

편심 하중에 의한 강철도교 세로보의 비틀림 거동

Torsional Behavior of the stringer on the Steel Railway Bridge due to Eccentric Loads

김 성 남* / 성 익 현** / 김 종 현*** / 강 영 종****

Kim, Seong Nam / Sung, Ik Huyn / Kim, Jong Heun / Kang, Young Jong

Abstract

The centroid of rail doesn't coincide with the centroid of stringer on target truss bridge. If there is no eccentricity on the bridge, bending stress works only. But in the real design and execution, not only bending stress works but also torsional stress does because of it's eccentricity. So this study evaluates how much the torsional stress by eccentricity effects joint members on the bridge. We investigate the possibility to control torsional stress if we model longitudinal bracing between stringers.

key words : eccentricity load, bending stress , torsional stress , longitudinal bracing

요 지

본 연구의 대상교량은 세로보와 레일의 중심선이 일치 하지 않으며 편심거리가 존재 한다. 편심이 존재 하지 않는 설계-시공이라면 실제 세로보에서는 열차 하중에 의해 휨 응력만이 발생 하게 된다. 그러나 실제 설계-시공 상에서는 세로보와 레일의 중심선이 일치하지 않고 이러한 세로보와 레일의 편심에 의해서 침묵 에 휨이 발생한다. 이에 따라 침묵과 연결되어 있는 세로보에는 휨 응력뿐만 아니라 추가로 비틀림 응력도 발생 하게 된다. 이러한 비틀림 응력이 세로보 절취부에 미치는 영향과 수직 브레이싱을 설치 하였을 경우 의 영향에 대해서 분석해 보도록 한다.

핵심용어 : 편심하중, 휨응력, 비틀림 응력, 수직 브레이싱

1. 서 론

하중이 재하되는 세로보의 경우 하중이 세로보의 중심에 재하 한다면 휨 거동을 하며 휨 응력만이 발생한다. 그러나 하중이 편심거리를 두고 작용한다면 세로보에는 휨 거동에 비틀림 거동이 추가 되면 마찬가지로 비틀림 응력도 발생하게 된다.¹⁾ 편심이 존재 하지 않는 설계-시공이라면 실제 세로보에서는 열차 하중에 의해 휨 응력만이 발생 하게 된다. 단선 재하일 경우 전체적인 구조물에는 비틀림이 발생할 수 있지만 가로보나 트러스의 강성이 세로보의 강성보다 상대적으로 크기 때문에 세로보 자체에서는 휨 응력이 지배적으로 발생 하게 된다. 그러나 실제 설계-시공상에서는 세로보와

레일의 중심선이 일치하지 않고 이러한 세로보와 레일의 편심에 의해서 침묵에 휨이 발생하며 이에 따라 침묵과 연결되어 있는 세로보에는 휨 응력뿐만 아니라 추가로 비틀림 응력도 발생 하게 된다. 본 연구 대상교량의 경우 가로보와 세로보가 연결된 부분에서 세로보 절취 부를 시점으로 세로보의 북부판에 균열이 발생하였다. 절취부의 경우 응력 집중이 발생하며 이는 편심 하중이 아닌 휨 응력만을 고려한다고 해도 응력 집중이 상대적으로 크게 발생한다.²⁾ 부가하여 편심하중에 의한 비틀림 응력이 더해진다면 절취 부의 응력 집중은 증가 할 것이다. 본 연구 대상교량은 세로보와 레일의 중심선이 일치 하지 않으며 세로보와 레일의 편심 거리는 28.25cm 이다.³⁾ 28.25cm는 설계 시 고려된 편

* 정희원, 고려대학교 토목환경공학과 박사 과정 (E-mail: magach7@korea.ac.kr)

** 정희원, 한서대학교 토목공학과 교수, 공학박사

*** 정희원, 고려대학교 토목환경공학과 연구조교수, 공학박사

**** 정희원, 고려대학교 토목환경공학과 교수, 공학박사

심량이며 실제 외관 조사에 의하면 시공 오차에 의해 28.25cm를 기준으로 대략 20cm 내외의 오차를 두고 시공 되었다.⁴⁾ 따라서 본 연구에서는 편심 하중을 고려 하였을 경우에 발생 하게 될 비틀림 응력 값을 산정하여 절취부에 미치는 영향을 평가하도록 한다. 또한 세로보와 세로보 사이에 수직브레이싱을 추가 하였을 경우에 편심에 세로보 비틀림에 기인하는 면외 응력을 제어 할 수 있을 지에 대해 분석하도록 한다. 해석 모델의 경우 세로보의 수직브레이싱 설치에 따른 영향을 보기 위해서는 세로보가 셸(Shell)로 구성된 전체 해석 모델을 사용하는 방법과 세로보와 세로보가 연결된 가로보를 포함하는 국부모델을 사용하는 방법을 고려할 수 있다. 전체 해석 모델의 경우 가로보 양단에는 실제 처짐과 처짐각이 발생하고 이러한 가로보 끝단 처짐이 세로보의 거동에 미치는 영향을 잘 고려할 수 있으나, 세로보 절취 부 응력을 해석하기 위하여 과도하게 많은 요소를 필요로 함으로 실제 해석 적용이 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 가로보의 양단을 고정으로 가정한 국부 해석 모델을 중심으로 사용하여 연구를 수행 하였다.

2. 구조 해석

2.1 해석 모델

본 연구 대상 교량은 3경간 연속 트러스 교이고 경간장은 3@90.0 = 270m 이다. 해석 모델은 그림2와 같이 대상교량 트러스 구간 중 가로보와 그리고 인접한 가로보 사이의 세로보들로 구성된 구간의 가로보 2개와 세로보 4개를 4절점 셸 요소를 사용하여 모사하고 수평브레이싱, 수직브레이싱, 침목등을 6자유도 보 요

소(Lusas)를 사용하여 구성하였다. 본 해석 모델은 트러스 전체의 처짐 특성에 의하여 발생하는 가로보의 양단 처짐이 세로보에 미치는 영향에서는 다소 오차를 수반하지만 이러한 영향은 상대적으로 세로보의 거동에 미치는 비중이 매우 작다고 볼 수 있다. 반면 세로보의 거동에 가장 큰 영향을 주는 하중에 의한 거동은 정확히 모사할 수 있으며 충분한 요소를 사용할 수 있어 정확한 해석을 수행할 수 있다.

본 연구 대상 교량의 경우 열차의 하중이 세로보 중심에 작용 하지 않고 레일과 세로보사이의 편심거리를 두고 침목을 통해 세로보에 작용한다. 따라서 실제의 거동과 유사한 거동을 보이기 위해 레일과 침목을 모사 하였으며 또한 수직 브레이싱의 유무에 따른 세로보 횡방향 거동의 영향을 파악하기 위해 수직 브레이싱을 다음과 같이 모사 하였다. 그림 2와 같이 묘사된 침목과 수직브레이싱은 침목의 경우 일반적으로 사용되는 23*23 단면의 제원을 사용하였으며, 수직브레이싱의 경우 변형에 대한 충분한 강성을 발현 하도록 하여 수직브레이싱만의 영향을 고려 할 수 있도록 단면 강성은 수평브레이싱의 10배값을 사용하였다. 침목의 경우 세로보와 연결제로 연결된 상태를 유사하게 모사 하기 위하여 그림 2와 같이 세로보 플랜지 양 끝단과 중앙 점에 11.5cm 길이의 연결용 보 요소를 수직으로 설치하여 침목과 연결하였다. 사용된 보는 전단면적을 아주 작은 값을 주어서 침목이 침목의 축방향 변위에 대해서는 충분히 자유롭고 침목의 양단 처짐각은 정확하게 세로보로 전달되도록 하였다. 또한 수직브레이싱의 경우에는 세로보와 연결부에서 축력만 전달할 수 있도록 모델을 구성하였다.

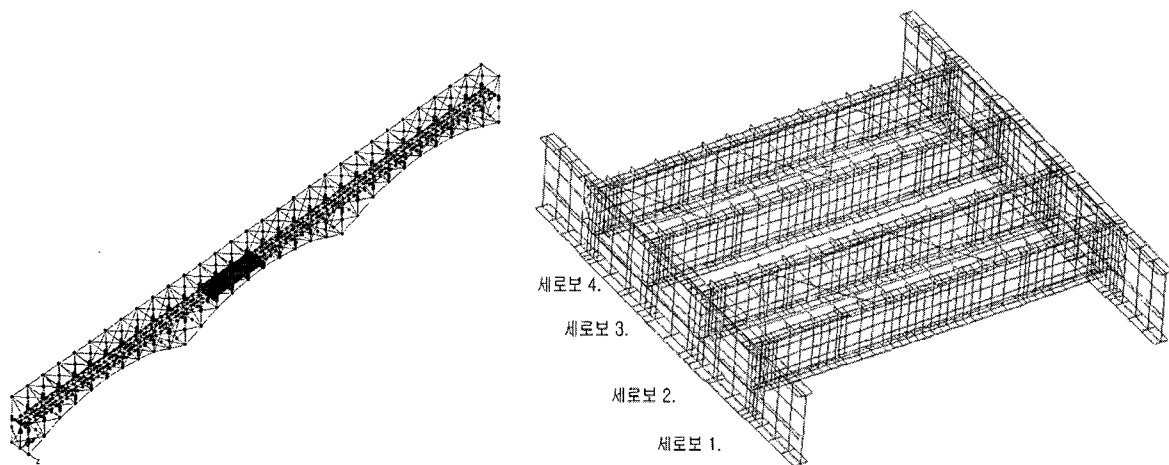


그림 1. 셸과 보요소를 사용한 전체 해석 모델과 국부 모델

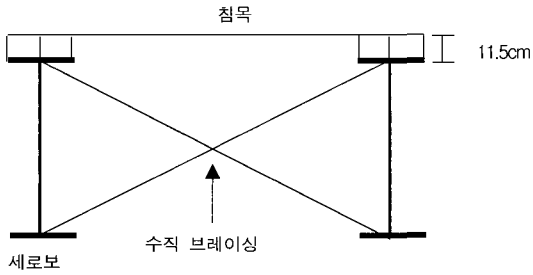


그림 2. 해석 모델의 침목과 세로보, 수직브레이싱 모사

지점 조건은 국부 해석 모델에서 가로보 양 끝단에서 4 부분에 대해 축력과 모멘트에 대하여 지점을 구속시켜서 해석을 수행 하였다. 다음 표 1 은 해석모델에 사용된 침목과 수직 브레이싱 그리고 수평브레이싱의 단면 값이다.

2.2 하중 재하

세로보 한 공간에 대해서 최대 하중이 작용하는 조

건을 고려하였으며, 이는 길이 방향으로 그림 3과 같이 세로보 중심으로부터 같은 거리에 열차의 반량씩 타도 록 하중을 대칭되게 재하 하였다. 횡방향으로는 선로 의 한쪽에만 단선 재하 하였다. 바퀴 당 하중의 크기는 10,500kgf이며 그림 3과 같이 바퀴 8개를 고려하여 총 하중 84,000kgf를 재하 하였다.⁵⁾⁶⁾⁷⁾

2.3 하중 조건

실제-시공 상에서 시공 상의 오차에 의해 세로보위에 레일이 있는 것이 아니라 세로보가 일정하지 않게 휘어져 있고, 또한 철로의 레일과 교량의 세로보의 중심선이 일치하지 않으므로 실제 교량에서는 휨 거동뿐만 아니라 비틀림 거동도 보이게 된다.⁸⁾ 따라서 이러한 실제 교량을 고려하기 위해서 그림 4와 같이 세로 보 위에서 직접 하중을 재하한 경우와 세로보와 철로 사이의 편심거리 28.25cm떨어진 레일 위에 재하한 해석을 수행하여 비교하였다.

표 1. 단면의 제원

	침목	수직브레이싱	수평브레이싱
단면적(A: cm ²)	529	22.59	22.59
탄성계수(E: kgf/cm ²)	1.68×10 ⁵	2.1×10 ⁷	2.1×10 ⁶
단면2차 모멘트(I _x : cm ⁴)	23320	371.9	371.9
단면2차 모멘트(I _y : cm ⁴)	23320	371.9	371.9

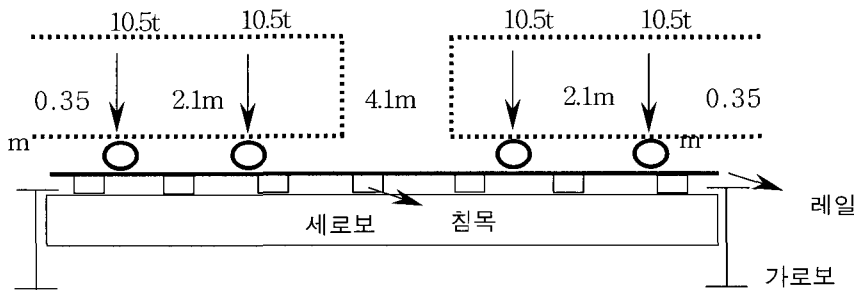
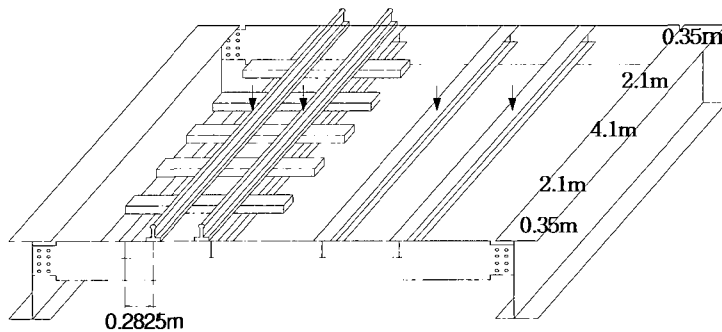


그림 3. 종 방향 하중재하 및 해석 모델의 구성



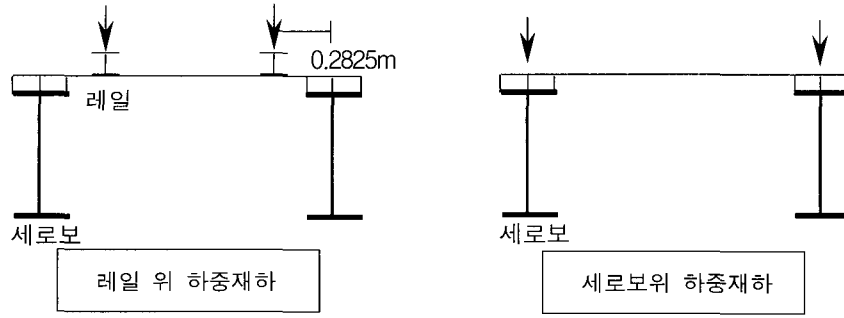


그림 4. 횡방향 하중 위치에 따른 해석모델

또한 수직브레이싱이 세로보의 비틀림 거동에 미치는 영향을 연구하기 위하여 세로보 중앙에 그림 5와 같이 수직브레이싱이 설치된 경우를 해석하여 비교하였다. 수직브레이싱의 9m 세로보의 중간에 X형식의 브레이싱으로 모사 하였다.

3. 해석 결과 분석 및 검토

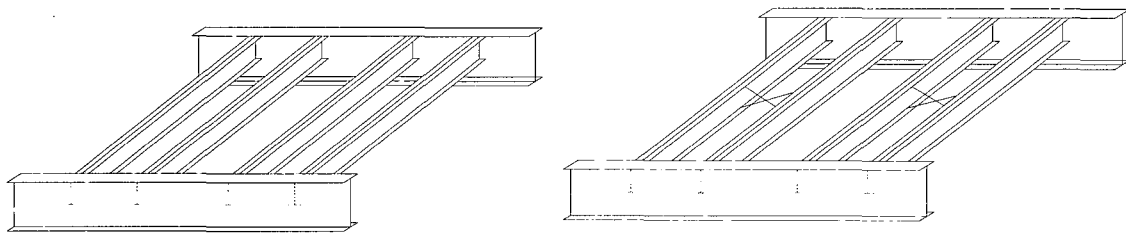
3.1 응력에 대한 검토

3차원 유한 요소 해석을 통하여 절취 부 응력을 평가하기 위해 그림 6과 같이 해석 모델을 구성 하였다. 그림 6은 가로보와 세로보 연결부의 절취부의 요소 및 요소 번호를 나타낸다. 절취부의 응력은 해석시 사용된 요소의 크기에 민감하다. 본 연구에서 고려한 요소는 정확한 응력값을 얻고자 하는 정밀한 국부 해석용이라기 보다는 하중 조건 및 해석 모델 조건에 따른 절취부에서의 응력값의 상대 비교를 목적으로 하였다. 즉 하중의 조건과 수직브레이싱의 유무의 조건이 세로보의 횡 거동에 미치는 영향을 보고자 하는 것이기 때문에 응력값은 이러한 조건에 대한 상대적인 값으로서의 의미가 크다. 세로보의 횡 거동은 근본적으로 레일 위의 하중이 침목의 휨 거동을 유발하고 세로보위의 침목에 발생하는 처짐각이 세로보의 비틀림을 유발하는 것에 주로 기인한다. 이를 검토하기 위하여 그림 4와 같이 하중이 레일위에 작용할 때와 세로보 위에 작용할 때를 해석하였다. 그림 7은 세로보 위에 하중이 작용한 경우 및 레일 위에 하중이 작용한 경우의 절취부 변형을 보여준다. 휨

하중만이 작용하였을 경우에는 절취부의 횡방향 거동을 볼 수 없으나 편심하중이 작용할 경우 절취부의 시작부분이 횡방향 거동을 보임을 확인 할 수 있다. 응력에 대한 검토 시 4번째 세로보(외측)의 경우, 수평브레이싱이 세로보 북부판과 가로보의 연결부에 가까이 있기 때문에 응력 검토시 수평브레이싱에 의한 국부적인 영향에 의하여 복잡한 응력 분포를 보인다. 때문에 응력 검토를 위해서는 3번째 세로보에 대해서 각 하중별로 비교 분석을 수행했다.

실제 본 연구의 대상 교량에서 세로보 북부판 연결부의 절취 부 주위에서 균열이 발생하였기 때문에 응력에 대한 비교 분석은 세로보의 절취 부에서 이루어졌다. 응력을 비교 분석한 북부판 연결부 절취 부에서의 요소 번호는 그림 6과 같다.

세로보 절취부에 발생하는 수직응력은 크게 두 가지로 구분된다. 첫째는 휨 거동에 의한 응력성분이고 둘째는 세로 보의 비틀림에 따라 국부적으로 발생하는 국부 판 휨 응력 성분이다. 휨 응력 성분은 판 두께에 따라 일정하게 분포되어 면내응력이라 정의하고 평판 휨응력 성분은 두께에 따라 선형으로 분포하여 면외응력이라 정의한다. 이러한 응력의 특성은 그림 8에 도시되어 있다. 본 연구에서는 쉘 요소의 두께에 따라 상부, 중앙, 하부에 발생하는 응력값을 그림 8과 같이 면내 응력과 면외 응력으로 분리하여 나타내었다. 세로보에 면내 응력만이 존재 하는 경우에 비해 면외 응력이 추가 된다면 절취부에서의 응력 집중에 의한 영향은 증가 할 것이다.



<수직브레이싱 없는 경우>

<수직브레이싱이 있는 경우>

그림 5. 수직브레이싱 설치 여부에 따른 해석 모델

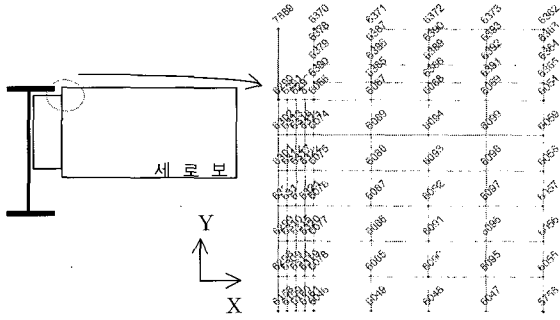


그림 6. 복부판 연결부 절취 부 검토 요소

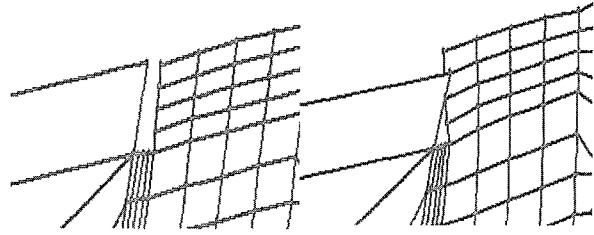


그림 7. 휨 하중과 편심 하중에 의한 변형

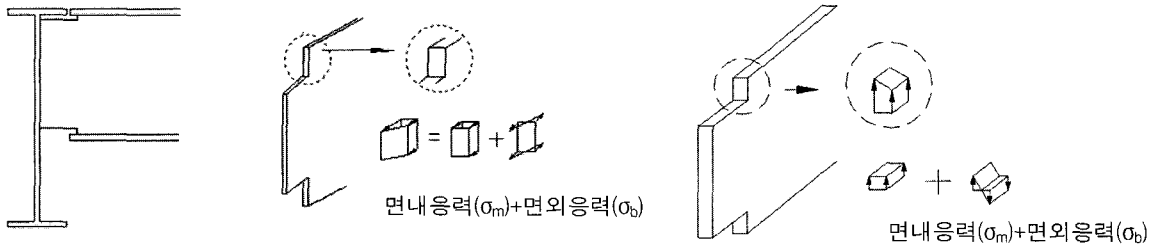


그림 8. 절취부 교축방향 및 연직 방향의 면내응력과 면외응력

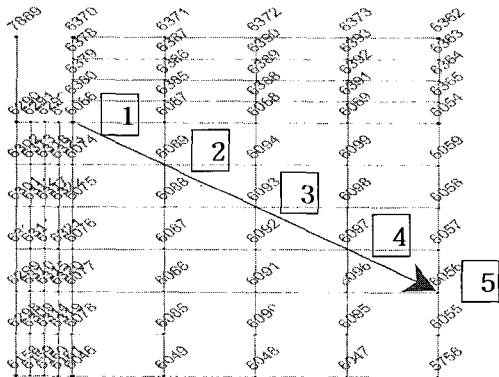


그림 9. 응력 검토를 위한 절취 부 절점번호

그림 9는 절취부의 요소와 절점번호를 보여준다. 그림 9에 나타난 절점 6066과 6056을 잇는 선을 따라 존재하는 5개의 절점위치에서 면내응력과 면외 응력 값을 조사하였다.

그림 10은 세로보 위에 하중을 재하한 경우와 레일 위에 하중을 재하한 경우의 세로보 절취부에 발생하는 교축방향 면내응력과 면외응력을 그래프로 나타낸 것이다. 그림 10의 그래프에서 관찰할 수 있듯이 세로보 위에 하중을 준 경우는 편심이 없으므로 비틀림 거동은 거의 없고 휨 거동이 지배적이다. 따라서 면내응력이 지배적이고 면외응력은 발생하지 않는다는 것을 알 수 있다. 그러나 레일 위에 하중을 준 경우는 면내응력은 비슷한 값을 유지하고 있는 반면 면외응력은 상당

히 증가하고 있음이 명백하다. 표 2는 세로보 위 등가 하중의 경우와 레일 위 하중의 경우에 대하여 면외 응력을 면내응력에 대한 비로 나타낸 것이다.

세로보 위에 하중을 재하한 경우는 면외 응력이 면내응력의 1%내의 작은 값을 보이지만 레일 위에 하중을 재하한 경우는 40%에 이르는 큰 면외 응력이 발생한다는 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 수직브레이싱이 세로보의 면외 거동에 미치는 영향을 파악하기 위해 면외거동을 유발하는 레일 위 하중에 대해서만 고려하도록 한다.

세로보의 면외 거동을 검토하기 위해서는 레일 위 하중을 재하 하는 것이 필수적이다. 따라서 앞으로는 레일 위에 재하하는 하중만을 고려하였으며 수직브레이싱이 절취부 면외응력에 미치는 영향을 조사하였다. 표 3과 표 4는 각각 수직브레이싱 유무에 따른 교축방향의 면내응력과 면외응력 그리고 연직방향의 면내 응력과 면외 응력을 나타낸다. 표 3을 살펴보면 수직브레이싱의 유무에 의한 면내 응력의 변화는 거의 없고 면내 응력에 비해 면외응력의 비중이 상당하다는 것을 알 수 있다. 또한 수직브레이싱을 설치함으로써 면외응력의 변화는 있으나 그 변화량은 크지 않다는 것을 알 수 있다. 절취부 6066(1번)절점에서 수직브레이싱이 없는 경우 -770kgf/cm^2 이었으나 수직브레이싱이 있는 경우는 -855kgf/cm^2 로 오히려 면외응력이 증가하였다.

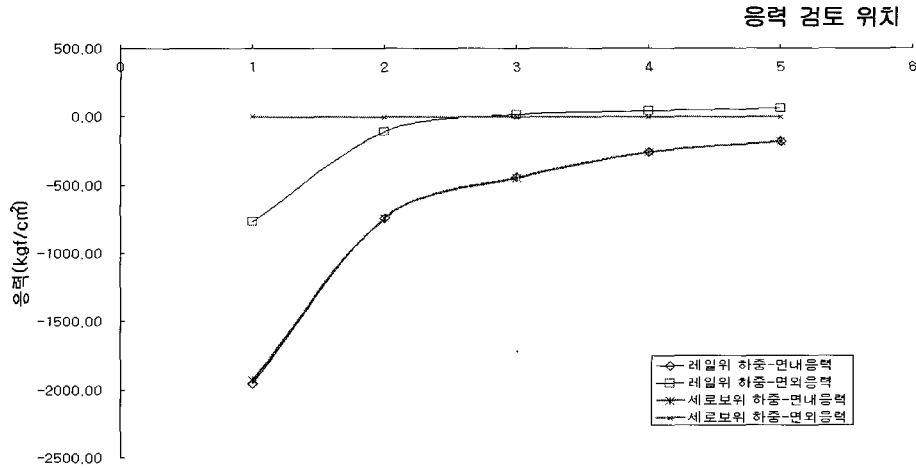


그림 10. 하중에 따른 면내응력과 면외응력

표 2. 세로보 위 등가 하중 재하시 및 레일위 하중재하시의 면외응력과 면내응력 비

절점 번호	세로보 위 등가 하중 재하			레일위 하중 재하		
	면내응력 (σ_m)	면외응력 (σ_b)	$\sigma_b/\sigma_m(\%)$	면내응력 (σ_m)	면외응력 (σ_b)	$\sigma_b/\sigma_m(\%)$
1	-1935.00	2.50	-0.129	-1960.00	-770.00	39.286
2	-747.50	-3.25	0.435	-743.50	-115.50	15.535
3	-450.50	-1.75	0.388	-443.50	12.50	2.818
4	-258.50	-1.75	0.677	-256.50	43.50	16.959
5	-182.00	-1.50	0.824	-182.50	57.50	31.507

표 3. 수직브레이싱 유무에 따른 교축방향 절취부 응력(kgf/cm²)

수직브레이싱이 없는 경우				수직브레이싱이 있는 경우			
절점 번호	면내응력 (σ_m)	면외응력 (σ_b)	$\sigma_b/\sigma_m(\%)$	절점 번호	면내응력 (σ_m)	면외응력 (σ_b)	$\sigma_b/\sigma_m(\%)$
1	-1960.00	-770.00	39.286	1	-1955.00	-855.00	43.734
2	-743.50	-115.50	15.535	2	-742.50	-138.50	18.653
3	-443.50	12.50	2.818	3	-443.00	-1.00	0.226
4	-256.50	43.50	16.959	4	-256.00	35.00	13.672
5	-182.50	57.50	31.507	5	-181.50	51.50	28.375

표 4. 수직브레이싱 유무에 따른 연직방향 절취부 응력(kgf/cm²)

수직브레이싱이 없는 경우				수직브레이싱이 있는 경우			
절점 번호	면내응력 (σ_m)	면외응력 (σ_b)	$\sigma_b/\sigma_m(\%)$	절점 번호	면내응력 (σ_m)	면외응력 (σ_b)	$\sigma_b/\sigma_m(\%)$
1	-1250	2890	-231.20	1	-1245	2925	-234.94
2	-495	625	-126.26	2	-491.5	618.5	-125.84
3	-657	325	-49.47	3	-656.5	319.5	-48.67
4	-777	233	-29.99	4	-779	231	-29.65
5	-739	186	-25.17	5	-738.5	182.5	-24.71

표 4를 살펴보면 연직방향 응력의 경우도 교축방향 응력과 비슷한 경향을 보여 수직브레이싱에 의한 절취부 응력 감소는 기대할 수 없음을 볼 수 있다. 특히, 면

외응력이 면내응력 보다도 큰 절점이 많아 교축방향 법선 응력에 비하여 면외응력의 비중이 더욱 커서 절취부 절점 6066(1번)에서는 2925kgf/cm²의 면외응력

이 발생하고 있다.

3.2 횡방향 변위에 대한 검토

응력 검토와 더불어 세로보의 횡방향 변위를 통해 수직 브레이싱이 세로보의 횡방향 거동에 미치는 영향을 평가 하도록 한다. 그림 11과 그림 12는 각각 브레이싱 유무에 따라 내측 외측 세로보의 횡방향 변위를

나타낸 것이다. 그림의 'wb'는 수직브레이싱이 있는 경우이고 'wob'는 수직브레이싱이 없는 경우이다. 그림 11과 그림 12를 살펴보면 전반적으로 상당한 횡방향 변위가 발생하고 있는 것을 보여준다. 그러나 수직브레이싱의 유무에 따라 횡방향 변위의 특성은 상당히 변화하지만 그 크기의 증감을 전반적으로 보인다고는 말하기 어렵다.

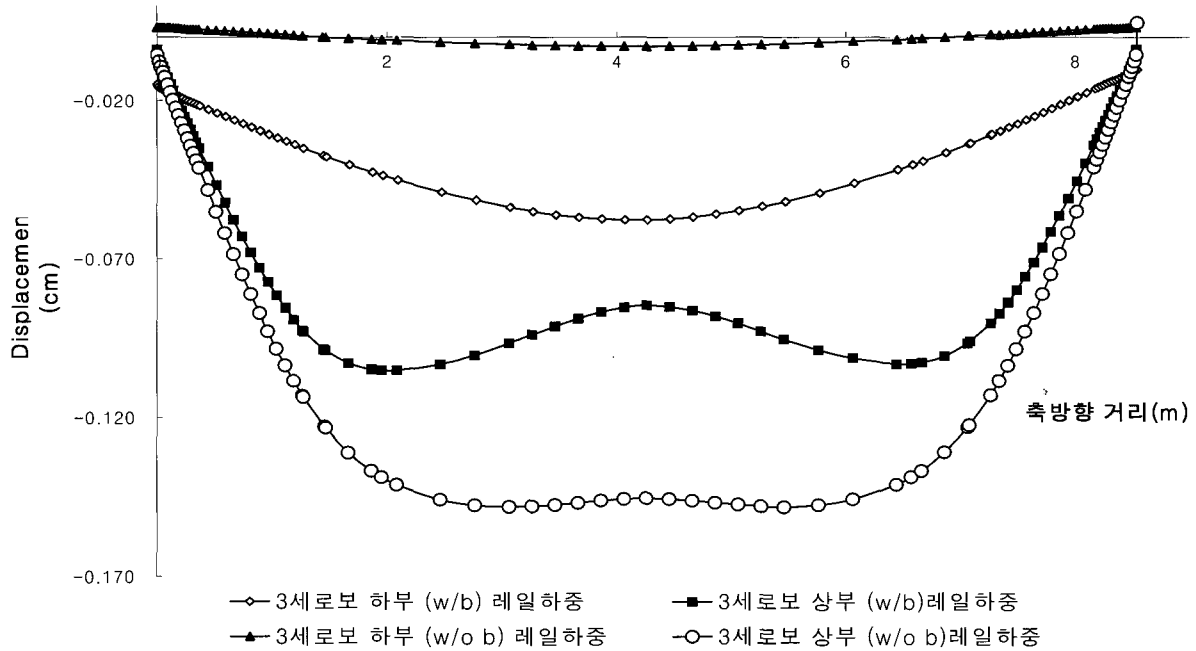


그림 11. 내측 세로보의 횡방향 처짐

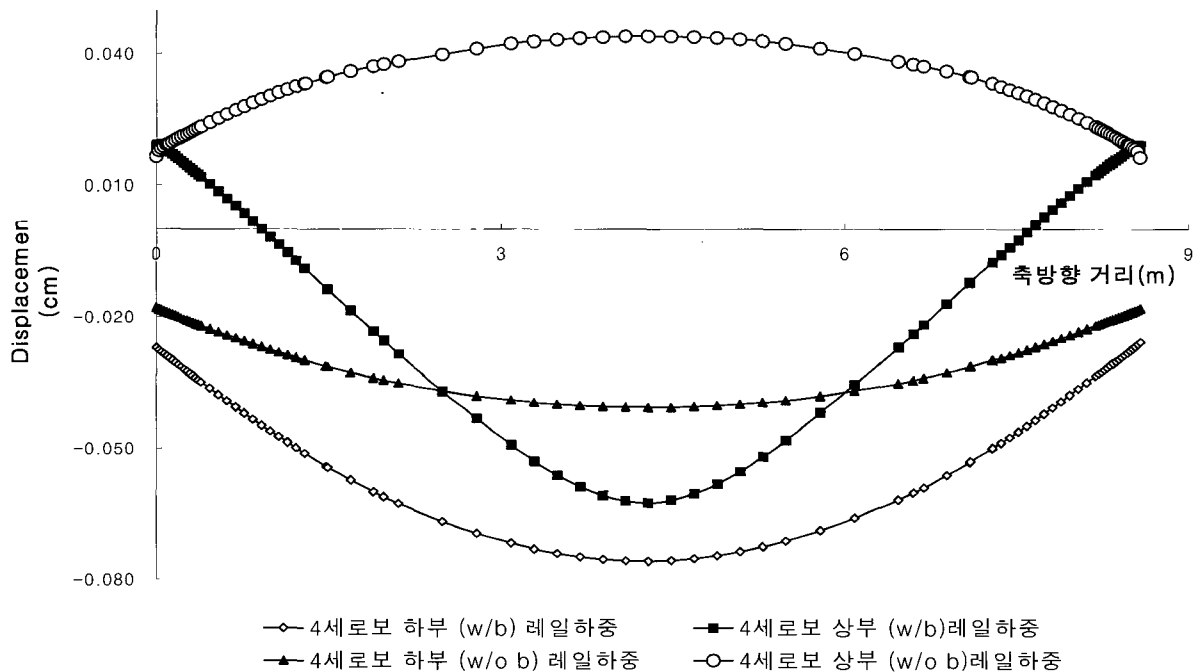


그림 12. 외측 세로보의 횡방향 처짐

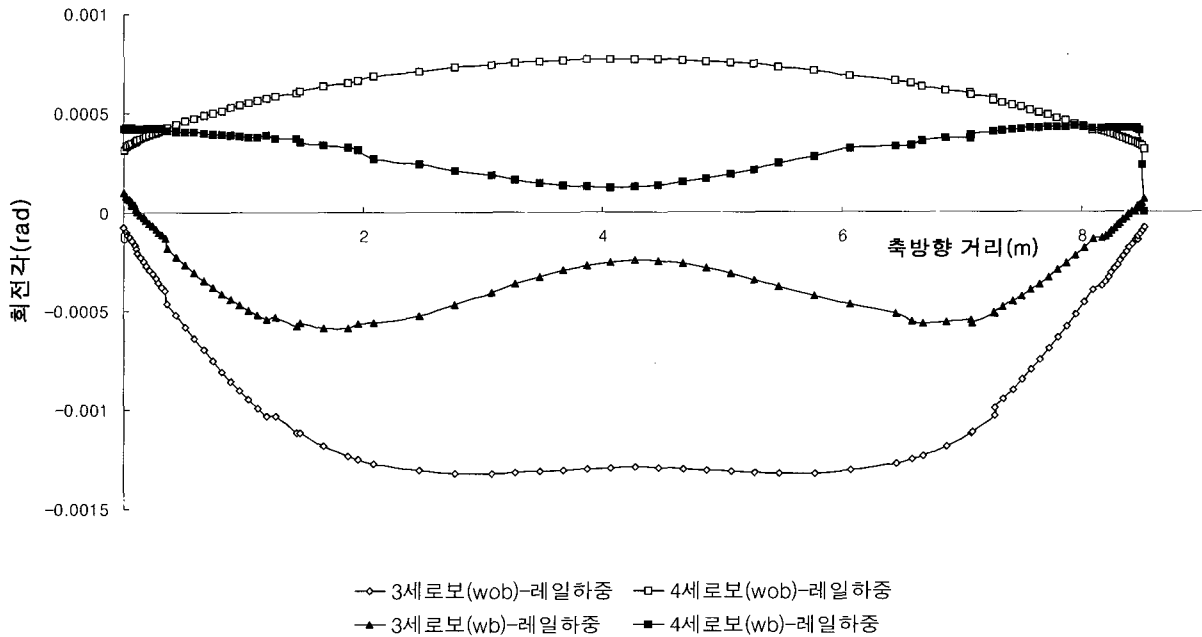


그림 13. 수직브레이싱 유무에 따른 내측 외측 세로보의 비틀림 회전각

세로보 플랜지의 횡방향 변위는 근본적으로 세로보의 비틀림 거동에 기인한다. 세로보의 상,하부 플랜지의 횡방향 변위의 차를 복부판 깊이로 나누면 단면의 평균 비틀림 회전각을 구할 수 있다. 그림 13은 이 비틀림 회전각을 수직브레이싱 유무에 따라 나타낸다. 그림 13을 살펴보면 수직브레이싱을 설치한 경우 수직브레이싱 부근의 세로보의 회전각은 상당히 감소한 것을 알 수 있다. 그러나 길이에 따른 회전각의 변화율은 일관적으로 크게 감소 하지 않고 오히려 증가하기도 하는 것을 보여준다. 절취부 면의 변형률에 직접적으로 영향을 주어 면외 응력을 발생시키는 것은 회전각이 아니라 회전각의 변화율이라는 것을 고려하면 수직브레이싱의 설치는 절취부의 면외응력을 발생시키는데 효과를 기대하기 어렵다.

그림 11과 그림 12를 살펴 보면 수직브레이싱을 설치하면 2개의 세로보 단면 자체가 수직브레이싱이 설치된 지점을 중심으로 횡 방향으로 같이 이동하는 경향을 보인다. 그림 14는 두 세로보가 같은 횡방향으로 이동하는 변위 형상을 보여준다. 횡 방향 이동은 오히려 그림 11와 12에서 볼 수 있듯이 횡 방향 변위를 증가시킬 수도 있다.

결론적으로 그림 13은 수직 브레이싱의 유무에 따른 내, 외측 세로보의 회전각을 보여준다. 그림에서 보듯이 수직브레이싱을 설치한 경우 세로보의 회전각은 내측 세로보나 외측 세로보 모두 상당히 감소하는 경향을 보여준다. 동일 하중하에서 비틀림 회전각이 감소한다는

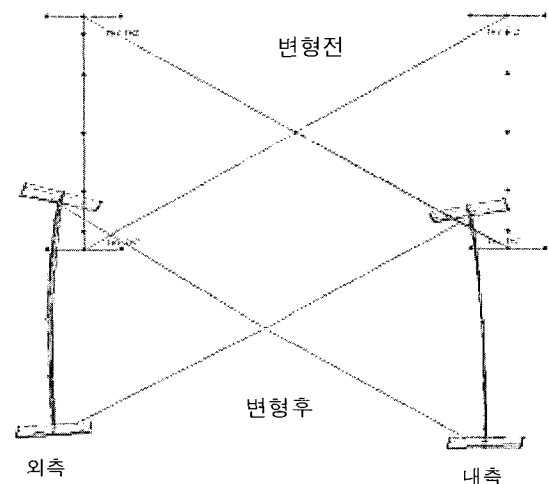


그림 14. 하중 재하시의 변위

것은 비틀림 강성이 크다는 것을 의미하며 이는 수직브레이싱을 설치하면 세로보 자체의 비틀림 강성은 증가한다는 것을 말해 준다. 세로보의 비틀림 강성이 증가 하는 것과는 별개로 세로보의 비틀림 회전각과는 달리 세로보의 횡 변위의 경우는 그림 11, 12 그리고 14에서 볼 수 있듯이 수직브레이싱을 설치한 경우 두 세로보가 동시에 횡방향으로 이동하기 때문에 횡 방향 변위가 감소한다고 보기 어렵다. 이는 횡방향 강성이 항상 증가하는 것은 아니며 수직 브레이싱의 설치로 세로보의 비틀림 거동을 제한한다고 보기에는 문제가 있으며 다른 형식의 수직 브레이싱이나 수직 브레이싱

의 설치 개수 증가등의 방법에 대한 고려가 필요 할 것이다.

4. 결 론

본 논문에서는 대상교량의 레일과 세로보의 편심 거리에 의한 비틀림 하중으로 인해 절취부에 발생하는 비틀림 응력의 영향에 대해 알아보았다. 이러한 비틀림 응력의 발생은 휨 하중만으로 인해 발생하는 절취부의 응력집중에 부가하여 비틀림 응력을 유발하였으며 이로 인해 절취부의 응력 집중은 더욱 심화 되었다. 이러한 절취부의 비틀림 응력을 제어하기 위해 일반적으로 쓰이는 형식의 수직 브레이싱을 설치 하였다. 그렇지만 본 연구 대상교량의 세로보에 발생하는 비틀림 응력을 감소 시킬 수 없었으며 오히려 횡 변위의 경우 좋지 않은 경향을 보여주시기도 하였다. 또한 수직 브레이싱의 유무에 따른 내, 외측 세로보의 회전각의 결과는 수직브레이싱을 설치한 경우 세로보의 회전각이 내측 세로보나 외측 세로보 모두 상당히 감소하는 경향을 보여준다. 동일 하중하에서 비틀림 회전각이 감소한다는 것은 비틀림 강성이 크다는 것을 의미한다. 즉 수직브레이싱을 설치하면 세로보의 비틀림 강성은 증가한다는 것을 말해 준다. 그러나 비틀림 회전각과는 달리 횡 변위의 경우는 수직브레이싱을 설치한 경

우 두 세로보가 동시에 횡방향으로 이동하기 때문에 횡 방향 변위가 감소한다고 보기 어려우며 이는 횡방향 강성이 항상 증가하는 것은 아니라는 것을 의미한다. 이러한 영향을 해소하기 위해 다른 형식의 수직 브레이싱 및 하중의 편심거리를 줄이는 방법도 고려 되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. G.Salmon, Steel Structures-Design and Behavior (4th)
2. 당산철교 감정 의뢰연구 보고서 (2003), 한국 강구조학회
3. 당산철교 하자 발생 점검 보고서 (92-96)
4. 당산철교 증거보전 사건 감정연구 보고서 1997.3 사단법인 대한 토목학회
5. 지하철 2호선 설계기준(서울특별시, 1977)
6. 강철도교 설계 표준 시방서 해설(1978), 대한 토목학회
7. 철도건설 공사 표준 시방서 (1980), 철도청
8. Santa Fe 보고서

◎ 논문접수일 : 2004년 11월 25일

◎ 심사의뢰일 : 2004년 11월 26일

◎ 심사완료일 : 2004년 12월 28일