 DB-18이하인 교량이 전체 교량의 약 60%에 이르고 있어, 현재의 통행차량의 중량과 교통량을 감안하면 개축 및 보강이 필요한 실정이다. 또한 1970년~1980년대에 건설된 구조물의 경우 시공당시의 품질관리 및 시공후의 유지관리의 소홀로 인하여, 구조물의 내하력이 상당히 저하된 구조물들이 많은 실정이다.

본 연구에서는 노후화된 콘크리트 교량의 보강을 위하여 외부 프리스트레스트를 도입한 경우의 보강 효과를 연구하였다. 정착장치에 따라 분류한 지압지지방식에 의해 보강된 교량의 응력상태 및 변위 등을 해석하였으며, 현재의 보강형태를 개선하고자 4경간 연속화후 외부 프리스트레스트가 도입된 경우의 도입순서 및 하중분할에 대한 연구를 실시하였다.

* 정희원, 충남대학교 토목공학과 교수

** 정희원, 충남대학교 토목공학과 박사과장

2. 대상교량 및 보강 개요

2.1 대상교량

구조형식은 PSC I형 거더 형식의 교량으로서 T형교각, 반중력식 교대, 우물통 기초이다. 대상교량은 2층 시설물로써 상부 슬래브 및 주형이 노후화 되어 균열, 철근부식, 누수등 외관 상태가 불량한 것으로 평가되었으나 장래 4차선 도로 확장계획이 수립되어 있는 구간이므로 개축대신 상부구조를 보강하는 것으로 계획을 수립하였다.

2.2 연속화와 외부 프리스트레스 도입에 의한 보강

2.2.1 대상교량의 연속화

현재 시공되어 있는 대부분의 PSC 거더교의 형태는 비교적 간단한 구조로 널리 시공되어 온 단순 거더교 구조이다. 그러나 이러한 형태의 구조는 정(正)모멘트가 크고 처짐량이 큰 단점이 있으므로, 설계하중이 DB-18인 교량을 DB-24로 보강하기 위해서는 교량의 연속화를 고려하는 것이 정모멘트의 감소 및 처짐의 저감에 효과적이다. 따라서 본 연구의 대상교량은 단순 11경간으로 이루어져 있으므로, 연속화 시키기 위하여 4경간-4경간-3경간으로 연속화시키는 방안이 검토되었다.

단순교를 연속화 시키기 위하여 기존 교량의 신축이음부 바닥판을 약 4m 제거하고 신 콘크리트를 타설하였으며, 신규콘크리트의 분리를 막기 위하여 접착제 도포 및 전단키를 50cm간격으로 설치하였으며, 13cm의 콘크리트를 추가 타설하여 바닥판 두께를 증가시켜 교량을 연속화시켰다.

2.2.2 대상교량 외부 프리스트레스 도입공법

대상교량의 보강에 사용된 지압 지지방식은 구조체 단부에 강재(Steel)로 제작된 정착장치를 거더의 단부에 설치하여 외부 프리스트레스력을 구조물에 전달시키는 방식으로 이 공법에 사용되는 정착자켓과 방향변환부(Saddle)의 형태는 다음 그림 1, 2와 같다.

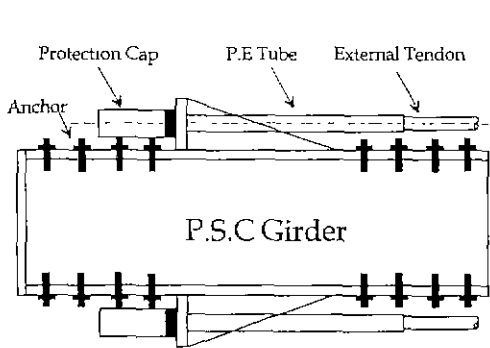


그림 1. PSC 거더 단부에 정착자켓의 설치

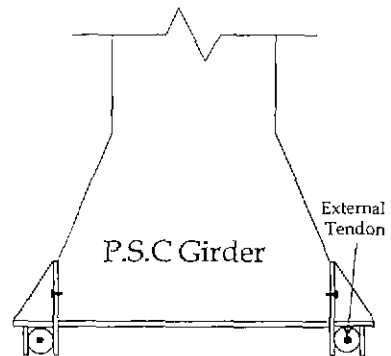


그림 2. 방향변환부(Saddle)의 설치

3. P.S.C 거더교의 외부 긴장재 도입 및 연속화 모델링

3.1 대상교량의 단면 및 해석조건

3.1.1 대상교량의 횡단면

본 연구 대상교량의 횡단면 및 거더의 제원은 다음 그림 3과 같으며, 해석을 위한 유효폭 산정은 대칭 T형거더의 경우 $b=12t+b_0$, 양쪽 슬래브 중심간 거리, 거더지간 1/4 가운데 가장 작은값인 210cm로 하였다

(단위 : mm)

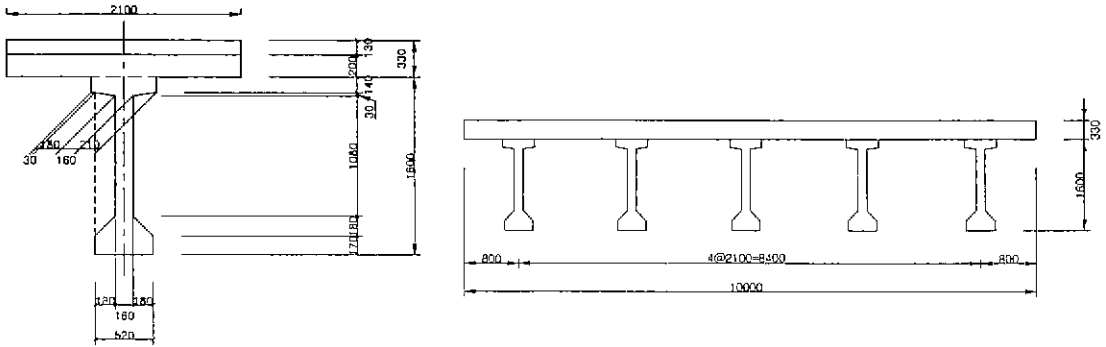


그림 3. 대상교량 및 거더의 제원

.외부 프리스트레스 도입시 외부 케이블의 배치 형태를 나타내면 다음 그림 4와 같으며, 지간이 25m인 거더의 단부에 정착자켓을 설치하고 거더 하면의 두 곳에 방향변환부(Saddle)를 설치한 형태를 나타낸 것이다.

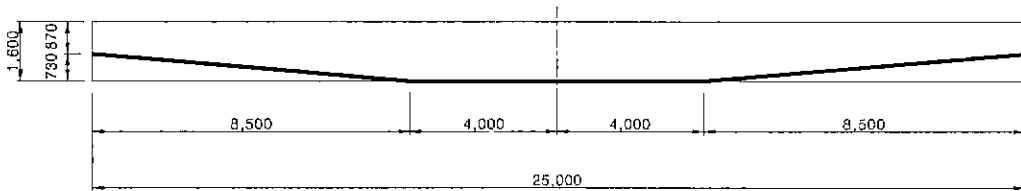


그림 4. 외부 프리스트레스 도입 개요도

3.1.2 사용 PS강재

본 교량은 1974년도에 준공된 교량으로서 1970년대에는 내부 강재의 경우 강연선을 사용하지 않고 강선을 사용하였다. 외부 프리스트레스 도입을 위하여 SWPC 7B 7연선을 사용하였으며, 물리적 특성은 다음 표 1, 2와 같다.

표 1. 내부 PS강선의 특성

| 종 류 | 호 칭 명 | 공칭단면적 (mm ²) | 인장하중 (kgf) | 0.2% 영구연신율에 대한 하중 (kgf) |
|-----------|-------------|--------------------------|------------|-------------------------|
| PS 강선, 원형 | SWPC 1, 7mm | 38.48 | 5950 이상 | 5200 이상 |

표 2. 외부 PS 강연선의 특성

| 종 류 | 호 칭 명 | 공칭단면적 (mm ²) | 인장하중 (kgf) | 0.2% 영구연신율에 대한 하중 (kgf) |
|----------------|----------------------|--------------------------|------------|-------------------------|
| PS 강연선, 7연선 B종 | SWPC 7B, 7연선, 12.7mm | 98.71 | 18,700 이상 | 15,900 이상 |

3.2 해석 모델링

보강후 구조해석에 대한 모델링은 5개의 PSC 거더를 종방향으로 배치하고 가로보를 지간내에 3개를 배치하였으며, 그림 5는 단순교를 4경간 연속화 모델링을 보여주고 있다. 해석은 PSC 구조물 전용 프로그램인 RM-Spaceframe을 사용하였다.

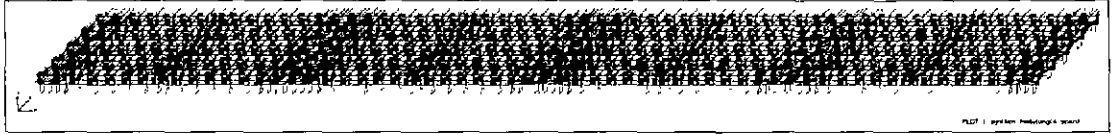


그림 5. 4경간 연속화 모델링

4. 연속화시공후 외부 프리스트레스 도입후의 해석

4.1 현장에서의 긴장횟수 및 순서

그림 6은 현장에서 긴장하는 순서로서 작업성을 우선하여 주형의 순서대로 한쪽방향(G1→G2→G3→G4→G5)으로 긴장하고 있는 실정이다. 각 거더에 도입되는 외부 긴장력도 한번에 모두 도입하고 있다.

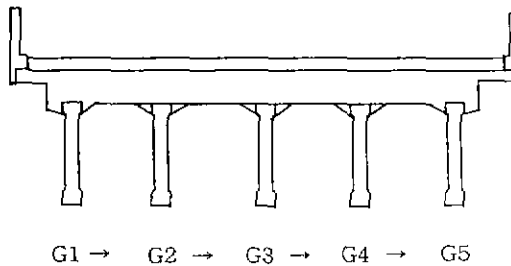


그림 6. 현장에서의 긴장순서

4.2 응력분배를 고려한 외부 프리스트레스 도입순서

거더교의 경우 외부 프리스트레스를 도입하는 순서는 응력의 분배가 균등하게 이루어지도록 고려하여 긴장하여야 한다. 긴장방법은 하나의 거더에 대해서는 양쪽에 같은 양의 외부 프리스트레스힘을 주어 동시에 긴장해야 한다.

긴장순서에 따라 솟음량 및 바닥판과 내부지점의 응력은 차이가 발생할 수 있을 것으로 판단하여 긴장순서 및 하중분할을 변수로 하여 해석하였다.

5. 측정 결과

5.1 프리스트레스 도입시 솟음량

단순교를 4경간 연속교로 보강한 대상교량의 외부긴장력 도입에 의한 솟음량을 측정하였다. 4경간 연속화 시공된 중의 2번째경간의 솟음량을 측정하였으며, 하중은 2번에 나누어 도입하였다. 처음에

는 총 도입력의 64%인 300kgf/cm²으로 인장하고 마지막으로 100%인 471kgf/cm²으로 긴장하였다. 또한 긴장순서에 따른 영향을 평가하기 위하여 긴장은 G3→G4→G1→G5→G2(G3는 중앙거더)의 순서로 하였다.

표 3. 외부 프리스트레스 도입한 4경간 연속교의 각 거더중앙의 솟음량

| 순서 No. | 솟음량 (mm) | | | | | | | | |
|--------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | G3 | G2 | G5 | G1 | G4 | G2 | G1 | G5 | G3 |
| G1 | 0.200 | 0.760 | 0.715 | 2.140 | 2.135 | 2.795 | 3.870 | 3.895 | 4.395 |
| G2 | 0.480 | 1.065 | 1.150 | 1.805 | 2.350 | 3.050 | 3.600 | 3.710 | 4.395 |
| G3 | 0.660 | 1.060 | 1.345 | 1.570 | 2.600 | 3.120 | 3.345 | 3.635 | 4.425 |
| G4 | 0.485 | 0.685 | 1.290 | 1.285 | 2.655 | 2.910 | 3.035 | 3.700 | 4.260 |
| G5 | 0.170 | 0.185 | 1.225 | 1.105 | 2.460 | 2.55 | 2.530 | 3.690 | 3.960 |

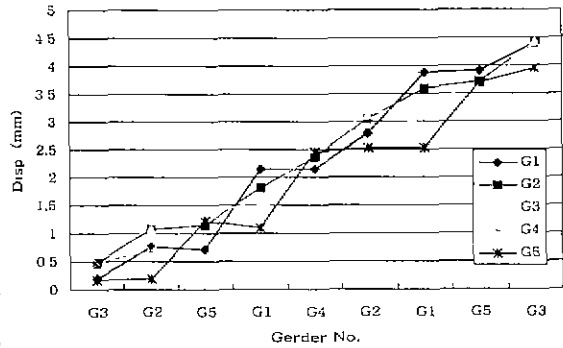


그림 7. 각 주형의 솟음량

그림 8은 거더를 순차적으로 긴장한 경우와 하중분배를 고려하여 긴장한 경우 최종 솟음량을 표시한 것이다.

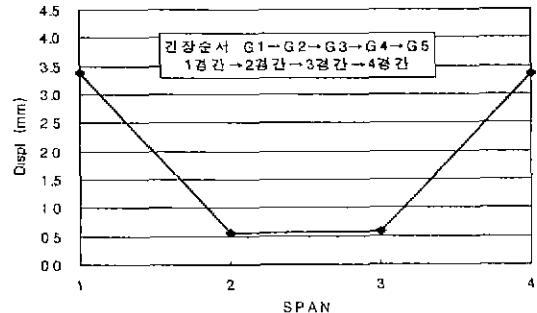
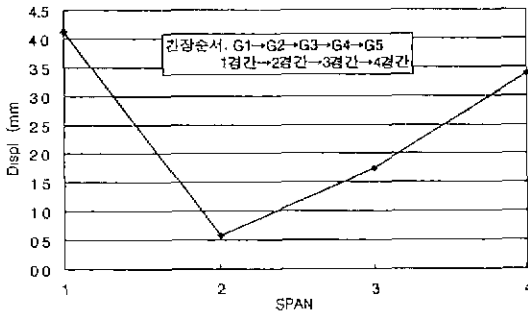


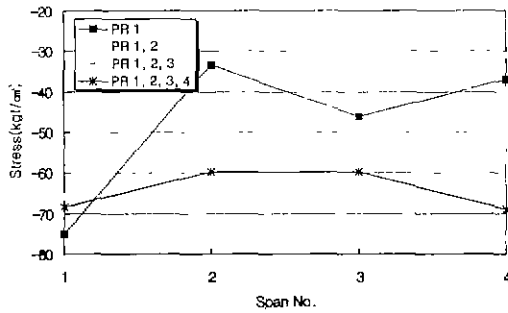
그림 8. 긴장순서에 따른 각 경간의 최종 솟음량

이를 고찰하여 보면 4경간 연속교가 대칭으로 되지 않고 1경간의 솟음량이 가장 크게 나타나 전체적인 보강효과는 감소하는 것으로 나타났다. 하지만 경간중앙부터 긴장시킨 경우의 최종 솟음량은 연속교의 좌우 대칭 형태를 나타내고 있다.

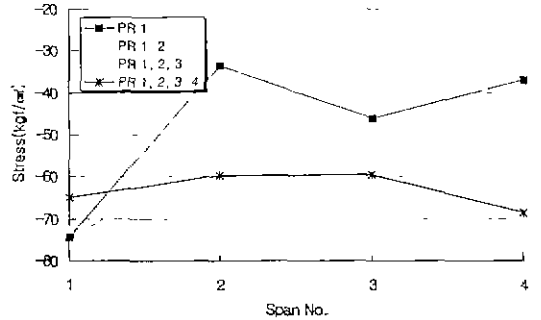
5.2 프리스트레스 도입시 용력변화

그림 9는 거더의 긴장순서를 다르게 하여 각 경간을 긴장한 경우의 각 경간 거더중앙의 용력을 나타낸 것이다.

그림 9에서 PR 1은 1경간만을 긴장, PR 1, 2는 1, 2경간을 긴장, PR 1,2,3은 1,2,3경간을 긴장, PR 1,2,3,4는 4경간 모두를 긴장한 경우를 나타낸다.



(a) 긴장순서: G1→G2→G3→G4→G5



(b) 긴장순서: G3→G4→G1→G5→G2

그림 9. 거더긴장순서를 다르게 한 경우의 거더 하면의 응력

그림 9에서 각 경간의 응력차이가 많이 나타나지 않는 이유는 상부 바닥판을 연속화시켜 응력의 재분배가 발생하였기 때문으로 판단된다. 도입하중을 분할하여 도입한 경우 각 경간 거더중앙의 응력은 표 4와 같으며, 연속화된 교량의 외부 프리스트레스 도입시 내부지점의 응력변화를 각 경간의 긴장순서에 따라 나타내면 다음 표 5와 같다.

표 4. 하중분할에 의한 각 경간 거더중앙의 응력

| 작용 하중 | 1경간 | | 2경간 | | 3경간 | | 4경간 | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 상부 | 하부 | 상부 | 하부 | 상부 | 하부 | 상부 | 하부 |
| 도입전 합계 | -58.2 | -66.4 | -59.0 | -56.2 | -56.3 | -70.6 | -53.0 | -29.0 |
| 외부 프리스트레스 | -0.2 | 1.0 | 0.6 | -2.8 | -2.1 | 9.6 | -3.4 | -38.6 |
| 크리프와 건조수축 | 0.3 | 0.4 | 0.3 | 0.4 | 0.2 | 0.7 | 0.2 | -0.4 |
| 작용하중의 합계 | -58.1 | -65 | -58.1 | -58.6 | -58.2 | -60.3 | -56.2 | -68 |

표 5. 각 경간의 긴장시 내부지점의 응력

| 긴장 경간 | 지점 1 | | 지점 2 | | 지점 3 | |
|---------|------|--------|------|--------|------|--------|
| | Top | Bottom | Top | Bottom | Top | Bottom |
| 2경간 긴장시 | -3.5 | 11.7 | -3.9 | 12.9 | 1.0 | -3.4 |
| 3경간 긴장시 | 1.0 | 3.4 | 3.9 | 13.1 | -3.5 | 11.8 |
| 1경간 긴장시 | -4.9 | 16.3 | 1.4 | -4.6 | -0.4 | 1.2 |
| 4경간 긴장시 | -0.4 | 1.2 | 1.4 | -4.6 | -4.9 | 16.5 |
| 합 계 | -7.8 | 32.6 | 2.8 | 16.8 | -7.8 | 26.1 |

6. 결 론

노후된 콘크리트 거더교의 보강시 연속화와 외부 프리스트레스 도입 공법에 의한 보강효과를 검증하기 위한 현장시험과 3차원 해석결과에서 얻어진 결과는 다음과 같다.

- (1) 노후된 콘크리트 거더교의 외부 프리스트레스 도입시 긴장하는 순서는 구조물에 무리한 힘이 한번에 도입되지 않도록 응력상태를 고려하여 긴장하는 것이 보강 대상구조물의 손상을 줄이는 방법이다. 따라서 현재의 한쪽방향으로 긴장하는 방법은 솟음량의 차이와 보강효과에 약간의 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 특히 연속교의 경우 정밀한 해석을 통해 긴장순서를 정하는 것이 중요한 것으로 나타났다.
- (2) 연속화 시공후 외부 긴장력을 도입하므로써 챔버량은 그다지 크게 나타나지 않았다.
- (3) 노후된 콘크리트 교량의 보강은 보강하려는 구조물에 적은 손상을 주면서 성능으로 향상시키기 위해서는 정밀한 해석을 통한 긴장순서 등의 세부보강계획이 수립되어야 하는 것으로 판단된다.