

건설신기술 보호기간 연장신청(제603호)

PS강선 및 강봉의 일체긴장시스템을 이용하여 프리스트레스를 도입하는 PSC거더(Bicon거더)의 제작공법

2015. 4.

(株) 삼현씨에프

(주)포스코건설

 惟 信

RIST 재단 포항산업과학연구원
법인 Research Institute of Industrial Science & Technology

KRI 한국철도기술연구원
Korea Railroad Research Institute

CONTENTS

I. 신청기술 내용 및 범위

II. 기술수준 및 품질검증

III. 경제성 및 시장성

IV. 안전성 및 기술개량

V. 요약

I. 신기술 내용 및 범위



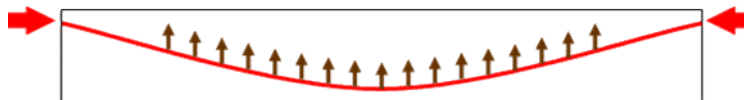
PSC거더



단면형상



종 단 면



구 분	특 징
현 황	- 공용 교량 : 2,248개소, 288.2km - 도로교 : 23.6%, 철도교 : 38.6%
장 점	- 공사비 저렴, 시공 단순 - 다수의 시공실적
단 점	- 최대지간장 제한 [도로35m, 철도25m] - 형고가 높아 가설 중 전도사고 빈번

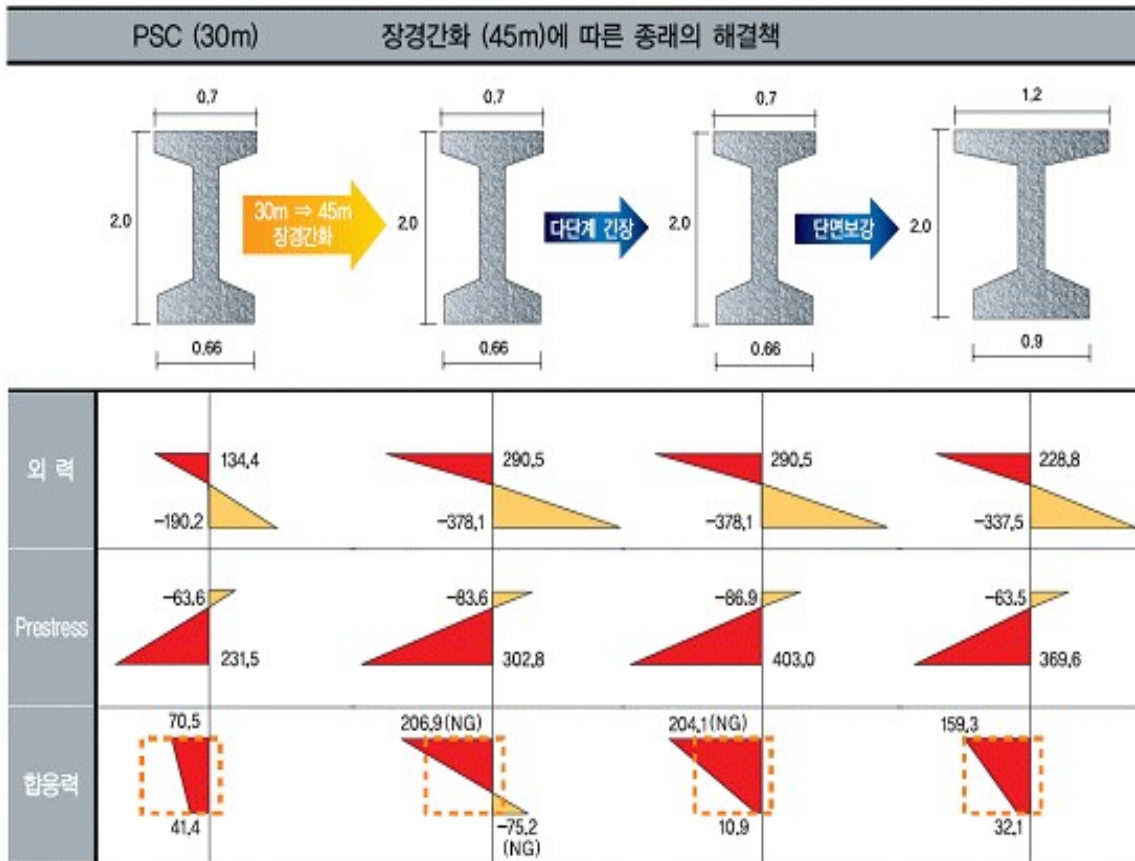


가설 중 전도/추락 사례

개발 필요성

PSC거더의 장경간화 및 형고 저감 : 최대 경간장 50m, 형고 30%저감

다단계 긴장 PSC거더 : IPC, PnP, DR거더, e-beam



구 분	특 징
장 점	- 저형고/장경간 구현: 최대 50m - 다수의 시공실적
단 점	- 바닥판 콘크리트 시공 후 2차 긴장 : 시공성 저하 - 장경간화시 거더 상연의 압축응력 지배: ∴ 긴장력 ↑, 형고 ↓, 축응력비율 ↑

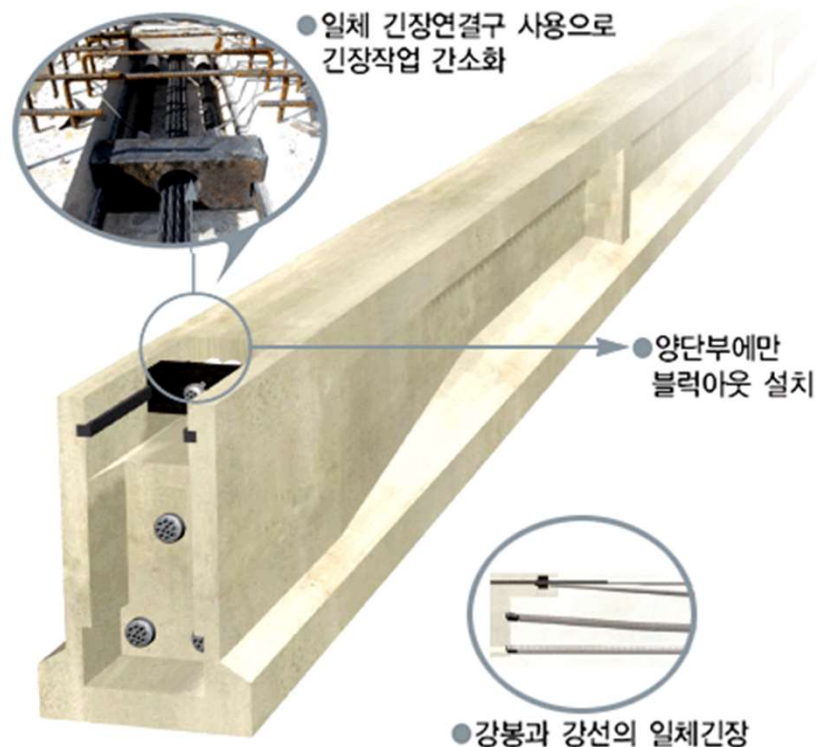


다단계 긴장 PSC거더의 2차긴장

개발 필요성

다단계 긴장 배제(시공성 확보) 및 구조안정성/성능 제고(중립축 하향조정)

외력과 상반되는 Bi-moment 도입 : 1회의 긴장만으로 저형고/장경간 구현



- 공정단순 (일체긴장 시스템)
- 시공성증대 (블럭아웃 감소, 위치 : 단부)
- 강봉과 강연선의 축력 상쇄로 Conc. 보강불필요
- 공사비 절감 (긴장공정의 단순화)

구분	종단면도	도입응력
기존기술 PSC	 압축력 + 편심모멘트 작용	 축압축응력 + 휨응력
기존기술 (바이프레)	 강선의 인장력/강봉의 압축력 ⇒ 상쇄 강선과 강봉을 개별적으로 정착	 휨응력만 작용
신정기술	 강선의 인장력/강봉의 압축력 ⇒ 상쇄 강선과 강봉을 동시에 정착	 휨응력만 작용

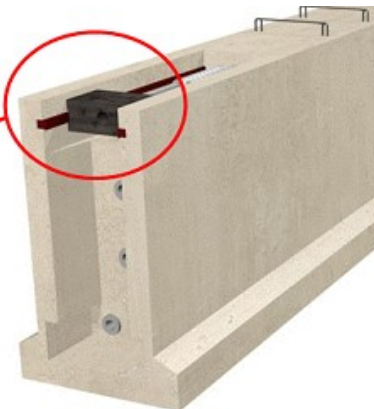
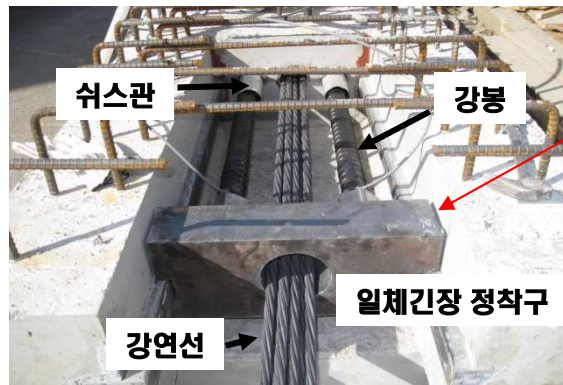
바이프레(일본)

- 모멘트 프리스트레스 도입
- 강선과 강봉의 별도정착(정착부 보강이 복잡)
- 1985년 이후 약 650개소 교량에 적용완료

국토해양부 건설기술혁신사업을 통한 기술개발 및 연구결과 완성도 제고

구 분	내 용(국가R&D과제)		
과제명	PS강선 및 강봉의 일체긴장시스템을 이용한 PSC교량 구조개발		
연구기간	2006.12.20 ~ 2009.12.26 (3년)	연구비	1,907백만원
최종평가결과	“A” 등급		
연구진	<pre> graph TD A["주관연구기관 (주) 삼현피에프 제품화 연구"] --- B["협동연구기관 (주) 유신코퍼레이션 설계기술 개발"] A --- C["위탁연구기관 포항산업과학연구원 한국철도기술연구원 구조성능 평가 동적거동 검토"] A --- D["협동연구기관 (주) 포스코건설 시공기술 개발"] </pre>		

PS강선과 강봉의 일체긴장시스템에 의해 외력에 의한 휨모멘트와 상반되는 순수 휨모멘트를 콘크리트 거더에 미리 도입하는 **PSC거더 제작방법**



단부 상세



Bicon 거더 투시도

거더 상연의 압축응력 제어
저형고/장경간화

구 분	종단면도	도입응력
기존기술	압축력 + 편심모멘트 작용	축입축응력 + 휨응력
신청기술	강선의 인장력/강봉의 압축력 ⇒ 상쇄	휨응력만 작용



신기술의 내용

신기술 내용 및 범위



1. 베드설치



2. 거치 및 철근조립



3. 거꾸집 설치



4. 콘크리트 타설



5. 증기양생



6. 적치



7. 프리스트레스 도입



8. 가설



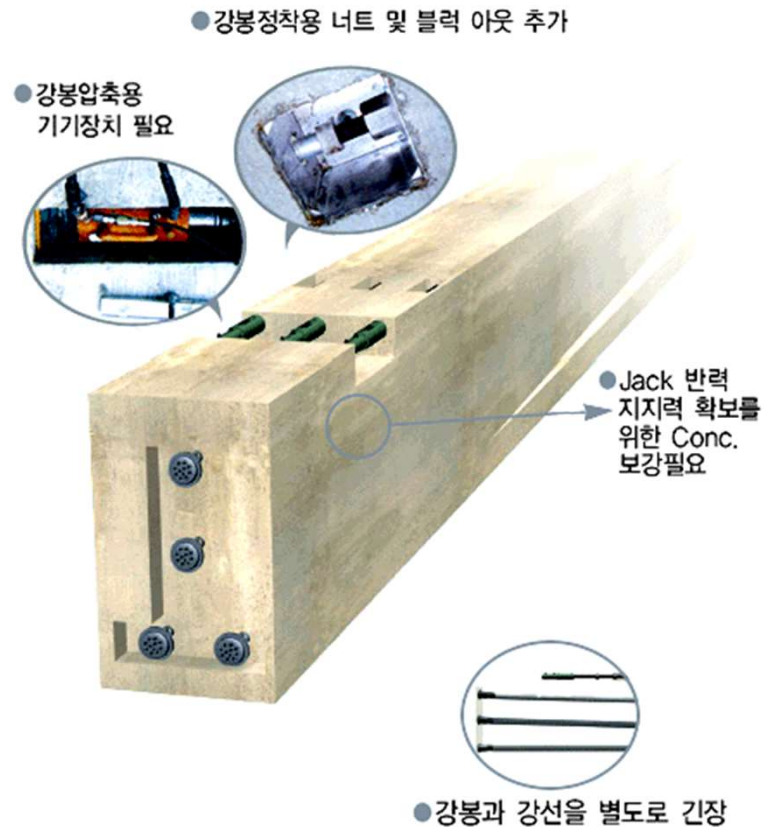
9. 바닥판 타설 및 완성

II. 기술수준 및 품질검증

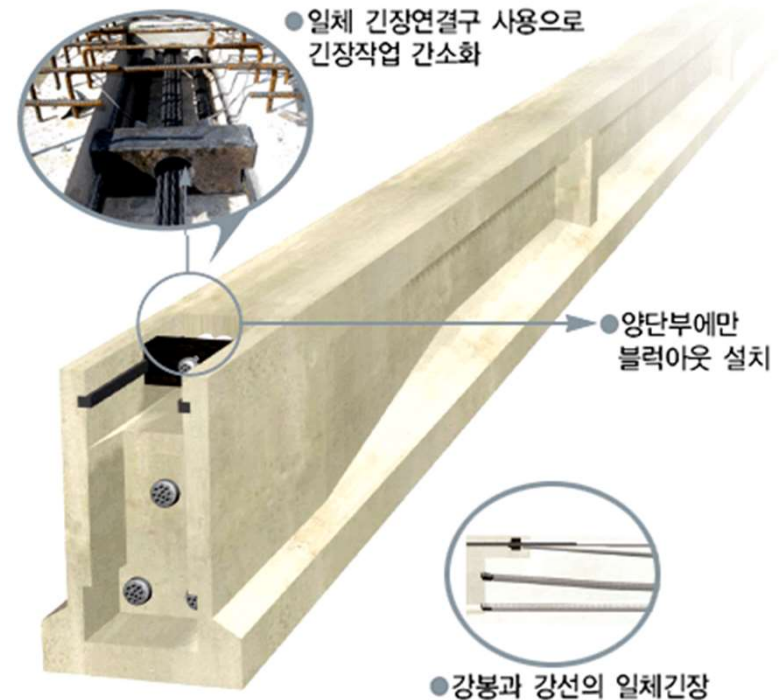


외국기술과의 비교

기술수준



< Bi-pre거더: 일본 >



- 공정단순 (일체긴장 시스템)
- 시공성증대 (블럭아웃 감소, 위치 : 단부)
- 강봉과 강연선의 축력 상쇄로 Conc. 보강불필요
- 공사비 절감 (긴장공정의 단순화)

< Bicon거더공법: 신기술 >

외국기술과의 비교

기술수준

[1:강선긴장 및 정착] 정착부(보강1)

[2:강봉압입] 잭반력부(보강2)

[3:강봉정착] 정착부(보강3)

- 강선과 강봉의 별도긴장/정착
- 블럭아웃과 정착부 보강이 많음

< Bi-pre거더: 일본 >

[일체긴장]

[평면배치]

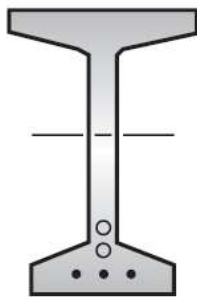
- 단순긴장
- 정착부 보강 최소화

< Bicon거더>

다단계 긴장기술과의 비교

기술수준

구 분		종 래 기 술	신 청 기 술
응력제어	거더상연	Bulb-T	일반강선 긴장 + 일체긴장
	거더하연	다단계 긴장	
특 징		가설 전 1차 긴장 + 바닥판 합성 후 2차 긴장 (고소작업)	일괄긴장(제작장) [다단계 긴장 배제]



종래기술



신청기술

다단계 긴장기술과의 비교

기술수준



- 고소작업 / 장비활용의 제한
- 시공성 및 구조성능 확보 어려움

〈 하부구조상 긴장 〉



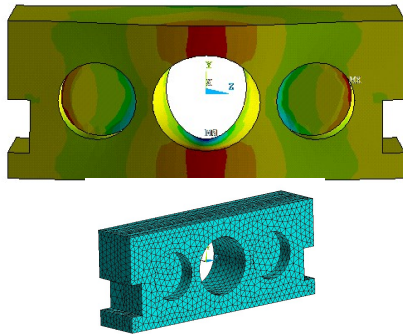
- 평지작업 / 장비활용 여유
- 시공관리 및 안전성 확보 용이

〈 제작장 긴장 〉

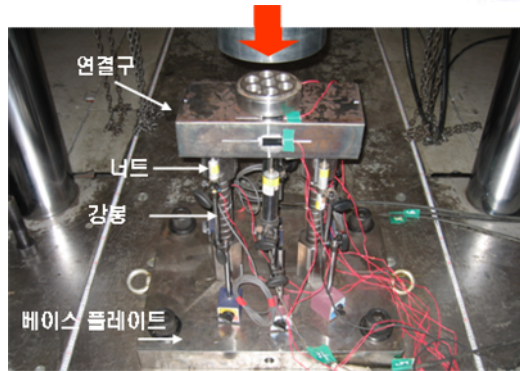
구조성능 검증

품질검증

일체긴장 연결구 검증

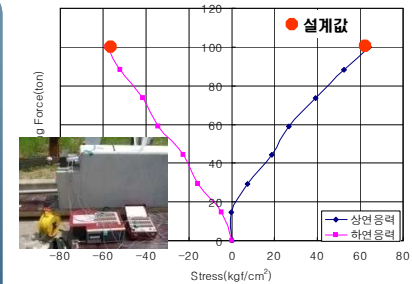


PTI 기판 설계 및 해석검토



구조성능평가

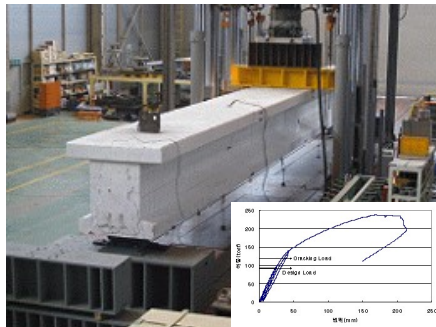
일체긴장 구형보 시험검증



일체긴장시스템 긴장시 응력(G2)

일체긴장 도입효과

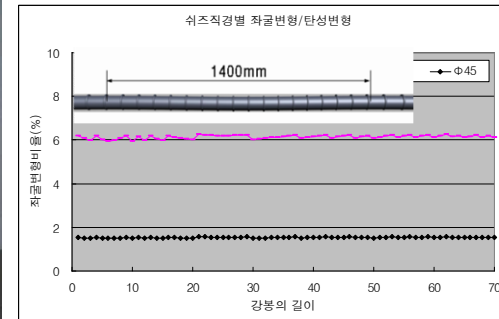
구조성능 평가 도로/철도교 20m



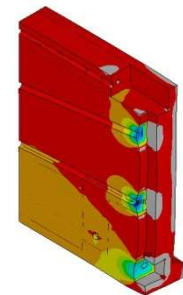
정적 구조성능 평가



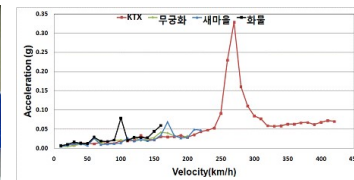
동특성 평가



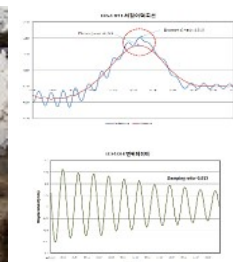
강봉 좌굴 및 단부 상세검토



2거더교 동적성능 평가 철도교 30m



실교량 재하 실험 2@35m



현장재하시험(우금1교)

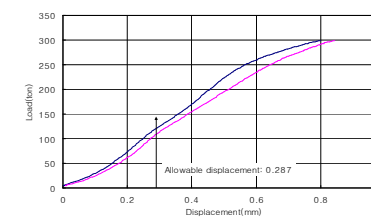
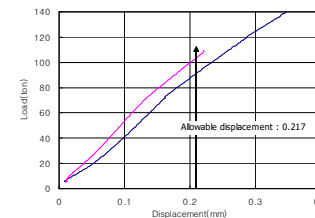
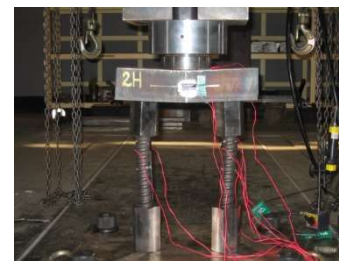
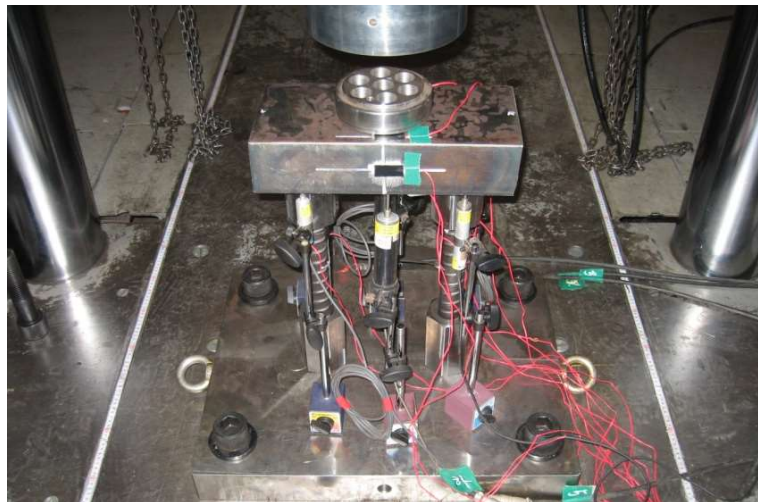
1단계 실험

품질검증

1차실험(2007)

일체긴장 연결구 실험

	2-7연결구(Type-1)	4-12연결구(Type-2)
구성	강봉 2EA, 강연선 7EA	강봉 4EA, 강연선 12EA
제원	350*160*80mm, 28.28kg	390*250*80mm, 48.13kg
용량	130톤 이하용	220톤 이하용
ALLOWABLE DISPL.(mm)	0.217	0.287
DISPLACEMENT (mm)	0.134 (O.K)	0.176 (O.K)
ALLOWABLE STRESS (MPa)	210 (SM520급)	
Max. STRESS (MPa)	173 (O.K)	169 (O.K)



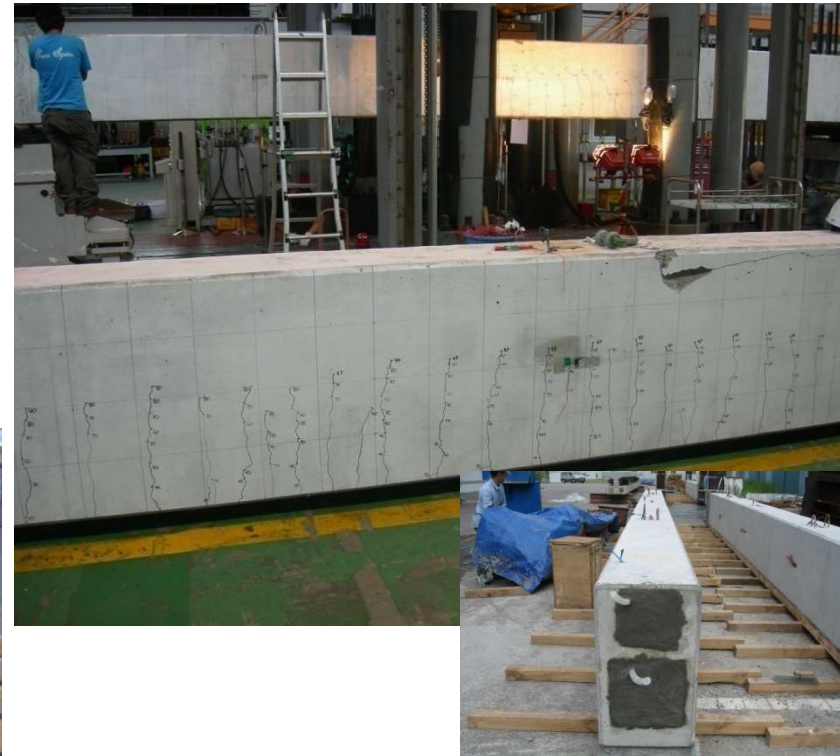
2단계 실험

품질검증

2차실험(2007)

사각보 4EA 제작 [일체긴장 시스템 3EA, 일반 1EA]

가장 간단한 시험체 제작으로 모멘트 프리스트레스가 도입여부 확인
→ 내하력으로 확인



3단계 실험

품질검증

3차실험(2008)

20m 거더시험체 2EA 제작

거더의 제작성 및 시공상세 평가
정/동적 구조성능 평가



시공상세 확인
내하력 확인 및 동적 데이터 확보



시험체 긴장



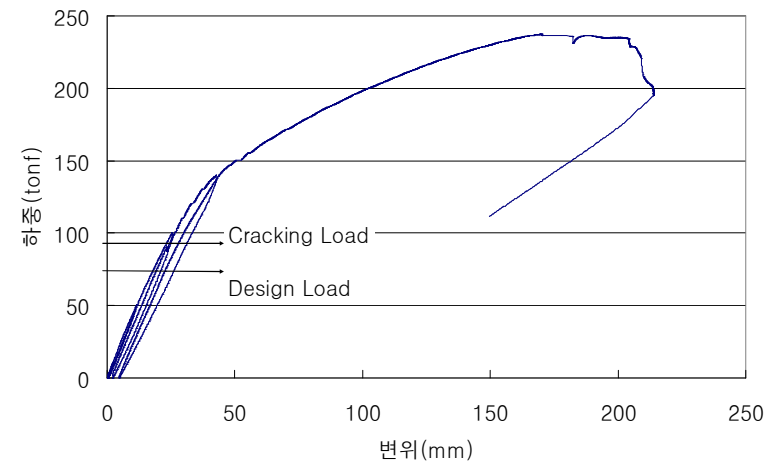
완성본



정적실험 전경



동적실험 전경



하중-변위곡선

4단계 실험

품질검증

4차실험(2009)

30m 2거더 철도교량 시험체 제작

궤도부설에 따른 동적성능 확인
하이브리드 실험동 개관식 공개실험



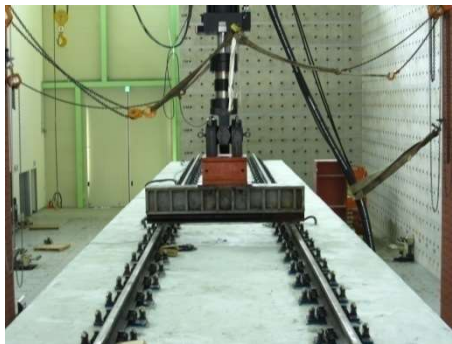
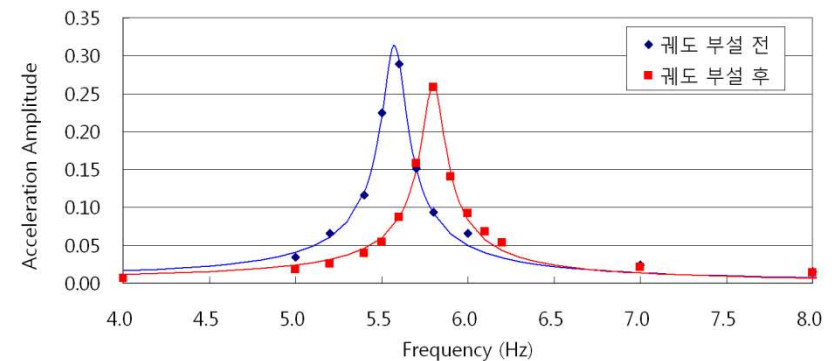
➤ 동적성능 검증, 제작상세 완성
➤ 감쇠비 1%이상(1.28,1.29) 확인



1차실험



궤도설치



2차실험



공개실험



공개실험2



시험체 절단

5단계 실험

품질검증

5차실험(2009)

최초 적용 교량에 대한 현장재하시험 (경기도 포천 소재 우금1교)

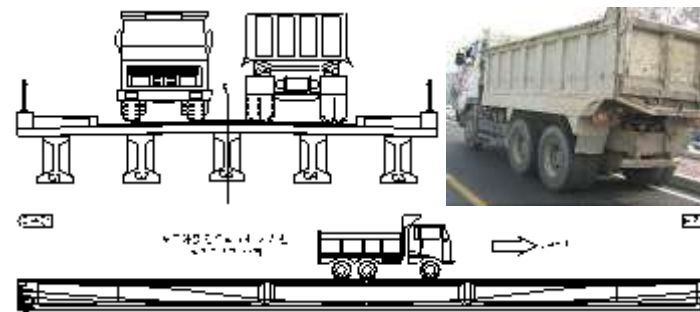
공용중인 교량의 정/동적 거동평가



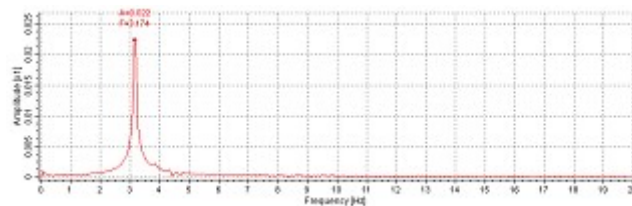
- 고유진동수 : 3.174Hz
- 내하율 : 4.21 (설계하중 DB-24의 약 4배)



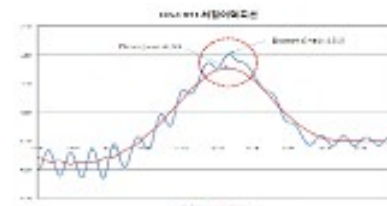
우금 1교 전경



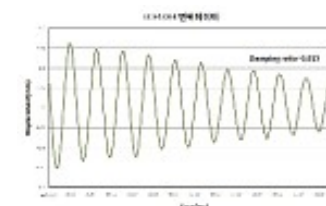
재하하중 및 방법



고유진동수

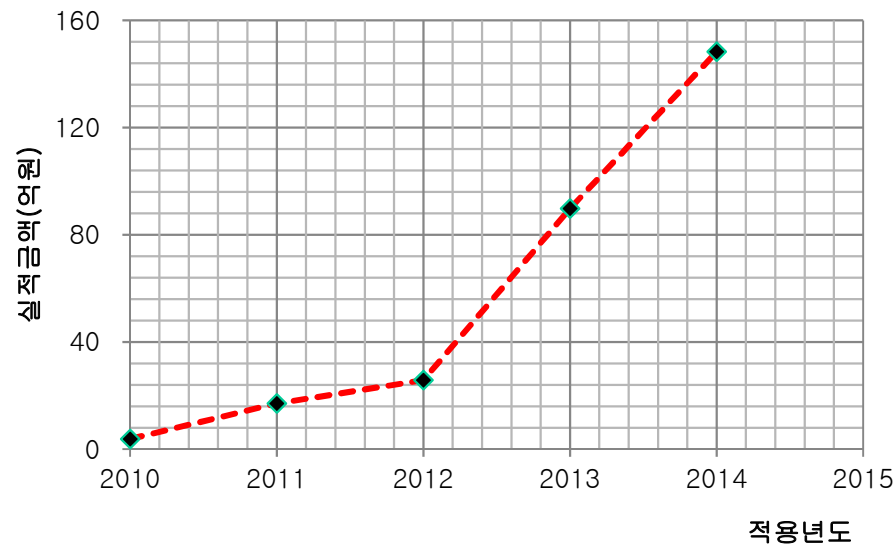


충격계수



감쇠비

신기술 실적현황



- 시장적용 확대추세
- 누적금액: 280억원/5년



Behaviour of double prestress system in prestressed concrete girders

Choon Eon Kim
PhD candidate, Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul
National University, Seoul, Korea

Jae Kwon Kim
Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul

Jin Kook Kim
Senior Research Engineer,
Steel Structure Research
and Technology, Yonsei

Prestress generally refers to the compressive prestress that is introduced by a compressive force beforehand during the casting of the concrete member, and it is often used to correct cracks. In girders with a smaller height compared to span length, compressive stress, which has a harmful impact on structure behaviour, is applied excessively to the girder's upper edge, leading the reduction in girder height of the prestress concrete girder. In this study, a prestress system integrating a tendon and two bars to support the compressive force in the girder's side shell was devised to offset the compressive force generated in the girder as a result of the introduction of prestress. To manage the jacking force in this system, formulas are proposed by theoretical derivation. The tendon and the bars are made of steel. The tendon is made of 10 mm diameter and the 10 mm length rectangle-shaped girder is fabricated to check the friction coefficient of the bar and to verify the measure method using the proposed double tendon system. Applicability to real structures is validated by measuring the behaviour manifested during the jacking of 35 m long real bridge girders.

[illegible]

Introduction
Technology to introduce proteins through the arrangement of the linker (junction number) has been widely applied since the 1990s. The BIPs method has so far been applied to over 20 bridges (BioProteinizing System Institute, 2004). When introducing proteins through the application of linker and compo-



Figure 2. Cribble prestress system (CPS) and anchorage.

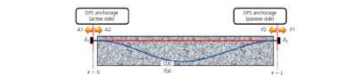


Figure 3. Behaviour of DVS anchorage

The relative sliding from the equilibrium of force was estimated by Equations (1-3)

$$1. \quad T(0) = C(0) \quad T(L) = C(L)$$

1997

To analyse behaviour during jacking, relations among the force applied on the tension member, the force transmitted to the

Type	Direction	Cause	Results
Anchorage on the jacking side	A1 external side	Basic restoration of bar longitudinal shortening	Decrease (compressive force of the bars)
	A2 internal side	C > T	Increase (compressive force of the bars)
Anchorage on the non-jacking side	P1 external side	C > T C: compressive force of bars T: tensile force of tendon	Increase (tensile force of the tendon)
	P2 internal side	C < T C: compressive force of bars T: tensile force of tendon	Increase (compressive force of the bars)

Table 1. Cause of behaviour of DPS anchorage and change resulting from the movement

82.7

〈 SCI 논문 〉

[illegible]

〈관계기관 의견들〉

III. 경제성 및 시장성



공사기간 및 위험공종 감소

경제성 및 시장성



저판설치: 1일



철근/쉬스관 조립: 1일



거푸집 조립: 1일



콘크리트 타설: 1일



양생: 1일



거푸집 탈형/적치: 12일



가설전 긴장/그라우팅: 5일



가설: 1일

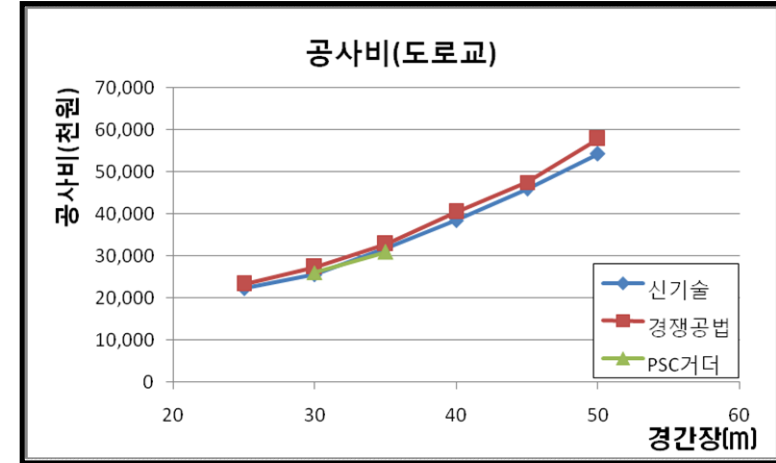
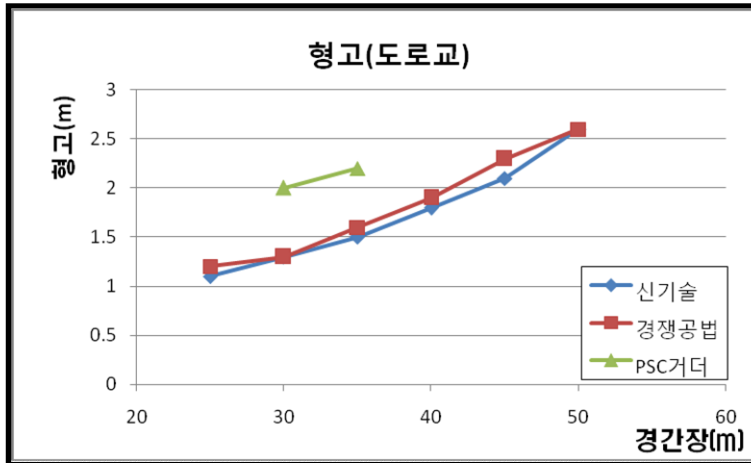
신기술

거더 10본 제작 → 35일 소요(바닥정지, 그라우팅 기간 포함)

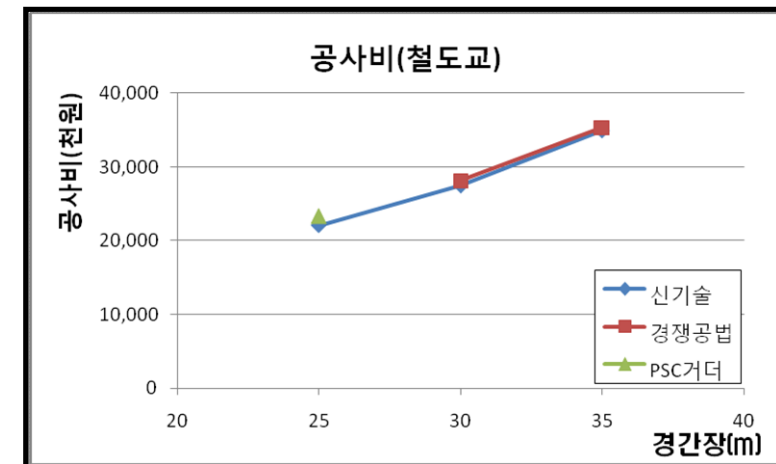
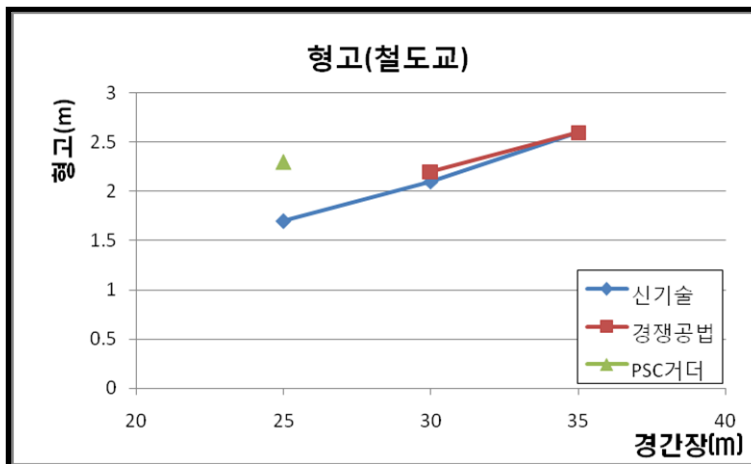
기존기술

바닥판 타설 및 양생후 2차긴장 작업 필요

도로교



철도교

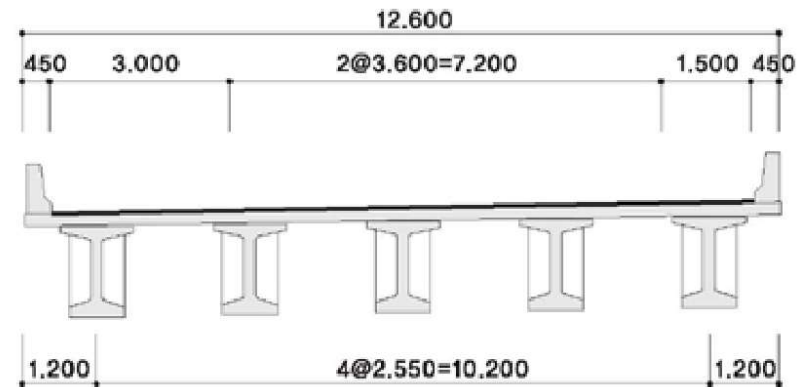


IV. 안전성 및 기술개량





〈전도사고〉



〈단면효율성〉

- 제작단계: 전도사고의 위험이 크다.
- 공용단계: 사용재료대비 단면2차모멘트가 작다 → 처짐 등에 불리

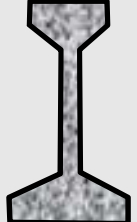
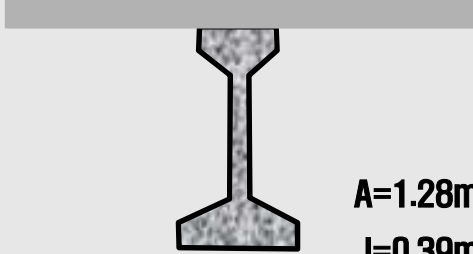
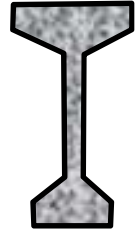
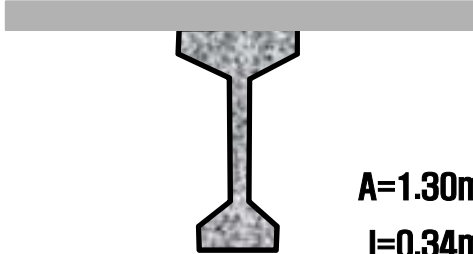


- 강연선에 의한 프리스트레스로 국한한 경우의 최적단면
- 응력에 대해서만 최적단면 → 시공안전성, 사용성 고려필요

바닥판 합성 후 강성 증대

안전성 및 기술개량



	제작 중 단면	공용 중 단면
신청기술	 $A=0.68m^2$ $I=0.15m^4$	 $A=1.28m^2$ $I=0.39m^4$
기존기술	 $A=0.70m^2$ $I=0.16m^4$	 $A=1.30m^2$ $I=0.34m^4$

1.15 배

약15%의 휨강성 증가 → 처짐 및 피로 등에 유리 (예시:도로교 30m)

동적성능(철도교 요약표)

안전성 및 기술개량

항 목	경간	첫 번째 휨 고유진동수	임계속도				
			KTX	HEMU	화물열차	무궁화호	급행EMU
고유진동수 및 임계속도	30m	4.31	290.3	377.2	216.5	364.8	332.2
	35m	3.87	260.8	338.9	194.6	327.7	298.5
	40m	3.40	229.1	297.8	170.9	288.0	262.2
항 목	경간	철도설계기준(노반판) (2011)	KTX	HEMU	화물열차	무궁화호	급행EMU
상판 연직가속도	30m	자갈궤도 : 0.35g 콘크리트궤도 : 0.50g	0.107g	0.495g	0.084g	0.067g	0.081g
	35m		0.341g	0.168g	0.061g	0.059g	0.088g
	40m		0.294g	0.099g	0.068g	0.054g	0.124g
상판의 면틀림	30m	일반철도: 1.5mm/3m 고속철도: 1.2mm/3m	0.033	0.023	0.045	0.036	0.045
	35m		0.019	0.017	0.033	0.025	0.019
	40m		0.017	0.015	0.029	0.023	0.017
경간 중앙부 연직처침	30m	18.75mm (270<V 350)	2.78mm	8.16mm	3.87mm	2.53mm	2.58mm
	35m	20.00mm (270<V 350)	7.20mm	3.88mm	4.21mm	2.98mm	3.16mm
	40m	21.05mm (270<V 350)	8.38mm	3.34mm	5.71mm	3.76mm	4.52mm



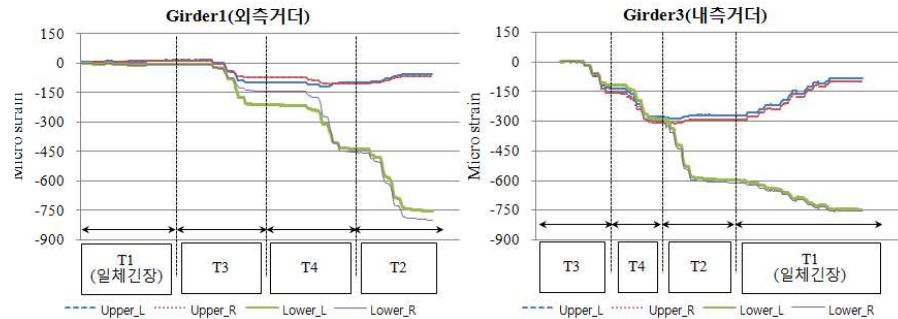
거더 1본당 4개의 비부착강선 삽입 (필요 시 재긴장력 : 195kN/EA)

덮개를 활용하여 부식 및 미관훼손 최소화 계획

긴장관리방법 정리 및 검증

안전성 및 기술개량

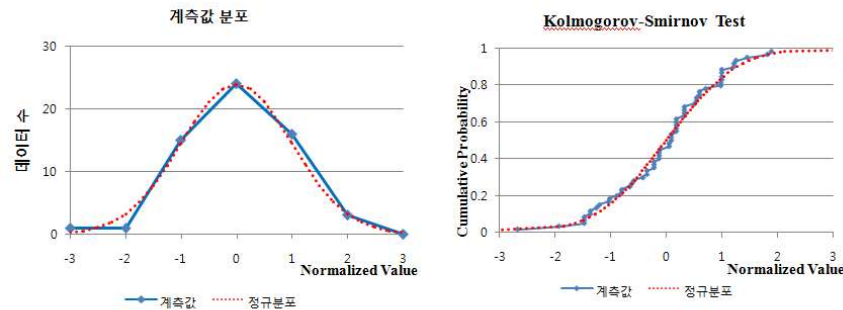
거더의 변형을 비교 분석



- 거더의 최종 프리스트레스는 유사하다.
- 긴장순서에 상관없이 동일한 프리스트레스가 도입된다.

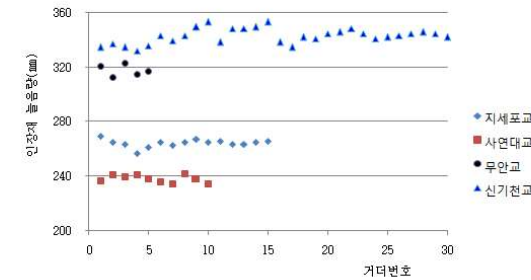
긴장데이터의 분포분석

- 긴장데이터를 교량별로 정규화하여 분석



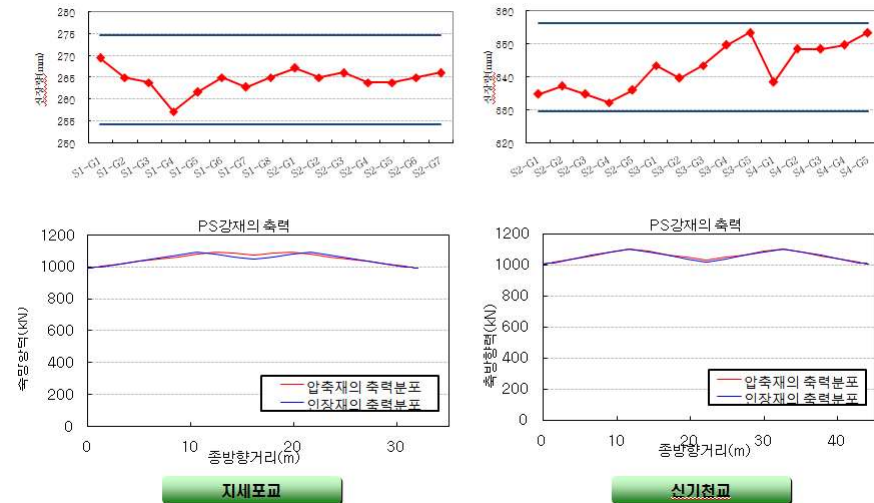
- 분포최대값(0.064) < 허용최대값(0.176, $\alpha=0.05$)
 - 정규분포 → SRSS오차 설정의 적정성
- $$\delta_{s,r} \approx (\delta_{c,est} + \delta_{T,est}) \pm 0.05 \sqrt{\delta_{c,est}^2 + \delta_{T,est}^2}$$

실교량 긴장데이터의 분포(4개교량, 60개의 데이터)



교량명	지세포교	사연대교	무안교	신기전교
경간장[m]	32.7	34.9	39.8	44.9
거더형고[m]	1.6	1.5	1.8	2.1
일체긴장 시스템 긴장력[kN]	1200	1000	1200	1200
거더갯수	15	10	5	30

일체긴장 시스템의 실교량 계측결과 및 축력분포 예시



V. 요약



신기술 요약

기술수준 및 품질검증

- 국내외 기술에 비해 기술우위
- 기본 품질검증에 충실
- 지속적인 품질개선 노력

기술개발 완성도 제고

- 국가지원 R&D 과제로 개발
- 건설신기술 및 실용화 성공사례

경제성 및 시장성

- 제작 단계 단순화
- 실적증가에 따른 시장선호도 증가

안전성 및 기술개량

- 역T형 단면 → 안전성/사용성 제고
- 기술추이에 부합하는 기술적용