

도로교 설계기준을 적용한 초간편 H-형강 강합성 교량 설계단면 연구

박종섭^{1*}, 김재흥²

A Study on Design Section of Composite Steel H-Beam Bridge Based on KRTA Design Specifications

Jong-Sup Park^{1*} and Jae-Heung Kim²

요약 본 논문에서는 신형식 강합성 H형강 교량의 최적 설계단면 결정 및 거동 특성을 분석하고 있다. 단경간 교량과 등간격 2·3경간 연속교량에 대한 설계단면을 도로교 설계기준(2005)을 토대로 최적의 H-형강거더 선정과정을 상세히 기술하고 있으며, 설계단면결정을 위한 구조해석시 범용구조해석프로그램 MIDAS(2006)를 사용하여 발생하는 내력과 응력을 계산하였다. 설계단면의 안전성을 검토하고자 ABAQUS(2007)를 사용하여 설계단면의 발생응력과 처짐을 설계기준의 허용값들과 비교·검토하였다. 검토결과 제안된 설계단면은 안전측으로 제안되고 있음을 확인할 수 있었다.

Abstract This paper presents an investigation on behavior of a simplified composite I-beam bridge(SCIB) based on Korea Bridge Design Specifications(2005). Simple and continuous span SCIBs are considered to determine the design cross section. A structural analysis program, MIDAS(2006), is used to obtain the stress and deflection of the SCIB. In order to evaluate the safety of the design cross section, three-dimensional analysis is performed using ABAQUS(2007). According to the verification results from stresses and deflections of the design section, the new composite bridge are safely used for developments of reasonable and economic SCIB.

1. 서론

건설교통부의 통계자료에 의하면 1900년대 이후에서 2005년까지 완공된 도로교의 수는 총 22,378개소(연장 1970km)에 달하며 이 중 경간장 21m~30m 사이의 교량은 3,295개소(연장 407km, 20.7%)이다. 특히 2000년 이후에 건설된 총 5943개소의 교량에 대해 경간장 21m~30m 사이의 교량은 1437개소이며 전체연장대비 26.7%로 나타나 현재도 가장 많이 건설되고 있는 것으로 나타났다(국토해양부, 2006).

소규모 교량 중 경간장 20m를 포함하는 20m~30m사이의 경간장을 가지는 교량에 대해 형식별 시공된 교량 현황을 살펴보면 PSC(Prestress Concrete) Beam 교량이

가장 많이 적용된 것으로 나타났으며 특히 2000년도 이후 시공 완료된 교량의 경우 PSC Beam 교량이 81.4%로 한가지 형식에 대한 집중도가 상당히 높은 것으로 나타났다. 이러한 형식편중은 선택의 폭을 좁게 하여 결과적으로 비효율적인 교량이 설계되는 결과를 초래하고 있다. 이와 같은 저조한 강교량 형식의 적용은 30% 이상을 강교량으로 시공하는 선진국과 대비해서도 시공 및 구조 효율성의 개선이 필요하다.

강교량 중 H형강을 적용하는 교량은 거더가 공장에서 규격화된 제품으로 생산되므로 제작 오차가 없고 보강재 설치를 최소화할 수 있다. 또한 교량의 품질확보가 용이하여 구조적으로 상당한 효율성을 가질 수 있다(Stallings 등, 1999; 이재혁 등, 2002). 이러한 장점이 있기에 현재

이 논문은 2008년도 상명대학교 공학기술연구소 연구비 지원으로 수행되었다.

¹상명대학교 토목환경공학부 교수, 공학박사

²상명대학교 토목환경공학부 석사과정

*교신저자 : 박종섭 (jonpark@smu.ac.kr)

접수일 08년 08월 06일

수정일 (1차 08년 10월 13일, 2차 08년 12월 10일)

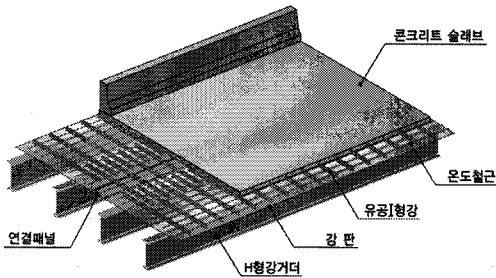
재제정일 08년 12월 16일

중소규모의 교량을 대상으로 기존의 교량 형식에 비해 경제성, 시공성이 더 뛰어나며, 공기단축과 구조적 효율성의 장점을 극대화하기 위하여 H형강과 강합성바닥판을 이용한 초간편 H형강 교량개발이 진행되고 있다(박정웅 등, 2007).

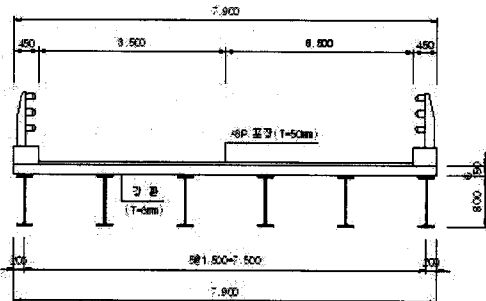
경제적이고 시공성이 뛰어난 초간편 H형강 교량개발을 위해서는 무엇보다도 각 구성요소의 안전성, 내구성 확보가 필요하며 특히 경제적인 설계단면의 선정이 우선되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 국내 설계기준을 적용하여 초간편 H형강 교량의 최적 설계단면 결정과정 및 설계단면을 제안하고자 한다. 즉, 단경간, 등간격 2·3경간 연속교량에 대한 설계단면을 도로교 설계기준(2005)을 적용하여 최적의 H-형강거더 선정 과정을 기술하며, 2차선 초간편 강합성 교량의 처짐과 거동을 분석하여 안전성을 평가하고자 한다.

2. 설계 조건

설계대상교량의 형식은 H형강 강합성 거더교이며, 검토지간은 단경간교, 2경간·3경간 교량이 검토되었다. 설계교량형식 및 대표단면을 그림 1, 2에 나타내었다. 상세 설계조건은 표 1에 나타내었다.



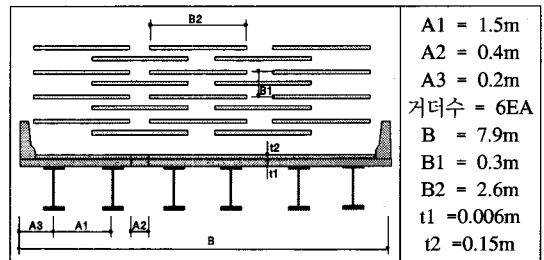
[그림 1] 초간편 H형강 교량 형식



[그림 2] 교량 단면

[표 1] 설계 조건

교량형식	H형강 강합성 거더교
검토지간	단경간: 20m, 25m, 30m 2경간: 2@20m, 2@25m, 2@30m 3경간: 3@20m, 3@25m, 3@30m
교량폭	B=7.9m
교량사각	$\theta = 90^\circ$ (직교)
교량등급	1등급(설계하중:DB-24, DL-24)
유공H형강	100×75×5×8, 종방향 300~400mm간격
바닥판 강재	SM520($f_y = 400\text{MPa}$) 두께: 6mm
콘크리트 슬래브	두께: 150mm, $f_{ck} = 27\text{MPa}$
단위중량	콘크리트: 25kN/m^3 강재: 78.5kN/m^3 아스팔트: 23kN/m^3



[그림 3] 대표 설계 단면

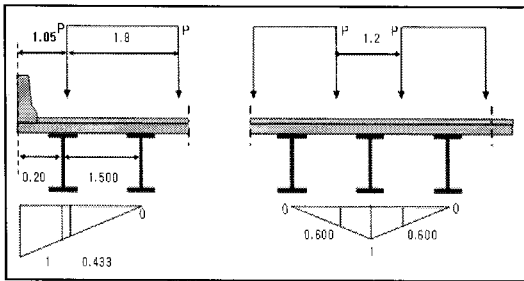
그림 3은 도로교 설계기준(2005)을 적용하여 설계되는 H형강 교량의 대표 가정단면을 나타내고 있다. A1은 형강배치간격, A2는 연결패널길이, A3는 외측캔틸레버길이, B1은 바닥판 형강 배치 간격, B2는 바닥판 설치 형강 길이이다. 본 연구에서는 형강 배치간격은 1.5m, 연결패널길이는 0.4m, 외측캔틸레버길이는 강성방호벽을 사용하는 것으로 가정하여 0.2m로 고정시키고 형강의 종류를 바꾸어 가면 안전성을 평가하였다(이선호, 2008). 그림 3의 대표설계단면은 왕복 2차선 교량을 나타내고 있다.

3. 설계 하중 및 MIDAS 모델링

설계하중은 고정하중과 활하중으로 구분되어 적용되었으며, 활하중은 설계차로에 DB-24, DL-24를 작용시켰으며 충격계수가 고려되었다. 충격계수는 식(1)로부터 0.233이 적용되었으며, L은 유효경간장길이를 나타낸다.

$$I = \frac{15}{40 + L} = \frac{15}{40 + 24.3} = 0.233 \leq 0.3 \quad (1)$$

내외측 H형강거더에 활하중 작용에 따른 안전성 평가 및 설계를 위해서는 각 거더에 발생하는 내력 및 응력값이 필요하며, 따라서 각 거더가 부담하는 횡분배율을 알아야 한다. 횡분배율을 계산하는 방법은 (1) 경험적인 지렛대법(Lever Rule) (2) 격자구조해석(Grid Analysis) (3) 3차원 구조해석(3D Analysis)을 통해 얻을 수 있다. 본 연구에서는 경험적인 방법 Lever Rule을 적용하였다(그림 4). 본 교량의 경우 외측거더는 0.433P, 내측거더는 1.2P를 나타내고 있다 (P=차량하중).



[그림 4] 횡분배 계수 결정(Lever Rule)

설계조건(표 1), 고정하중, DB-24, DL-24. 충격계수, 횡분배율을 적용하였을 때 계산되는 설계하중은 단경간의 경우 표 2, 다경간(등지간 2·3경간)은 표 3에 나타내었다.

[표 2] 설계하중(L=25m; 거더:H-800)

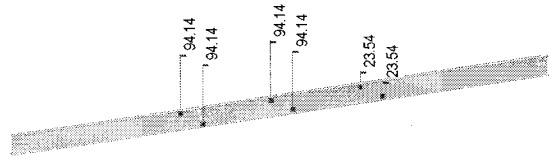
구분	고정하중(kN/m)		활하중(kN)	
	합성전	합성후	전륜하중	후륜하중
외측거더	6.503	5.088	12.813	51.253
내측거더	9.220	1.725	35.510	142.042

[표 3] 설계하중(L=2@25m, 3@25m; 거더:H-800)

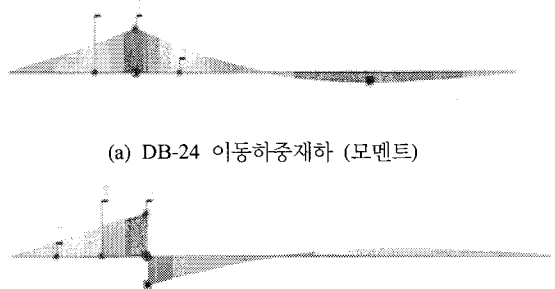
구분	고정하중(kN/m)		활하중(kN)	
	합성전	합성후	DB-24	DL-24
외측거더	6.503	5.088	0.410 DB	0.390 DL
내측거더	9.22	1.725	0.490 DB	0.480 DL

발생되는 내력 및 응력값은 범용구조해석프로그램 MIDAS(2006)를 사용하여 계산되었다. 그림 5는 해석모델로 사용된 단일거더 Beam 요소에 차량하중이 작용하는 것을 나타내고 있다. 각 경간별로 그림의 차량하중을

이동하중 옵션을 사용하여 설계하중을 재하하였다. 이동하중은 그림 6과 같이 영향선을 이용하여 계산된다.



[그림 5] 해석 모델링 및 차량하중(kN)



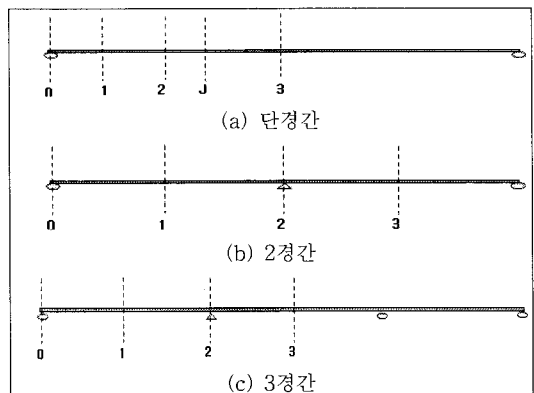
(a) DB-24 이동하중재하 (모멘트)

(b) DB-24 이동하중재하 (전단력)

[그림 6] 2경간 교량 활하중 재하방법

4. 초간편 교량 단면 결정

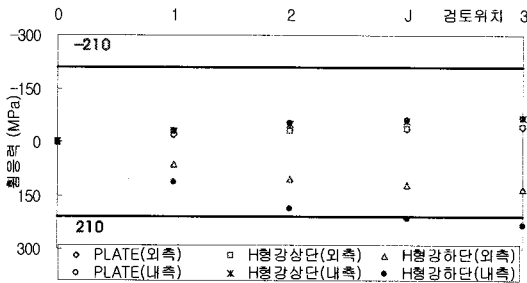
적용가능한 H-형강 단면 선정을 위하여 검토되는 단면의 위치는 가장 큰 응력이 발생하는 지점으로 단경간은 지간중앙(3번 지점), 다경간의 경우 지점(2번 지점)과 지간중앙(1, 3번 지점)에서 검토되었다.



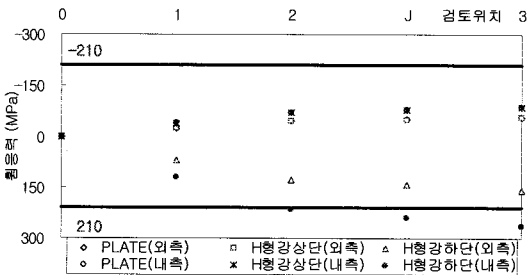
[그림 7] 응력비교지점

4.1 단경간

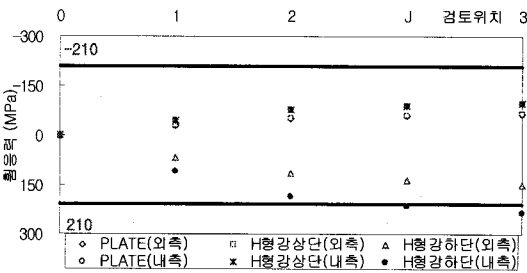
단경간에서 설계하중이 가장 큰 지점은 3번 지점으로 고정하중과 활하중 값이 가장 크게 작용하고, 또한 H-형강에 발생하는 응력이 가장 크게 나타났다. 그림 8~그림 10은 경간별 사용형강별 발생하는 응력값들을 허용응력(210MPa)과 비교하고 있다. 그림 8의 경우 경간장이 20m 이고 사용된 거더가 H-700형강일 때 3번지점에서 발생하는 응력이 210 MPa을 넘는 것을 보여주고 있다. 따라서 H-700형강은 경간장 20m 교량에 적용할 수 없다. 그림 9는 H-800형강이 25m 경간장에 사용될 때 발생하는 응력이 허용응력을 넘는 것을 보여주고 있다. 따라서 25m경간 교량에 H-800형강을 적용할 수 없다.



[그림 8] L=20m 발생 응력(H-700 적용)

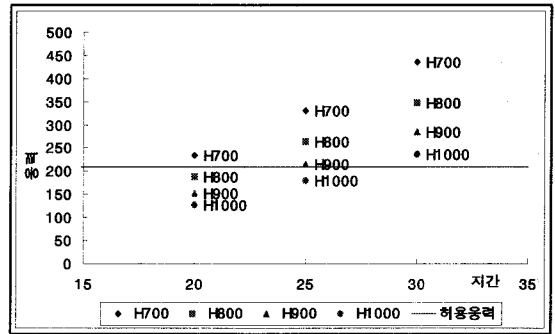


[그림 9] L=25m 발생 응력(H-800 적용)



[그림 10] L=30m 발생 응력(H-1000 적용)

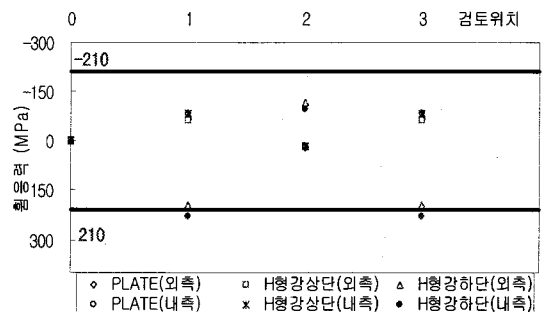
초간편 H형강 단순교에서 경간장이 L=20m일 때 H-800, H-900, H-1000형강이 적용가능하며, H-700 형강은 적용할 수 없다. L=25m일 때 H-700, H-800, H-900형강은 적용할 수 없으며, H-1000 형강은 적용가능하다. L=30m일 때 적용할 수 있는 H형강은 계산결과 없는 것으로 나타났다. 그림 11은 단경간 교량의 검토결과를 요약하여 보여주고 있다.



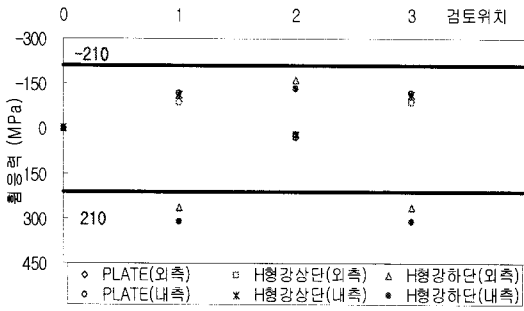
[그림 11] 형강 최적단면 검토(단경간)

4.2 다경간(2경간·3경간)

일반적으로 2경간·3경간 연속교에서는 부모멘트부분이 단면에서 가장 큰 모멘트를 발생시키지만 등지간 연속교의 경우 부모멘트보다는 정모멘트가 크게 발생된다. 응력 비교지점 1번에서 가장 큰 응력이 발생하였고, H-형강 하단부분 외측내측거더 모두에서 큰 응력이 발생하였다. 그림 12는 H-700형강이 경간장 25m를 가지는 2경간 연속교에 사용될 때 발생하는 응력값을 허용응력과 비교하고 있다. 1지점과 3지점에 발생하는 응력이 허용응력을 넘는 것을 알 수 있다. 그림 13은 경간장 30m를 가지는 2경간 연속교의 검토결과를 나타내고 있다.

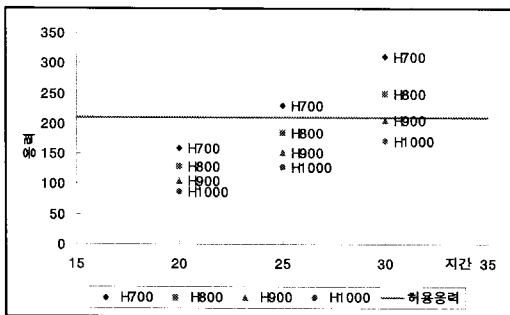


[그림 12] L=25m+25m 발생 응력 비교(H-700 적용)

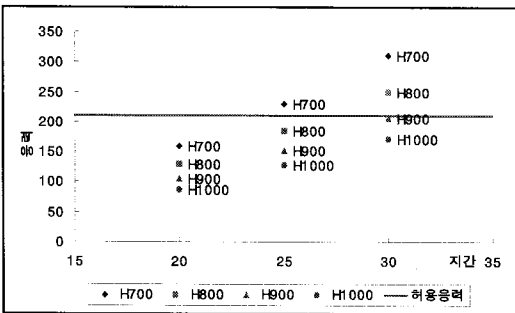


[그림 13] L=30m+30m 발생 응력 비교(H-700 적용)

형강별 경간별 2경간 등지간 교량의 검토응력을 토대로 적용가능한 형강을 정리하면 다음 그림 14와 같다. 2@20m의 경우 검토된 모든 형강이 적용가능하며, 2@25m의 경우 H-800, H-900, H-1000형강이 사용가능하며, 2@30m의 경우 H-900, H-1000형강이 사용가능하다. 3경간 연속 등지간을 가지는 초간편 교량의 검토결과는 그림 15에 나타내었다. 검토결과는 2경간 교량과 동일한 결과를 나타내고 있다. 따라서 2@20m의 경우 검토된 모든 형강이 적용가능하며, 2@25m의 경우 H-800형강 이상은 적용가능하며, 2@30m의 경우 H-900형강 이상이 사용가능하다.



[그림 14] 2경간 연속교 허용응력 비교



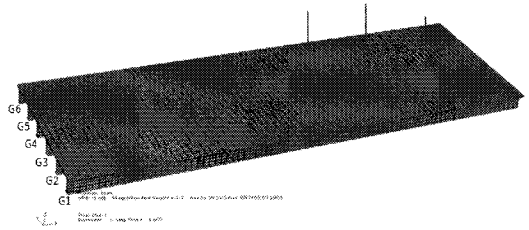
[그림 15] 3경간 연속교 허용응력 비교

5. 초간편 교량 3차원 유한요소해석

앞 절에서 제안된 설계단면의 안전성을 평가하고, 설계표준단면을 이용하여 경간장 L=25m인 단경간 초간편 H형강교량의 거동특성을 분석하고자 3차원 구조해석을 ABAQUS(2007)를 이용하여 실시하였다. H형강거더, 강판, 콘크리트슬래브 모두 판요소(Plate Element)로 모델링 되었으며, 주요 해석 입력값은 표 4와 같다. 거더는 H-800형강, 강판의 두께는 6mm, 슬래브 두께는 15cm이다. 그림 16은 3차원모델과 하중재하 일부를 보여주고 있다. 하중은 1차선 재하, 2차선 재하 등 다양한 경우를 고려하였으며, 2차선 중앙지점 하중작용 시 가장 큰 응력을 나타내었다.

[표 4] 유한요소해석 주요 입력값

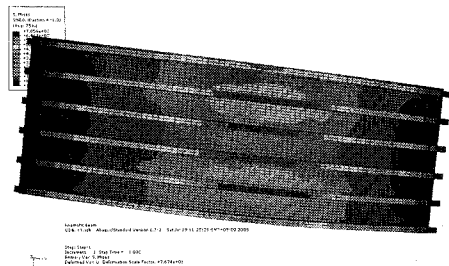
	H형강, 강판	콘크리트슬래브
탄성계수	206 MPa	273 MPa
포아송비	0.3	0.18
중량	76,980N/m3	24,520N/m3



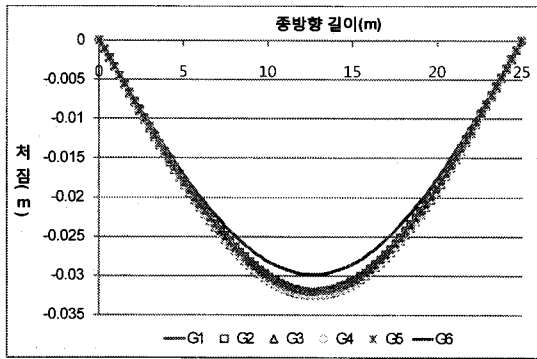
[그림 16] 3차원 모델링 및 하중재하방법

[표 5] 3차원 유한요소해석결과

하중재하	응력(MPa)					
	G1	G2	G3	G4	G5	G6
2차선 중앙재하	62.4	74.1	70.8	70.8	74.1	62.4
1차선 내측재하	56.1	58.8	45.8	29.4	16.3	5.00
1차선 편측재하	66.8	63.0	41.1	26.2	12.8	1.69



[그림 17] 2차선 중앙재하 발생응력분포



[그림 18] 2차선 중앙 재하시 발생 침침

해석결과 2차선 중앙재하시 발생하는 최대침침은 거터 3과 4에서 발생되었으며, 크기는 3.25cm이다. 이 크기는 설계기준의 허용치를 만족하고 있다. 발생하는 최대응력은 74.1MPa로 허용응력보다 작은 값이다. 4장에 언급된 도로교 설계기준에 따른 검토결과를 살펴보면 경간 25m 신형식 교량에 H-800형강은 거터로 사용될 수 없다. 그러나 3차원 상세 구조해석결과 발생하는 최대응력(74.1MPa)이 허용응력(210MPa)보다 크게 작은 것을 확인할 수 있다. 따라서 도로교 설계기준을 적용하여 검토된 4장의 결과는 매우 안전측임을 확인할 수 있다.

6. 결론

본 연구에서는 도로교 설계기준(2005)을 적용하여 20m~30m 경간을 가지는 강합성 초간편 교량의 경제적이고 안전한 설계단면선정을 위한 연구를 수행하였다. 연구결과를 요약하면 다음 표 6과 같다.

[표 6] H-형강 선정단면 검토 결과

구분	지간(m)	H형강 종류				
		H700×300	H800×300	H900×300	H912×302	H1000×300
단순교	20	X	O	O	O	O
	25	X	X	X	O	O
	30	X	X	X	X	X
2경간 연속교	20+20	O	O	O	O	O
	25+25	X	O	O	O	O
	30+30	X	X	O	O	O
3경간 연속교	20+20+20	O	O	O	O	O
	25+25+25	X	O	O	O	O
	30+30+30	X	X	O	O	O

단경간 교량형식에서 경간장 L=20m 길이를 갖는 경우

거터로 사용가능한 형강은 H-800, H-900, H-1000이다. L=25m 경우 H-912, H-1000 형강이 사용가능하며, L=30m 경우 검토된 H형강 모두 적용이 불가능하다.

2경간 등지간 교량형식에서 20m경간을 가지는 경우 검토된 모든 형강이 사용가능하며, 25m경간의 경우 H-800형강 보다 큰 것을 사용하여야 하며, 30m경간의 경우 H-900형강 보다 큰 것을 사용하여야 한다. 3경간 등지간 교량형식의 경우 2경간 연속교와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

설계단면의 안전성을 평가하고자 대표단면 경간 25m을 가지는 H형강 초간편교량의 3차원 유한요소해석을 실시하여 검토한 결과 도로교 설계기준 적용시 H-800형강은 설계단면으로 사용할 수 없으나 3차원 해석결과 발생하는 최대응력(74.1MPa)과 최대처짐값(3.25cm)이 허용치 안에 발생하는 것을 알 수 있었다. 따라서 표 6의 제안 단면은 매우 안전측으로 선정된 것으로 판단된다.

본 연구결과를 토대로 초간편 강합성교량의 설계단면을 선정할 수 있었다. 그러나 본 연구에 사용된 강합성교량의 경험적인 횡분배 계산식은 매우 안전측의 값을 나타내고 있어, 상세 해석을 통한 실질적인 횡분배율을 적용한다면 보다 경제적인 단면선정이 가능할 것으로 판단되며 이 부분에 대한 추가적인 연구가 수행될 필요가 있다. 또한 등지간이 아닌 연속교의 장점이라 할 수 있는 비등지간 교량에 대한 단면선정도 추가적으로 연구가 수행될 필요가 있다.

참고문헌

- [1] 국토해양부(2006), 도로교량 및 터널 현황조사서.
- [2] 박정웅, 이선호, 윤기용, 박중섭, 김상섭, "H형강을 이용한 초간편 장지간 강합성 교량 개발에 관한 기초연구", 한국강구조학회 2007년도 학술발표대회 논문집, pp758 ~ 763.
- [3] 이선호(2008), 초간편 H형강 교량 개발, 한국건설교통기술평가원 연차실적보고서.
- [4] 이재혁, 김성태, 윤태양, 은성운, "압연형강을 이용한 단경간 강교량 설계표준화", 한국강구조학회 2002년 3월 강구조학회지, pp77 ~ 82.
- [5] 한국도로교통협회(2005), 도로교 설계기준, 건설교통부 제정.
- [6] ABAQUS (2007), Standard User's Manual, Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc., Volumes 1, 2 and 3. Version 6.5.
- [7] MIDAS CIVIL(2006), Integrated Solution System for Bridge and Civil structures, Version 200, MIDASIT.

- [8] Stallings, J.M., Cousins, T.E., and Tedesco, J.W.(1999). "Removal of diaphragms from three-span steel girder bridge." Journal of Bridge Engineering, ASCE, 4(1), pp63 ~ 70.

박 종 섭(Jong-Sup Park)

[정회원]



- 1994년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학사)
- 1996년 8월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학석사)
- 2002년 12월 : Auburn University (공학박사)
- 2005년 9월 ~ 현재 : 상명대학교 토목환경공학부 교수

<관심분야>

구조공학, 교량공학, 강구조좌굴, 유지보수

김 재 흥(Jae-Heung Kim)

[준회원]



- 2008년 2월 : 상명대학교 토목공학과 (공학사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 상명대학교 일반대학원 토목환경공학과 석사과정

<관심분야>

구조공학, 교량공학, 강구조, 유지보수