

1면 케이블 콘크리트 사장교의 응력 불균일 영역길이

Regularization Length in Single Plane Cable-stayed Concrete Bridge

강 호 준*·장 재 엽**·김 광 수***·이 환 우****

Kang, Ho-Jun · Jang, Jae-Youp · Kim, Gwang-Soo · Lee, Hwan-Woo

요 약

세그먼트 자중 등에 의한 휨모멘트와 케이블 수직압축력에 의한 합성응력이 발생되고 바닥판 경간비가 변하는 사장교의 시공단계에서는 전단지연의 영향범위가 다를 수 있다. 이 연구에서는 1면 케이블 콘크리트 박스 사장교를 대상으로 시공단계시 보강형에 고려되어야 할 합성응력에 의한 유효플랜지폭을 분석하였다. 그 결과 바닥판 경간비가 0.38 이하의 범위에서 보강형의 전폭을 유효플랜지폭으로 적용할 수 있는 것으로 해석되었다. 따라서 시공단계시 변화되는 바닥판 경간비의 크기에 관계없이 전폭을 유효플랜지폭으로 반영하는 실무관행은 안전측 설계가 되지 못할 수 가 있다. 바닥판 경간비가 작아짐에 따라서는 전폭과 캔틸레버 구조계로 유효플랜지폭을 결정하는 것이 타당하다. 이 연구에서는 수직력에 대한 도로교설계기준의 유효플랜지폭 규정에 대한 평가도 수행하였다.

keywords : 전단지연, 유효플랜지폭, 1면 케이블 사장교, 시공단계, 콘크리트 박스단면

1. 서 론

1면 케이블 사장교의 경우, 주탑을 기준으로 상부구조가 캔틸레버 구조계로 진행됨에 따라 보강형은 자중과 작업하중으로 인하여 휨을 받는다. 또한 케이블 장력의 도입에 따른 집중하중으로 인하여 상부플랜지는 휨압축응력과 축압축응력을 동시에 받게 된다. 이때 보강형의 웨브와 플랜지의 전단변형 차이로 인하여 플랜지 상·하부에는 교축방향에 대한 전단지연 현상이 발생하게 된다(Chang, 2004). 이 현상은 단면설계시 포물선형대의 교축방향 응력분포를 동일한 면적의 응력블럭으로 가정한 유효플랜지폭을 적용하여 고려된다. 이 연구에서는 1면 케이블 콘크리트 박스 사장교를 대상으로 시공단계에 따라 합성응력에 의한 전단지연 현상을 해석하였다.

2. 유효플랜지폭

전단지연을 고려한 유효플랜지폭은 상부플랜지의 불균일한 종방향 응력 분포를 탄성보 이론을 따르는 등가의 단면으로 가정한 후 그 단면의 폭으로써 정의된다. 이 유효플랜지폭은 상대적으로 응력이 크게 나타나

* (주)한양 사원 kbridge7@naver.com

** 학생회원·부경대학교 토목공학과 석사과정 fervor486@hanmail.net

*** 정회원·현대건설(주) 기술부소장(공무부장) biocon@hdec.co.kr

**** 종신회원·부경대학교 건설공학부 교수 hwanwoo@pknu.ac.kr

는 웨브를 중심으로 분포하는데, 1면 케이블 사장교의 박스단면 보강형의 경우, 바닥판에 작용하는 케이블 법선력인 수직력의 영향으로 웨브가 아닌 바닥판 중앙부에서 최대응력이 발생하게 된다. 따라서 휨에 대한 유효플랜지폭을 적용하되, 수직력의 영향이 크게 나타나는 선단부의 경우에 대하여는 수직력을 고려한 별도의 유효플랜지폭의 적용이 필요하다. 이 연구에서는 도로교설계기준(국토해양부, 2005)에서 정의된 휨에 대한 유효플랜지폭을 합성응력이 발생하는 시공단계에 따른 1면 케이블 사장교의 박스단면 보강형에 비교함에 있어 단경간 구조계와 캔틸레버 구조계를 고려하였다. 단경간 구조계는 세그먼트 양단에 정착된 케이블을 하나의 지점으로 간주하여 각 각의 세그먼트를 정착부에 지지된 단경간 거더로써 가정하였다(조경식, 2001).

3. 수치해석

3.1 예제교량 및 모델링

현재 국내에서 시공되고 있는 주경간이 270 m인 3경간 2주탑 1면 케이블 콘크리트 박스단면 사장교를 대상으로 수치해석을 수행하였다. 그림 1의 (a)와 (b)에 보강형의 제원을 나타내었다. 보강형은 1-셀(cell) 박스 단면이며, 세그먼트의 폭원은 27.8 m이고 길이는 6.8 m이다.

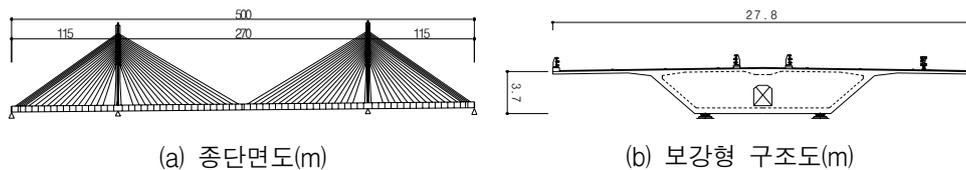


그림 1 대상교량 개요

예제교량의 수치해석 모델형상은 그림 2과 같다. (a)는 보강형을 프레임 요소 모델로 나타낸 것이며, (b)는 보강형을 플레이트 요소 모델로 나타낸 것이다. 사용된 범용구조해석 프로그램은 MIDAS/ Civil 2009((주)마이다스아이티, 2009)이다.

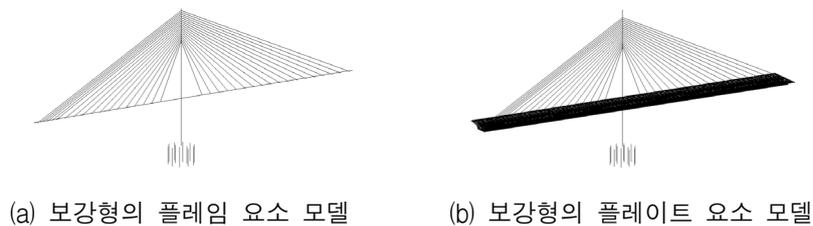


그림 2 수치해석 모델링

3.2 휨과 수직력에 의한 합성응력 검토

1면 케이블 콘크리트 사장교 보강형에 나타나는 시공단계별 전단지연 현상을 분석하기 위하여 식 (1)을 적용하였다. 식 (1)은 프레임 요소 모델의 종방향 상연응력에 대한 플레이트 요소 모델의 종방향 상부 플랜지 응력비(S)로 정의하였다. 이 응력비를 통하여 실무설계시 적용되는 프레임 요소 모델의 평균응력과 보다

정밀한 전단지연 현상이 해석되는 플레이트 요소 모델의 응력차이를 예상할 수 있다.

$$S = \frac{\sigma_{x,plate}}{\sigma_{x,flame}} \quad (1)$$

그림 3~4는 2개의 주탑 사이의 내측경간의 보강형을 대상으로 시공단계에 따른 종방향 응력비(S)를 나타내었다. S_{w-f} 는 웹와 플랜지의 인근의 응력비 그리고 S_c 는 상부플랜지 중앙에서의 응력비를 나타낸다. 가로축의 바닥판 경간비(B/L)는 보강형이 가설됨에 따라 작아짐을 알 수 있다. C1 ~ C13은 정착된 케이블 수를 나타낸다. 그리고 Δ 표시된 실선은 전폭을 유효플랜지폭으로 적용한 단면의 결과이고, \circ 는 캔틸레버 구조계, \square 는 단경간 구조계의 휨 유효플랜지폭을 각각 적용한 결과이다.

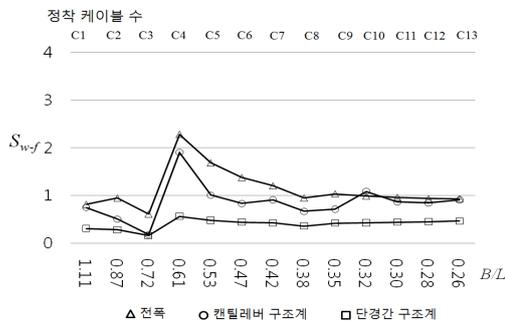


그림 3 주탑과 보강형 경계의 S_{w-f}

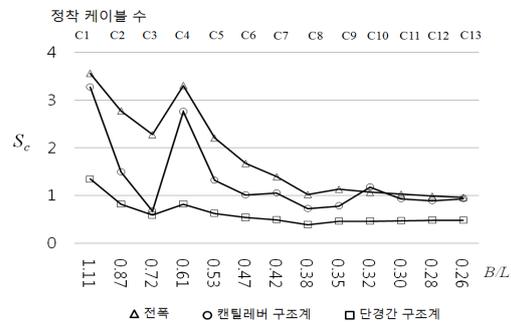


그림 4 주탑과 보강형 경계의 S_c

그림 3~4에서 보는 바와 같이 예제교량의 경우에 바닥판 경간비가 0.38이하의 범위에서 보강형의 전폭을 유효플랜지폭으로 적용할 수 있는 것을 알 수 있다. 이 값은 도로교설계기준의 0.5에 비하여 작은 값을 보여주고 있다. 즉, 1면 케이블 박스 사장교의 경우 시공단계에서는 전단지연을 고려하여 할 범위가 박스거더교보다 크다. 따라서 시공단계시 변화되는 바닥판 경간비의 크기에 관계없이 전폭을 유효플랜지폭으로 반영하는 실무관행은 안전측 설계가 되지 못할 수 있다.

3.4 선단부의 수직력에 대한 검토

일반적으로 설계 실무에서는 케이블 법선력인 수직력에 대하여 전폭이 압축에 유효하다고 가정하고 있다. 그러나 선단부 세그먼트에서는 케이블 정착부 부근의 압축영역과 국부적인 인장영역이 동시에 존재한다. 이 때문에 선단부에는 수직력에 대한 유효플랜지폭 적용을 통하여 합성응력에 대한 검토가 필요하다. 도로교설계기준에서는 수직력에 대한 유효플랜지폭이 상부플랜지의 케이블 정착부에서 30° 정도의 각을 이루면서 분산되는 것으로 가정한다. 즉, 세그먼트가 순차적으로 가설되어 갈수록 케이블 법선력인 수직력에 대하여 일정 영역에서의 보강형 상부플랜지는 전폭이 압축에 유효하게 된다. 수직력에 대한 유효플랜지폭은 교축방향 응력 불균일 영역길이(regularization length)를 산출하여 분산각(A°)을 결정하고 그로부터 직접 결정할 수 있다(Hajj, 2008). 교축방향 응력 불균일 영역길이란 수직력 작용점으로부터 프레임 요소 모델의 합성응력과 같아지는 플레이트 요소 모델 값까지의 종방향 직선거리를 의미한다. 이때 프레임 요소 모델의 단면특성값은 전폭이 유효한 것으로 가정한다. 이 연구의 교축방향 응력 불균일 영역길이에 대한 분산각은 31°로 나타났으

며 이 값은 도로교설계기준의 30°와 유사하다.

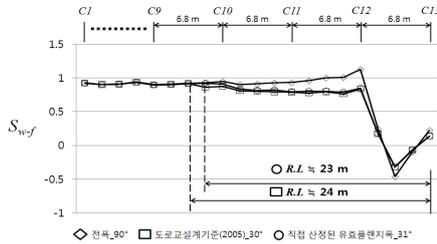


그림 5 분산각과 선단부의 S_{w-f}

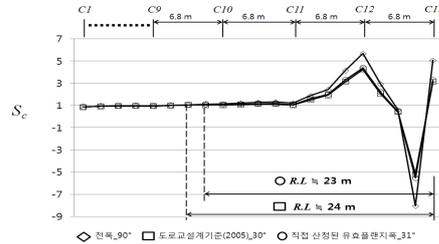


그림 6 분산각과 선단부의 S_c

그림 5~6은 케이블 법선력에 대하여 전폭을 유효플랜지폭으로 가정하여 시공단계 해석을 수행하는 실무 설계의 관행에 대한 걱정성을 검토하기 위한 해석결과이다. 식 (1)과 같이 플레이트 요소 모델과 수직력에 대한 유효플랜지폭이 적용된 프레임 요소 모델의 법선응력비(S)로써 나타내었다. 전폭을 적용한 프레임 요소 모델은 선단부에서 플레이트 요소 모델과 응력차이가 크게 나타났다. 도로교설계기준의 유효플랜지폭을 적용한 프레임 요소 모델의 경우에 선단부 응력을 직접 산정된 유효플랜지폭 적용 프레임 요소 모델보다 상대적으로 안전측으로 응력을 검토 할 수 있었다. 한편, 선단부의 응력비가 음(-)의 값을 나타내는 것은 응력 불균일 영역내인 선단부에는 파열영역(bursting zone)과 할렬영역(spalling zone)이 나타나는 것을 의미한다. 유효플랜지폭이 적용된 프레임 요소 모델의 경우도 교축방향 응력 불균일 영역길이내에 발생하는 파열인장응력과 할렬인장응력을 해석할 수 없었다. 따라서 교축방향 응력 불균일 영역길이를 산정하여 이 영역내에서는 보다 정밀한 해석을 통하여 보강필요성 여부를 판단할 필요가 있다.

4. 결론

- 1) 바닥판 경간비가 작아짐에 따라 유효 플랜지폭을 적용할 경우에 플레이트 모델의 합성응력에 근사하였다.
- 2) 대상예제에서는 전폭을 유효플랜지폭으로 볼 수 있는 경간비가 0.38이하로 분석되었다.
- 3) 케이블 법선력에 대한 해석 시 수직력에 대하여 전폭이 유효하다는 가정은 안전측 결과를 줄 수 없음을 알 수 있었다.
- 4) 교축방향 응력 불균일 영역길이를 산정하여 이 영역 내에서는 보다 정밀한 해석을 통하여 보강필요성 여부를 판단할 필요가 있다.

참고문헌

국토해양부 (2005) 도로교설계기준, 한국도로교통협회.
 조경식 (2001) 교량구조물의 전산구조해석 - 특수 교량의 해석과 설계, 한국전산구조공학회.
 (주)마이다스아이티 (2009) MIDAS/CIVIL 2009, 마이다스아이티.
 Chang, S. T. (2004) Shear Lag Effect in Simply Supported Prestressed Concrete Box Girder. *Journal of Bridge Engineering*, 9(2), pp.178~184.
 Hajj, E. A. (2008) Cable Stayed Bridge across Chambal River on Kota Bypass - Prestr. Equilibrium for Segments, A104/R/MD/FD/333-08, Sysstra, Paris, France.