



프리캐스트 곡선PSC 박스 거더 공법

Precast Curved PSC Box Girder

김성재 Sung-Jae Kim
브릿지테크놀로지(주)
대표이사

엄기하 Gi-Ha Eom
브릿지테크놀로지(주)
기술연구소장

김장호 Jang-Ho Jay Kim
연세대학교 사회시스템공학부
교수

김성배 Sung-Bae Kim
연세대학교 토목공학과
BK21 박사후 연구원

1. 머리말

최근 교통수요의 증대와 물류 공급망이 활발해지면서 도로 및 철도 고속화를 추진하고 있다. 이에 대한 일환으로 도로선형의 직선화와 장대교량 구간 등을 계획하고 있으나 도로선형 계획에 있어 곡선구간은 필수불가결하게 발생하게 된다. 특히, 신교통시스템인 경전철 사업이 증가하면서 도심지 내에 고가교량을 이용한 경전철 시스템을 도입하고 있으며, 경전철 시설물은 제한된 도심지 내에 시공된다는 단점과 경관 및 미관을 고려해야 하기 때문에 급경사, 급곡선 등 곡선반경이 작은 곡선교 구간의 발생이 증가하게 된다. 이러한 수요를 충족하기 위해 곡선교 개발이 절실히 필요하며, 효율적인 제작 및 가설이 요구되고 있다.

2. 프리캐스트 곡선 PSC 박스 거더 공법

2.1 개발배경

곡선거더를 사용하여 곡선교를 제작하는 것은 평면선

형과 동일하게 설계할 수 있다는 장점이 있어 효과적인 단면설계를 기대할 수 있고, 장지간의 교량을 계획할 수 있어 가장 일반적으로 사용되는 방법이다. 그러나 곡선 거더는 비틀림 강성이 큰 사각 폐합단면 형상의 스틸 박스 거더교나 PSC 박스 거더교가 주로 사용되고 있다(사진 1). 스틸 박스 거더교의 경우 강재의 특성상 기하학적인 형상을 구현하는데 상대적으로 손쉽게 때문에 대부분의 곡선교에서는 강재를 이용한 스틸 박스 거더교를 사용하고 있으나 이는 초기 공사비가 고가이고, 도장과 같은 지속적인 유지관리가 필요한 문제점을 가지고 있다. 또한, FCM(free cantilever method), MSS(movable scaffolding system), ILM(Incremental launching method), PSM(precast prestressed segment method) 등의 공법으로 제작된 PSC 박스 거더는 반드시 대형장비가 필요하게 되며, FSM(full staging method)은 다른 공법에 비해 특수한 거푸집 장비나 대형 장비가 필요로 하지 않으나 동바리나 벤트가 많이 소요된다. 이는 교량 공사비의 증가와 더불어 곡률반경이 300 이상인 경우와 1km 이상인 교량에 대해서만 적용 가능하다는 단점이 있다.

본 고에서는 스틸 박스 거더와 PSC 박스 거더를 대체



사진 1. 곡선교가 포함된 고가교

할 수 있으며 R=300m 이하의 작은 곡률반경을 갖고 중소형 곡선교량에 적용 가능한 프리캐스트 곡선 PSC 박스 거더를 소개하고자 한다.

2.2 기술특성

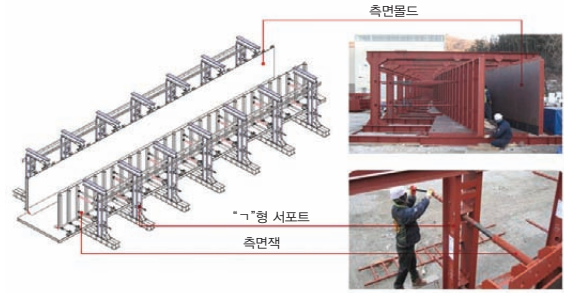
프리캐스트 곡선 PSC 박스 거더의 제작기술은 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 현장 제작 및 크레인 일괄가설 방법을 선택하고 있다. 프리캐스트 곡선 PSC 박스 거더를 제작(사진 2)하기 위해서는 다양한 곡률반경과 거더 길이의 조절이 가능한 몰드가 필요하다. 프리캐스트 곡선 PSC 박스 거더 제작 시에 <그림 1>와 같이 측면몰드에 변형을 가해 일정한 형상을 유지시킬 수 있는 변형 및 고정장치를 구비하여 다양한 곡률 반경의 곡선형 보를 제작할 수 있는 스마트 몰드(smart mold)를 사용하고 있다.

2.3 공법의 특징

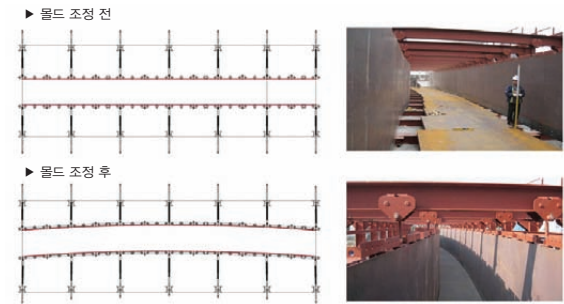
이번에 소개되는 프리캐스트 곡선 PSC 박스 거더의 장점은 다음과 같다.



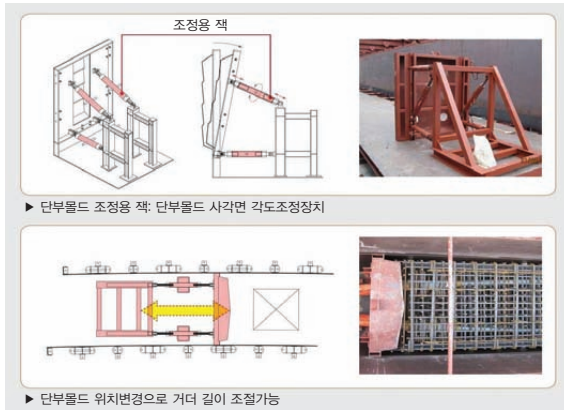
사진 2. 프리캐스트 곡선 PSC 박스 거더 시공순서



(a) 곡률조정이 가능한 기능-1



(b) 곡률조정이 가능한 기능-2



(c) 거더 길이 조절 및 사각 조절 기능

그림 1. 스마트 몰드 시스템 개요도

- (1) 다양한 곡률 반경을 적용할 수 있어 직선구간은 물론 클로소이드 구간, 원곡선 구간 등 다양한 형상의 거더를 구현할 수 있다.
- (2) 기존의 중소경간에 많이 적용하는 직선거더는 곡선교량에 적용시 주거더를 직선으로 하고 바닥판을 곡선으로 처리하거나 곡선교를 직선화하여 계획했지만 프리캐스트 곡선 PSC 박스 거더는 곡선 형태의 거더를 제작하기 때문에 미관이 수려하고 경제적이다.
- (3) 폐합된 박스형상의 단면을 적용하여 단면 강성이 크고 특히 비틀림에 대한 저항성이 우수하여 곡선

교의 구조적 효율성을 극대화하였다.

- (4) 일반적인 PSC 빔과 동일한 공정으로 별도의 추가 공정이 없어 제작성이 뛰어나다.
- (5) 제작장에서 만들어 크레인으로 일괄 가설하기 때문에 별도의 동바리나 벤트 또는 특수 장비가 필요가 없어 시공성이 매우 우수하다.

이와 같이 프리캐스트 곡선 PSC 박스 거더는 PSC, 박스단면, 빔 형식의 장점을 접목시킨 실용화 된 교량형식으로 중소교량의 곡률반경이 작은 평면선형에 적용해 오던 스틸 박스 거더 및 PSC 박스 거더를 대체할 수 있는 교량이다.

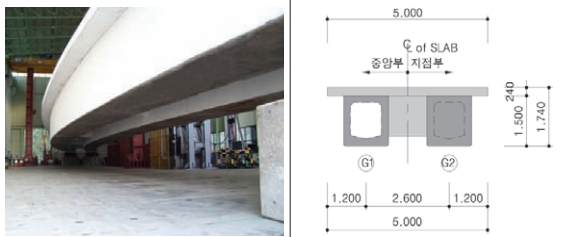
3. 프리캐스트 곡선 PSC 박스 거더의 구조 성능 평가

3.1 개요

프리캐스트 곡선 PSC 박스 거더의 성능검증을 위한 실물실험은 국토해양부 산하 건설교통기술평가원의 R&D 정책·인프라 기술사업화의 지원을 받아 수행되었으며, 경간장 40m, 곡선반경 R=100m의 2거더 박스로 도로교를 대상으로 하이브리드 구조실험센터에서 수행하였다.

3.2 시험체 제원

형식	프리캐스트 곡선 PSC 박스 거더
연장	40m(R=100m)
폭원/형고	5m(2 거더)/1.5m
재료물성	$f_{ck} = 45 \text{ MPa}$ (거더) $f_{ck} = 27 \text{ MPa}$ (슬래브)



3.3 구조해석 및 성능 검증 실험

프리캐스트 곡선 PSC 박스 거더 곡선교의 거동을 분석하고 실험결과를 예측하기 위하여 범용 유한요소 해석프

로그래밍 DIANA를 사용하였다. 사용재료에 대한 비선형 거동을 고려한 3D 정밀 해석을 수행하였고, 실제제작조건과 동일하게 설정하여 해석하였으며, 8절점 및 6절점 솔리드 요소를 이용해 <그림 2>와 같이 모델링을 하였다.

<그림 3>과 <그림 4>는 프리캐스트 곡선 PSC 박스 거더의 해석결과와 실험결과 그래프이다. 해석값과 실험값의 하중-변위 곡선을 비교한 결과 거의 유사한 거동을 보이는 것과 해석결과 2,700kN에서 파괴가 발생하는 것을 알 수 있지만 실험값은 최대 3,350kN에서도 파괴가 발생지 않았다. 이는 실험실 여건상 최대하중을 재하하였을 때의 측정치이고 해석값의 파괴 하중보다 실험값의 최대 재하하중이 약 1.2배 높으므로 훨씬 높은 성능을 가지고 있는 것을 알 수 있다. 또한, 설계하중은 450kN

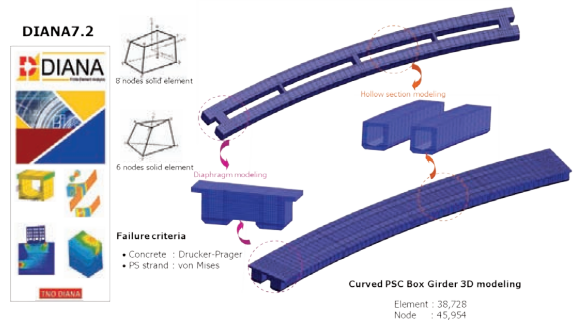


그림 2. 실험체 구조해석 모델

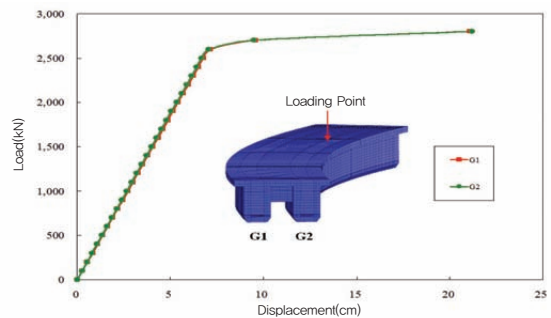


그림 3. 실험체 구조해석 결과(하중-변위)

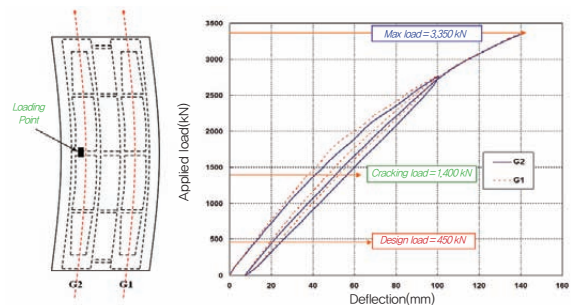


그림 4. 중앙부 실험 결과(하중-변위)

이고, 균열하중은 1,400 kN으로 설계하중의 약 3.1배에서 발생한다. 최대하중은 3,350 kN으로 약 7.4배이므로 매우 안정적인 거동을 보였으며, 실험 조건을 고려하였을 때 최대하중은 더욱 증가할 것으로 판단된다.

4. 설계사례

프리캐스트 곡선 PSC 박스 거더교의 대표적인 설계사례는 다음과 같다.

(1) 동대구역 고가교 개체 및 확장공사

발주처	대구광역시	
교량명	고가교	
최대지간	40 m	
곡선반경	R=240 m	
거더본수	30본(곡선)	
거더본수	402본(직선)	

(2) 원화효산간 4차로 확·포장공사

발주처	전라남도	
교량명	원화교	
최대지간	53 m	
곡선반경	R=200 m	
거더본수	30본	

5. 맺음말

곡선교에 있어서 프리캐스트 곡선 PSC 박스 거더교가 스틸 박스 거더교나 PSC 박스 거더교 등과 비교할 때 월등한 경제성을 장점으로 하여 선호될 것이며, 이는 앞으로 꾸준한 수요가 계속될 것으로 전망된다. 또한 최근 건설시장은 원자재 가격의 상승, 특히 강재 가격의 상승으로 경제성 제고를 통한 건설 예산의 절감이 주된 관심사이다. 이러한 사회적 요구에 부응하여 PSC 거더의 시공성, 경제적 장점으로 곡선교에 적용할 수 있어 다른 PSC 거더 공법과 차별화를 극대화한 기술로서 종래 스틸 박스 거더 시장뿐만 아니라 유사 거더 건설시장에 까지 그 파급효과가 매우 큰 기술로 전망이 긍정적일 것으로 예상된다. □

담당 편집위원 : 김도학(GS건설(주) 기술연구소) dohkim@gsconst.co.kr

참고문헌

1. 한국도로교통협회, 도로교설계기준, 건설정보사, 2010.
2. 이현민, 박재근, 조성훈, 신현목, '3D 정보모델 기반 PSC 박스 거더의 해석 및 설계', 2009년도 대학토목학회 정기 학술대회, 2009, pp.226 ~ 227.
3. 한국강구조학회, 포항산업과학연구원, 한국도로공사, 곡선강교의 설계 및 구조상세 기술개발 연구, 건설교통부, 건설교통기술혁신사업 최종보고서, 2005.
4. 한국도로공사 기술심사실, 고속도로 교량형식별 생애주기비용 연구, 2002.
5. 한국도로공사 도로교통기술원, 교량의 LCC 분석을 위한 사용자 비용 산정 연구, 2006 연구보고서.
6. Precast/Prestressed Concrete Institute(PCI), Precast Prestressed Concrete BRIDGE DESIGN MANUAL, 2nd Ed, Vol. 2, 2003.



김성재 대표이사는 연세대학교 박사과정 재학 중이며, 프리캐스트 프리스트레스 거더에 대한 연구를 수행 중이다. 현재 브릿지테크놀로지 대표이사로서 프리캐스트 콘크리트 거더 관련한 사업 및 연구를 수행하고 있으며, 본 연구를 총괄하고 있다.

spc4000@naver.com



엄기하 기술연구소장은 경희대학교 토목공학과에서 입출공법으로 시공되는 PSC 박스거더교에 관한 연구로 석사학위를 취득한 후 서영엔지니어링과 바우컨설턴트를 거쳐 현재 브릿지테크놀로지 기술연구소장으로 PSC 곡선거더 및 PSC 거더의 연구개발을 총괄하고 있다.

gheom@hanmail.net



김장호 교수는 Northwestern University에서 박사학위를 취득하였고, 현재 연세대학교 사회환경시스템공학부에서 부교수로 콘크리트 구조연구실 과방호기술연구센터(PROSTEC)을 운영하고 있다. 연구 분야는 황토와 재생 파이버 등을 이용한 친환경콘크리트 재료 분야와 교량개발 및 구조물 보강 공법 등의 구조분야, 그리고 폭발, 충돌 등의 특수 분야 등을 다루고 있다.

jjhkim@yonsei.ac.kr



김성배 박사는 연세대학교 토목공학과에서 박사학위를 취득하였으며, 박사 취득 후 연세대학교 BK21 박사후 연구원으로 교량, 폴리머 보강재, 친환경 콘크리트 등의 연구를 수행하고 있다.

77sztk@hanmail.net