

프리스트레스트 합성상자형교의 거동 특성

The Behavior of Prestressed Composite Box Girder

김 주 형* 한 택 희** 김 종 헌*** 강 영 종****

Kim, Ju Hyoung Han, Taek Hee Kim, Jong Hun Kang, Young Jong

ABSTRACT

In case of continuous steel box-girder bridges, the magnitude of the longitudinal tensile stress on concrete in internal support is larger than the tensile strength of concrete. In this paper, the parametric study was performed to present the effective magnitude of the longitudinal prestress for reducing the longitudinal tensile stress to decrease under the tensile strength of concrete. The parametric study is conducted with changing the steel box-girder section and the span length of bridge. Three dimensional finite element analyses are conducted with ABAQUS program. The behavior of the steel box-girder bridge with prestress is investigated through experimental works on a analogous steel box-girder bridge model, and their results are compared with those of analytical studies.

1. 서 론

합성형 교량으로 많이 적용되고 있는 강상자형 교량에 비하여 프리스트레스트를 적용한 강상자형 교량은 프리스트레스트를 통하여 강교량의 바닥판 전단면 유효화를 꾀할 수 있어 경제성, 유지관리 및 미관 등에 매우 유리하다. 현재 강교량은 대부분이 콘크리트 바닥판과 반합성형 강교로서 설계가 이루어지고 있어서 지점부에서 상당한 단면의 손실을 가져오고 있다. 기존의 강상자형 교량의 설계에서는 작용 단면력의 지지를 위해 필요한 단면적을 충족시키기 위하여 주형인 강재 거더의 단면이 상당히 크게 설계되어 왔고, 지점부 바닥판 콘크리트 등의 인장균열 발생으로 인하여 누수 및 바닥판 콘크리트의 탈락으로 인한 주형단면의 부식 등의 문제점을 유발시켜 왔다. 이러한 비합리적인 설계를 개선하기 위하여 지점부 바닥판 콘크리트에 프리스트레스트에 의한 압축력을 도입하여 지점부 균열 등을 억제할 수 있고 작용하는 단면력에 바닥판 전단면이 유효하도록 하여 이로 인한 경제적인 효과도 기대할 수 있다.

모든 연속형 교량에서와 마찬가지로 강상자형교에서도 구조역학상 최대 정모멘트와 최대 부모멘트의 크

- * 정희원, 도화종합기술공사 사원, 공학석사
- ** 정희원, 고려대학교 토목환경공학과, 박사과정
- *** 정희원, 고려대학교 토목환경공학과, 공학박사
- **** 정희원, 고려대학교 토목환경공학과, 부교수

기가 상이하기 때문에 교량 전 길이를 통해 단면크기 선정에 비경제성이 내포되고 있고 바닥판의 단면이 크므로 단면의 중립축이 상부에 치우쳐 강재의 상부응력과 하부응력의 균형이 이루어지지 않으므로 인해 또 다른 비경제성의 원인이 되고 있다. 위의 문제해결을 위해 프리스트레스트를 도입하는 방법에 대해 연구를 수행하였다.

2. 강상자형 교량의 구조해석

2.1 구조해석 단면 조건

구조해석에 사용된 교량은 2경간 연속 강상자형 교량이며, 표 1과 그림 1~2에 구조해석 단면형상과 재료의 물리적 성질에 대해 나타나 있다.

표 1. 재료의 물리적 성질

구분	E (tonf/m ²)	G (tonf/m ²)	단위중량 (tonf/m ³)
슬래브 (300)	2.6×10^6	1.08×10^6	2.5
강재 (SM 490)	2.1×10^7	9.13×10^6	7.85

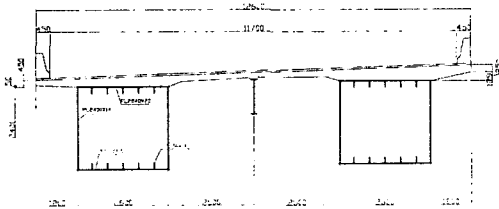


그림 1 강상자형 교량의 단면형상

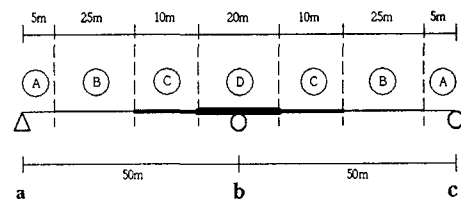


그림 2 교축방향 거더의 단면변화 위치

2.2 구조해석 모델링

강상자형 교량의 모델링 시 바닥판은 8절점 솔리드요소(Solid Element)를 사용하였고 상자거더는 4절점 쉘요소(Shell Element) 세로보 및 가로보는 2절점 보요소(Beam Element)로 모델링 하였다. 세로보와 가로보는 바닥판 슬래브의 아랫부분에 노드(Node)의 공유를 사용한 모델링 방법을 사용하였다. 솔리드와 쉘요소의 연결도 노드(node)의 공유를 사용한 합성효과에 대한 모델링 방법을 사용하였다. 또한 경계조건은 교대1은 힌지(hinge)로, 교각과 교대2는 로울러(roller)로 모사하였다. 바닥판 모델링을 할 때 철근을 고려하지 않았다. 그리고, 강상자형 거더의 아랫부분에 그림 3과 같이 외부프리스트레스트 도입을 위해 타설한 콘크리트(8절점 솔리드요소)를 모델링 하였다. 구조해석에 사용된 프로그램은 범용프로그램인 ABAQUS이다.

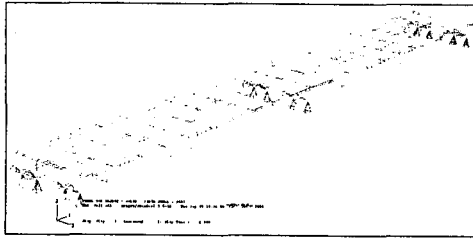


그림 3. 경계조건과 측면도

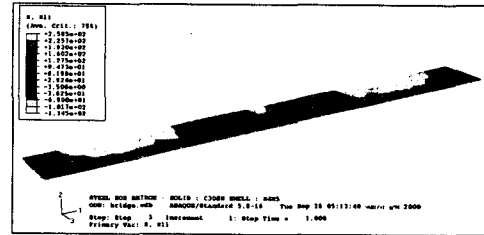


그림 4. DL-24 하중에 의한 바닥판의 교축방향 응력 분포도

2.3 프리스트레스트 도입 방법

(1) 비합성 바닥판 슬래브(내부지점부)에 프리스트레스트를 가한 후 합성시킴



그림 5. 내부프리스트레스트 도입 방법

(2) 강박스 주형 전체에 외부프리스트레스트를 도입한 경우



그림 6. 외부프리스트레스트 도입 방법

3. 매개변수 해석

3.1 해석범위

강상자형 교량의 매개변수 연구의 해석범위를 다음과 같이 정하여 해석을 한다.

- 교장 : 100m, 110m, 120m
- 단면의 높이(H) : 2.4m, 2.2m, 2.0m
- Internal Prestress : 0.6" -5 (6개 ~14개)/SLAB
- External Prestress : 0.6" -7(2개)/Box, 0.6" -12(2개)/Box, 0.6" -18(2개)/Box, 0.6" -18(3개)/Box

일반적으로 강상자형교에서 널리 채택되는 지간장이 40m~60m이므로 지간장이 약간 길다고 볼 수 있는 50m와 60m 사이의 지간장으로 교장을 100m, 110m, 120m에 대하여 해석을 수행하였다. 경간은 부모멘트

가 발생하는 가장 간단한 2경간만을 고려하였고, 단면의 폭은 2.6m로 고정을 시키고 단면의 높이를 변화 시켜서 형고의 감소로 인한 미적인 면과 경제적인 효과를 보여주기 위해 해석을 수행하였다. 본 매개변수 연구에서는 합성 후 2차 사하중과 도로교시방서에서 제시하고 있는 DL하중을 해석 시 고려하고, 크리프와 건조수축 그리고, 온도하중은 설계기준을 참고로 하여 수 계산을 수행한 후에 해석 결과를 같이 비교하였다. 그리고, 여기서 거더 단면의 변화에 대해 형고 감소로 인한 국부적인 영향은 무시를 하고 해석을 수행한다.

3.2 텐던에 의하여 내부지점부 콘크리트의 응력변화에 대한 그래프

(1) 교장 : 100m, 거더 단면 : 2.4×2.6

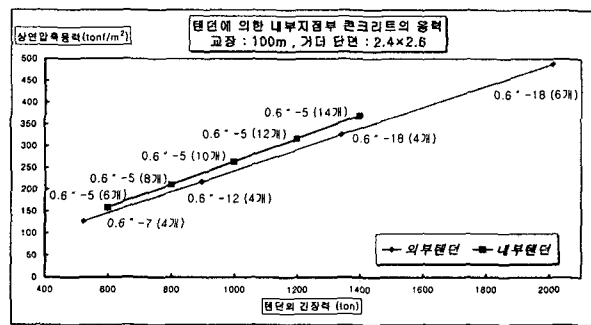


그림 7. 텐던에 의한 내부지점부 슬래브 콘크리트의 응력(100 - 2.4×2.6)

3.3 텐던을 사용한 후에 내부 지점부 슬래브에 발생하는 응력의 검토

(1) 거더 단면 2.4×2.6

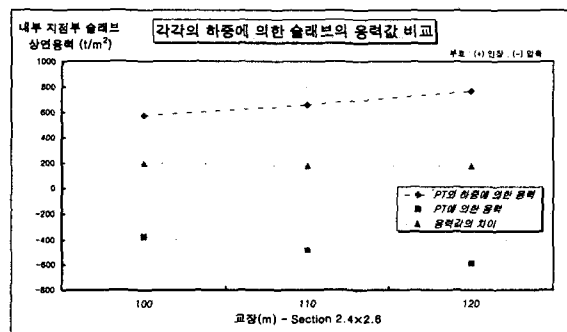


그림 8. 각각의 하중에 의한 응력변화(2.4×2.6).

4. 모형시험체를 통한 시험치와 해석치의 응력 비교

모형시험체는 교폭 2.8m 교장 40m인 2경간 연속 강상자형 교량(2@20m=40m)으로서, 프리스트레스트 도입을 위하여 내부 프리스트레스트용 텐던(0.6" -4, 4EA/SLAB)과 외부 프리스트레스트용 텐던(0.5" -5, 2EA/BOX)을 사용하였다. 모형시험체의 바닥판 콘크리트 슬래브는 시공순서를 고려하여 2단계의 현장 타설

을 실시하였다. 1단계 현장 타설은 내부지점을 중심으로 바닥판 12m(내부지점 양쪽 6m)의 구간 및 양단 지점부 구간(강박스 하부플랜지 위 콘크리트타설), 그리고 2단계 현장 타설은 바닥판 나머지 구간 28m에서 현장 타설을 수행하였다. 최적의 압축력을 도입하기 위한 시공순서와 타설 순서를 고려하여 측정은 총 3단계를 거쳐 실시하였다.

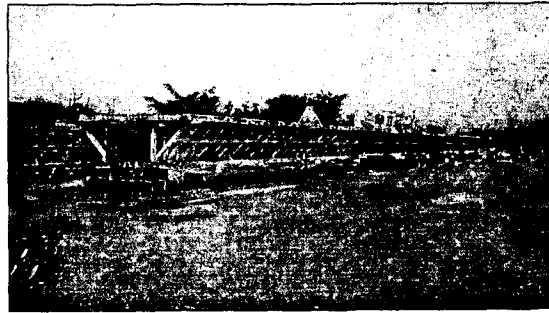


그림 9. 모형시험체 제작 전경

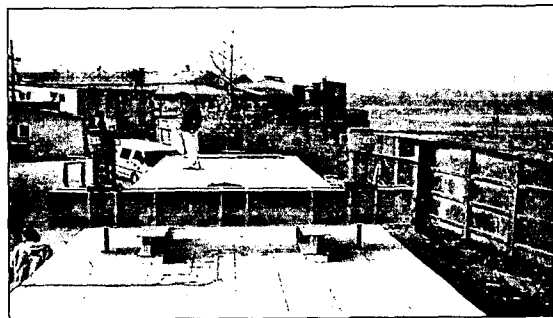


그림 10. 하중제하장치도

4.1 실험 결과

(1) 내부텐던과 외부텐던으로 도입된 압축응력(1단계 및 2단계 해석 및 측정)

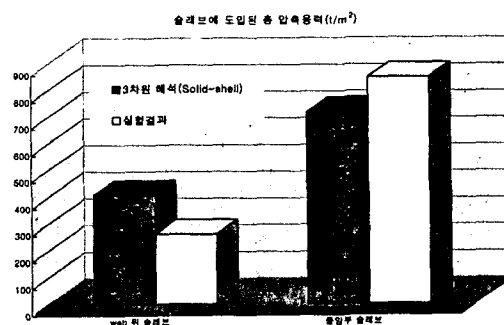


그림 11. 내부텐던과 외부텐던에 의해 도입된 교축방향 압축응력(내부 지점부)

5. 결 론

본 연구는 일반 강상자형 교량에 프리스트레스트를 도입하는 연구 중에 하나로써 바닥판의 부모멘트 구간에 발생하는 교축방향 인장응력을 콘크리트의 활렬인장강도 이하로 낮추기 위해서 적절한 프리스트레스트력을 산정하는 연구로써 본 논문에 의한 결론은 다음과 같다.

1. 내부텐던과 외부텐던의 도입을 통해서 강상자형 교량의 거더 단면 변화와 교장의 변화에 따른 내부 지점부 슬래브에 발생하는 교축방향 압축응력의 관계를 그래프로 나타내었다.
2. 내부텐던에 의한 압축응력 도입의 결과 : 교량의 내부 지점부(20m 지점)에서 슬래브 콘크리트에 발생하는 교축방향 압축응력은 web 위 슬래브 콘크리트에서 해석치와 실험치가 약 26%정도 차이를 보이며 중앙부 콘크리트에서는 약 17%정도 차이를 나타내고 있다. 중앙부와 web 위의 응력 차이는 block-out 부의 영향에 기인한 것으로 판단된다. 외부텐던에 의한 결과도 비슷하게 나옴을 알 수 있었다.
3. 정적재하시험의 결과 : 모형시험체에 활하중만을 가한다면 60tonf에서 균열이 발생하지만 프리스트레스에 의해서 압축력이 도입됨에 따라 결국 모형시험체는 130tonf에서 균열 예상 인장응력 204.9t/m^2 에 도달하게 됨을 알 수 있었다.
이로써 강합성형교의 바닥판 슬래브의 사용수명을 증가시킬 수 있을 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. 인하교량연구소(2000) "지점 상승에 의한 교량에 대한 연구"
2. Christian Menn(1990) "*Prestressed Concrete Bridges*", Translated and edited by Paul Gauvreau, Birkhäuser Verlag, Basel, Boston, Berlin
3. Kennedy, J. B. and Grace, N. F.(1982) "*Prestressed decks in continuous composite bridges*", Journal of Structural Engineering, ASCE, 108(11)