

강박스거더교 가로보 니브레이스(Knee Brace)의 보강효과

Stiffened Effect of Knee Brace of Cross-Beam in Steel Box-girder Bridges

길흥배* · 장갑철** · 강상규*** · 이일근****

Gil, Heung Bae · Jang, Gab Chul · Kang, Sang Gyu · Lee, Il Keun

Abstract

Recently, a knee brace is usually installed in connection between cross-beam and main-girder of steel box-girder bridges. The knee brace is installed as a structural stiffener and mainly aims to relieve stress at joints and to prevent main-girder from lateral deformation. However, research on the knee brace is insufficient to obviously evaluate the necessity. The stiffened effect of knee brace is determined by using finite element analyses. Stress distribution, stress level of members and deflection of the cross-beam are evaluated by parametric FE analysis for the installation of knee brace and the depth ratio of cross-beam/steel box girder. It is seen from comparison of numerical analysis results that the knee brace installed in cross-beam of steel box-girders bridges is not efficient as a structural stiffener with respect to stress relief and stiffened effect.

Keywords : steel box-girder bridge, knee brace, cross-beam, steel box-girder, diaphragm, stiffened effect, stress level

요 지

최근 강박스거더교량 가로보와 박스거더 연결부에 니브레이스(Knee-brace) 설치가 일반화 되어있다. 니브레이스는 가로보-박스거더 연결부의 응력완화 및 횡변형 방지를 목적으로 설치되는 보강재나, 구조적 보강효과에 대해서는 아직 명확하지 않다. 본 연구에서는 유한요소해석을 통하여 니브레이스의 보강효과를 검토하였다. 가로보-박스거더 높이비와 니브레이스 유무를 변수로한 구조해석을 통하여 부재별 응력흐름, 응력수준과 가로보 처짐을 검토하였다. 그리고 수치해석결과의 비교를 통하여 니브레이스의 보강효과를 평가하였다. 유한요소해석 결과는 니브레이스가 박스거더-가로보 연결부의 보강재로서 응력완화 및 구조적 보강효과가 매우 낮음을 보이고 있다.

핵심용어 : 강박스거더교, 니브레이스, 가로보, 박스거더, 다이아프램, 보강효과, 응력수준

1. 서 론

강박스거더교량의 가로보(Cross-beam)와 세로보(Stringer)는 바닥틀 구성부재로 바닥판의 활하중과 고정하중을 지지하며, 이를 박스거더에 전달하는 역할을 한다. 최근, 그림 1과 같이 가로보와 박스거더 연결부에 응력완화 및 횡변형방지를 목적으로 별도의 구조검토없이 삼각형형상의 니브레이스(Knee brace) 설치가 일반화되고 있다. 그리고 니브레이스의 좌굴방지를 위하여 그림 1(b)와 같이 플랜지를 설치하기도 한다. 니브레이스는 강박스거더교량 가로보와 주거더인 강박스에 직각 또는 직각에 가까운 각도로 접합되어 연결부분을 보강하며, 강성연결을 목적으로 설치되는 보강재를 의미한다.

강박스거더교량은 타 교량에 비해 비틀림 강성이 크고, 가설시에도 박스형 단면이므로 안정성을 갖는 장점이 있다(윤동용, 2005). 이와 같이 타 교량에 비해 상대적으로 안정성

을 갖는 강박스거더교량의 경제적 건설을 위해서는 주부재인 박스거더와 부부재들의 합리적 설계에 관한 연구가 요구된다. 최근 강교량 주부재 및 부부재의 합리화에 관한 다수의 실험적·해석적 연구가 수행되거나 수행중이다(윤동용 등, 2006; 길흥배 등, 2008). 강박스거더교량 부부재 중 다이아프램, 가로보 및 세로보에 관한 연구는 진행된 바 있으며 현재에도 진행중이다(배성준 등, 2006; 윤동용 등, 2005). 그리고 경제적인 강교량설계 합리화를 위해서는 보강재인 니브레이스의 보강효과에 관한 검토도 요구된다.

본 연구에서는 별도의 구조적 검토없이 설치되는 니브레이스의 보강효과에 대해 검토하였다. 유한요소해석을 통하여 니브레이스의 보강효과를 파악하였다. 실제 강박스거더교량을 대상으로 모델링하였으며 가로보-박스거더 높이비(B_o/H)와 니브레이스 유무를 변수로한 3차원 유한요소해석을 수행하였다. 니브레이스 유무에 따른 강박스거더교량 구성부재들

*정회원 · 교신저자 · 한국도로공사 도로교통연구원 수석연구원 · 공학박사 (E-mail : hgil@ex.co.kr)

**정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 연구원 · 공학박사 (E-mail : gabchul.jang@gmail.com)

***정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 선임연구원 (E-mail : kevin@ex.co.kr)

****정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원 (E-mail : lik@ex.co.kr)

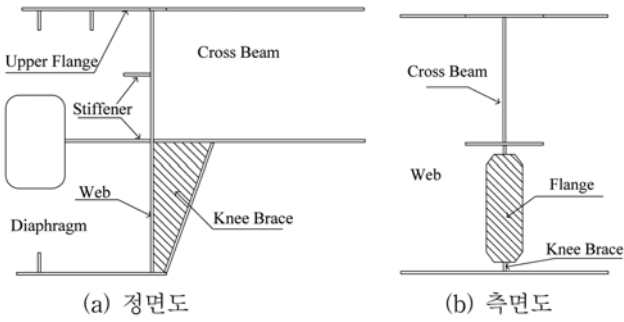


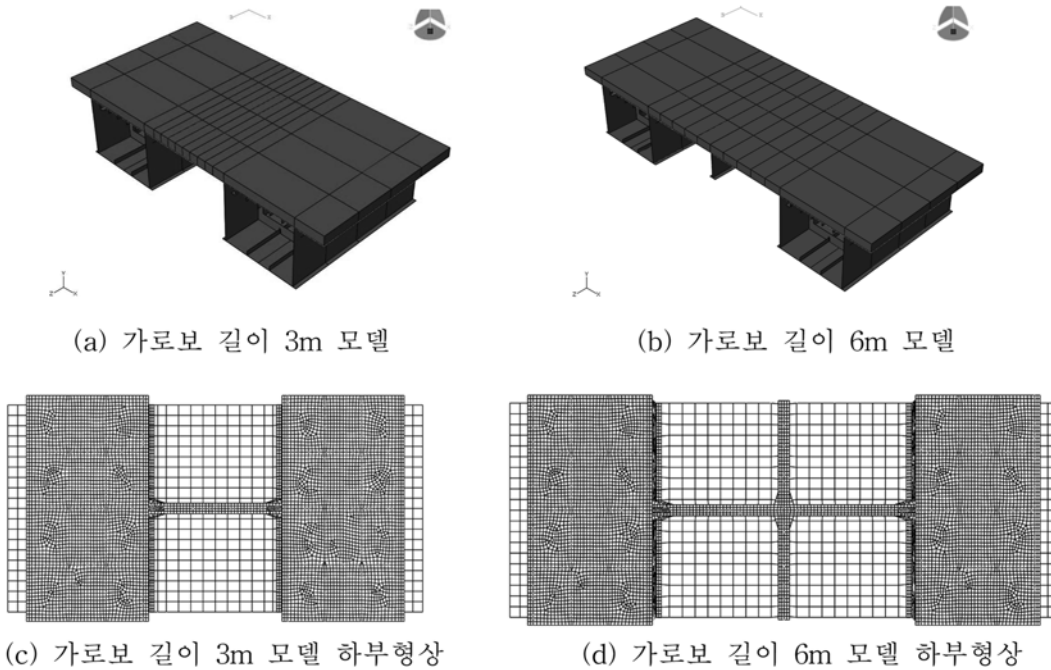
그림 1. 강박스거더교량 니브레이스의 상세도면

(가로보, 복부판, 다이어프램, 니브레이스)의 응력수준, 응력 흐름과 가로보 처짐을 파악하였으며, 해석결과의 비교를 통

하여 니브레이스의 보강효과를 검토하였다.

2. 유한요소해석

니브레이스의 보강효과를 검토하기 위해 강박스거더-가로보 연결구조에 관한 유한요소해석을 수행하였다. 유한요소해석에는 범용 구조해석 프로그램인 ABAQUS/Standard를 사용하였다(2002). 바닥판의 지중과 하중분배 효과를 구현하기 위해 콘크리트 바닥판과 강박스거더를 같이 모델링하였다(윤동용 등, 2005). 콘크리트 바닥판은 8절점 입체요소(C3D8R)를 사용하였으며, 강박스거더와 부부재는 4절점 쉘요소(S4R)를 적용하여 해석을 수행하였다. 기하학적 비선형을 고려한 유한변위이론을 적용하였으며, 바닥판과 강박스거



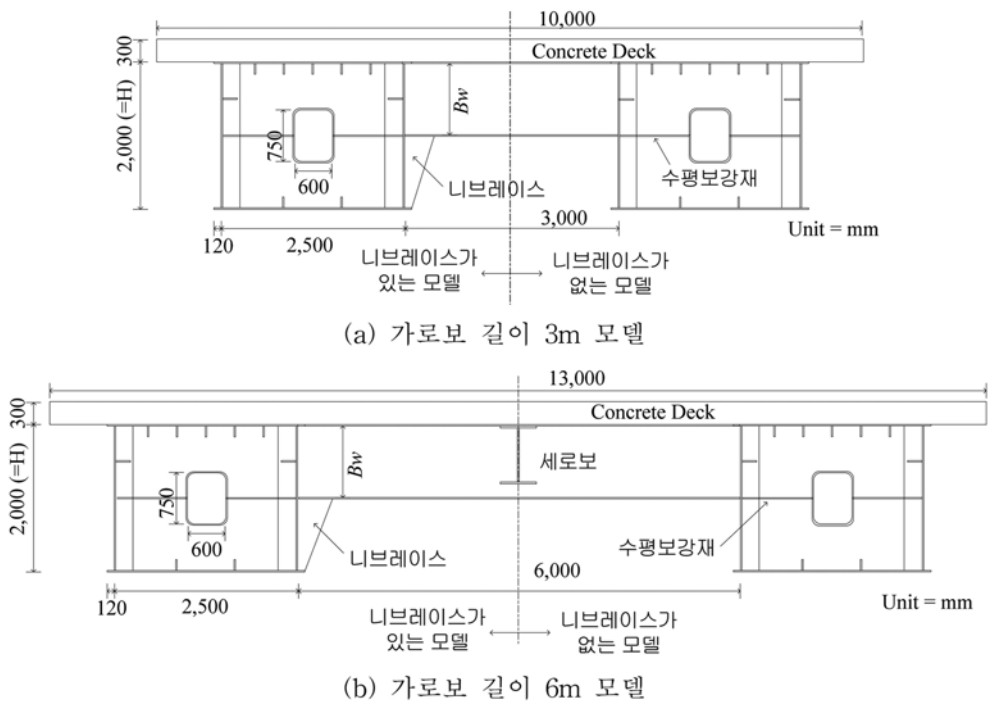
(a) 가로보 길이 3m 모델

(b) 가로보 길이 6m 모델

(c) 가로보 길이 3m 모델 하부형상

(d) 가로보 길이 6m 모델 하부형상

그림 2. 강박스거더교량 유한요소모델링



(a) 가로보 길이 3m 모델

(b) 가로보 길이 6m 모델

그림 3. 강박스거더교 상세 및 제원

더 접합부분은 ABAQUS의 “Coupled Constraint”기법을 이용하여 전단연결재를 적용한 바닥판-강박스거더 합성효과를 구현하였다.

2.1 해석모델

해석모델은 실제 고속도로상 지간장이 50 m인 3경간 연속 강박스거더교량의 일반부 중앙 5 m 부분을 그림 2와 같이 모델링하였다(한국도로공사, 2008). 가로보 길이가 3 m와 6 m인 강박스거더교로 구분하여 그림 2(a), (b)와 같이 각각 모델링하였다. 그림 2(c), (d)는 강박스거더 교량의 하부상세를 보이고 있다. 가로보 길이가 6 m인 강박스거더교는 그림 2(d)에 보이는 바와 같이 가로보 중앙에 교축방향 하중 분배와 바닥판 두께조절을 위해 세로보가 설치되어 있다. 해석모델의 제원 및 형상은 그림 3과 표 1에 각각 제시하였다. 일반적인 강박스거더교량의 설계관행에 따라 주부재인 강박스거더는 SM490강재를, 그 외 부부재들은 SM400강재를 각각 적용하였다. 강박스거더교량에 사용된 강재와 콘크리트의 물리적 성질은 표 2에 나타내었다.

해석모델은 가로보-강박스거더 높이비(B_o/H), 가로보 길이와 니브레이스 유무에 따라 표 3과 같이 분류하였다. 기존 강박스거더교량 제원에 관련한 국·내외 문헌을 조사한 결과, 대부분 강박스거더교량의 가로보-박스거더 높이비가 0.4~0.7 사이에 분포하였다(日本道路協會, 1980; 한국도로공

표 1. 강박스거더교 부재별 제원 및 재질

부재명	너비(mm)	두께(mm)	길이(mm)	재질
상부플랜지	2,740	14	5,000	SM490
하부플랜지	2,740	14	5,000	SM490
복부판	2,000	12	5,000	SM490
다이아프램	2,500	10	2,000	SM400
수직보강재	180	12	2,000	SM400
수평보강재	150	12	5,000	SM400
종리브	150	14	5,000	SM400
횡리브	300	14	2,500	SM400
가로보	-	12	3,000/6,000	SM400
세로보	-	12	5,000	SM400
니브레이스	1,370	12	-	SM400
바닥판	10,000/13,000	300	5,000	RC

사, 2004; 건설교통부, 2006). 이에 근거하여 본 연구에서는 해석모델의 가로보-강박스거더 높이비를 0.4, 0.5, 0.6, 0.7로 각각 선정하여 수치해석을 수행하였다. 그리고 강박스거더 높이(H)는 실제 강박스거더교량 제원에 근거하여 2,000 mm로 고정하였다. 그림 4는 해석모델 중 CB-3-○-0.5, CB-3-×-0.5와 CB-6-○-0.5, CB-6-×-0.5의 단면형상을 대표적으로 보이고 있다. 여기서 해석모델은 아래와 같이 표기하였다.

2.2 해석조건

하중조건은 사하중인 지중과 활하중인 DB-24 차량하중을 적용하였다(한국도로교통협회, 2005). 사하중인 지중은 표 2의 강재와 콘크리트의 단위중량을 고려하여 프로그램 내에서 적용하였다. DB-24 차량하중은 그림 5에 나타낸것과 같이 좌측 가로보-강박스거더 연결부에 최대모멘트가 발생하도록 재하하였다. 영향선과 구조해석 분석을 통하여 각각 차량대수와 작용위치를 계산하였으며, 그림 5는 각 모델에 따른

표 2. 적용강재 및 콘크리트 물리적 성질

강종 및 콘크리트	탄성계수 (GPa)	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	포아송비	단위중량 (kgf/m ³)
SM400	205	240	400	0.30	7,850
SM490	205	320	490	0.30	7,850
바닥판 콘크리트	27	27	-	0.16	2,500

표 3. 해석모델 분류

model	가로보길이(m)	니브레이스 유무	B_o/H	세로보유무	가로보높이, B_w (mm)	박스거더높이, H(mm)
CB-3-○-0.4	3	○	0.4	×	800	2,000
CB-3-×-0.4	3	×	0.4	×	800	2,000
CB-3-○-0.5	3	○	0.5	×	1,000	2,000
CB-3-×-0.5	3	×	0.5	×	1,000	2,000
CB-3-○-0.6	3	○	0.6	×	1,200	2,000
CB-3-×-0.6	3	×	0.6	×	1,200	2,000
CB-3-○-0.7	3	○	0.7	×	1,400	2,000
CB-3-×-0.7	3	×	0.7	×	1,400	2,000
CB-6-○-0.4	6	○	0.4	○	800	2,000
CB-6-×-0.4	6	×	0.4	○	800	2,000
CB-6-○-0.5	6	○	0.5	○	1,000	2,000
CB-6-×-0.5	6	×	0.5	○	1,000	2,000
CB-6-○-0.6	6	○	0.6	○	1,200	2,000
CB-6-×-0.6	6	×	0.6	○	1,200	2,000
CB-6-○-0.7	6	○	0.7	○	1,400	2,000
CB-6-×-0.7	6	×	0.7	○	1,400	2,000

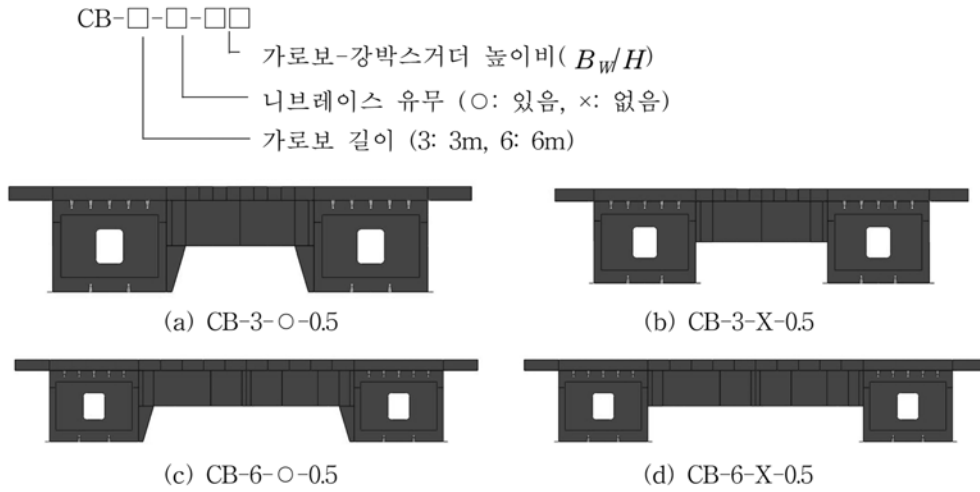


그림 4. 해석모델 단면형상

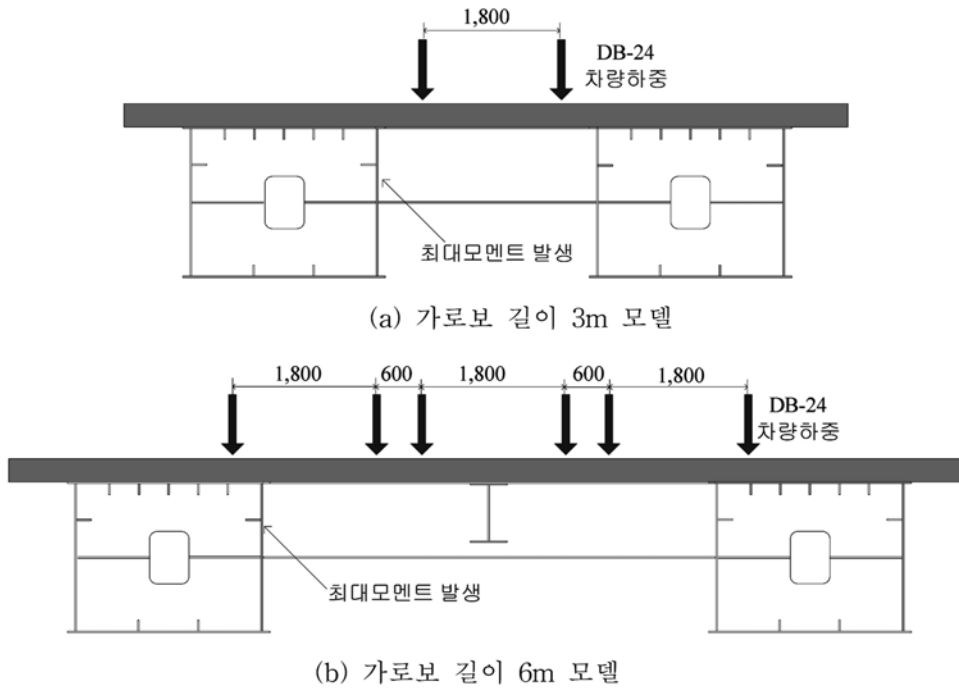


그림 5. 하중조건

DB-24차량하중 재하 위치를 나타낸다. 그리고 각각의 활하중에 충격계수 0.3을 적용하였다. 경계조건은 해석모델이 교량 일반부 중앙부분이므로 양단 단면에 교축방향으로 Symmetry 조건과 양단 하부플랜지에 단순지지조건을 각각 적용하였다.

3. 해석결과 및 고찰

니브레이스의 보강효과를 검토하기 위해 유한요소해석을 수행하였다. 수치해석을 통하여 니브레이스 유무에 따른 강박스 거더교량 구성부재들(가로보, 다이아프램, 복부판, 니브레이스)의 응력흐름, 응력수준과 가로보 처짐을 각각 비교 및 검토하였다. 구성부재들의 응력수준은 부재 내 작용하는 요소응력들의 산술평균을 계산하여 산출하였다. 그 결과는 다음과 같다.

3.1 응력흐름

니브레이스 유무에 따른 응력분배 현황을 파악하기 위해

그림 6에 보이는 바와 같이 CB-3-O-0.5, CB-3-X-0.5 모델과 CB-6-O-0.5, CB-6-X-0.5 모델의 최대주응력 흐름을 검토하였다.

그림 6(a), (b)는 니브레이스 유무에 따른 CB-3(가로보 길이 3 m 모델) 모델의 응력흐름을 보이고 있다. CB-3-X-0.5 모델은 니브레이스가 없는 강박스거더교량으로 재하하중으로 인한 응력흐름은 그림 6(a)에 나타내고 있다. 가로보 상부에 재하된 하중은 바닥판을 통하여 가로보의 복부판과 플랜지에 전달되고 있다. 가로보 복부판 하부와 가로보 인장플랜지(하부플랜지)에 응력이 주로 발생하였다. 발생된 응력흐름은 강박스거더 상부플랜지와 다이아프램 수평보강재로 주로 전달되고 있으며, 상대적으로 다이아프램에 전달되는 응력흐름은 비교적 낮았다. 그림 6(b)는 CB-3-O-0.5 모델의 응력흐름을 보이고 있다. 전체적인 응력흐름은 CB-3-X-0.5 모델과 유사하며, 니브레이스로 전달되는 응력흐름은 또한 낮은 수준이었다.

그림 6 (c), (d)는 CB-6(가로보 길이 6 m 모델)모델의 응

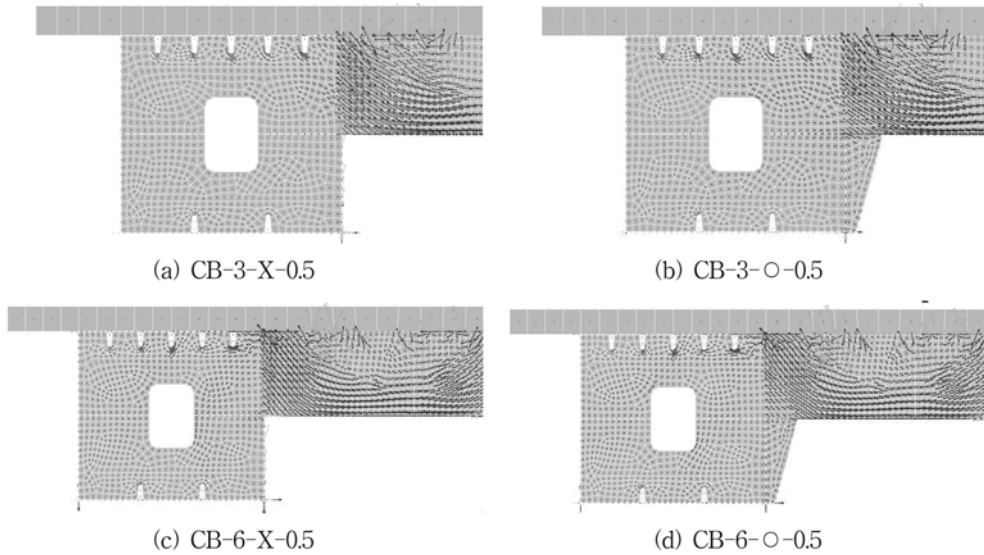


그림 6. 가로보와 강박스거더의 최대주응력 흐름

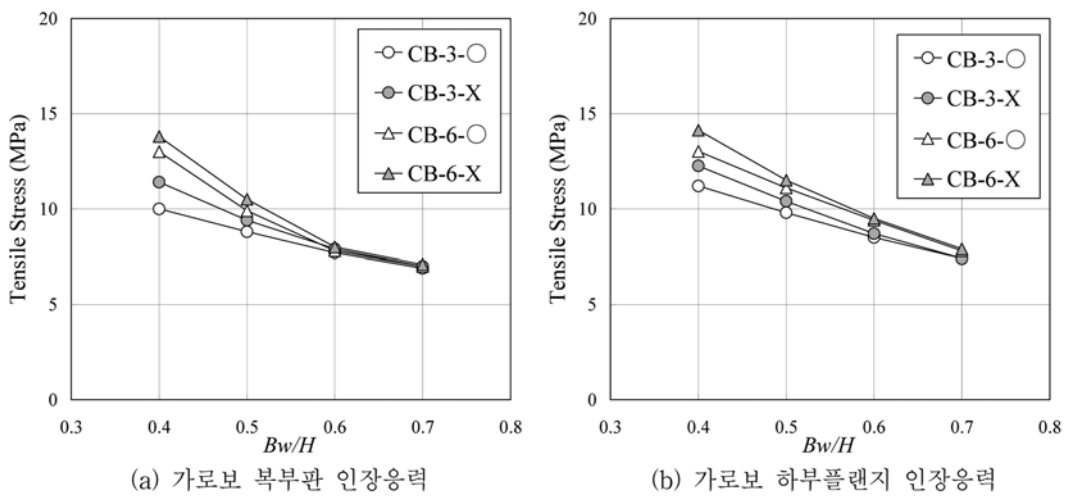


그림 7. 가로보 응력수준

력흐름을 보이고 있다. CB-3 모델과 거의 유사한 응력흐름이 발생하였다. 재하하중으로 발생한 응력은 가로보에 전달되며, 가로보에 형성된 응력은 주로 강박스거더 상부플랜지와 다이어프램 수평보강재로 전달되었다. 상대적으로 다이어프램과 니브레이스에 전달되는 응력은 매우 미소하였으며, 니브레이스 유무에 따른 응력흐름의 차이도 거의 발생하지 않았다.

재하하중으로 인하여 가로보에 발생한 응력흐름은 니브레이스로 전달되나 응력수준은 상대적으로 미소하며, 니브레이스 유무에 따른 응력흐름의 변화도 거의 발생하지 않았다. 즉, 니브레이스가 가로보-강박스거더 연결부의 강성연결을 위한 보강재로서 응력완화효과가 미비함을 알 수 있다.

3.2 가로보(Cross-beam)

가로보 응력수준을 검토하기 위해 그림 7에 보인바와 같이 가로보의 복부판과 인장플랜지(하부플랜지)의 인장응력수준을 파악하였다. 그림 7(a)는 CB-3모델(가로보길이 3 m 모델)과 CB-6모델(가로보길이 6 m 모델)의 니브레이스 유무에 따른 가로보 복부판의 인장응력을 비교하고 있다. 비교 결과, 니브레이스가 있는 모델(CB-3-O, CB-6-O)의 인장응력은 니브레

이스가 없는 모델(CB-3-X, CB-6-X)에 비해 $B_w/H=0.4$ 에서 약 2MPa 정도 낮은 응력수준을 보였다. 그러나 B_w/H 가 증가함($B_w/H>0.4$)에 따라 니브레이스 유무로 인한 응력차이는 점차 낮아졌다.

그림 7(b)는 가로보 하부플랜지의 인장응력을 나타내고 있다. 가로보 복부판과 유사한 응력수준을 보이고 있다. CB-3 모델과 CB-6모델은 $B_w/H=0.4$ 에서 니브레이스 유무로 인해 약 2 MPa 정도의 응력차가 발생하였으며, 이후 B_w/H 비가 증가함($B_w/H>0.4$)에 따라 니브레이스 유무로 인한 응력차는 점차 감소하여 $B_w/H=0.7$ 에서는 거의 발생하지 않았다.

3.3 다이어프램(Diaphragm)

니브레이스 유무에 따른 강박스거더고 중간 다이어프램의 응력수준을 검토하였다. 중간 다이어프램은 박스단면 형상을 유지할 목적으로 설치되며, 국내의 경우 해석모델에 보이는 바와 같이 중복식 다이어프램이 주로 사용된다. 중간 다이어프램은 주로 뒤틀림의 영향을 받는다는 점을 고려하여 유효응력과 전단응력을 비교 및 검토하였다(윤동성 등, 2005; 윤동성 등, 2006). 그림 8은 니브레이스 유무에 따른 다이어프램의 유효응력과 전단응력 차이를 보이고 있다.

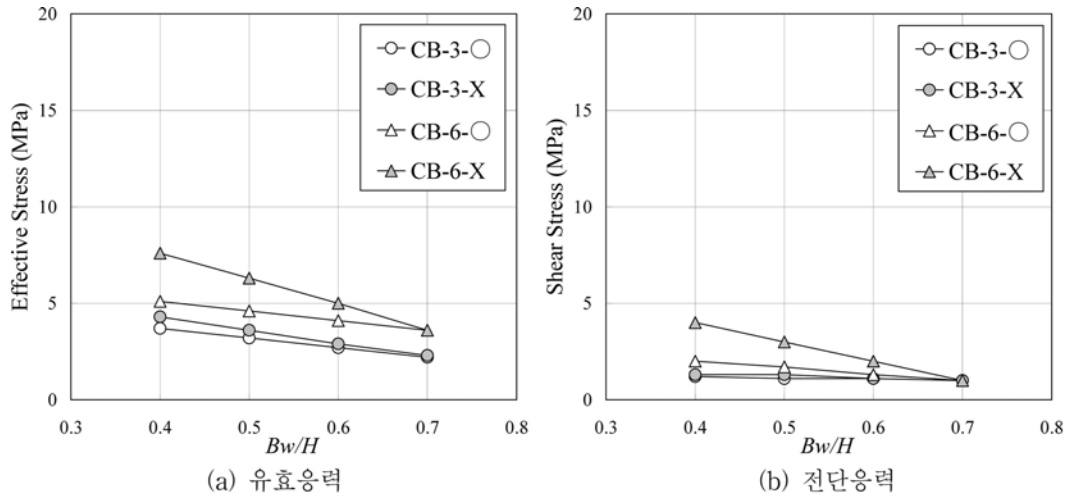


그림 8. 다이아프램의 응력수준

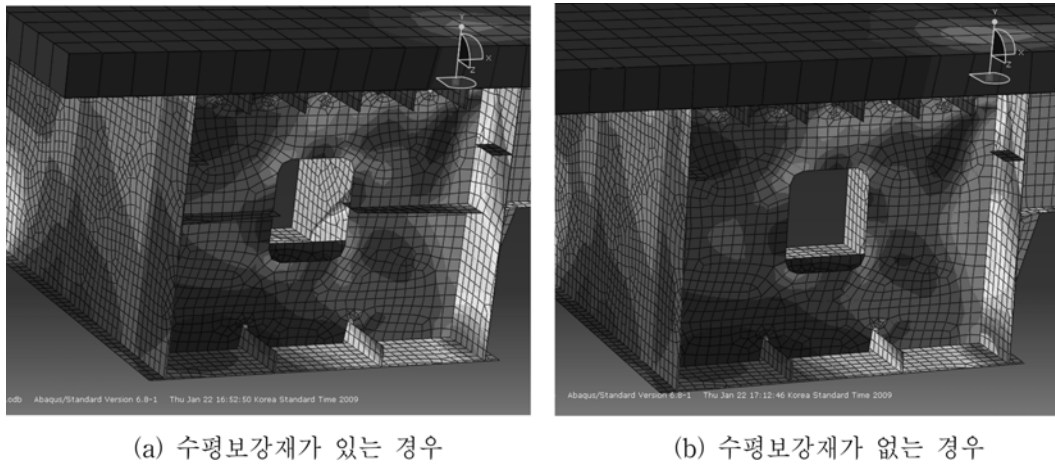


그림 9. 다이아프램 수평보강재의 응력분포 비교

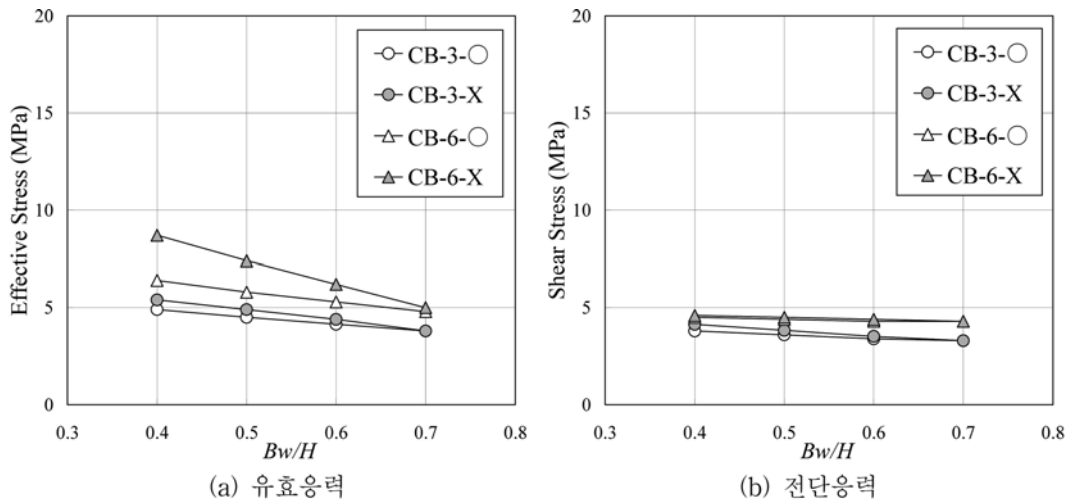


그림 10. 복부판 응력수준

그림 8(a)는 니브레이스 유무와 B_w/H (가로보·박스거더 높이비)비에 따른 다이아프램의 유효응력 수준을 나타내고 있다. CB-3 모델(가로보 길이 3m)은 전체적으로 4 MPa 이하의 낮은 유효응력수준을 보이고 있으며, 니브레이스 유무에 따른 응력차는 거의 발생하지 않았다. CB-6 모델(가로보 길이 6m)의 유효응력수준은 전체적으로 8 MPa 이하이며, 니브레이스 유무에 따른 응력차는 B_w/H 가 증가함에 따라 점차

감소하여 $B_w/H=0.7$ 에서는 거의 발생하지 않았다. 그림 8(b)는 다이아프램에 발생한 전단응력을 보이고 있다. 니브레이스 유무와 관계없이 전체적으로 4 MPa 이하의 낮은 전단응력이 발생하였다.

그림 9는 다이아프램 수평보강재 유무에 따른 CB-6-○-0.5모델의 유효응력분포를 비교하고 있다. 그림 9(a)는 수평보강재가 있는 다이아프램의 응력분포를 나타내며, 그림

9(b)는 수평보강재가 없는 다이아프램의 유효응력을 보이고 있다. 그림 9(a)와 (b)를 비교해 보면 가로보에서 다이아프램으로 전달되는 응력흐름의 상당수준을 수평보강재가 보강하고 있음을 알 수 있다. 즉, 다이아프램의 낮은 응력수준은 다이아프램 수평보강재의 보강효과에 기인하고 있음을 알 수 있다.

3.4 복부판(Web)

그림 10은 강박스거더 복부판의 유효응력과 전단응력 수준을 비교하고 있다. 그림 10(a)는 니브레이스 유무와 B_w/H 비에 따른 복부판의 유효응력을 나타내고 있다. 모든 해석모델에서 8 MPa 이하의 낮은 응력수준을 나타내고 있다. 니브레이스 유무에 따른 응력차는 2 MPa 이하이며, $B_w/H=0.7$ 에서는 거의 발생하지 않았다. 그림 10(b)는 복부판의 전단응력을 나타내고 있다. 모든 해석모델에 발생한 전단응력이 5 MPa 이하이며, 니브레이스 유무에 따른 전단응력의 차이는 거의 발생하지 않았다.

3.5 니브레이스 응력수준과 가로보 처짐

그림 11은 니브레이스의 유효응력을 나타내고 있다. CB-3

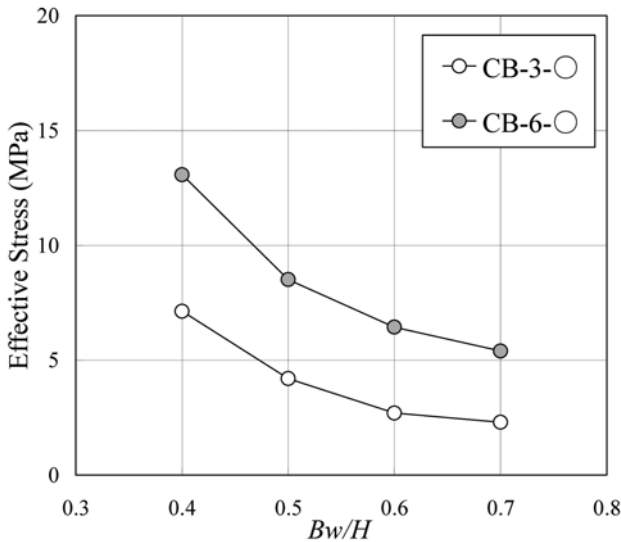


그림 11. 니브레이스 유효응력

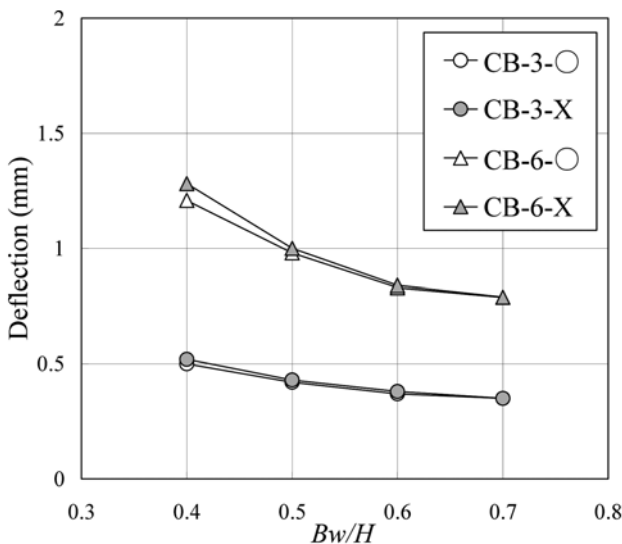


그림 12. 가로보 중앙 처짐

모델(가로보 길이 3 m)의 경우, 니브레이스는 8 MPa 이하의 응력수준을 나타냈으며, CB-6모델(가로보 길이 6 m) 경우에는 니브레이스에서 13 MPa 이하의 응력수준을 나타내었다. 니브레이스는 모두 압축응력을 받고 있으며, 니브레이스에 사용된 강재 SM400의 허용압축응력 140 MPa에 비해 매우 낮은 응력수준임을 알 수 있다(한국도로교통협회, 2005). 그리고 B_w/H (가로보-강박스거더 높이비)비가 증가함에 따라 응력수준도 감소하였다.

그림 12는 가로보의 최대처짐을 비교하고 있다. CB-3모델들은 0.5 mm 이하의 처짐이 발생하였으며, CB-6모델들은 1.3 mm 이하의 처짐이 발생하였다. 현 도로교설계기준의 처짐 허용값(CB-3=1.5 mm, CB-6=3 mm)을 모두 만족하고 있으며, 모든 해석모델에서 니브레이스 유무에 따른 처짐의 차이는 거의 발생하지 않았다.

4. 결 론

3차원 유한요소해석을 통하여 강박스거더교량 가로보 니브레이스의 보강효과를 검토하였다. 니브레이스는 가로보-강박스거더 연결부의 응력완화 및 강성연결을 위해 별도의 검토 없이 설치되는 보강재이다. 니브레이스의 보강효과를 검토하기 위해, 실제 강박스거더교량의 일반부를 대상으로 니브레이스 유무와 B_w/H 비(가로보-강박스거더 높이비)를 변수로한 유한요소해석을 수행하였다. 그리고 강박스거더교량 구성부재인 가로보, 복부판, 중간다이아프램과 니브레이스의 응력흐름, 응력수준 및 처짐을 각각 검토하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 니브레이스 유무에 따라 강박스거더교량의 응력흐름을 검토한 결과, 가로보 상단에 재하된 하중은 바닥판을 통하여 가로보 복부판 하부와 가로보 인장플랜지(하부플랜지)에 주로 전달되었다. 가로보에 형성된 응력흐름은 강박스거더 상부플랜지와 다이아프램 수평보강재에 주로 전달되었으며, 다이아프램과 니브레이스로 전달된 응력흐름은 상대적으로 낮은 수준이었다. 그리고 강박스거더교량의 전체 응력분포경향은 니브레이스설치 유무에 관계없이 거의 유사하였다. 즉, 가로보-강박스거더 연결부 보강을 위해 설치된 니브레이스는 공용중 발생하는 응력흐름이 상대적으로 낮아 구조적 보강효과가 비교적 낮을 것으로 판단된다.
2. 각 부재(가로보, 다이아프램, 복부판)의 응력수준을 검토한 결과, 가로보의 높이가 상대적으로 짧은 $B_w/H=0.4$ 에서 니브레이스 유무로 인한 응력차가 어느 정도 발생하였으나 낮은 수준이었다. 이후 B_w/H (가로보-강박스거더 높이비)가 증가함에 따라 니브레이스 유무로 인한 응력차이는 거의 발생하지 않았다. 즉, 니브레이스 설치에 관계없이 강박스거더교량의 발생된 응력수준은 거의 동일하며, 이와 같은 해석결과는 니브레이스 설치로 인한 가로보-강박스거더 연결부의 응력완화 및 강성보강효과가 매우 낮음을 보이고 있다.
3. 다이아프램의 응력수준은 니브레이스 유무에 관계없이 10 MPa 이하의 비교적 낮은 수준이었다. 그리고 다이아프램 수평보강재 유무에 따라 수치해석을 수행한 결과, 다이아프램에 발생된 낮은 응력수준은 다이아프램에 설치된 수

평보강제의 보강효과에 영향을 받고 있음을 알 수 있었다.

4. 공용중 니브레이스는 강박스거더교량 구성부재인 가로보, 다이어프램, 복부판의 응력거동에 거의 영향을 미치지 않으며, 낮은 응력수준 및 응력흐름이 발생하여 연결부 응력완화 효과가 매우 낮은 것으로 나타났다. 즉, 니브레이스는 가로보-강박스거더 접합부 강성연결을 위한 구조적 보강재로서의 역할을 거의 수행하고 있지 않음을 알 수 있다.

참고문헌

건설교통부(2006) 강도로교 상세부설계지침.
 길홍배, 강상규, 조준상(2008) 강박스거더교 가로보와 세로보 합리화 연구, 한국강구조학회 논문집. 한국강구조학회, 제20권 1호, pp. 1-8.
 배준성, 이두성, 이성철(2006) 후좌굴강도를 고려한 플레이트거더 복부판의 중간수직보강재 소요강성에 관한 연구, 2006 대한토목학회 정기학술대회, 대한토목학회, pp. 2244-2247.
 윤동용, 이성철(2005a) 강박스 거더교 가로보와 활하중 횡분배, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제25권 제4A호, pp. 593-599.
 윤동용, 이성철(2005b) 직선 강박스거더 교량 중간다이어프램의 설치 간격, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제25권 제2A호, pp. 421-428.
 윤동용, 안성현, 이성철(2006) 강박스거더 교량의 프레임 형식 중간다이어프램의 설계, 한국강구조학회 논문집, 한국강구조학회, 제18권 5호, pp. 515-523.
 이두성, 이성철(2008) 강곡선 플레이트거더 복부판의 전단좌굴계수에 관한 연구, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제28권 제3A호, pp. 367-373.
 한국도로공사(2004) 강도로교 설계합리화 방안.
 한국도로공사 도로교통연구원(2008) 강재 박스거더교의 부재 설계 개선 연구, 2007년도 연구보고서.
 한국도로교통협회(2005) 도로교설계기준.
 ABAQUS/Standard (2002) Theory Manual version 6.2, Hibbit, Karlsson & Sorensen. Inc.
 日本道路協會 (1980) 鋼道路橋設計便覽.
 (접수일: 2009.1.30/심사일: 2009.3.9/심사완료일: 2009.3.9)