

실물모형 시험체를 이용한 U형 강박스거더의 상부 수평브레이싱에 관한 실험적 연구: 비틀강성

Experimental Study on the Top- Lateral Bracing of U-Type Steel Box Girders Using Real Size Specimen: Torsional Stiffness

심 낙 훈¹⁾ · 박 영 석²⁾
Shim, Nak Hoon Park, Young Suk

요 약 : 본 논문에서는 실내실험을 통하여 U형 강박스거더의 상부 수평브레이싱이 비틀거동에 미치는 영향을 파악하고 기존의 제안식에 대한 적정성을 검토하기 위하여, 실제 시공되고 있는 U형 강박스거더 단면 크기의 2/3 정도 되는 캔틸레버보 형식의 시험체를 제작하여 상부 수평브레이싱의 형태 및 패널 간격에 따른 비틀강성의 효과를 파악하였다. 그 결과, 상부 수평브레이싱을 설치함으로써 거더의 비틀강성이 상당히 증가함을 알 수 있었으며, 브레이싱의 패널 구성을 가장 경제적으로 설계하기 위해서는 폭과 길이의 비가 약 1:1.5 즉, 대각선 브레이싱과 상부플랜지의 경사 예각이 약 40°로 설치하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.

ABSTRACT : In this study, a torsional test for U-type steel box girders was performed to observe the effects of the kind of panel for top lateral bracings on the torsional behavior of the U-type steel girder system. For the structural tests, the test specimen with a two-thirds scale of the system actually constructed in the field was used. In the torsional test to observe the effects of top lateral bracings, the bracings significantly increased the torsional stiffness. The most economical arrangement of the top lateral bracing was found to be the panel width to length ratio of 1:1.5 with the inclined angle of 40°.

핵심용어 : U형 강박스 거더, 비틀 강성, 횡-비틀좌굴, 수평브레이싱

KEYWORDS : U-type steel box girder, Torsional stiffness, lateral-torsional buckling, lateral bracing

1. 서론

U형 강박스거더의 설계 시에는 폐단면 강박스거더의 설계 시에 고려해야 하는 복부판 및 압축플랜지의 국부좌굴에 대한 보강은 물론이고, 상부플랜지가 분리되어 있기 때문에 시공 중에 발생할 수 있는 단면의 비틀 및 뒤틀림에 대한 추가적인 보강이 필요하다. 그러나, 우리나라 도로교설계기준에는 U형 강박스거더교의 설계를 위한 별도의 규정이 없을 뿐만 아니라, 이에 대한 연구가 부족하여 U형 강박스거더를 교량에 적용하는데 어려움이 있다. U형 강박스거더는 콘크리트 바닥판과 폐합되어 합성되기 전에는 단면의 비틀강성이 매우 작다. 따라서, 시공 중 비틀강성을 증가시키기 위하여 양쪽 상부플랜지를 연결하는 수평브레이싱을 설치해야 한다.

비록, 단면이 폐합되지는 않지만 수평브레이싱을 설치함으로써

써 가상의 폐합단면이 되어 비틀강성이 크게 증가한다.

U형 강박스거더의 운반 및 현장 거치과정에서는 주로 비틀강성의 부족으로 인한 비틀좌굴이 발생할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 비틀강성을 확보하기 위하여 설치되는 상부 수평브레이싱의 효과를 실험적으로 파악하고, 가장 경제적이고 효과적인 브레이싱의 형태 및 패널 수를 파악하기 위하여 실제 시공되고 있는 U형 강박스거더 단면 크기의 2/3정도 되는 캔틸레버보 형식의 시험체를 제작하여 비틀실험을 수행하였다.

2. 연구동향

사다리꼴 강박스거더는 판의 두께가 거더 단면의 높이와 폭에 비하여 작고, 거더 단면의 치수가 거더 길이에 비해 상당히 작기 때문에 박벽보(thin-walled beams)로 볼 수 있다. 이러

1) 교신저자, 정회원, 명지대학교 토목환경공학과 연구원, 공학박사
(Tel. 031-336-8892, Fax. 0505-436-8386, E-mail: nhshim96@mju.ac.kr)
2) 정회원, 명지대학교 토목환경공학과 교수, 공학박사(pys@mju.ac.kr)

본 논문에 대한 토의를 2007년 2월 28일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

한 박벽보 이론에 대한 연구는 1961년에 Vlasov에 의해 처음으로 수행되었다. 그는 박벽보와 후벽보(thick-walled beam)에 같은 하중을 재하하여 그 거동의 차이점을 설명하였다. 그리고, Vlasov는 뒤틀림(warping torsion)을 설명함에 있어 순수 비틀모멘트와 St. Venant에 대응하는 휨모멘트 및 뒤틀림 전단응력을 구분하여 설명하였다.

1967년 Zbirohowski-Koscia는 개단면 박벽보(open-section thin-walled beams)의 이론을 Vlasov에 의해 설명된 휨과 특성을 사용하여 설명하고 이를 간단하게 수학적으로 증명하였다. 1969년에 Kollbrunner 와 Basler는 박벽의 개단면 또는 폐단면을 갖는 단순보와 연속보에 대한 비틀해석을 통하여 그 거동을 설명하였다. 추가로, Kollbrunner와 Basler는 유사 폐단면 박스거더(pseudo-closed box girder)의 비틀해석을 위하여 등가판이론(EPM: equivalent plate method)을 개발하였다.

1968년 Dabrowski는 비균일 비틀에 관한 곡선박스거더의 기본식을 처음으로 유도하였다. 그는 개단면, 유사 폐단면, 그리고 폐단면의 단면특성을 구하기 위한 계산방법을 예를 들어 설명하였다. 1968년 Wright, Abdel-Samad, 그리고 Robinson은 단일 지간의 직선 사다리꼴 박스거더에 대하여 비틀하중의 뒤틀림 성분에 기인한 응답을 묘사하는 미분방정식과, 선형 기본이론에 의한 보의 응답을 설명하는 미분방정식 사이의 유사성을 개발하였다.

1974년 Oleinik과 Heins는 단순지간 곡선 박스거더에서 고정하중과 활하중에 의한 뒤틀림 응력의 크기를 예측하는 설계식을 개발하였다. 내부 다이아프램의 소요 간격을 구하기 위한 그들의 경험식들은 하부플랜지에서 공칭 뒤틀림 응력을 제한한 것에 근거를 두었다. 추가로, 그들이 변수 연구에 사용한 모든 단면은 폭에 대한 높이가 1보다 작은 직사각형 박스 단면이었다. 1978년 Heins는 경제적인 박스거더 설계를 위해 거더의 구조적 거동을 시험하여 설계지침을 마련하였다.

1981년부터 1985년까지 Branco와 Green은 박스거더의 전반적인 안정성과 변형에 관한 시공 중 하중과 브레이싱 조건의 영향을 연구하기 위하여, 단순지간의 직선 개단면과 유사 폐단면인 사다리꼴 박스거더의 축소모델 시험체를 이용하여 비틀하중 하에서 실험을 하였다. 그들은 뒤틀림 응력을 방지하는 웨브의 수직보강재와 내부 다이아프램의 효과를 연구하였다. 1985년 Siddigui는 집중 비틀하중 하에서 폐단면의 직사각형 직선 박스거더와 사다리꼴 직선 박스거더의 1/4 축소모형을 이용하여 실험하였다. 그 연구의 목적은 박스거더 단면의 뒤틀림이 뒤틀(warping)과 뒤틀림 응력을 유발한다는 것과, 내부 다이아프램을 설치하는 것이 이러한 응력을 감소시킬 수 있다는 것을 실험적으로 확인하기 위한 것이었다.

1988년 Nakai와 Yoo는 곡선 박스거더에 있어서 지배방정식의 형식과 해법을 제시하였다. 그들은 또한 내부다이아프램 설계기준이 포함되어 있는 일본의 설계코드와 설계기준에 대하여 토의했다. 1989년 Yabuki와 Arizumi는 대칭적이며 편심된 등분포하중과 집중하중 하에서 단일지간 곡선 박스거더의 공칭응력 분포와 단면 변형을 조사하였다. 그들은 BEF 해석을 이용한 변수 연구를 통하여 내부 다이아프램의 설치 간격을 제시하였다. 그들의 변수 연구에 사용된 모든 단면은 격벽이 없는 직사각형 박스 단면이다.

2000년 Helwig와 Fan은 시공 중 하중이 작용하는 동안에 유사 폐단면 사다리꼴 박스거더의 상부 횡방향 브레이싱과 내부 K-브레이싱 시스템에 대한 작용력을 평가하기 위한 설계식을 개발하였다. 2001년부터 2002년까지 Sennah와 Kennedy는 single-cell, multiple spine, 그리고 multicell 단면의 형식으로 직선 박스거더와 곡선 박스거더의 설계를 위한 현재의 지침서 개발과 관련된 가장 중요한 참고문헌들을 요약하였다.

2004년 Yura는 실교량 단면크기와 유사한 U형 직선 박스 거더 시험체를 제작하여 상부 횡방향 브레이싱과 메탈 데크플레이트를 설치한 경우의 휨 및 비틀거동을 기존의 제안식과 비교하였으며, 이를 토대로 U형 강박스 거더의 상부 횡방향 브레이싱 설계기준을 제안하였다.

3. 시험체 제원 및 경계조건

본 실험에 사용된 U형 강박스거더 시험체는 실물모형 단면의 2/3 크기로 축소하여 제작하였으며 유한요소해석을 병행하여 설계하였다. 그리고, 최대하중은 시험체가 탄성범위 내에서 거동할 수 있도록 작용시켰다. 시험체의 상부와 하부 플랜지 및 복부판에는 모두 SM520 강재를 사용하였고, 다이아프램과 브레이싱에는 SS400 강재를 사용하였다. 두 강재의 항복강도(Fy) 및 인장강도(Fu)를 표 1에 나타내었다.

표 1. 강재의 항복강도 및 인장강도

부 재	강 종	Fy(MPa)	Fu(MPa)
상·하부 플랜지 및 복부판	SM520	360	520
다이아프램, 브레이싱	SS400	240	400

본 실험을 위하여 제작한 시험체는 실제 교량에서 주로 사용되는 사다리꼴 단면이며, 그림 1과 그림 2에 시험체의 종방향 제원 및 단면 제원을 나타내었다. 시험체의 총 길이는 14.8m 이고 지점부 및 재하부를 제외한 순수 측정구간은 12m이며,

그림 1과 같이 시험체 끝단에서 30cm 안쪽에서 비틀 모멘트를 작용시켰다. 그리고, 좌측 지점 사이의 2m 구간은 캔틸레버보의 고정단과 같은 지점조건을 구현하기 위하여 지지보에 충분히 고정시켰다.

그림 2와 같이 시험체는 개단면이기 때문에 지점부나 하중 작용점에서의 국부 변형과 단면 뒤틀림이 발생할 수 있다. 이를 방지하기 위하여 지점부에는 그림 3과 같은 다이아프램을 설치하였고, 하중 작용점에는 그림 4와 같은 K-형 다이아프램을 설치하였다.

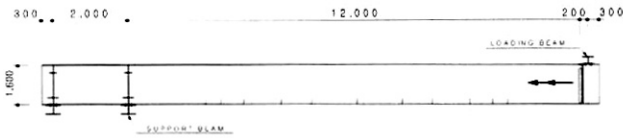


그림 1. 시험체의 종방향 제원

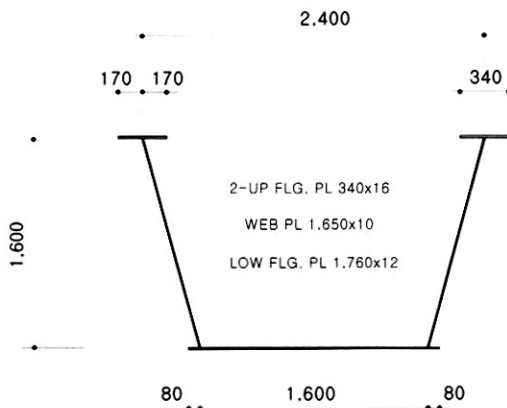


그림 2. 시험체의 단면제원

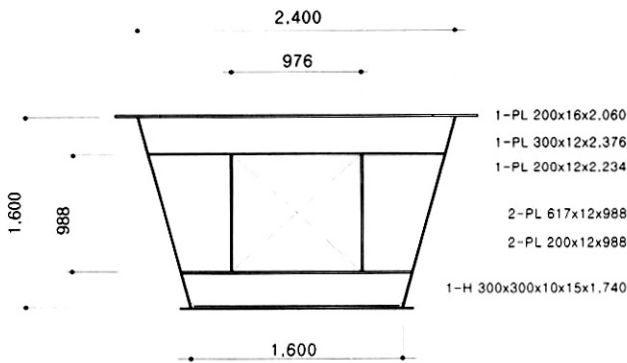


그림 3. 지점부 다이아프램

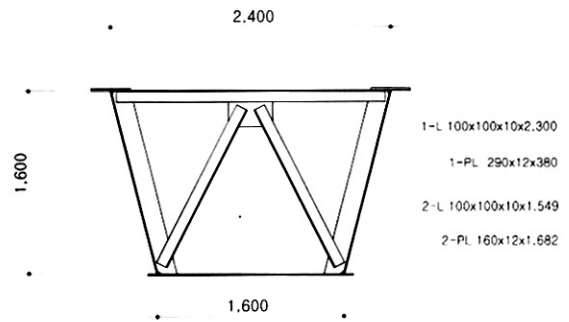


그림 4. 하중 작용점의 다이아프램

본 실험에 사용된 시험체의 경계조건은 앞의 그림 1과 같이 2개의 지점으로 캔틸레버보의 고정단 역할을 할 수 있도록 하였으며 실제 측정구간은 캔틸레버보로 구성하였다. 그리고, 자유단에 연결된 두 대의 가력기를 서로 반대방향으로 작용시켜 비틀모멘트 하중을 작용시킴으로써 캔틸레버보 측정구간에 비틀모멘트가 발생하도록 하였다.

그림 5와 같이 캔틸레버보 자유단의 양쪽 상부플랜지에 500kN 용량의 가력기 2대를 설치하여 같은 속도로 같은 크기의 하중을 그림 6과 같이 서로 반대방향으로 작용시켰다. 이때, 하중 작용점에서는 자유단의 조건이 만족되도록 시험체의 길이방향 및 횡방향으로 이동과 회전이 가능하도록 하였다.

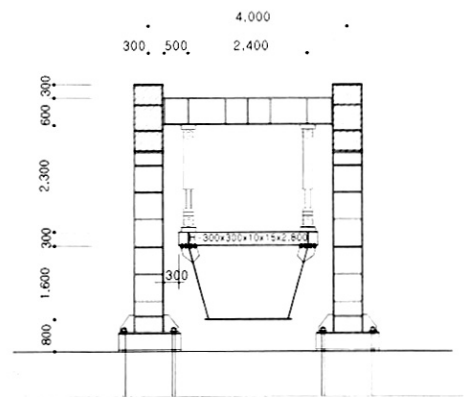


그림 5. 재하 시스템

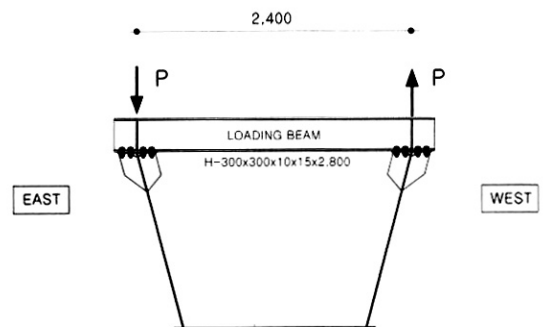


그림 6. 비틀하중 재하방법

4. 센서 부착위치 및 실험조건

4.1 센서 부착위치

실험 중 하부플랜지의 수직처짐, 상부플랜지의 수평변위 및 변형률, 그리고 브레이싱 응력을 측정하기 위하여 1/100mm의 정밀도를 갖는 변위계와 스트레인게이지를 부착하고 정적 데이터로거를 이용하여 자료를 수집하였다. 수직처짐을 측정하기 위한 변위계는 시험체의 자유단과 중앙부에 그림 7 및 그림 8과 같이 단면 좌우에 2개씩 총 4개를 설치하였으며, 수평변위 측정을 위한 변위계는 자유단의 상부와 하부플랜지에 그림 7 및 그림 9과 같이 각각 1개씩 총 2개를 설치하였다. 그리고, 실험 중에 작용하중이 강재의 항복강도를 넘지 않도록 하기 위하여 그림 10과 같이 상부플랜지에 변형률게이지를 부착하여 실시간으로 관찰하면서 실험하였다.

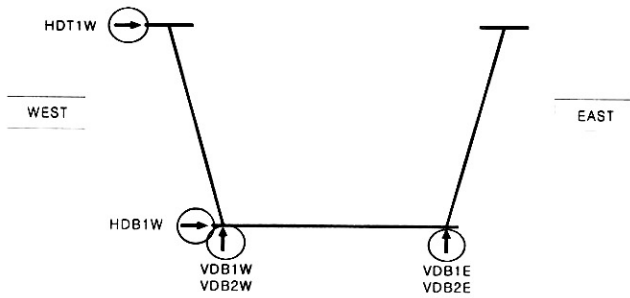


그림 7. 변위계 설치 단면도

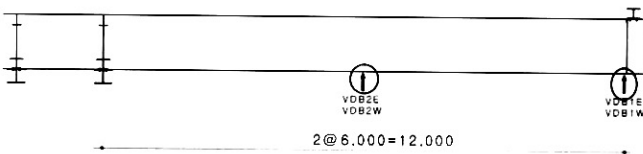


그림 8. 수직변위계 설치 위치(측면도)

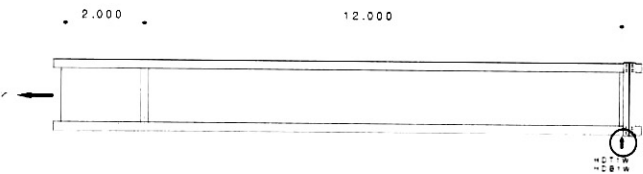


그림 9. 수평변위계 설치 위치(평면도)

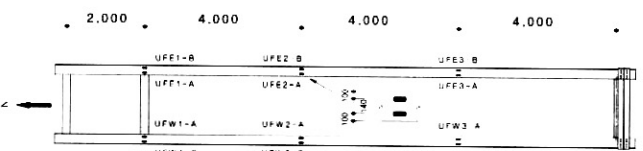
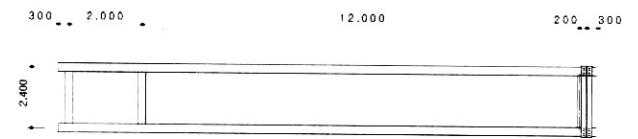


그림 10. 상부플랜지의 변형률게이지 부착 위치(평면도)

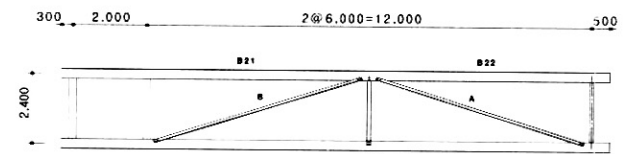
4.2 실험경우

본 실험에서는 상부 수평브레이싱이 U형 강박스거더의 비틀림 거동에 미치는 영향을 파악하기 위하여 수직브레이싱은 설치하지 않고 상부 수평브레이싱만을 설치하여 그림 11과 같이 수평브레이싱의 형상 및 설치 간격에 따라 10가지 조건으로 나누어 비틀림 실험을 수행하였다. 각 실험경우에 대하여 2패널의 경우에 패널번호를 B21, B22로 나타내었고, 6패널의 경우에는 B61, B62, B63, B64, B65, B66으로 나타내었다. 그리고, 상부 수평브레이싱의 대각선 부재는 부재의 방향에 따라 그림과 같이 A 또는 B로 나타내었고 스트럿은 S로 표시하였다. X형 수평브레이싱의 경우에는 한 패널에 A와 B의 대각선 부재가 모두 있는 경우이다.

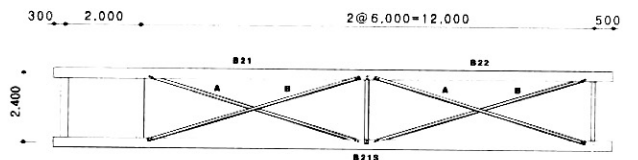
그림 12는 W형의 상부 수평브레이싱 패널이 6개인 경우에 대한 실험사진을 대표적으로 나타낸 것이다.



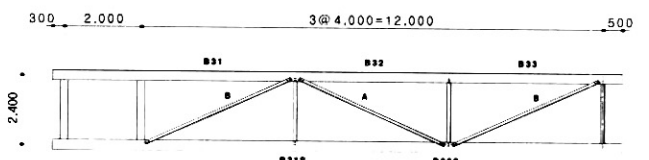
(a) CTNB



(b) CTW2



(c) CTX2



(d) CTW3

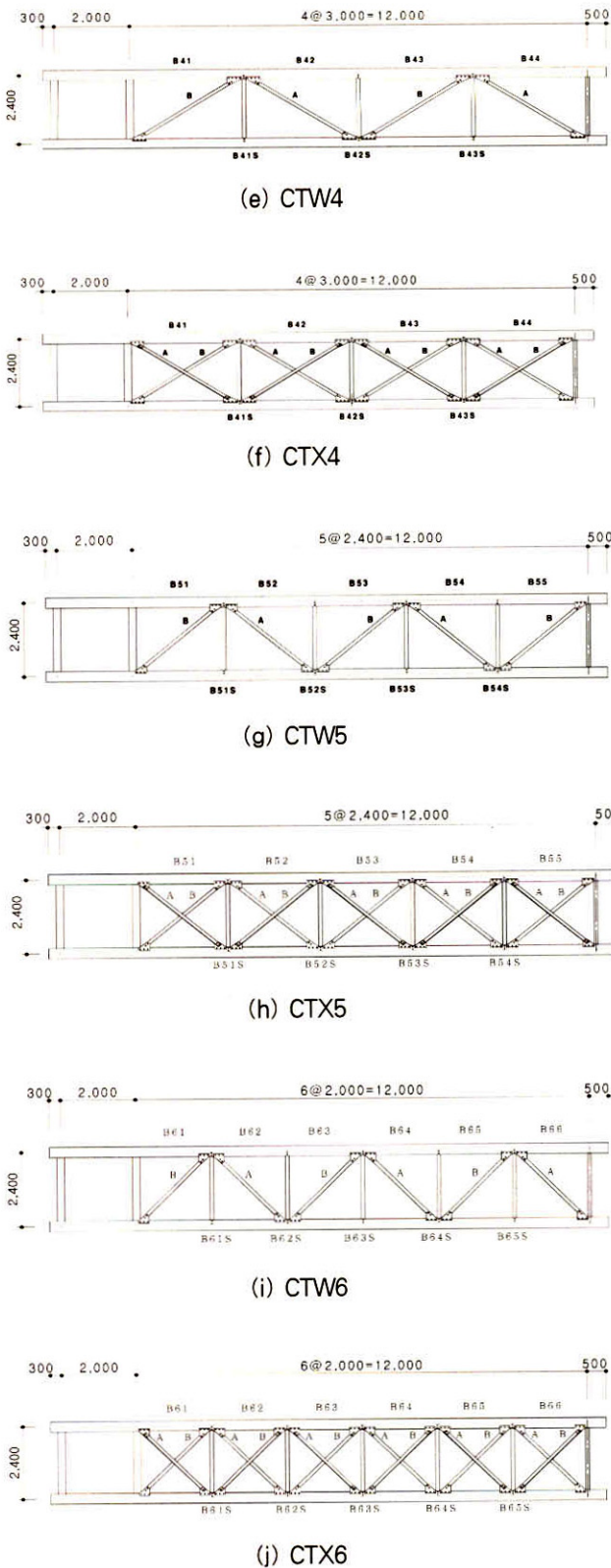


그림 11. 상부 수평브레이싱의 배치 및 부재기호

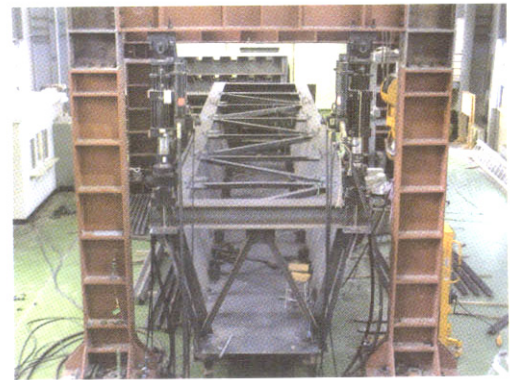


그림 12. 대표적인 비틀실험 전경

5. 유한요소해석

유한요소해석에서는 LUSAS Version 13.7을 사용하여 그림 13과 같이 3차원 해석을 실시하였으며, 상·하부 플랜지 및 복부판은 4절점 평판요소를 사용하고 수평브레이싱은 보 요소를 사용하여 모델링하였다. 그리고, 전체 부재 수는 36,234 개이고 절점 수는 90,876개이다. 강재의 탄성계수는 $2.1 \times 10^5 \text{ MPa}$ 을 사용하였고, 포아송비(poisson's ratio)는 0.3을 사용하였다. 이러한 유한요소해석을 통한 해석결과는 6장에서 실험결과와 함께 나타내었다.

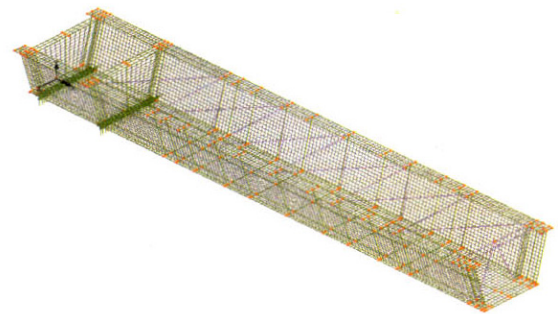


그림 13. 유한요소해석 모델

6. 실험 결과 및 분석

6.1 Torque-Twist 응답

캔틸레버보 자유단의 수직변위를 이용하여 모든 실험의 Torque-Twist 그래프를 그림 14에 나타내었다. 그래프의 모든 경우들이 비교적 선형거동을 나타내고 있으며, 상부 수평브레이싱의 패널 수가 많을수록 기울기가 증가하며 또한, W형 보다는 X형의 기울기가 증가하는 경향을 나타내었으며, CTX6의 기울기가 가장 크게 나타났다. CTW3의 경우에는 수평브레

이상의 볼트연결 상태가 불안정하여 다른 경우와는 경향이 다른 결과가 발생한 것으로 판단된다.

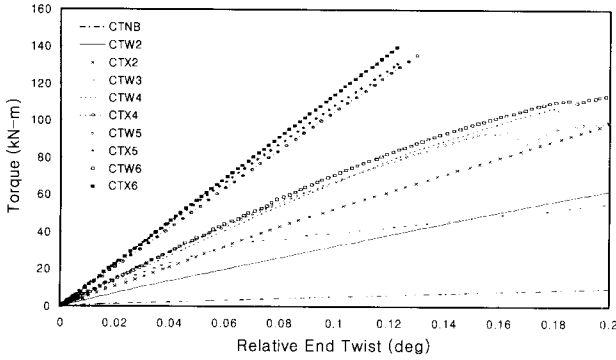


그림 14. 수평브레이싱의 실험조건별 Torque-Twist 응답

6.2 비틀 강성

그림 14의 그래프 기울기로 표현되는 비틀강성을 유한요소 해석에 의한 결과와 함께 표 2에 나타내었다. 그림 15는 상부 수평브레이싱의 형태에 따른 비틀 강성을 상대적으로 비교하기 위하여 브레이싱을 설치하지 않은 경우(CTNB)의 비틀강성을 기준으로 각 실험조건별 비틀 강성의 증가율을 나타낸 것이다.

표 2에서 FEM 해석과 실험 결과를 비교하면 2패널인 경우를 제외하고 10% 이내로 잘 일치하는 것으로 나타났다. 그리고, 해석값과 실험값이 전반적으로 잘 일치하나 FEM 해석값이 더 크게 나타나므로 유한요소해석으로 구한 비틀강성에 적절한 안전율을 적용하여 설계에 적용하여도 큰 무리가 없을 것으로 판단된다.

표 2. 비틀강성(kN-m/deg) 비교

실험조건	① FEM	② 실험값	②/①
CTNB	40	45	1.13
CTW2	408	336	0.82
CTX2	672	527	0.78
CTW3	607	561	0.92
CTW4	733	676	0.92
CTX4	1,071	1,059	0.99
CTW5	802	734	0.92
CTX5	1,142	1,113	0.97
CTW6	807	737	0.91
CTX6	1,154	1,154	1.00

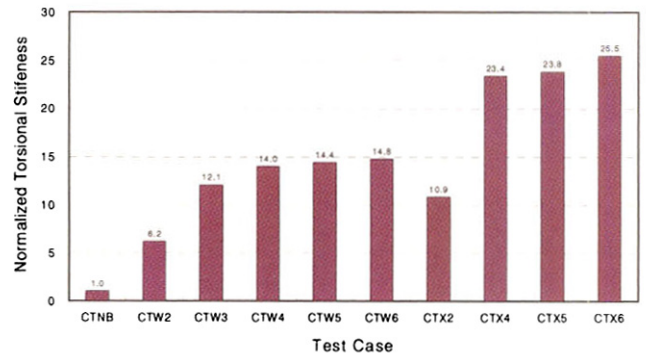


그림 15. 실험값의 상대적인 비틀 강성 비교

그림 15에서 W형과 X형 브레이싱 모두 4패널 이후부터는 비틀강성 증가량이 감소하는 경향을 나타내고 있다. 패널 수의 증가는 상부플랜지의 종방향 축과 수평브레이싱의 대각선 부재가 이루는 각(사재경사각)이 증가하는 것을 의미하며, 4패널 이후의 비틀강성 증가량이 작아지는 원인을 사재경사각에 관한 변수로 보고 유한요소해석을 실시하였다. 유한요소해석에서는 5장과 같은 LUSAS ver. 13.7을 사용하였으며 지간 길이를 24m로 하여 더 많은 패널 수에 대하여 해석을 실시하였다. 그림 16은 해석 결과를 브레이싱 경사각과 비틀강성에 관한 그래프로 나타낸 것이다.

FEM 해석에 의한 브레이싱 경사각과 비틀강성 관계를 나타내는 그림 16에서도 확인할 수 있듯이 실험값의 4패널에 해당하는 경사각인 약 40° 이후부터는 비틀강성의 증가 기울기가 감소한다. 따라서, 상부 수평브레이싱 설계 시 브레이싱 부재의 세장비를 고려하여 좌굴이 발생되지 않는 범위에서 대각선 브레이싱의 경사각이 40° 이하가 되도록 설계하는 것이 효율적일 것으로 판단된다.



그림 16. FEM 해석에 의한 사재 경사각과 비틀강성의 관계

6.3 등가 판두께

실제 U형 강박스거더의 상부 수평브레이싱 구조는 비틀과 뒹의 영향을 동시에 받지만, 실험적으로 U형 강박스거더 상부 수평브레이싱의 등가 판두께를 산정하기 위해서는 유사 폐단면이 순수비틀의 지배를 받는다고 가정한다(Blank, 1973). 실험적인 등가 판두께는 그림 17에 나타난 Torque-Twist 그래프의 기울기를 이용하여 다음 식 (2)로 구할 수 있다.

$$t_{eq} = \frac{b_{eq}}{\frac{4GA_o^2}{(T/\theta')_{exp}} - \left[\frac{b_{bf}}{t_{bf}} + 2 \frac{b_w}{t_w} \right]} \quad (2)$$

여기서, b , t : 하부플랜지와 복부판 각각의 폭과 두께

$(T/\theta')_{exp}$: $T - \theta'$ 그래프의 기울기

b_{eq} : 등가 판의 폭(복부판 사이의 거리)

θ' : 회전변화량 (rad/mm)

A_o : 사각형중심선으로 둘러싸인 박스 단면적

그리고, 주어진 한점 i 에서의 회전변화량은 식 (3)과 같다.

$$\theta_i = \frac{\theta_i - \theta_0}{L} \quad (3)$$

여기서, θ_0 : 내측 기준점(고정단)의 회전

L : 기준점 0로부터 구하고자하는 i 점까지의 거리

비틀 모멘트와 회전변화량의 관계 그래프를 나타난 그림 17에서 각 경우의 기울기를 식 (2)에 대입하여 등가 판두께를 계산하였으며 실험값과 유한요소해석 값을 표 3에 함께 나타내었다. 참고로, 표 3에 나타난 FEM 해석결과는 5장에서 수행한 길이 12m의 시험체 해석결과를 사용한 것이다. 결과를 살펴보면, 실험결과가 해석결과와 대체로 잘 일치하지만 유한요소해석으로 구한 등가 판두께가 전반적으로 큰 값을 나타내므로 U형 강박스거더의 상부 수평브레이싱 설계 시에 유한요소해석으로 구한 등가 판두께에 적절한 안전율을 적용하여 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

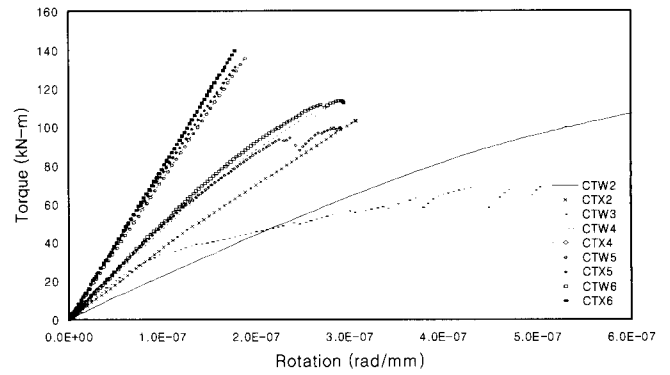


그림 17. 비틀모멘트-회전변화량 관계

표 3. 등가 판두께(mm)

실험조건	① FEM	② 실험값	②/①
CTW2	0.212	0.173	0.82
CTW3	0.321	0.296	0.92
CTW4	0.393	0.360	0.92
CTW5	0.433	0.394	0.91
CTW6	0.436	0.395	0.91
CTX2	0.358	0.277	0.77
CTX4	0.595	0.588	0.99
CTX5	0.639	0.622	0.97
CTX6	0.647	0.647	1.00

7. 결론

U형 강박스거더의 비틀강성을 확보하기 위하여 설치하는 상부 수평브레이싱의 형태 및 패널 수에 대한 적합한 기준을 도출하기 위하여 비틀실험을 실시하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

W형과 X형 브레이싱 모두 4패널 이후부터는 비틀강성 증가량이 감소하는 경향을 나타내었다. 이를 바탕으로 합리적인 브레이싱 경사각을 찾기 위하여 지간장 24m에 대하여 유한요소해석을 실시한 결과 실험값의 4패널에 해당하는 경사각인 38.7° 이후부터는 비틀강성의 증가 기울기가 감소하였다. 따라서, 상부 수평브레이싱 설계 시 브레이싱 부재의 세장비를 고려하여 좌굴이 발생되지 않는 범위에서 대각선 브레이싱의 경사각이 40° 이하가 되도록 설계하는 것이 효율적일 것으로 판단된다.

그리고, 실험과 FEM 해석에 의한 등가 판두께를 비교한 결과 대체로 잘 일치하지만 유한요소해석으로 구한 등가 판두께가 전반적으로 큰 값을 나타내므로 U형 강박스거더의 상부 수평브레이싱 설계 시에 유한요소해석으로 구한 등가 판두께에

적절한 안전율을 적용하여 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 교량설계핵심기술연구단을 통하여 지원된 건설교통부 건설핵심기술연구개발사업에 의하여 수행되었습니다. 연구 지원에 감사드립니다.

그리고, 이 논문은 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음. (No. M01-2004-000-10157-0)

참고 문헌

- 건설교통부 (2005) "도로교설계기준" 한국도로교통협회.
- 심낙훈, 오귀환, 박영석 (2004) "축소모형 시험체를 이용한 U형 강박스거더의 실험적 연구-I: 횡비틀 좌굴 거동" 대한토목학회논문집 제24권 제 4A호 pp. 829-836.
- 심낙훈, 오귀환, 박영석 (2004) "축소모형 시험체를 이용한 U형 강박스거더의 실험적 연구-II: 비틀 거동" 대한토목학회논문집 제24권 제 4A호 pp. 837-843.
- AASHTO Guide Specifications for Horizontally Curved Steel Girder Highway Bridges, American Association of State Highway and Transportation Officials, 2003.
- Basler, K., and Kollbrunner, C. F. (1969). *Torsion in structures -An engineering approach*, Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Blank, D. (1973). *Stiffening Effects of Cold Formed Decks on Box Beam Bridges*. Masters Thesis, University of Maryland, June, 170 pp.
- Branco, F.A. (1981). *Composite box girder bridge behavior*, thesis presented to the University of Waterloo, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Applied Science.
- Branco, F.A. and Green, R. (1985). *Composite Box Girder Behavior During Construction*. Journal of the Structural Engineering Division, ASCE, Vol. 111, No.3, March, pp.577-593.
- Chen, M. S.(2002) *Top-Lateral Bracing Systems for Trapezoidal Steel Box-Girder Bridges*. Dissertation, University of Texas at Austin, December.
- Dabrowski, R. (1968). *Curved Thin-Walled Girders-Theory and Analysis. Translation*, Cement and Concrete Association, London.
- Fan, Zhanfei (1999) *Field and Computational Studies of Steel Trapezoidal Box Girder Bridges*, thesis presented to The University of Houston, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy.
- Gilchrist, Christopher (1997) *Buckling Behavior of U-Shaped Girders*, thesis presented to The University of Texas at Austin, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Engineering.
- Helwig, T. and Fan, Z. (2000). *Field and computational studies of steel trapezoidal box girder bridges*, Research Report No. 1395-3, The University of Houston, August.
- Helwig, T.A., Yura, J.A., and Frank, K.H. (1993) *Bracing Forces in Diaphragms and Cross Frames*, Structural Stability Research Council Conference, April 6-7, Milwaukee, WI.
- Helwig, T.A., (1994) *Lateral Bracing of Bridge Girders by Metal Deck Forms*, The University of Texas at Austin.
- Nakai, H. and Yoo, C.H. (1988). *Analysis and Design of Curved Steel Bridges*. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Oleinik, J.C. and Heins, C.P. (1974). *Diaphragm spacing requirements for curved steel box beam bridges*. C.E. Report No. 58, Civil Engineering Research, Civil Engineering Department, University of Maryland at College Park, Maryland, August.
- Sennah, K.M and Kennedy, J.B. (2001). *State of the Art in Design of Curved Box-Girder Bridges*. Journal of Bridge Engineering, Vol. 6, No. 3, May/June, pp. 159-167.
- Sennah, K.M. and Kennedy, J.B. (2002). *Literature Review in Analysis of Box-Girder Bridges*. Journal of Bridge Engineering, American Society of Civil Engineers, Vol. 7, No. 2, March/April, pp. 134-143.
- Siddiqui, A.H. (1985). *Effects of diaphragms on warping and distortional stresses in box girder bridges*. thesis presented to the University of Ottawa, Ontario, Canada in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Applied Science in Civil Engineering.
- Vlasov, V. Z. (1961). *Thin-walled elastic beams*. 2nd edition, National Science Foundation, Washington D.C.
- Wright, R.N., Abdel-Samad, S.R., Robinson, A.R. (1968). *BEF Analogy for Analysis of Box Girders*. Journal of the Structural Engineering Division, ASCE, Vol. 94, No.ST7, July, pp.1719-1743.
- Yabuki, T. and Arizumi, Y. (1989). *A Provision on intermediate diaphragm spacing in curved steel-plated box-bridge-girders*. Structural Engineering/

Earthquake Engineering, Japan Society of Civil Engineers, Vol. 6, No.2, October, pp. 207-216.
Yura, Joseph A. (1996) *Winter's Bracing Approach Revisited. Engineering Structures*, Vol. 18(10), Elsevier Science Ltd., Great Britain, pp. 821-825.

Zbirohowski-Koscia, K. (1967). *Thin walled beams: From theory to practice*. Crosby Lockwood & Son Ltd, London.
(접수일자 : 2006. 4. 12 / 심사일 2006. 5. 2 /
심사완료일 2006. 7. 5)