

16TBIP
-C1117
29-01

시
공

간
소
화
와

프
리
캐
스
트
미
관

제
고
를

개
발
위
한

최
종
보
고
서
모
듈
식
노
출
콘
크
리
트

2018

국
토
교
통
과
학
기
술
진
흥
원

국
토
교
통
부

R&D Report

보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개()
국토교통기술사업화 지원사업 제2차 연도 최종보고서

R&D / 16TBIP-
C111729-01

시공 간소화와 미관 제고를 위한 모듈식 노출콘크리트 프리캐스트 보도교 개발 최종보고서

2018. 03. 23.

주관연구기관 / (주)스펙엔지니어링와이엔피
위탁연구기관 / 계명대학교 산학협력단

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥연구원

2. 제출문

제 출 문

국토교통과학기술진흥원 귀하

‘시공 간소화와 미관 제고를 위한 모듈식 노출콘크리트 프리캐스트 보도교 개발’(연구개발 기간 : 2016. 04. 27 ~ 2018. 02. 26) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2018 . 03 . 23 .

주관연구기관명 : (주)스펙엔지니어링와이엔피 (대표자) 윤 정 현 (인)

협동연구기관명 :

위탁기관명 : 계명대학교 산학협력단 (대표자) 남 재 열 (인)

주관연구기관책임자: 윤 정 현

협동연구기관책임자:

위탁기관책임자: 장 준 호

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	16TBIP - C111729-01	해당 단계 연구 기간	2017.02.27 - 2018.02.26	단계구분	(해당단계)/ (총단계)
연구사업명	중사업명	국토교통기술사업화 지원사업			
	세부사업명	중소기업 보유기술 사업화 분야			
연구과제명	대과제명	시공 간소화와 미관 제고를 위한 모듈식 노출콘크리트 프리캐스트 보도교 개발			
	세부과제명				
연구책임자	윤 정 현	해당단계 참여 연구원 수	총: 10 명 내부: 6 명 외부: 4 명	해당단계 연구개발비	정부:100,000천원 기업: 67,040천원 정부 외: - 천원 계:167,040천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 10 명 내부: 6 명 외부: 4 명	총 연구개발비	정부:200,000천원 기업:133,820천원 정부 외: - 천원 계:333,820천원
연구기관명 및 소속 부서명	(주)스펙엔지니어링와이엔피			참여기업명	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명: 계명대학교 산학협력단			연구책임자: 장준호	
요약				보고서 면수	
• 구조효율성이 높고 거푸집 운용의 표준화가 가능한 모듈식 노출콘크리트 프리캐스트 보도교 단면형태 개발 • 거더 전체 부재를 공장에서 프리캐스트 세그먼트로 선 제작하고 현장 조립 기간을 최소화 할 수 있는 노출콘크리트 프리캐스트 보도교 제작 및 시공 기술 개발 • 세그먼트 연결 장치 및 모듈 연결 장치 개발 • 노출콘크리트 보도교의 거더 경사 측판 표준 디자인 개발 및 교각 및 경사로 표준 디자인 개발 • 보도교용 조립식 PSC 거더 구조 성능 검증					

국문 요약문

연구의 목적 및 내용

본 과제의 최종 목표는 시공이 간소화 되고 미관이 제고 되면서도 강재 보도교 보다 15% 경제적인 프리캐스트 보도교 공법 개발임. 이를 위해 첫째, 구조효율성이 높고 거푸집 운용의 표준화가 가능한 단면형태 개발 및 현장 작업이 최소화 되어 인건비 등 원가를 낮출 수 있는 교량 공법 개발로 강재 보도교 대비 15% 저렴한 건설 원가 도달을 목표로 함. 둘째, 거더 전체 부재를 공장에서 세그먼트로 제작하고 교각, 경사로 또한 프리캐스트로 선 제작하며 현장 조립 기간을 최소화 할 수 있는 세그먼트 연결 장치 및 모듈 연결 장치 개발로 강재 보도교 대비 동일 수준의 시공 공기 달성을 목표로 함. 셋째, 보도교에 적용 할 수 있는 노출콘크리트 시공 조건 개발, 경사 측판 표준 디자인 개발, 교각 및 경사로 표준 디자인 개발로 강재 보도교 대비 우수한 교량미관이 확보 되는 것을 목표로 함.

1) 기술, 디자인 및 상표 보호를 위한 지식재산권 확보

- 연구개발 과정시 획득한 기술 국내특허 출원
- 제품의 디자인 및 상표 등록

2) 모듈식 노출콘크리트 프리캐스트 보도교 설계 기술 개발

- 3D FEM, 진동해석 및 BIM을 이용한 상세설계
- 분절 프리캐스트 부재의 연결부 상세설계
- 디자인 대안 확보를 위한 경관 시뮬레이션

3) 모듈식 노출콘크리트 프리캐스트 보도교 제작, 시공 기술 개발

- 프리캐스트 보도교 거더 전용 긴장장비세트 시제품 제작
- PSC 노출콘크리트 제작 기술 검토
- 실스케일의 실험용 시제품 제작 및 설치

4) 모듈식 프리캐스트 보도교용 거더 구조 성능 검증

- 실스케일 실험체의 성능 검증 시험

5) 현장 적용 설계 실적 확보

- 제품 브랜드화, 홍보 브로셔 제작 및 관련 박람회 참석
- 설계·제작·시공 기술 표준화
- 발주처 수주 업무 추진 및 설계 반영

연구개발성과	1) 모듈식 노출콘크리트 프리캐스트 보도교 관련 특허 등록 1건, 디자인 등록 2건 및 상표 등록 1건 2) 모듈식 노출콘크리트 프리캐스트 보도교 설계도 2건, 수치해석 사양서 1건, 경관 디자인 제품 사양서 2건 3) 프리캐스트 보도교 거더 전용 긴장장비세트 시제품 1건, 실스케일 실물 시제품 1건, 실스케일 실물 제작 몰드 시제품 1건 4) 실스케일 실험체의 구조 성능 실험 1건, 연결부 요소 실험 1건 5) 제품 홍보 브로셔 1건, 현장 적용 가능한 제품 설계도 1건					
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	1. 기술적 기대성과 및 활용계획 1) 프리캐스트 구조의 핵심 요소기술인 연결부에 대한 안전성, 시공성 및 유지관리를 검증함으로써 조립식 구조물에 적합한 최적화된 연결부 제조 기술 확보에 기여 2) 구성 부재의 모듈화 시공으로 콘크리트의 단점인 중량과다로 인한 운송, 설치의 제약을 극복하여 강교 위주의 보도교 시장에 콘크리트교의 진출 및 시장점유율 증대 기여 3) 최근 건축분야에서 사용이 확대되고 있는 노출콘크리트 공법의 토목 분야로의 적용 가능성을 확인하고 품질관리 기술 증진에 기여 4) 거더 뿐만 아니라 교각, 경사로도 모듈화하여 강재 대체재로서 사용할 수 있는 프리캐스트 기술 저변 확대에 기여 2. 사회·경제적 파급효과 및 활용계획 1) 일반적인 콘크리트 보도교의 불량한 미관이나 천편일률적인 강재 보도교의 단순한 저급한 미관을 탈피하여 자연적이고 감성적인 노출콘크리트 보도교를 건설함으로써 공공시설물의 현대적 이미지 제고에 기여 2) 강재 보도교 대비 20% 경제적이고 유지관리비가 저렴한 프리캐스트 보도교를 보급하여 국가예산 절감에 기여 3) 도심지 보도교 공사의 교통 단절 및 우회 기간 최소화를 위한 급속시공 요구를 해소하여 2차 사회간접 비용의 절감에 기여 4) 초등학교, 양로원 등 교통약자 밀집지역에 발생하는 기능위주의 보도교 설치요구에 부응하여 저렴하게 보도교 설치가 가능하게 함으로써 지속적인 보행자 안전요구 민원 해소에 기여					
핵심어 (5개 이내)	모듈식	노출콘크리트	프리캐스트	보도교	조립식	

＜ SUMMARY ＞

Purpose & Contents	The final aim of this project is to develop a precast pedestrian bridging method that is 15% more economical than a steel pedestrian bridge, while simplifying construction and enhancing its aesthetics. First, Development of a cross-sectional shape capable of standardizing the formwork operation with high structural efficiency, and aiming at reaching 15% cheaper construction cost than the steel pedestrian bridge by developing bridge method that can reduce labor cost and cost by minimizing site work. Second, It is aimed at achieving the same level of construction air compared to steel pedestrian bridge by developing segment connection device and module connection device which can make the entire girder as a segment in the factory and pre-pier the pier, ramp and precast. Third, The development of exposed concrete construction conditions applicable to pedestrian bridges, the development of standard design of sloping shrouds, and the development of standard design of piers and ramps aim at securing superior bridge aesthetics compared to steel pedestrian bridges. 1) Securing intellectual property rights for technology, design and trademark protection – Domestic patent application technology acquired in R&D process – Product design and trademark registration 2) Developed modular exposed concrete precast pedestrian bridge design technology – Detail design using 3D FEM, vibration analysis and BIM – Detail design of connection part of precast segment – Landscape simulation for design alternatives secure 3) Modular exposed concrete precast walkway bridge fabrication, Development of construction technology – Prototype pre-cast pedestrian bridge girder-only tension equipment set – PSC exposed concrete production technology review – Production and installation of real-scale experimental prototypes 4) Verification of modular pre-cast pedestrian bridge girder-only Structure Performance – Performance verification test of actual scale specimen 5) Achievement of site design application performance – Product branding, promotional brochure production and related exhibitions attending – Standardization of design, production and construction technology – Business promotion of ordering organization and reflecting design
-----------------------------------	---

Results	1) Patent application, two design registrations, one trademark registration about Modular exposed concrete precast footbridge 2) More than one Modular exposed concrete precast pedestrian bridge design, one numerical analysis specification paper, two product design specification paper 3) Prototype products about Precast pedestrian girder-only tension equipment set, real scale girder and mold form 4) Structural performance test for real scaled modular PSC-girder and connection joint of beam element 5) Product brochure, Design for footbridge could be applied at site				
Expected Contribution	1. Technical expectation performance 1) By verifying the safety, construction and maintainability of the connecting part, which is the core element of the precast structure, it contributes to securing optimized connecting part manufacturing technology suitable for the prefabricated structure 2) By modular construction of construction member, overcoming limit of transportation and installation due to excessive weight, which is a disadvantage of concrete, contributing to advancement of concrete bridge and market share in the pedestrian bridge market focusing on steel bridge 3) In recent years, it has been confirmed that it can be applied to the civil engineering field of the exposed concrete method which is widely used in the construction field, and contributes to enhancement of quality management technology 4) Contributing to expansion of pre-cast technology base that can be used as a substitute for steel by modularization of piers and slopes as well as girders 2. Social and Economic ripple Impacts 1) It contributes to the enhancement of the modern image of public facilities by constructing a natural and emotional exposed concrete pedestrian bridge by escaping the poor aesthetics of ordinary concrete pedestrian bridge or the simple low-grade aesthetic of steel pedestrian bridge 2) Contributes to the reduction of national budget by spreading pre-cast pedestrian bridge which is 20% economical and low maintenance cost compared with steel pedestrian bridge 3) Reduces the need for rapid construction for minimizing the traffic cut-off time and bypass period of urban pedestrian bridge construction, contributing to the reduction of secondary social overhead costs 4) It is possible to install pedestrian bridge inexpensively in response to the demand for function-oriented pedestrian bridge establishment in elementary school, nursing home, etc.				
Keywords	Modular	Exposed Concrete	Precast	Pedestrian Bridge	Prefabricated

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
2. 국내외 기술 개발 현황	15
3. 연구 수행 내용 및 성과	18
4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	49
5. 연구개발성과의 활용 계획	51
6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	59
7. 연구개발성과의 보안등급	59
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황	59
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적	59
10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적	60
11. 기타 사항	60
12. 참고 문헌	61

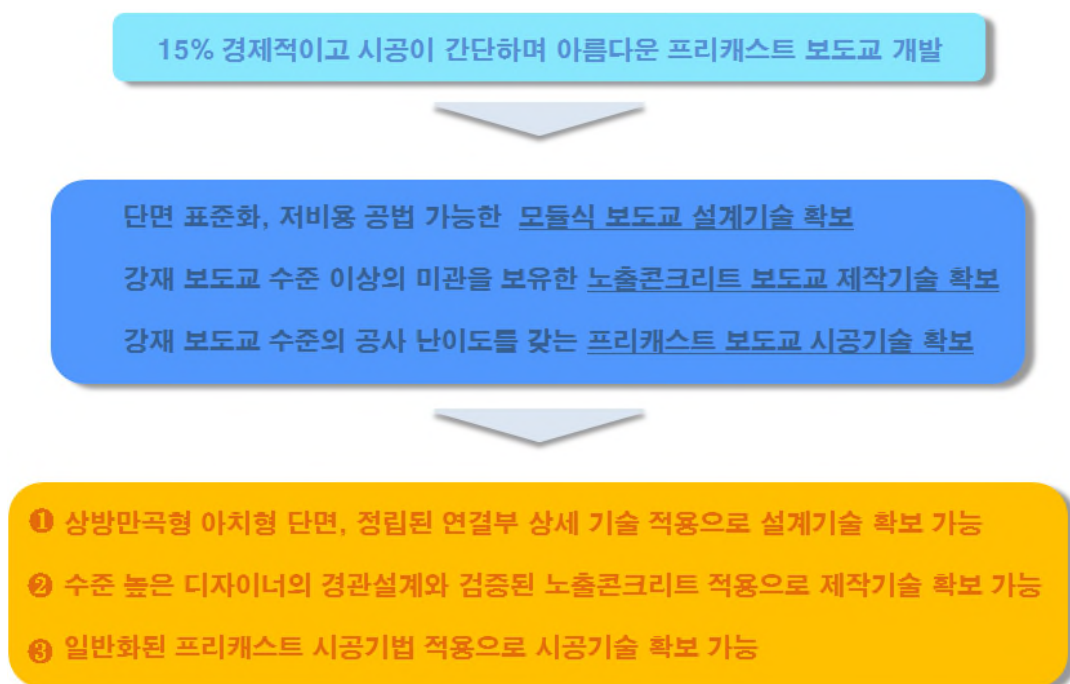
< CONTENTS >

1. Overview of R&D task	1
2. Technical Development Status of domestic and foreign	15
3. Research performance and achievements	18
4. Achievement of goal and contribution to relevant field	49
5. Plan to utilize R&D achievements	51
6. Overseas science and technology information collected during the research process	59
7. Security rating of R&D achievement	59
8. Status of research facilities and equipment registered in the National Science and Technology Comprehensive Information System	59
9. Implementation of safety measures in laboratories based on R&D task	59
10. Representative research achievements of R&D task	60
11. Others	60
12. References	61

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

본 연구의 목적은 시공이 간소하고 미관이 제고 되면서도 강재 보도교보다 15% 경제적인 프리캐스트 보도교의 공법을 개발하는 것이다. 이를 위해 첫째, 구조효율성이 높고 거푸집 운용의 표준화가 가능한 단면형태 개발 및 현장 작업이 최소화 되어 인건비 등 원가를 낮출 수 있는 교량 공법을 개발하여 강재 보도교 대비 15% 저렴한 건설 원가 도달을 목표로 한다. 둘째, 거더 전체 부재를 공장에서 세그먼트로 제작하고 교각, 경사로 또한 프리캐스트로 선 제작하며 현장 조립 기간을 최소화 할 수 있는 세그먼트 연결 장치 및 모듈 연결 장치 개발로 강재 보도교 대비 동일 수준의 시공 공기 달성을 목표로 한다. 셋째, 보도교에 적용 할 수 있는 노출콘크리트 시공 조건 개발, 경사 측판 표준 디자인 개발, 교각 및 경사로 표준 디자인 개발로 강재 보도교 대비 우수한 교량미관이 확보되는 것을 목표로 한다.



[그림1] 연구개발 목적 및 목표

2. 연구개발과제의 필요성

가. 현재 기술 수준

본 연구와 관련된 해당 분야는 공법 · 기법 유형이며 본 연구 진행 시점의 기술 수준은 실험실 환경에서 성능 및 신뢰성을 평가한 단계로 간주할 수 있다. 모듈식 프리캐스트 보도교는 전체 기술이 완전히 새로운 것이 아니라 교량 시설물 분야에서 이미 정형화된 몇몇 기술을 토대로 하고 있는 기술이며, 이미 이론이나 실험실 규모에서 충분히 검증되고 평가된 기술이라고 봐도 무리가 없다 할 수 있다. 따라서 본 기술의 개발 시점에서의 기술 성숙도는 TRL4 단계로 정의할 수 있다.

구분		표기	단계별 설명	
기초연구 단계	TRL 1	☐	TRL 1	이론적 연구단계
	TRL 2	☐	TRL 2	기술적 개념정립 단계
실험 단계	TRL 3	☐	TRL 3	실험적 증명 단계
	TRL 4	☒	TRL 4	실험실 성능평가 단계
시작품 단계	TRL 5	☐	TRL 5	유사환경 시험 단계
	TRL 6	☐	TRL 6	유사환경 기술시험 단계
실용화 단계	TRL 7	☐	TRL 7	실제환경 시작품 데모 단계
	TRL 8	☐	TRL 8	시제품 설치 및 성능시험 단계
사업화 단계	TRL 9	☐	TRL 9	현장적용/사업화 단계

나. 연구개발 필요성

본 연구에서 개발한 기술은 PSC 보도육교 및 그 시공방법에 관한 기술이다. PSC-I 빔 좌우에 콘크리트 경사측판을 부착하여 중공 박스단면으로 구성하고 I 빔의 복부를 중앙부로 갈수록 높아지는 아치형으로 변화시켜 휨모멘트 저항능력을 향상시켰다. 또한 공장에서 바닥판까지 한꺼번에 제작하여 분절 상태로 운송, 현장에서 조립함으로써 신속하게 시공될 수 있도록 하는 보도육교용 PSC 거더와 그 시공방법에 관한 기술이다.

해당 기술이 내포하고 있는 기술의 우수성 항목은 슬래브 바닥판 일체화, 중공 박스단면 구성, 분절·조립식 구조 채택 및 저형고 단면 계획이다. 이러한 기술요소는 이미 교량 분야에 충분히 검증되고 유효성이 확인된 기술이다. 따라서 이 항목들은 시설물의 목적에 맞는 제품을 만들어서 실제 시험을 해 봐야지만 그 실효성을 확인할 수 있게 된다. 따라서 본 연구개발을 통해 기술성숙도를 TRL 5와 6 단계로 향상시킬 필요가 있다.

특히 현재 보유 기술의 독창적 기술요소인 거더의 아치형 변단면화, 동일 경사측판 적용, 경사측판에 경관디자인 요소 도입 효과는 기존에 없던 기술 요소로 볼 수 있어 기술성숙도 TRL 5 단계를 충실히 수행하여 성능 및 신뢰성을 시험할 필요가 있다. 아울러, 본격적인 사업화를 위해서는 공법의 프로토타입이 실제현장에 사용가능한지를 증명하는 단계가 필수적이며, 본 연구에서는 기술성숙도를 TRL 7까지 달성하고자 한다.

3. 연구개발 범위

가. 보도교 개요

교량은 사용하는 재료, 사용하는 목적, 구조적인 형식에 따라 아래 [표 1]과 같이 분류할 수 있다.

[표 1] 재료, 목적, 형식에 따른 교량의 분류

구분	종류
사용재료	목교, 석교, 강교, 철근콘크리트교(RC교), 프리스트레스 콘크리트교(PC교, PSC교), 복합교
사용목적	보도(육)교, 도로교, 철도교, 수로교, 운하교, 군용교
구조형식	슬래브교, 거더교, 라멘교, 트러스교, 아치교, 사장교, 현수교

이 중에서 사용목적이 보행자나 자전거의 통행에 한정되는 교량을 보도교(Pedestrian Bridge)라고 하며 보도육교(Foot Bridge)는 도로나 하천을 횡단하기 위해 지상 위로 올라갔다 내려오는 형태를 갖는 보도교를 의미한다. 보도교는 우리가 주변에서 흔하게 볼 수 있으며 대부분의 구조형식은 거더교가 주종을 이루나 공공시설물로서 미관을 위해 라멘교, 트러스교, 아치교가 사용되는 경우도 많으며 최근에는 지역의 랜드마크나 기념물 이미지를 내포하도록 장기간 교량에 사용되는 사장교가 적용되는 경우도 있으며 해안가의 섬을 연결하는 관광 자원화를 위해서 현수교가 사용되기도 한다.

보도교는 제작에 사용되는 재료에 따라 프리스트레스 콘크리트(PSC) 보도교 및 강재 보도교로 구분된다. PSC 보도교는 국내의 경우 산업화 초기에 일부 설치되어 사용되고 있는데 시설 자체의 노후함과 기능위주의 형태적 투박함에 따른 정서적 거부감 커서 특별한 경우를 제외하고는 도입 시기 이후 거의 사용이 중단된 상태이다.



(a) 거더교



(b) 라멘교



(c) 트러스교



(d) 아치교



(e) 사장교



(f) 현수교

[그림 2] 보도육교의 구조형식

강재 보도육교는 거더(교량의 보와 상판으로 이루어진 구성부재)의 높이가 비교적 낮아 날렵한 느낌을 주며 페인트를 사용한 도색으로 PSC 보도육교 보다 미관이 좋아 최근에 건설되는 보도육교는 예외 없이 강재를 사용하고 있다. 보도육교에 강재를 사용하는 경우 설치위치의 자연조건 예를 들어 횡단할 도로나 하천의 폭이 큰 경우와 특별히 미관을 고려하여 기념해야 하는 경우에 케이블을 함께 사용하여 경관성을 크게 높인 보도육교 즉, 경관육교를 적용하는 경우도 흔하다.



PSC 보도육교 사례(일반적인 경우)



PSC 보도육교 사례(특수한 경우)



강재 보도육교 사례(일반적인 경우)



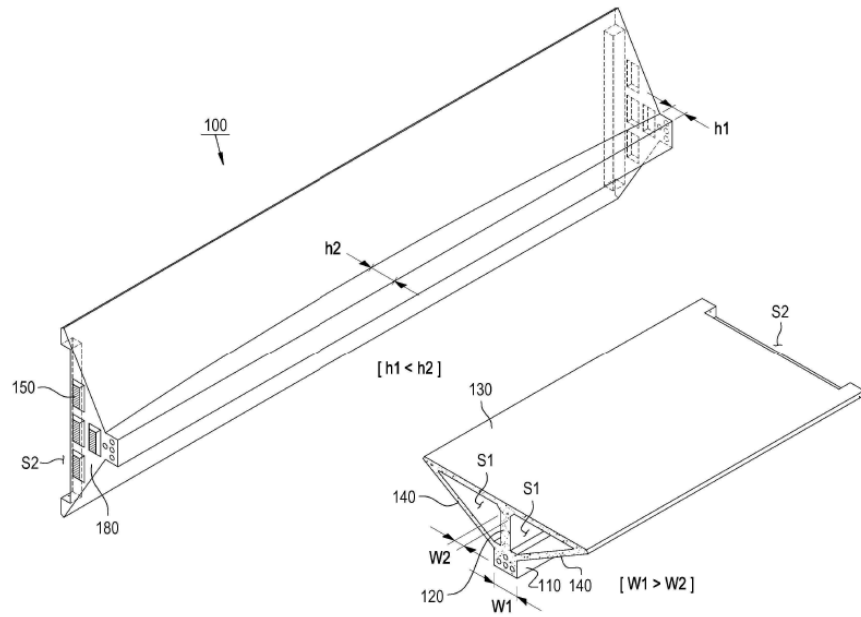
강재 보도육교 사례(특수한 경우)

[그림 3] 사용재료에 따른 보도육교 구분

나. 연구개발 개요

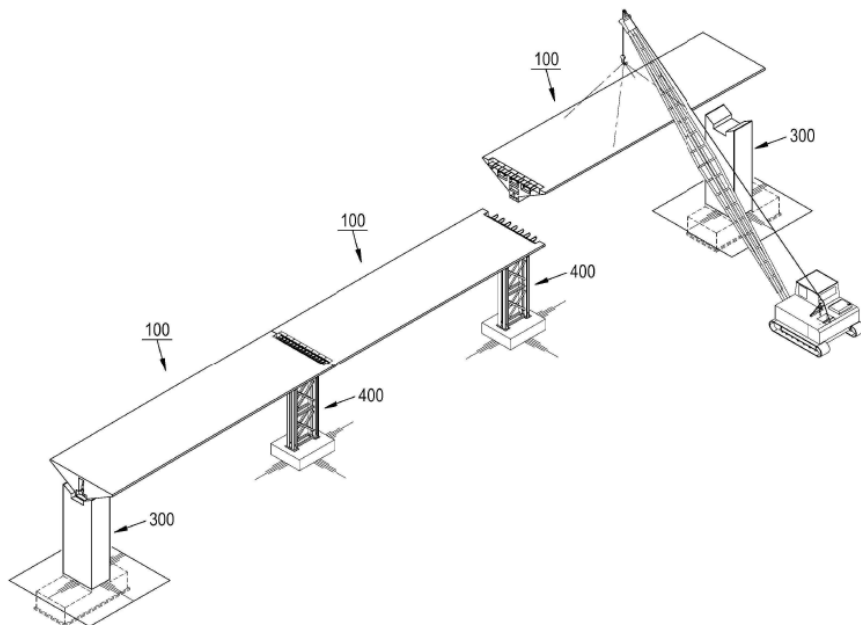
본 연구에서는 PC 보도육교 및 그 시공방법에 관한 기술로서, PSC-I 빔 좌우에 콘크리트 경사측판을 부착, 중공 박스단면으로 구성하고 I 빔의 복부를 중앙부로 갈수록 높아지는 아치형으로 변화시킨 보도교용 거더단면을 개발하였다. 또한 품질관리가 용이한 공장에서 바닥판까지 한꺼번에 제작하여 분절 상태로 운송, 현장에서 조립함으로써 신속하게 시공될 수 있는 시공방법을 연구하였다.

본 기술은 보도육교에 있어서 바닥판과 PSC-I 빔을 일체로 하고 경사측판을 부착한 박스 거더를 제공함으로써 지간 전체에 걸쳐 작용하는 휨모멘트에 대한 단면강성을 충분히 확보하면서도 분절된 거더를 용이하게 연결, 조립할 수 있도록 하여 경제적이며 신속한 시공이 가능하게 한다.



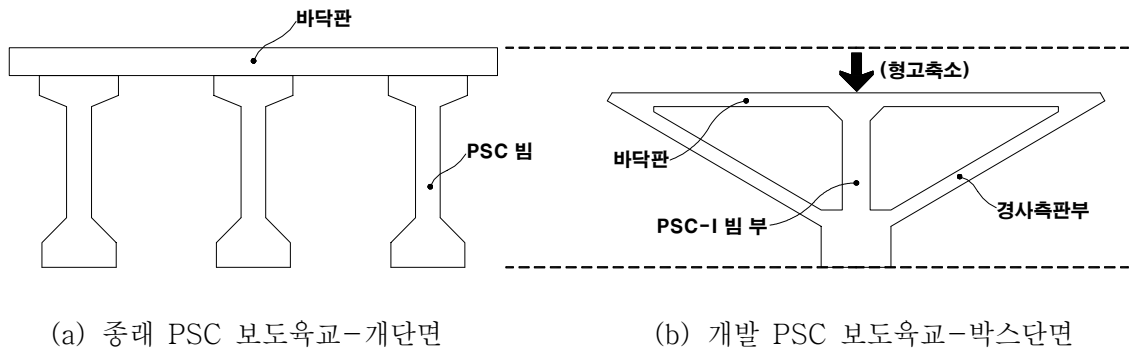
부호	설명	부호	설명
h1	I빔 단부 하부구체 높이	h2	I빔 중앙부 하부구체 높이
110	I빔 하부구체	120	I빔 복부
130	바닥판	140	콘크리트 경사 측판

[그림 4] PC보도육교 구성 사시도 및 개념도



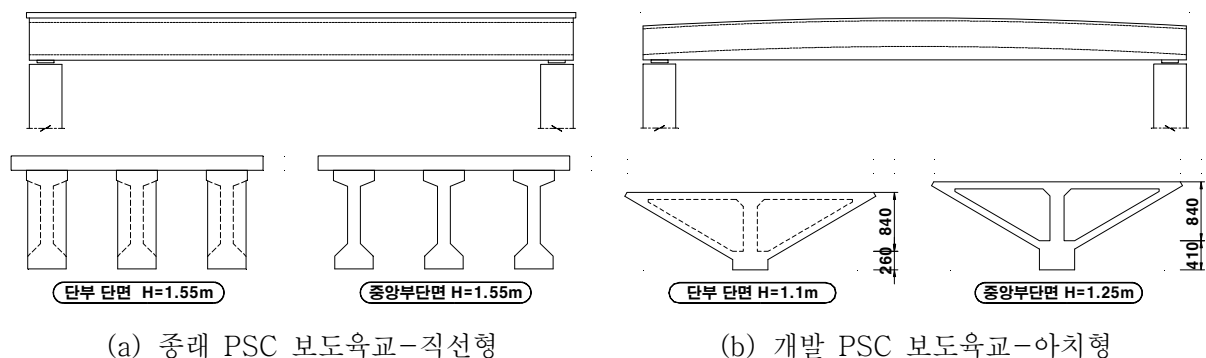
[그림 5] PC보도육교 시공방법 개요도

종래 PSC 보도교는 미리 제작한 PSC-I빔을 거치한 후 바닥판을 현장에서 타설하기 때문에 시공이 번거롭고 공사기간이 길어지는 치명적인 단점을 갖고 있는 반면 개발된 PSC 보도육교는 박스 거더 전체를 공장에서 제작하여 현장에 반입한 즉시 거치하게 되면 대부분의 작업공종이 종료되기 때문에 시공이 간단하고 공사기간을 획기적으로 단축시켜주는 특징이 있다.



[그림 6] 개량 전후 PSC 보도육교 횡단면 비교도

보도육교는 원활한 배수를 확보하고 거더의 캠버 도입 때문에 대략 1% ~ 3% 범위의 종단경사를 갖고 있다. 종래의 PSC 보도육교 경우 PSC-I빔은 직선형으로 제작하고 바닥판의 타설높이를 다르게 하여 종단경사를 확보하거나 아예 종단경사가 없이 시공하기도 한다. 개발된 PSC 보도육교는 필수적으로 도입되어야 할 종단경사에 맞춰 박스거더의 높이를 아치형으로 변화시켜 제작한다.



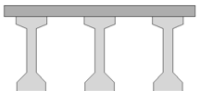
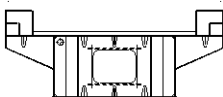
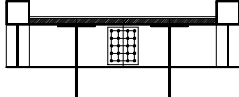
[그림 7] 개량 전후 PSC 보도육교 종단면 비교도

이때 바닥판과 경사측판의 높이는 일정한 상태로 단부에서부터 중앙부까지 그대로 상승하고 I빔의 하부구체 높이가 변화함으로써 박스 거더의 전체 높이 즉, 형고(Depth)가 증가하게 되는 구조를 갖추게 된다. 따라서 종단경사를 갖는 박스형 구조임에도 거더 제작을 위한 거푸집의 제작 및 운용에는 큰 어려움이 없게 된다.

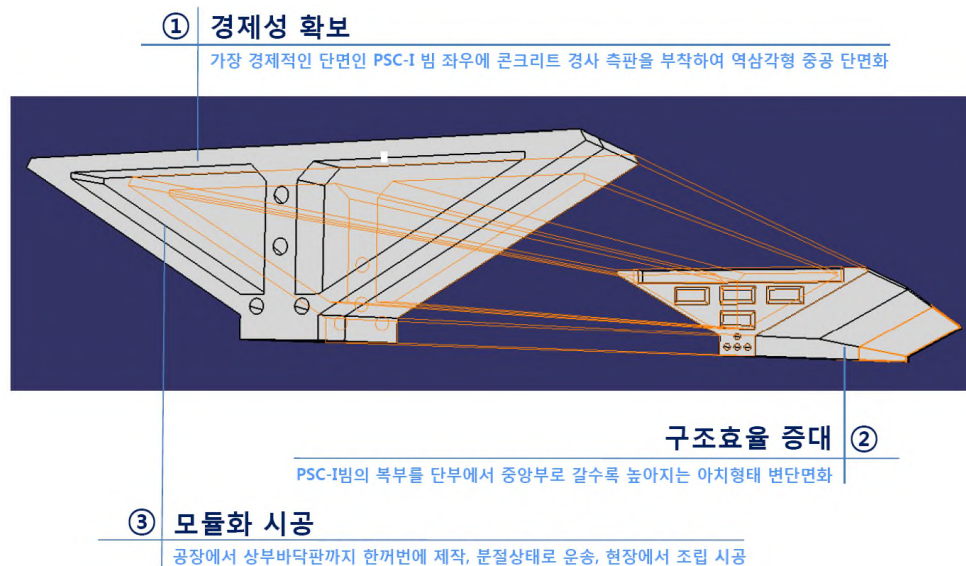
다. 연구개발 기술 설명

(1) 기술의 우수성

조립식 PSC 보도육교와 종래의 PSC 보도육교 및 강재 거더 보도육교를 시공성, 경제성, 경관성 및 사용성 측면에서 비교·분석하면 대체로 종래의 PSC 보도육교가 갖고 있는 기술적, 경관적 단점을 극복하면서 강재 보도육교가 갖고 있는 장점에 근접하거나 경제성과 같이 오히려 우수해지는 측면도 있음을 확인할 수 있다. 또한 일반적으로 소형 보도육교에 많이 적용되는 강재+테크 형식의 인도교와 비교하여도 사용성 및 유지관리 측면에서 유리하고, 단일 재료 사용으로 품질이 우수하고 다양한 경관성이 확보되는 장점이 있음을 알 수 있다.

구분	PSC 거더	조립식 PSC 거더	강재 거더	강재+테크
표준단면				
시공성 (품질/ 공기)	· 바닥판을 현장타설하므로 제품의 품질 저하 · 공기가 길어짐 (1개월 이상)	· 바닥판을 공장제작하므로 제품의 품질 양호 · 분절 거더 조립하므로 공기 단축(2주 이내)	· 부재전체를 공장제작하므로 제품의 품질 양호 · 분절 거더 조립하므로 공기 단축(2주 이내)	· 바닥판(테크)을 현장설치하므로 제품의 품질 저하 · 분절 거더 조립하므로 공기 단축(2주 이내)
경제성 (공사비)	· 콘크리트 재료 사용으로 공사비 절감 (0.8)	· 콘크리트 재료 사용으로 공사비 절감 (1.0)	· 강재 사용으로 공사비 고가(1.25)	· 소형 강재 사용으로 공사비 보통(1.0)
경관성	· 형고가 높아 (1.2) 둔탁하고 개단면 형태로 미관 불량 · 콘크리트면의 거친 질감으로 경관성 저하	· 형고가 낮아(1.0) 날렵하고 박스단면 형태로 미관우수 · 노출콘크리트면의 매끈한 질감으로 경관성 우수	· 형고가 낮아(0.95) 날렵하고 박스단면 형태로 미관우수 · 강재의 매끈한 질감도 색상 도색으로 경관성 우수	· 형고가 낮아(1.0) 날렵하고 개단면 형태로 미관 불량
사용성	· 현장타설 콘크리트 부위 균열 발생 우려 · 진동 및 처짐이 작아 사용성 유리	· 공장제작 콘크리트 로 균열 발생 억제 · 진동 및 처짐이 작아 사용성 유리	· 균열 우려 없음 · 진동 및 처짐이 커서 사용성 다소 불리	· 균열 우려 없음 · 진동 및 처짐이 커서 사용성 불리

즉, 본 기술은 가장 경제적인 단면인 PSC-I빔 좌우에 콘크리트 경사 측판을 부착하여 역삼각형 중공 단면화를 이루어 경제성을 확보하고 PSC-I빔의 복부를 단부에서 중앙부로 갈수록 높아지는 아치형태 즉 상방만곡형태로 변단면화하여 구조효율을 높였으며 공장에서 상부바닥판까지 한꺼번에 제작, 분절형태로 운송, 현장에서 조립 시공하는 모듈화 공법으로 공기단축 및 시공단순화를 달성하였다.



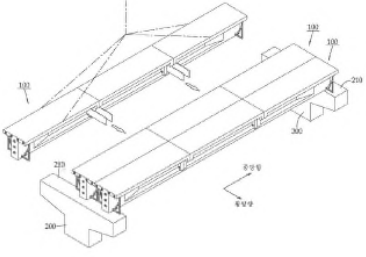
[그림 8] 연구개발 기술의 기술적 우수성 개요

이상과 같이 본 기술이 갖고 있는 우수성을 요약하면 아래 [표 2]와 같다.

[표 2] 기술의 우수성 요약

적용 기술 요소	기술의 우수성
슬래브 바닥판 일체화	시공단순화, 공기단축
중공 박스 단면	경량화, 연결부 구조 합리화
분절, 조립식 구조	공기단축
저형고	미관 개선

(2) 기술의 독창성

보도교 관련 특허명	개발자 (개발년도)	기술의 원리 및 특징	보유기술과의 차별성
상부거더에 수평력을 도입하여 기초의 단면력을 감소시키는 프리스트레스된 라멘형 강재 보도육교의시공법	(주)일승 하이텍 (2003)	라멘식 강재 보도육교의 시공법	강교에 관한 기술로 보유기술과는 구분됨
조립형 교량용 거더	(주)일승 하이텍, 안형준 (2010)	다수개의 거더 유닛을 조합하여 거더를 형성하는 강교 개발 기술	강교에 관한 기술로 보유기술과는 구분됨
현수 보도교 및 그 시공 방법	(주)삼현 피에프 (2011)	케이블로 이루어진 현수시스템으로 보도교를 시공하는 방법에 관한 기술	경관육교에 적용할 수 있는 기술로 보유기술과는 구분됨
연결부 정착단을 구비한 피에스씨 거더를 이용한 보도교 시공방법	한국건설 기술 연구원 (2013)	PSC 빔 다수를 강재 가로빔으로 연결, 개단면 보도교를 구성하는 기술 	본 기술은 PSC-I빔을 사용하되 좌우에 경사측판을 사용하여 바닥판을 일체화한 중공 폐합단면을 구성하는 측면에서 차별성이 존재함
기둥 상부에 조립식 접합구조를 갖는 보도교	김동수 (2014)	라멘식 강재 보도육교에 적용할 수 있는 기술	강교에 관한 기술로 보유기술과는 구분됨
자전거도로용 교량 및 그 시공 방법	(주)하이텍 코리아 (2014)	I형강으로 이루어지는 격자구조 자전거 도로 관련 기술	강교에 관한 기술로 보유기술과는 구분됨
현수보도교 및 그 시공방법	DS Global (2014)	스트레스리본 교량의 설계 및 시공 기술	슬래브에 PS를 도입하는 기술로 보유기술과는 구분됨
구조적 안정성 및 보수관리가 용이한 개선형 보도육교용 시공구조	(주)드림 이엔지 (2015)	I형 및 H형 빔형태의 강재 거더를 사용한 보도육교 기술	강교에 관한 기술로 보유기술과는 구분됨

보도교 및 보도육교와 관련된 국내 기술특허를 수집, 분석한 결과 대부분의 특허기술이 강재 보도교에 관한 내용으로 신규 단면의 형태, 교각과의 일체화를 이룬 라멘구조화가 주종을 이루고 있어 콘크리트 재료를 사용하는 본 기술과는 상당한 차별성이 존재한다. 반면 한국건설기술연구원의 최근의 기술은 PSC-I빔을 사용하는 면에서는 유사점이 있으나 일반

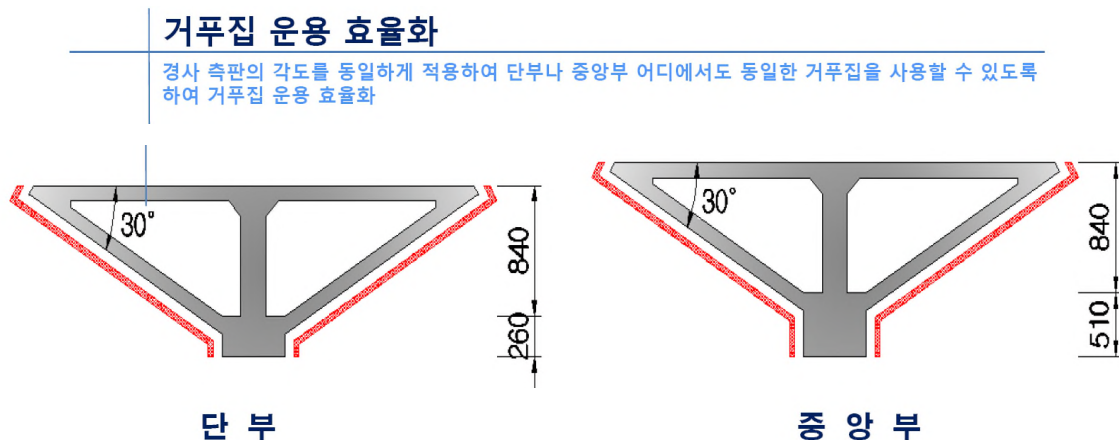
적인 PSC 빔 여러개를 강재 가로빔으로 연결하여 개단면 구조를 구성하는 측면에서 본 기술이 사용하는 중공 폐합단면을 갖고 교량 길이방향으로 조립, 연결하는 부분에서 상당한 차별성을 나타내고 있다.

본 기술은 이전에 유사기술에서는 찾아볼 수 없는 독창적인 기술요소를 보유하고 있다. 첫째 배수와 캠버설치를 위해 필요한 종단 경사를 구조적으로 활용해서 거더를 아치형으로 변화시켜 단부 형고는 낮되 중앙부로 갈수록 형고가 커지도록 하여 휨모멘트에 저항하는 단면을 최대로 한 점이다.



[그림 9] 기술의 독창성-휨모멘트 저항능력 최대화

둘째, 중공 박스단면이 갖고 있는 거푸집 활용의 불리함을 극복하기 위해 경사측판의 각도를 동일하게 적용하여 단부나 중앙부 어디에서도 경사측판에 사용되는 거푸집은 동일하게 제작할 수 있도록 하여 시공성을 크게 증가 시켰다.



[그림 10] 기술의 독창성-거푸집 운용 효율

셋째, 콘크리트 경사측판은 하부 도로에서 진행하는 여러 운전자나 보행자들에게 주로 노출되는 부분으로 해당 부위에 다양한 텍스처와 같은 경관디자인 요소를 반영할 수 있어서 도심 경관성 개선에 크게 기여할 수 있다.



[그림 11] 기술의 독창성-경사측판 패턴 디자인

이상과 같이 기술이 갖고 있는 독창성을 요약하면 아래 [표 3]과 같다.

[표 3] 기술의 독창성 요약

적용 기술 요소	기술의 독창성
거더의 아치형 변단면화	구조성능 최적화
경사측판 각도 동일 적용	거푸집 운용 효율화
경사측판면 경관디자인 요소 도입 가능	경관성 개선

라. 연구개발 범위

(1) 연차별 연구개발 범위

본 연구는 총 2년에 걸쳐 수행되었으며, 연구 연차별 연구목표 및 주요 연구내용은 [표 4]와 같다.

[표 4] 연차별 연구개발 내용

연차	연구목표	주요연구내용
1차년도	· 사업화시 기술, 디자인 상표 보호를 위한 지적재산권 확보 · 경제성, 시공성 및 경관성을 갖춰 시장경쟁력 있는 모듈식 노출콘크리트 프리캐스트 보도교 개발	- 기술, 디자인 및 상표 보호를 위한 특허출원, 디자인 등록 및 상표 등록 - 3D FEM, 진동해석 및 BIM을 이용한 상세설계 - 분절 프리캐스트 부재의 연결부 상세설계 - 디자인 대안 확보를 위한 경관 시뮬레이션 - PSC 보도교 거더 전용 긴장장비세트 시제품 제작 - PSC 노출콘크리트 제작 기술 검토 - 실스케일의 실험용 시제품 제작 및 설치 - 실스케일 실물 제작용 몰드 시제품 제작
2차년도	· 경제성, 시공성 및 경관성을 갖춰 시장경쟁력 있는 모듈식 노출콘크리트 프리캐스트 보도교 개발 · 현장적용 설계 실적 확보	- 디자인 대안 확보를 위한 경관 시뮬레이션 - 실스케일 실험체의 구조성능 검증 시험 - 제품 브랜드화, 홍보 브로셔 제작, 관련 박람회 참석 - 설계 · 제작 · 시공 기술 표준화 - 발주처 수주 업무 추진 및 설계 반영

(2) 주요 연구개발 내용별 세부 범위

본 연구는 크게 4단계로 주요 연구 활동을 구성하였으며, 각 연구 활동별 세부추진 내용은 [표 5]와 같다.

[표 5] 주요 연구활동별 연구개발 내용

기간	단계별 주요 연구 활동	세부추진내용
1단계 ('16.4~ '17.2)	· 모듈식 노출콘크리트 프리캐스트 보도교 설계 기술 개발	- 3D FEM, 진동해석 및 BIM을 이용한 상세설계 - 고강도 재료를 이용한 저형고 단면 계획 - 분절 프리캐스트 부재의 연결부 상세 계획 - 디자인 대안 확보를 위한 경관 시뮬레이션 - 제품의 디자인 및 상표 등록
2단계 ('16.4~ '18.2)	· 모듈식 노출콘크리트 프리캐스트 보도교 제작, 시공 기술 개발	- PSC 보도교 전용 긴장장비세트 시제품 제작 - PSC 노출콘크리트 제작 기술 검토 - 실스케일의 실험용 시제품 제작 및 설치 - 연구개발 과정시 획득한 기술 국내특허 출원 - 실스케일 실물 제작용 몰드 시제품 제작 - 프리캐스트 부재 연결부 거동 분석 요소 실험
3단계 ('17.2~ '18.2)	· 보도교용 조립식 PSC 거더 구조 성능 검증	- 실스케일 실험체의 성능 검증 재하시험
4단계 ('17.2~ '18.2)	· 현장 적용 설계실적 확보	- 홍보 브로셔 제작 및 관련 박람회 참석 - 설계·제작·시공 기술 표준화 - 발주처 수주 업무 추진 및 설계 반영

제2장. 국내외 기술 개발 현황

1. 기술 동향 분석

가. 관련 분야의 국내외 연구동향 및 학술적 성과

(1) 국가연구개발사업 유사연구 검토

[표 6] 국가연구개발사업 유사연구 조사

부처명	사업명	과제명	예산(억원)	비 고
중소기업기술 정보진흥원	산학연공동 기술개발	친환경 도시형 보도육교의 구조상세 표준화 방안	0.27	2006년
한국과학재단	특정기초 연구지원	신소재 보도교 데크패널과 전통 목구조 결구방식의 연결부 개발	0.90	2006년
국토교통과학 기술진흥원	국토교통기술사 업화지원	원형강관을 이용한 자전거 보도교 실용화 연구	3.553	2014년
한국산업기술 평가관리원	산학연협력 기술개발	강관의 절판구조(아치판넬)를 이용한 아치형 보도교 개발 및 연구	0.885	2011년
한국연구재단	일반연구자 지원(교육부)	휴대폰 진동계측을 통한 건물과 보도교의 동적특성 연구	0.507	2013년

보도교 및 보도육교에 관한 연구개발사업은 여타 분야 및 주제에 비해 숫적으로 제한된 분야로 파악된다. 진흥원의 DB를 이용하여 본 연구와 유사한 연구를 조사해본 결과, 2010년 이전에는 연구비 규모나 연구 주제에 있어서 특별하지 않은 학술적 성과를 나타내고 있으며 2010년 이후부터 강재를 사용한 보도교에 대한 개발, 실용화 및 해석연구가 진행되고 있는 실정이다. 또한 조사한 유사연구 대부분은 본 연구와의 유사성을 발견할 수 없었다.

그 중 가장 최근에 진행되고 있는 “원형강관을 이용한 자전거 보도교 실용화 연구”는 기성말뚝을 이용한 교각을 구성하고 그 위에 원형강관을 이용한 주거터를 설치하여 횡방향으로 설치된 강재 브라켓을 이용해 데크를 설치함으로써 보도교나 자전거도로에 사용하는 기술이다. 따라서 강재를 사용하는 것에 주안점이 맞춰져 있으며 본 연구와는 유사성이 있다고 할 수 없다.

본 연구와 유사한 국가연구개발사업을 검토한 결과, 보도교의 현황이나 구조적 특징 및 하중특성에 대한 정보 제시 외에 PSC재료를 사용하는 보도육교에 대한 연구는 전무한 것으

로 파악되었다.

참고로 본 연구와 관련된 보도육교의 해석, 단면개발, 시공공법 개발, 설계기준 연구, 진동제어 등 국내 논문 목록을 요약하여 아래에 수록하였다. 이 자료들 역시 콘크리트 보도육교에 대한 내용은 고려하지 않고 있으며 최근 고강도 콘크리트나 복합소재를 사용하여 케이블 지지 장대교량이나 보도교에 적용하는 소재개발 연구가 진행되고 있음을 알 수 있다.

[표 7] 보도교 관련 논문 조사

논 문 명	발 행 처	발행년도	비 고
자전거 도로의 문제점 분석을 통한 설계기준 개선에 관한 연구	대한토목학회	2014	설계기준
스트레스 리본 보도교의 설계절차	대한토목학회	2013	설계기준
인체-교량 상호적용 및 인체관성을 고려한 보도교의 내진거동평가	대한토목학회	2012	진동평가
보도교용 착탈결합식 복합소재 데크의 시편시험	대한토목학회	2010	소재개발
동조질량감쇠기를 이용한 보도교의 진동제어	한국전산 구조공학회	2012	진동평가
보도교용 복합소재 바닥판의 국부거동시험	한국전산 구조공학회	2008	소재개발
수직결합형 복합소재 데크 개발과 보도교 바닥판 적용 연구	한국전산 구조공학회	2007	소재개발
UHPC-거더 사장보도교의 설계	한국콘크리트학회	2011	소재개발
보도교 진동사용성 기준검토 및 TMD 적용성 - 화성동탄 보도교	한국강구조학회	2007	진도평가
최근 일련의 아름다운 보도	한국강구조학회	2006	사례보고
여의도 샛강 보도육교	한국강구조학회	2011	사례보고
가 지지점을 이용한 프리스트레스된 강재 라멘식 보도육교의 개발	한국강구조학회	1998	강재 보도교

나. 국내외 관련 기술 특허 동향

[표 8] 보도교 관련 특허 조사

특 허 명	출 원 인	등 록 일	비 고
수직하중의 재하에 의하여 프리스트레스된 강재 라멘구조의 시공법	구민세	2001.01.16	등록
상부거더에 수평력을 도입하여 기초의 단면력을 감소시키는 프리스트레스된 라멘형 강재 보도육교의시공법	(주)일승하이텍	2003.12.23	등록
조립형 교량용 거더	(주)일승하이텍, 안형준	2010.06.01	등록
현수 보도교 및 그 시공 방법	(주) 삼현피에프	2011.10.28	등록
연결부 정착단을 구비한 피에스씨 거더를 이용한 보도교 시공방법	한국건설기술연 구원	2013.10.29	등록
기둥 상부에 조립식 접합구조를 갖는 보도교	김동수	2014.05.27	등록
자전거도로용 교량 및 그 시공 방법	(주)하이텍코리아	2014.08.27	등록
현수보도교 및 그 시공방법	DS Global	2014.2.11	등록
구조적 안정성 및 보수관리가 용이한 개선형 보도육교용 시공구조	(주)드림이엔지	2015.01.06	신규

보도교 및 보도육교와 관련된 국내 기술특허를 수집, 분석한 결과 대부분의 특허기술이 강재 보도교에 관한 내용으로 신규 단면의 형태, 교각과의 일체화를 이룬 라멘구조로의 구조개선이 주종을 이루고 있으며 콘크리트 재료를 사용하는 본 기술과는 상당한 차이가 존재하는 것으로 파악되었다.

조사된 관련 특허 기술 중 “연결부 정착단을 구비한 피에스씨 거더를 이용한 보도교 시공방법”은 PSC-I빔을 사용하는 면에서는 유사점이 있으나 일반적인 PSC 빔 여러 개를 강재 가로빔으로 연결하여 개단면 구조를 구성하는 측면에서 본 기술이 사용하는 중공 폐합 단면을 갖고 교량 길이방향으로 조립, 연결하는 부분에서 상당한 차별성을 나타내고 있다.

제3장. 연구 수행 내용 및 성과

1. 모듈식 노출콘크리트 프리캐스트 보도교 설계 기술 개발

단면 효율화, 저비용 공법이 적용 가능한 모듈식 보도교 설계 기술을 개발하고, 이를 통해 경제성과 시공성 및 경관성을 갖춰 강교 대비 경제력 있는 조립식 PSC 보도교를 보급하기 위해 ‘모듈식 노출콘크리트 프리캐스트 보도교 설계 기술 개발(1단계)’ 연구가 수행되었다. 구체적인 연구 수행 내용과 성과는 아래와 같다.

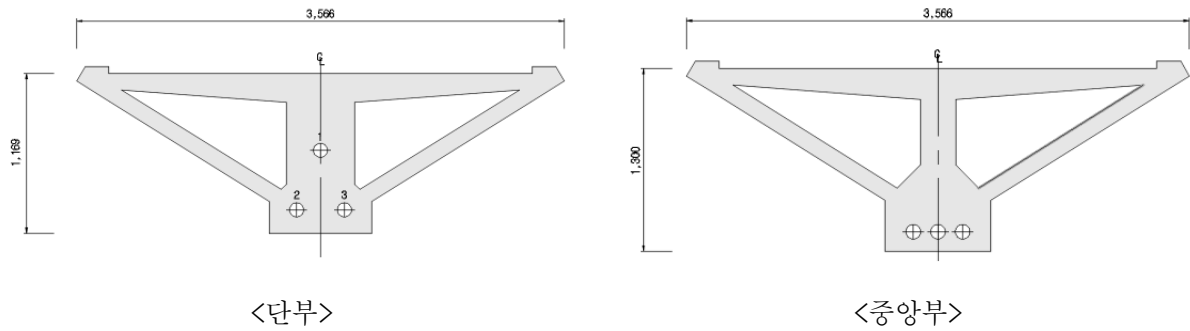
구 분	연구 내용	연구성과
모듈식 노출콘크리트 프리캐스트 보도교 설계기술 개발	가. 상세설계를 통한 단면계획 (1) 원가절감이 가능한 단면형태개발 (2) 시공 간소화 계획 (3) 분절 프리캐스트 연결부 상세 계획	- 상세설계 완료 - 상세설계 도면 - 상세설계 수치해석
	나. 디자인 대안 확보를 위한 경관 시뮬레이션	- 최적 디자인 경관 도출
	다. 제품 디자인 및 상표 등록 추진	- 디자인 등록 2건 및 상표등록 1건 완료

가. 상세설계를 통한 단면계획

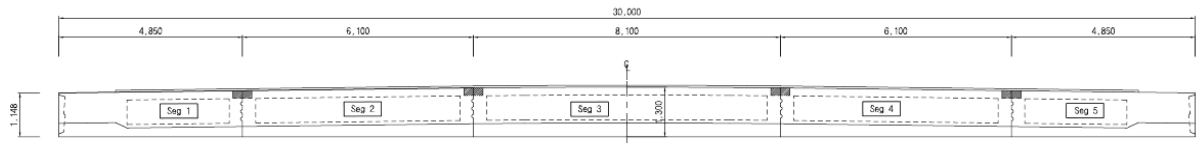
(1) 원가절감이 가능한 단면형태 개발

본 연구는 구조효율성이 높고 거푸집 운용의 표준화가 가능한 단면형태 개발 및 현장 작업이 최소화 되어 인건비 등 원가를 낮출 수 있는 교량 공법을 개발하기 위해 수행되었다. 상세설계를 통해 개발된 모듈식 노출콘크리트 프리캐스트 보도교 최종 단면은 [그림 12]와 같고, 개발단면의 장점은 다음과 같다.

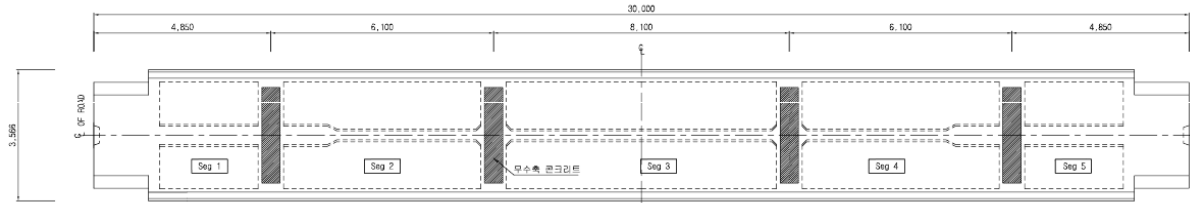
- 구조효율성이 높고 거푸집 운용의 표준화가 가능한 단면형태 개발
- 개발된 단면형태는 배수와 캠버설치를 위해 필요한 바닥판의 종단 경사를 구조적으로 활용 가능하며, 거더를 아치형으로 변화시켜 단부 형고는 낮되 중앙부로 갈수록 형고가 커져 휨모멘트 저항 효율 증가에 따른 원가 절감 가능
- 경사측판의 각도를 동일하게 적용하여 단부나 중앙부 어디에서도 경사측판에 사용되는 거푸집은 동일하게 제작할 수 있도록 하여 시공성 향상에 따른 원가 절감 가능
- 개발된 단면은 공장에서 프리캐스트로 제작하고 현장에서는 조립 및 거치의 공정만 수행하므로 현장작업 및 인건비 최소화에 따른 원가 절감 가능



(a) 개발된 단면형태



(b) 보도교 종단면도



(c) 보도교 평면도

[그림 12] 모듈식 프리캐스트 보도교 최종 단면

(2) 시공 간소화 계획

모듈식 노출콘크리트 프리캐스트 보도교 시공 간소화 계획은 거더 전체 부재를 공장에서 세그먼트로 제작하고 교각, 경사로 또한 프리캐스트로 선 제작하며 현장 조립 기간을 최소화하여 강재 보도교 대비 동일 수준의 시공 공기 달성하기 위해 수행되었다. 상세설계를 통해 최종계획된 시공 간소화 계획은 그림과 같이 일괄 및 분할 거치 시공순서이며, 각 시공방법에 따른 공기는 [그림 14]와 같다.

- 거더 전체 부재를 분절거더의 형태로 공장에서 세그먼트로 제작하고 현장에서 종방향 강선 긴장 및 무수축 콘크리트 타설에 의해 조립 가능한 시공순서 제시
- 거더의 조립은 전체 거더를 현장 작업장에서 조립한 후 일괄거치하거나 가설벤트

○ 본 연구과제 보도교의 시공 공기를 강재 보도교와 비교하면, 일괄거치의 경우 강재 보도교와 동일한 수준이고 분할거치의 경우 강재 보도교보다 3일이 더 소요되나 타 콘크리트 교량에 비교하면 상당히 단축된 수준이므로 시공 간소화 목표 달성



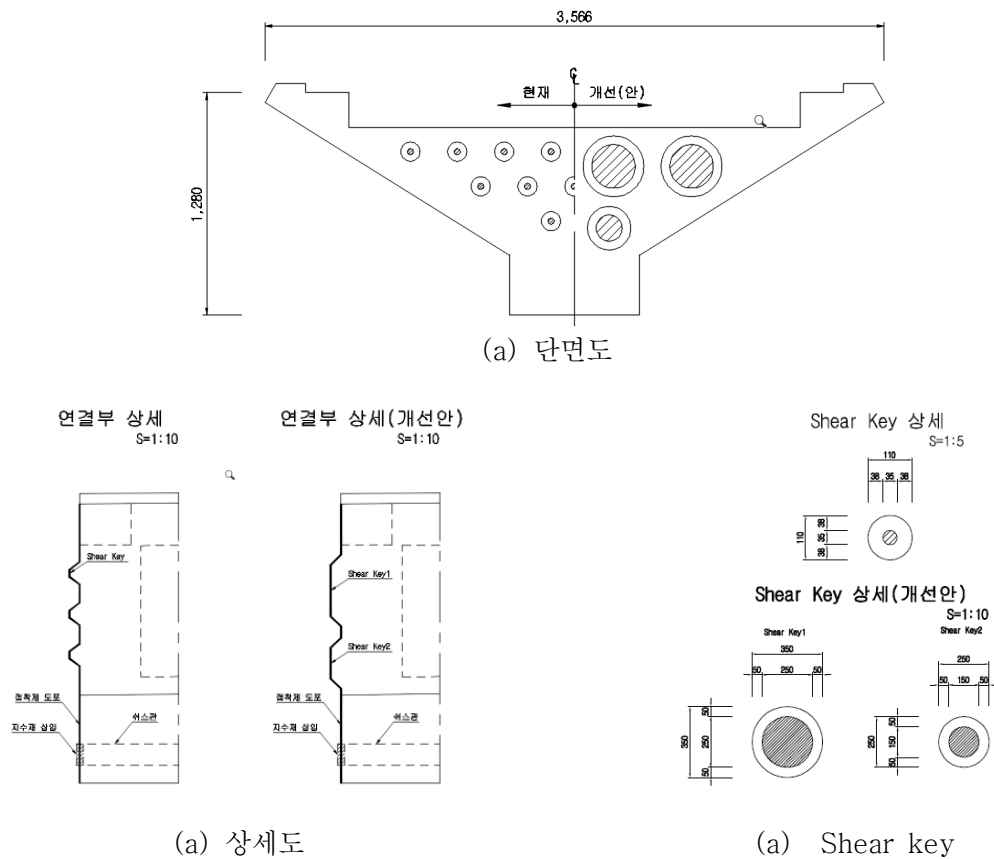
– 20 –



[그림 14] 보도교 시공 공기 비교표

(3) 분절 프리캐스트 연결부 상세 계획

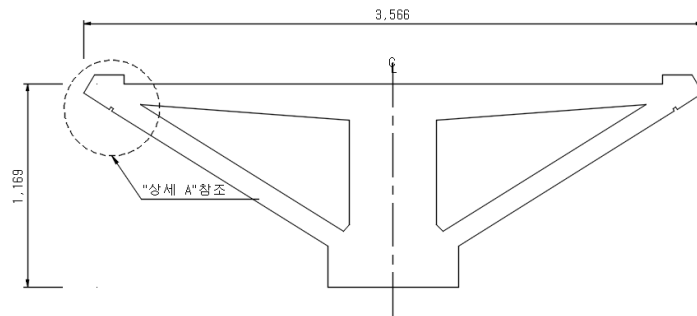
프리캐스트 세그먼트 일체화를 위해 분절 프리캐스트 연결부의 상세설계를 수행하였으며, 상세계획 결과는 [그림 15]와 같다.



[그림 15] 보도교 연결부 상세계획 결과

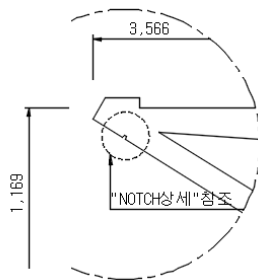
(4) 우수처리 상세계획

본 연구과제 보도교의 소피트(경사 측판)는 콘크리트 보도교의 미관제고 측면에서 계획되었으나, 우수에 불리하지 않은 구조로 적용하기 위해 소피트 내 노치를 계획하였다. Notch는 일반적으로 도로용 교량에 설치되는 규격을 적용하였다.

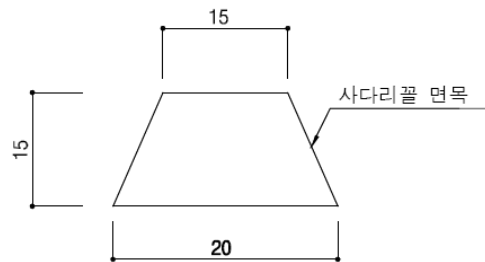


(a) 단면도

상세 "A"



NOTCH 상세



* 외부로부터 유입된 물을 차단하여 구조물 내부 백테등을 방지하도록 한다.

(b) NOTCH 상세도

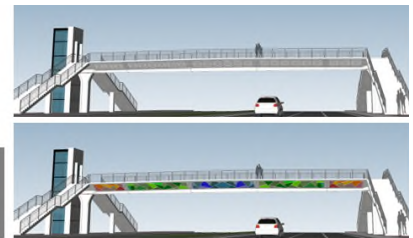
[그림 16] 보도교 우수처리 상세계획 결과

나. 디자인 대안 확보를 위한 경관 시물레이션

디자인 대안 확보를 위한 경관 시물레이션 연구 중 1차년도 연구는 최적 경관디자인 가이드라인을 설정하기 위해 수행되었다. 이 때, 경관 시물레이션은 상부구조(거더 중방향 측면의 디자인, 거더 최측면 마감), 하부구조(교각 디자인, 칼럼 형상, 코핑부 형상), 부대시설(계단부 연석 유무, 계단 배면 디자인, 난간 디자인, 바닥 처리(포장)) 등 다양한 경우에 대해 수행하였으며, 이에 따라 최적 경관 프로토 타입 3종을 제시하였다. 2차년도 연구에서는 교각과 상부거더가 일체식으로 적용된 경우에 대한 경관 시물레이션 연구를 추가로 수행하였다.

- 문양거꾸집 : 각기 다른 도시의 이미지를 반영할 수 있는 직선, 격자무늬, 육각무늬 등 패턴
- 컬러적용 : 대상지에 활력을 줄 수 있는 주목성 있는 컬러조합
- 이형재삽입 : 대상지의 환경을 반영할 수 있는 이형재조합

교량의 인상을 결정짓는 가장 큰 부분으로
다양한 환경에 적용 가능한 디자인가이드라인 제시



(a) 거더 디자인

- 직선형 : 다양한 거더 이미지에 조합 가능한 조화형 형상 제시
- Y형 : 상부구조와의 연속성있는 조형으로 개방감 있는 하부공간 연출 가능한 제안

선택된 거더의 형상과 조화로운 이미지를 연출 할 수 있는 교각 디자인제시



(b) 교각 디자인

- 자유로운 주물패턴, 컬러 적용으로 도시 이미지를 상징할 수 있는 공간으로 제안

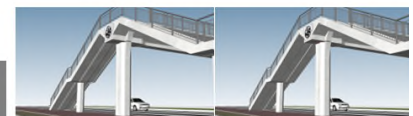
제한된 현황의 사공간을 패턴 적용을 통한 알파공간으로 재모색, 디자인 경쟁력 상승



(c) 거더 끝단 디자인

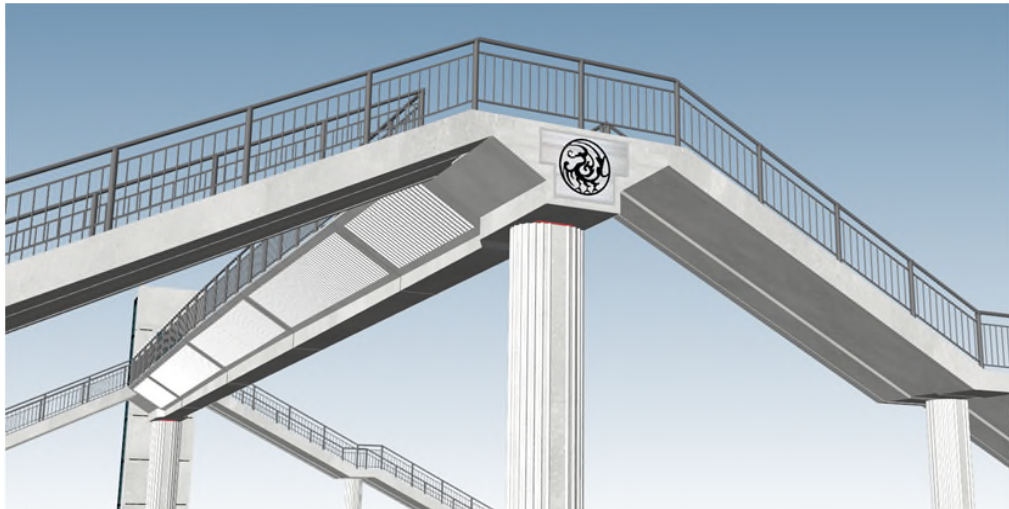
- 교량의 완성도 및 보행자 시선을 고려한 계단배면 디자인안 제시

타입체와의 차별성을 부각시킬 수 있는 부분, 시공 및 디자인 경쟁력 상승

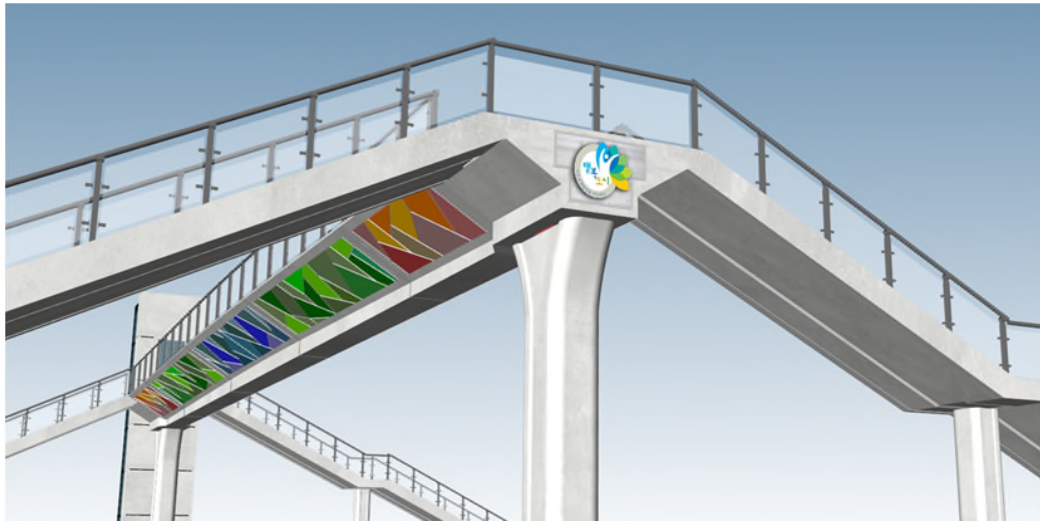


(d) 계단 디자인

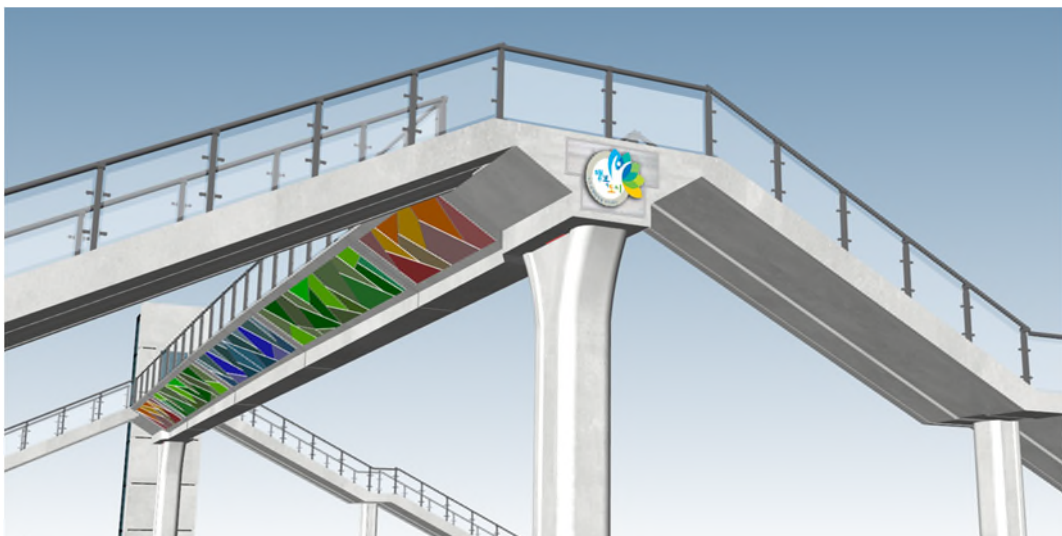
[그림 17] 보도교 표준디자인



(a) 1안 (도심형)



(b) 2안 (어린이 보호구역, 패션가 등)

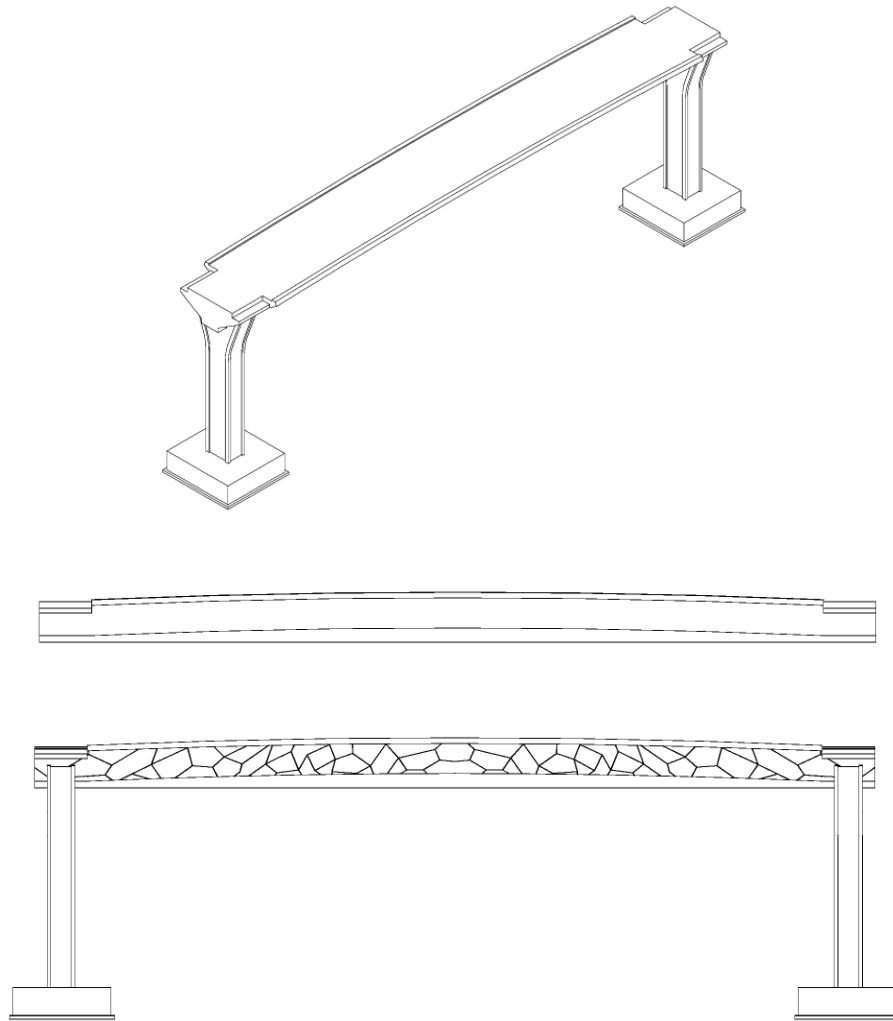


(c) 3안 (정통형)

[그림 18] 보도교 최적 경관 디자인

다. 제품 디자인 및 상표 등록

본 연구에서 개발된 보도교의 명칭은 MPF(Modular Prefab Footbridge)라는 상표로 등록하였고, 기본적인 거더 단면 형상 및 경관 시뮬레이션을 통해 달성된 거더 측면 디자인에 대해 디자인 등록을 완료하였다.



* 중앙부가 상방으로 만곡되도록 제작되어 양 교각에 의하여 도로를 횡단하도록 설치되는 것으로서, 상부구조물 양 측면은 미관을 위하여 모자이크 형태의 모양이 형성되며 난간이 설치된 계단이 양 측단에 설치되어 통행인이 접근할 수 있도록 한 것임. 본원 디자인은 조립식 보도육교의 형상과 모양의 결합을 디자인 창작 내용의 요점으로 함.

[그림 19] 보도교 디자인 등록

2. 모듈식 노출콘크리트 프리캐스트 보도교 제작, 시공 기술 개발

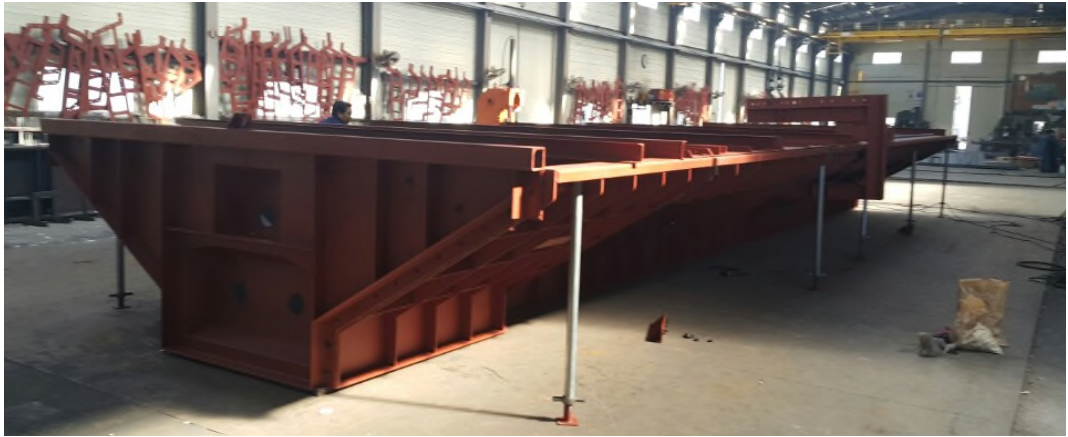
강재 보도교 수준 이상의 미관을 보유하고 강교 수준의 공사 난이도를 갖는 프리캐스트 보도교의 제작 · 시공 기술을 개발하기 위해 ‘모듈식 노출콘크리트 프리캐스트 보도교 제작 · 시공 기술 개발(2단계)’ 연구가 수행되었으며, 구체적인 연구수행 내용과 성과는 아래와 같다.

구 분	연구 내용	연구성과
모듈식 노출콘크리트 프리캐스트 보도교 설계기술 개발	실스케일 실물 제작용 몰드 시제품 제작 기술 개발	실물 제작용 몰드 시제품 제작 및 적용
	PSC 보도교 전용 긴장장비 세트 시제품 제작기술 개발	긴장장비 세트 시제품 제작 및 적용
	가. 실스케일의 실험용 시제품 제작 및 설치 기술 개발 - PSC 노출콘크리트 제작기술 검토 - 모듈식 프리캐스트 보도교 설치 기술 검토	실스케일 실물용 거더 시제품 제작 및 설치 적용 - PSC 노출콘크리트 제작 - 모듈식 프리캐스트 보도교 설치 및 연결
	획득 기술 국내 특허 출원	긴장장비 시스템 시제품 제작시 획득한 기술 국내특허 출원 및 등록
	프리캐스트 연결부 거동분석 요소실험	프리캐스트 연결부 거동분석 요소 실험 및 안전성 확인

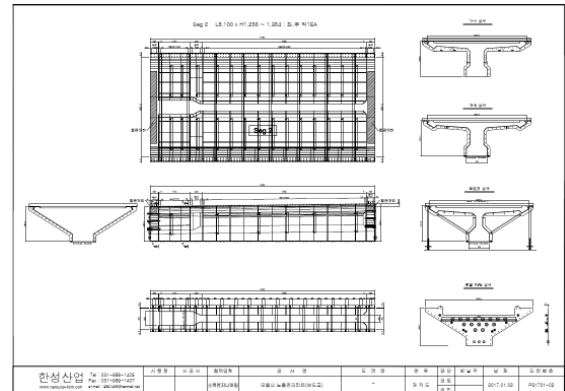
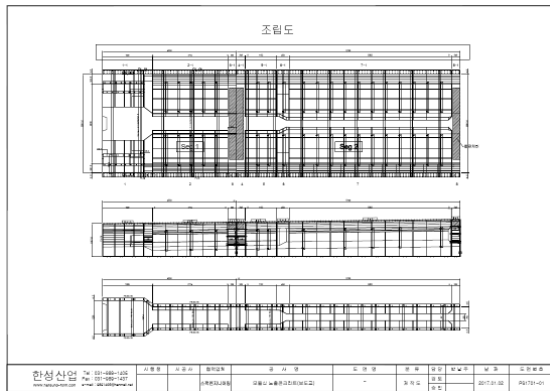
가. 실스케일 실물제작용 몰드 시제품 시제품 제작 기술 개발

노출콘크리트 프리캐스트 거더를 공장에서 분절형 모듈로 제작하기 위해서는 다회 사용 가능한 몰드(거푸집)가 필수적이며, 효율적이고 경제적인 실물 몰드 제작 기술을 개발하기 위해 시제품을 제작하였다. 실물몰드 시제품은 세그먼트 본체 제작용 몰드와 소피트 제작용 몰드로 각각 제작되었으며, 실험용 실물 거더 제작시 사용되었다. 이 때, 거더 세그먼트 본체 몰드는 일체식으로, 소피트 몰드는 조립식으로 제작 기술을 개발하였다.





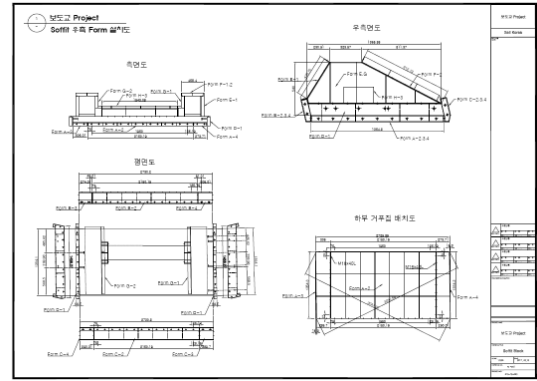
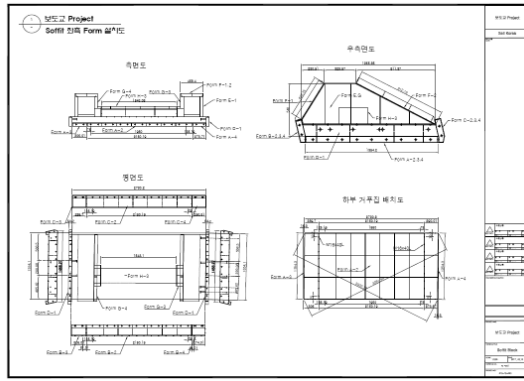
[그림 20] 상부 거더 본체 실물 몰드 전경



[그림 21] 상부 거더 본체 실물 몰드 제작도



[그림 22] 상부 거더 소피트 실물 몰드 전경



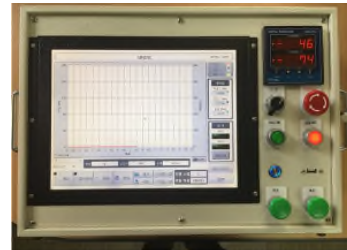
[그림 23] 상부 거더 소피트 실물 몰드 제작도

나. PSC 보도교 전용 긴장장비 세트 시제품 제작기술 개발

모듈식 프리캐스트 보도교 단면 및 형고비를 효율적으로 적용하기 위해 개별 텐던을 모노로 긴장하는 다단계 긴장시스템 기술에 대해 연구하였으며, 다단계 모노 긴장시스템을 적용할 수 있는 긴장장비 시제품을 제작하였다. 제작된 긴장장비 시제품은 ①모노 긴장잭, ②체어 등 관련 부속품, ③유압 펌프, ④긴장력 제어 장비인 컨트롤 박스로 구성된다. 이 때, 개별 텐던의 긴장력은 다단계 긴장력 제어 장비인 컨트롤 박스를 통해 자동으로 제어되고 엄밀하게 관리될 수 있다. 아래에 긴장장비 시제품 제작 관련 사진 및 다단계 긴장 시스템 개념도를 수록하였다.



① 모노 긴장잭



③ 컨트롤박스



② 체어 등 관련 부속품

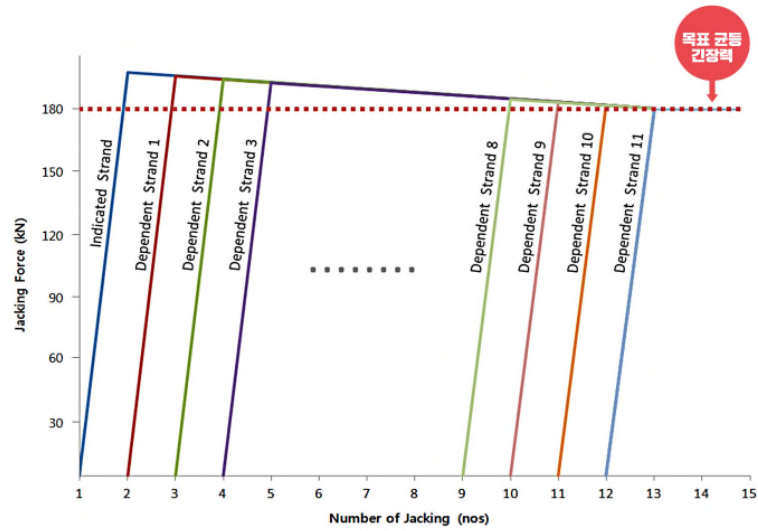


④ 유압 펌프

[그림 24] 긴장장비 시제품 구성



[그림 25] 컨트롤 박스 입체도



[그림 26] 다단계 긴장시스템 개념

다. 실스케일의 실험용 시제품 제작 및 설치기술 개발

실스케일의 실험용 실물 거더 시제품은 모듈식 프리캐스트 보도교 세그먼트의 제작 및 시공 기술을 개발하고, 성능검증 시험에 사용하기 위해 제작되었다. 프리캐스트 보도교 실물 거더는 실험실 여건을 감안하여 4개의 세그먼트로 구성하였으며, 제작장에서 제작한 후 실험실에 거치하였다. 모듈식 노출콘크리트 프리캐스트 보도교 실물거더를 제작 및 설치하면서 검토된 주요 기술항목은 [표 9] 와 같다.

[표 9] 실스케일 실험용 시제품 제작 및 설치기술 주요 기술검토 항목

제작기술 관련	설치기술 관련
• 프리캐스트 연결부 철근배근 • 노출면 거푸집 탈형 • 노출면 경관요소 삽입 • 거푸집 조립 및 해체 • 복잡한 시공요소 발견	• 프리캐스트 연결부 일체화 • 프리캐스트 무수축 콘크리트 타설시기 • 인양고리 철근 위치 및 배치 • 프리캐스트 연결부 접착체 도포



(a) 거푸집 조립



(b) 철근 조립

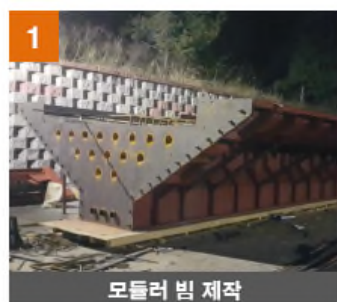


(c) 콘크리트 타설



(d) 거푸집 탈형

[그림 27] 시제품 제작 사진



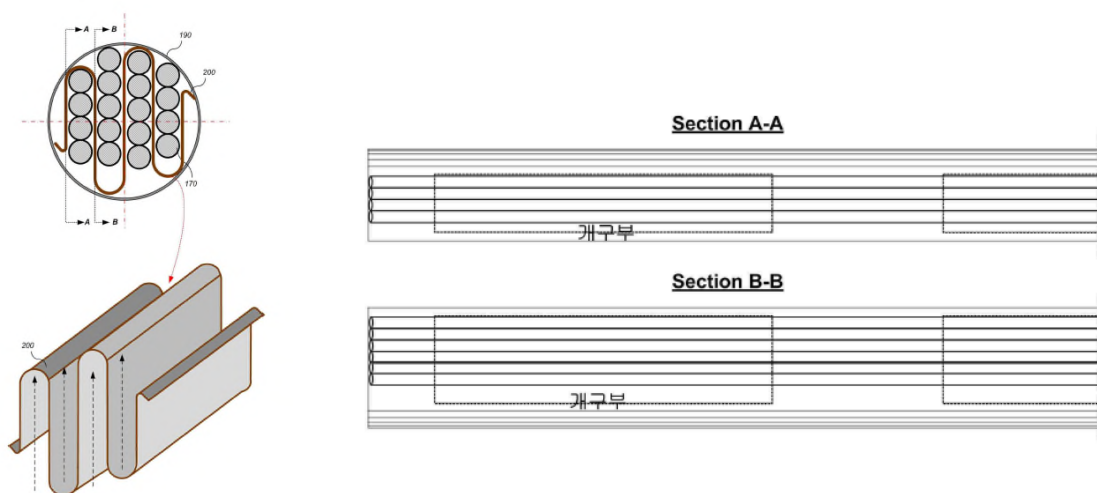
[그림 28] 시제품 설치 순서 및 사진



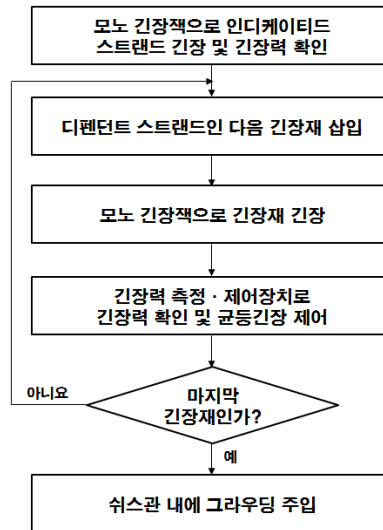
[그림 29] 시제품 설치 완료 후 전경 사진

라. 획득기술 국내 특허 출원

본 연구에서 출원 · 등록한 특허는 ‘PSC 거더용 긴장재 꼬임방지 장치 및 이를 이용한 다단계 개별 균등긴장 방법’이다. 본 특허의 주요 내용은 PSC 거더를 관통하도록 삽입되는 꼬임방지 쉬스관(다단계 개별 긴장시 개별 강선의 꼬임이 발생할 수 있고 이를 방지하기 위한 장치임)과 다단계 개별 균등긴장 방법이며, 관련 내용은 [그림 30] 및 [그림 31]과 같다.



[그림 30] 꼬임방지 쉬스관

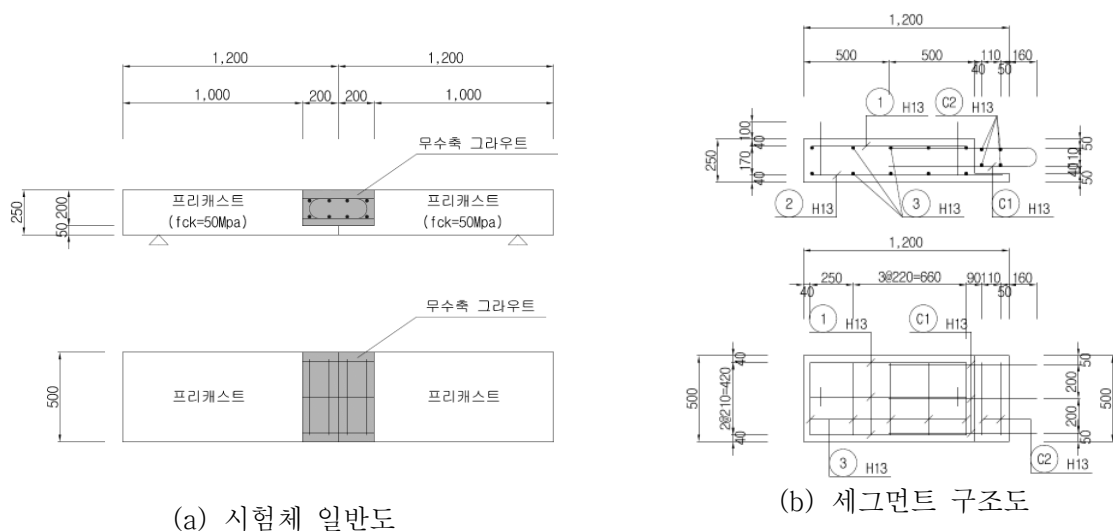


[그림 31] 다단계 긴장방법

마. 프리캐스트 연결부 거동분석 요소 실험

(1) 시험개요

프리캐스트 연결부 거동분석 요소 실험은 모듈식 노출콘크리트 프리캐스트 보도교 세그먼트의 일체화에 적용된 Loop철근을 이용한 현장타설 연결부의 거동을 분석하기 위해 수행되었다. 이를 위해 시험체는 아래 [그림 32]와 같이 구성하였으며, 프리캐스트로 제작한 2개의 세그먼트를 철근 및 무수축 그라우트로 연결하여 일체화하였다. 시험체 길이는 2.4m, 폭은 0.5m, 높이는 0.25m로 적용하였다.



[그림 32] 프리캐스트 연결부 시험체 단면



(1) 세그먼트 제작



(2) 세그먼트 철근 연결



(3) 거푸집 설치



(4) 콘크리트 타설

[그림 33] 프리캐스트 연결부 시험체 제작 사진

(2) 시험체 압축강도 측정

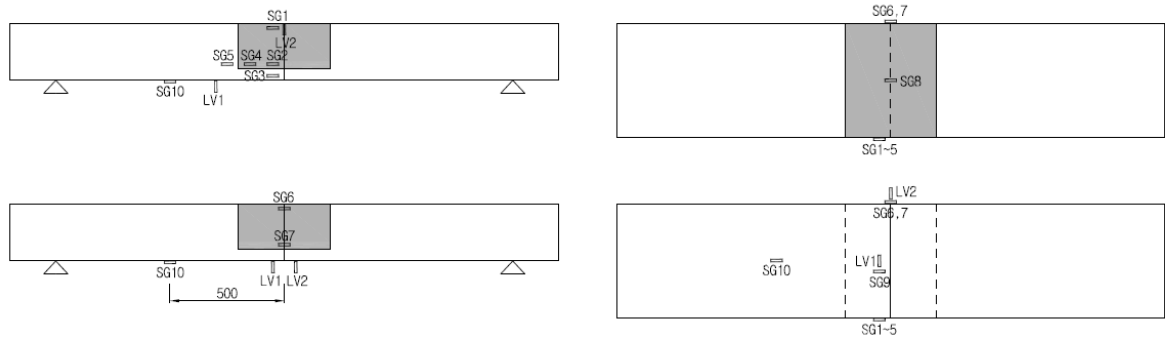
시험에 앞서 시험체의 압축강도를 슈미트헤머로 측정하였으며, 측정결과는 [표 10]과 같다.

[표 10] 프리캐스트 연결부 시험체 압축강도 측정

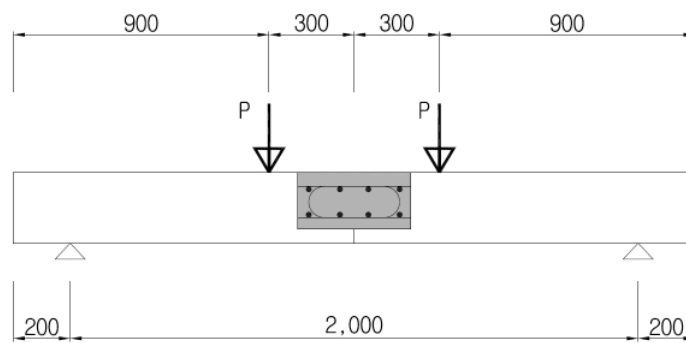
측정위치	반발경도 평균치	타격각도	보정 치	기준경도	재령계수	압축강도		평균압축 강도 (MPa)
	R	(°)	ΔR	R_o	α	재료학회	건축학회	
프리캐스트 콘크리트	41.2	-90	2.7	43.9	1.00	37.8	41.2	39.5
무수축 그라우트	36.2	-90	2.7	38.9	1.32	4.5	49.7	45.6

(3) 시험방법

실험은 한국교통대학교 역학시험동에서 실시하였으며, 시험하중은 0kN 부터 시작하여 시험체가 파괴될 때까지 재하하였다. 계측센서는 시험체의 연결부 하단과 측면에 변위계(LV) 2개, 콘크리트 변형률계(SG) 10개를 설치하였다. 시험체 경계조건은 힌지로 설정하였으며, 시험체 단부에서 200mm 떨어진 위치에 지점을 형성하였다. 시험하중은 초당 0.01mm의 속도로 재하하였으며, 하중재하 지점은 시험체 중앙부에서 양측으로 300mm씩 이격시켜 2 점으로 적용하였다.



[그림 34] 프리캐스트 연결부 시험체 계측센서 부착현황



[그림 35] 프리캐스트 연결부 시험체 시험하중 재하위치



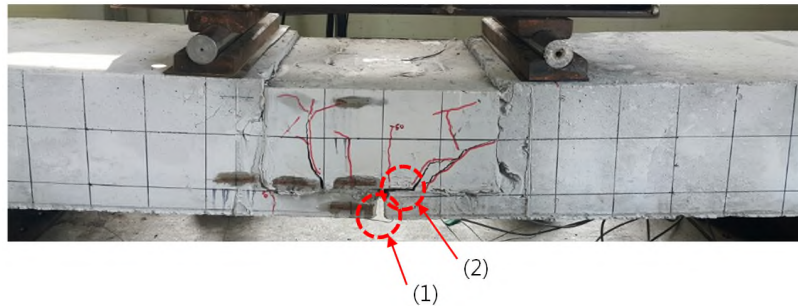
[그림 36] 프리캐스트 연결부 거동분석 요소시험 전경

(4) 실험결과

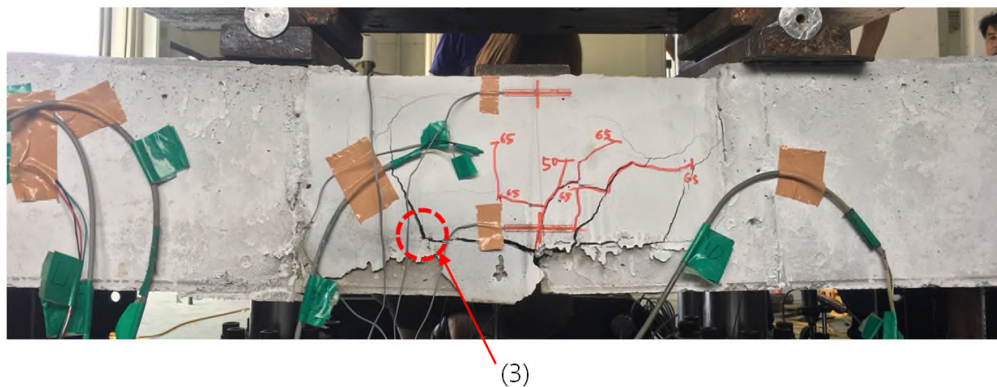
시험하중은 108kN까지 재하되었으며, 시험체의 균열은 50kN에서 시작되고 중앙부 하단 무수축구간에서 연직방향으로 확대되었다. 최초 균열폭은 시험하중 50kN에서 0.2mm로 측정되었고, 하중이 60kN으로 증가시 0.3mm로 증가하였다. 시험하중 60kN 이상 구간에서는 하중의 증가량 보다 변위의 증가량이 더 커서 시험체가 항복거동을 하는 것으로 보였다. 시험 종료 후의 시험체 사진은 [그림 37]과 같고, 시험 종료시 최대균열은 5mm로 측정되었다.([그림 36], (3)참조) 또한 시험체 중앙부의 무수축그라우트와 프리캐스트 콘크리트 세그먼트 사이는 최대 6mm 벌어졌으며,([그림 37], (2)참조) 중앙부 하단에서 두께 50mm 인 프리캐스트 세그먼트의 돌출부는 약 19mm가 벌어졌다.([그림 37], (1)참조)



(a) 전경



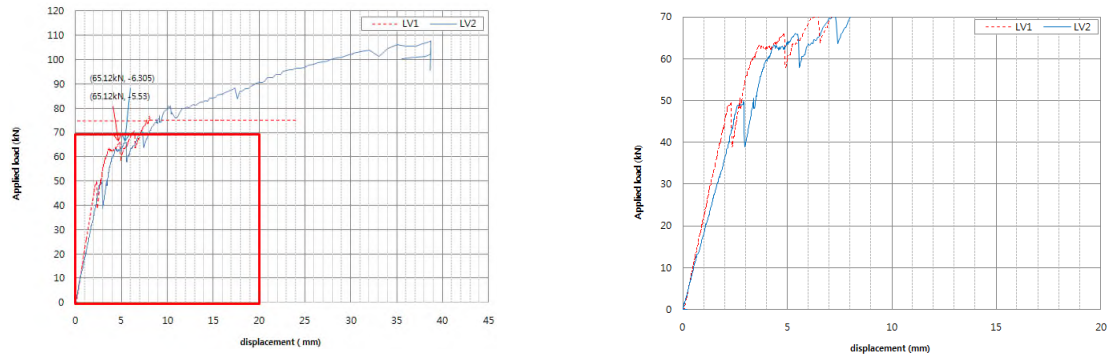
(b) 전면 중앙부



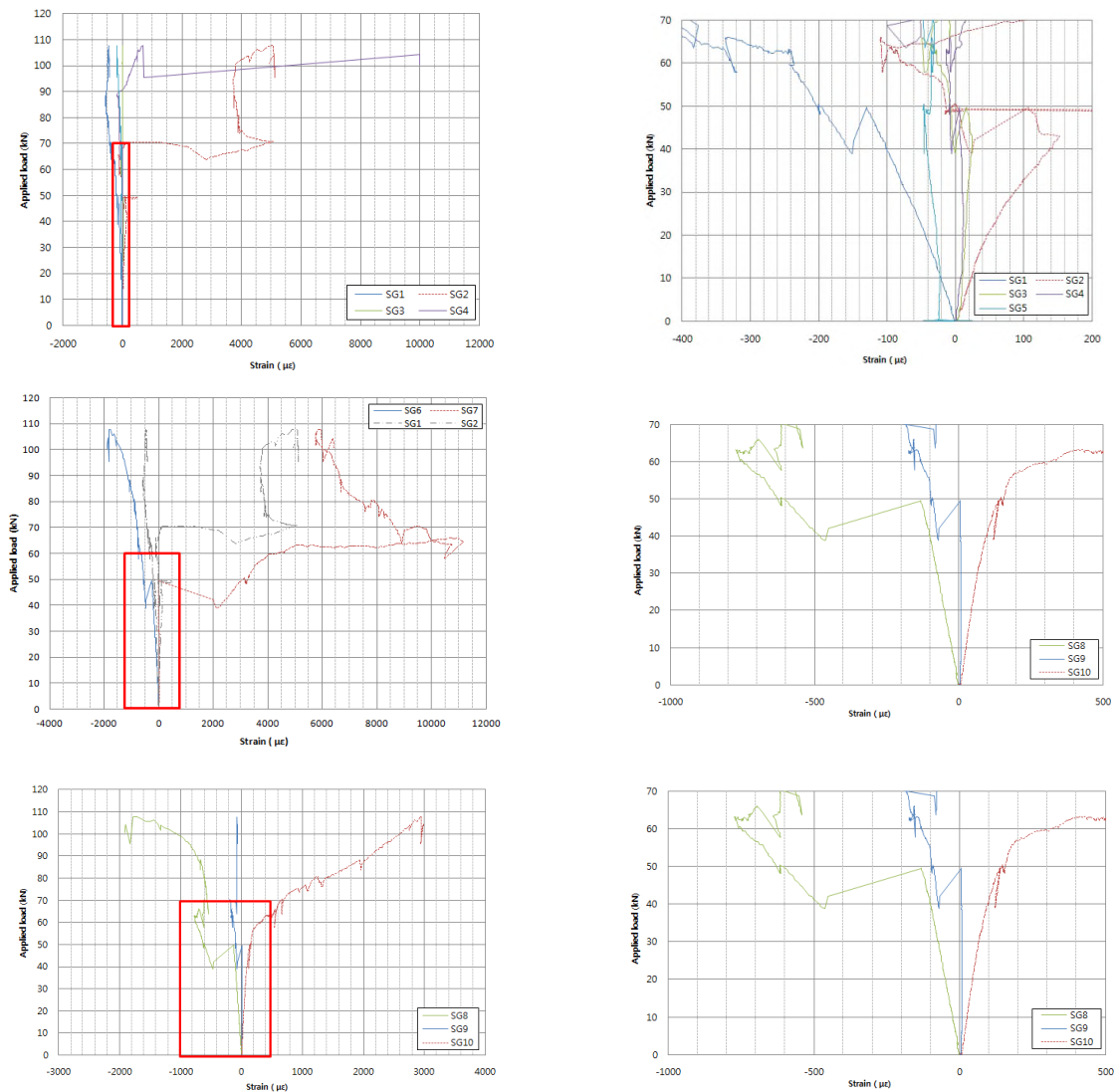
(c) 후면 중앙부

[그림 37] 프리캐스트 연결부 거동분석 요소시험 종료시 사진

시험하중 재하에 따른 하중-변위 곡선 및 하중-변형률 곡선을 [그림 38] 및 [그림 39]에 정리하였다.



[그림 38] 프리캐스트 연결부 거동분석 요소시험 중앙 연결부 하중-변위 곡선



[그림 39] 프리캐스트 연결부 거동분석 요소시험 중앙 연결부 하중-변형률 곡선

상기 하중-변위 및 변형률 곡선을 분석하고 이론과 실험의 저항강도를 비교한 결과는 아래 [표 11]과 같다. 본 실험을 통해 본 연구에서 개발된 보도교 거더의 프리캐스트 연결부는 일체구조 수준의 거동을 하며, 저항하중의 1.6배 이상의 안전율을 확보함을 확인하였다.

[표 11] 프리캐스트 연결부 거동분석 요소시험 결과

구 분	이론(일체구조)	실험(연결구조)	비고
저항하중	63.6kN	65.1kN	일체구조 수준의 거동
최대하중	-	107.7kN	저항하중의 1.6배

3. 보도교용 조립식 PSC거더 구조 성능 검증

실스케일로 제작된 저형고 모듈형태의 조립식 PSC 거더에 대한 구조성능을 검증하기 위해 ‘보도교용 조립식 PSC 거더 구조 성능 검증(3단계)’ 연구가 수행되었다. 본 연구를 통해 설계에서 확보된 조립식 PSC 거더의 구조적 성능을 실험에서 확인하고, 실제 적용시의 문제점을 파악 · 개선하였다.

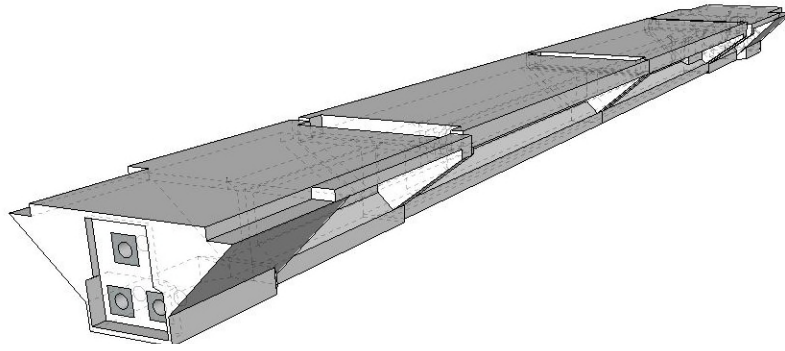
구체적인 연구 수행 내용과 성과는 아래 표와 같다.

구 분	연구내용	연구성과
보도교용 조립식 PSC거더 구조 성능 검증	실스케일 실험체의 성능 검증 재하시험 - 정적 재하시험 - 동적 재하시험	실스케일 실험체의 성능검증 - 정적거동 성능검증 - 동적거동 성능검증

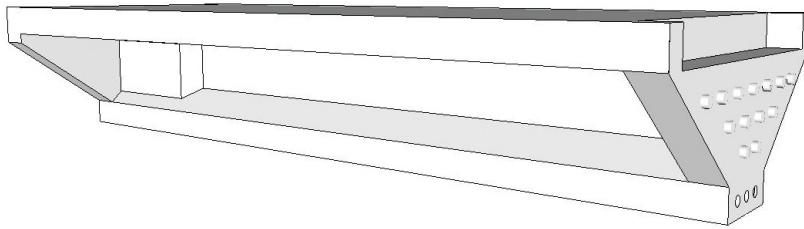
가. 정적 재하시험을 통한 구조 성능 검증

(1) 시험체 개요

정적 재하시험을 위한 시험체는 아래 [그림]과 같이 실스케일 실물거더로 적용되었으며, 교대부 세그먼트와 중앙부 세그먼트 2종류(총 4개 세그먼트)로 분리 제작 후 실험실에 거치하였으며 PC강선을 이용하여 일체화 하였다.



(a) 교대부 세그먼트

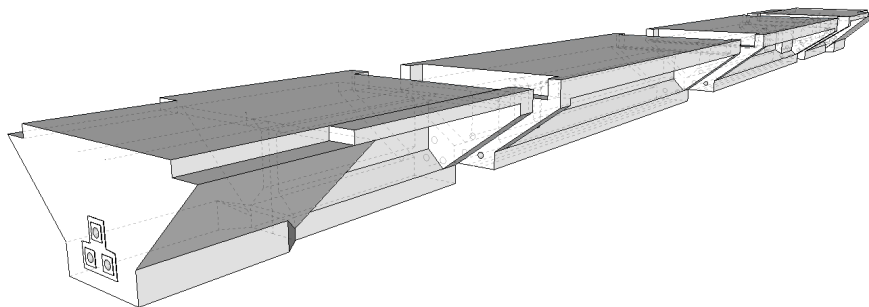


(b) 중앙부 세그먼트

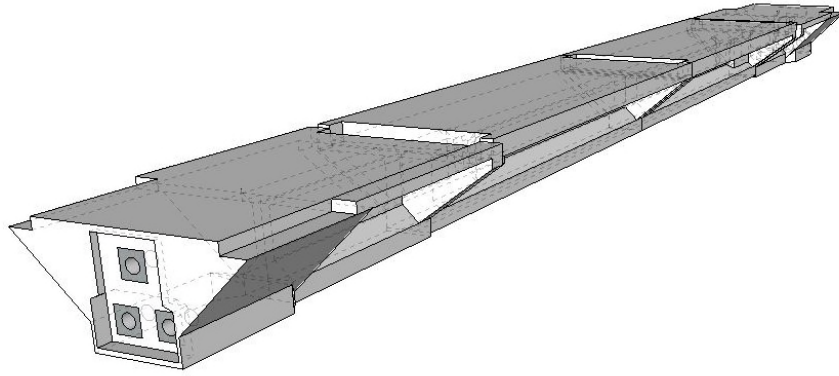


(c) 프리캐스트 보도교 정면도

[그림 40] 정적재하시험 시험체



(a) 프리캐스트 보도교 분리상태

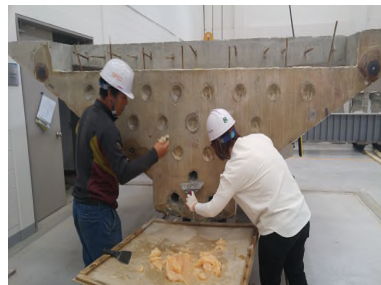


(b) 프리캐스트 보도교 연결상태

[그림 41] 정적 재하시험 시험체 연결 모식도



조립체별 거치



접착재 도포



조립체 결합



전체 조립체 결합 완료



정착장치에 PS강연선 연결



연결부 모르타르 타설을 위한
1차 긴장



연결부 모르타르 타설



모르타르 양생 후 PS강연선
긴장

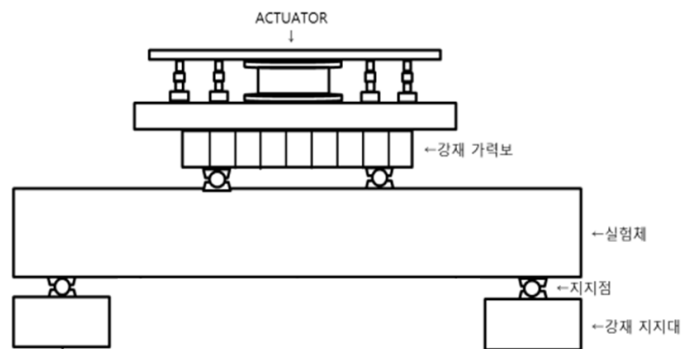


Strain Gauges 및 계측장비
설치

[그림 42] 정적 재하시험 시험체 연결 과정

(2) 시험개요 및 방법

재하시험은 PSC 보도교에서 재하시 초기 휨강성과 균열 모멘트, 휨강도를 측정하기 위해 4개의 세그먼트를 연결한 상태에서 수행하였다. 재하시험은 PSC 보도교가 교대가 거치되는 지점에 힌지를 위치시켜 실제와 같은 형태로 설치하였다. 또한 재하 방법은 [그림 43]과 같이 4점 재하를 이용하였다. 이때 하중 재하 포인트는 힌지로 적용하였으며 폭은 중앙부에서 양측으로 1m씩 이격시켜 위치하였다.



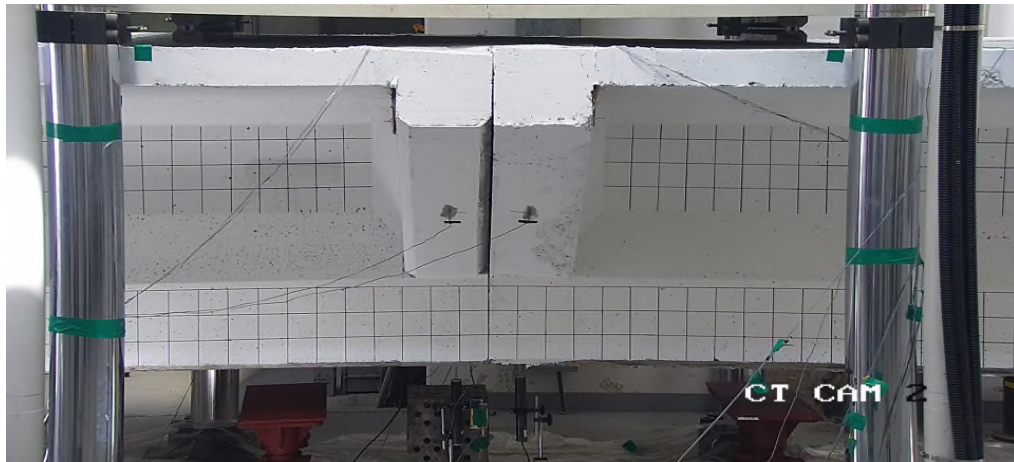
[그림 43] 정적 재하시험 하중재하 모식도

하중 재하는 변위제어로 수행하였으며, 분당 2mm로 재하하며 [표 12]에 나타난 산정 하중에 따라 구조 해석을 통한 PSC 보도교의 거동에 따라 해석치와 실험치를 비교하며 실험을 진행하였다.

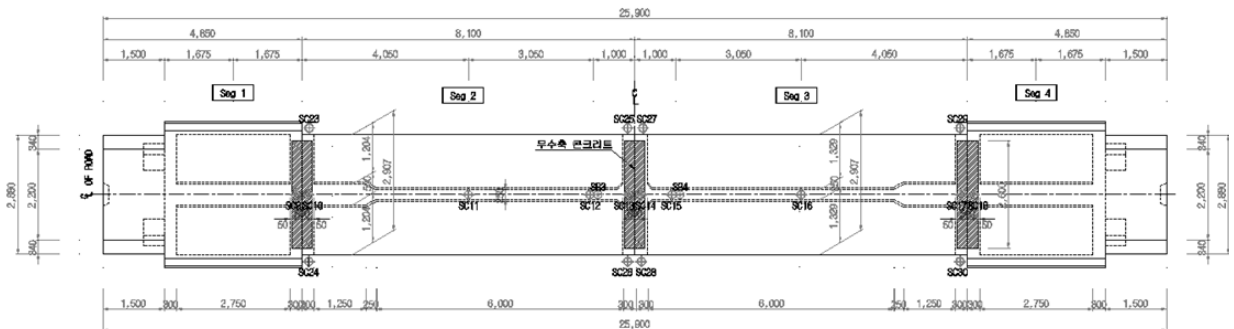
[표 12] 재하 하중 산정

구분	하중 (kN)	하중 산정 이유	변위 (mm)		비고
			중앙부	단부	
1	330	거더 하연 인장응력이 균열응력을 초과하는 하중	23.2	10.7	콘크리트 압축강도 50MPa일 경우
2	630	강도설계법에 의한 극한 휨강도	44.3	20.5	
3	1200	거더 상연 압축응력이 허용압축응력을 초과하는 하중	84.3	40.0	
7	파괴시	변위 및 전체 거동을 확인하여 파괴시까지 하중 재하			

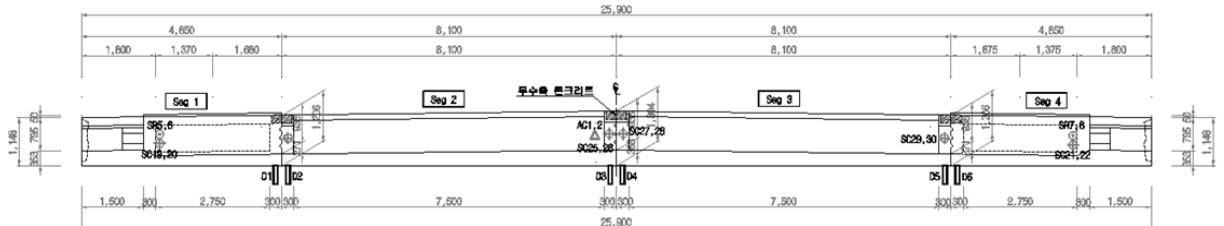
실험은 계명대학교 첨단건설재료실험센터 내 5MN(500ton)대형구조재료 시험기를 이용하여 실시하였다. 계측장비의 경우 [그림 45]와 같이 LVDT 6개를 세그먼트별 연결부와 중앙 연결부에 설치하였으며, 철근 Strain Gauges 8개, 콘크리트 Strain Gauges 30개를 부착하여 실험체의 거동을 파악하였다. [그림 44]와 같이 연결부 하단에 LVDT와 Wire 변위계를 설치하여 정적 거동을 분석하였다.



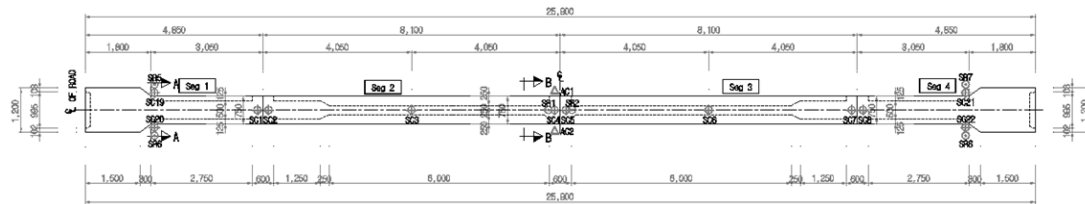
[그림 44] PSC 보도교 정적 재하시험 전경



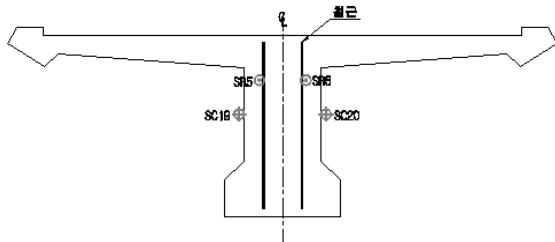
(a)상부평면도



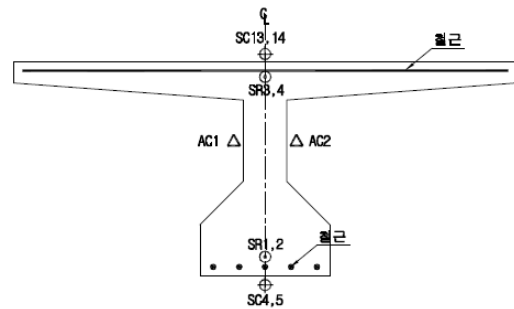
(b)종단면도



(c) 하부평면도



(d) 단면 A-A



(e) 단면 B-B

[그림 45] 정적 재하시험의 계측장비 상세

(3) 시험체 압축강도

본 실험의 경우 시험체 제작 시 타설을 2세그먼트씩 나누어 2회 실시하였기 때문에 압축강도 시험 또한 타설 기간에 맞추어 2종류를 구분하여 실험을 진행하였다. 압축강도 측정의 경우 시험 일정에 의해 28일 재령을 채우지 못하는 경우가 발생하여 설계 예상치와 시험치의 정확한 비교를 위해 재하시험 당일 실제 압축강도를 측정하였다.

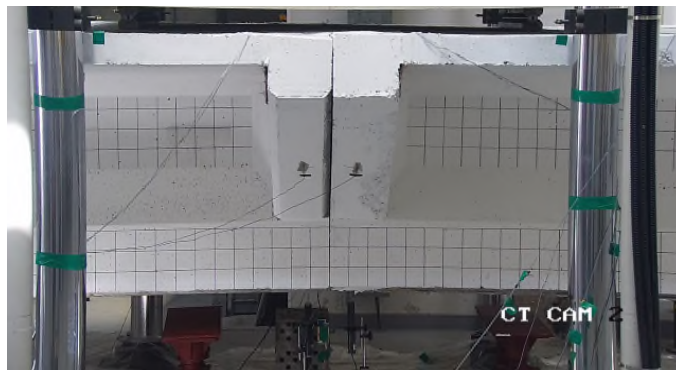
[표 13] 압축강도 시험결과

세그먼트	공시체	최대점 시험력(kN)	최대점 변위(mm)	최대점 응력(MPa)
1,2세그먼트	1번	444.375	0.992	56.5796
	2번	450.938	0.964	57.4152
	3번	459.375	1.05	58.4895
	평균값	451.563	1.002	57.4948
3,4세그먼트	4번	293.656	0.934	37.3895
	5번	322.219	0.94	41.0262
	6번	280.031	0.846	35.6547
	평균값	298.635	0.90667	38.0235
	총 평균값	375.099	0.954333	47.75912

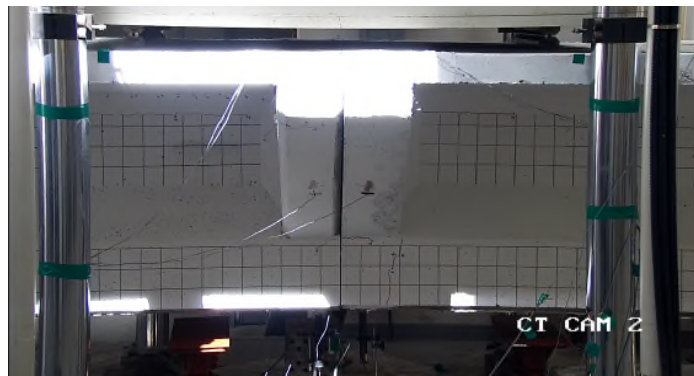
[표 13]에 나타난 것과 같이 당초 설계 시 콘크리트의 압축강도를 50MPa로 산정하였고, 1,2세그먼트의 경우 14일 강도로 57MPa로 나타났다. 3,4세그먼트의 경우 당초 설계 강도에 못 미치는 38MPa로 나타났으나 일반적으로 콘크리트의 강도는 28일 강도에 비해 7일강도가 60%내외로 나타나는 것으로 보았을 때 문제가 없을 것으로 판단되어, 실험을 진행하였다.

(4) 실험결과

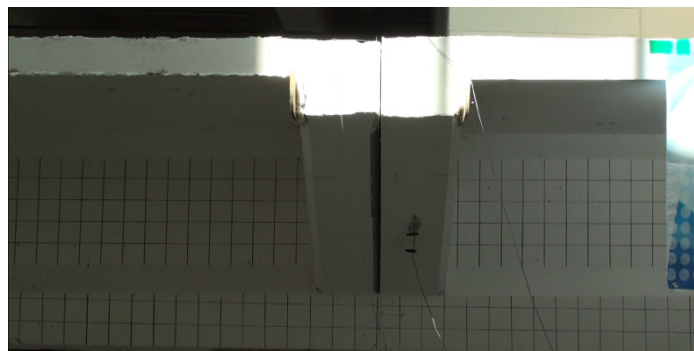
실험 초기, 실험체는 이론값에 따라 균열응력이 발생할 것으로 예상된 해석치인 330kN에서 균열이 발생하지 않았고, [그림 46]과 같이 복부판을 제외한 하단과 Soffit 부분에서 미소한 균열 및 거더 강연과 복부 연결부를 잇는 균열이 발생하였다.



실험체 거치



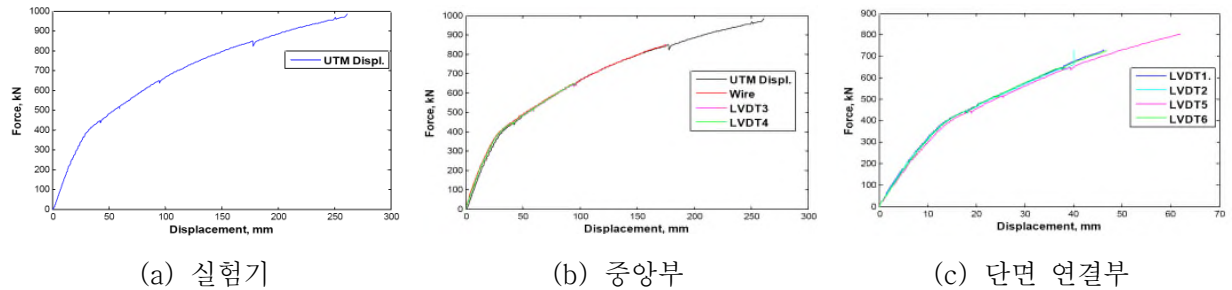
중양 연결부



단부 연결부

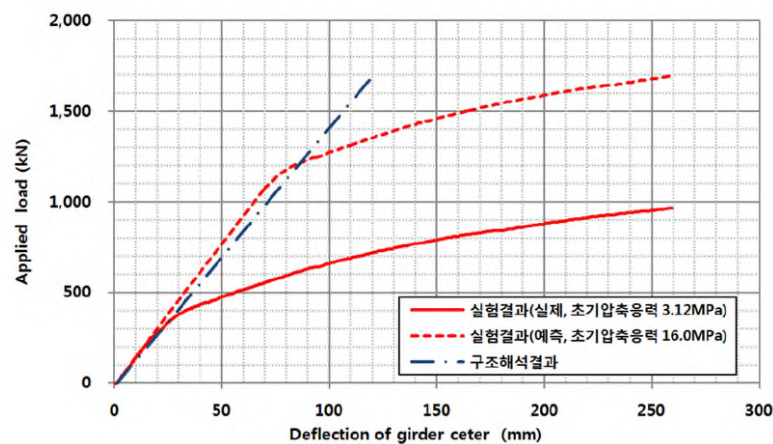
[그림 46] 정적 재하시험 균열 분석

재하시험에 따른 하중-변위 곡선은 [그림 47]과 같이 나타났다. 최소 재하하중으로 산정된 330kN에서 시험체의 변위는 24.4mm로 해석치와 유사하게 발생하였으며, 1000kN까지 하중을 재하하였다.



[그림 47] 정적 재하시험 하중-변위 곡선

실험결과에 의한 상기 하중-변위 곡선을 이론치와 비교하면 [그림 48] 및 [표 14]와 같고, 실험을 통해 보도교 실물거더는 탄성구간 설계시의 1.4배 이상의 안전율을 확보하고 소성구간 설계시는 3.5배 이상의 안전율을 확보함을 확인하였다.



[그림 48] 정적 재하시험 하중-변위 곡선 결과 비교

[표 14] 정적 재하시험 결과

구 분	저항하중	최대하중
이론	304kN	—
실험	380kN	1046kN
비고	탄성거동 구간	연성거동 구간

나. 동적 재하시험을 통한 구조 성능 분석

(1) 실험 개요

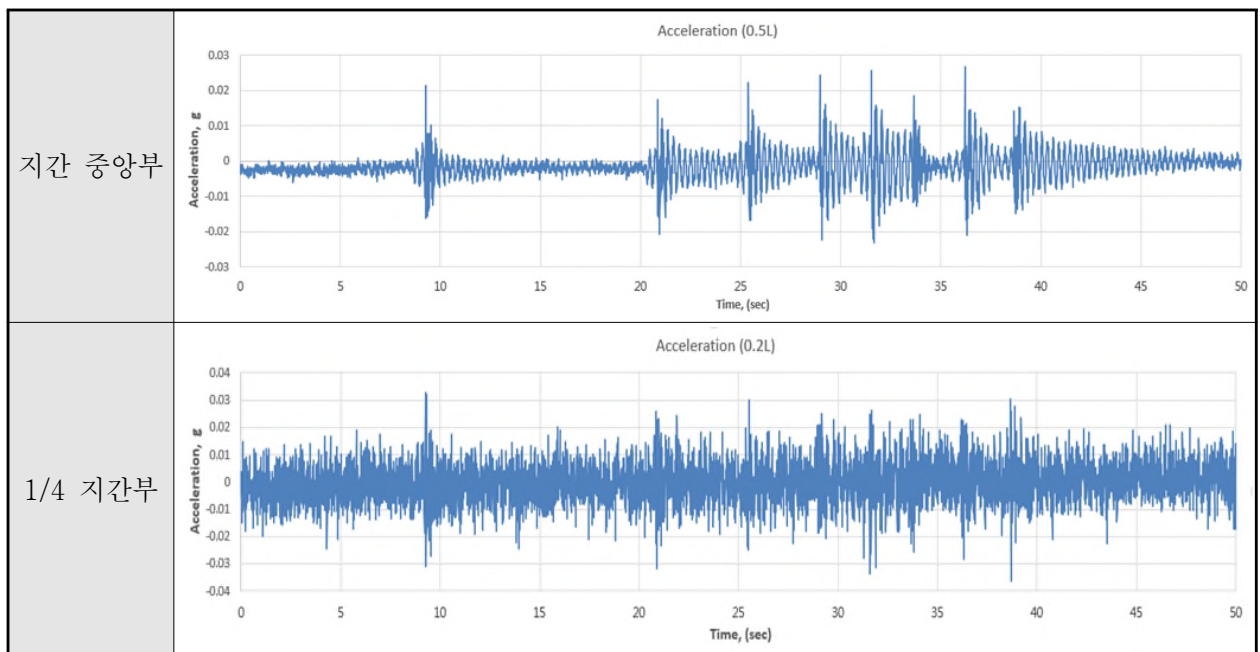
동적 재하시험은 정적 재하시험이 실시되기 전 실물거더의 고유진동 특성을 확인하기 위해 수행되었으며, 중앙부의 1/4 지간부에서 일정간격으로 동적하중을 재하하고, 가속도계의 변화를 확인하는 과정으로 수행되었다. 가속도계는 지간 중앙 연결부와 단부 연결부에 부착하였다. 동적 재하시험 전경은 다음 그림과 같다.



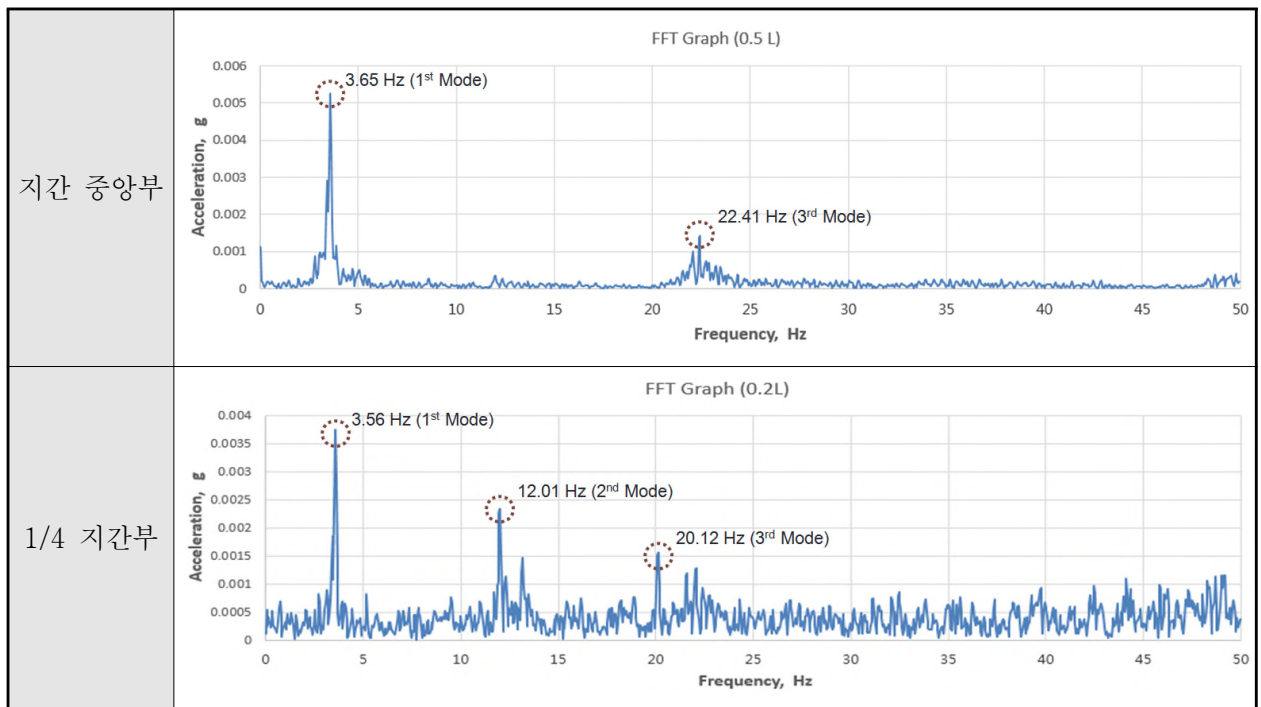
[그림 49] 동적 재하시험 전경

(2) 실험 결과

아래 [그림 50] 및 [그림 51]에 동적재하시험에 의한 가속도와 FFT 분석 결과를 수록하였다.

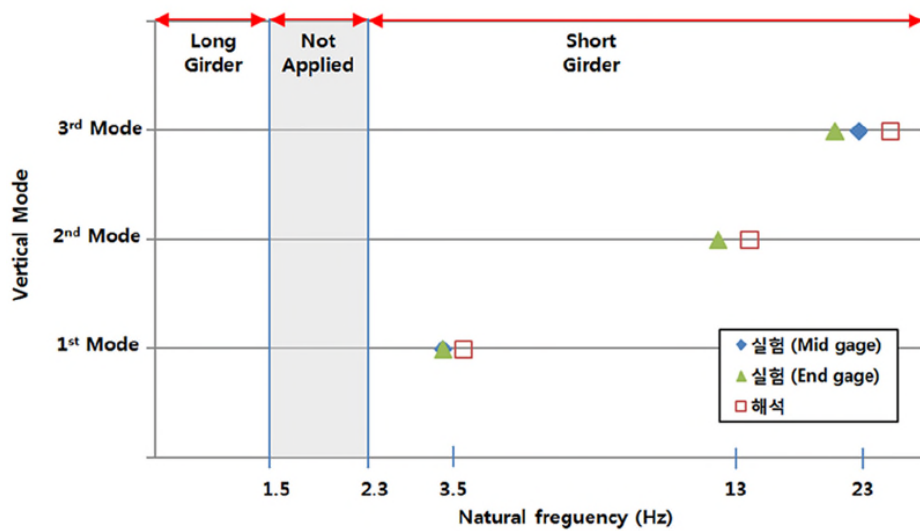


[그림 50] 동적 재하시험 가속도계 계측 결과



[그림 51] 동적 재하시험 FFT 분석 결과

실험에서 확인된 고유진동수 결과와 구조해석에 의한 고유진동수 결과를 비교하면 [그림 52]와 같고, 하기 비교를 통해 실물거더의 고유진동수는 설계기준에서 제시하는 보도교 고유진동수 제한 범위를 1.5배 이상 회피하는 것으로 확인되었다.



[그림 52] 동적 재하시험 고유진동수 결과 비교

4. 현장 적용 설계 실적 확보

개발 · 검증된 기술을 사업화하는데 가장 필수적 항목인 현장 적용 설계 실적 확보를 위해 아래 표와 같이 연구를 수행하고 성과를 달성하였다.

구 분	연구 내용	연구 성과
현장 적용 설계실적 확보	가. 홍보 브로셔 제작 및 관련 박람회 참석	- 홍보 브로셔 제작 및 배포 - 학술 발표 대회 참석
	나. 현장적용 설계 반영 - 설계 · 제작 · 시공기술 표준화 - 현장 적용 설계	- 시제품 제작 · 설치, 실험 결과에 따른 개선안 반영 - 현장 적용 설계도 작성

가. 홍보 브로셔 제작 및 관련 박람회 참석

앞서 수행한 연구 중 상표 및 디자인 등록 등을 토대로 상표화한 본 개발 제품을 홍보하기 위해 [그림 53]과 같이 홍보 브로셔를 제작하고, 국내외 학술 발표 대회에 참석하여 제품 홍보 활동을 수행하였다.



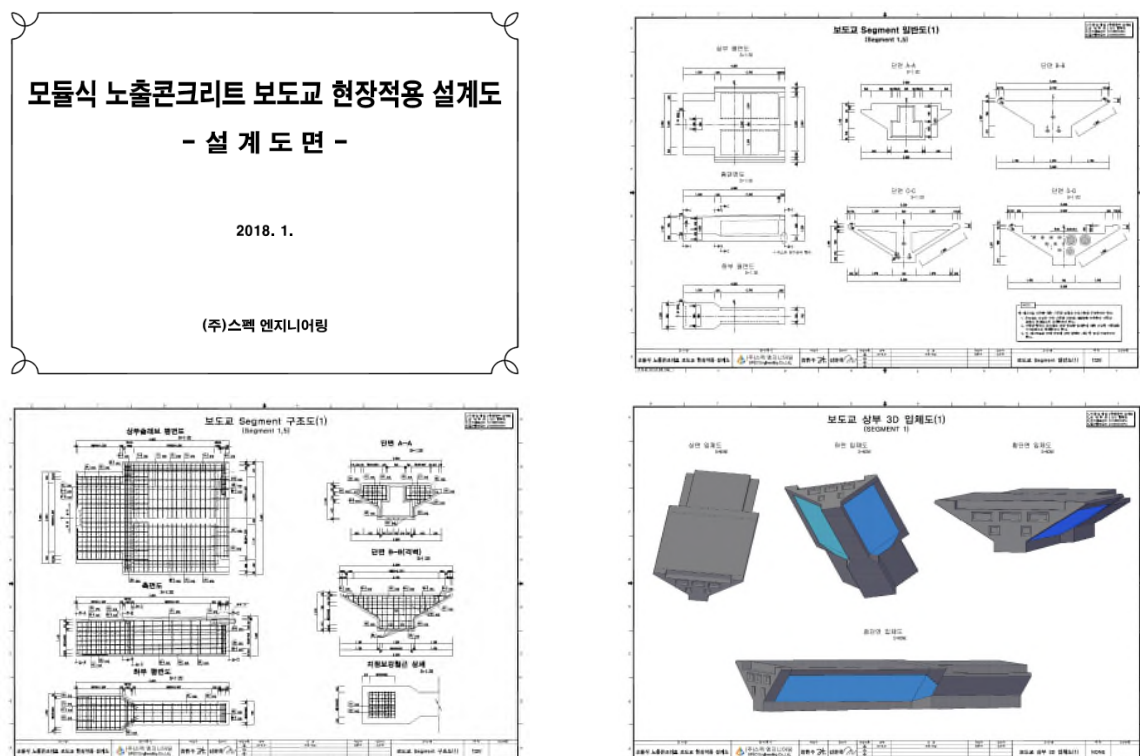
[그림 53] 보도교 홍보 브로셔



[그림 54] 학술발표 성과

나. 현장 적용 설계 반영

사업화 과정의 가장 큰 고비이자 반드시 극복해야 할 과제인 발주처 적용실적 제시를 위해 연구개발 기간 동안 발주처 수주 업무를 추진하였다. 이를 위해 해당 연구기간 동안 축적된 본 개발 제품의 설계 · 제작 · 시공 기술을 체계적으로 정리하고 개선하였으며, 그 결과로써 현장 적용 설계도를 완성하였다. 현장적용 설계도에는 구조물 일반도 및 구조도 외에도 구조물 3D 형상, 시공관련 주의사항 등을 수록하여 언제라도 바로 현장에 적용이 가능하도록 연구 성과를 달성하였다.



[그림 55] 현장적용 설계도

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

본 연구의 목표 달성도는 아래 표와 같다. 표에 나타난 바와 같이 계획한 목표에 대해서는 모두 달성하였고 일부 성과는 목표를 초과달성하였다.

구분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		최종 성과점검기준			양적 성과목표	달성현황	달성도
					질적 성과지표	목표치	검증 방법			
주관	A	지식 재산권 확보	A-1	특허 출원	① 특허 출원 건수	1건이상	명세서	특허: 출원 1건	특허: 등록 1건	100%
			A-2	디자인 등록 및 상표등록	① 디자인 · 상표 등록 건수	2건이상	명세서	디자인 · 상표 등록: 2건	디자인 · 상표 등록: 3건	100% (초과)
	B	설계 기술 확보	B-1	설계도면 개발	① 설계 도면 개발 건수	1건이상	설계도	설계도: 1건	설계도: 1건	100%
			B-2	수치 해석	① 수치 해석 수행 건수	1건이상	해석 사양서	사양서: 1건	사양서: 1건	100%
			B-3	경관 디자인 대안확보	① 경관시물레 이션 수행 건수	2건이상	제품 사양서	사양서: 2건	사양서: 2건	100%
	C	제작 기술 확보	C-1	실물 거더 시제품 제작	① 시제품 제작 건수	1개	시제품	시제품: 1건	시제품: 1건	100%
			C-2	긴장 장비 시제품 제작	① 시제품 제작 건수	1SET	시제품	시제품: 1건	시제품: 1건	100%
			C-3	실물 몰드 시제품 제작	① 시제품 제작 건수	1개	시제품	시제품: 1건	시제품: 2건	100% (초과)
			C-4	연결부 요소 실험	① 요소 실험 수행 건수	1건이상	실험 사양서	사양서: 1건	사양서: 1건	100%
	D	설계 반영 실적 확보	D-1	기술 및 제품 전시회 참석	① 전시회 참석 건수	1건이상	제품 홍보 브로셔	브로셔: 1건	브로셔: 1건	100%
			D-2	설계 결과 현장 적용	① 설계 도면 생산 건수	1건	설계도	설계도: 1건	설계도: 1건	100%
위탁	E	구조 성능 검증	E-1	실물 재하시험	① 성능 시험 수행 건수	1건이상	성능 사양서	사양서: 1건	사양서: 1건	100%
계								특허 출원: 1건 디자인 · 상표 등록: 2건 설계도: 2건 사양서 · 브로셔 : 6건 시제품: 3건	특허 등록: 1건 디자인 · 상표 등록: 3건 설계도: 2건 사양서 · 브로셔 : 6건 시제품: 4건	

2. 관련 분야 기여도

본 연구를 수행하면서 달성한 성과에 따른 관련 분야의 기여도는 아래 표와 같다.

구분	관련 분야 기여도	
	R&D 전 (2016)	R&D 후 (2018)
건설기술 분야	• 국내외 관련 연구개발전무	• 연구개발 완료로 관련기술 확보
공공디자인 분야	• 국내외 관련 연구개발전무	• 노출 콘크리트 적용 기술 개발로 공공 디자인 수준 제고에 기여
공공시설물 분야	• 국내외 관련 연구개발전무	• 기존 시설물(강재보도교) 대비 15% 경제성 확보 • 공기단축으로 간접비용 절감 • 저예산으로 보도교설치 민원 해소에 기여

제5장. 연구개발성과의 활용계획

1. 연구개발 성과

본 과제를 통해 발생한 성과중 정량적 지표에 관련된 사항은 다음 표와 같다.

가. 특허등록

No.	특허명칭	등록번호	등록일	출원인 (등록권리자)
A-1	PC보도육교 및 그 시공방법	제10-1562603호	20151016	(주)스펙엔지니어링 와이엔피
A-2	PSC거더용 긴장재 꼬임방지 장치 및 이를 이용한 다단계 개별 균등긴장 방법	제10-1775627호	20170831	(주)스펙엔지니어링 와이엔피
A-3	디자인 등록 - 조립식 보도육교	제30-0923764호	20170914	(주)스펙엔지니어링 와이엔피
A-4	디자인 등록 - 조립식 보도육교	제30-0928262호	20171020	(주)스펙엔지니어링 와이엔피
A-5	상표등록 - MPF	제40-1279762호	20170825	(주)스펙엔지니어링 와이엔피

나. 시제품 제작

No.	시제품명	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야
C-1	실물 거더 시제품	20170419	(주)스펙엔지니어링 와이엔피	계명대	제작기술 실물실험
C-2	긴장 장비 시제품	20170222	일진유압기계 제작소	(주)스펙엔지니어링 와이엔피	제작기술
C-3	실물 몰드 시제품 (상부 거더 본체)	20170221	(주)한성산업	계명대	제작기술
C-3	실물 몰드 시제품 (상부 거더 소프트)	20170224	(주)세일코리아	계명대	제작기술

다. 현장시험

No.	요소기술 구분	현장시험명	시험일	시험장소	주요내용
D-1	1-가	PSC보도교 재하시험	20170424	계명대 첨단건설재료실험센터	보도교용 조립식 PSC 거더 구조 성능 검증(재하시험)
D-2	1-가	요소 시험	20170628	한국교통대학교 국제공인시험연구센터	프리캐스트 보조교 연결부 거동분석 요소 시험

* 현장시험: 개발기술의 보완이나 검증을 위하여 실험현장에 최초로 시험 · 적용하는 행위

정량적 성과 외 본 과제를 수행하며 산출된 정성적 성과는 다음과 같다.

○ 일반적인 콘크리트 보도교의 불량한 미관이나 천편일률적인 강재 보도교의 단순한 저급한 미관을 탈피하여 자연적이고 감성적인 노출콘크리트 보도교를 건설함으로써 공공시설물의 현대적 이미지 제고

○ 초등학교, 양로원 등 교통약자 밀집지역에 발생하는 기능위주의 보도교 설치 요구에 부응하여 저렴하게 보도교 설치가 가능하게 함으로써 지속적인 보행자 안전요구 민원 해소

○ 프리캐스트 구조의 핵심 요소기술인 연결부에 대한 안전성, 시공성 및 유지관리성을 검증함으로써 조립식 구조물에 적합한 최적화된 연결부 제조 기술 확보

○ 구성 부재의 모듈화 시공으로 콘크리트의 단점인 중량과다로 인한 운송, 설치의 제약을 극복하여 강교 위주의 보도교 시장에 콘크리트교의 진출 및 시장점유율 증대 기여

○ 최근 건축분야에서 사용이 확대되고 있는 노출콘크리트 공법의 토목 분야로의 적용 가능성을 확인하고 품질관리 기술 증진

○ 거더 뿐만 아니라 교각, 경사로도 모듈화하여 강재 대체체로서 사용할 수 있는 프리캐스트 기술 저변 확대

○ 강재 보도교 대비 15% 경제적이고 유지관리비가 저렴한 프리캐스트 보도교를 보급하여 국가예산 절감

○ 도심지 보도교 공사의 교통 단절 및 우회 기간 최소화를 위한 급속시공 요구를 해소하여 사회간접 비용 절감

2. 성과활용 네트워크

본 연구를 통해 개발된 기술을 활용하기 위해 필요한 시험 · 검증, 현장적용 및 수요기업 네트워크는 아래와 같다. 여기서 연구개발 성과의 현장적용 기관 및 업체는 본 과제 성과를 적용하는 경우 수요가 가장 많은 기관을 상정하여 제시하였다. 개발성과 추가 R&D, 투자자문기관은 본 성과의 활용도를 높이기 위해 즉, 양산체제를 갖추기 위해 필요한 보증기관 중 당 기관과 거래실적이 있는 기관을 제시하였다.

구 분	주체명
연구개발성과 시험·검증기관	계명대학교
연구개발성과 수요기업	(주)에이스이엔씨, 디에스글로벌
연구개발성과 현장적용 기관·업체	경기도시공사, LH공사
연구개발성과 추가 R&D(사업비) 투자·자문 기관	(주)스펙엔지니어링와이엔피, 기술보증기금, 신용보증기금

본 연구를 수행하면서 성과 활용프로세스 단계별 주요 활동내용(주체, 시기, 산출물이나 공사명 등)을 다음 표에 수록하였다. 건설교통 R&D 사업의 종료 후, 성과물이 활용되기까지 거쳐야 하는 단계는 다음 표에 기재된 바와 같이, 기술개발 → 기술 검증 · 보완 → 실용화 추진 → 시장 수용 단계로 구분된다. 본 과제를 수행하면서 각 단계별 주요 활동 내용을 해당 표에 상세히 기술하였다.

단계	단계명	주요 활동내용
I	기술 개발 단계	요소 기술 개발
II	기술 검증·보완 단계	개발 요소기술 검증(실물실험, 실물 제작)
III	실용화 추진 단계	학회, 박람회, 설계회사, 발주처 방문 홍보
IV	시장 수용 단계	주요 활용처 수주영업 - 자전거도로 - 해상인도교 - 경관보도교 - 케이블지지 보도교 - 개도국 해외진출

3. 성과 활용 계획

본 연구를 통해 도출된 개발성과의 활용 목표, 계획을 전술한 성과활용 4단계에 따라 종료 이후 시점별로 순차적으로 구분하여 다음 표에 수록하였다.

단계	종료 후 1년	종료 후 2년	종료 후 3년	종료 후 4년	종료 후 5년
I	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계
	☒ 완료	☒ 완료	☒ 완료	☒ 완료	☒ 완료
II	기술 검증보완 단계	기술 검증보완 단계	기술 검증보완 단계	기술 검증보완 단계	기술 검증보완 단계
	☐ 준비 ☐ 진행중 ☒ 완료	☐ 준비 ☐ 진행중 ☒ 완료	☐ 준비 ☐ 진행중 ☒ 완료	☐ 준비 ☐ 진행중 ☒ 완료	☐ 준비 ☐ 진행중 ☒ 완료
III	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)
	☒ 준비 ☐ 진행중	☐ 준비 ☒ 진행중	☐ 준비 ☒ 진행중	☐ 준비 ☒ 진행중	☐ 준비 ☒ 진행중
IV	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계
	☐ 초기발생 ☐ 지속발생	☐ 초기발생 ☐ 지속발생	☒ 초기발생 ☐ 지속발생	☒ 초기발생 ☐ 지속발생	☐ 초기발생 ☒ 지속발생

전술한 성과 활용목표 및 계획에 대한 주요 활동내용을 구체적으로 다음 표에 수록하였다. 본 연구과제는 현재 실용후 추진단계로 자리매김할 수 있으며, 2022년까지 지속적인 활동을 추진하여 본격적으로 시장에 수용되도록 할 계획이다.

단계	단계명	주요 활동내용			
		주체*	성과물**/개수	시기	내용
I	기술 개발 단계	계명대학교	도면, 계산서/2개	2016~2017	요소 기술 개발
II	기술 검증보완 단계	계명대학교	실물실험보고서/2개	2016~2017	개발 요소기술검증 (실물실험, 실물 제작)
III	실용화 추진 단계	에이스이앤씨 디에스글로벌	홍보물, 도면/1개	2018~2022	학회, 박람회, 설계회사, 발주처 방문 홍보
IV	시장 수용 단계	에이스이앤씨 디에스글로벌	도면, 계산서, 내역서/3개	2019~2022	주요 활용처 수주영업 - 자전거도로 - 해상인도교 - 경관보도교 - 케이블지지 보도교 - 개도국 해외진출

* 주체 : 연구주관기관(연구책임자)과 함께 Co-Work을 진행하는 기업/기관명

** 성과물 : 각 단계별 성과활용 과정에서 발생한 성과물(예: 시험적용, 시제품, 현장적용 등)제

4. 사업화 및 실용화를 위한 연구 성과 확장 계획

가. 연구 성과 확장 계획 수립

본 연구에서 달성한 연구개발 성과를 실용화 및 사업화하기 위해 추후 아래 항목에 대해 연구 성과를 확장할 계획이다.

구분	연구 성과 확장 계획
I	강교와 비교하여 개발 빔의 제작원가 및 공사기간 분석, 비교자료 작성·활용
II	‘MPF’ 를 지정상품에 대한 상표권으로 확보
III	개발 빔의 표준화·규격화 확장 및 이에 따른 모듈화 개념 및 기술 확장
IV	다양한 현장조건 수용을 위한 추가 모듈 개발 계획 및 이에 따른 시공 계획 수립

나. 강교 대비 제작원가 및 공사기간 비교

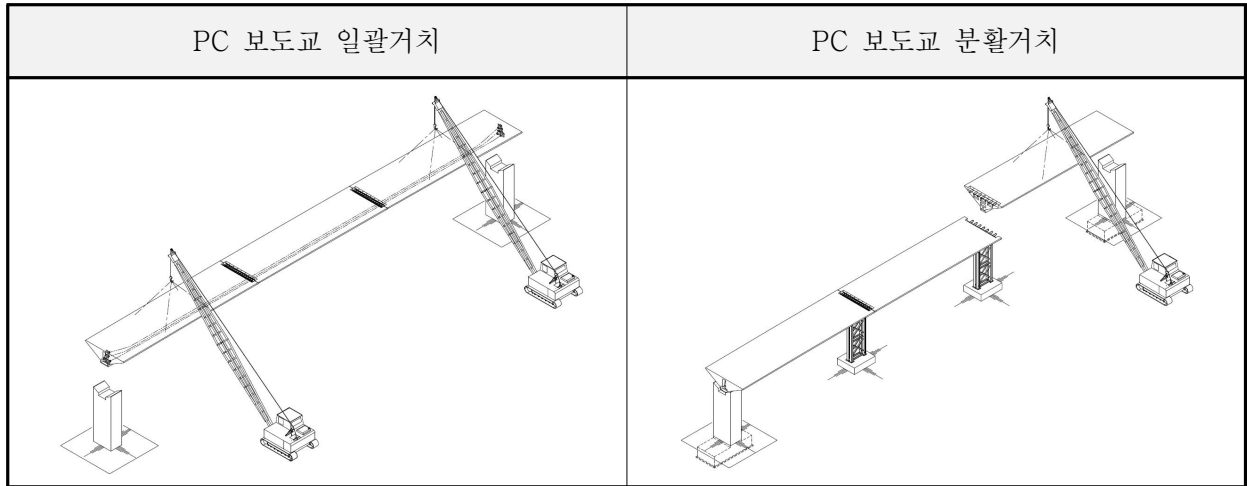
(1) 제작원가 비교

(단위 : 천원)

구분	재료비	노무비	경비	전체
강재보도교	98,000	61,000	36,000	195,000
PC보도교	57,000	76,000	32,000	165,000
비교	42%절감	25%증가	10%절감	15%절감

(2) 공사기간 비교

구분	1일차	2일차	3일차	4일차
강재보도교 (일괄거치)	거더 설치	바닥판 설치		
PC보도교 (일괄거치)	거더 설치			
PC보도교 (분할거치)	거더 설치, 접합	몰탈 타설, 경화		강선 긴장



다. 추가 모듈 개발 계획 및 이에 따른 시공계획

본 연구 성과에서 개발된 모듈식 노출콘크리트 프리캐스트 보도교 단면은 예외없이 3m 내외의 폭원을 갖도록 적용되었다. 보도교 빔의 지간(단순지지 거더 기준)은 약 40m 정도 까지 적용 가능하며, 지간 변동에 따른 모듈화 단면 계획 및 시공 계획을 다음 장에 예시하였다. 지간 변동에 따른 추가 모듈 단면 계획은 운송·제작 조건을 고려하여 수립되어야 하며, 계획된 추가 모듈에 대해서는 구조검토를 통해 안전성을 확인하여야 한다. 예시된 지간(30m, 38m)에 사용되는 모듈 외 기타 지간 변동에 따른 추가 모듈 개발 및 이에 따른 시공계획은 예시된 계획 컨셉을 토대로 실제 현장 여건에 맞게 적용 가능하다. 현재 개발된 모듈 외 추가 모듈 개발 순서 계획을 제시하면 아래와 같다.

구분	모듈 길이		
	단부 세그먼트	단부-중앙부 세그먼트	중앙부 세그먼트
30m 지간 빔	4.85m	6.1m	8.1m
38m 지간 빔	6.85m	8.1m	8.1m
추가 모듈 개발 계획	5.85m 모듈 확장	7.1m 모듈 확장	—

지간	모듈화 단면계획
30m	<단부> <중양부> <종단면도> <평면도>
38m	<단부> <중양부> <종단면도> <평면도>

시간	시공계획
30m	보도교 시공순서도(1) (일괄 거치) Base 1단계 : 1,2,3,4,5번 세그먼트 Soffit 체결 2단계 : 세그먼트 조립 3단계 : 1,2,3번 강선 삽입 및 긴장 4단계 : 무수축 Can't 타설 5단계 : 거더거치 6단계 : 난간설치 및 교량 상면 방수처리 공기명 : 오송엔지니어링, 보도교 한양아파트 설계도 공기번호 : (주)스펙 엔지니어링, SPEC Engineering Co., Ltd. 설계자 : 정한수 검토자 : 김문옥 시공일자 : 2017.07.07 시공자 : 시공자 시공장소 : 보도교 시공순서도(1) 특기 : NONE 공기번호 :
38m	보도교 시공순서도(1) (일괄 거치) Base 1단계 : 1,2,3,4,5번 세그먼트 Soffit 체결 2단계 : 세그먼트 조립 3단계 : 1,2,3번 강선 삽입 및 긴장 4단계 : 무수축 Can't 타설 5단계 : 거더거치 6단계 : 난간설치 및 교량 상면 방수처리 공기명 : 오송엔지니어링, 보도교 한양아파트 설계도 공기번호 : (주)스펙 엔지니어링, SPEC Engineering Co., Ltd. 설계자 : 정한수 검토자 : 김문옥 시공일자 : 2017.07.07 시공자 : 시공자 시공장소 : 보도교 시공순서도(1) 특기 : NONE 공기번호 :

6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

☐ 해당사항 없음

7장. 연구개발성과의 보안등급

☐ 해당사항 없음

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설 · 장비 현황

☐ 해당사항 없음

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

☐ 해당사항 없음

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	특허	PSC저더용 긴장재 꼬임방지 장치 및 이를 이용한 다단계 개별 균등긴장 방법	(주)스펙 엔지니어 링와이엔 피	주관	대한민국	—	2017.08.31	단독-사사	—
2	디자인	조립식 보도육교	(주)스펙 엔지니어 링와이엔 피	주관	대한민국	—	2017.09.14	—	—
3	디자인	조립식 보도육교	(주)스펙 엔지니어 링와이엔 피	주관	대한민국	—	2017.10.20	—	—
4	상표	MPF	(주)스펙 엔지니어 링와이엔 피	주관	대한민국	—	2017.08.25	—	—

제11장. 기타 사항

○ 해당사항 없음

제12장. 참고 문헌

1. 보도교 설계가이드라인 (LH 단지기술처, 2016)
2. 시설물 설계 · 시공 및 유지관리 편람 (서울특별시, 2001)
3. 도로교 설계기준 (한국도로교통협회, 2010)
4. 도로교 설계기준 해설편 (대한토목학회, 2008)
5. 콘크리트 구조설계기준 (한국콘크리트 학회, 2012)
6. 도로설계요령 (한국도로공사, 2009) 등
7. 신현목, 프리스트레스트 콘크리트 (동명사, 2005)
8. 민창식, 철근콘크리트 구조공학 (구미서관, 2008)
9. 오제택, 새로운구성 교량계획과 설계 (반석기술, 2010)
10. Bridge Engineering (McGraw-Hill 2012)