

브레이싱을 고려한 수평 곡선 I형 거더의 횡비틀림-수직 거동에 대한 유한요소해석

이정화*, 류성빈**, 강영중**

*고려대학교 미래건설환경융합연구소

**고려대학교 건축사회환경공학부

e-mail:yjkang@korea.ac.kr

Finite Element Analysis on Lateral Torsional Vertical Behavior of Horizontally Curved I-Girders considering Bracings

Jeonghwa Lee*, Seong-Bin Ryu**, Young Jong Kang**

*Future and Fusion Laboratory of Architectural, Civil and Environmental Engineering, Korea University

**School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University

요약

수평 곡선 거더의 휨 거동은 곡선 거더에 발생하는 비틀림하중에 의하여 구조적 거동이 매우 복잡하다. 곡선 거더의 비틀림하중에 대한 효과를 제어하기 위해서는 적절한 강성과 간격을 갖는 브레이싱의 설치가 요구되지만, 브레이싱이 설치된 수평 곡선 거더의 좌굴 거동에 관한 연구는 미미하다. 본 논문에서는 수평 곡선 I형 거더의 횡비틀림-수직 거동을 규명하고, 브레이싱의 효과가 고려된 횡비틀림-수직거동에 대한 매개변수 연구를 수행하였다. 이를 위하여, 3차원 유한요소해석기법을 활용한 연구를 통해서, 브레이싱의 강성, 간격이 수평곡선 거더의 횡비틀림-수직거동에 미치는 영향을 해석적으로 검토하였다. 연구결과, 브레이싱의 강성 및 설치간격은 수평곡선 I형 거더의 횡비틀림-수직 거동에 지대한 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 브레이싱의 효과로 인하여 전체적인 횡비틀림-수직거동의 좌굴강도와 좌굴모드에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

2. 유한요소해석

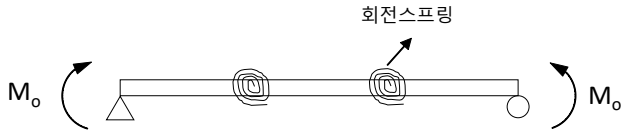
1. 서론

수평 곡선 교량의 곡선 거더의 휨거동은 기하학적인 형상, 즉 곡률로 인해 발생하는 추가적인 비틀림하중이 전체의 거동에 영향을 주게 되고, 휨거동과 비틀림거동의 커플링 효과로 인하여 구조적 거동이 매우 복잡하다 (Lim et al. 2021). 국내의 설계기준에서는 곡선 거더에 발생하는 비틀림하중을 제어하고 상부하중을 인접거더로 전달해주는 역할을 위하여 브레이싱을 설치하게 된다. 수평 곡선 거더의 브레이싱은 비틀림을 제어하기 위하여 충분한 강성과 간격을 가지도록 설계되고 있다. 현대의 설계기준(AASHTO, 2020)에서는 비틀림하중에 의해 유발되는 플랜지의 뒤틀림을 휨응력의 약 25%로 제어하도록 규정하고 있으나, 곡선 거더 자체의 휨거동에 관한 연구는 매우 미미한 상태이다. 본 연구에서는 수평 곡선 I형 거더의 횡비틀림-수직 거동을 규명하고 브레이싱의 효과가 고려된 거더의 횡비틀림-수직거동에 대한 매개변수 연구를 수행하였다.

브레이싱의 효과를 고려한 곡선 I형 거더의 횡비틀림-수직 거동을 분석하기 위하여, 쉘 요소를 활용한 3차원 유한요소해석 연구를 수행하였다.

2.1 해석개요

본 연구에서는 3차원 쉘요소(S4R)를 이용하여 단순지지된 곡선 I형 거더에 대하여 ABAQUS 해석 프로그램을 활용하여 해석 연구를 수행하였다. 하중은 양단에 동일한 크기의 휨모멘트를 재하하였고, 단순지지된 교량부재를 모델링하였다. 좌굴의 효과를 고려하기 위하여 초기결함이 고려된 기하비선형 해석기법을 적용하였다. 브레이싱의 위치에는 브레이싱의 회전강성을 고려하여 회전스프링을 설치한 단순화된 모델을 채택하여 브레이싱을 모사하였다.



[그림 1] 구조해석모델의 개요

2.1.1 매개변수

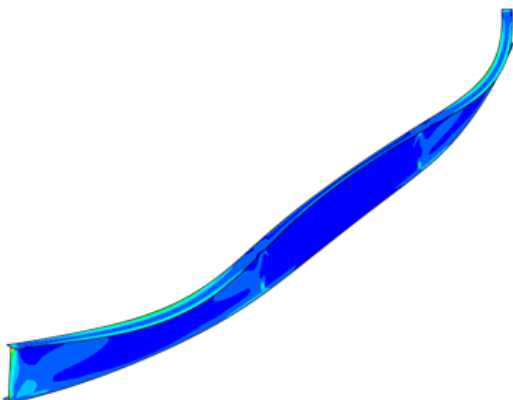
수평 곡선 I형 거더는 기존설계기준 (AASHTO, 2020)을 참고하여 교량에 적용될 수 있는 단면을 선택하여 설계하였다. 수평 곡선 교량의 주요 변수인 곡률중심각은 0에서 30도까지 선정하였고, 회전 강성은 브레이싱이 고려되지 않는 조건에서는 0을, 브레이싱을 고려한 경우는 최대 75000 kN-m/rad를 적용하였다. 상세한 모델의 설계는 표 1과 같다.

[표 1] 해석 변수 (단위: kN, m)

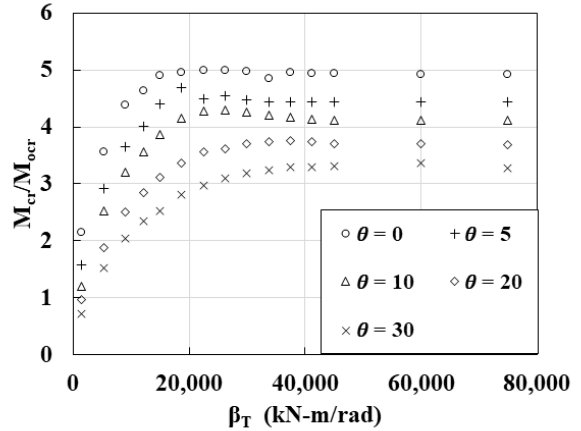
플랜지 폭, bf	플랜지 두께, tf	거더 높이, H	복부판 두께, tw	지간장, L	곡률 중심각, θ (Deg)	브레이싱 강성 (kN-m/rad)
0.6	0.04	2.1	0.036	52.5	0 - 30	0 - 75000

2.1.2 해석결과

그림 2는 브레이싱의 효과가 적용된 곡률중심각인 10도인 곡선 I형 교량의 최종 좌굴모드를 보여준다. 그림 2의 해석결과와는 곡선 I형 거더는 브레이싱의 위치를 기준으로 비지지길이 내의 좌굴 모드를 보여준다. 이러한 좌굴모드는 브레이싱의 강성에 따라 달라지게 되며, 브레이싱이 없는 경우는 단순지지된 거더의 좌굴모드와 동일하다. 하지만, 브레이싱의 강성이 충분한 경우, 비지지길이 내의 좌굴이 발생되었다.



[그림 2] 곡선 교량의 횡비틀림-수직 거동이 고려된 좌굴 모드 (곡률중심각 10도, 브레이싱의 강성이 충분히 큰 경우)



[그림 3] 수평 곡선 I형 거더의 좌굴강도와 브레이싱의 강성과의 관계

그림 3은 수평 곡선 I형 거더의 횡비틀림-수직거동에 의한 좌굴강도와 브레이싱의 강성과의 관계를 보여주는 해석결과이다. 곡률중심각이 0인 직선거더의 경우, 가장 큰 좌굴강도를 보였으며, 곡률중심각이 30도까지 증가할수록 전체적인 좌굴강도는 감소함을 알 수 있다. 또한, 좌굴강도는 브레이싱의 강성과 매우 밀접한 관계를 보였는데, 브레이싱의 강성이 증가할수록 좌굴강도는 증가함을 알 수 있다. 하지만, 일정수준 이상의 브레이싱 강성을 가질 경우, 더 이상 좌굴강도의 증가는 없는 것으로 판단된다. 또한, 곡률 중심각이 증가할수록 필요한 브레이싱의 요구강성은 증가하는 것으로 판단된다.

3. 결론

본 연구에서는 수평 곡선 I형 거더의 횡비틀림-수직거동에 의한 좌굴거동과 브레이싱 강성간의 관계를 정성적으로 평가하기 위하여, 유한요소해석연구를 수행하였다. 본 연구에 의하면, 브레이싱의 강성이 거더의 전체적인 좌굴거동에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다. 좌굴강도는 브레이싱의 강성이 증가할수록 좌굴강도는 증가하며, 일정수준 이상의 브레이싱 강성을 가질 경우, 더 이상 좌굴강도의 증가는 없는 것으로 판단된다.

참고문헌

[1] AASHTO, AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 8th Ed., 2020.
 [2] Lim, J., Kang, Y.J., Lee, J., Kim, S., and Lee, K., Experimental and Analytical Study of Horizontally Curved I-Girders Subjected to Equal End Moments, Metals 2021, 11, 1132.