강박스-트러스 하이브리드 곡선 교량의 거동 분석

The Analysis of Behavior of Steel Box-truss Hybrid Curved Bridge

장민서* · 김정훈** · 김종민*** · 강영종****

Jang, Min Seo · Kim, Jeong Hun · Kim, Jongmin · Kang, Young Jong

Abstract

Steel Box-Truss Hybrid bridge consisted with steel box type in positive moment that is allowed to resist with low depth and truss type in negative moment not only has restriction of delivery but has to use high depth is new type bridge. This can be used as 80m~150m long span bridge and is economical structural type. But safety of truss type is concerned because of torsion that occurs when Steel Box-Truss Hybrid bridge applies a curved bridge. Therefore, it is necessary to analyse and evaluate straight and curved bridge for commercialization of Steel Box-Truss Hybrid bridge. In this study, structural analysis of Steel Box-Truss hybrid curved bridge with various curvature is performed and compared with member force and displacement of Steel Box-Truss Hybrid straight bridge. Also the applicable limited curvature of Steel Box-Truss Bridge form is proposed.

Key words : Steel Box-Truss Hybrid (HiTAB), Curved bridge, Long span bridge, Limited curvature

요 지

강박스-트러스 하이브리드(HiTAB: Hybrid Truss And Box) 교량은 낮은 형고로 저항이 가능한 정모멘트 구간에는 강박스 구조를 활용하고, 운반에 제약을 받을 뿐만 아니라 높은 형고의 거더를 활용해야 하는 부모멘트 구간에는 트러스 구조를 적용한 신형식 교량이다. 이는 경간장 80~150 m 내외의 장경간 교량으로 활용이 가능하여 경제성이 우수한 구조형식이지만, 곡선 구간 적용 시 교량에 발생하는 비틀림으로 인해 트러스 구조의 안전성이 저하될 우려가 있다. 그러므로 강박스-트러스 하이브리드 교량의 상용화를 위해서는 직선 교량 뿐만 아니라 곡선 교량의 거동 분석 및 평가가 반드시 필요하다. 따라서 본 연구에서는 다양한 곡률을 가지는 강박스-트러스 하이브리드 곡선 교량에 대해 구조해석을 수행하였으며, 이를 직선 교량의 부재력과 처짐에 대한 비교를 통해 거동 분석 및 평가를 수행하였다. 또한 강박스-트러스 하이브리드 교량의 직선 형식으로 곡선 교량에 적용 가능한 한계곡률을 제시하였다.

핵심용어 : 강박스-트러스 하이브리드 (HiTAB), 곡선 교량, 장경간 교량, 한계곡률

1. 서 론

최근에 시작된 4대강 사업으로 인해 기존 교량의 장경간화와 더불어 구조 안전성, 심미성, 시공성 그리고 녹색환경성(이산화탄소 배출량 감소)을 확보할 수 있는 장경간 교량 형식의 수요가 증대되고 있다. 국내의 경우 경간장 50 m이하에서는 PSC 거더 및 강합성 거더 등 다양한 복합구조 형식의 교량이 적용되고 있고, 70 m 이하의 교량에서는 강박스형 거더, 그 이상의 경간장에서는 특수공법을 활용한 PSC 박스교나 트러스 및 아치 등과 같은 교량 형식이 적용되고 있다. 그리고 경간장 200 m 이상에서는 사장교 및 현수교와 관련된 지속적인 연구(초장대교량사업단 등) 및 적용(이순신대교

등)이 이루어지고 있으나 경간장 80~150 m에서는 적절한 교량 형식이 부족한 실정이다. 경간장 80~150 m 교량을 일반 강박스형 교량로 구성하게 되면 거더의 높이가 운반에 필요한 제한기준(3.2 m)을 초과하여 그 사용에 많은 제약이 수반(현장에서의 강제 복부에 대한 종방향 연결이 불가피한 점 등)되며, PSC 박스구조로 적용할 경우 중량 증가로 인해 공사비 및 공사기간이 증가하게 된다. 또한, 아치나 트러스 구조 등의 특수구조를 적용하기에는 단면변화 및 부재의 연결개소가 증가하게 되므로 설계 및 시공 효율성이 저하될 우려가 높다. 따라서, 그림 1과 같이 낮은 형고로 저항 가능한 정모멘트부에는 강박스 구조를 활용하고, 높은 형고의 거더를 활용하여야 하는 부모멘트 구간에는 트러스 구조를 적용한 강

*정회원 · 고려대학교 건축·사회환경공학부 석박사통합과정(E-mail : nimseo@korea.ac.kr)

**고려대학교 건축·사회환경공학부 연구원

***포항산업과학연구원 강구조연구소 해상풍력발전연구팀 Senior Researcher

****정회원 · 고려대학교 건축·사회환경공학부 교수(교신저자)

그림 1. 강박스·트러스 하이브리드(HiTAB) 교량 형식

박스-트러스 하이브리드 교량은 경간장 80~150 m 내외의 장경간 교량으로 적용 가능한 신형식 교량구조로써 HiTAB(Hybrid Truss And Box)이라 정의 하였다.

한편, 급격한 도시화로 인해 도로가 더욱 더 다양해지고 복잡해짐에 따라 곡선 교량의 필요성이 점점 더 증대되고 있는 실정이며, 도로 선형의 직선화가 불가피한 도심지나 산악 지역 등에 반드시 필요할 뿐만 아니라 미적으로도 매우 우수한 장점을 가지고 있다. 그러나 곡선 교량은 초기 곡률에 의한 사하중만으로 휨(Bending) 뿐만 아니라 비틀림(Torsion)이 발생하며 축방항력, 휨모멘트 그리고 비틀림 모멘트를 유발하는 각각의 운동성분이 연성(Coupling)작용하여 직선 교량에 비해 구조적 거동이 매우 복잡하다. 또한, 이에 대한 연구 및 가이드 라인의 부족으로 인해 곡선 교량을 설계하고 시공 하는데 많은 어려움을 겪고 있다.

본 연구와 관련된 설계기준 및 연구들을 살펴보면 다음과 같다. 미국의 AASHTO(2003) 기준에 의하면 Closed Box and Tub Girders의 경우 곡률이 0.3 rad 이하이고 곡선교 중심 박스 단면의 깊이가 폭보다 작은 경우에 한하여 곡선효과를 무시한 해석이 가능하다고 규정하고 있다. 국내 도로교 설계기준(국토해양부, 2012)에 의하면 폐단면 박스와 상부개 단면(tub) 거더의 경우 곡률중심은 일치하고 받침들에 사각이 없으며 모든 지간에서 원호지간을 거더 받침점으로 나눈 값이 0.3 rad이며 지간 중앙에서 거더의 높이는 박스 폭보다 적을 경우 곡률효과를 무시할 수 있다고 동일하게 규정하고 있다. 그리고 임다수(2003) 및 박남희(2003)의 연구 결과에 의하면 중복식 형태의 격벽 강성이 20%에 해당하는 격벽 강성을 가진다면 그것이 꼭 중복식이 아닌 트러스 타입이나 라멘 타입이라도 구조적으로 충분한 것으로 연구되었다. 또한, 개구제형 트윈 거더 교량에 대해, 3경간 연속교를 대상으로

곡률에 따른 3차원 유한요소해석을 통한 부재력을 비교하고 사재와 수직재의 휨, 비틀림, 뒤틀림 및 수평분력의 영향을 곡률별로 나타내고 곡률에 따른 상부 수평브레이싱 부재력 산정식을 제시하였다(김종민 등, 2012). 또한 제형 박판 다실 박스에서 편심하중을 받을 때 그 편심하중을 휨하중과 비틀림하중, 순수뒤틀림하중으로 분리하여 편심하중의 영향을 휨과 비틀림, 뒤틀림의 영향으로 구분한 연구가 진행 된 바 있다(김승준 등, 2008). 대부분의 곡선교의 대한 연구는 강박스 거더 형식의 해석연구(김용희 등, 2004; 김태균 등, 2000; 박남희, 2003; 임다수, 2003) 혹은 박판 곡선보(Kang, Y.J., 1994) 위주로만 진행되어 왔는데, 강박스-트러스 하이브리드 교량에 대한 곡선 해석 및 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 다양한 곡률을 가지는 강박스-트러스 하이브리드 곡선 교량에 대해 구조해석을 수행하였으며, 이를 직선 교량의 부재력과 처짐에 대한 비교를 통해 거동 분석 및 평가를 수행하였다. 또한, 강박스-트러스 하이브리드(HiTAB) 교량의 직선 형식으로 곡선 교량에 적용 가능한 한계곡률을 제시하였다. 그리고 본 연구의 직선 대비 곡선 교량의 곡률별 해석의 경우, 강박스-트러스 하이브리드(HiTAB) 교량의 직선 교량 뿐만 아니라 곡선 교량으로의 적용 및 활용을 위해 수행되어 졌다.

2. 유한요소해석 모델

2.1 강박스-트러스 곡선교량의 모델 선정

교량의 형식은 총 길이 200 m로 한 경간 당 박스구간 67.5 m, 트러스 구간 32.5 m로 이루어진 2경간 연속교량이며 (2@100m), 곡률중심각은 3°에서 42로 (3°, 6°, 9°, 12°, 15°, 18°, 21°, 24°, 27°, 30°, 33°, 36°, 39°, 42°) 총 14가지 곡률의 모델을 설정 하였다.

그림 2는 트러스 및 박스 부분에 대한 횡단면도이며, 강박스-트러스 하이브리드 교량의 측면도는 그림 3과 같다. 각각 부재들의 단면 및 재료 물성치는 표 1과 같고 각 부재들의 용어는 그림 4와 같다. 교차장치의 받침 방향은 그림 5와 같이 현방향 롤러-힌지-롤러로 배치하였다.

2.2 강박스-트러스 유한요소해석 모델

유한요소해석은 ABAQUS 6.10을 사용하였으며, 박스 구간

표 1 각 부재의 단면 및 재료

	단면적 (m ²)	단면 형식	폭 (mm)	높이 (mm)	두께 (mm)			탄성계수 (GPa)	단위 중량 (kN/m ³)	Poisson 비
					상면	하면	측면			
트러스 상현재	74,880	Box	600	600	36	36	30	205	77.0	0.3
트러스 하현재	94,080	Box	600	1,100	30	30	26	205	77.0	0.3
트러스 측면사재	40,000	Box	640	400	20	20	20	205	77.0	0.3
트러스 상하 수직재	21,132	I	300	1,089	14	14	12	205	77.0	0.3
트러스 Cross Beam	19,956	I	300	1,087	12	12	12	205	77.0	0.3
박스 주부재	122,448	Box	2,400	2,340	14	14	12	205	77.0	0.3
박스 다이어프램	5.616×10 ⁶	Plate	2,400	2,340	12			205	77.0	0.3
박스 Cross Beam	9.594×10 ⁶	Plate	4,100	2,340	10			205	77.0	0.3

(a) 박스 횡단면도 (b) 트러스 횡단면도

그림 2. 강박스·트러스 하이브리드 교량 횡단면도

그림 3. 강박스-트러스 하이브리드 교량 단경간 측면도

그림 4. 강박스-트러스 교량 부재 별 용어

그림 5. 받침의 현방향 배치 방향

은 4절점 쉘요소(S4R) 그리고 트러스 구간은 2절점 보요소(B31)를 적용하여 선형탄성해석을 수행하였다. 또한, 3차원 구조해석의 전체 모델링 형상과 곡률중심각 별 모델링 형상을 그림 6에 나타내었다.

강박스트러스 하이브리드 교량에 상부 슬래브 타설 후에는 상부 면의 강성이 증대되며 2거더 거동이 슬래브로 인해 합성 거동을 하게 되어 곡선교의 비틀림에 의한 단면 변형에 저항성능이 증가하게 된다. 본 연구에서는 합성 거동을 하기 전, 즉 상부 슬래브 타설 전의 시공 중 교량의 자중만을 고려하여 유한요소해석을 수행하였다.

해석 결과의 정리를 위해 그림 7과 같이 내측 거더를 G1, 외측 거더를 G2 그리고 트러스의 부재를 곡률의 내측으로부터 외측 순서로 G1I, G1O, G2I, G2O라 정의 하였다.

그림 8과 10, 12, 13의 y축은 직선 교량일 때의 응력 및 처짐을 1이라 기준 하였을 때 곡률에 따른 응력 및 처짐 비율을 나타내었다.

그림 6(a). 3차원 유한요소해석 모델 형상

그림 6(b). 곡률중심각 별 모델 형상

그림 7. 트러스 내측·외측 부재 정의

3. 유한요소해석 해석결과

3.1 트러스 상현재 비교

표 2와 그림 8은 곡률 변화에 따른 트러스 상현재의 최대 축응력을 나타낸 것이다. 이를 살펴보면 상현재에서는 부모멘트가 발생하는 구간으로 부모멘트가 가장 큰 중앙지점에서 최대 인장 응력이 발생하였고, 내측 상현재의 경우 직선 교량 대비 곡률 중심각 42°일 때의 최대 인장 축응력이 7.4% 증가하는 반면에 외측 상현재는 6.9% 감소하는 거동을 보였다. 그림 9는 최대 축응력이 발생한 상현재의 위치를 나타낸 것이다.

3.2 트러스 상·하면 수직재 비교

표 3과 그림 10은 곡률 변화에 따른 트러스 상·하면 수직재의 최대 축응력을 나타낸 것이다. 이를 살펴보면 직선교량에서는 작은 응력이 발생하던 수직재가 곡선교량이 되면서 응력이 크게 증가하는 경향을 보였다.

직선 교량 대비 곡률이 증가하여 중심각 42°일 때, 내측 거더(G1)에서는 최대 압축응력의 변화가 작게 나타났고 최대

표 2. 곡률중심각에 따른 상현재의 축응력

곡률 중심각 (Deg)	상현재 최대 인장응력(MPa) 및 변화비율							
	G1I		G1O		G2I		G2O	
직선	14.24	0%	14.26	0%	14.25	0.0%	14.22	0.0%
3	14.31	0.5%	14.27	0%	14.24	-0.1%	14.15	-0.5%
6	14.37	0.9%	14.27	0.1%	14.23	-0.2%	14.07	-1.0%
9	14.44	1.4%	14.28	0.1%	14.21	-0.3%	14.00	-1.5%
12	14.51	1.9%	14.28	0.2%	14.20	-0.3%	13.93	-2.0%
15	14.58	2.4%	14.29	0.2%	14.19	-0.4%	13.86	-2.5%
18	14.66	2.9%	14.30	0.3%	14.18	-0.5%	13.79	-3.0%
21	14.73	3.4%	14.31	0.4%	14.18	-0.5%	13.72	-3.5%
24	14.81	4.0%	14.33	0.5%	14.17	-0.6%	13.65	-4.0%
27	14.88	4.5%	14.34	0.6%	14.16	-0.6%	13.58	-4.5%
30	14.96	5.1%	14.35	0.7%	14.15	-0.7%	13.51	-5.0%
33	15.04	5.6%	14.37	0.8%	14.15	-0.7%	13.44	-5.5%
36	15.13	6.2%	14.39	0.9%	14.14	-0.8%	13.38	-5.9%
39	15.21	6.8%	14.40	1.0%	14.14	-0.8%	13.31	-6.4%
42	15.30	7.4%	14.42	1.1%	14.13	-0.8%	13.24	-6.9%

그림 8. 트러스 상현재의 축응력

그림 9. 트러스 상현재 최대 축응력 측정 위치

인장응력의 경우 44.9배 증가하였으며, 외측 거더(G2)에서는 최대 인장응력의 변화가 작게 나타났고 최대 압축응력이 82.8배 증가하는 거동을 보였다.

그림 11은 응력변화가 가장 큰 G1의 압축응력과 G2의 인장응력이 발생한 수직재의 위치를 표시한 것이다. 교량의 중앙 지점부에서 가까운 부분의 수직재에서 응력 변화량이 크게 나타났고, 박스 구간으로 갈수록 수직재의 응력의 변화량은 줄어드는 경향을 보였다.

직선교량에서는 부부재 역할의 작은 응력을 견디던 트러스 상·하면 수직재가 곡률에 따라 발생하는 추가 비틀림(면외 방향 힘)을 견디는 주부재가 되는 것으로 판단된다. 이러한 영향으로 곡률에 따라 큰 응력 변화가 나타났지만, 이는 초기 직선교량일 때의 수직재의 응력의 크기가 매우 작음으로

표 3. 곡률중심각에 따른 상·하면 수직재 축응력

곡률 중심각 (Deg)	상·하면 수직재 응력(MPa) 및 변화비율							
	G1				G2			
	Max.Com		Max.Ten		Max.Com		Max.Ten	
직선	-0.010	0%	0.221	0%	-0.026	0%	0.005	0%
3	-0.028	182%	0.223	1%	-0.024	-10%	0.037	574%
6	-0.059	503%	0.224	1%	-0.021	-19%	0.068	1149%
9	-0.090	825%	0.226	2%	-0.019	-29%	0.100	1725%
12	-0.122	1146%	0.228	3%	-0.016	-38%	0.132	2302%
15	-0.153	1468%	0.230	4%	-0.014	-47%	0.163	2881%
18	-0.185	1790%	0.233	5%	-0.012	-56%	0.195	3462%
21	-0.216	2112%	0.235	6%	-0.009	-65%	0.227	4044%
24	-0.248	2435%	0.238	8%	-0.007	-74%	0.259	4628%
27	-0.280	2758%	0.241	9%	-0.005	-83%	0.291	5215%
30	-0.311	3082%	0.244	10%	-0.002	-92%	0.324	5804%
33	-0.343	3408%	0.247	12%	0.000	-100%	0.356	6395%
36	-0.375	3734%	0.250	13%	0.002	-109%	0.389	6988%
39	-0.407	4062%	0.254	15%	0.005	-118%	0.421	7585%
42	-0.439	4392%	0.257	16%	0.007	-127%	0.454	8184%

그림 10. 곡률중심각에 따른 상·하면수직재 축응력

그림 11. 트러스 수직재 최대 응력 지점

적은 곡률 변화에도 그 응력변화 비율은 크게 나타난 것으로 판단된다.

3.3 강박스 상·하면 비교

표 4와 그림 12는 곡률 변화에 따른 박스구간 상·하면의

표 4 곡률중심각에 따른 상·하면 강박스 응력

곡률 중심각 (Deg)	강박스 응력(MPa) 및 변화비율							
	상면				하면			
	G1		G2		G1		G2	
직선	-6.313	0.0%	-6.315	0.0%	6.312	0.0%	6.315	0.0%
3	-6.311	0.0%	-6.320	0.1%	6.312	0.0%	6.321	0.1%
6	-6.306	-0.1%	-6.322	0.1%	6.308	-0.1%	6.324	0.2%
9	-6.302	-0.2%	-6.321	0.1%	6.298	-0.2%	6.323	0.1%
12	-6.295	-0.3%	-6.320	0.1%	6.289	-0.4%	6.319	0.1%
15	-6.284	-0.5%	-6.316	0.0%	6.277	-0.6%	6.311	-0.1%
18	-6.271	-0.7%	-6.309	-0.1%	6.262	-0.8%	6.300	-0.2%
21	-6.254	-0.9%	-6.298	-0.3%	6.243	-1.1%	6.288	-0.4%
24	-6.233	-1.3%	-6.284	-0.5%	6.221	-1.4%	6.272	-0.7%
27	-6.210	-1.6%	-6.266	-0.8%	6.196	-1.8%	6.254	-1.0%
30	-6.183	-2.1%	-6.245	-1.1%	6.168	-2.3%	6.232	-1.3%
33	-6.153	-2.5%	-6.221	-1.5%	6.137	-2.8%	6.206	-1.7%
36	-6.120	-3.1%	-6.194	-1.9%	6.102	-3.3%	6.178	-2.2%
39	-6.083	-3.6%	-6.163	-2.4%	6.065	-3.9%	6.146	-2.7%
42	-6.043	-4.3%	-6.129	-3.0%	6.024	-4.6%	6.111	-3.2%

그림 12(a). 강박스 상면 압축응력

그림 12(b). 강박스 하면 인장응력

응력을 나타낸 것이다. 상·하면 모두 박스구간 중앙 부분에서 최대 응력이 발생하였고, 곡률 중심각이 증가함에 따라 응력이 감소하는 경향을 보이는데 외측거더(G2)보다 내측거더(G1)가 곡률에 따라 더 민감한 거동을 나타내었다. 박스

강박스-트러스 하이브리드 곡선 교량의 거동 분석

표 5 곡률중심각에 따른 최대 처짐

곡률 중심각(Deg)	최대 처짐(mm) 및 변화비율	
	G2	
직선	16.765	0.00%
3	16.804	0.24%
6	16.852	0.52%
9	16.904	0.83%
12	16.959	1.16%
15	17.017	1.50%
18	17.079	1.87%
21	17.145	2.27%
24	17.214	2.68%
27	17.286	3.11%
30	17.363	3.57%
33	17.458	4.14%
36	17.557	4.73%
39	17.660	5.34%
42	17.766	5.97%

그림 13. 강박스-트러스 하이브리드 교량의 최대 처짐

구간에서는 정모멘트가 발생하므로 박스 상면에서는 압축응력이 발생하였고, 하면에서는 인장응력이 발생하는 것을 확인하였다. 박스 상면에서는 직선 교량 대비 곡률 중심각 42° 일 때의 압축응력이 최대 4.3% 감소하였고, 하면의 인장응력은 최대 4.6% 감소하는 거동을 보였다.

3.4 강박스-트러스 곡선교량의 최대 처짐 비교

표 5와 그림 13은 곡률 변화에 따른 강박스-트러스 하이브리드 교량의 최대 처짐을 나타낸 것이다. 직선 교량에서는 내·외측 거더에서 동일하게 최대 처짐이 발생하였지만, 곡선 교량에서의 최대 처짐은 곡률이 생기며 점점 커지는 경향으로 위치는 외측 거더에서 발생하였다. 직선 교량 대비 곡률 중심각 42°일 때의 처짐은 5.97% 증가하는 경향으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 2거더를 갖는 2경간 곡선 강박스-트러스 하

이브리드 교량에 대해 구조해석을 수행하였으며, 이를 직선 교량의 부재력과 처짐에 대한 비교를 통해 거동 분석 및 평가를 수행하였다. 본 연구를 통해 얻은 결론들은 다음과 같다.

- 1) 곡률중심각 변화에 따른 트러스 상현재의 최대 축응력은 내측 상현재는 증가하고 외측으로 갈수록 감소하는 경향으로 나타났으며, 이는 곡률에 의한 비틀림의 영향으로 휨하중에 의한 법선응력과 뒤틀림 법선응력의 연성(Coupling)작용에 따른 영향으로 판단된다.
- 2) 직선 교량에서 부부재 역할의 트러스 상·하면 수직재가 곡선 교량에서는 곡률 변화에 따라 발생하는 추가 비틀림(면외 방향 힘)에 저항하는 주부재로 거동하는 것으로 나타났다.
- 3) 교량의 중앙 지점부, 즉 트러스의 중앙에서 가까운 부분의 수직재에서 응력의 변화량이 가장 크며, 비틀림 저항 성능이 좋은 폐단면 박스 구간 부분으로 갈수록 수직재의 응력 변화가 작아지는 것으로 보아, 곡선화 되면서 발생하는 추가 비틀림으로 인한 면외 방향의 힘이 발생시키는 단면의 뒤틀림에 저항하는 구조부재는 수직재로 판단된다. 또한 트러스 단면 내부에 적절한 강성을 가지는 X자 트러스 타입 격벽 등 뒤틀림을 방지 할 수 있는 추가 보강재를 설치한다면 곡률에 따른 수직재의 큰 응력 변화는 감소할 것으로 판단된다.
- 4) 트러스 상·하면 수직재의 큰 응력 변화가 나타났지만, 곡률 중심각 42°일 때 수직재의 응력(0.454 MPa)에 비해 상현재의 응력(15.3MPa)은 약 34배로 수직재의 응력은 작은 것으로 나타났다. 그리하여 직선 교량 대비 곡률 중심각 42°일 때, 수직재의 변화를 제외한다면 트러스 상현재의 곡률에 따른 응력변화가 가장 크며 응력의 크기도 가장 큰 것으로 나타났다. 그러므로 한계곡률의 기준을 곡률변화에 민감하고 응력의 크기가 큰 상현재로 판단하는 것이 합리적이라 사료된다.
- 5) AASHTO(2003) 및 도로교 설계기준(국토해양부, 2012)에서 제시한 곡률효과를 무시 할 수 있는 곡률과 가장 비슷한 곡률인 곡률중심각 33°일 때의 상현재의 응력은 직선 대비 5.63%의 증가를 나타냈다. 하지만 AASHTO(2003) 및 도로교 설계기준(국토해양부, 2012)에서 제시한 곡률은 박스형식의 교량에 대한 기준이며, 강박스트

러스 하이브리드 교량은 트러스 구간의 영향을 고려하여 상현재의 응력변화가 5%내외인 곡률중심각 30°일 때를 한계곡률로 하는 것이 보다 안전적이다. 그러므로 곡률 중심각 30°일 때의 곡률을 강박스트러스 하이브리드 직선교량 형식으로 적용 가능한 한계 곡률로 제시하는 것이 타당하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비지원(10기술혁신A04)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 국토해양부 (2012) **도로교 설계기준(한계상태설계법)**.
 김승준, 박남희, 강영중 (2008) 하중분해법을 사용한 제형 다실박스거더의 뒤틀림 해석, **대한토목학회 논문집**, 제28권, 제6A호, pp. 779-788
 김용희, 이윤영, 김광호 (2004) 곡선상자 거더교의 뒤틀림 해석 및 f_{dw}/f_b 비에 대한 실용적인 공식에 관한 연구, **대한토목학회 논문집**, 제24권, 6A호, pp. 1203-1210.
 김종민, 한택희, 최준호, 최병호, 강영중 (2012) 곡선 개구제형 거더의 곡률에 따른 매개변수 해석연구, **한국강구조학회 논문집**, 제24권, 제2호, pp. 175-188.
 김태균, 이성철, 최현 (2000) 강상자형 수평곡선교량에서 발생하는 뒤틀림응력에 관한 연구, **대한토목학회 학술발표회 논문집**, 제1권, pp. 165-168.
 박남희, 임다수, 조선규, 강영중 (2003) 강박스 거더교의 내부 다이아프램에 관한 매개변수 연구, **한국강구조학회 논문집**, 제15권, 3호, pp. 231-239.
 임다수 (2003) **강박스 거더교량의 격벽 강성에 따른 격벽간격의 최적화**, 고려대학교 석사학위논문.
 AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials) (2003) AASHTO Guide Specification for Horizontally Curved Steel Girder Highway Bridge, AASHTO, pp. 28.
 Kang, Y.J. and Yoo, C.H. (1994) Thin-walled curved beams. I: Formulation of nonlinear equations, *Journal of Engineering Mechanics(ASCE)*, Vol. 120, No. 10, pp. 2072-2101.

◎ 논문접수일 : 2012년 07월 25일
 ◎ 심사의뢰일 : 2012년 07월 26일
 ◎ 심사완료일 : 2012년 08월 07일