(뒷면) (옆면) (앞면)

3cm

16CTAP-C097986-02

4cm

급속시공 및 강재물량절감이 가능한 확장 플랜지형 장경간 프리스트레스트 프리캐스트 복합보 개발

최종보고서

2017

국토교통과학기술진흥원

국토교통부

3cm

Infrastructure R&D Report

보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( )

국토교통기술촉진연구사업 제2차 연도 최종보고서

R&D / 16CTAP-C097986-02

급속시공 및 강재물량절감이 가능한 확장 플랜지형 장경간 프리스트레스트 프리캐스트 복합보 개발 최종보고서

2017. 09. 18.

주관연구기관 / 서울시립대학교 산학협력단
공동연구기관 / (주)길교이앤씨

국 토 교 통 부

(전문기관) 국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관 귀하

'급속시공 및 강재물량절감이 가능한 확장 플랜지형 장경간 프리스트레스트 프리캐스트 복합보 개발' (연구개발 기간 : 2015. 06. ~ 2017. 06.) 과제의 최종보고서 2부를 제출합니다.

2017. 09. 18.

주관연구기관명 : 서울시립대학교 산학협력단 (대표자) 송 오 성 (인)

공동연구기관명 : (주)길교이앤씨 (대표자) 김 진 구 (인)

주관연구기관책임자: 김 강 수
공동연구기관책임자: 이 희 종

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

제 출 문

국토교통부장관 귀하

‘급속시공 및 강재물량절감이 가능한 확장 플랜지형 장경간 프리스트레스트 프리캐스트 복합보 개발’ (연구개발 기간 : 2015. 06. ~ 2017. 06.) 과제의 최종보고서 2부를 제출합니다.

2017. 09. 18.

주관연구기관명 : 서울시립대학교 산학협력단 (대표자) 송 오 성 (인)

공동연구기관명 : (주)길교이앤씨 (대표자) 김 진 구 (인)

주관연구기관책임자: 김 강 수
공동연구기관책임자: 이 희 종

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>16CTAP
-C097986-02</td><td>해당 단계
연구 기간</td><td colspan="2">2016.06.24. ~
2017.06.23.</td><td>단계구분</td><td>2단계/ 2단계</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="5">국토교통기술촉진연구사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="5">기초원천</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="5">-</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="5">급속시공 및 강재물량절감이 가능한 확장 플랜지형 장경간 프리스트레스트 프리캐스트 복합보 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">김 강 수</td><td>해당단계
참여
연구원 수</td><td>총: 19명
내부: 19명
외부: 0명</td><td>해당단계
연구개발비</td><td>정부: 200,000천원
기업: 67,000천원
정부 외: 0천원
계: 267,000천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간
참여
연구원 수</td><td>총: 38명
내부: 38명
외부: 0명</td><td>총 연구개발비</td><td>정부: 400,000천원
기업: 134,000천원
정부 외: 0천원
계: 534,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소속 부서명</td><td colspan="3">서울시립대학교 산학협력단</td><td colspan="2">참여기업명
(주)길교이앤씨</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명: 해당사항 없음</td><td colspan="2">상대국 연구기관명: 해당사항 없음</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="3">연구기관명: 해당사항 없음</td><td colspan="2">연구책임자:</td></tr>
<tr><td colspan="5">요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)</td><td>보고서 면수:67</td></tr>
</table>

- 이 연구에서는 “급속시공 및 강재물량절감이 가능한 확장 플랜지형 장경간 프리스트레스트 프리캐스트 복합보” 의 원천기술을 확보하기 위하여 해석기술을 개발하고, 구조성능을 검증 하였으며, 공장 제작방법, 설계/시공 상세지침을 구축하고, 현실적인 현장적용성 및 경제성 평가를 수행함. 2년간의 연구기간에 걸쳐 달성된 정량적·정성적 성과는 아래와 같음.

① 개발 복합보의 최적화된 단면 및 형상도출
→ 특허등록: 1건, 특허출원: 3건
② 이론적·실험적 연구를 통한 구조성능 검증
→ SCI(E)급 논문: 1건, 국내 논문: 2건, 국내 학술발표: 4건, 국제 학술발표: 1건
③ 설계/시공 상세 매뉴얼 구축
→ 설계/시공 상세지침: 1건
④ 시제품 제작을 통한 경제성 분석
→ 시제품 제작: 2건

〈 요약 〉

연구의 목적 및 내용	이 연구에서 제안하고자 하는 확장 플랜지형 장경간 프리스트레스트 프리캐스트 복합보는 **경간이 최소 10 m이상의 장경간 건축구조물 및 20~30 m 이상의 교량·토목분야에 모두 적용이 가능하고, 기존에 개발되었던 합성보가 가지고 있는 단점들을 개선 및 보완한 기술로서 이 연구과제를 통하여 설계, 해석 및 시공기술을 확보**하고자 하였음. 따라서 효율적인 연구수행을 위해 각 연차별로 산학협력연구를 수행하였으며, 주관 및 공동연구기관에서의 연구수행에 대한 적절한 역할분담을 통해 연구의 내용과 범위를 다음과 같이 설정하였음. **• 1차년도 :** 기존의 연구·개발되었던 합성보 문헌들을 상세히 고찰하여, 기존 합성보가 가지고 있는 문제점들을 파악하고, 이를 보완하기 위한 개발 복합보의 최적 단면형상 및 부재형상을 도출하였음. 또한, 개발 복합보의 구조성능을 기존의 합성보 이론 및 유한요소해석을 통해 상세히 검토하고, 실험계획을 수립하여 시공단계 및 합성단계에서의 복합보의 휨거동을 실험적으로 평가하였음. 이를 통하여 시공단계 부재에서의 작업 및 타설하중에 대한 저항성능을 검증하고, 합성단계 부재에서의 휨 성능 및 매립철골의 수평전단 성능을 정량적으로 평가하였음. **• 2차년도 :** 1차년도에서 수행한 해석적 연구를 기반으로 복합보의 전단거동을 실험적으로 평가하고, 프리스트레스 도입을 통해 고강성화된 하부 프리캐스트 플랜지와 상대적으로 강성이 약한 토핑부재 사이의 전단저항 메커니즘을 규명하였음. 이를 통하여 중공단면에서 매립철골의 전단저항 기여분을 정량적으로 평가하였음. 또한, 개발기술의 설계, 제작과정, 시공과정에서 발생될 수 있는 애로사항을 사전에 파악하여 설계/시공 상세지침을 작성하고, 이에 근거하여 시제품 제작을 수행함으로써 제안 복합보의 시공성, 경제성 및 시장진출 가능성 등을 검토하였음.
연구개발성과	이 연구를 통해 제안 복합보의 구조성능, 시공성 및 경제성을 분석하여 기존의 공법들에 비해 우수한 시장경쟁력을 정량적으로 분석하여 검증하고, 설계·시공 상세지침 작성 및 시작품 제작을 통해 현장적용 가능성을 극대화하였음. 이 과정에서 달성한 핵심 연구성과는 다음과 같음. **• 제안기술의 휨, 전단, 수평전단 등의 구조성능 검증** **• 제안기술의 구조상세 해석기법 및 절차 도출** **• 제안기술의 구조상세 및 접합부 상세(안) 제시** **• 제안기술의 설계·시공 상세 매뉴얼 구축** **• 제안기술의 시제품 제작** **• 제안기술의 지적재산권 확보** **• 연구결과의 학술논문발표 및 학술논문게재**
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	국내 건설현장에서 적용되고 있는 기존의 합성보는 건축과 토목에 공용으로 사용되지 못하고 있는 실정임. 이 연구를 통해 개발한 확장 플랜지형 프리스트레스트 프리캐스트 복합보는 기존의 합성보와는 달리 건축과 토목에서 모두 적용이 가능하며, 하부 프리캐스트 부재를 공장에서 선제작하기 때문에 품질관리가 용이하고, 높은 시공성 및 경제성을 확보할 수 있음. 따라서, 건축분야의 지하주차장 및 복합물류센터 뿐만 아니라 토목분야의 일체식 교대교량 및 라멘교의 상부거더로서 활용될 수 있을 것임.

핵심어 (5개 이내)	급속시공	프리스트레스트 복합보	물량절감	확장 플랜지	프리캐스트 콘크리트

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents	The "prestressed precast hybrid beams with wide flange for fast-built and material saving of steel" proposed in this research can be applied to the building structures with long-span of at least 10m and bridge/civil engineering structures with longer than 20m span length. In addition, the disadvantages of existing composite beams can be improved and complemented in the proposed hybrid beam. Therefore, the main purposes of this research are to develop the design and analysis methods and the construction technologies of the proposed hybrid beam. The industry-university cooperative research will be performed with properly assigned roles of each institution so that this research project can be efficiently carried out. The research items and scopes at each year are following: 1st year : It includes figuring out the problems which can be obtained from existing composite beams, and, in order to supplement these problems, developing the optimum shapes of the proposed hybrid beam. In addition, the structural performance of the proposed hybrid beam will be specifically checked by using conventional composite beam theory and finite element analysis method. After that, the flexural behaviors of the hybrid beams at the construction stage and the fully composite stages will also be verified through the experimental studies. Based on the analytical and experimental researches, the structural capacity at the construction stage can be estimated, and the flexural behavior at the composite stage including the horizontal shear performance between embedded steel member and cast-in-place concrete can be evaluated in detail. 2nd year : The experiments will be performed to investigate the shear behavior of proposed hybrid beam based on the analytical study conducted in the 1st year. Also, the shear-resistance mechanism between the bottom precast flange which has high stiffness induced by introduction of prestress and topping member that has lower stiffness than the bottom precast flange will be investigated. Through these research works, the shear contribution of the embedded steel member at the hollowed section of the hybrid beam can be determined quantitatively. In addition, the detailed design guidelines will be established by checking the difficulties that can be occurred in the design, manufacturing, and construction precesses, based on which the constructability, economic feasibility and market competitiveness of the proposed hybrid beam will also be assessed in detail.
Results	In this research, the market competitiveness of the proposed technology is verified by comparing with the existing construction methods and by performing the detailed analysis on the structural performance, constructability, and economic feasibility. In addition, the field applicability of the proposed hybrid beam is maximized based on establishment of design guidelines and fabrication of its prototype. The achievements obtained from this research project are followings: • Verification of the structural performances such as flexure, shear, and horizontal shear • Establishment of analysis methods and procedures of the proposed technology

	• Proposal of the structural and beam-column joint details • Establishment of detailed design guidelines • Manufacturing the prototype member • Registering intellectual property right such as patent • Publication and presentation of the academic papers on the research results
Expected Contribution	The most existing composite beams applied in domestic construction fields have not been used in both the building and civil engineering structures. However, the “prestressed precast hybrid beams with wide flange for fast-built and material saving of steel” developed in this research can be applied to both building and civil engineering structures unlike existing composite beams. In addition, since the bottom precast members are manufactured in the factory before construction of the structure, the proposed hybrid beam has superior constructability and economic efficiency as well as better quality control. Therefore, the developed hybrid beam can be applied to the civil engineering fields, such as integral abutment bridge and viaduct girder in the rahmen bridge, as well as the building structures, such as underground parking structure and commercial logistic center.

Keywords	Fast-built	Prestressed Hybrid beam	Material saving	Wide flange	Precast concrete

〈 Contents 〉

1. Introduction of R&D Project ·····8
2. Status of Domestic and Overseas Technology Development ·····15
3. Research Program and Achievements ·····22
4. Objective Achievements and Contributions to Related Fields ·····43
5. Plans for Utilization of R&D Achievements ·····47
6. International Scientific and Technical Information Collected during Research Periods ·····51
7. Security Rating of R&D Achievements ·····55
8. List of Research Facilities and Equipments Registered in National Science and Technology Information System ·····56
9. Safety Actions in Laboratory For R&D Project ·····57
10. Primary Achievements of R&D Project ·····61
11. Subsidiaries ·····62
12. References ·····65

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 8
2. 국내외 기술 개발 현황 ····· 15
3. 연구 수행 내용 및 성과 ····· 22
4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 43
5. 연구개발성과의 활용 계획 ····· 47
6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 ····· 51
7. 연구개발성과의 보안등급 ····· 55
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설 · 장비 현황 ····· 56
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적 ····· 57
10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적 ····· 61
11. 기타 사항 ····· 62
12. 참고 문헌 ····· 65

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

○ 급속시공 및 강재물량절감이 가능한 확장 플랜지형 장경간 프리스트레스트 프리캐스트 복합보의 개념을 구체화하여 **실제 현장에 적용 가능한 설계, 해석 및 시공기술을 개발**하고, 시제품 제작을 통해 **현장적용 가능성을 극대화**하고자 하였음.

○ 층고절감 및 강재물량절감이 가능한 **복합보의 상세설계 및 시공지침을 개발**하여, 우수한 현장적용성을 확보하고자 하였음.

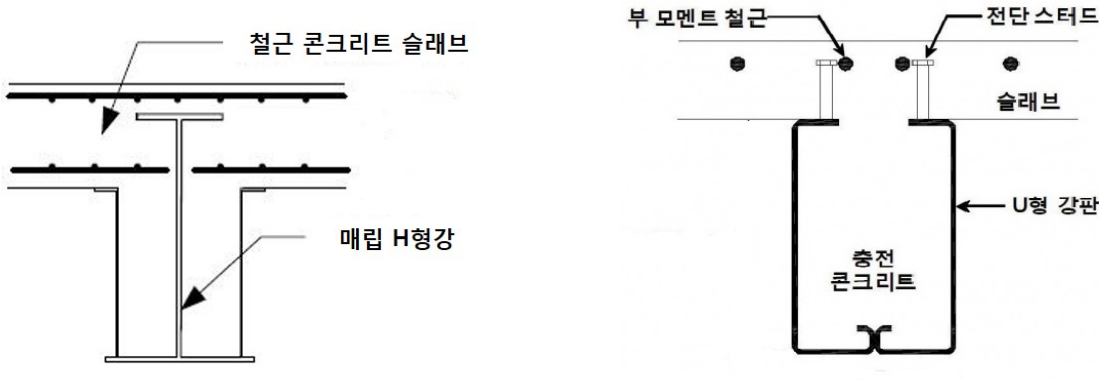
○ 다양한 요소기술(강재물량 절감이 가능한 웨브의 형태, 하중 크기별, 구조물 용도별 층고절감 방안 및 실 구조물 적용 실시설계방안 등)을 포함함으로써, 연구대상 복합보의 **구조성능을 확보함과 동시에 경제적인 최적화 설계 및 시공을 가능**하게 하며, 업체(합성보 제조 및 시공기업)의 **현장적용 기술력 향상을 도모**하고자 하였음.

→ 합성보는 우수한 구조성능 및 장경간 구조물 실현 가능성을 보유하고 있음에도 불구하고, 층고절감의 어려움 및 경제성 저하 등의 문제로 인해 신공법의 건설현장에 잘 활용되지 않고 있는 문제점을 해결하고자, **이 연구에서는 장경간 구현이 가능함과 동시에 층고절감 및 강재절감이 가능한 복합보 시스템 원천기술을 확보하고자 하였음.**

2. 연구개발의 필요성

○ 최근 구조물의 고층화와 장경간화가 활발하게 이루어지고 있으며, 이를 경제적으로 구현하기 위해 효율적인 부재의 개발이 요구되고 있음.[1-9] 이러한 수요를 만족시키기 위해 [그림 1-1]에 나타낸 것과 같이 전통적인 철근콘크리트 (Reinforced concrete, RC) 및 철골 부재의 장점을 혼합한 합성부재들의 개발이 활발히 진행되고 있음.[4-18]

○ 그러나, 기존의 합성보들은 다른 부재와의 일체성 및 연속성을 확보하기 어렵거나 시공성이 저하되는 경우가 많고, 경간이 증가할 경우 보 춤이 급격히 증가하여 층고절감에 효과적이지 못함.

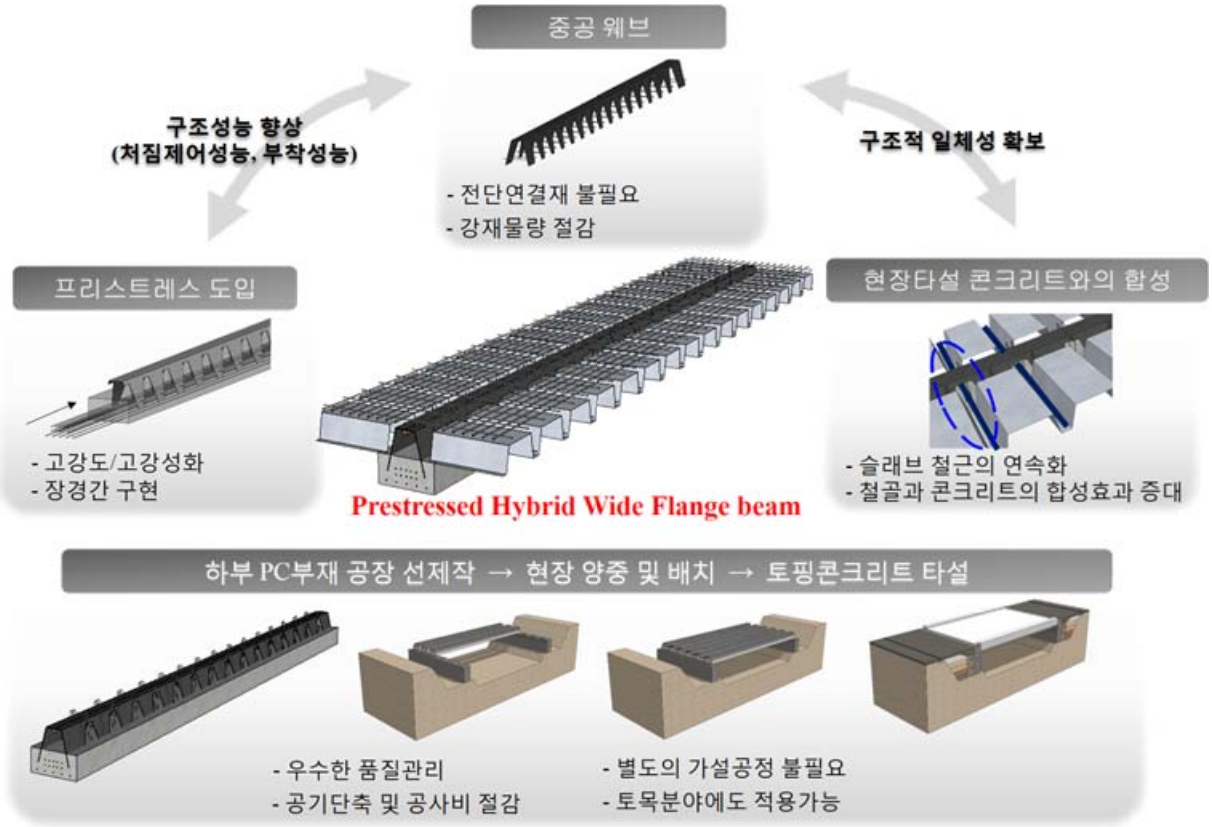


(a) 매립형 합성보 (b) 충전형 합성보

[그림 1-1] 장스팬을 구현하기 위한 합성보

○ 또한, 최근의 건축분야와 토목분야에서는 장경간 구조물에 대한 사회적 요구가 크게 증대되고 있음. 특히, 건축분야에서는 반도체공장, 물류센터, 지하주차장 등 대형화된 장경간 구조물이 많이 건설되고 있는 추세이며, 이에 따라 건설시장에서는 새로운 합성보 시스템 개발요구가 지속적으로 이루어지고 있는 추세임.

○ 따라서, 기존에 개발된 합성보의 단점을 보완하기 위하여, 혁신적인 형태의 철골부재 매립 및 프리스트레스 도입을 통한 급속시공, 층고절감 및 장스팬 구현이 가능한 **확장 플랜지형 장경간 프리스트레스트 프리캐스트 복합보를 개발하고자 하였음.**



[그림 1-2] 급속시공 및 강재물량절감이 가능한 확장 플랜지형 장경간 프리스트레스트 프리캐스트 복합보

☞ 이 연구에서 개발한 복합부재는 [그림 1-2]에 나타낸 것과 같이 건축과 토목구조물에 모두 적용이 가능하고, 부재제작의 프리캐스트화를 통해 **급속시공이 가능**하며, 프리스트레스 도입을 통해 **층고절감을 실현함과 동시에 장경간 구현이 가능**한 확장 플랜지형 장경간 프리스트레스트 프리캐스트 복합보임.

☞ 하부 콘크리트 확장 플랜지는 공장에서 제작되는 프리캐스트(PC)부재로써 콘크리트 품질관리가 용이하며, **현장작업의 최소화를 통해서 공기절감**이 가능함.

☞ 큰 면적을 가지는 콘크리트 하부 플랜지에 프리스트레스를 도입함으로써 처짐과 균열 발생을 능동적으로 제어할 수 있으며, 하부PC부재의 강도와 강성을 높임으로써 층고를 절감하는 동시에 장스팬 구현이 가능하고, **시공 시 별도의 거푸집 및 가설재가 요구되지 않는 친환경적 기술**임.

☞ PC제작 시 삽입되는 철골부재의 웨브는 대칭으로써 허니콤빔과 동일한 방식을 이용

하여 가공할 수 있기 때문에 **강재의 물량을 절감**할 수 있고, 직각방향으로 배근되는 슬래브의 철근을 철골웨브의 중공을 통과해 배치함으로써 **보와 슬래브의 연속성을 확보**할 수 있음.

☞ 또한, 매립된 철골 부재가 전단연결재의 역할을 함으로써 추가적인 전단연결재의 설치 없이 **철골부재, PC부재 그리고 현장타설 콘크리트간의 합성효과가 극대화**될 수 있음.

- **Point 1: 와이드형 하부 콘크리트 부재에 프리스트레스를 도입하여 강도 및 강성 증대**
  ⇨ 하부 프리캐스트 부재에 프리스트레스를 도입한 후 콘크리트와의 합성을 통하여 강성/강도를 증진 시키고, 기존 RC 및 철골 구조의 단점인 처짐제어를 효과적으로 개선하여, 단면을 증가시키지 않고 장경간 및 층고절감을 실현할 수 있는 시스템 개발

- **Point 2: 웨브의 효율적 설계 및 가공을 통한 부산물의 최소화**
  ⇨ 목표 구조성능을 발휘함과 동시에 철골 웨브의 단면형상 최적화를 통하여 철골 가공 시 발생되는 부산물을 최소화 하고, 경제성 및 친환경성을 확보.

- **Point 3: 철골부재를 통한 하부 PC부재와 현장타설 콘크리트의 합성효과 극대화**
  ⇨ 매립 철골부재를 활용하여 별도의 전단연결재 설계가 요구되지 않는 단면을 설계함으로써 불필요한 공정을 최소화 하고, 시공성을 개선함.

- **Point 4: 슬래브 철근의 연속화를 통한 수평부재간의 일체성 확보**
  ⇨ 슬래브의 연속철근이 매립된 철골부재를 관통함으로써 구조적 성능을 향상시키고 안정성을 확보함.

- **Point 5: 하부 플랜지의 프리캐스트화를 통한 급속시공**
  ⇨ 하부 플랜지를 공장에서 프리캐스트부재로 제작함으로써 콘크리트 품질을 향상시키고, 공기단축 및 공사비 절감을 실현함.

3. 연구개발 범위

(1) 연구추진 절차

○ “급속시공 및 강재물량절감이 가능한 확장 플랜지형 장경간 프리스트레스트 프리캐스트 복합보 개발” 연구과제를 성공적으로 수행하기 위하여, 연구단계를 아래 [표 1-1] 및 [그림 1-3]에 나타낸 것과 같이 3단계로 세분화 하여 2년의 연구기간에 걸쳐 추진하였음.

[표 1-1] 연구 추진 계획

• **1단계**	- 확장 플랜지형 복합보의 개념 구체화 및 최적 단면형상 도출
• **2단계**	- 실험적, 해석적 연구를 통해 개발된 복합보의 구조성능 검증
• **3단계**	- 실제 현장에 적용 가능한 설계, 해석 및 시공기술 개발, 시작품 제작



[그림 1-3] 연구추진절차

○ 1단계는 [그림 1-4]에 나타낸 것과 같이 프리스트레스가 도입된 강재절감 확장 플랜지형 프리스트레스트 프리캐스트 복합보 아이디어를 구체화 하고, 최적화된 형상을 도출하는 단계로써 아래와 같은 목적을 달성하고자 하였음.

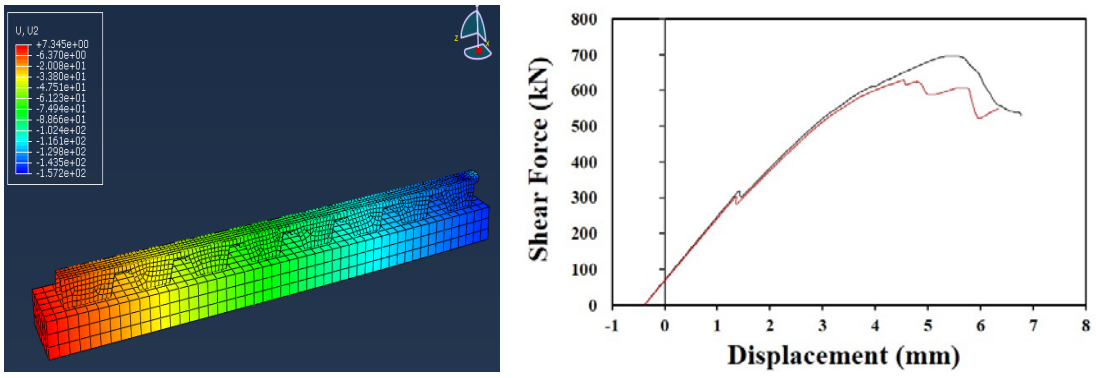
- 문헌연구를 통한 기존 합성보의 문제점 파악 및 개선안 도출
- 변수분석을 통한 최적화된 단면형상 및 철골형상도출
  ⇨ 동일한 강도 및 강성을 확보하며, 20%~30% 이상의 추가적인 강재 절감
- 프리스트레스 도입을 통한 층고절감 극대화
  ⇨ 구조적 안정성 확보 및 경제성 향상
- 현장적용 가능성 분석 및 평가
  ⇨ 제작방식에 따른 효율성, 현장에서의 시공성 그리고 개발 부재의 경제성 분석



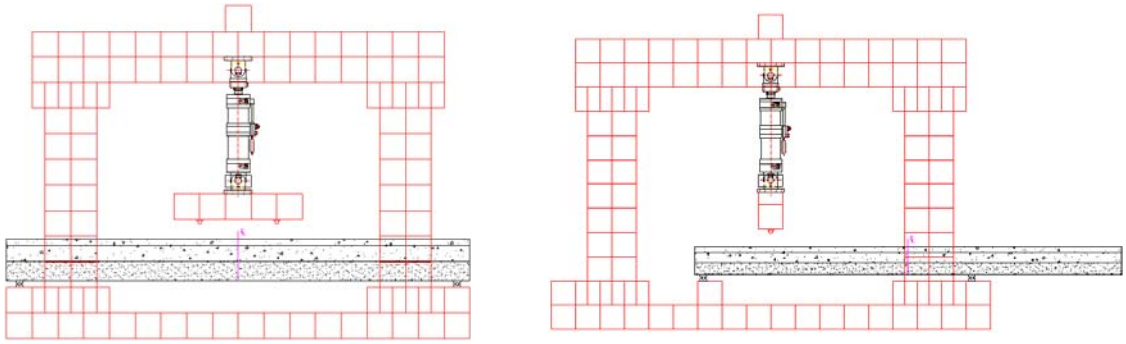
[그림 1-4] 강재절감 와이드 플랜지형 PC 복합보의 구체화 및 최적화

○ 2단계는 앞선 단계에서 도출된 최적 단면형상을 통해 [그림 1-5] 및 [1-6]에 나타낸 것과 같이 해석적 연구와 실험적 연구를 병행하여 수행함으로써 개발 복합보의 구조적 성능을 검증하고자 하였음.

○ 마지막 3단계에서는 2단계에서 구조적으로 검증된 개발기술을 통하여 실무자들이 현장에서 즉각적으로 적용 가능한 설계 및 해석방법을 제안하고, 이에 대한 지침서를 작성한 후 시제품 제작까지 수행함으로서 개발부재를 현장에 적용하는데 필요한 모든 준비를 완료하고자 하였음.



[그림 1-5] 해석적 연구



(a) 휨실험 검증 (b) 전단실험 검증

[그림 1-6] 실험적 연구

(2) 연차별 연구목표 및 내용

연차	연구목표	주요연구내용
1차년도 (2015. 06 ~ 2016. 06)	■ 개발 합성보의 최적단면 도출 및 문제점 검토 -기존 문헌조사 및 한계점 분석 -물량절감 및 구조성능 확보를 위한 이론적 연구 ■ 해석적 연구를 통한 복합보의 문제점 개선방안 도출 -기존 합성보 이론을 활용하여 개발기술을 적용한 복합보의 구조거동을 수치적으로 검토 -제작과정, 현장적용 시 발생할 수 있는 문제점 파악 ■ 개발 합성보의 휨, 수평전단 실험계획 및 실험적 연구 수행 -시공단계 부재에서의 압축측 저항기구를 변수로 실험 수행 -매립철골의 형상에 따른 수평전단 저항성능을 파악하기 위한 실험수행	- 기존에 개발되었던 합성보들의 제작과정 및 현장적용 시 발생되는 문제점을 파악하고, 이를 극복할 수 있는 최적단면을 변수분석을 통하여 모색 - 도출된 최적단면의 구조성능, 제작방법 및 현장적용 시 발생할 수 있는 문제점을 파악하여 미리 해결함으로써 기술의 완성도 향상 - 기존 합성보 이론을 활용하여 개발 복합보의 시공단계 및 합성단계에서의 구조거동을 수치적으로 검토하고, 유한요소해석프로그램을 통해 계산된 결과와 비교하여 합리적인지 검토 - 해석적 연구를 기반으로 실험변수를 설정하고 시공단계, 합성단계에서의 휨 및 수평전단 저항성능을 파악하기 위한 실험적 연구 수행
2차년도 (2016. 06 ~ 2017. 06)	■ 개발 합성보의 전단 실험계획 및 실험적 연구 수행 -매립철골의 전단기여분을 파악하기 위한 실험수행 -중공단면에서의 전단보강	- 프리스트레스 도입을 통해 고강성화된 하부 PC부재와 상부 토핑부재 사이의 전단메커니즘을 규명하기 위한 전단실험 수행 - 중공단면에서 매립철골의 전단기여분을 파

	을 변수로 실험 수행	악하기 위한 실험 및 전단보강 방식에 따른 효과를 검증하기 위한 실험 수행
	■ 개발 기술의 검토 및 보완을 통한 최적화 -해석적 연구결과와의 비교 및 검토 -기존 이론, 해석방법의 수정 및 보완	- 수행된 실험적 연구와 해석적 연구를 비교 및 분석하여 유한요소해석 결과와 제안이론에 문제가 없는지 확인 - 진행된 연구를 바탕으로 개발된 복합보의 구조성능을 향상시킬 수 있는 추가적인 방안을 검토하고, 문제점이 있을 경우 이를 수정 및 보완
	■ 개발된 복합보의 설계 및 시공상세지침 작성 -설계, 제작단계에서 발생되는 애로사항 파악 및 해결	- 개발기술의 현장 적용을 위하여 설계, 제작과정, 시공과정에서 발생될 수 있는 애로사항을 고려한 설계/시공 상세 지침서 작성
	■ 개발기술의 시제품 제작 -작성된 설계·시공지침에 근거한 시제품 제작 실시 -시제품 제작을 통해 애로사항 파악 및 보완	- 설계/시공지침에 근거하여 개발기술의 시제품 제작을 실시하고, 제작방식 및 시공 시 현장적용성 검토 - 애로사항이 있을 경우, 시공상세 매뉴얼을 수정하여 문제 해결 및 보완

제2장. 국내외 기술 개발 현황

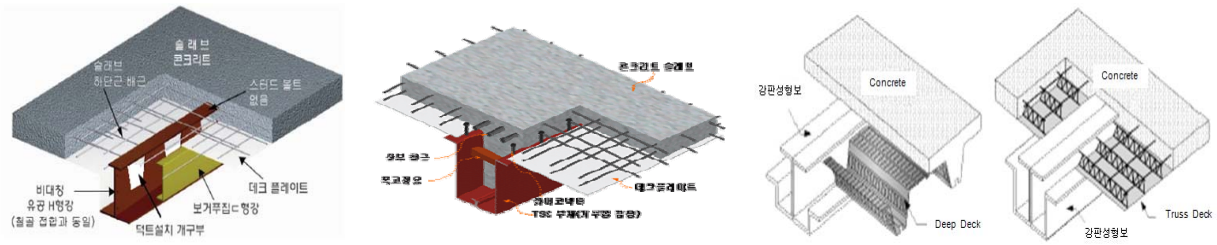
1. 관련 분야의 국내외 연구동향 및 특징

○ 국내에서 연구 개발된 대표적인 합성보에는 [그림 2-1]에 나타낸 것과 같이 iTECH 합성보, TSC 합성보, 강판 성형 합성보 등이 있음.

○ iTECH 합성보는 기존에 개발된 TEC-BEAM과 A-TEC 합성보를 발전시켜 완성된 형태로, 모멘트 접합 가능, 일체성 및 연속성 확보, 웨브 개구부의 설비공간 활용 등의 많은 장점을 가지고 있음. 그러나, 국내의 시공 여건상 실제 현장에서 웨브의 개구부를 설비공간으로 활용하는 것이 매우 어렵기 때문에 본래의 개발 목적과는 다르게 실질적인 층고절감의 효과를 보기가 쉽지 않음.

○ TSC 합성보는 기둥이나 보의 외곽구석에 ㄱ형강이나 ㄷ형강을 배치하고 그 사이를 철근 래티스로 조립한 후 외곽 면에 영구 거푸집을 설치하여 콘크리트를 타설하는 강합성 콘크리트 구조에서 시작된 후 수정, 발전되어 현장에 적용된 합성보임. 그러나, 국내에서 주로 사용되는 철골모멘트 접합 상세가 일반 철골보에 비해 복잡한 측면이 있음.

○ 강판성형 합성보는 높이 조절 및 모멘트 접합이 용이한 장점이 있으나, 제작공정이 까다로워 비용이 다소 증가되는 단점이 있음.



(a) iTECH 합성보 (b) TSC 합성보 (c) 강판성형 합성보

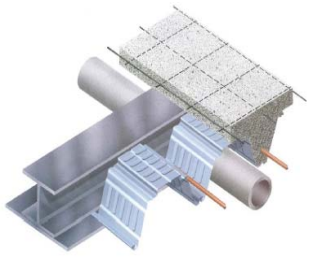
[그림 2-1] 국내 연구로 개발된 합성보

○ 해외에서는 주로 유럽 및 북미를 중심으로 합성보에 대한 연구가 이루어지고 있으며, 대표적인 예로는 [그림 2-2]에 나타낸 Slim Floor System, Delta Beam 및 Flex Frame System 등이 있음.

○ Slim Floor System은 [그림 2-2(a)]에 나타낸 것과 같이 개구부를 가진 철골보와 데크플레이트 슬래브로 이루어진 층고절감형 합성구조 시스템으로 국내의 iTECH 합성보와 성격이 유사함.

○ Delta Beam은 박스형태의 중공형 강재와 중공형 콘크리트 슬래브가 결합된 시스템으로써 비틀림 저항 및 내화성능이 우수하고 무지주 공법 적용이 가능하나, 보춤의 제한으로 인해 장경간 구조물에 적용하기 어려운 시스템임.

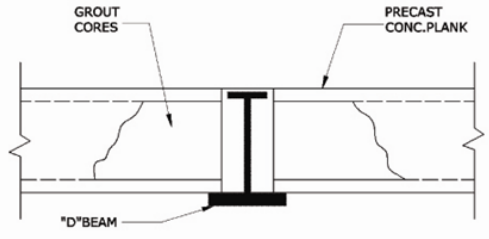
○ Flex Frame System은 비대칭단면 H형강 부재와 중공형 프리캐스트 슬래브를 사용하는 시스템으로써 형태는 다르지만 Delta Beam시스템과 유사한 장단점을 가지고 있음.



(a) Slim Floor System



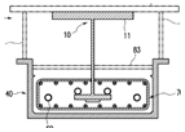
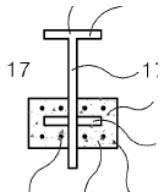
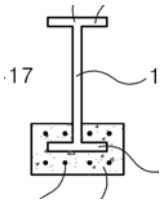
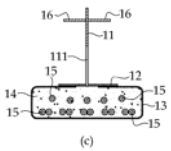
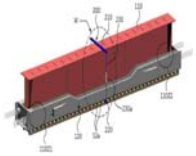
(b) Delta Beam

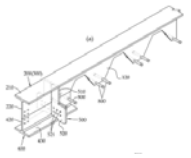
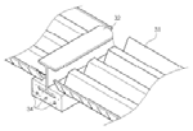
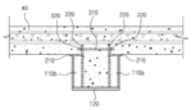
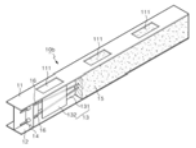


(c) Flex Frame System

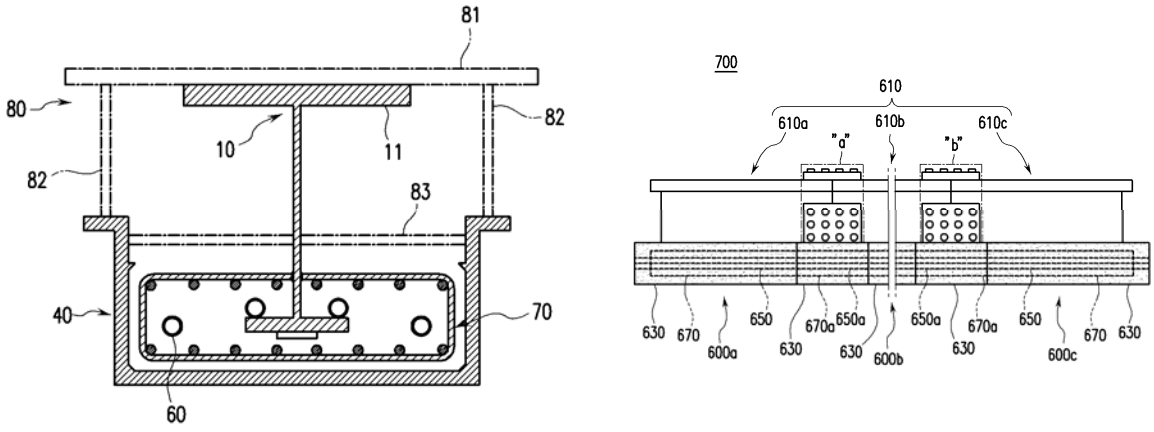
[그림 2-2] 국외에서 연구 개발된 합성보

2. 국내외 관련기술 특허 동향

발명의 명칭	특허권자	등록 또는 공개일	주요 구성	
프리스트레스 강합성보의 제작 방법 및 이에 의하여 제작된 강합성보	㈜삼현피에프 외	2005.12 (등록)	상부재 : 비대칭H형강 하부재 : PS+콘크리트	
하부플랜지케이싱콘크리트의 양단부에 프리스트레스미도입부를 설치한 프리스트레스트강합성거더와 이의 제작방법 및 이를 이용한 라멘구조체와 이의 시공방법	(주)에스앤씨산업 외	2010.12 (공개)	상부재 : H형강 하부재 : PS+콘크리트	
양단부에 프리스트레스미도입부를 설치한 프리스트레스트강합성거더 또는 프리스트레스트콘크리트합성판넬과 이의 제작방법 및 이를 이용한 라멘슬래브구조체와 이의 시공방법	(주)에스앤씨산업 외	2010.10 (공개)	상부재 : H형강 하부재 : PS+콘크리트	
강재 복부판의 하부에 프리스트레스가 도입된 하부 플랜지 콘크리트가 일체로 합성된 강콘크리트 합성빔 및 이의 제조방법	홍원희 외	2011.11 (등록)	상부재 : 중공형 H형강 하부재 : PS+콘크리트(강재케이싱)	
다단계 인장을 이용한 프리캐스트 콘크리트 패널과 강재 거더가 합성된 합성빔의 제작 방법 및 이에 사용되는 교정 기구.	윤주호	2012.01 (등록)	상부재 : 중공형 H형강 하부재 : PS+콘크리트(강재케이싱)	

티형 강재를 이용한 합성보 제작방법 및 이를 이용한 구조물 시공방법	(주)네오크로스구조엔지니어링	2010.07 (공개)	상부재 : 중공형 T형강 하부재 : PS+콘크리트	
철골구조물에서 프리플렉스 보를 이용한 층고절감형바닥구조	재단법인 포항산업과학연구원	2004.07 (공개)	상부재 : H형강 하부재 : PS+콘크리트	
파형웨브가 구비된 비대칭 합성보	서울시립대학교	2010. 02 (등록)	상부재 : 파형 형강 하부재 : PS+콘크리트	
골형 웨브 강판 조립보	서울시립대학교	2011. 01 (등록)	상부재 : 파형 형강 하부재 : PS+콘크리트	
프리스트레스가 도입된 강콘크리트 합성보	서울시립대학교	2012. 03 (등록)	상부재 : H형강 하부재 : PS+콘크리트	

○ [그림 2-3]에는 강재 보의 하부 플랜지에 콘크리트가 합성된 프리스트레스트 강합성보 기술을 나타내었음. 강재의 하부 플랜지 주위에 위치하는 콘크리트의 자중이 강재에 의해서만 지지되도록 함으로써 콘크리트의 자중에 의한 응력이 콘크리트의 단면에는 발생하지 않도록 하며, 특히 보가 거치되기 직전에 콘크리트에 미리 압축 응력을 도입하여, 콘크리트의 크리프 변형에 따른 프리스트레스 손실을 최소화할 수 있음. 그러나, 3분절로 나뉘어 제작되기 때문에 요구되는 공정이 많으며, 프리텐션 방식으로는 제작이 어렵고, 경제성이 저하된다는 단점이 있음.

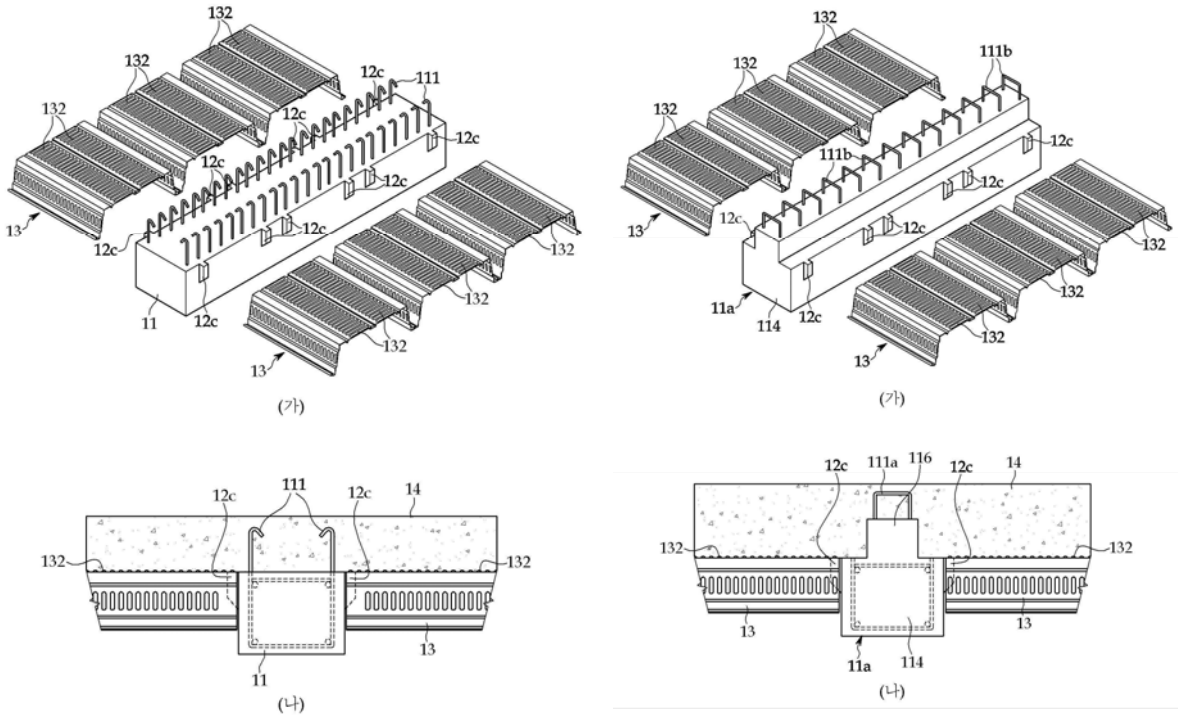


(a) 프리스트레스 강합성보 사시도 (b) 합성보의 설치 예

[그림 2-3] 프리스트레스 강합성보

○ [그림 2-4]에는 프리캐스트 보와 데크플레이트의 합성보를 나타내었음. 프리캐스트 콘크리트 보의 상면에 길이방향을 따라 일정한 간격으로 홈을 두어 데크플레이트가 거치될 수 있도록 제작되며, 프리캐스트 콘크리트 보와 데크플레이트의 상면에 콘크리트가 타설되어 프리캐스트 콘크리트 보와 데크플레이트를 일체로 합성시키면서 바닥판을 이루는 슬래브 콘크리트를 포함하는 것을 특징으로 함. 이를 통하여 층고절감이 가능하다는 장점이 있으나, 슬래브 부재와의 일체성 확보를 위해서는 수직전단에 저항하는 스터럽 뿐만 아니라, 수평전단에 대한 추가적인 설계가 요구됨.

○ 국내·외 관련 기술 특허분석 결과, 개발 기술의 실용화/사업화시 고려해야 할 지적 재산권 및 연구 성과와 관련되어 분쟁이 예상되는 특허에 관한 내용은 없는 것으로 판단됨.



[그림 2-4] 프리캐스트 보와 데크플레이트의 합성보

3. 국내외 시장분석 및 산업동향

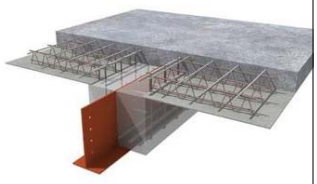
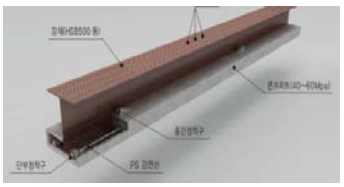
○ 건축분야

- 국내에서는 건설시장의 위축과 건설인력의 감소, 노령화 및 원자재의 원가상승에 따라 공사의 공기단축 및 노무인력의 효율적 운용이 건설공사의 수익구조 개선을 위해 반드시 이루어져야 할 것으로 인식되고 있음.
- 또한, 최근에는 철강 원자재 가격의 상승으로 인하여 프리캐스트 콘크리트 구조물이면서도 장경간화가 가능하고, 비용도 순수 강재 보와 비교하여 약 10% ~ 15% 정도 경제적인 강콘크리트 합성구조에 대한 수요가 증가하고 있는 추세임.
- 합성보에 사용되는 콘크리트 재료 강도 상승과 적용 강도의 범위가 확장되어 50

MPa ~ 80 MPa 까지 손쉽게 적용이 가능하며, 이를 일정한 품질관리와 생산성이 향상되도록 공장에서 제작하여 현장에 반입함으로써 기존의 경쟁기술과 대비하여 습식공법이 갖는 단점도 해결이 가능하도록 개발되고 있음.

- 특히 2000년대 초반에 진입하면서부터 강재와 콘크리트, 프리스트레싱 등을 혼용하여 사용한 혼합구조 형태의 복합공법이 각광을 받고 있으며, 생산성과 경제적 효과를 증진할 목적으로 공장생산 시스템을 도입하여 보편적으로 적용되고 있는 프리캐스트 콘크리트 개념에 프리스트레싱과 강재를 활용하는 복합보 기술이 [표 2-1]에 나타낸 것과 같이 적용되고 있음.

[표 2-1] 대표적인 혼합구조 형태의 복합부재

명칭	HRC보	HI-BEAM	Preflex BEAM
개념도			
기술개요	-겔버접합형 HRC 복합보로써 강재와 콘크리트를 혼용한 것으로 역학적으로 장점이 있는 강재를 하부 인장재로 사용하고, 상부는 압축력에 우수한 콘크리트를 사용하여 효과적으로 단면을 구성한 복합구조형식	-강재와 콘크리트를 혼용한 복합화 PC보로, 양단부는 철근콘크리트로, 중앙부는 철골로 제작한 부재 -보의 단부와 기둥에는 압축력에 강하며 강성이 높은 철근콘크리트를 적용하고, 보의 중앙부에는 가볍고 장경간 확보가 유리한 강재를 적용한 복합 구조형식	-강재와 콘크리트를 혼용한 복합화 보로, 콘크리트와 합성전에 철골 부재에 프리플렉션을 도입하여 향후 타설되는 콘크리트 자중에 대한 응력과 균열모멘트에 저항력을 향상시킨 복합구조 형식
적용분야	건축물 중경간/경하중	건축물 중장경간/중하중	토목 교량 / 대형건축물 장경간/고하중

- 국내 프리캐스트 부재 생산회사는 PC협의회 산하 13여개로 자체 생산공장을 보유하고 있으며, 공장생산 PC공장 중 5개사가 수도권인 경기에 위치하고 있고 6개사는 충청도, 2개사는 영남지역에 위치해 있음.
- 각사의 연간 생산량은 [표 2-2]에 나타낸 것과 같이 25,000㎥ 이상으로서 국내 연간 총 생산규모를 산출하면 약 450,000㎥ 규모의 프리캐스트부재 생산기반이 갖추어져 있고, 매년 꾸준하고 지속적인 설비투자를 통해 생산능력 확충이 이어지고 있음. 이와 더불어, 해외시장 공략 및 공사수행을 위해서 중국과 이라크 등지에 대규모로 진출함으로써 중국, 이라크를 비롯한 아시아, 중동 시장으로의 확장에도 준비하고 있음.
- 전체 공장의 가동율은 평균 60~70% 정도 수준이나, 최근 건설현장에서 인력 및 원

가절감, 공기단축을 도모하기 위해 프리캐스트 복합공법의 적용이 확대되고 있고, 장기적으로는 현재 전체 건설시장의 2% 안팎인 비중이 유럽 수준(10%)만큼 올라갈 것으로 전망됨.

[표 2-2] 국내 프리캐스트 공장 생산 능력

업체명	소재지	생산능력		최근 3년 평균 생산량 (m^3)
		m^3/일	PS 라인	
㈜삼환까뮤	경기 이천	300	100m 2개 라인	100,000
㈜한성	충남 아산	400	60m 2개 라인	60,000
삼표건설㈜	충북 청원	250	45m 7개 라인	40,000
동서피씨씨㈜	충북 괴산	200	300m 3개 라인	40,000
우림콘크리트㈜	경기 하남	250	150m 4개 라인	30,000
강남건영㈜	경기 여주	100/800	180m 11개 라인	30,000
화성산업㈜	경북 의성	200	150m 2개 라인	20,000
㈜대흥	충북 진천	100/600	150m 6개 라인	20,000
현대산업개발㈜	경기 여주	200	100m 1개 라인	20,000
㈜세안	경북 상주	200	50m 4개 라인	20,000
IS동서	경기 이천	200	50m 3개 라인	20,000
㈜가야	충남 서산	200	100m 2개 라인	20,000

○ 토목분야

- [표 2-3]와 [2-4]에 나타낸 국내 시공된 교량현황과 시장규모를 살펴보면 최근 경기침체로 인해 건설시장이 위축되고 있으나 PSC 교량 및 라멘교는 전체 교량의 약 41.7%를 차지하므로 시장성이 우수한 교량형식임.
- 라멘교는 유지관리성과 내진 저항성이 우수한 대표적인 교량형식으로, 2000년대 초반에 강합성 라멘교가 개발되어 20m 이상의 교량에 활발히 시공되고 있음. 그러나, 15m 이하의 교량은 여전히 현장에서 거푸집 동바리를 사용하여 제작하는 RC라멘교가 주류를 이루고 있음.
- 이러한 RC라멘교에서 콘크리트 타설 중에 거푸집 동바리의 붕괴사고로 인명피해가 종종 발생되고 있으므로 프리캐스트 복합부재를 이용한 라멘교가 주목받고 있는 실정임.
- 따라서, “확장 플랜지형 복합보 개발” 연구과제를 통해 건축분야 뿐만 아니라 연간 2,800억원의 시장규모를 형성하고 있는 RC라멘교와 RC슬래브교 시장도 성공적으로 진입할 수 있을 것으로 사료됨.

[표 2-3] 국내 교량건설 현황

구 분	년도 별 교량건설 개소					계	비율(%)
	1990년 이전	1991~ 1995	1996~ 2000	2001~ 2005	2006~		
라멘	565	1,070	1,577	1,976	1,059	6,247	24.0
PSC빔	639	521	852	1,500	1,102	4,614	17.7
기타 교량	3,252	3,105	3,290	3,334	2,181	15,162	58.3
계	4,456	4,696	5,719	6,810	4,342	26,023	100.0

[표 2-4] 국내 교량건설 현황

규 모	~20m	20~40m	40~85m	85~100m	100m~
시장규모 (시장점유율)	2,800억원 (14%)	5,200억원 (26%)	8,200억원 (41%)	2,000억원 (10%)	1,600억원 (8%)
대표형식	라멘교, 슬래브	PSC거더	강박스	PSC박스 엑스트라도즈드교	사장교, 현수교
시장특성	·저예산 소규모 ·콘크리트교 우세 ·현장 시공	·프리캐스트화 ·콘크리트교 우세 ·다양한 PSC거더	·강교 우세 ·복합 트러스	·장경간 ·콘크리트교 우세	·미관, 상징성 중시

제3장. 연구 수행 내용 및 성과

1. 단계별 연구수행 목표

☞ 이 연구의 최종목표는 다음과 같음.

○ 급속시공 및 강재물량절감이 가능한 확장 플랜지형 장경간 프리스트레스트 프리캐스트 복합보의 개념을 구체화 하여 실제 현장에 적용 가능한 설계, 해석 및 시공기술을 개발하고, 시제품 제작을 통해 현장적용 가능성 극대화

○ 층고절감 및 강재물량절감이 가능한 복합보의 상세설계 및 시공지침을 개발하여, 우수한 현장적용성 확보

○ 다양한 요소기술(강재물량 절감이 가능한 웨브의 형태, 하중 크기별, 구조물 용도별 층고절감 방안 및 실 구조물 적용 실시설계방안 등)을 포함함으로써, 연구대상 복합보의 구조성능을 확보함과 동시에 경제적인 최적화 설계 및 시공을 가능하게 하며, 업체(합성보 제조 및 시공기업)의 현장적용 기술력 향상을 도모

☞ 이 연구를 성공적으로 수행하기 위하여 연구단계를 3단계로 세분화하여 2년의 연구기간에 걸쳐 추진하였으며, 단계별 세부목표 및 추진절차는 다음과 같음.

○ 1단계 : 확장 플랜지형 복합보의 개념 구체화 및 최적 단면형상 도출

- 방대한 양의 문헌연구[1-20]를 통한 기존 합성보의 문제점 파악 및 개선안 도출
- 변수분석을 통한 최적화된 단면형상 및 철골형상 도출
- 경제성 및 현장적용성 분석·평가

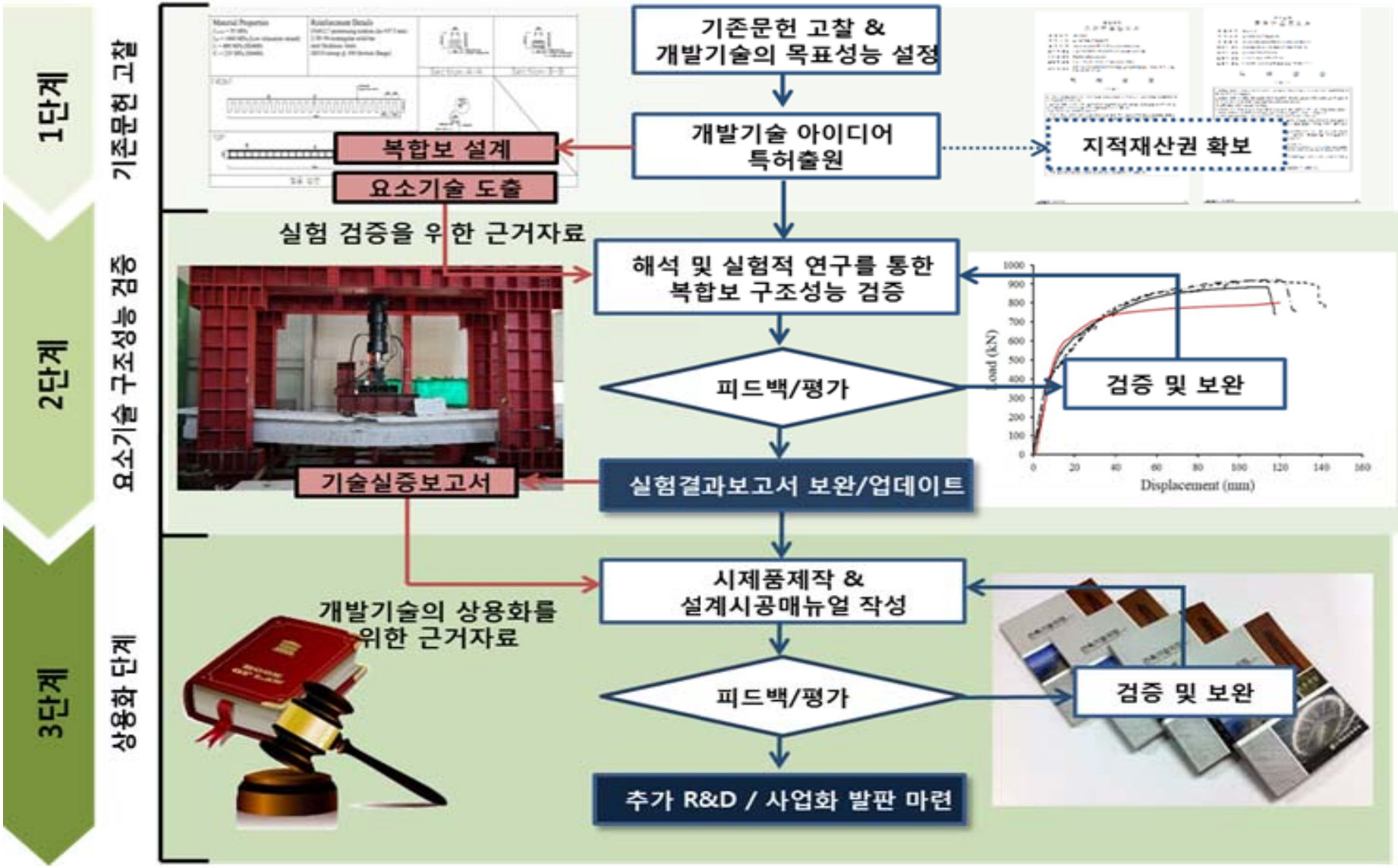
○ 2단계 : 해석적 연구와 실험적 연구를 통해 '급속시공 및 강재물량절감이 가능한 확장 플랜지형 장경간 프리스트레스트 프리캐스트 복합보'의 구조성능검증

- 이론적 연구수행[19-21] (기존의 합성보 이론, 유한요소해석, 비선형 해석모델 개발)
- 실험적 연구수행 (휨, 수평전단, 전단성능 평가)
- 실험결과를 기반으로 해석 및 설계법 개발·검증

○ 3단계 : 현장 실무자를 위한 설계·해석/시공지침 개발 및 시작품 제작

- 2단계에서 구조적으로 검증된 개발기술을 통하여 실무자들이 현장에서 즉각적으로 적용가능한 설계/시공 상세지침 작성
- 시작품 제작을 통해 제작공정 상의 애로사항 파악 및 해결
- 현장적용에 요구되는 모든 준비 완료

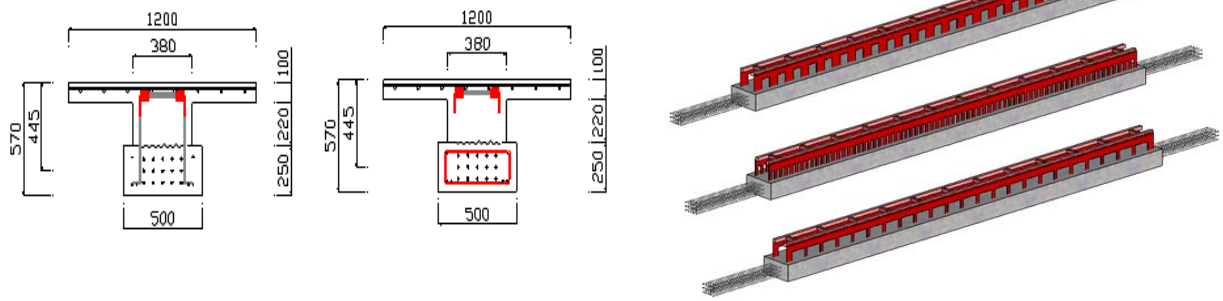
2. 단계별 연구수행 체계


1단계
기존문헌 고찰
2단계
요소기술 구조성능 검증
3단계
상용화 단계
기존문헌 고찰 &
개발기술의 목표성능 설정
개발기술 아이디어
특허출원
지적재산권 확보
복합보 설계
요소기술 도출
실험 검증을 위한 근거자료
해석 및 실험적 연구를 통한
복합보 구조성능 검증
피드백/평가
검증 및 보완
기술실증보고서
실험결과보고서 보완/업데이트
Displacement (mm)
시제품제작 &
설계시공매뉴얼 작성
개발기술의 상용화를
위한 근거자료
피드백/평가
검증 및 보완
추가 R&D / 사업화 발판 마련

3. 연차별 연구수행 내용 및 결과

☞ 1차년도

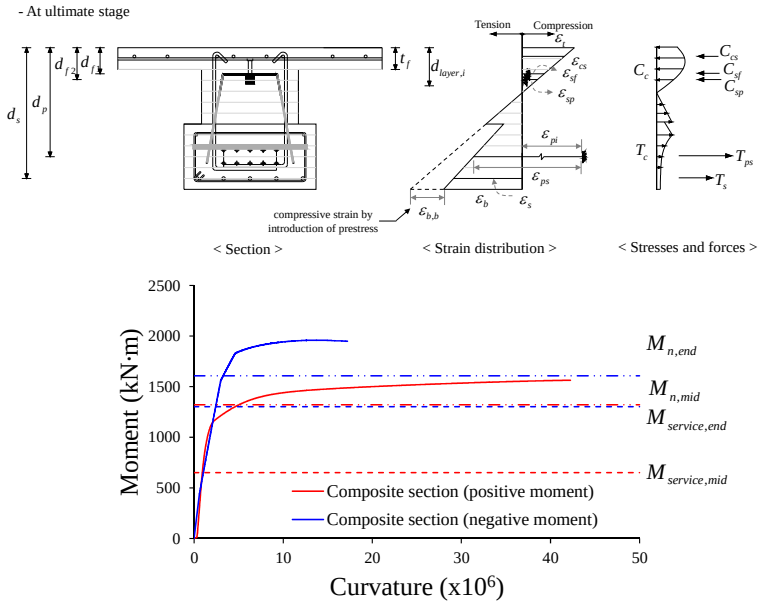
구분(연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
1차 연도 (2015.06 ~ 2016.06)	개발 복합보의 최적단면 도출 및 경제성 검토	기존 문헌조사 및 한계점 분석	기존에 개발된 합성보에 대한 방대한 양의 문헌조사를 통해 기존 합성보가 가지고 있는 문제점들을 파악하고 이를 극복할 수 있는 아이디어 모색	- 기존에 개발된 합성보 중 철골이 노출되어 있는 합성보는 별도의 내화뿜칠 공정이 요구됨. - 또한, 시공단계에서 콘크리트 타설하중에 저항하기 위해서는 동바리 설치 등의 별도의 가설공정이 필요함. - 기존 합성보들은 일반적인 PC 기둥과의 접합 시 사전에 기둥 내부에 브라켓이 설치되어야만 함. - 기존 합성보들은 현장타설 콘크리트와의 합성효과를 위해 별도의 전단연결재 설치가 요구됨.
		물량절감 및 구조성능 확보를 위한 이론적 연구	기존 합성보가 가지고 있는 문제점을 극복할 수 있는 최적단면을 다양한 변수분석을 통해 도출하고, 상세한 이론적 검토를 통해 경제성 및 현장적용성을 극대화할 수 있는 단면 및 부재형상을 도출함.	- 중공이 있는 철골부재를 콘크리트에 매립함으로써 별도의 전단연결재가 요구되지 않도록 하고, 강재 물량절감 효과를 극대화 하였음. - 하부 플랜지에 높은 레벨의 프리스트레스를 도입 하고, 압축측에 철골 각바를 배치함으로써 시공단계에서 콘크리트 타설하중을 보 자체에서 저항가능 하도록 고안함. - 유한요소해석을 이용하여 압축측 각바에 하중전달을 효율적으로 할 수 있는 최적 웨브 형상을 도출함. ([그림 3-1] 참조)



(a) 도출된 부재단면 (a) 도출된 부재형상

[그림 3-1] 복합보의 최적단면 및 형상도출

구분(연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
1차 연도 (2015.06 ~ 2016.06)	해석적 연구를 통한 복합보의 요구 구조성능 평가	실제 구조물에 적용하기 위한 요구 구조성능 사전평가	기존 합성보 이론을 활용하여 개발 복합보의 시공단계 및 합성단계에서의 구조거동을 수치적으로 검토하고, 유한요소해석프로그램을 통해 계산된 결과와 비교하여 합리적인지 검토	- 부분합성이론을 활용하여 강-콘크리트 합성비율에 따른 개발 복합보의 휨거동을 정량적으로 파악할 수 있는 해석모델을 개발함. - 하부 플랜지에만 도입되는 프리스트레스 효과를 반영할 수 있는 비선형-휨 해석모델을 제안함. - 경간 10m의 지하주차장 구조물을 대상으로 복합보 설계를 수행하고, 현행 구조설계기준 및 제안 해석모델을 이용하여 사전성능평가를 수행함. - 상용유한요소해석 프로그램을 이용하여 개발 복합보를 모델링하고, 해석을 수행하였으며, 이를 통해 제안모델의 신뢰도를 향상시켰음. ([그림 3-2] 참조)
		제작과정, 현장적용 시 발생할 수 있는 문제점 파악 및 해결	도출된 최적단면의 구조성능, 제작방법 및 현장적용 시 발생할 수 있는 문제점을 파악하여 미리 해결함으로써 기술의 완성도 향상	- 프리캐스트 부재 제작업체와의 사전협의를 통해 복합보 제작 시 발생될 수 있는 문제점을 사전에 파악하고, 이를 해결할 수 있도록 제작과정을 개선함. - 도출된 최적단면 및 부재형상에 대하여 mock-up을 제작함으로써 제작공정 상의 문제점이나 애로사항이 없는지 확인함. ([그림 3-3] 참조)



[그림 3-2] 비선형 해석모델을 통한 요구 구조성능 사전평가

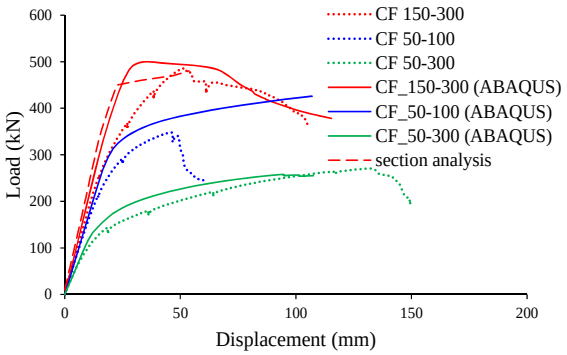


[그림 3-3] Mock-up 제작을 통한 제작공정 파악

구분(연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
1차 연도 (2015.06 ~ 2016.06)	개발 복합보의 휨 및 수평전단 저항성능을 파악하기 위한 실험계획 수립 및 실험적 연구 수행	개발 복합보의 휨성능을 실험적으로 검증	시공단계 부재에서의 압축측 저항기구를 변수로 실험을 수행하고, 해석결과와의 비교를 통해 요구성능 검증	- 압축측 저항기구를 강판으로 제작하는 경우와 각바로 제작하는 경우로 나누어 각각의 휨성능을 실험적으로 비교함. - 프리스트레스 도입레벨을 변수로 실험을 수행함으로써 층고절감을 극대화 할 수 있는 최적 합성단면을 도출함. ([그림 3-4] 참조)
		개발 복합보의 수평전단 저항성능을 실험적으로 검증	시공단계 및 합성 후 부재에서 매립철골의 형상을 변수로 실험을 수행하고, 유한요소 해석결과와의 비교를 통해 요구성능 검증 및 해석 신뢰도 향상	- 철골웨브의 폭 및 중공간격을 변수로 실험을 수행함으로써 최적화된 웨브 폭 및 중공간격을 결정함. - 유한요소해석을 수행하고, 실험결과와의 비교를 통해 해석 신뢰도를 크게 향상시켰음. ([그림 3-5] 참조)

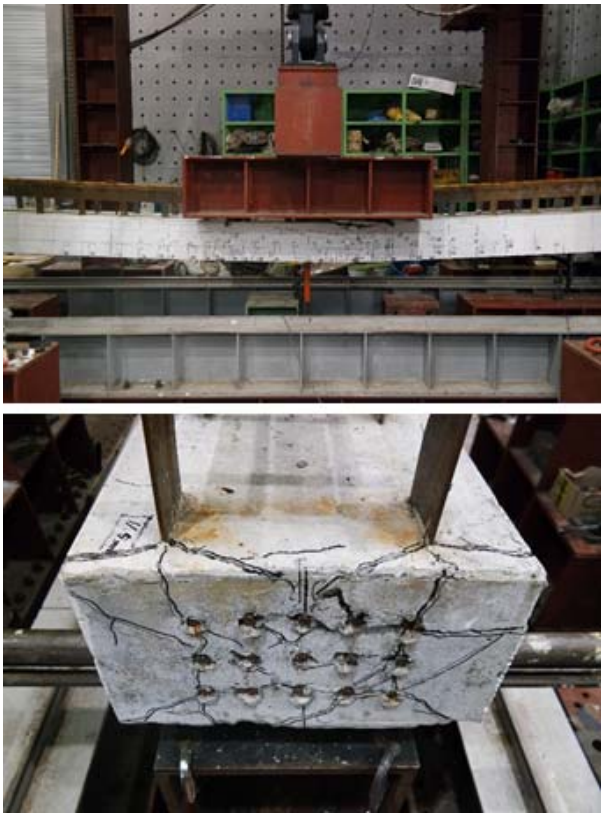


(a) 휨실험 수행

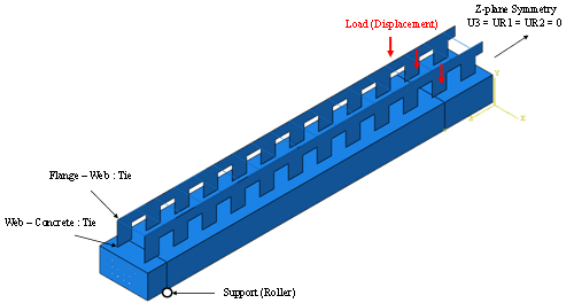


(b) 실험결과

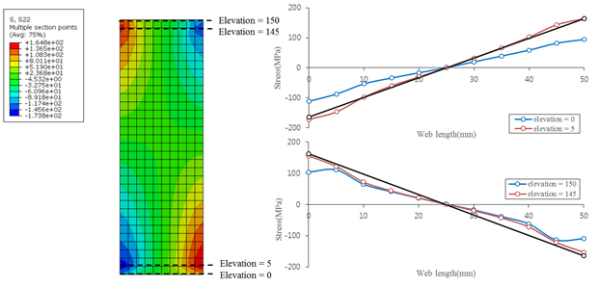
[그림 3-4] 개발복합보의 휨성능 검증 실험



(a) 수평전단실험 수행



(b) 유한요소 모델링



(c) 실험결과와 해석결과의 비교

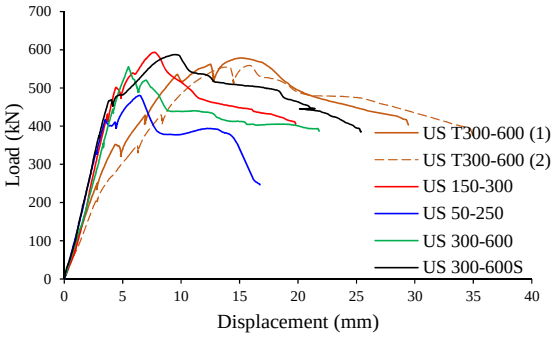
[그림 3-5] 철골웨브 형상에 따른 수평전단 저항성능 실험

☞ 2차년도

구분(연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
2차 연도 (2016.06 ~ 2017.06)	개발 복합보의 전단 저항성능을 규명하기 위한 실험계획 수립 및 실험적 연구 수행	개발 복합보의 전단성능을 실험적으로 검증	매립철골형상 및 위험단면의 위치를 변수로 하여 개발 복합보의 수직전단 저항성능을 정량적으로 검증	- 시공단계 및 합성단계 부재의 전단실험을 통해 설계 시공하중 및 사용하중에 저항가능한지 확인하였음. - 매립철골의 중공간격을 변수로 전단실험을 수행함으로써 전단저항성능을 최대로 발휘하는 매립철골형상을 도출함. ([그림 3-6] 참조)
		개발 복합보의 전단설계를 위한 설계모델 개발	시공단계 및 합성 후 부재에서 매립철골의 형상을 변수로 전단실험을 수행하고, 정확하면서도 안전측의 설계결과를 유도하기 위한 설계식 제안	- 전단실험결과에 근거하여 하부플랜지에만 프리스트레스가 도입되는 개발 복합보의 특성이 반영된 전단저항매커니즘을 규명하였음. - 또한, 실험결과를 면밀히 분석함으로써 개발 복합보의 전단강도를 정확하고, 안전측으로 예측할 수 있는 설계식을 제안하였으며, 매립철골의 전단기여분을 정량적으로 산정할 수 있는 해석방법을 개발함. ([그림 3-7] 참조)

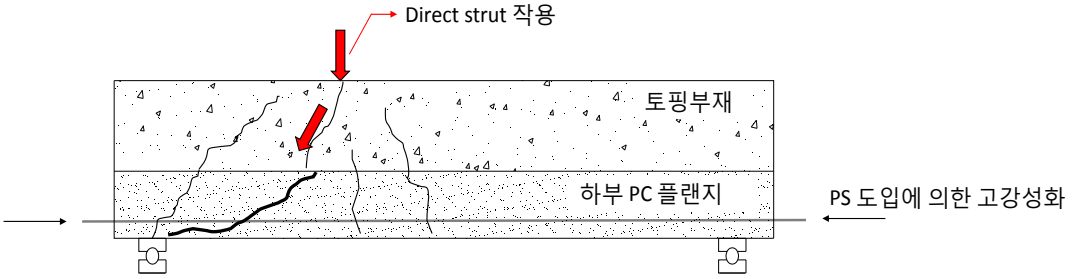


(a) 전단실험 수행

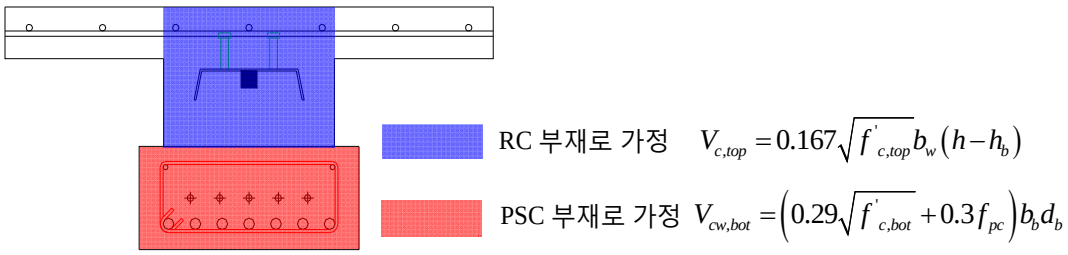


(b) 실험결과

[그림 3-6] 개발복합보의 전단성능 검증 실험



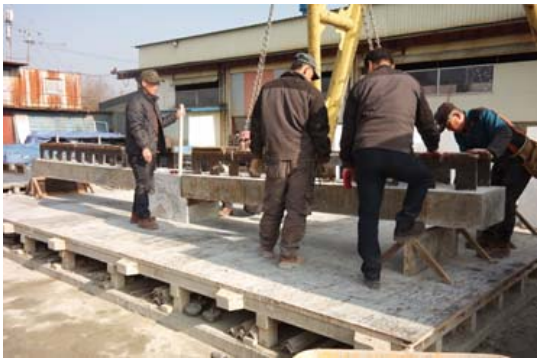
(a) 전단전달메커니즘 분석



(b) 제안 전단강도식

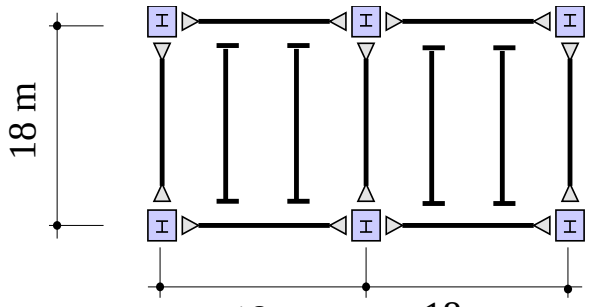
[그림 3-7] 개발복합보의 전단설계법 제안

구분(연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
2차 연도 (2016.06 ~ 2017.06)	개발 복합보의 시제품 제작 및 현장적용 가능성 검토	개발 복합보의 시제품 제작 수행	개발 복합보의 시제품 제작을 통해 1차년도 Mock-up 제작 시 발생하였던 애로사항을 해결하였는지 검토하고, 현장적용가능성을 분석	- 1차년도 실험과정에서 발생했던 문제점을 해결하기 위하여 매립철골을 횡방향 앵글을 이용하여 정착시킴. 그 결과, 복합보 단부에서의 정착단 균열을 방지할 수 있었음. - 매립철골은 공장에서 사전 제작되며, 횡방향 앵글을 이용하여 부재 내부에 매립되므로, 복합보 제작 공정이 매우 단순화되었음. 또한, 제작과정에서 많은 인력이 요구되지 않기 때문에 현장적용가능성이 충분한 것으로 판단됨.
		개발 복합보를 적용한 구조물의 시공프로세스 구현	개발 복합보를 활용하여 보-기둥 접합 구조물을 구현하였으며, 이를 통해 실제 시공과정에서 발생할 수 있는 문제점을 파악하여 미리 해결함으로써 기술의 완성도 향상 도모	- 실제 시공단계를 모사할 수 있도록 PC 기둥 및 개발 복합보를 제작하여 보-기둥 구조물을 제작하였으며, 시공공정을 검토한 결과, 제안 시스템은 기존의 PC 공법의 공정과 크게 다르지 않으므로, 별도의 숙련된 기술인력이 요구되지 않음. 따라서, 현장적용가능성이 매우 높을 것으로 판단됨. ([그림 3-8] 참조)




[그림 3-8] 보-기둥 접합 구조물 제작

구분(연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
2차 연도 (2016.06 ~ 2017.06)	개발 복합보의 경제성분석	개발 복합보의 경제성 비교 (건축분야)	개발 복합보의 시제품 제작을 통해 기존의 건축분야에서 널리 사용되었던 합성보와 경제성 비교·분석 수행	- PC부재가 적용되는 반도체 공장 설계 시 사용되는 하중조건을 이용하여 기존의 합성보와 개발 복합보 설계를 수행하고 제작비를 비교하였음. - 그 결과, 개발 복합보의 제작비는 기존의 반도체공장에서 가장 많이 이용되고 있는 합성보 제작비와 비교하여 약 12%정도 감소하는 것으로 나타남. 특히, 프리캐스트 부재의 운반 및 추가적인 설계비를 고려하더라도 기존의 합성보에 비해 더 우수한 경제성을 나타냄. ([그림 3-9] 참조)
		개발 복합보의 경제성 비교 (토목분야)	개발 복합보의 시제품 제작을 통해 기존의 토목분야에서 널리 사용되었던 합성보와 경제성 비교·분석 수행	- 토목분야에서 유사한 기존 기술과의 경제성 비교를 위해 이미 설계된 교량경간 20.0m, 폭 16.0m의 라멘교인 홍죽교(홍죽천 개수사업, 양주시, 프리플렉스 거더 라멘교, 6주형)에 대해 각각 1등급 교량으로 설계하고, 원가를 산정하였음. - 설계 결과, 개발 복합보의 본당 제작비는 약 930만원 수준으로 강판을 사용하는 프리플렉스 합성보의 본당 제작비인 약 1,400만원과 비교하여 30% 이상 감소하는 것으로 나타남. ([그림 3-10] 참조)



<대상 구조물 평면>

$$M_{us,positive} = 4,547\ \text{kN}\cdot\text{m}$$
$$M_{us,negative} = 6,901\ \text{kN}\cdot\text{m}$$
$$M_{u,positive} = 12,382\ \text{kN}\cdot\text{m}$$
$$M_{u,negative} = 20,330\ \text{kN}\cdot\text{m}$$
$$V_u = 7,789\ \text{kN}$$

<설계외력>

(a) 설계제원 (반도체공장)

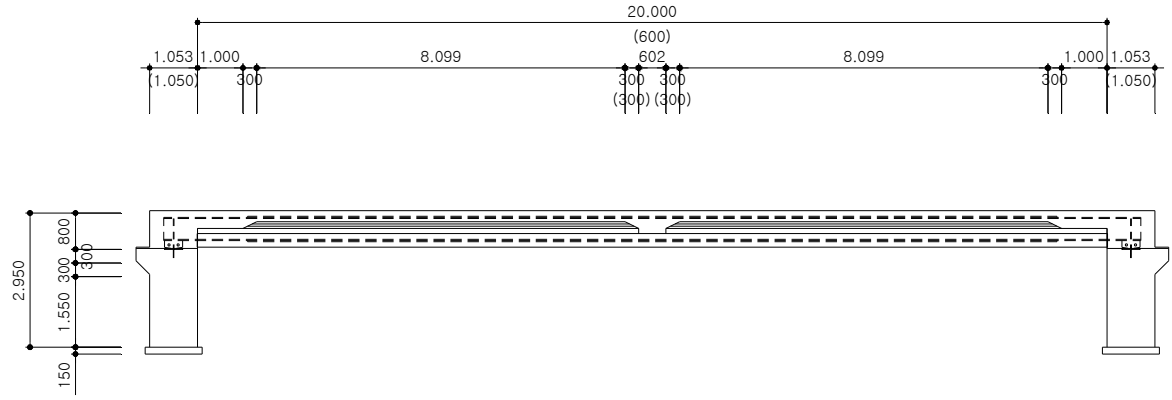
PROJECT : 단일부재 제작단가 비교 _TSC vs PC복합보

■ 18.0 M 단일부재 (Ln = 16.8m)

항목	단위	CASE1 TSC				CASE2 PC 복합보			
		단가	수량	금액	비율	단가	수량	금액	비율
1. RC/ST'L 공사									
레미콘	M3	65,000	39.55	2,570,568	9.4%	65,000	16.13	1,048,320	4.4%
레미콘 타설비	M3	9,500	39.55	375,698	1.4%	9,500	16.13	153,216	0.6%
철근	tf	650,000	1.07	697,722	2.5%	650,000	2.12	1,379,851	5.7%
철근가공조립	tf	300,000	1.02	306,691	1.1%	300,000	2.02	606,528	2.5%
TSC (10% 할증)	tf	1,850,000	12.07	22,331,515	81.4%				
TSC 내화피복	M2	6,000	105.84	635,040	2.3%				
PC 복합보 (10% 할증)	tf					1,850,000	8.76	16,204,531	67.3%
거푸집	M2					20,000	33.60	672,000	2.8%
STUD BOLT	EA	2,000	252.00	504,000	1.8%				
1. PC 공사									
PC 생산비(거더)	M3					600,000	5.38	3,225,600	13.4%
PC 조립비(거더)	M3					90,000	5.38	483,840	2.0%
PC 운반비	M3					35,000	5.38	188,160	0.8%
PC 설계비	M3					20,000	5.38	107,520	0.4%
공사비 합계				27,421,235	원			24,069,566	원
비 율				100%				88%	

(b) 기존 합성보와의 경제성비교

[그림 3-9] 개발복합보의 경제성 비교·분석 (건축분야)



(a) 설계제원

공 종 명	규 격	수 량	단 위	재 료 비	노 무 비
#1 자재비		1	본	2,578,752	
#2 철근 가공 및 조립	복잡	1	ton	11,920	652,313
#3 P.C 강선 가공 및 조립	Φ15.2mm	1	ton		158,859
#4 P.C 강선 정착		1	조	296,450	114,092
#5 인장작업(2차)	양단, 9× Φ15.2mm	1	개소		236,519
#6 철골재 제작 및 설치		1	본	682,196	2,624,287
#7 형틀조립 및 탈형	이동식 강재거푸집	1	m2	923	32,336
#8 케이싱 콘크리트 타설	펌프카(0~15m)	1	m3	858	10,351
#9 증기양생		1	본	644,784	941,400
#10 잡철물 제작설치	복 잡	1	ton	172,893	5,831,751
No.1 제작비		1	본	9,325,001	13,172,413

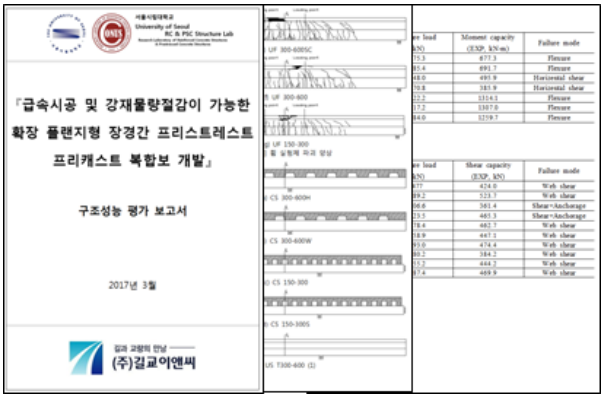
(b) 복합보의 일위대가

공 종 명	규 격	수량	단위	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	
No.1 제작비		1	본		9,325,001		13,172,413		994,415		23,491,829	
자재비		1	본	2,578,752	2,578,752					2,578,752	2,578,752	
철근 가공 및 조립	복잡	2.426	ton	11,920	28,917	652,313	1,582,511			664,233	1,611,428	
P.C 강선 가공 및 조립	Φ12.7mm	0.408	ton			158,859	64,814	11,120	4,536	169,979	69,350	
P.C 강선 정착		18	개소	296,450	5,336,100	114,092	2,053,656	4,563	82,134	415,105	7,471,890	
인장작업	양단, Φ15.2mm	18	개소			236,519	4,257,342	19,958	359,244	256,477	4,616,586	
철골재 제작 및 설치		1	본	682,196	682,196	2,624,287	2,624,287	83,859	83,859	3,390,342	3,390,342	
형틀조립 및 탈형	이동식 강재거푸집	46.88	m2	923	43,270	32,336	1,515,911	3,780	177,206	37,039	1,736,387	
케이싱 콘크리트 타설		12.8	m3	858	10,982	10,351	132,492	1,856	23,756	13,065	167,230	
증기양생		1	본	644,784	644,784	941,400	941,400	263,680	263,680	1,849,864	1,849,864	

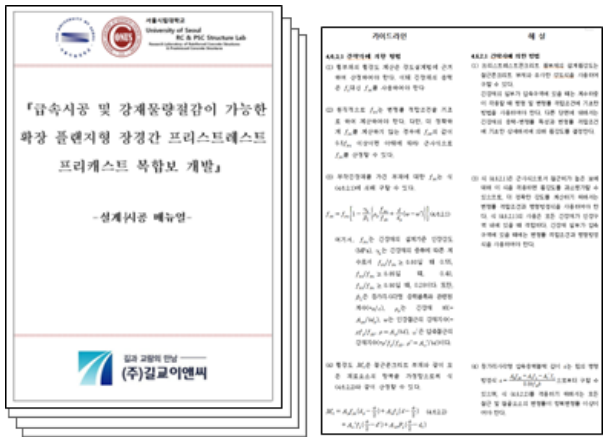
(c) 복합보의 제작비 산출근거

[그림 3-10] 개발복합보의 경제성 비교·분석 (토목분야)

구분(연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
2차 연도 (2016.06 ~ 2017.06)	개발 복합보의 시공/설계 상세지침 확보	해석적/실험적 연구결과 정리 및 검토	2년간에 걸친 해석적/실험적 연구결과를 종합적으로 정리하여 보고서를 작성하고, 구조성능을 평가하기 위한 해석모델을 간략화하여 설계식 형태로 제안	- 2년의 연구기간동안 도출되었던 실험적연구 (휨, 수평전단, 수직전단 저항성능 실험) 및 해석적 연구 (비선형 휨 해석, 유한요소 해석, 전단해석) 결과들을 보고서로 정리하고, 제안 해석모델들을 간략화하여 설계법을 제안함.
		실무자를 위한 설계/시공 상세지침 확보	구조성능 평가보고서에 기반하여 실무자들의 이해를 돕기 위한 설계/시공 상세지침 작성	- 현장적용가능성을 극대화하고, 개발기술에 대한 실무자들의 이해도를 높이기 위한 설계/시공 상세지침을 작성하였으며, 매뉴얼을 구성하는 내용은 아래와 같음. 1. 설계 일반사항 2. 재료 3. 휨 및 전단설계 4. 프리캐스트 이음부 5. 현장시방 지침 - 설계/시공 상세지침 확보를 통해 개발 복합보의 원천기술 확보 및 건설시장 진입 가능성을 극대화할 수 있음. ([그림 3-11] 참조)



(a) 구조성능 평가보고서



(b) 설계/시공 상세지침 확보

[그림 3-11] 기초원천기술 확보

4. 정성적·정량적 연구개발 성과

가. 연구개발성과 및 평가 방법

○ 연구개발 성과는 크게 정성적인 성과와 정량적인 성과, 2가지로 나뉠 수 있으며, 2년간의 연구개발을 통해 얻은 **정성적 성과**는 다음과 같음.

- 여러 아이디어 및 경제성 분석을 기반으로 개발 복합보의 최적 단면형상 및 부재형상을 도출함.
- 또한, 복합보를 제작해보는 과정(mock-up)을 통해 제작공정상의 문제점을 파악하고, 이를 개선하여 기술의 완성도를 높임.
- 압축측 저항기구 및 매립철골형상을 변수로 실험체를 제작하고, 가력실험을 수행함으로써 개발 복합보의 휨 및 수평전단 저항성능을 정량적으로 검증함.
- 매립철골형상 및 도입프리스트레스 레벨을 변수로 실험체를 제작하고, 가력실험을 수행함으로써 개발 복합보의 전단성능을 정량적으로 검증함.
- 개발 복합보를 이용하여 PC 보-기둥 구조물 시제품 제작을 수행하였으며, 이를 통해 실제 시공 프로세스 및 현장적용 가능성을 검토하였음.

○ 이 연구개발을 통해 얻은 **정량적 성과**는 다음과 같음

- 연구를 진행하는 과정에서 제안기술의 완성도를 높이기 위한 다양한 아이디어를 도출하고, 1건의 특허를 등록하였으며, 3건의 특허를 출원함으로써 지적재산권 및 원천기술을 확보함.
- 이론적·실험적 연구 진행과정에서 SCI(E)급 학술지에 1건, 일반학술지에 2건의 논문을 게재하였으며, 학술발표대회에 꾸준히 참석하여 국외학술발표 1건, 국내학술발표 4건의 학술논문 발표실적을 달성함.
- 개발복합보의 시제품제작을 2건 수행하였으며, 이 과정에서 제작공정상의 애로사항을 검토하고, 이를 해결함.
- 개발기술에 대한 실무자들의 이해도를 높이기 위한 설계/시공 상세지침을 작성하였으며, 이를 통해 기초원천기술의 확보 및 현장적용가능성을 극대화하였음.

○ 연구 계획서 상의 목표 성과를 모두 달성하였으며, 정량적 성과를 초과달성 하였기 때문에 이 연구개발의 성과가 매우 우수하다고 판단됨.

나. 핵심연구성과 및 연구성과별 설명

연번	핵심성과 (CTE)	핵심성과 설명	성과유형[1]	연구기관	해당 연차	TRL
1	최적 부재형상 도출 및 경제성 확보	- 단면 및 부재형상의 최적화를 통하여 경제성을 확보할 수 있는 기반마련 - 도출된 최적단면의 구조성능, 제작방법 및 현장적용 시 발생할 수 있는 문제점을 파악하여 미리 해결함으로써 기술의 완성도 향상	공법·기법	서울시립대학교 길교이앤씨	1	2
2	개발 복합보의 휨 및 수평전단 저항성능에 대한 해석적, 실험적연구	- 개발 복합보의 휨성능을 실험적·해석적으로 확보하여 기술화할 수 있는 기반마련 - 기존에 개발된 합성보와 비교하였을 때 동등이상의 구조성능을 발휘함과 동시에 경제성 및 현장적용성 확보	실험·검증	서울시립대학교 길교이앤씨	1	4
3	개발 복합보의 전단저항 매커니즘 및 전단성능에 대한 해석적, 실험적연구	- 개발 복합보의 전단저항 매커니즘을 실험적·해석적으로 규명하고, 간략화된 설계법을 개발하여 기술화할 수 있는 기반마련 - 기존에 개발된 합성보와 비교하였을 때 동등이상의 전단성능을 발휘함과 동시에 경제성 및 현장적용성 확보	실험·검증	서울시립대학교 길교이앤씨	2	4
4	개발기술의 시공성·경제성 검토 및 상세지침 작성	- 실험적·해석적 연구결과에 기반하여 개발 복합보의 최종 디테일을 결정하고, 시작품 제작을 수행함으로써 제작공정 상의 애로사항 파악 및 개선함. - 설계/시공 상세지침을 작성하여 실무자들의 개발기술에 대한 이해도를 높이고, 현장적용 가능성을 극대화함.	공법·기법	서울시립대학교 길교이앤씨	2	6

핵심성과 1	최적 부재형상 도출 및 경제성 확보	
정의	급속시공 및 강재물량절감이 가능한 확장 플랜지형 장경간 프리스트레스트 프리캐스트 복합보의 경제성을 확보함	
목적	단면 및 부재형상의 최적화를 통하여 경제성을 확보할 수 있는 기반마련	
성능목표	기존의 합성보와 비교하여 동등 이상의 구조성능을 발휘함과 동시에 강재물량절감 및 층고절감을 실현할 수 있는 복합보의 개발	
성과달성 책임자 (소속기관)	김강수 (서울시립대학교) 이희종 (길교이앤씨)	
소요기간	2015.06 ~ 2015.11 (6개월, 1년차)	
성과달성 확인방법	- 변수분석을 통한 다양한 형상도출 - 이론적 연구를 통한 구조성능 평가 및 경제성 평가 - 최적단면의 도출 및 형상에 대한 특허 출원 또는 등록	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	등록: 1건, 출원 : 1건
	논문	0건
	저작	0건
	S/W	0건
	신기술	0건
	기타	0건

핵심성과 2	개발 복합보의 휨 및 수평전단 저항성능에 대한 해석적, 실험적연구	
정의	급속시공 및 강재물량절감이 가능한 확장 플랜지형 장경간 프리스트레스트 프리캐스트 복합보의 구조성능 (휨 및 수평전단 저항성능)을 확보함.	
목적	개발기술의 구조적 성능을 확보하여 기술화할 수 있는 기반마련	
성능목표	하부 프리캐스트 부재에 도입되는 프리스트레스를 통하여 구조성능(강성, 강도 그리고 연성능력 등)을 확보하여 기존 합성보를 대체할 수 있는 복합보의 개발	
성과달성 책임자 (소속기관)	김강수 (서울시립대학교) 이희종 (길교이앤씨)	
소요기간	2015.12 ~ 2016.5 (6개월, 1년차)	
성과달성 확인방법	- 이론적 연구를 통한 휨 및 수평전단 저항성능 평가 - 실험적 연구를 통한 수평전단 저항성능 검증 - 개발 복합보의 이론적·실험적 연구에 관한 논문게재	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	0건
	논문	국내 학술지: 1건
	저작	0건
	S/W	0건
	신기술	0건
	기타	국내 학술대회 논문발표: 2건, 시제품제작: 1건

핵심성과 3	개발 복합보의 전단저항 매커니즘 및 전단성능에 대한 해석적, 실험적연구	
정의	급속시공 및 강재물량절감이 가능한 확장 플랜지형 장경간 프리스트레스트 프리캐스트 복합보의 구조성능 (전단저항성능)을 확보함	
목적	개발기술의 구조적 성능을 확보하여 기술화할 수 있는 기반마련	
성능목표	개발 복합보의 하부 프리스트레스트 플랜지와 상부 토핑부재 사이의 전단저항 매커니즘을 규명하고, 매립 철골부재의 전단기여분을 정량적으로 평가할 수 있는 해석방법을 개발함과 동시에 실험적으로 검증함.	
성과달성 책임자 (소속기관)	김강수 (서울시립대학교) 이희종 (길교이앤씨)	
소요기간	2016.06 ~ 2017.01 (7개월, 2년차)	
성과달성 확인방법	- 이론적 연구를 통한 전단저항성능 평가방법 개발 - 실험적 연구를 통한 전단저항 매커니즘 규명 및 전단성능 검증 - 개발 복합보의 이론적·실험적 연구에 관한 논문게재	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	0건
	논문	SCI(E)급 학술지: 1건, 국내 학술지: 1건
	저작	0건
	S/W	0건
	신기술	0건
	기타	국외 학술대회 논문발표: 1건, 국내 학술대회 논문발표: 2건

핵심성과 4	개발기술의 시공성·경제성 검토 및 상세지침 작성	
정의	기술의 설계·시공 상세 매뉴얼을 작성하고, 시제품 제작을 수행함으로써 개발기술의 현장적용 가능성을 극대화	
목적	개발기술을 사업화할 수 있는 기반마련	
성능목표	기술의 시공성과 경제성을 분석하여 기존의 공법들에 비해 경쟁력이 있음을 정량적으로 나타내고, 설계·시공 상세지침 작성 및 시제품 제작을 통해 현장적용 가능성을 검증함.	
성과달성 책임자 (소속기관)	김강수 (서울시립대학교) 이희종 (길교이앤씨)	
소요기간	2017.02 ~ 2017.06 (5개월, 2년차)	
성과달성 확인방법	- 시제품 제작을 통하여, 기존의 합성보대비의 공정과 비교함으로써 공정 단계의 감소를 정량적으로 산정 - 기존의 합성보와 비교하여 강재 물량 절감 또는 층고절감으로 인한 경제적 이익을 산정하여 경제성 검토 - 개발 기술의 요소 상세에 관한 특허 출원을 통해 지적재산권/원천기술 확보	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	특허 출원 2건
	논문	0건
	저작	0건
	S/W	0건
	신기술	0건
	기타	시제품제작: 1건, 설계/시공매뉴얼: 1건

다. 정량적 연구성과 목표 및 달성도

구분			목표	달성도(%)	비고
국외 논문 게재	SCI				
	비SCI				
	계				
국내 논문 게재	SCI		1	100%	SCI(E)급 논문게재: 1건
	비SCI		2	100%	일반학술지 논문게재: 2건
	계		3	100%	
특허 출원	국내		3	150%	특허출원: 3건
	국외				
	계		3	150%	
특허 등록	국내		1	추가달성	특허등록: 1건
	국외				
	계				
인력 양성	석사				
	박사				
	계				
기술 이전	계약 건수				
	계약액				
	징수액				
국제 표준화	기고서 제출				
	기고서 채택				
	표준안 채택				
국내 표준화	기고서 제출				
	기고서 채택				
	표준안 채택				
등록·기탁 대상 성과물	보고서 원문				
	연구시설 · 장비				
	기술요약정보				
	생명자원	생명정보			
		생물자원			
		신품종			
	소프트웨어				
	화학물				
기타	시제품		2	200%	시제품제작: 2건
	설계/시공 매뉴얼		1	100%	설계/시공 지침: 1건
	학술논문 발표		5	250%	국내학술논문발표: 4건 국제학술논문발표: 1건

성과 달성	자체 평가
특허등록 1건 / 출원 3건	- 당초 계획보다 많은 1건의 특허를 등록하고, 3건의 특허를 출원하였으므로, 이 연구에서 목표로 하는 '복합보의 원천기술 확보'를 충분히 달성한 것으로 판단됨.
SCI(E)급 학술지 논문게재 1건 일반학술지 논문게재 2건	- 당초 계획대로 SCI(E)급 학술지 1건, 일반학술지 2건의 논문게재를 달성하였으므로, 이 연구개발은 매우 우수하게 진행되었음.
국외학술대회 논문발표 1건 국내학술대회 논문발표 4건	- 학술발표대회에 주기적으로 참석하여 당초 계획보다 많은 5건의 학술논문 발표실적을 달성하였으므로, 이 연구개발은 매우 우수하게 진행되었음.
시제품제작 2건	- 시제품제작 2건을 통해 개발 복합보의 제작공정상의 애로사항을 수정·보완 하였으며, 개발기술의 현장적용 가능성을 검증하였다는 점에서 기술개발을 성공적으로 수행한 것으로 판단됨.
설계/시공 매뉴얼 1건	- 개발기술에 대한 연구결과를 종합하여 설계/시공 상세지침을 작성하였으며, 이를 통해 개발 복합보에 대한 현장 실무자들의 이해를 크게 향상시킬 수 있을 것임.

(1). 국내외 논문 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI 여부 (SCI/비SCI)	게재일	등록 번호
1	친수성 에폭시를 사용하여 FRP 시트로 보강된 슬래브의 휨거동 평가	한국콘크리트학회 논문집	주현진	28-1	대한민국	한국콘크리트학회	비 SCI	2016년 2월	
2	Dual potential capacity model for reinforced concrete beams subjected to shear	Structural Concrete	Deuck Hang Lee	17-3	Belgium	Ernst & Sohn	SCI(E)	2016년 9월	
3	뉴로-퍼지 시스템을 이용한 프리텐션 콘크리트 부재의 전달길이 예측	한국콘크리트학회 논문집	김민수	28-6	대한민국	한국콘크리트학회	비 SCI	2016년 12월	

(2). 국내 및 국제학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	한국콘크리트학회 2015 가을 학술발표대회	한선진	2015년 10월 22일	경주 현대호텔	대한민국
2	한국구조물진단유지관리공학회 2016년 봄 학술발표회	한선진	2016년 4월 7일	제주 휘닉스 아일랜드	대한민국
3	The 7th International Conference of Asian Concrete Federation	Sun-Jin Han	01 Nov, 2016	Hanoi	Vietnam
4	2016 대한건축학회 추계학술발표대회	한선진	2016년 10월 5일	부산 벡스코	대한민국
5	한국콘크리트학회 2017 봄 학술발표대회	한선진	2017년 5월 11일	제주 휘닉스 아일랜드	대한민국

(3). 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

- 해당사항 없음

(4). 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록				기여율
			출원인	출원일	출원번호	등록번호*	등록인	등록일	등록번호	등록번호*	
1	아치메커니즘이 적용된 경량 중공 프리캐스트 보	대한민국	서울시립대학교 산학협력단	2015년 8월 21일	10-2015-0118262						100%
2	광폭 PSC 하부플랜지와 단면확대용 상부 플랜지를 갖는 하이브리드 보 및 이를 이용한 구조물	대한민국	서울시립대학교 산학협력단, ㈜길교이앤씨	2015년 10월 2일	10-2015-0139358		서울시립대학교 산학협력단, ㈜길교이앤씨	2017년 6월 23일	10-1752285		100%
3	트러스 작용을 활용한 프리스트레스트 하이브리드 합성보	대한민국	서울시립대학교 산학협력단	2016년 7월 25일	10-2016-0093963						100%
4	시공단계에서 연속화 공법이 가능한 프리스트레스트 하이브리드 와이드 플랜지 보 구조시스템	대한민국	서울시립대학교 산학협력단	2016년 12월 16일	10-2016-0172379						100%

* 연구개발성과 관리·유통 전담 기관에 등록한 번호 기재

(5). 저작권(소프트웨어, 서적 등)
- 해당사항 없음

(6). 전문 연구 인력 양성
- 해당사항 없음

(7). 산업 기술 인력 양성
- 해당사항 없음

(8). 기술 거래(이전) 등
- 해당사항 없음

(9). 사업화 투자 실적
- 해당사항 없음

(10). 사업화 현황
- 해당사항 없음

(11). 표준화
- 해당사항 없음

(12). 기술요약정보
- 해당사항 없음

(13). 보고서 원문
- 해당사항 없음

(14). 기타
- 시제품 제작: 2건
- 설계/시공 매뉴얼: 1건

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도 (성과점검 기준표 근거)

☞ **총괄**

구분	핵심성과 (CTE)		단위성과		성과점검기준						양적 성과 건수
					질적 성과지표		목표치	달성치	측정방법	검증방법	가중치	
주관	1	급속시공 및 강재물량 절감이 가능한 확장 플랜지형 장경간 프리스트레스트 프리캐스트 복합보의 최적 부재형상 도출 및 경제성 분석	1-1	이론적 연구를 통한 구조성능 해석 및 경제성 평가	①	요구 구조성능 사전 평가	100%	100%	건축구조기준 부합 여부	보고서	5	특허 : 등록 1 건 출원 1 건 SCI(E)급 학술지 1 건 일반학술지 : 2 건 학술대회 논문발표 3 건 설계/시공 매뉴얼 : 1 건
					②	경제성 확보	85%	75% (목표치 85% 초과달성)	전문가 활용 평가	보고서	10	
			1-2	최적단면 도출 및 형상에 대한 특허 출원 또는 등록	①	원천기술확보	100%	100%	개발 복합보의 특허 출원/등록	특허	5	
	2	급속시공 및 강재물량 절감이 가능한 확장 플랜지형 장경간 프리스트레스트 프리캐스트 복합보의 해석적, 실험적 연구 **(공동연구기관과 협동으로 진행)**	2-1	개발복합보의 구조성능을 확보하기 위한 해석적연구 수행	①	요구 구조성능 확보	100%	100%	건축구조기준 부합 여부	보고서	10	
			2-2	개발복합보의 구조성능을 확보하기 위한 실험적연구 수행	②	실물실험	100%	100%	건축구조기준 부합 여부	보고서	15	
			2-3	개발복합보의 구조성능을 이론적, 실험적 연구에 관한 논문게재	③	요구 구조성능 확보	100%	100%	학술논문 게재	학술논문	10	
	3	급속시공 및 강재물량 절감이 가능한 확장 플랜지형 장경간 프리스트레스트 프리캐스트 복합보의 설계/시공 상세 지침서 작성	3-1	개발기술의 설계반영, 공정상의 문제점 파악 및 해결	①	제작과정개선	95%	100%	전문가 활용 평가 및 실무현장 만족도	보고서	10	
			3-2	개발복합보의 설계/시공 상세 지침서 작성	②	설계/시공지침서 작성	100%	100%	건축구조기준 부합 여부	설계 / 시공지침	10	
공동	1	급속시공 및 강재물량절감이 가능한 확장 플랜지형 장경간 프리스트레스트 프리캐스트 복합보의 최적 부재형상 도출 및 경제성 분석	1-1	변수분석을통한 확장 플랜지형 장경간 프리스트레스트 프리캐스트 복합보의 다양한 형상 및 최적 형상 도출	①	철골물량감소	80%	70% (목표치 80% 초과달성)	전문가 활용 평가	보고서	10	특허 : 출원 2 건 학술대회 논문발표 2 건 시제품 : 2 건
					②	현장적용성 확보	100%	100%	전문가 활용 평가	보고서	5	
			1-2	최적단면 도출 및 형상에 대한 특허 출원 또는 등록	②	원천기술확보	100%	100%	개발 복합보의 특허 출원/등록	특허	5	
	3	급속시공 및 강재물량 절감이 가능한 확장 플랜지형 장경간 프리스트레스트 프리캐스트 복합보의 설계/시공 상세 지침서 작성	3-1	시공성 및 현장적용성 평가를 위한 시제품 제작	①	현장적용성 확보	95%	100%	시제품 제작	보고서	5	
계											100	특허 : 등록 1 건 출원 3 건 SCI(E)급 학술지 1 건 일반학술지 : 2 건 학술대회 논문발표 5 건 시제품 : 2 건 설계/시공 매뉴얼 : 1 건

☞ 1차년도

구분	핵심성과 (CTE)		단위성과		성과점검기준							양적 성과 건수
						질적 성과지표	목표치	달성치	측정방법	검증방법	가중치	
주관	1	급속시공 및 강재물량절감이 가능한 확장 플랜지형 장경간 프리스트레스트 프리캐스트 복합보의 최적 부재형상 도출 및 경제성 분석	1-1	이론적 연구를 통한 구조성능 해석 및 경제성 평가	①	요구 구조성능 사전 평가	100%	100%	건축구조기준 부합 여부	보고서	10	특허 : 등록 1 건 출원 1 건 일반학술지 : 1 건 학술대회 논문발표 2 건
					②	경제성 확보	85%	75% (목표치 85% 초과달성)	전문가 활용 평가	보고서	10	
			1-2	최적단면 도출 및 형상에 대한 특허 출원 또는 등록	①	원천기술확보	100%	100%	개발 복합보의 특허 출원/등록	특허	5	
	2	급속시공 및 강재물량절감이 가능한 확장 플랜지형 장경간 프리스트레스트 프리캐스트 복합보의 해석적, 실험적 연구 **(공동연구기관과 협동으로 진행)**	2-1	개발복합보의 구조성능을 확보하기 위한 해석적연구 수행	①	요구 휨 및 연성능력 확보	100%	100%	건축구조기준 부합 여부	보고서	10	
			2-2	개발복합보의 구조성능을 확보하기 위한 실험적연구 수행	②	실물실험	100%	100%	건축구조기준 부합 여부	보고서	20	
			2-3	개발복합보의 구조성능을 이론적, 실험적 연구에 관한 논문게재	③	요구 휨 및 연성능력 확보	100%	100%	학술논문 게재	학술논문	20	
공동	1	급속시공 및 강재물량절감이 가능한 확장 플랜지형 장경간 프리스트레스트 프리캐스트 복합보의 최적 부재형상 도출 및 경제성 분석	1-1	변수분석을통한 확장 플랜지형 장경간 프리스트레스트 프리캐스트 복합보의 다양한 형상 및 최적 형상 도출	①	철골물량감소	80%	70% (목표치 80% 초과달성)	전문가 활용 평가	보고서	10	특허 : 출원 1 건
					②	현장적용성 확보	100%	100%	전문가 활용 평가	보고서	10	
			1-2	최적단면 도출 및 형상에 대한 특허 출원 또는 등록	②	원천기술확보	100%	100%	개발 복합보의 특허 출원/등록	특허	5	
계											100	(목표) 특허 : 출원 1 건 일반학술지 : 1 건 학술대회 논문발표 1 건 (달성) 특허 : 등록 1 건 출원 1 건 일반학술지 : 1 건 학술대회 논문발표 2 건

☞ 2차년도

구분	핵심성과 (CTE)		단위성과		성과점검기준							양적 성과 건수
					질적 성과지표		목표치	달성치	측정방법	검증방법	가중치	
주관	2	급속시공 및 강재물량 절감이 가능한 확장 플랜지형 장경간 프리스트레스트 프리캐스트 복합보의 해석적, 실험적 연구 **(공동연구기관과 협동으로 진행)**	2-1	개발복합보의 구조성능을 확보하기 위한 해석적연구 수행	①	요구 전단성능 확보	100%	50%	건축구조기준 부합 여부	보고서	20	**특허 : 출원** 1 건 **SCI(E)급 학술지** 1 건 **일반학술지 :** 1 건 **설계/시공 매뉴얼 :** 1 건
			2-2	개발복합보의 구조성능을 확보하기 위한 실험적연구 수행	②	실물실험	100%	50%	건축구조기준 부합 여부	보고서	20	
			2-3	개발복합보의 구조성능을 이론적, 실험적 연구에 관한 논문게재	③	요구 전단성능 확보	100%	50%	학술논문 게재	학술논문	10	
	3	급속시공 및 강재물량 절감이 가능한 확장 플랜지형 장경간 프리스트레스트 프리캐스트 복합보의 설계/시공 상세 지침서 작성	3-1	개발기술의 설계반영, 공정상의 문제점 파악 및 해결	①	제작과정개선	95%	-	전문가 활용 평가 및 실무현장 만족도	**보고서**	20	
			3-2	개발복합보의 설계/시공 상세 지침서 작성	②	설계/시공지침서 작성	100%	-	건축구조기준 부합 여부	**설계 / 시공지침**	20	
공동	3	급속시공 및 강재물량 절감이 가능한 확장 플랜지형 장경간 프리스트레스트 프리캐스트 복합보의 설계/시공 상세 지침서 작성	3-1	**시공성 및 현장적용성 평가를 위한 시제품 제작**	①	현장적용성 확보	95%	-	시제품 제작	보고서	10	**학술대회 논문발표** 1 건 **시제품 :** 1 건
계											100	(목표) **특허 : 출원** 1 건 **SCI(E)급 학술지** 1 건 **일반학술지 :** 1 건 **학술대회 논문발표** 1 건 **시제품 :** 1 건 **설계/시공 매뉴얼 :** 1 건 (달성) **특허 : 출원** 2 건 **SCI(E)급 학술지** 1 건 **일반학술지 :** 1 건 **학술대회 논문발표** 3 건 **시제품 :** 2 건 **설계/시공 매뉴얼 :** 1 건

2. 관련 분야 기여도

가. 타 산업에 미치는 효과

○ 급속시공 및 강재물량절감이 가능한 확장 플랜지형 장경간 프리스트레스트 프리캐스트 복합보의 구조성능 및 경제성 확보를 기반으로 하여, 관련 프리캐스트 부재 및 합성부재들과 관련된 연구의 기초적인 데이터를 확보할 수 있음.

○ 급속시공 및 강재물량절감이 가능한 확장 플랜지형 장경간 프리스트레스트 프리캐스트 복합보의 설계 및 평가 기술의 개발을 기반으로 타 구조물(TSC 합성보, 하이브리드 구조 등)에 대한 구조성능 평가관련 기초 연구자료 및 평가 기술을 제공할 수 있으며, 관련 철강 및 콘크리트산업의 활성화를 통하여 제반 건설 관련 산업들의 기술경쟁력 향상에 이바지 할 수 있을 것임.

나. 관련 연구개발의 전망

○ 공기단축, 층고절감 및 강재물량 절감이 가능한 복합보의 설계 및 시공기술이 이 연구과제를 통해 달성되었으므로, 기존 합성구조인 TSC 보, I-Tech 보, 강판성형 합성보 등의 관련 공법들의 벤치마킹 대상이 될 수 있는 선도적인 연구로서의 역할을 할 수 있을 것으로 판단됨.

○ 개발 기술은 건축구조물 뿐만 아니라, 토목구조물에도 적용이 가능한 하이브리드 시스템으로써, 건축과 토목분야에 모두 적용이 가능하여 건설시장에서 파급효과가 매우 클 것으로 기대됨.

제5장. 연구개발성과의 활용계획

1. 연구개발성과의 활용방안

○ **경제적인 장경간 구조를 실현할 수 있는 원천기술의 확보**

- 기존의 합성보 시스템이 가지고 있는 설계적, 경제적, 시공적 측면의 문제점을 파악하고, 이를 극복할 수 있는 프리스트레스가 도입된 강재절감 확장 플랜지형 프리스트레스트 프리캐스트 복합보 시스템을 개발하여 동일한 구조성능을 발휘함과 동시에 강재량 절감, 층고절감 등의 우수한 경제성을 확보함. 또한, 개발된 복합보의 특허 출원 또는 등록을 통해 [그림 5-1]에 나타낸 것과 같이 경제적인 장경간 구조를 실현할 수 있는 원천기술을 확보함.
- 공동연구기관인 ㈜길교이앤씨에서는 개발 복합보 하부 프리캐스트 부재를 생산하도록 시스템을 구축하고 연구 결과물로서 구조신뢰성을 확보하는 한편, 생산성 및 공사비 등의 경제성 분석을 통하여 현장적용 가능성을 극대화 함. 특히, 공장에서 제작되는 균일한 품질의 PC제작 방식을 접목함으로써 현재 건설시장에서 중요하게 요구되는 공기단축을 실현하면서도, 강-콘크리트 합성보의 장점들을 극대화하는 것이 큰 이점임.



(a) 주차장 구조물의 장경간화



(b) 대형물류창고

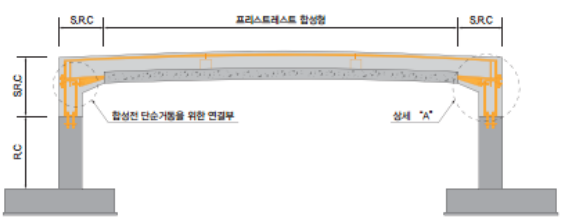


(c) PC공법이 적용된 반도체 공장

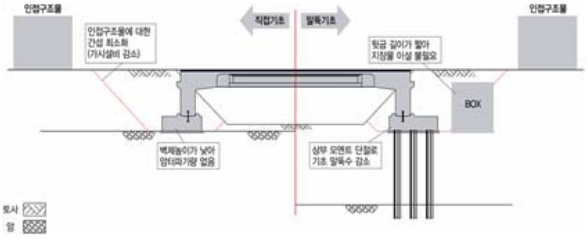
[그림5-1] 원천기술 확보를 통한 건설시장 진입 (건축분야)

○ **하이브리드 공법으로서 건축 및 토목분야에서의 동시적용가능성 극대화**

- [그림5-2]에 나타낸 것과 같이 개발된 복합보의 하부 플랜지는 프리스트레스가 도입된 와이드형 프리캐스트 부재로서 공장에서 선제작 되고, 건축뿐만 아니라 교량 등의 토목분야에도 적용 가능함. 따라서, 건축과 토목을 통합하는 하이브리드 복합보 시스템으로서의 위치를 확고히 할 수 있을 것임.



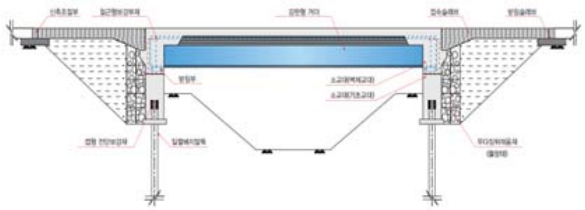
(a) PSI 강합성 라멘교



(b) LC 라멘교



(c) PIA 일체식교대 교량



(d) SIA 일체식교대 교량

[그림5-2] 원천기술 확보를 통한 건설시장 진입 (토목분야)

○ **학술발표 및 마케팅을 통한 개발기술의 홍보**

- 주관연구기관인 서울시립대학교에서는 연구개발과제가 종료된 이후에도 개발된 복합보의 구조 성능 및 거동양상을 국제, 국내저명 학술지에 게재함으로써 그 우수성 및 장점에 대하여 홍보하고, 매년 학회에서 개최되는 학술발표대회에서 이를 발표함으로써 개발기술의 현장적용 기회를 확보할 수 있도록 적극적인 활동을 수행할 것임.
- 공동연구기관인 ㈜길교이앤씨는 프리스트레스트 강합성보, PSC보 등의 분야에서 다수의 특허를 보유하고 있으며, 설계 및 시공에 대한 기술력 및 영업력을 확보한 기업으로써 자체 기업부설연구소, 설계부 및 영업부를 운영 중에 있으므로, 이 연구를 통하여 개발기술의 적극적인 마케팅을 수행하고, 추후 사업화를 추진할 예정임.



2. 기대효과

ㅇ 기술적 측면

- 기존의 합성보 시스템에서 확보하기 어려웠던 슬래브 연속철근 배근을 가능하게 함으로써 슬래브와의 일체성을 확보할 수 있고, 슬래브 순경간의 감소로 시공 중 동바리가 요구되지 않으므로 별도의 공정이 요구되지 않음.
- 강재 가공 시 허니콤 방식을 이용하여 대칭으로 제작함으로써 작업을 단순화하며, 불필요한 재료의 낭비를 최소화한 친환경 기술임.
- 큰 면적을 가지는 하부 플랜지에 강연선을 이용하여 프리스트레스를 도입하기 때문에 동일한 부재 높이에서 강성과 강도를 증진시킬 수 있으며, 층고 증가 없이 장경간을 구현할 수 있음.
- 하부 PC 플랜지는 공장에서 제작되는 프리캐스트 부재이므로 공기단축이 가능하며, 현장에서는 부재를 배치함과 동시에 타설이 가능하고, 프리스트레스가 도입된 고강성의 PC부재이기 때문에 가설재 설치를 최소화 할 수 있음.
- 매립된 철골부재를 통해 하부 PC 콘크리트 부재와 현장에서 타설되는 콘크리트와의 합성효과를 극대화 할 수 있으며, 별도의 전단연결재가 요구되지 않으므로, 합성 부재 설계 시 반드시 고려해야 하는 합성효과에 대한 설계를 생략할 수 있음.
- 국내 건설현장에서 적용되고 있는 기존 합성보는 건축과 토목에 공용으로 사용되지 못하고 있는 실정이나, 확장 플랜지형 복합보는 건축분야의 지하주차장 및 복합물류센터 뿐만 아니라 토목분야의 일체식 교대교량 및 라멘교의 상부거더로 활용될 수 있어 그 기술적 파급효과가 상당할 것임.

ㅇ 경제적 · 산업적 측면

- 불필요한 강재의 낭비를 최소화하는 기술로서 환경 친화적이고, 경제성이 뛰어난 시스템임.
- 부재제작 시 투입되는 물량감소에 따른 재료비감소 뿐만 아니라, 하부 플랜지가 프리캐스트 부재로 제작됨으로써 얻을 수 있는 균일한 품질의 부재생산, 현장에서의 불필요한 공기단축, 노무비 절감이 실현됨에 따라 높은 경제성이 확보될 것으로 기대됨.
- 시제품제작을 통해 개발부재의 현장적용 및 상용화 가능성을 한층 더 높일 수 있을 것으로 기대됨. 특히, 장경간 구조물이 많아지는 현재 추세를 고려할 때 경제성 확보와 동시에 장경간에 적합한 구조성능을 갖춘 개발 복합보는 건설시장의 요구를 충족시키는 최적의 수평부재로 거듭날 것임.
- 개발기술은 건축 및 토목시장의 발전에만 국한된 것이 아니라 관련 산업인 콘크리트와 강재 산업발전에 상당부분 기여할 수 있는 파급효과를 가지고 있음.
- 개발기술은 슬래브 콘크리트의 타설 하중을 거푸집 동바리가 아닌 보가 직접 지지하므로 거푸집 동바리 붕괴사고가 발생되지 않음. 따라서, 개발기술은 시공환경을 개선시켜 사고위험을 줄이고 안전성을 확보할 수 있는 기술로서 자리매김 할 것임.

ㅇ 사회적 측면

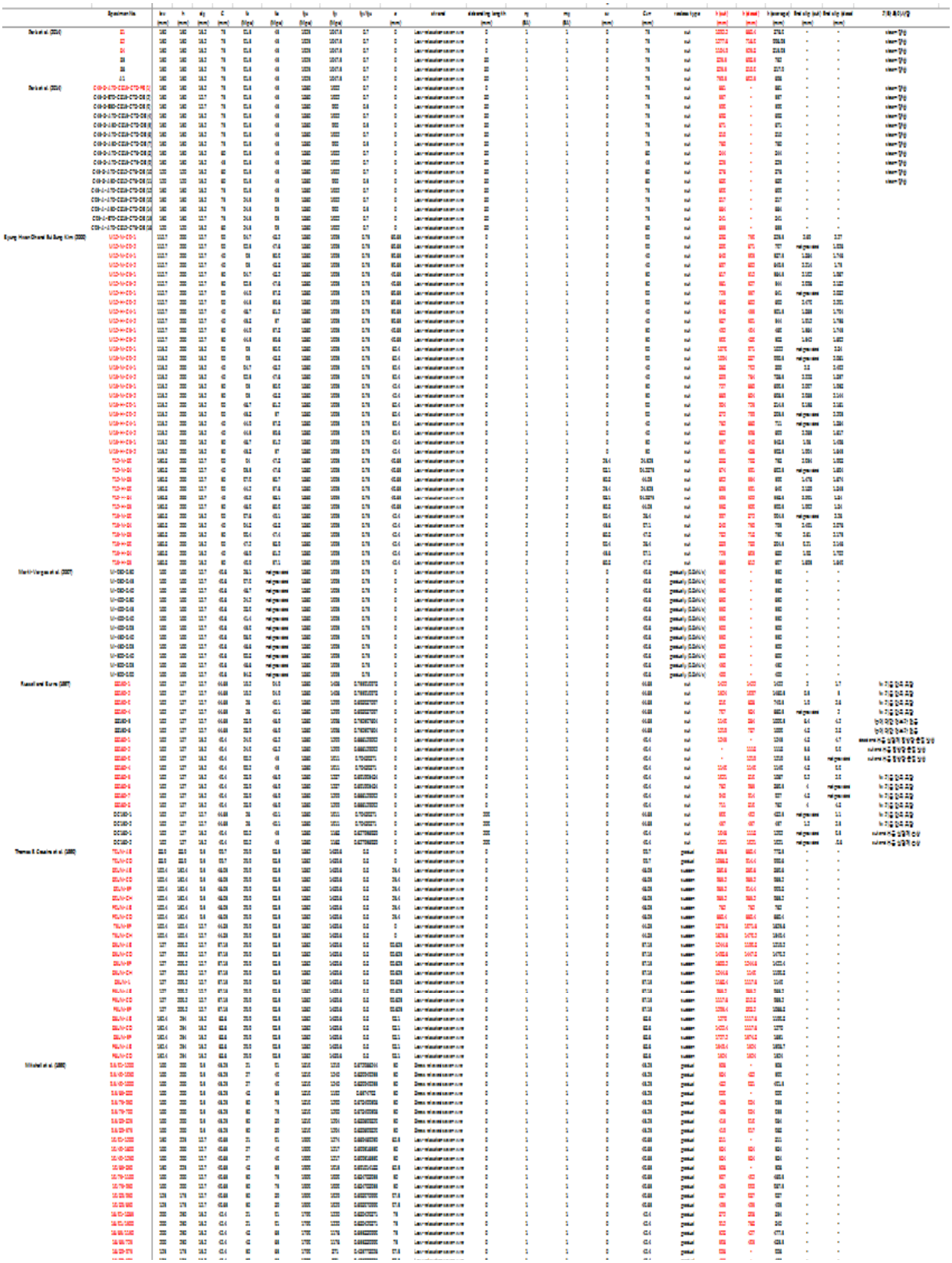
- 국내 건설 수주가 2011년을 제외하면 2008년 이후 최근까지 감소세가 지속되었으며,

건설 투자도 수정예산 편성을 통해 정부 SOC 예산을 전년 대비 25% 늘렸던 2009년을 제외하면 2008년 이후 현재까지 감소세가 지속되고 있는 추세임. 이 연구를 통해 개발된 확장 플랜지형 복합보는 건설공사의 기본이 되는 기초 구조물의 공사비용을 절감시킬 수 있어 SOC 예산의 조기 편성을 기대할 수 있으며, 이로 인해 건설경기 부양에 크게 도움이 될 것임.

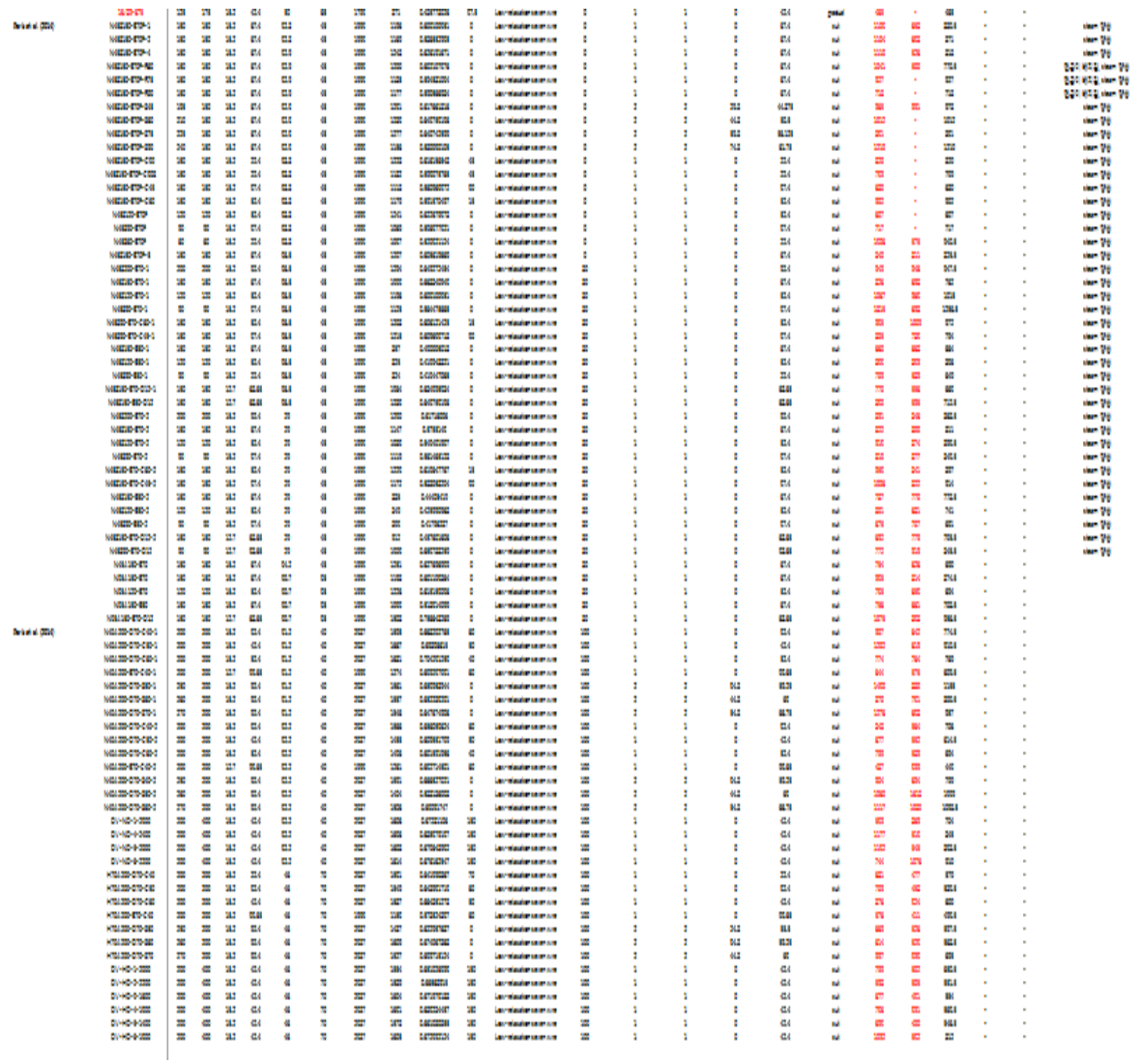
- 현장적용성 및 시공성이 우수한 복합보 기술개발로 공기단축 및 공사비 절감효과를 기대할 수 있으며, 국외 기술에 대응할 수 있는 독보적인 국내 원천기술로서 자리매김하여, 향후 해외시장 경쟁력을 확보할 수 있을 것임.
- 개발기술은 제작 시 불필요한 폐기물을 발생시키지 않는 친환경 기술이고, 기존 합성보의 단점을 보완하고 장점을 살린 혁신적 기술 이므로, 이후 녹색기술 인증 및 신기술인증 추진을 통해 건설시장에 큰 파급효과를 가지고 올 것임.

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

○ 기존의 다양한 연구로부터 수집된 프리스트레스트 콘크리트 부재의 전달길이 실험 데이터베이스 ((그림 6-1])

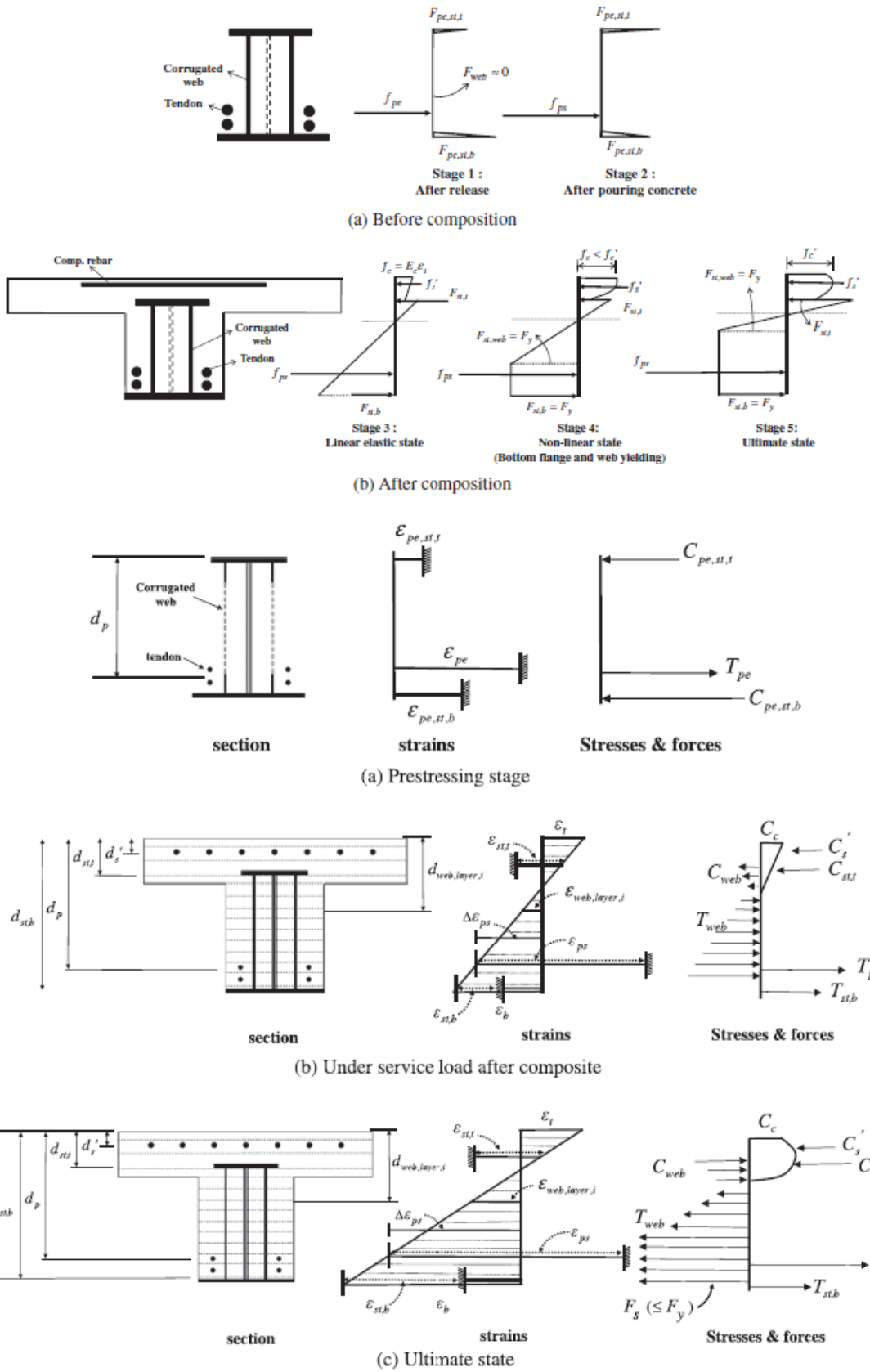


[그림 6-1] 프리텐션 부재의 전달길이 실험 데이터베이스

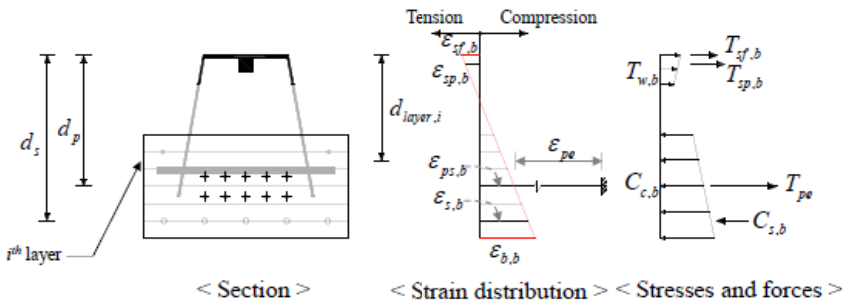


[그림 6-1] 프리텐션 부재의 전달길이 실험 데이터베이스 (계속)

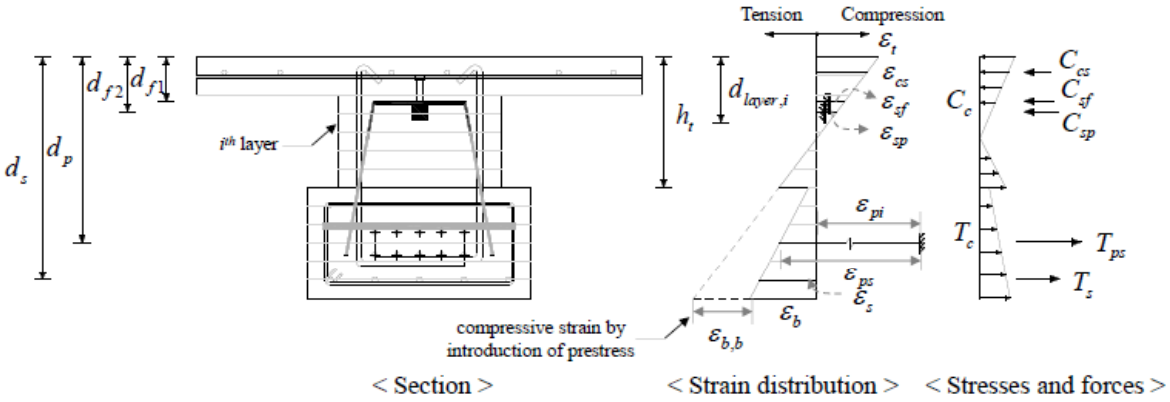
○ 프리스트레스트 강 합성보의 휨해석 모델 ([그림 6-2]) 및 이를 기반으로 제안한 개발 복합보의 비선형 해석모델 ([그림6-3])



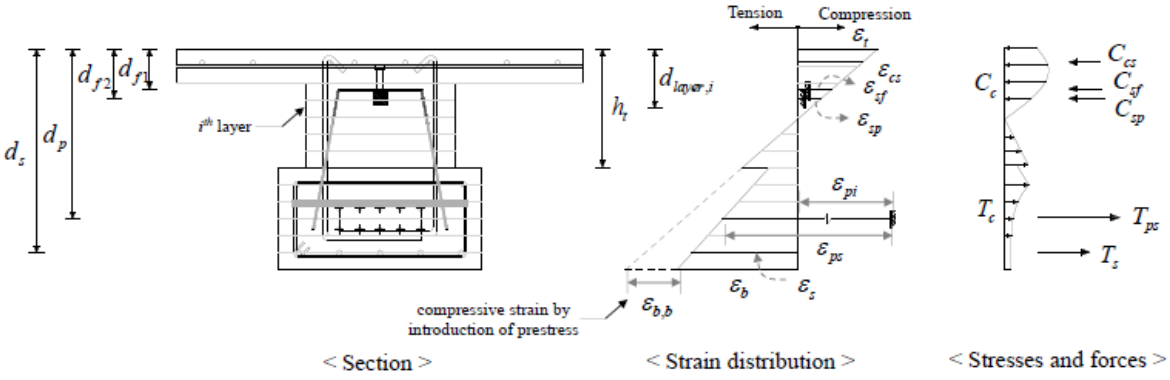
[그림 6-2] 프리스트레스트 강 합성보의 휨해석 모델 개념도



(a) At prestress transfer (before composite)



(b) Linear-elastic stage (after composite)



(c) Nonlinear stage (after cracking)

[그림 6-3] 개발 복합보의 비선형 해석모델

제7장. 연구개발성과의 보안등급

보안등급 분류	보안	일반
		√
결정 사유	보안과제 아님	

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황 (해당사항 없음)

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호

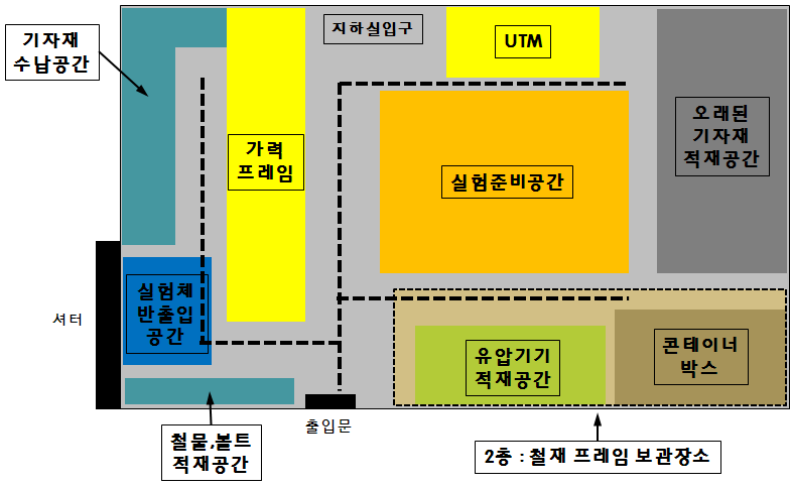
제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

1. 연구실 안전조치 이행계획

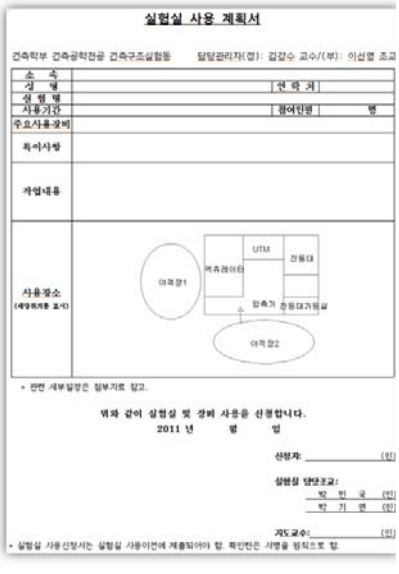
가. 연구실 안전 점검 체계 및 실시

1) 실험실 안전 점검 체계

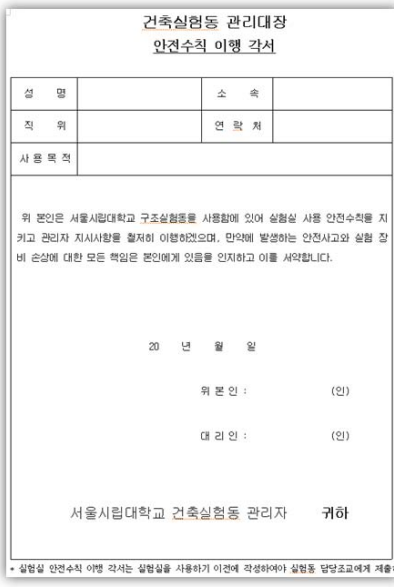
○ 실험이 수행되는 실험동은 아래 그림과 같이 안전구획에 따라 관리한다.



○ 실험동 사용 시 사용계획을 수립하고 실험동 사용 안전사항 및 수칙을 숙지하며, 정해진 관리 및 출입 대장을 작성한다.


실험실 사용 계획서




건축실험동 관리대장
안전수칙 이행 각서

성 명		소 속	
직 위		연 락 처	
사 용 목 적			

위 본인은 서울시립대학교 구조실험동을 사용함에 있어 실험실 사용 안전수칙을 지키고 관리자 지시사항을 철저히 이행하겠으며, 만약에 발생하는 안전사고와 실험 장비 손상에 대한 모든 책임은 본인에게 있음을 인지하고 이를 서약합니다.

20 년 월 일

위 본 인 : (인)

대 리 인 : (인)

서울시립대학교 건축실험동 관리자 귀하

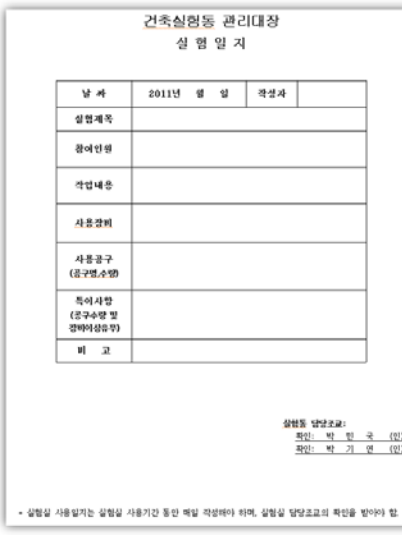


실험기자재 출입대장

건축학부 건축공학전공 건축구조실험동 담당관리자(정): 김강수 교수/(부): 이선영 조교
실험동담당조교: 박한국 , 박기연

날짜	사용 품목	담당교수	데이지 (서명요)	출입일지 (시간)	반납일지 (시간)	연락처	반납확인

• 실험기자재 출입대장은 실험동 외부에서 사용할 모든 실험기기에 대하여 작성하여 서명하여야 함. 사용 완료 후에는 반드시 실험동 조교에게 수량 및 상태 검검을 받고 반납확인 서명을 받아야 함.



건축실험동 관리대장
실 험 일 지

날 짜	2011년 월 일	작성자	
실험제목			
참여인원			
작업내용			
사용장비			
사용공구 (공구명,수량)			
특이사항 (공구수량 및 경하이상유무)			
비 고			

실험동 담당조교:
확인: 박 한 국 (인)
확인: 박 기 연 (인)

• 실험실 사용일지는 실험실 사용기간 동안 매일 작성해야 하며, 실험실 담당조교의 확인을 받아야 함.



실험실 사용 상세내용

(실험실 사용 완료후 변경사항을 반영하여 작성)

1. 사용자 및 사용기간

소 속			
성 명		연 락 처	
실 험 명			
총사용기간	년 월 일 ~ 년 월 일 (총 일간)	사용료	원

2. 세부일정 (* 실제 사용한 일자와 기입요)

일자(요일)							
내용							
일자(요일)							
내용							
일자(요일)							
내용							
일자(요일)							
내용							

3. 사용 기자재

No.	사용기자재	관련 실험 항목	비고
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

* 가능한 상세하게 사용기자재 리스트를 기입요.

실험실 담당조교:
박 한 국 (인)
박 기 연 (인)

※ 실험실 사용 상세 내용은 실험 완료후의 (실험계획과 일치한) 변경사항을 기입하여야 하며, 총 사용기간에 따라 사용료를 납부하여야 함.

2) 실험실 정밀안전진단 실시

○ 연구실의 안전점검 및 정밀안전진단은 시설물 안전점검 및 정밀안전진단 지침에 근거하여 마련된 연구실 자체 지침에 따른다.

○ 안전점검으로 정기점검은 6개월에 1회 실시하는 것으로 하며, 정밀점검은 1년에 1회 실시하는 것으로 한다.

○ 안전점검 및 정밀안전진단의 실시자는 주관연구 책임자 또는 박사과정 연구원으로 하되, 지침을 반드시 숙지하도록 한다.

나. 교육 훈련

○ 참여연구원의 교육훈련은 산업안전 보건교육규정에 의거하여 실시하는 것을 원칙으로 한다.

○ 교육은 1년에 1회 현장교육을 실시하며 교육을 실시하는 자는 안전보건공단의 교육과정을 이수한자로서 주관연구 책임자 또는 박사과정 연구원에 한한다.

○ 모든 참여 연구원은 1년에 1회 건강검진을 실시하며, 실험을 진행하는 자 및 참여하는 자는 교내에서 지원하는 상해보험에 가입한다.

다. 보험 가입 현황

1) 보험계약 일반

○ 보험(공제)적용 : 휴무·공휴일 관계없이 적용

○ 가입대상 : 서울시립대학교가 인정하는 서울시립대학교 연구활동종사자

○ 가입인원 : 5700여명 (대학 4000명, 대학원 1700명)

○ 보험(공제)종류 :「연구실 안전환경 조성에 관한 법률」에 따라 연구실에서 발생한 사고로 인한 부상·질병·신체장해·사망 등 생명 및 신체상의 손해를 보상하는 내용이 포함된 보험(공제)

○ 보험(공제)적용

- 연구활동종사자 전공 및 신분에 따라 보험(공제)료 차등 적용
- 계약 당시 내역에 없는 연구활동종사자라도 사고 당시 서울시립대학교 연구활동종사자인경우에는 보험(공제)적용(신고지체, 누락 등)

- 연구개발과정과 교과과정에서 직접 필요한 시험, 실험, 측정, 분석 등 이와 유사한 활동 중의 손해
- 연구실험용 기계, 기구, 장치, 실험재료의 구입, 설치 및 건설 폐기 등 이와 유사한 활동 중의 손해
- 상해에는 유독가스 또는 유독물질을 우연하게도 일시에 흡입, 흡수 또는 섭취 하였을 때에 생긴 중독증상을 포함
- 타 대학·연구기관·산업체등에서 상기 활동 중 발생 한 손해

2) 보험(공제 제안 내용)

○ 보장내역 및 한도

구분	지급사유	보장 한도
사망	사망 및 치료 중 사망	1억원
후유장해	교육과학기술부 장관이 최근 고시한「연구실사고에 대한 보상기준」지급	1억원
부상	교육과학기술부 장관이 최근 고시한 「연구실사고에 대한 보상기준」지급	1천만원

○ 보장내역별 제안내용
- 타 제도에 의한 보상과 관계없이 중복 보상
- 실제 발생한 의료비 보상
- 국민건강보험에서 본인부담금 및 모든 비급여 보상

○ 지급제한(면책사항)
- 계약자나 피보험(공제)자의 고의. 다만 계약자가 피보험(공제)자의 교육·연구 활동 목적상 의도적인 활동으로 발생하는 손해는 보상
- 피보험(공제)자의 자해, 자살, 자살미수, 형법상의 범죄행위 또는 폭력행위(다만, 형법상 정당방위, 긴급피난 및 정당행위로 인정되는 경우에는 보상)
- 피보험(공제)자의 질병. 다만 보장하는 상해가 원인이 되어 질병에 걸렸을 경우에는 보상
- 피보험(공제)자의 임신, 출산(제왕절개 포함), 유산 또는 외과적 수술, 그 밖의 의료처치. 그러나 보험사(공제회)가 부담하는 상해로 인한 경우에는 보상

○ 기타 사항은 「연구실 안전환경 조성에 관한 법률」 및 표준 보험(공제)약관에 따른다.

○ 위 사항에 명시되지 않은 사항은 학교 의견에 따르며, 계약내용에 대하여는 쌍방 간 협의를 통해 변경할 수 있다.

2. 연구실 안전조치 이행실적

- 실험동 사용 시 사용계획을 수립하고 실험동 사용 안전사항 및 수칙을 숙지하며, 정해진 관리 및출입 대장을 작성하였음.
- 또한, 아래 그림과 같이 1년에 1회 안전에 관한 현장교육을 실시함.



- 안전조치 이행계획에 따라 실험실을 운영한 결과, 2년간의 연구개발기간 동안 안전사고는 한 차례도 발생하지 않았음.

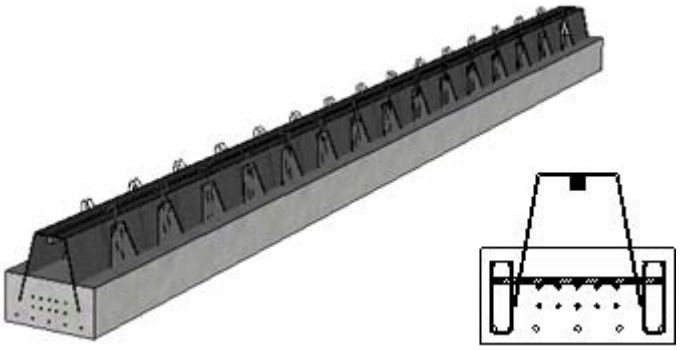
제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적 (5개 이내)

번호	구분 (논문/특허/기타)	논문명/특허명/기타	소속기관명	역할	논문 게재지/특허 등록국가	영향력 지수	논문 게재일/특허 등록일	사사 여부 (단독사사 또는 중복사사)	특기사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문	Dual potential capacity model for reinforced concrete beams subjected to shear	서울시립대학교	주관	Structural Concrete	1.023	2016. 03.	단독사사	SCI(E)
2	논문	친수성 에폭시를 사용하여 FRP 시트로 보강된 슬래브의 휨거동 평가	서울시립대학교	주관	한국콘크리트학회 논문집	-	2016. 02.	단독사사	-
3	논문	뉴로-퍼지 시스템을 이용한 프리텐션 콘크리트 부재의 전달길이 예측	서울시립대학교	주관	한국콘크리트학회 논문집	-	2016. 12.	단독사사	-
4	특허등록	광폭 PSC 하부플랜지와 단면확대용 상부플랜지를 갖는 하이브리드 보 및 이를 이용한 구조물	서울시립대학교, (주)길교이앤씨	주관	대한민국	-	2016. 06. 23	단독사사	-
5	특허출원	트러스 작용을 활용한 프리스트레스트 하이브리드 합성보	서울시립대학교	주관	대한민국	-	2016. 07. 25	단독사사	-

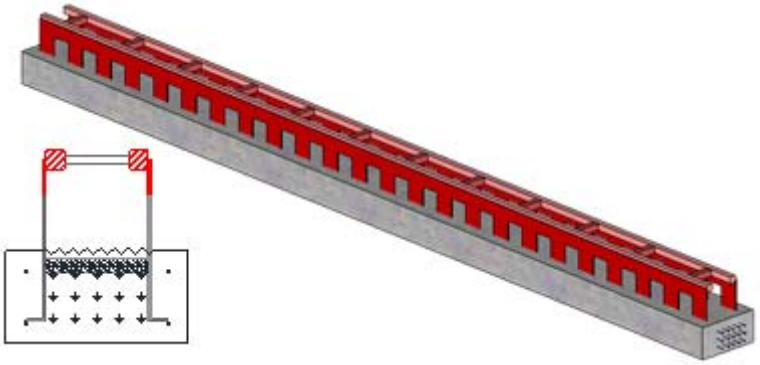
제11장. 기타 사항

1. 개발기술의 애로사항 해결과정

구분(연도)	발생된 애로사항	해결방법	결과
1차 연도 (2015.06 ~ 2016.06)	-매립철골의 압축플랜지를 강판으로 제작하여 토핑콘크리트 타설 시 콘크리트가 매립철골 내부로 밀실하게 충전되기 어려움.	-매립철골의 압축플랜지를 등가의 단면적을 가지는 압축각바로 대체함으로써 압축측 저항기구를 형성하였음. 또한, 양쪽의 압축측 각바 사이에는 간격유지재를 일정 간격으로 배치함으로써 강도발현 시점 이전에 발생될 수 있는 각바의 좌굴을 방지하고, 전단연결재 역할을 할 수 있도록 제작함. ([그림 11-1] 참조)	-압축플랜지를 각바로 제작함으로써 전단스터럽 배치가 용이하며, 상부 플랜지가 존재하지 않기 때문에 밀실한 토핑콘크리트 타설이 가능하고, 간격유지재는 전단연결재 역할 뿐만 아니라, 작업자의 발판 역할을 함.



(a) 디테일 초안



(b) 디테일 변경안

[그림 11-1] 복합보의 시공성 확보를 위한 상세 변경

구분(연도)	발생된 애로사항	해결방법	결과
1차 연도 (2015.06 ~ 2016.06)	-매립철골의 끝단에 길이방향 철근을 용접하여 하부 플랜지 내에 정착시켰음. -복합보의 시공단계 휨성능 실험 시 매립철골과 콘크리트 사이에 슬립이 발생하고, 정착단 부근에 균열이 발생하여 부재의 수평전단 저항성능을 저하시킴. ([그림 11-2] 참조)	-매립철골에 횡방향 ㄱ자 앵글을 용접하여 하부 플랜지 콘크리트 내부에 정착시켰으며, 이를 통해 콘크리트와 매립철골 사이에 발생되는 수평슬립을 방지하고자 하였음. -횡방향 ㄱ자 앵글의 배치 간격은 간격유지재의 간격과 동일하게 설계하였음. ([그림 11-3(a)] 참조)	-횡방향 앵글로 인해 매립철골과 콘크리트 사이의 슬립은 발생되지 않았으며, 이에 따라 압축측 각바는 항복변형률을 넘어서 충분히 연성적인 거동을 나타내었음. -결과적으로, 수정된 상세를 가진 부재의 휨강도는 기존상세를 가진 부재에 비해 더 높았으며, 설계강도보다 더 큰 휨성능을 발휘하는 것으로 나타남. ([그림 11-3(b)] 참조)

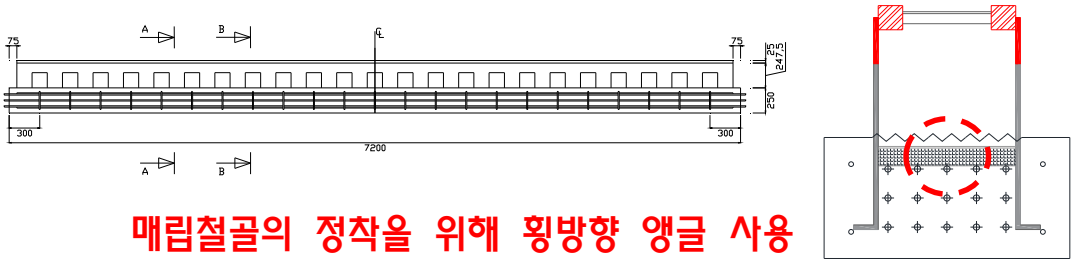


(a) 디테일 초안

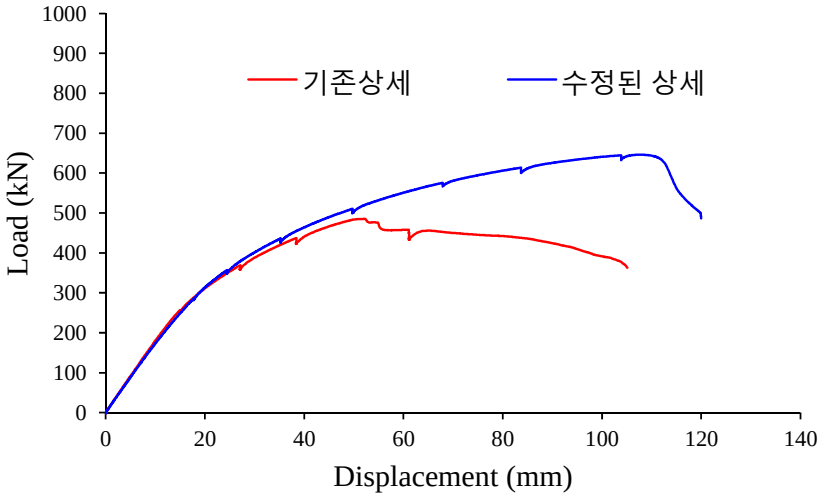


(b) 슬립 및 정착단 균열

[그림 11-2] 복합보 매립철골의 잘못된 정착으로 인해 발생된 애로사항



(a) 디테일 수정안



(b) 수정된 상세로 인해 향상된 구조성능

[그림 11-3] 매립철골의 정착상세 변경을 통한 구조성능 확보

제12장. 참고 문헌

1. Ayyub, B. M., Sohn, Y.G., and Saadatmanesh, H., "Prestressed Composite Girders under Positive Moment," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 116, No. 11, 1990, pp. 2931-2951.
2. Ayyub, B. M., Sohn, Y.G., and Saadatmanesh, H., "Prestressed Composite Girders. I: Experimental Study for Negative Moment," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 118, No. 10, 1992, pp. 2743-2762.
3. Ayyub, B. M., Sohn, Y.G., and Saadatmanesh, H., "Prestressed Composite Girders. II: Analytical Study for Negative Moment," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 118, No. 10, 1992, pp. 2763-2783.
4. Kim, J. H, Park, K. H, Hwang, Y. K, Choi, Y. M, and Cho, H. N., "Experimental Study for the Development of Steel-Confined Concrete Girder," *Journal of Korean Society of Steel Construction*, Vol. 14, No. 5, 2002, pp. 593-602.
5. Kim, J. I, Kim, D. K, Lee, J. H, and Kim, J. H., "Static Behavior of Concrete-Filled and Tied Steel Tubular Arch (CFTA) Girder," *Journal of Korean Society of Steel Construction*, Vol. 13, No. 3, 2009, pp. 225-231.
6. Hong, W. K., Park, S. C., Kim, J. M., Lee, S. G., Kim, S. I., Yoon, K. J., and Lee, H. C., "Composite Beam Composed of Steel and Precast Concrete (Modularized Hybrid System, MHS). Part I: Experimental Investigation," *Structural Design of Tall and Special Buildings*, Vol. 19, No. 3, 2010, pp. 275-289.
7. Hong, W. K., Kim, J. M., Park, S. C., Kim, S. I., Lee, S. G., Lee, H. C., and Yoon, K. J., "Composite Beam Composed of Steel and Precast Concrete (Modularized Hybrid System, MHS). Part II: Analytical Investigation," *Structural Design of Tall and Special Buildings*, Vol. 18, No. 8, 2010, pp. 891-905.
8. Hong, W. K., Park, S. C., Lee, H. C., Kim, J. M., Kim, S. I., Lee, S. G., and Yoon, K. J., "Composite Beam Composed of Steel and Precast Concrete (Modularized Hybrid System, MHS). Part III: Application for a 19 Story Building," *Structural Design of Tall and Special Buildings*, Vol. 19, No. 6, 2010, pp. 679-706.
9. Hong, W. K., Park, S. C., Kim, J. M., Lee, S. G., Kim, S. I., Yoon, K. J., and Lee, H. C., "Composite beam composed of steel and precast concrete (Modularized Hybrid System, MHS). Part IV: Application for Multi-Residential Housing," *Structural Design of Tall and Special Buildings*, Vol. 19, No. 3, 2010, pp. 275-289.
10. Kim, S. B., Kim, S. S., and Ryu, D. S., " Study on the Cyclic Seismic Testing of U-shape Hybrid Composite Beam-to-Composite Column Connections," *Journal of Korean Society of Steel Construction*, Vol. 25, No. 1, 2013, pp. 47-59.
11. Bae, D. B., and Lee, K. M., "Behavior of Preflex Beam in Manufacturing Process," *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. 8, No. 1, 2007, pp. 111-115.
12. Abbas, H. H., Sause, R., and Driver, H. G., "Analysis of Flange Transverse Bending of Corrugated Web. I-Girders under In-Plane Loads," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 133, No. 3, 2007, pp. 347-355.
13. Kim, K. S., Lee, D. H., Choi, S. M., Choi, Y. H., Jung, S. H., "Flexural Behavior of Prestressed Composite Beams with Corrugated Web: Part I. Development and

Analysis," *Composites Part B: Engineering*, Vol. 42, No. 1, 2011, pp. 1603-1616.
14. Kim, K. S., and Lee, D. H., "Flexural Behavior of Prestressed Composite Beams with Corrugated Web: Part II. Experiment and Verification," *Composites Part B: Engineering*, Vol. 42, No. 1, 2011, pp. 1617-1629.
15. Oh, J. Y., Lee, D. H., and Kim, K. S., "Accordion Effect of Prestressed Steel Beams with Corrugated Webs," *Thin-Walled Structures*, Vol. 57, No. 1, 2012, pp. 49-61.
16. Oh, J. Y., Lee, D. H., Cho, S. H., Kang, H., Cho, H. C., and Kim, K. S., "Flexural Behavior of Prestressed Steel-Concrete Composite Members with Discontinuous Webs," *Advances in Materials Science and Engineering*, Article ID: 278293, 2015, pp. 1-13.
17. Lee, D. H., Oh, J. Y., Kang, H., Kim, K. S., Kim, H. J., and Kim, H. Y., "Structural Performance of Prestressed Composite Girders with Corrugated Steel Plate Webs," *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 104, No. 1, 2015, pp. 9-21.
18. Heo, B. Y. W., Kwak, M. K, Bae, K. W., and Heong, S. M., "Flexural Capacity of Profiled Steel Composite Beams: deep deck plate," *Journal of Korean Society of Steel Construction*, Vol. 19, No. 3, 2007, pp. 247-258.
19. ACI Committee 318, *Building Code Requirements for Structural Concrete* (ACI 318-11) *and Commentary*, American Concrete Institute, Farmington Hills, 2011, pp.
20. Collins, M. P. and Mitchell, D., *Prestressed Concrete Structure*, Prentice Hill, 1991, 766 pp.
21. 한국콘크리트 학회, "콘크리트 구조설계기준," 한국콘크리트학회, 2012, 342 pp.

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.

2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.