연안역 조립식 보도 잔교 상부구조 요소부재의 안전성 검토

유상량*, 박종섭*, 윤기용**
*상명대학교 시설공학과
**선문대학교 토목공학과
e-mail: sangs8899@sangmyung.kr

Safety Evaluation of Super Structure Member of Modular Pier In Coastal Zone

Yoo, Sang Ryang*, Park, Jong Sup*, Yoon, Ki Yong**
*Dept of Infrastructure Engineering, SangMyung University
**Dept of Civil Engineering, SunMoon University

요 약

본 연구에서는 서해안의 지역적 특성을 고려한 말뚝지지형 조립식 잔교의 상부구조를 구성하는 요소부재인 주거더 ㄷ형강과 가로보 및 가로거더 H형강에 대해 횡-비틀림 좌굴(Lateral-Torsional Buckling) 여부와 부재별 좌굴강도 값을 유한요소해석을 통해 산정하였으며, 산정한 좌굴강도 값과 부재에 작용하는 설계하중에 대한 안전성 검토를 하였다.

1. 서론

서해안을 방문하는 관광객 수가 꾸준히 증가하면서 항만시설이 아닌 여가 시설로 관광용 보도 잔교가 많이 설치되고 있다.

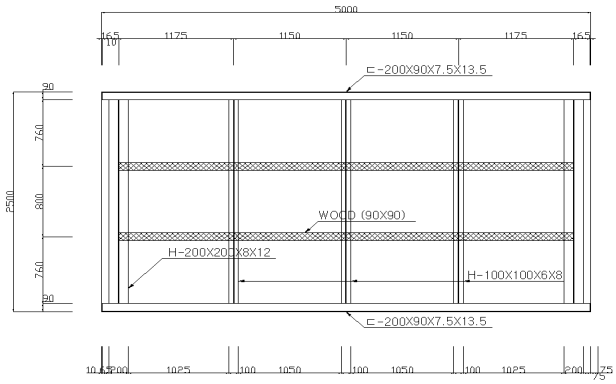
현재 국내에서는 보도교에 대한 설계기준으로 시설물 설계 및 시공편람(서울특별시, 2001)의 소규모 강교 및 보도육교에 대한 설계기준이 적용되고 있으나 대부분의 내용은 도로교설계기준(2005)의 내용을 따르고 있다. 해안에 설치되는 잔교의 설계는 항만 및 어항설계기준(2005)을 준용하여 설계가 이루어지고 있으나 항만 및 어항설계기준에서의 잔교는 선박 및 작업기계를 고려한 부두시설의 잔교로 과도한 설계를 유발한다. Zueck와 Blount(2007)는 해외용 조립식 잔교의 경제적인 단면을 제안하였으며, 상부구조가 강재로 구성된 친환경적 조립식 잔교를 시공하였다. 서해안의 지역적 특성을 고려하여 시공 및 설계기준이 마련될 필요가 있으며(강효기 외, 2009), 서해안의 지역적 특성을 고려해 산정된 설계하중 및 최적설계단면을 제안하였다(유상량 외, 2011).

본 연구에서는 서해안의 지역적 특성을 고려한 말뚝지지형 조립식 잔교의 시공방법에 관한 특허(임남형 외 , 2012)의 상부 Steel Frame의 요소부재에 대해 횡-비틀림 좌굴(Lateral-Torsional Buckling, LTB) 여부와 좌굴강도 값을 산정하여 요소부재에 따른 안전성을 검토하였다.

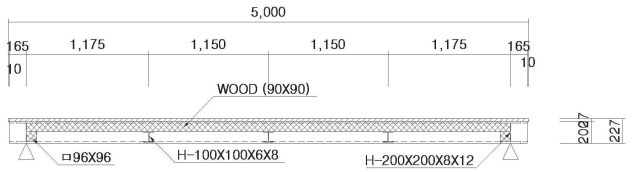
2. 조립식 잔교의 설계 조건

2.1. 잔교의 구성

조립식 잔교의 상부구조는 주거더인 ㄷ형강, 가로거더 및 가로보인 H형강, 세로거더인 90×90 목재로 구성되어 있으며, 다음 그림 1, 2와 같다. 주거더와 가로거더, 가로보, 세로거더로 이루어진 Frame위에 Wood Deck이 설치되어 조립식 잔교의 상부구조를 구성한다.



[그림 1] 조립식 잔교의 상부구조 평면도



[그림 2] 조립식 잔교의 상부구조 정면도

2.2 잔교의 설계 하중

조립식 잔교의 설계하중으로 군중하중, 난간하중, 자중을 고려한다. 군중하중은 항만 및 어항 설계기준(2005)에 규정되어 있는 5kN/m^{2}를 사용하였으며, 난간하중은 도로교설계기준(2005)에 규정한 수직력 1kN/m를 설계하중으로 사용하였다. 잔교에 사용된 부재에 대한 자중은 도로교설계기준(2005)에서 규정한 재료의 단위질량에 사용부재의 단면적을 곱하여 자중을 계산한다. 강재의 단위질량은 7,850kg/m^3, 목재의 단위질량은 800kg/m^{3}이다.

2.3 잔교의 설계 단면

조립식 잔교의 폭은 2.5m로 서울시 시설물 설계 및 시공편람(2001)의 보도교 규정에 의해 산정하였다.

조립식 잔교에 사용된 재료는 SM400 강재를 사용하였으며, 주거더 ㄷ형강은 평행채널(PFC, Parallel Flange Channel) 200×90×7.5×13.5mm, 가로거더는 H200×200×8×12mm, 가로보는 H100×100×6×8mm 단면을 사용한다.

3. 유한요소해석 모델링

3.1 해석 모델

조립식 잔교의 상부구조 안전성 평가를 위해 3차원 범용구조해석 프로그램 ABAQUS(2009)를 사용하였으며, 4절점 쉘 요소인 S4R요소를 이용하여 해석하였다.

3.2 비선형해석

본 연구에서는 강재인 경우 초기변형과 잔류응력, 재료비선형 해석을 하였다. 초기변형은 국내기준의 치수 허용차(현대제철, 2006)에서 규정한 치수 허용차 값을 사용하였으며, 잔류응력은 사용단면에 따라 잔류응력 분포가 다르기 때문에 사용단면에 따른 잔류응력을 Pi와 Trahair(1995)의 H형강의 잔류응력 분포도와 Trahair(1999)의 ㄷ형강 잔류응력 분포도를 이용하여 잔류응력을 적용하였다. 재료비선형으로 강재에 대해 항복응력 235MPa와 탄성계수 210GPa를 고려하였다.

4. 안전성 검토

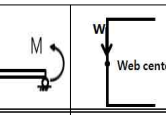
4.1 ㄷ형강 안전성 검토

ㄷ형강은 일축대칭으로 전단중심과 도심이 단면위에 존재하지 않는다. 하중이 도심에 작용하는 경우 좌굴하중은 부재길이의 변화에 차이가 작지만 하중이 전단중심에 작용하는 경우 부재길이의 변화에 큰 차이가 있다.(김주원, 2008)

5m 지간의 경계조건은 단순지지이며, ㄷ형강에 재하되는 하중은 군중하중, Wood Deck 자중, 각목자중, 가로보 자중, 가로거더 자중, ㄷ형강 자중, 난간하중으로 설계하중에 의해 ㄷ형강에 발생되는 모멘트는 24.64kN·m이다.

ㄷ200×90×7.5×13.5 단면은 횡-비틀림 좌굴이 발생하기 때문에 횡 비틀림 좌굴에 대한 안전성 평가가 필요하다. ㄷ형강에 균일모멘트(M)가 작용하는 경우와 ㄷ형강의 전단중심, 도심, Web 중심에 등분포하중(w)이 재하되는 경우에 대해 해석하여 American Institute of Steel Construction inc(AISC)에서 규정한 값과 비교하였으며, 비교 값은 다음 표 1과 같다.

[표 1] ㄷ형강의 하중재하 위치별 좌굴강도 값 비교

	하중재하위치			
				
AISC (kN·m)	51.55	-	58.77	-
해석결과 (kN·m)	54.5	40.96	55.49	30.77
비교(%)	5.41	-	5.58	-

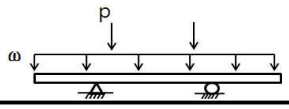
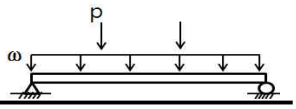
실제 설계하중은 ㄷ형강의 도심에 작용하나 AISC-LRFD에서의 횡-비틀림 좌굴 강도 값은 ㄷ형강의 전단중심에 하중이 재하되는 경우의 좌굴강도 값으로 도심에 하중이 재하되는 경우보다 좌굴강도 값이 크게 계산된다. 표 1을 통해 해석결과 균일모멘트가 작용하는 경우와 전단중심에 하중이 재하되는 경우의 좌굴강도 값이 AISC-LRFD에서 규정한 좌굴강도 계산식에 의해 산정된 좌굴강도 값의 차이가 크지 않다는 것을 알 수 있으며, ㄷ형강의 도심에 하중이 재하되는 경우에 대해 해석결과 값을 좌굴강도 값으로 사용가능하다고 판단된다.

4.2 가로보 및 가로거더의 안전성 검토

가로거더는 Capbeam과 상부구조를 연결하는 지점부에 설치하는 부재이며, 가로보는 주거더의 횡-비틀림 좌굴을 방지하기 위해 설치된 부재이다.

가로거더와 가로보의 하중재하 위치 및 경계조건은 다음 표 2와 같으며, 2.5m 길이에 등분포하중(w)과 집중하중(p)이 작용하는 경우에 대해 안전성 검토를 하였다.

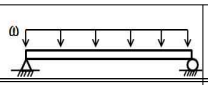
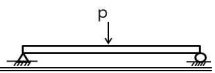
[표 2] 가로거더와 가로보의 하중재하 위치 및 경계조건

가로거더	가로보
	

가로거더에 재하되는 설계하중은 Wood Deck 자중, 각목자중, 가로보 자중, 가로거더 자중, 주거더 자중, 군중하중, 난간하중이 재하되며 6.49kN·m의 모멘트가 발생하며, 가로보에 재하되는 설계하중은 Wood Deck 자중, 각목자중, 군중하중, 가로보 자중으로 가로보에 발생하는 모멘트는 5.32kN·m이다.

가로거더는 횡-비틀림 좌굴이 발생하지 않는 부재로 국부좌굴에 의해 단면이 지배되며, 항복모멘트 값은 120.56kN·m 이다. 가로거더 단면의 항복모멘트 보다 가로거더에 발생하는 모멘트 값이 작기 때문에 안전하다. 가로보의 하중재하 위치에 따른 좌굴강도 값은 다음 표 3과 같으며, 표3은 가로보에 등분포하중(w)이 작용하는 경우와 집중하중(p)이 작용하는 경우이다.

[표 3] 가로보의 하중재하방법 및 좌굴강도 값 비교

	하중재하방법	
		
AISC (kN·m)	21.19	24.53
해석결과 (kN·m)	21.3	21.81
비교(%)	0.52	11

가로보의 횡-비틀림 좌굴강도 해석결과 값은 등분포하중과 집중하중이 재하되는 경우에 대해 서로 비슷한 결과 값이 나왔으며, AISC-LRFD에서 산정한 횡-비틀림 좌굴강도 값과 큰 차이가 없다고 판단된다. 유한요소해석 결과로 산정된 좌굴강도 값과 설계하중에 의해 발생되는 모멘트 값을 비교하였을 때 가로보는 횡-비틀림 좌굴에 대해 안전하다.

5. 결론

본 연구는 연안지역에 설치되는 조립식 잔교의 상부구조 Frame의 요소부재에 대해 횡-비틀림 좌굴에 대한 안전성 검토를 하였으며, 연구 결과는 다음과 같다.

1. ㄷ형강의 하중재하 위치에 따른 횡-비틀림 좌굴강도 값을 비교하여 실제로 하중이 재하되는 ㄷ형강의 도심에 설계하중이 재하될 때의 안전성을 검토하였으며, 검토결과 안전하다고 판단된다.

2. 가로거더의 횡-비틀림 좌굴이 발생하지 않는 단면으로 항복모멘트에 의해 단면이 지배되는 것을 알 수 있으며, 설계하중에 의해 발생되는 모멘트에 대해 안전하다.

3. 가로보는 횡-비틀림 좌굴에 의해 단면이 지배되며, 가로보에 재하되는 설계하중에 대해 안전하다고 검토되었다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 지역기술혁신사업의 연구비 지원(09CRTI-B052117-01 #09지역기술혁신 B-01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

[1] 서울특별시, 시설물 설계 및 시공편람, 소규모 강교 및 보도육교, 2001.

[2] 국토해양부, 도로교 설계기준, 한국도로교통협회, 2005.

[3] 국토해양부, 항만 및 어항 설계기준, 2005.

[4] R.F. Zueck, T.A. Blount, “Open-Ocean Roll-on/Roll-off Cargo Pier on San Nicolas Island”, Proceedings of the Eleventh Triennial International Conference, No 238, pp. 78-87. 2007.

[5] 강효기, 박종섭, 김대규, 윤기용, “연안 및 다양한 안전시설 설계기준에 대한 고찰”, 한국산학기술학회 추계 학술발표논문집, pp. 350-353.

[6] 유상량, 박종섭, 윤기용, “말뚝지지형 조립식 보도잔교의 상부 및 교각 성능기반설계에 대한 해석연구”, 한국방재학회논문집, pp. 63-73, 2011.

[7] 임남형, 윤기용, 박종섭, 이선호, “캡빔을 이용한

말뚝지지형 조립식 잔교시공방법", 대한민국특허청 10-2012-0024085, 2012.
[8] 현대제철, Korea Standaed 치수 허용차, 2006.
[9] Yong Lin Pi, N.S. Trahair, "Ineleastic Torsion of Steel I-Beam", ASCE, Journal of structural Engineering, Vol.121, pp. 609-620, April, 1995.
[10] N.S. Trahair, "Plastic Torsion Analyisis of Monosymmetric and Piont-Symmetric Beams", ASCE, Journal of structural Engineering, Vol.125, pp. 175-182, February, 1999.
[11] 김주원, "비대칭 단면 부재의 휨-비틀림 좌굴 해석에 관한 연구", 대한건축학회 학회지, pp. 207-215, 2008.
[12] American Institutse of Steel Construction (AISC), LRFD Specification, 4th. Edition, Chicago, Illinois, 2005.