

초간편 강합성 H형강 교량의 실험 성능평가 고찰

김재홍*, 박종섭*, 이신호**, 최승호**, 이영호***

*상명대학교 건설시스템공학과, **석탑엔지니어링, ***한국건설기술연구원
e-mail:gmdl3@lycos.co.kr

ZAn Experimental Study on Performance Evaluation of Simplified Composite Steel I-Beam Bridge

Jae Heung Kim*, Jong Sup Park*, Son Ho Lee**, Seung Ho Choi**, Young Ho Lee***

*Dept of Civil & Environmental Engineering, Sangmyung University

**SOKTOP Engineering

***KOREA Institute of Construction Technology

요 약

본 연구는 도로교 설계 기준 바탕으로 H-형강을 사용하여 20~30m 사이의 지간장을 가진 중·소규모 교량에 적용이 가능한 초간편 교량의 모형실험 결과와 유한요소해석프로그램(ABAQUS)을 사용한 해석 결과와 비교·분석하여 초간편 교량의 성능을 평가한 것이다. 일반적으로 우리나라의 교량들은 시공과정에서 여러 단계를 거쳐 시공한다. 시공단계가 복잡할수록 공사기간은 늘어나기 때문에 기상 현상에 의한 파괴와 교량의 낙후로 인해 유지, 보수, 교체 또는 교량확장을 해야 하는 경우 교통 혼잡과 경제적 손실을 줄 수 있다. 따라서 본 연구는 이와 같은 경제적 손실을 줄일 수 있는 초간편 H형강 교량의 연구의 일환으로 기존의 연구 결과를 모형실험 수행 결과와 비교하여 최적성능을 평가하기 위해 실시하였다. 사용된 실험체는 실험장소인 건설기술연구소의 구조실험동 장소 여건에 따라 10m 안팎의 경간을 갖는 교량으로 제작하였다. 실험체의 설계 제작 과정에 대해 검토한 후 범용구조해석 프로그램을 이용하여 동일한 조건을 적용한 결과를 비교 후 최종적으로 초간편 교량의 성능에 대한 평가를 실시하여 김재홍 등(2009)의 의해 제안된 하중분배계수 값이 적용가능한지 판단하였고, 실험을 통해 응력 분포와 극한하중에 대해 검토하였다.

1. 서론

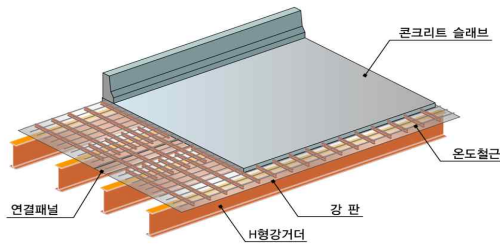
일반적으로 우리나라의 교량들은 시공과정에서 여러 단계를 거쳐 시공한다. 시공단계가 복잡할수록 공사기간은 늘어나기 때문에 기상 현상에 의한 파괴와 교량의 낙후로 인해 유지, 보수, 교체 또는 교량확장을 해야 하는 경우 교통 혼잡과 경제적 손실을 줄 수 있다. 건설교통부의 통계자료(2005)에 의하면 1900년대 이후에서 2005년까지 완공된 도로교의 수는 총 22,378개소(연장 19966.7km)에 달하며 이 중 지간장 21m~30m 사이의 교량은 3,295개소(연장 406.5km, 20.7%)이다. 특히 2000년 이후에 건설된 총 5943개소의 교량에 대해 지간장 21m~30m 사이의 교량은 1437개소이며 전체연장대비 26.7%로 나타나 현재 가장 많이 건설되고 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 중·소규모 교량의 시공 및 구조 효율성 개

선이 필요하다는 것은 기존의 연구에서 보고되었다. (박정용 등,2007)

본 연구는 기존에 초간편 교량의 최적단면선정에 대해 미리 수행한 연구 “도로교설계기준을 적용한 초간편 H형강 강합성 교량의 설계 단면 연구”(김재홍 등,2008)와 초간편 교량의 설계 조건에 따른 하중분배계수를 알아보기 위해 수행한 “강합성 초간편 H형강 교량의 하중분배계수에 관한 해석적 연구”(김재홍 등,2009)에서 확립한 기본설계 단면가정(그림 1과 같이 H형강, 강판, ㄷ형강, 콘크리트로 된)을 적용하여 초간편 H형강 교량의 성능평가를 위하여 실험실 내에서 중국강도실험을 수행하였다. 실험체 파괴실험에 앞서서 유한요소해석프로그램인 ABAQUS를 사용하여 실험값을 예측하고 실험결과와 비교·분석하였다.

본 연구에서 중국강도실험에 사용된 실험체는 실험

장소인 건설기술연구소의 구조실험동 실험실 조건과 장소에 맞게 제작 하였고, 실험은 종국강도와 구조시스템의 횡분배 효과를 검토하기 위해 3개의 실험체를 이용하여 실시하였다. 따라서 본 논문에서는 실험체의 설계 제작 과정에 대해 검토 후 범용구조해석 프로그램을 이용하여 실험체와 동일한 조건을 적용한 결과와 실험 결과를 비교 하여 최종적으로 초간편 교량의 종국강도와 하중분배효과 및 시스템 안전성을 검토하였으며, 유한요소해석결과와 실험의 유사성을 통해 해석기법의 정확성과 적합성을 확인하여 최적설계해석 방법을 확립할 수 있었다. 또한 실험결과와 해석을 통해 초간편 교량의 안전성과 간편성을 판단할 수 있었다.

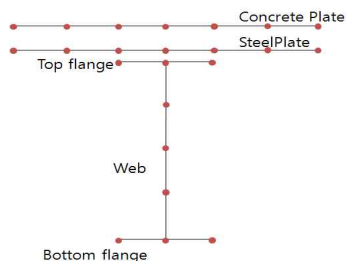


[그림 1] 초간편 교량의 일반 개념도

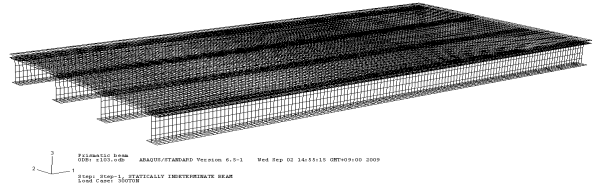
2. 초간편 실험체의 해석 Modeling 및 실험방법

2.1 실험체 모델링

초간편 강합성 교량의 실험체와 결과를 비교하기 위해 유한요소해석프로그램 ABAQUS(2007)가 사용하였다. ABAQUS를 이용하여 그림 1과 같은 초간편 교량의 일반 개념도와 같이 콘크리트 슬래브, 강판, H형강을 4절점 쉘요소(shell element)를 적용하였고, 콘크리트와 강판 H형강이 합성거동을 하도록 tie option을 적용하였다. 그림 2는 해석요소의 기본 모델링이며 그림 3은 4개 주형을 가지고 있는 실험체를 나타낸 것이며 초간편 교량의 거동 특성을 비교하기 위해 실시한 것이다. 본 해석 모델의 적절성은 선행된 연구에서 기술하다.



[그림 2] 해석 요소 모델링

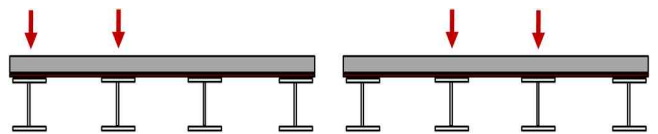


[그림 3] 4주형 실험체의 ABQUS 모델링

2.2 초간편 교량의 실험방법

4주형 실험체의 실제 길이는 10.3m이고, 실험체에 사용된 H형강은 H588x300x12x20이고 경간장은 10m, 강판은 폭 1.5m이고 두께는 6mm로 실험체와 해석 모델을 동일하게 적용하였다. H형강, 강판의 재료는 E=210,000MPa인 SS400 강재를 사용하였다. 상부에 타설된 콘크리트의 두께는 15cm이고 강도는 27MPa로 설계하여 해석과정에 적용하였다.

초간편 모형실험에 4주형실험은 그림 4와 같이 경간중양 상부에 하중을 내측과 외측에 재하 하였고, 유한요소해석을 진행 할 때도 실험과 동일한 위치에 하중을 재하 하였다. 그림 5과 같이 주형 2개에 동일한 하중이 작용하도록 건설기술연구원에 3000 kN급 만능시험기(Universal Testing Machines)를 사용하여 하중을 재하 하였다. 실험중 하중재하시 그림 5와 같이 가력판과 콘크리트 바닥판 사이에는 230x570x30mm 탄성패드를 설치하여 콘크리트 바닥판의 손상을 방지하였다.



(a) 편측재하 (b) 중앙재하

[그림 4] 4GM 실험체의 하중재하 위치



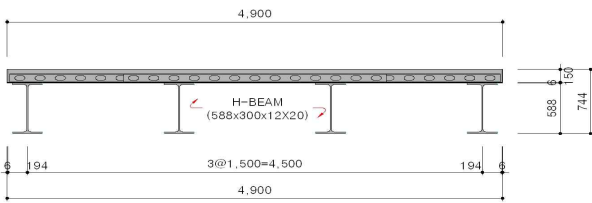
[그림 5] 4GM 실험체 가력판

3. 실험체 설계 및 제작과정

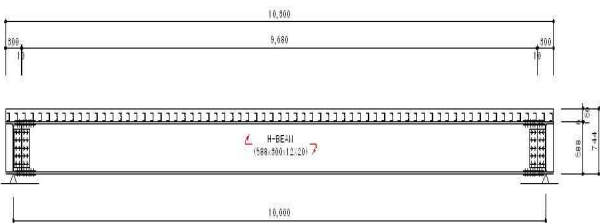
3.1 실험체 설계단면

본 연구에 기본설계길이 25m 경간을 가지는 초간편 교량은 2개 주형을 1패널로 사용한 3개의 패널과 2개의 연결 패널을 기본으로 하고 있다. 이처럼 설계와 동일한 경간장과 단면가정을 사용하여 실험을 실시하면 실험의 완성도를 높일 수 있지만, 실험장비 및 건설기술연구원 구조실험동의 여건으로 25m의 기본설계 단면가정을 적용한 실험체를 제작 할 수 없었다. 위와 같은 이유로 본 모형실험은 축소모형이 아닌 경간장이 10m 내외의 초간편 H형강의 최적 주형을 선행연구 결과(김재홍 등,2008)와 같이 계산하여 그림 2(b)의 측면도의 단면가정과 같은 길이 9.7m의 패널 2개(강판과 H588x300을 이용한 1패널당 H형강 2개)와 연결패널 H588x300을 연결한 10.3m를 가지는 4주형 모형실험체를 사용하여 중국 강도 평가와 하중분배효과 확인을 위한 실험체로 사용하였다. 단위주형실험체는 하중분배에 관한 해석 및 결과 비교를 하기위해 필요한 것으로 선행연구에서 기술하였다.(김재홍 등,2009) 하중분배계수값을 산정하기 위해선 식(1)과 같이 단위주형과 4주형의 하부플랜지의 종방향 최대 휨응력값($f_{max}^{fa \text{ single beam bridge}}$, $f_{max}^{fmulti-beam bridge}$)을 실험으로 측정, 구조해석프로그램으로 해석하여 산정할 수 있다.

$$LDF = \frac{f_{max}^{fmulti-beam bridge}}{f_{max}^{fa \text{ single beam bridge}}} \quad (1)$$



(a) 4GM 실험체 정면도



(b) 4GM 실험체 측면도

[그림 6] 시험체 제원 (단위: mm)

이와 같이 초간편 모형실험에는 실험체를 다음과 같이 명명하였다. 4주형을 초간편 H형강 교량 실험체는 4GM(4 Girder Multiplied system)명명하였다.

3.2 실험체 제작과정

앞서 설명한 단면을 가지는 실험체의 제작은 부일건설 공장에서 제작하였다. 부일건설에서 실험체가 제작되는 과정을 지켜본 결과 설계도면과 제작되는 실험체의 제작 오차를 줄여야 초간편교량의 특징인 시공단계 축소에 따른 급속시공 효과가 크게 나타난다는 것을 확인하였다. 실험체의 제작과정 사진은 그림 7과 같다. 그림 7과 같은 초간편 실험체 제작과 조립은 부일건설에서 이루어졌고 운송 후 조립·완성은 일산 건설기술연구원 구조실험동(건기연)에서 실시하였다. 그림 4와 같이 건기연으로 운송 후 조립, 제작한 실험체에 온도 철근을 배근한 후 콘크리트 타설 과정을 거쳐 양생을 하는 것이 초간편 교량의 시공단계의 일련의 과정이다. 이와 같은 제작 및 조립과정을 수행한 결과 시공기술자의 숙련정도에 따라 시공 기간이 단축과 완성도 있는 교량제작이 가능한 것으로 확인할 수 있었다.



(a)4GM 실험체 가로거더연결



(b)4GM 실험체 H형강 용접



(c)4GM 실험체 연결패널부



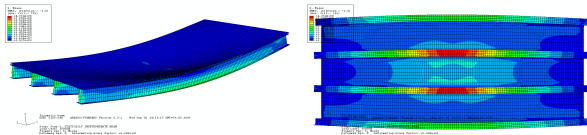
(d)SM 실험체 제작

[그림 7] 초간편 교량 공장 제작 사진

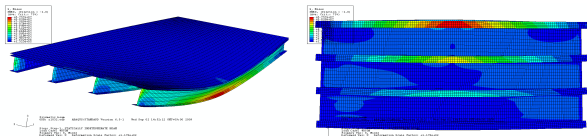
4. 초간편 교량 실험 및 해석 결과 비교

2절에서 서술한 유한요소해석 프로그램(ABAQUS)을 이용한 해석모델을 적용하여 4GM실험체를 해석한 결과 그림 8과 같이 나타낼 수 있다. 그림 8(a)는 4주형 실험체에 중앙 하중재하시 해석결과를 나타낸 응력분포도 이고, 그림 8(b)는 편중재하시 해석결과를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 중앙 2~3주형 하중재하시 교량이 전체적으로 대칭적인 거동을 보

이고, 편측재하시 하중을 재하한 위치에서 응력이 가장 크게 발생한 것을 알 수 있다.



(a) 4GM 중앙 재하시 응력분포

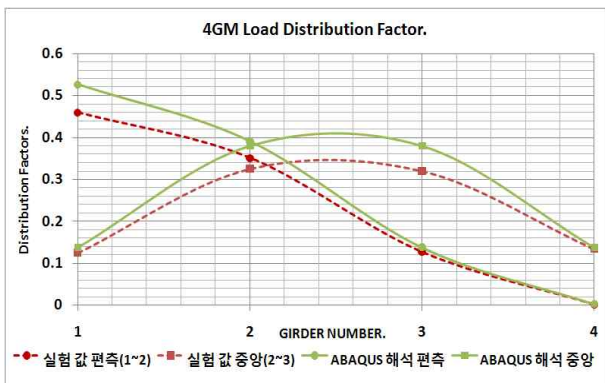


(b) 4GM 편측 재하시 응력분포

[그림 8] 4GM 실험체 ABAQUS 해석 결과

5. 결론

그림 9를 보면 초간편 실험체에서 측정된 실험결과와 해석결과를 비교한 것으로 초간편 강합성 H형강 교량의 하중분배계수와 종국강도를 다음과 같이 정리하였다. 그림 9를 보면 실험결과가 해석 값보다 작게 나타났다. 이는 실 교량의 강성이 큰 것으로 판단할 수 있다. 이는 초간편 교량이 하중분배계수 표 1의 하중분배계수 값은 ABAQUS 해석결과와 선행연구결과를 비교하여 제안하였다. 또한 실험을 통한 각 실험체 별 종국강도 결과는 표 2로 나타내었다. 또한 그림 10은 4주형 실험체 중앙 하중재하시 하중별 중앙 2번째 주형의 응력분포도를 나타내었다.



[그림 9] 4GM 실험체의 하중분배계수 분포도

[표 1] 초간편 H형강 교량의 하중분배 제안값

하중분배계수 제안값	활하중		사하중
	내측주형	외측주형	외측주형
	0.420	0.320	0.680

[표 2] 실험별 종국강도(수직하중) 비교 (단위: kN)

실험체	유한요소해석 결과(ABAQUS)		Test Results	
			항복강도	종국강도
4GM 실험체	ABAQUS 탄성해석 (시간 중앙 하부플랜지 항복응력 도달기준)	편측	1,764	
		중앙	2,593	1,516 / 3,000

본 연구를 통해 얻어진 결론을 다음과 같이 요약하였다. 실험의 조립, 타설, 양생, 하중 재하의 모든 과정을 관찰한 결과 초간편 H형강 교량은 제작장에서 조립 시공현장으로 이동하여 재조립시 초간편 교량의 장점인 급속시공의 효과를 얻기 위해 많은 주의가 필요한 것으로 판단되었다. 4GM 실험체의 실험결과 편측, 중앙 재하의 하중재하 조건으로 기 수행한 논문의 해석, 설계조건을 고려한 하중분배계수의 영향인자를 파악할 수 있었고, 해석결과 보다 실험결과가 작게 나타난 것을 보면 실제교량의 강성은 설계인자에 비해 충분한 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 건설교통부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 건설핵심기술연구개발사업(자유공모)으로 선정된 “초간편 H형강 교량 개발(과제번호:06건설핵심 C17)” 연구의 일환으로 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

참고문헌

- [1]. 건설교통부, “2005 교량현황조사”, 2005.
- [2]. 박정용, 이선호, 윤기용, 박종섭, 김상섭, “H형강을 이용한 초간편 장시간 강합성 교량 개발에 관한 기초연구”, 한국강구조학회 2007년도 학술발표논문집, pp758~763.
- [3]. 김재홍, 박종섭, 이선호, “도로교설계기준을 적용한 초간편 H형강 강합성 교량의 설계 단면 연구”, 한국산학기술학회 2008년도 학술발표논문집, pp132~134
- [4]. 김재홍, 박종섭, “강합성 초간편 H형강 교량의 하중분배계수에 관한 해석적 연구”, 한국강구조학회 논문집 제21권 3호 2009년 6월, pp221~232.