



# 프리캐스트 곡선 PSC 박스 거더의 구조성능 검증 및 적용사례

## Structural Performance Verification and Application of Precast Curved PSC Box Girder

**김성재** Sung-Jae Kim  
 브릿지테크놀로지(주)  
 대표이사

**엄기하** Gi-Ha Eom  
 브릿지테크놀로지(주)  
 기술연구소장

**이진호** Jin-Ho Lee  
 브릿지테크놀로지(주)  
 기술연구소 차장

**김장호** Jang-Ho Jay Kim  
 연세대학교 사회시스템공학부  
 교수

### 1. 머리말

도심지 또는 고속도로의 접속구간에서 곡선구간이 필수불가결하게 발생하고 있으며, 이 구간에서 일반적으로 강박스 거더교, PSC박스 거더교 형식의 공법이 적용되고 있다. 그러나 강박스 거더교의 경우 강재의 특성상 상대적으로 기하학적 형상을 구현하는 것이 쉽지만, 초기 공사비가 높고 도장과 같은 지속적인 유지관리가 필요한 문제점을 가지고 있다. 중소 지간에 적용이 가능한 PSC박스 거더는 FSM(full staging method)으로 가설이 되어 동바리나 벤트 소요가 많아 초기 공사비가 많이 들며 공사기간 중 하부 공간의 이용이 불가능하다. 또한, 거더는 직선으로 배치하고 바닥판을 곡선으로 교량을 시공하는 방법은 곡률에 대한 적용성이 상당히 제한적이며 짧은 직선 거더를 여러 개 연결하게 되므로 미관을 해치는 단점을 가지고 있다.

본 기술기사에서는 강박스 거더교와 PSC박스 거더교 등을 대체 할 수 있으며 구조 안정성, 경제성, 시공성 및 유지관리 편리성이 우수한 프리캐스트 곡선 PSC박스 거더교에 대하여 소개하고자 한다.

### 2. Smart Mold 시스템 및 프리캐스트 곡선 PSC박스 거더

곡선 거더교는 하나의 교량 내에서 각각의 거더가 서로 다른 곡률반경, 길이를 갖게 된다. 강박스 거더교는 강재의 특성상 기하학적 형상을 구현하는데 손쉬우므로 곡선교에 주로 적용이 되었지만 프리캐스트 PSC 거더교는 곡률반경의 구현이 어려워 곡선교 적용에 힘든 부분이 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 <그림 1>과 같이 하나의 몰드 시스템에서 거더 길이·높이·곡률 반경 및 단부 사각을 효과적으로 조절할 수 있는 Smart Mold 시스템을 개발하였으며 프리캐스트 곡선 PSC 거더교를 현장에서 제작하여 크레인으로 일괄 가설할 수 있도록 이동 및 현장조립이 가능한 형태의 몰드 시스템을 구축하였다.

Smart mold 시스템을 이용한 프리캐스트 곡선 PSC 거더의 장점은 첫째, 다양한 곡률 반경을 적용할 수 있어 직선구간은 물론 클로소이드 구간, 원곡선 구간, S자형 곡선 구간 등 다양한 형상의 거더를 구현할 수 있으며 둘째, Smart mold 시스템은 이동 및 현장 조립이 가능하여 제작장에서 만들어 거더 운반 후 크레인으로 일괄 가설이 가능하므로 별도의 동바리나 벤트가 필요 없어 시공성이 우수하며 셋째, 교량의 선형과 같은 곡률반경으로 거더가 제작되어 미관이 수려하고 넷째, 콘크리트 거더로 경제성이 우수하며 별도의 도장이 필요 없어 유지관리가 편리하며 다섯

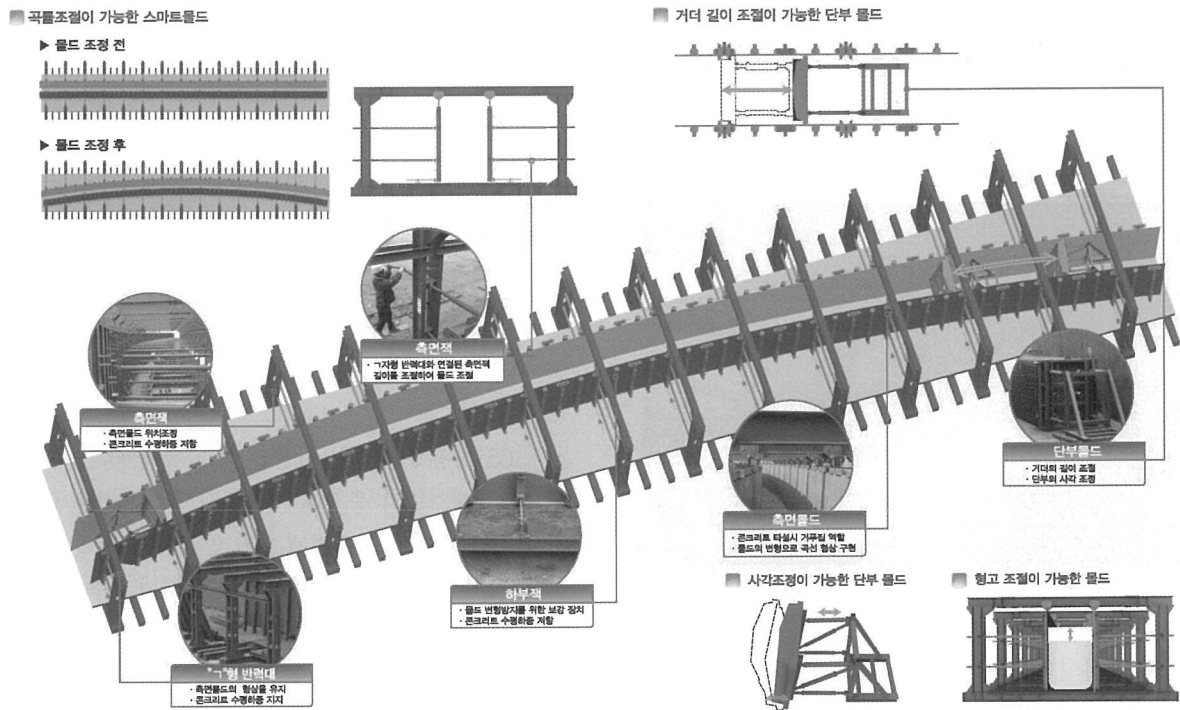


그림 1. Smart Mold 시스템

재, 콘크리트 교량으로 강박스 거더교에 비해 처짐, 진동 및 사용성이 우수하다.

또한, 곡선 거더는 기하학적 특성상 무게 중심이 거더의 단면 중심을 벗어나게 되어 시공 시 전도방지를 위한 벤트를 설치하였으며, 모노레일의 경우 전도방지 기능이 있는 고가의 교량 받침을 적용하였다. 하지만

프리캐스트 곡선 PSC 박스 거더는 <사진 1, 2>와 같이 무게중심점에 받침이 설치될 수 있도록 전도방지장치 또는 단부 블록을 설치하여 운반 및 가설 시 전도에 대한 안전성을 확보하였다.

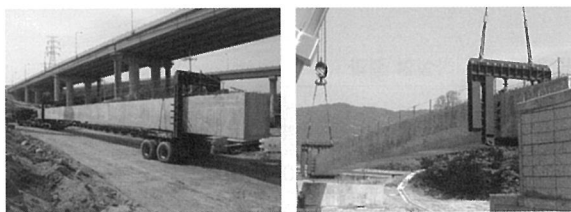
## 2. 현장재하실험을 통한 성능검증

### 2.1 개요

프리캐스트 곡선 PSC박스 거더의 내하력을 평가하기 위하여 현재 공용 중인 교량을 대상으로 현장재하실험을 수행하였다. 대상 교량은 램프 구간에 설치된 곡선 교량으로 대상 교량은 연장 40.0m, 폭원 7.9m, 곡률반경 220.0m이며 상세 제원 <표 1>과 같다.

### 2.2 현장재하실험

현장재하실험은 정적 재하실험 및 동적 재하실험을 수행하여 교량의 실제 정적·동적 거동 평가, 처짐 및 진동 등에 대한 사용성 평가, 내하력 평가를 하였다. 현장재하실험 시 사용된 트럭 하중의 총 중량 28.77톤이다.



(a) 운반 시 (b) 가설 시

사진 1. 전도방지 장치 설치



(a) 운반 시 (b) 가설 시

사진 2. 단부 블록 설치

표 1. 대상교량 제원 및 사진

교량 명	자금 IC Ramp-A교(곡선 PSC 박스 거더)		
연장	40.0 m	곡률반경	220.0 m
폭원	7.90 m	재료 물성	거더: 45 MPa
형고	1.96 m		바닥판: 27 MPa

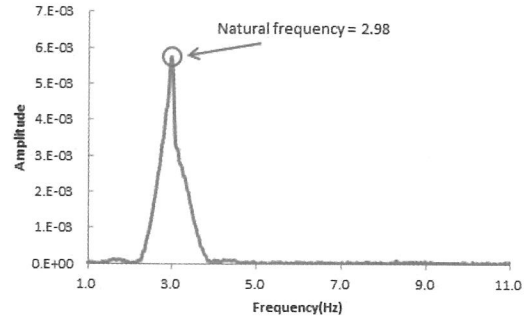
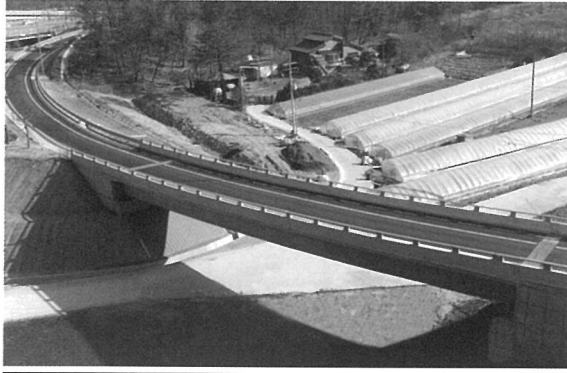


그림 2. 고유진동수 분석

2.2.1 정적 재하실험

정적 재하실험은 재하 차량 위치를 총 5개로 나누어 재하를 실시하였으며 <표 2>의 내용과 같이 최대 처짐 3.04 mm, 최대 인장 변형률 33.82 $\mu\epsilon$ 이 발생하였다. 정적 재하시험에서 측정된 최대 처짐은 현행 도로교설계기준의 허용처짐량 계산식인 1/800으로 산정한 허용처짐량 50 mm의 약 6.08%에 해당하는 매우 작은 값이며, 최대 발생응력은 1.08 MPa(33.82 $\mu\epsilon$  × 31,900 MPa)로 설계시 활하중에 의한 하연 응력인 4.62 MPa과 비교하여 매우 작은 값이므로 재하 하중에 대한 구조 안전성과 균열 안전성이 충분히 확보하는 것으로 평가하였다.

2.2.2 동적 재하실험

동적 재하실험은 차량의 제동 여건을 고려하여 10 km/h ~ 60 km/h까지 10 km/h씩 속도를 증가하여 수행하였으며 동적증가율과 충격계수를 분석하였고 대상 교량의 동적 특성은 <표 3>의 내용과 같다. 분석 결과 최대 충격계수는 50 km/h의 속도로 주행 시  $i_{실측}$

표 2. 정적 재하실험 결과

하중 조건	처짐( $\delta$ )	변형률( $\mu\epsilon$ )	하중재하 전경
LC1	2.00 mm	10.86	
LC2	2.67 mm	22.22	
LC3	3.04 mm	33.82	
LC4	2.54 mm	22.22	
LC5	1.81 mm	15.46	

= 0.165로 평가되었다. 산정된 실측 충격계수 0.165는 도로교설계기준의 충격계수 산정식으로 계산된 0.188보다 작은 값이므로 충격에 대한 안전성은 확보된 것으로 평가되었다. 또한, 주행속도별 측정된 가속도 이력을 바탕으로 <그림 2>와 같이 고유진동수를 산정하였고 산정된 고유진동수는 2.98 Hz로 분석되었다. 이는 보행자가 느낄 수 있는 1.5 Hz ~ 2.3 Hz를 벗어나는 범위로 진동에 대한 사용성은 확보된 것으로 평가되며 향후 유지관리 시 고유진동의 변화를 모니터링 함으로써 교량을 건전도를 파악할 수 있다.

2.2.3 내하력 평가

대상 교량의 내하력 평가를 위하여 허용응력개념(WSR)과 하중저항계수개념(LRFD)을 적용하여 내하력을 산정 하였으며 <표 4>와 같이 DB-24 이상 확보하고 있어 충분한 내하 성능을 확보된 것으로 평가되었다.

표 3. 동적 재하실험 결과

주행 속도 (km/h)	처짐( $\delta$ )	동적 증가율	충격계수 (실측값)	충격계수 (설계기준)
10	2.77 mm	1.07	0.065	0.188
20	2.96 mm	1.05	0.052	
30	2.88 mm	1.08	0.076	
40	3.29 mm	1.13	0.134	
50	4.01 mm	1.17	0.165	
60	3.59 mm	1.14	0.144	

표 4. 내하력 평가 결과

구분	RF	$K_s$	기본내하력 ( $P_o$ )	공용내하력 ( $P_o$ )	판정
WSR	2.274	1.27	54,576	69.31	DB-24 이상
LRFD	1.352	1.27	32,448	41.21	DB-24 이상

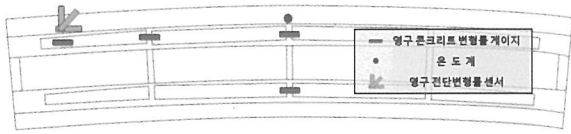


그림 3. 장기 계측 센서 위치

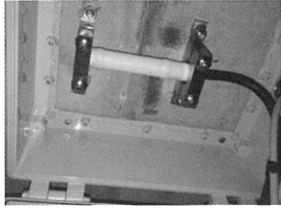


사진 3. 영구 변형률 센서

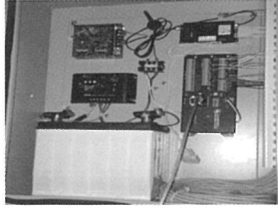


사진 4. 장기 계측 송수신 장치

### 2.2.4 장기계측

대상 교량의 장기 거동 평가를 위하여 다음과 같이 영구 변형률 게이지를 부착하여 지속해서 모니터링을 하고 있으며 이 데이터는 향후 본 교량의 유지관리 시 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

## 3. 프리캐스트 곡선 PSC 박스 거더 적용 사례

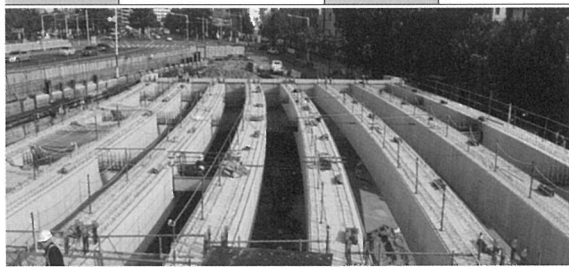
### (1) 의정부 시관 내 국도 대체 우회도로(장암 ~ 자금) 건설공사

발주처	서울지방국토관리청	폭원	7.9m
교량명	자금 IC Ramp-A교	곡률반경	220.0m
연장	40.0m	비고	공용 중



### (2) 동대구 고가교 개제 및 확장공사

발주처	대구광역시	폭원	50.2m
교량명	BR1	곡률반경	241.0m
연장	41.0+38.0=79.0m	비고	가설 완료



### (3) 학곡천 생태하천 조성 사업

발주처	광주지방조달청	폭원	10.0m
교량명	와룡교	곡률반경	320.0m
연장	2@23.5=47.0m	비고	거더 연속 (1-shoe)



### (4) 성동고가차도 건설공사

발주처	대구광역시	폭원	12.8m~21.6m
교량명	북측 연결 교량	곡률반경	61.5m+∞
연장	34.110m	비고	단부 블록 설치



## 4. 맺음말

최근 건설시장은 원자재의 가격 상승으로 인해 경제성 제고를 통한 건설 예산 절감이 주된 관심사이다. 또한, 전 세계적으로 지구온난화의 위기에서 벗어나고자 온실가스 감축을 위한 노력을 하고 있으며, 특히 건설 산업에서 탄소배출절감은 국가적으로 온실가스 배출절감에 적지 않은 영향을 미칠 것이다.

프리캐스트 곡선 PSC박스 거더는 앞서 언급된 연구 개발 및 시공 사례 등을 통하여 건설신기술(781호) 및 녹색기술(GT-15-00038호)을 인증받아 구조 안전성, 경제성, 시공성, 유지관리 편리성 및 친환경성을 검증받았다. 이러한 장점을 필두로 하여 프리캐스트 곡선 PSC박스 거더의 수요는 꾸준히 증가할 것으로 전망된다. □

담당 편집위원 : 박경수(연세대학교) k-park@yonsei.ac.kr



**김성재 대표이사**는 연세대학교 박사 과정재학중이며 프리캐스트 PSC 거더에 대한 연구를 수행 중하고 있다. 현재 브릿지테크놀로지 대표이사로서 프리캐스트 PSC 거더 관련한 사업 및 연구를 수행하고 있으며, 본 연구를 총괄하였다.  
spc4000@naver.com



**엄기하 기술연구소장**은 경희대학교 토목공학과에서 압출공법으로 시공되는 PSC박스 거더교에 관한 연구로 석사학위를 취득한 후 서영엔지니어링과 바우컨설턴트를 거쳐 현재 브릿지테크놀로지 기술연구소장으로 PSC 곡선 거더 및 PSC 거더의 연구개발을 총괄하고 있다.  
gheom@hanmail.net



**이진호 차장**은 한양대학교 토목공학과에서 외부긴장재로 보강된 강합성보의 횡비틀림 좌굴에 관한 연구로 석사학위를 취득한 후 삼표이앤시를 거쳐 현재 브릿지테크놀로지 기술연구소에서 근무 중이며 PSC 곡선 거더 및 PSC 거더의 연구개발을 수행하고 있다.  
jinho824@hanmail.net



**김장호 교수**는 Northwestern University에서 박사학위를 취득하였고, 현재 연세대학교 사회환경시스템공학부에서 부교수로 콘크리트구조연구실과 방호기술연구센터(PROSTEC)를 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

## 학회인증사업 시행 안내

콘크리트 관련 국내 유일의 연구 전문 기관인 우리 학회는 관련 업계에서 개발한 신기술 등의 학회 공인 요청에 대처하고자 콘크리트 재료 및 공법 등의 기술개발 사항을 의뢰 받아 우리 학회 전문가의 면밀한 검토와 심의를 거쳐 검증하고 검증된 재료 및 공법은 인증서를 발급하여 그 우수성을 널리 알리고 신뢰도를 제고하고자 하오니 관심있는 업계의 많은 신청바랍니다.

### 1. 인증의 종류

- 1) 재료 및 자재: 콘크리트 구조물의 구성 재료 및 보수·보강 재료 등
- 2) 설계방법 및 공법: 콘크리트 구조물의 설계방법과 시공, 보수·보강할 때의 공법
- 3) Software: 콘크리트 재료, 설계, 시공에 관련된 프로그램
- 4) 지침, 기준, 시방서: 콘크리트 재료, 설계 시공에 관련한 제 규정
- 5) 기타 콘크리트에 관련된 기술

### 2. 인증의 절차 및 기간

- 1) 절차: 신청서 및 서류 검토, 발표 및 현장(필요할 때) 심사 등 실시
- 2) 기간: 신청일로부터 1개월 이내(단, 시험이나 실험이 추가로 필요한 경우 신청자와 협의하여 조정)

### 3. 인증의 기한 및 갱신인증

- 1) 최초인증 유효기간 5년(2년 범위 내에 조정 가능)
- 2) 갱신인증은 최초인증 절차에 준하며, 3년 주기로 인증 연장 가능

### 4. 기술 인증 사후 특전

한국콘크리트학회의 학회지와 홈페이지에 기술내용 및 인증서 공고

### 5. 문의처: 학회 사무국

담당: 김법진 차장  
Tel: 02-568-5985, E-mail: kci@kci.or.kr

사단법인 한국콘크리트학회

TEL : (02)568-5984~7 FAX : (02)568-1918 http://www.kci.or.kr