보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( ) 발간등록번호()
국토교통기술사업화지원사업 제3차 연도 최종보고서

R&D / 19TBIP-C143946-03

동바리 대체용 T형 캔틸레버 브라켓을 구비한 중앙지간장 100M급 이중합성 강박스 거더 교량의 설계 및 시공기술 개발 최종보고서

2021. 01. 08.

주관연구기관 / (주)서린브릿지텍
공동연구기관 / (주)신원알피씨

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

19TBIP-C
143946-03

100M급 이중화형 강합스커더 교량의 설계 및 시공기술 개발

동바리 대체용 T형 캔틸레버 브라켓을 구비한 중앙지간장

최종 보고서

2021

국토교통과학기술진흥원

국 토 교 통 부

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

'국토교통기술사업화지원사업'(연구개발 기간 : 2018.04.01 ~ 2020.12.31) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2021. 01. 08

주관연구기관명 : ㈜서린브릿지텍 (대표자) 공 금 배

공동연구기관명 : ㈜신원알피씨 (대표자) 이 성 원

주관연구기관책임자: 서 석 구
공동연구기관책임자: 이 성 원

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>19TBIP-C1
43946-03</td><td>해당 단계
연구 기간</td><td>2020.01.01~
2020.12.31</td><td>단계구분</td><td>2020.01.01~2020.12.31/
2018.04.01~2020.12.31</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4">국토교통기술사업화지원사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">동바리 대체용 T형 캔틸레버 브라켓을 구비한 중앙지간장 100M급 이중합성 강박스 거더 교량의 설계 및 시공기술 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">서 석 구</td><td>해당단계
참여연구원 수</td><td>총: 14명
내부: 14명
외부: 명</td><td>해당단계
연구비</td><td>정부: 396,000 천원
민간: 270,000 천원
정부외: 천원
상대국: 천원
계: 666,000 천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간
참여연구원 수</td><td>총: 37명
내부: 37명
외부: 명</td><td>총 연구비</td><td>정부: 900,000 천원
민간: 610,000 천원
정부외: 천원
상대국: 천원
계: 1,510,000 천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및 소속 부서명</td><td colspan="3">㈜서린브릿지텍</td><td colspan="2">참여기업명:
㈜신원알피씨</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명:</td><td colspan="2">상대국 연구기관명:</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="3">연구기관명:</td><td colspan="2">연구책임자:</td></tr>
<tr><td colspan="6">※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음</td></tr>
<tr><td>연구개발성과의 보안등급 및 사유</td><td colspan="5">일반과제</td></tr>
</table>

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명정보	생물자원	정보	실물
등록·기탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

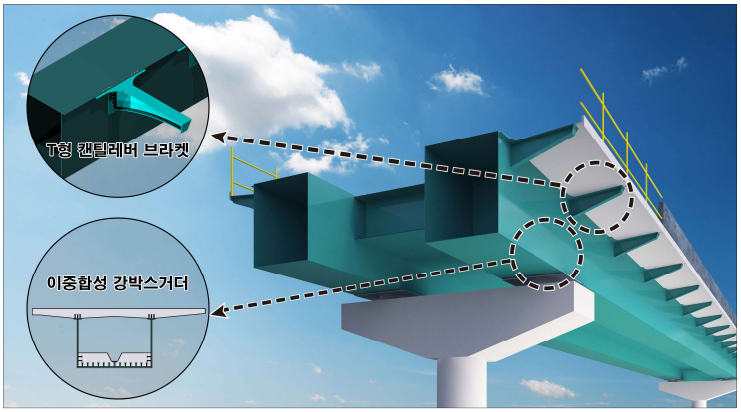
구입기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약 : 교량 캔틸레버부의 시공상 안전성 문제를 해결하고, 장경간 교량계획 및 경제성향상을 추구할 수 있는 동바리 대체용 T형 캔틸레버 브라켓을 구비한 중앙지간장 100M급 이중합성 강박스거더 교량의 설계 및 시공기술을 개발하였으며, 그 세부내용은 다음과 같음

□ 하부 콘크리트의 성능개선을 위한 중앙자유단이 설치된 이중합성 강박스거더 개발
□ 캔틸레버부 시공의 안정성 확보를 위한 동바리 대체용 T형 캔틸레버 브라켓 개발
□ 신 설계기준인 한계상태설계법이 적용된 설계성과품 및 설계자동화 개발

보고서 면수
96

요약문

연구의 목적 및 내용	본 사업화 연구개발의 최종목표는 교량 캔틸레버부의 시공상 안전성 문제를 해결하고, 장경간 교량계획 및 경제성향상을 추구할 수 있는 동바리 대체용 T형 캔틸레버 브라켓을 구비한 중앙지간장 100M급 이중합성 강박스 거더 교량의 설계 및 시공기술을 개발하는 것이다.  < 본 사업화 대상기술의 최종성과물 개념도 > 본 사업화 대상기술의 기본개념인 이중합성 강박스거더 교량은 부모멘트를 받는 연속교 내측 지점 구간의 하부 압축플랜지 위에 콘크리트를 타설하여 지점부 강성을 향상, 형고감소 및 경간장 증대를 경제적으로 추구할 수 있는 형식으로써, 본 보유기술이 사업화에 성공하기 위해서는 이중합성 강박스거더 하부플랜지 콘크리트의 성능개선, 캔틸레버부 바닥판 시공의 안전성 확보, 신 설계기준(한계상태설계법)의 적용, 설계시스템 구축 및 설계자동화 등의 연구개발이 선행되어야 한다. 본 사업화과제의 최종목표를 달성하기 위한 구체적인 개발과제의 세부목표는 다음과 같다. ㅇ하부플랜지 콘크리트의 성능개선을 위한 중앙자유단이 설치된 이중합성 강박스 거더 개발 ㅇ캔틸레버부 바닥판 시공의 안전성 확보를 위한 동바리 대체용 T형 캔틸레버 브라켓 개발
연구개발성과	**1. 하부플랜지 콘크리트의 성능개선을 위한 중앙자유단이 설치된 이중합성 강박스 거더** 기존 이중합성 강박스거더의 하부플랜지 콘크리트는 양생과정에서 건조수축 등으로 인하여 수축하게 되며, 이때 강박스거더의 복부판 사이에 틈새가 발생하게 되고, 결로수 등이 그 틈새에 침투함으로써 복부판의 부식을 야기하여 교량의 유지관리 측면에서 매우 불리하게 된다. 따라서, 하부플랜지 콘크리트의 중앙부를 약 10% 정도를 이격하여 분리 타설하게 되면, 이격된 부위가 자유단으로 작용하여 하부플랜지 콘크리트 양생시 건조수축 등에 의한 하부플랜지 콘크리트와 복부판 사이의 틈새 발생을 제어할 수 있다. 틈새 발생을 제어함으로써, 결로수 등의 침투를 예방할 수 있으므로 교량의 유지관리성을 향상시킬 수 있으며, 하부플랜지 콘크리트 상부와 복부판의 접촉면에 작용하는 매우 큰 전단력에 효율적으로 저항함으로써 구조적인 안전성을 향상시킬 수 있다.

연구개발성과	**2. 캔틸레버부 바닥판 시공의 안전성 확보를 위한 동바리 대체용 T형 캔틸레버 브라켓** 재래식공법(합판거푸집+동바리)의 캔틸레버부 시공 시에는 캔틸레버 바닥판 시공 시의 붕괴 사고뿐만 아니라, 캔틸레버부 바닥판의 콘크리트 양생이 끝난 후 동바리와 일반 거푸집 해체 시에도 많은 인명 사고가 발생하고 있다. 또한, 외측 가로보가 설치된 기존의 강박스거더교에서도 상부플랜지는 위치별로 판두께가 달라져서 패널마다 다른 모따기가 필요함으로 시공성이 매우 불량하게 된다. 추가적으로, 종빔 위치에서 일반패널의 들뜸현상이 발생하게 되며, 종빔 끝단부위에 슬래브타설을 위한 동바리 및 합판거푸집의 추가설치가 필요하게 되어 동바리 설치를 위한 고공작업으로 작업자의 안전성문제가 발생하게 된다. 동바리 대체용 T형 캔틸레버 브라켓은 T형 외측브라켓이 거더 상부플랜지 하면에 밀착되고, L형 패널 설치위치에 외측브라켓 상부플랜지 볼트연결부가 존재하지 않아 L형 패널의 들뜸현상이 발생하지 않고 모따기가 필요없으며, 슬래브 끝단부위에 추가적인 동바리 및 합판거푸집의 설치가 필요없으므로 시공정밀도 및 시공성이 향상되게 된다. 무엇보다도, 기존기술인 재래식공법은 거더 최외측 캔틸레버부의 시공을 위하여 고공에서 합판거푸집과 동바리을 설치하고 있으며, 이는 고소작업으로 인한 안전성 문제를 내포하고 있다. 본 사업화 대상기술은 지상에서 T형 브라켓을 설치하고 거더 거치후에는 크레인을 이용하여 L형 데크를 설치할 수 있으므로 고소작업 최소화로 인한 안전성 확보가 가능하다. 또한, 합판거푸집 지지장치의 설치 및 해체가 필요없으므로 경제성도 확보할 수 있다. **3. 신 설계기준인 한계상태설계법이 적용된 설계성과품 및 설계자동화** 2012년에 개정된 신 설계기준인 도로교설계기준(한계상태설계법) 및 2016년에 개정된 강구조설계기준(하중저항계수설계법)은 허용응력설계법에서 한계상태설계법(하중저항계수설계법)으로의 진화에 초점이 맞추어져 있다. 이는 국내에서 적용하던 고전적 설계방법인 허용응력설계법을 탈피하고 세계적으로 공인받고 있는 한계상태설계법(하중저항계수설계법)으로의 전환이며, 국내에서 개발된 기술이 해외로 진출하기 위한 불가분의 필요조건이기도 하다. 따라서, 본 공법도 다른 개발기술과 마찬가지로 신 설계기준에 맞게 설계성과물(구조계산서, 도면, 수량 등)을 개선하는 연구가 조속히 수행될 필요가 있다. 이에 대한 추가 연구개발이 성공적으로 수행된다면, 본 공법의 경제적인 우수성이 필연적으로 보다 부각될 것이며, 현재의 설계법이 태생적으로 가지고 있는 설계의 불합리성이 보완될 것으로 판단된다. 또한, 설계시스템 구축을 통하여 상품제조(성과품작성) 과정에서의 결함을 제거하고 구축된 설계시스템을 전문업체에 의뢰하여 설계자동화를 실현함으로써 상품제조 과정에서의 과도한 Man·Month을 축소할 수 있다.
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	본 사업화과제의 수행결과에 대한 기대효과 및 활용계획을 요약하면 다음과 같다. **1. 기대효과** **① 기술적 측면** o 안전하고 경제적이며 간편한 시공가능 : 본 사업화 대상기술은 내측지점부의 강성증가로 경간중앙부의 정모멘트 및 처짐을 감소시킬 수 있으므로, 단순 합성거더교와 대비하여 구조적인 안전성을 확보할 수 있다. 또한, 120m 경간까지 동일한 거더 높이를 적용하여 압출가설공법 등의 다양한 가설공법을 적용할 수 있으며, 부가적으로 진동 및 처짐을 감소시킬 수 있고 다리밑 공간 확보에도 유리하다.

연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 아름답고 경제적인 장경간 교량계획 가능 : 현재 장경간(70∽120m) 교량에 적용되고 있는 고가형식의 교량(아치교, 트러스교, PSC 박스교 등)을 대체함으로서, 보다 경제적인 장경간 교량계획이 가능하다. 또한, 중앙경간부의 정모멘트 및 변위 제한조건 등을 만족시킬 수 있으므로, 고속철도용 교량 등 소음 및 진동의 저감이 필요한 교량에 적용이 가능하다. **② 경제적・산업적 측면** ○ 강재량을 대폭 절감가능 : 내측지점부 하부플랜지 및 지점부 다이아프램의 상세를 개선하고, 정모멘트부의 응력감소량을 반영하여 정모멘트부는 개구제형 강박스거더 형식을 채용함으로써, 일반공법(단순합성 거더교량)과 대비하여 강재량을 약 20% 이상 절감할 수 있음을 알 수 있다. ○ 교량 건설기간의 단축가능 : 본 사업화 대상기술은 강박스거더 교량의 지간장을 대폭 늘릴 수 있어 하부구조의 개소수가 감소하게 됨으로 가설기간 및 가설비용을 크게 절감할 수 있으며, 교량 캔틸레버부 시공시 고소작업이 필요없기 때문에, 합판거푸집과 동바리를 이용한 재래식 공법에 비하여 교량 바닥판의 가설기간을 대폭 단축할 수 있다. **③ 사회적 측면** ○ 친환경적인 교량의 건설 : 본 사업화 대상기술은 합판거푸집과 동바리를 이용한 재래식 공법의 적용으로 발생하는 산업폐기물을 대폭 감소시킬 수 있으며, 교각 하부의 공사용 가도건설 등과 같은 환경적 피해 요소를 최소화시킬 수 있다. ○ 캔틸레버부 바닥판 시공의 안정성 확보 : 기존기술인 재래식공법은 합판거푸집과 동바리 설치를 위한 고소작업으로 심각한 안전성 문제를 내포하고 있다. 본 사업화 대상기술은 지상에서 T형 브라켓을 설치하고 거더 거치후에는 크레인을 이용하여 L형 데크를 설치할 수 있으므로 고소작업 최소화로 인한 안전성 확보가 가능하다. **2. 활용계획** ○ 기술보급 및 국내 교량건설에 반영 : 본 사업화 대상기술은 매우 독창적인 기술이면서도 강박스거더 교량의 설계 및 시공분야에서 많은 장점을 가지고 있다. 이에 대한 연구성과를 연구논문 발표 및 기술강습회를 통해서 국내 교량설계 기술자들에게 기술을 보급하고 발주처에 본 연구결과의 우수성을 널리 알린다면, 앞으로 건설될 교량에 적극 반영될 수 있을 것으로 예측된다. ○ 국제특허 획득 및 기술수출 : 본 사업화 대상기술인 동바리 대체용 T형 캔틸레버 브라켓 및 중앙자유단이 형성된 이중합성 박스거더는 매우 독창적인 기술이기 때문에 국제특허 획득 및 이를 통한 기술수출이 충분히 가능할 것으로 판단된다.

국문핵심어 (5개 이내)	강박스 거더	이중합성	하부플랜지 콘크리트	T형 캔틸레버 브라켓	L형 데크플레이트
영문핵심어 (5개 이내)	Steel Box Girder	Double composite	low flange concrete	T-type cantilever bracket	L-type deck-plate

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 1

가. 연구개발 목적 ····· 1

나. 연구개발 필요성 ····· 4

다. 연구개발 내용 및 범위 ····· 9

2. 연구수행내용 및 성과 ····· 16

가. 연구개발 개요 ····· 16

나. 연구수행 내용 ····· 18

다. 연구개발 성과 ····· 66

라. 연구 결과 ····· 69

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 73

가. 목표 ····· 73

나. 목표 달성여부 ····· 77

다. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책 ····· 82

4. 연구개발성과의 활용 계획 등 ····· 83

가. 국내외 사업화 환경변화 분석 ····· 83

나. SOC 시장분석 및 사업화 전망 ····· 84

다. 사업화 추진방안 ····· 85

붙임. 참고 문헌 ····· 89

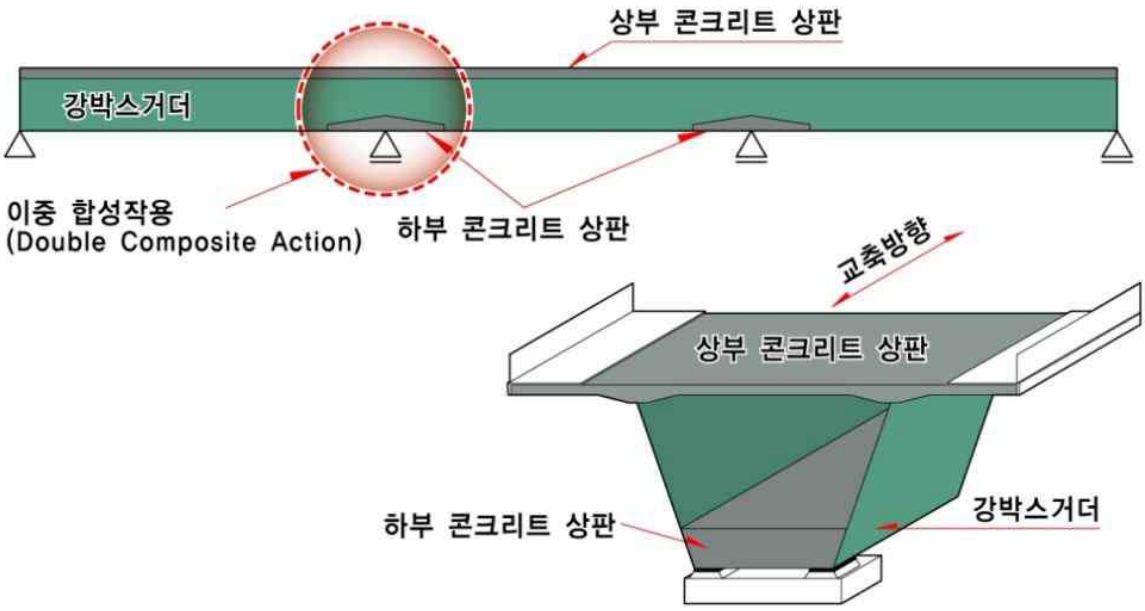
<별첨> 주관연구기관의 자체평가 의견서

1. 연구개발 과제의 개요

가. 연구개발 목적

(1) 기술의 개요

본 사업화 대상기술은 국토교통과학기술진흥원(구, 한국건설교통기술평가원)의 건설기술혁신사업의 일환으로 수행된 “차세대 이중합성 강박스거더 교량의 구조시스템 개발”연구(2006.12~2009.12)를 통하여 개발된 기술로서, 먼저 그 기술의 우수성을 기술하면 다음과 같다. 본 사업화 대상기술인 이중합성 강박스거더 교량은 일반적인 단순합성 박스거더 교량의 중간지점영역에 하부플랜지 콘크리트를 추가로 배치함으로써, 교량 전장에 걸쳐 콘크리트가 압축력에 저항하도록 하는 매우 합리적인 교량형식이다(<그림 1.1> 참조).



<그림 1.1> 이중합성 강박스거더 교량의 구조개요

<그림 1.2>에는 본 사업화 대상기술인 이중합성 강박스거더 교량의 개념도를 나타내었다. 본 사업화 대상기술은 기존 기술개발의 성과를 반영하여 하부플랜지 콘크리트의 타설범위는 2차고정하중 재하시의 부모멘트 발생영역인 주경간장의 약 20%, 하부플랜지 콘크리트의 타설높이는 탄성하중응력 및 장기거동응력의 변동과 상부하중의 증가분을 고려하여 강박스거더 높이의 약 10%로 설계하였다. 또한, 부모멘트 구간의 강성증가에 기인하는 정모

멘트부의 응력감소량을 반영하여 정모멘트부는 개구제형 강박스거더 형식을 채용하여 보다 효과적인 강재량 감소를 도모하였으며, 일정한 거더높이로 시공성 및 경관성 향상을 도모하였다.

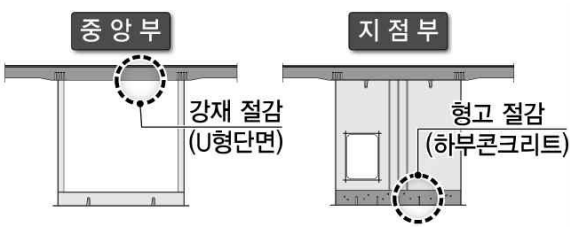


<그림 1.2> 대상기술(이중합성 강박스 거더 교량) 개념도

(2) 기술의 우수성

본 사업화 대상기술인 이중합성 강박스거더 교량은 <표 1.1>에서와 같이, 기타 유사기술과비교하여 많은 장점 및 우수성을 가지고 있다.

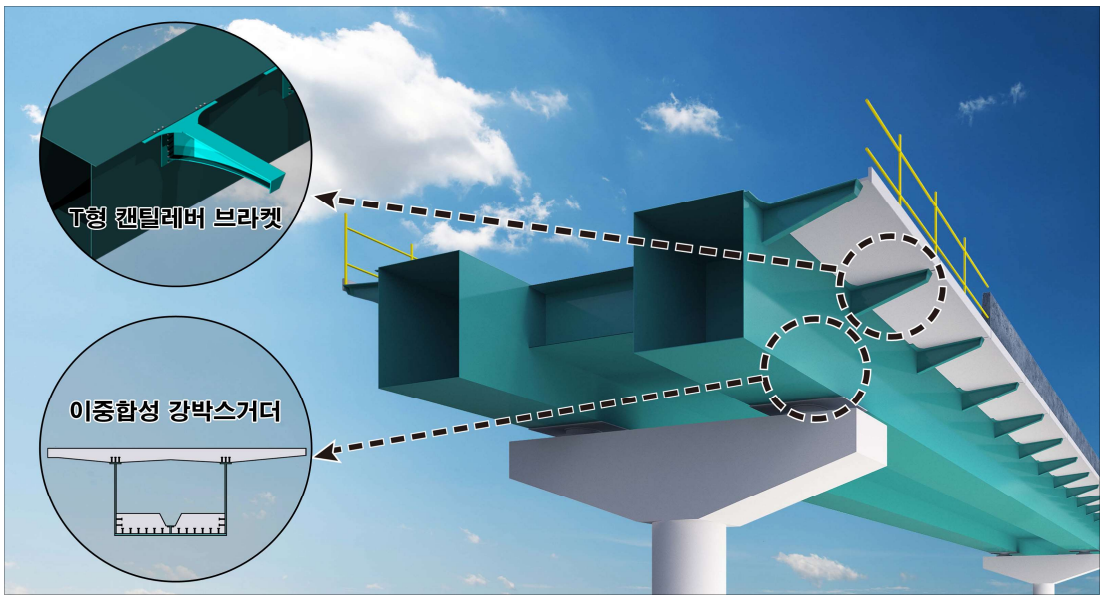
<표 1.1> 사업화 기술(이중합성 강박스거더 교량)의 우수성

	구조성능	• 내측 지점부 강성 증가로 경간중앙부 정모멘트 감소
	시 공 성	• 일정한 거더높이 유지로 다양한 가설공법 적용가능
	제 작 성	• 보강재 생략으로 제작성 및 경제성 개선
	사 용 성	• 진동 및 저짐 가소 • 다리밑 공간 확보에 유리

- 구조성능 : 부모멘트가 발생하는 연속교의 내측지점부에서 하부 플랜지에 콘크리트를 타설하여 강재와 합성시키기 때문에 휨강도와 휨강성을 대폭 향상시킬 수 있으며 연속교의 중앙경간장을 100m 이상으로 설계가 가능하다.
- 경제성 : 강재보다 훨씬 저렴한 콘크리트를 타설하여 휨강도를 증가시키기 때문에 내측지점 부 하부 압축플랜지 두께 및 거더의 높이가 대폭 감소되어 강재량을 상당량 절감시킬 수 있다. 또한 강박스거더 교량의 지간장을 대폭 늘릴 수 있어 하부구조의 건설에 드는 비용을 크게 절감할 수 있다.
- 시공성 : 거더높이를 일정하게 유지할 수 있기 때문에 다양한 가설공법의 채택이 가능하고 압축플랜지에 부착되는 종방향 및 횡방향 보강재가 대폭 생략되어 제작 및 시공성이 향상된다.
- 사용성 : 콘크리트 타설로 강성이 증대되어 처짐 및 진동이 감소하며, 내측지점 부의 거더높이 감소로 형하고 확보에 유리하다.
- 조형미 : 내측지점 부 거더 높이의 감소로 낮은 거더높이의 수려한 장경간 구조가 가능하다.

(3) 기술의 목표

본 사업화의 최종목표는 교량 켄틸레버부의 시공상 안전성 문제를 해결하고, 장경간 교량계획 및 경제성향상을 추구할 수 있는 동바리 대체용 T형 캔틸레버 브라켓을 구비한 중앙지간장 100M급 이중합성 강박스 거더 교량의 설계 및 시공 기술을 개발하는 것이다.



<그림 1.3> 본 사업화기술의 최종성과물 개념도

본 사업화 대상기술의 기본개념인 이중합성 강박스거더 교량은 부모멘트를 받는 연속교 내측 지점 구간의 하부 압축플랜지 위에 콘크리트를 타설하여 지점부 강성을 향상, 형고감소 및 경간장 증대를 경제적으로 추구할 수 있는 형식으로써, 본 보유기술이 사업화에 성공하기 위해서는 이중합성 강박스거더 하부플랜지 콘크리트의 성능개선, 캔틸레버부 바닥판 시공의 안전성 확보, 신 설계기준(한계상태설계법)의 적용, 설계시스템 구축 및 설계자동화 등의 연구개발이 선행되어야 한다.

따라서, 본 사업화과제의 목표를 달성하기 위해 구체적인 세부목표를 다음과 같이 수립하여 수행하였다.

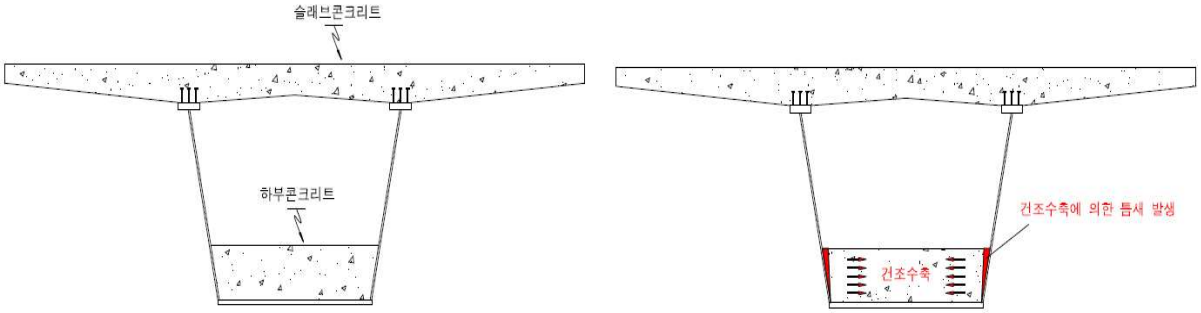
- 하부 콘크리트의 성능개선을 위한 중앙자유단이 설치된 이중합성 강박스거더 개발 (구조성능 검증실험 수행)
- 캔틸레버부 시공의 안정성 확보를 위한 동바리 대체용 T형 캔틸레버 브라켓 개발 (구조성능 검증실험 수행)
- 한계상태설계법이 적용된 설계성과품 및 설계자동화 개발 (프로그램 개발 및 등록)

나. 연구개발 필요성

본 사업화 대상기술은 국토교통과학기술진흥원의 건설기술혁신사업의 일환으로 수행된 “차세대 이중합성 강박스거더 교량의 구조시스템 개발”연구(2006.12~2009.12)를 통하여 개발된 기술로서, 당시의 연구를 통하여‘이중합성 강박스거더의 압축플랜지 보강구조(특허 제10-0970247호)’의 지식재산권을 확보하였다. 그러나, 특허 제10-0970247호는 실용화 과정에서 실제 교량현장에서 적용성에 많은 어려움을 겪은 바 있다. 이에 본 신청기관인 (주)서린브릿지텍과 (주)신원알피씨는 업무제휴협약을 통하여, (주)서린브릿지텍이 보유하고 있는 ‘중앙자유단이 형성된 이중합성 강박스 거더 및 그 시공방법 (특허 제10-1659572호)’과 (주)신원알피씨에서 보유하고 있는 ‘T형 고정브라켓을 구비한 캔틸레버교량 시공방법(출원번호: 10-2017-0056041)’으로 그 적용성을 높이고자 하였고 이에 따른 연구개발의 필요성을 기술하면 다음과 같다.

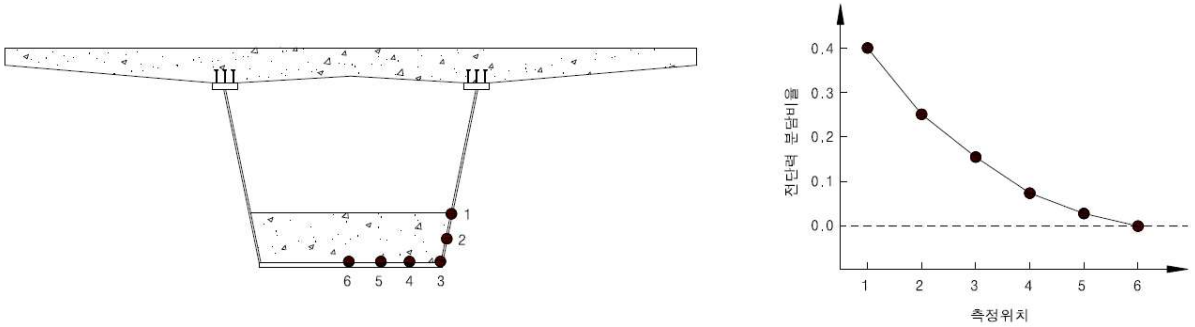
(1) 이중합성 강박스거더 하부플랜지 콘크리트 성능개선

<그림 1.4>에서와 같이, 기존 이중합성 강박스거더의 하부플랜지 콘크리트는 양생과정에서 건조수축 등으로 인하여 수축하게 되며, 이때 강박스거더의 복부판 사이에 틈새가 발생하게 되고, 결로수 등이 그 틈새에 침투함으로써 복부판의 부식을 야기하여 교량의 유지관리 면에서 매우 불리하게 된다.



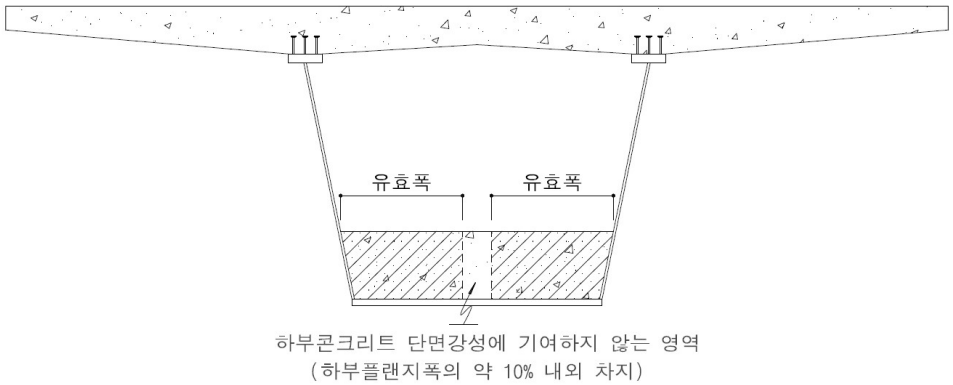
<그림 1.4> 기존 이중합성 강박스 거더의 건조수축 및 전단지연 작용 개념도

또한, <그림 1.5>에서와 같이, 하부플랜지 콘크리트 상부와 복부판의 접촉면에는 매우 큰 전단력이 작용하게 됨으로, 그 사이에 한번 틈새가 발생하게 되면 구조적으로 안전성을 확보할 수 없게 된다.



<그림 1.5> 기존 이중합성 강박스 거더의 하부플랜지

<그림 1.6>에서와 같이, 하부플랜지 콘크리트 중앙부의 약 10% 정도는 전단지연 현상으로 하부플랜지 콘크리트의 응력산정시 단면강성에 기여하지 못하는 부분이며, 이중합성 강박스거더 교량 시공 및 완료 후에도 단지 불필요한 하중으로 작용하게 된다.



<그림 1.6> 하부플랜지 콘크리트 중 단면강성에 기여하지 않는 불필요한 영역

(2) 캔틸레버부 바닥판 시공의 안전성 확보

현재 교량 캔틸레버부 바닥판의 시공은 일반적으로 최외측거더에 동바리를 설치한 후 일반거푸집을 이용하여 바닥판 전단면에 콘크리트를 현장 타설하고 콘크리트 양생이 끝난 후 지지 장치인 동바리와 일반거푸집을 다시 철거하는 재래식 현장타설콘크리트 바닥판을 적용하고 있다. 하지만, <그림 1.7>에서와 같이, 재래식공법(합판거푸집+동바리)의 캔틸레버부 시공 시에는 캔틸레버 바닥판 시공시의 붕괴 사고뿐만 아니라, 캔틸레버부 바닥판의 콘크리트 양생이 끝난 후 동바리와 일반 거푸집 해체 시에도 많은 인명 사고가 발생할 우려가 있으며, 특히 교량의 교각이 높은 경우 거푸집 설치와 해체시 작업자들의 위험성은 더욱 증대된다. 이에, 교량 거더의 캔틸레버부 바닥판 시공시 영구거푸집인 콘크리트 패널을 적용하여 기존 일반 거푸집의 설치와 해체 시공 공정을 없앨 수 있는 새로운 개념의 캔틸레버부 바닥판 시공방법 이 요구되고 있다.



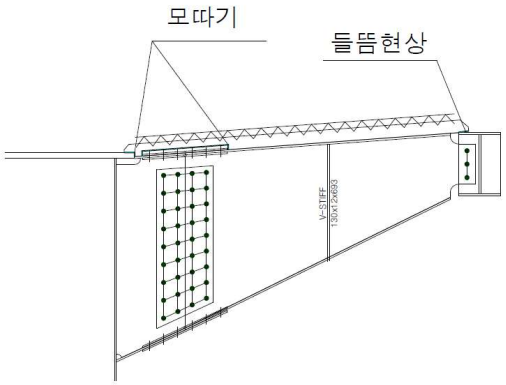
(a) 하면 붕괴상황



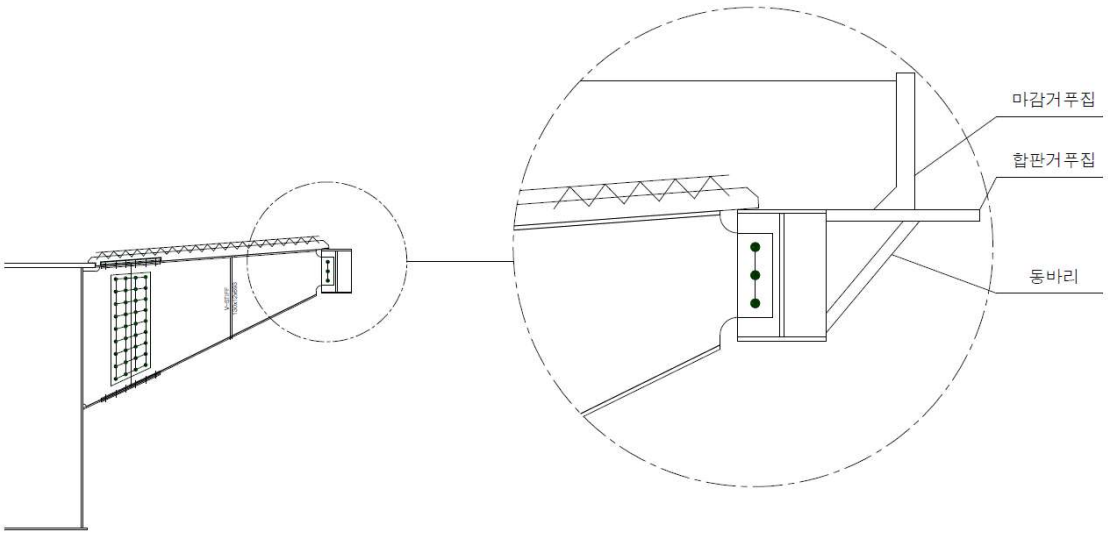
(b) 상면 붕괴상황

<그림 1.7> 교량 캔틸레버부 바닥판 시공시 붕괴사례

또한, <그림 1.8>에서와 같이, 외측 가로보가 설치된 기존의 강박스거더에서도 상부슬래브 시공을 위해서는 거더 상부플랜지 접촉부, 외측가로보 상부플랜지 볼트연결부에서 L형 패널의 측면 및 하면에 모따기 필요하게 된다. 따라서, 거더 및 외측가로보의 상부플랜지는 위치별로 판두께가 달라져서 패널 마다 다른 모따기가 필요함으로 시공성이 매우 불량하게 된다. 추가적으로, 종빔 위치에서 일반패널의 들뜸현상이 발생하게 되며, 종빔 끝단부위에 슬래브타설을 위한 동바리 및 합판거푸집의 추가설치가 필요하게 되어 동바리 설치를 위한 고공작업시 작업자의 안전성 문제가 발생하게 된다.



(a) 프리캐스트 패널의 모따기 및 들뜸현상 발생



(b) 종빔 끝단에 추가적인 동바리 및 거푸집 설치 필요

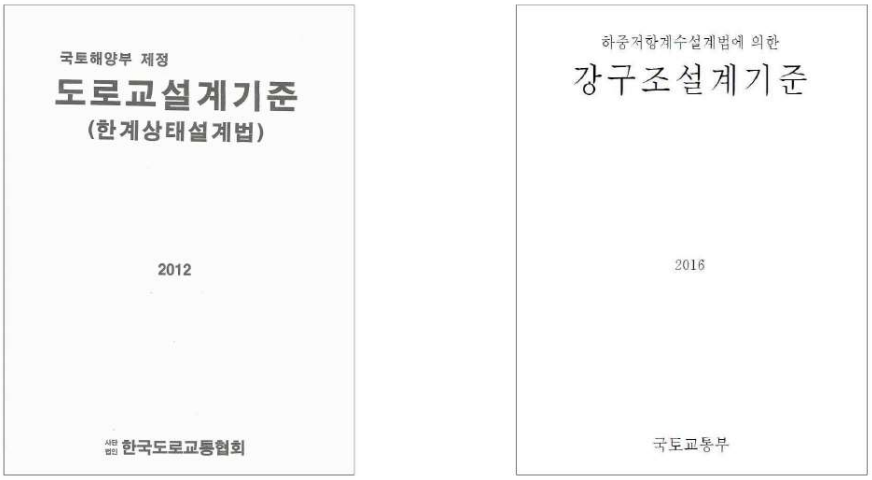
<그림 1.8> 교량 캔틸레버부 바닥판 시공시 붕괴사례

따라서, 본 사업화 대상기술에서는 교량 캔틸레버부의 바닥판 시공에 적용할 수 있는'동바리 대체용 T형 캔틸레버 브라켓'을 연구개발의 세부목표로 설정하였다.

(3) 신 설계기준(한계상태법)의 적용

최근들어 건설업계에서는 정부의 R&D 지원정책에 부응하여 이중합성 강박스거더 교량과 같은 다양한 형태의 합성거더 교량에 대한 연구개발이 활발히 진행되어 왔으며, 그 결과로써 여러 형식의 신공법교량이 개발되어 건설현장에 적용되고 있어 기술의 진보와 함께 국가예산의 절감에 기여하고 있다. 이중합성 강박스거더 교량도 이러한 추세 속에서 국토해양부 건 기술혁신사업의 연구비 지원을 받아 수행된 R&D사업(차세대 이중합성 강박스거더의 구조시스템 개발(2006~2009)의 결과물로써 그동안 여러 프로젝트에 적용되어 왔으며, 구조효율성 및 경제성 측면에서의 우수성을 평가받아 적용의 폭을 한층 넓혀가고 있다.

한편, 최근에 발간된 강구조설계기준(2016)의 6.3.2.1에서는'(중략) 이 규정은 다실 단일박스거더 또는 하부플랜지를 콘크리트와 합성시킨 박스거더에는 적용할 수 없다.'라고 규정되어 있어서, 이중합성 강박스 거더공법에 대하여 허용응력설계법은 적용할 수 있지만, 하중저항계수설계법(한계상태설계법)은 적용할 수 없는 것처럼 잘못 해석되면서 공법의 적용성에 문제가 제기되는 등의 논란이 제기되고 있다.



(a) 도로교설계기준 (b) 강구조설계기준

<그림 1.9> 한계상태설계법 적용이 의무화된 신 설계기준

이중합성 강박스거더 공법은 강박스거더 교량에서 압축력을 크게 받는 부모멘트부 하부에압축저항에 유리한 콘크리트를 합성시켜 구조효율성과 경제성을 개선한 공법으로써, 일찍이한계상태설계법을 적용하고 있는 유럽에서는 1970년대부터 활발히 적용되고 있으며, 1980년대 이후에 일본에서도 많이 보급되고 있는 바, 미국 AASHTO LRFD 시방서를 준용하고 있는 상기의 강구조설계기준(2016) 관련규정 때문에 이중합성 강박스거더 공법의 한계상태설계법 적용이 문제가 되는 상반된 상황에 대하여 보다 세밀한 검토 및 연구가 필요하다.

(4) 기존 사업화과정에서 발견된 문제점 해결

앞에서 기술한 본 보유기술은 2006년도 국토교통과학기술진흥원의 건설기술혁신사업의 일환으로 개발되었다. 본 신청기관((주)서린브릿지텍)의 주관연구책임자는 당시 연구개발기관((주)서영엔지니어링)의 주관연구책임자로서, 2013년부터 2016년 까지 4개 업체를 대상으로 기술실시계약을 체결하고 개발기술에 대한 상용화에 많은 노력을 기울여 왔다. 기술실시기업 들은 기술실시계약 동안에 기본설계, 실시설계, 제안설계, 입찰설계 등 총 100여개 과업에 참여하였으나, 영업, 설계, 시공, 홍보 등의 측면에서 많은 문제점에 직면하였다. 기존 사업화 과정에서 발견된 문제점 및 그 해결방안을 요약하면 다음과 같으며, 기존 사업화 과정에서 발견된 문제점은 본 사업화 대상기술에 대한 추가 연구개발의 중요한 필요 사항이다.

- 설계측면 :
  - 개발상품 부분적 결함내포: 현재 개발상품 완전하지 않음 ⇒ 개선된 구조시스템 필요
  - 상품제조(성과품 작성 등)에 Man • onth 과다소요 ⇒ 설계자동화 필요
  - 회사의 개발기술 투자 의지 부족 ⇒ 개발기술 전담팀 및 지원인력 필요
- 시공/영업측면 :
  - 특허공법으로서 적용실적 미흡 ⇒ 구매자(발주처)의 구매 소극적
  - 자체반영 및 홍보노력 미흡 ⇒ 전사 차원의 홍보노력 요구

다. 연구개발 내용 및 범위

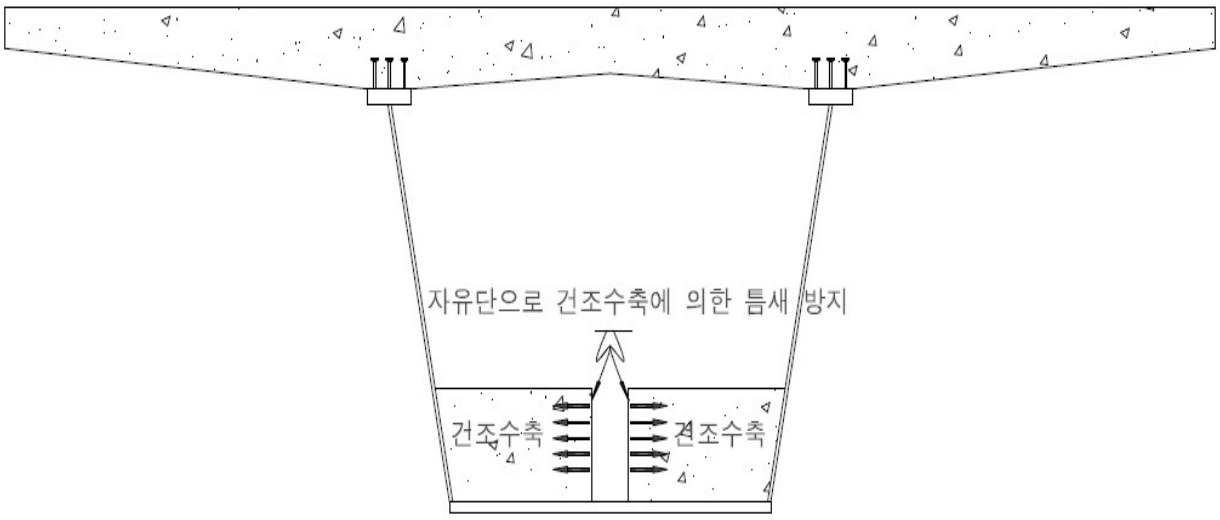
구분(연도)	연구목표	연구개발 내용 및 범위
1차 연도 (2018)	▪중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트의 적용성 및 해석기법 정립	▪중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트의 크리프, 건조수축 거동을 분석한 후 적정한 중앙부 이격거리 등의 구조적 영향을 분석하고 해석기법 제안 ▪이중합성 강박스거더 교량의 경간장 및 거더높이에 대한 매개변수 연구를 통해 중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트의 적정 두께 및 타설범위 등에 대한 상관관계를 규명, 설계에 대한 해석기법 정립
	▪중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트의 성능검증 실험 및 분석	▪정립된 해석기법 및 설계 가이드라인을 바탕으로 중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트의 실험체 제작 ▪실물 모형실험을 수행하여 정립된 해석기법과 적용성을 검증하고 효율적인 설계안 제시
	▪T형 캔틸레버 브라켓의 적용성 및 해석기법 정립	▪기존 동바리 공법과 T형 캔틸레버 브라켓 공법의 비교를 통하여, 강박스거더 교량에 대한 적용성을 검토하고 해석기법 정립 ▪T형 캔틸레버 브라켓의 강박스거더 복부체결에 대한 국내외 설계기준을 검토하고 적용방안을 제시하며, L형 프리캐스트 패널 설치시의 들뜸현상 및 모따기 등의 해결방안 제시

구분(연도)	연구목표	연구개발 내용 및 범위
1차 연도 (2018)	▪T형 캔틸레버 브라켓의 성능검증 실험 및 분석	▪정립된 해석기법 및 설계 가이드라인을 바탕으로 T형 캔틸레버 브라켓이 설치된 이중합성 강박스 거더의 실험체 제작 ▪실물 모형실험을 수행하여 정립된 해석기법과 적용성을 검증하고 효율적인 설계안 제시
2차 연도 (2019)	▪신 설계기준이 적용된 중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트의 표준 설계성과품 작성	▪중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트에 대하여 구 설계기준인 허용응력설계법과 신 설계기준인 한계상태설계법에 대한 비교검토 수행 ▪신 설계기준인 한계상태설계법이 적용된 중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트에 대한 설계성과품인 설계 예제집을 작성하고, 표준설계도면 작성
	▪중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트의 설계시스템 구축 및 설계자동화	▪중앙 자유단이 설치된 이중합성 강박스거더에 대한 설계시스템 구축을 통하여 상품제조(성과품작성) 과정에서의 결함을 찾아 그 원인과 제거 방법 제시 ▪구축된 설계시스템을 전문업체에 의뢰하여 설계자동화를 실현함으로써 상품제조 과정에서의 과도한 Man·Month을 축소하고 그 성과 제시
	▪신 설계기준이 적용된 T형 캔틸레버 브라켓의 표준 설계성과품 작성	▪T형 캔틸레버 브라켓이 설치된 이중합성 강박스 거더에 대하여 구 설계기준인 허용응력설계법과 신 설계기준인 한계상태설계법에 대한 비교검토 수행 ▪신 설계기준인 한계상태설계법이 적용된 이중합성 강박스 거더에 대한 설계성과품인 설계 예제집을 작성하고, 표준설계도면 작성
	▪T형 캔틸레버 브라켓의 설계시스템 구축 및 설계자동화	▪T형 캔틸레버 브라켓에 대한 설계시스템 구축을 통하여 상품제조(성과품작성) 과정에서의 결함을 찾아 그 원인과 제거 방법 제시 ▪구축된 설계시스템을 전문업체에 의뢰하여 설계자동화를 실현함으로써 상품제조 과정에서의 과도한 Man·Month을 축소하고 그 성과 제시
3차 연도 (2020)	▪중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트의 현장적용 및 보급확산	▪참여기업 및 기술실시업체 등이 추진하는 교량사업에 중앙 자유단이 설치된 이중합성 강박스거더교를 반영하고, 반영된 성과물과 예상매출액 제시 ▪마켓팅 전략의 일환으로 실무자들이 이용하기 용이하도록 신 설계기준이 적용된 중앙 자유단이 설치된 이중합성 강박스거더 교량의 설계 가이드 라인을 제시하여 본 연구성과를 보급확산하고 그 성과 제시
	▪건설신기술 인증 및 기술실시계약 체결 추진	▪검증실험 및 현장적용실적을 바탕으로 국토교통과학기술진흥원에서 주관하는 건설신기술 인증 추진 ▪기술 사업화의 확산을 위하여 본 사업화 대상기술을 필요로 하는 업체와 기술실시계약 체결
	▪T형 캔틸레버 브라켓의 현장적용 및 보급확산	▪참여기업 및 기술실시업체 등이 추진하는 교량사업에 T형 캔틸레버 브라켓이 설치된 이중합성 거더교를 반영하고, 반영된 성과물과 예상매출액 제시 ▪마켓팅 전략의 일환으로 실무자들이 이용하기 용이하도록 신 설계기준인 한계상태설계법이 적용된 T형 캔틸레버 브라켓이 설치된 이중합성 강박스거더 교량의 설계 가이드 라인을 제시하여 본 연구성과를 보급확산하고 그 성과 제시
	▪건설신기술 특별시방서 및 유지관리지침서 작성	▪신기술 출원을 위한 신기술 특별시방서 작성 ▪신기술 출원을 위한 유지관리지침서 작성

(1) 이중합성 강박스거더 하부플랜지 콘크리트 성능개선

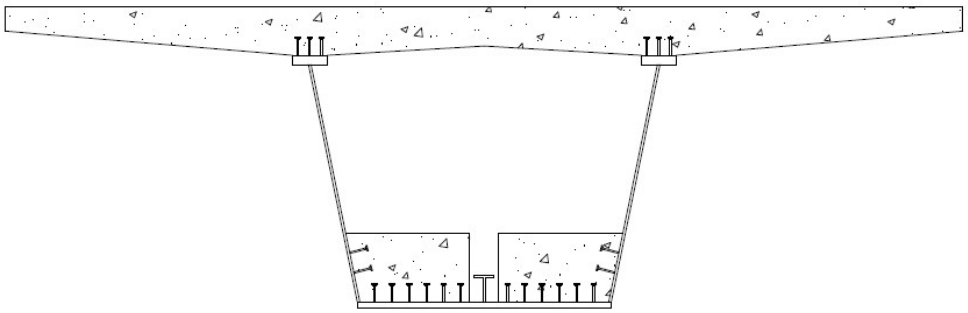
<그림 1.10>에서와 같이 하부플랜지 콘크리트의 중앙부를 약 10% 정도를 이격하여 분리타설하게 되면, 이격된 부위가 자유단으로 작용하여 하부플랜지 콘크리트 양생시 건조수축 등에 의한 하부플랜지 콘크리트와 복부판 사이의 틈새 발생을 제어할 수 있다. 틈새 발생을 제어함으로써, 결로수 등의 침투를 예방할 수 있음으로 교량의 유지관리성을 향상시킬 수 있으며, 하부플랜지 콘크리트 상부와 복부판의 접촉면에 작용하는 매우 큰 전단력에 효율적으로 저항함으로써 구조적인 안전성을 향상시킬 수 있다.

또한, 단면강성에 기여하지 못하고 단지 불필요한 하중으로 작용하는 부분을 생략함으로써 이중합성 강박스거더 건설시 시공성을 향상시킬 수 있으며, 보다 가벼운 상부구조로 인하여하부구조의 규모를 축소할 수 있으므로 보다 경제적인 교량건설을 추구할 수 있다.

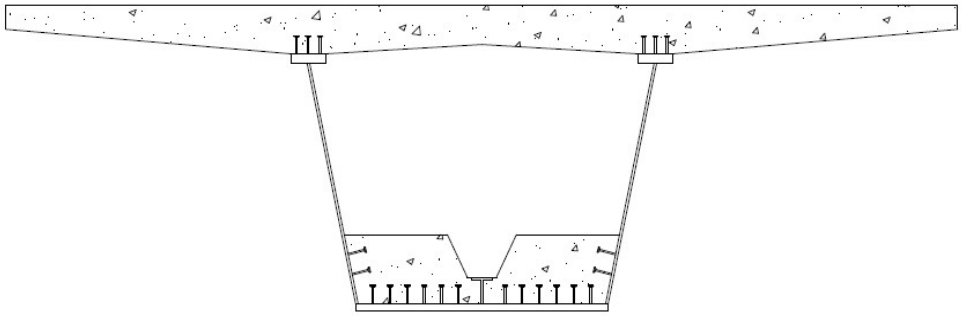


<그림 1.10> 중앙자유단이 설치된 이중합성 강박스 거더의 개념도

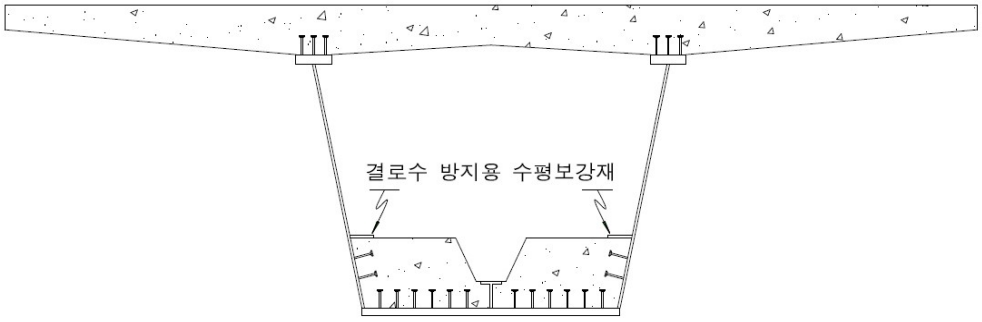
<그림 1.11>에는 추가 연구개발에 따른 중앙자유단이 설치된 이중합성 강박스 거더의 적용 예를 나타내었다. <그림 1.11(a)>는 기존 이중합성 강박스거더의 하부플랜지 콘크리트의 중앙부를 이격하여 분할 설치한 경우, <그림 1.10(b)>는 시공성 향상을 위하여 전단력이 크게 작용하는 하부플랜지 콘크리트 상부의 일정영역 만큼만 이격하여 설치하기 위하여 하부플랜지 콘크리트의 중앙부에 홈을 설치한 경우, <그림 1.11(c)>는 결로수 침투를 원천적으로 방지하기 위하여 하부플랜지 콘크리트 상면의 복부판 위치에 결로수 방지용 수평보강재를 설치한 경우, <그림 1.11(d)>는 결로수 침투를 원천적으로 방지하기 위하여 양쪽 복부판 내측에 하부플랜지 콘크리트 강박스를 설치한 경우 등을 나타내고 있다.



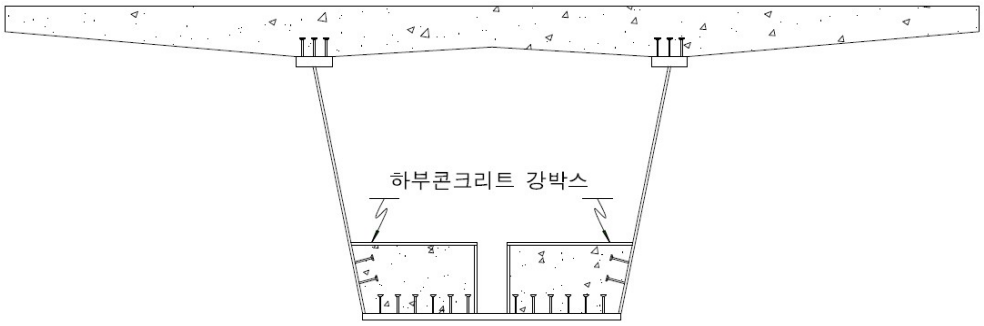
(a) 하부플랜지 콘크리트의 중앙부를 이격하여 분할설치



(b) 하부플랜지 콘크리트의 중앙부에 홈 설치



(c) 복부판 위치에 결로수 방지용 수평보강재 설치



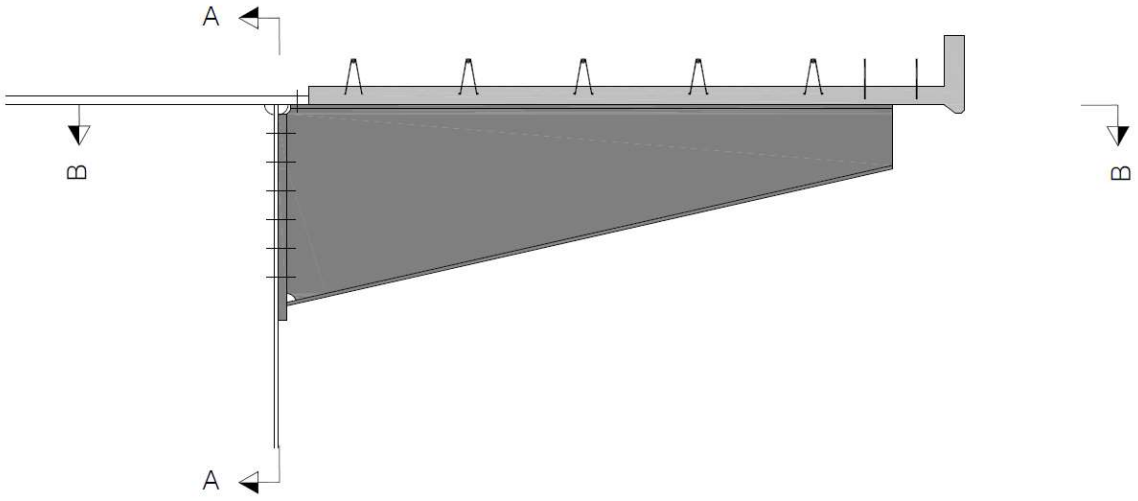
(d) 양쪽 복부판 내측에 하부플랜지 콘크리트 강박스 설치

<그림1.11> 중앙자유단이 설치된 이중합성 강박스 거더의 적용 예

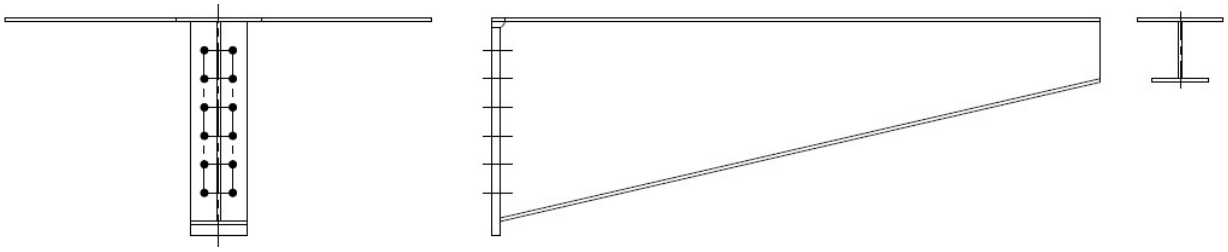
(2) 캔틸레버부 바닥판 시공의 안전성 확보

<그림 1.12>에서와 같이, 동바리 대체용 T형 캔틸레버 브라켓은 주거더와의 연결부를 복부판 위치로 변경함으로써, 이음형태가 기존의 마찰이음에서 인장이음으로 변경되어 복부판의 높이를 대폭 감소시키고 부재 개소를 감소시킴으로써 경제성 향상을 도모할 수 있다. 또한,T형 외측브라켓이 거더 상부플랜지 하면에 밀착되고, L형 패널 설치위치에 외측브라켓 상부플랜지 볼트연결부가 존재하지 않아 L형 패널의 들뜸현상이 발생하지 않고 모따기가 필요 없으며, 슬래브 끝단부위에 추가적인 동바리 및 합판거푸집의 설치가 필요 없으므로 시공정밀도 및 시공성을 향상시킬 수 있다.

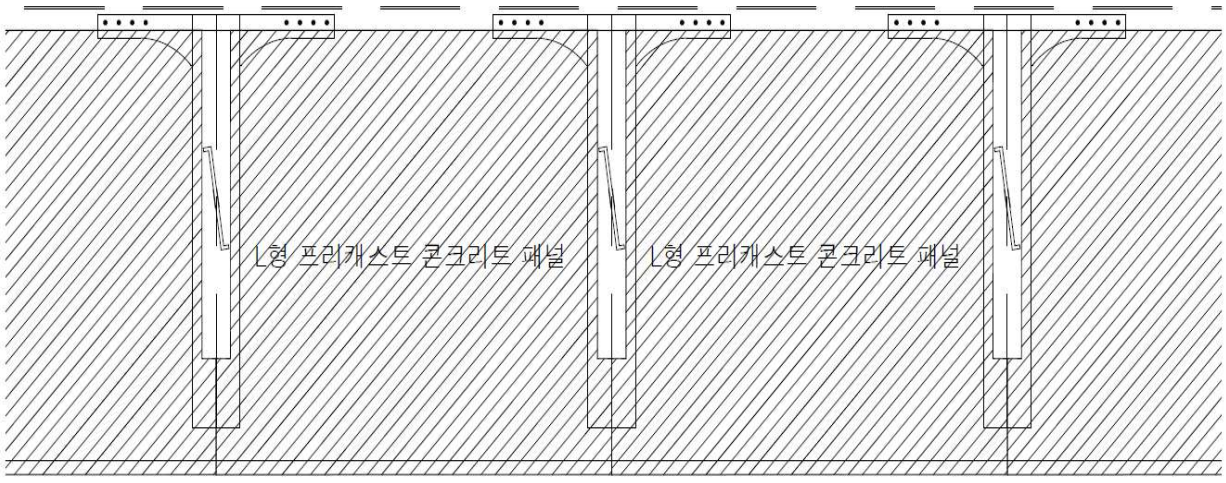
무엇보다도, 기존기술인 재래식공법은 거더 최외측 캔틸레버부의 시공을 위하여 고공에서 합판거푸집과 동바리을 설치하고 있으며, 이는 고소작업으로 인한 안전성 문제를 내포하고 있다. 본 사업화 대상기술은 지상에서 T형 브라켓을 설치하고 거더 거치 후에는 크레인을 이용하여 L형 데크를 설치할 수 있으므로 고소작업 최소화로 인한 안전성 확보가 가능하다. 또한, 합판거푸집 지지장치의 설치 및 해체가 필요 없으므로 경제성도 확보할 수 있다.



(a) 동바리 대체용 T형 캔틸레버 브라켓



(b) 단면 A-A



(b) 단면 B-B

<그림 1.12> 동바리 대체용 T형 캔틸레버 브라켓의 구조상세

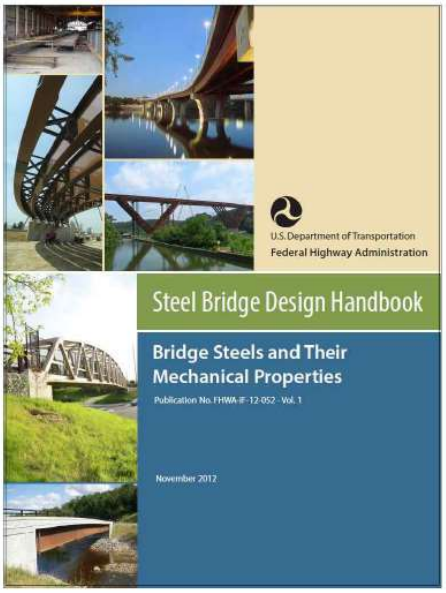
(3) 신 설계기준(한계상태설계법)의 적용

2012년에 개정된 신 설계기준인 도로교설계기준(한계상태설계법) 및 2016년에 개정된 강구조설계기준(하중저항계수설계법)은 허용응력설계법에서 한계상태설계법(하중저항계수설계법)으로의 진화에 초점이 맞추어져 있다. 이는 국내에서 적용되고 있는 고전적 설계방법인 허용응력설계법을 탈피하고 세계적으로 공인받고 있는 한계상태설계법(하중저항계수설계법)으로 전환이며, 국내에서 개발된 기술이 해외로 진출하기 위한 불가분의 필요조건이기도 하다.

신 설계기준의 관리기관인 국토교통부에서는 변화된 설계법의 숙지를 위하여 발간시점인 2012년에서 3년간 유예된 2015년 1월부터 적용하도록 규정했다. 따라서, 본 공법도 다른 개발기술과 마찬가지로 신 설계기준에 맞게 설계 성과물(구조계산서, 도면, 수량 등)을 작성하기 위한연구를 수행하였다.

신 설계기준인 한계상태설계법을 본 공법인 이중합성 강박스거더 교량에 적용하기 위해서는, 앞에서 언급한 바와 같이, 국내 신 설계기준(한계상태설계법)에서 규정하고 있지 않은 이중합성 강박스거더 교량의 하부플랜지 콘크리트에 대한 설계방법을 정립할 필요가 있다. 이에, 강구조설계기준(2016)의 배경과 취지, 유럽과 미국에서의 이중합성구조에 대한 한계상태설계법의 적용현황 등을 분석하고, 이중합성 강박스거더 공법에 한계상태설계법을 적용하기 위한 합리적인 설계방법 등을 정립하였다.





(a) Eurocode 4 : Part 2 (b) Steel bridge Design Handbook

<그림 1.13> 국외(유럽, 미국)의 이중합성 강박스거더 교량에 대한 설계기준

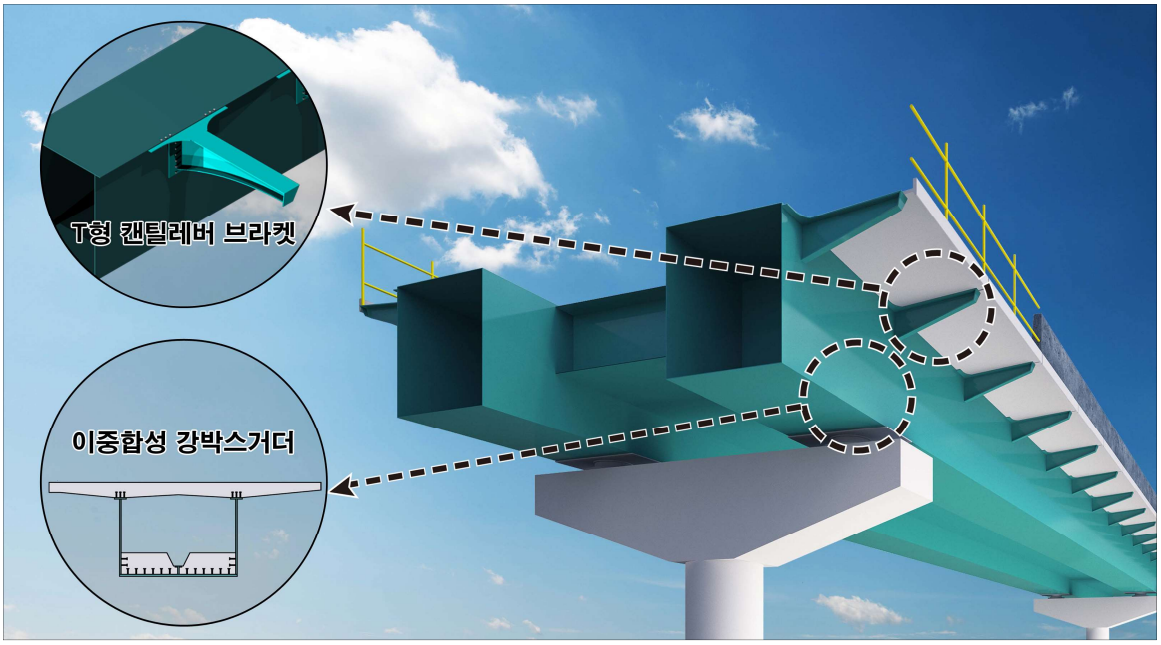
(4) 기존 사업화과정에 발견된 문제점 해결 : (개발기술의 사업화를 위한 문제점 해결방안)

- 설계측면 :
  - 설계시스템 구축 ⇒ 상품제조 과정에서 결함 제거 및 표준화된 설계시스템 구축
  - 설계자동화 실현 ⇒ 구축된 설계시스템을 전문업체에 의뢰, 설계자동화 실현 (소요예산: 1.5억원, 소요기간: 8개월 내외)
  - 전담팀 구축 ⇒ 향후 수주/매출 계획에 따라 전담팀 구축
- 영업측면 :
  - 구매자 구매 소극적 ⇒ 향후 수주교량에 대한 적용실적의 축척을 통해 해소 가능
  - 설계 자체반영 ⇒ 턴키/대안 등 기본/실시설계 시에 제품을 비교안에 포함시키고, 제품을 구매할 수 있도록 발주처/시공사에 적극 홍보
- 시공측면 :
  - 업체간의 협업 ⇒ 설계/기술영업: ㈜서린브릿지텍, 시공/기술영업: ㈜신원알피씨
  - 해외진출 등 시공분야 확대 ⇒ 사업영역 확장
- 홍보측면 : (마켓팅 전략)
  - 구매자(발주처)에 적극 홍보 ⇒ 수주영업/영업임원 지원 → 구매자의 구매의욕 고취
  - 홍보자료 제작 ⇒ 홍보용 카다로그 및 모형제작

2. 연구수행내용 및 성과

가. 연구개발 개요

본 사업화 연구개발의 최종목표는 교량 캔틸레버부의 시공상 안전성 문제를 해결하고, 장경간 교량계획 및 경제성향상을 추구할 수 있는 동바리 대체용 T형 캔틸레버 브라켓을 구비한 중앙지간장 100M급 이중합성 강박스 거더 교량의 설계및 시공기술을 개발하는 것으로써, 연구개발의 세부 주요내용은 다음과 같다.



<그림 2.1> 본 사업화 대상기술의 최종성과물 개념도

(1) 중앙자유단이 설치된 이중합성 강박스 거더 개발

○ 중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트의 적용성 및 해석기법 정립 :

- 중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트의 크리프, 건조수축거동을 분석한 후 적정한 중앙부 이격거리 등의 구조적 영향을 분석하고 해석기법을 정립한다.
- 이중합성 강박스거더 교량의 경간장 및 거더 높이에 대한 매개변수 연구를 통해 중앙자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트의 적정두께 및 타설범위 등에 대한 상관관계를 규명한 후 설계에 대한 해석기법을 정립한다.

○ 중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트의 성능검증 실험 및 분석

- 정립된 해석기법 및 설계 가이드라인을 바탕으로 중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트의 실험체를 제작한다.
- 실물 모형실험을 수행하여 정립된 해석기법과 적용성을 검증하고 효율적인 설계안을 정립한다.

○ 신 설계기준이 적용된 중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트의 표준 설계성과품 작성

- 중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트에 대하여 구 설계기준인 허용응력설계법과 신 설계기준인 한계상태설계법에 대한 비교검토를 수행한다.
- 신 설계기준인 한계상태설계법이 적용된 중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트에 대한 설계성과품인 설계 예제집을 작성하고, 표준설계도면을 작성한다.

○ 중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트의 설계시스템 구축 및 설계자동화

- 중앙 자유단이 설치된 이중합성 강박스거더 교량에 대한 설계시스템 구축을 통하여 상품제조(성과품작성) 과정에서의 결함을 찾아 그 원인과 제거 방법을 수립한다.
- 구축된 설계시스템을 전문업체에 의뢰하여 설계자동화를 실현함으로써 상품제조 과정에서의 과도한 Man · Month을 축소하고 그 성과를 반영한다.

○ 중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트의 현장적용 및 보급확산

- 참여기업 및 기술실시업체 등이 추진하는 중앙 자유단이 설치된 이중합성 강박스거더 교량사업에 반영하고, 반영된 성과물과 예상매출액을 산정한다.
- 마케팅 전략의 일환으로 실무자들이 이용하기 용이하도록 신 설계기준이 적용된 중앙 자유단이 설치된 이중합성 강박스거더 교량의 설계 가이드 라인을 제시하여 본 연구 성과를 보급확산하고 그 성과를 반영한다.

○ 건설신기술 인증 및 기술실시계약 체결 추진

- 검증실험 및 현장적용실적을 바탕으로 국토교통과학기술진흥원에서 주관하는 건설신기술 인증을 추진한다.
- 기술 사업화의 확산을 위하여 본 사업화 대상기술을 필요로 하는 업체와 기술실시계약을 체결한다.

(2) 캔틸레버부 바닥판 시공의 안전성 확보를 위한 동바리 대체용 T형 캔틸레버브라켓 개발

○ T형 캔틸레버 브라켓의 적용성 및 해석기법 정립

- 기존 동바리 공법과 T형 캔틸레버 브라켓 공법의 비교를 통하여, 강박스거더 교량에 대한 적용성을 검토하고 해석기법을 정립한다.
- T형 캔틸레버 브라켓의 강박스거더 복부체결에 대한 국내외 설계기준을 검토하고 적용방안을 제시하며, L형 프리캐스트 패널 설치시의 들뜸현상 및 모따기 등의 해결방안을 수립한다.

○ T형 캔틸레버 브라켓의 성능검증 실험 및 분석

- 정립된 해석기법 및 설계 가이드라인을 바탕으로 T형 캔틸레버 브라켓이 설치

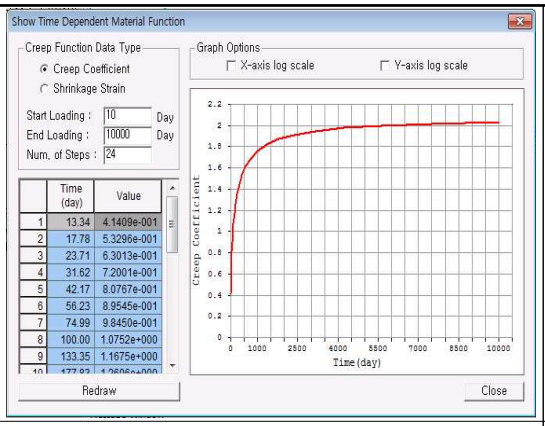
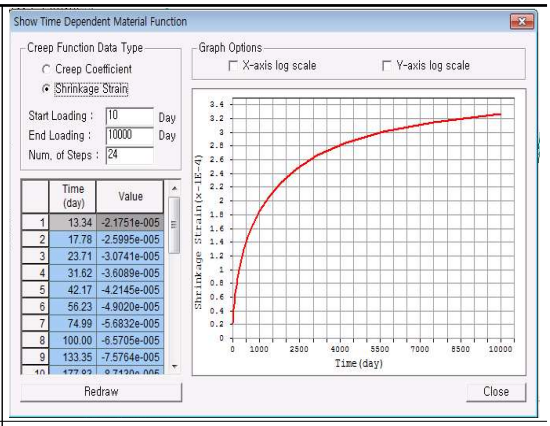
나. 연구수행 내용

(1) 중앙자유단이 설치된 이중합성 강박스 거더 개발

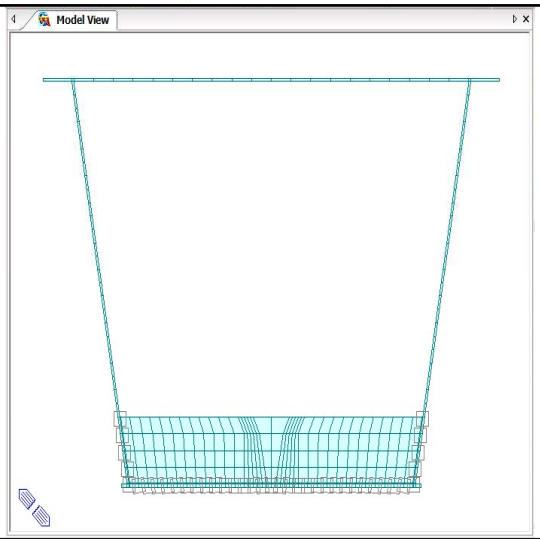
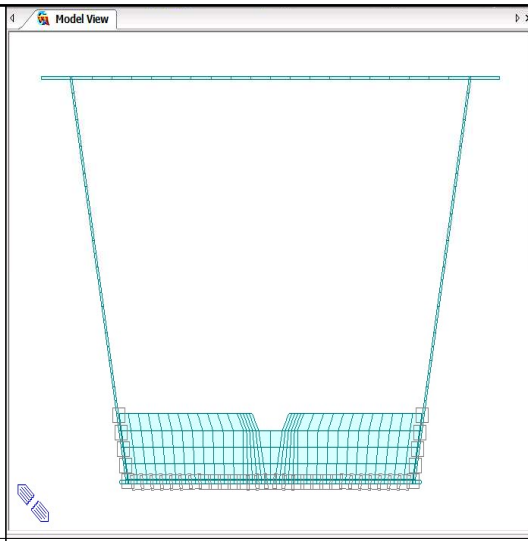
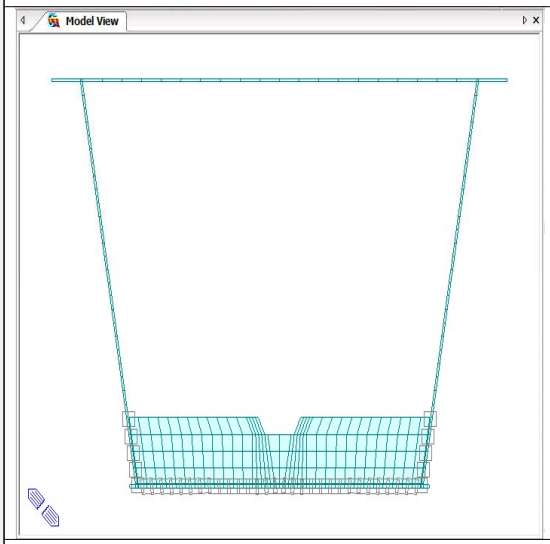
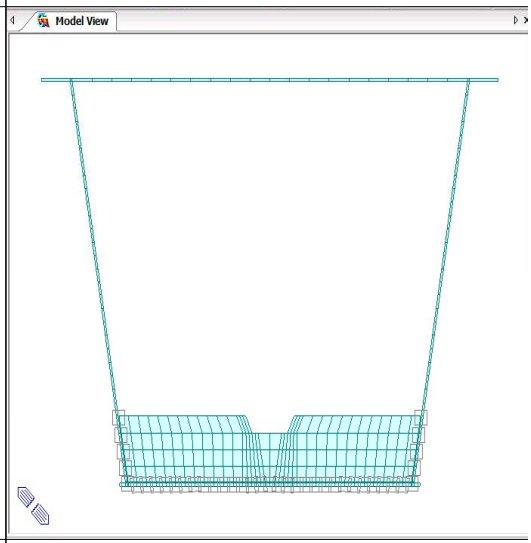
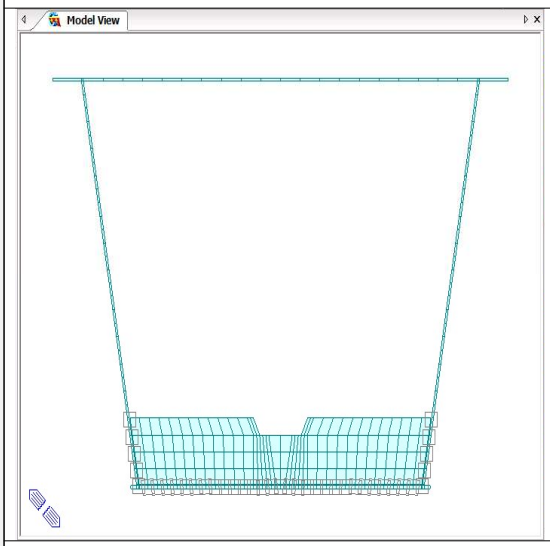
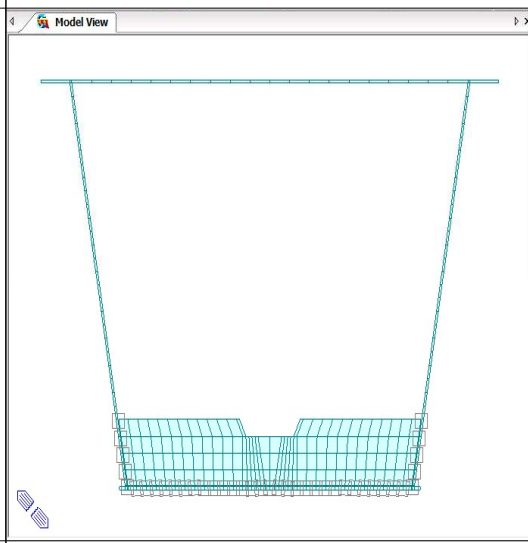
(가) 중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트의 적용성 및 해석기법 정립 :

중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트의 크리프, 건조수축거동을 분석한 후 적정한 중앙부 이격거리 등의 구조적 영향을 분석하였다.

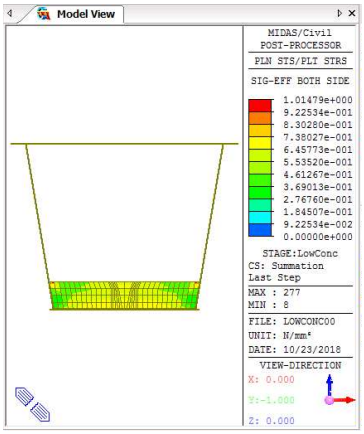
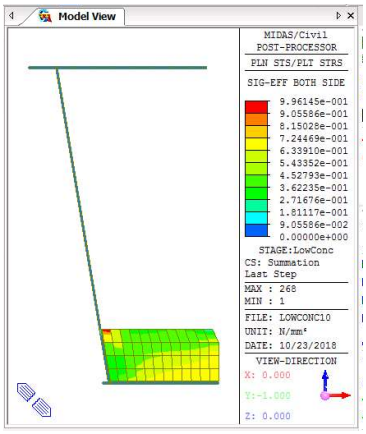
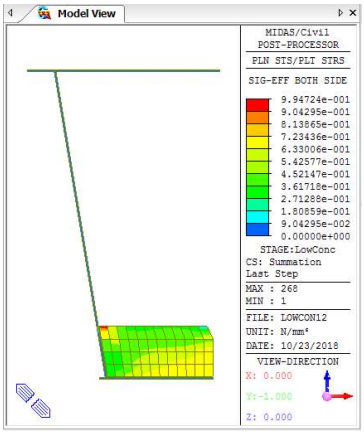
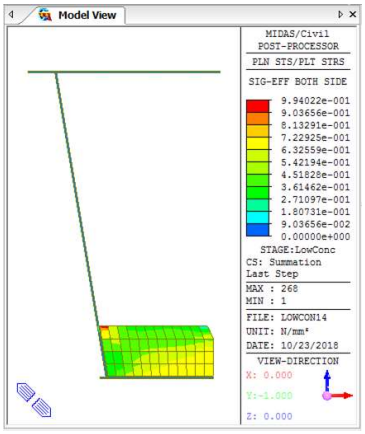
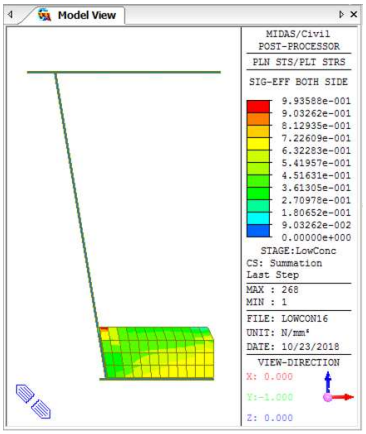
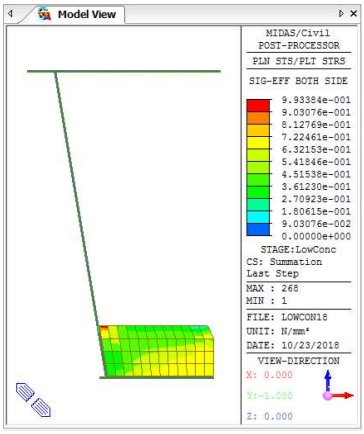
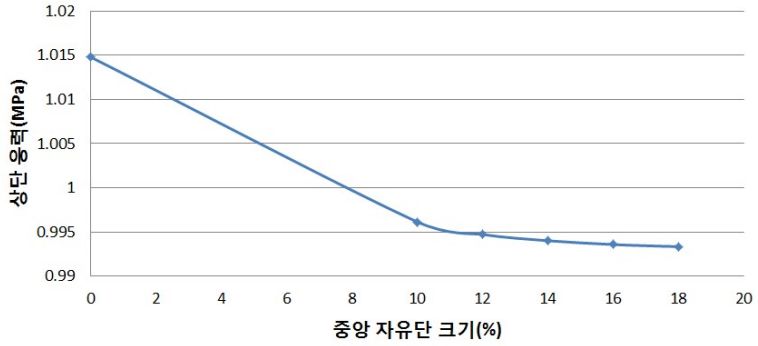
<표 2.1> 중앙자유단 설치에 따른 하부콘크리트의 양측 상단 응력 검토-모델링개요

시간 의존적 재료특성 (하부콘크리트)		
	• Creep Coefficient	• Shrinkage Strain

<표 2.1> 중앙자유단 설치에 따른 하부콘크리트의 양측 상단 응력 검토-모델링개요(계속)

하부콘크리트 중앙 자유단		
	• 중앙 자유단 미설치	• 중앙 자유단 설치(약 10%)
		
	• 중앙 자유단 설치(약 12%)	• 중앙 자유단 설치(약 14%)
		
	• 중앙 자유단 설치(약 16%)	• 중앙 자유단 설치(약 18%)

<표 2.2> 해석결과(하부콘크리트의 상단의 발생응력

발생 응력			
	• 미설치 : 1.0148MPa	• 약 10% : 0.9961MPa	• 약 12% : 0.9947MPa
			
	• 약 14% : 0.9940MPa	• 약 16% : 0.9936MPa	• 약 18% : 0.9934MPa
응력 분포			

※ 하중조합 : Summation(Creep과 Shrinkage Primary, Secondary) 기능 적용

하부콘크리트의 발생응력은 웨브의 하부콘크리트상면 끝단위치에서 크게 발생하고 하부 플랜지측으로 향하면서 작아지고, 중앙 자유단을 10%내외의 크기로 형성함으로써 이러한 응력을 감소시켜 하부콘크리트의 상단과 복부의 틈새가 건조수축에 의하여 발생되지 않도록 유도할 수 있다.

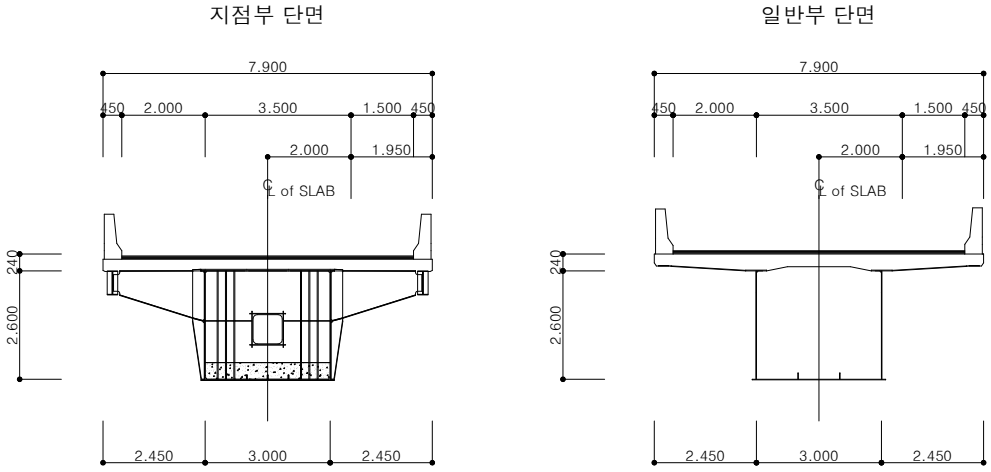
(나) 하부슬래브 콘크리트 타설 두께 검토

이중합성 강박스거더 교량의 경간장 및 거더 높이에 대한 매개변수 연구를 통해 중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트의 적정두께 및 타설범위 등에 대한 상관관계를 규명한 후 설계에 대한 해석기법을 정립하였다.

① 기본가정 및 해석모델 결정

하부슬래브 콘크리트 타설 두께를 결정하기 위해 가상의 적정 모델을 선정하여, 하부슬래브 콘크리트 타설 두께를 변화시켜가며 그 영향을 분석하였다. 모델 선정시 다양한 변수들이 해석 결과에 영향을 미칠 수 있으므로, 하부슬래브 콘크리트 타설 두께 이외의 설계변수는 다음과 같은 가정을 통해 결정되었다.

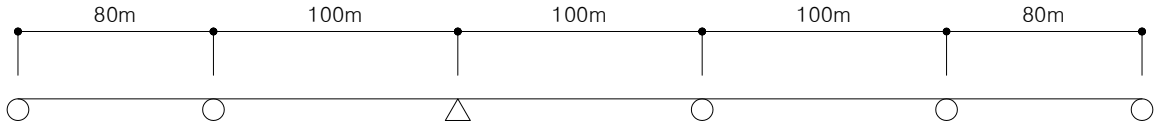
본 연구 보고서 중 '콘크리트 타설범위 검토보고서'에 따르면, 하부슬래브 콘크리트의 적정 타설 범위는 주경간장의 20%이므로, 본 연구의 하부슬래브 콘크리트 타설 범위는 주경간장의 20%로 한다. 해석 모델의 경간 구성은 연장 460.0m의 5경간(80+3@100+80 =460m) 연속교로 가정하였다. 이는 하부슬래브 콘크리트 타설의 영향을 명확하게 확인하기 위함이며, 이를 위해 교량의 횡단면도는 1개의 박스단면으로 구성하였다. 위의 가정사항을 포함한, 대상 교량의 제원을 정리하면 다음과 같다.



<그림 2.2> 타설두께 검토를 위해 적용된 단면

- 상부 콘크리트 : $f_{ck} = 27\,MPa$; 하부슬래브 콘크리트 : $f_{ck} = 40\,MPa$
- 강 재 : $SM570$; 철근 항복강도 : $f_y = 400\,MPa$
- 거 더 높 이 : $h = 2.600\,m$; 거 더 폭 원 : $b = 3.000\,m$
- 바닥판 두께 : $T_{cu} = 240\,mm$; 바닥판 폭원 : $B = 7.900\,m$

위와 같은 박스단면에 대해 하부슬래브 콘크리트 타설 두께를 0mm에서 1000mm까지 증가시켜가며 13개의 케이스를 검토하였다. 검토 방법은 타설 두께 증가에 따른 단면 강성과 중립축을 살펴보고, frame 해석에 따른 정모멘트 및 부모멘트와 반력의 변화를 통해 적정 타설 두께를 검토하였다.

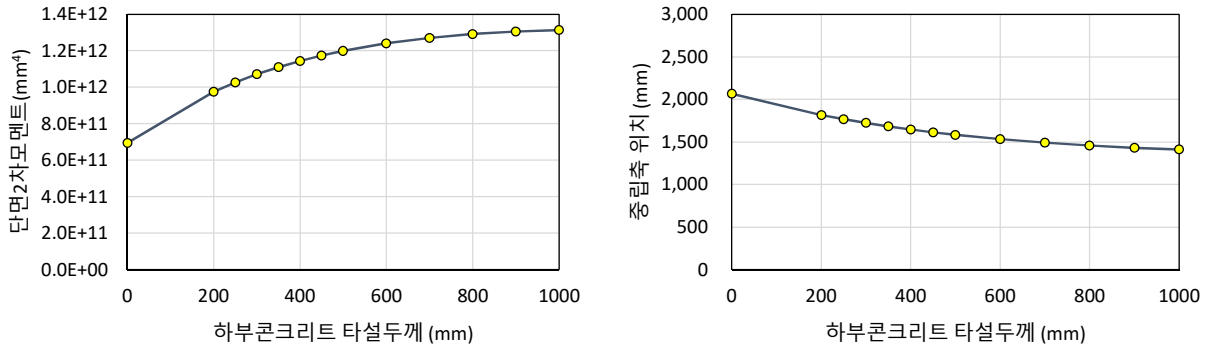


<그림 2.3> 검토대상 교량의 경간 구성

② 타설두께 증가에 따른 영향 분석

a) 타설두께 증가에 따른 영향 분석

해석에 앞서 하부슬래브 콘크리트 타설 두께 증가에 따른 단면 강성2차모멘트와 단면의 중립축을 살펴보면 <표 2.3>, <표 2.4> 및 <그림 2.4>와 같다.



(a) 단면2차모멘트 (b) 중립축 위치

<그림 2.4> 타설두께에 따른 단면2차모멘트 및 중립축 위치 변화

<표 2.3> 타설 두께 증가에 따른 단면2차모멘트 변화 (단위 : mm^4)

구 분	0mm	200mm	250mm	300mm	350mm	400mm	450mm
단면2차모멘트	6.949E+11	9.758E+11	1.027E+12	1.071E+12	1.110E+12	1.144E+12	1.174E+12
비 율	100%	140%	148%	154%	160%	165%	169%

구 분	500mm	600mm	700mm	800mm	900mm	1000mm
단면2차모멘트	1.200E+12	1.241E+12	1.271E+12	1.292E+12	1.306E+12	1.314E+12
비 율	173%	179%	183%	186%	188%	189%

<표 2.4> 타설 두께 증가에 따른 단면 중립축 위치(하부플랜지 기준) (단위 : mm)

구 분	0	200	250	300	350	400	450
중립축 위치	2066.5	1817.0	1768.3	1724.1	1683.8	1647.3	1614.2
비 율	100%	88%	86%	83%	81%	80%	78%

구 분	500	600	700	800	900	1000
중립축 위치	1584.2	1532.8	1491.2	1458.1	1432.3	1413.0
비 율	77%	74%	72%	71%	69%	68%

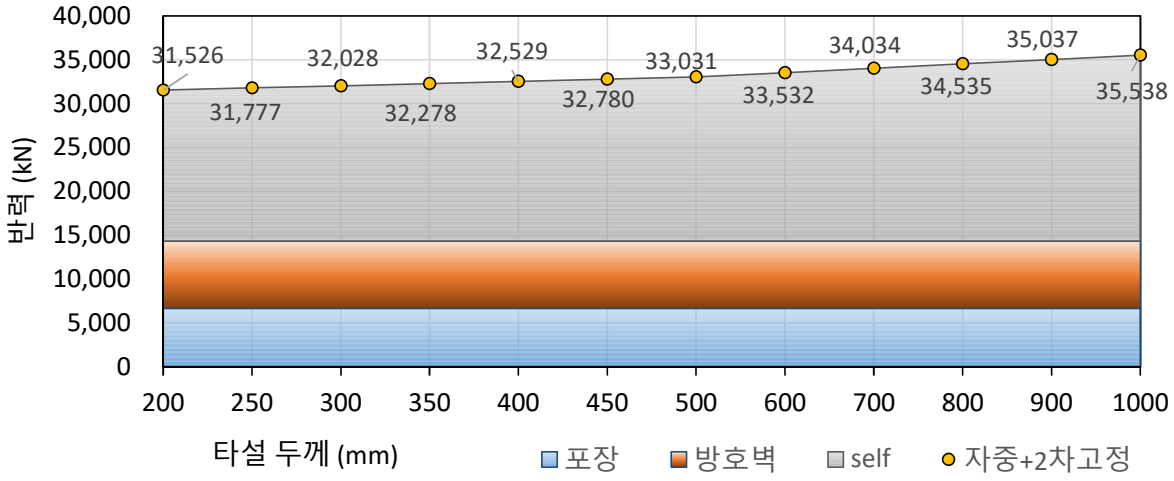
<그림 2.4(a)>와 같이 하부슬래브 콘크리트 타설로 인한 단면 강성 증대효과는 명확하다. 하부슬래브 콘크리트 타설이 안된 경우와 200mm 타설이 된 경우의 단면2차모멘트 차는 40%에 달하며, 타설 두께를 증가시키면 강성은 계속 증대되나, 증가폭은 점차 감소한다. <그림 2.4(b)>와 같이 중립축 위치 변화 역시 최초 200mm 타설시에 250mm가량 하향 조정되며, 추가로 타설 두께를 증가시키면 중립축은 점차 하향 조정되지만, 중립축 위치 변화량은 점차 줄어든다.

위 자료를 통해 하부슬래브 콘크리트 타설 두께의 증가는 명확하게 확인할 수 있다. 다만, 타설 두께 400~500mm 구간 이후의 단면 강성 증가량은 효율이 좋지 못한 것으로 볼 수 있으며, 600~800mm 구간이후에는 강성 증가량에 거의 없음을 알 수 있다. 여기서, 타설 두께 500mm는 박스높이(2.6m)의 약 20%에 해당하고, 타설 두께 650mm는 박스높이의 약 25%에 해당한다.

b) 타설두께 증가에 따른 영향 분석

상기의 단면을 구조해석을 수행한 결과 반력은 표 3 및 그림 6과 같다. 하부슬래브 콘크리트 타설 두께가 증가함에 따라 콘크리트 자중 증가로 반력도 증가함을 알 수 있다. 하지만, 발생한 반력을 통해 자중과 포장, 방호벽 등을 포함한 자중을 확인할 수 있으며, 이들 하중이 협쳐진 반력의 증가 비율로 보면 증가 폭은 크지 않음을 알 수 있다. 타설 두께 200mm 대비 타설 두께 500mm의 반력은 불과 5% 가량의 증가폭을 나타내고 있으며, 타설 두께 1000mm가 되어야 200mm 대비 13%의 증가율을 보이고 있다. 이는 하부슬래브 콘크리트 타설 두께의 증가가 자중 증가에는 큰 영향을 미치지 못함을 의미한다.

콘크리트 타설 두께 대비 반력의 증가폭이 작은 이러한 경향은, 가로보가 배치된 다중 박스 거더교에서 부부재의 고정된 자중의 추가로 인해 더 뚜렷하게 나타났다.



<그림 2.5> 타설두께에 따른 반력 변화

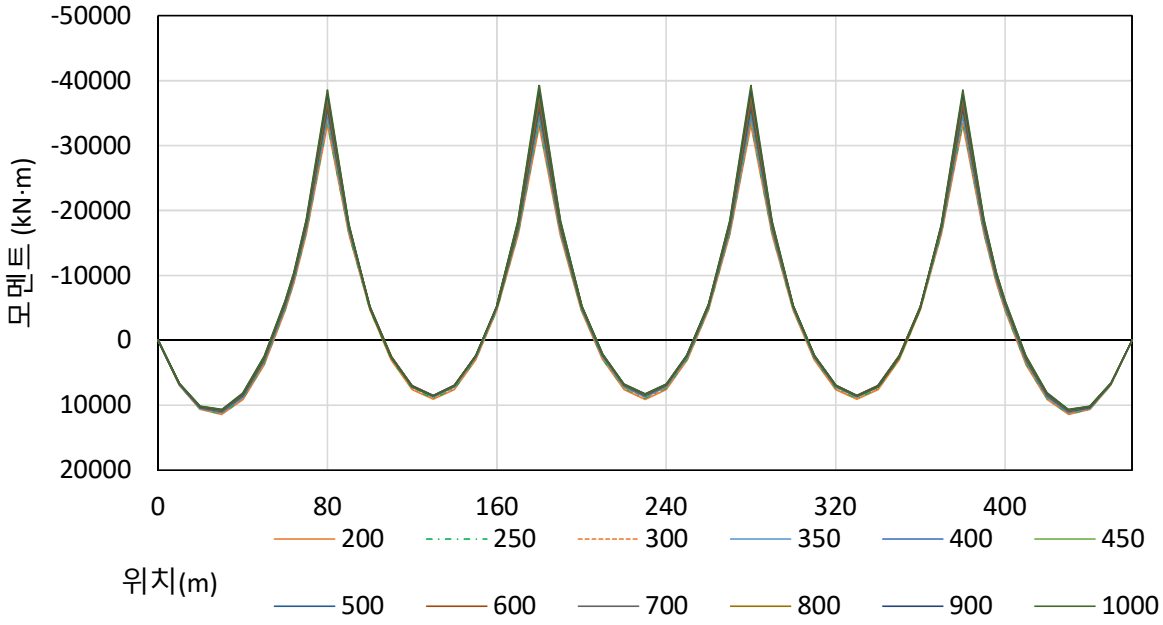
<표 2.5> 타설 두께 증가에 따른 반력 변화 (단위 : kN)

하중	200mm	250mm	300mm	350mm	400mm	450mm
자중	17,181	17,432	17,683	17,933	18,184	18,435
포장	6,649	6,649	6,649	6,649	6,649	6,649
방호벽	7,696	7,696	7,696	7,696	7,696	7,696
자중+2차고정	31,526	31,777	32,028	32,278	32,529	32,780
비율	100.0%	100.8%	101.6%	102.4%	103.2%	104.0%

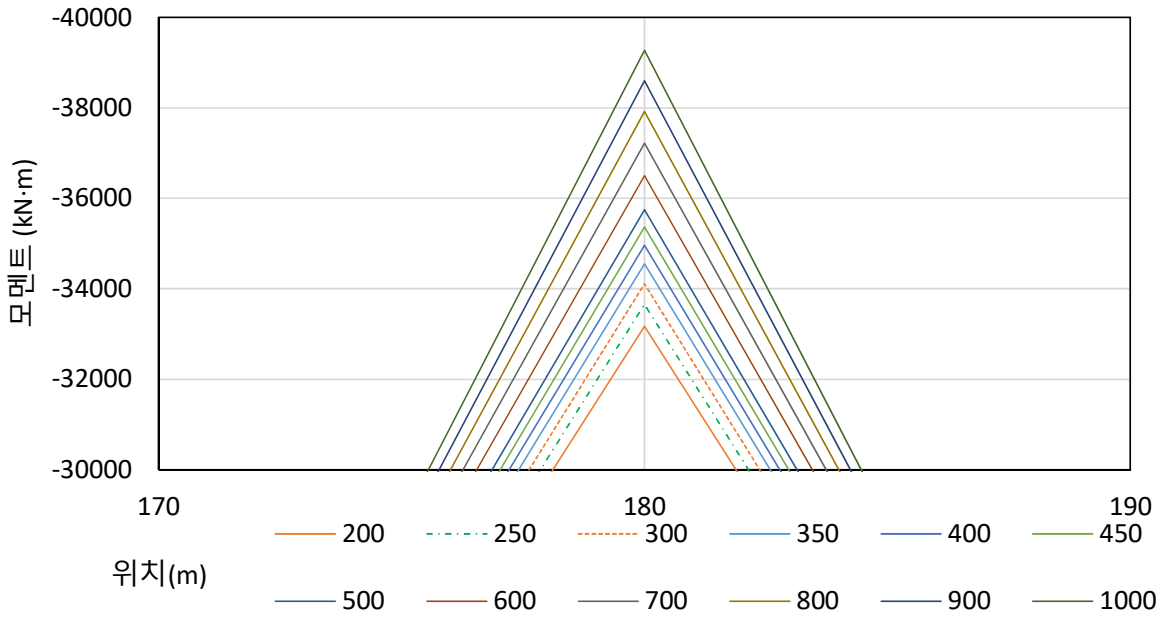
하중	500mm	600mm	700	800	900	1000
자중	18,685	19,187	19,688	20,190	20,691	21,193
포장	6,649	6,649	6,649	6,649	6,649	6,649
방호벽	7,696	7,696	7,696	7,696	7,696	7,696
자중+2차고정	33,031	33,532	34,034	34,535	35,037	35,538
비율	104.8%	106.4%	108.0%	119.5%	111.1%	112.7%

c) 모멘트 검토

<그림 2.6>, <그림 2.7>은 하부슬래브 콘크리트 타설 두께에 따라 발생된 모멘트 포락선을 나타낸 것이다. <그림 2.6>, <그림 2.7>의 모멘트는 자중에 의한 모멘트만 고려하고 있으며, <그림 2.6>의 포락선이 서로 겹쳐 잘 구분되지 않으므로, 그림 8에 최대 부모멘트 발생지점을 확대, 표시하였다. 타설 두께 1000mm 일 때의 최대 부모멘트는 타설두께 200mm 일 때의 최대 부모멘트 대비 18%가량 증가하였다.



<그림 2.6> 타설 두께에 따른 발생 모멘트(전체)



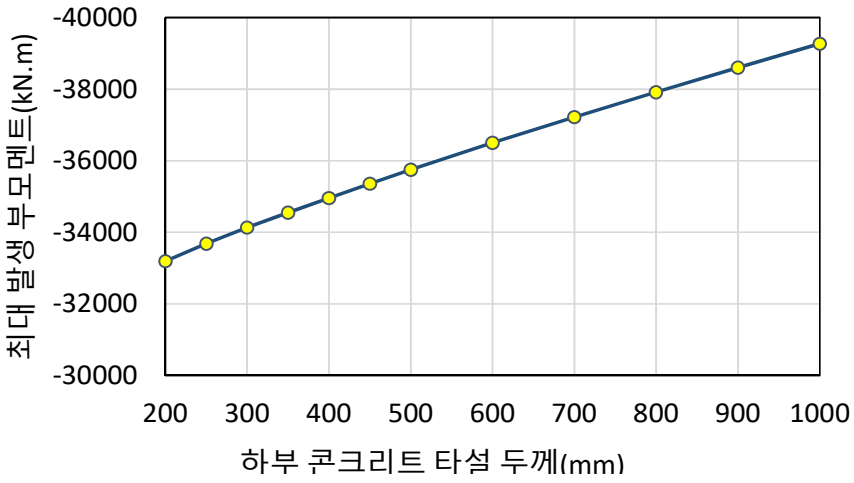
<그림 2.7> 타설 두께에 따른 발생 모멘트(확대)

<그림 2.6> 및 <그림 2.7>의 해석 결과를 최대 부모멘트, 최대 정모멘트끼리 비교하여 보면 <표 2.6>, <그림 2.8> 및 <그림 2.9>과 같다. 부모멘트 최대량은 하부슬래브 콘크리트 타설 두께의 증가에 따라 선형에 가까운 형태로 증가하고 있으며, 정모멘트 최대량은 타설 두께의 증가량에 따라 점차 감소하는 것으로 나타났다.

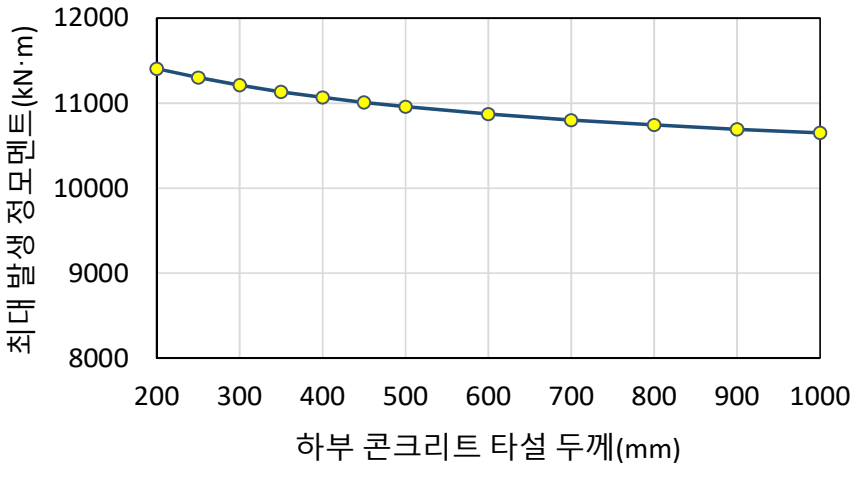
<표 2.6> 타설 두께 증가에 따른 최대 부모멘트 및 최대 정모멘트 (단위 : kN·m)

구 분		200	250	300	350	400	450
부모멘트	최대값	-33194.2	-33686.2	-34135.8	-34551.9	-34960.9	-35362
	비율(t=200기준)	100.0%	101.5%	102.8%	104.1%	105.3%	106.5%
정모멘트	최대값	11406.48	11301.17	11211.76	11134.9	11068.23	11009.85
	비율(t=200기준)	100.0%	99.1%	98.3%	97.6%	97.0%	96.5%

구 분		500	600	700	800	900	1000
부모멘트	최대값	-35751.1	-36500.4	-37220.9	-37920.1	-38603.5	-39275.3
	비율(t=200기준)	107.7%	110.0%	112.1%	114.2%	116.3%	118.3%
정모멘트	최대값	10958.29	10871.61	10801.46	10743.48	10694.45	10652.04
	비율(t=200기준)	96.1%	95.3%	94.7%	94.2%	93.8%	93.4%



<그림 2.8> 타설 두께에 따른 최대 부모멘트

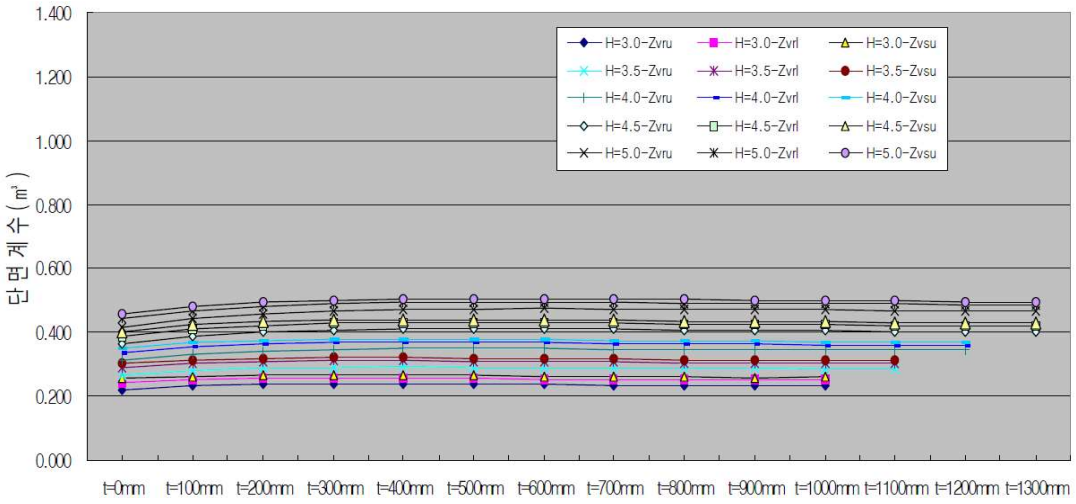


<그림 2.9> 타설 두께에 따른 최대 정모멘트

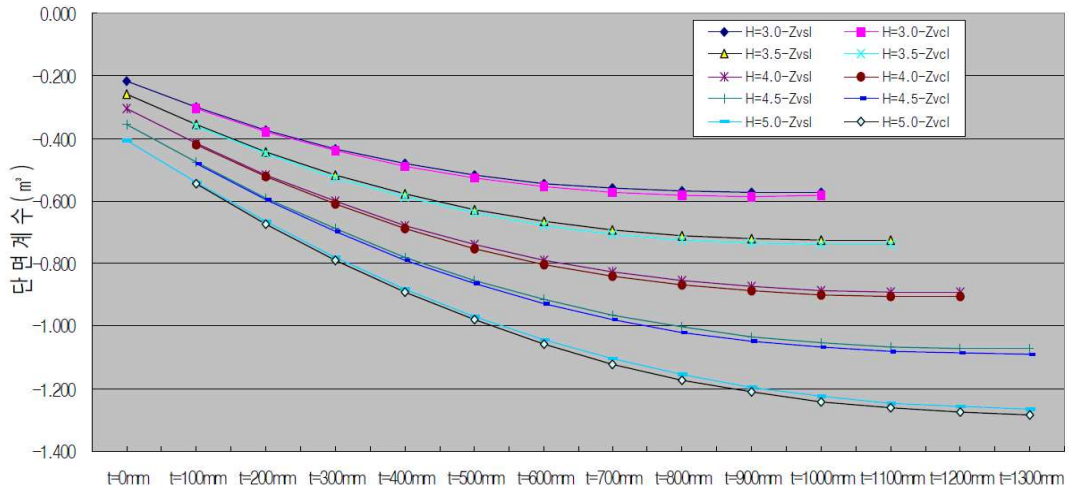
d) 모멘트 검토

<그림 2.10>에서 바닥판 상·하면 철근 및 강재상연에서의 단면계수는 거더높이 3.0m의 경우 두께 200mm까지 증가하다가 이후에는 그 값에 변화가 없으며, 거더높이 5.0m의 경우는 두께 400mm까지 증가하다가 이후에는 일정한 값으로 수렴하고 있다. 따라서, 하부슬래브 콘크리트 두께가 거더높이의 6~8% 이상이 되면 중립축 위쪽에서의 단면계수 개선효과는 얻을 수 없다는 것을 알 수 있다.

한편 <그림 2.11>에서 강재하연 및 하부슬래브 콘크리트 하연 단면계수는 거더높이 3.0m의 경우 두께 200mm까지는 선형으로 증가하다 점차 증가율이 떨어져 800mm에 이르러서는 그 값에 변화가 없으며, 거더높이 5.0m의 경우는 두께 400mm까지는 거의 직선적으로 증가하다가 1200mm 이르러서는 일정한 값으로 수렴하게 된다.



<그림 2.10> 거더높이 및 타설두께에 따른 단면계수 변화



<그림 2.11> 거더높이 및 타설두께에 따른 단면계수 변화

이로부터 강재하연 및 하부슬래브 콘크리트 하연의 단면계수는 거더높이의 6~8%까지는 증가효과가 매우 크며, 15%까지 뚜렷한 증가세를 보이지만, 25% 대 부근에서는 단면계수는 증가하지 않고 콘크리트 중량만 늘어난다는 것을 알 수 있다. 따라서 이중합성강박스거더교의 지점부 단면에서 하부슬래브 콘크리트의 두께는 거더 높이의 약 20% 이내로 정하는 것이 가장 효율적일 것으로 판단된다.

e) 하부슬래브 콘크리트 타설 두께 결정

단면2차모멘트 검토에서 확인할 수 있는 바와 같이 하부슬래브 콘크리트의 타설 두께는 박스 높이의 약 20%를 넘어가면 강성 증대 효율이 좋지 못하다. 더불어, 타설두께가 두꺼워질수록 미소하나마 지점부의 반력이 증가하고, 부모멘트가 커지게 된다. 따라서 본 검토결과에 따라 하부슬래브 콘크리트 타설 두께는 박스 단면 높이의 20% 이내로 타설하는 것으로 한다.

(다) 하부슬래브 콘크리트 타설 범위 검토

① 하부콘크리트 타설 범위

이중합성 강박스거더교는 지점부 하부 콘크리트의 탁월한 압축력 분담 효과로 일반적인 합성거더교에 비해 거더 높이를 낮추고, 적용 지간장을 늘릴 수 있어 장지간 교량에 적합한 합리적인 구조형식이다. 해외의 건설사례에서 보면 이중합성 강박스거더교의 지점부 하부콘크리트 타설 구간은 중앙경간장의 20% 내외가 많고 지점부 하부콘크리트 두께는 대략 거더 높이의 0.1~0.2 범위에 분포하며 최소 30cm에서 최대 150cm의 값을 보인다.

한편, 하부콘크리트는 상부 바닥판콘크리트와 함께 시공단계에 따른 건조수축 및 크리프 변형을 일으키며 응력의 변화에 영향을 미친다. 하부콘크리트의 타설 범위에 대한 검토와 타설 두께에 따른 거동검토를 토대로 한 적정두께 경향을 파악하는 일은 이중합성 강박스거더교의 초기설계단계에서 적절한 도움이 될 것으로 판단된다.

본 연구에서는 외국의 이중합성 박스거더교 사례조사와 문헌을 토대로 하부콘크리트의 적정 타설 범위에 대한 검토를 수행하였다. 또한 장경간 이중합성 강박스거더교의 실제 교량을 대상으로 하여 탄성해석 및 장기거동해석을 수행하고 주요부위의 응력변화를 관찰하여 하부콘크리트의 타설 두께에 따른 영향을 비교분석하였으며, 주거더의 높이에 대한 적정 두께비를 제안하였다. 이를 위해 먼저 이중합성 강박스거더교의 단면구성 및 하부콘크리트 두께가 휨응력에 미치는 영향을 분석하였으며, 교량의 지간장에 따라 상·하부 콘크리트의

재령의 차이가 거더의 단면력 또는 응력에 어느 정도 영향을 미치는지를 분석하여 이후의 해석에 적용하였다.

② 하부콘크리트의 적정타설 범위 검토

이중합성 박스거더교 지점부 단면의 하부콘크리트 타설범위와 두께선정은 초기설계에서 중요한 설계인자가 된다. 본 절에서는 하부콘크리트 타설 범위와 관련하여 해외의 사례를 조사분석하고 본 연구에서 대상으로 하는 교량에 대한 구조검토를 통해 적정 타설범위를 제시하였다.

a) 국내외 사례분석

이중합성 박스거더교의 시공실적은 조사된 바에 따르면 건설중인 교량을 포함하여 독일 6개교, 스페인 3개교, 베네수엘라, 스위스, 네덜란드에서 각 1개교 등이 있으며 최근 일본과 우리나라에서도 1~2개교가 완공되었거나 건설중에 있다. <표 2.7> 에서는 국내외 시공사례를 경간분할, 지간비, 지점부의 거더높이, 하부콘크리트의 타설두께 및 타설범위에 대하여 정리하였다.

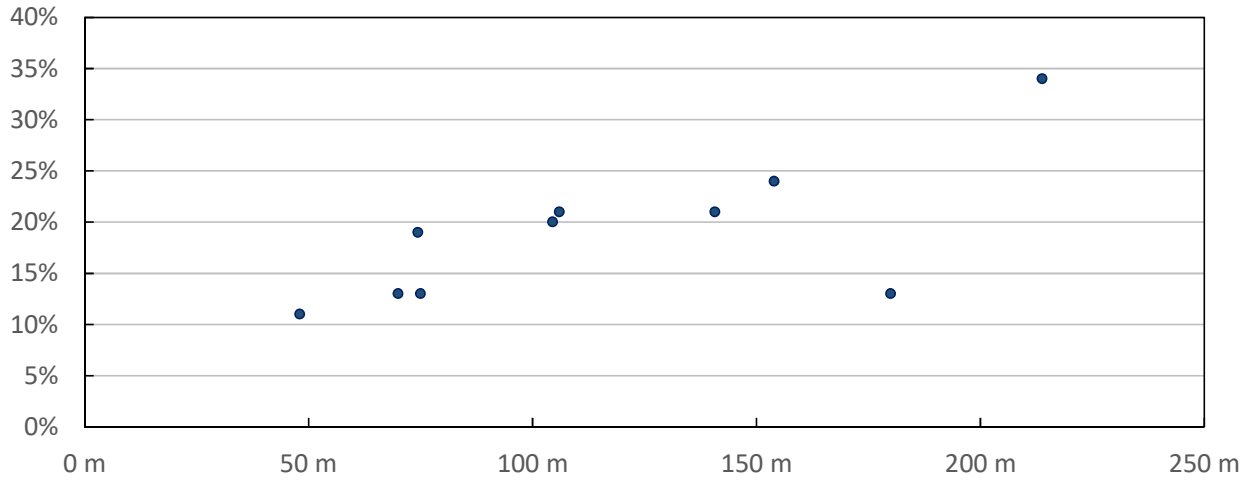
<표 2.7> 이중합성 강박스거더교의 국내외 시공사례

국 가	교 량 명	경 간 분 할	지 간 비	거더높이	하부콘크리트 두 께	하부콘크리트 타설 구간
독일	마인강교	83+104.5+104.5+83m	1:1.26:1.26:1	4.2m	20~65cm	40.76m
독일	에르베강교	53+106+65m	1:1.63:1.23	5.69m	40~90cm	45m
독일	모젤강교	36.4+74.4+36.4m	1:2.04:1	4.5m	25~50cm	28.6m
독일	에르베강교	93+140.7+93m	1:1.51:1	7.11m	최대 150cm	60m
독일	마인강교	95+154+95m	1:1.62:1	6.92m	40~120cm	75m
독일	하벨교	35+50+70+50+35m	1:1.43:2:1.43:1	3.24m	25~90cm	18m
스페인	토르토사교	102+180+102m	1:1.76:1	6.3m	22~32cm	47m
스페인	멘지바르교	55+110+55m	1:2:1	-	-	-
스페인	아레나르교	55+110+55m	1:2:1	-	-	내부지점
스위스	발렌시아교	53+106+53m	1:2:1	4.5m	-	내부지점
베네수엘라	안고스토리타교	82.5+213.75+82.5m	1:2.59:1	14m	20~85cm	147.25m
일본	천세 JC Ramp-C교	44.2+48+62.5+41.7m	1.06:1.16:1.5:1	2.4~2.6m	27cm	10.99m
일본	북륙도가도교	63.3+62+62+58.68m	1.08:1.06:1.06:1	3.2m	15~40cm	전구간
한국	산호대교	50+60+4@75+60+50m	0.83:1:1.25:1:0.83	2.5~3.5m	30~60cm	20m

<표 2.7>으로부터 알 수 있듯이 이중합성 박스거더교는 대부분이 70m이상의 장경간 교량에 채택되고 있으며 하부콘크리트 타설구간도 내부지점에서 좌·우측으로 40m이상 적용하고 있다. 이들 사례에 대해 주경간장에 대한 하부콘크리트 타설범위를 분석해 보면 <표 2.8>및 <그림 2.12>와 같다.

<표 2.8> 중강경간장과 하부콘크리트 타설범위 비율

국가	교량명	중앙경간장	하부콘크리트 타설구간	하부콘크리트 타설구간 / 중앙경간장
독 일	마인강교	104.5m	40.76m / 2 = 20.38m	20%
독 일	에르베강교	106.0m	45.00m / 2 = 22.50m	21%
독 일	모젤강교	74.4m	28.60m / 2 = 14.30m	19%
독 일	에르베강교	140.7m	60.00m / 2 = 30.00m	21%
독 일	마인강교	154.0m	75.00m / 2 = 37.50m	24%
독 일	하벨교	70.0m	18.00m / 2 = 9.00m	13%
스 페 인	토르토사교	180.0m	47.00m / 2 = 23.50m	13%
베네수엘라	안고스토리타교	213.8m	147.25m / 2 = 73.63m	34%
일 본	천세JC Ramp-C교	48.0m	10.99m / 2 = 5.50m	11%
한 국	산호대교	75.0m	20.00m / 2 = 10.00m	13%

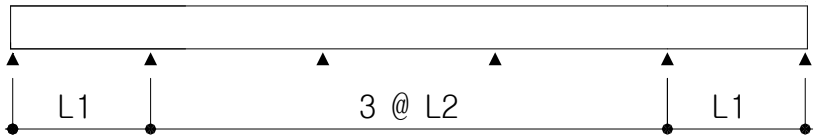


<그림 2.12> 주경간장에 대한 콘크리트 타설범위 사례

표에서 보면 하부콘크리트 타설범위는 주로 20%내외에 분포하며, 주경간장 214m의 베네수엘라 안고스토리타교가 드물게 주경간장의 34%까지 하부콘크리트를 타설하고 있는 바, 이 교량은 경간장비가 1:2.59:1로서 일반적인 교량에서의 1:1.25:1을 크게 상회하는 특별한 경우에 해당한다. 일반적으로 이중합성거더교에서의 하부콘크리트 타설범위는 2차고정하중에 의해 부모멘트가 발생하는 영역으로 알려져 있다. 이는 고정하중에 의해 하부콘크리트에 인장응력이 작용하는 것을 배제하기 위함이다.

b) 주경간장 변화에 따른 고정하중 모멘트 분석

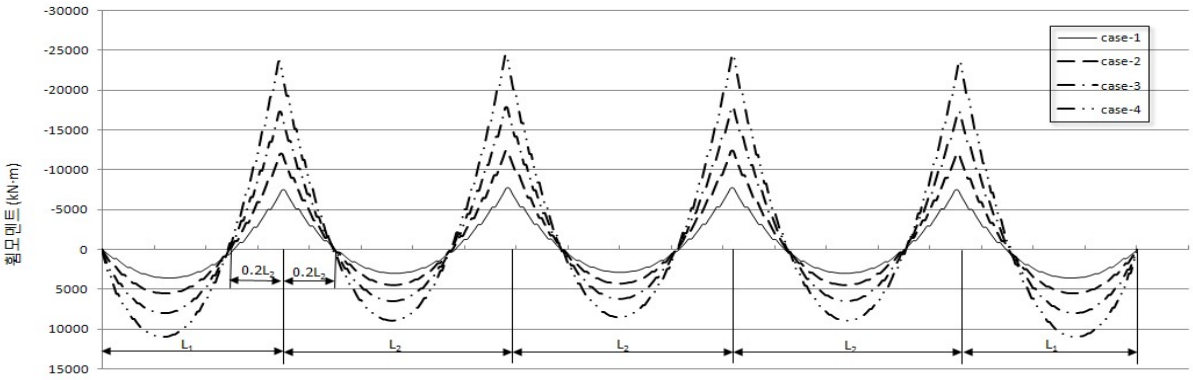
본 연구에서 검토대상으로 삼고 있는 주경간장 80m, 100m, 120m, 140m 교량에 대하여 2차고정하중에 의한 휨모멘트 분포를 살펴보았다. 검토대상 교량의 경간구성은 <표 2.9> 및 <그림 2.13>과 같다. 이들 교량에 대한 휨모멘트 분포는 <그림 2.14>과 같다.



<그림 2.13> 검토대상 교량의 경간구성

<표 2.9> Case별 지간장

구 분	L_1 (m)	L_2 (m)
Case-1	64	80
Case-2	80	100
Case-3	96	120
Case-4	112	140



<그림 2.14> 2차고정하중에 의한 지간구성별 휨모멘트 분포

그림에서 알 수 있듯이 주경간장의 길이에 관계없이 모든 경우에 있어서 부모멘트 발생 영역은 지점부로부터 주경간장의 0.2배에 해당하는 길이까지이다. 따라서 하부콘크리트의 타설범위를 2차고정하중에 의해 인장응력이 발생하지 않는 영역으로 정하고 그 길이를 주경간장의 0.2배로 하는 것이 초기설계 단계에서 합리적인 접근이 될 것으로 판단된다.

c) 하부콘크리트 타설범위

이중합성 박스거더교의 설계에서 지점부 단면의 하부콘크리트 타설범위는 2차고정하중에 의해 하부콘크리트에 인장응력이 발생하지 않는 범위로 정하며, 일반적인 지간구성을 갖는 교량에서 이 범위는 지점부로부터 양측으로 주경간장의 20%정도의 길이가 된다. 따라서 이후의 검토에서는 하부콘크리트 타설구간을 주경간장의 20%로 정하는 것으로 한다.

(라) 중앙자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트 성능실험 및 분석

정립된 해석기법 및 설계 가이드라인을 바탕으로 중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트의 실험체를 제작한다. 또한, 실물 모형실험을 수행하여 정립된 해석기법과 적용성을 검증하고 효율적인 설계안을 제시하고자 한다.

① 실험의 개요

- 이중합성 강박스거더의 구조성능평가를 위해 각 구성요소별 외부 하중에 의한 구조거동을 실험을 통해 파악하고자 함
- 이 보고서에서는 이중합성 강박스거더의 구성요소별 실험을 통해 측정된 하중, 변위, 변형률로부터 구조거동 및 성능을 분석하고, 아울러 설계하중에 대해 안전성을 확보하는지 여부에 대해 평가하고자 함
- 본 실험은 이중합성 강박스거더 부모멘트부 극한강도실험의 목적은 중앙자유단이 배치된 하부플랜지 콘크리트의 성능을 검증하기 위한 것이다. 동시에 복부판, 상·하부 플랜지 등 특정 부재에 대한 파괴상태까지의 구조거동을 파악하고 결과분석을 통한 구조안전성을 검토하는 것을 목적으로 함
- 강박스거더의 상·하부 플랜지, 종방향 리브 등 주부재는 HSB500 강재로 제작되었으며, 횡방향 보강재 및 수직보강재 등 부부재는 SM400B 강재로 제작되었음
- 강박스거더의 실험체는 1 기로 제작되었다. 하부플랜지 콘크리트 상면에는 강박스거더 단면을 기준으로 우측에만 결로수 방지용 수평보강재를 설치하여 하중 재하시 결로수 방지용 수평보강재의 부정적인 영향이 없음을 확인하고, 결로수 방지용 수평보강재의

설치 효과를 검증하고자 하였음

- 박스거더 상부플랜지에 위치한 상부 콘크리트 콘크리트의 강도는 35 MPa, 하부 콘크리트의 강도는 40 MPa임

실험체 제작에 사용된 재료 및 물성치는 <표 2.10>, <표 2.11>와 같다.

<표 2.10> 이중합성 강박스거더 부모멘트부 실험체의 강재 및 물성치

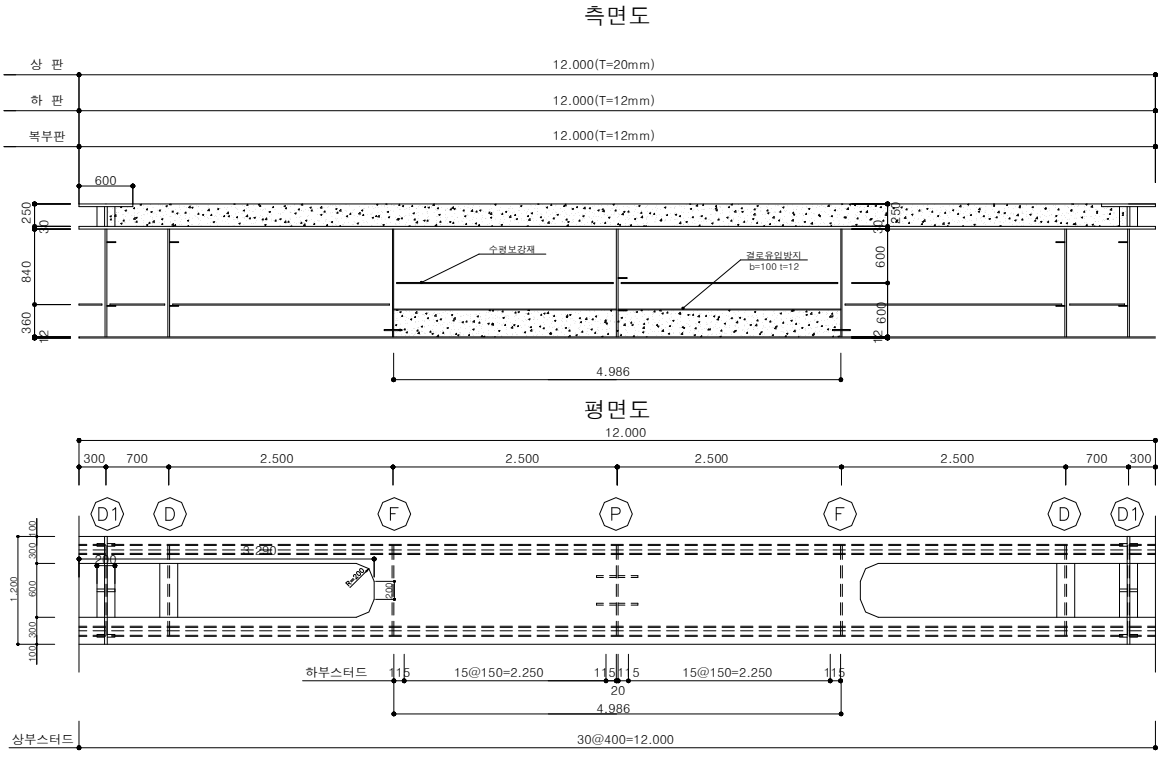
부재		사용재료	단위중량 (kN/m^3)	항복강도 (MPa)	비고
강재	주부재	HSB500	78.5	380	
	부부재	SM400B	78.5	235	

<표 2.11> 이중합성 강박스거더 부모멘트부 실험체의 콘크리트 물성치

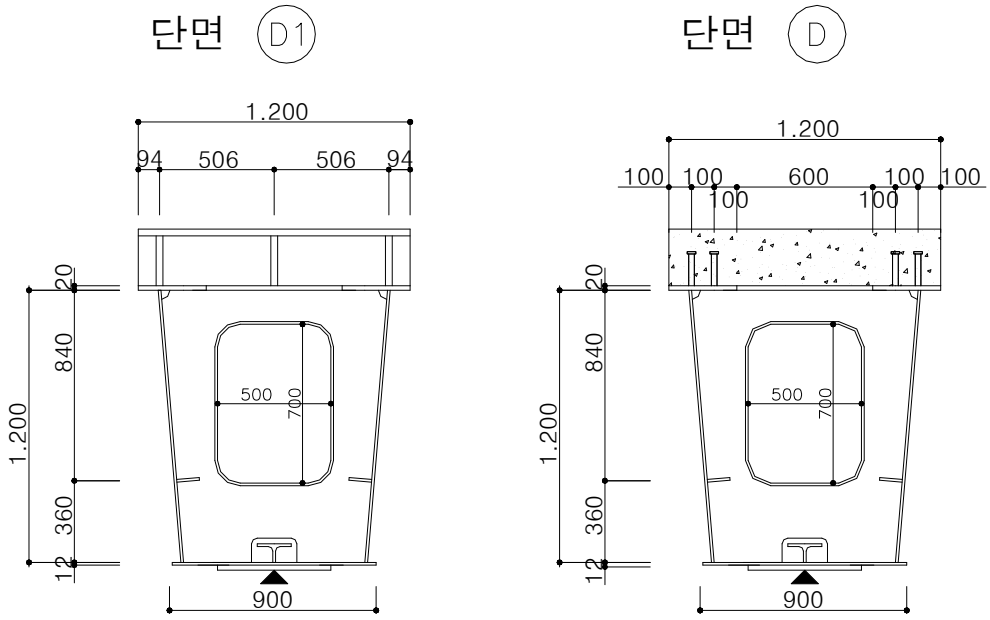
부재		단위중량 (kN/m^3)	재료 강도 (MPa)	비고
콘크리트	상부 콘크리트	25	35	
	하부 콘크리트	25	40	

② 실험체(이중합성 강박스거더) 제원

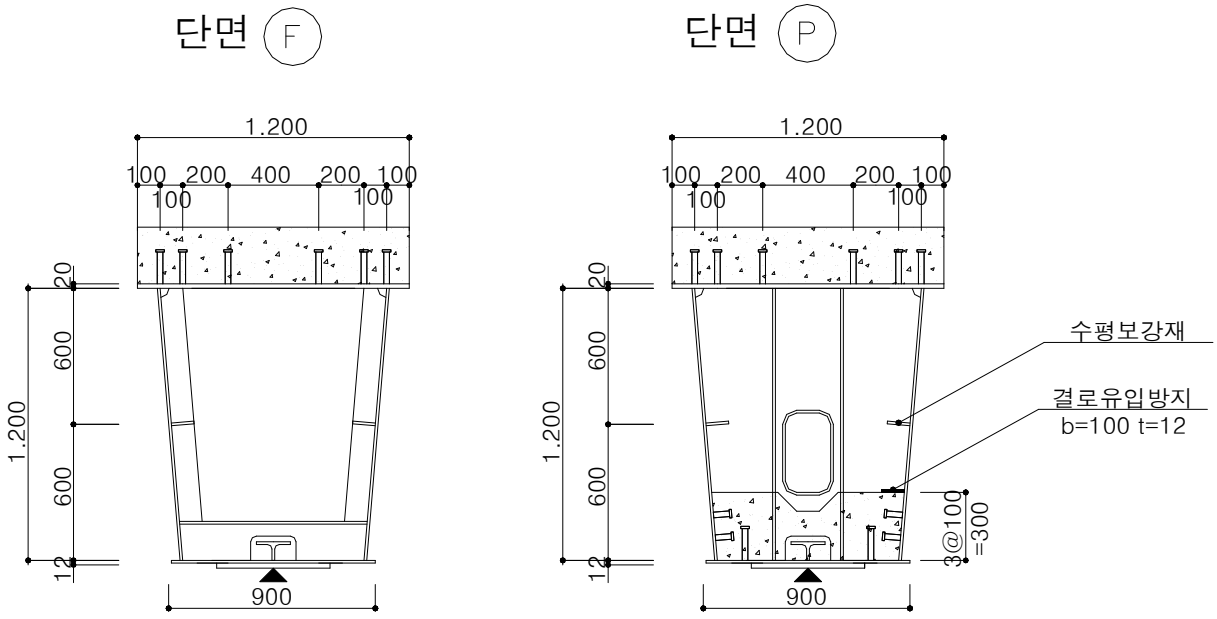
본 실험에 적용된 이중합성 강박스거더 실험체 도면은 <그림 2.15>와 같다.



(a) 중앙자유단이 설치된 이중합성 강박스거더의 적용 예



(b) 강박스거더 단면 D1, D 단면도



(c) 강박스거더 단면 F, P 단면도

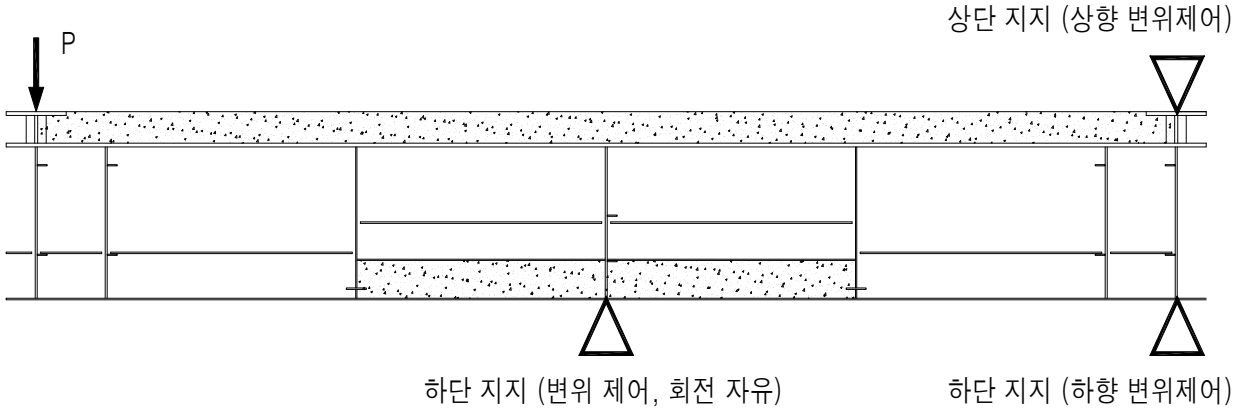
<그림 2.15> 이중합성 강박스거더 부모멘트부 실험체 도면

<그림 2.15>과 같이 실험체의 연장은 12.0m이다. 본 실험은 부모멘트부 실험이므로, 부모멘트부(교각부)를 기준으로 양쪽으로 각각 6.0m 씩 제작하는 것으로 결정하였다. 따라서 지점부는 실험체의 중앙에 위치하며, 하부플랜지 콘크리트의 타설 구간은 실험체 중앙의 5m 구간이다.

하부플랜지 콘크리트의 타설 두께는 300mm이고, 중앙자유단은 단면 폭 100mm, 높이 83mm이며, 중앙자유단 단면의 경사는 1:1이다. 하부플랜지 콘크리트 우측 상면에는 결로수 방지용 수평보강재를 배치하여 좌, 우측의 실험결과 비교를 통하여 안전성 및 효과를 확인하고자 하였다.

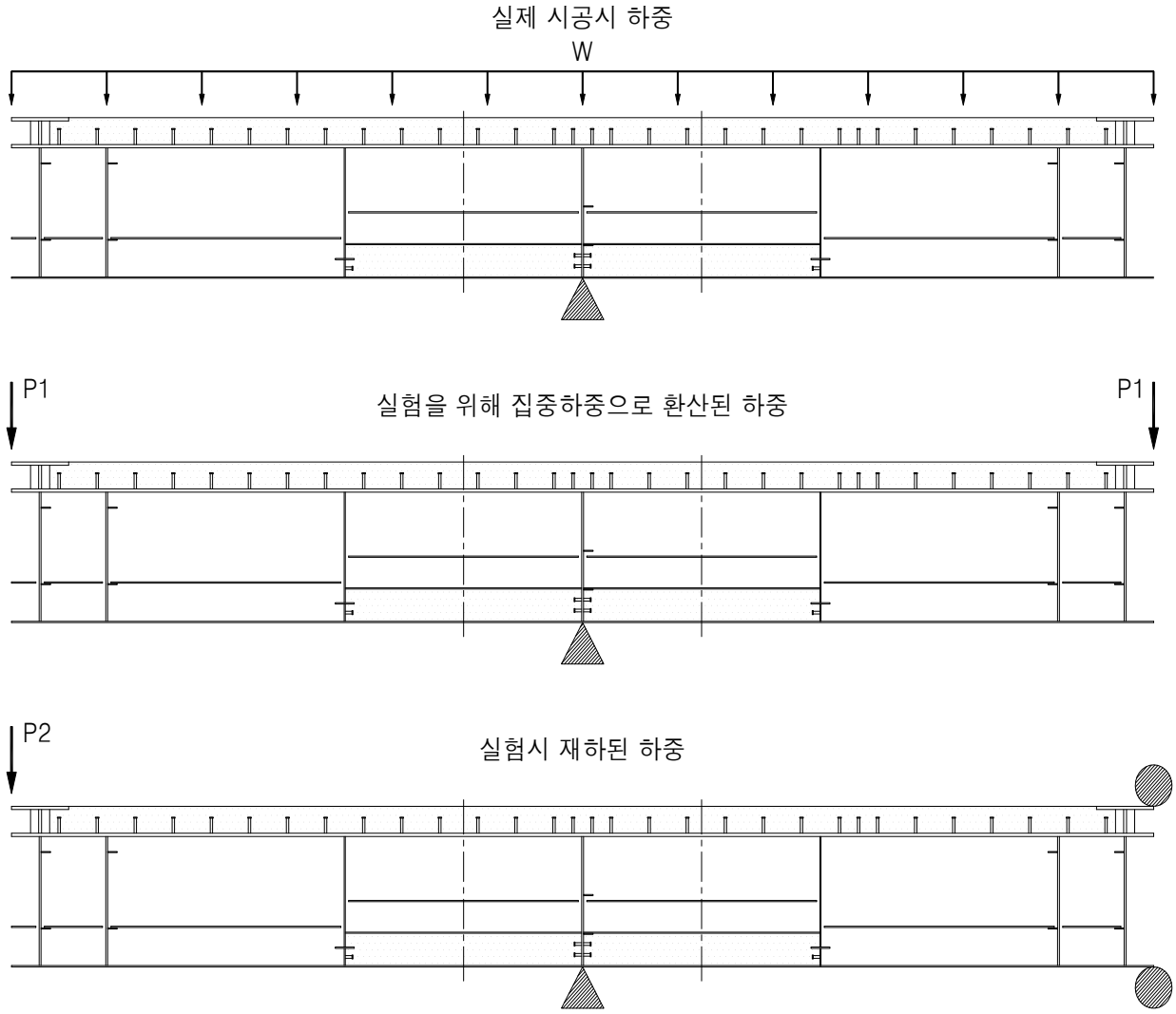
거더의 높이는 1.2m이며 상부 콘크리트 두께는 250mm이다. 본 실험은 지점부를 실험체 중앙으로 배치한 부모멘트부 실험이고, 부모멘트부에서 상부 콘크리트은 인장력을 받는 부재이므로, 콘크리트 부재로 이루어진 상부 콘크리트은 실험 중 초기에 균열이 발생할 부재이다.

하부플랜지의 종방향 리브는 T형 리브를 적용하였으며, 거더의 시·종점부의 상부 콘크리트 위치에는 집중 하중 재하로 인한 상부 콘크리트의 파손으로 가력 효율이 떨어질 것에 대비하여, 상부 콘크리트 대신 강재 프레임을 배치하였다. 적용된 강재 중량은 약 11 ton, 콘크리트 중량은 약 12 ton으로, 총 중량은 약 23 ton이다. 박스거더의 주부재는 HSB500, 부부재는 SM400B를 적용하였다. 이중합성 강박스거더 부모멘트부 실험체의 가력 및 지지조건은 <그림 2.16>과 같다.

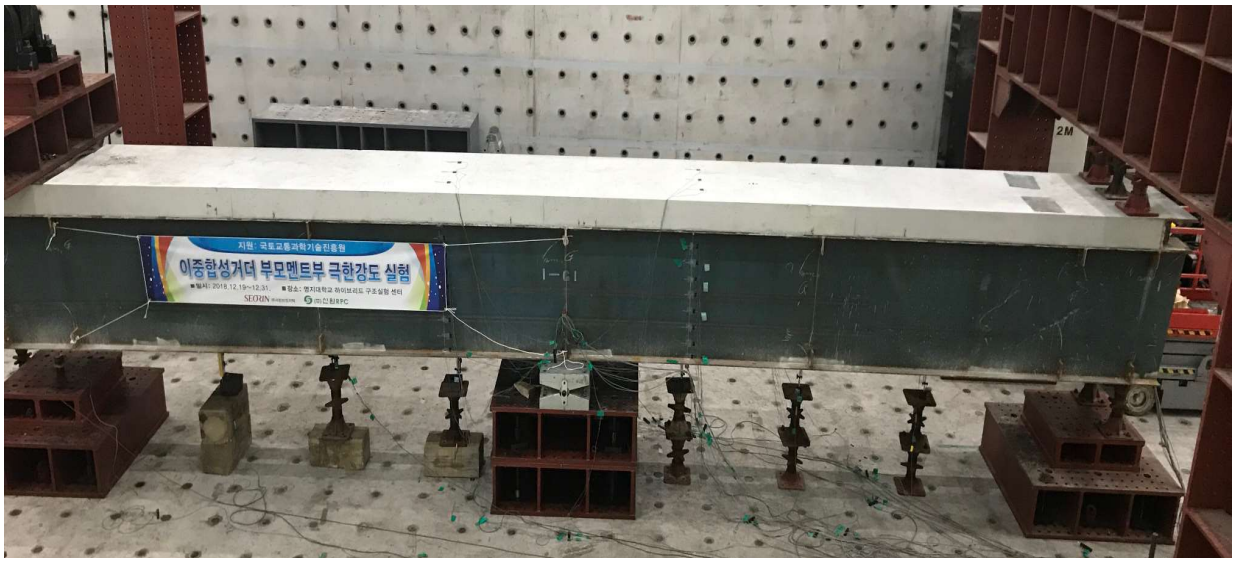


<그림 2.16> 실험체 가력 및 지지조건

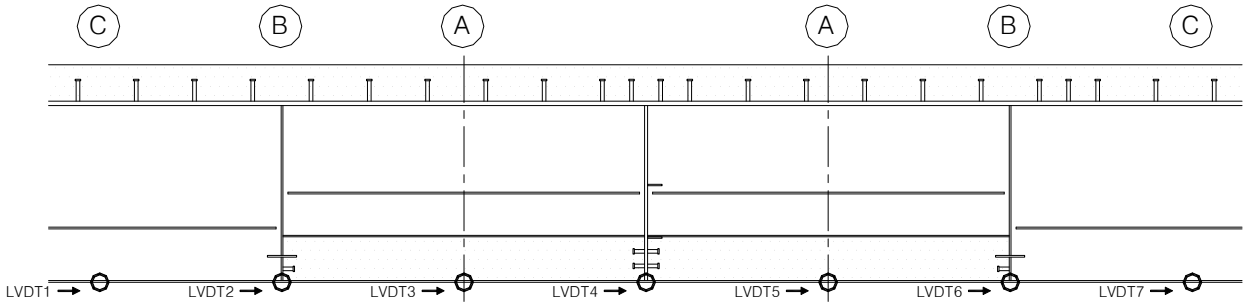
거더 중앙부의 부모멘트부 하단 지지는 힌지로 배치하였고, 종점부(<그림 2.16>에서 우측) 상·하단은 연직방향에 대한 단순지지로 배치하였다. 하중 재하는 시점부(<그림 2.16>에서 좌측)의 강재 프레임에 재하하였다. 실험시 거더의 양단에 하중을 재하하는 것은 실험 안전성을 확보하기 어렵다. 따라서 본 실험은 <그림2.17>의 '실험시 재하된 하중' 과 같이 거더의 시점부에 재환산된 하중을 재하하고, 거더 종점부의 연직변위를 고정시켜 간접적으로 실제와 같은 거더의 변형을 유도하였다.



<그림 2.17> 실험시 하중 재하

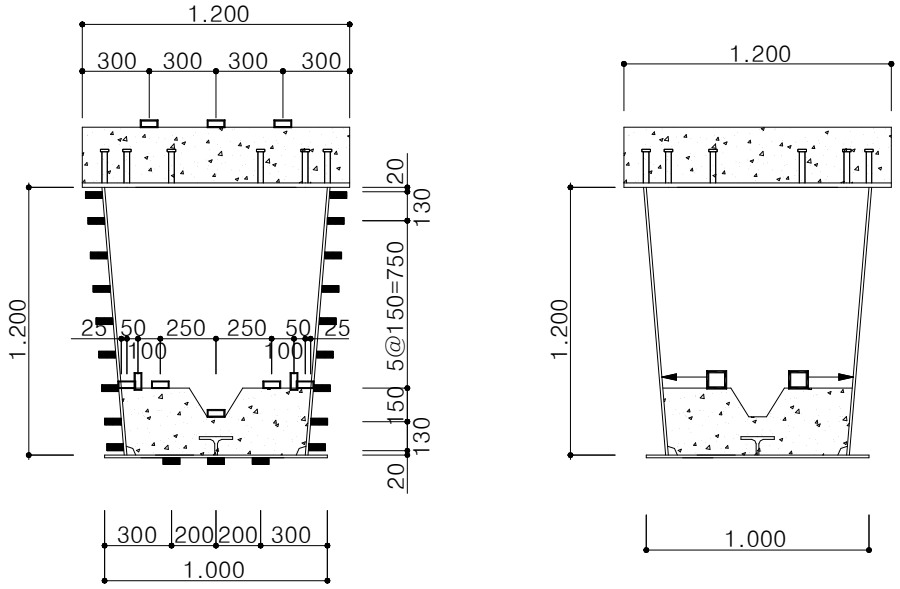


<그림 2.18> 이중합성 실험 전경

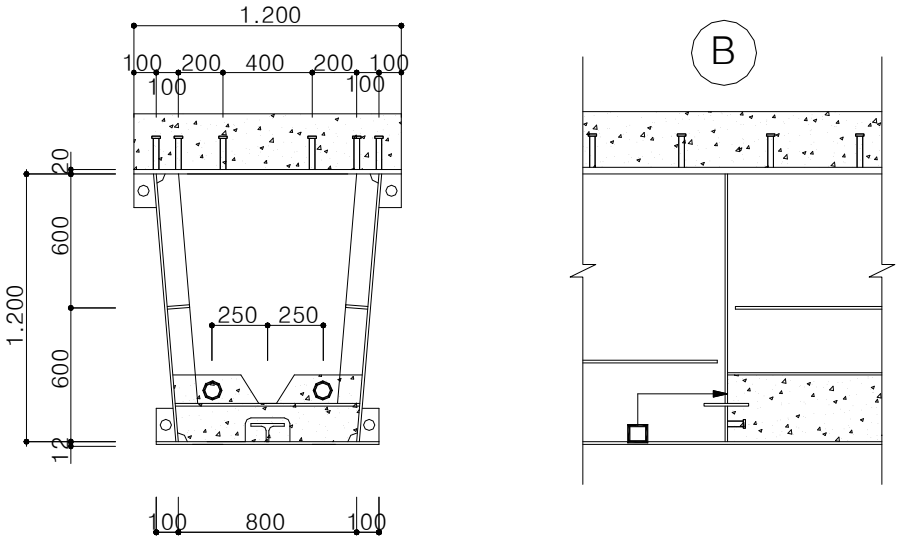


<그림 2.19> 박스거더 하면 변위 게이지 부착 위치 (측면도)

단면 A (LVDT설치개념도)



단면 B (LVDT설치개념도)



<그림 2.20> 게이지 부착 위치 단면도

③ 실험 하중재하

실험을 위한 하중 재하는 앞서 산정한 하중을 재하한다. 하중 산정을 위한 기준은 <표 2.12>과 같고, 산정된 사용하중Ⅰ, 사용하중Ⅱ, 사용하중Ⅲ 및 극한하중을 정리하면 <표 2.13>과 같다. 다만, 본 실험에서는 최종 하중에 도달하기 전 <표 2.14>와 같이 총 4회에 걸쳐 하중을 재하하여 그 결과를 확인하였다. 각 단계별 하중을 재하하여 콘크리트의 균열 등 발생한 손상을 육안으로 확인하고, 재하된 하중을 제거한다. 이후 다음 단계의 하중을 재하하는 방법으로 수행하였다. 2차 하중 재하시 사용하중Ⅰ 상태에 도달하게 되고, 최종 단계인 4차 하중 재하시 극한하중상태에 도달하게 되도록 하중을 재하하였다.

<표 2.12> 하중 산정 기준

구 분	산정기준
사용하중Ⅰ	0.60 × fy (HSB500)
사용하중II	0.95 × fy (SM520)
사용하중III	0.95 × fy (HSB500)
극한하중	소성모멘트에 의해 결정됨 (파괴를 보장하기 위해 15% 할증)

<표 2.13> 산정된 사용하중 및 극한하중

구 분	사용하중Ⅰ	사용하중II	사용하중III	극한하중
하중크기(kN)	1,822	2,694	2,884	3,389

<표 2.14> 재하된 실험 하중

구 분	1차	2차	3차	4차
하중크기(kN)	500	1,900	2,400	3,500

④ 실험결과

■ 육안검사 :

1~4차 하중 재하 중 상대적으로 매우 작은 하중을 재하한 1차 하중 재하시를 제외한, 2차, 3,차, 4차 재하 후에 각각 육안검사를 실시하였다. 육안검사 결과, 2, 3, 4차 모두 상부 콘크리트 균열이 확인되었으며, 상부 콘크리트 이외의 부재에서는 육안으로 확인 가능한 변형은 발생하지 않았다. 상부 콘크리트의 경우, 2차, 3차, 4차 하중재하를 거치며 균열의 폭과 길이 모두 증가하는 경향을 보였으며, 이는 하중 증가에 따른 인장력 증가로 인한 것이

다. 상부 콘크리트 이외의 부재에서 변형을 확인되지 않았으나, 강박스거더 전체 변위는 3차, 4차 재하에서 확인 가능한 수준으로 발생하였다.

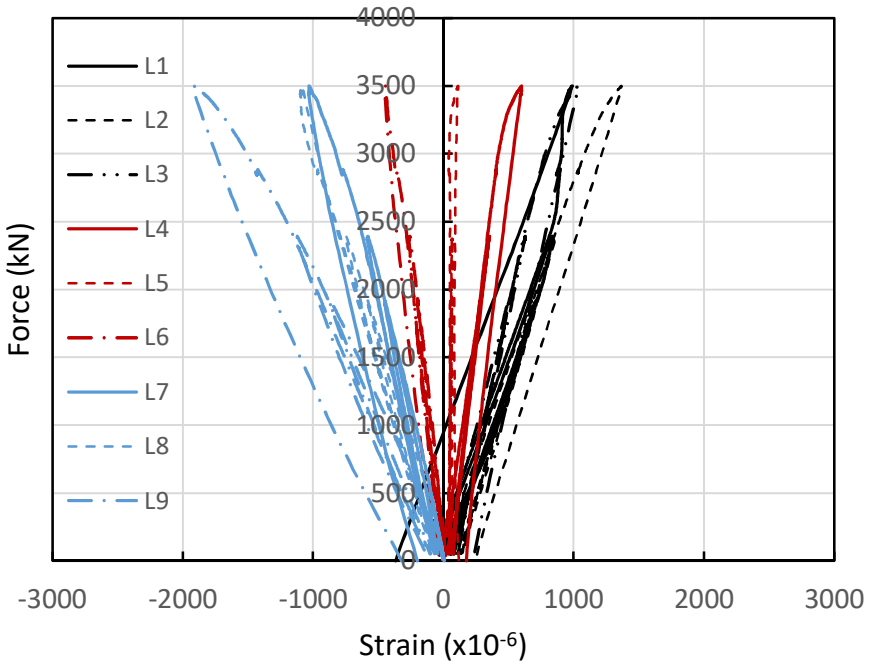
■ 발생변위 :

<표 2.15> 실험결과 발생변위 (거더 하단)

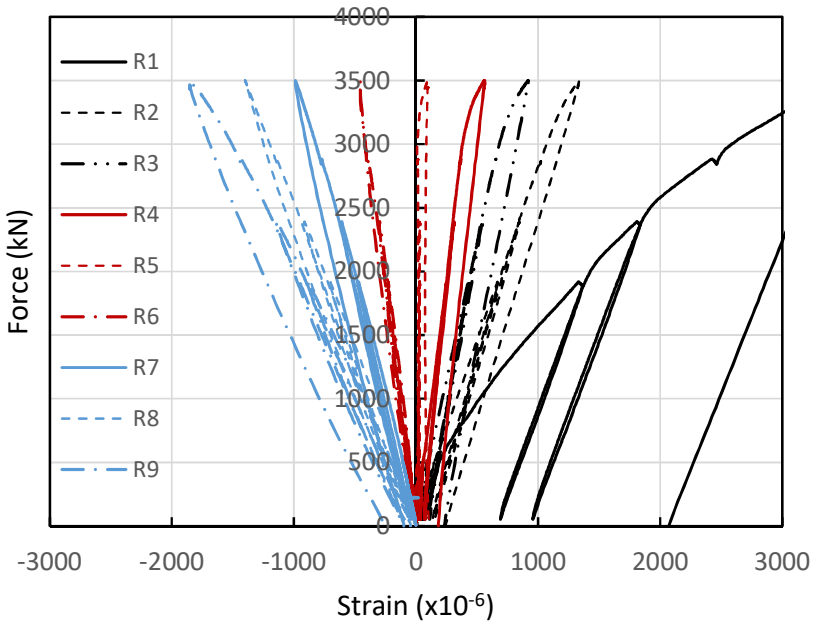
구 분	LVDT1	LVDT2	LVDT3	LVDT4	LVDT5	LVDT6	LVDT7
최대 변위	-143.0	-93.9	-57.2	-25.0	7.2	10.9	10.0
잔류 변형	-36.1	-24.1	-15.0	-6.5	1.34	1.92	2.0

발생 변위를 종합하여 보면, 거더 시점에 배치된 LVDT1 기준으로 약 36.1mm의 잔류변위가 확인되었다. 이는 부재가 소성상태에 진입하였음을 의미한다. 사용하중 I ~ 사용하중 III 구간에서는 하중-변위 곡선이 선형이 가깝게 증가하고, 사용하중 III를 초과하면서 하중 증가량에 비해 변위 증가량이 커지고 있다. 특히, 하중의 크기가 극한하중 부근에 도달할 때 변위 증가량이 커지고 있다는 점에서 계산된 극한하중 부근에서 부재의 항복이 일어났음을 유추할 수 있다.

■ 복부판의 변형 :



<그림 2.21> 복부판 변형률(중간지점 전 좌측 복부판)



<그림 2.22> 복부판 변형률(중간지점 전 우측 복부판)

이중합성 강박스거더의 복부판 게이지는 복부판 외측에 부착되었으며, 하중 재하에 의해 발생되는 거더의 연직방향 처짐의 영향을 측정할 수 있도록 복부판의 거더 종방향 변형률을 측정하였다. 하중이 재하되면 중간지점부를 기준으로 위로 볼록한 형상이 만들어지므로, 실험 전 예상되는 복부판의 위치별 변형 형상은 복부판 상연 인장, 복부판 하연 압축이다.

하중 재하점(거더 시점)으로부터 중간지점 사이의 좌, 우측 복부판의 각 위치별 변형률은 <그림 2.21>, <그림 2.22>와 같다. 좌, 우측 각각 최상단 1개의 게이지(R1, L1)를 제외하면, 복부판 상·하연에서 높은 변형률을 보이고, 복부판 중앙부(R4~7, L4~7)에서 적은 변형률을 보이고 있다. 이는 이중합성 박스거더의 시점부에 하중을 재하하여, 박스거더의 종단 상 변형 형상이 위로 볼록하게 나타났기 때문이다.

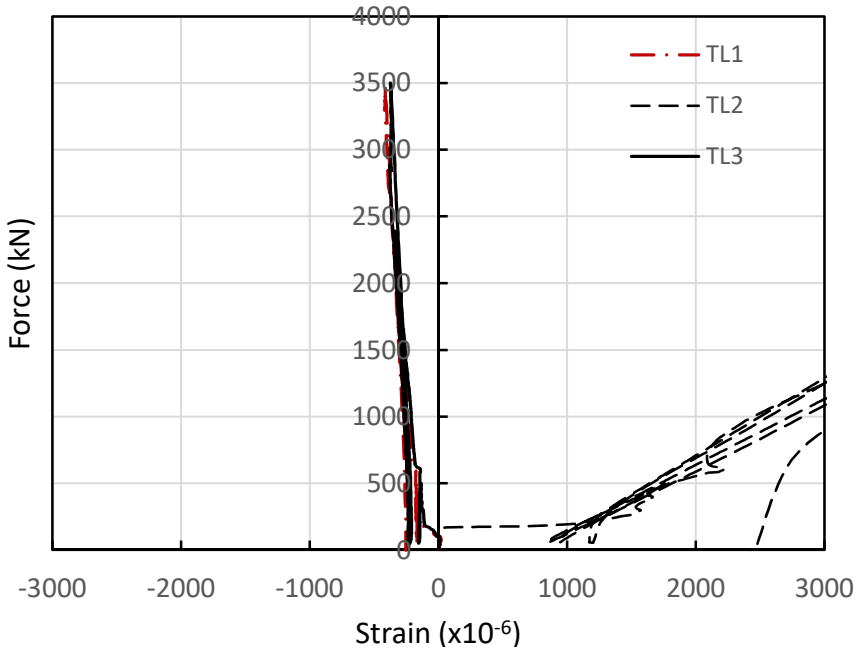
게이지 L1의 변형률은 L2의 변형률보다 약간 적게 나타났으며, R1의 변형률은 1차 하중 재하시부터 매우 큰 값을 보이고 있다. 이는 거더 시점부에서 하중 재하시, 거더 단면을 기준으로 보면 약간 우측으로 편심하중이 재하되어 발생한 것으로 판단된다. 본 실험체의 규모가 다소 작음에도 불구하고, 하부 콘크리트 타설을 위해 박스거더 폭에 비해 높이가 높게 계획된 점, 가력시 미소한 편심 발생으로도 실험 기기 특성 상 점차 더 큰 편심하중이 적용되는 점 등을 고려하면, L1, R1의 데이터는 실험실에서의 특이점으로 볼 수 있다. 따라서 본 보고서에서는 결과 분석을 위한 자료에서 최상단 두 데이터는 적용하지 않는다.

L1, R1을 제외한 변형률은 모두 -0.0019~0.0014 수준으로 나타났으며, 대체로 복부판 상, 하단의 변형률이 크게 나타났고, 복부판 중앙은 변형이 거의 일어나지 않았다.

■ 상부콘크리트 변형률 :

이중합성 강박스거더의 상부콘크리트 상면 게이지는 하중 재하에 의해 발생되는 거더의 연직방향 처짐의 영향을 측정할 수 있도록 거더 종방향 변형률을 측정하였다. 측정시 데이터의 일관성을 확보하기 용이하도록 복부판 변형률게이지와 동일한 단면상에 위치하도록 부착하였으며, 실험 전 예상되는 변형 형상은 인장이다.

하중 재하점(거더 시점)으로부터 중간지점 사이에 위치한 상부콘크리트 상면의 변형률은 <그림 2.23>과 같다. 상부콘크리트 중앙에 위치한 TL2는 실험 초기 콘크리트에 균열이 발생함으로 인해 손상되었다. 따라서 TL2의 데이터를 제외하고 살펴보면, 상부콘크리트 상면의 변형률은 최대 0.0004 수준이다.



<그림 2.23> 상부콘크리트 상면 변형률

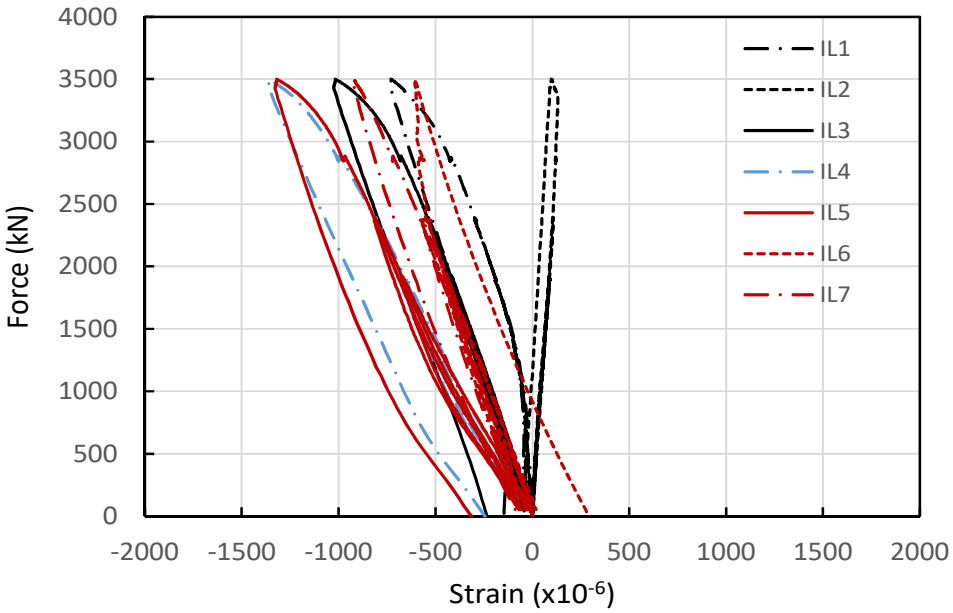
■ 하부콘크리트 변형률 :

이중합성 강박스거더의 하부콘크리트 상면 게이지 14개 중 4개(IL2, IL6, IR2, IR6)를 제외한 10개는 하중 재하에 의해 발생되는 거더의 연직방향 처짐의 영향을 측정할 수 있도록 거더 종방향 변형률을 측정하였다. IL2, IL6, IR2, IR6은 거더 횡방향으로 부착하였다. 측정시 데이터의 일관성을 확보하기 용이하도록 복부판 변형률게이지와 동일한 단면상에 위치하도록 부착하였으며, 실험 전 예상되는 변형 형상은 종방향으로 압축이다.

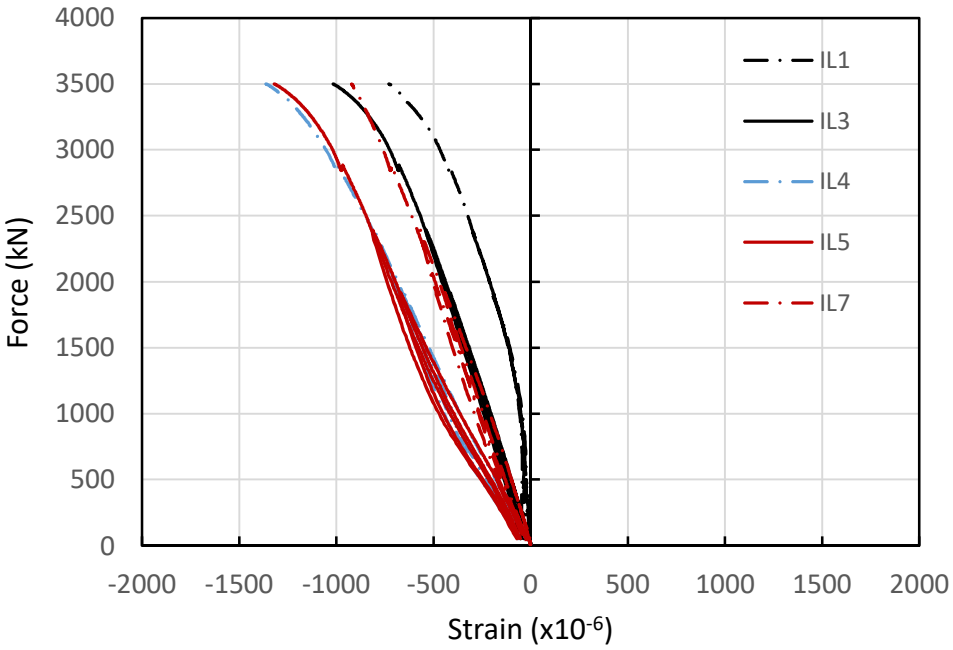
하중 재하점(거더 시점)으로부터 중간지점 사이에 위치한 하부콘크리트 상면의 변형률은 <그림 2.23> ~ <그림 2.25>과 같다. <그림 2.23>에서 모든 종방향 게이지의 변형률 최대

값이 -0.0007~-0.0014 수준으로 나타났고, <그림 2.24>에서 좌, 우측 횡방향 게이지의 변형률 최대값은 각각 0.0002, -0.0007 수준으로 나타났다. 이는 좌측 횡방향 게이지는 압축, 우측 횡방향 게이지는 인장을 받고 있었음을 알 수 있다.

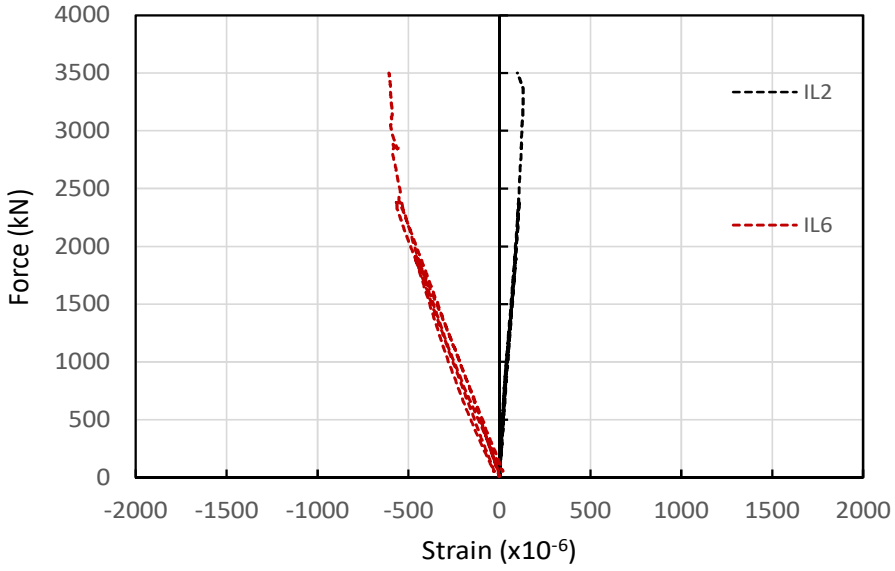
실험 결과, 콘크리트의 한계변형률 ϵ_{cu}=0.0033을 고려하면, <그림 2.23>, <그림 2.24> 모두 작은 변형률 값을 보였음을 알 수 있다.



<그림 2.24> 중간지점 전 단면의 하부콘크리트 상면 변형률



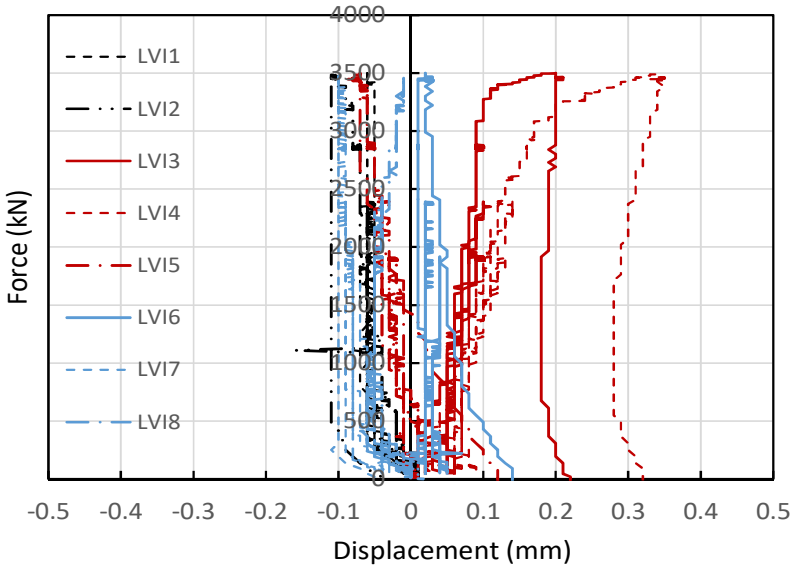
<그림 2.24> 중간지점 전 단면의 하부콘크리트 상면 변형률(종방향)



<그림 2.25> 중간지점 전 단면의 하부콘크리트 상면 변형률(횡방향)

■ 이중합성 강박스거더와 하부콘크리트 간 상대변위 :

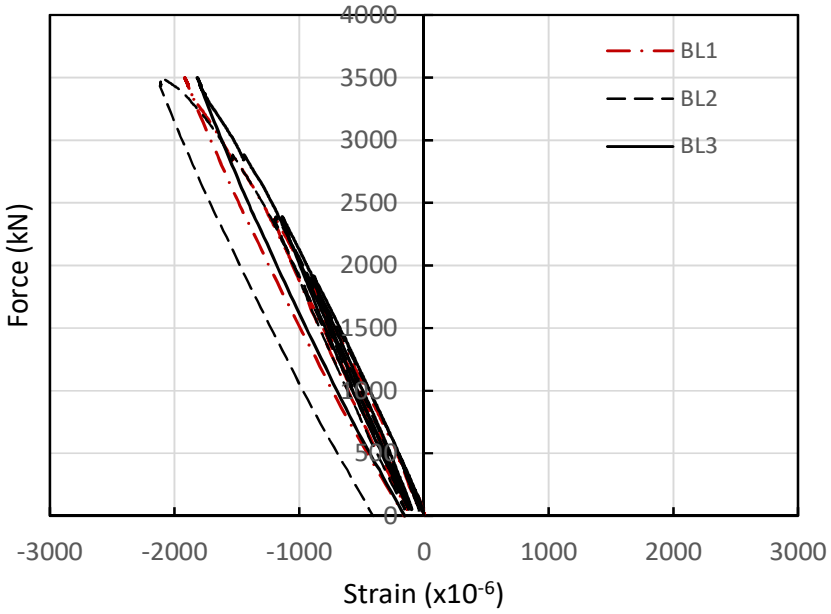
이중합성 강박스거더의 하부콘크리트 상면에 배치된 8개의 변위 게이지는 박스거더 내 하중 재하에 따른 이중합성 강박스거더의 복부판/하부플랜지와 콘크리트 사이의 발생 변위를 측정하기 위한 것이다. <그림 2.26>와 같이, 강박스거더의 복부판과 하부콘크리트 사이의 변위를 측정한다. 실험 결과 이중합성 강박스거더의 하부플랜지/복부판과 하부콘크리트 사이의 변위는 <그림 2.26>과 같다. 실험 결과 이중합성 강박스거더의 복부판과 하부콘크리트 사이의 상대 변위는 0.4mm 이내로 나타났다.



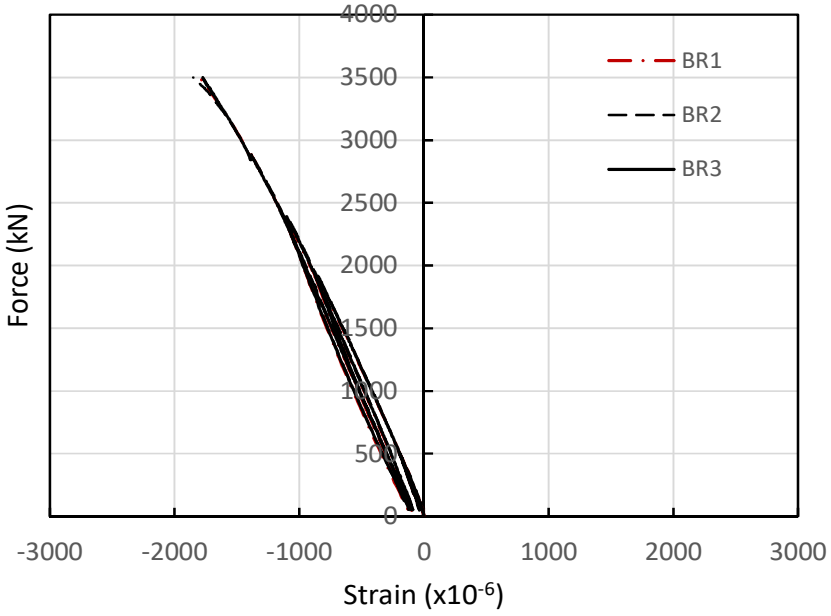
<그림 2.26> 강박스거더 하부플랜지/복부판과 하부콘크리트 사이의 상대변위

■ 이중합성 강박스거더 하부플랜지 변형률 :

이중합성 강박스거더의 하부플랜지 하면에 배치된 6개의 변형률 게이지는 실험하중 재하에 의한 하부플랜지의 횡방향 변형률을 측정하기 위한 것으로, 실험 결과는 <그림 2.27> ~ <그림 2.28>과 같다. 실험 결과 모든 게이지에서 최대 0.002 가량의 변형률이 측정되었으며, 하중 제거 후 대부분 회복되어 잔류 변형은 거의 없는 것으로 나타났다.



<그림 2.27> 강박스거더 하부플랜지 변형률(BL1～BL3)



<그림 2.28> 강박스거더 하부플랜지 변형률(BR1～BR3)

(마) 실험결과

"차세대 이중합성 강박스거더 교량의 구조시스템 개발"연구(2006.12~2009.12)를 통하여 개발된 기술의 개선을 위하여 하부슬래브에 중앙자유단이 설치된 이중합성 강박스거더의 부모멘트부 극한강도 실험결과를 정리하면 다음과 같다.

- 이중합성 강박스 거더의 주부재는 HSB500, 부부재는 SM400B를 적용하였으며, 상, 하부 콘크리트의 강도(Fck)는 각각 35 MPa, 40 MPa로 적용하였다. 거더의 총 연장은 12.0m, 거더 높이는 1.2m로 거더 중앙부에 지점을 배치하였다. 거더 시점부에 하중을 재하하고, 거더 종점부는 상, 하향으로 연직변위를 고정시켰다.

- 실험게이지는 총 59개의 변형률 게이지(Strain gauge)와 15개의 변위 게이지(LVDT)를 배치하여 각 부의 변위 및 변형 형상을 정밀 측정하였다.

- 실험 시 재하 하중은 다음과 같다.

<표 2.23> 산정된 사용하중 및 극한하중

구 분	사용하중 I	사용하중II	사용하중III	극한하중
하중크기(kN)	1,822	2,694	2,884	3,389

<표 2.24> 재하된 실험 하중

구 분	1차	2차	3차	4차
하중크기(kN)	500	1,900	2,400	3,500

- 육안검사 결과, 상부 콘크리트에서 2, 3, 4차 하중 재하시 균열 발생이 확인되었으며, 각 부재에서 눈에 띄는 변형은 확인되지 않았음. 다만, 3, 4차 하중 재하시에는 육안으로 관측 가능한 수준의 거더 전체 변위가 발생하였다.

- 실험결과, 거더의 각 위치에서 발생한 변위는 최대 143mm이며, 잔류변형은 36mm로 소성상태까지 하중이 재하된 것으로 판단된다.
- 거더 복부판의 수평방향 변형률은 최대 -0.0019~0.0015 수준으로 나타났으며, 잔류변

형 또한 거의 나타나지 않았다. 이는 복부판의 항복이 이루어지지 않았음을 의미한다. 이러한 결과는 지점부를 중심으로 거더 시점부와 거더 종점부의 결과가 동일하게 나타났으며, 이를 통해 거더에 재하되는 하중 재하 및 종점부지지 조건의 적정성에 문제가 없음을 의미한다.

- 상부 콘크리트 상면 변형률은 2차 하중 재하 이후, 콘크리트에 균열이 발생하여 분균등하게 측정되었다. 균열 발생 단면에서 큰 변형이 발생함으로 인해 균열이 발생하지 않은 부분은 상대적으로 매우 작은 변형률을 보였다.

- 하부 콘크리트 상면 변형률은 최대 0.0007 수준으로 발생하였으며, 좌, 우측 게이지에서 거의 같은 값이 발생하였다. 콘크리트의 한계변형률이 0.0033임을 고려하면, 상대적으로 매우 작은 변형률을 보였음을 알 수 있다. 이러한 결과는 지점부를 중심으로 거더 시점부와 거더 종점부의 결과가 동일하게 나타났다.

- 이중합성 강박스 거더의 하부플랜지와 하부콘크리트 간 상대변위는 0.1mm 미만으로 발생하여, 하부플랜지와 하부콘크리트 간 부착력은 충분함을 알 수 있다. 이중합성 강박스 거더의 복부판과 하부콘크리트 간 상대변위는 0.4mm 이내로 발생하였다. 하부플랜지-하부 콘크리트 간 변위에 비해 상대적으로 크게 나타난 것은 하중재하에 따른 거더 전체의 변위에 의해 복부판의 미소 변형이 영향을 미친 것으로, 본 실험이 거더 극한강도까지 하중을 재하한 것임을 고려하면, 역시 부착력에는 문제가 없는 것으로 볼 수 있다.

- 거더의 하부플랜지 변형률은 최대 약 -0.002 수준으로 나타났으며, 잔류변형은 거의 없는 것으로 나타났다. 이는 하부플랜지가 항복에 도달하지 못하였음을 알 수 있게 해준다.

- 이중합성 강박스 거더의 극한강도 실험결과, 거더 각 부에서 충분한 안전성을 확보하고 있음을 알 수 있다.

(2) 캔틸레버부 바닥판 시공의 안전성 확보를 위한 동바리 대체용 T형 캔틸레버브라켓 개발

(가) T형 캔틸레버 브라켓의 적용성 및 해석기법 정립

기존 동바리 공법과 T형 캔틸레버 브라켓 공법의 비교를 통하여, 강박스거더 교량에 대한 적용성을 검토하고 해석기법을 정립한다.

- T형 캔틸레버 브라켓 하중산정 :

① 자중(방호벽 + 슬래브) : 20,149,387 N·mm

② 포장하중(DW)

$$Mp = 1080 \times 80 \times 1.250 \times 0.0000235 \times 540 = 1,281,174 \text{ N.mm}$$

③ 활하중(LL)

$$MLL = (Pr/E) \times X + (1+IM) = (96,000/1,684\times1,000)\times680\times(1+0.25)$$
$$= 48,456,057 \text{ N.mm}$$

- ηi집계표 :

하중조합	ηD	ηR	ηI	ηi		
				최대(적용)	표준	최소
극한한계상태 I	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
사용한계상태 II	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
피로한계상태	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

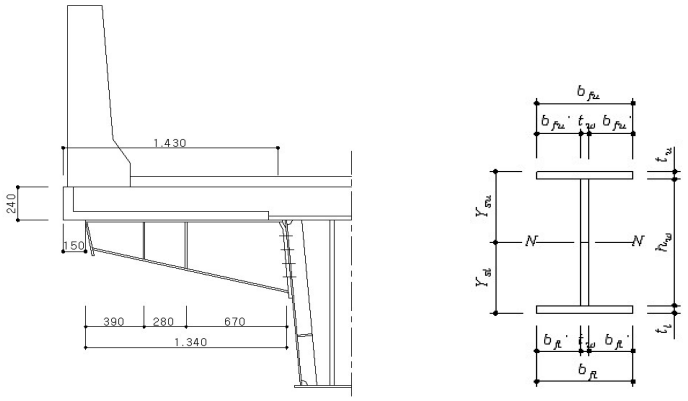
- 하중조합 :

하중조합	DC(구체자중)	DW(포장)	LL(활하중)	IM(충격하중)
극한한계상태 I	1.25	1.50	1.80	1.80
사용한계상태 II	1.00	1.00	1.30	1.30
피로한계상태	-	-	0.75	0.75

- 한계상태별 하중 :

명칭	적 용 식	합 계(N.mm)
극한 I	1.00×(1.25DC+1.5DW+1.8×(LL+IM)	114,329,397
사용II	1.000×(1.0DC+1.0DW+1.3×(LL + IM))	84,423,435
피로	1.000×(0.75LL + 0.75IM)	36,342,043

※ 산정된 작용하중과 구조실험결과로부터 얻은 최대하중을 비교하여 안정성을 검토 함



<그림 2.29> T형 브라켓 단면제원

<표 2.25> T형 브라켓 단면제원

사용강재	bfu	bfu'	bfl	bfl'	hw	tfu	tw	tfl
SM400	300	144	200	94	500	14	12	14

• T형 캔틸레버 브라켓 안전율 검토 :

- 극한한계상태검토 :

구분		허용(Mpa)	발생(Mpa)	안전율
휨검토	압축플랜지	235	56.765	4.1
	인장플랜지	235	45.993	5.1
	복부판	235	46.722	5.0

구분		허용(N)	발생(N)	안전율
전단검토	복부판	817,800	201,233	4.1

- 사용한계상태 검토 :

구분		허용(Mpa)	발생(Mpa)	안전율
휨검토	압축플랜지	223.25	41.917	5.3
	인장플랜지	223.25	33.962	6.6
	복부판	235.00	34.500	6.8

- 피로한계상태 검토 :

구분		허용(Mpa)	발생(Mpa)	안전율
휨응력범위	인장플랜지	68.47	22.28	3.0
	압축플랜지	55.00	11.14	4.9

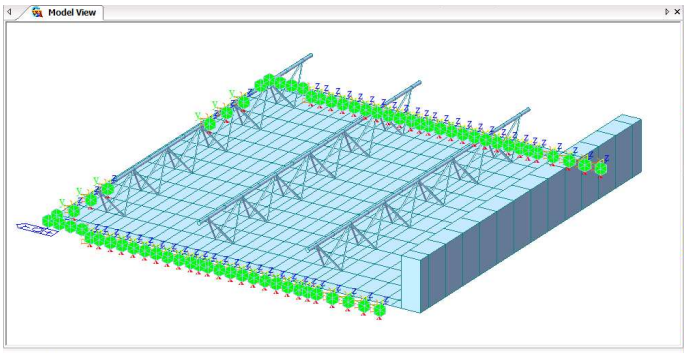
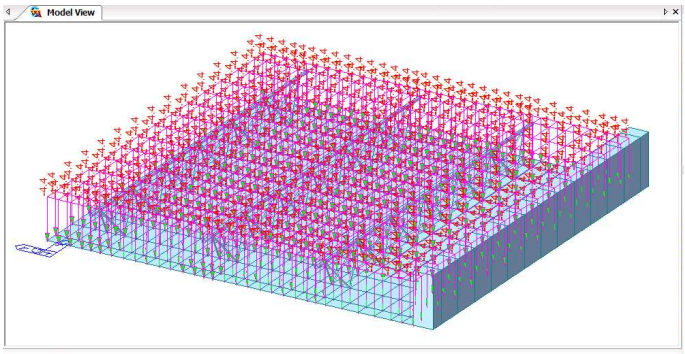
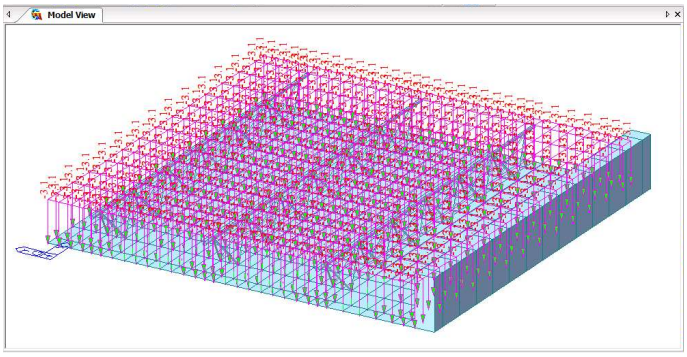
구분		허용(N)	발생(N)	안전율
복부판 피로요구	복부판	817,800	144,000	5.7

(나) L형 프리캐스트 패널 설치시의 들뜸현상 검토

T형 캔틸레버 브라켓의 강박스거더 복부체결에 대한 국내외 설계기준을 검토하고 적용방안을 제시하며, L형 프리캐스트 패널 설치시의 들뜸현상 및 모따기 등의 해결방안을 제시한다.

① L형 프리캐스트 콘크리트 패널의 구조검토

- 모델링 개요 :

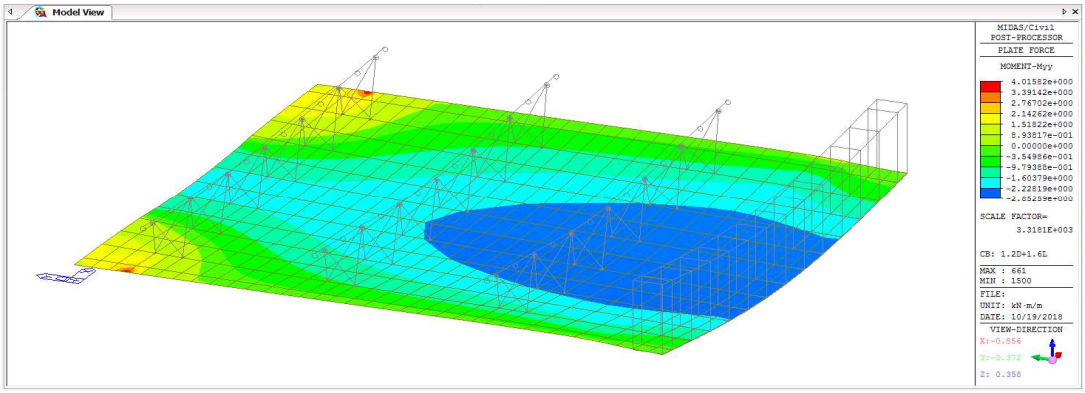
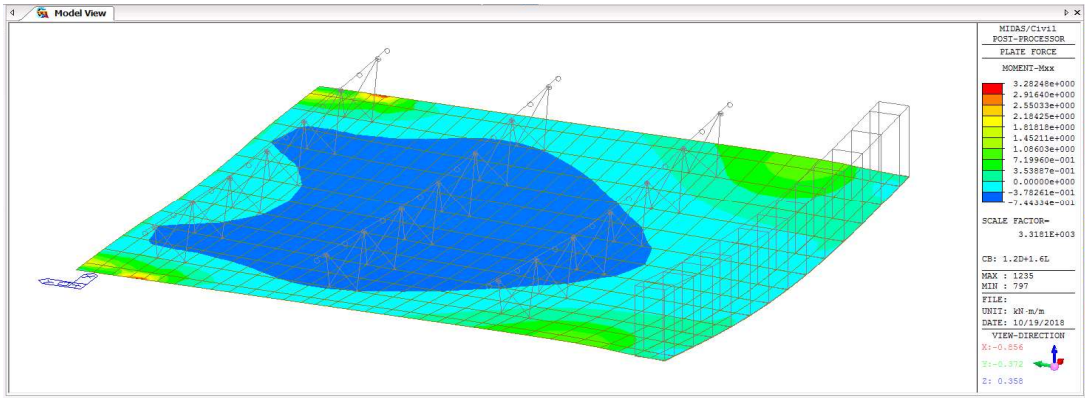
<table>
<tr><td>모델링</td><td> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="2">콘크리트
타설시</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>• 굳지 않은 콘크리트 하중 : 4.375kN/m²</td></tr>
<tr><td rowspan="2">진동식 카트
장비 사용시</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>• 진동식 카트장비 사용하중 : 3.125kN/m²</td></tr>
</table>

※ L형 프리캐스트 콘크리트 패널의 자중 : Self-weight 기능 적용

※ 상부슬래브 타설 순서 : 편심발생을 최소로 할 수 있는 타설 계획 수립

※ 하중조합 : 1.2DL + 1.6LL 적용하여 발생 및 저항 모멘트 검토

- 해석 결과 :

교직 모멘트 (Myy)	 • 중앙부 정모멘트 : 2.853kN.m • 지점부 부모멘트 : 4.016kN.m
교축 모멘트 (Mxx)	 • 중앙부 정모멘트 : 0.744kN.m • 지점부 부모멘트 : 3.282kN.m

- 검토 결과 :

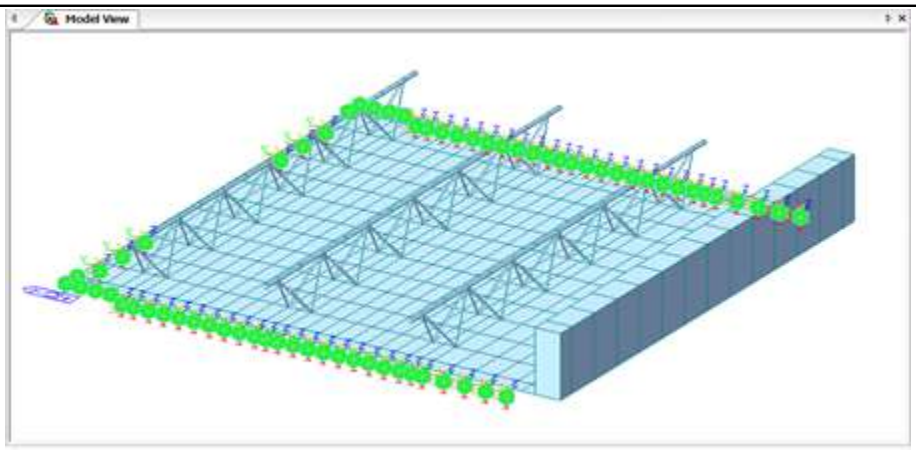
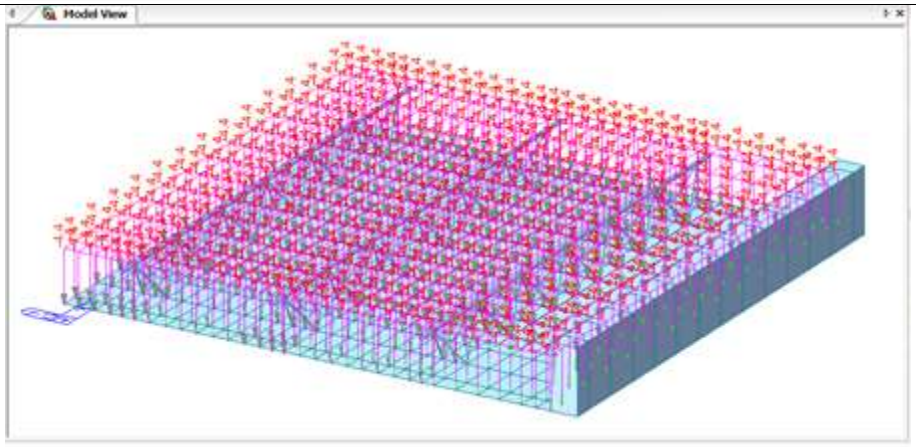
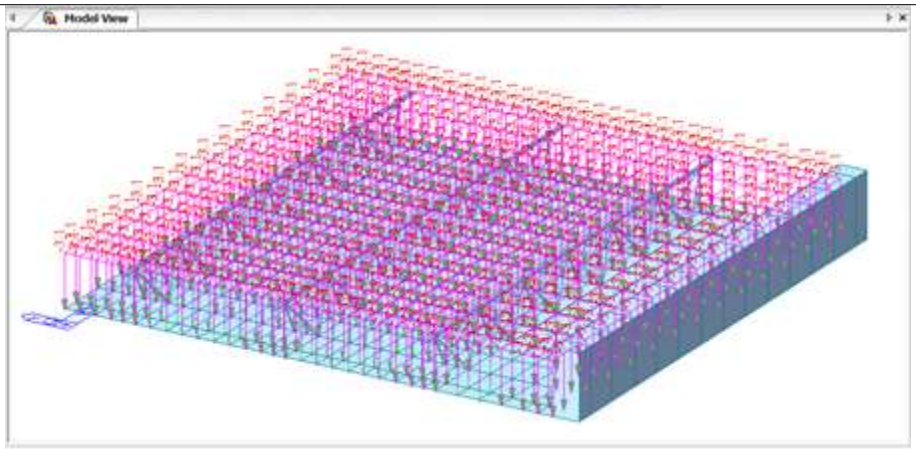
구 분	발생 모멘트				저항 모멘트	비 고
	교축직각		교축			
	중앙부	지점부	중앙부	지점부		
1.2DL+1.6LL	2.853kN.m	4.016kN.m	0.744kN.m	3.282kN.m	4.3kN.m	O.K.

※ 저항모멘트 산정 :

- 단면높이 : 65mm, fck = 40 MPa, fy = 400 MPa, 사용철근 : H16 @ 250
- 저항 모멘트 : 4.3 kN.m

② L형 프리캐스트 콘크리트 패널의 들뜸현상 검토

- 모델링 개요 :

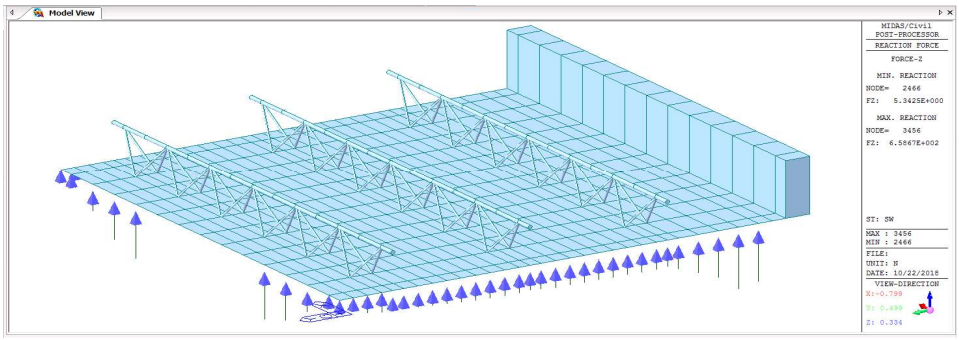
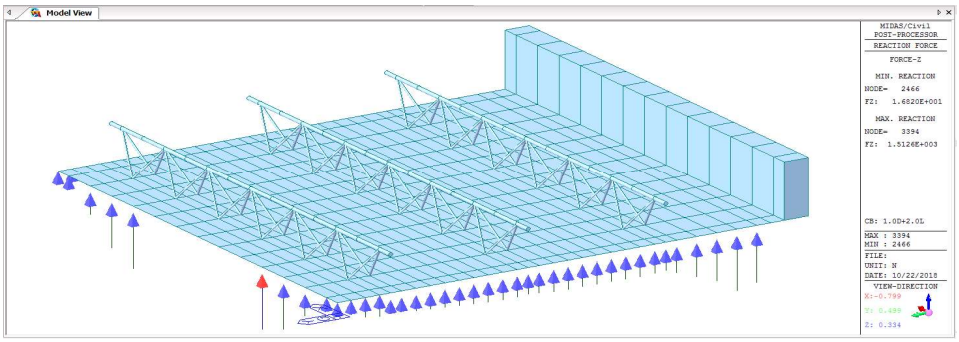
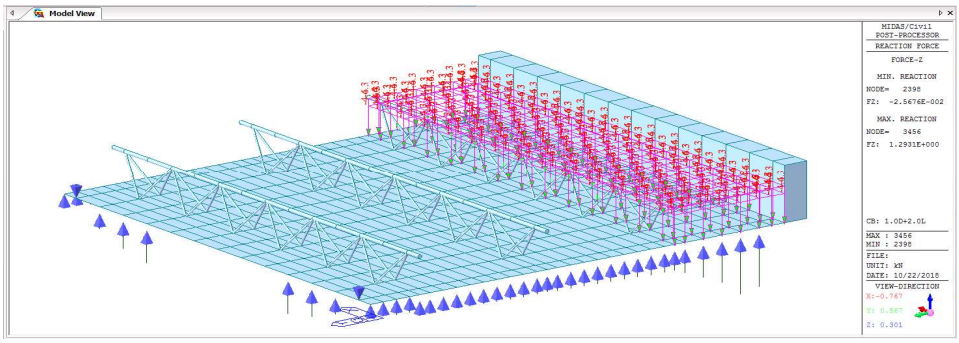
모델링	
콘크리트 타설시 (외측)	
	• 굳지 않은 콘크리트 하중 : 4.375kN/m^2
진동식 카트 장비 사용시 (외측)	
	• 진동식 카트장비 사용하중 : 3.125kN/m^2

※ L형 프리캐스트 콘크리트 패널의 자중 : Self-weight 기능 적용

※ 상부슬래브 타설 순서 : 편심발생을 최소로 할 수 있는 타설 계획 수립

※ 하중조합 : 패널의 자중, 1.0DL + 2.0LL 적용하여 부의 반력(들뜸 현상) 발생확인

- 해석 결과 :

L형 프리캐스트 패널 자중	 • 최소 반력 : 5.343N
1.0DL+2.0LL (내측타설)	 • 최소 반력 : 16.820N
1.0DL+2.0LL (외측타설)	 • 최소 반력 : -25.676N

- 검토 결과 :

구 분		발생 반력	부의 반력	비 고
패널자중		5.343N	-	O.K.
1.0DL+2.0LL	내측타설	16.820N	-	O.K.
	외측타설	-25.676N	-25.676N	N.G.

(다) T형 캔틸레버 브라켓의 성능검증 실험 및 분석

실물 모형실험을 수행하여 해석기법과 적용성을 검증하고 효율적인 설계안을 제시한다.

① 실험개요

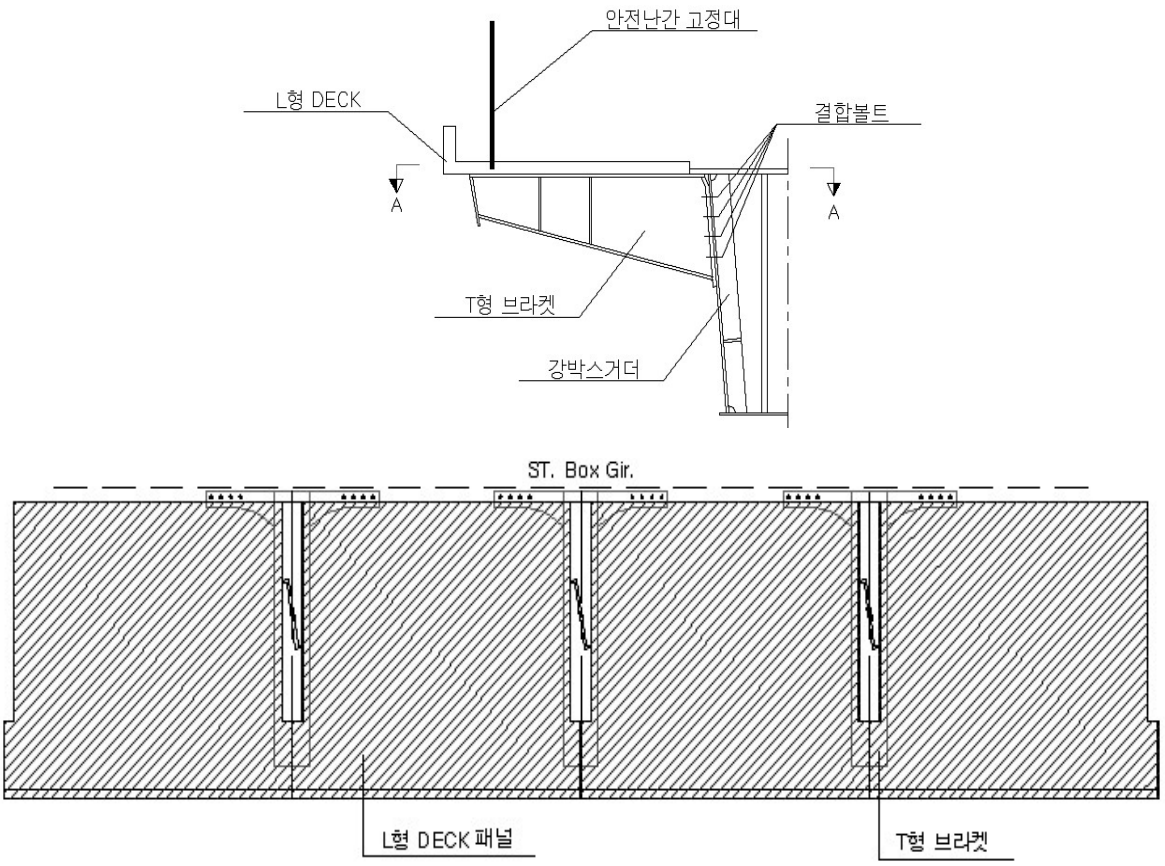
- 대부분의 교량 거더 슬래브 시공 공정 중, 거더 외측 캔틸레버부의 시공은 <그림 2.26>과 같이 가설동바리 및 합판 거푸집을 이용하고 있음
- 가설동바리 및 합판 거푸집을 사용한 공정은 고소작업으로 인한 안전성 결여, 거푸집 및 동바리 설치로 인한 공기증가 및 해체작업 시 안전문제 발생, 시공 공정의 복잡성으로 숙련공에 대한 인건비 증가 등의 단점이 있음



<그림 2.26> 동바리 및 거푸집 설치도

- 이러한 기존의 문제점을 해결하고자 본 연구과제에서는 T형 브라켓 공법을 새롭게 제안하였음. <그림 2.27>은 T형 브라켓 공법의 개요와 기대효과를 요약한 것임. 거더 외측에 강재 브라켓을 일정간격으로 설치하고, 브라켓 사이에 L형 프리캐스트 패널(Rib Deck)을 위치시킨 후 거더 위의 바닥슬래브와 Rib Deck 위 캔틸레버 부분을 일체로 현장 타설하는 공법임
- 강재 브라켓과 Rib Deck을 사용한 공법으로 기존 캔틸레버 시공공정에 비하여 약 70%의 공기절감이 가능하며, 설치 및 해체의 간소화를 통해 안전성 확보 및 성능개선에 크게 기여할 것으로 판단됨

• 본 연구의 목적은 새롭게 제안된 T형 브라켓 공법의 실제 적용을 위해 사전에 실험을 통해 구조성능을 평가하고, 목표한 설계하중에 대한 안전성을 확보하는지 여부를 검토하는 것임



<그림 2.27> T형 브라켓 공법 개요도

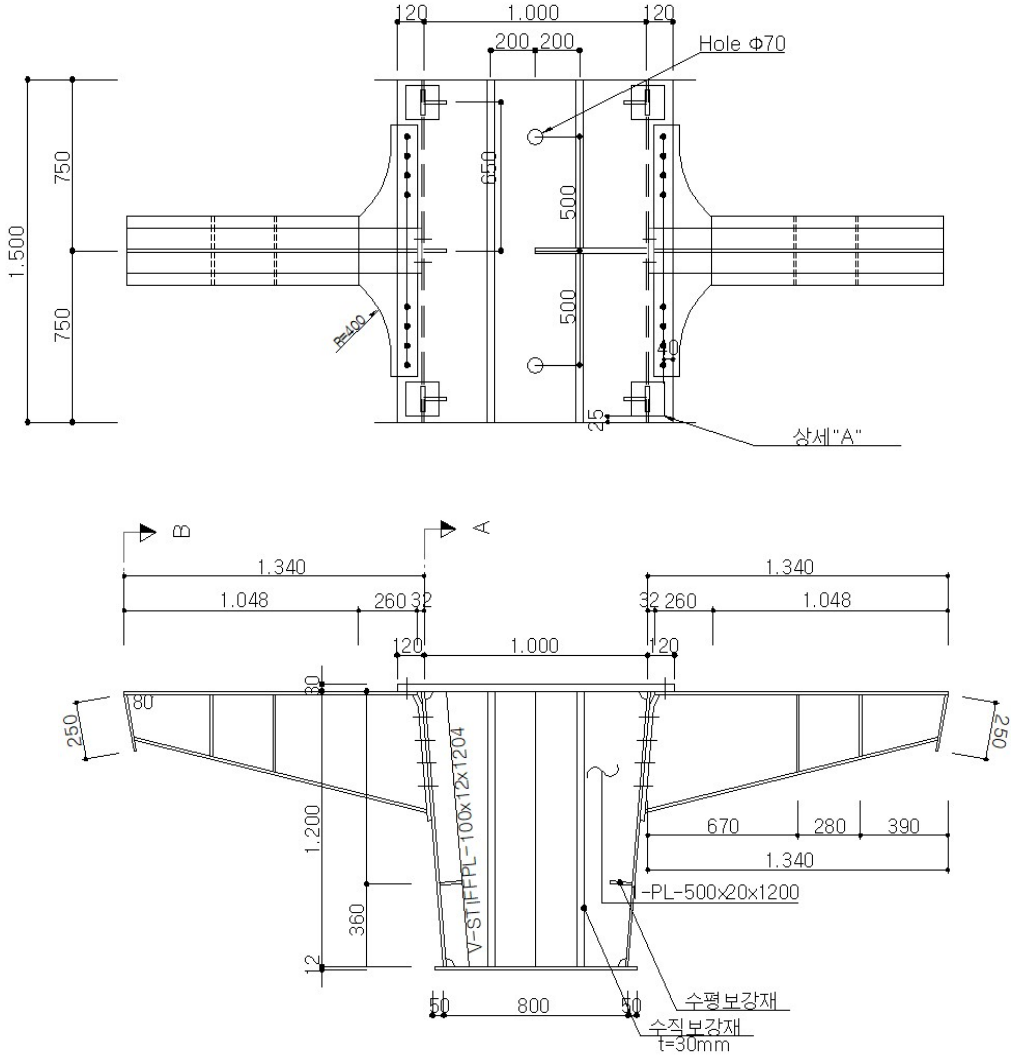
② 실험체 제원

• T형 브라켓 극한강도실험의 목적은 브라켓 혹은 박스거더의 복부판 등 특정 부재에 대한 파괴상태까지의 구조거동을 파악하고 결과분석을 통한 구조안전성을 검토하기 위한 것임

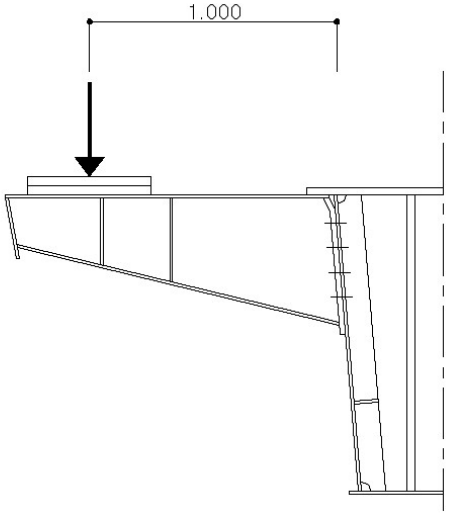
• 브라켓은 SM400강재로 제작되었으며 실험체의 형상과 치수는 아래도면과 같음

• T형 브라켓 실험종류는 볼트 연결부의 볼트 개수에 따라 두 type으로 수행되었으며, 각 실험체의 좌, 우측 T형 브라켓 연결부는 보강 유무로 구분하였음

• 실험체 1의 경우 볼트 연결부 볼트 수는 4ea이며, 실험체 2는 볼트 수 5ea개임. 추가로 각 박스의 좌·우측 중 한쪽에만 T형 캔틸레버 브라켓 연결부의 박스내부에 보강덧판을 추가하였음



<그림 2.28> T형 브라켓 실험체 1 단면도 및 평면도



<그림 2.29> 하중재하 위치도

<표 2.26>실험변수 요약

실험체명		실험변수			실험체 개수
		브라켓 연결부 볼트 수	브라켓 배면 덧판 적용	다이아프램 설치 유무	
실험체 1	DIA-4B #1	4	×	유	1
	NON-4B #2	4	×	무	1
실험체 2	DIA-5B #3	5	○	유	1
	NON-5B #4	5	○	무	1



<그림 2.30> T형 브라켓 실험 전경

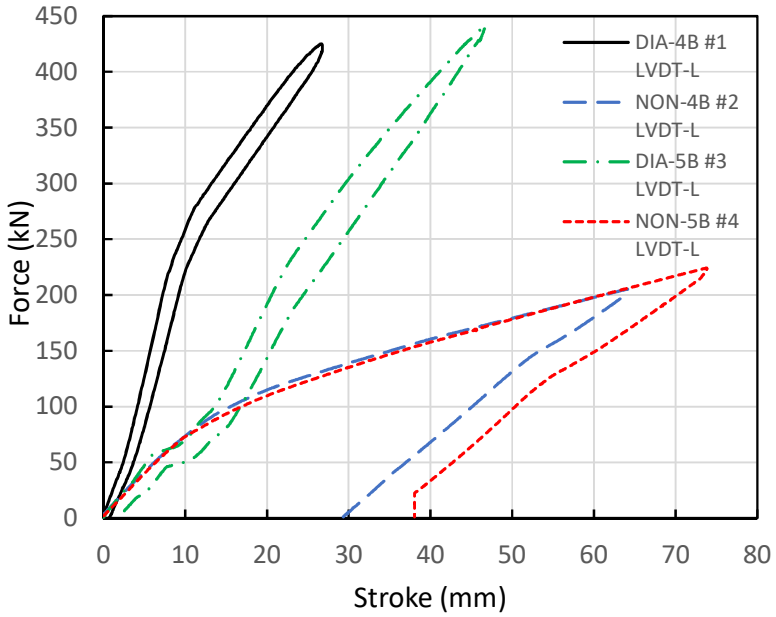
• 사용 장비는 5MN급 문형 로딩프레임과 1MN Actuator를 사용하여 변위제어방식(1mm/min)으로 재하 함. Actuator와 실험체 사이에 이상집중 응력을 피하고 분포하중을 가하기 위해 탄성패드를 두었음. 하중의 정확한 위치는 <그림 2.1.3>에 나타내었음

③ 실험 결과

■ 연직변위 :

• #1과 #2의 하중-변위 결과를 비교하면 <그림 2.31>과 같다. #1은 최대하중 430 kN까지 부재의 항복 없이 탄성거동을 하였으나, #2는 약 100 kN 부근에서 복부판에 좌굴이 발생하며 큰 변위를 보이고 있다. 이는 박스거더 내부의 복부판에 다이아프램 설치 유무에 따른 것이다.

• #3과 #4의 하중-변위 결과를 비교하면 <그림 2.31>와 같다. #3는 최대하중 430 kN까지 부재의 항복 없이 탄성거동을 하였으나, #4는 약 100 kN 부근에서 복부판에 좌굴이 발생하며 큰 변위를 보이고 있다. 이는 박스거더 내부의 복부판에 다이아프램 설치 유무에 따른 것이다.



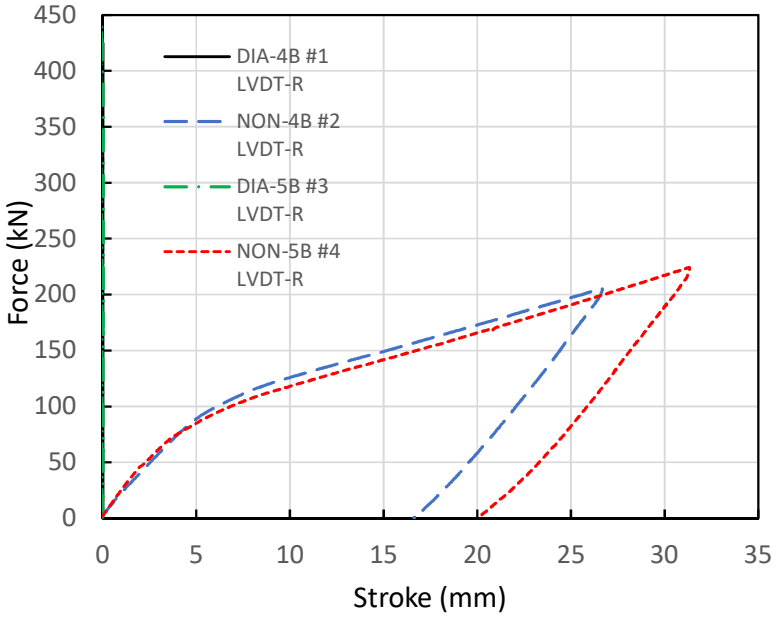
<그림 2.31> #1~#4 연직변위

• #1~#4의 하중-변위 결과를 비교하면 <그림 2.31>와 같다. 이 결과를 보면 박스거더 내부에 다이아프램 설치가 필수임을 알 수 있다.

■ 복부판 수평변위 :

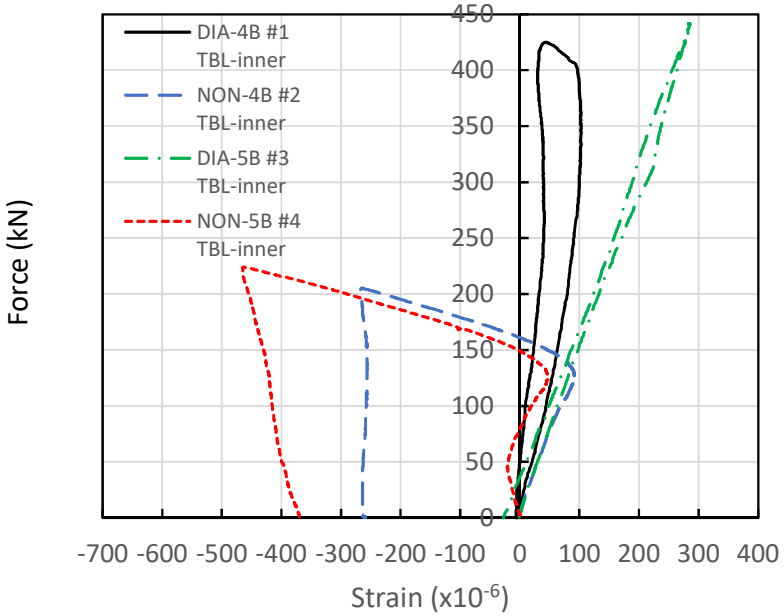
• #1~#4의 하중-변위 결과를 비교하면 <그림 2.32>과 같다. 앞서 실험체별 결과에서 기술한 바와 같이 #1, #3은 다이아프램의 설치로 인하여 복부판의 횡방향변위가 발생하지 않았다. #2, #4는 약 100 kN 정도에서 복부판에 좌굴이 발생하였으며, 이후 큰 변위가 발생되었다. #2, #4의 변위 진전 형상은 거의 유사한 상태이며, 최대치의 차이는 하중의

증가분에 따른 것이다.



<그림 2.32> #1～#4 복부판 수평변위

■ 상단볼트 연결부 변형율 :



<그림 2.33> #1～#4 상단 볼트 연결부(좌측) 변형율

• #1～#4의 상단 볼트 연결부(좌측)의 변형율 결과를 비교하면 그림 3.6.9와 같다. #1, #3 그래프와 #2, #4 그래프의 비교를 통해 다이아프램 설치로 인한 영향은 명확하게 확인할 수 있으며, T형 브라켓의 체결 볼트 수에 의한 차이는 없다고 보아도 무방하다.

■ T형브라켓 성능실험 결론 :

- 실험결과 다이아프램이 설치되지 않은 실험체는 극한한계상태 수준의 하중 작용 시, 복부판 변형이 시작되는 것으로 확인되었다.
- 실험결과 다이아프램이 설치된 실험체는 극한한계상태 수준 하중의 3배 가량을 적용시켜도 T형 브라켓 및 연결부 등에 일체의 변형이 발생하지 않는 것이 확인되었다.
- 박스거더 내부의 다이아프램이 없을 경우, 시공중 복부판에 변형이 발생할 수 있다.
- T형 브라켓과 박스거더의 복부판 체결 볼트 수는 실험 결과에 영향을 미치지 못하였다. 이는 충분한 안전율이 확보되어 있음을 의미한다.

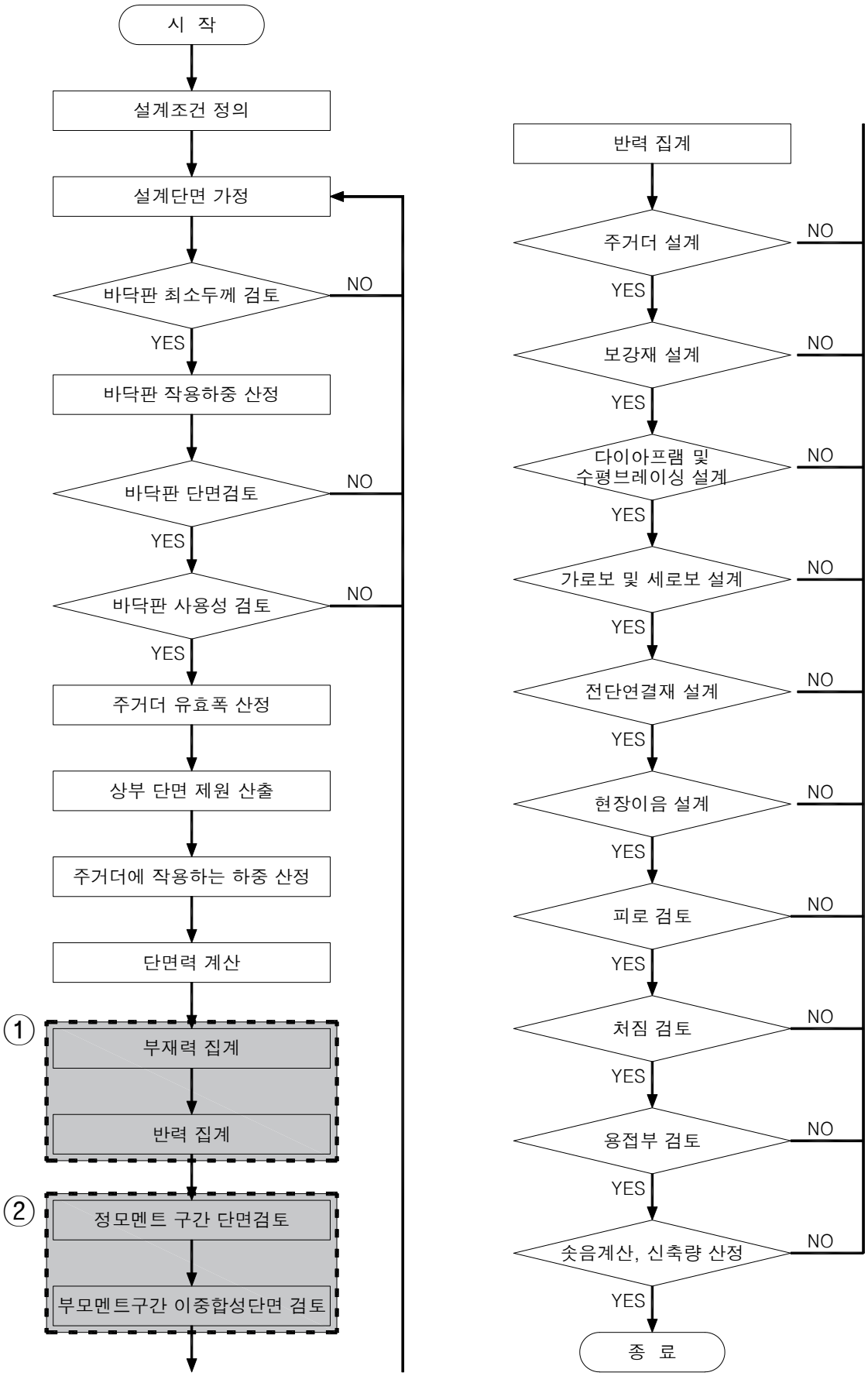
(3) 중앙자유단이 설치된 설계시스템 구축 및 설계자동화

이중합성 강박스 거더의 설계는 구조해석 프로그램인 SAP2000과 엑셀을 사용하여 수행된다. 교량 선형 및 폭원, 거더 높이 등 교량 제원을 반영한 구조해석을 수행하고, 구조해석 결과를 적용하여 각 부재의 단면검토를 수행하여 안전성을 판단한다. 이중합성 강박스 거더의 설계흐름도는 <그림 2.34>과 같다.

설계 단계 중 바닥판 단면 및 사용성 검토, 주거더 설계, 보강재 설계 등 여러 단계에서 각 부재의 안전성을 검토하고, 필요시 설계단면을 조정한다. 조정된 단면을 적용하여 구조해석을 다시 수행하며, 구조해석 결과를 적용한 각 부재 단면 검토를 다시 수행한다. 이러한 단면가정-구조해석-단면검토의 반복 수행을 통해 적정 설계단면을 확정할 수 있게 된다. 설계가 수행되며 이와 같이 반복되는 단면가정-구조해석-단면검토과정은 필연적으로 많은 횟수의 반복 수행을 수반하게 되며, 이 과정에서의 시간 단축은 설계 소요시간의 단축을 가능하게 해 준다. 이러한 설계과정에서 상당한 시간이 소요되는 부분 중 하나는 구조해석 수행 후, 해석 결과의 적용 과정이다. 이는 다음과 같은 두 단계로 나누어 볼 수 있다.

- 1단계 : 구조해석 결과로부터 각 부재별 부재력, 반역, 처짐 등의 데이터를 추출, 분류, 정리 등의 가공하는 단계로, 가공된 데이터는 부재력 미 반력 집계 시트에 출력 가능한 형태로 정리한다.
- 2단계 : 각 단면검토 시트에 검토 단면의 제원과 집계된 부재력을 입력하는 단계로, 통상 이중합성 강박스 거더의 단면 검토 개수가 많아 많은 시간이 소요된다.

위와 같은 두 단계를 수행할 때, 기술적 판단보다는 단순 나열된 데이터의 정리와 기하형상에 따른 검토단면 결정, 결정된 단면의 일괄검토 등이 중요한 요소이다. 이에 본 연구에서는 단순한 반복 작업을 자동화시킬 수 있는 설계자동화 프로그램 2개를 제작하였다. 2개의 프로그램은 엑셀 상에서 구동되도록 제작하였다.



<그림 2.34> 이중합성 강박스 거더의 설계흐름도

① DCB(디씨비)교량 구조해석 결과값 자동정리 프로그램

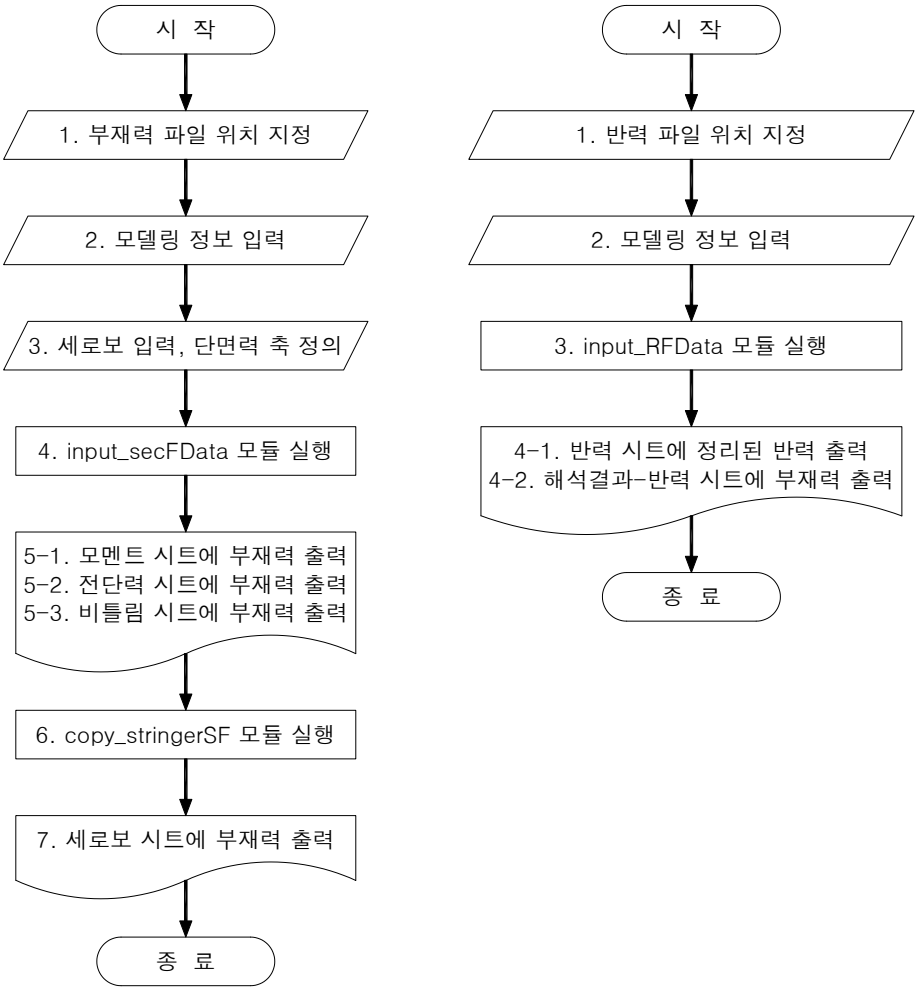
'DCB교량 구조해석 결과값 자동정리 프로그램'은 SAP2000에 의해 수행된 구조해석결과를 불러들여 각 부재별 부재력과 반력을 정리하는 역할을 수행한다. 통상 구조해석결과로부터 나오는 데이터량은 교량 규모에 따라 적게는 60만개부터 많게는 300만개 이상 생성될 수 있다. 또한, 이 데이터들은 하중별로 10개의 파일에 분산되어 존재한다. 이 데이터들 중 설계에 사용되는 데이터를 추출한 후, 하중조합에 따라 조합하여야 하며, 이 과정을 설계단면 조정시 마다 수행해야 한다. 또한, 매 프로젝트마다 정리해야 할 데이터량이 달라 엑셀상에서 부재력을 정리하거나, 반력을 정리하는데 있어서도 많은 시간을 필요로 하게 된다. 이러한 작업을 설계자가 수행할 경우 불필요한 시간이 과다하게 소요되므로 이를 자동화할 수 있는 프로그램 개발이 필요한 상황이다.

프로그램 개발에 따른 제약 조건은 다음과 같다.

- 각 부재별로 부재력과 반력 데이터를 정리 가능해야 함
- 데이터량의 변동과 무관하게 항상 올바른 결과를 도출해야 함
- 추출, 분류, 정리된 데이터는 구조계산서 상 해석결과로서 바로 출력 가능한 형태로 정리되어야 함
- 강박스 거더 개수, 경간 구성 등 교량 규모에 따라 엑셀 시트가 작성되어야 함

상기와 같은 조건을 만족하도록 프로그램이 제작되었으며, 'DCB(디씨비)교량 구조해석 결과값 자동정리 프로그램'의 순서도는 <그림 2.35>와 같다. 좌측 순서도는 부재력 정리 과정을 보여주는 것이며, 우측 순서도는 반력 정리 과정을 보여주고 있다.

부재력 정리의 경우, 1~3번 과정은 사용자가 입력하는 과정이다. 10개의 해석결과 파일의 위치를 지정하고, 해석프로그램에서 모델링된 모델 정보, 세로보 정보, 단면력 산정을 위한 Local Direction을 지정한다. 4번에서는 'input_secData' 모듈을 실행하면, 모든 부재의 각 하중별 부재력, 반력 중 거더의 모멘트, 전단력, 비틀림을 추출하여 모멘트, 전단력, 비틀림 시트에 각각 정리한다. 5번에서는 'copy_stringerSF' 모듈을 실행하면, 모든 부재의 각 하중별 부재력, 반력 중 세로보의 모멘트, 전단력을 추출하여 세로보 시트에 정리한다. 두 개의 모듈은 입력데이터가 준비된 상태에서 버튼 한번으로 각각 작동하여, 사용자 편의성을 확보하였고, 정리된 데이터 시트는 바로 인쇄 가능하게 제작되었다. 반력 정리의 경우, 1~2번 과정은 사용자가 입력하는 과정이다. 10개의 해석결과 파일의 위치를 지정하고, 해석프로그램에서 모델링된 모델 정보를 입력한다.



<그림 2.35> DCB(디씨비)교량 구조해석 결과값 자동정리 프로그램 순서도

3번에서는 'input_RFData' 모듈을 실행하면, 모든 부재의 각 하중별 부재력, 반력을 추출하여 정리한다. 부재력과 반력 집계를 위한 입력과 결과를 <그림 2.36>~<그림 2.39>에 나타내었고, 정리된 반력은 지간 수에 따라 표를 자동 생성하여 하중별로 각 교대와 교각으로 자동 기입하게 된다.

파일이름	하중종류	파일위치
STEEL	STEEL	D:₩1905_DCB프로그래밍₩작업₩프로그램밍필요자료_상거교₩009.Aroad_●₩반력부재력처짐집계₩상거교_올노리브_add_24t_1방침_교번리브01_STEEL.txt
LOWCONC	LOWCONC	D:₩1905_DCB프로그래밍₩작업₩프로그램밍필요자료_상거교₩009.Aroad_●₩반력부재력처짐집계₩상거교_올노리브_add_24t_1방침_교번리브01_LOWCONC.txt
UPCONC	UPCONC	D:₩1905_DCB프로그래밍₩작업₩프로그램밍필요자료_상거교₩009.Aroad_●₩반력부재력처짐집계₩상거교_정노리브_add_24t_1방침_교번리브01_UPCONC.txt
BARRIER	BARRIER	D:₩1905_DCB프로그래밍₩작업₩프로그램밍필요자료_상거교₩009.Aroad_●₩반력부재력처짐집계₩상거교_정노리브_add_24t_1방침_교번리브02_BARRIER.txt
PAVE	PAVE	D:₩1905_DCB프로그래밍₩작업₩프로그램밍필요자료_상거교₩009.Aroad_●₩반력부재력처짐집계₩상거교_정노리브_add_24t_1방침_교번리브02_PAVE.txt
CAR_CARDESIGN	CAR MAX,CAR MIN	D:₩1905_DCB프로그래밍₩작업₩프로그램밍필요자료_상거교₩009.Aroad_●₩반력부재력처짐집계₩상거교_정노리브_add_24t_1방침_교번리브03_CAR_CARDESIGN.txt
CAR_FATIGUE	FT MAX,FT MIN	D:₩1905_DCB프로그래밍₩작업₩프로그램밍필요자료_상거교₩009.Aroad_●₩반력부재력처짐집계₩상거교_정노리브_add_24t_1방침_교번리브03_CAR_FATIGUE.txt
CAR_WIND	WIND MAX,WIND MIN	D:₩1905_DCB프로그래밍₩작업₩프로그램밍필요자료_상거교₩009.Aroad_●₩반력부재력처짐집계₩상거교_정노리브_add_24t_1방침_교번리브03_CAR_WIND.txt
CAR_PEOPLE	PEOPLE MAX,PEOPLE MIN	D:₩1905_DCB프로그래밍₩작업₩프로그램밍필요자료_상거교₩009.Aroad_●₩반력부재력처짐집계₩상거교_정노리브_add_24t_1방침_교번리브03_CAR_PEOPLE.txt
SETTLE	SETTLE MAX,SETTELE MIN	D:₩1905_DCB프로그래밍₩작업₩프로그램밍필요자료_상거교₩009.Aroad_●₩반력부재력처짐집계₩상거교_정노리브_add_24t_1방침_교번리브04_SETTLE.txt

모델링정보

절점수	요소수
462	613

세로보

시작	끝
370	447

전체 단면력 입력

세로보 단면력 입력

단면력 추

모멘트	전단력	비틀림
M3	V2	T

단면력sheet 비우기

<그림 2.36> 부재력 집계를 위한 입력

모멘트

부재번호	합성전 고정하중		합성후	이동하중 고려시		활하중(LL+IM)		보도하중		지점이동(SD)	
	강재자중 (DC11)	하부슬래브 (DC12)	바닥판 (DC21)	방호벽 (DC22)	포장 (DW)	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
370	27.8	-0	88	-74	36.7	263	-71	-2.1	-20	0.04	-0
370	24.5	-0	65.2	-69	29.1	211	-76	-2.1	-19	0.01	-0
370	20.2	-0	42.4	-63	21.4	168	-82	-2.1	-18	0.01	-0
370	14.9	-0	19.6	-57	13.8	167	-92	-2.1	-17	0.03	-0
370	8.45	-0	-3.2	-52	6.12	193	-154	-2.1	-15	0.05	-0.1
371	8.21	-0.1	20	-58	4.94	280	-212	0.18	-11	0.03	-0
371	17.3	-0.1	43.4	-71	15.6	249	-150	-4.9	-16	0.03	-0
371	25.3	-0.1	66.8	-84	26.3	248	-119	-9.9	-20	0.02	-0
371	32.3	-0.1	90.2	-96	36.9	270	-92	-10	-25	0.02	-0
371	38.2	-0.1	114	-109	47.6	301	-73	-9.7	-30	0.02	-0
372	38.2	-0.1	114	-109	47.6	301	-73	-9.7	-30	0	-0
372	38.3	-0.1	98	-125	47.6	276	-60	-9.4	-34	0.01	-0
372	37.3	-0.1	82.5	-141	47.5	275	-62	-9.1	-39	0.01	-0
372	35.2	-0.1	66.9	-157	47.5	317	-88	-8.8	-44	0.02	-0
372	32.1	-0.1	51.4	-173	47.5	376	-160	-8.5	-49	0.02	-0

전단력

부재번호	합성전 고정하중		합성후	이동하중 고려시		활하중(LL+IM)		보도하중		지점이동(SD)	
	강재자중 (DC11)	하부슬래브 (DC12)	바닥판 (DC21)	방호벽 (DC22)	포장 (DW)	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
370	4.66	0	39.1	-9.6	13.1	136	-50	0.02	-2.2	0.04	-0
370	6.47	0	39.1	-9.6	13.1	136	-50	0.02	-2.2	0.04	-0
370	8.28	0	39.1	-9.6	13.1	136	-50	0.02	-2.2	0.04	-0
370	10.1	0	39.1	-9.6	13.1	136	-50	0.02	-2.2	0.04	-0
370	11.9	0	39.1	-9.6	13.1	136	-50	0.02	-2.2	0.04	-0
371	-16	-0	-40	21.6	-18	83	-169	8.68	-0.5	0	-0
371	-15	-0	-40	21.6	-18	83	-169	8.68	-0.5	0	-0
371	-13	-0	-40	21.6	-18	83	-169	8.68	-0.5	0	-0
371	-11	-0	-40	21.6	-18	83	-169	8.68	-0.5	0	-0
371	-9.3	-0	-40	21.6	-18	83	-169	8.68	-0.5	0	-0
372	-1	-0	26.6	27.3	0.05	156	-109	8.59	-0.5	0.01	-0
372	0.79	-0	26.6	27.3	0.05	156	-109	8.59	-0.5	0.01	-0
372	2.6	-0	26.6	27.3	0.05	156	-109	8.59	-0.5	0.01	-0
372	4.41	-0	26.6	27.3	0.05	156	-109	8.59	-0.5	0.01	-0
372	6.21	-0	26.6	27.3	0.05	156	-109	8.59	-0.5	0.01	-0

<그림 2.37> 부재력 집계결과

파일이름	하중종류	파일위치
STEEL	STEEL	D:₩1905_DCB프로그래밍₩작업₩프로그램밍필요자료_상거교₩009.Aroad_●₩반력부재력처짐집계₩상거교_올노리브_add_24t_1받침_교번리브01_STEEL.txt
LOWCONC	LOWCONC	D:₩1905_DCB프로그래밍₩작업₩프로그램밍필요자료_상거교₩009.Aroad_●₩반력부재력처짐집계₩상거교_올노리브_add_24t_1받침_교번리브01_LOWCONC.txt
UPCONC	UPCONC	D:₩1905_DCB프로그래밍₩작업₩프로그램밍필요자료_상거교₩009.Aroad_●₩반력부재력처짐집계₩상거교_정노리브_add_24t_1받침_교번리브01_UPCONC.txt
BARRIER	BARRIER	D:₩1905_DCB프로그래밍₩작업₩프로그램밍필요자료_상거교₩009.Aroad_●₩반력부재력처짐집계₩상거교_정노리브_add_24t_1받침_교번리브02_BARRIER.txt
PAVE	PAVE	D:₩1905_DCB프로그래밍₩작업₩프로그램밍필요자료_상거교₩009.Aroad_●₩반력부재력처짐집계₩상거교_정노리브_add_24t_1받침_교번리브02_PAVE.txt
CAR_G#X-TR#	G#XTR# MAX, G#XTR# MIN	D:₩1905_DCB프로그래밍₩작업₩프로그램밍필요자료_상거교₩009.Aroad_●₩반력부재력처짐집계₩상거교_정노리브_add_24t_1받침_교번리브03_CAR_G#X-TR#.txt
CAR_G#X-LN#	G#XLN# MAX, G#XLN# MIN	D:₩1905_DCB프로그래밍₩작업₩프로그램밍필요자료_상거교₩009.Aroad_●₩반력부재력처짐집계₩상거교_정노리브_add_24t_1받침_교번리브03_CAR_G#X-LN#.txt
CAR_CARDESIGN	CAR MAX,CAR MIN	D:₩1905_DCB프로그래밍₩작업₩프로그램밍필요자료_상거교₩009.Aroad_●₩반력부재력처짐집계₩상거교_정노리브_add_24t_1받침_교번리브03_CAR_CARDESIGN.txt
CAR_PEOPLE	PEOPLE MAX,PEOPLE MIN	D:₩1905_DCB프로그래밍₩작업₩프로그램밍필요자료_상거교₩009.Aroad_●₩반력부재력처짐집계₩상거교_정노리브_add_24t_1받침_교번리브03_CAR_PEOPLE.txt
SETTLE	SETTLE MAX,SETTELE MIN	D:₩1905_DCB프로그래밍₩작업₩프로그램밍필요자료_상거교₩009.Aroad_●₩반력부재력처짐집계₩상거교_정노리브_add_24t_1받침_교번리브04_SETTLE.txt

모델링정보

지점수	거더수	차선수
15	3	4

전체 반력 입력

해설결과-반력sheet 비우기

<그림 2.38> 반력 집계를 위한 입력

합성전 강재자중(DC11)

합성전 지점침(DC12)

1차합성 바닥판(DC21)

JOINT REACTIONS

JOINT	LOAD	F1	F2	F3	M1	M2	M3
STEEL ,448	448	STEEL	0	0	1.59E+02	0	0.00E+00	0
STEEL ,449	449	STEEL	0	0	754.4919	0.00E+00	0.00E+00	0
STEEL ,450	450	STEEL	0.1005518	0	849.1301	0.00E+00	0.00E+00	0
STEEL ,451	451	STEEL	0	0.00E+00	7.49E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
STEEL ,452	452	STEEL	0	0.00E+00	157.0439	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
STEEL ,453	453	STEEL	0	-3.61E-11	236.4951	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
STEEL ,454	454	STEEL	0	3.74E-11	1.01E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
STEEL ,455	455	STEEL	-0.2011036	-3.33E-11	1100.565	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
STEEL ,456	456	STEEL	0	1.47E-12	1003.68	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
STEEL ,457	457	STEEL	0	4.71E-11	2.34E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
STEEL ,458	458	STEEL	0	0.00E+00	158.7929	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
STEEL ,459	459	STEEL	0	0.00E+00	754.4919	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
STEEL ,460	460	STEEL	0.1005518	0.00E+00	8.49E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
STEEL ,461	461	STEEL	0	0.00E+00	749.4861	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
STEEL ,462	462	STEEL	0	0.00E+00	157.0439	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

JOINT REACTIONS

JOINT	LOAD	F1	F2	F3	M1	M2	M3
LOWCONC ,448	448	LOWCONC	0.00E+00	0	0.280349	0	0.00E+00	0
LOWCONC ,449	449	LOWCONC	0.00E+00	0	269.1589	0	0.00E+00	0
LOWCONC ,450	450	LOWCONC	-3.08E+00	0	294.5526	0	0.00E+00	0
LOWCONC ,451	451	LOWCONC	0.00E+00	0.00E+00	270.7043	0	0.00E+00	0.00E+00
LOWCONC ,452	452	LOWCONC	0.00E+00	0.00E+00	-0.358154	0	0.00E+00	0.00E+00
LOWCONC ,453	453	LOWCONC	0.00E+00	2.03E-01	0.326992	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
LOWCONC ,454	454	LOWCONC	0.00E+00	1.06E-01	2.73E+02	0	0.00E+00	0.00E+00
LOWCONC ,455	455	LOWCONC	-5.07E-01	-9.12E-02	321.6187	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
LOWCONC ,456	456	LOWCONC	0.00E+00	1.77E-02	275.9309	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
LOWCONC ,457	457	LOWCONC	0	-2.36E-01	-4.68E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
LOWCONC ,458	458	LOWCONC	0	0.00E+00	0.347205	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
LOWCONC ,459	459	LOWCONC	0	0.00E+00	268.2713	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
LOWCONC ,460	460	LOWCONC	3.59E+00	0.00E+00	3.32E+02	0	0.00E+00	0.00E+00
LOWCONC ,461	461	LOWCONC	0.00E+00	0.00E+00	272.1431	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
LOWCONC ,462	462	LOWCONC	0.00E+00	0.00E+00	-0.452928	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

JOINT REAC

JOINT	LOAD	
UPCONC ,448	448	UPCONC
UPCONC ,449	449	UPCONC
UPCONC ,450	450	UPCONC
UPCONC ,451	451	UPCONC
UPCONC ,452	452	UPCONC
UPCONC ,453	453	UPCONC
UPCONC ,454	454	UPCONC
UPCONC ,455	455	UPCONC
UPCONC ,456	456	UPCONC
UPCONC ,457	457	UPCONC
UPCONC ,458	458	UPCONC
UPCONC ,459	459	UPCONC
UPCONC ,460	460	UPCONC
UPCONC ,461	461	UPCONC
UPCONC ,462	462	UPCONC

<그림 2.39> 반력 집계결과

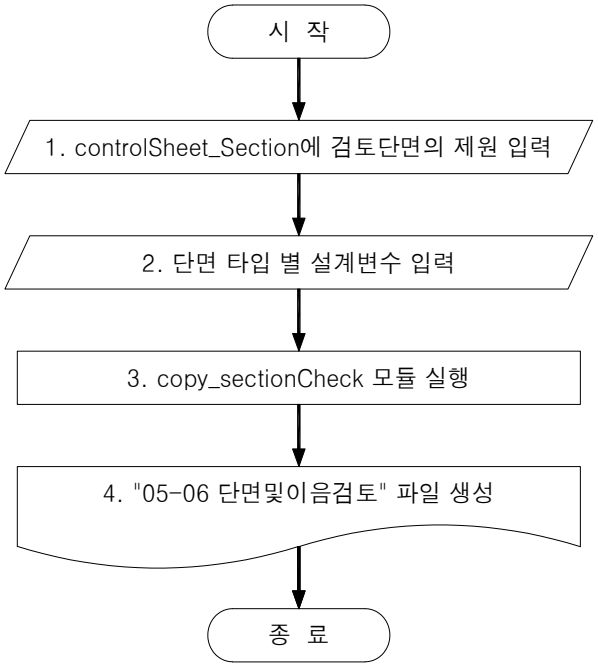
② DCB(디씨비)교량 구조해석 단면검토 자동화 프로그램

'DCB교량 구조해석 단면검토 자동화 프로그램'은 'DCB교량 구조해석 결과값 자동정리 프로그램'에서 정리된 부재력을 사용하여 단면검토를 수행하는 프로그램이다. 이중합성 강박스 거더 교량의 구조계산서에 수록되는 단면검토는 통상 20~30번 이상이며, 교량 규모에 따라 100번 이상 이루어질 수 있다. 부모멘트부(지점부)와 정모멘트부, 연결부, 교번 구간의 내측 강박스 거더와 외측 강박스 거더 각각에 대한 검토가 이루어져야 하기 때문이다. 따라서, 'DCB(디씨비)교량 구조해석 단면검토 자동화 프로그램'은 부재력과 단면 제원 수정에 소요되는 시간을 줄이는 것을 목표로 한다.

프로그램 개발에 따른 제약 조건은 다음과 같다.

- 정리된 부재력을 단면검토 시트에 자동 입력 가능해야 함
- 변경된 단면 제원과 변경될 소지가 있는 주요 설계변수들을 하나의 시트에서 입력하고, 입력된 데이터를 이용해서 각 단면 검토를 수행해야 함
- 입력된 자료를 바탕으로 원하는 만큼, 원하는 구간, 지점의 단면검토를 수행할 수 있어야 함

위와 같은 제약 조건을 해결하기 위해 'DCB(디씨비)교량 구조해석 단면검토 자동화 프로그램'은 1개의 컨트롤 시트와 정모멘트, 부모멘트, 교번, 정모멘트(이음), 이중합성(이음), 이중합성교번(이음) 검토 시트를 두었으며. 'DCB교량 구조해석 단면검토 자동화 프로그램'의 순서도는 <그림 2.40>과 같다.

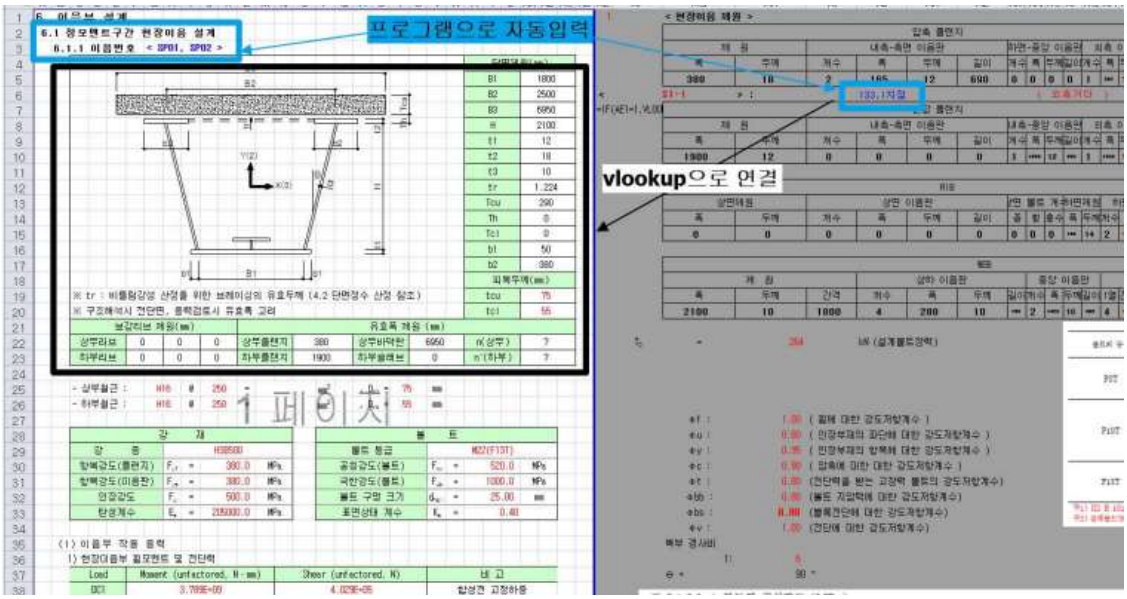


<그림 2.40> DCB(디씨비)교량 구조해석 단면검토 자동화 프로그램 순서도

컨트롤 시트에서는 각 검토 단면을 정의하고 각 단면의 정, 부 모멘트 정의, 이음부 정의, 단면 제원, 주요 설계변수를 입력한다. 단면의 추가, 제거는 이 시트에서 원하는 개수만큼의 열을 추가, 제거하는 것으로 컨트롤 가능하며, 이 시트에 입력된 단면 개수만큼 단면검토 시트가 생성된다. 올바른 단면 정의가 이루어지면 시트 하단에 각 하중별 부재력이 자동 입력되며, 이 과정이 <그림 2.40>의 1번, 2번 과정에 해당한다. 컨트롤 시트에 입력된 데이터는 정모멘트, 부모멘트, 교번, 정모멘트(이음), 이중합성(이음), 이중합성교번(이음) 검토 시트에 입력되어 새 파일에 완성된 단면검토 파일로 복사되므로, 설계방법 혹은 수식의 변경이 이루어질 경우, 이들 검토 시트를 수정하면 된다. 3번에서는 'copy_sectionCheck' 모듈을 실행시켜 준비된 검토시트를 복사하여, 컨트롤 시트에서 정의된 단면들을 검토하는 파일을 생성한다. 검토 단면마다 1개의 시트를 생성하며, 주거더 및 이음부 단면검토를 위한 입력과 결과를 <그림 2.41>~<그림 2.42>에 나타내었고, 출력 결과를 사용자가 검토하게 된다.

기본 sheet 이름	검토방법 입력값	참고
정모멘트검토	정	
부모멘트검토	부	
교번검토	교번	
정모멘트(이음)	정(이음)	
정모멘트교번(이음)	정교번(이음)	
이중합성(이음)	이중(이음)	
이중합성교번(이음)	이중교번(이음)	

<그림 2.41> 단면검토를 위한 입력



<그림 2.42> 주거더 단면검토 결과

다. 연구개발 성과(성과증빙: '성과점검기준표 증빙서류' 참조)

(1) 특허 성과

순번	특허권자(출원인)	출원번호	등록번호	특허명	출원일	등록일
1	㈜신원알피씨 ㈜서린브릿지텍	10-2018-0125262	10-1957932	거더 및 거더를 이용한 교량 시공방법	2018.10.19	2019.03.07
2	㈜서린브릿지텍	10-2019-0132532	10-2159395	강성 재배치를 이용한 강박스 거더의 보수/보강공법	2019.10.23	2020.09.17
3	㈜서린브릿지텍 ㈜효명이씨에스 ㈜하영이앤씨 극동엔지니어링㈜ ㈜케이씨아이	10-2020-0128240	-	분할타설된 하부콘크리트 구조로 제작된 이중합성 강박스 거더 및 그 시공방법	2020.10.05	-


특허증
CERTIFICATE OF PATENT
특허 Patent Number 제 10-2159395 호
출원번호 Application Number 제 10-2019-0132532 호
출원일 Filing Date 2019년 10월 23일
등록일 Registration Date 2020년 09월 17일
발명의 명칭 Title of the Invention
강성 재배치를 이용한 강박스 거더의 보수/보강 공법
특허권자 Patentee
(주)서린브릿지텍(134511-*******)
경기도 성남시 분당구 성남대로 43번길 10, 804호(구미동, 하나이지타워)
발명자 Inventor
등록사항란에 기재
위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.
2020년 09월 17일
특허청장
COMMISSIONER, KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE
김 용 래
특허청 Korean Intellectual Property Office


특허증
CERTIFICATE OF PATENT
특허 Patent Number 제 10-1957932 호
출원번호 Application Number 제 10-2018-0125262 호
출원일 Filing Date 2018년 10월 19일
등록일 Registration Date 2019년 03월 07일
발명의 명칭 Title of the Invention
거더 및 거더를 이용한 교량 시공방법
특허권자 Patentee
등록사항란에 기재
발명자 Inventor
이성원(640515-*******)
경기도 성남시 수정구 위례중앙로 216, 5314동 402호(창곡동, 위례 호반베르디움)
위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.
2019년 03월 07일
특허청장
COMMISSIONER, KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE
박 원 주
특허청 Korean Intellectual Property Office

(2) 프로그램(SW) 등록 성과

순번	저작물의 종류	저작자	등록번호	저작물의 명칭	창작일	등록일
1	산업용 S/W	㈜서린브릿지텍	C-2019-026787	DCB(디씨비)교량 구조해석 결과값 자동정리 프로그램	2019.06.30	2019.09.30
2	산업용 S/W	㈜서린브릿지텍	C-2019-026788	DCB(디씨비)교량 구조해석 단면검토 자동화 프로그램	2019.06.30	2019.09.30


제 C-2019-026787 호

저작권 등록증

1. 저작물의 제호(명칭) DCB(디씨비)교량 구조해석 결과값 자동정리 프로그램
2. 저작물의 종류 컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램>산업용 S/W
3. 저작자 성명(법인명) 주식회사 서린브릿지텍
경기도 성남시 분당구 성남대로45번길
4. 생년월일(법인등록번호) 134511-0322244
5. 창작연월일 2019년06월30일
6. 공표연월일 2019년08월01일
7. 등록연월일 2019년09월30일
8. 등록사항 저작자 : 주식회사 서린브릿지텍,
창작 : 2019.06.30, 공표 : 2019.08.01

『저작권법』 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2019년 10월 01일

한국저작권위원회


제 C-2019-026788 호

저작권 등록증

1. 저작물의 제호(명칭) DCB(디씨비)교량 구조해석 단면검토 자동화 프로그램
2. 저작물의 종류 컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램>산업용 S/W
3. 저작자 성명(법인명) 주식회사 서린브릿지텍
경기도 성남시 분당구 성남대로45번길
4. 생년월일(법인등록번호) 134511-0322244
5. 창작연월일 2019년07월30일
6. 공표연월일 2019년08월01일
7. 등록연월일 2019년09월30일
8. 등록사항 저작자 : 주식회사 서린브릿지텍,
창작 : 2019.07.30, 공표 : 2019.08.01

『저작권법』 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2019년 10월 01일

한국저작권위원회

(3) 매출액 성과

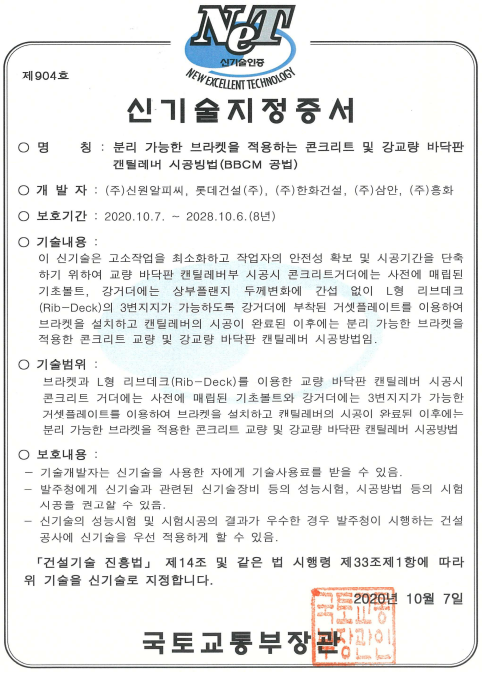
과업명	기술료	납 부 내 역						소 계	잔 액
		선급금	기성1차	기성2차	기성3차	기성4차	기성5차		
하현천교	33,818,180	23,672,700	10,145,454					33,818,154	-
김제육교	45,954,550	12,272,727	13,950,000	12,409,090	3,954,545	1,990,909	1,328,332	45,905,603	-
판교 테크노밸리	101,000,000	22,785,000	28,050,000	18,630,000	5,550,000	9,740,910		84,755,910	16,404,090
다방7교	46,215,000	17,850,000	10,170,000	6,720,000	8,130,000			42,870,000	3,345,000
홍전육교	22,786,363	13,090,909	7,319,345	2,376,109				22,786,363	-
여량교	34,485,000	5,400,000	15,181,500					25,761,000	8,724,000
서하남JCT	43,185,000	4,890,000	10,140,000					27,645,000	15,540,000
청하천교	48,045,000	13,440,000	15,540,000	8,265,000				44,700,000	3351000
합 계	**375,489,093**							**328,242,030**	**47,364,090**

(4) 신규고용 성과

순번	성 명	과학기술인번호	입사일	비고
1	조경진	1018-3101	2018.03.23	1차년도 (2018년)
2	백성철	1113-2002	2018.04.01	1차년도 (2018년)
3	공금배	1083-5227	2019.01.01	2차년도 (2019년)
4	최항용	1080-0592	2019.01.21	2차년도 (2019년)
5	이광모	1093-2856	2019.01.14	2차년도 (2019년)
6	최문성	1183-0416	2020.01.01	3차년도 (2020년)
7	김희은	1250-3903	2020.01.01	3차년도 (2020년)

(5) 신기술인증 성과

순번	지정번호	개발자	보호기간	신기술의 명칭	지정일
1	제904호	㈜신원알피씨 롯데건설㈜ ㈜한화건설 ㈜삼안 ㈜흥화	2020.10.07~ 2028.10.06	분리 가능한 브라켓을 적용하는 콘크리트 및 강교량 바닥판 캔틸레버 시공방법(BBCM 공법)	2020.10.07
2	-	㈜서린브릿지텍 ㈜효명이씨에스 ㈜하영이앤씨 극동엔지니어링㈜ ㈜케이씨아이	-	-	(2020.12.30.신청)



제904호

NET 신기술인증 NEW EXCELLENT TECHNOLOGY

신기술지정증서

○ 명　　칭 : 분리 가능한 브라켓을 적용하는 콘크리트 및 강교량 바닥판 캔틸레버 시공방법(BBCM 공법)

○ 개 발 자 : (주)신원알피씨, 롯데건설(주), (주)한화건설, (주)삼안, (주)흥화

○ 보호기간 : 2020.10.7. ~ 2028.10.6.(8년)

○ 기술내용 :
이 신기술은 고소작업을 최소화하고 작업자의 안전성 확보 및 시공기간을 단축하기 위하여 교량 바닥판 캔틸레버부 시공시 콘크리트거더에는 사전에 매립된 기초볼트, 강거더에는 상부플랜지 두께변화에 간섭 없이 L형 리브데크(Rib-Deck)의 3번지지가 가능하도록 강거더에 부착된 거셋플레이트를 이용하여 브라켓을 설치하고 캔틸레버의 시공이 완료된 이후에는 분리 가능한 브라켓을 적용한 콘크리트 교량 및 강교량 바닥판 캔틸레버 시공방법임.

○ 기술범위 :
브라켓과 L형 리브데크(Rib-Deck)를 이용한 교량 바닥판 캔틸레버 시공시 콘크리트 거더에는 사전에 매립된 기초볼트와 강거더에는 3번지지가 가능한 거셋플레이트를 이용하여 브라켓을 설치하고 캔틸레버의 시공이 완료된 이후에는 분리 가능한 브라켓을 적용한 콘크리트 교량 및 강교량 바닥판 캔틸레버 시공방법

○ 보호내용 :
- 기술개발자는 신기술을 사용한 자에게 기술사용료를 받을 수 있음.
- 발주청에게 신기술과 관련된 신기술장비 등의 성능시험, 시공방법 등의 시험시공을 권고할 수 있음.
- 신기술의 성능시험 및 시험시공의 결과가 우수한 경우 발주청이 시행하는 건설공사에 신기술을 우선 적용하게 할 수 있음.

「건설기술 진흥법」 제14조 및 같은 법 시행령 제33조제1항에 따라 위 기술을 신기술로 지정합니다.

2020년 10월 7일

국토교통부장관

라. 연구 결과

본 사업화과제의 수행결과에 대한 기대효과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 기술적 성과

○ **안전하고 경제적이며 간편한 시공가능** : 본 사업화 대상기술은 내측지점부의 강성증가로 경간중앙부의 정모멘트 및 처짐을 감소시킬 수 있으므로, 단순 합성거더교와 대비하여 구조적인 안전성을 확보할 수 있다. 또한, 120m 경간까지 동일한 거더높이를 적용하여 압출가설공법 등의 다양한 가설공법을 적용할 수 있으며, 부가적으로 진동 및 처짐을 감소시킬 수 있고 다리밑 공간 확보에도 유리하다.



a) 이중합성 강박스 거더 거치과정 b) 하부슬래브 타설과정

c) 상부슬래브 타설과정 d) 이중합성 강박스 거더교 시공완료

<그림 2.43> 본 사업화 대상기술의 시공과정 전경

○ **아름답고 경제적인 장경간 교량계획 가능** : 현재 장경간(70~120m) 교량에 적용되고 있는 고가형식의 교량(아치교, 트러스교, PSC 박스교 등)을 대체함으로서 보다 경제적인 장경간 교량계획이 가능하며, 정모멘트 및 변위 제한조건 등을 만족시킬 수 있으므

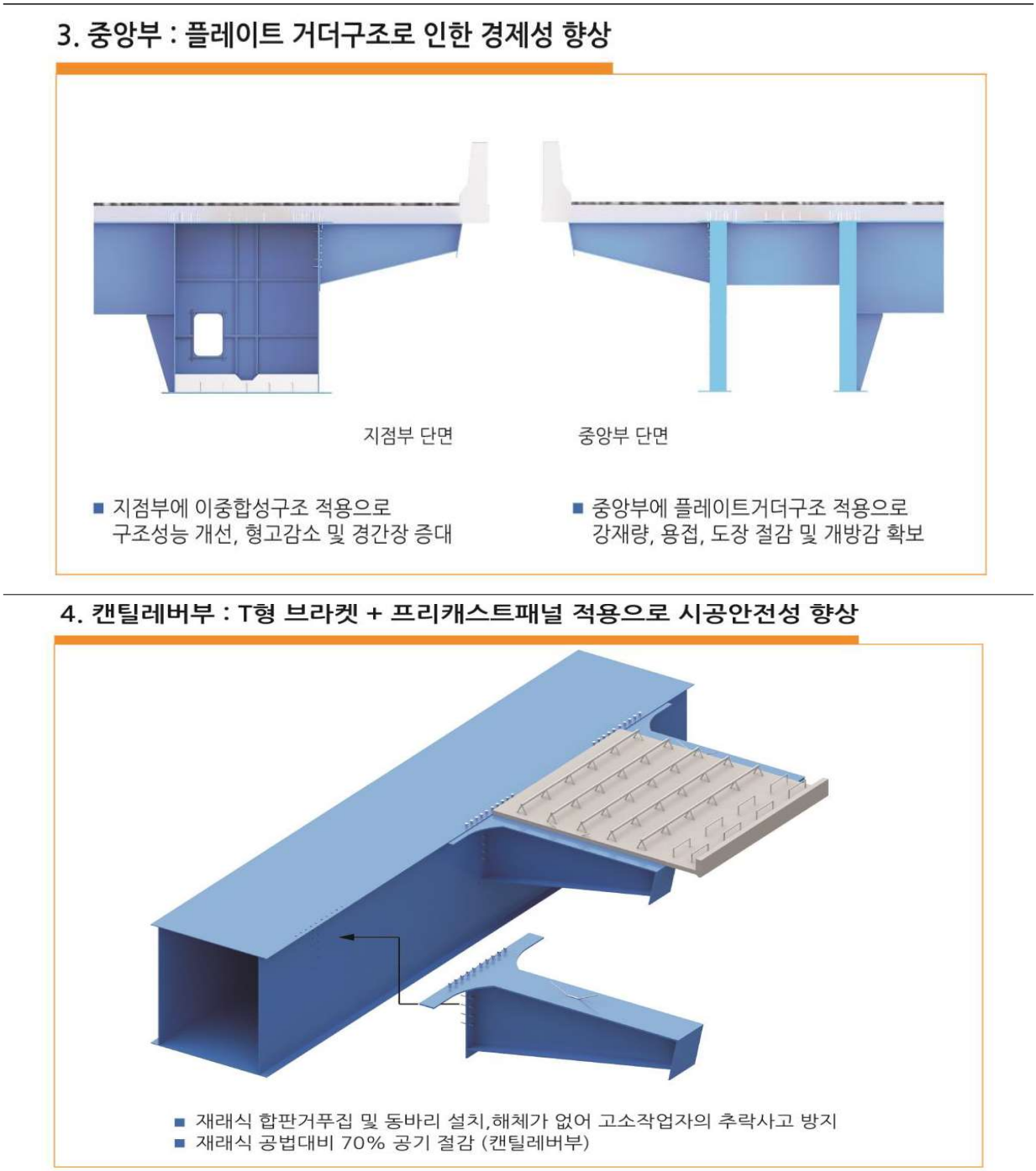
로 고속철도용 교량 등 소음 및 진동의 저감이 필요한 교량에 적용이 가능하다.

<표 2.27> 사업화 대상기술의 주경간장별 적용가능한 최소주형고 (단위: m)

주경간장	50m	60m	70m	80m	90m	100m	120m
일반공법	2.60	2.90	3.10	3.40	-	-	-
대상기술	1.80	2.20	2.50	2.80	3.00	3.20	3.50



<그림 2.44> 본 사업화 대상기술의 특징(계속)



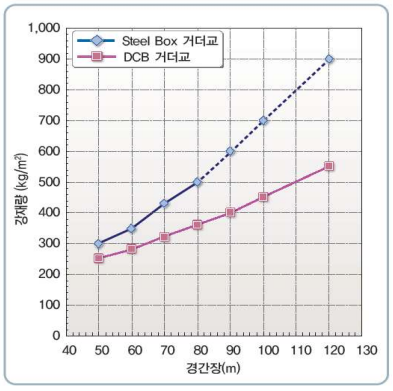
<그림 2.44> 본 사업화 대상기술의 특징

(2) 경제적 성과

○ **강재량을 대폭 절감가능** : 내측지점부 하부플랜지 및 지점부 다이아프램의 상세를 개선하고, 정모멘트부의 응력감소량을 반영하여 정모멘트부는 개구제형 강박스거더 형식을 채용함으로써, 일반공법(단순합성 거더교량)과 대비하여 강재량을 약 20% 이상 절감할 수 있음을 알 수 있다.

<표 2.28> 일반공법 대비 사업화 대상기술의 강재량 비교 (단위: kgf/m²)

교량연장(m)	일반공법	대상기술	증 감
45+50+45=140	300	250	-50 (-17%)
50+60+50=160	350	280	-70 (-20%)
55+70+55=180	430	320	-110 (-26%)
65+80+65=210	500	360	-140 (-28%)
70+90+70=230	(600)	400	-200 (-33%)
80+100+80=260	(700)	450	-250 (-36%)
95+120+95=310	(900)	550	-350 (-39%)



※ 일반공법(단순합성 거더교)의 경우 중앙경간장 80m 이상의 교량에서는 주형고 과다로 비경제적임

○ **교량 건설기간의 단축가능** : 본 사업화 대상기술은 강박스거더 교량의 지간장을 대폭 늘릴 수 있어 하부구조의 개소수가 감소하게 됨으로 가설기간 및 가설비용을 크게 절감할 수 있으며, 교량 캔틸레버부 시공시 고소작업이 필요없기 때문에, 합판거푸집과 동바리를 이용한 재래식 공법에 비하여 교량 바닥판의 가설기간을 대폭 단축할 수 있다.

(3) 사회적 성과

○ **친환경적인 교량의 건설** : 본 사업화 대상기술은 합판거푸집과 동바리를 이용한 재래식 공법의 적용으로 발생하는 산업폐기물을 대폭 감소시킬 수 있으며, 교각 하부의 공사용 가도건설 등과 같은 환경적 피해 요소를 최소화시킬 수 있다.

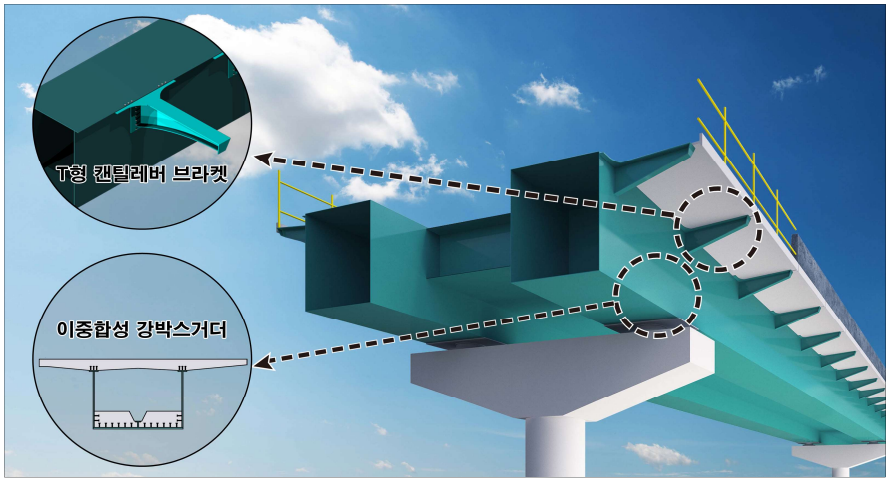
○ **캔틸레버부 바닥판 시공의 안정성 확보** : 기존기술인 재래식공법은 합판거푸집과 동바리 설치를 위한 고소작업으로 심각한 안전성 문제를 내포하고 있다. 본 사업화 대상기술은 지상에서 T형 브라켓을 설치하고 거더 거치후에는 크레인을 이용하여 L형 데크를 설치할 수 있으므로 고소작업 최소화로 인한 안전성 확보가 가능하다.

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

가. 목표

(1) 사업화 최종목표

본 사업화의 최종목표는 교량 캔틸레버부의 시공상 안전성 문제를 해결하고, 장경간 교량 계획 및 경제성향상을 추구할 수 있는 동바리 대체용 T형 캔틸레버 브라켓을 구비한 중앙지간장 100M급 이중합성 강박스 거더 교량의 설계 및 시공기술을 개발하는 것이다.



<그림 3.1> 본 사업화 대상기술의 최종성과물 개념도

본 사업화 대상기술의 기본개념인 이중합성 강박스거더 교량은 부모멘트를 받는 연속교 내측 지점 구간의 하부 압축플랜지 위에 콘크리트를 타설하여 지점부 강성을 향상, 형고감소 및 경간장 증대를 경제적으로 추구할 수 있는 형식으로써, 본 보유기술이 사업화에 성공하기 위해서는 이중합성 강박스거더 하부플랜지 콘크리트의 성능개선, 캔틸레버부 바닥판 시공의 안전성 확보, 신 설계기준(한계상태설계법)의 적용, 설계시스템 구축 및 설계자동화 등의 연구개발이 선행되어야 하며, 본 사업화과제의 최종목표를 달성하기 위한 구체적인 개발과제의 세부목표는 다음과 같다.

- 하부콘크리트의 성능개선을 위한 중앙자유단이 설치된 이중합성 강박스 거더 개발
- 캔틸레버부 시공의 안전성 확보를 위한 동바리 대체용 T형 캔틸레버 브라켓 개발
- 한계상태설계법이 적용된 설계성과품 및 설계자동화 개발

(2) 연도별 사업화 목표 및 결과

본 사업화 대상기술에 대한 연도별 사업화 목표 및 결과를 나타내면 <표 3.1>과 같다.

<표 3.1> 본 사업화 대상기술의 연도별 사업화 목표 및 결과

구분(연도)	사업화 목표	사업화 전략 및 방법	성과물
1차 연도 (2018)	▪ 중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트의 적용성 및 해석기법 정립	▪ 중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트의 크리프, 건조수축거동을 분석한 후 적정한 중앙부 이격거리 등의 구조적 영향을 분석하고 해석기법 제안 ▪ 이중합성 강박스거더 교량의 경간장 및 거더높이에 대한 매개변수 연구를 통해 중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트의 적정두께 및 타설범위 등에 대한 상관관계를 규명, 설계에 대한 해석기법 정립	▪ 수치해석 3건
	▪ 중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트의 성능검증 실험 및 분석	▪ 정립된 해석기법 및 설계 가이드라인을 바탕으로 중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트의 실험체 제작 ▪ 실물 모형실험을 수행하여 정립된 해석기법과 적용성을 검증하고 효율적인 설계안 제시	▪ 실험성적서 1건 ▪ 실험보고서 1건
	▪ T형 캔틸레버 브라켓의 적용성 및 해석기법 정립	▪ 기존 동바리 공법과 T형 캔틸레버 브라켓 공법의 비교를 통하여, 강박스거더 교량에 대한 적용성을 검토하고 해석기법 정립 ▪ T형 캔틸레버 브라켓의 강박스거더 복부체결에 대한 국내외 설계기준을 검토하고 적용방안을 제시하며, L형 프리캐스트 패널 설치시의 들뜸현상 및 모따기 등의 해결방안 제시	▪ 수치해석 2건 ▪ 특허출원 1건
	▪ T형 캔틸레버 브라켓의 성능검증 실험 및 분석	▪ 정립된 해석기법 및 설계 가이드라인을 바탕으로 T형 캔틸레버 브라켓이 설치된 이중합성 강박스 거더의 실험체 제작 ▪ 실물 모형실험을 수행하여 정립된 해석기법과 적용성을 검증하고 효율적인 설계안 제시	▪ 실험성적서 1건 ▪ 실험보고서 1건
2차 연도 (2019)	▪ 신 설계기준이 적용된 중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트의 표준 설계성과품 작성	▪ 중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트에 대하여 구 설계기준인 허용응력설계법과 신 설계기준인 한계상태설계법에 대한 비교검토 수행 ▪ 신 설계기준인 한계상태설계법이 적용된 중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트에 대한 설계성과품인 설계 예제집을 작성하고, 표준설계도면 작성	▪ 설계성과품 2건 ▪ 특허출원 1건
	▪ 중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트의 설계시스템 구축 및 설계자동화	▪ 중앙 자유단이 설치된 이중합성 강박스거더에 대한 설계시스템 구축을 통하여 상품제조(성과품작성) 과정에서의 결함을 찾아 그 원인과 제거 방법 제시 ▪ 구축된 설계시스템을 전문업체에 의뢰하여 설계자동화를 실현함으로써 상품제조 과정에서의 과도한 Man · Month을 축소하고 그 성과 제시	▪ 자동화모듈 1건

	▪ 신 설계기준이 적용된 T형 캔틸레버 브라켓의 표준 설계성과품 작성	▪ T형 캔틸레버 브라켓이 설치된 이중합성 강박스 거더에 대하여 구 설계기준인 허용응력설계법과 신 설계기준인 한계상태설계법에 대한 비교검토 수행 ▪ 신 설계기준인 한계상태설계법이 적용된 이중합성 강박스 거더에 대한 설계성과품인 설계 예제집을 작성하고, 표준설계도면 작성	▪ 설계보고서 1건
	▪ T형 캔틸레버 브라켓의 설계시스템 구축 및 설계자동화	▪ T형 캔틸레버 브라켓에 대한 설계시스템 구축을 통하여 상품제조(성과품작성) 과정에서의 결함을 찾아 그 원인과 제거 방법 제시 ▪ 구축된 설계시스템을 전문업체에 의뢰하여 설계자동화를 실현함으로써 상품제조 과정에서의 과도한 Man · Month을 축소하고 그 성과 제시	▪ 소프트웨어 1건 ▪ 마켓팅전략 1건
3차 연도 (2020)	▪ 중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트의 현장적용 및 보급확산	▪ 참여기업 및 기술실시업체 등이 추진하는 교량사업에 중앙 자유단이 설치된 이중합성 강박스거더교를 반영하고, 반영된 성과물과 예상매출액 제시 ▪ 마켓팅 전략의 일환으로 실무자들이 이용하기 용이하도록 신 설계기준이 적용된 중앙 자유단이 설치된 이중합성 강박스거더 교량의 설계 가이드 라인을 제시하여 본 연구성과를 보급확산하고 그 성과 제시	▪ 적용실적 1건 ▪ 매출액 3.0억원
	▪ 건설신기술 인증 및 기술실시계약 체결 추진	▪ 검증실험 및 현장적용실적을 바탕으로 국토교통과학기술진흥원에서 주관하는 건설신기술 인증 추진 ▪ 기술 사업화의 확산을 위하여 본 사업화 대상기술을 필요로 하는 업체와 기술실시계약 체결	▪ 실시계약 1건 ▪ 건설신기술 1건
	▪ T형 캔틸레버 브라켓의 현장적용 및 보급확산	▪ 참여기업 및 기술실시업체 등이 추진하는 교량사업에 T형 캔틸레버 브라켓이 설치된 이중합성 거더교를 반영하고, 반영된 성과물과 예상매출액 제시 ▪ 마켓팅 전략의 일환으로 실무자들이 이용하기 용이하도록 신 설계기준인 한계상태설계법이 적용된 T형 캔틸레버 브라켓이 설치된 이중합성 강박스거더 교량의 설계 가이드 라인을 제시하여 본 연구성과를 보급확산하고 그 성과 제시	▪ 특허등록 1건 ▪ 기술강습회 1건
	▪ 건설신기술 특별시방서 및 유지관리지침서 작성	▪ 신기술 출원을 위한 신기술 특별시방서 작성 ▪ 신기술 출원을 위한 유지관리지침서 작성	▪ 특별시방서 1건 ▪ 유지관리서 1건

(3) 성과점검기준표

본 사업화 대상기술에 대한 연도별 성과점검기준표의 목표치 및 달성치를 나타내면 다음과 같다.

① 1차년도 성과점검기준표

구분	핵심연구성과 (level1)		단위 성과 (level2)		1차년도 질적 성과							해당 기관	예산 (백만)	1차년도 양적 목표		
						성과지표	목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중치			목표치	가중치	달성치
총괄	A	하부플랜지 콘크리트의 성능개선을 위한 중앙자유단이 설치된 이중합성 강박스거더 개발	A-1	중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트의 적용성 및 해석기법 정립	①	중앙부 이격거리	10%	10%	해석치	보고서	1.6	(주)서린브릿지텍	176.4	특허: 출원 건 등록 건 논문 등재 : 건 시제품 : 건 S/W : 건		특허: 출원 건 등록 건 논문 등재 : 건 시제품 : 건 S/W : 건
					②	Con'c 타설두께	20% 이내	20%	해석치	보고서	1.6					
					③	Con'c 타설범위	20% 이내	20%	해석치	보고서	1.6					
			A-2	중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트의 성능검증 실험 및 분석	①	실험성적서	1건	(1건)	건수	인증서	1.7					
					②	실험보고서	1건	(1건)	건수	보고서	1.7					
					③	신규채용	2명	2명	명수	채용서류	1.9					
	B	캔틸레버부 바닥판 시공의 안전성 확보를 위한 동바리 대체용 T형 캔틸레버 브리켓 개발	B-1	T형 캔틸레버 브리켓의 적용성 및 해석기법 정립	①	T형 브리켓 안전율	2.5 이상	2.5	해석치	보고서	1.6	(주)신원알피씨	9.6	특허: 출원 1 건 등록 건 논문 등재 : 건 시제품 : 건 S/W : 건	100	특허: 출원 1 건 등록 건 논문 등재 : 건 시제품 : 건 S/W : 건
					②	들뜸현상 발생유무	미발생	미발생	해석치	보고서	1.6					
					③	특허출원	1건	1건	건수	출원서	1.6					
			B-2	T형 캔틸레버 브리켓의 성능검증 실험 및 분석	①	실험성적서	1건	(1건)	건수	인증서	1.7					
					②	실험보고서	1건	(1건)	건수	보고서	1.7					
					③	비즈니스모델 수립	1건	1건	건수	보고서	1.7					
계											20		186.0	특허: 출원 1 건 등록 건 논문 등재 : 건 시제품 : 건 S/W : 건	100	특허: 출원 1 건 등록 건 논문 등재 : 건 시제품 : 건 S/W : 건

② 2차년도 성과점검기준표

구분	핵심연구성과 (level1)		단위 성과 (level2)		2차년도 질적 성과							해당 기관	예산 (백만)	2차년도 양적 목표		
						질적 성과지표	목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중치			목표치	가중치	달성치
총괄	C	하부플랜지 콘크리트의 성능개선을 위한 중앙자유단이 설치된 이중합성 강박스거더 개발	C-1	신 설계기준이 적용된 중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트의 표준 설계과품 작성	①	허용응력설계 대비 주형고 감소율	5% 이상	7%	설계치	보고서	4	(주)서린브릿지텍	334.4	특허 : 출원 1 건 등록 1 건 시제품 : 건 S/W : 2 건 매출액 백만원 신규고용 2 명 신기술인증 건 현장테스트베드 1 건	20 20 20 20 20	특허 : 출원 1 건 등록 1 건 시제품 : 건 S/W : 2 건 매출액 백만원 신규고용 2 명 신기술인증 건 현장테스트베드 1 건
			C-2	중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트의 설계시스템 구축 및 설계자동화	②	설계자동화 모듈	1건	1건	건수	모듈	4					
			C-3	연구성과를 활용한 마케팅 전략 수립	③	마케팅 전략 수립	1건	1건	건수	보고서	4					
	D	캔틸레버부 바닥판 시공의 안전성 확보를 위한 동바리 대체용 T형 캔틸레버 브라켓 개발	D-1	신 설계기준이 적용된 T형 캔틸레버 브리켓의 표준 설계성과품 작성	④	설계도면	1건	1건	건수	도면	4	(주)신원알피씨	17.6	특허 : 출원 건 등록 건 시제품 : 건 S/W : 건 매출액 백만원 신규고용 명 신기술인증 건		특허 : 출원 건 등록 건 시제품 : 건 S/W : 건 매출액 백만원 신규고용 명 신기술인증 건
			D-2	T형 캔틸레버 브리켓의 설계시스템 구축 및 설계자동화	⑤	브리켓 설치간격	2.0m 이상	2.5m	설계치	보고서	4					
계											20		352	특허 : 출원 1 건 등록 1 건 시제품 : 건 S/W : 2 건 매출액 백만원 신규고용 2 명 신기술인증 건 현장테스트베드 1 건	100	특허 : 출원 1 건 등록 1 건 시제품 : 건 S/W : 2 건 매출액 백만원 신규고용 2 명 신기술인증 건 현장테스트베드 1 건

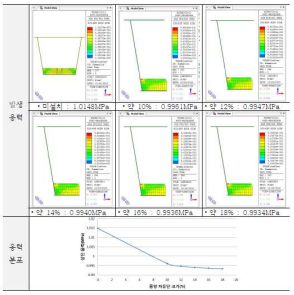
③ 3차년도 성과점검기준표

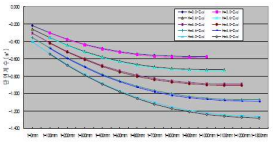
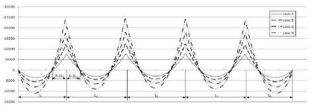
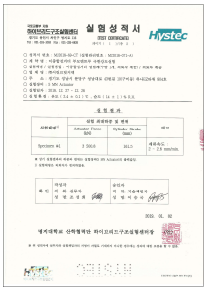
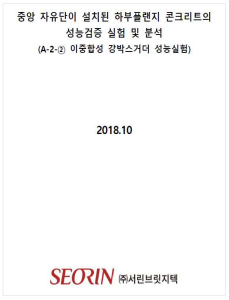
구분	핵심연구성과 (level1)		단위 성과 (level2)		3차년도 질적 성과						해당 기관	예산 (백만)	3차년도 양적 목표		
					질적 성과지표		목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중치			가중치	달성치
총괄	E	하부플랜지 콘크리트의 성능개선을 위한 중앙자유단이 설치된 이중합성 강박스거더 개발	E-1	중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트의 현장적용 및 보급확산	①	현장적용 실적	1건	8건	건수	실적서류	22	주)서린 브릿지 텍	340	특허 : 출원 건 등록 건 시제품 : 건 S/W : 건 매출액 300백만원 신규고용 1 명 신기술인증 1 건	50 20	특허 : 출원 1 건 등록 1 건 시제품 : 건 S/W : 건 매출액 328백만원 신규고용 1 명 신기술인증 건
			E-2	건설신기술 인증 및 기술실시계약 체결 추진	②	기술실시계약 체결	1건	2건	건수	체결서류	22				
	F	캔틸레버부 바닥판 시공의 안전성 확보를 위한 동바리 대체용 T형 캔틸레버 브리켓 개발	F-1	T형 캔틸레버 브리켓의 현장적용 및 보급확산	③	기술강습회	1건	1건	건수	발표집	12	주)신원 알파씨	160	특허 : 출원 건 등록 1 건 시제품 : 건 S/W : 건 매출액 백만원 신규고용 1 명 신기술인증 건	30	특허 : 출원 건 등록 건 시제품 : 건 S/W : 건 매출액 백만원 신규고용 1 명 신기술인증 1 건
			F-2	건설신기술 특별시방서 및 유지관리지침서 작성	④	특별시방서	1건	1건	건수	보고서	12				
					⑤	유지관리지침서	1건	1건	건수	보고서	12				
계											100		500	특허 : 출원 건 등록 1 건 시제품 : 건 S/W : 건 매출액 300 백만원 신규고용 2 명 신기술인증 1 건	100	특허 : 출원 1 건 등록 1 건 시제품 : 건 S/W : 건 매출액 328 백만원 신규고용 2 명 신기술인증 1 건

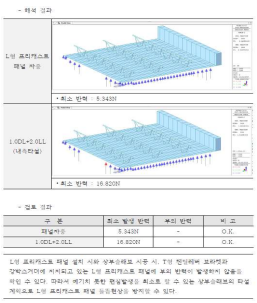
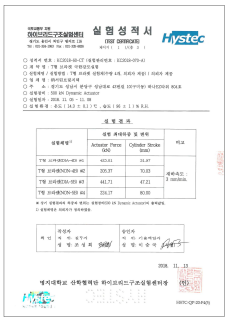
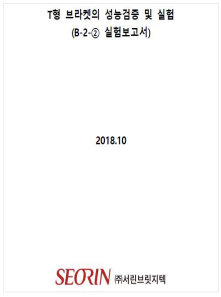
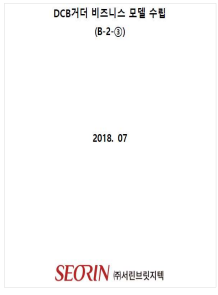
나. 목표 달성여부

본 사업화 대상기술에 대한 연도별 연구목표 달성도를 나타내면 다음과 같다.

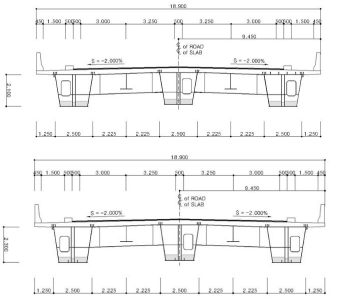
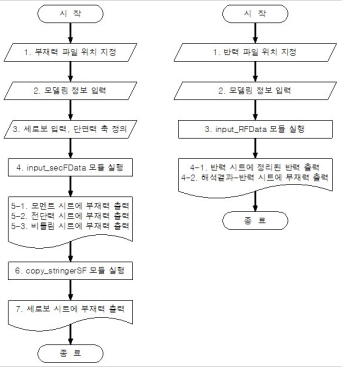
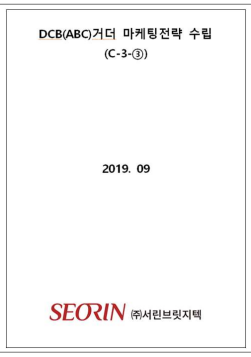
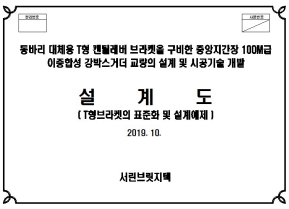
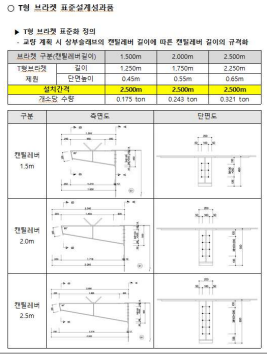
(1) 1차년도 연구목표 달성도

세부 연구 목표 (연구계획서의 목표)	비중	달성도	자체평가	
			달성내용	성과증빙
[A-1-①] 중앙부 이격거리	8점	100%	▷ 이중합성 하부콘크리트 중앙 자유단 구성시 최적의 이격거리(10%) 확인 ▷ 중앙자유단 이격거리 검토 1식	

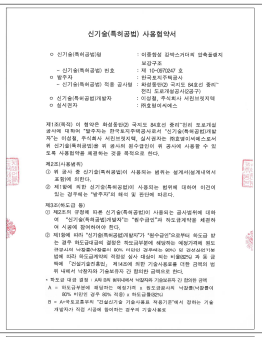
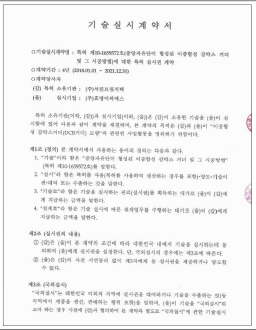
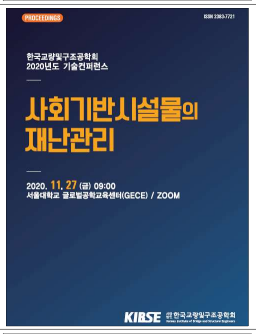
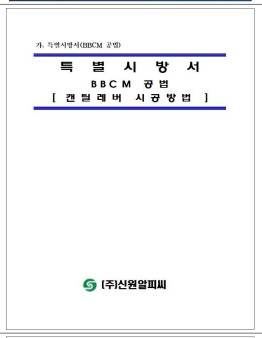
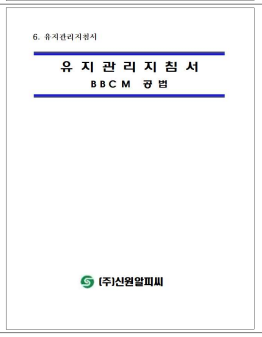
[A-1-②] 이중합성 Con'c 타설두께	8점	100%	▷이중합성 하부콘크리트 타설 시 효율적 두께 검토 및 설정 (거더높이의 20% 타설) ▷하부콘크리트 두께검토서 1식	 [그림 12] 거더 높이 및 타설 두께에 따른 단면계수 변화 이로부터 강재하면 및 하부슬래브 콘크리트 하면의 단면계수는 거더높이의 6~8% 까지는 증가효과가 매우 크며, 15%까지 무형한 증가세를 보이지만, 25% 대 부근에서는 단면계수는 증가하지 않고 콘크리트 증량만 늘어난다는 것을 알 수 있다. 따라서 이중합성강박스거더교의 지점부 단면에서 하부슬래브 콘크리트의 두께는 거더 높이의 약 20% 이내로 정하는 것이 가장 효율적일 것으로 판단된다.
[A-1-②] 이중합성 Con'c 타설범위	8점	100%	▷이중합성 하부콘크리트 타설 시 최적타설길이 검토 및 설정(경간장의 20% 타설) ▷하부콘크리트 타설범위 검토서 1식	 그림 2.3 2차고정하중에 의한 지간구성별 휨모멘트 분포 그림에서 알 수 있듯이 주경간장의 길이에 관계없이 모든 경우에 있어서 부모멘트 발생영역은 지점부로부터 주경간장의 0.2배에 해당하는 길이까지이다. 따라서 하부콘크리트의 타설범위를 2차고정하중에 의해 인장응력이 발생하지 않는 영역으로 정하고 그 길이를 주경간장의 0.2배로 하는 것이 초기설계 단계에서 합리적인 접근이 될 것으로 판단된다.
[A-2-①] 이중합성거더 성능검증 실험성적서	8점	100%	▷중앙자유단이 설치된 하부콘크리트의 성능검증을 위한 실험성적서 확인 ▷실험성적서 1식 (성적서번호: MJ2018-69-CT)	 실 험 성 적 서 Hystec
[A-2-②] 이중합성거더 성능검증 실험보고서	8점	100%	▷중앙자유단이 설치된 하부콘크리트 성능검증 실험보고서 작성 ▷실험보고서 1식	 중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트의 성능검증 실험 및 분석 (A-2-② 이중합성 강박스거더 성능실험) 2018.10 SEORIN ㈜서린브릿지텍
[A-2-③] 신규고용인력	10점	100%	▷연구과제를 통한 신규고용인력 2명 채용 ▷4대보험 사업장가입자 명부	 4대 사회보험 사업장 가입자 명부
[B-1-①] T형브라켓의 안전율	10점	100%	▷T형 브라켓 관용해석을 통한 안전율(2.5) 확인 ▷T형 브라켓 검토서 1식 (증빙자료 [B-1-①] 참조)	 1. 극한한계상태검토 2. 사용한계상태 검토 3. 피로한계상태 검토 4. 연결부의 검토

[B-1-②] L형 Deck 시공시 들뜸현상 유무	8점	100%	▷T형 브라켓을 이용한 L형 Deck설치시 들뜸현상 발생유무 확인 ▷들뜸현상 검토(해석)서	
[B-1-③] 특허출원	8점	100%	▷특허출원서 1식	
[B-2-①] T형브라켓 성능검증 실험성적서	8점	100%	▷T형 브라켓 성능검증을 확인을 위한 실험성적서 ▷실험성적서 1식 (성적서번호: KC2018-60-CT)	
[B-2-②] T형브라켓 성능검증 실험보고서	8점	100%	▷T형 브라켓 성능검증 실험보고서 작성 ▷실험보고서 1식	
[B-2-③] 비즈니스모델 수립	8점	100%	▷연구를 통해 개발된 성과물을 활용한 비즈니스모델 수립 ▷비즈니스모델 수립 보고서 작성 1식	
합계	100점	100%		

(2) 2차년도 연구목표 달성도

세부 연구 목표 (연구계획서의 목표)	비중	달성도	자체평가	
			달성내용	성과증빙
[C-1-①] 주형고 감소율	20점	100%	▷ 기존설계기준(허용응력설계법) 대비 신 설계기준(한계상태설계법)이 적용된 ABC 거더의 형고감소(9%) 확인 ▷ 주형고 감소율 비교검토 설계성과품 1식	
[C-2-②] 설계자동화 모듈	20점	100%	▷ 중앙자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트 설계자동화 모듈 개발 ▷ 설계자동화 모듈 1식	
[C-3-③] 마케팅 전략수립	20점	100%	▷ 연구성과를 활용한 마케팅 전략 수립 ▷ 마케팅전략 수립 보고서 작성 1식	
[D-1-④] 설계도면	20점	100%	▷ 신 설계기준이 적용된 T형 캔틸레버 브라켓의 표준도 작성 1식	
[D-2-⑤] 브라켓의 설치간격	20점	100%	▷ T형 브라켓의 설계검토 및 시스템 구축을 통한 브라켓의 설치간격 2.0m이상(2.5m) 확인	
합계	100점			

(3) 3차년도 연구목표 달성도

세부 연구 목표 (연구계획서의 목표)	비중	달성도	자체평가	
			달성내용	성과증빙
[E-1-①] 현장적용실적	20점	100%	▷본 사업화 대상기술의 적용을 위한 설계 및 영업 지원 ▷신기술 사용협약서 1식 ▷목표치/달성치: 1건/8건	
[E-2-②] 기술실시계약체결	20점	100%	▷(주)세진씨엔디 및 ㈜하영이앤씨와 기술실시계약체결 ▷기술실시계약서 1식 ▷목표치/달성치: 1건/2건	
[F-1-③] 기술강습회	20점	100%	▷연구성과를 활용한 기술발표 및 기술강습회 ▷한국교량및구조공학회 기술발표논문 1식 ▷목표치/달성치: 1건/1건	
[F-2-④] 특별시방서	20점	100%	▷T형 캔틸레버 브라켓의 특별시방서 작성 ▷특별시방서 1식 ▷목표치/달성치: 1건/1건	
[F-2-⑤] 유지관리지침서	20점	100%	▷T형 캔틸레버 브라켓의 유지관리지침서 작성 ▷유지관리지침서 1식 ▷목표치/달성치: 1건/1건	
합계	100점			

다. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등)

본 사업화 기술의 기본개념인 이중합성 강박스거더 교량은 부모멘트를 받는 연속교 내측 지점구간의 하부 압축플랜지 위에 콘크리트를 타설하여 지점부 강성을 향상시킬 수 있는 공법으로써, 2차년도 연구에서는 신 설계기준이 적용된 중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트 및 T형 캔틸레버 브라켓에 대한 표준 설계성과품을 작성하고, 설계시스템 구축 및 설계자동화를 실현하였다. 또한, 본 3차년도에서는 중앙 자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트 및 T형 캔틸레버 브라켓의 현장적용 및 보급확산, 건설신기술 인증 등이 수행하였다.

따라서, 본 연구개발성과를 활용한다면, 향후 본 사업화의 최종목표인 교량 캔틸레버부의 시공상 안전성 문제를 해결하고, 장경간 교량계획 및 경제성향상을 추구할 수 있는 동바리 대체용 T형 캔틸레버 브라켓을 구비한 중앙지간장 100M급 이중합성 강박스 거더 교량의 설계 및 시공기술을 완성할 수 있을 것으로 확신하고 있다.

기존의 강박스거더 교량의 캔틸레버부 시공은 고교각에 설치된 강거더 위에서 작업이 이루어지기 때문에, 최근까지도 작업인원이 교량하부로 추락하는 사고가 빈번히 발생하고 있으나, 본 연구개발 성과물인 T형 캔틸레버 브라켓을 이용한 시공방법은 정형화된 공장에서 제작되어 고공작업이 필요없기 때문에 교량 최외측 캔틸레버부 바닥판에 대한 시공상의 안전성 문제를 근본적으로 해결할 수 있다. 최근에도 강합성교량의 상부슬래브 시공 도중 교량이 붕괴하여 2명의 인부가 사망에 이르는 등 많은 인명피해가 발생한 사례가 있다. 따라서, 본 연구성과의 평가시에는 단순한 공사비뿐만 아니라, 돈으로 따질 수 없는, 고공작업으로 인한 인명피해를 최소화할 수 있는 안전성확보 측면도 반드시 고려되어야 한다고 판단된다.

중앙자유단이 설치된 하부플랜지 콘크리트 및 T형 캔틸레버 브라켓을 구비한 이중합성 강박스거더 교량에 대한 연구는 국내뿐만 아니라 전 세계적으로도 아직 초기 단계에 있으며, 따라서 본 연구개발 성과물을 조속히 사업화한다면 강합성교량의 설계 및 시공분야에서 세계적인 기술을 선도할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서, 본 연구개발과제가 사업화에 성공할 때까지는 실험자료를 비롯한 설계성과품에 대한 보안이 필요하다고 판단하고 있다.

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

가. 국내외 사업화 환경변화 분석

본 사업화 대상기술은 그동안의 실용화 노력을 바탕으로 많은 경험과 실무능력을 축적하여 왔으며, 본 연구진이 제시한 추가 연구개발이 성공한다면 본 사업화 대상기술은 강교량의 효율적인 설계 및 시공에 크게 기여하고, 강교량 시장에서 국내뿐만 아니라 국외에서도 기술을 선도할 수 있을 것으로 기대하고 있다. 본 사업화 대상기술은 공기단축이 가능하고 총공사비, 구조성능, 내구성, 경관 등의 측면을 크게 향상시킬 수 있으므로, 경제적이고 시공에 유리한 강박스거더 교량건설의 강력한 대안이 될 수 있다.

기존의 강박스거더 교량의 캔틸레버부 시공은 고교각에 설치된 강거더 위에서 작업이 이루어지기 때문에, 최근까지도 작업인원이 교량하부로 추락하는 사고가 빈번히 발생하고 있으나, 본 연구개발 성과물인 T형 캔틸레버 브라켓을 이용한 시공방법은 정형화된 공장에서 제작되어 고공작업이 필요 없기 때문에 교량 최외측 캔틸레버부 바닥판에 대한 시공상의 안전성 문제를 근본적으로 해결할 수 있다.

<표 4.1> SWOT 분석결과

SWOT(Strength Weakness Opportunity Threat) 분석			
강점	▪ 기존 연구과제 및 실용화 경험을 통한 다양한 DB축적 ▪ 국내 건설사들의 우수한 시공능력 ▪ 연계 가능한(IT,기계) 타 산업 기술수준 우수 ▪ 국내 지형의 특수성으로 인한 기술의 현장적용 가능성	약점	▪ 자체적인 자동화 설계시스템 미확보 ▪ 상품제조(성과품 작성 등)에 Man·Month 과다 소요 ▪ T형 캔틸레버 브라켓에 대한 적용실적 미흡 ▪ 보수적인 설계기준 적용으로 인한 새로운 공법에 대한 적용 신뢰성 부족
기회요인	▪ 사회 인프라 구축 사업에서 비용절감을 위한 국가적 노력 ▪ 환경친화적 건설을 지향하는 건설산업의 방향 ▪ 설계자동화 실현으로 Man·Month 감소 및 가격경쟁력 상승 ▪ LCC 개념의 경제성 검토 확대	위협요인	▪ 유럽의 기술 선도업체들은 전세계를 대상으로 마케팅 ▪ 선진국에 비해 이중합성 강박스 거더 교량에 대한 연구의 역사가 짧음 ▪ 인증 시스템 구축을 통한 구매자(발주처) 구매기피 및 기술장벽 극복 ▪ 국내외적으로 무한 가격 경쟁 대처

나. SOC 시장분석 및 사업화 전망

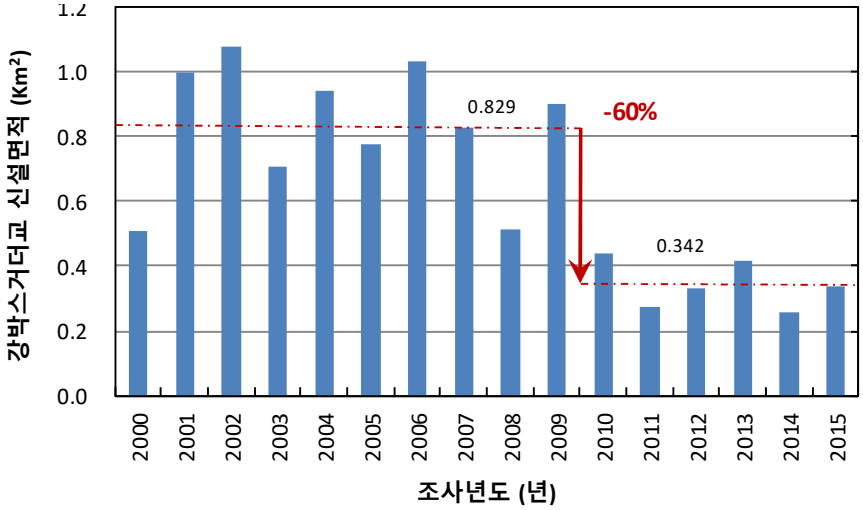
(1) 사업화 대상교량의 년도별 건설현황

‘도로교량 및 터널현황조서(국토교통부, 2016)’에 따르면, 국내 도로교량의 전체 건설규모는 과거 10년(2000년~2009년) 대비 최근 6년(2010년~2015년)간 신설면적 기준으로 약 36%, 신설연장 기준으로 약 40%, 신설개소 기준으로 약 42% 정도 감소하였다.

<표 4.2> 강박스거더교의 년도별 건설현황 (단위: m, m^2)

조사년도	총연장	총개소	총면적	신설연장	신설개소	신설면적	평균폭	평균경간
2015	953,827	4,208	15,236,593	21,731	109	336,180	15.2	53.4
2014	932,096	4,099	14,900,413	17,214	74	258,765	15.4	52.5
2013	914,881	4,025	14,641,648	27,567	142	418,076	14.8	51.7
2012	887,315	3,883	14,223,572	21,761	116	329,367	15.6	51.7
2011	865,554	3,767	13,894,204	15,907	95	271,506	16.9	50.5
2010	849,647	3,672	13,622,698	27,301	138	439,384	16.0	50.2
2009	822,347	3,534	13,183,314	59,604	283	901,733	15.0	50.7
2008	762,743	3,251	12,281,581	34,487	179	516,209	15.0	51.7
2007	728,256	3,072	11,765,372	60,708	297	826,918	14.1	50.1
2006	667,548	2,775	10,938,454	72,396	297	1,031,783	14.8	51.3
2005	595,152	2,478	9,906,670	47,464	236	776,265	16.7	48.3

신설면적을 기준으로 할 경우, 최근 6년간 강박스거더교의 건설규모는 과거 10년간 대비 약 60% 정도 감소(신설연장 기준: 약 59% 감소, 신설개소 기준: 약 55% 감소)하였다.



<그림 4.1> 강박스거더교의 년도별 건설현황(신설면적 기준)

(2) 사업화 대상교량의 년도별 시장규모

강박스거더교의 시장규모는 과거 10년간의 평균은 약 6,200억원 정도로 추산되며, 최근 6년간의 평균은 약 2,500억원 규모로 추산됨. 이는 2009년 국제적인 금융위기로 인한 국내 건설경기의 침체에 기인한 것으로 판단되며, 2010년 이후부터 현재까지는 일정규모의 건설이 이루어지고 있음을 알 수 있다. 따라서, 본 사업화 대상기술인 강박스거더교 시장의 약 10% 정도를 점유할 경우, 총매출 예상액(2015년 기준)은 약 250억원 정도로 예상된다.

<표 4.3> 강박스거더교의 년도별 시장규모 (단위: m, m^2, 억원)

ST-B	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
총연장	667,548	728,256	762,743	822,347	849,647	865,554	887,315	914,881	932,096	953,827
총개소	2,775	3,072	3,251	3,534	3,672	3,767	3,883	4,025	4,099	4,208
신설연장	72,396	60,708	34,487	59,604	27,301	15,907	21,761	27,567	17,214	21,731
신설개소	297	297	179	283	138	95	116	142	74	109
신설면적	1,031,783	826,918	516,209	901,733	439,384	271,506	329,367	418,076	258,765	336,180
공사금액	7,738	6,202	3,872	6,763	3,295	2,036	2,470	3,136	1,941	2,521

다. 사업화 추진방안

(1) 사업화 추진전략

① 시장진입 및 양산 계획

<표 4.4>에는 현재 본 연구진이 계획하고 있는 사업화단계 및 시장규모(Market Share)별 사업화 계획을 나타내었다. 본 보유기술의 사업화단계는 제품화 단계(연구 1, 2차년도), 상품양산 단계(연구 3차년도, 종료 1차년도) 및 사업화 확장단계(종료 2, 3차년도)로 구분하였다. 제품화 단계에서는 연구 실용화 및 상품개발을 추진하고 상품양산 단계에서는 상품제조, 상품양산을 추진하는 것으로 하였으며, 사업화 확장단계에서는 국내분야 및 국외분야로 사업화 영역을 확장하는 것으로 사업화 목표를 설정하였다.

본 사업화 대상기술의 시장규모는 앞에서 설명한 <표 4.3>의 2015년도 강박스거더 교량의 시장규모를 현재(2020년)의 시장규모로 가정하고 매년 5% 정도 시장규모가 성장하는 것으로 가정하였으며, 이

때 시장규모는 연구종료후(2021년) 약 2,900억원 정도로 예상된다. 2021년도의 예상 시공액은 약 146억원, 예상 매출액은 약 7.3억원 규모로 예상되어 시공사인 (주)신원알피씨(공동연구기관) 및 설계사인 (주)서린브릿지텍(주관연구기관) 모두 사업화에 충분히 성공할 수 있을 것으로 본 연구진은 판단하고 있다.

<표 4.4> 사업화단계 및 시장규모(Market Share)별 사업화 계획

사업화 목표		제품화 단계		상품양산 단계		사업화 확장단계	
		2018년 (1차년도)	2019년 (2차년도)	2020년 (3차년도)	2021년	2022년	2023년
		연구 실용화	상품개발	상품제조	상품양산	국내분야 사업화	해외분야 사업화
사업 전략	설계	설계시스템 구축		설계 표준화		설계 전담팀 운영	
	영업	제품홍보 + 변경설계 반영		변경설계 + 실시설계 반영		변경/실시설계 + 해외 반영	
	시공	실험/현장적용		국내실시		국내 및 국외실시	
발생 성과		보유기술 성능검증		현장실적/신기술 확보		해외시장 확보	
시장 현황	시장규모	2,521 억원	2,647 억원	2,779 억원	2,918 억원	3,064 억원	3,218 억원
	점유율	-	-	3.0%	5.0%	7.0%	10.0%
	시공액	-	-	83 억원	146 억원	215 억원	322 억원
	기술료 (3%)	-	-	2.5 억원	4.4 억원	6.4 억원	9.7 억원
	설계료 (2%)	-	-	1.7 억원	2.9 억원	4.3 억원	6.4 억원
인력 투입 계획	매출액	-	-	4.2 억원	7.3 억원	10.7 억원	16.1 억원
	전담인원	3 인	4 인	5 인	6 인	8 인	10 인
	매출액/인	-	-	0.8 억원	1.2 억원	1.3 억원	1.6 억원

② 판로개척 계획

앞에서 기술한 바와 같이, 본 사업화 대상기술의 판로개척 계획은 본 연구진이 경험한 기존 사업화 과정의 문제점 및 그 해결방안으로 다음과 같이 요약될 수 있다.

- 설계측면에서의 판로개척 방안 :
  - 설계시스템 구축

⇒ 상품제조(성과품작성) 과정에서 결함 제거 및 표준화된 설계시스템 구축

- 설계자동화 실현

  ⇒ 구축된 설계시스템을 전문업체에 의뢰, 설계자동화 실현

  (소요예산: 1.5억원, 소요기간: 8개월 내외)

- 전담팀 구축

  ⇒ 향후 수주/매출 계획에 따라 전담팀 구축

- 영업측면에서의 판로개척 방안 :

- 구매자(발주처) 구매 소극적

  ⇒ 향후 수주교량에 대한 적용실적의 축적을 통해 점차 해소 가능

- 설계 자체반영

  ⇒ 턴키/대안 등 기본/실시설계 시에 제품을 비교안에 포함시키고, 제품을 구매할 수 있도록 발주처/시공사에 적극 홍보

- 시공측면에서의 판로개척 방안 :

- 시공/설계 업체간의 협업

  ⇒ 설계/기술영업: ㈜서린브릿지텍, 시공/기술영업: ㈜신원알피씨

- 해외진출 등 시공분야 확대

  ⇒ 사업영역 확장

- 홍보측면에서의 판로개척 방안 : (마켓팅 전략)

- 구매자(발주처)에 적극 홍보

  ⇒ 수주영업/영업임원 지원 → 구매자의 구매의욕 고취

- 홍보자료 제작

  ⇒ 홍보용 카다로그 및 모형제작

- 포스코, (주)흥화, 대림CNS 등 후판생산 및 강교 전문업체와 전략적 제휴

  ⇒ 강교전문업체: 강재수요↑ - (주)서린브릿지텍/㈜신원알피씨: 시공실적확보

상기에 기술한 추가 연구개발이 성공한다면, 본 사업화 대상기술은 강박스거더 교량의 시장에서 국내뿐만 아니라 외국에서의 교량건설 기술을 동시에 선도할 수 있을 것으로 본 연구진은 기대하고 있다.

③ 사업화 관련 예상 매출

<표 4.5>에는 기술개발에 따른 사업화 관련 예상 매출을 나타내었다. 본 주관연구기관((주)서린브릿지텍)은 기술개발 전년인 2017년도에 신규로 설립된 업체로서 기존연구의 주관연구기관((주)서영엔지니어링)으로부터 기존 이중합성 강박스 거더교(DCB) 관련 특허권을 이전받아 사업화를 실시해온 경험을 가지고 있다. 앞에서 언급한 바와 같이, 본 사업화 대상기술(약칭, ABC girder)의 연구개발이 종료되는 시점에서의 시장점유율을 3.0%로 가정하였을 때, 예상되는 시공액은 약 83억원으로 추산되며, 본 사업화 대상기술은 일반공법 대비 약 15%의 공사비 절감이 예상됨으로 이를 기준으로 할 때 약 12.5억원의 비용절감 효과가 예상된다. 또한, 개발종료 2년 후의 시장점유율을 7.0%로 가정하였을 때, 예상되는 시공액은 약 215억원으로 추산되며, 약 32.1억원의 비용절감 효과가 예상된다.

본 사업화 대상기술의 연구개발이 성공적으로 수행된다면, 강박스거더 교량의 시장에서 국내뿐만 아니라 국외에서도 기술을 선도할 수 있을 것임으로 향후 수입대체 효과도 기대해 볼 수 있을 것으로 판단된다.

<표 4.5> 기술개발에 따른 사업화 관련 예상 매출

구 분		(2017)년 (기술개발 전년)	(2020)년 (개발종료 해당년)	(2021)년 (개발종료 후 1년)	(2022)년 (개발종료 후 2년)
사업화 기술(제품, 공법)		DCB	ABC girder	ABC girder	ABC girder
투자계획(백만원)		50	150	150	200
판매 계획 (백만원)	내 수	-	8,300	14,600	21,500
	직접수출	-	-	-	-
	간접수출	-		-	-
	계	-	8,300	14,600	21,500
비용절감(백만원)		-	1,250	2,180	3,210
수입대체(백만원)		-	-	-	-

붙임. 참고문헌

[1] 건설교통부 (2015) 도로교설계기준, 한국도로교통협회.

[2] 건설교통부 (2001) 도로설계편람(III).

[3] 이성철, 김광훈, 박정훈 (1999) 강합성 상자형교의 압축플랜지 최적화 설계에 관한 연구, 대한토목학회 학술대회, pp.471-474.

[4] 이성철, 윤동용, 정해광 (1999) 전단연결재에 의해 콘크리트 슬래브와 합성된 강판의 좌굴응력, 대한토목학회 학술대회, pp.483-486.

[5] 이성철, 이두성, 김현민 (2002) 수평보강재를 갖는 판형 복부판의 조밀단면에 관한 연구, 대한토목학회 학술대회, pp.82-85.

[6] 이성철, 이두성, 최헌 (2004) 강박스 거더의 중간다이아프램 설계에 관한 연구, 대한토목학회, 제24권 3A호, pp.623-630.

[7] 이정헌, 박찬식, 이성철 (2005) 플레이트거더교의 중간가로보 설치간격이 활하중 횡분배에 미치는 영향, 대한토목학회 학술대회, pp.1639-1642.

[8] AASHTO (2004) LRFD bridge design specifications, 3rd ed., American Association of State Highway and Transportation Officials, 444 North Capital Street, N.W., Suite 249 Washington, D.C.

[9] Collings, D. (2005) Steel-Concrete Composite Bridges, Thomas Telford.

[10] Galambos, T.V. (1998) Guide to Stability Design Criteria Metal Structures, 5th ed., John Wiley & Sons, Inc.

[11] Oehlers, D.J. and Bradford, M.A. (1995) Composite Steel and Concrete Structural Members, PERGAMON.

[12] Nakamura, S., Momiyama, Y., Hosaka, T. and Homma, K. (2002) New technologies of steel/concrete composite bridges, Journal of Constructional Steel Research, Vol.58, pp.99-130.

[13] Sen, R., Stroh, S., Olbinska, J., Hassiotis, S. and Mullins, G. (1999) Development of a New Concept for Florida's Bridges, The University of South Florida.

[14] Saul, R. (1996) Bridges with Double Composite Action, Structural International, January, International Association for Bridge and Structural Engineering, CH-8093 Zurich, Switzerland.

[15] Yoon, D.Y., Lee, S.C. and Yoo, C.H. (2005) Analytical investigation of access holes

in load-bearing diaphragms of steel box girders, Journal of Constructional Steel Research, Vol.61, pp.113-131.

[16] 강병수, 김정현, 곽동석, 홍인택, 이용학 (2003) 이중합성 박스거더의 재령종속적 거동 실험 및 해석, 한국콘크리트학회 학술발표논문집, pp.169-172.

[17] 김진근, 이상순, 양주경 (1999) 철근콘크리트 균열단면의 장기거동 해석, 대한토목학회, 제 19권 I-2호, pp.185-194.

[18] 김현호, 심창수, 윤광중 (2006) 이중합성 2거더 연속 철도교의 부모멘트부 거동, 한국강구조학회 논문집, 제 18권 3호, pp.339-347.

[19] 배두병, 윤석구, 함상희 (2004) 콘크리트 건조수축에 의한 합성거더의 장기거동, 한국강구조학회 논문집, 제 16권 6호, pp.807-818.

[20] 배두병, 정대준 (2004) 합성거더교의 등가 건조수축 변형률, 한국강구조학회 논문집, 제 16권 1호, pp.135-144.

[21] 심기훈 (2002) 건조수축을 받는 이중합성박스거더의 거동해석, 건국대학교 박사학위논문.

[22] 신동훈, 성원진, 심기훈, 최지훈, 이용학 (2002) 이중합성 박스거더교의 콘크리트 타설 두께에 따른 휨강도 변화, 한국콘크리트학회 학술발표논문집, pp.285-290.

[23] 이승수 (2002) 콘크리트 재령에 따른 재료특성을 고려한 이중합성 강박스거더교의 시간종속적 거동해석, 건국대학교 박사학위논문.

[24] 양종호, 大山 理 (2004) 강-콘크리트 이중합성교의 실적조사와 고찰, 한국강구조학회지, 제 16권 1호, pp.16-20.

[25] 이용학 (2003) 이중합성박스 거더교의 설계·해석·시공 기술 개발, 대림기술정보, pp.4-21.

[26] 최지훈, 이용학 (2002) 이중합성강박스거더교의 휨거동, 대한토목학회 논문집, 제 22권 제 13-A호, pp.469-477.

[27] 한창훈, 심창수, 김현호, 김성일 (2005) 이중합성 고속철도교량의 해석적 연구, 한국강구조학회 학술발표논문집, pp.320-324.

[28] 栗田 章光, 大山 理 (2001) 二重合成連續箱桁橋の現狀と課題, 日本土木學會-剛構造と橋に關するシンポジウム論文報告集, Vol.4, pp.45-58.

[29] 大山 理 (2000) 鋼・ユンクリート二重合成連續箱桁橋のクリープおよび乾燥收縮擧動に關する硏究, 大阪工業大學博士學位論文.

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술사업화지원사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통기술사업화지원사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

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