발 간 등 록 번 호
11-1613000-001358-01

국 토 교 통 R&D Report

보안 과제( ), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개( )
국토교통기술사업화 지원사업 최종보고서

R&D / 15TBIP-C074176-02

소켓연결 방식을 이용하여 급속시공이 가능한 프리스트레스트 콘크리트 제형 거더의 제작 및 시공기술 개발 최종보고서

2016. 07. 14.

주관연구기관 / ㈜장헌산업
협동연구기관 / 충청대학교 산학협력단
협동연구기관 / 한라산업개발(주)
위탁연구기관 / 준성특허법률사무소

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부 장관 귀하

'소켓연결 방식을 이용하여 급속시공이 가능한 프리스트레스트 콘크리트 제형 거더의 제작 및 시공 기술개발'(연구개발 기간 : 2014.06.02 ~ 2016.06.01) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2016.07.14.

주관연구기관명 : ㈜장헌산업 (인)

공동연구기관명 : 충청대학교 산학협력단 (인)

참여기관명 : 한라산업개발(주) (인)

주관연구기관책임자 : 김 용 혁

협동연구기관책임자 : 최 홍 식

참여기관책임자 : 김 문 호

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>15TBIP-C074176-02</td><td>해당 단계
연구 기간</td><td>2014.06.02.
~ 2016.06.01</td><td>단계구분</td><td>2차년/
2차년</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4">국토교통기술사업화지원</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">소켓연결 방식을 이용하여 급속시공이 가능한 프리스트레스트 콘크리트 제형 거더의 제작 및 시공기술</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">김 용 혁</td><td>해당단계
참여
연구원 수</td><td>총: 23명
내부: 23명
외부: 명</td><td>해당단계
연구개발비</td><td>정부:228,000천원
기업:162,700천원
정부 외: 천원
계:390,700천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간
참여
연구원 수</td><td>총: 49명
내부: 49명
외부: 명</td><td>총 연구개발비</td><td>정부:456,000천원
기업:325,400천원
정부 외: 천원
계:781,400천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소속 부서명</td><td colspan="2">㈜장헌산업 기술연구소</td><td colspan="2">참여기업명
㈜장헌산업, 한라산업개발(주)</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="2">상대국명:</td><td colspan="2">상대국 연구기관명:</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="2">연구기관명: 준성특허법률사무소</td><td colspan="2">연구책임자: 이 준 성</td></tr>
<tr><td colspan="3">국내 현장에서의 기능공 고령화와 3D 산업 기피로 현장 운용이 어려우며, 기상악화 및 근로시간 단축 등으로 생산성이 저하되고 있는 실정이다. 따라서 이를 극복하고자 본 연구에서는 신형식 거더의 제작 및 시공기술을 개발하고자 한다.
<연구범위 및 내용>
1.소켓연결 성능검증 2.프리캐스트 복부 최적화
3.생산설비구축 4.시작품 제작 5. 지적재산권 확보
<연구성과>
1.국내 운송 규정에 적합한 프리캐스트 부재 개발
2.교량에 필요한 대부분의 부재를 공장에서 생산하여 현장에서 조립하는 독창적인 원천기술 확보
3.실험을 통한 구조적 성능확인 및 프리캐스트 부재 연결기술 개발 및 기술력 확보
4.거더 생산 설비 구축 및 거더 제작과 시공에 대한 기술력 향상
5.공사기간 감소 및 교량의 급속시공 기술 확보(공사비 절감)
6.특허등록 및 학술논문게재를 통한 지적재산권 확보
7.성공적인 사업화를 위한 홍보물 제작 및 설계 반영</td><td colspan="3">보고서 면수</td></tr>
</table>

국 문 요 약 문

연구의 목적 및 내용	지금까지 국내 교량기술의 개발 초점이 장대교량(100m 초과)에 맞추어 발전하여 중장경간교량(40m~60m)은 기존공법(PSC I형교, 강상자형교, PSC 상자형교 등)에서 탈피하지 못하고 있다. 또한 중장경간에 적용되는 교량형식은 국내시장에만 안주한 상태로써 국내 토목산업의 침체에 따른 그 시장규모가 급격히 축소되고 있고, 이에 따라 중장경간 교량기술에 대한 연구개발 및 투자도 미흡한 상태이다. 그리고 국내 공사현장에서는 숙련 기능공의 고령화 및 젊은층의 3D 직종 기피로 인하여 현장 기능공이 급격하게 감소하여 현장의 작업반 운용이 매우 힘든 실정이다. 또한 지구온난화로 인한 기상 환경의 변화로 현장작업여건이 악화되고, 작업자의 근로시간 단축 및 절차강화로 건설현장의 생산성이 급격히 저하되고 있다. 이에 현장 작업을 최소화하여 시공성과 경제성을 향상시킬 수 있는 획기적인 공정의 개선이 필요하다. 우리보다 먼저 이러한 건설환경을 경험한 해외 선진국들은 프리캐스트 콘크리트를 활용하는 공법을 널리 사용하고 있다. 프리캐스트 콘크리트 공법은 구조물 일부 또는 전체를 공장에서 제작하여 현장에서 조립 또는 가설하는 공법으로 품질관리에 유리할 뿐 아니라 신속한 시공이 가능하며, 거푸집이나 동바리를 최소화하여 작업시 안전성 및 경제성 향상은 물론이고 현장의 기능공 부족에 적극 대응할 수 있다. 최근 들어 국내에서도 프리캐스트 콘크리트를 활용하는 공법에 대한 요구와 기술개발이 활발히 이루어지고 있다. 그러나 국내의 프리캐스트 콘크리트 공법의 수준은 아직 선진국의 기술을 단순 모방하는 수준에 있다. 이를 탈피하기 위해서 해외 기술들을 철저히 파악하여 경쟁력 있는 독자적인 기술의 개발이 필요할 뿐 아니라 설계, 제작, 시공의 건설 업종별 구분 없이 일원화된 기술력의 확보가 필요하다. 또한 이론중심의 기술 개발이 아닌 실제 현장적용이 가능한 기술의 개발도 시급하다. 따라서 본 연구에서는 개발된 기술을 실험을 통하여 검증하고 제품화할 수 있는 설비를 제작하며, 작업 효율성을 고려한 제품을 생산하여 국내 시장뿐 아니라 해외에서도 설계, 제작, 시공이 가능한 기술력을 확보하고자 한다.
연구개발성과	본 개발기술은 기존 중장경간 교량들의 단점을 보완한 신형식의 교량으로 공장에서 교량의 부품을 프리캐스트 콘크리트로 제작하여 이를 현장에서 조립하는 방식으로 시공성, 안전성, 경제성, 경관성 등이 뛰어난 공법이다. 특히 프리텐션으로 프리스트레스를 도입하여 얇은 두께로 구조성능을 향상시키면서 단면을 최적화한 프리텐션 복부와 소켓방식을 이용하여 연결부의 시공성과 가설시 안전성을 높인 연결부재는 본 개발기술의 핵심이라 할 수 있다. 따라서 본 연구개발에서는 개발기술의 사업화를 위하여 거더 단면을 표준화하고 프리캐스트 콘크리트 부재의 생산설비를 구축하였으며 안전성 검증을 위한 실험을 수행하였다. 또한 특허등록, 논문게재, 학술발표 등의 지식재산권을 확보하고 브로슈어 제작, 기술기사 게재 등의 홍보활동으로 개발기술의 사업화를 위한 지속적인 연구를 수행하였다. 연구개발성과를 간단히 요약하면 다음과 같다. 1. 단면 표준화 개발기술인 소켓연결방식을 이용한 PSC 제형거더에 적용되는 프리캐스트 부재들을 고강도 콘크리트와 강봉을 이용한 프리텐션을 도입하여 최적화된 단면으로 표준화하였고, 이를 위하여 문헌연구와 구조적 안전성 및 타당성을 입증하기 위한 근거를 마련하였다. 2. 생산설비 구축 공장에서 프리캐스트 콘크리트 부재를 생산하기 위한 강재 몰드와 프리텐션을 통한 강봉의 인장 설비를 구축하고 생산 공정을 표준화하여 제품의 생산성을 향상하였다. 프리캐스트 제품의 조립 및 가설을 위한 조립지그 및 조립대 등을 제작하여 조립 및 가설시 작업 효율을 극대화하였다.

연구개발성과	3. 실험을 통한 안전성 검증 소켓연결부의 철근상세를 결정하고 성능을 검증하기 위해 연결부 성능실험을 수행하였으며, 프리텐션으로 프리스트레스가 도입된 복부의 전단 및 휨 성능실험을 수행하였다. 그리고 실물모형을 제작하여 지점부의 안정성 검증실험과 실제 현장에 시공된 교량에 트럭하중을 재하하여 내하성능을 검증하였다. 4. 지식재산권 및 홍보활동 연구개발과정에서 당초 계획했던 3건의 특허를 초과하여 6건의 특허를 등록하였고 한국산학기술학회에 논문을 게재하여 지식재산권을 확보하고, 한국콘크리트 학회에 학술대회 발표와 기술기사를 게재하여 개발기술의 우수성을 홍보하였으며 발주처, 설계사, 시공사 등에 소개하기 위한 브로슈어를 제작하였다. 본 개발기술은 기존 PSC I형 거더교에 비하여 약 10~20% 정도의 공사비 절감이 가능하여 국가 SOC 사업예산의 절감이 기대될 뿐 아니라 국·내외에서도 유래가 없는 독창적인 기술로 중장경간 교량 건설기술의 선진화를 도모할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 시스템화 된 공장 설비를 이용하므로 제작을 위한 폐자재 발생을 최소화할 수 있어 공사현장에서의 산업폐기물을 감소시킬 수 있고, 기존공법에 비하여 최적화된 단면의 적용으로 콘크리트 사용량이 감소되므로 콘크리트 생산시 발생하는 CO2의 발생량 감소에도 기여할 것으로 기대된다.
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	현재 국내의 중장경간 교량건설 기술은 연구개발 및 투자에 미흡하여 선진 기술을 모방한 기술로 국내시장에 안주해 해외시장에서의 경쟁력을 잃어가고 있다. 따라서 본 연구를 통하여 소켓연결방식을 이용한 PSC 제형거더의 거동을 이해하여, 경제성 있는 거더를 설계, 제작 및 시공할 수 있는 원천기술을 확보하였으며 다음과 같은 분야에 적극 활용이 가능할 것으로 판단된다. - 시공성 및 미관을 증진시키기 위한 교량에 활용 - 재해로 인한 복구 현장이나 교통량이 많아 교통흐름의 방해를 최소화해야 되는 경우의 교량에 활용 - 중장경간 교량공법에서 상대적으로 건설비용이 높은 프리플렉스교, PSC Box교, 강합성교 등의 대체 공법으로 활용 - 프리텐션 복부는 다양한 가설공법의 교량에 적용 - 소켓연결 방식을 이용한 프리캐스트 콘크리트 부재의 연결방법은 벽체나 암거, 옹벽뿐 아니라 프리캐스트를 활용하는 건축 구조물에 적용 - 대부분의 공정이 공장에서 이루어지기 때문에 현장기능공과 작업여건이 열악한 동남아시아 또는 아프리카 등 해외 사업에서 경제적이고 단시간에 고품질 교량을 가설하는 방안으로 해외시장 진출

핵심어 (5개 이내)	소켓연결	급속시공	프리캐스트	제형 거더	프리텐션

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents	While investing in technology of long-span bridge (more than 100m), technical development and investment of middle span bridges (40m~60m) are insufficient. So middle span bridges did not break away from existing method. And in the domestic construction site, because of the aging of construction craftsmen and avoidance of 3D job, the field craftsmen is reduced rapidly. In addition, strengthen the regulations and the unusual weather (El Nino, La Nina etc.) has reduced productivity. Therefore, we need a way to minimize the field work. And one of the method is to use a pre-cast concrete. The method for applying the pre-cast concrete has been actively studied at home and abroad. Precast construction method is to produce the products in a factory and to assemble on site. Thus it is easy to the quality control and enables fast job. Also it is excellent in safety and economy and it can cope with the lack of skilled workers on-site. But Knowledge of domestic precast construction method is the level that mimics the techniques of industrialized countries. To escape this situation, we throughly understand the advanced technology. It is necessary to develope competitive and unique technology and to unify design and manufacture and construction. And it should develop the available technologies in the field. In this study, It verifies developed item through experiments and makes a production facility to commercialize the developed items. And then produce the product considering the work efficiency. Also we want to obtain the available design, manufacture and construction technologies in the domestic market as well as abroad.
Results	This developed technology is remedy existing bridge shortcomings. The new type bridge used developed technology is to produce the products in a factory and to assemble on site. It is good method about workability, safety, economics and aesthetics. Especially, Core technique is to use an optimized pre-tension the web and the wet joint system. Therefore, we perform ongoing research to the commercialization of this technology. A brief summary of research results are as follows 1. Standardized section It was standardized optimized cross-section using a high-strength concrete and prestressed steel rods. 2. Build production facilities To product precast concrete members, we used a steel mould and build a jacking system also we maximized work efficiency during assembly. 3. Safety verification through experiments We were carried out joint performance test and we were carried out shear and flexure performance test of pretension web members. Also we made the mockup to verify safety of support and we verity the load carrying capabilities. 4. Intellectual property rights and public relations We get six cases registered patents. And we published papers and technical articles and attended an academic conference. Also brochures were printed for promotion.

Results	This developed technology is capable of 10~20% cost savings compared to existing PSC I girder bridge. Therefore, reducing the SOC project budget is expected. Also it is expected to contribute to reduction of industrial waste and CO2 emissions.				
Expected Contribution	Domestic technical development and investment about middle span bridges are insufficient. Companies that mimic the advanced technologies are losing competitiveness in the international market. Through this study, we was understand the behavior of the girder and we was acquired original technology about design and construction of competitive girder. Thus it is expected be utilized in the following areas to replace PSC I girder. - Applied to the bridge for enhancing the workability and appearance. - Applied to disaster recovery site or the bridge which is to minimize the disturbance to the flow of traffic. -Bridges used as a substitute for expensive middle-long bridges (preflex bridges, PSC box bridge, steel composite bridge, etc.). -It is expected to contribute to increasing exports in overseas businesses as a way to economic bridge which is the high quality and short time construction. -Various construction methods is applicable for bridge. -Using the socket joint system in the precast members, it is possible to apply of wall and culverts, retaining walls, building structures, etc.				
Keywords	Socket Joint	Accelerated Construction	Precast	Trapezoidal Girder	Pretension

CONTENTS

Chapter 1. Research projects outline

Paragraph 1. Purpose and need of research and development ····· 1

Paragraph 2. Range and characteristic of study and development ··· 13

Chapter 2. Technology condition of domestic and foreign

Paragraph 1. Technology condition of domestic ····· 20

Paragraph 2. Technology condition of foreign ····· 48

Paragraph 3. Position a result of research in the related fields ····· 54

Chapter 3. Research and development performance contents and result

Paragraph 1. Research performance strategy and methodology ····· 57

Paragraph 2. 1st experimental study ····· 62

Paragraph 3. 2nd experimental study ····· 97

Paragraph 4. Test on the load carrying capacity ····· 121

Paragraph 5. Research result ····· 144

Chapter 4. Research goal achievement and effect

Paragraph 1. Research development final goal achievement ····· 151

Paragraph 2. Technical effect analysis on research development · 152

Paragraph 3. Economical effect analysis on research development 155

Paragraph 4. Political effect analysis on research development ···· 156

Chapter 5. Research achievement and effect

Paragraph 1. Utilization plan of research result and need for additional research ····· 157

Paragraph 2. Need for additional research ····· 166

Chapter 6. Collected international scientific and technical information ····· 168

Chapter 7. Representative research results ····· 169

Chapter 8. Reference ····· 170

[Supplement] ····· 173

목 차

제1장 연구개발과제의 개요

1절 연구개발의 목적 및 필요성 ····· 1

2절 연구개발의 범위 ····· 13

제2장 국내외 기술개발 현황

1절 국내의 기술개발 현황 ····· 20

2절 해외의 기술동향 ····· 48

3절 연구개발결과가 관련분야에서 차지하는 위치 ····· 54

제3장 연구수행 내용 및 성과

1절 연구수행 전략 및 방법론 ····· 57

2절 1차 실험 연구 : 단위부재 구조 성능실험 ····· 62

3절 2차 실험 연구 : 거더의 연결부 안전성 검증실험 ····· 97

4절 내하력 평가 ····· 121

5절 연구개발성과 ····· 144

제4장 연구목표 달성 및 효과

1절 연구개발 최종목표 달성도 ····· 151

2절 연구개발 성과의 기술적 효과분석 ····· 152

3절 연구개발 성과의 경제적 효과분석 ····· 155

4절 연구개발 성과의 정책적 효과분석 ····· 156

제5장 연구개발성과의 활용계획

1절 연구성과 향후 활용방안 ····· 157

2절 추가연구 필요성 ····· 166

제6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 ····· 168

제7장 연구개발과제의 대표적 연구실적 ····· 169

제8장 참고문헌 ····· 170

[부록]

1. 논문, 특허 등 성과 ····· 173
2. 시험성적서 ····· 200
3. SMK 보고서 ····· 205
4. 브로슈어 ····· 207
5. 인력채용확인서 ····· 211
6. 사전점검 보완내용 ····· 212

〈 표 목 차 〉

[표 1.1] SOC사업 예산 규모 ····· 2
[표 1.2] 도로의 평균건설단가 ····· 3
[표 1.3] 교량의 사용재료와 PSC 교량의 분포 ····· 4
[표 1.4] 소켓연결 방식을 이용하는 PSC 제형 거더교의 시공순서 ····· 11
[표 1.5] 연구개발의 범위 및 목표 ····· 14
[표 1.6] 연차별 추진내용 ····· 15
[표 2.1] 교량형식별 적정 지간장 ····· 23
[표 2.2] 국내외 주요 프로젝트 공기 ····· 27
[표 2.3] 콘크리트교량 관련 최근의 특허기술 ····· 39
[표 2.4] 교량 관련 등록된 신기술 (보호기간 만료된 기술) ····· 40
[표 2.5] 교량 관련 등록된 신기술 (유효신기술) ····· 40
[표 2.6] 제안공법의 종·횡단면도 ····· 55
[표 2.7] 고속도로 공용중 교량과 비교값 ····· 55
[표 3.1] 소켓연결 성능 실험부재의 상세 및 특징 ····· 64
[표 3.2] 소켓연결 성능 실험부재의 초기균열하중 및 극한하중 결과 · 67
[표 3.3] 복부전단 실험부재의 철근 상세 및 특징 ····· 77
[표 3.4] 복부전단 실험부재의 초기균열하중 및 극한하중 결과 ····· 80
[표 3.5] 복부 휨 실험부재 ····· 87
[표 3.6] 복부 휨 실험부재의 초기균열하중 및 극한하중 ····· 89
[표 3.7] 콘크리트 배합표 ····· 99
[표 3.8] 콘크리트 강도시험 결과 ····· 99
[표 3.9] 철근 시험성적표 ····· 99
[표 3.10] 계측장비 및 활용 ····· 106
[표 3.11] 계산값과 실험값 비교 ····· 109
[표 3.12] 재하사험위치 및 선정사유 ····· 121
[표 3.13] 시험차량의 재원 및 축중하중 ····· 122
[표 3.14] Load Case별 처짐결과 ····· 126
[표 3.15] Load Case별 변형률결과 ····· 126
[표 3.16] 응력해석 결과 ····· 131

[표 3.17] 충격계수 산정결과 ····· 133
[표 3.18] 고유진동수 비교 ····· 137
[표 3.19] 내하력 평가 방안 ····· 139
[표 3.20] 기본 내하력 평가 ····· 140
[표 3.21] 처짐에 의한 응답보정계수 산정(Ks) ····· 140
[표 3.22] 공용 내하력 평가 ····· 141
[표 3.23] 재하시험 결과 ····· 142
[표 3.24] 기본 내하력 ····· 143
[표 3.25] 공용 내하력 평가 ····· 143
[표 4.1] 기존 거더 대비 경제성 비교 (L=50m, B=24.3m 기준) ····· 155
[표 5.1] 기술제안 비교 ····· 158
[표 5.2] DR거더와 프리캐스트 패널의 매출실적 ····· 163
[표 5.3] 제안기술의 매출계획 ····· 163

〈 그 림 목 차 〉

[그림 1.1] 당사에서 개발한 DR거더 현장조립 ····· 5
[그림 1.2] 해외 조립식 교량 ····· 5
[그림 1.3] 소켓연결 방식을 이용하는 PSC 제형 거더의 구성 ····· 6
[그림 1.4] 프리캐스트 단부 ····· 7
[그림 1.5] 프리캐스트 복부 ····· 8
[그림 1.6] 프리캐스트 프리텐션 복부의 시험 생산 ····· 8
[그림 1.7] 프리캐스트 연결 부재 ····· 9
[그림 1.8] 연결 부재와 복부 부재의 조립 ····· 9
[그림 1.9] 연결 부재를 이용한 복부 부재의 연결 상세 ····· 10
[그림 1.10] 기술 개발의 필요성 요약 ····· 12
[그림 2.1] 교량의 연도별 사용재료 변화 (준공기준) ····· 21
[그림 2.2] 교량의 지간장별 현황 (준공기준) ····· 23
[그림 2.3] 교량의 형식별 현황 (준공기준) ····· 24
[그림 2.4] 40~70m 교량의 사용재료별 현황 (준공기준) ····· 24
[그림 2.5] 40~70m 교량의 사업구간 비교 ····· 25
[그림 2.6] 직선 및 곡선거더를 이용한 곡선교 ····· 27
[그림 2.7] PSC 박스 거더교의 구성 ····· 28
[그림 2.8] 초고강도 콘크리트(UHPC)를 적용한 교량 ····· 29
[그림 2.9] 개량형 PSC 박스 거더교 ····· 29
[그림 2.10] 개량형 PSC I형 거더의 종류 ····· 31
[그림 2.11] 프리텐션공법을 적용한 PSC I형 거더의 종류 ····· 31
[그림 2.12] PSC 폐합 박스형 거더의 종류 ····· 32
[그림 2.13] 프리캐스트 세그먼트 교량 ····· 34
[그림 2.14] 프리캐스트 부재의 건식연결 ····· 35
[그림 2.15] 분할제작공법 매치캐스트(Match Cast) ····· 35
[그림 2.16] PSC I 형 거더의 습식연결 ····· 36
[그림 2.17] 루프이음을 이용한 철근의 연속화 ····· 36
[그림 2.18] 분절형 PSC I 형 거더 (SegBeam) ····· 37
[그림 2.19] 개량형 PSC 박스형 거더의 종류 ····· 37

[그림 2.20] 프리캐스트 곡석 PSC 박스 거더 ····· 38
[그림 2.21] PSC T-거더 횡단면도 (지간장:40m,단위:mm) ····· 41
[그림 2.22] PSC T-거더 횡방향 연결부 ····· 42
[그림 2.23] 시공 단계별 개요도 ····· 42
[그림 2.24] 모듈러 교량 사업 프로세스 ····· 44
[그림 2.25] 완전조립식 급속시공 교량시스템 개요도 ····· 45
[그림 2.26] 프리캐스트 방호벽 형상 ····· 46
[그림 2.28] 프리캐스트 바닥판 연결시스템 ····· 46
[그림 2.28] PnP 거더 시스템 개요 ····· 47
[그림 2.29] 프리캐스트 교각의 현장시공 ····· 47
[그림 2.30] 프리텐션공법으로 제작된 PSC I형 거더의 운반 (미국) ··· 48
[그림 2.31] 프리텐션공법으로 제작, 운반된 PSC 박스 거더교 ····· 49
[그림 2.32] Furukawa Viaduct (일본, 2002) ····· 49
[그림 2.33] 일본의 초고강도 콘크리트 교량 ····· 50
[그림 2.34] 복부 부재 단면 공제를 이용한 교량 ····· 50
[그림 2.35] 최초의 콘크리트 트러스교인 Bubjyan교 (1983) ····· 51
[그림 2.36] 프랑스의 Sylans Viaduct (1988) ····· 51
[그림 2.37] 최초의 복합트러스교인 ARbois교 ····· 52
[그림 2.38] 프리텐션 복부를 이용한 Kirigataki교 (일본, 2008) ····· 52
[그림 2.39] Nakashinda Viaduct(일본, 2009) ····· 53
[그림 2.40] Takubogawa Bridge (일본, 2013) ····· 53
[그림 2.41] 소켓연결 제형거더의 개념도 및 복부부재(J웹)와 연결부재(노듈, Nodule) ····· 54
[그림 2.42] 거더 현장 작업 ····· 56
[그림 3.1] 연결부재를 이용한 습식연결부 : 루프형 철근을 이용한 이음부 ····· 61
[그림 3.2] 소켓연결 제형거더 연속 지점부 ····· 61
[그림 3.3] 강도 확인을 위한 콘크리트 시험체 ····· 62
[그림 3.4] 증기양생 주기 ····· 62
[그림 3.5] 소켓 연결성능 실험부재의 연결부 ····· 65
[그림 3.6] 소켓연결 성능 실험 개요도 ····· 66
[그림 3.7] 소켓연결 성능 실험 전경 ····· 66
[그림 3.8] 하중 - 변위 곡선의 비교 ····· 68

[그림 3.9] 초기 균열하중 및 극한하중 ····· 68
[그림 3.10] 균열 및 파괴양상 (#1-1) ····· 69
[그림 3.11] 균열 및 파괴양상 (#1-2) ····· 70
[그림 3.12] 균열 및 파괴양상 (#1-3) ····· 71
[그림 3.13] 균열 및 파괴양상 (#1-4) ····· 72
[그림 3.14] 균열 및 파괴양상 (#1-5) ····· 73
[그림 3.15] 철근의 하중 변형률 곡선 ····· 74
[그림 3.16] 프리스트레싱 강봉 ····· 76
[그림 3.17] 프리스트레스 도입용 유압잭 ····· 77
[그림 3.18] 복부 전단 실험 개요도 ····· 78
[그림 3.19] 복부 전단 실험 전경 ····· 78
[그림 3.20] 하중-변위 곡선 ····· 80
[그림 3.21] 타입별 하중 ····· 80
[그림 3.22] 균열 및 파괴양상(#2-1) ····· 81
[그림 3.23] 균열 및 파괴양상(#2-2) ····· 83
[그림 3.24] 복부 휨 실험부재 타설 ····· 86
[그림 3.25] 복부 휨 실험 개요도 ····· 88
[그림 3.26] 복부 휨 실험 전경 ····· 88
[그림 3.27] 복부 휨 실험부재의 초기 균열하중 및 극한하중 비교 ····· 90
[그림 3.28] 하중-변위 곡선(#3-1) ····· 90
[그림 3.29] 하중-변위 곡선(#3-2) ····· 91
[그림 3.30] 하중-변위 곡선(#3-3) ····· 91
[그림 3.31] 균열 및 파괴양상(#3-1-1) ····· 92
[그림 3.32] 균열 및 파괴양상(#3-2-1) ····· 93
[그림 3.33] 균열 및 파괴양상(#3-3-1) ····· 93
[그림 3.34] 철근의 하중 변형률 곡선 ····· 94
[그림 3.35] 실험 개요도 ····· 97
[그림 3.36] 슬래브 배근도 ····· 100
[그림 3.37] J-web 배근도 ····· 101
[그림 3.38] Nodule 배근도 ····· 102
[그림 3.39] 실험부재 제작순서 ····· 103
[그림 3.40] 하중재하 장치도 ····· 105
[그림 3.41] LVDT 위치도 ····· 107
[그림 3.42] J-web, 상·하부슬래브 스트레인 게이지 위치도 ····· 107

[그림 3.43] Nodule 스트레인 게이지 위치도 ····· 108
[그림 3.44] Nodule Joint 스트레인 게이지 위치도 ····· 108
[그림 3.45] 하중-처짐 관계도 ····· 110
[그림 3.46] 최종균열도 ····· 110
[그림 3.47] 위치별 LVDT 결과 ····· 111
[그림 3.48] 하중단계별 처짐 ····· 111
[그림 3.49] 상부슬래브 변형률 ····· 112
[그림 3.50] 하부슬래브 변형률 ····· 113
[그림 3.51] J-web(C) 변형률 ····· 113
[그림 3.52] J-web(B) 변형률 ····· 114
[그림 3.53] J-web(D) 변형률 ····· 114
[그림 3.54] J-web(C)의 중앙 단면변형률 ····· 115
[그림 3.55] J-web(C)의 좌측 및 우측 단면변형률 ····· 115
[그림 3.56] J-web(B)의 중앙 및 우측 단면변형률 ····· 116
[그림 3.57] J-web(D)의 좌측 및 중앙 단면변형률 ····· 116
[그림 3.58] J-web(C)의 좌측 및 우측 Nodule의 단면변형률 ····· 116
[그림 3.59] B-C구간 Nodule의 변형률 ····· 117
[그림 3.60] C-D구간 Nodule의 변형률 ····· 117
[그림 3.61] B-C구간 Nodule Joint 변형률 ····· 118
[그림 3.62] C-D구간 Nodule Joint 변형률 ····· 119
[그림 3.63] 시험차량의 제원 ····· 122
[그림 3.64] 게이지 부착 위치 ····· 123
[그림 3.65] 동적 재하실험 ····· 123
[그림 3.66] 정적 재하실험 ····· 124
[그림 3.67] 재하시험 현황사진 ····· 125
[그림 3.68] 처짐에 의한 대칭성 비교 ····· 127
[그림 3.69] 변형률에 의한 대칭성 비교 ····· 127
[그림 3.70] LC1 DT1 처짐값 그래프 ····· 128
[그림 3.71] LC3 DT2 처짐값 그래프 ····· 128
[그림 3.72] LC1 ST1 변형율 그래프 ····· 129
[그림 3.73] LC1 ST2 변형율 그래프 ····· 129
[그림 3.74] LC3 ST3 변형율 그래프 ····· 129
[그림 3.75] LC1 ST4 변형율 그래프 ····· 130
[그림 3.76] LC3 ST5 변형율 그래프 ····· 130

[그림 3.77] 주행속도별 충격계수 변화 ····· 133
[그림 3.78] DT1 동적처짐 ····· 134
[그림 3.79] DT2 동적처짐 ····· 135
[그림 3.80] 충격계수 DATA ····· 136
[그림 3.81] 고유진동수 비교 ····· 137
[그림 3.82] Load Case 별 차량재하 및 처짐형상 ····· 141
[그림 3.83] 성능 검증 실험 ····· 147
[그림 3.84] 생산 설비 및 교량 시스템 구축 ····· 148
[그림 3.85] 논문 게재 ····· 149
[그림 3.86] 설계도서 작성 ····· 149
[그림 3.87] 브로슈어 작성 ····· 150
[그림 4.1] 거더 현장 작업 ····· 153
[그림 4.2] 상부슬래브 시공법 ····· 154
[그림 4.1] I형 거더와 공사기간 비교 ····· 154
[그림 5.1] 실시설계 기술제안사업 (산외교) ····· 158
[그림 5.2] 교량개소수 현황 ····· 160
[그림 5.3] SWTO 분석 ····· 162
[그림 5.4] 구매의향 확인서 ····· 162
[그림 5.5] 직선 및 곡선거더를 이용한 곡선교 ····· 166
[그림 5.6] 노듈 부재를 이용한 곡선교의 제작 기술 ····· 167

제 1 장 연구개발과제의 개요

1절 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발 필요성

지금까지 우리나라의 교량 건설은 비약적인 발전을 거듭해 왔다. 하지만 교량의 기술개발 초점이 장대교량(100m 초과)에 맞추어 발전하여, 중장경간교량(40m~60m)은 기존공법(PSC I형교, 강상자형교, PSC 상자형교 등)에서 탈피하지 못하고 있다.

따라서 중장경간에 적용되는 교량형식은 현재 가격중심의 경쟁위주로 가속화되어 있을 뿐 아니라 국내시장에만 안주한 상태로써 국내 토목산업의 침체에 따른 그 시장규모가 급격히 축소되어 있다. 또한 원도급 단계부터 최저가 낙찰 위주의 낙찰형태와 하도급 단계에서의 저가공사로 공사수준은 지속적으로 하락하고 있으며 이에 따른 기술개발 및 투자는 미흡한 상태이다.

국내의 공사현장에서는 숙련 기능공의 고령화와 젊은 층의 고학력화 및 3D 직종의 기피로 인하여 현장 기능공이 급격하게 감소하게 되어 현장의 작업반 운용이 매우 힘든 실정이며, 근로시간의 단축 및 절차강화로 생산성이 저하되고 있다. 그리고 지구온난화 등 기상 환경의 악화로 현장의 작업여건이 급속히 악화되고 있다.

따라서 현장 작업여건의 개선책으로 현장 작업공종을 최소화할 수 있는 획기적인 공정의 개선이 필요하며, 이에 대한 한 방편으로 프리캐스트 콘크리트 공법을 적극 활용하는 연구개발이 국내외에서 활발히 이루어지고 있다.

프리캐스트 공법은 교량의 부재를 공장에서 생산하여 현장에서 조립하므로 품질관리에 유리할 뿐 아니라 신속한 시공이 가능하며, 거푸집이나 동바리가 필요치 않아 작업시 안전성 및 경제성을 향상은 물론이고 기능공 부족에 적극 대응할 수 있다.

그러나 국내의 프리캐스트 공법의 수준은 아직 선진국의 기술을 단순 모방하는 수준에 있다. 이를 탈피하기 위해서는 설계, 제작, 시공의 건설 업종별 구분 없이 기술을 일원화한 기술력의 확보가 필요하며, 해외시장에 진출하기 위해서는 선진기술을 철저히 파악하여 경쟁력 있는 독자적인 기술의 개발이 필요할 뿐 아니라 이론중심의 기술 개발이 아닌 실제 현장적용이 가능한 기술의 개발이 시급하다.

따라서 본 연구에서는 개발된 기술을 제품화할 수 있는 설비 및 운영 능력, 프리캐스트 부재의 운반 및 조립 등의 작업을 효율성을 고려한 제품 및 지그 개발이 통하여 국내 시장뿐 아니라 해외에서도 설계, 제작, 시공이 가능한 기술력을 확보하고자 한다.

2. 시장현황

본 연구의 대상은 과제명에서도 알 수 있듯이 공장에서 제작된 프리캐스트 부재들을 소켓 연결 방식을 이용하여 급속시공이 가능하도록 한 프리스트레스트 콘크리트 제형 거더의 생산 및 시공 기술이다.

따라서 본 개발된 제안공법을 적용할 수 있는 시장은 시공현장에서 문제가 되고 있는 3D 직업과 고령화 사회진입으로 노동력 상실, 숙련된 기능공 부족, 현장 안전사고 관리비용 증가, 기상상태에 따른 가용 작업시간 부족 등으로 현장 원가관리에 압박을 받고 있는 현장들과 교량이 대상이다.

여러 요소기술을 공장에서 개발하여 제작하고 현장에서 단순 조립하도록 개발된 제안기술은, 한 개의 요소만을 공장에서 제작하고 현장에서 조립 시공하는 부분적인 조립식 거더 기술을 가지고 있는 선진외국에서도 찾아보기 힘든 독특한 기술로서, 초기투자비가 적어 경제성과 공기를 절감할 수 있는 구조물로서 해외 시장에 진출할 수 있을 것으로 기대되는 공법이다.

본 연구로 인하여 사업화될 수 있는 시장은 국가 예산을 바탕으로 한 SOC사업과 민간 수요에 따라 발생되는 시장으로 구분되나 민간수요는 그 규모를 파악하기 어렵고 일정치 않으므로, 예측가능하고 안정적인 수요가 있는 국가 SOC 사업 예산을 기준으로 그 시장규모를 산정하였다.

[표 1.1] SOC사업 예산 규모

(단위 : 백만원, 통계청 도로 및 교량의 건설경기동향 2016년03월발행)

발주자별	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년
수주총액	7,058,379	6,125,187	5,130,305	3,901,290	5,407,115	4,366,083
공공부문	5,757,204	4,965,584	3,326,551	2,979,449	4,869,539	3,771,467
민간부문	136,804	35,911	115,225	69,182	54,302	157,203
국내외국기관	0	2,298	2,063	457	275	635
민 자	1,164,371	1,121,394	1,686,466	852,202	482,999	436,778

건설경기 동향에서 보는 바와 같이 도로 및 교량의 발주물량은 2013년까지 감소하였고 2014년도에 증가하였으나 2015년도에 다시 감소하였다. 추세상 2010년부터 점차 감소하는 경향을 보이고 있으며 앞으로의 시장현황을 예측하기는 어려우나 아직 선진국에 대비하여 도로가 부족하므로 국가1년 예산의 1%는 도로건설에 투자한다고 보면 최소 3조원 정도는 계속적으로 발생할 것으로 예상된다.

도로 및 교량의 발주 금액에서 교량의 발주금액을 분리하기 위하여 국토교통부에서 제시한 도로의 평균건설단가를 이용하여 총 도로연장으로 변환한다.

[표 1.2] 도로의 평균건설단가 (단위 : 억원/km)

구 분	고속국도	일반국도	적용
신설4차로	376	212	
4차로확폭	297	152	
평균	336.5	182	260

도로에는 토공, 교량, 터널 등이 포함되어 있으며 가설지역마다 그 비율이 상이하므로 정량적으로 그 비율을 정하는 것은 곤란하다.

따라서 금년 예산을 바탕으로 향후 발주예산을 추정하고 도로의 평균단가 및 교량비율 등의 통계자료를 활용하여 국내교량시장의 규모를 추산하여야 한다.

그간 국내에 건설된 고속도로 노선별 교량 연장 비율은 약 25% (고속도로 유지관리비용 분석을 통한 예비타당성조사에서의 적용방안연구, 2008 대한토목학회)와 4차로 교량의 평균건설단가 518억원/km (도로업무편람 2013년, 국토교통부)를 기존의 통계자료를 활용하여 정하였다.

총 도로연장 = 30,000억원 ÷ 260억원/km(도로 4차로 평균건설단가) = 115km

교 량 연 장 : 115 Km × 25% ≒ 28.75 Km

교량 공사비 : 28.75 Km × 518 억원/km ≒ 14,000 억원

이 중 제안 공법 시장규모를 추정하기 위하여 국토교통부에서 발간한 「도로교량 및 터널 현황조서(2015년)」를 바탕으로 교량형식 분포를 조사 분석하였다.

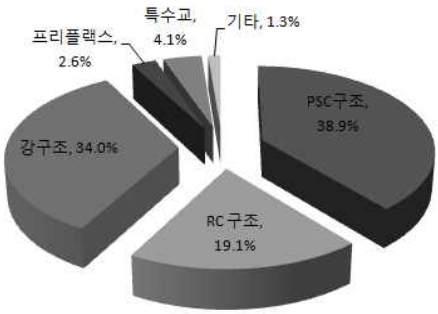
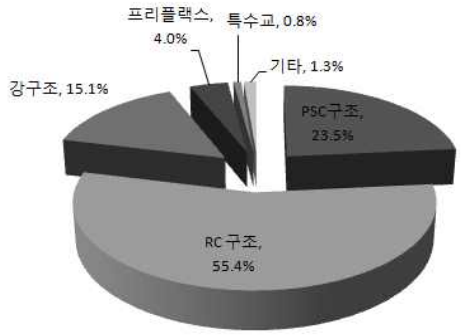
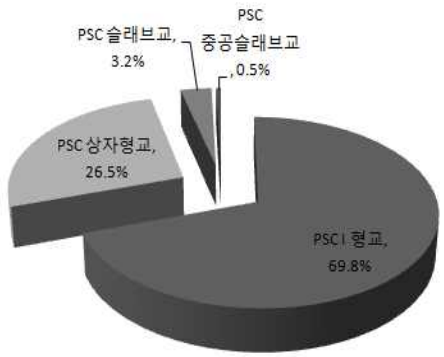
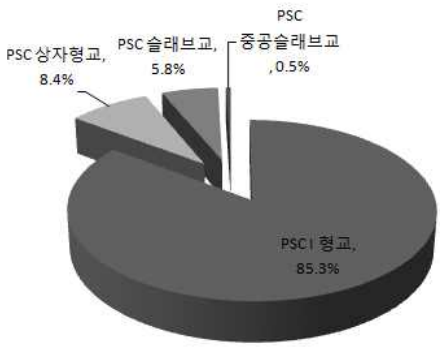
교량의 사용재료별 교량 분포와 PSC 교량에서 PSC I 형 거더의 분포를 살펴보면 [표 1.3]과 같다.

본 사업의 대상이 되는 PSC I 형 거더의 경우 연장기준이 개수 기준에 비하여 더 적은 비중을 차지하므로 보수적인 시장규모로 평가되므로 이를 기준으로 시장을 평가하면 다음과 같다.

PSC I형 거더 교량시장 : 14,000 × 0.389 × 0.698 ≒ 3800억원/년

따라서 PSC I형 거더의 시장규모는 약 3800억원/년 정도가 될 것으로 예측된다.

[표 1.3] 교량의 사용재료와 PSC 교량의 분포

사용 재료별 교량 분포(연장기준)	사용 재료별 교량 분포(개수기준)
	
PSC교량 형식별 분포(연장기준)	**PSC교량 형식별 분포(개수기준)**
	

3. 사업화 전망

현재 국내에서는 PSC 거더 교량의 대부분을 공사현장 에서 포스트텐션 방식으로 제작하고 있다. 그 이유는 프리캐스트 부재를 이용한 조립식 PSC 거더가 현장제작 포스트텐션 방식에 비하여 경제성, 품질향상 및 공기단축의 장점이 있음에도 불구하고 프리캐스트 부재 생산을 위한 생산시설과 제작 및 야적을 위한 넓은 부지 등의 초기 설비투자비용이 높고, 운반 제한 등의 문제로 국내 건설 시장의 현실에는 적합하지 않다고 생각되어 왔기 때문이다.

그러나 최근 들어 주관연구기관인 장헌산업에서 국내 최초로 부분적이지만 프리캐스트 부재를 이용한 조립식 PSC 거더 방식의 교량을 [그림 1.1]과 같이 공장에서 제작하고 현장에서 조립 시공하여 공기 절감은 물론이고 현장 투입비를 줄임으로서 원가절감의 효과를 입증하였다.

그러나 아직까지는 부분적인 프리캐스트 부재만을 이용하는 방식에만 머물러 있고 제품개발에는 소극적인 상황이다. 하지만 프리캐스트 부재를 이용하는 방식의 경제성은 시공된 교량에서 실질적으로 입증된 바 있으므로 제대로 된 품질관리와 본 연구제안 기술과 같이 신공법의 설계와 공장제작에 대한 기술적인 문제만 해결된다면 향후 프리캐스트 부재를 이용하는 조립식 PSC 거더에 대한 수요가 크게 늘어날 것으로 기대된다.



(a)분절 DR 거더 조립



(b)프리캐스트 가로보 조립



(c)프리캐스트 바닥판 조립



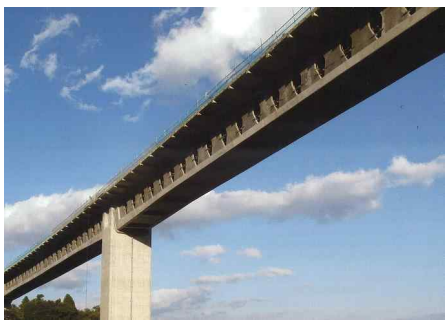
(d)완성교량

[그림 1.1] 당사에서 개발한 DR거더 현장조립

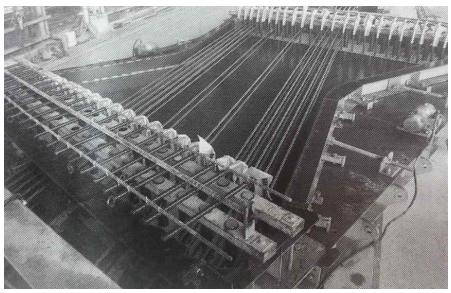
해외의 경우 북미 또는 유럽 등지에서 이미 프리캐스트 부재를 이용한 조립식 PSC 거더를 일부구간에 시험적으로 적용하였으며, 특히 일본에서는 [그림 1.2]와 같이 대부분의 PSC 거더 교량이 조립식 PSC 거더 방식으로 공장에서 부재별로 선제작하여 현장으로 운반 후 조립 및 거치하는 공법을 최근 들어 널리 사용하고 있다

그러나 해외 선진국의 조립식 교량의 특징이 거더의 복부(Web) 부재만을 공장에서 제작하므로 공장 제작율이 30%에 머물러 있어 여전히 가설시만 필요한 1회용 건설 폐자재인 거푸집 및 동바리가 필요한 공법이다.

본 연구개발제안공법은 공장 제작율을 높이고 교량의 가설시스템을 개발하여 거푸집 및 동바리가 필요하지 않도록 개발되었으므로 공기나 원가절감에서 해외 공법보다 우수하므로 본 연구단에서 제안한 거더가 국내에 성공적으로 정착되고 그 기술력을 바탕으로 해외에 진출한다면 선진국과 충분하게 기술 및 가격에서 경쟁할 수 있을 것으로 판단된다.



(a)Pretension Web 전경



(b)Pretension Web 공장제작

[그림 1.2] 해외 조립식 교량

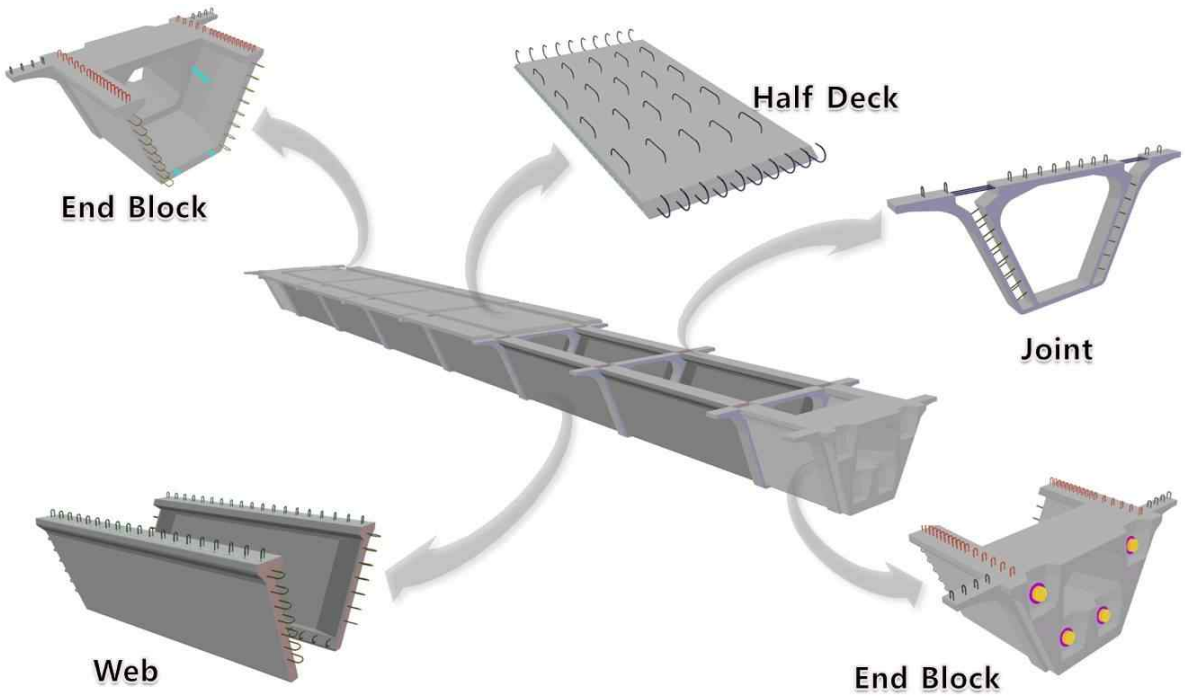
4. 사업화 대상기술 정의

가. 개요

일반적으로 콘크리트가 강재에 비하여 경제성이 매우 뛰어나지만, 두꺼운 단면으로 인한 큰 자중, 복잡한 거푸집, 많은 현장작업 등의 단점들을 가지고 있다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 프리캐스트 방식의 거더 교량을 도입하였지만, 국내는 운반 여건상 현장에서 거더를 제작하는 방식을 주로 사용하고 있다.

본 연구에서 사업화하고자 하는 기술은 기존 콘크리트 거더 교량이 가지는 문제점을 해결하기 위하여 전용공장에서 프리캐스트 콘크리트 부재를 운반이 가능한 규격으로 제작한 후 현장에서 이를 조립함으로써 현장작업을 최소화 할 뿐 아니라 기존 공법보다 경제성이 우수한 교량을 건설할 수 있도록 하는 것이다. 또한 프리캐스트 콘크리트 부재 간의 결합이 단순히 기계적인 연결에 의한 건식 연결(Dry Joint)로 이루어지는 것이 아닌 소켓연결 방식을 이용하여 콘크리트를 타설하는 습식 연결(Wet Joint)로 이루어지도록 하므로 프리캐스트 콘크리트 부재간의 결합에 대한 신뢰성을 더욱 향상시키는 기술이다.

나. 소켓연결 방식을 이용하는 PSC 제형 거더의 구성



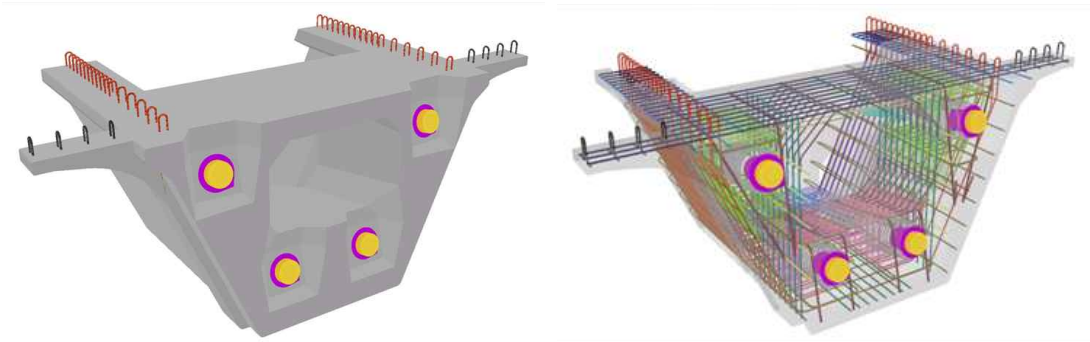
[그림 1.3] 소켓연결 방식을 이용하는 PSC 제형 거더의 구성

소켓연결 방식을 이용하는 프리스트레스트 콘크리트(PSC) 제형 거더교를 구성하는 부재는 [그림 1.3]과 같이 거더의 지점부로 종방향 강연선의 정착구가 모여 있는 프리캐스트 단부(End Block), 거더의 복부를 형성하는 프리캐스트 복부(Web), 프리캐스트 복부의 연

결부로 습식 연결(Wet Joint)을 가능하게 할 뿐 아니라 거더의 횡방향 강성을 증대시키는 프리캐스트 연결부재, 그리고 이전에 개발되어 현재 교량의 바닥판에 널리 사용되고 있는 프리캐스트 반바닥판(Precast Half Deck)으로 구성된다.

(1) 프리캐스트 단부

프리캐스트 단부(End Block)는 [그림 1.4]와 같이 정착구 및 지점부가 집결되어 있어 복합적 응력집중이 발생하므로 이에 대응하기 위한 보강철근과 형상을 공장에서 정밀 제작함으로써 부재의 품질을 확보하고 현장작업 공정을 대폭 절감할 수 있을 뿐 아니라 부재의 길이는 2.5m이하, 중량은 20톤 이하로 제작하여 국내 운반 규정에 적합하도록 하였다.



(a)부재 형상도 (b)철근 및 정착구 배치

[그림 1.4] 프리캐스트 단부

(2) 프리캐스트 복부

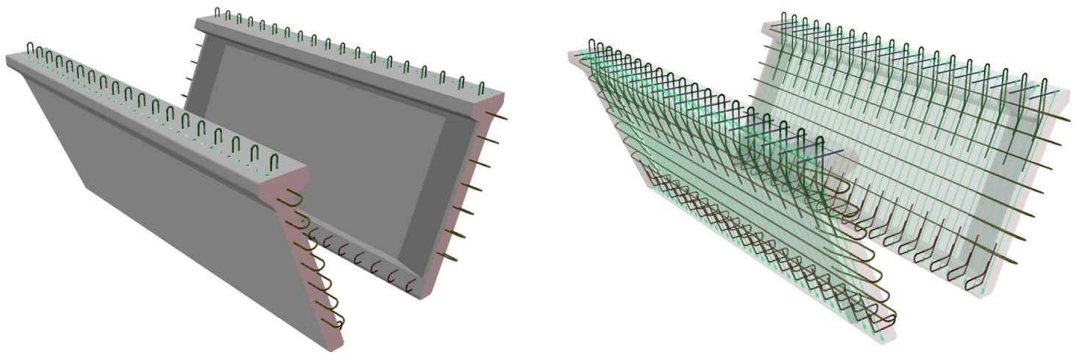
프리캐스트 복부(Web) 부재는 전용공장에서 생산되므로 현장에서 제작되는 거더와 달리 엄격한 품질관리가 필요한 고강도 콘크리트의 사용이 가능하다. 이에 따라 복부 부재 두께의 최소화가 가능해지므로 거더 전체 자중을 대폭 경감시켜 경제성을 확보하고 운반 및 조립을 용이하게 한다. 프리캐스트 복부 부재는 [그림 1.5]와 같이 상하부의 연결철근을 통해 상하부 바닥판과 연결되며, 복부 부재의 종방향 루프이음 철근을 통해 부재간의 종방향 루프이음을 가능하도록 고안하였다.

또한 생산 표준화를 통한 전용공장에서의 대량생산을 함으로써 원가 절감은 물론이고, 현장에서는 단순조립 공정이 이루어지므로 공기를 혁신적으로 절감할 수 있을 뿐 아니라 외관상으로는 부재에 곡선형상을 적용하여 거더 완공 후 미관적 측면에서도 매우 우수하다.

복부 부재의 가장 큰 역할은 하중에 의해 발생하는 전단력에 저항하는 것으로 보통의 콘크리트 거더의 경우 전단보강재로 철근을 주로 사용한다. 본 거더에서는 전단 보강재로 필요에 따라 철근 또는 프리텐션 강봉을 각각 사용하거나, 병행하여 사용함으로 안전성 및 경제성의 향상을 도모하였다. 프리캐스트 콘크리트 부재에 인장용 강봉을 사용하

여 프리텐션 공법에 의한 프리스트레스를 도입하는 것은 콘크리트 구조물의 고질적 문제점인 균열을 방지하고 내구성을 향상시킨다.

본 과제의 주관연구기관인 ㈜장헌산업에서는 프리텐션 공법을 적용한 교량용 반바닥판에 대한 많은 생산 경험과 시공 실적을 보유하고 있으며, [그림 1.6]와 같이 자체 연구개발을 통하여 프리텐션 복부 부재에 대한 시험 생산을 이미 성공하였다. 따라서 기존의 시험 생산시설의 부분적인 활용도 가능할 것으로 예상된다.



(a)부재 형상 (b)철근 배치

[그림 1.5] 프리캐스트 복부



(a)콘크리트 타설 전 (b)완 성

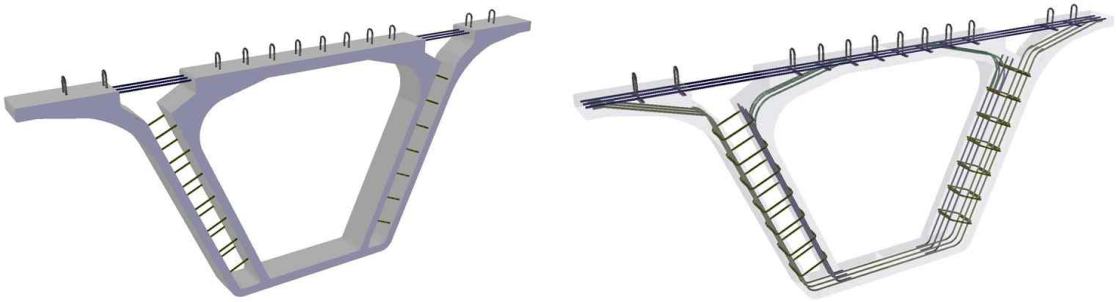
[그림 1.6] 프리캐스트 프리텐션 복부의 시험 생산

(3) 프리캐스트 연결 부재

프리캐스트 연결(Joint) 부재는 프리캐스트 복부 부재의 습식연결 및 철근의 연속화가 가능하게 하는 부재이다. 연결 부재는 거더 인양 및 운반시 횡좌굴과 비틀림에 대한 강성을 증대시키는 효과가 있어 가설시 안전성을 향상시키고, 연결부 콘크리트 타설시 거푸집의 역할을 하게 되어 별도의 거푸집이 불필요하게 할 뿐 아니라 [그림 1.9]과 같이 복부 부재가 소켓처럼 연결 부재 안으로 들어오게 되므로 시공 이음부가 외관에 들어나지 않으므로 미관이 매우 뛰어나다. 또한 바닥판 가설시 안전성 및 시공성을 위해 횡방향 외측으로 돌출되는 브라켓을 적용하여 캔틸레버부에도 프리캐스트 반바닥판(Precast Half Deck)을 적용할 수 있도록 하였다.

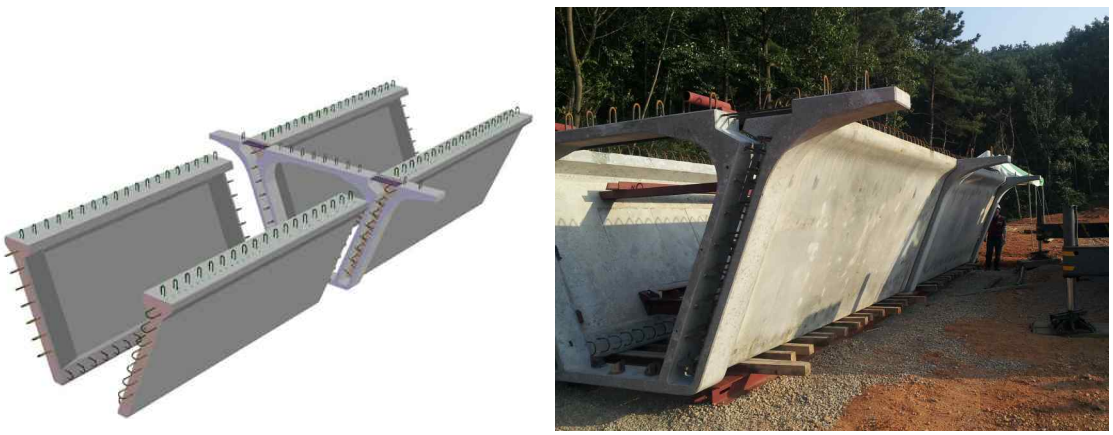
그리고 연결부에서 복부 부재의 조립각을 조절하여 곡선교 시공이 가능하므로 다양한 도로선형에 적용이 가능하다.

현재 [그림 1.8]과 같이 자체 연구개발을 통하여 프리캐스트 연결 부재에 대한 초기 모델을 시험 생산하여 복부 부재와의 조립 등을 확인하였다. 이에 따라 단면형상, 철근 배치 등의 보완과 안전성 및 작업성을 높일 수 있는 지그 등을 고안하였다.

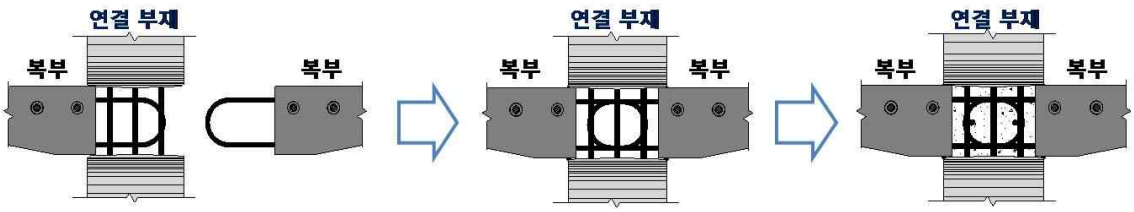


(a)부재 형상 (b)철근 배치

[그림 1.7] 프리캐스트 연결 부재



[그림 1.8] 연결 부재와 복부 부재의 조립



[그림 1.9] 연결 부재를 이용한 복부 부재의 연결 상세

(4) 프리캐스트 반바닥판(Precast Half Deck)

교량공사에서 바닥판의 거푸집 설치 및 철근 조립작업은 교량건설 비용 및 공기 측면에 있어서 매우 큰 비중을 차지하고 있으며, 작업자의 추락 사고를 빈번히 유발하는 공정이다. 또한 개구제형 거더의 경우에는 바닥판 타설 후 박스의 내부 거푸집 제거가 어려운 경우가 많이 발생하고 있다. 이에 작업의 안전성과 시공의 편리성 등이 우수한 프리캐스트 반바닥판을 사용하여 거푸집이나 동바리 없이 바닥판을 시공하는 사례가 증가하는 추세이다.

본 거더에서는 인장용 강봉을 프리텐션 공법으로 프리스트레스를 도입하여 제작된 프리캐스트 반바닥판을 사용함으로 장지간이 가능할 뿐 아니라 캔틸레버부에도 프리캐스트 반바닥판을 도입하여 시공성 및 안전성을 더욱 향상시킬 수 있도록 하였다.

다. 소켓연결 방식을 이용하는 PSC 제형 거더교의 제작 및 시공

앞서 소개된 구성 부재들을 이용하여 소켓연결 방식을 이용하는 프리스트레스트 콘크리트(PSC) 제형 거더교의 제작 및 시공 순서는 다음과 같다.

먼저 공장에서 프리캐스트 방식으로 각각의 부재를 제작한 후, 운반하여 현장에서 조립결합하게 된다. 복부 부재 사이에 연결 부재가 배치되며 단부에 프리캐스트 단부 부재를 배치한다. 조립이 완료되면 연결부에 고강도 콘크리트를 채워서 각각의 부재를 일체화시킨다. 마지막으로 바닥판에 철근 및 쉬스관을 배치 한 후 콘크리트를 타설함으로서 제형 거더가 완성된다.

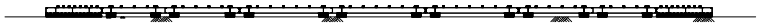
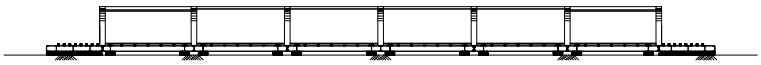
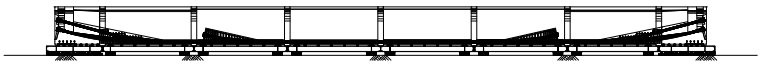
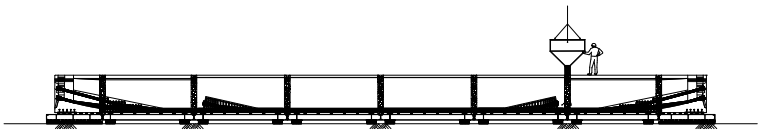
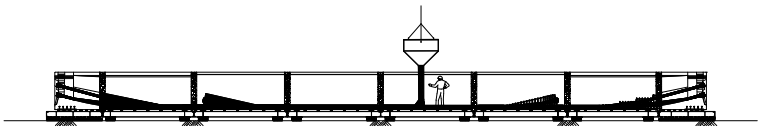
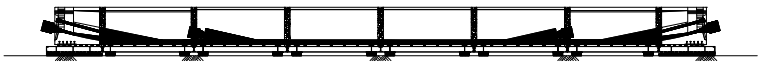
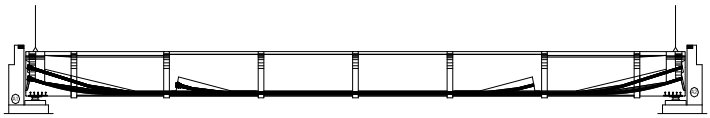
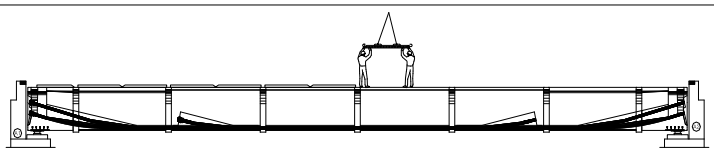
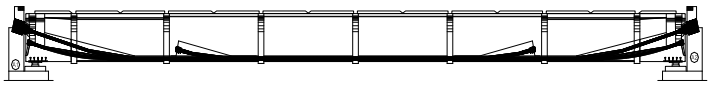
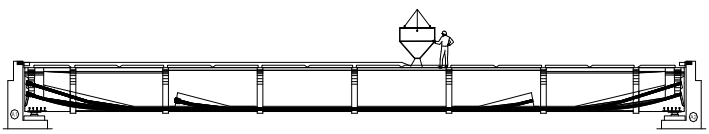
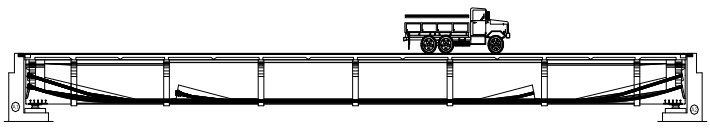
이후 일체화된 하부 슬래브의 쉬스관에 종방향으로 긴장재를 배치하고 1차 긴장력을 도입하여 각 부재를 더욱 견고하게 일체화시킨다. 이와 같이 각각의 부재를 프리캐스트로 제작하고 운반 후, 현장에서 각 부재를 조립하여 일체화시키므로 현장에서 수행되어야 할 현장 콘크리트 타설 작업을 최소화할 수 있어 전체적인 공사기간을 크게 단축되는 효과가 있다.

1차 긴장력이 도입된 거더를 교각이나 교대 사이에 거치하고 프리캐스트 반바닥판을 설치한 다음 2차 긴장력을 도입한다. 이는 시공 중 거더의 응력상태를 고려하여 단계적인 프리스트레스를 도입함으로써 경제적인 단면결정과 강선 사용량을 줄일 수 있다.

2차 긴장력이 도입된 후 마지막으로 상부 바닥판 철근을 배치하고 바닥판 콘크리트를 현장 타설하여 전체 교량을 완성하고, 마지막으로 중앙 분리대, 방호벽, 포장 등의 부수적인 교량 시설물을 추가 설치한다.

[표 1.4]에 시공순서의 개요를 요약하여 나타내었다.

[표 1.4] 소켓연결 방식을 이용하는 PSC 제형 거더교의 시공순서

구분	개요도	공정
1		부지 정리 후 조립대 설치
2		복부 부재와 연결 부재 조립 및 소켓 연결
3		단부 부재 설치 하부바닥판 철근 및 쉬스관 배치
4		연결부 콘크리트 타설
5		하부바닥판 콘크리트 타설
6		1차 긴장
7		운반 및 거치
8		반바닥판 설치
9		2차 긴장
10		상부슬래브 철근 배치 및 콘크리트 타설
11		교량 부대시설 설치 후 개통

5. 연구개발 의의

앞서 소개한 본 거더의 구성 부재들은 모두 전용공장에서 생산되므로 품질관리가 우수하고, 제작 공정이 기후 등의 영향을 받지 않으므로 공정관리가 용이하다. 또한 선생산된 부재를 현장에서 조립하므로 가설 동바리 및 거푸집 작업, 현장타설 콘크리트 등을 최소화함으로 시공시 안전성을 확보할 수 있을 뿐 아니라 최근 건설 기능공 부족 및 고령화에 적극 대응할 수 있을 것으로 기대된다. 이와 같은 장점들로 미루어 볼 때 SOC사업의 경제성 향상은 물론이고 궁극적으로는 국가 경쟁력 확보에 크게 기여할 것으로 확신한다.



[그림 1.10] 기술 개발의 필요성 요약

2절 연구개발의 범위

1. 연구내용 및 범위

본 개발 기술은 현재 일부 부재를 시험 생산하여 프리캐스트 부재의 소켓연결 및 조립에 대한 가능성을 확인하였고, 추가적으로 본 연구과제에서 산학 협동 연구단을 구성하여 이론 및 실험적 연구를 다음과 같이 수행함으로 실제 현장에 적용할 수 있는 기술로 발전시키고자 한다.

가. 소켓연결 성능 검증

프리캐스트 부재의 연결부에 대한 안전성 및 시공성, 미관 등을 확보할 수 있는 소켓연결에 대한 상세 해석과 단위 부재실험을 통하여 구조적 성능을 검증하고 개선하도록 한다.

나. 프리캐스트 복부 최적화

프리캐스트 복부 부재의 전단보강재로 철근, 프리텐션 강봉 등을 사용하여 가장 효율적이고 경제적인 복부 단면을 산정할 수 있도록 구조해석 및 설계방법, 단위부재 실험 등을 수행하도록 한다.

다. 생산 설비의 구축

개발 거더를 구성하는 부재를 전용공장에서 생산하기 위한 설비를 기존 시설의 보완 및 필요한 장비의 구입을 통하여 완성하고, 높은 품질과 생산성을 향상시키기 위한 엄격한 품질관리 및 공정 시스템을 구축하도록 한다.

라. 시작품 제작

개발된 소켓연결 방식을 이용한 제형 거더의 제작 및 시공 기술을 바탕으로 실제 규모의 거더를 설계 및 제작하면서 안전성, 시공성 등을 확인하고, 하중 재하실험을 통해서 각각의 프리캐스트 부재의 일체 거동과 구조성능 등을 검증한다.

마. 신기술 인증 및 지적재산권 확보

연구기간 내에 실제 현장에 적용하여 시공하고 건설 신기술을 인증 받고, 특허출원 및 논문 게재 등을 통해 지적재산권을 확보하도록 한다.

바. 연구기술 확산 노력

지속가능한 인력 양성 및 홍보물 제작 등을 통하여 현장 적용 가능성을 높인다.

[표 1.5] 연구개발의 범위 및 목표

연번	연구범위	성과목표	성과 지표	연구범위, 성과목표, 성과지표의 연계성
1	거더의 최적화	신뢰성 확보	안전 및 성능기준 확보	• 소켓연결 및 복부부재 최적화에 대해 공인인증기관과 연계한 부재실험을 통한 성능입증 • 구조 상세 해석, 구조물도, 수량산출서 등 표준 설계도 구축
			성능의 이론적 평가 및 결과 제시	
2	생산설비 구축	생산성 제고	공정·공사 기간 단축	• 개발제품의 성공적인 사업화와 사업기간 내에 시작품을 생산하기 위한 생산설비 구축
3	교량 시스템 구축	생산성 제고	공정·공사 기간 단축	• 개발제품의 성공적인 사업화와 사업기간 내에 시작품을 제작하기 위한 시공설비 구축
4	시작품	생산성 제고	성능 평가 및 결과 제시	• 시작품 제작으로 공정 공사기간 단축 입증과 동시에 공인인증기관과 연계한 부재실험을 통해 성능입증
			공정·공사 기간 단축	
5	지적재산권 확보	신기술 및 특허인증	특허등록	• 과업 종료 전에 사업화가 가능하도록 건설신기술 인증 및 관련 특허출원 • 실험으로 검증된 연구 성과를 학술지에 논문으로 발표하여 학계의 평가를 수렴하는 기술력 확보
			건설신기술인증	
		연구역량 강화	학술지 논문 게재	
6	연구 기술 확산 노력	실용화 및 상용화	특별시방서	• 프리캐스트 부재의 제작기술은 전문 숙련공의 노하우와 고도의 설계전문 인력이 필요하므로 지속가능한 인력을 양성 • 관련 업체 및 관청 등에 홍보물제작 및 배포함으로 현장적용 가능성 높임 • 지속가능한 상호교류를 통한 연구기술을 확산 유지하도록 산학연 시스템 구축
			시공 관리계획서	
			품질관리 계획서	
			안전관리 계획서	

[표 1.6] 연차별 추진내용

연차	연구목표	주요연구내용
1차년도	■ 문헌연구 및 단위 부재 실험을 통한 단면 및 공정 최적화	- 프리캐스트 및 연결부 관련 설계기준 및 국내외 학술 자료를 통하여 이론적으로 단면 및 연결부 상세, 복부의 전단보강 등을 최적화 하고 단위부재실험과 상세 해석 등을 통하여 검증하고 개선한다.
	■ 최적화된 단면과 공정으로 생산 설비를 구축	- 최적화된 단면과 공정에 따라 기존 설비를 보완하고 필요한 설비를 추가 제작하여 생산 설비를 완성한다.
2차년도	■ 거더 시작품 제작 및 구조성능 실험	- 최화된 단면과 공정으로 실험계획에 따라 시작품을 제작하고 구조성능 평가를 위한 실험을 수행하여 시공성, 안전성 등을 검증한다.
	■ 설계도서 및 시공관리 지침서 작성	- 표준단면에 대한 설계도서를 작성하고 거더 제작 및 시공에 대한 지침서를 작성한다.
	■ 건설신기술 인증	- 구매의향을 보인 기관과 협의하여 연구기간 내에 현장에 적용하여 건설신기술 인증을 받는다.
	■ 특허출원, 학술논문 게재로 지적재산권 확보	- 개발된 기술에 대하여 특허를 출원하고 학술논문을 게재하여 지적재산권을 확보하고 지속적인 연구개발을 통해 발전시키도록 한다.

2. 총괄 성과목표 및 성과지표

구분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		최종 성과점검기준						해당 기관	예산 (백만원)	양적 성과목표
						질적 성과지표	목표치	측정 방법	검증 방법	가중치			
총괄	A	문헌연구	A-1	연구보고서 및 저서수집	①	연구보고서 및 저서수집	소켓연결방식과 프리캐스트 거더 설계기준 및 보고서와 서적 수집	관련 책자 및 자료	보고서	0.5	장헌산업 충청대	24.170	
			A-2	세미나 및 토론회	①	세미나 및 토론회	공동연구기관과의 연구 성과에 대한 세미나개최	세미나 및 토론회 계최	회의록	0.5	장헌산업 충청대	7.700	회의록 1부
	B	단면 및 공정 최적화	B-1	단면최적화	①	소켓연결 단위부재 실험안 계획	단위부재 실험 계획	계획안작성	보고서	0.5	충청대	3.900	
					②	소켓연결 단위부재 실험체 제작	단위부재 실험체 제작	실험체 제작	보고서	0.5	장헌산업	32.317	
					③	복부부재 단위부재 실험 계획	단위부재 실험 계획	계획안작성	보고서	0.5	충청대	3.900	
					④	복부부재 단위부재 실험체 제작	단위부재 실험체 제작	실험체 제작	보고서	0.5	장헌산업	52.320	
			B-2	공정 최적화	①	신속한 부재 조립	상하부 조립틀 제작	조립틀 제작	공장 (장헌산업)	0.25	장헌산업	8.130	설비 1조
					②	부재조립 검토	거더 조립대 제작	조립대 제작	공장 (장헌산업)	0.25	장헌산업	8.130	설비 1조
	C	소켓연결 방식 연결부 실험 및 복부부재의 전단실험	C-1	소켓연결 검증	①	연결부 상세 및 성능 검증	연결부 최적안 도출	단위부재 실험	보고서	1.0	충청대	26.430	보고서 1부
			C-2	복부부재 최적화 검증	①	복부부재 상세 및 성능검증	복부부재 최적안 도출	단위부재 실험	보고서	1.0	충청대	38.170	
	D	생산설비 구축	D-1	몰드개선	①	기존 몰드 개선 검토	최적단면도출에 따른 몰드 개선	최적단면 적용한 몰드	현장 (당진공장)	1	장헌산업	49.930	설비 1조
			D-2	몰드구매	①	몰드 구매	부재 생산을 위한 몰드구매	최적단면 적용한 몰드	현장 (당진공장)	1	장헌산업	73.930	설비 1조
			D-3	생산라인 구축	①	생산을 위한 계획 구축	전용생산을 위한 작업자 및 공장설비 운용	전용 몰드외 공장설비 운용 전용작업반 운용	현장 (당진공장)	0.5	장헌산업	20.470	특허 1건
	E	연구개발 확산노력	E-1	인력양성	①	인력양성	연구인력 양성	연구인력 채용	인력채용 확인서	0.5	장헌산업	26.400	확인서 1건
			E-2	학술논문	①	논문게재	논문게재	논문	학술지	0.5	충청대	4.800	논문 1건
	F	중간 보고서	F-1	중간보고 서작성	①	중간보고서 작성	중간보고서작성	보고서	보고서	1	장헌산업	10.000	보고서 1부

구분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		최종 성과점검기준						해당 기관	예산 (백만원)	양적 성과목표
						질적 성과지표	목표치	측정 방법	검증 방법	가중치			
총괄	G	시작품 제작	G-1	시작품 제작	①	시작품제작	최적단면형상을 적용한 시작품	제작	현장 (당진공장)	1.5	장헌산업 한라산업 개발	58.605	특허 2건
	H	시작품 성능평가 실험	H-1	성능시험	①	시작품 성능평가 및 계측계획	시작품 성능평가 및 계측	실험	보고서	1	충청대	39.070	보고서 1부
					②	성능평가 실험	안전성 및 시공성 확인	실험	성능평가서	1.0	충청대	58.605	성능평가서 1건
	I	설계도서 작성	I-1	설계도서 작성	①	표준설계도 구축	최적형상을 이용한 설계도서	표준설계도 작성	설계도서	0.5	장헌산업	39.070	설계도서 1부
	J	시공 및 관리 지침서 작성	J-1	제조공정 표준화	①	시방서 작성	연구 거더에 관련된 특별시방서 작성	시방서 및 계획서 작성	설계도서	0.5	장헌산업	19.535	설계도서 1부
					②	시공관리계획	시공여건변화에 제품의 품질을 유지하기 위하여 제조공정 표준화	시공계획서 작성	설계도서	0.5	장헌산업	19.535	
					③	품질 및 안전관리 계획	거더 제작시 안전과 품질에 관한 계획서 작성	품질관리 및 안전관리 계획서	설계도서	0.5	한라산업 개발	19.535	
	K	건설신기술 인증 신청	K-1	신기술 인증	①	신기술인증	건설신기술인증	건설신기술 인증	신기술 인증서	2	장헌산업 한라산업 개발	68.140	인증서 1건
	L	연구기술 확산노력	L-1	연구 개발 관련 홍보	①	홍보물제작	브로셔 제작	브로셔	홍보물	0.5	장헌산업	19.535	홍보물 1건
					②	기술기사	연구개발 관련 기술 홍보	기술기사 게재	전문학회지 기술기사	0.5	충청대	19.535	기술기사 1건
			L-2	기술 확산을 위한 상호 교류	①	전문가 의견 수립	전문가 의견서 2건	의견서 작성	의견서	0.5	장헌산업	19.535	의견서 2건
	M	최종보고서작성	M-1	최종 보고서 작성	①	최종보고서 작성	최종보고서 작성	최종 보고서	최종 보고서	1	장헌산업	10.000	보고서 1부
계										20		781.4	보고서 4부 평가서 1건 특허 3건 설계도서 2부 인증서 1부 홍보물 1건 기술기사 1건 의견서 2건 회의록 1부 설비 4조 논문 1건 확인서 1건

가. 1차년도

구분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		최종 성과점검기준						해당 기관	예산 (백만원)	양적 성과목표
						질적 성과지표	목표치	측정방법	검증방법	가중치			
총괄	A	문헌연구	A-1	연구보고서 및 저서수집	①	연구보고서 및 저서수집	소켓연결방식과 프리캐스트 거더 설계기준 및 보고서와 서적 수집	관련 책자 및 자료	보고서	1	장헌산업 충청대	24.170	
			A-2	세미나 및 토론회	①	세미나 및 토론회	공동연구기관과의 연구 성과에 대한 세미나개최	세미나 및 토론회 계최	회의록	1	장헌산업 충청대	7.700	회의록 1부
	B	단면 및 공정 최적화	B-1	단면최적화	①	소켓연결 단위부재 실험안 계획	단위부재 실험 계획	계획안작성	보고서	1	충청대	3.900	
					②	소켓연결 단위부재 실험체 제작	단위부재 실험체 제작	실험체 제작	공장 (장헌산업)	1	장헌산업	32.317	
					③	복부부재 단위부재 실험 계획	단위부재 실험 계획	계획안작성	보고서	1	충청대	3.900	
					④	복부부재 단위부재 실험체 제작	단위부재 실험체 제작	실험체 제작	공장 (장헌산업)	1	장헌산업	52.320	
			B-2	공정 최적화	①	신속한 부재 조립	상하부 조립틀 제작	조립틀 제작	공장 (장헌산업)	0.5	장헌산업	8.130	설비 1조
					②	부재조립 검토	거더 조립대 제작	조립대 제작	공장 (장헌산업)	0.5	장헌산업	8.130	설비 1조
	C	소켓연결 방식 연결부 실험 및 복부부재의 전단실험	C-1	소켓연결 검증	①	연결부 상세 및 성능 검증	연결부 최적안 도출	단위부재 실험	보고서	2	충청대	26.430	보고서 1부
			C-2	복부부재 최적화 검증	①	복부부재 상세 및 성능검증	복부부재 최적안 도출	단위부재 실험	보고서	2	충청대	38.170	
	D	생산설비 구축	D-1	몰드개선	①	기존 몰드 개선 검토	최적단면도출에 따른 몰드 개선	최적단면 적용한 몰드	현장 (당진공장)	2	장헌산업	49.930	설비 1조
			D-2	몰드구매	①	몰드 구매	부재 생산을 위한 몰드구매	최적단면 적용한 몰드	현장 (당진공장)	2	장헌산업	73.930	설비 1조
			D-3	생산라인 구축	①	생산을 위한 계획 구축	전용생산을 위한 작업자 및 공장설비 운용	전용 몰드외 공장설비 운용 전용작업반 운용	현장 (당진공장)	1	장헌산업	20.470	특허 1건
	E	연구개발 확산노력	E-1	인력양성	①	인력양성	연구인력 양성	연구인력 채용	인력채용 확인서	1	장헌산업	26.400	확인서 1건
			E-2	학술논문	①	논문게재	논문게재	논문	학술지	1	충청대	4.800	논문 1건
	F	중간보고서	F-1	중간보고서작성	①	중간보고서 작성	중간보고서작성	보고서	보고서	2	장헌산업	10.000	보고서 1부
계										20		390.7	회의록 1부 보고서 2부 설비 4조 특허 1건 논문 1건 확인서 1건

나. 2차년도

구분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		최종 성과점검기준						해당 기관	예산 (백만원)	양적 성과목표
						질적 성과지표	목표치	측정방법	검증방법	가중치			
총괄	A	시작품 제작	A-1	시작품 제작	①	시작품제작	최적단면형상을 적용한 시작품	제작	현장 (당진공장)	3	장헌산업 한라산업 개발	58.605	특허 2건
	B	시작품 성능평가 실험	B-1	성능시험	①	시작품 성능평가 및 계측계획	시작품 성능평가 및 계측	실험	성능평가서	2	충청대	39.070	보고서 1부
					②	성능평가 실험	안전성 및 시공성 확인	실험	성능평가서	2	충청대	58.605	성능평가서 1건
	C	설계도서 작성	C-1	설계도서 작성	①	표준설계도 구축	최적형상을 이용한 설계도서	표준설계도 작성	설계도서	1	장헌산업	39.070	설계도서 1부
	D	시공 및 관리 지침서 작성	D-1	제조공정 표준화	①	시방서 작성	연구 거더에 관련된 특별시방서 작성	시방서 및 계획서 작성	설계도서	1	장헌산업	19.535	설계도서 1부
					②	시공관리 계획	시공여건변화에 제품의 품질을 유지하기 위하여 제조공정 표준화	시공계획서 작성	설계도서	1	장헌산업	19.535	
					③	품질 및 안전관리 계획	거더 제작시 안전과 품질에 관한 계획서 작성	품질관리 및 안전관리 계획서	설계도서	1	한라산업 개발	19.535	
	E	건설 신기술 인증 신청	E-1	신기술 인증	①	신기술인증	건설신기술인증	건설신기술 인증	신기술인증서	4	장헌산업 한라산업 개발	68.140	인증서 1건
	F	연구기술 확산노력	F-1	연구 개발 관련 홍보	①	홍보물제작	브로셔 제작	브로셔	홍보물	1	장헌산업	19.535	홍보물 1건
					②	기술기사	연구개발 관련 기술 홍보	기술기사 게재	전문학회지 기술기사	1	충청대	19.535	기술기사 1건
			F-2	기술 확산을 위한 상호 교류	①	전문가 의견 수립	전문가 의견서 2건	의견서 작성	의견서	1	장헌산업	19.535	의견서 2건
	G	최종보고서작성	M-1	최종 보고서 작성	①	최종 보고서 작성	최종보고서 작성	최종보고서	최종보고서	2	장헌산업	10.000	보고서 1부
계										20		390.7	보고서 2건 평가서 1건 특허 2건 설계도서 2부 인증서 1부 홍보물 1건 기술기사 1건 의견서 2건

제 2 장 국내외 기술개발 현황

1절 국내의 기술개발 현황

1. 기술개발 환경 및 배경

가. 사회기반시설 투자에 따른 교량 기술의 발전

우리나라의 비약적인 경제발전에는 잘 정비된 사회기반시설이 기여한 바가 크다. 사회기반시설에 대한 투자는 도로·교통시설에 대한 것이 가장 많았으며, 그로 인해 관련 기술도 비약적으로 발전하였다. 도로·교통시설에는 많은 종류의 시설물들이 설치되고 그에 따른 건설기술도 많은 종류가 있지만 그 중에서 가장 상징적이며 고도의 기술력이 필요한 분야가 교량분야일 것이다.

교량의 건설기술도 사회기반시설의 확충과 함께 비약적인 발전을 하였다. 전산구조해석이 널리 보급되기 이전에는 전통적인 구조역학이론들에 의한 구조해석의 한계로 극히 제한적인 형식의 교량만이 사용되었다. 고차의 부정정구조물은 해석의 어려움으로 형식의 적용이 어려웠다. 따라서 비교적 짧은 지간장의 단순교 형태의 교량이 주로 사용되었다. 80년대에 들어서면서 단순한 형태의 전산구조해석이 적용되면서 다소 복잡한 연속교 등이 적용되었으나 대부분의 장대교량은 거동이 단순한 강재를 이용한 강합성 I형교, 강합성 상자형교 등이 적용되었다.

90년대 교량기술의 발전 방향은 크게 지간장 200m를 초과하는 특수 장대교량의 건설기술과 경제성을 강조하는 콘크리트교량의 건설기술의 두 가지 방향으로 전개되었다. 80년대에 태동된 장대특수교량기술은 90년대에 서해안 고속도로의 서해대교(강합성 사장교, 주경간장 470m)와 부산 광안리의 광안대교(현수교, 주경간장 500m)를 기점으로 비약적으로 발전하였으며, 2013년 개통한 이순신대교(현수교, 주경간장 1,545m)로 세계적인 수준에 도달했다.

특수교량을 제외한 일반교량에서는 거동이 명확한 강교가 주로 적용되던 추세에서 콘크리트 재료에 대한 이해도가 높아지고, 관련 이론이 정립됨에 따라 콘크리트 교량의 설계 및 시공기술이 발전하면서 기존에는 높은 안전률로 계획되던 교량들이 보다 합리적으로 계획, 건설되면서 중·소규모에서는 콘크리트 교량이 많이 적용되기 시작하였다.

나. SOC 예산의 축소에 따른 교량 시장의 변화

70년대 이후 지속적으로 성장해온 사회기반시설에 대한 투자는 본격적인 고령화 사회의 진입에 따라 투자의 중요도가 하락하면서 국가예산에서 SOC예산의 비중이 줄어가고 있다. 투자의 변화추이를 간략히 살펴보면 6공화국인 1992년에는 일반회계대비 SOC예산의

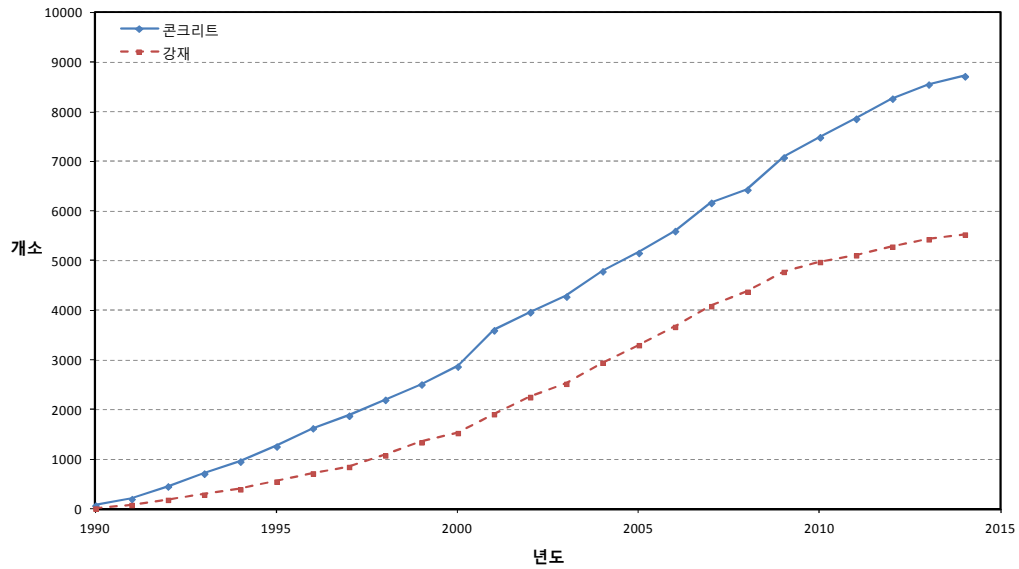
규모가 11.0%이었고, 문민정부인 1997년에는 16.8%로 가장 활발한 투자가 이루어졌으며, 국민의 정부 말기인 2002년에는 14.6%로 다소 하락하기 시작하였으며, 참여정부 말기인 2007년에는 11.8%로 줄어들었다. 이후에도 하락세는 지속되어 2008년에는 국가예산의 총 지출에서 SOC예산이 7.6%로 하락하고, 2016년에는 6.1%로 줄어 연평균 0.6%의 감소율을 보이고 있다. [출처 : 2007.1.29. 청와대 경제정책비서관실 자료 및 현대경제연구원 경제주평 15-50호(통권671호)]

따라서 SOC사업의 총사업비 절감은 사업 추진시 반드시 고려하여야 하는 주요 사항이 되었고, 교량 형식의 결정에서도 가격중심의 비교 평가를 통하여 형식을 결정하는 경향성이 뚜렷하다.

다. 교량에 대한 요구조건의 다변화

SOC사업의 초기 단계에서는 교량건설 기술이 열악하여 교량에 대한 요구 사항이 많지 않아서 건설조건은 매우 양호한 상태였다.

사회기반시설이 확충되면서 기본적인 편리함에 대한 욕구가 충족이 되자 쾌적한 환경에 대한 요구가 점증하여 교통시설은 기피시설이 되었다. 집단적인 민원이 님비(NIMBY)현상으로 거세게 표출되면서 교통시설들은 민원을 줄일 수 있는 산악지형이나 하천, 해상 등의 지역에 설치되는 경향이 높아졌다.



[그림 2.1] 교량의 연도별 사용재료 변화 (준공기준)

건설기술에 대한 연구도 활발하게 진행되어 여러 어려운 문제들을 해결할 수 있는 방법들이 개발되었다. 교량은 지형적인 여건이 좀 더 어려운 위치로 이동하고 점점 더 장경간의 교량이 요구되며, 교통시설의 선형계획시 교량의 가설조건에 대한 배려 없이 원곡선 구간, 클로소이드 구간 등이 위치하게 되었고, 시공에 많은 영향을 미치는 하부공간에 대한

제약조건도 많아졌다.

따라서 장경간이면서 어떠한 가설조건도 극복하고 경제성이 높은 교량형식이 필요하게 되었다. 실제적으로는 교량형식을 결정하는데 가장 중요한 조건인 경제성이 되면서 콘크리트 교량에 대한 선호도가 높아졌다. 국도상에 설치된 교량을 사용재료(강재, 콘크리트)별로 분류하면 [그림 2.1] 교량의 연도별 사용재료 변화 (준공기준)에서 보듯이 1990년 이후 준공된 교량들에서 콘크리트 교량이 훨씬 많은 것을 알 수 있다. 교량의 형식, 설계법 및 시공기술을 비롯한 새로운 개념의 콘크리트교 기술의 발전이 필요하다고 할 수 있다.

라. 교량 시공환경의 변화

교량의 시공은 많은 부분 인력에 의존하는 공종이 많다. 이러한 시공조건은 건설기술의 발전에도 불구하고 크게 개선되지 못하였다. 가격적인 측면의 공사관리에만 치중하고 국내시장의 환경에만 안주한 상태에서 기술개발 및 투자가 미흡한 상태로 공사수준은 지속적으로 하락하고 있으며, 국내 토목산업의 침체와 맞물려 그 시장규모가 급격히 축소되고 있다.

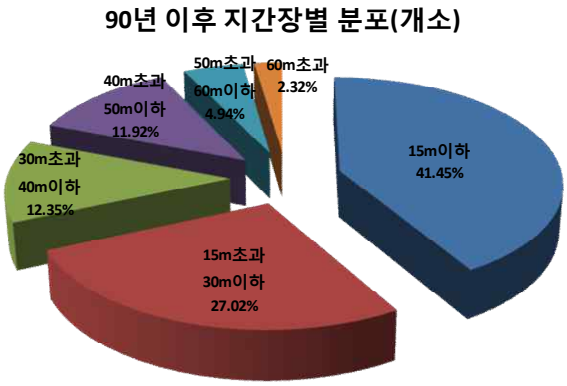
국내의 공사현장에서는 숙련된 기능공의 수급에 많은 어려움을 겪고 있다. 숙련공은 고령화되었고, 젊은 인력들은 고학력화되어 3D 직종으로 구분되는 건설현장의 기능공으로의 유입을 기피하는 실정이어서 현장 기능공이 급격하게 감소하게 되어 현실적으로 현장의 작업반 운용이 매우 힘든 실정이다. 또한 근로시간의 단축 및 인력 투입 절차의 강화로 생산성이 저하되고 있다.

또한, 지구온난화 등 기상 환경의 악화로 현장의 작업여건이 급속히 악화되고 있어 전통적인 시공방법으로는 경제성을 확보하기 어려운 실정이다.

필요한 시공성을 확보하기 위해서는 현장 작업여건을 획기적으로 개선하거나, 작업공종의 조정을 통하여 현장작업을 최소화할 수 있도록 개선하여야 할 필요가 있으며, 이를 반영한 개선방향으로 프리캐스트 콘크리트 공법을 적극 활용하는 연구개발이 국내외에서 활발히 이루어지고 있다.

마. 핵심 교량형식의 선택 및 집중

교량은 구조형식이나 사용재료에 따라서 적용 한계를 가진다. 도로상에 건설되는 교량의 규모는 이러한 적용한계를 반영하여 선정되므로 몇몇 특별한 경우를 제외하면 [표 2.1] 교량 형식별 적정 지간장에서 보는 바와 같이 일정한 범위내의 교량이 주로 적용된다.



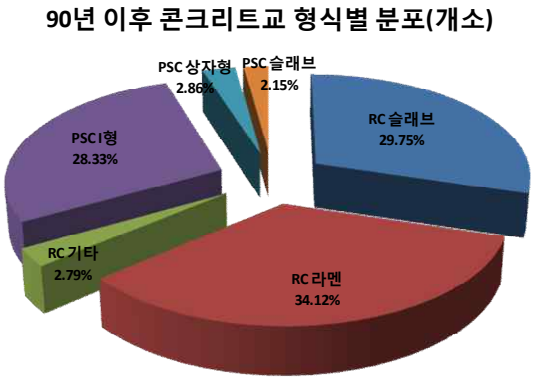
[그림 2.2] 교량의 지간장별 현황 (준공기준)

앞에서 살펴본 교량시장의 환경분석 결과 15m에서 60m 이하의 교량이 가장 많이 소요되는 지간장이고, [그림 2.2]에서 나타낸 바와 같이 90년 이후 준공된 60m를 초과하는 교량은 2.32%에 불과하다. 60m 이하 지간장의 교량은 경제성을 고려하면 콘크리트를 이용한 교량형식을 적용하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

[표 2.1] 교량형식별 적정 지간장

구 분		적정 지간장 (m)	개발기술의 적용 범위
슬래브교	R.C	10~15	
	중 공	15~20	
	P.S.C	20~30	
Rahmen교	지 상	10~15	
	π 형	20~25	
PSC I거더교	재래형	25~35	
	개량형	30~55	◎
PSC 상자거더교	F.S.M	40 ~ 70	◎
	I.L.M	40 ~ 70	◎
	M.S.S	40~60	◎
	F.C.M	80 ~ 170	
개량형 PSC 박스거더		50 ~110	◎ [70m 이하]
프리플렉스 거더.		30~45	◎
강교	강합성 I거더	35~55	
	강합성 상자거더	40 ~ 80	◎ [70m 이하]
	강합성 소수주형	40~60	◎
	강상판	60~ 150	◎ [70m 이하]

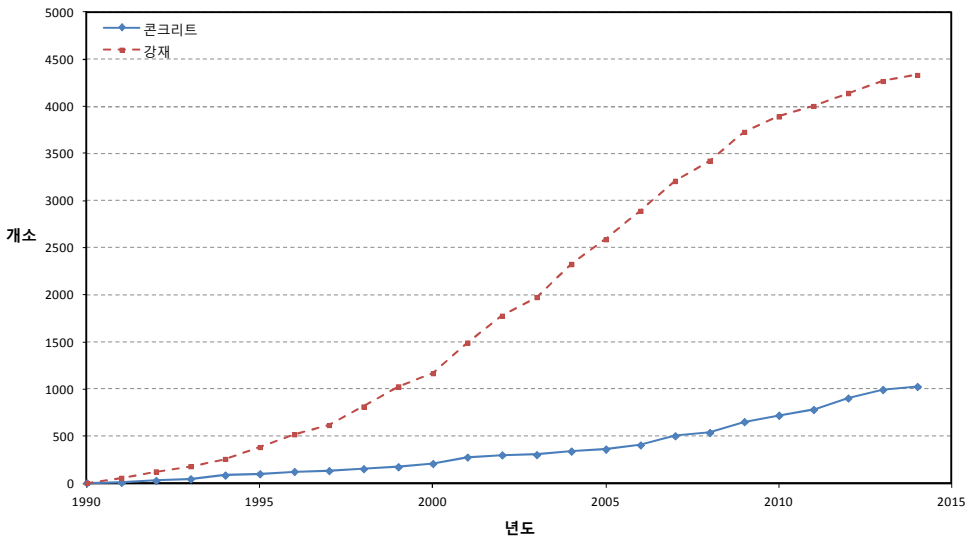
15m 이하의 지간장의 교량은 41.45%로 가장 많고, 교량 형식은 철근콘크리트 라멘교의 적용 빈도가 가장 크다. 최근에는 프리캐스트 PSC거더를 이용한 합성형교량이 다양하게 개발되어 적용되고 있다.



[그림 2.3] 교량의 형식별 현황 (준공기준)

20m에서 50m 정도의 지간장에서는 여러 가지 형식의 교량이 적용될 수 있는 구간이지만 경제성을 고려하면 PSC I형 거더가 많이 적용되고 있다. [그림 2.3]에서 보는 바와 같이 콘크리트 교량에서 PSC I형 거더교는 전체의 28.33%를 차지하여 짧은 지간장에서 사용된 RC슬래브 또는 RC라멘교를 제외하면 가장 널리 적용되는 교량형식이다.

따라서 PSC I형 거더교의 성능을 개선한 많은 개량형 거더가 개발되었고, 적정 최대 지간장이 30m 남짓에서 비약적으로 발전하여 최근에는 60m에 적용되는 거더도 개발되었다. 그러나 PSC I형 거더의 단면성능에 비하여 지나치게 긴 장경간에 적용하면서 해결해야할 문제들이 부각되기도 하였다.

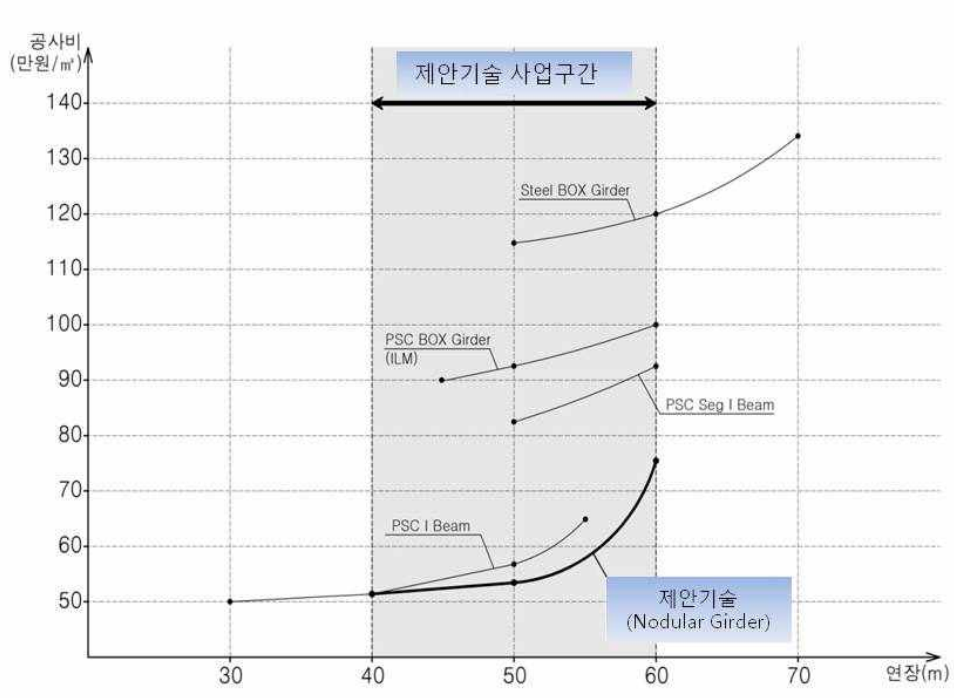


[그림 2.4] 40~70m 교량의 사용재료별 현황 (준공기준)

[그림 2.4]에서는 90년 이후에 준공된 40m에서 70m 사이의 교량의 현황을 보여주고 있다. 국토교통부의 2015년 도로 교량현황을 분석하면 매년 약 250~300개 정도의 교량이 준공되는데 40m에서 70m 사이 지간장의 교량은 대부분 강교 또는 PSC박스 거더교가 주로 적용된다. 적용되는 강교 또는 강합성교의 구조적인 성능은 우수하지만 경제성을 확보하기는 어렵다.

90년대 이후에는 콘크리트에 대한 기술이 비약적으로 발전하고, 동시에 2000년대에 SOC예산의 축소로 경제성에 대해 강조하면서 콘크리트교량의 비중이 높아지고 있다. 많이 적용되는 PSC박스 거더교는 가설여건에 따라 어려운 시공법을 적용해야 하므로 PSC I형 거더교 대비 경제성을 확보하기 어렵다.

따라서 이 구간에 적용될 구조적인 성능과 시공성과 경제성을 동시에 확보할 수 있는 교량형식이 필요한 실정이다. [그림2.5]를 보면 제안기술의 사업구간을 확인할 수 있다. PSC BOX와 Seg Beam 또는 Steel Box 의 경우 45m~60m에서 제안 기술보다 월등히 비싸 경쟁 상대가 되지 않으며, PSC I형 거더의 경우는 장경간화로 제안기술의 사업구간과 많이 겹쳐 비교가 필요함을 알 수 있다.



[그림 2.5] 40~70m 교량의 사업구간 비교

2. 기존 기술의 현황 및 문제점

가. 콘크리트 교량의 현장 작업량 과다

40m 이상의 장경간 교량에 적용되는 콘크리트 교량은 PSC I형 거더교와 PSC 박스형 거더교가 주로 적용된다. 콘크리트 교량은 원칙적으로 교량 시공현장의 원위치에서 콘크리트를 타설하여 만들어진다. 예외적으로 15m 이하의 프리캐스트 거더는 공장에서 생산하여 일반도로를 통하여 운반되기도 하고, PSC 박스 거더는 세그먼트로 제작되어 운송이 가능한 중량을 조절하여 일반도로 운반 또는 작업장 내 운반을 통하여 교량 시공현장에서 합성되는 세그먼트공법을 적용하기도 한다.

그러나 프리캐스트 거더는 운반의 제한으로 거더의 규모가 제한적이고, PSC 박스거더의 세그먼트는 일반도로를 통한 운송이 불가능할 정도의 규모를 지니는 것이 보통이다. 즉 대

부분의 장경간 거더는 모두 현장에서 제작되어야 한다.

현장에서의 작업이 많다는 것은 필요한 작업환경을 매번 구축하여야 한다는 것을 의미한다. 이는 경제적인 손실뿐만 아니라 균일한 품질을 확보하는데 어려움이 있다는 의미이기도 하다. 거더 제작을 위한 별도의 작업장을 조성하더라도 시공현장의 잦은 이동과 작업장 주변의 열악한 환경 등의 일반적인 건설현장이 가지는 한계를 가지고 있어 문제점을 모두 해소할 수는 없다.

역설적으로 여건이 열악한 환경에서 건설되는 교량들은 환경의 영향을 극복하기 위하여 더 높은 품질의 시공이 담보되어야 한다. 기대 내구수명이 100년으로 설계되는 교량은 항상 균질한 품질을 확보할 수 있는 공법이 적용되어야 한다.

나. 현장에 투입할 숙련된 건설 기능공 확보의 어려움

교량의 가설현장이 대부분 접근성이 불량한 지역에 위치하며 앞서 언급한 숙련공의 고령화와 젊은 인력들의 3D기피 현상으로 인력난이 심하다. 최근의 교량 건설 현장에서 필요한 만큼의 숙련된 기능공을 확보한다는 것은 매우 어렵다. 숙련되지 못한 건설 기능공을 작업여건이 어려운 현장에 투입하는 경우 시공의 품질을 확보하는데 많은 어려움이 있어 원활한 공사 진행이 어렵다.

또한 주요 공정의 기능공을 임시직으로 채용하는 경우 비슷한 공종에서 매번 다른 작업팀이 업무를 수행하는데 따라 품질의 확보가 어려울 뿐 아니라 경제적인 손실도 증가할 것이다.

교량공사의 중요도를 고려할 때 투입되는 기능공의 숙련도를 높일 수 있는 방안을 적극적으로 검토하거나, 누구나 쉽게 할 수 있는 작업과 숙련도가 필요한 작업을 나누어 관리하는 등의 품질확보 방안을 적극적으로 검토하여야 할 것이다.

다. 건설현장의 작업시간 감소

과거의 건설현장은 공기가 지연되면 작업이 물리적으로 불가능하지 않은 한 작업을 진행하여 부진공정을 만회하는 산업현장이었다. 요즘 건설현장에서는 산업현장의 안전을 확보하기 위하여 기후의 영향과 작업여건에 따라서 투입 가능한 공기가 변한다. 또한 작업시간도 제한되어 있어 부진공정의 만회를 위해서는 연장이나 철야작업을 해야 하는 경우 몇 배의 공사비가 투입되어야 하는 문제가 발생하여 현실적으로 가능하지가 않다.

공기를 늘이거나 손해를 감수하고 투입량을 늘일 수 없는 경우 제한된 작업시간 내에 할당량의 업무를 수행하려면 품질이 저하되는 경우가 발생할 수 있다.

작업환경에 의한 영향을 최소화할 수 있는 공법의 개발이 절실히 필요하다.

[표 2.2] 국내외 주요 프로젝트 공기

구 분	연 장	공 기	비 고
경부 고속철도(1단계)	238.6 km	13년	기존선 제외
경부 고속철도(1단계)	182.2 km	5년	예정
Confederation Br.(加)	12.9 km	3년	교량구간
Subiya Causeway(쿠웨이트)	36.1 km	2.5년	교량구간

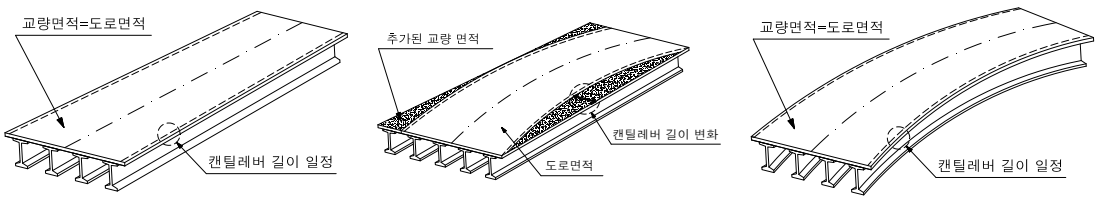
라. 곡선교인 콘크리트 교량의 필요

교량의 설계 및 시공은 도로의 평면 및 종단 선형이 직선이고 좌우대칭이면 쉬워진다. 교량의 위치를 도로 선형 상에서 이런 조건에 맞도록 배치하려면 최적의 도로설계를 하기가 어려워진다. 교량의 설계 및 시공 기술이 발달하여 불가능하지 않다면 도로 선형 계획상의 요구조건을 교량에서 수용하는 것이 타당하다.

그러나 콘크리트교량의 경우 곡선교를 만드는 것은 쉬운 일은 아니다.

40m 이상의 장경간 교량에 적용되는 PSC I형 거더교는 횡방향 강성이 작아서 곡선으로 제작하거나 설치하는 것이 거의 불가능하다. 불가피하게 직선거더를 제작하여 곡선교에 적용하면 [그림 2.6]의 (b)에서와 같이 교량면적과 도로면적이 불일치하여 교량의 규모가 커지고, 교축직교방향으로 직선거더 측면에서 교량 바닥판 연단까지의 내민 길이가 길어져 바닥판 설계가 어려워진다.

반면 [그림 2.6]의 (c)와 같이 곡선교에 곡선거더를 배치하면 [그림 2.6]의 (a)의 직선교에 직선거더를 설치한 경우와 같이 교량계획이 쉬워진다. 곡선거더를 제작하여 설치할 수 있으면 많은 문제가 해소될 수 있는 것이다.



(a) 직선교에 직선거더 (b) 곡선교에 직선거더 (c) 곡선교에 곡선거더

[그림 2.6] 직선 및 곡선거더를 이용한 곡선교

PSC 박스 거더교는 가설공법에 따라 곡선교로 시공할 수 있는지 여부가 결정된다. 현재 적용되는 대부분의 공법은 곡선거더를 시공하는데 문제가 없다.

임의의 곡선거더를 제작할 수 있는 공법은 동바리공법(FSM : Full Staging Method), 이동식동바리공법(MSS : Movable Scaffolding System), 자유외팔보공법(FCM : Free Cantilever Method) 등이 있다.

PSC 박스 거더 시공시 많이 적용되는 공법인 압출공법(ILM : Incremental Launching Method)은 곡선이 원곡선인 경우에 한하여 적용가능한 제약이 있다.

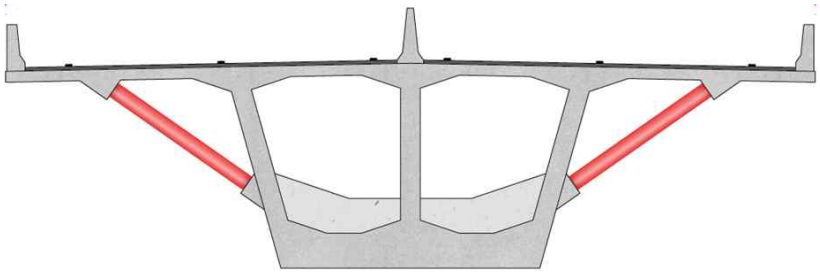
그러나 PSC 박스 거더공법은 어떠한 가설공법을 적용하더라도 PSC I형 거더와 비교하여 경제성을 확보할 수 없는 고급 구조물이다. 즉 경제성을 고려한 곡선교가 필요한 경우 PSC I형 거더와 유사한 경제성을 가지는 콘크리트 곡선교가 필요한 실정이다.

마. 콘크리트 교량의 중량 감소 방법 필요.

콘크리트는 우수한 건설재료이지만 강성 대비 중량이 무거운 단점이 있다. 적용 지간장이 길어지면, 중량에 의해 발생하는 부재력은 지간장의 제곱에 비례하므로 기하급수적으로 커지게 된다. 장경간의 교량에 적용되는 콘크리트 거더에 대한 개선은 콘크리트 거더의 중량을 어떻게 줄이는가에 주목하고 있다.

[그림 2.7]에서 보는 바와 같이 PSC 박스 거더의 단면은 상부슬래브와 복부와 하부슬래브로 구성되어 있고, 캔틸레버 구간이 길어지는 경우에 스트럿을 설치할 수도 있다.

거더의 중량을 줄이려면, 첫째는 각 부재의 단면을 줄이는 방법이 있다. 상부슬래브는 차량이 직접 접촉하는 부분이라서 단면절감이 곤란하고, 하부슬래브는 긴장력을 도입하는 텐던이 통과는 부분이므로 최소한의 규모를 확보해야한다. 일반적인 PSC 박스 거더에서는 복부에도 텐던이 통과하고 중간정착부가 설치되어야 하므로 일정규모를 확보하여야 한다. 따라서 일반적인 방법으로는 단면 저감을 통한 중량의 저감은 불가능하다.



[그림 2.7] PSC 박스 거더교의 구성

둘째는 콘크리트 교량의 강성을 유지하면서 중량을 줄이는 방법으로 고강도 콘크리트를 이용하는 방법이다. PSC구조에서 적용하는 일반적인 콘크리트의 압축강도는 $f_{ck} = 40MPa$ 정도였었는데 최근에는 강도를 $f_{ck} = 60MPa$ 정도의 고강도를 적용하는 것은 거의 일반화가 되었다. 나아가 $f_{ck} = 120MPa$이상의 초고강도를 이용한 교량에 대한 연구와 실험적인 시공이 이루어지고 있다. [그림 2.8]에는 건설기술연구원에서 연구 중인 초고강도 콘크리트(UHPC)를 적용한 교량들이다. 그러나 아직은 품질에 대한 신뢰도와 경제성 등을 충분히 만족한다고 하기는 어려운 실정이다.



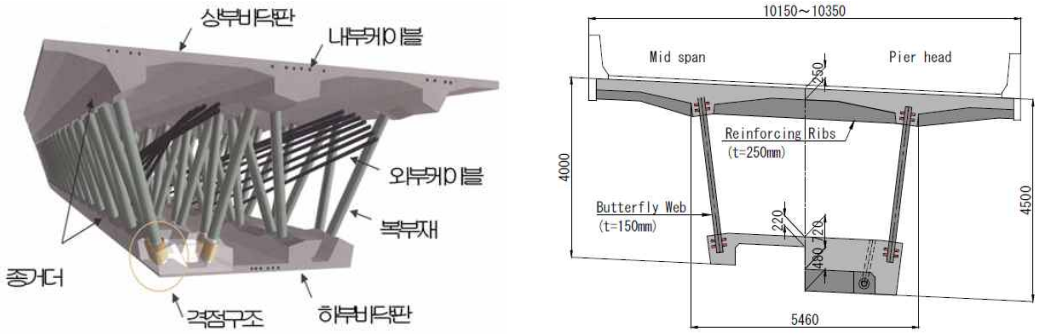
(a) 보도사장교(건설기술연구원 내)　　(b) 안동 π거더교

[그림 2.8] 초고강도 콘크리트(UHPC)를 적용한 교량

세 번째 방법은 중량의 저감을 위해 규모를 축소할 수 있는 복부의 규모를 줄이는 것이다.

최근에 개발된 교량 형식으로 복부재를 강관트러스로 대체한 복합트러스교와 파형강판으로 대체한 파형강판 Web PSC 박스 거더교 등이 대표적이다. 이들 거더교는 복부재를 무거운 콘크리트 대신 가벼운 강재를 적용하여 거더의 중량을 줄임으로써 교량의 장경간화를 구현한 것이다. 이들 형식은 복부재로 사용된 강재의 공사비가 비싸고, 강재와 콘크리트와의 접합부에서 일반교량에서 적용되지 않는 특수 상세 등이 발생하여 시공난이도가 매우 높은 문제가 있다.

[그림 2.9] (a)의 교량은 복부재를 다른 재료로 대체한 대표적인 교량형식인 복합트러스교이고, [그림 2.9] (b)의 교량은 복부의 규모를 파격적으로 줄인 형식의 교량이다.



(a) 복합트러스교　　(b) 복부를 얇게 만든 교량

[그림 2.9] 개량형 PSC 박스 거더교

교량의 중량을 줄이면서도 경제성과 시공성을 동시에 확보할 수 있는 새로운 교량형식이 필요하다.

바. 쉽고 신뢰성있는 프리캐스트 구조물 연결공법 필요.

교량 시공시 현장 작업량이 많고 건설 환경의 변화에 따라 숙련공의 수급이 원활하지 못한 문제를 해결하기 위해 구조물을 프리캐스트화 하는 노력이 자주 시도된다. 교량과 같이 대규모의 시설물을 공장에서 생산하여 운반 가능한 프리캐스트 시설물로 변경하려면 운반 가능한 규모로 분할해야한다.

프리캐스트공법 적용시 집중적으로 고려해야 할 점은 분할 제작된 부재의 연결부를 치밀하게 하는 방법과 연결부 품질을 어떻게 확보할 것인가 하는 문제이다.

PSC I형 거더, PSC 박스 거더에서는 연결부 치밀성 확보하기 위해 매치캐스팅공법(Match Casting)으로 부재를 제작하고 연결부 품질 확보를 위해 전단키(Shear Key) 설치 및 에폭시를 부착재로 사용하는 방법을 적용한다.

그러나 위와 같은 방법은 프리캐스트 부재 제작시 작은 실수가 있으면 품질 확보가 어렵고 또한 결함발생시 부재를 보수해서 쓸 수가 없으므로 다시 제작해야하는 문제가 있다. 또 상하부 슬래브와 복부를 일체로 제작하므로 다루어야 할 중량이 크고 난이도가 높으며 동원되는 장비의 규모도 커지는 문제가 있다.

따라서 프리캐스트 부재를 어떻게 분할하고 어떻게 연결할지에 대한 개선이 필요하다.

사. 경관성을 고려한 교량공법 필요.

교량의 건설기술이 발달하고 교량건설에 따른 민원이 자주 발생하는 환경을 고려하여, 경관성이 강조되는 교량이 필요한 위치에서는 경관성이 우수한 별도의 교량형식을 적용한다. 경관성을 고려한 교량은 대체로 공사비가 고가이므로 특별히 요구되지 않는 곳에서는 반영할 수가 없다. 따라서 시공 중이나 완공 후에 교량의 경관성에 대한 불만족이 발생하게 된다.

경제성이 우수한 대부분의 PSC 거더교들은 거푸집 탈형면이 마감면이 되어 콘크리트의 질감이 그대로 노출되고 측면과 하면이 모두 회백색의 평면이라서 심리적인 압박감을 유발하는 경향이 있다. 교량의 수명이 장기간임을 고려하여 모든 교량에 대해 적정수준의 경관성을 확보하는 것이 타당할 것이다.

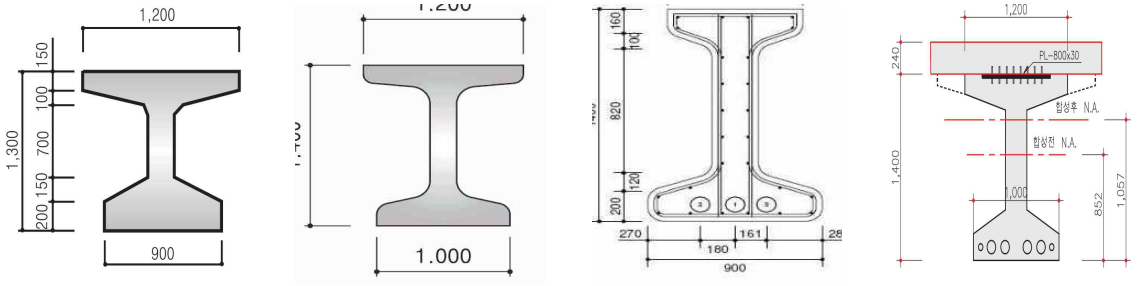
따라서 기존의 PSC I형 거더보다는 경관성을 고려한 형식이 필요하다

3. 국내 기술의 동향

가. PSC I형 거더의 장경간화

국내에서 PSC I형 거더는 2000년대 초반까지는 최대지간장이 35m를 넘는 경우는 거의 없었다. 2000년 이후부터 장경간화를 위하여 단면의 최적화 및 가설단계의 조정을 통한 단면 효율 증대 등의 연구가 활발하게 진행되었다. 보다 낮은 형고로 보다 큰 장경간화를 가능하게 하는 새로운 형태의 여러 PSC I형 거더가 개발되었고 현재는 일반적인 한계인

35m를 넘어 60m까지 그 한계를 확장하고 있다.



(a) IPC거더 (b) DR거더 (c) EX거더 (d) E-beam

[그림 2.10] 개량형 PSC I형 거더의 종류

[그림 2.10] (a)의 IPC거더와 (b)의 DR거더는 긴장력을 도입하는 텐던을 2단계로 나누어 긴장함으로써 가설단계에서 발생하는 초과응력문제를 해결하여 저형고 및 장경간화하는 원리를 적용하였다.

[그림 2.10] (c)의 EX거더는 설계방법 개선과 고강도 콘크리트의 사용으로 2단계 긴장없이 장경간 및 저형고를 실현하였다.

[그림 2.10] (d)의 E-beam은 상부플랜지에 강판을 합성시켜 중앙부 PS긴장재의 편심효율성을 증대시키고 연속지점부를 강판, 긴장재, 철근으로 완전 일체화하여 단면강성을 증대함으로 장경간화하였다.

나. PSC I형 거더의 프리텐션화

국내에서 PSC I형거더는 대부분 콘크리트 타설 및 양생을 통해 강성이 확보된 이후에 긴장력을 도입하는 포스트텐션공법을 적용하여 왔다. 포스트텐션공법은 텐던의 배치 프로파일을 자유롭게 하고, 비교적 생산설비가 간단한 장점은 있으나 별도의 정착장치와 텐던의 삽입, 긴장, 그라우팅 등의 부가 공정이 많은 단점이 있다.

최근에 이르러 생산설비의 규모는 커지지만 별도의 정착장치, 그라우팅 등이 필요 없는 프리텐션공법을 적용한 PSC I형 거더에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.



(a) Pre거더 (b) PbP거더

[그림 2.11] 프리텐션공법을 적용한 PSC I형 거더의 종류

[그림 2.11] (a)의 Pre거더는 이동식 반력대를 이용하여 현장에서 제작하는 프리텐션 PSC거더로 단부의 형고를 높여서 강선편심이 조절되도록 함으로서 프리텐션 거더 단부에 큰 편심이 발생하는 구조적 문제점을 해결하고, 아울러 수려한 경관을 갖도록 개발된 거더이다.

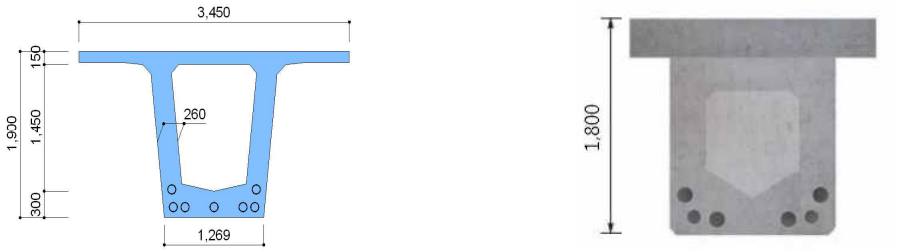
[그림 2.11] (b)의 PbP거더는 이동이 가능한 조립식 제작대를 이용하여 소규모 제작장과 장비만으로 품질과 경제성이 확보된 프리텐션 거더를 제작할 수 있도록 개발되었다.

다. PSC U형 거더의 개발

PSC U형 거더교는 U형의 거더를 제작하여 원위치에 설치한 후 상부 플랜지를 합성하여 폐합 박스 거더를 형성하는 교량공법이다. PSC I형 거더에 비해 횡방향 강성 및 비틀림 강성이 커서 가설 및 완성단계의 안정성이 우수하고 완성계에서도 구조적 안전성이 뛰어나며 경간장 및 형고비, 내구성, 사용성, 시공성, 유지관리측면에서도 우수한 형식이다.

거더 하나가 PSC I형 거더 두 개에 해당하므로, 거더의 중량이 무거워 대용량의 가설장비가 필요한 단점이 있다. 가설시에는 단면이 개구제형이므로 박스 거더에 비하여 상대적으로 비틀림 등에 취약하므로 임시 브레이싱 등을 설치하여야 하는 불편함이 있다.

현재 국내에서는 가설단계의 비틀림 강성 등이 약한 개구제형 단면보다는 폐합된 박스형태의 거더에 대한 기술개발이 더 활발한 실정이다. 박스 거더는 횡방향 강성이 커지는 반면 중량이 더 무거워질 뿐 아니라 내부거푸집을 별도로 설치하여야 하는 문제가 있어서 단면의 효율은 증가하나 경제성과 시공성이 떨어지는 단점이 있다.



(a) WPC 거더 (b) SegBox 거더

[그림 2.12] PSC 폐합 박스형 거더의 종류

[그림 2.12] (a)의 WPC 거더는 U형 거더의 내부에 EPS Block을 설치하여 콘크리트 타설시 매몰시킴으로써 상부플랜지를 동시에 타설할 수 있도록 개량하였다. 또 상부플랜지를 외측으로도 확대하여 거더와 거더를 맞닿도록 배치하여 바닥판 타설시 별도의 동바리 및 거푸집을 설치하지 않아도 되도록 개선하였다. 이 공법은 현장의 작업장에서 제작하여 현장내 운반을 하여야 한다.

[그림 2.12] (b)의 SegBox 거더는 공장에서 운반이 가능한 크기로 고강도 콘크리트를 사용하여 제작한다. 거더의 단면이 폐합형이라서 현장으로 운반시의 안정성을 확보할 수 있다. 분절된 거더를 현장 운반 후 결합하여 긴장력을 도입하여 거더를 완성하는 공법으로서

전용공장에서 제작하여 품질확보가 용이하고 공기단축이 가능한 장점이 있다. 그러나 프리캐스트 부재를 연결하는 방법을 건식연결(Dry Joint)하여야 하므로 연결부의 품질관리가 어려운 단점이 있다.

라. 프리캐스트 공법으로 진화하는 PSC 교량

프리캐스트 공법은 구조물의 주요 부재를 표준화하고 제작장에서 반복적으로 생산하여 교량현장에서 조립하는 공법이다. 종래의 교량공사는 교량현장에서 거푸집공, 철근공, 콘크리트공, 텐던 긴장 등의 모든 공종을 수행 하였다. 따라서 제작을 위한 시설 및 인원이 매 현장마다 배치되어 비효율적이며 현장관리도 어렵다.

이러한 문제를 극복하기 위한 방법으로 제시된 공법이 프리캐스트 공법이다. 프리캐스트 콘크리트 공법의 장점을 살펴보면 다음과 같다.

(1) 경제성 향상

절대공기의 단축으로 인건비 및 관리비의 절감이 있고, 대량생산으로 원가 절감의 이점을 가질 수 있다.

(2) 품질관리용이

공장생산으로 기후와 날씨의 영향이 적고, 콘크리트의 일정한 품질유지가 가능하며, 숙련된 작업자를 통해 제품의 불량을 최소화하고, 생산된 제품에 문제점이 발생할 경우 현장 도착 전에 미리 조치할 수 있다.

(3) 시공성 개선

현장과 공종의 병행이 가능하고 거푸집, 동바리 등의 가설재가 불필요하다. 또한 동절기나 우기에도 생산과 조립이 가능하기 때문에 공기가 단축될 뿐 아니라 크레인만으로 구조체 공사 수행이 가능하여 현장 작업인원을 최소화할 수 있다.

(4) 환경오염 최소화

최근 건설현장의 환경오염이 사회적으로 큰 문제가 되고 있다. 특히 공사현장에서의 현장 타설 콘크리트의 경우, 레미콘 및 거푸집 사용으로 발생하는 분진, 소음, 폐자재 등은 심각한 환경오염을 일으킨다. 이에 반해 프리캐스트 콘크리트 공법은 제작, 수송, 조립시 환경에 영향을 최소화할 수 있다.

프리캐스트 공법은 많은 장점이 있지만, 다음과 같은 단점도 있다.

(1) 설계상 제약

제약(운반 제한규정 등)으로 인해 현장타설 콘크리트 공법처럼 현장 상황에 따라 자유롭게 형상을 만들지 못한다.

(2) 부재 연결부

프리캐스트 된 주요 부재를 연결하는 방법에 대한 상세한 검토가 필요하며, 구조적으로 안전하고 미관상 보기 좋게 하는 것이 중요하다.

(3) 초기 시설투자비

부재 생산을 위한 별도의 시설을 설치하여야 하는데, 생산시설 규모 및 생산시설의 위치를 선정하고 시설을 갖추는데 초기 시설투자비가 매우 높다. 따라서 대량 생산을 통한 원가 절감이 시설투자비를 초과할 수 있도록 계획하여야 한다.

(4) 부재 운반비

제작장 또는 생산공장으로부터 교량 현장까지 생산된 부재를 운반해야 하는데, 부재의 규모와 운반계획에 따라 운반비의 상승이 우려되므로 부재의 규모, 현장과의 거리 등을 고려한 세밀한 계획의 수립이 필요하다.

프리캐스트공법은 부재의 제작 규모 및 제작 위치, 긴장력 도입방법, 교량의 규모, 운반과 관련한 법규와 허용범위 등에 따라 달리 적용되는 특징이 있다. [그림 2.13]에서는 PSC 박스 거더를 세그먼트로 제작하여 원위치에서 합성하는 가장 일반적인 공법을 예시하였다.



[그림 2.13] 프리캐스트 세그먼트 교량

프리캐스트 공법의 핵심은 제작장의 위치에 따른 운반과 이음부 연결방법이다.

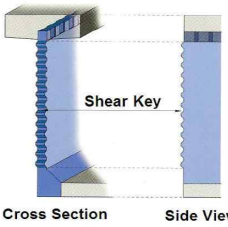
프리캐스트 공법은 거더의 생산위치 즉 현장 인근에 별도의 제작장을 조성하여 생산하는 방법 적용시와 전용공장에서 생산하는 방법 적용시에 따라 다르다.

현장 인근 제작장에서 생산하는 경우 부재 크기의 제약이 거의 없고, 필요한 규모의 장비를 동원하여 운반하고 가설하면 된다. 공장에서 생산하는 경우는 일반도로를 통하여 운반하여야 하므로 부재의 크기와 중량이 제한을 받는다. 따라서 프리캐스트 부재의 규모를 운반이 가능한 형태로 제작해야하는 것이 매우 중요하다.

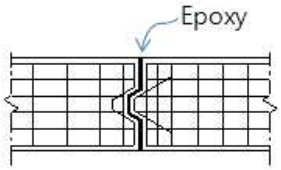
교량의 주요 요소들을 어떻게 세그먼트로 나누어 프리캐스트로 제작할 것인가에 대한 검토가 필요하다.

마. 프리캐스트공법 적용시 시공성과 신뢰성을 확보하는 연결 방법

일반도로로 운반하기 위하여 프리캐스트 부재를 분할하여 제작한 경우 이음부의 연결성능을 확보하는 방안을 수립하여야 한다. 연결방법은 크게 건식연결(Dry Joint)과 습식연결(Wet Joint)로 나눌 수 있다.



(a) 건식연결면의 전단키



(b) 건식연결면의 접착제

[그림 2.14] 프리캐스트 부재의 건식연결

건식연결은 PSC 박스거더나 PSC U형 또는 I형 거더를 분할 제작하는 경우에 주로 사용된다. [그림 2.14]와 같이 종방향 철근은 연속되지 않고, 텐던을 연속화하여 프리스트레스 힘으로 연결면에 압축력과 그로 인한 전단마찰력이 작용하도록 하는 구조이고 부가적으로 콘크리트에 전단키를 설치하고, 에폭시와 같은 접착제를 사용하기도 한다.

분할된 부재(세그먼트)의 전후면에 제작오차가 발생하면 연결부에 심각한 결함이 발생할 수 있다. 제작오차를 없애기 위하여 [그림 2.15]와 같이 제작시 먼저 제작된 부재를 거푸집으로 이용하여 다음 부재를 제작하는 매치캐스트방법으로 전단키가 정확하게 일치하도록 제작한다.

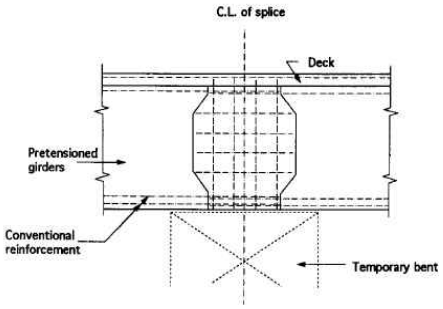


[그림 2.15] 분할제작공법 매치캐스트(Match Cast)

습식 연결은 [그림 2.16]과 같이 프리캐스트 부재 사이를 모르타르나 콘크리트를 현장타설하여 연결하는 방법으로 프리캐스트 교량 바닥판의 연결시 사용되는 방법이고, 건축구조물에서 많이 사용하는 공법이다. PSC I형 거더를 연속화하는 경우 교각부에서 두 거더를 연결하는 방법으로도 사용되는 공법이다.

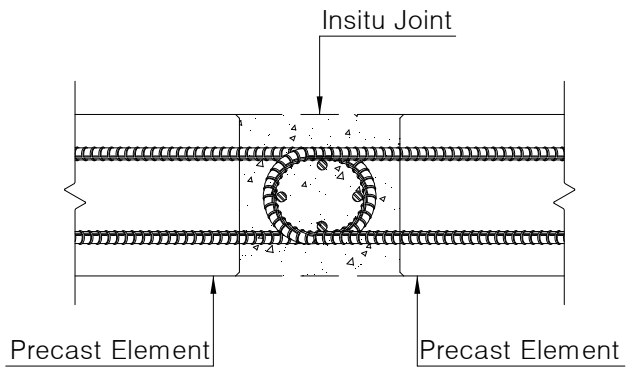
습식연결의 장점은 철근의 연속화로 구조물의 일체화가 가능하고, 분할된 부재의 작은 제작오차는 현장타설되는 이음구간에서 조정이 가능하다는 것이다. 그러나 이음부 마다 거푸집, 동바리, 비계 등을 설치한 후 콘크리트를 타설해야하는 번거로움과 건식연결과 같이 연결부에 시공이음의 흔적이 발생하여 미관이 불량한 단점이 있다.





[그림 2.16] PSC I형 거더의 습식연결

습식연결에서 철근을 연속화하는 방법은 이음길이에 의한 방법과 루프이음를 이용하는 방법이 있다. 루프 이음은 [그림 2.17]과 같이 프리캐스트 부재에 루프형태의 철근을 미리 돌출시켜 배치하여 부재를 제작한 후 현장에서 루프가 겹치도록 배치하고 이 겹친 철근사이로 수직 철근을 배근한 후, 콘크리트 또는 모르타르를 타설하는 방법이다. 프리캐스트 부재의 접합에서는 연결성능도 우수하고 연결부의 규모를 줄일 수 있는 루프 이음을 많이 사용하고 있다.



[그림 2.17] 루프이음을 이용한 철근의 연속화

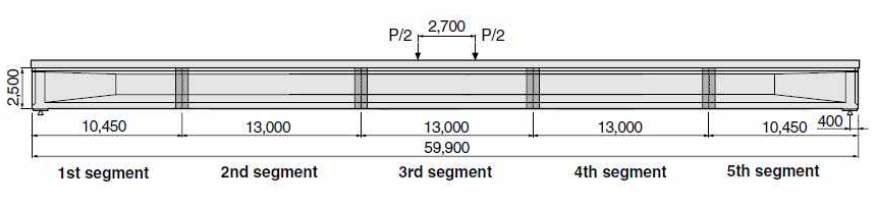
최근에 개발되어 상용화된 프리캐스트 PSC I형 거더 공법은 [그림 2.18]의 (a)에서 보듯이 PSC I형 거더를 운반 가능한 길이로 분절 제작하고 운반하여 (b)에서 보듯이 현장에서 연결하여 (c)에서 보이는 거더를 완성하는 공법이다. 이 공법에서는 별도의 고강도 연결부를 선제작하고 이 부재를 이용하여 매치캐스트공법으로 전후부재를 제작하는 방법을 적용하고 있다. 이러한 방법은 부재 제작시 시공성을 좋게 하는 장점이 있으나, 부재의 개수가 많아져서 실제로는 이음부의 개수가 늘어나는 문제도 동시에 가지고 있다.



(a) 운반가능한 크기로 제작



(b) 현장에서 연결된 거더



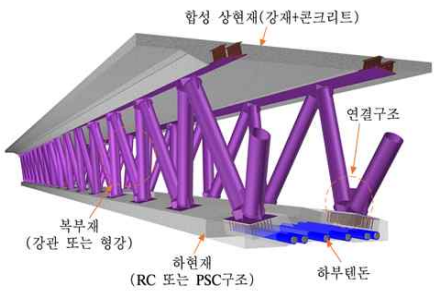
(c) 5개의 프리캐스트부재와 4개의 연결부재로 구성된 거더

[그림 2.18] 분절형 PSC I형 거더 (SegBeam)

바. PSC 박스형 거더의 진화

PSC 박스형 거더는 폐합형의 단면으로서 구조적인 안정성이 우수하고, 지간장 대비 경제성도 확보하고 있고, 다양한 가설공법 등 많은 장점을 가지고 있지만 재료의 강성 대비 중량이 무거운 것이 단점이다. 따라서 장경간의 교량에 적용하고 경제성을 확보하기 위하여 PSC 박스형 거더의 자중을 줄이는 노력이 다방면으로 진행되어 왔다.

최근 들어 PSC 박스형 거더의 복부를 강재 트러스나 파형강판 등으로 대체하여 경량화함으로 저형고와 장경간이 가능하도록 하는 공법들이 국내에 소개되었다.





(a) PCT 거더의 개념도　　(b) 가설 중인 파형강판 Web 거더

[그림 2.19] 개량형 PSC 박스형 거더의 종류

[그림 2.19] (a)의 PCT 거더는 PSC 박스 거더의 복부를 강재 트러스로 대체한 개념의 교량이라고 할 수 있다. 상현재로 강재거더를 배치하여 가설단계에서는 상부슬래브 없이 구조계가 형성되도록 계획하여 다양한 가설공법을 적용할 수 있도록 하였다. 복부를 강재 트러스로 대체하여 상부구조 중량을 20% 이상 감소하여 장경간화가 가능하고, 복부 개방구조로 경관성이 우수한 교량형식으로 다양한 가설공법에 적용이 용이한 공법이다. 복부트

러스를 강관으로 계획하여 시공시 용접이 매우 어렵고, 다수의 격점부가 발생하여 품질관리에 많은 주의가 필요한 단점이 있다.

[그림 2.19] (b)의 파형강판 Web 거더는 PSC 박스 거더의 복부를 파형강판으로 대체하여 자중을 감소시킨 공법이다. 중량을 줄임으로써 거더의 고정하중을 줄여 경간 대비 거더 형고를 줄이고 투입되는 가설 장비를 최소화 하였다. 부가적으로 파형강판의 형상에 따른 아코디언 효과로 프리스트레스의 도입 효율을 향상시킬 수 있는 공법이다. 복부재인 파형강판과 상하부슬래브와의 연결부의 강결조건을 확보하는 방법과 신뢰성이 어려운 문제이다.

사. 콘크리트 곡선 거더의 개발

곡선교에 곡선거더를 적용해야 하는 이유는 앞의 [그림 2.6] 직선 및 곡선거더를 이용한 곡선교에서 보듯이 당연하다. 그러나 현실적으로 먼저 제작되는 PSC I형 거더를 곡선으로 제작하는 것은 어려운 일이다.

지금까지는 곡선거더의 경우 비틀림 강성이 큰 사각 폐합단면을 가진 강합성 박스거더 또는 연장이 긴 경우에는 PSC 박스거더를 많이 사용하였다. 경제성을 고려한다면 새로운 곡선교가 가능한 교량형식이 필요하다.

최근 들어 곡선교에 적용할 수 있는 콘크리트 거더에 대한 연구가 수행되어 반경이 큰 곡선교에 대하여 적용 가능한 콘크리트 거더가 개발되었다. [그림 2.20]에는 곡선을 반영할 수 있는 거푸집인 스마트몰드를 이용한 곡선거더형식인데 곡률반경 200m에서 설계된 실적이 있다. 폐합단면의 박스거더 형태로 제작되므로 거더의 중량이 커지는 문제가 있을 것이며, 전 연장을 한번에 제작하므로 일반도로를 통한 운반이 불가능하다. 현장에서 별도의 제작장을 조성하여 현지 생산하는 경우에는 고가의 스마트몰드를 투입하는 장비 대수에 따라 전체 제작기간에 영향을 받는 문제는 개선이 필요할 것으로 판단된다.



[그림 2.20] 프리캐스트 곡선 PSC 박스 거더

4. 국내 특허기술 및 신기술 동향

새로운 교량형식을 개발하고 효율을 높이기 위한 노력들의 결과 교량과 관련한 많은 특허기술들이 출원되었다. 콘크리트교량과 관련한 최근의 특허출원된 기술들은 [표 2.3]과 같고, 많은 기술들이 PSC I형 거더의 개량과 관련한 기술들임을 알 수 있다.

[표 2.3] 콘크리트교량 관련 최근의 특허기술

NO	출원번호	출원일	발명의 명칭
1	KR10-2015-0034982	2015-03-13	PSC거더 라멘교 및 이의 시공방법
2	KR10-2015-0033770	2015-03-11	내측지점부의 강성이 증가된 PSC I형 거더
3	KR10-2014-0062897	2014-05-26	강합성 PSC 파형강판 U거더 단순교 및 연속교
4	KR10-2014-0011530	2014-01-29	세그먼트거더를 이용한 PSC U거더교
5	KR10-2013-0108524	2013-09-10	거더합성용 프리캐스트 콘크리트구조물 이의 시공방법
6	KR10-2013-0099441	2013-08-22	단면이 최적화된 PSC I형 거더 및 이의 설계방법
8	KR10-2013-0068255	2013-06-14	단면 강성이 증가된 프리스트레스트 콘크리트 세그먼트 거더
9	KR10-2013-0019896	2013-02-25	PSC I형 거더
10	KR10-2013-0019018	2013-02-22	정모멘트 구간과 부모멘트 구간의 강성이 증가된 프리스트레스트 콘크리트 거더
12	KR10-2013-0015767	2013-02-14	PSC거더 라멘교 및 이의 시공방법
13	KR10-2013-0010271	2013-01-30	PSC U거더교
14	KR10-2013-0003209	2013-01-11	높이조절이 가능한 PSC거더용 강재거푸집 및 이를 이용한 PSC 거더 제작방법
15	KR10-2012-0149637	2012-12-20	전도방지 및 유지관리가 용이한 PSC I형 거더

[표 2.4]과 [표 2.5]에서는 교량과 관련한 신기술들을 정리하였다. 각각 보호기간이 만료된 기술과 유효한 신기술로 정리하였다.

[표 2.4] 교량 관련 등록된 신기술 (보호기간 만료된 기술)

대분류	중분류	소분류	세분류	신기술 보호기간 만료	
A - 토목	06. 교량	01.교량설계 및 구조	02. 교량설계	271	근사재해석기법에 의한 강상자형교단면설계프로그램
		02.교량상부 구조	02. 바닥판	374	인발성형으로 제작된 3셀 제형 중공단면의 유리섬유 복합소재 프리캐스트 교량 바닥판 설치기술
				405	프리캐스트 콘크리트 바닥판 교량에서 베딩층과 일괄가설 긴장재를 이용한 바닥판 설치기술
				464	조립식 프리캐스트 콘크리트 중공 슬래브 교량 시스템(PPC 교량 시스템)
		04.교량거더	01. 박스거더	143	LCB Support식 종횡이동트러스를 이용한 다열강박스거더의 가설공법
				366	부분 U형 형태로 보강된 I.L.M (P.S.C 박스거더교) 교량 추진코의 설계방법
			03. PSC거더	221	단계적긴장력도입에 의한 PSC I형 거더의 제작기술
				247	장경간교량용DB-TEE거더의 분절제작 및 시공방법
				270	신설연속합성형교량에 있어 주형의 상승하강에 의한 프리스트레싱(Prestressing)도입시공법
				399	고속철도 프리캐스트 PSC 박스거더 교량의 경간 일괄 가설 및 연속화 공법
				524	하로형(Below Type) 엠.에스.에스(M.S.S) 공법 중 3개의 지점 형성 후 2조의 교각 브라켓(Pier Bracket)을 자주식으로 이동 시키는 공법

[표 2.5] 교량 관련 등록된 신기술 (유효신기술)

대분류	중분류	소분류	세분류	신기술 보호기간 만료	
A - 토목	06. 교량	01.교량설계 및 구조	02. 교량설계	672	일체형 강재거푸집을 적용한 RC보강 파형강판 구조물 건설공법
				688	메나지힌지를 이용하고 세미리지드파일과 복합거더를 일체화한 교량 공법
				698	유공강판 보강요소를 활용한 프리플렉스합성형 일체식 단경간 교량건설공법(PIA공법)
		02.교량상부 구조	02. 바닥판	553	고강도 프리캐스트 패널(LB-DECK)과 전용 작업대차를 활용한 교량 바닥판 시공공법
				751	보강리브와 헌치 및 파형 전단연결재를 이용한 교량용 프리캐스트 콘크리트 바닥판 공법(Rib-Deck공법)
		04.교량거더	01. 박스거더	561	WPC(Wide flange Prestressed Concrete) 박스거더 교량공법
			03. PSC거더	582	거더 단부의 상부에 긴장재의 이완과 재긴장이 가능한 정착시스템을 이용한 프리스트레스트 콘크리트 거더 공법
				603	PS강선 및 강봉의 일체긴장시스템을 이용하여 프리스트레스를 도입하는 PSC거더(Bicon거더)의 제작공법
				648	거더 하연을 곡선화한 아치형상의 변단면 PSC-I 거더의 제작기술(APC-빔)
				690	미리 제작된 고강도 콘크리트 접합블록을 접합단부로 사용하는 PSC-I형 분절거더(SegBeam) 제작방법
				752	현장조립식 강재 반력대 및 강선 비부착 기법을 적용한 단부형고 증대형 프리텐션 PSC I형 거더 제작공법

5. 관련기술 연구동향

가. 관련기술 연구동향 1 (대한토목학회지 | 제 58권 10호 | 2010.10)

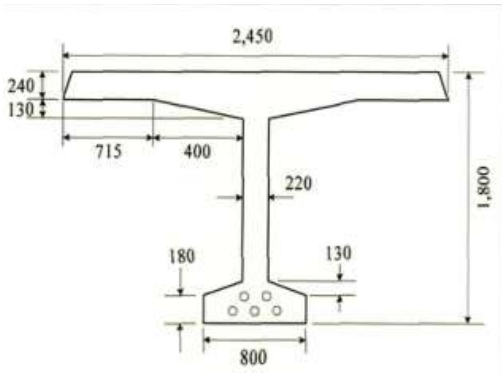
<급속시공이 가능한 PSC T-거더교 소개>

외국사례에 근거하여 DBT 거더(Deck Bulb-Tee Girder)의 설계, 제작, 시공상 특징을 소개 하였으며, 최근 교량의 급속시공을 위해 국내에서 개발한 DBT 거더의 개발과정과 결과를 소개함.

DBT 거더의 상부플랜지폭은 거더 간격과 동일하며, 콘크리트의 설계기준강도는 48 MPa 수준임. PCI DBT 거더는 직경이 12.7mm인 강연선을 사용하여 프리텐셔닝 방법으로 제작하는 것으로 설계되었는데 미국에서는 대부분 프리캐스트 거더를 공장에서 프리텐셔닝 방법으로 제작한 후 현장으로 운반하여 가설함.

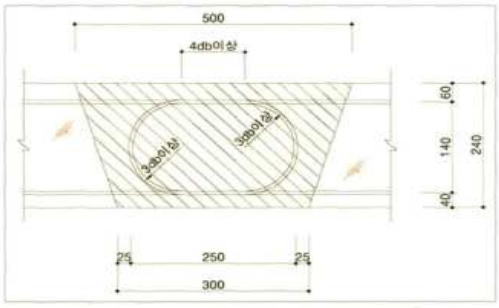
DBT 거더를 적용하여 상부구조를 가설하는 경우, PSC 합성거더교에 비하여 시공기간을 크게 단축할 수 있는 장점도 있으나, 거더 제작오차가 발생하는 경우 가설시 교축직각방향 물매를 맞추기 어렵다는 단점도 있음.

DBT 거더교 시공방법에서는 바닥판 가설공정은 생략되나 거더와 거더를 교축직각방향으로 연결하는 공정이 필요함. 연결하는 공법은 크게 3가지 공법을 적용하고 있으며, 첫 번째 공법은 DBT 거더 거치 후 상부플랜지와 상부플랜지 사이에 현장에서 시공되는 콘크리트 전단키를 형성하는 공법, 둘째는 거더 제작시 상부플랜지에 교축직각방향으로 배근된 주철근을 연장 돌출시킨 후 거더 거치후 이웃한 거더의 상부플랜지에서 연장 돌출된 철근과 겹이음을 실시하는 방법, 셋째는 거더 제작시 상부플랜지 내부에 교축직각방향으로 시스를 배치한 후 거더 거치 후 긴장재를 삽입 연결시켜 교축직각 방향으로 연결하는 방법임.



[그림 2.21] PSC T-거더 횡단면도 (지간장:40m, 단위:mm)

PSC T-거더는 가설 후 교축직각방향 연결을 위하여 현장에서 형성되고 루프형 철근 겹이음을 실시하는 횡방향 연결부를 갖는 것으로 설계함[그림2.22]. 현장 철근 겹이음 방법이 연결효과, 시공성, 경제성 측면에서 가장 우수한 것으로 판단되어 PSC T-거더는 거더 제작시 상부 플랜지 주철근을 연장 돌출시킨 후 거더 거치 후 이웃한 거더의 상부플랜지에서 연장 돌출된 철근과 겹이음을 실시하는 것으로 설계함.



[그림 2.22] PSC T-거더 횡방향 연결부 (단위:mm)

PSC T-거더의 시공단계는 다음과 같이 크게 5단계로 구성됨[그림2.23].

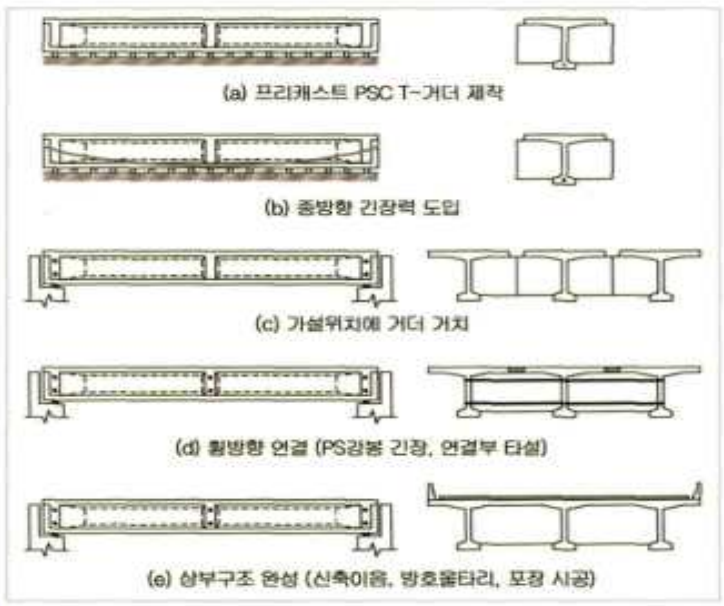
(1) 바닥판이 동시에 형성되는 거더를 제작

(2) 거더에 소요 긴장력을 도입

(3) 거더를 하부구조 위에 거치

(4) 거더, 가로보, 격벽을 교축직각방향으로 연결

(5) 부대공을 시공하여 상부구조공을 완성



[그림 2.23] 시공 단계별 개요도

나. 관련기술 연구동향 2 (한국콘크리트학회 논문집 제 25권 5호 | 2013.10)

<거더형식 프리캐스트 모듈러교량 연속화 지점부에 적용되는 연결 슬래브의 휨성능 및 피로성능 평가>

이 연구에서는 다경간 조건에서 단순교로 설계/제작된 거더형식 프리캐스트 모듈러 교량을 연속화 하는 방법에 대한 연구를 수행함.

이 연구의 대상인 거더형식 프리캐스트 모듈러 교량은 바닥판과 거더가 일체화된 모듈을 공장에서 제작한 후 현장에서 조립하여 단순교로 거치하고 내부지점에서 연속화하는 방법을 적용함.

다. 관련기술 연구동향 3 (한국콘크리트학회지 제23권 3호 | 2011.05)

<조립식 프리캐스트 콘크리트 중공 슬래브 교량 시스템(PPC 교량 시스템)>

프리스트레스트 콘크리트(PSC)의 우수한 내구특성과 구조성능으로 인해 중소지간의 교량에서부터 장대지간의 교량에 이르기까지 PSC교의 가설이 점점 확대되고 있음. 특히 공장에서 미리 만들어 놓은 프리캐스트 PSC 거더를 사용하면 품질관리, 공사기간, 시공성 및 경제성 면에서 더욱 효율적인 이용이 가능함.

가설 후 바닥판의 시공이 필요치 않고 역학적 효율성이 뛰어난 다중·다열 박스거더 형식의 PPC 교량은 현장타설을 최소화하고 낮은 형고비를 갖는 경제성과 시공성이 우수한 조립식 프리캐스트 프리스트레스트 콘크리트 교량형식으로 구조거동과 성능을 이론적 및 실험적으로 검증함.

또한, 실용화를 위한 자동화 설계기법, PPC 거더의 제작기술, 설계·건설·유지관리 기술을 개발함.

중소 경간에서 우수한 시공성과 경제성을 갖는 PPC 교량은 사회간접 자본을 절약하고 국내 교량기술 발전을 위하여 적극적으로 활용되고 발전되어야하는 구조형식으로 사료됨.

라. 관련기술 연구동향 4 (도로교통 | 제 131호 | 2013)

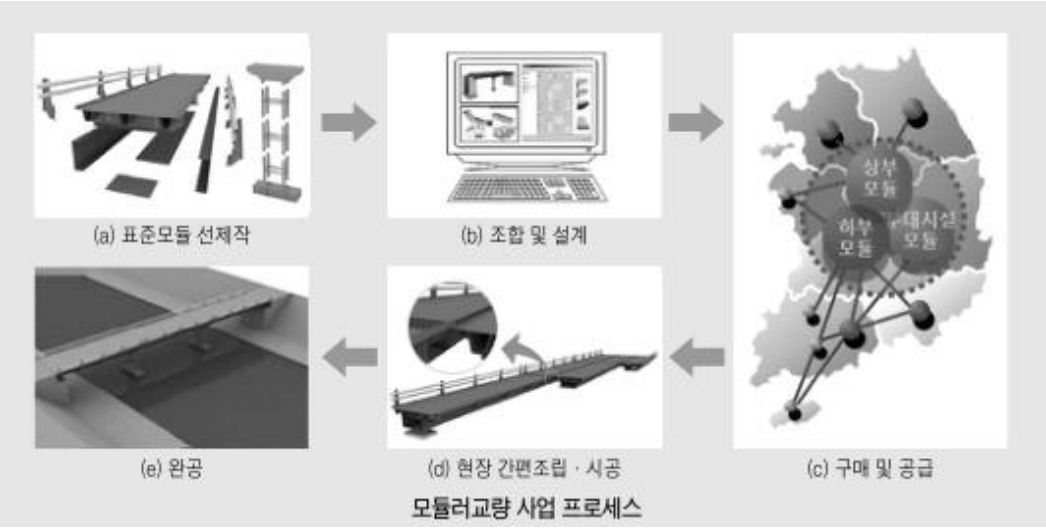
<모듈러 교량 기술 연구동향과 기준화 및 표준화 방향>

모듈러 교량은 최소의 표준화된 교량 모듈을 공장에서 미리 제작한 후 Lego와 같이 조합하여 다양한 현장조건에 따라 폭, 길이 방향으로 확장 및 급속 시공이 가능한 교량시스템을 의미함.

이 교량 시스템은 선 제작된 표준모듈을 조합하여 설계를 수행하고 표준모듈의 구매

공급을 통해 운반된 모듈을 현장에서 간편하게 조립·시공할 수 있는 사업프로세스를 가짐.

최근 R&D에서는 연구성과를 실용화하기 위해 연구성과의 기준화를 중요시하고 있음. 그동안은 논문, 특허, 연구보고서 등이 주된 성과물로 인정되었으나, 설계 및 시공현장에서 그 결과를 적극 활용하기 위해서는 설계기준, 시방서 등 건설공사기준에 적용 근거를 마련하고, 상세 지침 등을 개발하는 것 또한 중요한 성과로 인정되고 있음.



[그림 2.24] 모듈러 교량 사업 프로세스

기술표준화는 제품의 품질수준 향상 및 소비자 보호를 위한 것으로 이미 한국산업표준(KS) 등을 통해 많은 산업분야에서 익숙한 사항으로 볼 수 있음. 그러나 1990년대 이후에 기술무역장벽 해소를 위해 국제표준의 사용이 권장되고, 국내·외 시장의 경계가 축소되었으며, 세계교역량의 80%가 국제표준의 영향을 받고 있음. 선진국은 세계시장 선점과 수익을 극대화하기 위해 연구개발-특허-표준을 연계하는 새로운 시각과 전략으로 기술표준화를 추진하고 있음.

모듈러교량 기술개발 및 실용화 연구단에서는 영구교량에 적용할 수 있는 모듈러교량 기술을 개발하기 위하여 표준모듈 개발, 현장 모듈연결 일체화 기술 개발 뿐만 아니라 설계기준/시방서/발주제도 등 법/제도 개선, 모듈 공급망 구축과 같은 사업화 전략을 통합적으로 검토하고 있음.

특히 도로교량 분야의 국가기준 관리주체인 한국도로교통협회가 위탁연구기관으로 참여하여 도로교 설계기준과 표준시방서의 개정을 통한 국가 기준화를 주도하는 것 뿐만 아니라 제반 기술의 표준화 방안을 함께 추진하고 있음.

마. 관련기술 연구동향 5 (콘크리트학회지 | 제 22권 2호 | 2010.03)

<급속시공을 위한 완전조립식 교량 시스템 개발>

본 공법은 각 부재의 공장제작을 통해 교량의 공용수명을 획기적으로 연장시킬 수 있을 뿐만 아니라 기계화 작업 및 급속시공을 통하여 공사시간을 대폭 단축시킬 수 있고, 급속시공으로 인해 교통통제를 최소화하여 교통체증으로 인한 이산화탄소 발생 저감 및 사회간접손실을 방지할 수 있는 친환경 녹색공법임.



[그림 2.25] 완전조립식 급속시공 교량시스템 개요도

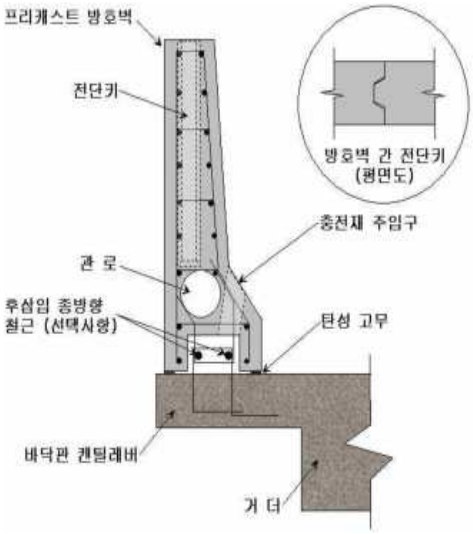
방호벽의 기본 형상은 한국도로공사 표준도에 의거하고 있으나 프리캐스트 부재의 특성상 방호벽-바닥판 간 접합부 및 방호벽 간 접합부가 존재하므로 전체 시스템의 일체성을 확보할 수 있도록 철근 배치 등 접합부 상세를 일부 변형시킴. 방호벽-바닥판 간 접합부는 U형 루프(loop) 철근 및 충전재를 이용하여 일체화시켰으며, 방호벽 간 접합부는 암수 전단키 및 에폭시 도포로 일체화시킴.

프리캐스트 콘크리트 바닥판(DPS)은 공장에서 운반, 가설에 적절한 크기로 분할 제작되기 때문에 현장에서 조립할 때 이음부가 존재하게 됨. 이에 전체 시스템의 일체성을 확보하기 위하여 바닥판간 이음부, 바닥판과 거더의 이음부에 대한 연결시스템을 개발함.

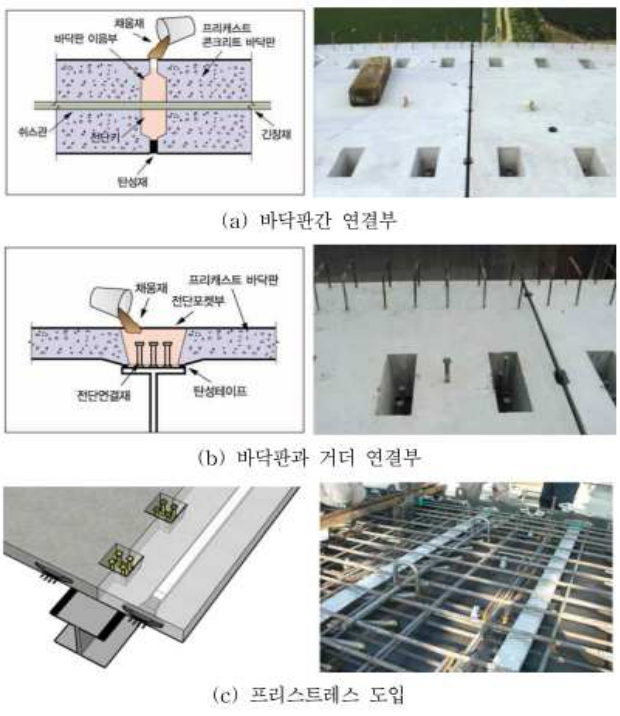
PnP 거더는 프리캐스트 바닥판의 사하중을 이용한 2차 강선 긴장 시스템을 이용하며, 기존 2차 강선 시스템과 달리 프리캐스트 콘크리트 바닥판을 적용함으로써 2차

강선 긴장 시 바닥판과 거더의 비합성 상태에서 긴장하여 현장타설 바닥판과 합성하는 공법보다 10%~15%의 긴장재의 효율성을 높임. 거더의 효율성을 높여 동일 지간 내 거더의 형고를 낮추거나 거더의 개수를 줄여 거더의 경제성을 확보할 수 있음.

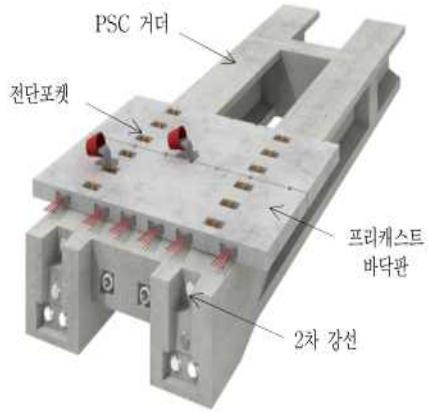
프리캐스트 콘크리트 교각(DPC)는 공장에서 적당한 길이로 제작된 여러 개의 교각 세그먼트를 현장으로 운반하여 적층하고 조립한 후 긴장력을 도입하여 일체화 시키는 공법임.



[그림 2.26]프리캐스트 방호벽 형상



[그림 2.27] 프리캐스트 바닥판 연결시스템



[그림 2.28]PnP 거더 시스템 개요



(a) 시공 전경(좌 : 기둥부 조립, 우 : 코핑부 조립)

(b) 준공 전경

[그림 2.29]프리캐스트 교각의 현장시공

현재 시공 완료된 교량 10개소를 포함하여 시공 중이거나 설계 완료된 교량이 80여개에 이름. 신설교량 뿐만 아니라 노후교량에 대한 교체공사에 적용되었으며, 현장여건에 따라 교량 형식 및 급속시공으로 인한 원가절감이 가능한 기존교량에 대해 설계변경검토가 다수 진행 중에 있음.

2절 해외의 기술동향

콘크리트 교량에 대한 기술은 유럽에서는 2차대전 이후 전후복구 사업에서 경제성이 우수한 콘크리트 교량이 많이 적용되면서 발전이 이루어졌다. 현재 많이 사용되는 프리스트레스 구조도 프랑스의 Eugene Fressynet에 의해 본격적으로 적용되기 시작하는 등 콘크리트의 초기 기술발전은 유럽이 중심이었다.
연구 방향은 국내와 유사하지만 교량분야에서 해외에서 먼저 시작한 연구방향을 규정한다면 첫째는 프리텐션을 이용한 프리캐스트 PSC 공법이고, 둘째는 고강도 콘크리트의 개발 정도일 것이다.
프리캐스트 공법은 부재의 제작 규모 및 제작 위치, 긴장력 도입방법, 교량의 규모, 운반과 관련한 법규와 허용범위 등에 따라 달리 적용되는 특징이 있다.

1. 프리캐스트 부재의 운반 가능한 크기에 따른 공법 변화

미국은 대규모 운반에 대한 제한규정에서 국가사업의 경우 예외적으로 국도를 통한 운반이 허용되므로, 프리캐스트 부재의 규모를 크게 계획한다. 전체 거더를 프리텐션공법을 적용하여 제작한 후 운반하는 공법을 미국에서는 많이 적용한다.

[그림 2.30]에서는 경제성이 우수한 프리텐션 방식의 PSC I형 거더와 바닥판 등을 공장에서 전체 거더를 일괄로 제작하여 현장으로 장거리 운반하는 공법을 나타내었다.



[그림 2.30] 프리텐션공법으로 제작된 PSC I형 거더의 운반 (미국)

그러나 국내에서는 중량물의 운반에 대해 도로법 시행령과 도로교통법 시행령에서 엄격히 규제하고 있어 현실적으로 운반이 매우 어렵고 도로사정에 의해 불가능한 경우도 많다.

따라서 국내에서는 프리텐션 공법을 적용하는 경우에는 현장에서 프리텐션을 도입할

수 있는 대규모 시설을 설치하여야 하므로 대규모 현장에서만 적용이 가능하다.

인천대교의 고가교는 연장이 8.4km에 이르는 대규모 사업이므로 [그림 2.31] (a)에서와 같은 대규모 현장 작업장을 조성하여 긴장을 위한 별도의 시설을 설치하여 생산하여도 경제성을 확보할 수 있었고, [그림 2.31] (b)에서 보듯이 완성된 거더를 일괄로 가설하는 FSLM(Full Span Launching Method)공법으로 가설되었다.



(a) 거더 제작장



(b) FSLM공법

[그림 2.31] 프리텐션공법으로 제작, 운반된 PSC 박스 거더교(인천대교 고가교)

공장에서 제작하는 공법을 적용하면 부재 제작의 효율은 높아질 것이므로 우리나라의 실정에 맞는 프리캐스트 공법의 새로운 방법이 필요하다. 즉 일반도로를 이용한 운반이 가능한 프리캐스트 공법을 적용한 교량공법이 필요하다.

2. 시공단계 조정을 이용한 콘크리트 교량의 경량화

프리캐스트 콘크리트 공법을 적용할 때에도 세그먼트의 운반이나 가설조건을 고려하여 경량화하는 방법에 대한 시도들이 있었다.





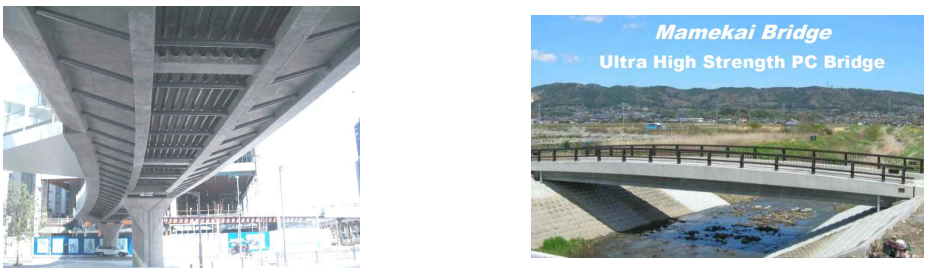
[그림 2.32] Furukawa Viaduct (일본, 2002)

[그림 2.32]의 교량은 일본의 Furukawa 고가교인데, 이 교량은 PSC 박스 거더의 세그먼트를 경량화하기 위해 U타입으로 바꾸고, 리브와 브라켓을 설치하여 가설시 세그먼트의 강성을 키우고, 상부슬래브의 캔틸레버부까지 프리캐스트 반바닥판을 사용할 수 있도록 계획하였다.

3. 고강도 콘크리트를 이용한 교량의 경량화

콘크리트는 재료 자체가 강성에 비하여 중량이 무거운 것이므로 재료적인 측면에서 고강도 콘크리트를 개발하여 콘크리트 교량에 적용하면 경량화 시키는 효과가 있다.

[그림 2.33] (a)의 Akiba Bridge는 건조수축량을 줄인 압축강도 120*MPa*의 "Power Crete"라고 불리는 콘크리트를 적용한 보도교이다. (b)의 Mamekai Bridge는 강편을 이용한 고강도 콘크리트를 이용하여 저형고로 시공된 T형 거더교로 지간장은 26m의 단순교이며 시공후 지속적인 관찰을 통해 성능을 검증하고 있다.



(a) Akiba Bridge (2006) (b) Mamekai Bridge (2006)

[그림 2.33] 일본의 초고강도 콘크리트 교량

우리나라도 최근에 강편(지름 0.2mm, 길이 20mm)을 이용한 초고강도 콘크리트가 개발되어 앞의 [그림 2.8]과 같이 연구용의 시공이 이루어졌다.

4. 복부 부재 개선을 통한 교량의 경량화

구조적인 경량화에 대한 연구도 이루어지고 있으며, 복부를 이용하여 거더 전체의 중량을 감소시키는 추세이다. [그림 2.34] (a)에서는 전단에 저항하는 복부재를 전단력이 작은 구간에서는 원형 구멍을 뚫는 방법을 적용한 교량이다. (b)에서는 PSC 박스 거더의 복부를 X자형 프리캐스트 콘크리트 부재로 대체하는 공법을 적용한 교량이다.

(a)



(b)

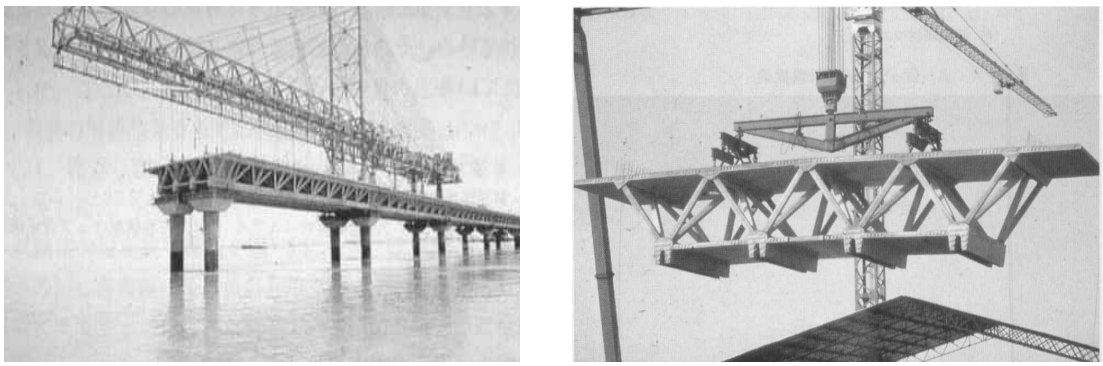


[그림 2.34] 복부 부재 단면 공제를 이용한 교량

이를 보면 구조적인 경량화의 핵심은 복부의 중량을 감소시키는 것에 집중되고 있음을 알 수 있다.

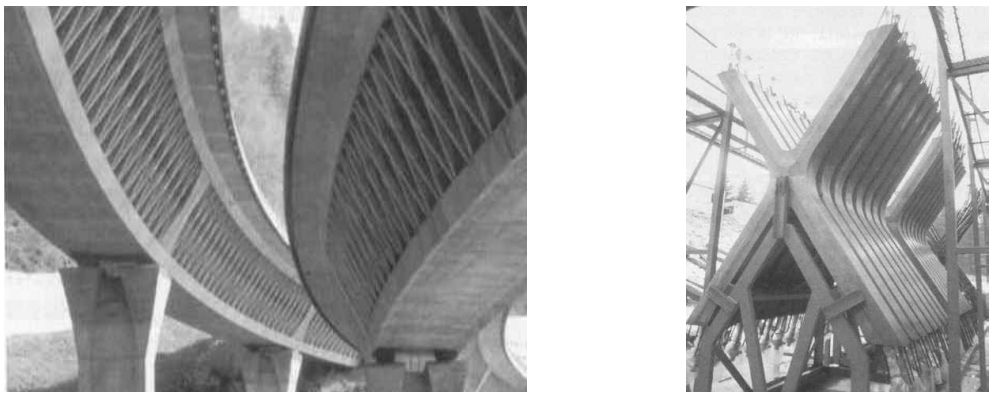
5. 새로운 형식을 도입한 교량의 경량화

최초의 콘크리트 트러스 구조는 [그림 2.35]에 나타낸 1983년에 준공된 쿠웨이트의 Bubiyan교로서 8개의 경사진 삼각형상의 콘크리트 패널과 상하슬래브로 구성되어 있으며, 프리캐스트 세그멘탈 공법에 의해 시공되었다. 경간장은 40m에 연장은 2.4Km의 해상교량이다.



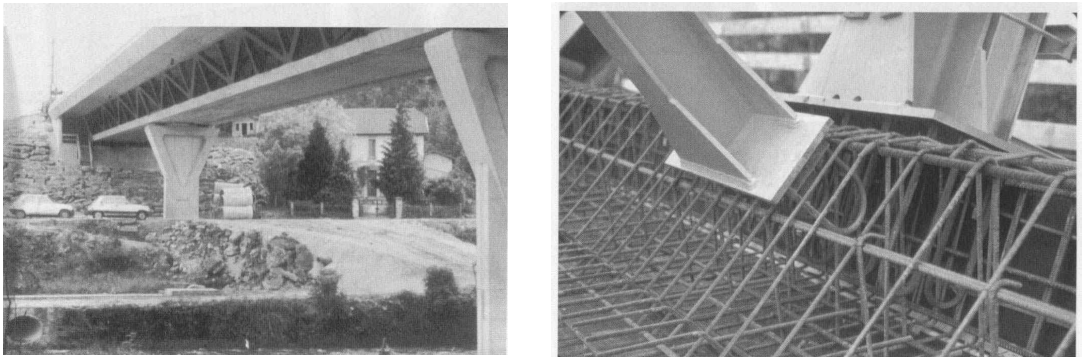
[그림 2.35] 최초의 콘크리트 트러스교인 Bubiyan교 (1983)

[그림 2.36]은 프랑스의 Sylans 고가교(1988)로 복부재로 프리스트레스가 도입된 60MPa의 고강도 콘크리트 X자형 프리캐스트 패널을 사용하여 중량을 감소시키고, 공장에서 제작하여 프리캐스트 세그멘탈 공법을 적용하였다.



[그림 2.36] 프랑스의 Sylans Viaduct (1988)

[그림 2.37]은 최초의 복합트러스교인 프랑스의 Arbois교이다. 상하부슬래브는 RC구조이고, 복부는 H형강을 사용하였으며, External Tendon을 사용한 교량형식이다.



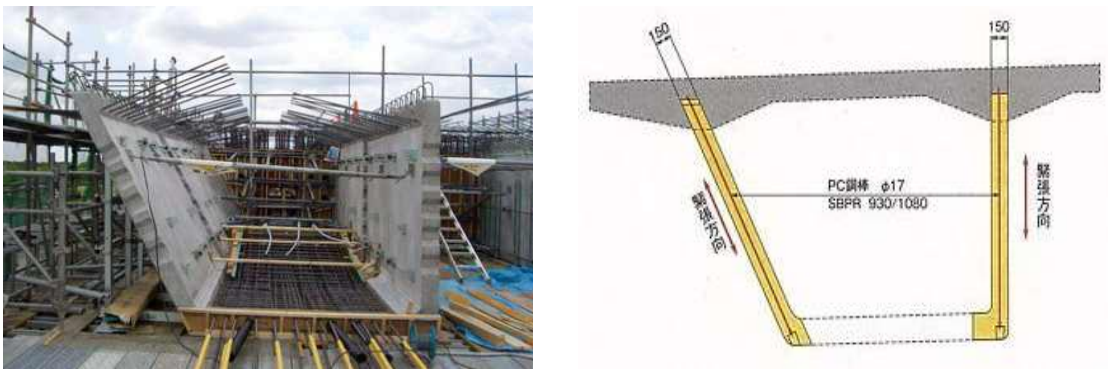
[그림 2.37] 최초의 복합트러스교인 ARbois교 (1984)

2008년 일본에서 프리텐션 복부공법(Pretension Web Construction Method, PPW)을 적용한 Kirigataki교가 건설되었다. [그림 2.38]에서 보듯이 2실 PSC 박스거더에서 중앙부의 복부를 프리텐션을 도입하여 공장에서 제작한 부재를 이용하는 공법으로 시공되었다. 복부에 프리스트레싱 힘을 도입하여 전단강도를 30% 정도 향상함으로써 복부의 두께를 25% 감소하여 거더의 중량을 줄였다. 이 공법은 경량화로 경제성을 증대하고, 프리캐스트의 품질로 내구성을 향상하고, 현장의 작업인원을 감소할 수 있었다.



[그림 2.38]프리텐션 복부를 이용한 Kirigataki교 (일본, 2008)

2009년에 준공된 Nakashinda고가교는 [그림 2.39]에서 보듯이 모든 복부에 프리텐션을 도입한 복부를 사용하였다.



[그림 2.39] Nakashinda Viaduct(일본, 2009)

그리고 2013년에 준공한 Takubogawa교에서는 [그림 2.40]에서 보듯이 복부재의 경사방향으로 프리스트레스를 도입하여 복부재를 나비모양의 패널로 만들어 복부의 전단연결이 없는 형태의 교량을 가설하기도 하였다.



[그림 2.40] Takubogawa Bridge (일본, 2013)

3절 연구개발결과가 관련분야에서 차지하는 위치

1. 개발 기술의 우수성

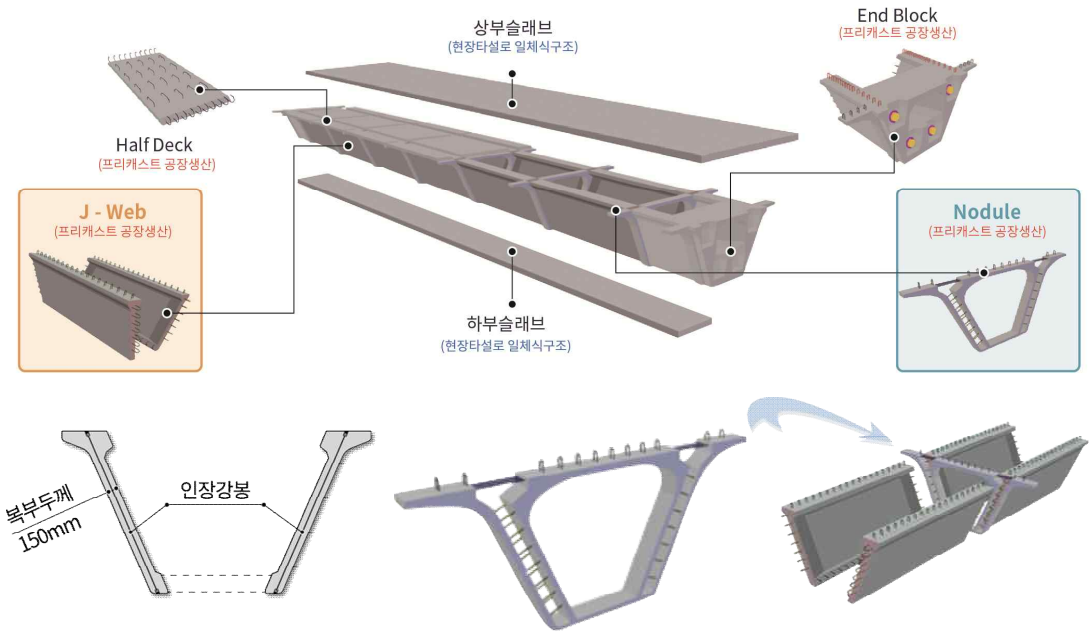
본 연구에서 제안한 기술은 전문화된 공장에서 교량의 주요 부재를 프리캐스트공법으로 정밀 제작하여 현장에서 조립, 설치하는 교량공법에 관한 기술이다.

프리캐스트 부재들은 국내 일반도로 운송 규정에 적합한 규모로 제작, 운반하므로 장경간의 거더에도 프리캐스트 공법을 적용할 수 있게 하였다. 프리캐스트 부재가 많아지면서 개수가 증가하는 연결부의 시공품질을 향상하기 위하여 국내외에서 사용된 적이 없는 연결부재인 노듈(Nodule)을 개발하여 프리텐션 복부 부재(이하 J웹 (J-Web)이라 칭한다.) 의 종방향 철근이 연속되는 습식연결법을 적용하였다.

노듈을 이용한 습식연결시 노듈 내부에서 연결되는 전후구간의 J웹을 경사지게 연결하여 J웹 길이만큼의 짧은 직선으로 구성된 곡선거더를 만들 수 있으며, 노듈구간의 단면이 확대되어 대나무의 마디와 같은 횡방향 보강 기능도 수행할 수 있도록 계획함으로써 구조적 기능성과 경관성을 동시에 확보하였다.

장경간이 될수록 증가하는 고정하중을 저감하기 위하여 국내 최초로 강봉과 PC너트를 이용하여 프리텐션공법으로 긴장력을 도입한 얇은 복부(150mm)를 사용한 다주식 PSC 박스 거더 교량이다.

이러한 기술은 크게 다음과 같은 3가지 부분에서 기술적 우수성을 가지는 것으로 평가된다.

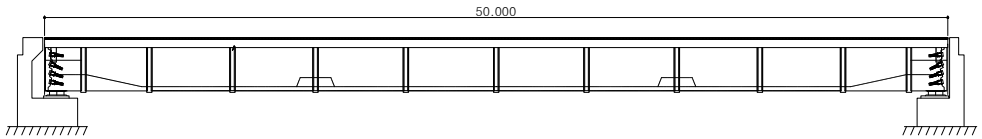
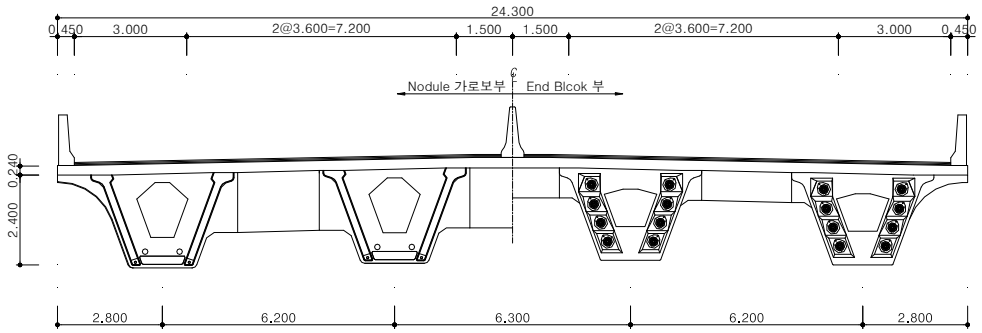


[그림 2.41] 소켓연결 제형거더의 개념도 및 복부부재(J웹)와 연결부재(노듈, Nodule)

가. 경제성

제안기술과 기존의 PSC I형 교량을 경제성 측면에서 제품 경쟁력을 검토하면 다음과 같다.

[표 2.6] 제안공법의 종·횡단면도

구 분	제안공법 거더
종단면	
횡단	

[표 2.7] 고속도로 공용중 교량과 비교값 (L = 50.0m)

구 분		제안공법(4본)	PSC I형 거더(9본)	비 고
거더	콘 크 리 트 (슬래브 포함)	568.750 m^2 (67.4%)	843.240 m^2 (100%)	
	철 근 (슬래브 포함)	97.508 ton (97.17%)	100.422 ton (100%)	
	강 연 선	26.490 ton (67.78%)	39.080 ton (100%)	

제안공법이 기존 PSC I형에 비하여 주요수량이 약 3~32% 감소하였고, 약 10~20% 정도 공사비 절감효과가 나타났으며 각 모듈의 운반에 따른 거리의 변동성 등을 고려하여도 공기 단축 및 현장 제경비 절감 등을 감안하면 추가로 공사비 절감 효과가 있을 것으로 예측됨으로서 경제성 측면에서 제품 경쟁력은 확보될 할 것이다.

나. 시공성 및 공기

일반적인 교량은 모든 공정의 시작과 끝이 현장에서 이루어진다.

하지만 제안공법은 본체를 이루는 부재의 대부분을 공장에서 생산하게 되고 현장에서는 단순조립과 현장 타설에 의한 이음부 연결공정으로 이루어져 [그림 2.42]와 같이 전체 제작공정에 투입되는 노무비의 50%가 공장에 투입되므로 현장에 필요한 인력이 절반으로 줄어들게 된다. 또한 현장에서는 조립 및 연결 등 단순공종으로 작업이 진행되므로 시공성이 현저히 개선됨은 물론이고 단면형상에 따른 거더 개수가 줄어들어 거더 제작에 따른 공기 또한 절감할 수 있는 장점이 있다.

따라서 제안공법이 시공성 및 공기 등에서도 기존 제품에 비하여 경쟁력이 있다고 평가된다.



(a) PSC I형 거더 현장제작



(b) 제안공법 시험 조립

[그림 2.42] 거더 현장 작업

다. 최종제품의 경쟁력

교량형식을 결정하는 인자는 시공성, 경제성, 경관, 구조적안전성 및 현장 여건 등 여러 요인을 종합적으로 검토하여 결정한다.

이러한 요소 중 사업의 성패를 좌우하는 요인은 경제성과 현장여건에 부합되는 요소가 가장 큰 결정요인이며 제안기술과 기존 제품을 비교할 경우 동일한 경간에서 경제성은 최소 20%이상 절감되었고 또한 현장에서 발생되는 문제점인 기상여건, 숙련공부족, 기능공의 고령화 등 문제점들을 개선한 제안기술은 상당한 경쟁력을 가질 수 있을 것으로 판단된다.

제 3 장 연구수행 내용 및 성과

1절 연구수행 전략 및 방법론

1. 연구 수행 전략

본 연구과제는 기존 콘크리트 거더 교량 등이 가지는 문제점과 단점을 극복하기 위하여 전용공장에서 프리캐스트 콘크리트 부재를 운반이 가능한 규격으로 제작한 후 현장으로 운반하고, 이를 조립하여 구조적인 안전성이 뛰어날 뿐 아니라 기존 공법보다 경제성과 시공성이 우수한 교량을 가설할 수 있도록 하는 것이다.

주관 연구기관인 ㈜장헌산업은 PSC I형 거더 최적화와 유지보수단계에서의 안정성까지 고려한 DR거더와 다수의 교량관련 특허 및 신기술을 보유하고 있다. 이에 거더의 설계 시공능력과 프리캐스트 부재의 제작 설비 및 기술을 활용하여 '소켓연결 방식을 이용하는 PSC 제형 거더'(이하 노듈러 거더(Nodular Girder))라는 새로운 형식의 교량 개발을 독자적으로 수행하였으나, 이에 대한 사업화를 위해서는 기업체로써는 힘든 이론적인 검증과 추가적인 연구개발이 필요하게 되었다. 이를 위하여 본 연구과제를 공동연구기관인 충청대학교와 수행하여 해결하고자 하며, 또 다른 공동 연구기관인 한라산업개발(주)를 통하여 건설신기술의 인증과 국내·외 건설시장 진입을 시도하고자 한다. 마지막으로 위탁연구기관인 준성특허법률사무소로 부터 마케팅 계획 및 특허 분석 컨설팅을 받고자 한다.

가. 연구수행체계

연구개발과제	
과제명	소켓연결 방식을 이용하여 급속시공이 가능한 프리스트레스트 콘크리트 제형 거더의 제작 및 시공 기술

총 참 여 연 구 원
주관연구책임자 (김용혁)외22명

기 관 별 참 여 현 황			
구 분	기관수	인원수	총인원수
산 업 계	2	13	23
대 학	1	3	
국공립(연)			
출 연 (연)			
기 타	1	7	

주 관 연 구 기 관	공 동 연 구 기 관	공 동 연 구 기 관	위 탁 연 구 기 관
㈜장헌산업	충청대학교	한라산업개발㈜	준성특허법률사무소
참 여 연 구 원	**참 여 연 구 원**	**참 여 연 구 원**	**참 여 연 구 원**
주관연구책임자 (김용혁)외 9명	공동연구책임자 (최홍식)외 3명	공동연구책임자 (김문호)외 2명	위탁연구책임자 이준성외 6명
책임급 5명, 선임급 4명, 원급 1명	책임급 1명, 선임급 1명, 원급 1명	책임급 1명, 선임급 2명,	책임급 4명, 선임급 2명, 원급 1명
담당연구개발내용	**담당연구개발내용**	**담당연구개발내용**	**담당연구개발내용**
과제명: 소켓연결 방식을 이용하여 급속시공이 가능한 프리스트레스트 콘크리트 제형 거더의 제작 및 시공 기술	과제명: 소켓연결 방식을 이용한 프리스트레스트 콘크리트 제형 거더의 구조성능 실험	과제명: 소켓연결 방식을 이용한 프리스트레스트 콘크리트 제형 거더의 현장 적용성 검증	과제명: 1.국내 실수요처 마케팅 계획 수립 및 지원 2.해외 실수요처 마케팅 수립 및 지원
• 소켓연결 방식 거더 개발 • 거동 해석 및 설계 • 거더 시작품 제작 • 시공 및 관리 지침서 작성	• 요소 부재 성능 평가 • 프리스트레스트 콘크리트 제형 거더의 구조성능 실험	• 현장 제공 및 적용성 검증 • 현장에서의 품질 및 안전관리 • 건설신기술 인증	• 국내 실수요처 마케팅 계획 수립 및 지원 • 해외 실수요처 마케팅 계획 수립 및 지원 • IP포트폴리오 구축 • 경쟁사 특허침해 분석

2. 방법론

일련번호	연구개발내용	세부추진 계획 및 방법	수행기간(월)	해당기관
1	문헌연구	• 충청대는 부재 단위 실험의 최신 실험 기법과 예상 결과를 추정하기 위하여 국내·외 학술 논문을 위주로 문헌 연구를 수행함. • 장헌산업은 국외의 소켓연결방식과 프리캐스트 거더 관련 설계기준을 수집하고 소켓연결방식과 프리캐스트 거더 설계의 최근 이슈를 정리하기 위하여 각종 연구 보고서와 최근 발간된 저서들을 수집함. • 각자 연구한 자료는 연구기관이 서로 공유하며 1회 이상 연구 성과에 대한 세미나 혹은 토론회 개최함.	1	장헌산업 충청대
2	단면 및 공정 최적화	• 전체 구조계 및 단위 부재에 대한 시공성, 안전성 등을 검토하고, 필요한 단위부재 실험 등의 계획, 생산설비 및 제작 공정 등 개발 전 과정에 대한 최적화를 수행함.	6	장헌산업
3	소켓연결방식 연결부 실험 및 복부 부재의 전단 실험	• 충청대가 실험부재 형상. 실험 및 계측 방안을 제시함. • 장헌산업은 충청대 제안에 적합한 실험부재를 검토, 설계함. • 장헌산업이 설계된 실험부재를 제작함. • 충청대가 실험을 주관하고 실험 종료 후 계측 결과에 대한 분석 자료와 최적화 방안에 대한 의견을 장헌산업에 제출함. • 충청대는 원활한 실험연구를 수행할 수 있도록 실험실과 기자재 등을 제공함.	3	장헌산업 충청대
4	설비 구축	• 장헌산업은 당진 소재 자사 공장에서 기존 몰드에 본 과제에서 개발하고자하는 소켓연결방식을 이용한 프리캐스트 거더의 제작에 적합하도록 추가 장치를 고안하여 보완함. • 표준화된 부재에 적합하도록 몰드를 수정하는 과정에서 안전 및 안정성에 대하여는 충청대와 장헌산업이 공동 검토함. • 충청대에서 소켓연결방식을 이용한 프리캐스트 거더에 대한 이론적인 지식과 실험에 대한 경험을 바탕으로 거더의 구조적 거동과 아이디어를 제안하면 장헌산업에서는 몰드를 제안에 맞게 수정하고 시공성을 반영하여 수정안을 다시 제의하는 등의 반복 작업을 통하여 몰드를 수정함.	5	장헌산업
5	1차 년도 중간 보고서	• 장헌산업이 주관하여 작성함.	1	장헌산업

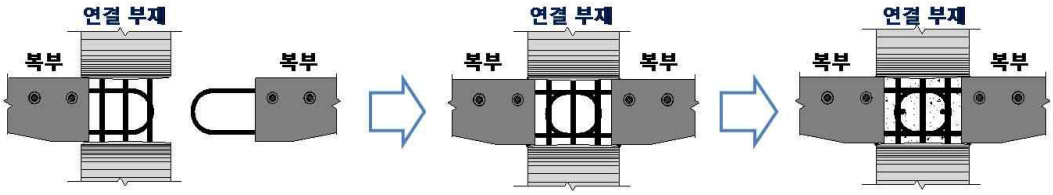
일련번호	연구개발내용	세부추진 계획 및 방법	수행기간(월)	해당기관
6	시작품 제작	• 충청대는 위 3항과 4항의 결과를 반영하여 소켓연결 방식을 이용한 제형 거더의 모형을 고안하고 실험계획을 수립함. • 장헌산업과 한라산업개발은 최적화된 단면과 공정으로 충청대가 제시한 실험계획에 따라 시작품을 제작함.	3	장헌산업 한라산업개발(주)
7	시작품 성능 평가 실험	• 충청대는 위 3항과 4항의 결과를 반영하여 소켓연결 방식을 이용한 제형 거더의 실험부재 제원, 실험 및 계측 방안을 계획함. • 장헌산업은 충청대에서 제시한 실험계획에 따라 거더를 제작 및 가설하며 시공성, 안전성 등을 검토함. • 충청대가 실험을 주관하고 실험 종료 후 계측 결과에 대한 분석 자료와 기술개발을 위한 의견을 장헌산업에 제출함.	2	충청대
8	설계도서 작성	• 장헌산업은 7항까지의 실험 결과를 토대로 제품의 표준도면과 구조계산서, 수량산출서 등을 작성함. • 충청대는 장헌산업이 원활히 설계 도서를 작성할 수 있도록 실험 결과 및 설계도서 작성에 필요한 지식 및 인적 자원을 제공함.	5	장헌산업
9	시공 및 관리 지침서 작성	• 제작 인력의 변동이나 각종 시공 여건의 변화에도 제품의 품질을 일정하게 유지하기 위하여 제조 공정을 표준화하고 이를 기록 문서화하여 특별시방서, 시공관리계획서, 품질관리계획서, 안전관리계획서등을 작성함.	2	장헌산업
10	건설신기술 인증 신청	• 장헌산업과 한라산업개발은 연구개발을 통하여 도출한 기술로 실제 현장에 반영하여 시공함으로 건설 신기술 인증을 신청함.	6	장헌산업 한라산업개발(주)
11	최종 연구 보고서	• 장헌산업은 이상은 연구개발에서 얻은 학술적 기술적 성과를 기재하고 제품 상용화를 위한 향후 계획을 주제로 최종 보고서를 작성함.	1	장헌산업

가. 검증 실험 개요

실험 연구는 크게 단위부재 구조성능실험, 시작품 성능평가 실험, 실 교량 재하실험을 시행하였다. 검증 실험의 최종 목표는 개발 제품의 구조적 안전성을 입증하는데 있다.

단위부재 구조성능실험은 본 연구과제 거더의 특별한 상세부에 대한 거동을 확인하는데 있다. 확인할 상세는 연결부와 프리텐션 복부에 대한 구조 거동이다.

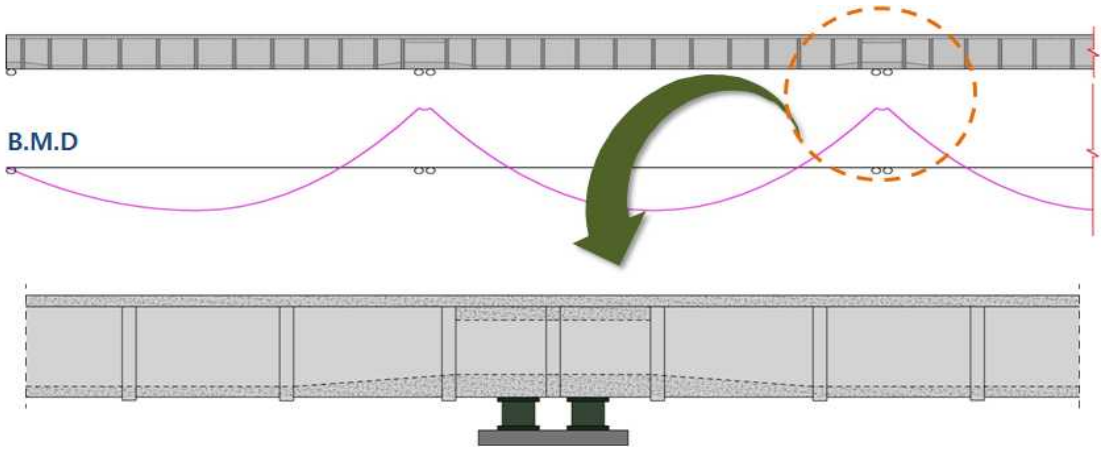
연결부는 [그림 3.1]에서 보듯이 습식연결(wet joint)을 적용하여 종방향의 철근을 루프형으로 연결부로 연장하는 이음을 선택하였다. 실험을 통하여 연결부의 성능을 확인한다.



[그림 3.1] 연결부재를 이용한 습식연결부 : 루프형 철근을 이용한 이음부

프리텐션 복부(J-web)는 완성계의 PSC 박스거더의 종방향 거동에 대해서는 지점부 인근에서 전단력이 지배하는 복부부재이고, 횡방향 거동에 대해서는 상하부슬래브와의 연결부에서 휨모멘트에 저항하는 휨부재로 저항한다. 따라서 프리텐션 복부는 휨거동과 전단거동을 모두 검토하여야 한다.

소켓연결 제형거더(Nodular Girder)를 연속교에 적용할 때 [그림 3.2]와 같이 연속 지점부에서 큰 부모멘트가 작용하게 된다. 이 경우 강성이 같은 프리텐션 복부부재(J-web)와 J-web이 연결되는 정모멘트 소켓연결부(이하 Nodule Joint)와 달리 강성이 차이가 매우 큰 End block과 J-web이 연결되는 Nodule Joint에 큰 부모멘트가 작용하게 된다. 따라서 본 실험은 부모멘트가 작용하는 Nodule Joint의 안전성을 실물실험을 통하여 검증하는 것이 목적이다.



[그림 3.2] 소켓연결 제형거더 연속 지점부

교량의 시공이 완료된 이후 개통전에 교량의 건정성을 확인하기 위한 실차량 현장재하실험을 수행하였다. 실제 차량 재하시 교량의 거동을 확인하고 시공된 교량의 구조적 안전성을 검증하였다.

2절 1차 실험 연구 : 단위부재 구조 성능실험

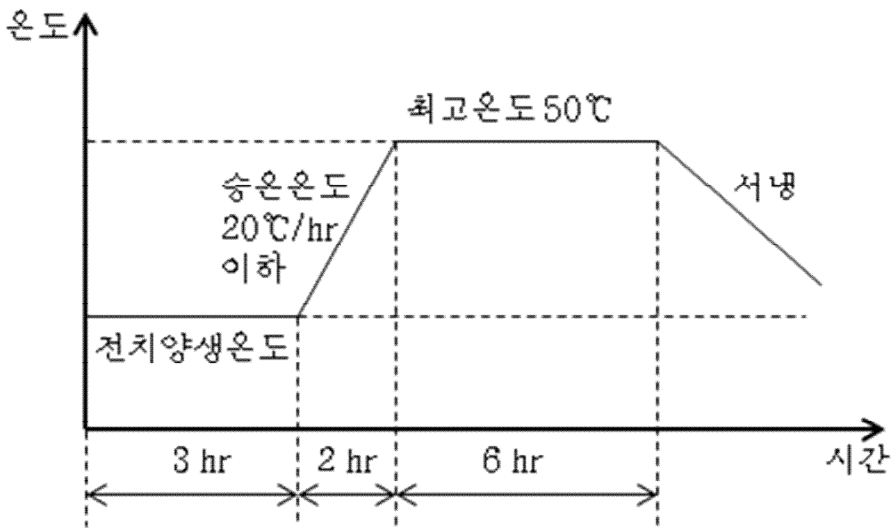
1. 실험 일반사항

가. 실험부재의 제작

실험부재는 충남 당진군에 위치한 본 주관기관의 프리캐스트 공장에서 제작되었으며 $1m^3$ 용량의 배치플랜트에서 제조된 강도 60MPa의 콘크리트로 제작되었다. [그림 3.3]은 타설 후 강도확인을 위해 제작한 콘크리트 시험체이다. 시험체는 타설 후 3시간의 전치 시간을 거친 뒤 [그림 3.4]와 같은 주기로 6시간 증기양생을 실시하였으며 이후 20℃ 상온에서 대기양생을 실시하였다.



[그림 3.3] 강도 확인을 위한 콘크리트 시험체



[그림 3.4] 증기양생 주기

나. 재하 방법

실험은 모든 실험부재에 대하여 4점 재하 방식으로 수행되었다. 하중재하 프레임은 강재 기둥과 보로 이루어진 문형 재하 프레임을 사용하였다. 지점조건은 힌지와 롤러로 구성되었고 가력부는 지름 80mm의 강봉을 고정시켜 재하 하였다. 실험 중 지점부의 이탈을 방지하기 위해 지점을 지점블록에 볼트로 고정하였다.

실험부재의 가력은 2,000kN 용량의 유압식 액추에이터(actuator)를 사용하였으며 1mm/min의 속도로 변위제어 실험을 수행하였다. 데이터의 수집은 정적 데이터로거(data logger)를 통하여 1초에 1번씩 데이터를 수집하였으며 각종 게이지 및 측정 장비를 통해 하중단계별 실험부재의 거동을 기록하였다.

2. 소켓연결 성능의 검증

가. 실험 목적

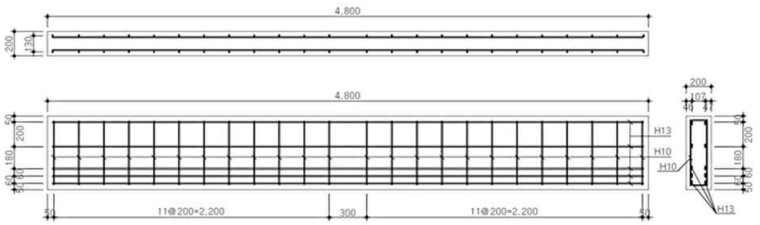
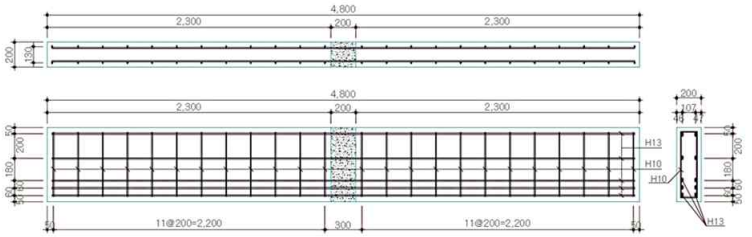
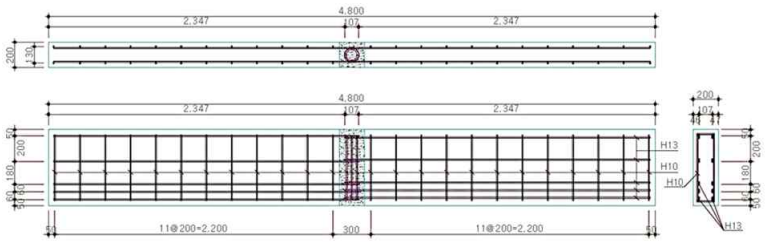
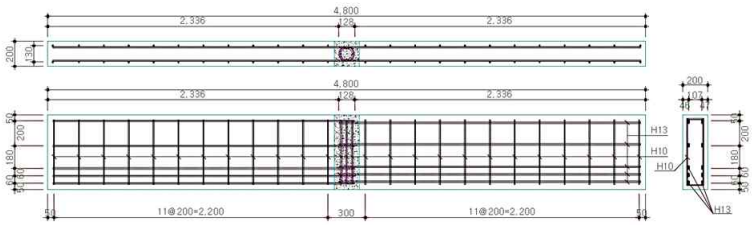
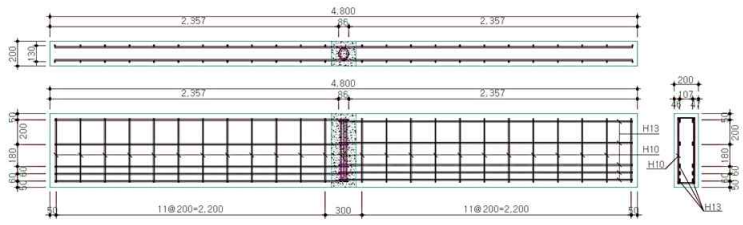
루프형 철근을 이용한 습식연결은 교량 바닥판을 프리캐스트 바닥판으로 시공하는 경우에 일반적으로 적용되는 공법이다. 교량 바닥판의 시공법은 전체 두께의 바닥판을 프리캐스트로 한 번에 제작하여 습식연결하는 공법(Full Deck)과 일부 바닥판은 프리캐스트로 제작하고 일부 바닥판은 현장타설로 적용하는 공법(Half Deck)이 있다. 이러한 부재 연결에 대해서는 많은 실험결과와 적용실적이 이미 있다.

그러나 노듈부재에 의한 J웹의 종방향 연결은 철근이나 연결의 상세는 기존과 동일하지만 작용하는 하중의 방향이 다르게 작용한다. 바닥판에서는 하중의 작용방향이 면외 작용력이지만, J웹에서는 면내 작용력으로 작용한다. 따라서 금번 실험에서는 면내력으로 작용하는 하중에 대하여 연결상세에 따른 연결성능을 확인하고자 한다.

나. 소켓연결 성능 실험부재

소켓연결의 연결성능을 실험하기 위하여 실험부재는 총 5개로 이루어져 있으며 연결부의 유무, 루프이음의 유무, 루프 이음간의 겹이음 길이에 따라 설계 되었다. 실험부재의 첫 균열 거동은 콘크리트 습식 이음이 없는 #1-1 실험부재와 이를 제외한 모든 실험부재가 큰 차이를 보일 수 있으나 종국의 파괴 양상은 전 실험부재가 동등할 것으로 예상된다. 또한 겹이음 길이는 연결부 성능에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 예상된다. [표 3.1]에 소켓연결 성능 실험부재의 형상 및 제원, 철근 배근의 상세 및 특징을 나타내었으며 [그림 3.5]는 이음부를 갖는 실험부재의 습식 접합부 모습이다.

[표 3.1] 소켓연결 성능 실험부재의 상세 및 특징

번호	형상 및 제원	특 징
#1 -1		연결부 없음
#1 -2		루프이음 없음 연결부 있음
#1 -3		철근 루프이음 연결부 길이: 1.0D (D: 루프 지름)
#1 -4		철근 루프이음 연결부 있음 겹이음 길이: 1.2D
#1 -5		철근 루프이음 연결부 있음 겹이음 길이: 0.8D



(a) 연속된 철근을 가지는 습식 접합부

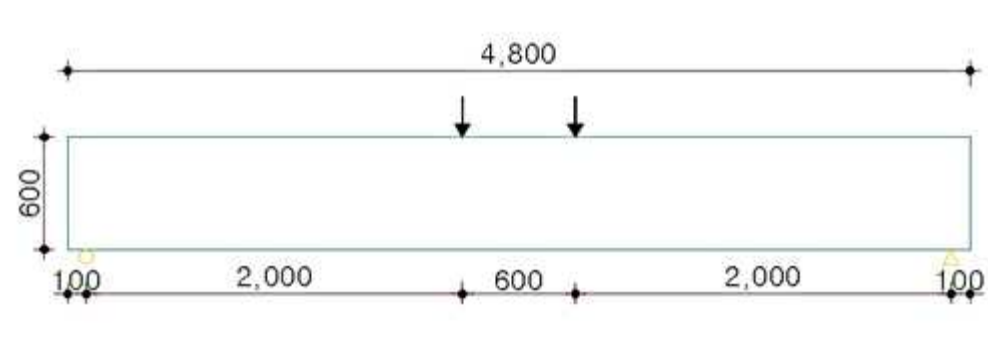


(b) 루프 이음을 이용한 습식 접합부

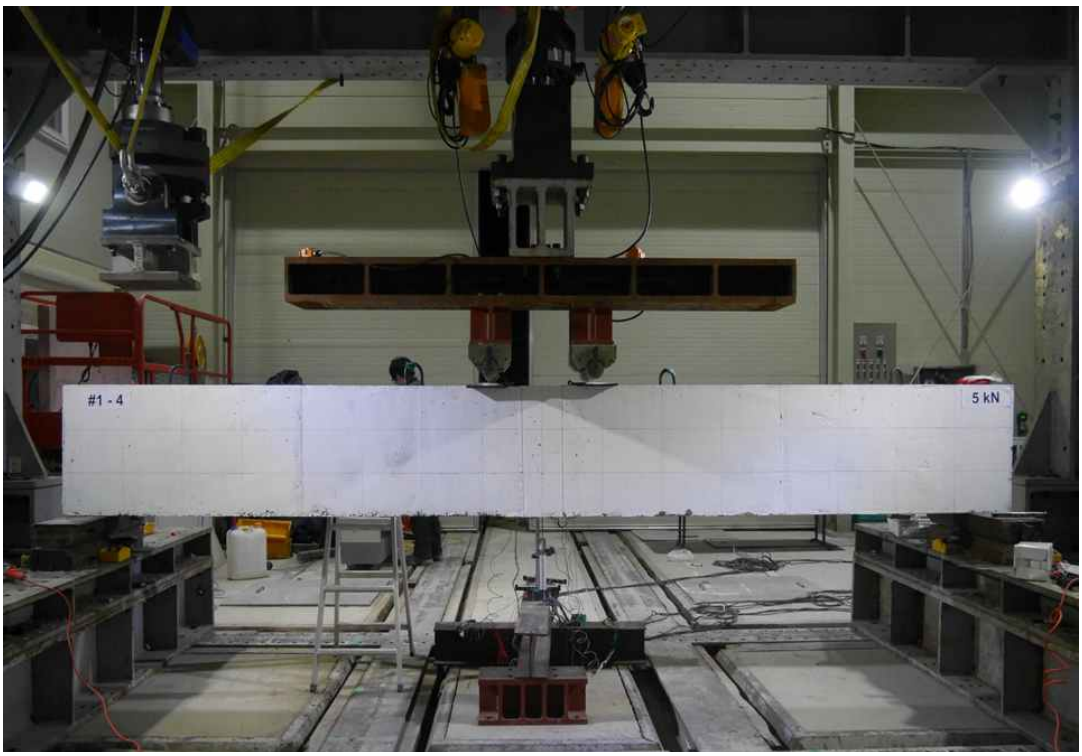
[그림 3.5] 소켓 연결성능 실험부재의 연결부

다. 소켓연결 성능 실험

소켓 연결 성능 실험은 #1-1 ~ #1-5 실험부재에 대하여 각각 실험이 수행되었으며 실험부재의 양끝으로부터 100mm 떨어진 부분에 각각 롤러와 힌지의 지점이 설치되었다. 실험부재의 길이는 총 4,800mm이며 높이 600mm와 폭 200mm를 갖는 직사각형 단면으로 제작 되었다. 가력점 사이의 거리는 600mm로 하였다. 4점 휨 실험을 실시하였으며 [그림 3.6]와 [그림 3.7]에 실험의 개요도와 실험 전경을 나타내었다. 하중의 가력은 변위제어 방식으로 1mm/min의 속도로 재하 되었으며 Post peak 이후 단계적으로 이전 하중 속도의 2배씩, 최고 4mm/min의 속도로 재하하였다. 매 하중이 50kN씩 증가될 때마다 실험부재의 균열 양상 및 변화를 관찰하였다. 또한 실험부재의 중앙부 하단에는 LVDT와 Wire 게이지를 이용하여 각 단계별 실험부재의 변위데이터를 수집하였다.



[그림 3.6] 소켓연결 성능 실험 개요도



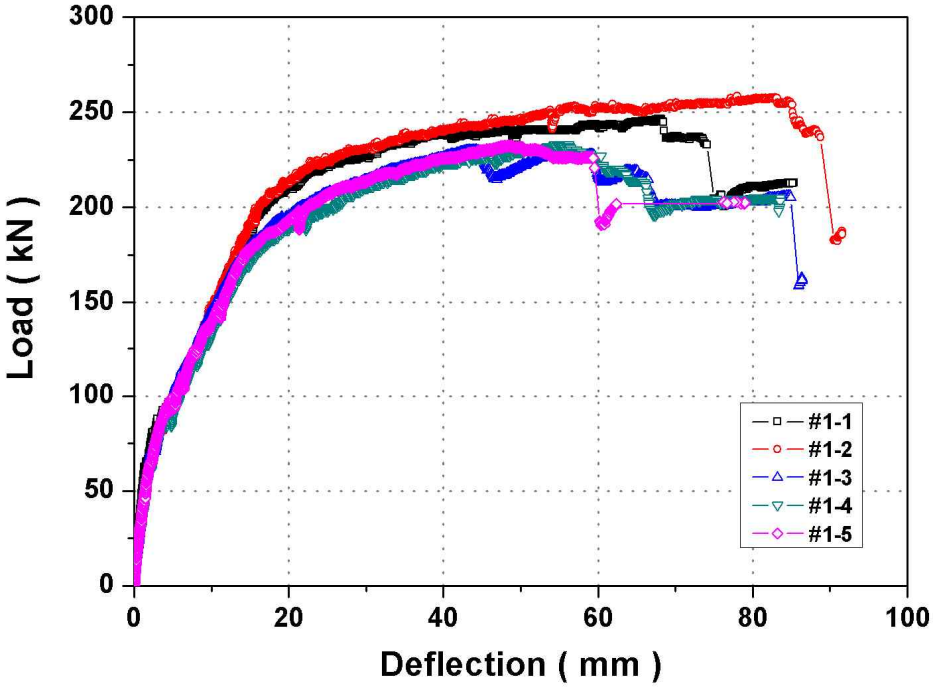
[그림 3.7] 소켓연결 성능 실험 전경

라. 소켓연결 성능 실험 결과

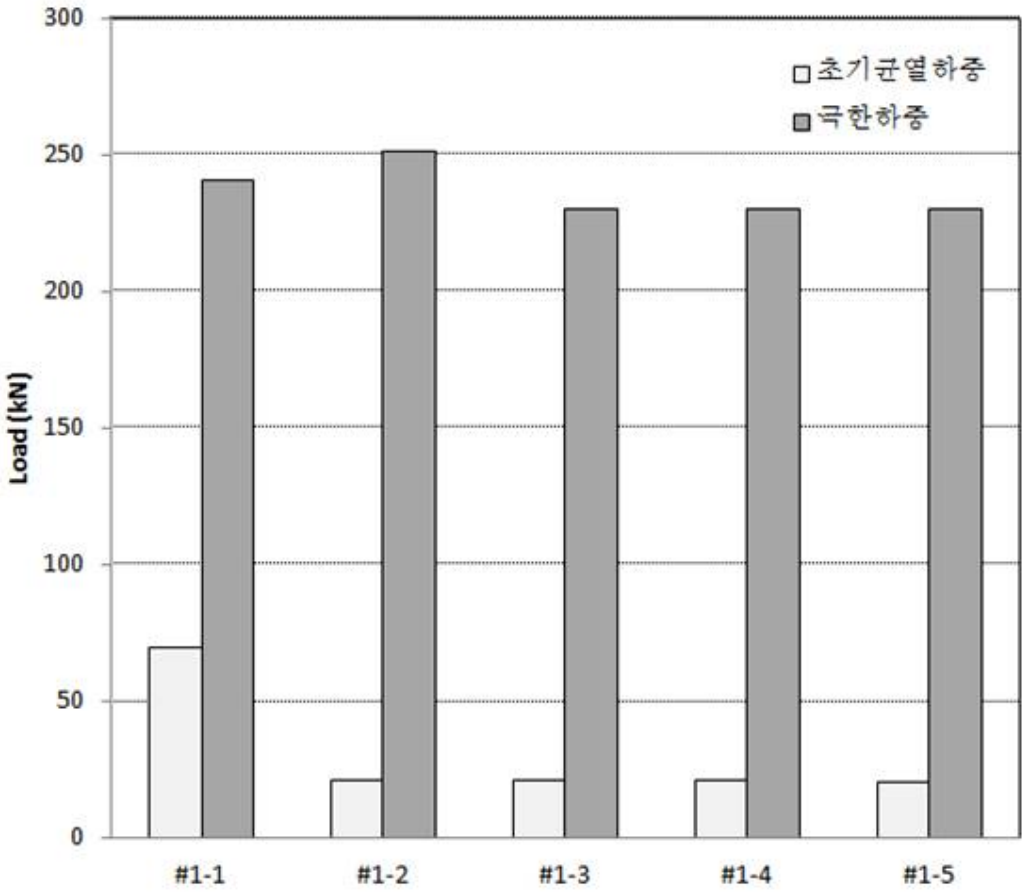
각 실험부재의 파괴 시까지의 실험 결과, 초기균열하중은 콘크리트 습식이음을 실시한 모든 실험부재들이 비슷한 하중에서 시공이음부가 떨어지면서 발생하였으며 일체로 타설한 부재에 비해 낮은 하중에서 발생하였다. 그러나 최대하중은 그 차이가 5% 내외로 미비하여 최대하중 이후의 거동은 큰 차이가 없음을 알 수 있었다. 또한 철근의 이음부 길이를 달리한 각 변수별 결과의 차이가 1% 이하로 나타나 이음부의 길이는 최대하중에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 [표 3.2]과 [그림 3.8]과 [그림 3.9]에 나타내었다. 또한 실험의 수행 중 하중 단계별 균열의 양상 및 시험체의 변화를 [그림 3.10] ~ [그림 3.14]에 나타내었다.

[표 3.2] 소켓연결 성능 실험부재의 초기균열하중 및 극한하중 결과

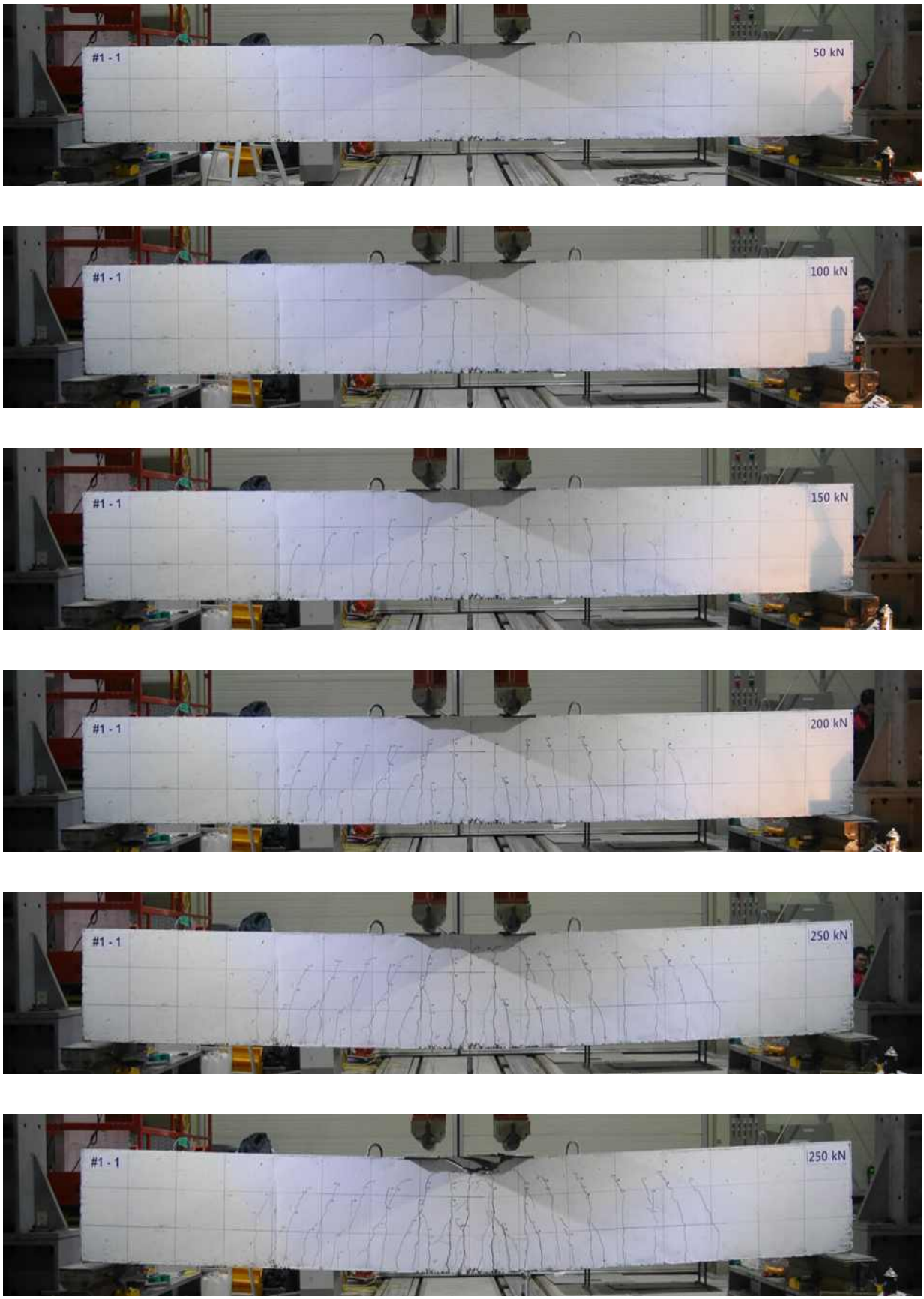
실험부재	초기균열 하중 (kN)	극한 하중 (kN)
#1-1	69.21	240.64
#1-2	21.09	250.84
#1-3	20.85	230.03
#1-4	20.90	230.30
#1-5	20.22	230.25



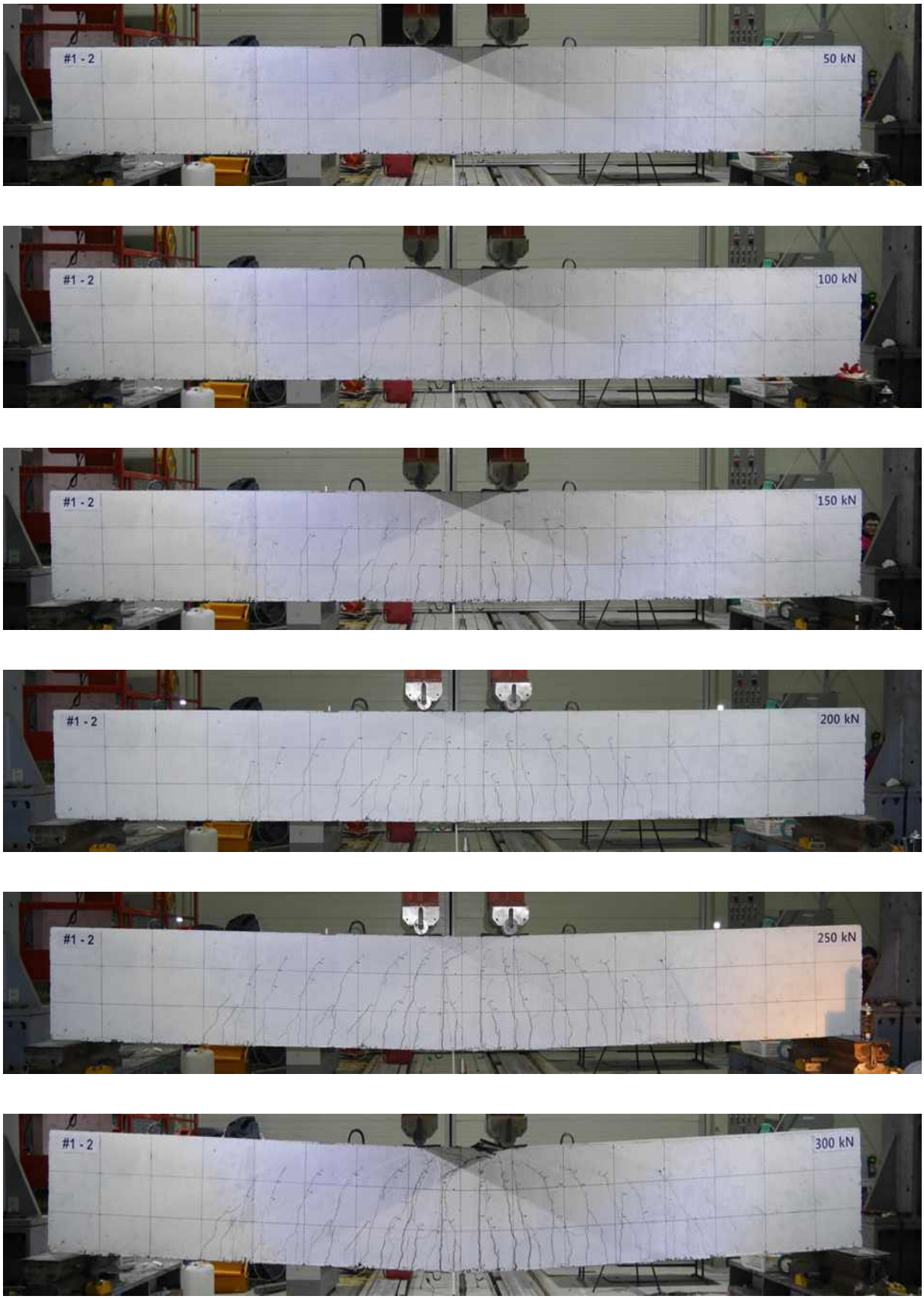
[그림 3.8] 하중 - 변위 곡선의 비교



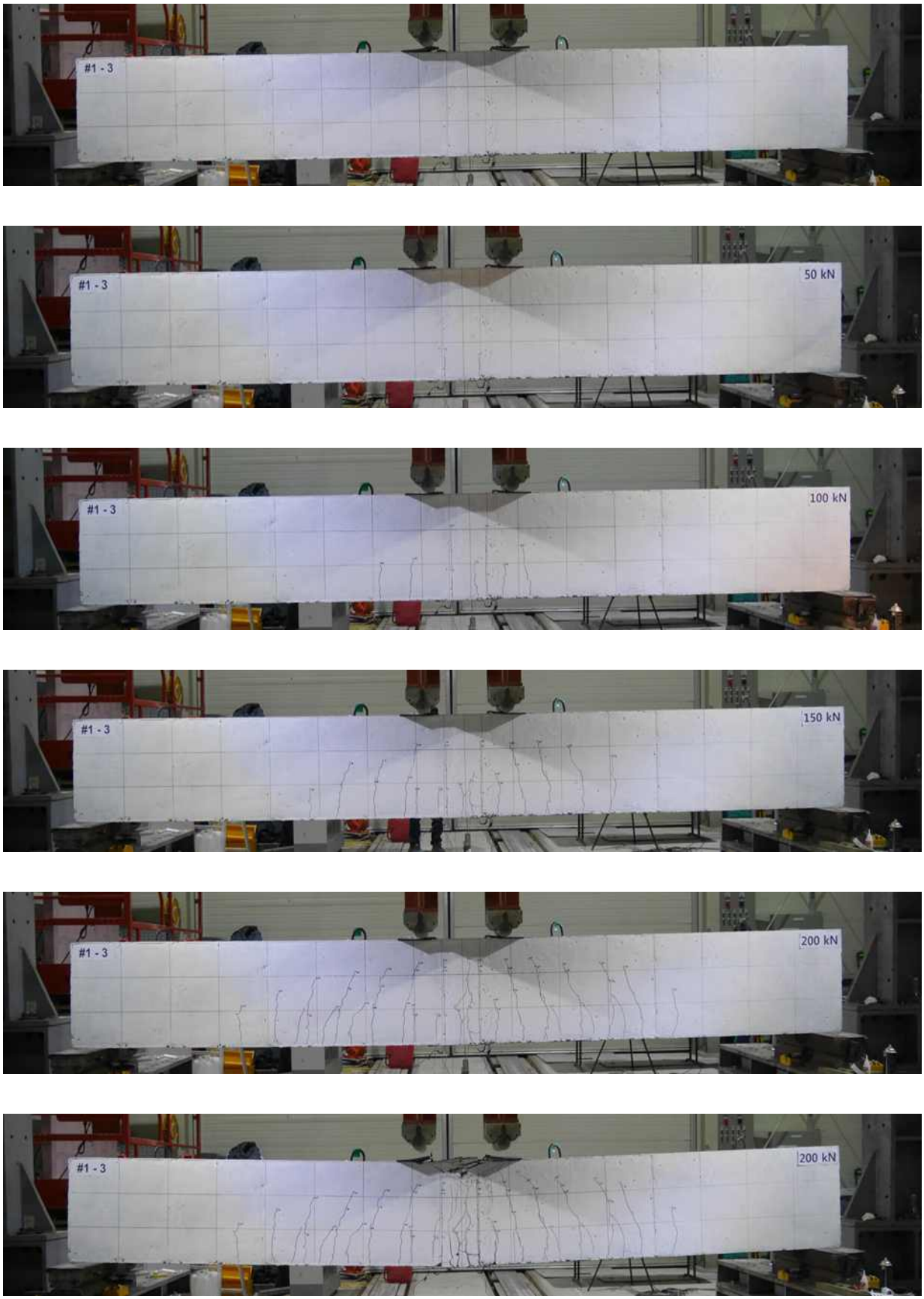
[그림 3.9] 초기 균열하중 및 극한하중



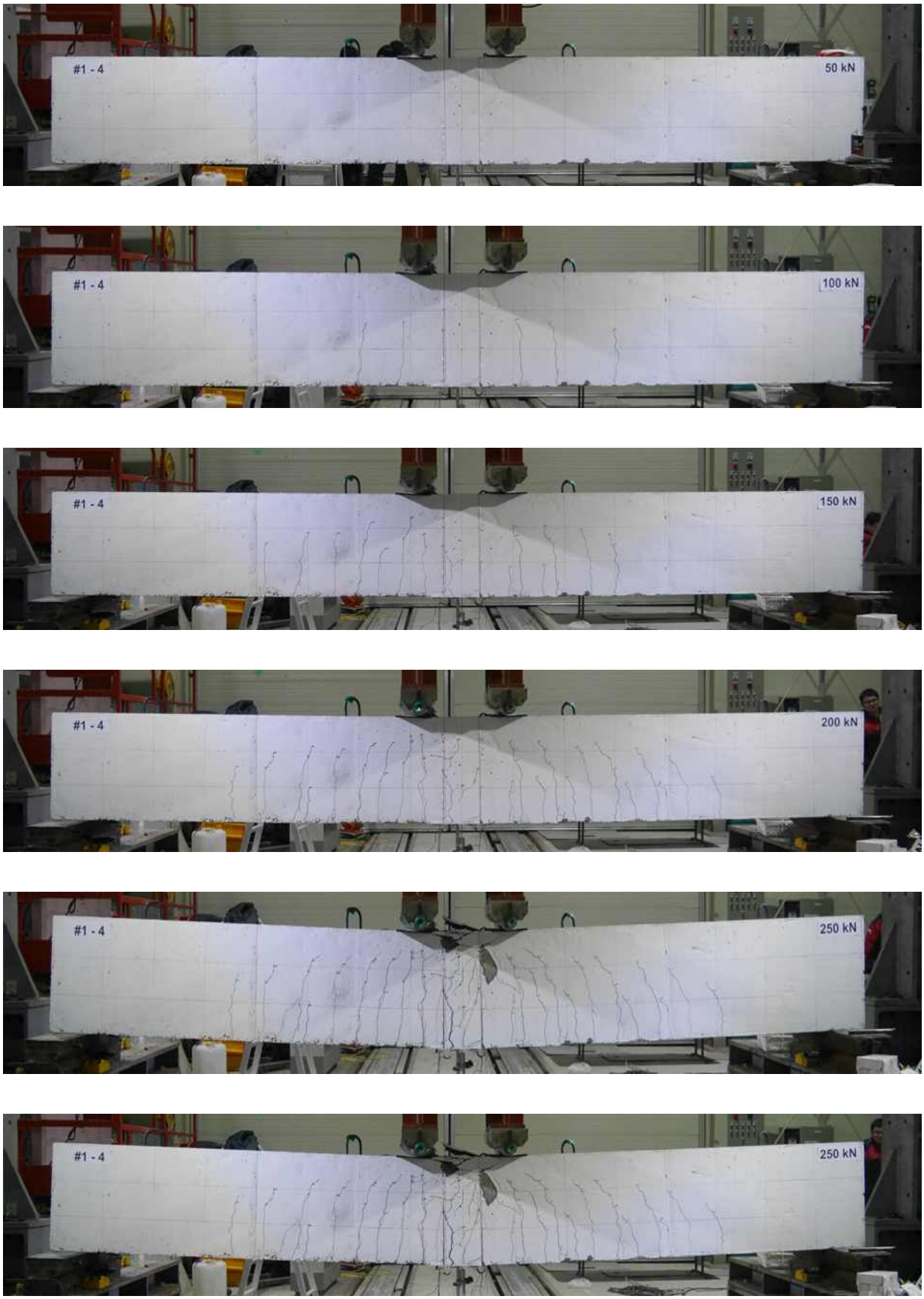
[그림 3.10] 균열 및 파괴양상 (#1-1)



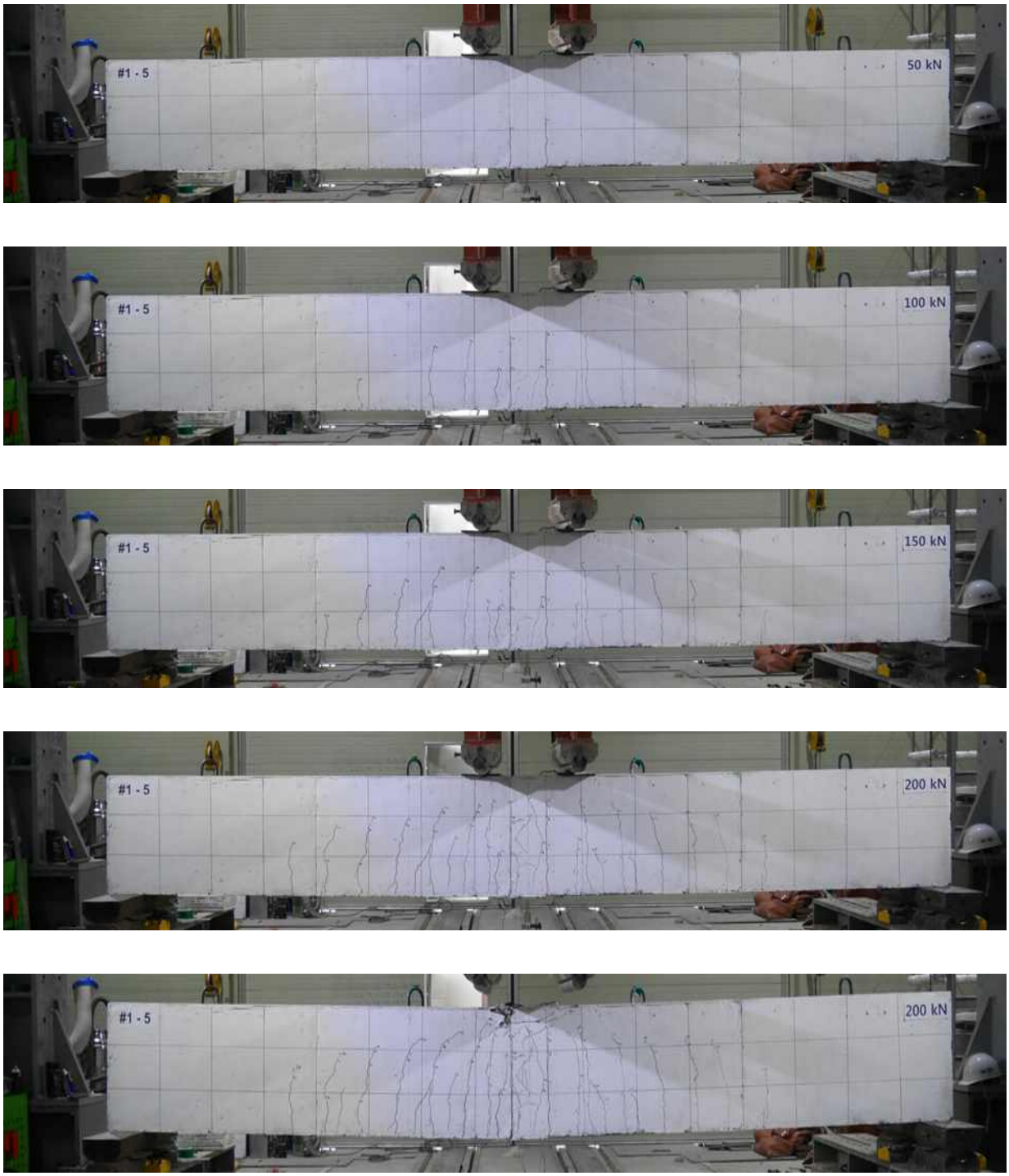
[그림 3.11] 균열 및 파괴양상 (#1-2)



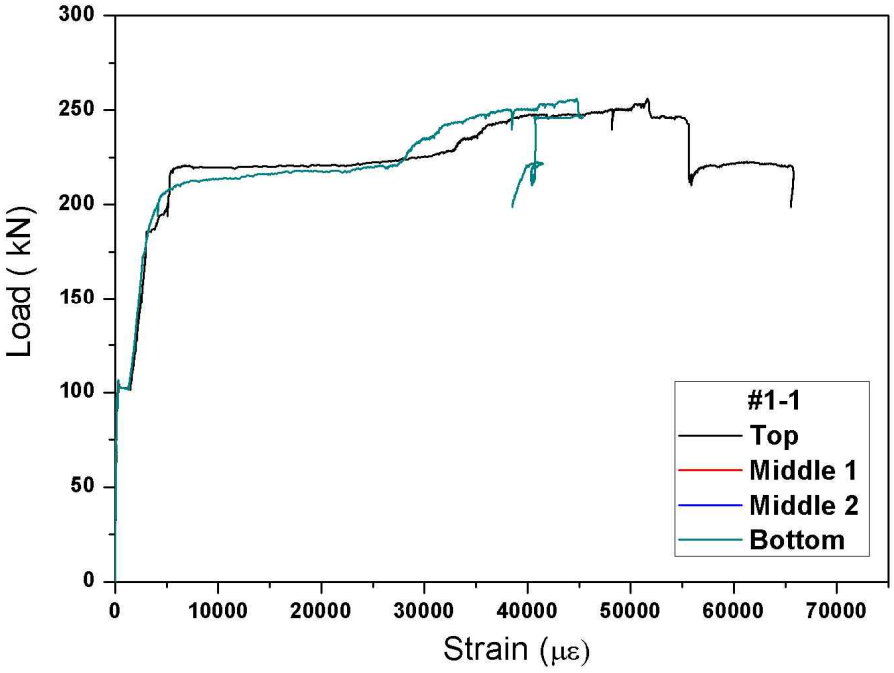
[그림 3.12] 균열 및 파괴양상 (#1-3)



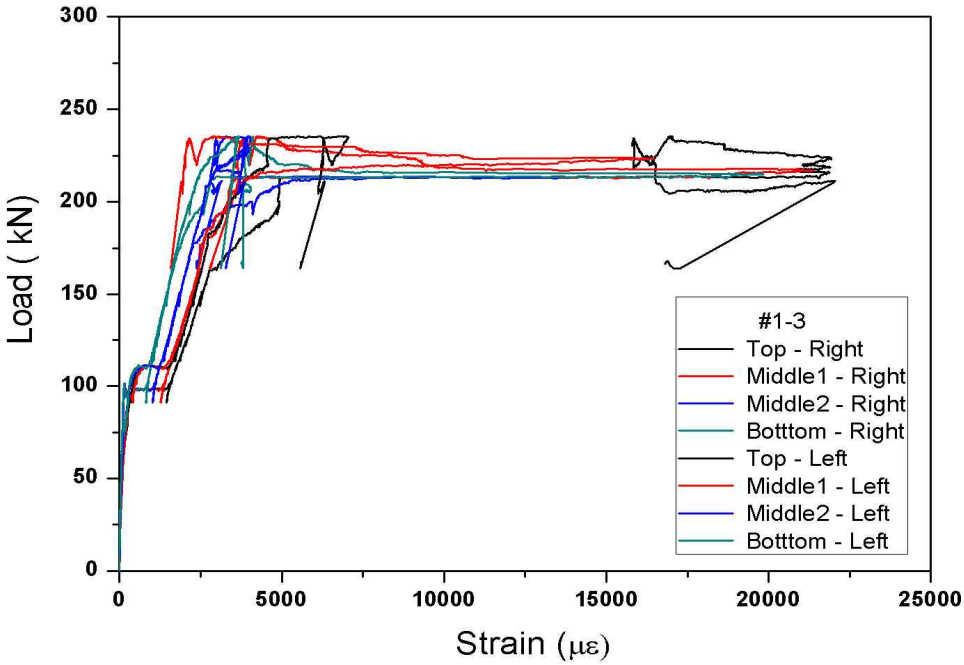
[그림 3.13] 균열 및 파괴양상 (#1-4)



[그림 3.14] 균열 및 파괴양상(#1-5)

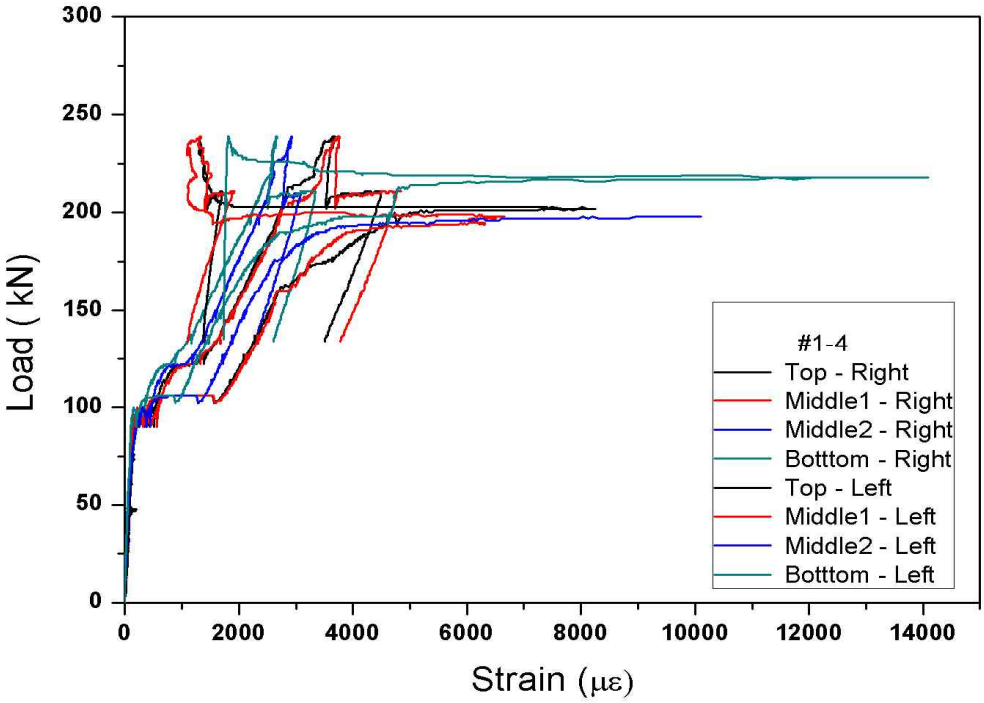


(a) 철근의 하중-변형률 곡선 (#1-1)

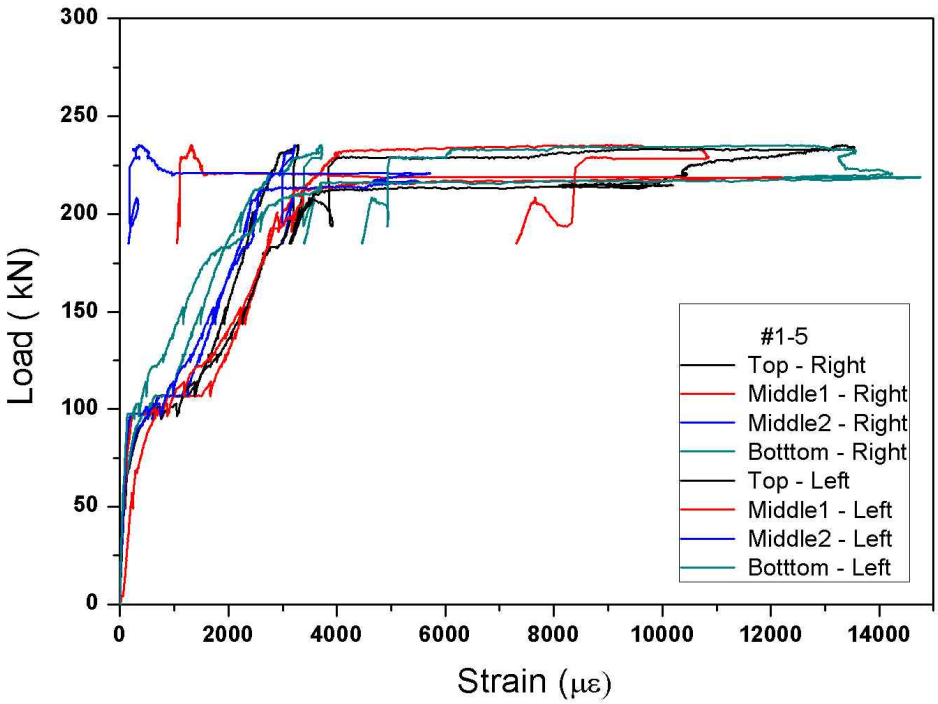


(b) 철근의 하중-변형률 곡선 (#1-3)

[그림 3.15] 철근의 하중 변형률 곡선 (계속)



(c) 철근의 하중-변형률 곡선 (#1-4)



(d) 철근의 하중-변형률 곡선 (#1-5)

[그림 3.15] 철근의 하중 변형률 곡선

3. 복부 전단 실험

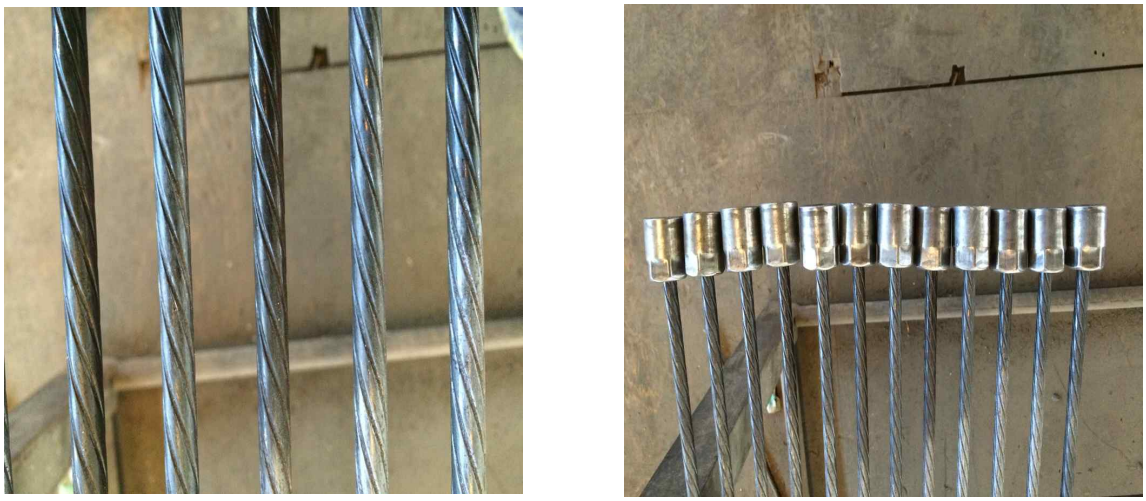
가. 실험 목적

노듈러 거더의 핵심부재인 얇은 프리텐션복부의 전단성능을 검증하기 위한 실험이다. 노듈러거더의 J웹(J-web) 부재는 종방향만 프리스트레스가 도입되는 일반적인 PSC박스거더의 복부와는 달리 연직방향으로도 강봉에 의해 프리스트레스가 도입되는 특징이 있는 얇은 구조부재이다.

연직 프리스트레스의 전단성능을 검증하기 위하여 전단철근으로 보강된 복부와 강봉에 의한 프리스트레스가 도입된 2개의 부재에 대하여 재하실험을 통해 거동을 확인한다.

나. 복부 전단 실험부재

프리스트레스를 도입한 복부 부재의 전단성능에 대한 검증을 위하여 본 실험을 수행하였다. 실험부재는 총 2개로 이루어져 있으며 전단보강재의 종류에 따라 설계되었다. #2-1 실험부재는 전단보강재로 D16 철근을 수직방향으로 배치하였다. #2-2 실험부재는 전단보강재로 [그림 3.16]과 같은 프리스트레스가 도입된 9.2mm 지름의 강봉을 사용하여 수직방향으로 배치하였다. 프리스트레스는 [그림 3.17]와 같은 유압식 실린더를 이용하여 일정하게 도입하였다. 두 실험부재의 거동은 거의 같을 것으로 예상되나 사인장 균열하중은 프리스트레스를 도입한 #2-2 실험부재가 더 클 것으로 예상된다. [표 3.3]는 복부 전단 실험부재의 제원 및 상세 특징들을 나타내었다.



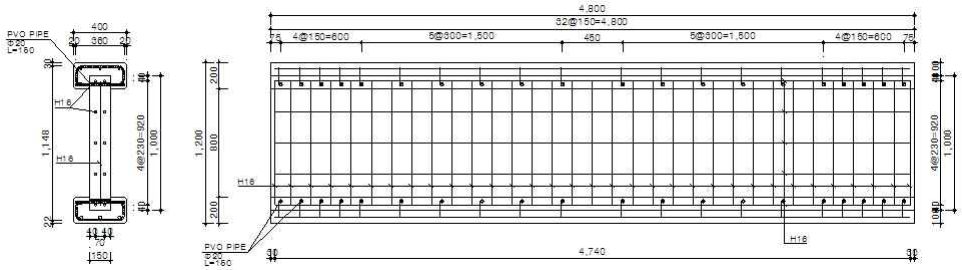
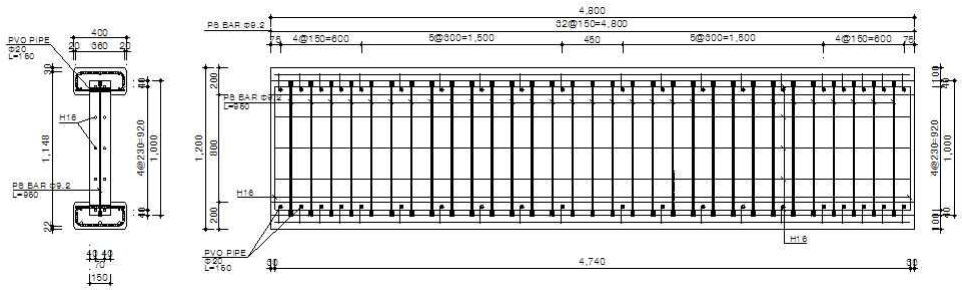
(a) 프리스트레싱 강봉의 긴장부 (b) 프리스트레싱 강봉의 정착구

[그림 3.16] 프리스트레싱 강봉



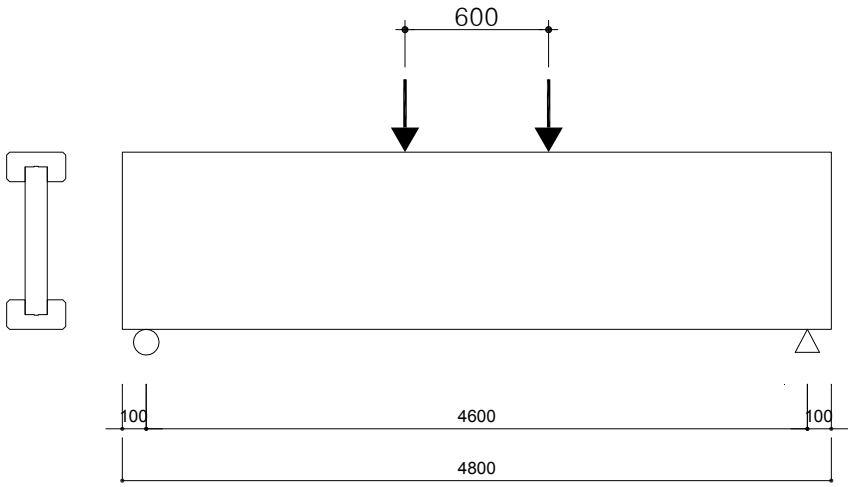
[그림 3.17] 프리스트레스 도입용 유압잭

[표 3.3] 복부전단 실험부재의 철근 상세 및 특징

번호	형상 및 제원
#2-1	 전단보강재로 D16 철근 사용
#2-2	 전단보강재로 9.2mm 강봉으로 프리스트레스 도입

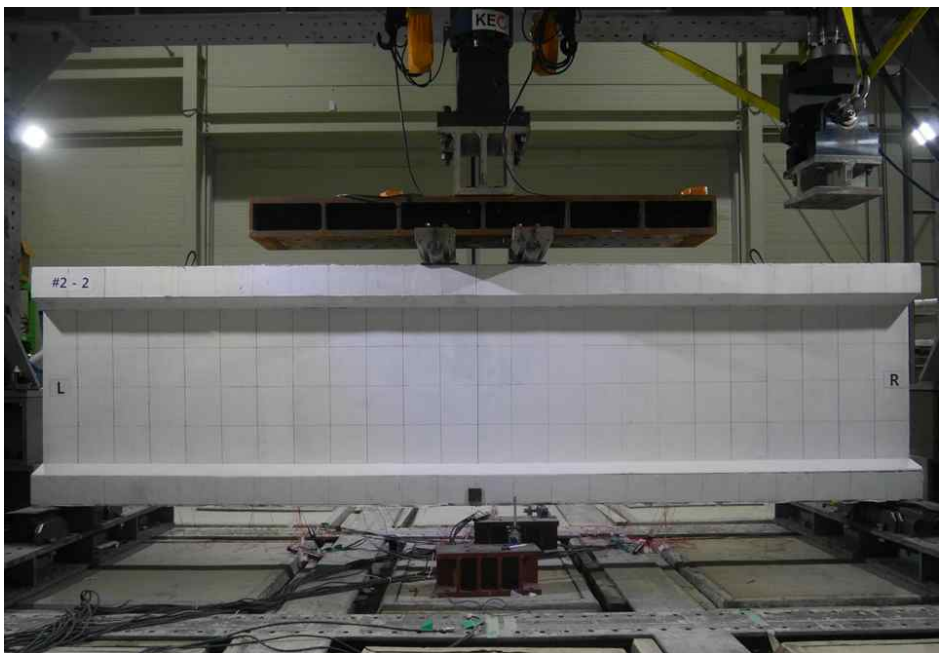
다. 복부전단 실험

복부 전단 실험은 #2-1, #2-2 실험부재에 대하여 각각 실험이 수행되었으며 실험부재의 양끝으로부터 100mm 떨어진 부분에 각각 롤러와 힌지의 지점이 설치되었다. 실험부재의 길이는 총 4,800mm이며 높이 1200mm이다. 실험부재의 단면은 400mm와 150mm의 폭을 갖는 I형 단면이며 가력점 사이의 거리는 600mm로 하였다. 4점 재하 실험을 실시하였으며 [그림 3.18]과 [그림 3.19]에 실험의 개요도와 실험 전경을 나타내었다. 하중의 가력은 변위 제어 방식으로 1mm/min의 속도로 재하 되었으며 Post peak 이후 단계적으로 이전 하중 속도의 2배씩, 최고 4mm/min의 속도로 재하 하였다. 매 하중이 100kN씩 증가될 때마다 실험부재의 균열 양상 및 변화를 관찰하였다.



(a) 실험 제원

[그림 3.18] 복부 전단 실험 개요도 (단위: mm)



[그림 3.19] 복부 전단 실험 전경

라. 복부 전단 실험 결과

본 실험부재들은 강봉으로 연직 프리스트레스를 도입한 복부의 전단균열강도에 대한 보강효과를 검토하고자 휨강도 및 전단강도가 동일한 2개의 부재를 제작하여 실험을 수행하였다. 실험은 실험부재 및 하중재하 조건에 따라 전단지간비(a/d) 1.7의 짧은 보(1<a/d<2.5)로 전단파괴 거동이 예측되었다.

각 실험부재의 거동을 보면 예상한 대로 지간 중앙의 휨에 의한 초기균열이 먼저 발생하였는데 강봉으로 프리스트레스를 도입하여 전단 보강한 #2-2 실험부재와 철근으로 전단 보강한 #2-1 실험부재가 큰 차이를 보이지 않았다.

초기균열 이후 계속된 하중 증가에 따라 지간 중앙에서 지점 방향으로 균열이 확장되었으며 전단력에 의한 사인장 균열이 복부에 발생하였다. 사인장 균열하중의 정확한 측정이 어려워 보 깊이의 중앙부를 사인장 균열이 통과 시점의 하중을 비교하였을 때 #2-1은 520kN, #2-2는 606kN으로 #2-2 실험부재가 #2-1보다 약 17%정도 큰 사인장 균열강도를 보였으며 이는 강봉에 의한 연직 프리스트레스의 영향으로 전단균열강도에 대한 보강을 위하여 복부에 연직프리스트레스를 도입하는 것이 효과가 있는 것으로 판단된다.

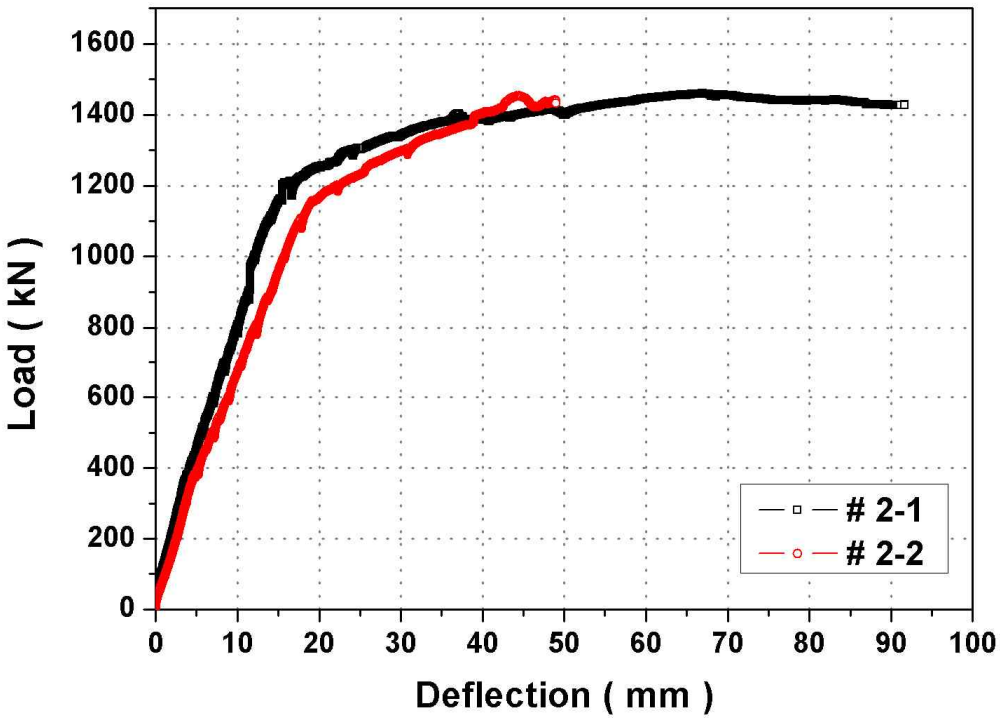
최종적인 파괴는 하중점에서 압축파괴가 발생하면서 종료되었으며 두 실험부재가 약 0.5%의 차이로 예상과 같이 동일한 하중에서 파괴되었다.

[그림 3.20]과 [그림 3.21]에 각 실험부재의 하중단계별 거동 및 균열의 변화를 나타내었다.

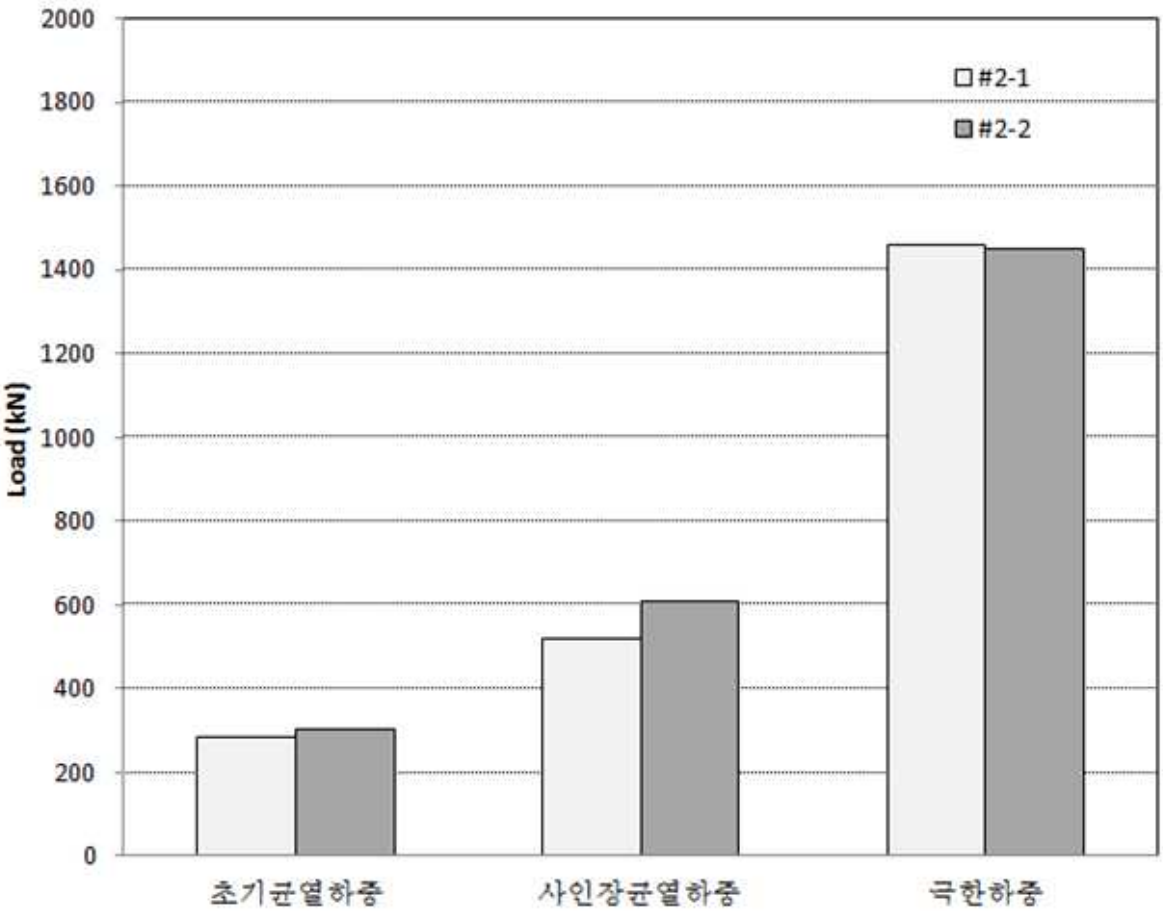
[표 3.4]는 각 실험 부재의 하중값을 나타내었다.

[표 3.4] 복부전단 실험부재의 초기균열하중 및 극한하중 결과

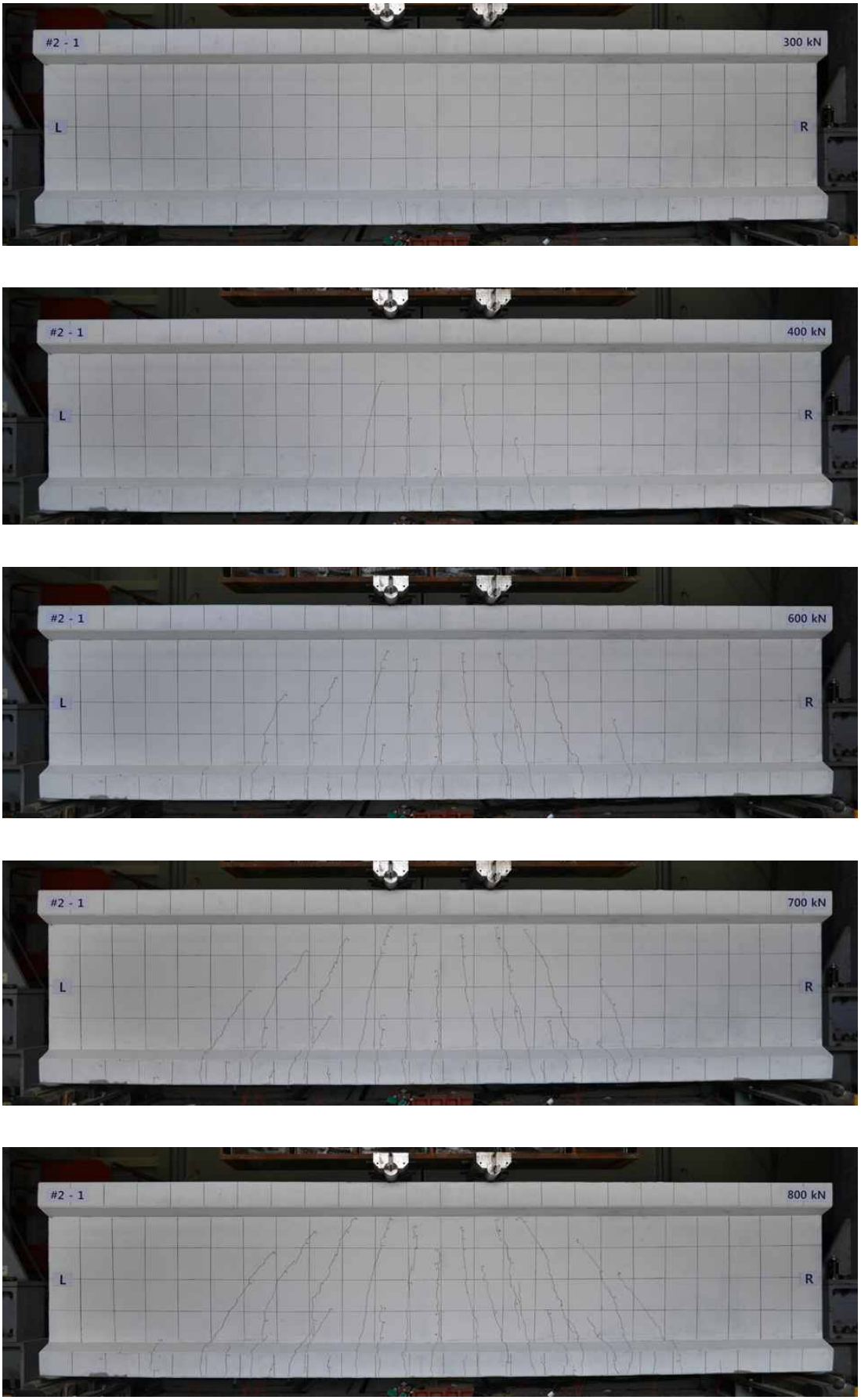
실험부재	초기균열 하중 (kN)	사인장 균열 하중 (kN)	극한 하중 (kN)
#2-1	282.2	520.4	1459.1
#2-2	304.3	606.5	1452.3



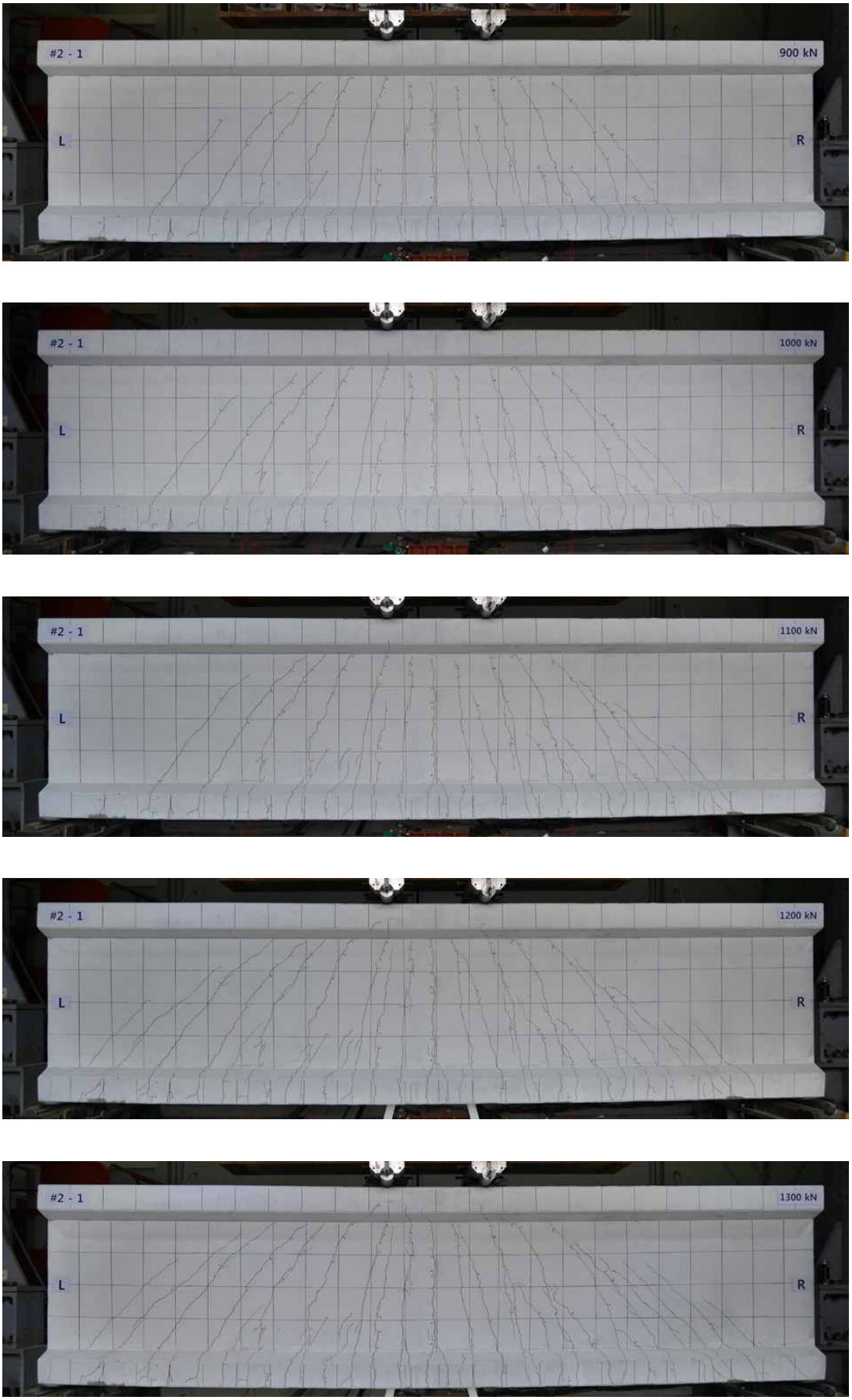
[그림 3.20] 하중-변위 곡선



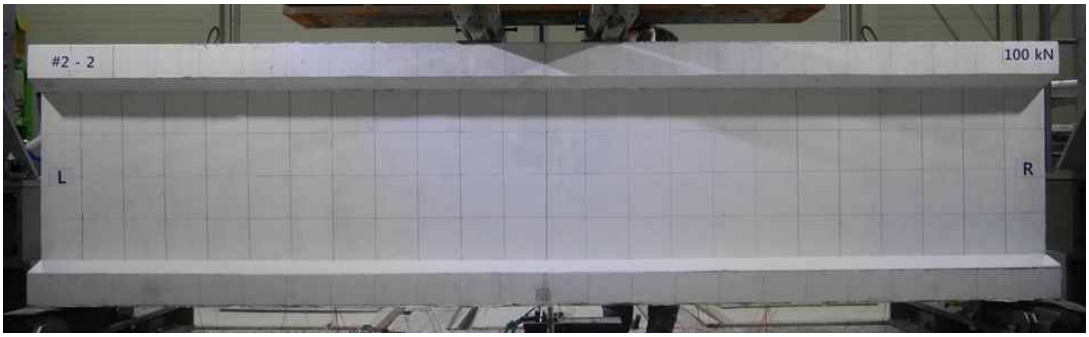
[그림 3.21] 타입별 하중

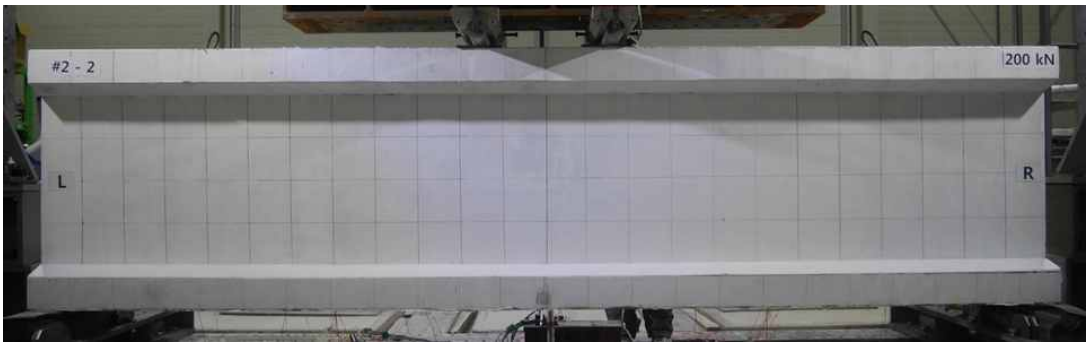


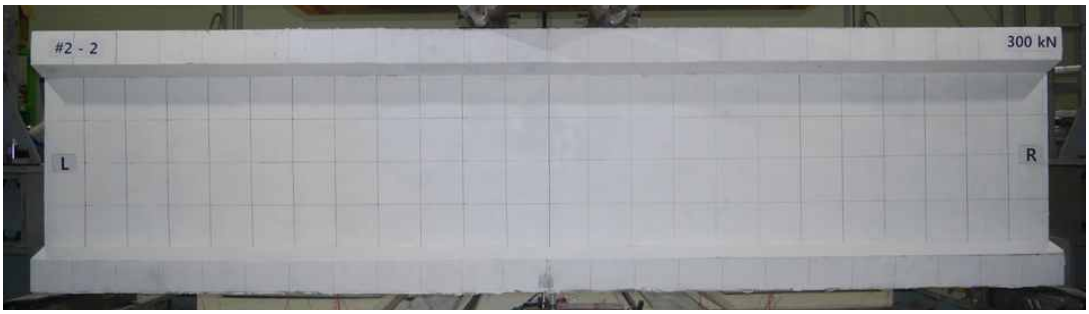
[그림 3.22] 균열 및 파괴양상(#2-1) (계속)

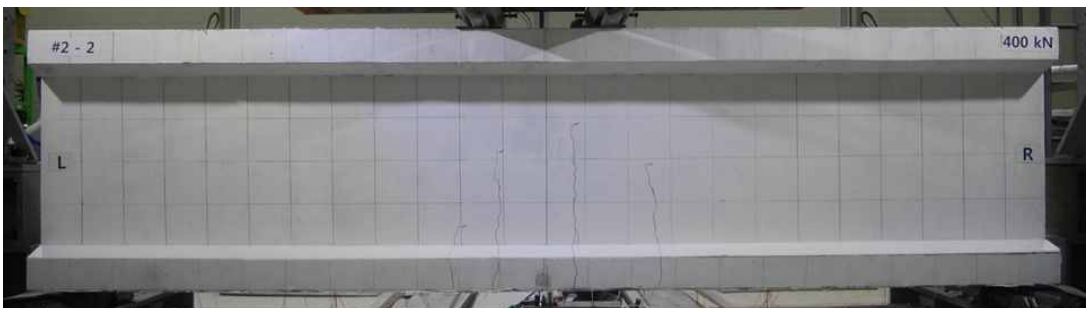


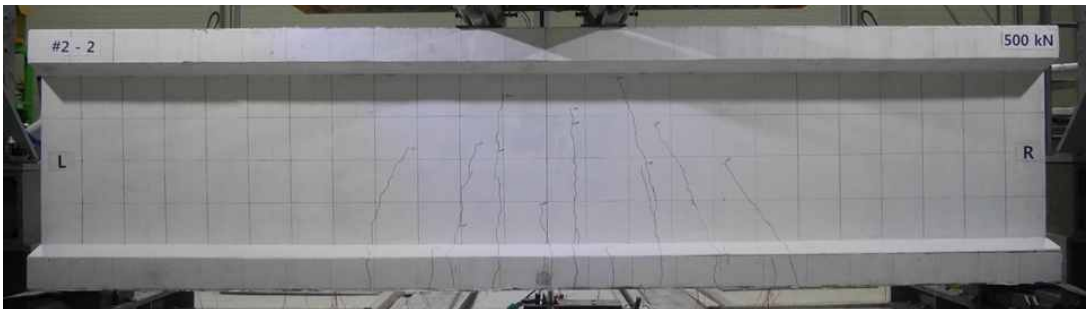
[그림 3.22] 균열 및 파괴양상(#2-1)



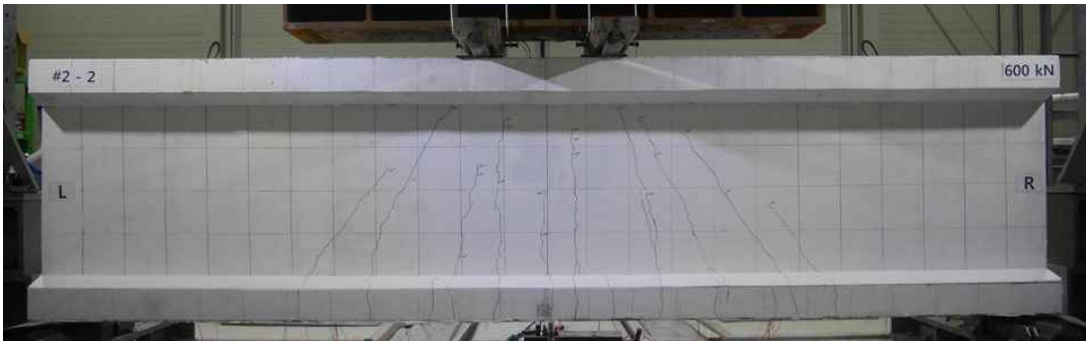


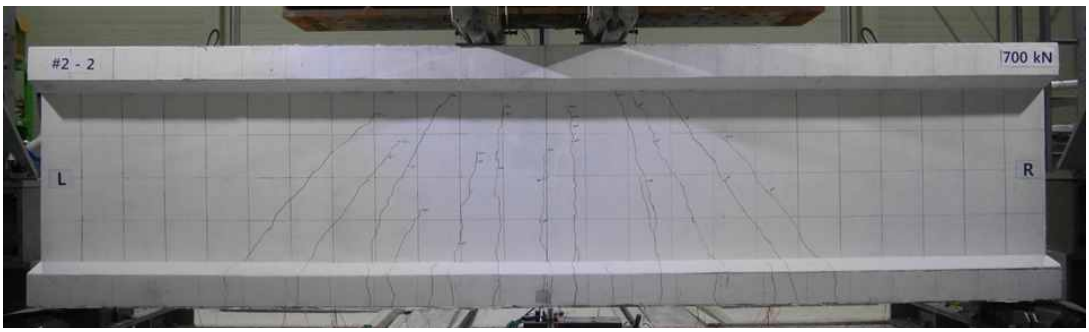


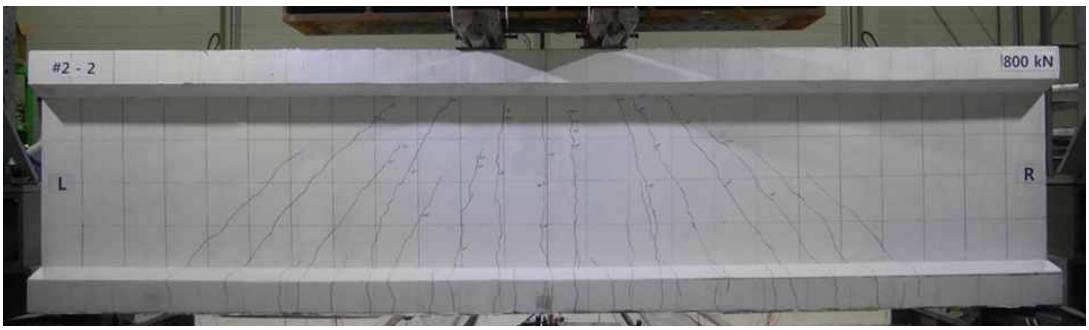


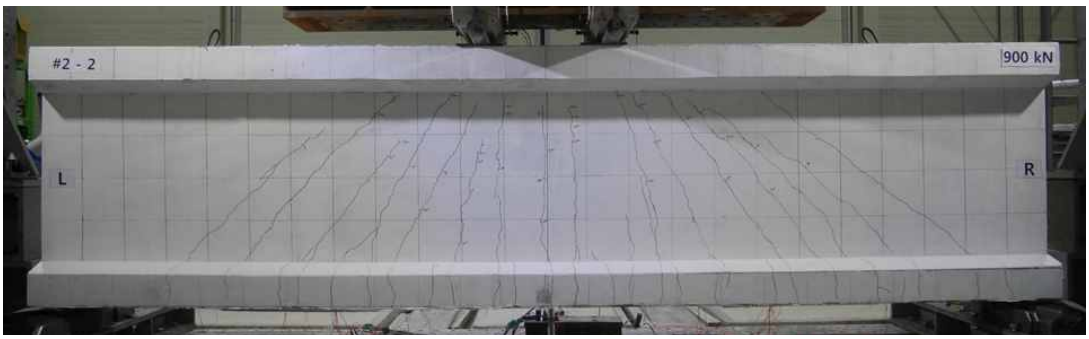


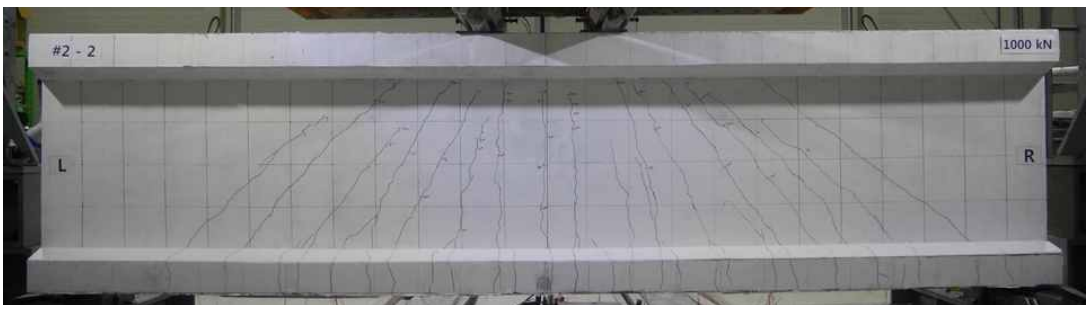
[그림 3.23] 균열 및 파괴양상(#2-2) (계속)



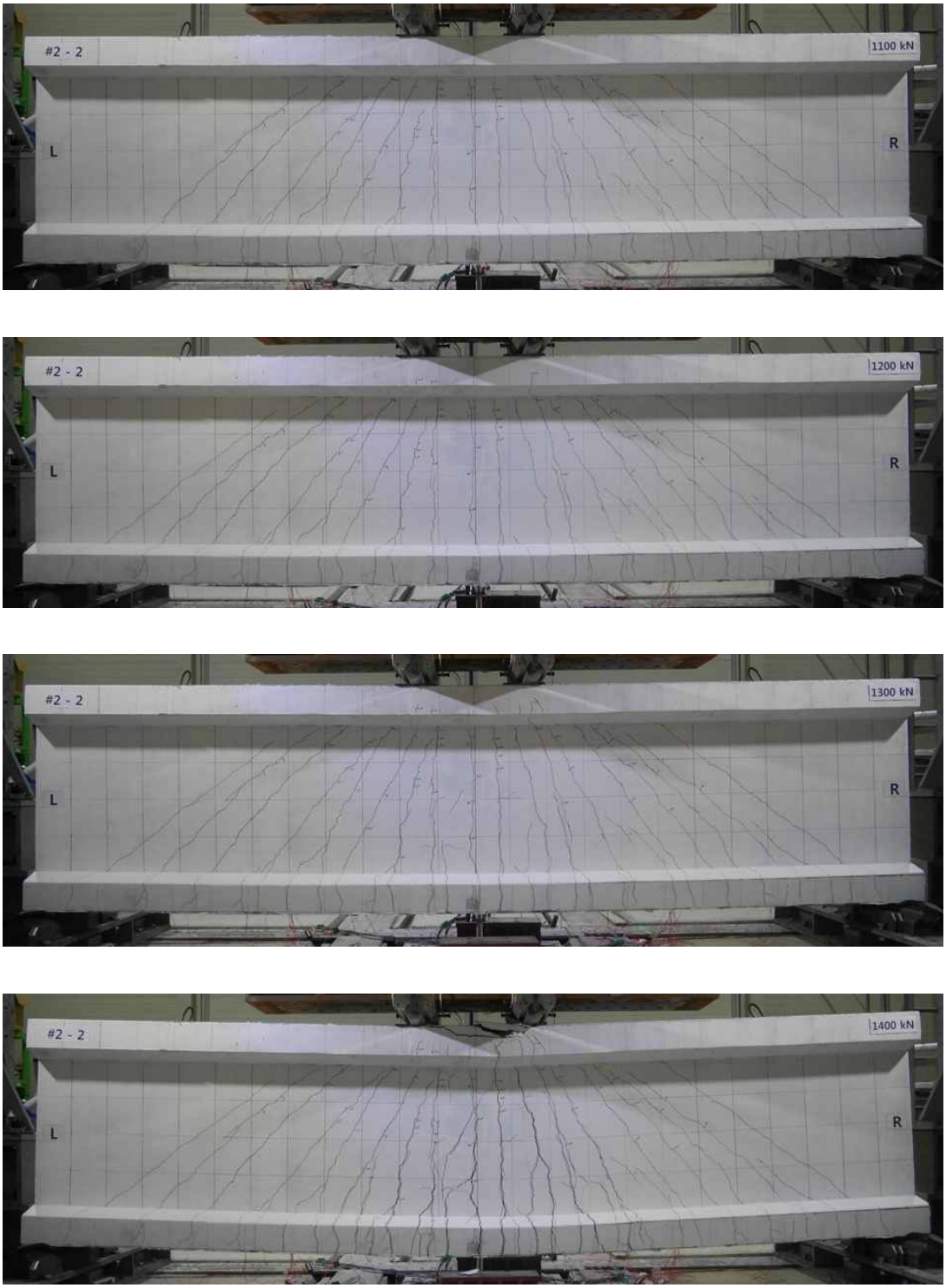








[그림 3.23] 균열 및 파괴양상(#2-2) (계속)



[그림 3.23] 균열 및 파괴양상(#2-2)

4. 복부 휨 실험

가. 실험 목적

J웹은 노듈러거더의 종방향 거동에서는 복부재로서 전단력을 주로 받는 부재이지만, PSC박스 거더의 횡방향 거동에서는 휨모멘트를 받는 부재로 거동한다.

J웹 부재는 경량화를 위하여 두께를 150mm로 줄였다. J웹 부재의 휨성능을 확보하기 위하여 철근에 의한 보강과 강봉에 의한 프리스트레싱 힘에 의한 보강을 도입한 총 3가지의 실험부재에 대하여 휨 성능을 검증한다.

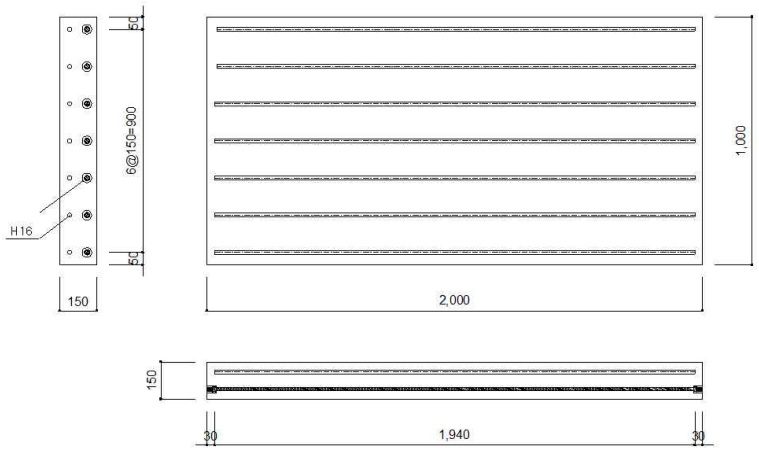
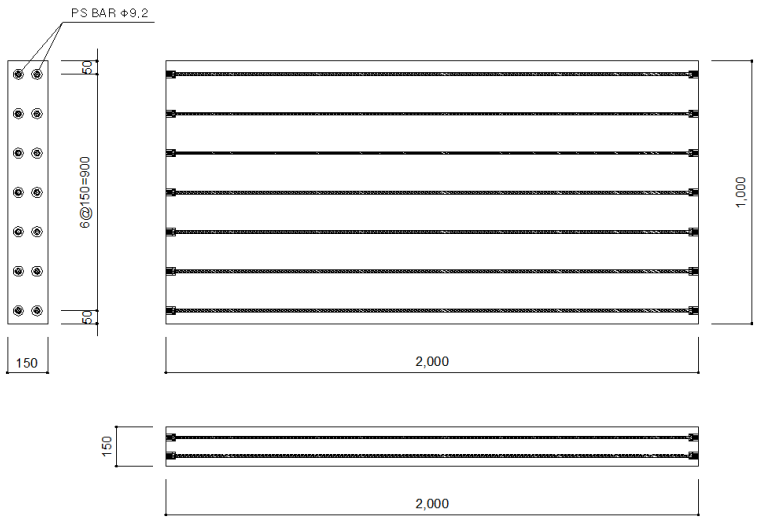
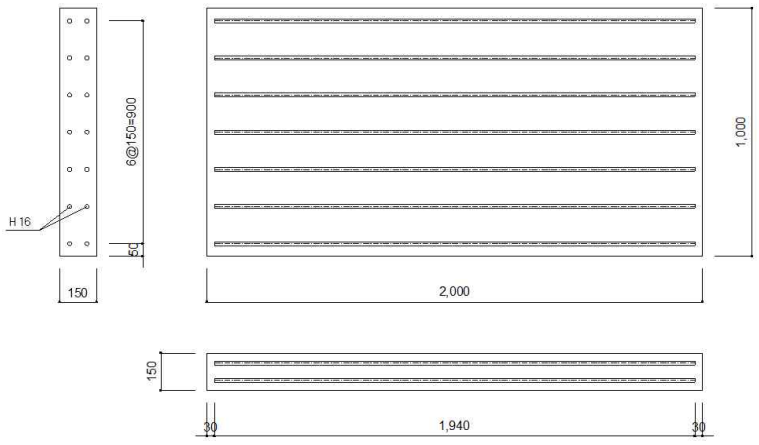
나. 복부 휨 실험부재

복부 부재의 휨 성능을 검증하기 위해 본 실험을 수행하였다. 실험부재는 총 3가지 실험부재로 이루어져 있으며 각 시험체는 2회씩 실험하였다. 실험부재들의 휨 강도는 같지만, 균열 거동은 프리스트레스가 도입된 #3-1, #3-2가 우수할 것으로 예상된다. 또한 실험 부재 #3-2는 압축부에도 프리스트레스가 도입되어 파괴 시 #3-1 부재보다 연성이 작을 것으로 예상된다. 복부 휨 실험부재의 제원 및 철근의 배근 상세를 [표 3.5]에 나타내었다.



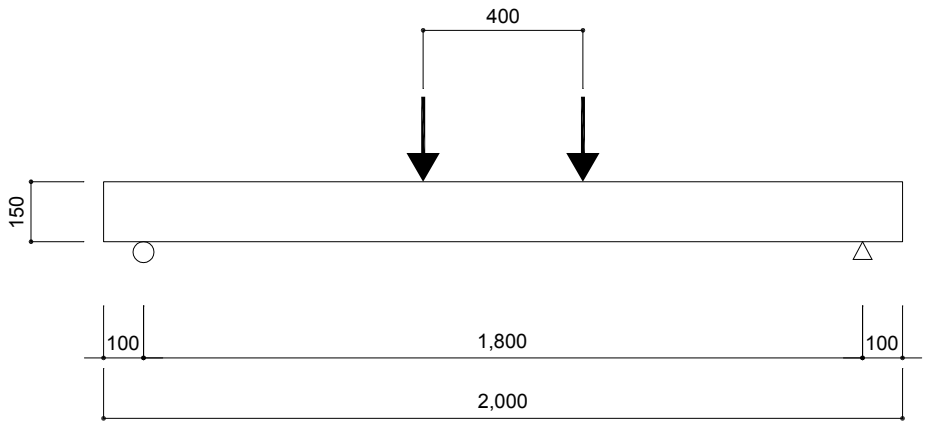
[그림 3.24] 복부 휨 실험부재 타설

[표 3.5] 복부 휨 실험부재

번호	형상 및 제원	특 징
#3-1		인장측 강봉 압축측 철근
#3-2		인장측 강봉 압축측 강봉
#3-3		인장측 철근 압축측 철근

다. 복부 휨 실험

복부 휨 실험은 #3-1 ~ #3-3 실험부재에 대하여 각각 실험이 수행되었으며 각 실험부재는 2회씩 수행 되었다. 실험부재의 양끝으로부터 100mm 떨어진 부분에 각각 롤러와 힌지의 지점이 설치되었다. 실험부재의 길이는 총 2,000mm이며 높이 150mm와 폭 1000mm의 직사각형 단면을 갖는 슬래브 형태로 제작되었다. 가력점 사이의 거리는 400mm로 하였고 4점 휨 실험을 실시하였으며 [그림 3.25]과 [그림 3.26]에 실험의 개요도와 실험 전경을 나타내었다. 하중의 가력은 변위제어 방식으로 1mm/min의 속도로 재하되었으며 Post peak 이후 단계적으로 이전 하중속도의 2배씩, 최고 4mm/min의 속도로 재하하였다. 매 하중이 500kN씩 증가될 LVDT와 Wire 게이지를 이용하여 각 단계별 실험부재의 변위데이터를 수집하였다.



[그림 3.25] 복부 휨 실험 개요도 (단위: mm)



[그림 3.26] 복부 휨 실험 전경

라. 복부 휨 실험 결과

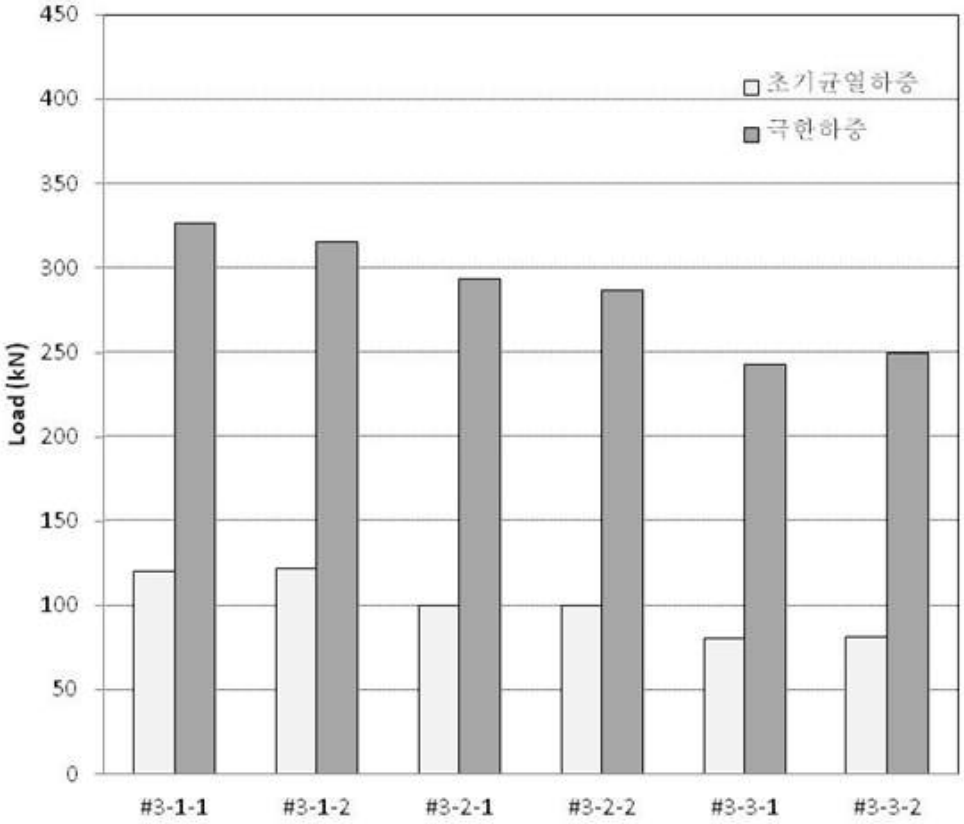
프리스트레싱 보강을 하지 않은 #3-3 실험부재를 기준 실험부재로 하였을 때 인장부만을 프리스트레싱 보강한 #3-1 실험부재는 기준 실험부재 대비 49% 높은 하중에서 첫 균열이 일어났다. 인장부와 압축부 모두 프리스트레싱 보강한 #3-2 실험부재는 기준 실험부재 대비 23% 높은 하중에서 첫 균열이 발생했다. 이러한 결과는 프리스트레싱 도입으로 인한 인성의 증가로 판단된다.

극한하중에서는 기준 실험부재 #3-3 대비 #3-1 실험부재는 38%, #3-2 실험부재는 24% 높은 하중에서 파괴되었다. 강봉을 적용한 실험체중에서 양측면에 강봉을 적용한 실험체(#3-2)의 극한하중이 작은 이유는 강봉에 의한 압축력에 의한 거더 상연의 압축파괴가 조기에 유발된 것으로 판단된다.

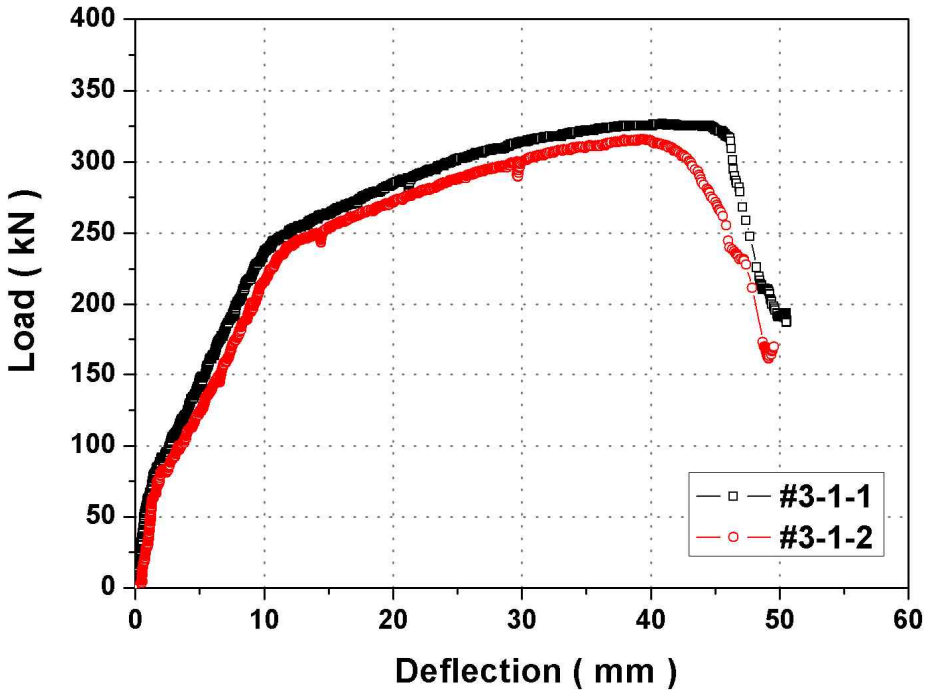
[표 3.6]과 [그림 3.27]은 복부 휨 실험부재의 초기 균열하중 및 극한하중 결과를 나타낸 것이며 [그림 3.28] ~ [그림 3.30]은 실험결과를 각 변수별로 비교하여 나타낸 것이다. 또한 [그림 3.31] ~ [그림 3.33]는 하중 단계별 실험부재의 균열양상 및 변화를 나타낸 것이다.

[표 3.6] 복부 휨 실험부재의 초기균열하중 및 극한하중

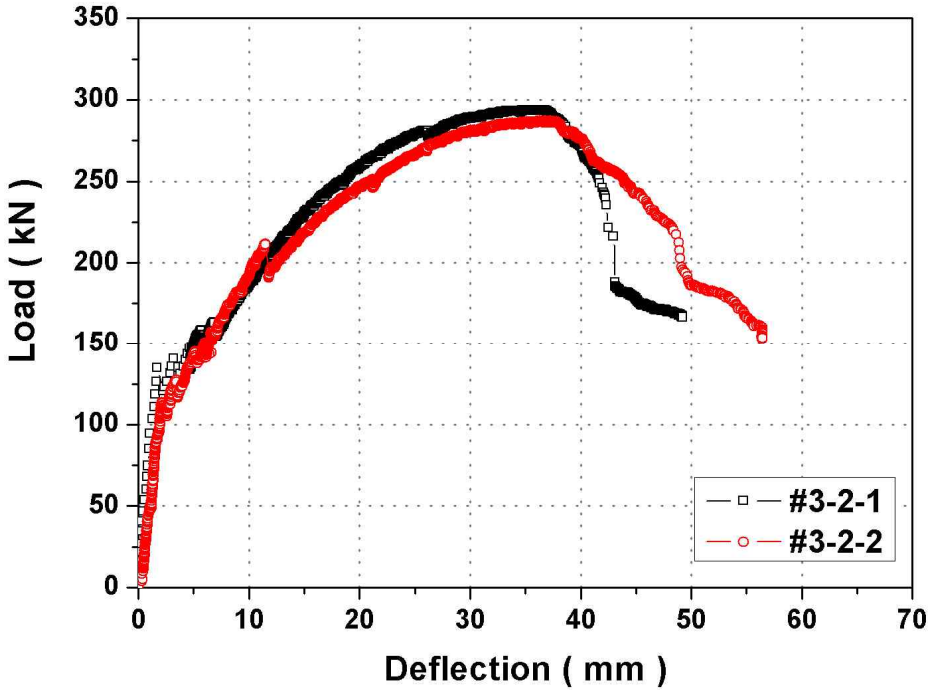
실험부재	초기균열 하중 (kN)	극한 하중 (kN)
#3-1-1	120.0	326.8
#3-1-2	122.1	315.6
#3-2-1	100.2	293.7
#3-2-2	99.8	287.0
#3-3-1	80.2	242.8
#3-3-2	81.4	249.6



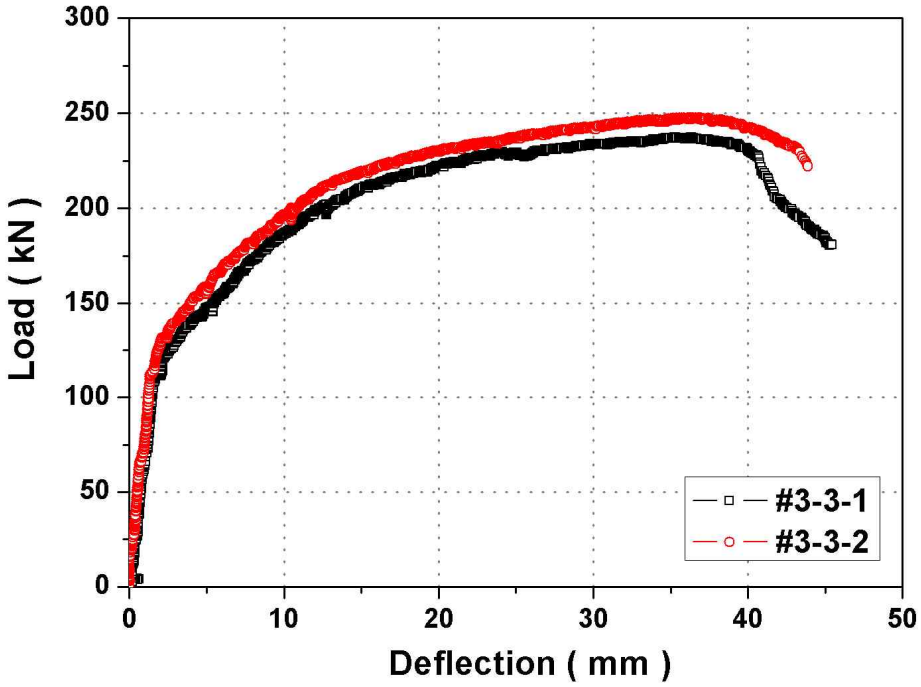
[그림 3.27] 복부 휨 실험부재의 초기 균열하중 및 극한하중 비교



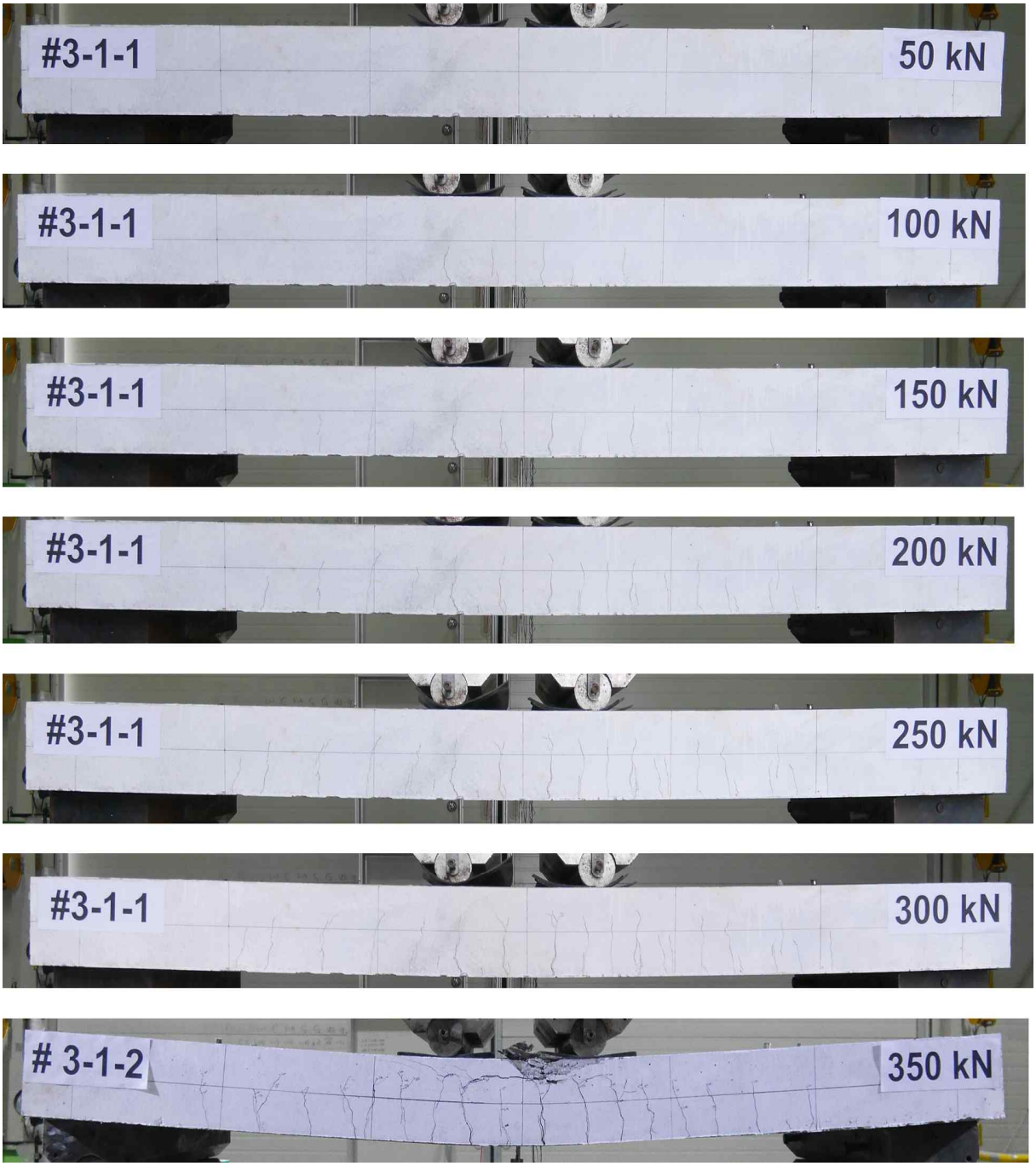
[그림 3.28] 하중-변위 곡선(#3-1)



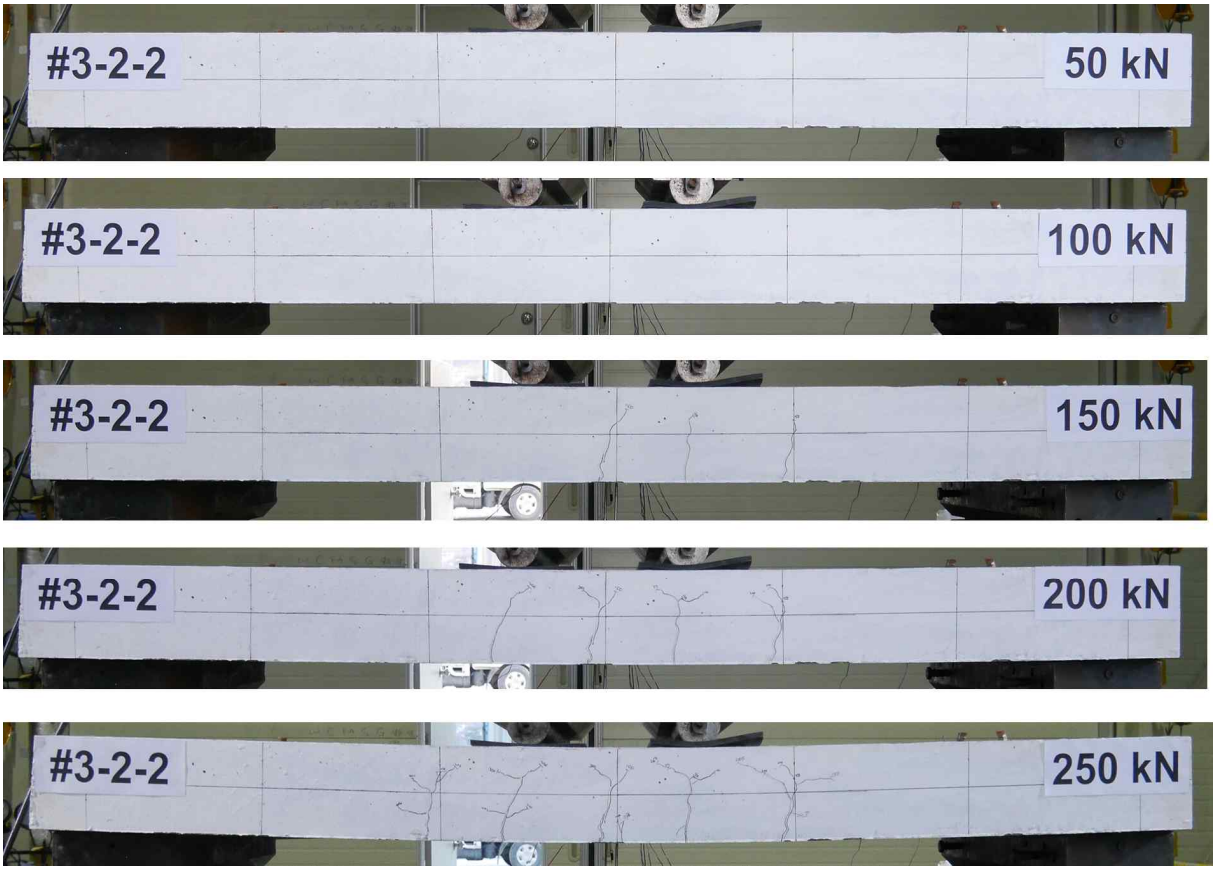
[그림 3.29] 하중-변위 곡선(#3-2)



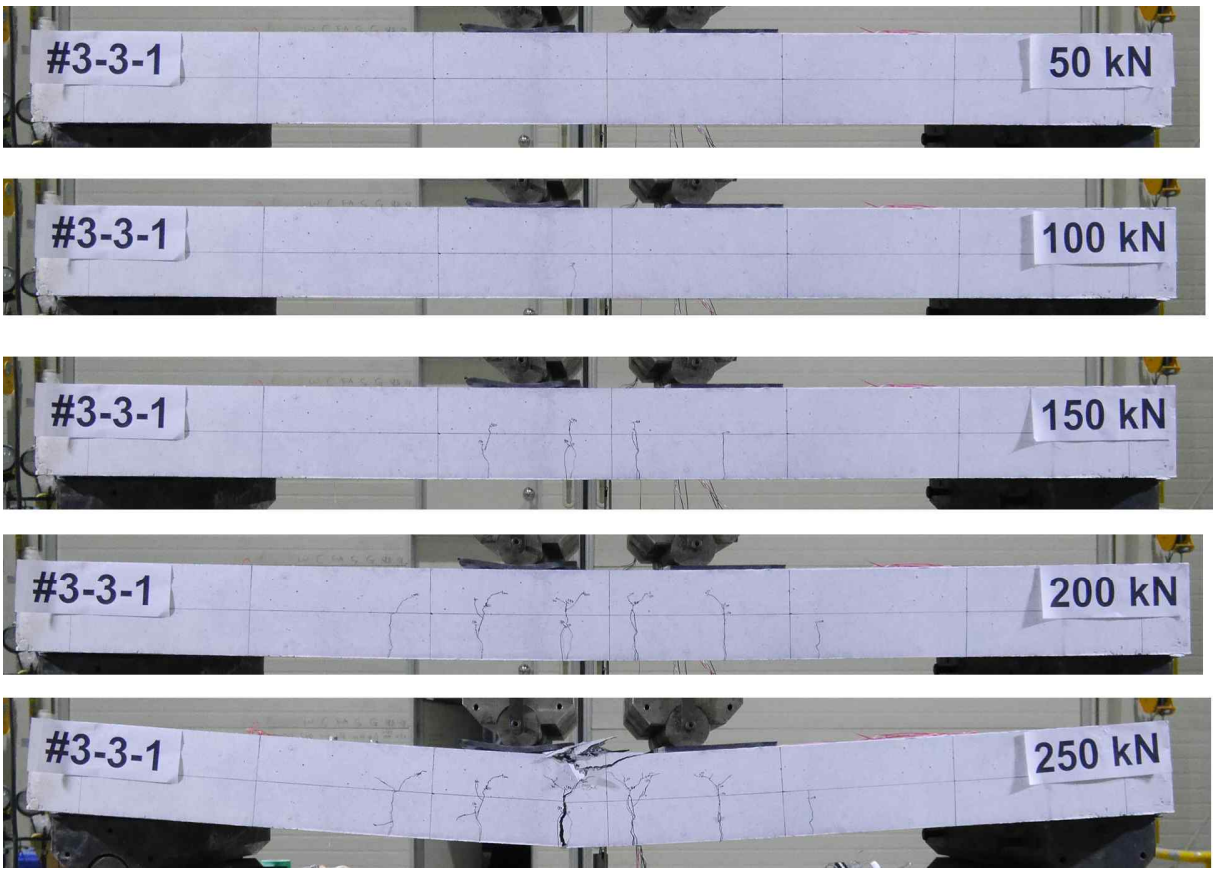
[그림 3.30] 하중-변위 곡선(#3-3)



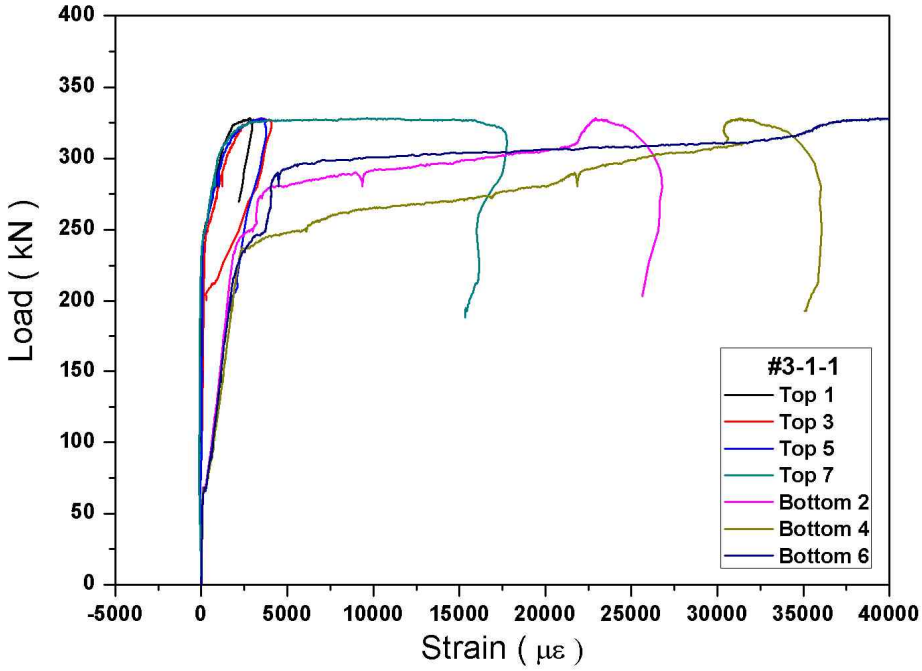
[그림 3.31] 균열 및 파괴양상(#3-1-1)



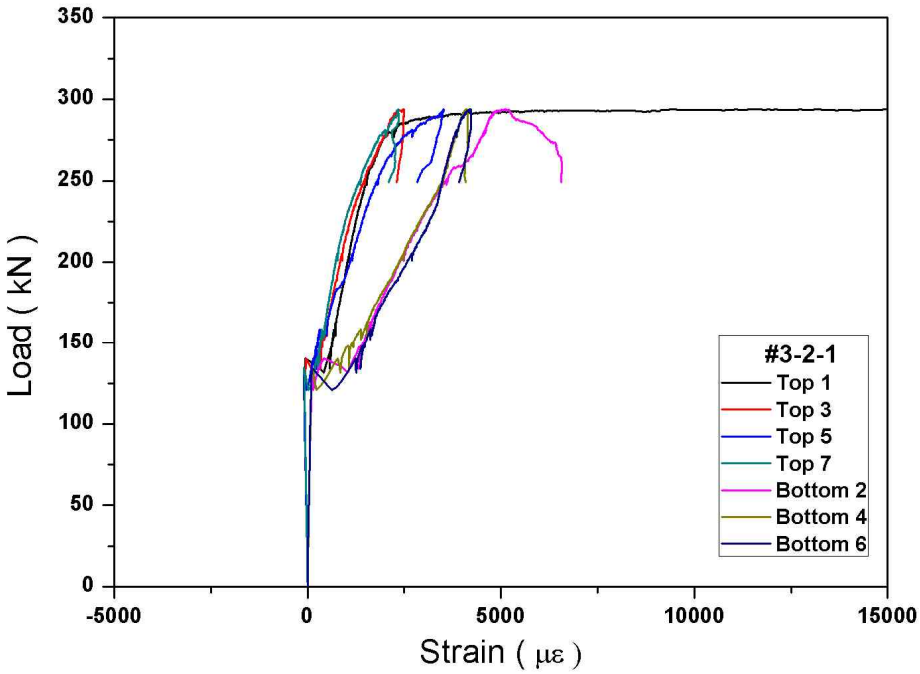
[그림 3.32] 균열 및 파괴양상(#3-2-1)



[그림 3.33] 균열 및 파괴양상(#3-3-1)

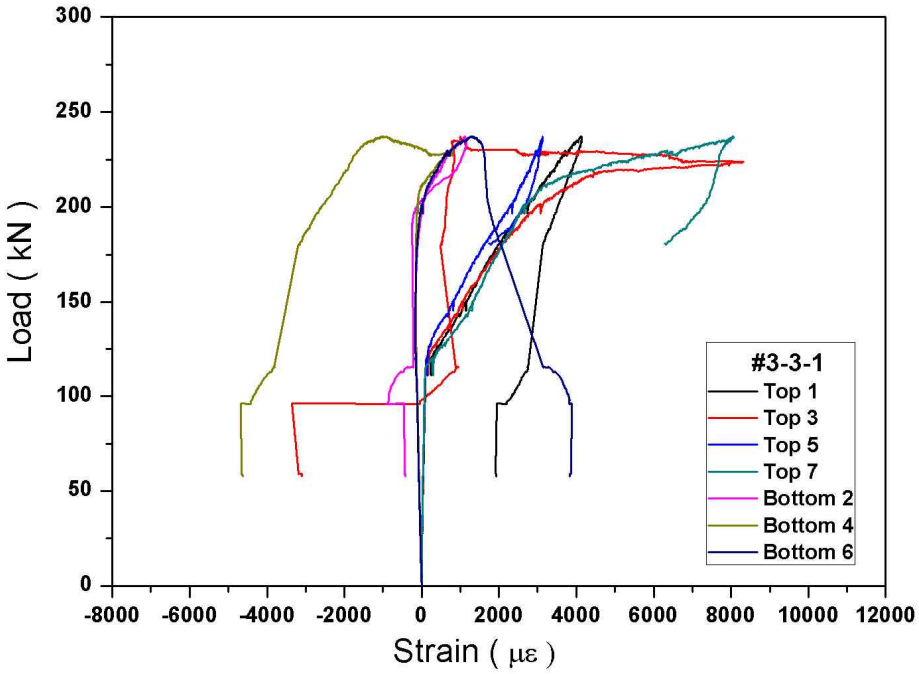


(a) 철근의 하중-변형률 곡선 (#3-1-1)



(b) 철근의 하중-변형률 곡선 (#3-2-1)

[그림 3.34] 철근의 하중 변형률 곡선 (계속)



(c) 철근의 하중-변형률 곡선 (#3-3-1)

[그림 3.34] 철근의 하중 변형률 곡선

5. 소결

본 연구는 소켓연결 방식을 이용하여 급속시공이 가능한 프리스트레스트 콘크리트 제형 거더의 제작 및 시공 기술개발을 목표로 하며 그의 일환으로 소켓연결 성능의 검증과 프리캐스트 복부의 최적화를 위해 단위 부재의 성능실험을 진행하였다. 각각의 실험을 통하여 도출한 결론은 다음과 같다.

1) 소켓연결 성능의 검증을 위하여 연결부의 유무와 루프이음의 이음길이에 따라 실험부재를 제작하여 4점 휨 실험을 실시하였다. 실험 결과 초기균열하중은 콘크리트 습식이음을 실시한 모든 시험체에서 콘크리트 습식이음을 하지 않은 기준 시험체 대비 300% 이하로 나타났으나 최대하중은 그 차이가 5% 내외로 미비하여 최대하중 이후의 거동은 큰 차이가 없음을 알 수 있었다. 또한 철근의 이음부 길이를 달리한 각 변수별 결과의 차이가 1% 이하로 나타나 이음부의 길이는 최대하중에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

2) 강봉으로 프리스트레싱 보강한 복부부재의 전단성능을 검증하기 위한 실험을 진행하였다. 실험 결과 두 부재의 초기 휨균열 강도와 극한 강도는 유사한 값을 나타내었다.

3) 사인장균열하중의 관찰 결과 #2-1 은 520kN, #2-2 는 606kN 으로 #2-2 실험부재에서 약 17% 큰 사인장균열 하중을 보였으며 이는 보의 전단 균열거동에 프리스트레싱 강봉의 효과가 있음을 알 수 있다.

4) 복부 부재의 휨 성능을 검증하기 위한 실험을 진행하였으며 프리스트레싱 보강을 하지 않은 #3-3 실험부재를 기준 실험부재로 하였을 때, 인장부만을 프리스트레싱 보강한 #3-1 실험부재는 기준 실험부재 대비 49% 높은 하중에서 첫 균열이 일어났다. 인장부와 압축부 모두 프리스트레싱 보강한 #3-2 실험부재는 기준 실험부재 대비 23% 높은 하중에서 첫 균열이 발생했다. 극한하중은 기준 실험체와 대비하여 각각 실험체(#3-1)은 38%, 실험체(#3-2)는 24% 높은 하중에서 파괴되었다. 강봉을 적용한 실험체중에서 양측면에 강봉을 적용한 실험체(#3-2)의 극한하중이 작은 이유는 강봉에 의한 압축력에 의한 거더 상연의 압축파괴가 조기에 유발된 것으로 판단된다.

3절 2차 실험 연구 : 거더의 연결부 안전성 검증실험

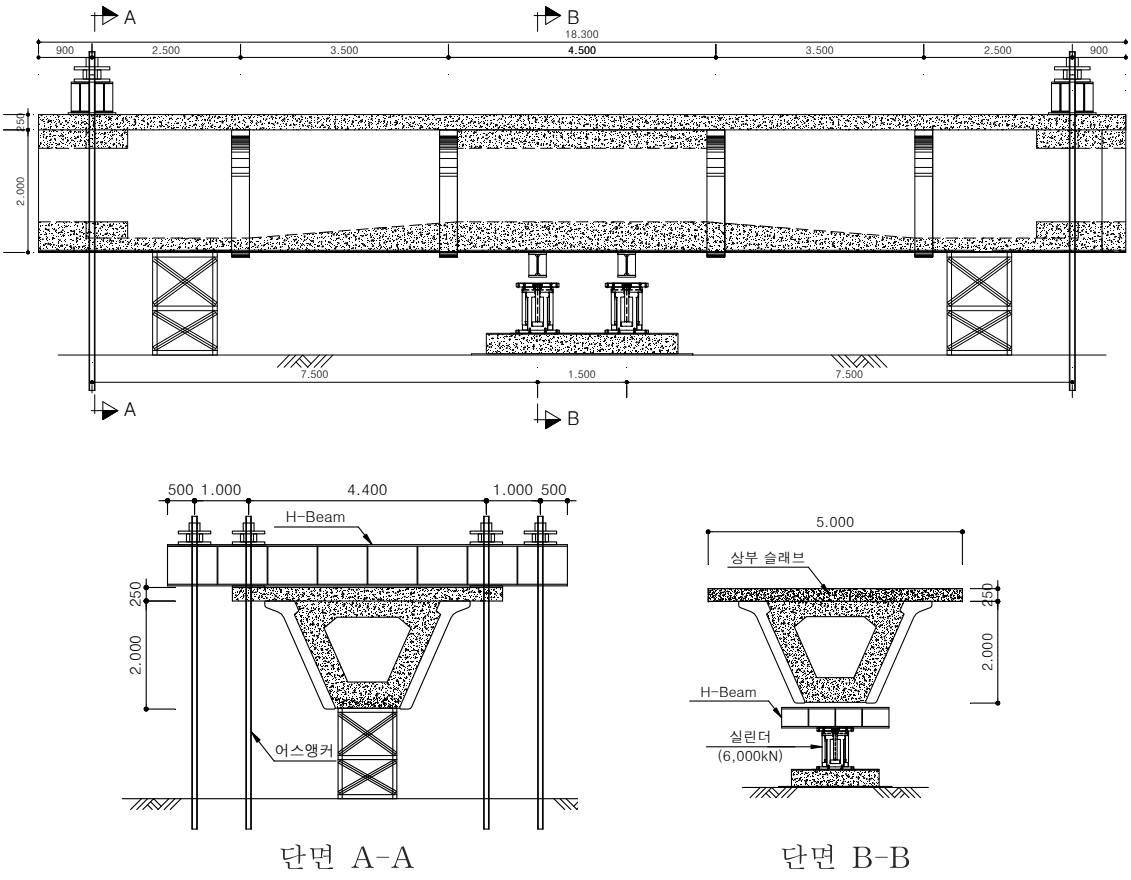
1. 실험 계획

노듈러 거더의 연속지점부 부근 Nodule Joint의 안전성을 검토하기 위한 실험부재는 실제 연속지점부와 유사한 거동을 하도록 다음과 같이 계획하였다.

가. 실험부재는 노듈러 거더의 연속지점부와 같이 지점부 부근 Nodule Joint에 큰 부모멘트와 전단력이 작용하도록 하였다.

나. 실험부재는 길이 18.3m, 폭 5m, 높이 2.25m로 계획하였으며, 지점간 거리는 16.5m이고, 슬래브를 포함한 실험부재의 자중은 1619kN이다.

다. 하중의 재하는 최대하중 6000kN, 실린더 길이 400mm인 유압장치 2대를 이용하여 [그림 3.35]과 같이 실제 교량의 받침위치에서 위로 하중을 재하하여 부모멘트가 발생하도록 계획하였으며, 지점은 실제 연속교에서 부모멘트가 발생하는 구간(5.0~8.0m)을 고려하여 하중점에서 7.5m 떨어진 곳에 어스앵커를 설치하여 지지하도록 하였다.



단면 A-A　　단면 B-B

[그림 3.35] 실험 개요도

라. 실험은 노듈러 거더의 철근 연속화에 대하여 수행한다. 따라서 강연선을 배치하지 않는 것이 부모멘트에 대한 거동을 명확히 검증할 수 있을 것으로 판단된다.

마. 실험 수행 장소는 실험부재 제작여건 및 하중재하 장치의 규모, 실험방법 등을 고려할 때 실내 실험실에서는 매우 어려울 것으로 예상된다. 따라서 본 실험은 이미 노듈러 거더의 실물실험을 실시했을 뿐 아니라 다양한 거더의 성능실험을 실시한 장헌산업의 거더 실험장에서 KOLAS인증을 보유한 충청대학교 공학기술연구원이 수행하도록 하였다.

바. 실험부재의 균열 휨강도와 공칭 휨 강도는 노듈러 거더의 설계방법과 동일한 기준으로 계산하였다. 따라서 상부슬래브의 캔틸레버부의 철근 중 이음이 되지 않은 철근을 제외하고 공칭 휨 강도를 계산하였다.

사. 균열 및 공칭 휨 강도에 대한 실험부재의 재하 하중 크기를 계산한 값은 다음과 같다.

(1) 상부슬래브 철근량

1단 : 피복 60mm, H19 @ 100mm = 14038.5mm2 (49ea)

2단 : 피복 200mm, H19 @ 100mm = 10027.5mm2 (35ea)

(2) 균열 및 공칭 휨강도

균열 휨강도 : $M_{cr} = 7918.5\,kN \cdot m$

공칭 휨강도 : $M_n = 19952.5\,kN \cdot m$

(3) 균열 및 공칭하중(자중고려)

균열하중 : $P_{cr} = 3514.6\,kN$

공칭하중 : $P_n = 6151.7\,kN$

2. 실험부재 제작

실험부재는 J웹과 Nodule 등의 프리캐스트 부재를 제작한 후 Nodule Joint 방식으로 습식 연결하고, 하부슬래브 콘크리트를 타설하여 거더를 완성한다. 완성된 거더에 격벽부를 타설하여 연속지점부와 같은 강성을 가지도록 하였다. 거더 위에 반바닥판을 설치하고 슬래브 철근을 배근한 후 상부슬래브 콘크리트의 타설 및 양생이 끝나고 실험장에 거치를 하였다.

실험부재의 콘크리트 강도는 실제 노듈러 거더와 동일하게 프리캐스트 부재는 60MPa로 제작하고, 연결부 및 하부슬래브는 거더 콘크리트 강도의 연속성을 위하여 60MPa로 타설하였다. 상부슬래브 콘크리트 강도는 실제 현장에서의 콘크리트 수급 등을 고려하여 40MPa로 하였다.

콘크리트 배합시 시멘트 이외의 결합재로 고로슬래그 미분말이 혼화재로 사용되었고, 폴리카본산계 고성능 감수제가 혼화제로 사용되었다. [표 3.7]은 콘크리트의 배합표이고, [표 3.8]는 강도 측정 결과이다.

실험부재에 사용된 철근은 SD400으로 설계 시 $f_y = 400MPa$이다. 철근의 시험성적을 [표 3.9]에 나타내었다.

[그림 3.36]은 실험부재의 슬래브 배근도이며, [그림 3.37]는 J-web 부재, [그림 3.38]는 Nodule 부재의 배근도이다.

[그림 3.39]에 실험부재 제작순서를 사진으로 나타내었다.

[표 3.7] 콘크리트 배합표

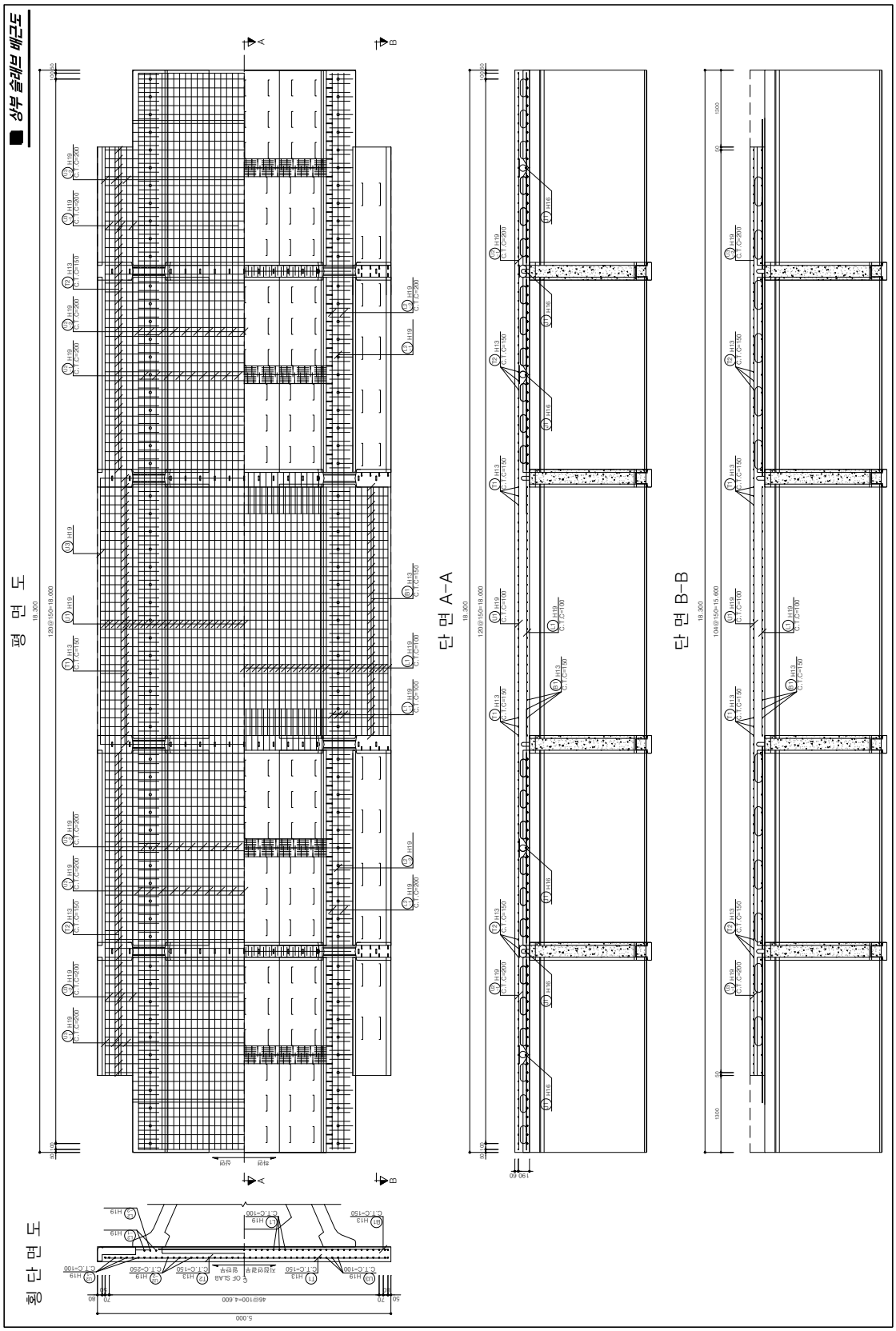
강 도 (MPa)	굵은골재 최대치수 (mm)	공기량 (%)	물/결합제 (%)	결합재		잔골재율 (%)	혼화제 (kg)
				시멘트 (kg)	혼화재 (kg)		
40	25	3.0±1.5	36.2	332	111	43.1	6.19
60	20	3.0±1.5	29.8	403	134	39.9	8.06

[표 3.8] 콘크리트 강도시험 결과

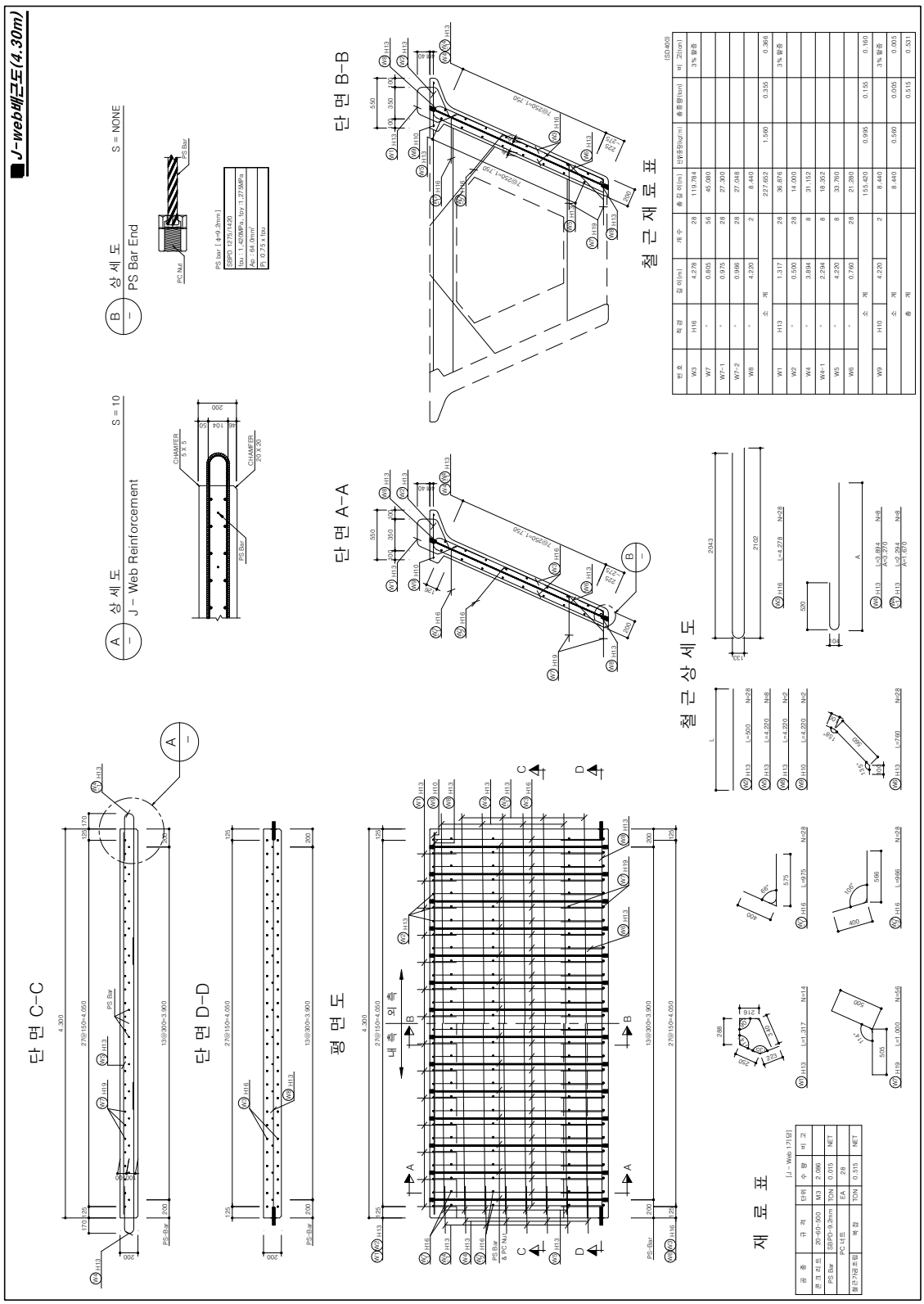
구 분	설계강도 (MPa)	실험일 평균강도 (MPa)	비 고
상부슬래브	40	44.8	
하부슬래브	60	60.4	
프리캐스트	60	61.2	증기양생

[표 3.9] 철근 시험성적표

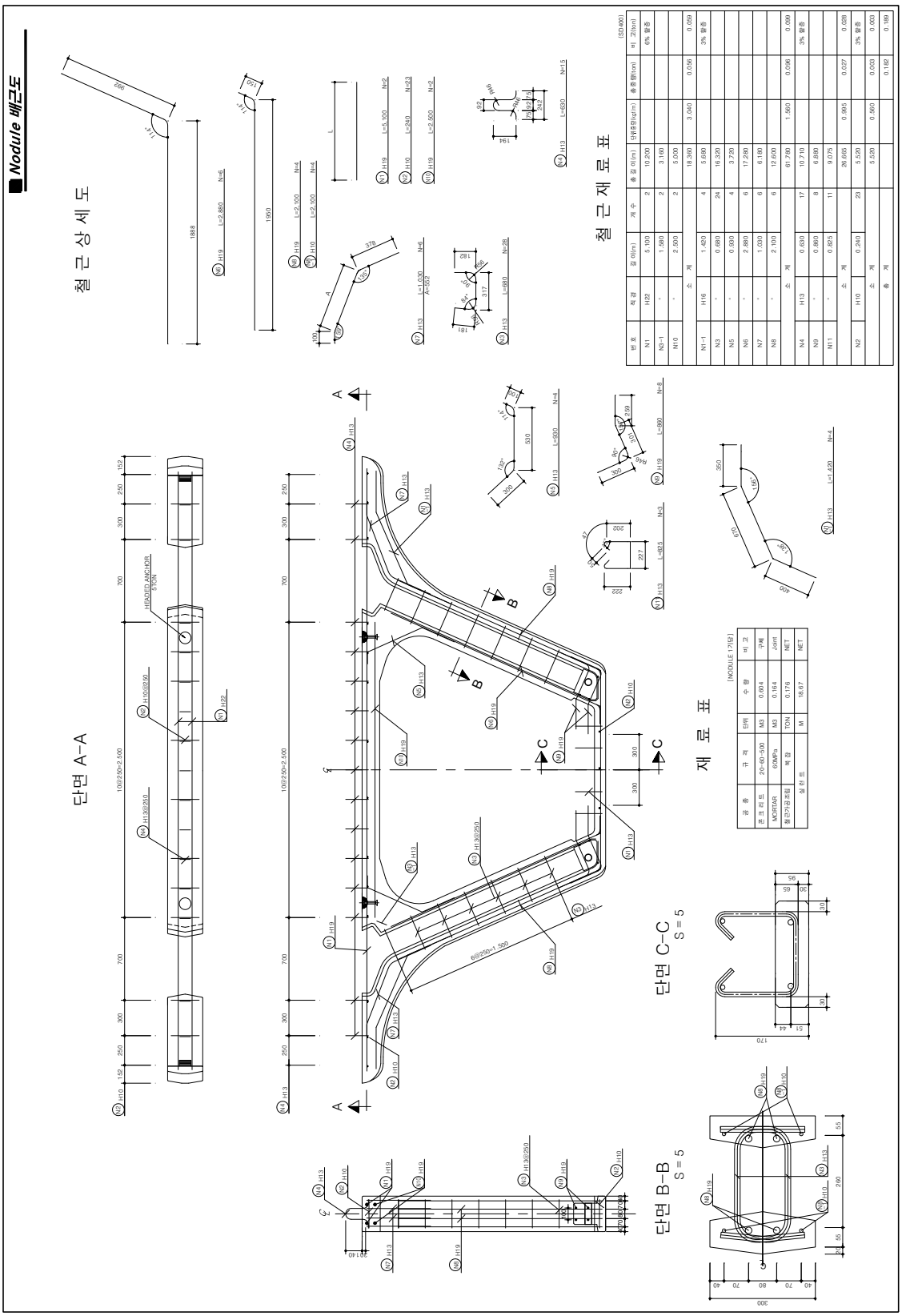
구 분	인장강도 (MPa)	항복강도 (MPa)	연신율 (%)	비고
SD 400	632	536	16.0	16 mm
SD 400	606	508	15.0	19 mm



[그림 3.36] 슬래브 배근도



[그림 3.37] J-web 배근도



[그림 3.38] Nodule 배근도

1. J-web 철근 및 강봉 조립



2. J-web 타설



3. J-web 완성



4. Nodule 철근 조립



5. Nodule 타설



6. Nodule 완성



7. J-web 가조립



8. 부재 조립



[그림 3.39] 실험부재 제작순서(계속)

9. 하부 및 격벽 철근배근



10. 연결부 및 하부슬래브 타설



11. Pre-Deck 가설



12. 상부슬래브 철근배근



13. 상부슬래브 타설



14. 부재 제작 완료



15. 부재인양 및 거치



16. 하중재하 및 계측장치 설치



[그림 3.39] 실험부재 제작순서

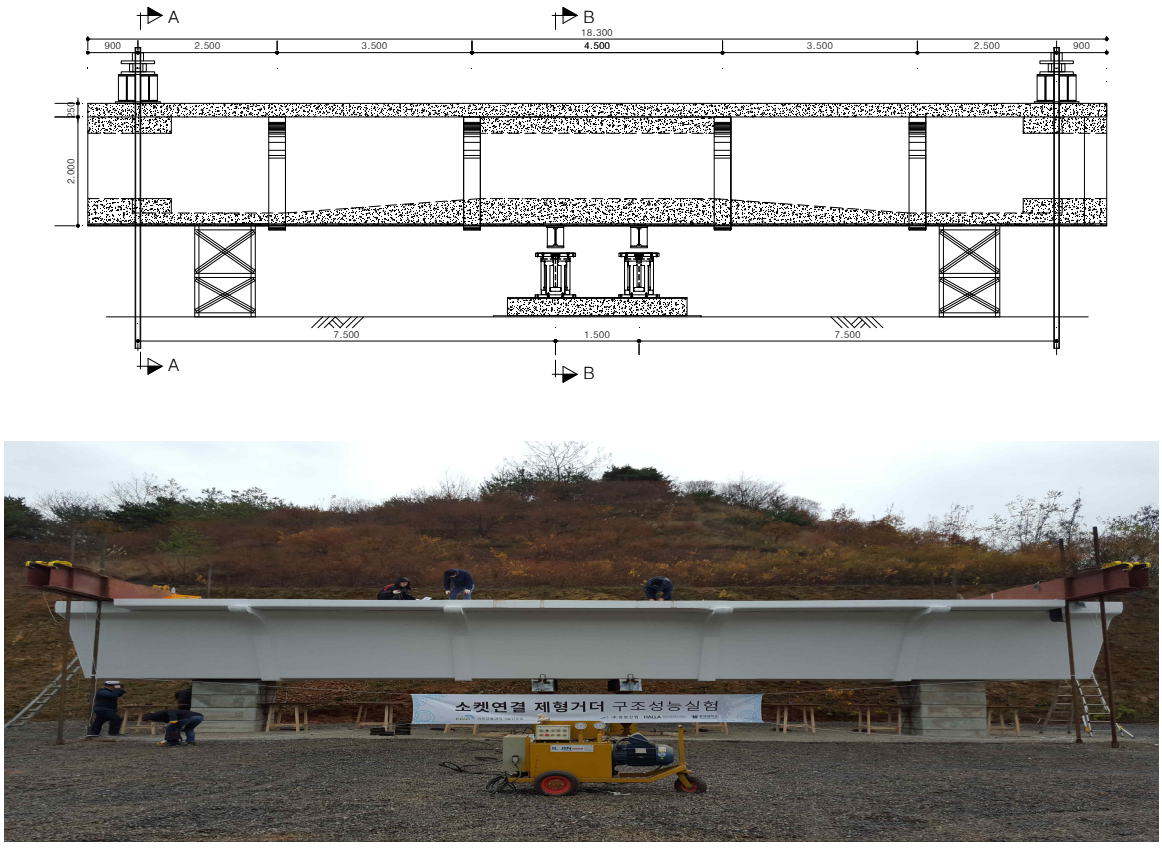
3. 하중재하 및 측정방법

가. 하중재하

본 실험에서 하중재하 장치는 휨에 대한 공칭 하중과 거더의 자중(약 1619kN)을 고려할 때 최소 10000kN(약 1000톤) 이상의 규모가 필요하며, 실험시 안전과 충분한 연성거동의 확인 등을 위하여 6000kN 유압장치 2기를 사용하도록 한다.

실험 수행은 거더의 중앙으로부터 양쪽으로 750mm 떨어진 지점에 6000kN 용량의 유압장치 2기를 설치하고, 유압분배기를 사용하여 2기에 동일한 하중이 재하되도록 한다. 하중단계는 계산 균열하중(3514.6kN) 근처인 3500kN까지 100kN씩 재하를 하며, 3000kN부터는 각 단계마다 균열발생 여부를 확인한다. 초기균열 확인 이후부터는 하중을 100kN씩 증가시키며 500kN 단위로 균열을 확인한다.

하중이 계산 공칭하중인 6151.7kN에 근접한 6000kN에 도달하면 하중단계를 50kN으로 줄여서 재하한다. 실험수행 시 안전을 고려하여 최대하중은 8000kN, 최대처짐은 150mm로 설정한다.



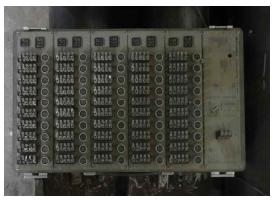
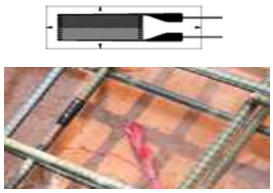
[그림 3.40] 하중재하 장치도

나. 계측방법

실험수행 시 계측은 실험부재의 처짐을 측정하는 LVDT(linear variable differential transformer)와 콘크리트 내부의 철근에 부착하여 단면의 변형률을 측정하는 스트레인 게이지(strain gauge)로 거동을 계측한다.

실험부재의 측정위치를 지정하기 위해 J-web을 왼쪽으로 A, B, C, D, E의 5개 구역으로 나눈다.

[표 3.10] 계측장비 및 활용

장비사진	장비명 (모델)	제작사 (제조국)	활용방법
	데이터 로거 (UCAM-60B)	Kyowa (Japan)	변형률 및 처짐 계측장비
	데이터 로거 확장팩 (UCS-70A)	Kyowa (Japan)	변형률 및 처짐 계측장비
	LVDT (CDP-100)	TML (Japan)	처짐 센서
	스트레인 게이지 (FLA-5)	TML (Japan)	변형률 센서

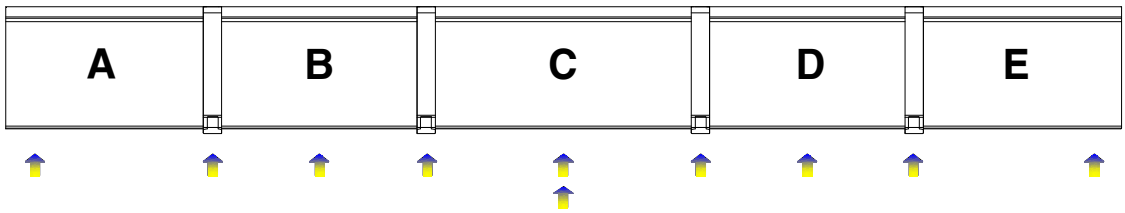
먼저 콘크리트 내부의 철근에 부착하여 부재의 거동을 측정하는 스트레인 게이지의 부착 위치에 대하여 설명하면 다음과 같다.

종방향 거동을 측정하기 위해 C 구간의 J-web에는 부재의 중앙과 양쪽Nodule Joint 근처의 상단, 중단, 하단의 세군데 스트레인 게이지를 부착하였고, B와 D구간의 J-web에는

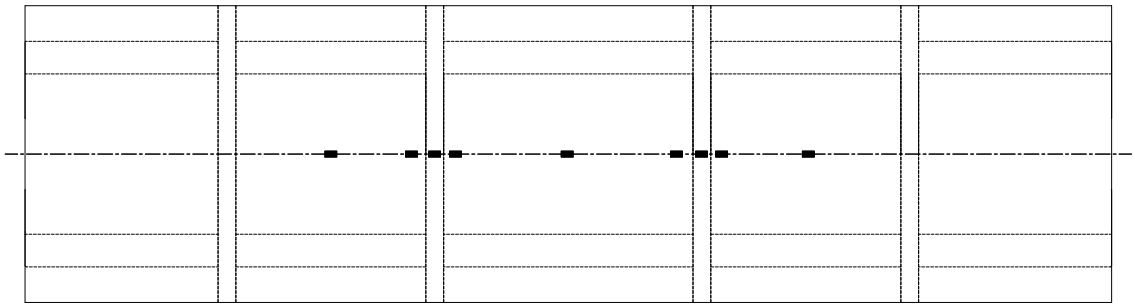
부재에는 중앙과 하중 재하점과 가까운 Nodule Joint 근처 상단, 중단, 하단에 스트레인 게이지를 부착하였다. 상부슬래브와 하부슬래브는 J-web과 같은 위치에 종방향으로 스트레인 게이지를 부착하여 거동을 관찰하도록 하였다.

특히 연속지점부 좌, 우측 Nodule Joint 내의 Loop 철근 양쪽에 J-web과 같은 높이에 스트레인 게이지를 부착하여 Nodule Joint와 J-web부의 거동 을 관찰하고 Nodule Joint의 안전성을 검증하도록 한다. 실험부재는 휨 거동이 예상되지만 휨과 동반하여 발생되는 전단 변형을 측정하기 위하여 사인장 균열이 예상되는 B, D구간의 J-web의 수직철근 중간에 스트레인 게이지 부착하여 관찰하도록 하였다. 그리고 B, C구간과 C, D구간을 연결하는 Nodule 부재의 거동을 관찰하기 위하여 각 부분에 스트레인 게이지를 부착하였다.

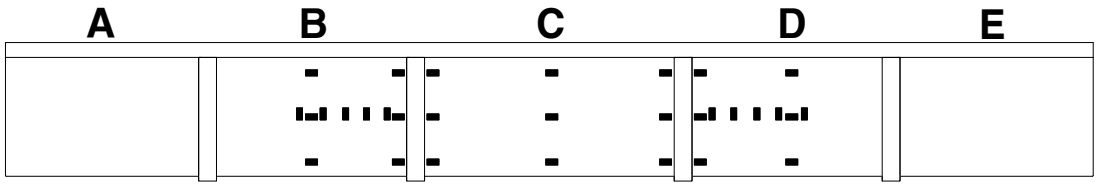
마지막으로 부재의 처짐을 측정하기 위하여 LVDT를 각 구간 중앙부와 Nodule Joint부의 하부슬래브 아래에 설치하였으며, C구간에는 중앙에 횡방향으로 LVDT를 하나 더 설치하여 횡방향으로 편심 거동 유무를 관찰하도록 하였다.



[그림 3.41] LVDT 위치도

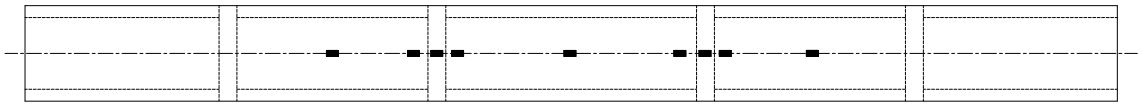


[상부 슬래브 평면도]



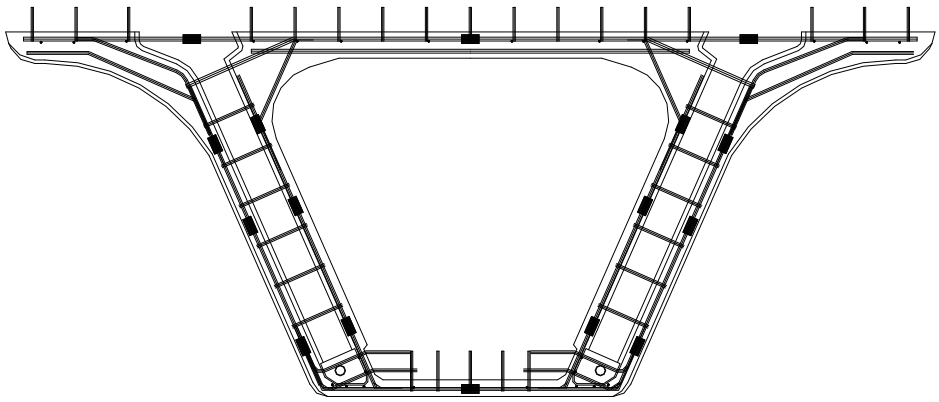
[J-web 측면도]

[그림 3.42] J-web, 상·하부슬래브 스트레인 게이지 위치도(계속)

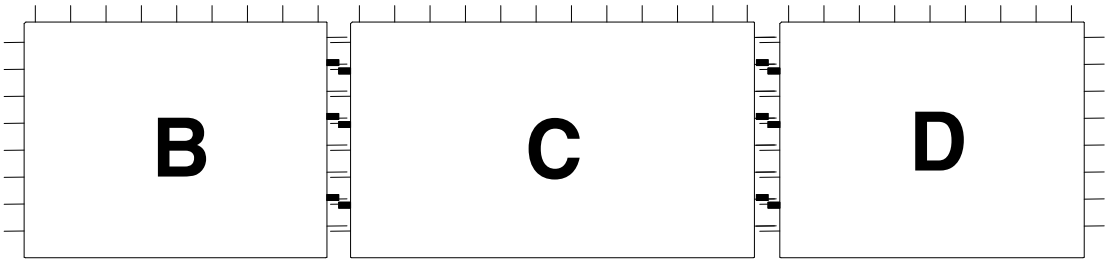


[하부 슬래브 평면도]

[그림 3.42] J-web, 상·하부슬래브 스트레인 게이지 위치도



[그림 3.43] Nodule 스트레인 게이지 위치도



[그림 3.44] Nodule Joint 스트레인 게이지 위치도

4. 실험 결과 및 분석

가. 균열 및 파괴거동

실험부재의 거동은 전체적으로 전형적인 휨 거동을 보였다. 최초 하중재하가 시작되고 부재의 자중까지는 작은 변위에도 하중은 크게 증가하였는데 부재의 자중은 계산값보다 170kN이 큰 1789.0kN으로 측정되었다. 이는 재하 프레임 등의 무게가 자중에 더해졌기 때문이다.

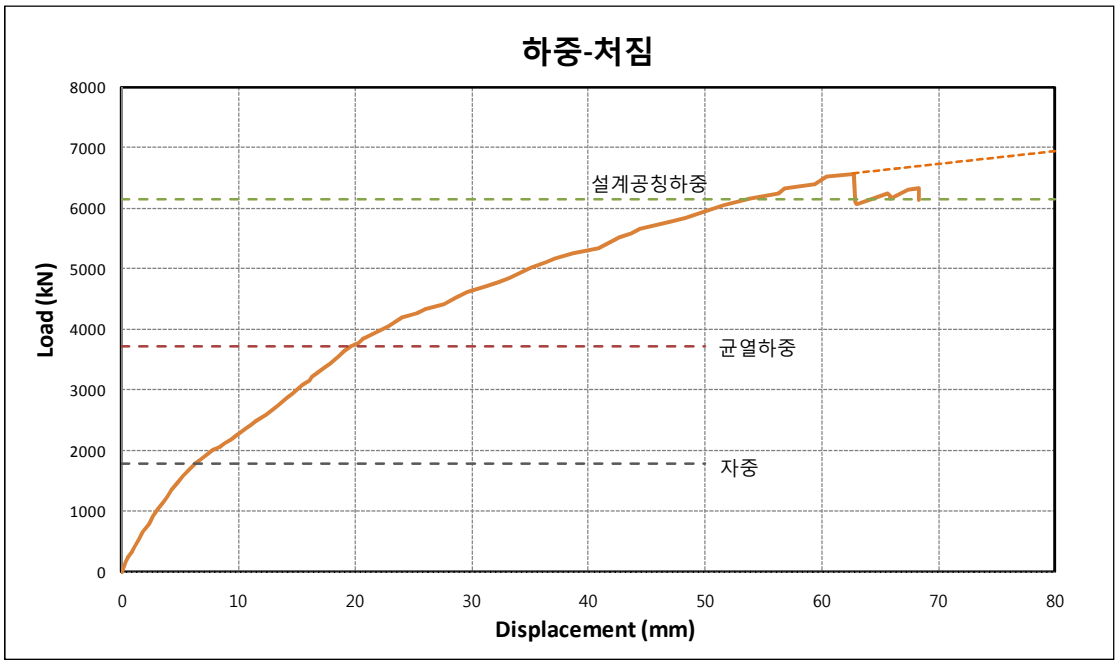
초기 균열은 계산 균열하중 3514.6kN에 자중차이를 더한 값과 비슷한 약 3722.8kN에서 위험단면으로 예상한 C구간 좌우의 Nodule 상부의 바닥슬래브에서 발견되었다. 이후 자중증가가 고려된 설계공칭하중까지 하중을 계속 증가시키면서 균열 및 거동을 관찰한 결과 바닥슬래브에서 시작된 균열이 J-web과 Nodule로 발전하는 전형적인 부모멘트에 의한 휨 균열 및 거동을 보였다.

이후 계속적인 하중 증가에 따라 실험부재는 설계공칭하중(6321.7kN)보다 큰 6570.3kN의 하중에서 A구역에 수평전단 균열이 발생하면서 실험을 종료하였다. 본 실험에서 발생한 수평전단 균열은 짧은 구간에서 실제 교량의 부모멘트부와 유사한 거동을 하도록 계획하여 수평전단에 저항하는 길이가 부족하였고, 큰 집중하중으로 전단지간 전구간에 큰 전단력이 작용하였기 때문으로 사료된다.

만약 수평전단 균열이 발생하지 않았다면 거동은 [그림 3.45]의 하중-처짐 관계도의 점선과 같이 하중이 계속 증가하면서 처짐이 더 크게 증가하는 휨 연성 거동을 보였을 것으로 판단된다.

[표 3.11] 계산값과 실험값 비교

하 중	계 산 값	실 험 값	보정계산값	비 고
자 중	1619.0 kN	1789.0 kN	-	+170.0 kN
균열하중	3514.6 kN	3722.8 kN	3684.6 kN	+38.2 kN
공칭하중	6151.7 kN	6570.3 kN	6321.7 kN	+248.6 kN



[그림 3.45] 하중-처짐 관계도

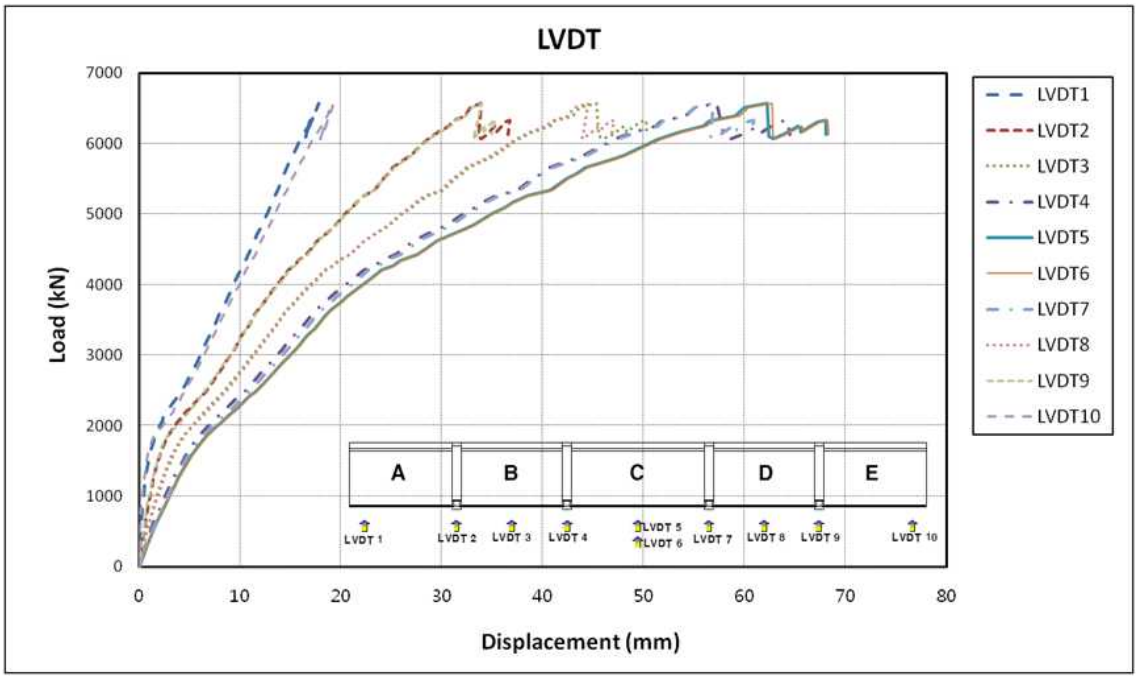


[그림 3.46] 최종균열도

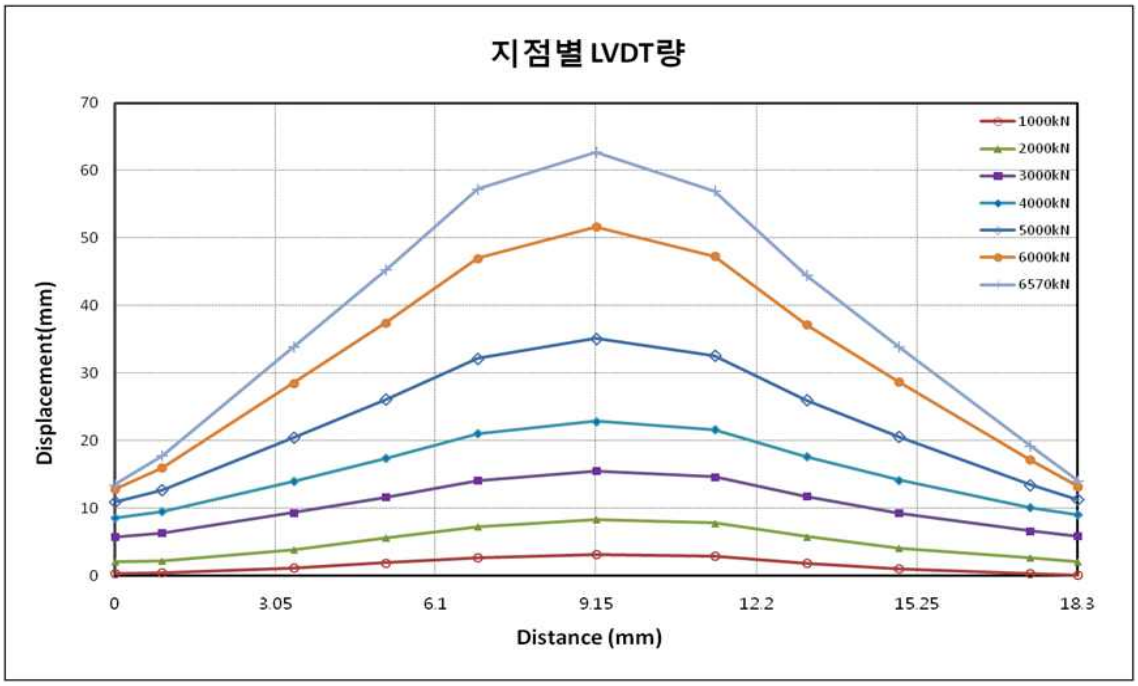
나. 하중-처짐 관계

실험부재 하면에 설치된 LVDT의 결과값을 [그림 3.47]에 나타내었고, [그림 3.48]는 하중단계별로 부재의 처짐을 측정한 결과이다. 전체적으로 전형적인 철근콘크리트 보의 휨거동을 보이며, 지간 중앙을 중심으로 좌우의 처짐 편차는 크지 않은 것으로 나타났다.

그리고 C구간 중앙에 설치한 2개의 LVDT 5, 6번의 측정값이 하중단계별로 거의 동일하게 측정되어 하중이 횡방향으로 균등하게 재하된 것으로 판단된다.



[그림 3.47] 위치별 LVDT 결과



[그림 3.48] 하중단계별 처짐

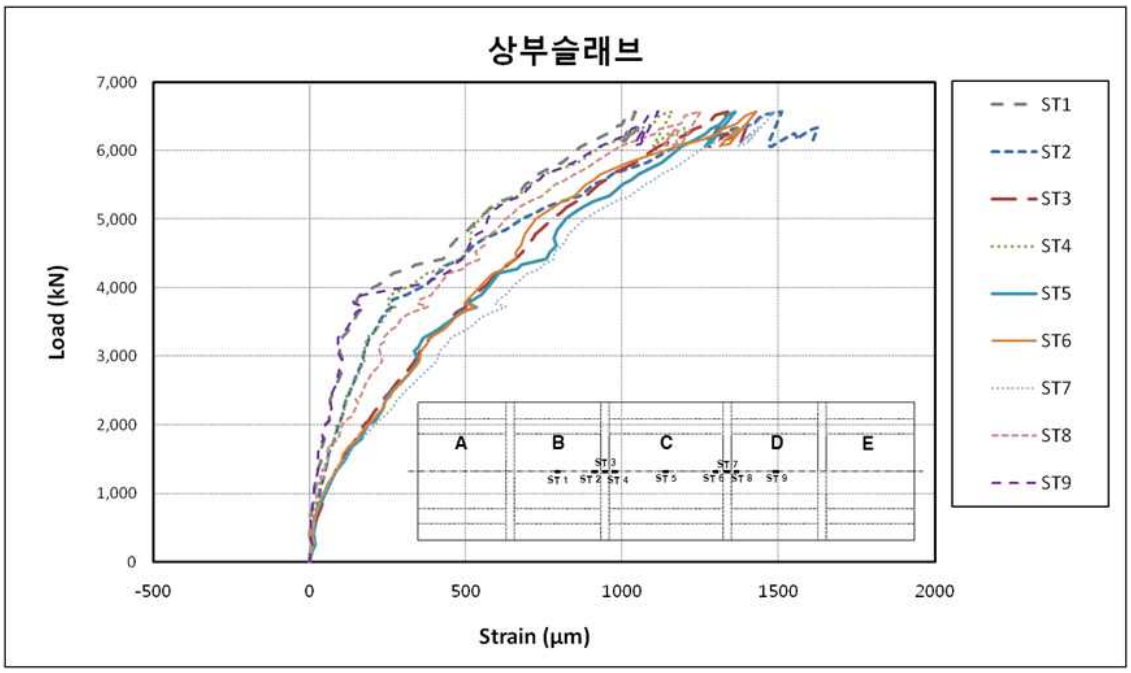
다. 종방향 변형률

실험부재의 철근에 부착된 종방향 스트레인 게이지의 변형률 측정값을 상부슬래브, 하부슬래브, B, C, D 구간의 J-web별로 나타내었다. [그림 3.49] ~ [그림 3.53]

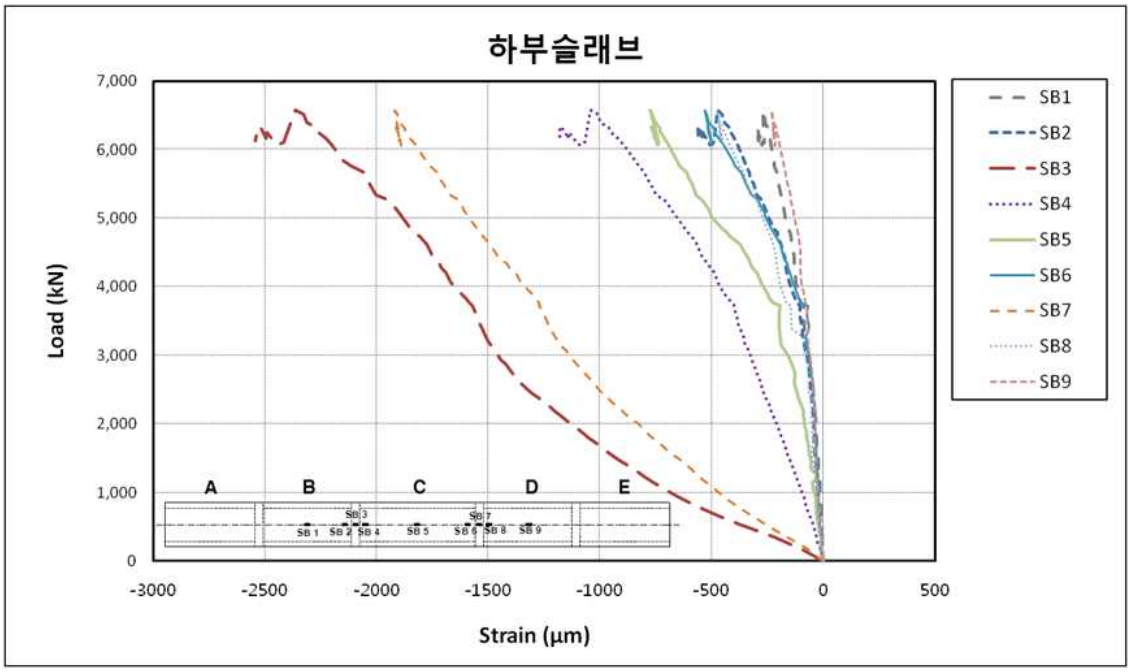
부재 전체의 거동을 볼 때 전형적인 휨 거동을 보이지만 국부적으로 상부슬래브의 경우 균열하중에서 C구간보다 B, D구간에서 균열이 발생하여 변형률의 증가 기울기가 변하는 것을 볼 수 있으며, C구간은 균열하중에서 기울기의 변화 없이 선형적으로 변형률이 증가하는 것을 볼 수 있다.

하부슬래브는 C구간 좌우의 Nodule 위치에서 압축변형률이 가장 크게 발생하는 것으로 나타났다.[그림 3.50] 이는 프리스트레스가 도입된 실제 교량에서는 균열이 발생하기 전까지 하중 재하점과의 거리에 따라 선형적으로 분포될 것으로 사료된다.

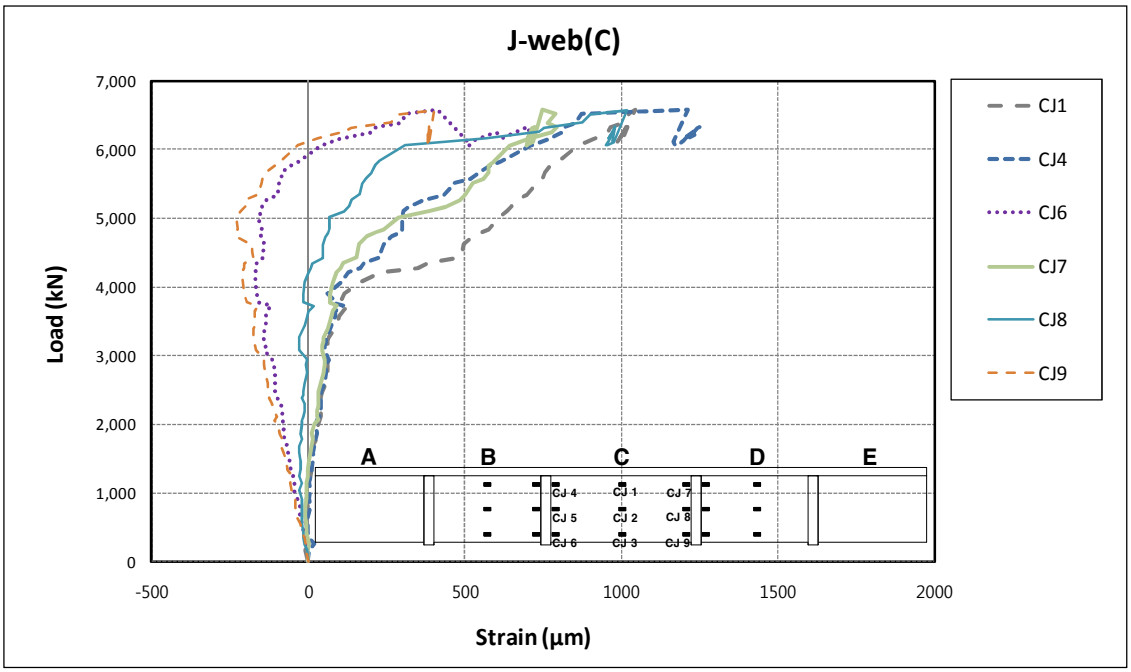
C구간 J-web [그림 3.51]은 초기균열하중 이후 약 4000kN에서 J-web 상단에서 균열이 발생하였고, B구간의 Nodule과 인접한 부분과 D구간의 중간부분 상단에서 5000kN 이후 급격히 변형률이 증가하는 현상을 보인다.



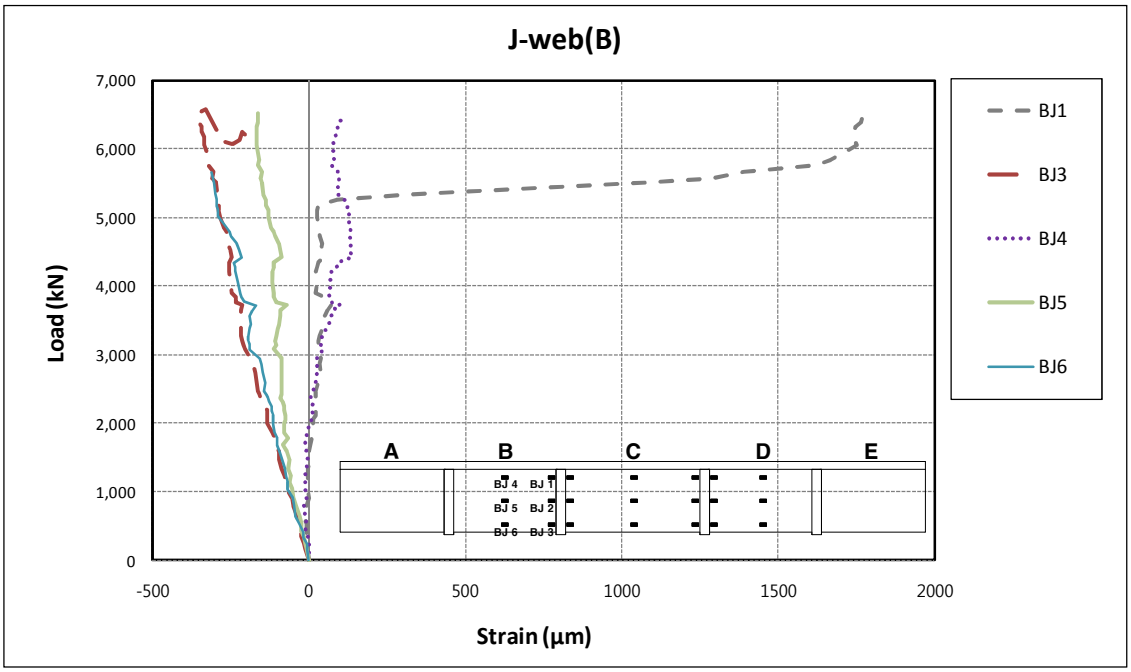
[그림 3.49] 상부슬래브 변형률



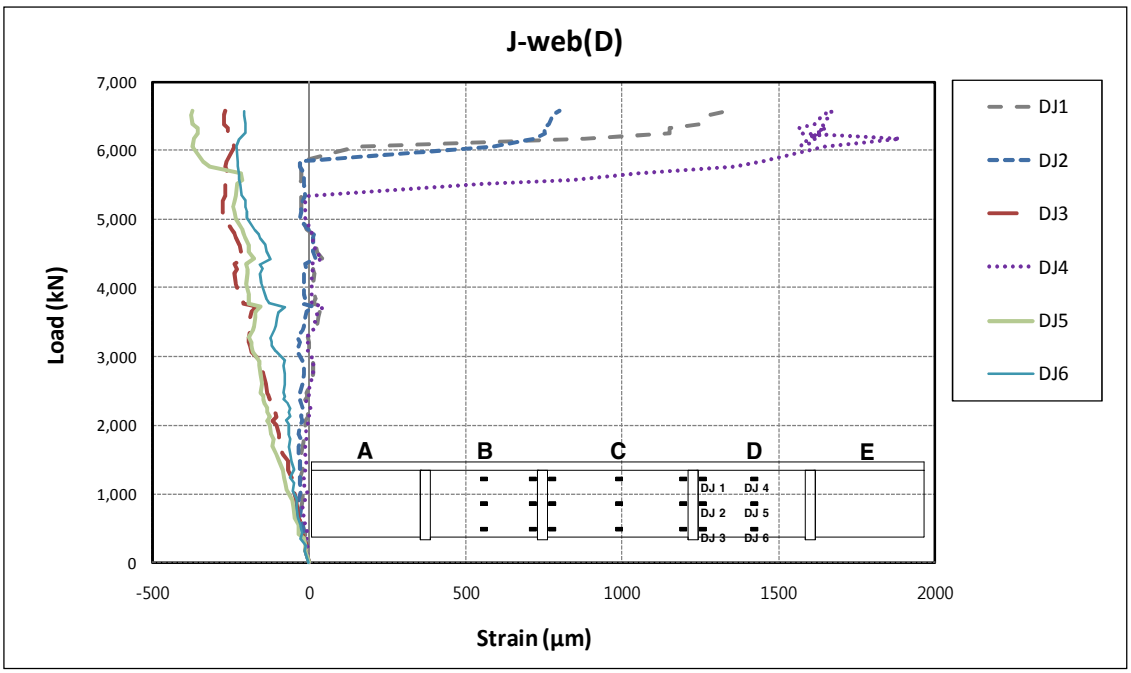
[그림 3.50] 하부슬래브 변형률



[그림 3.51] J-web(C) 변형률



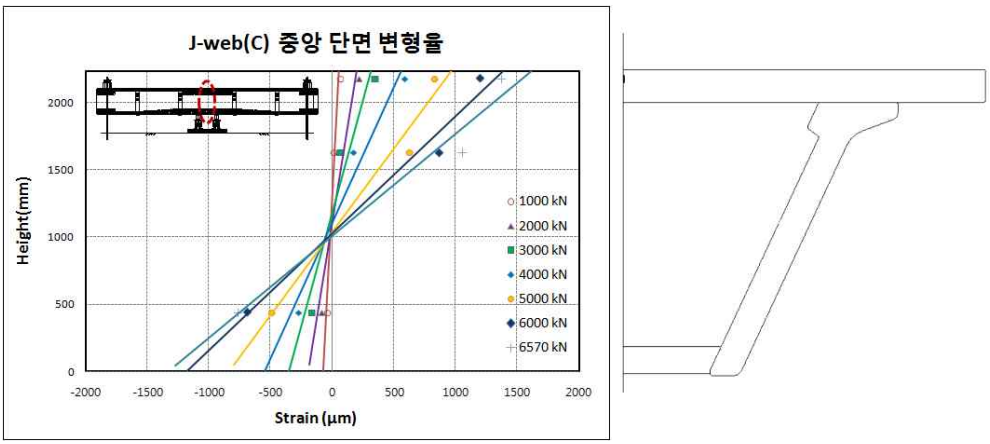
[그림 3.52] J-web(B) 변형률



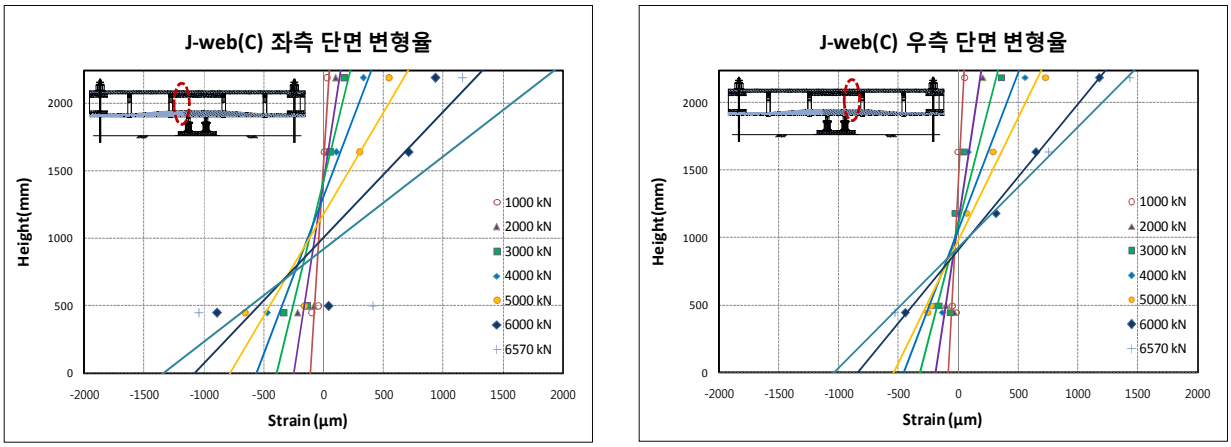
[그림 3.53] J-web(D) 변형률

라. 단면변형률

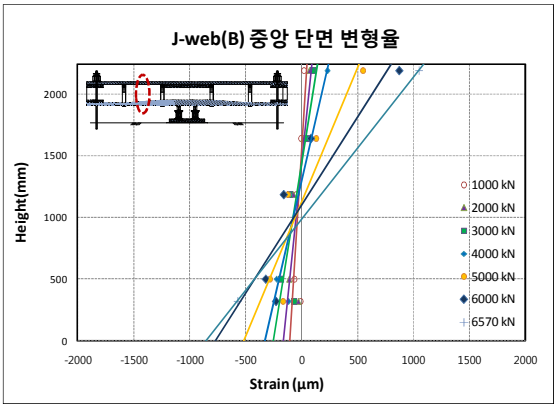
종방향 철근에 부착된 스트레인 게이지의 변형률을 이용하여 각 섹션별로 단면변형률을 나타내었다. 부재 전체의 거동을 볼 때 좌우가 대칭으로 전형적인 단순보의 휨 거동을 보인다. 균열하중 근처인 4000kN까지는 거의 선형적인 단면변형률을 보이다 5000kN부터 비선형적인 거동을 보이며 중립축이 아래로 내려가는 현상이 나타난다. 특히 거더의 중심에서 수평전단 균열이 발생한 A구간 쪽으로는 더 큰 중립축의 변화를 보인다. 연결부인 Nodule 위치에서는 하중증가에 따라 균열과 관계없이 선형적으로 변형률이 증가하면서 중립축이 감소하는 양상이 나타난다.

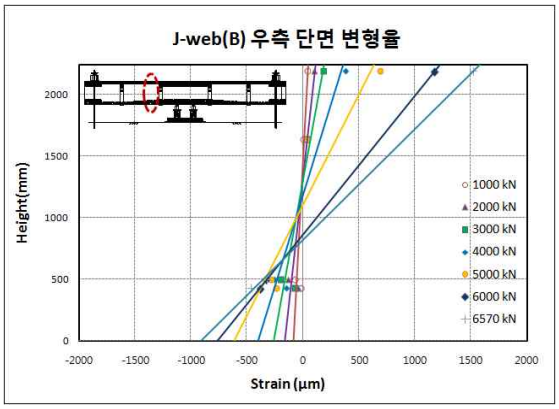


[그림 3.54] J-web(C)의 중앙 단면변형률

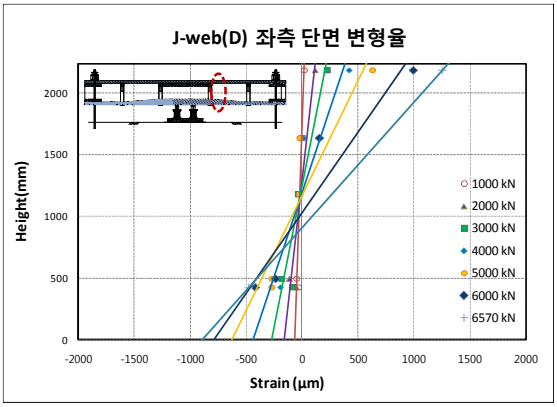


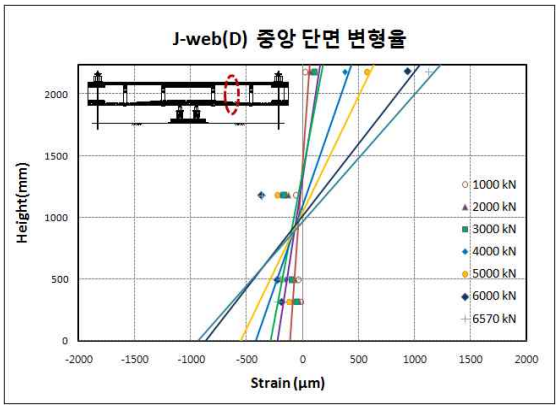
[그림 3.55] J-web(C)의 좌측 및 우측 단면변형률



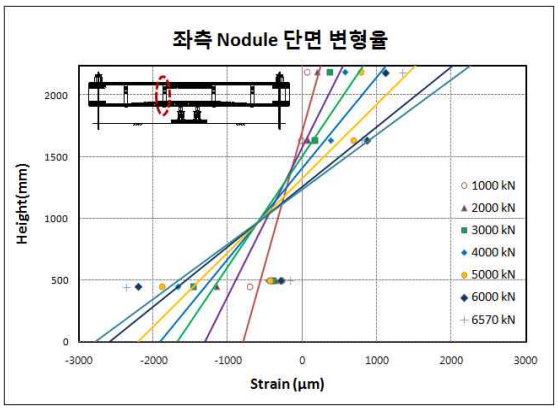


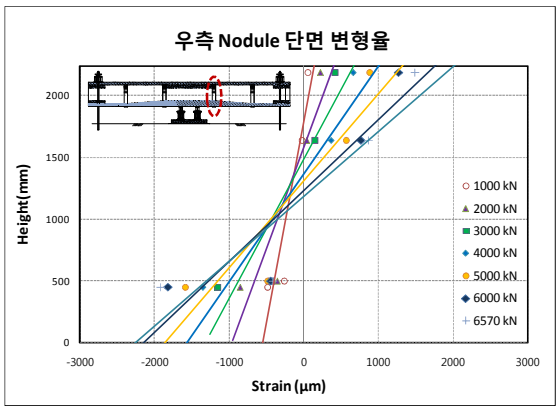
[그림 3.56] J-web(B)의 중앙 및 우측 단면변형률





[그림 3.57] J-web(D)의 좌측 및 중앙 단면변형률





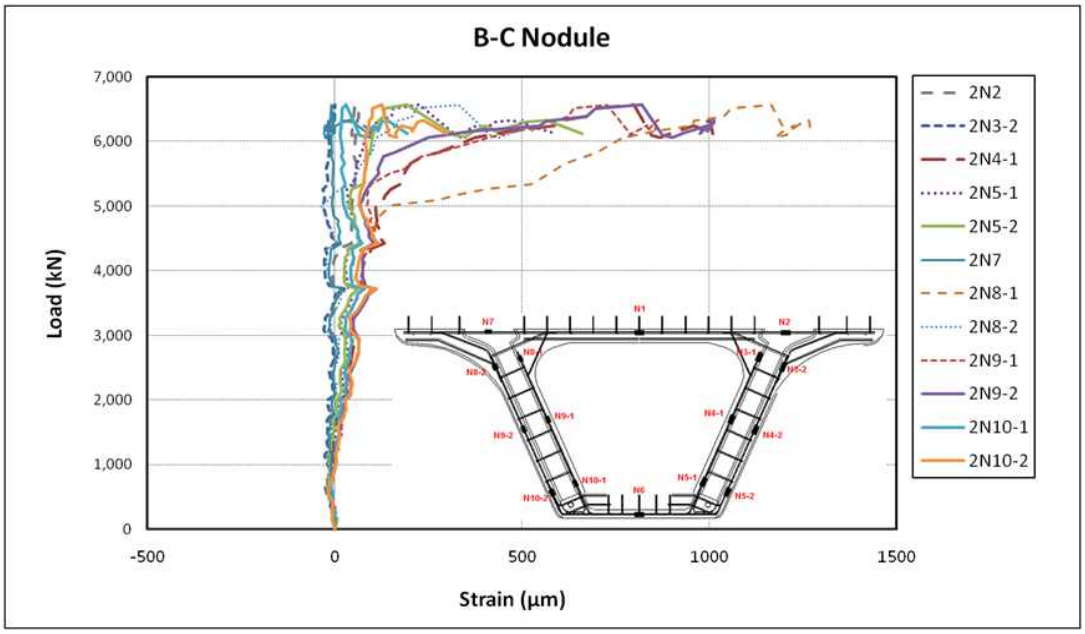
[그림 3.58] J-web(C)의 좌측 및 우측 Nodule의 단면변형률

마. Nodule 부재의 거동

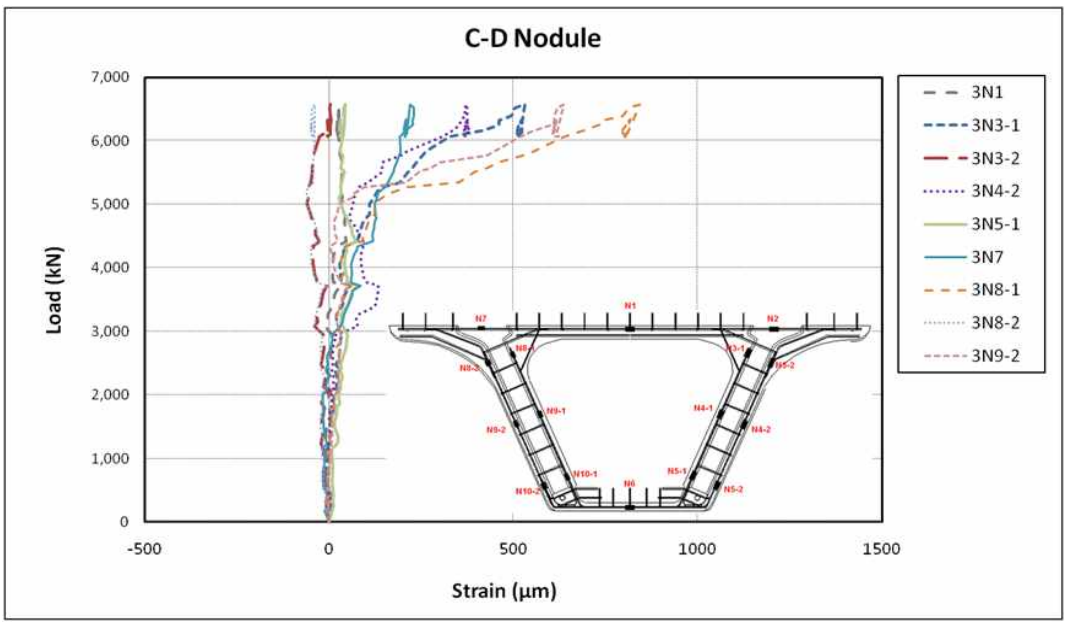
Nodule의 철근에 부착된 스트레인 게이지의 변형률을 [그림 3.59]와 [그림 3.60]에 나타내었다. 계측결과는 B-C구간 Nodule과 C-D구간 Nodule은 거의 유사한 거동을 보였다.

C구간 양측의 Nodule 부재는 종방향 균열 이후 약 5000kN에서 내측 복부 상단에 균열이 발생하였으며, 하중이 더 증가하면서 J-web의 종방향 균열이 발전하여 Nodule 복부 중단 내·외측에 균열이 발생하였다.

Nodule의 전체적인 거동은 구조체로서 종방향 균열 이후에도 Box형 거더의 단면 형상을 유지 및 횡방향 강성 증대에 상당한 기여를 한 것으로 판단된다.



[그림 3.59] B-C구간 Nodule의 변형률



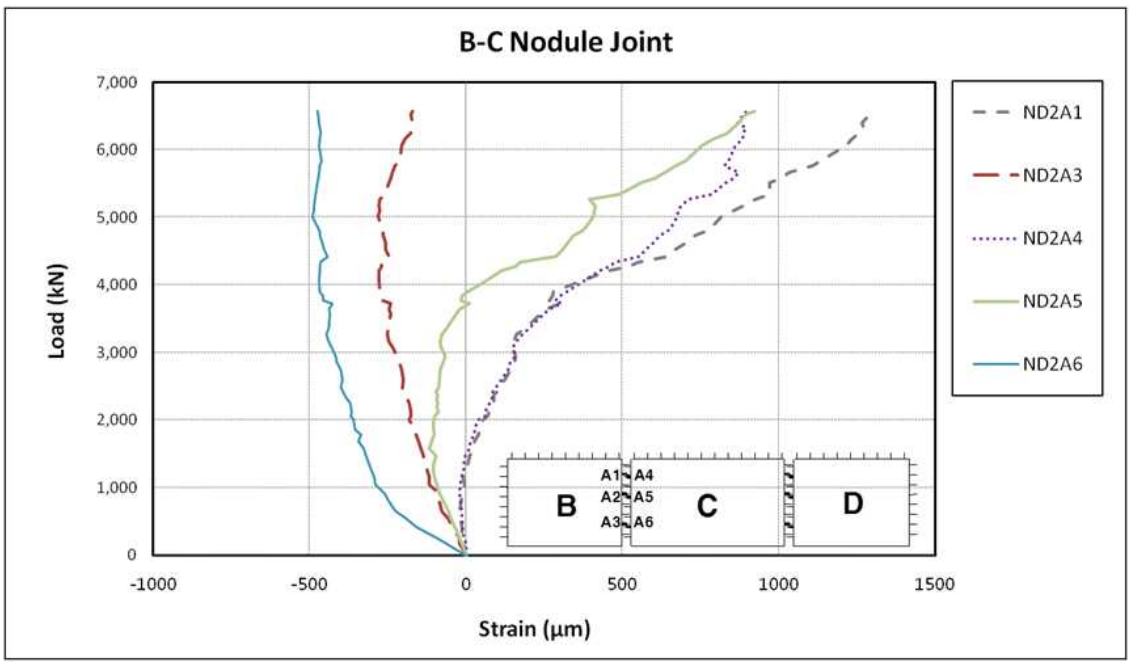
[그림 3.60] C-D구간 Nodule의 변형률

바. Nodule Joint의 거동

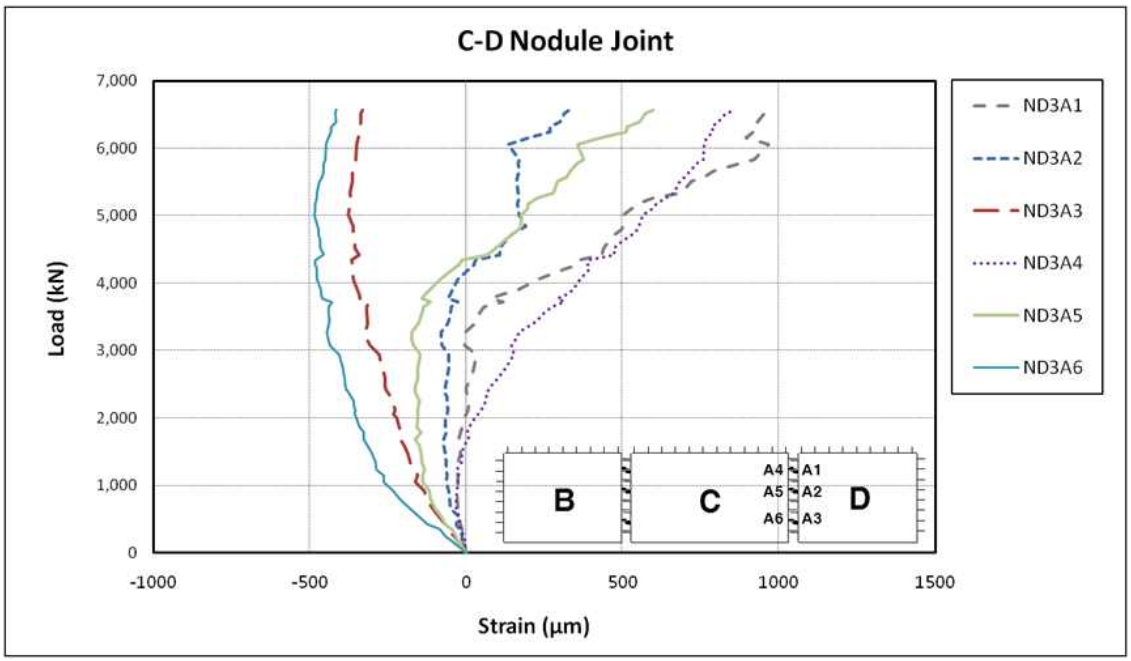
B-C구간과 C-D구간을 연결하는 Nodule Joint 내부에서 J-web을 연결하는 루프철근의 상단, 중단, 하단에 부착된 스트레인 게이지의 변형률 측정값을 [그림 3.61]과 [그림 3.62]에 나타내었다. 양측의 Nodule Joint가 거의 유사한 거동을 한 것으로 나타났으며, 상단에 배치된 루프철근이 균열하중에서 변형률의 기울기가 변함으로 일반구간과 일체로 거동함을 알 수 있다.

그리고 균열하중 이후에 Nodule Joint 중단에서 압축에서 인장으로 응력이 변하는 양상을 보였다. 이는 프리스트레스에 의해 압축력이 도입된 실제 거더의 Nodule Joint에서는 압축응력이 증가하다 균열이후 감소할 수는 있겠지만, 본 실험과 같이 급격하게 인장응력이 발생하지 않을 것으로 사료된다.

그리고, 프리캐스트 연결부가 Nodule 내부에 위치하여 균열을 확인할 수는 없었지만, 최대하중이 재하될 때까지 Nodule Joint가 벌어지거나 파괴되는 현상이 나타나지 않았다. 따라서 Nodule Joint가 거더의 성능보다 낮은 하중에서 먼저 파괴되는 현상은 발생하지 않을 것으로 판단된다.



[그림 3.61] B-C구간 Nodule Joint 변형률



[그림 3.62] C-D구간 Nodule Joint 변형률

5. 소 결

본 실험은 노듈러 거더 연속교에서 부모멘트가 작용하는 연속지점부의 안전성을 검증하기 위해 수행하였다. 본 성능검증 실험의 결과를 정리하면 아래와 같다.

가. 실물크기의 노듈러 거더를 제작하여 부모멘트가 작용하는 연속지점부와 유사한 거동을 하도록 성능검증 실험을 수행하였다. 정적 재하 시험을 수행한 결과, 초기 균열은 하중 3722.8kN에 연속지점부 Nodule의 상부슬래브에서 발생하였으며, 실제 자중을 고려한 계산 균열하중 3684.6kN과 약 1%정도의 오차로 거의 일치하였다.

나. 초기 균열하중까지 선형 탄성거동을 확인한 실험부재는 계속된 하중 증가에 따라 전형적인 휨 거동을 보였으며, 실제 자중을 고려한 설계 공칭하중 6321.7kN을 넘어 최대하중 6570.3kN까지 재하하였다.

다. 전형적인 휨 거동을 보이던 실험부재는 최대하중에서 하중재하점 좌측의 앵커부에 수평전단 균열이 발생하면서 더 이상 하중재하가 불가능하여 실험을 종료하였다. 수평전단 균열의 원인은 첫 번째 실험부재를 부모멘트가 작용하는 실제 교량을 최소 길이로 유사한 거동을 하도록 계획하여 수평전단에 저항하는 길이가 실제교량보다 부족하였고, 두 번째는 실제 교량과 달리 집중하중의 재하로 인한 전단지간 전 구간에 매우 큰 동일한 전단력이 작용하였기 때문으로 사료된다. 따라서 실제 교량의 연속지점부는 설계 공칭하중보다 훨씬 큰 하중에 저항하면서 충분한 연성거동을 보일 것으로 판단된다.

라. 노듈러 거더의 연결부인 Nodule Joint는 J-web으로부터 돌출된 루프철근과 콘크리트 습식연결에 의해 일반구간과 종방향으로 일체 거동함을 확인하였으며, 실제 교량에서 프리스트레스에 의한 압축력이 도입될 때 Nodule Joint는 훨씬 뛰어난 성능이 발휘될 것으로 판단된다.

마. Nodular Joint를 구성하는 Nodule 부재는 종방향 균열이후에도 횡방향으로 Box형 거더의 단면형상을 유지하고, 횡방향 거동에 대한 구조부재로 거동하였다. 이는 Nodule 부재가 가설 시 횡방향 강성 보강 및 거푸집 역할을 할 뿐 아니라 합성 후 전체부재의 횡방향 강성 증대에 상당한 기여를 하는 것으로 사료된다.

바. 본 검증실험 결과로 노듈러 거더는 연속교 적용 시에도 현재의 설계방법으로 사용하중 및 계수하중에 대하여 충분한 안전성을 확보할 수 있을 것으로 판명되었다.

4절 내하력 평가

1. 재하 실험 계획

가. 재하시험 구조물 개요

- 공사명 : 상주～영덕(제6공구) 고속도로 건설공사
- 교량명 : 평팔육교
- 교량형식 : Nodular Girder
- 연장(L) : 45.0m
- 폭원(B) : 5.0m
- 거더형고(H) : 2.0m

나. 재하시험 목적

재하시험은 실교량의 활하중에 대한 응답특성을 규명하여 구조해석상 이론적인 응답과 비교함으로써 실제적인 교량의 하중지지능력을 평가하기 위한 것이다.

① 정적재하시험 : 정적상태에서 교량의 거동특성 분석

② 동적재하시험 : 시험차량의 속도별 주행시 측정된 동적처짐 및 진동가속도로부터 실제 교량의 충격계수 및 동적거동특성을 구한다.

다. 재하시험 위치

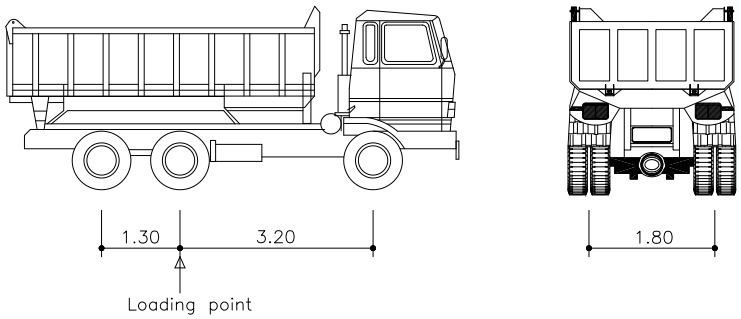
본 교량은 연장 45.0m의 단경간 노듈러 거더교로서 설계하중 DB-24의 1등교이다. 차량하중 재하지점의 선정은 구조적으로 취약할 것으로 예상되는 위치 및 재하시험의 용이성 등을 고려하여 최대 정모멘트가 작용하는 지점을 선정하였다.

[표 3.12] 재하시험위치 및 선정사유

시 험 위 치	선 정 사 유	비 고
1경간(S1), 1/2L	최대 정모멘트가 작용하는 지점	

라. 시험차량의 제원 및 축중량

대상교량의 재하시험에는 설계하중의 약 63.8%에 해당하는 토사를 만재한 15Ton 덤프 트럭을 사용하였으며, 재하차량의 제원 및 중량은 [그림 3.63], [표 3.13]와 같다.



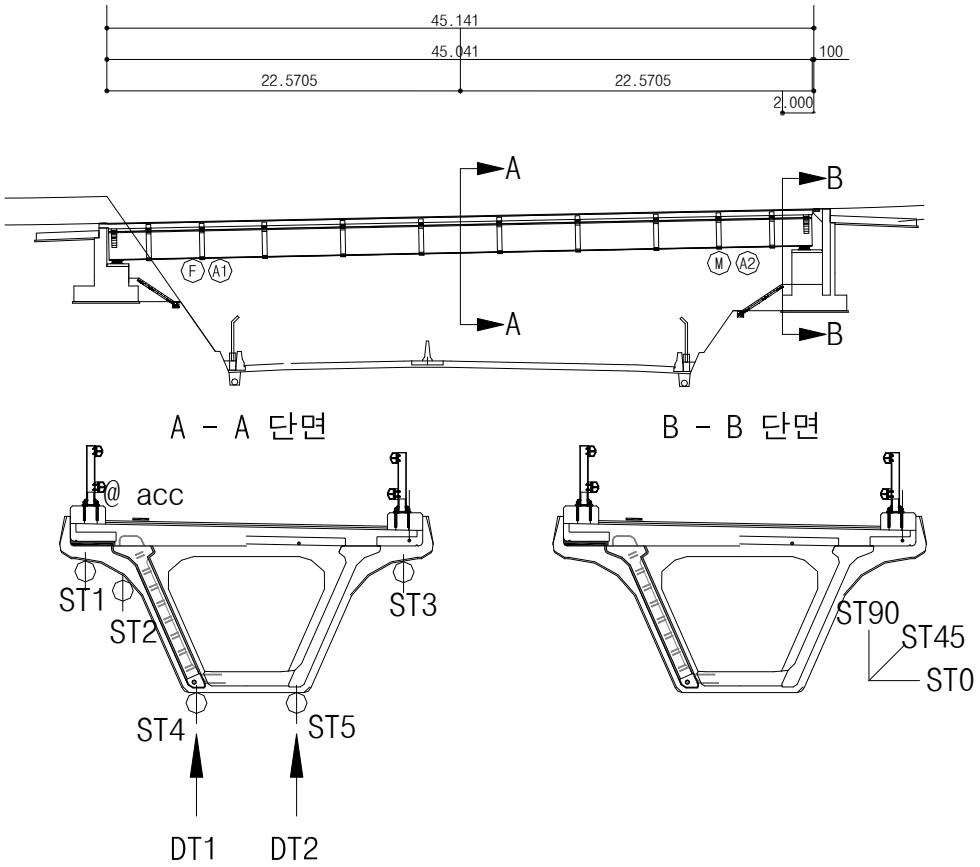
[그림 3.63] 시험차량의 제원

[표 3.13] 시험차량의 재원 및 축중하중

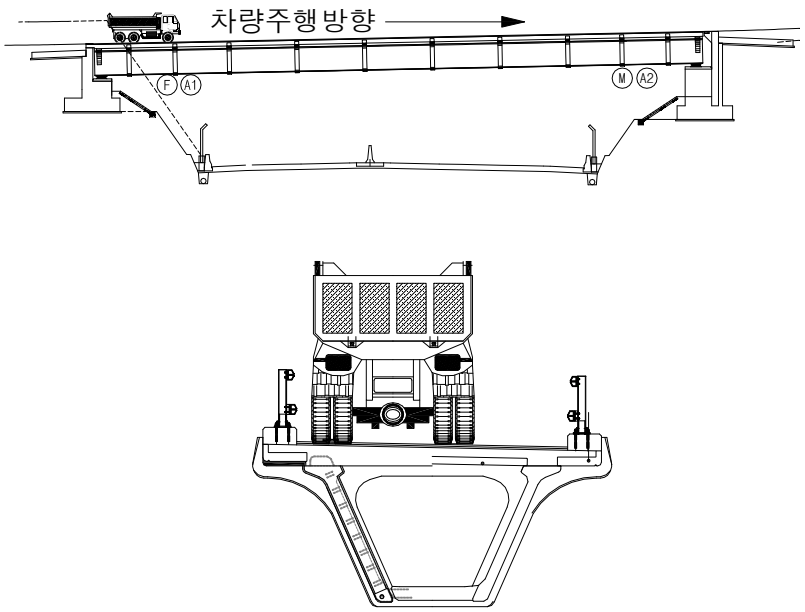
차 종	차축1과 차죽2 간 거리	차축1과 차죽2 간 거리	좌·우측 거리
15Ton 덤프	3.2m	1.3m	1.8m

교 량 명	총중량 (kN)	전륜 (kN)	전륜 (kN)	중륜 (kN)	중륜 (kN)	후륜 (kN)	후륜 (kN)
평팔육교	275.6	37.206	37.206	50.297	50.297	50.297	50.297

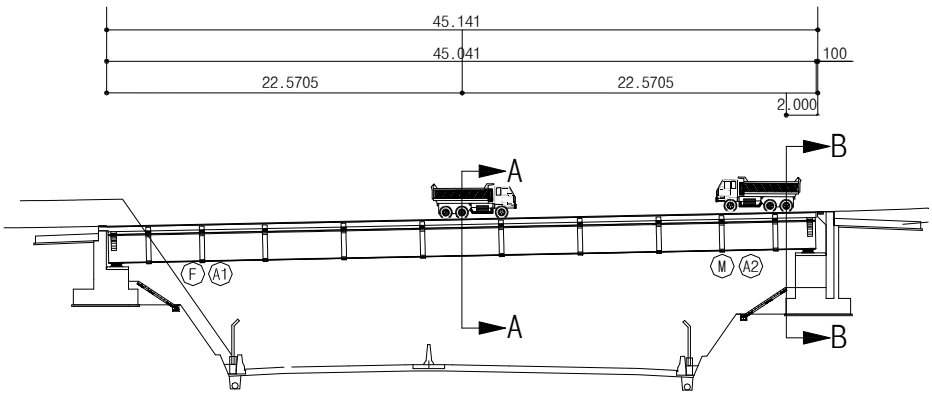
마. 재하시험 위치 및 게이지 부착 위치도

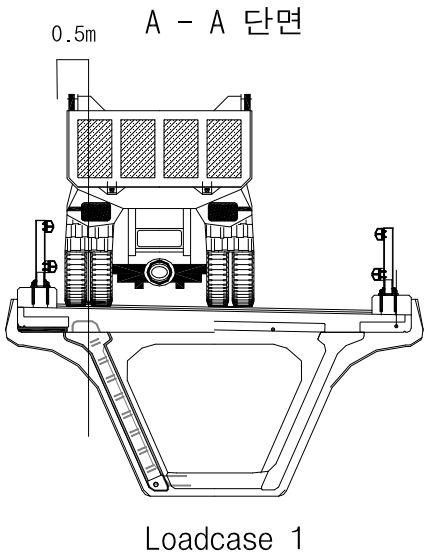


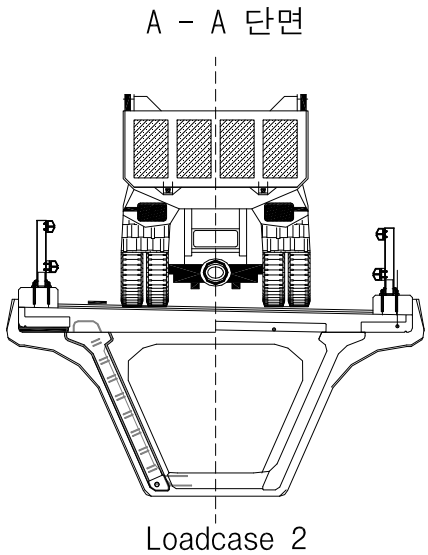
[그림 3.64] 게이지 부착 위치

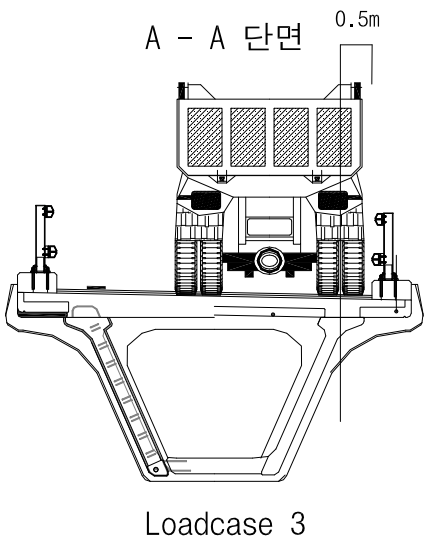


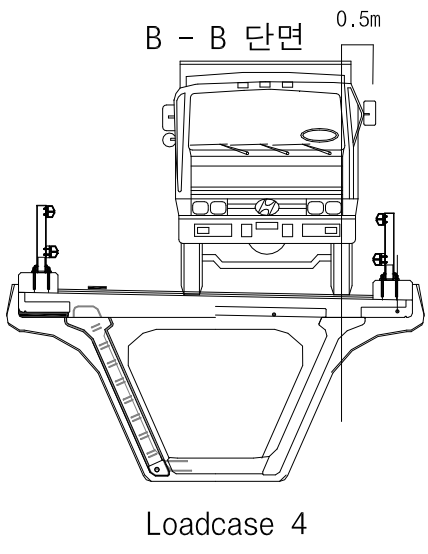
[그림 3.65] 동적 재하실험











[그림 3.66] 정적 재하실험

바. 재하시험 현황사진



(a)정적 재하시험



(b)동적 재하시험



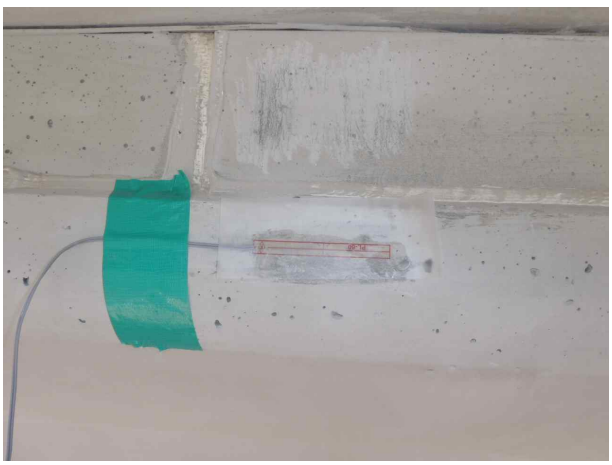
(c)재하시험 계측



(d)가속도계 설치



(e)처짐계 설치



(f)변형률계 설치

[그림 3.67] 재하시험 현황사진

2. 정적 재하실험

가. 처짐 및 변형률 측정결과

최대 휨모멘트가 작용하는 지점에 steel 변형률게이지(ST)와 처짐계(DT)를 부착하였으며, 정적재하시험을 통하여 최대처짐(DT2:-7.201㎜), 최대변형률(ST5:61.657)을 측정하였다. 측정결과는 다음 표와 같다.

[표 3.14] Load Case별 처짐결과

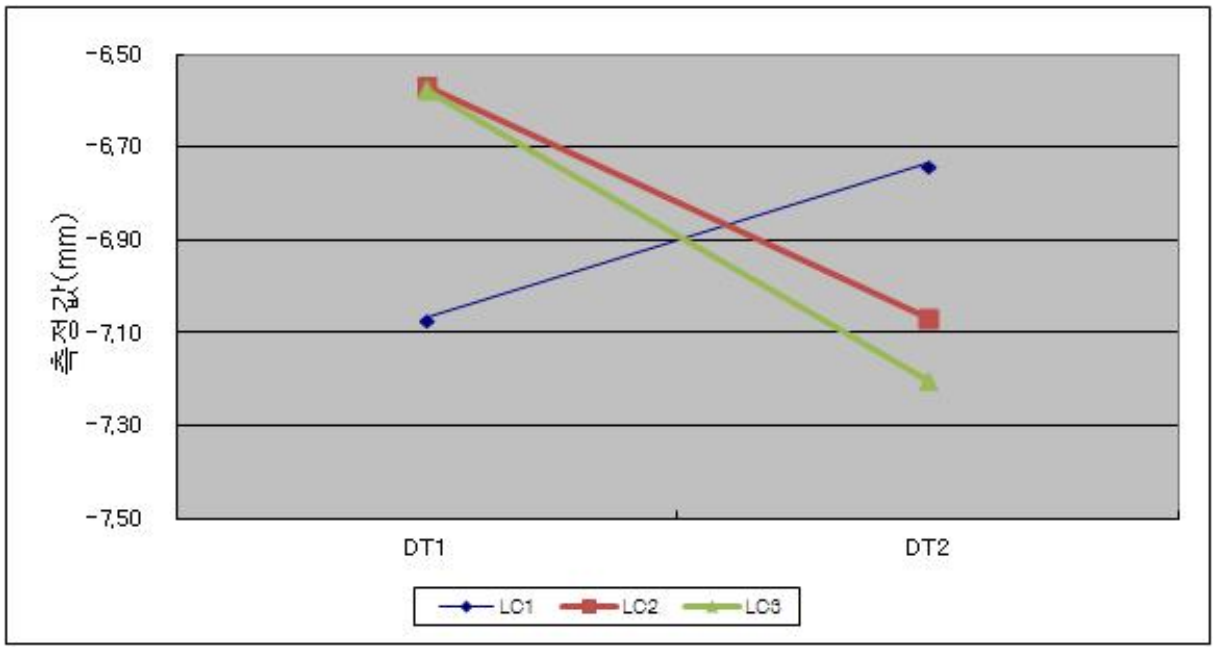
구 분	LC1	LC2	LC3	단 위
DT1	-7.067	-6.567	-6.576	mm
DT2	-6.737	-7.069	-7.201	
최대처짐	DT2 : -7.201			

[표 3.15] Load Case별 변형률결과

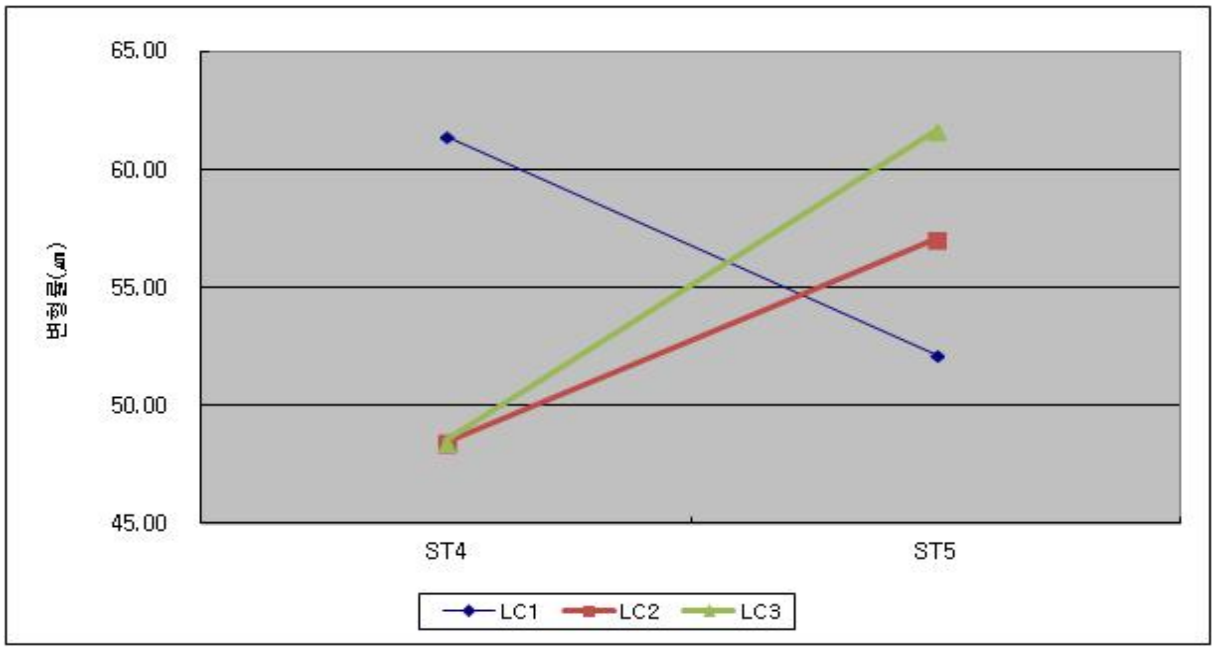
구 분	LC1	LC2	LC3	단 위
ST1	-20.320	-17.142	-14.658	strain +:인장 -:압축
ST2	-17.291	-14.749	-13.658	
ST3	-15.800	-17.488	-21.326	
ST4	61.418	48.456	48.502	
ST5	52.152	57.068	61.657	
최대변형률	ST5 : 61.657			

나. 하중 횡분배 대칭성 검토

평팔육교의 정적재하시험을 통한 처짐 및 변형률에 의한 하중 횡분배 효과를 검토한 결과, 횡분배 상태는 적정한 것으로 분석되었다.

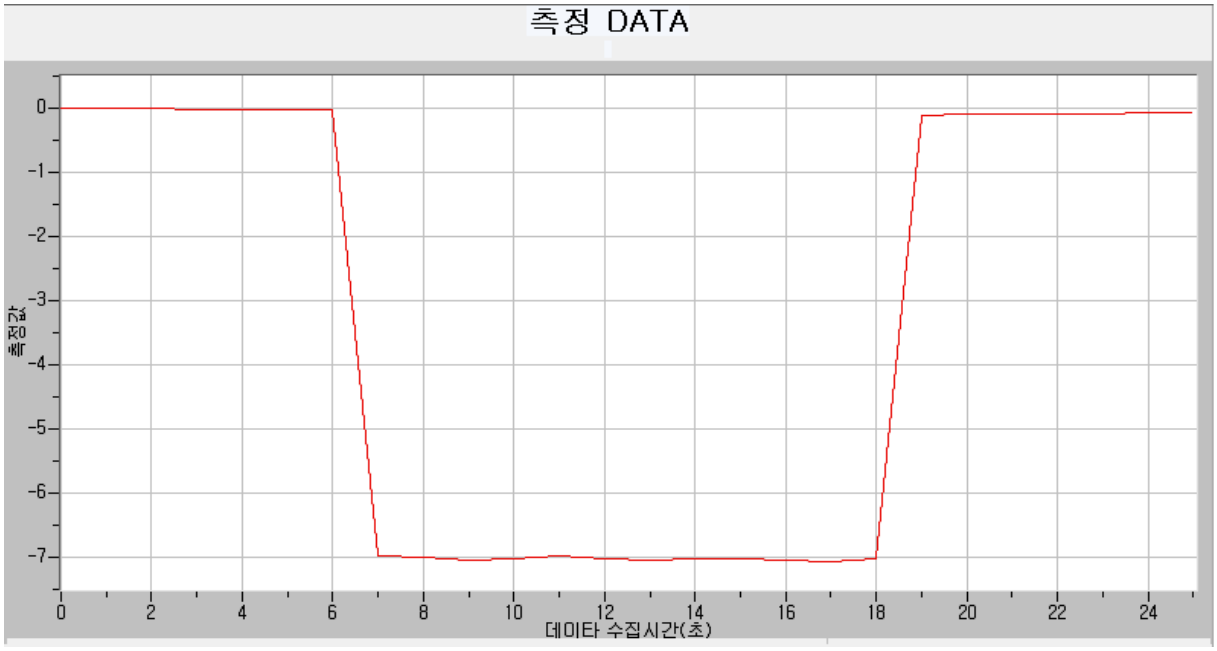


[그림 3.68] 처짐에 의한 대칭성 비교

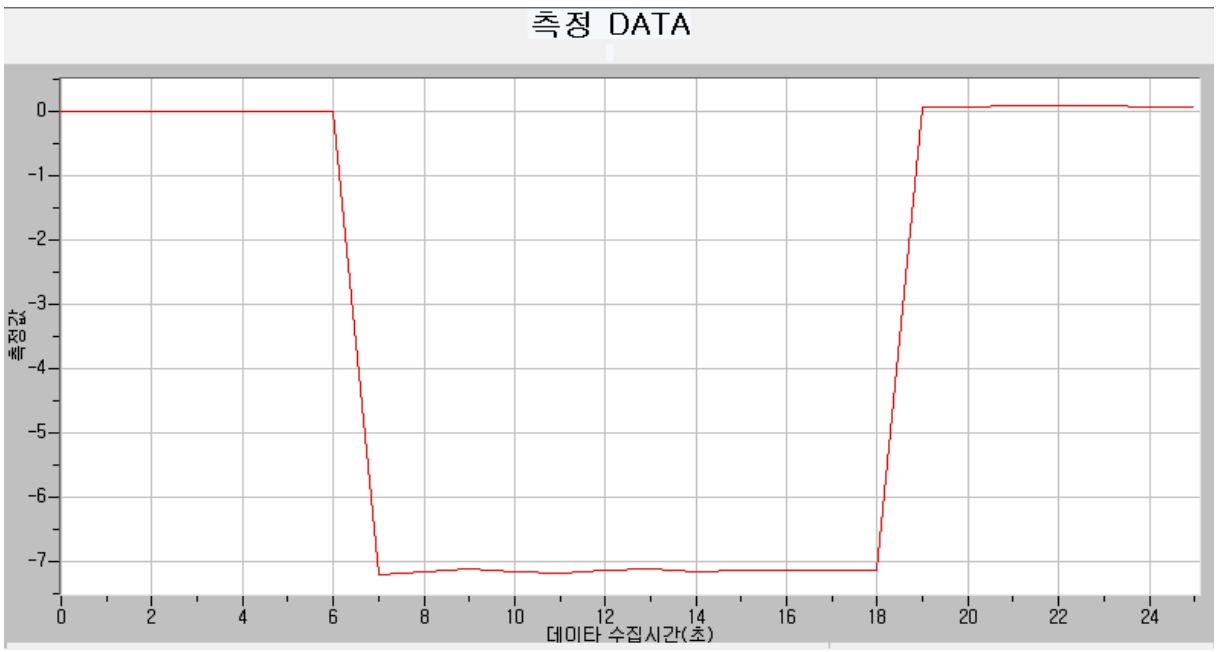


[그림 3.71] 변형률에 의한 대칭성 비교

다. 정적재하시험 처짐 측정 DATA

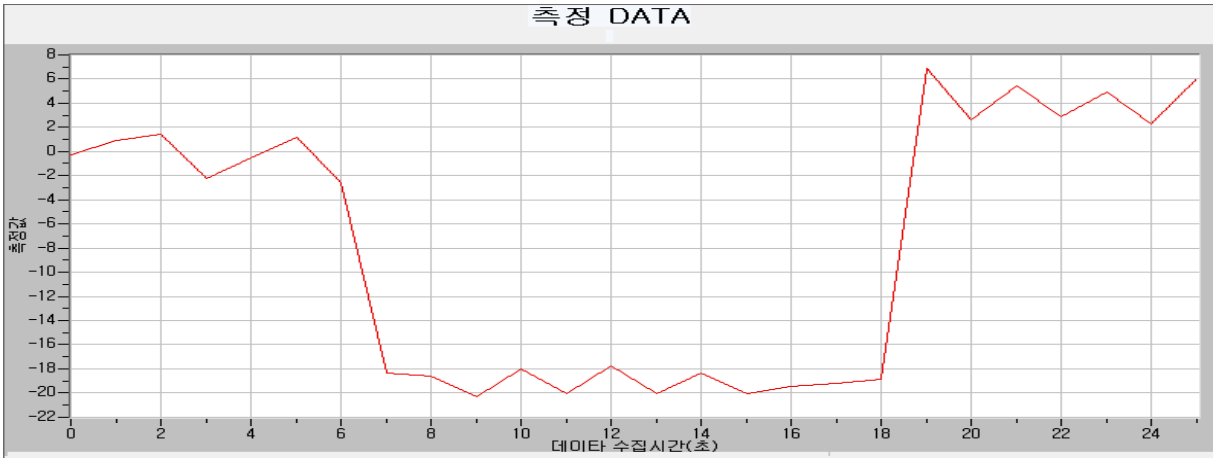


[그림 3.70] LC1 DT1 처짐값 그래프

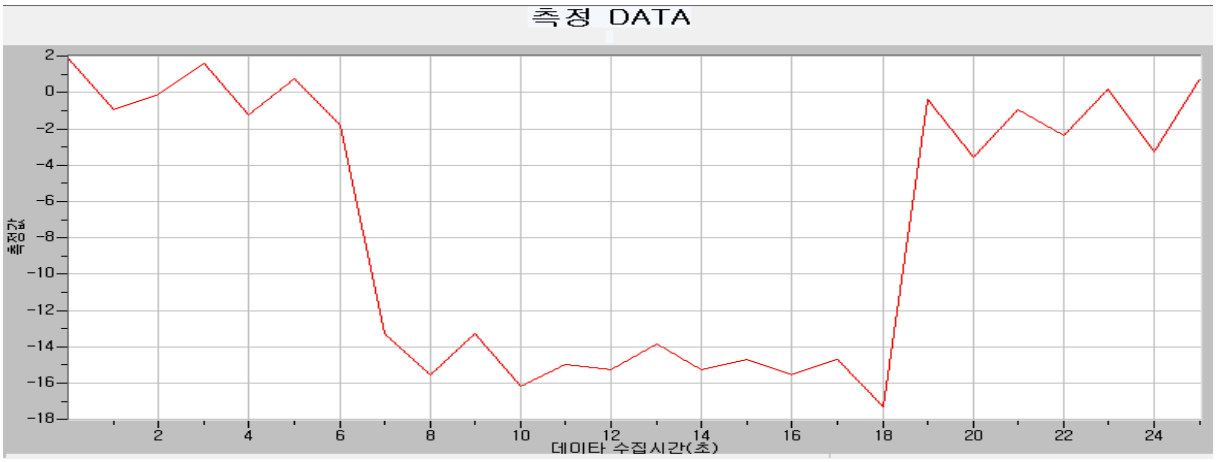


[그림 3.71] LC3 DT2 처짐값 그래프

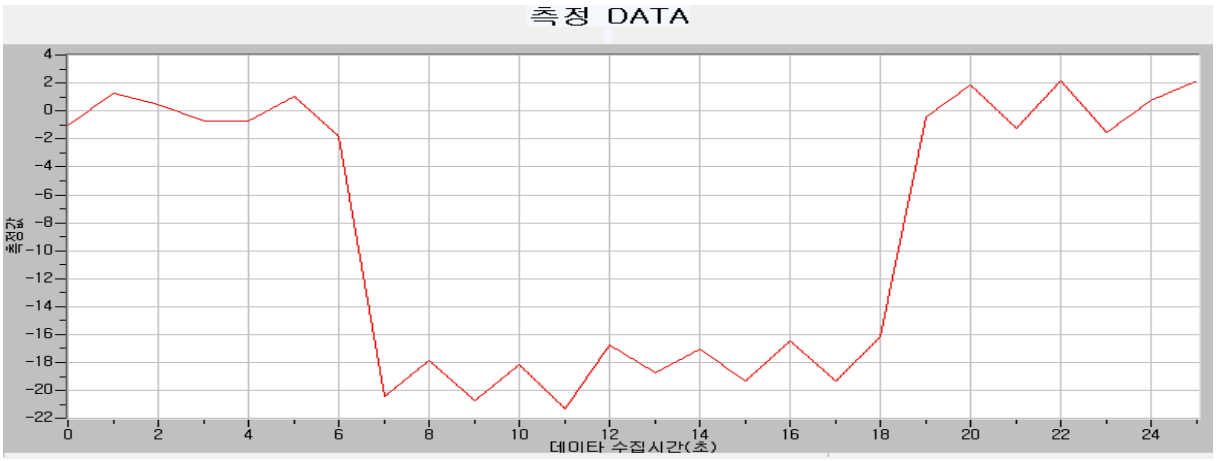
라. 정적재하시험 변형율 측정 DATA



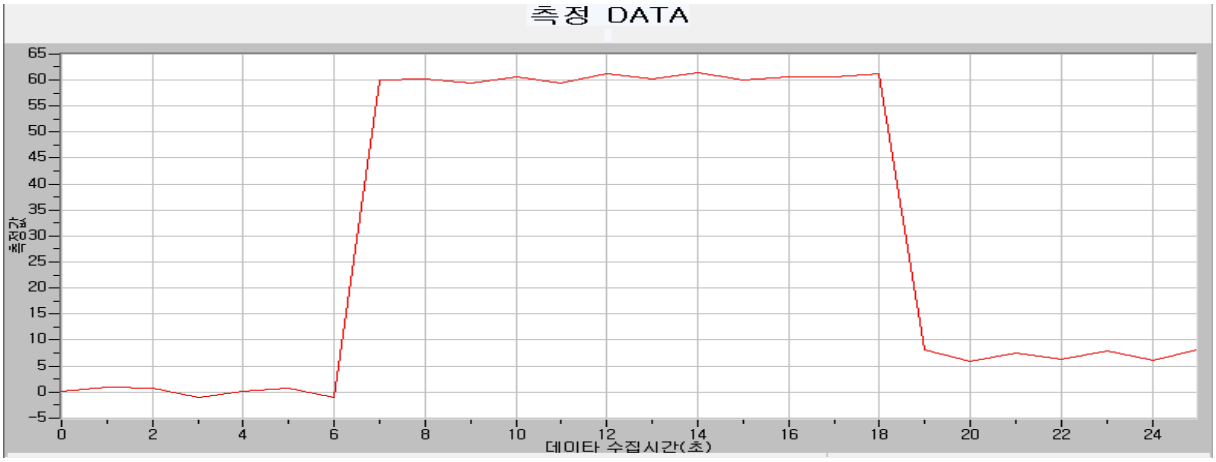
[그림 3.72] LC1 ST1 변형율 그래프



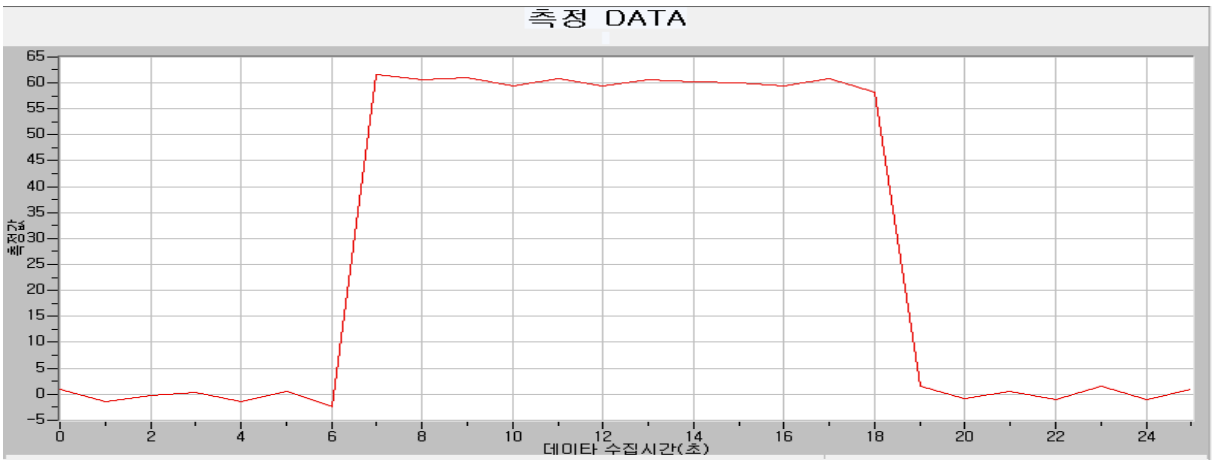
[그림 3.73] LC1 ST2 변형율 그래프



[그림 3.74] LC3 ST3 변형율 그래프



[그림 3.75] LC1 ST4 변형율 그래프



[그림 3.76] LC3 ST5 변형율 그래프

마. 단부의 로우젯 응력

단부의 최대 전단응력과 최대·최소 주응력을 파악하기 위해 단면(B-B)에 로우젯게이지(Rosset Gauge) 부착하였고, 최대 응력 발생에 대한 응력해석을 하면 아래표와 같다.

[표 3.16] 응력해석 결과

구 분	로우젯 변형률 (×10⁻⁶)			수직전단 및 주변형률 (×10⁻⁶)			최대전단응력	허용전단응력	비고
	ε_a	ε_b	ε_c	γ_{xy}	ε_1	ε_2	f_{max}	f_a	판정
로젯 게이지	S0	S45	S90	24.031	11.535	-13.662	0.407	0.620	O.K
	-4.851	10.952	2.724						

(1) γ_{xy} 산정

여기에서, ε_a, ε_b, ε_c : 로우젯 게이지의 수평, 45°, 수직 변형률

γ_{xy} : 수직방향 전단 변형률

$$\gamma_{xy} = 2\varepsilon_b - (\varepsilon_a + \varepsilon_c) = [2\times10.952-(-4.851+2.724)]\times10^{-6}$$

$$= 24.031\times10^{-6}$$

(2) 주변형률 산정

ε_1, ε_2 : 주변형률로서

$$\varepsilon_{1,2} = \frac{\varepsilon_a + \varepsilon_c}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_a - \varepsilon_c}{2}\right)^2 + \left(\varepsilon_b - \frac{\varepsilon_a}{2} - \frac{\varepsilon_c}{2}\right)^2}$$

$$= (-1.064 \pm 12.598)\times10^{-6}$$

$\varepsilon_1 = 11.535\times10^{-6}$(최대 주변형률)

$\varepsilon_2 = -13.662\times10^{-6}$ (최소 주변형률)

(3) 주응력 산정

f_1, f_2 : 주응력

$$f_x = \frac{E(\varepsilon_x + \nu\varepsilon_y)}{1-\nu^2} = \frac{38896.9(11.535 + 0.17\times -13.662)}{1-0.17^2}\times10^{-6}$$

$$= 0.369\text{MPa}$$

$$f_y = \frac{E(\varepsilon_y + \nu\varepsilon_x)}{1-\nu^2} = \frac{38896.9(-13.662 + 0.17\times11.535)}{1-0.17^2}\times10^{-6}$$

$$= -0.469\text{MPa}$$

$f_{xy} = G \cdot \gamma_{xy} = 16,622.6 \times 24.031 \times 10^{-6} = 0.404\text{MPa}$

($E = 0.077 \times 2,500^{1.5} \times \sqrt[3]{66} = 38,896.9\,MPa$, $G = 16,622.6\,MPa$, $\nu = 0.17$

여기서 G=E/[2×(1+ν)] = 38,896.9 / 2×(1+0.17) = 16,622.6 MPa)

$$f_{1,2} = \frac{f_x + f_y}{2} \pm \sqrt{(\frac{f_x + f_y}{2})^2 + f_{xy}^2}$$

$= -0.050 \pm 0.407$

$f_1 = 0.357MPa$ (최대 주응력)

$f_2 = -0.457\,MPa$ (최소 주응력)

(4) 최대 전단응력 산정

$$f_{max} = \frac{f_1 - f_2}{2} = \frac{0.357 - (-0.457)}{2} = 0.407\,MPa$$

(5) 허용 전단응력

$f_a = 0.620MPa > 0.407$ MPa (O.K)

(6) 결 과

위 표에서 로젯게이지의 부착위치에 대한 최대 전단응력은 0.407MPa로 허용전단응력인 0.620MPa에 못 미치는 수준으로 본 교량의 전단에 대한 교량의 안전성은 문제가 없을 것으로 분석되었다.

3. 동적 재하실험

가. 개요

동적 재하시험은 구조물의 동적 거동을 조사, 측정하기 위한 것으로 교량의 실 충격계수와 실고유진동수 등의 동적 특성을 측정 기록하여 본 교량의 안전성을 검토하기 위한 기본 자료를 구하기 위해 실시하였다.

재하차량의 주행은 주요위치의 동적 처짐과 진동을 기록할 수 있는 위치를 주행하며, 측정값의 일정한 패턴을 유지하고자 능숙한 운전자가 운행하도록 하였다.

나. 충격계수 산정

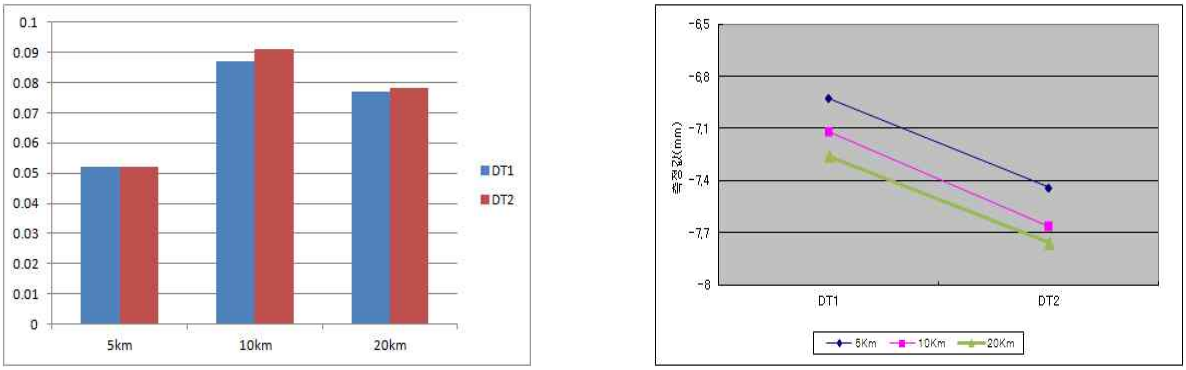
교량의 동적특성 등의 다양한 인자들에 의한 정적하중보다는 교량에 더 큰 영향을 줄 수 있는 활하중에 의한 충격영향 정도를 파악하기 위해 동적 주행 시험 시 측정된 처짐 및 변형률을 이용하였으며, 각 주행속도별로 계측된 동적 응답곡선과 Low Pass Filtering의 범위를 0.6~1.0hz로 필터링하여 구한 정적 응답곡선을 비교 후 실측충격계수를 분석하였다.

$$\text{동적증폭율(Dynamic Load Factor : D.L.F} = \frac{Ddyn(\max)}{\text{Dsta}(\max)}$$

$$\text{실측충격계수}(Impact\ Factor) \quad i = D.L.F - 1$$

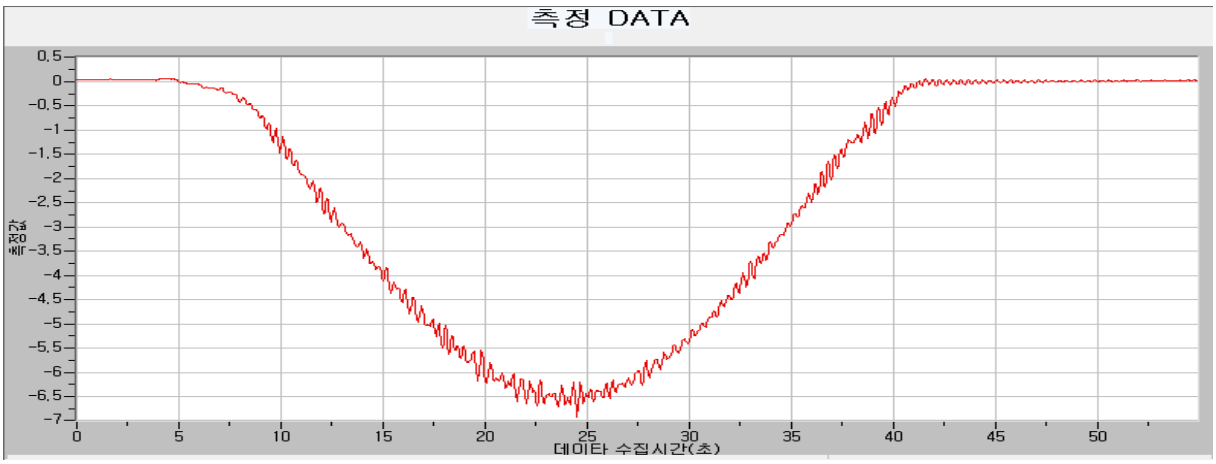
[표 3.17] 충격계수 산정결과

구분		주행속도(km/h)			대표충격계수
		5km	10km	20km	
DT1 (mm)	$\delta_{dyn}(\max)$	-6.924	-7.116	-7.257	0.091
	$\delta_{sta}(\max)$	-6.580	-6.545	-6.741	
	충격계수(i)	0.052	0.087	0.077	
DT2 (mm)	$\delta_{dyn}(\max)$	-7.435	-7.660	-7.758	
	$\delta_{sta}(\max)$	-7.065	-7.019	-7.199	
	충격계수(i)	0.052	0.091	0.078	
계산충격계수		=15 / (40 + 45.0) = 0.176			

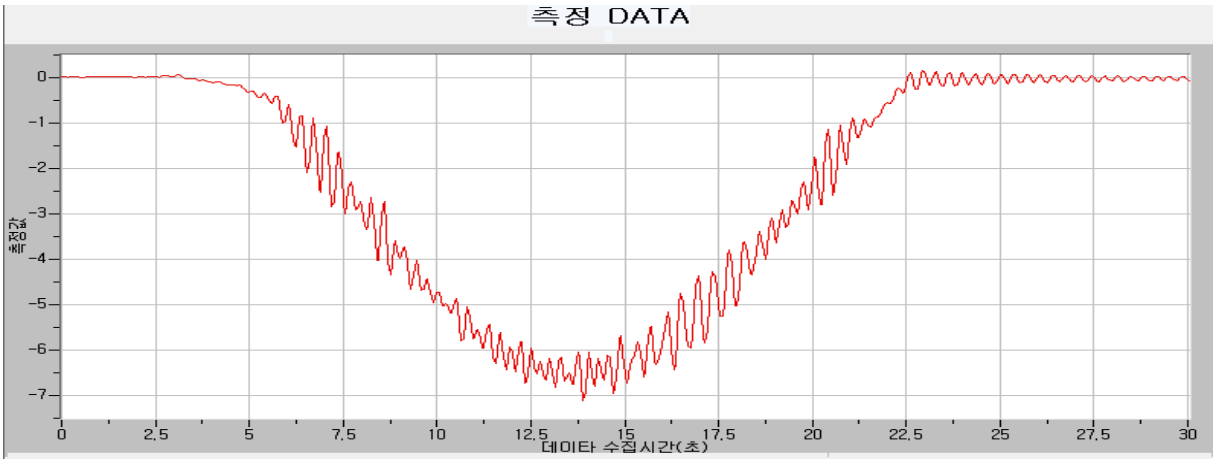


[그림 3.77] 주행속도별 충격계수 변화

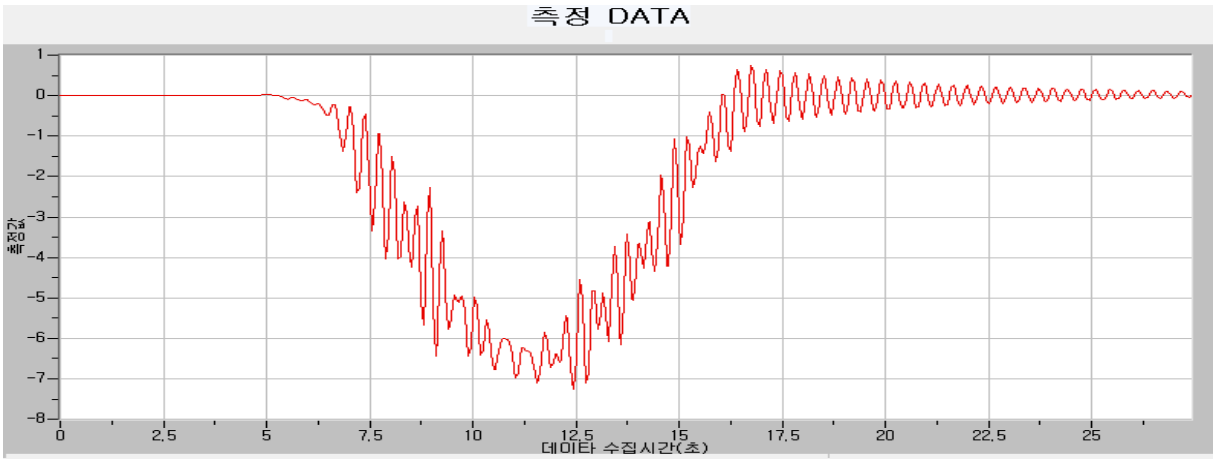
다. 동적처짐 이력곡선 측정 DATA



(a)5km DT1 처짐 그래프

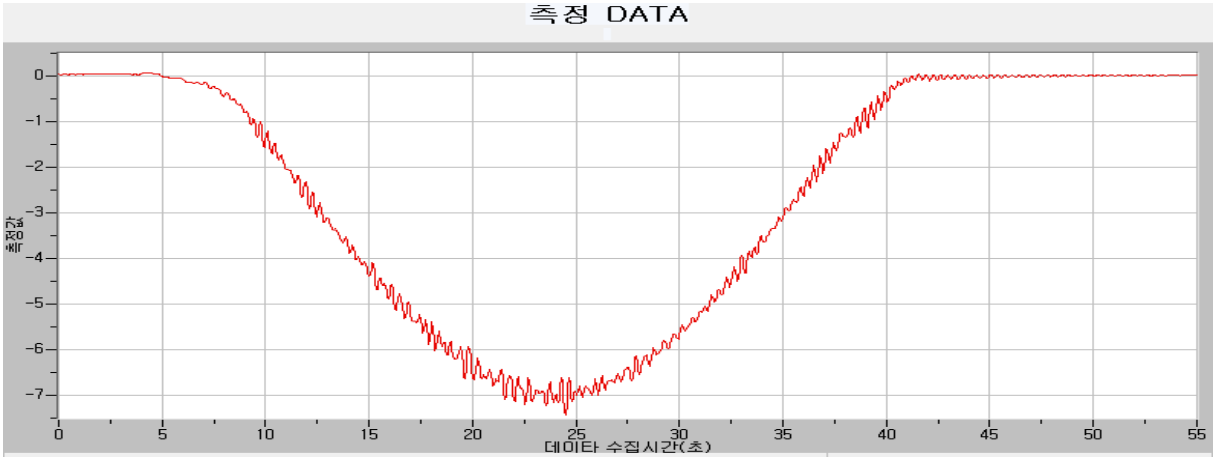


(b)10km DT1 처짐 그래프

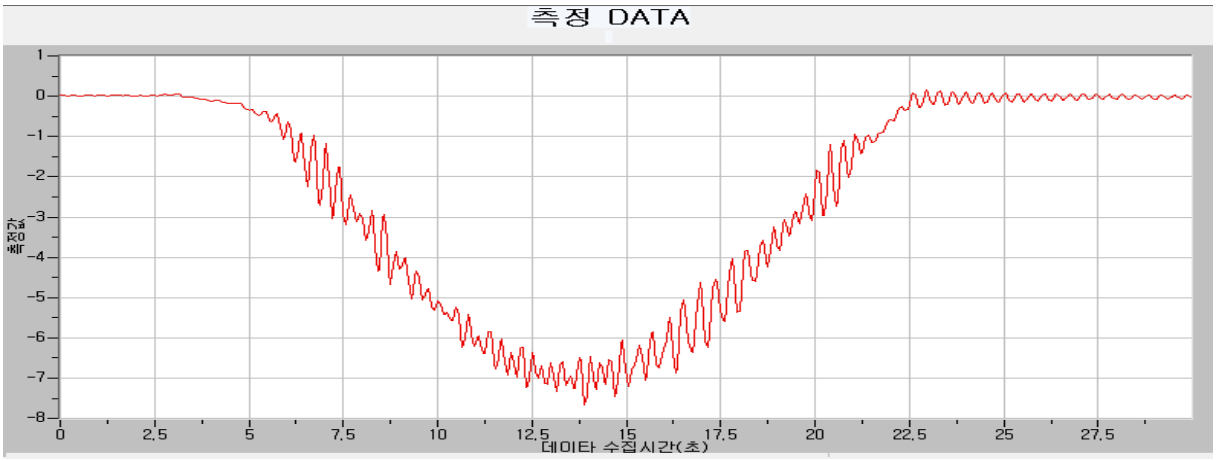


(c)20km DT1 처짐 그래프

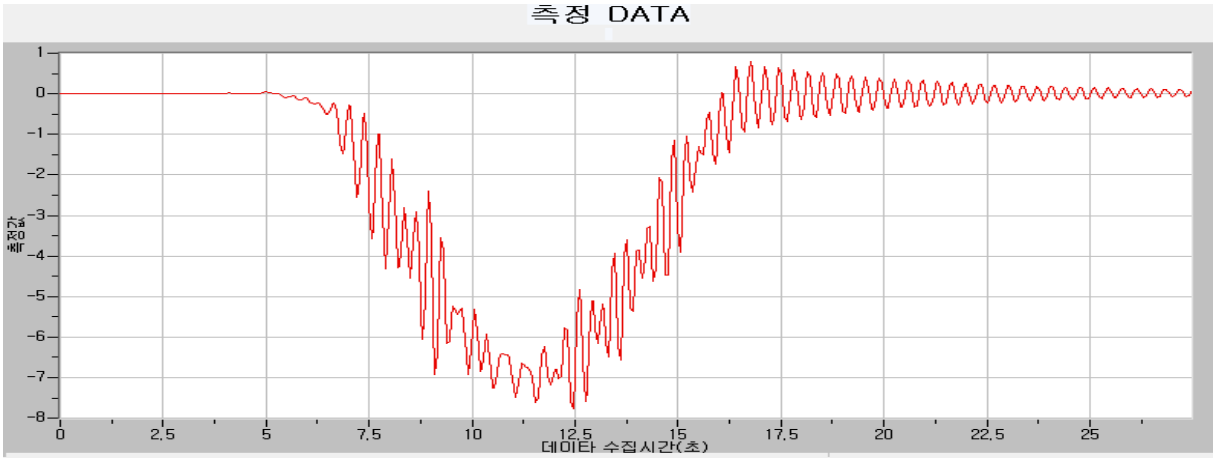
[그림 3.78] DT1 동적처짐



(a)5km DT2 처짐 그래프

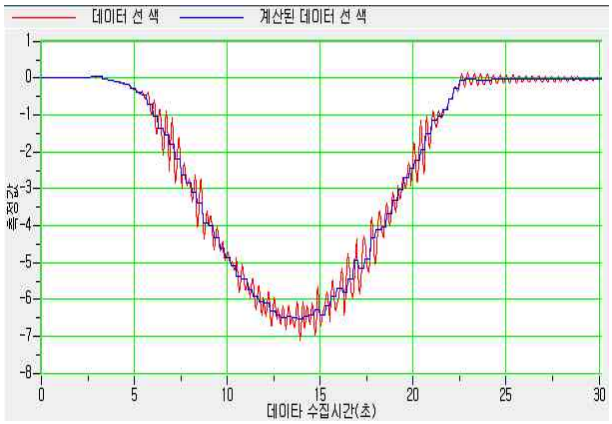


(b)10km DT2 처짐 그래프

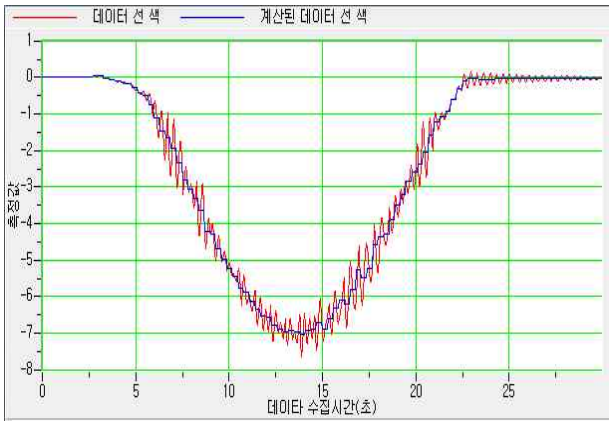


(c)20km DT2 처짐 그래프

[그림 3.79] DT2 동적처짐



(a)20㎞ DT1 Filtering 그래프



(b)20㎞ DT2 Filtering 그래프

[그림 3.80] 충격계수 DATA

4. 고유진동수

고유치 해석을 선행하거나, 종전의 사례를 검토하여 대상 물리량의 진동수를 예상하여 진동수의 측정범위를 결정하여야 하며, 계측값의 신뢰성을 확보하기 위해서는 대상 물리량의 주파수를 미리 예상하는 것이 매우 중요하다. 측정된 주파수가 예상된 주파수를 크게 벗어나는 경우에는 반드시 그 원인을 분석하여야 한다.

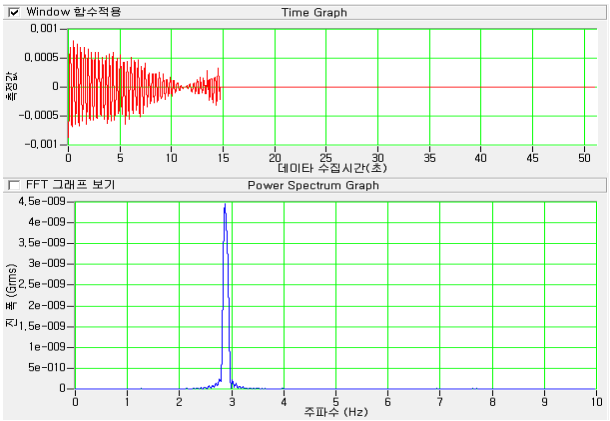
고유 진동수는 교량이 가지는 고유의 특성으로 외력에 의하지 않은 교량의 자유진동상태에서의 진동수를 나타낸다. 따라서 교량의 고유진동수를 추출하기 위해서는 동적재하시험으로 취득한 가속도 데이터 중 차량상호작용을 제외한 자유진동 부분만을 이용하여야 한다.

고유진동수를 활용하여 점검과 진단이 명확하게 명시되어 있지는 않지만 고유 진동수는 구조물의 강성과 관계되므로 과거 진단이력을 통해서 얻어진 고유진동수와 현재의 고유진동수를 비교하여 교량의 개략적인 상태를 확인할 수 있다. 그리고 해석모델에서의 고유진동수와 실측 고유진동수를 비교하여 내하력 평가를 위한 모델의 정확성과 신뢰성을 확인 할 수 있다.

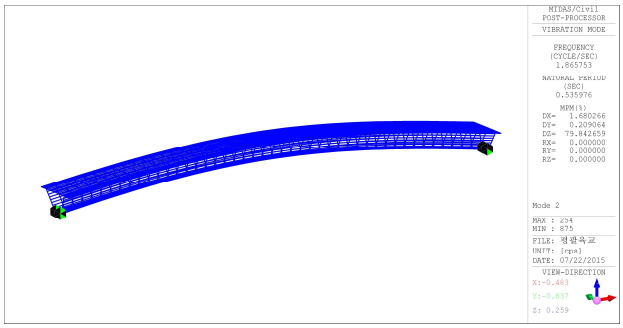
가속도 파형 및 FFT 분석결과, 대상교량의 실측 고유진동수는 2.850Hz로 측정되었으며, 계산 고유진동수 1.865Hz와 비교해 볼 때 교량의 강성은 양호한 것으로 판단된다.

[표 3.18] 고유진동수 비교

구분	고유진동수(Hz)		비고
	실측치	계산치	
Acc	2.850	1.865	



(a)실측고유진동수(20㎞/h)

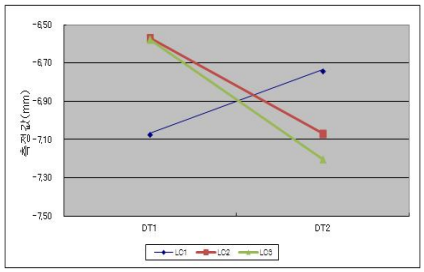


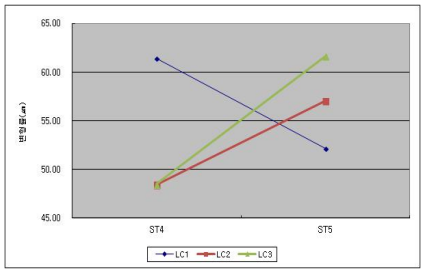
(b)계산고유진동수

[그림 3.81] 고유진동수 비교

5. 재하시험 결과 요약

재하시험 결과를 요약하면 아래 표와 같다.

<table>
<tr><th>구 분</th><th>분 석 결 과</th></tr>
<tr><td>재하
경우별
처짐 및
변형율</td><td>본선방향
트럭하중: 275.6kN (설계하중의 약63.8%)
<table>
<tr><td rowspan="2">구분</td><td colspan="2">거더 좌측하면</td><td colspan="2">거더우측하면</td></tr>
<tr><td>처짐(mm)</td><td>변형률(με)</td><td>처짐(mm)</td><td>변형률(με)</td></tr>
<tr><td>최대값</td><td>-7.067</td><td>61.418</td><td>-7.201</td><td>61.657</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>하중
횡분배</td><td> 

처짐 횡분배 그래프


변평율 횡분배 그래프

○평팔육교의 정적재하시험을 통한 처짐 및 변형률에 의한 하중 횡분배는 양호한 것으로 검토되었다.

○로젯게이지의 부착위치에 대한 최대 전단응력은 0.407MPa로 허용전단응력인 0.620MPa에 못 미치는 수준으로 본 교량의 전단에 대한 교량의 안전성은 문제가 없을 것으로 분석되었다.</td></tr>
<tr><td>충격계수</td><td>○이론충격계수 : 0.176
○실측충격계수 : 0.091
⇒ 실측값이 이론값 보다 작은 것으로 측정되어 차량충격에 의한 손상 가능성은 없는 것으로 분석됨.</td></tr>
<tr><td>고유진동수</td><td>○계산진동수 : 1.865Hz
○실측진동수 : 2.850Hz
⇒ 실측값이 계산값보다 큰 것으로 측정되어 교량의 강성이 확보되어 있는 것으로 분석됨.</td></tr>
</table>

6. 내하력 평가

설계활하중에 대한 교량의 저항능력 평가하는 것으로 아래 두가지 평가 방안을 제시할 수 있다.

[표 3.19] 내하력 평가 방안

구 분	설계법과의 비교	적용 구조물
허용응력법	허용응력설계법	PSC 구조물
극한강도법	극한강도설계법	콘크리트 부재

가. 내하율 산정

허용응력법에 의한 교량부재의 내하율 산정시 하중조합은 $D+L(1+i)$를 사용하므로 하중계수는 각각 1.0이 된다. 사용재료의 허용응력은 강재의 경우 사용재료에 따른 항복응력, 콘크리트의 경우 실제 압축강도를 사용하여 도로교 설계기준에 의거 부재종류에 따라 결정한다.

허용응력법에 의한 교량부재의 내하율은 다음 식으로 계산한다.

(1) 허용응력 설계법에 의한 내하율 산정

• 내하율(RF) = $\frac{f_a - f_d}{f_l(1+i)}$

여기서, RF = 내하율

f_a = 허용응력

f_d = 고정하중에 의한 응력

$f_l(1+i)$ = 활하중(충격포함)에 의한 응력

(2) 모든 부재의 공용내하력은 다음과 같이 계산하였다.

• $P = \frac{K_s}{K_m} \times RF \times P_r$

여기서, P = 공용내하력

K_s = 응력보정계수

K_m = 보정계수

P_r = 설계활하중

나. 기본 내하력 평가

기본 내하력 : Po = RF(내하율) x Pr(설계하중)

(1) Nodular 거더의 기본내하력 평가

[표 3.20] 기본 내하력 평가

위 치	부 재	고정하중 응력	활하중 응력	허용 응력	내하율
정모멘트	Nodular Girder	15.21	2.12	36	9.81

평팔육교에 대한 기본내하력 평가 결과, 설계내하력(DB-24)이상을 확보하고 있는 것으로 분석되었다.

다. 공용 내하력 평가

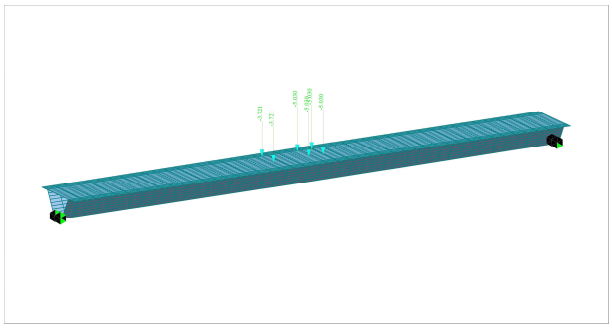
공용 내하력 : P = RF(내하율) x Pr(설계하중) x Ks(응답비)

(1) 응답보정계수 산정

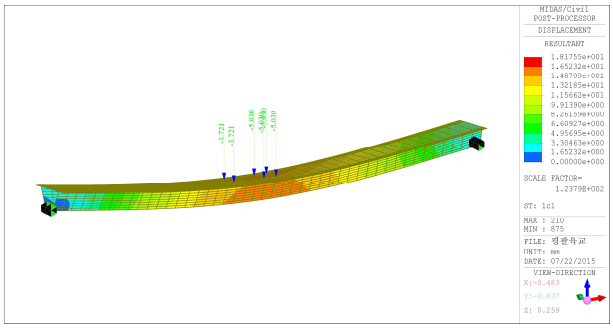
$$\text{응답보정계수}(K_s) = \frac{\text{계산 처짐}}{\text{실측 처짐}}$$

[표 3.21] 처짐에 의한 응답보정계수 산정(K_s)

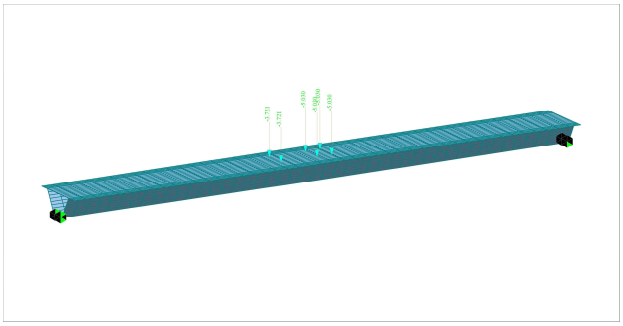
구 분			변위계	
			DT1	DT2
평팔육교	LC1	해석처짐	16.587	15.945
		실측처짐	7.067	6.737
		응답비	2.34	2.36
	LC2	해석처짐	16.263	16.263
		실측처짐	6.567	7.069
		응답비	2.47	2.30
	LC3	해석처짐	15.945	16.587
		실측처짐	6.576	7.201
		응답비	2.42	2.30



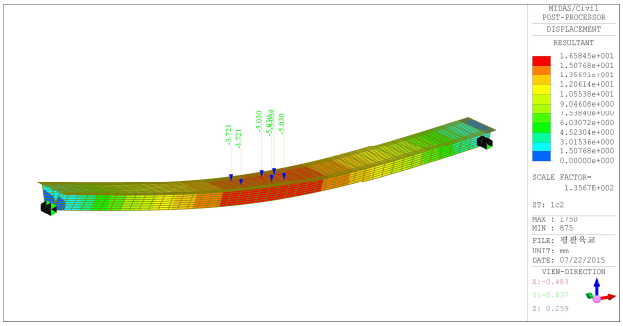
Load Case1 차량재하



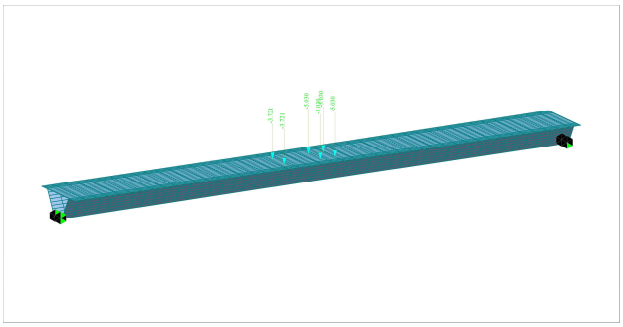
Load Case1 처짐형상



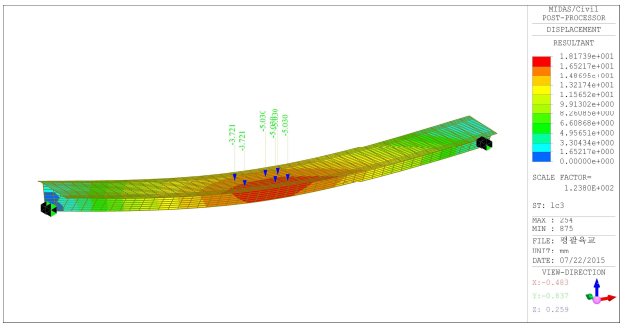
Load Case2 차량재하



Load Case2 처짐형상



Load Case3 차량재하



Load Case3 처짐형상

[그림 3.82] Load Case 별 차량재하 및 처짐형상

(2) 공용내하력 산정

[표 3.22] 공용 내하력 평가

구 분	내 하 율	기본내하력	응답보정계수	고용내하력
Nodular Girder	9.81	DB-24이상	2.3	DB-24이상

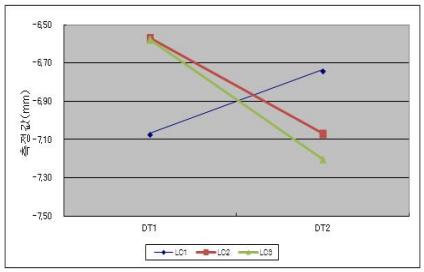
(3) 공용내하력 평가결과

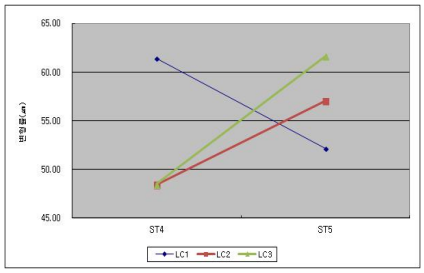
교량 재하시험을 통한 공용내하력 평가 결과, 설계내하력 DB-24이상을 확보하고 있는 것으로 검토되었다.

7. 소 결

본 과업대상 교량인 평팔육교는 노둘러 거더교로 연장이 45m인 특수교로 구성되어 있다. 본 교량의 재하시험을 통한 내하력 평가 결과는 다음과 같다.

[표 3.23] 재하시험 결과

<table>
<tr><th>구 분</th><th>분 석 결 과</th></tr>
<tr><td>재하
경우별
처짐 및
변형율</td><td>○본선방향
○트럭하중: 275.6kN (설계하중의 약63.8%)
<table>
<tr><td rowspan="2">구분</td><td colspan="2">거더 좌측하면</td><td colspan="2">거더우측하면</td></tr>
<tr><td>처짐(mm)</td><td>변형률(με)</td><td>처짐(mm)</td><td>변형률(με)</td></tr>
<tr><td>최대값</td><td>-7.067</td><td>61.418</td><td>-7.201</td><td>61.657</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>하중
횡분배</td><td> 

처짐 횡분배 그래프
 

변평율 횡분배 그래프
○평팔육교의 정적재하시험을 통한 처짐 및 변형률에 의한 하중 횡분배는 양호한 것으로 검토되었다.

○로젯게이지의 부착위치에 대한 최대 전단응력은 0.407MPa로 허용전단응력인 0.620MPa에 못 미치는 수준으로 본 교량의 전단에 대한 교량의 안전성은 문제가 없을 것으로 분석되었다.</td></tr>
<tr><td>충격계수</td><td>○이론충격계수 : 0.176
○실측충격계수 : 0.091
⇒ 실측값이 이론값 보다 작은 것으로 측정되어 차량충격에 의한 손상 가능성은 없는 것으로 분석됨.</td></tr>
<tr><td>고유진동수</td><td>○계산진동수 : 1.865Hz
○실측진동수 : 2.850Hz
⇒ 실측값이 계산값보다 큰 것으로 측정되어 교량의 강성이 확보되어 있는 것으로 분석됨.</td></tr>
</table>

[표 3.24] 기본 내하력

위 치	부 재	고정하중 응력	활하중 응력	허용 응력	내하율
정모멘트	Nodular Girder	15.21	2.12	36	9.81

[표 3.25] 공용 내하력 평가

구 분	내 하 율	기본내하력	응답보정계수	고용내하력
Nodular Girder	9.81	DB-24이상	2.3	DB-24이상

교량 재하시험을 통한 공용내하력 평가 결과, 설계내하력 DB-24이상을 확보하고 있는 것으로 검토되었다.

5절 연구개발성과

1. 최종 목표

현재 부재를 시험 생산하여 시험조립에 성공한 단계이며, 추가적으로 실제 교량에 대한 부품제작 및 시험시공을 완료 후 실물재하실험을 통한 실험을 통해 성능을 평가 후 실제 현장 시공 및 건설신기술 인증을 본 과제의 내용으로 한다. 본 기술개발의 목표는 공장 제작된 프리캐스트 부품을 이용하여 현장에서 소켓형식으로 조립되는 PSC 제형거더를 개발하고 이를 이용한 사업화를 목적으로 한다. 이러한 연구활동의 최종 목표를 정리하면 다음과 같다.

연번	연구목표	목표의 성격	세부내용	세부내용 설정 근거
1	거더의 최적화	제품개발	• 소켓연결	• 토목구조물에 최초로 적용되는 소켓연결의 구조적 안전성 및 타당성 입증하여 소켓연결방식에 대한 다양한 적용성 확보
		제품개발	• 복부부재 최적화	• 교량에 적용되는 복부 부재를 프리캐스트 및 프리스트레스 화하여 고강도 및 경량화를 적용할 수 있는 타당한 근거 확보
		설계기술 개발	• 거더의 설계 개발 및 경제성 검토	• 거더의 전체 구조계에 대한 구조해석, 구조물도 작성 및 경제성을 분석하여 개발된 거더의 안정성 및 경제성 도출
2	생산설비 구축	제품개발	• 기존몰드개선	• 기존시험용 몰드의 문제점을 파악 후 생산성 증대를 위한 개선 및 최적화된 단면으로 변경
		제품개발	• 추가몰드구매	• 기존시험용 몰드의 설비로 시작품제작이 불가능하므로 추가 몰드 구매가 필요
		공정개발	• 생산라인구축	• 공장동 내 생산시설을 추가 및 제작공정 검토
3	교량 시스템 구축	공정개발	• 조립계획 설정	• 제작시설에서 생산된 부재를 시공현장으로 운송 후 조립할 수 있는 조립 프레임 고안
		공정개발	• 현장운용방안	• 현장작업의 최소화 및 전용설비 운용을 위한 공정계획 수립
		공정개발	• 안전 확보방안	• 현장작업시 안전사고 방지를 위한 시스템 구축 방안
4	시작품	제품개발	• 시험 제작	• 실물 교량을 제작 후 구조성능평가 실시
5	지적재산권 확보	기술가치 증대	• 건설신기술 인증 신청 및 특허 등록	• 과업 종료 전에 사업화가 가능하도록 건설신기술 인증 및 관련 특허출원
6	기타연구 목표	기술가치 증대	• 지속적 기술보완 및 기술 확산을 위한 방안	• 본 대상물에 대한 제작, 시공, 설계 전문 인력을 양산계획 • 산학연 상호교류를 통한 해당 기술이 지속적으로 개발 확산되도록 시스템 구축 • 본 대상물에 대한 홍보자료 작성 및 홍보인원 확충

2. 성과 점검 기준표

구분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		최종 성과점검기준			해당 기관	양적 성과목표	달성치
					질적 성과지표	목표치	측정방법			
총괄	A	문헌 연구	A-1	연구보고서 및 저서수집	연구보고서 및 저서수집	소켓연결방식과 프리캐스트 거더 설계기준 및 보고서와 서적 수집	관련 책자 및 자료	장헌산업 충청대		
			A-2	세미나 및 토론회	세미나 및 토론회	공동연구기관과의 연구 성과에 대한 세미나개최	세미나 및 토론회 계최	장헌산업 충청대	회의록 1부	1부
	B	단면 및 공정 최적화	B-1	단면 최적화	소켓연결 단위부재 실험안 계획	단위부재 실험 계획	계획안작성	충청대		
					소켓연결 단위부재 실험체 제작	단위부재 실험체 제작	실험체 제작	장헌산업		
					복부부재 단위부재 실험 계획	단위부재 실험계획	계획안작성	충청대		
					복부부재 단위부재 실험체 제작	단위부재 실험체 제작	실험체 제작	장헌산업		
			B-2	공정 최적화	신속한 부재 생산	상하부 조립틀 제작	조립틀 제작	장헌산업	설비 1조	1조
					부재조립 검토	거더 조립대 제작	조립대 제작	장헌산업	설비 1조	1조
	C	소켓 연결 방식 연결부 실험 및 복부 부재의 전단 실험	C-1	소켓연결 검증	연결부 상세 및 성능 검증	연결부 최적안 도출	단위부재 실험	충청대	보고서 1부	1부
			C-2	복부부재 최적화 검증	복부부재 상세 및 성능검증	복부부재 최적안 도출	단위부재 실험	충청대		
	D	생산 설비 구축	D-1	몰드개선	기존 몰드 개선 검토	최적단면도출에 따른 몰드 개선	최적단면 적용한 몰드	장헌산업	설비 1조	1조
			D-2	몰드구매	몰드 구매	부재 생산을 위한 몰드구매	최적단면 적용한 몰드	장헌산업	설비 1조	2조
			D-3	생산라인 구축	생산을 위한 계획 구축	전용생산을 위한 작업자 및 공장설비 운용	전용 몰드외 공장설비 운용 전용작업반 운용	장헌산업	설비 1조	1조
									특허 1건	2건
	E	연구 개발 확산 노력	E-1	인력양성	인력양성	연구인력 양성	연구인력 채용	장헌산업	확인서 1건	1건
			E-2	학술논문	논문게재	논문게재	논문	충청대	논문 1건	1건
	F	중간 보고서	F-1	중간 보고서 작성	중간보고서 작성	중간보고서작성	보고서	장헌산업	보고서 1부	1건

구분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		최종 성과점검기준			해당 기관	양적 성과목표	달성치
					질적 성과지표	목표치	측정방법			
총괄	G	시작품 제작	G-1	시작품 제작	시작품제작	최적단면형상을 적용한 시작품	제작	장헌산업 한라산업개발	특허 2건	4건
	H	시작품 성능평가 실험	H-1	성능 시험	시작품 성능평가 및 계측계획	시작품 성능평가 및 계측	실험	충청대	보고서 1부	1부
					성능평가 실험	안전성 및 시공성 확인	실험	충청대	평가서 1건	1건
	I	설계도서 작성	I-1	설계도서 작성	표준설계도 구축	최적형상을 이용한 설계도서	표준설계도 작성	장헌산업	설계도서 1부	1부
	J	시공 및 관리 지침서 작성	J-1	제조 공정 표준화	시방서 작성	연구 거더에 관련된 특별시방서 작성	시방서 및 계획서 작성	장헌산업	설계도서 1부	1부
					시공관리계획	시공여건변화에 제품의 품질을 유지하기 위하여 제조공정 표준화	시공계획서 작성	장헌산업		
					품질 및 안전관리 계획	거더 제작시 안전과 품질에 관한 계획서 작성	품질관리 및 안전관리 계획서	한라산업 개발		
	K	건설신기술 인증신청	K-1	신기술 인증	신기술인증	건설신기술인증	건설신기술 인증	장헌산업 한라산업개발	인증서 1건	-
	L	연구기술 확산노력	L-1	연구개발 관련홍보	홍보물제작	브로셔 제작	브로셔	장헌산업	홍보물 1건	1건
					기술기사	연구개발 관련 기술 홍보	기술기사 게재	충청대	기술기사 1건	1건
			L-2	기술확산을 위한 상호교류	전문가 의견 수립	전문가 의견서 2건	의견서 작성	장헌산업	의견서 2건	3건
	M	최종 보고서 작성	M-1	최종 보고서 작성	최종보고서작성	최종보고서작성	최종보고서	장헌산업	보고서 1부	1부
	N	사업화 컨설팅	N-1	1차년도컨설팅	국내실수요처 마케팅계획 수립 및 지원	보고서작성	보고서	준성특허	보고서 1부	1부
					해외실수요처 마케팅계획수립 및 지원	보고서작성	보고서	준성특허	보고서 1부	1부
			N-2	2차년도컨설팅	IP 포트폴리오 구축	보고서작성	보고서	준성특허	보고서 1부	1부
					경쟁사특허 침해 분석	보고서작성	보고서	준성특허	보고서 1부	1부
계					당 초 목 표			달성 목표		
					보고서 8부 평가서 1건 특허 3건 설계도서 2부 인증서 1부 홍보물 1건 기술기사 1건 의견서 2건 회의록 1부 설비 4조 논문 1건 확인서 1건			보고서 8부 평가서 1건 특허 6건 설계도서 2부 인증서 0부 홍보물 1건 기술기사 1건 의견서 3건 회의록 1부 설비 6조 논문 1건 확인서 1건 학회발표 1건		

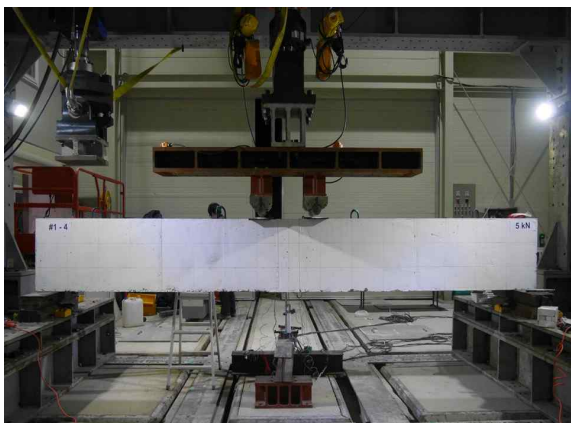
3. 연구 성과 내용

새로운 교량 형식을 개발하기 위하여 기존 PSC I 형 거더를 탈피한 공장 제작된 프리캐스트 부품을 습식연결을 이용하여 연결하는 소켓연결 제형거더(노듈러 거더)를 개발하였다. 본 거더를 사업화하기 위하여 여러가지 목표를 정하였고 달성하기 위하여 노력하였다. 이에 따른 결론은 다음과 같다.

가. 성능 검증 실험

노듈러 거더는 실물모형실험과 단위부재실험을 통하여 사용한계 및 강도한계에서 도로교설계기준의 요구 성능을 상회함을 입증하였으며, 국내 최초로 적용된 프리캐스트 프리텐션 복부인 J웹의 우수성과 연결부재인 노듈을 이용한 소켓방식의 습식연결을 이용한 연결부인 Nodule Joint의 일체거동을 확인하였다.

또한 실제교량에 대한 트럭재하실험으로 노듈러 거더가 충분한 내하성능을 보유한 것으로 판정되었다.



(a)단위부재 실험



(b) 실 교량 하중재하 실험



(c)연결지점부 검증실험

[그림 3.83] 성능 검증 실험

나. 생산 설비 및 교량 시스템 구축

최적의 단면형상과 생산성 향상을 위해 기존의 몰드를 개선하고 추가 몰드를 구매하였고 생산 시스템을 구축하여 제품을 생산하였다. 또한 제품들의 조립을 원활하게 하기 위하여 조립대와 조립틀을 제작하였다. 이로서 제품 생산성 증대와 조립 작업성을 향상 시켰다.



(a) 노듈 몰드



(b) J웹 몰드



(c) 단부 몰드



(d) 조립틀



(e) 조립대

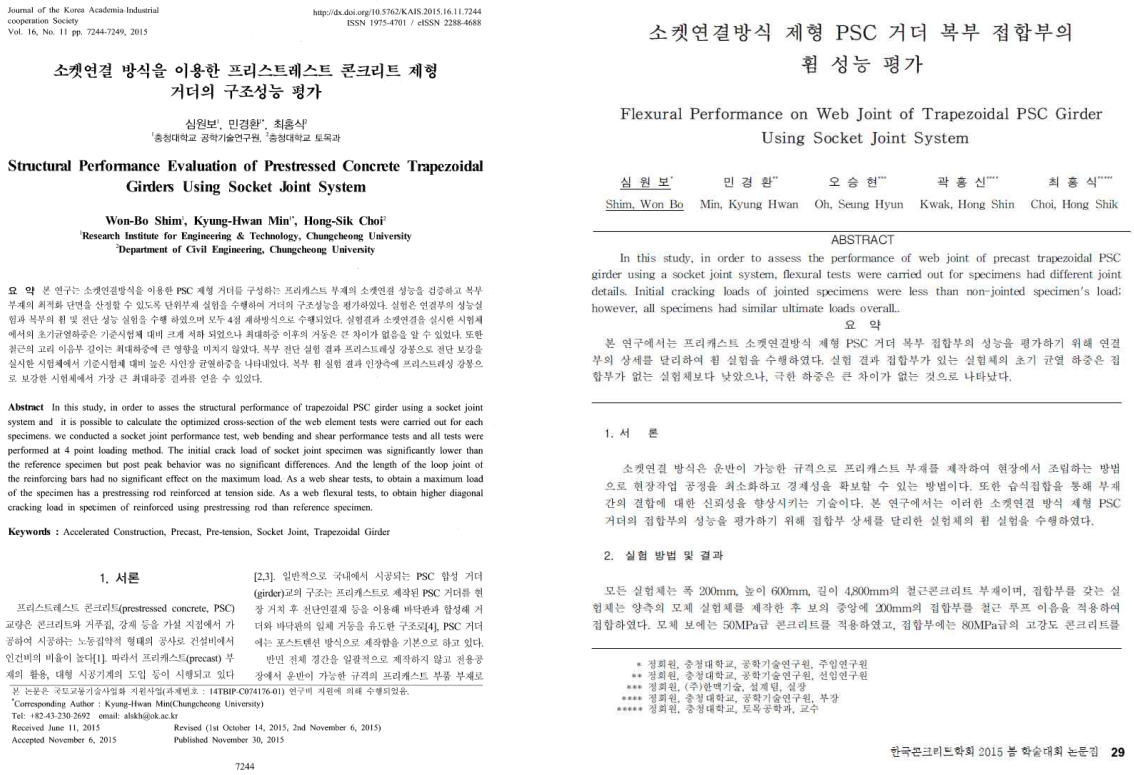


(f) 인장 시스템 구축

[그림 3.84] 생산 설비 및 교량 시스템 구축

다. 지적 재산권 확보

본 연구의 목적인 사업화를 원활하게 하기 위해선 지적재산권 확보가 중요하다. 따라서 기존의 목표였던 특허등록 건수를 초과 달성하여 등록하였다. 또한 논문과 학술발표를 통하여 그 우수성을 입증하였다. 현재 건설 신기술 인증을 위하여 신청 준비중에 있으며 본 연구가 성공적으로 끝난다면 건설신기술인증 또한 쉽게 득 할 수 있을 것이다.



Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 16, No. 11 pp. 7244-7249, 2015

http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.11.7244
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

소켓연결 방식을 이용한 프리스트레스트 콘크리트 제형 거더의 구조성능 평가

심원보[1], 민경환[2*], 최홍식[2]
[1]충청대학교 공학기술연구원, [2]충청대학교 토목과

Structural Performance Evaluation of Prestressed Concrete Trapezoidal Girders Using Socket Joint System

Won-Bo Shim[1], Kyung-Hwan Min[2*], Hong-Sik Choi[2]
[1]Research Institute for Engineering & Technology, Chungcheong University
[2]Department of Civil Engineering, Chungcheong University

요 약 본 연구는 소켓연결방식을 이용한 PSC 제형 거더를 구성하는 프리캐스트 부재의 소켓연결 성능을 검증하고 복부 부재의 최적화 단면을 산정할 수 있도록 단위부재 실험을 수행하여 거더의 구조성능을 평가하였다. 실험은 연결부의 성능실험과 복부의 휨 및 전단 성능 실험을 수행 하였으며 모두 4점 재하방식으로 수행되었다. 실험결과 소켓연결을 실시한 시험체에서의 초기균열하중은 기준시험체 대비 크게 저하 되었으나 최대하중 이후의 거동은 큰 차이가 없음을 알 수 있었다. 또한 철근의 고리 이음부 길이는 최대하중에 큰 영향을 미치지 않았다. 복부 전단 실험 결과 프리스트레싱 강봉으로 전단 보강을 실시한 시험체에서 기준시험체 대비 높은 사인장 균열하중을 나타내었다. 복부 휨 실험 결과 인장측에 프리스트레싱 강봉으로 보강한 시험체에서 가장 큰 최대하중 결과를 얻을 수 있었다.

Abstract In this study, in order to asses the structural performance of trapezoidal PSC girder using a socket joint system and it is possible to calculate the optimized cross-section of the web element tests were carried out for each specimens. we conducted a socket joint performance test, web bending and shear performance tests and all tests were performed at 4 point loading method. The initial crack load of socket joint specimen was significantly lower than the reference specimen but post peak behavior was no significant differences. And the length of the loop joint of the reinforcing bars had no significant effect on the maximum load. As a web shear tests, to obtain a maximum load of the specimen has a prestressing rod reinforced at tension side. As a web flexural tests, to obtain higher diagonal cracking load in specimen of reinforced using prestressing rod than reference specimen.

Keywords : Accelerated Construction, Precast, Pre-tension, Socket Joint, Trapezoidal Girder

1. 서론

프리스트레스트 콘크리트(prestressed concrete, PSC) 교량은 콘크리트와 거푸집, 강재 등을 가설 지점에서 가공하여 시공하는 노동집약적 형태의 공사로 건설비에서 인건비의 비율이 높다[1]. 따라서 프리캐스트(precast) 부재의 활용, 대형 시공기계의 도입 등이 시행되고 있다[2,3]. 일반적으로 국내에서 시공되는 PSC 합성 거더(girder)교의 구조는 프리캐스트로 제작된 PSC 거더를 현장 거치 후 전단연결재 등을 이용해 바닥판과 합성해 거더와 바닥판의 일체 거동을 유도한 구조로[4], PSC 거더에는 포스트텐션 방식으로 제작함을 기본으로 하고 있다.

반면 전체 경간을 일괄적으로 제작하지 않고 현장공장에서 운반이 가능한 규격의 프리캐스트 부품 부재로

본 논문은 국토교통기술사업화 지원사업(과제번호 : 14TBIP-C074176-01) 연구비 지원에 의해 수행되었음.
*Corresponding Author : Kyung-Hwan Min(Chungcheong University)
Tel: +82-43-230-2692 email: ahkkh@ok.ac.kr
Received June 11, 2015 Revised (1st October 14, 2015, 2nd November 6, 2015)
Accepted November 6, 2015 Published November 30, 2015

소켓연결방식 제형 PSC 거더 복부 접합부의 휨 성능 평가

Flexural Performance on Web Joint of Trapezoidal PSC Girder Using Socket Joint System

심 원 보* 민 경 환** 오 승 현*** 곽 홍 신**** 최 홍 식*****
Shim, Won Bo Min, Kyung Hwan Oh, Seung Hyun Kwak, Hong Shin Choi, Hong Shik

ABSTRACT

In this study, in order to assess the performance of web joint of precast trapezoidal PSC girder using a socket joint system, flexural tests were carried out for specimens had different joint details. Initial cracking loads of jointed specimens were less than non-jointed specimen's load; however, all specimens had similar ultimate loads overall..

요 약

본 연구에서는 프리캐스트 소켓연결방식 제형 PSC 거더 복부 접합부의 성능을 평가하기 위해 연결부의 상세를 달리하여 휨 실험을 수행하였다. 실험 결과 접합부가 있는 실험체의 초기 균열 하중은 접합부가 없는 실험체보다 낮았으나, 극한 하중은 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

1. 서 론

소켓연결 방식은 운반이 가능한 규격으로 프리캐스트 부재를 제작하여 현장에서 조립하는 방법으로 현장작업 공정을 최소화하고 경제성을 확보할 수 있는 방법이다. 또한 습식접합을 통해 부재간의 결합에 대한 신뢰성을 향상시키는 기술이다. 본 연구에서는 이러한 소켓연결 방식 제형 PSC 거더의 접합부의 성능을 평가하기 위해 접합부 상세를 달리한 실험체의 휨 실험을 수행하였다.

2. 실험 방법 및 결과

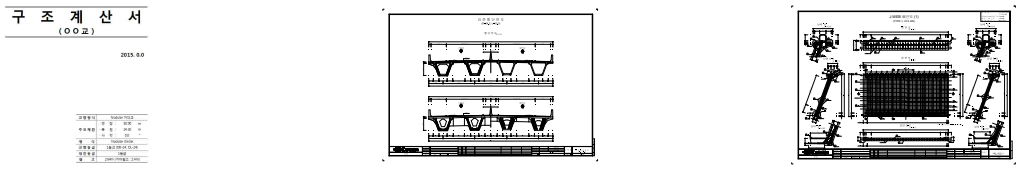
모든 실험체는 폭 200mm, 높이 600mm, 길이 4,800mm의 철근콘크리트 부재이며, 접합부를 갖는 실험체는 양측의 모체 실험체를 제작한 후 보의 중앙에 200mm의 접합부를 철근 루프 이음을 적용하여 접합하였다. 모체 보에는 50MPa급 콘크리트를 적용하였고, 접합부에는 80MPa급의 고강도 콘크리트를

* 정회원, 충청대학교, 공학기술연구원, 주임연구원
** 정회원, 충청대학교, 공학기술연구원, 전임연구원
*** 정회원, (주)한맥기술, 설계팀, 실장
**** 정회원, 충청대학교, 공학기술연구원, 부장
***** 정회원, 충청대학교, 토목공학과, 교수

[그림 3.85] 논문 게재

라. 설계도서 작성

[그림 2.5]에 보듯이 가장 많은 구간이 겹치는 경간인 50m를 표준으로 하여 작성하였으며 이에 필요한 물량을 산출하기 위하여 50m 구간을 표준으로 하여 설계도서를 작성하였다.



[그림 3.86] 설계도서 작성

마. 연구기술 확산노력

본 연구의 기술확산을 위하여 발주처에 홍보할 수 있는 브로슈어를 작성하였으며 기술기사를 투고하였다.



[그림 3.87] 브로슈어 작성

위의 결과들을 통하여 본 연구과제가 성공적으로 끝난다면 곧 있을 건설 신기술인증 평가에서 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이며 건설 신기술 인증을 득한다면 국내 PSC I형 거더 시장을 대체 할 수 있는 제품으로서 그 수요는 폭발적으로 증가할 것으로 예상된다.

제4장 연구목표 달성도 및 효과

1절 연구개발 최종목표 달성도

연구개발목표			달성도	내용
1차년도	문헌연구	• 관련 자료 수집 및 토론회 개최	완료	• 자료 수집 및 회의록 작성
	공정 최적화 및 생산설비 구축	• 조립대 제작	완료	• 설비 2조
		• 기존 몰드 개선, 최적단면 몰드 구매 및 생산설비 구축	완료	• 설비 4조
		• 특허 출원 및 등록	완료	• 특허 등록 2건
	연결부 실험 및 복부부재 실험	• 연결부 실험체 제작 및 실험	완료	• 실험체 제작 5건
		• 복부부재 전달실험	완료	• 실험체 제작 2건
		• 복부부재 휨실험	완료	• 실험체 제작 3건
	연구개발 노력 확산	• 인력양성	완료	• 신규 인력 채용 1건
		• 학술 대회 발표	완료	• 논문 발표 1건 (추가달성)

연구개발목표			달성도	내용
2차년도	시작품 실험	• 시작품 성능평가 (시공성 및 안정성 확인)	완료	• 성능 평가서 1건 • 실험 보고서 1건 • 특허 4건
	설계도서 작성	• 표준 설계도 작성	완료	• 설계도서 1부
	시방서 작성	• 시공 및 관리계획 지침서 작성	완료	• 시공 및 관리계획 지침서 1부
	연구개발 노력 확산	• 신기술 인증	진행중	• 실물 하중 재하실험 완료
		• 홍보물 제작	완료	• 브로슈어 제작
		• 기술기사 게재	완료	• 기술기사 1건
		• 의견서 작성	완료	• 의견서 3건
		• 논문 게재	완료	• 논문 발표 1건

2절 연구개발 성과의 기술적 효과분석

1. 기존 기술 대비 개량 정도

가. 프리캐스트 공법의 장점은 살리고 단점은 보완한 공법

프리캐스트공법의 장점은 공장에서 제작되는 부재의 균질하고 높은 품질을 확보하고 안정적인 생산이 가능하다는 점이다. 그러나 교량에 적용되는 프리캐스트공법에서는 운반의 한계로 분할 제작되어 현장에서 연결되어야하며 그 연결부에서 결함이 발생할 수 있다는 단점이 있다.

기존 기술로 교량 거더를 프리캐스트 공법으로 제작하는 경우 운반이 가능한 중량과 길이 범위에서 PSC박스거더의 경우는 무게를 고려하여 종방향으로 3m 정도의 길이로 제작되고, PSC I형거더에서도 종방향으로 15m 이하의 길이로 제작되어 운반되며, 연결부는 대부분 전단키와 에폭시 등을 이용한 건식연결법(Dry Joint)이 적용되는 것이 일반적이다.

본 연구에서는 높은 형고 때문에 배근 및 타설공사의 난이도가 높은 복부 부재와 정착장치 등이 복잡하게 배치된 단부블럭 등을 프리캐스트로 제작하여 품질과 시공성을 높이고, 시공난이도가 낮은 하부슬래브와 상부슬래브는 현장에서 시공하여 주요 설계 부재력인 휨모멘트에 대하여 일체로 저항할 수 있도록 개발되었다.

따라서 꼭 필요한 주요부재인 복부와 단부블럭만을 별도로 프리캐스트공법으로 제작하는 것은 기존 기술과 접근방법이 다르게 개량되었다.

나. 거푸집 없이 습식연결이 가능한 연결부재인 노듈 도입

프리캐스트 공법 적용시 항상 문제가 되는 연결부 시공방법에 대한 많은 해법들이 제시되었는데 대부분 개선방안들은 건식연결(Dry Joint)을 기본으로 전단키의 형상 및 적용하는 방법을 개선하거나 연결강봉 또는 매치캐스팅(Match Casting) 등의 방법을 개선하는 것들이었다.

본 연구에서는 프리캐스트 부재의 연속성을 위해 철근을 연속 배치할 수 있는 습식연결법(Wet Joint)을 적용하였고, 별도의 프리캐스트 연결부재를 이용한 공법은 사례가 없는 최초로 제시되는 공법이다.

또한 연결부에 습식연결법을 적용하면서 모든 연결부의 거푸집을 별도로 시공해야한다면 시공에 많은 어려움이 있을 것이다. 본 연구에서는 프리캐스트 연결부재인 노듈을 이용하여 별도의 거푸집 없이 콘크리트 타설이 가능하도록 계획한 것은 기존 기술과 차별되는 점이다.

노듈러 거더는 가설단계에서 가설중량의 감소를 위하여 한시적으로 U형 거더로 거동하는데 기존의 U형 거더와는 다르게 노듈부재가 대나무의 마디와 같이 횡방향의 보강재 기능을 수행하고, 단순한 거더에서 마디를 가진 거더로 변경하여 경관성도 높아지는 효과를 기대할 수 있는 등 기존 기술과는 현저히 다른 장점들을 가지고 있다.

다. 프리텐션공법으로 연직방향 긴장력을 도입한 복부 부재 (J웹)

PSC 박스 거더의 경량화를 위하여 고강도 콘크리트를 적용하고 복부 부재를 변경하는 등의 노력들이 진행되어왔다. 그러나 복부 부재를 다른 재료로 변경하거나 트러스 와 같은 부재로 변경하는 경우 연결부의 거동이 복잡해지는 등 부수적인 단점들이 발생한다.

본 연구에서는 고강도의 콘크리트와 프리텐션 공법을 적용하여 복부 부재의 두께를 (150mm) 얇게 하는 공법을 적용하였다. 특히 프리텐션 공법에 의한 긴장력 도입시 강봉과 PC너트를 이용하여 프리텐션공법의 단점인 단부의 전달길이 문제를 대폭 완화하였다. 이러한 방법은 PHC말뚝 생산에 이용되는 기술을 교량의 복부 부재 제작에 응용하여 적용한 것으로 사례가 없는 공법이다.

또한 프리텐션 복부의 형상을 상부슬래브와 만나는 부분을 확대하여 연결성능을 향상하였다.

라. 현장에서 발생 할 수 있는 위험성 감소

일반적인 교량은 모든 공정의 시작과 끝이 현장에서 이루어진다. 즉 현장에서의 작업시간이 길어질수록 그만큼의 시간이 위험에 노출되어 있다는 뜻이다.

하지만 제안공법은 본체을 이루는 부재의 대부분을 공장에서 생산하게 되고 현장에는 단순조립과 현장 타설에 의한 이음부 연결공정으로 이루어져있다. [그림 4.1]과 같이 현장작업을 단순화 및 최소화 함으로써 현장에서의 위험성을 감소 시킬 수 있다.



PSC I형 거더제작



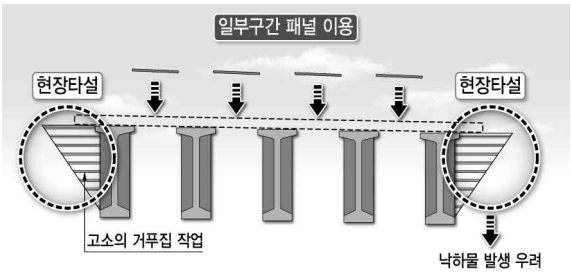
제안공법 조립

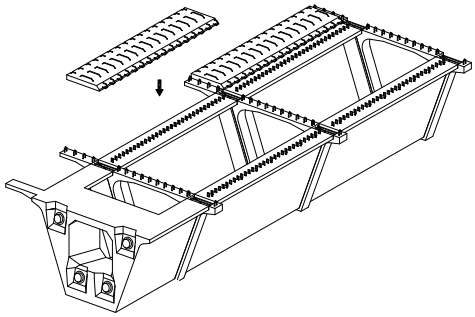
[그림 4.1] 거더 현장작업

또한 바닥판의 시공은 거더가 원위치에 설치되고 난 이후에 실시되는 공정으로서 대부분 고공에서 이루어지는 난이도가 높은 공정이다. 뿐만 아니라 안전사고의 위험이 높아 프리캐스트 패널을 이용한 공법이 많이 적용되는 실정이다.

그러나 일반적인 거더교의 최외측에는 프래캐스트 패널을 지지할 수 있는 방법이 없어 재래식 거푸집공법을 적용해야만 한다.

그러나 본 제안공법은 [그림 4.2] 에서 보듯이 연결부재인 노듈에 브라켓을 설치하여 프리캐스트 패널공법을 적용할 수 있도록 하여 시공 안전성을 획기적으로 높였다.





일반적인 거더교 시공법 제안공법의 시공법

[그림 4.2] 상부슬래브 시공법

2. 공기 단축

기존 포스트텐션 PSC I형 거더교는 필요한 거더의 개수만큼 제작대를 설치하고 순차적으로 철근조립, 거푸집설치, 콘크리트를 타설, 양생의 공정을 거치고, 긴장작업은 가설이 임박해서 시행하는 것이 일반적이다. 따라서 거더를 생산하는 과정과 인장작업을 순차적으로 진행하기 때문에 공기가 길어지는 단점이 있다. 이와 비교하면 개발 기술은 부재의 생산은 공장에서 이루어지므로 기상조건에 무관하게 생산할 수 있고, 선행공정과 작업조건에 거의 영향을 받지 않는 공법으로 현장의 작업을 최소화 하여 공기단축에 상당한 효과를 발휘 할 수 있다.

< 고속도로4차로, 180m 기준 >

공종	투입내용	1월	2월	3월	4월	5월	6월	현장투입인원		
		10 20 30	10 20 30	10 20 30	10 20 30	10 20 30	10 20 30	1일인원	Nodular	I-Girder
제작	제작장	4일						-	-	-
	철근 선별 및 조립	44일						6인/일	-	264인
	부재 조립 및 설치	20일						6인/일	120인	-
	Girder 타설 및 양생	40일	(2일) 양생(28일)					7인/일	-	280인
	하부플랜지 타설및양생	20일 (2일) 양생(28일)						8인/일	16인	-
	소계							↓ 75%	136인	544인
인장및가설	1차 인장 및 그라우팅		3일 양생(14일)	7일 양생(14일)				6인/일	18인	42인
	Girder가설및안전망			6일	7일			10인/일	60인	70인
	가로보 설치 및 타설			10일	15일			6인/일	60인	90인
	상부슬래브Deck 설치			6일 (3일)	16일 (8일)			6인/일	18인	18인
	2차 인장				2일	6일		6인/일	12인	36인
	소계							↓ 35%	168인	256인
슬래브	슬래브 철근 설치				10일	10일		12인/일	120인	120인
	슬래브 타설 및 양생				2일 (1일) 양생(28일)	2일 (1일) 양생(28일)		15인/일	15인	15인
	방호벽, 교면포장					10일	10일	10인/일	100인	100인
	소계							-	235인	235인
합 계								↓ 48%	539인	1,035인

[그림 4.3] I형 거더와 공사기간 비교

3절 연구개발 성과의 경제적 효과분석

1. 정부 예산 절감

본 개발기술인 소켓연결 방식의 큰 장점은 우수한 경제성으로 기존에 적용되고 있는 포스트텐션 방식 PSC I형 거더에 비해 주요 수량이 약 3~30% 까지 절감되고, 제작 규모에 따라 약 10~20%까지 공사비를 절감할 수 있으므로 SOC 사업예산을 절감할 수 있을 것으로 사료된다.

뿐만 아니라 경제성장과 더불어 증대되는 SOC 구조물의 미적 요구사항에 부응하는 기술로써 경제적 효과로 평가하기 어려운 사회적 요구사항에 부응하는 기술로 거듭날 수 있을 것으로 기대된다.

[표 4.1] 기존 거더 대비 경제성 비교 (L=50m, B=24.3m 기준)

구 분	PSC I형 거더	Nodular 거더	비 고
콘크리트 (슬래브포함)	843.24㎥ (100%)	568.75㎥ (67.4%)	• B=24.3m인 경우 I형 거더 9본 Nodular 거더 4본 • 주요수량 약 3~32% 감소 • 따라서 거더 제작 규모에 따라 약10~20% 공사비 절감.
철 근 (슬래브포함)	100.422t (100%)	97.580t (97.17%)	
강 연 선	39.08t (100%)	26.49t (67.78%)	

2. 유지관리비용 절감

본 연구개발의 콘크리트 교량은 완공 이후에는 특별한 유지관리 비용이 발생할 요소가 적으며, 기본적인 교량받침, 신축이음, 난간 등의 교량 부대시설의 유지관리만 필요하다.

설계시에 교량 수명에 대한 충분한 내구성을 확보하도록 하였으나, 시간의 경과와 재해로 인하여 교량의 내하력이 저하된 경우에도 자체적으로 보강이 가능하도록 계획하였다.

대부분의 PSC 박스 거더에는 유지보수용 텐던을 설치할 수 있는 공간과 쉬스관을 미리 매설해 두는데 본 연구개발 교량에서도 유지보수용 텐던을 위한 시설들을 설치하였다.

일반적인 PSC I형 거더에서는 유지보수를 위한 시설이 설치되지 않아 내하력이 저하되면 별도의 외부보강을 하거나, 거더를 교체해야하므로 많은 비용이 발생한다. 그러나 본 연구의 교량에서는 박스거더 내부에 정착구를 설치하여 쉬스관을 매설해 두었으며 자체적으로 추가 내하력을 확보할 수 있는 준비가 되어 있어 유지관리비용을 줄일 수 있다.

4절 연구개발 성과의 정책적 효과분석

1. 탄소배출량의 저감 및 수입자재의 절감

기존에 적용되고 있는 포스트텐션 방식의 PSC 거더와 비교하여 철근과 강연선을 절감하므로써 강재 생산시 발생하는 탄소배출량을 감소하여 국내뿐 아니라 해외에서도 문제가 되고 있는 온실가스를 효율적으로 감소할 수 있을 것으로 기대된다.

또한 전량 수입에 의존하는 철광석을 적게 수입하게 되어 무역수지 균형에도 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

2. 산업폐기물 감소

신청기술에서는 교량 바닥판 시공시 거더 외측의 캔틸레버 구간을 포함하여 모두 반바닥판으로 시공할 수 있도록 계획하였다. 따라서 공장에서는 반복 생산을 위하여 강제거푸집을 적용하고 현장에서는 반바닥판 등의 프리캐스트 제품을 이용하여 비계, 동바리, 거푸집 등의 건설자재의 사용을 최소화 하였다. 따라서 건설자재를 사용한 후 발생되는 건설 폐기물을 최소화 할 수 있어 환경개선 측면에서 보다 향상된 효과를 나타내는 친환경 기술이다.

3. SOC 구조물의 경관성 증대

국가가 사회 경제적으로 부유해지면, 국민은 사회간접자본에서도 미에 대한 욕구가 증대하게 된다. 그러나 일반적으로 SOC 구조물에서 미관을 증대시키기 위하여서는 많은 공사비 증대를 수반하게 된다.

본 연구에서 사용된 연결부재인 노듈이 거더에 규칙적으로 마디 모양의 양각 무늬(대나무 마디를 형상화)를 형성하므로 일반적인 거더형 교량에 비하면 경관성이 우수하다. 구조적인 이유로 적용된 노듈이지만 경관성을 개선하는 부수적인 효과를 발휘하므로 경관성을 구조적 요소라서 더 의미가 있다 하겠다.

4. 민원 감소

제안공법은 주요 구성부재들을 공장에서 제작하여 현장에서 조립하는 공정으로 현장작업이 적고 신속하게 시공함으로서 재해복구현장 및 도심지 공사에도 유용하며, 공사현장의 소음, 교통체증, 비산먼지 등을 최소화 할 수 있고 현장에서 조립시 복잡하고 어려운 공정이 없어 안전사고 발생확률이 감소할 것이다.

제5장 연구개발성과의 활용계획

1절 연구성과 향후 활용방안

1. 참여기업별 연구 결과의 활용방안 및 추진전략

기 업 명	과제를 통해 얻을 수 있는 기업의 부가가치, 혁신역량, 향후 발전전망
(주)장헌산업	·기존의 거더 제작 및 시공 능력을 한 단계 발전시켜 거더에 대한 다양한 기술력을 확보. ·타 동종 업체의 제품보다 가격 경쟁력을 확보하여 시장점유율의 확대가 기대됨. ·해외 건설시장 진출 시 다양한 기술력으로 경쟁력을 높일 수 있음. ·향후 지속적인 연구개발을 통해서 국내뿐 아니라 해외에서도 인정받는 교량시공 전문회사로 발전할 것으로 기대됨.
한라산업개발(주)	·국내·외 건설시장 개척이 용이함. ·T/K 공사 등 수주능력 향상 기대됨. ·타 업체보다 가격 경쟁력을 확보하여 시장점유율의 확대가 기대됨. ·해외 건설시장 진출시 다양한 기술력으로 경쟁력을 높일 수 있음. ·신공법 교량 시공능력 확보.

2. 현장 적용 방안

본 과제에서는 기존 콘크리트 거더 교량이 가지는 문제점과 단점을 극복하기 위하여 전용 공장에서 프리캐스트 콘크리트 부재를 운반이 가능한 규격으로 제작 후 현장으로 운반하여 이를 조립함으로써 현장작업 공정을 최소화 할뿐 아니라 기존 공법보다 경제성이 우수한 교량을 건설할 수 있도록 하는 것이다. 이를 가능하도록 하기 위하여 소켓연결 제형거더를 개발하였다.

따라서 기본적으로 경제성 확보(기존 포스트텐션 PSC 거더 대비 약 10~20% 공사비 절감)는 물론 경관이 우수한 교량형식으로서, 본 연구에서 실물제작이 가능한 설비를 제작하였고, 설비를 이용하여 실물을 제작한 후 시작품 시험을 통하여 안전성을 입증하였고 기존 포스트텐션 방식 PSC 거더보다 경제성 및 시공성, 경관성이 우수하므로 기존 포스트텐션 방식을 적용한 PSC 거더를 대체 적용하는 방식으로 현장에 적용토록 할 예정이다.

현재 최초의 도로공사 교량관련 실시설계 기술제안 입찰에 당선이 되어있는 상태이며 그 외 다수의 현장에 설계 반영 및 반영을 위하여 노력하고 있다. 당선된 기술제안 입찰 내용은 아래와 같다.

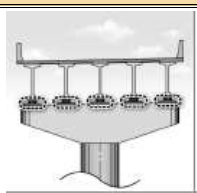
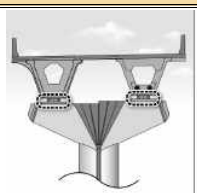
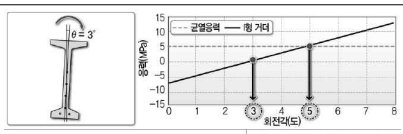
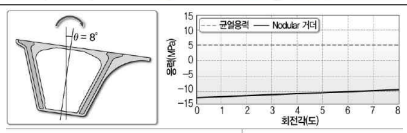
-사업명 : 고속국도 제14호선 밀양-울산간 건설공사 (제 1공구)

-교량규모 : 본선교량 [산외교 : L = 981m(밀양) + 971m(울산)]



[그림 5.1] 실시설계 기술제안사업 (산외교)

[표 5.1] 기술제안 비교

구분	원안	제안 (Nodular 거더)
횡단구성	 • 콘크리트 fck = 40MPa • 강연선 fpu = 1,900MPa • 거더수량 총 236본 • 교각수량 총 41개소 • 높은 교각의 수량이 많아 시공 난이도 높음 • 고속도로 상부 시공량 과다 및 안전관리 곤란 • PSC I형 단면으로 횡방향 강성 취약 • 강연선의 수량 증가로 단면강성 확보	 • 콘크리트 fck = 60MPa • 강연선 fpu = 2,400MPa • 거더수량 총 85본(감151) • 교각수량 총 34개소(감7) • 교각 간격이 넓어 개방감이 높고 시공성 향상 • 시공속도 향상 및 고속도로 횡단구간 안전성 증대 • 신형식 PSC BOX 거더로서 단면 강성 증대 • 고강도 강연선 적용으로 단면 성능 향상
횡방향강성	 • 이동 및 설치시 거더 회전각 3° : 인장응력 발생 5° : 균열응력 초과 •현장내 운반 등에 특수운반 필요 •일반적인 가설도로 운반시 미세균열 발생	 • 이동 및 설치시 거더 회전각 8° : 인장응력 미발생 •횡방향 강성이 커서 인양 및 운반 성능 우수 •시공 전과정에서 고품질의 거더 유지 가능

3. 실수요처 확인

가. 서울지방국토관리청

우리나라 인구의 49%가 살고 있고 글로벌 경쟁지역인 서울시, 인천시, 경기도 등 수도권의 도로 건설과 유지관리, 하천 정비와 유지관리, 국가산업단지 지원, 건설공사 품질 안전 등을 담당하는 기관임.

나. 부산지방국토관리청

1949년 출범한 이래 지속적인 사회간접자본(SOC) 시설 구축을 통해 국민의 삶의 질 향상과 국토의 균형 발전, 지역경쟁력 강화를 위해 노력하고 있으며, 지난 30년간 영남지역의 국도를 3.110km에서 4,177km로 늘려 교통이 불편한 지역까지 도로를 개설해옴. 특히 지역의 경제기반인 산업단지, 신항, 물류 유통, 관광수요 등과 연계하여 광역 교통망을 지속적으로 확충하며 편리한 국토건설에 매진하고 있음.리나라 인구의 49%가 살고 있고 글로벌 경쟁지역인 서울시, 인천시, 경기도 등 수도권의 도로 건설과 유지관리, 하천 정비와 유지관리, 국가산업단지 지원, 건설공사 품질 안전 등을 담당하는 기관임.

다. 대전지방국토관리청

대전광역시와 세종특별자치시, 충청남북도 등 충청전역의 일반국도 건설 및 관리, 국가하천의 정비, 대형공사 품질 및 안전관리 등의 업무를 수행하는 국가기관임. 국민의 편리하고 행복한 도로환경 조성을 목표로 세종시 연결 간선축 확충, 서해안권 관광지와 내륙 관광지 연결, 충북내륙 교통인프라 확충 등을 추진하고 있음.

라. 익산지방국토관리청

호남지역의 도로를 더 편리하게 조성하고, 하천을 더 아름답게 가꾸는 것을 목표로 하는 국가기관으로서, 지역발전과 지역경제 활성화를 위해 국책사업지원, 국도건설 및 하천사업을 추진하고 있음.

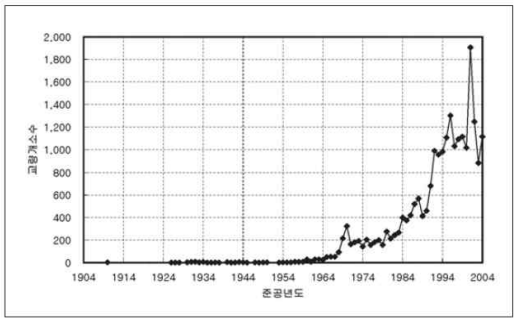
바. 원주지방국토관리청

강원도 전역의 일반국도와 국가하천의 건설 및 관리, 대형공사의 품질관리 등 업무를 담당하고 있는 국가기관임

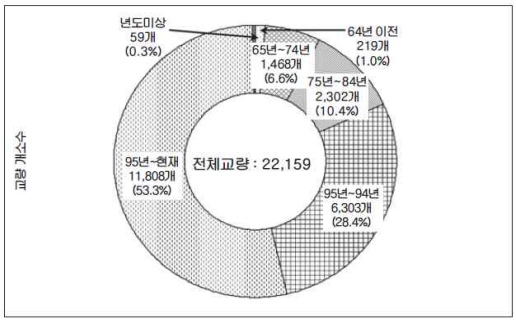
4. 국내외 시장동향 및 전망

현장 제작 방식은 큰 자중, 복잡한 거푸집, 많은 현장작업 등의 단점을 가지고 있지만 국내는 운반 여건상 현장에서 거더를 제작하는 방식을 주로 사용하고 있음.

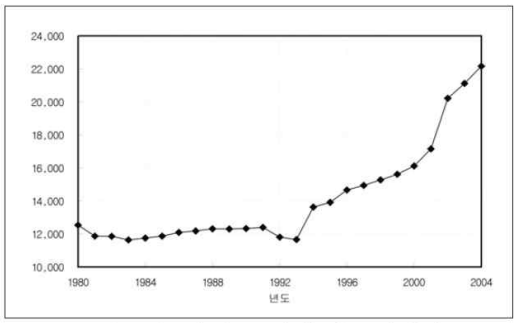
국내 20년 된 노후화된 교량은 560개로 조사되었음. 앞으로도 이러한 노후 시설이 더욱 증가할 것으로 예상되어 이에 대한 개·보수 투자가 이루어 질 것이라고 예상됨. 이로 인한 교량의 시장이 확산될 것으로 보임.



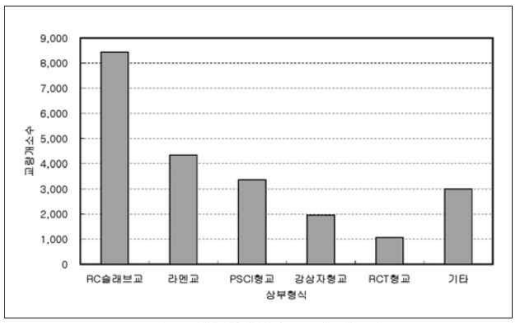
준공년도별 교량 개소수



건설시기별 교량현황



년도별 전국 교량 개소수 증가 추이



상부형식별 교량 개소수

[그림 5.2] 교량개소수 현황

인도의 경우 2012~2016 년 인프라 관련 분야별 투자 비율을 보면 전력관련 시설 다음으로, 도로 및 교각이 19%로 잇고 있음.

베트남의 경우 교량 받침 장비는 100% 해외에서 수입되고 있으며, 지역적으로 2,360개의 크고 작은 강줄기가 있어 교량 및 도로건설에 대한 수요가 매우 높음. 또한, 교량 받침의 경우 베트남은 수입에 의존하고 있으며, 향후 5년 이내에는 베트남 자체 생산기반이 구축되지 않을 것으로 전망됨. 주로 중국제품을 우선적으로 수입하고 있으나, 중국제품과 비교해 가격, 품질에서 합리적인 제품임을 알려야 함.

해외 시장에 진출하기 위해서는 선진기술을 철저히 파악하여 경쟁력 있는 독자적인 기술의 개발이 필요할 뿐 아니라 이론중심의 기술개발이 아닌 실제 현장적용이 가능한 기술의 개발이 시급함.

영국과 프랑스 및 독일은 시장력 확보지수가 높게 나와 교량 부문에 있어서의 시장을 평균 이상으로 확보하고 있는 것으로 판단되며, 그 중 영국과 프랑스는 평균이상으로 기술의 질적 수준 또한 높은 것으로 나타남.

5. 판매 계획

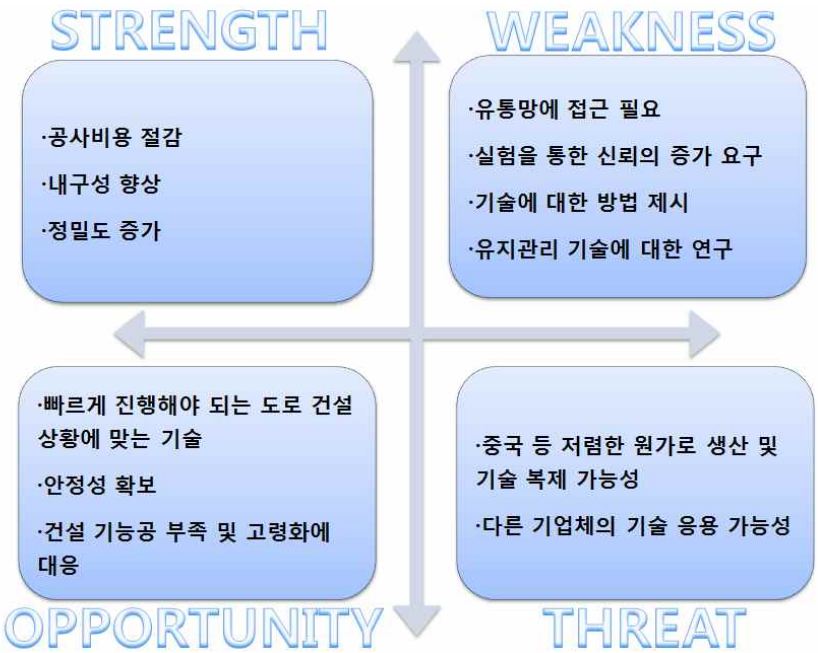
본 연구결과 사업화될 수 있는 영역은 PSC I형 거더 시장이 대상이 될 수 있으며 국내 총 시장규모는 약 3900억 원/년 정도가 될 것으로 추정된다.

본 연구진은 판매 전략의 일환으로 연구 제안에 앞서 제안기술의 가장 유력한 사용처인 국토교통부(서울지방국토관리청)와 기술적 타당성 및 구매의향 협의 결과 긍정적인 결과를 도출하였고 한국도로공사와는 시험시공을 마친 상태이다.

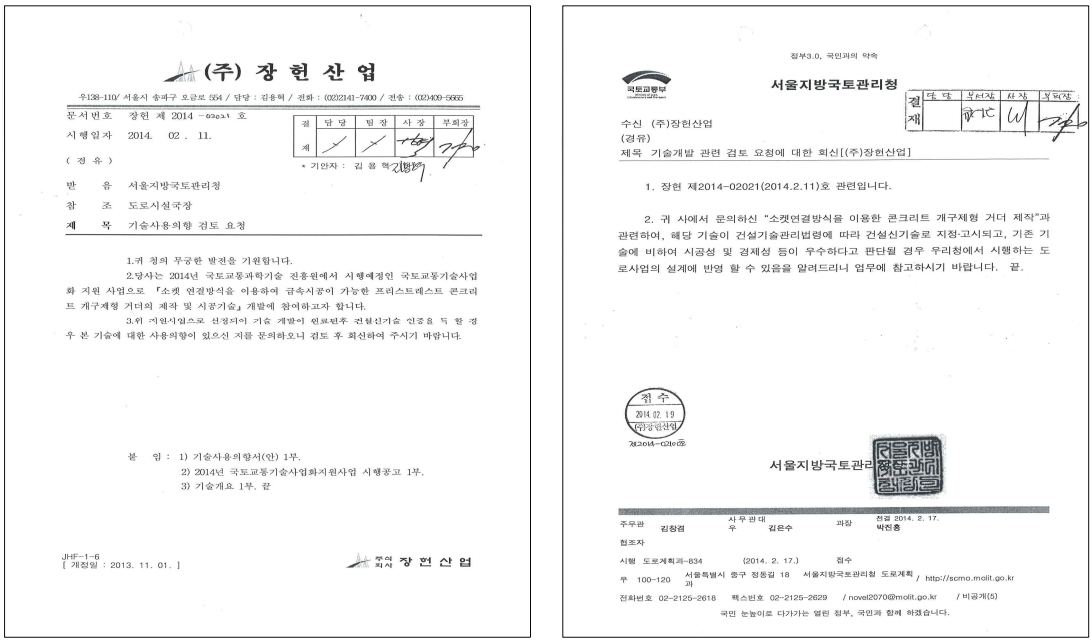
현재 개발기술의 건설신기술을 획득을 위하여 준비를 마친 상태로 향후 건설신기술을 획득하면 판매는 더욱 순조로울 것으로 판단된다.

그리고 국내 시장의 다양한 교량공사에서 설계, 시공 등의 기술력을 더욱 향상시켜 2020년도에는 해외시장에 본격적으로 진출할 계획이다.

단 계	판 매 전 략
1단계 (연구단계)	SWTO 분석 주요 발주처에 기술 홍보 및 안전성 경제성 입증 Test Bed 시공으로 안전성 확인 및 신기술 획득 기술실시계약 체결로 소유권 획득
2단계 (실용화1단계)	기존 주요발주처인 국토교통부 및 한국도로공사 이외에 신규 발주처 가용신기술 획득(LH공사, 수자원공사, 지자체 등) 관계사인 설계사 에서 추진 중인 민자 사업에 적극 반영
3단계 (실용화2단계)	가용 신기술을 바탕으로 기존의 영업라인을 통하여 설계사 영업 강력한 경제성을 바탕으로 민자 사업 시공사에 적극적으로 홍보 및 영업
4단계 (실용화3단계)	기존 성과를 바탕으로 물가자료 등 가격정보지 및 조달청에 등록하여 주요발주처 이외의 발주부서 영업 당사 외 해외 설계 사업을 많이 수행한 설계사를 바탕으로 동남아 등 해외사업에 적극 진출



[그림 5.3] SWTO 분석



(주) 장 헌 산 업

우138-110/ 서울시 송파구 오금로 594 / 담당 : 김용혁 / 전화 : (02)2141-7400 / 전송 : (02)409-5665

문서번호 장헌 제 2014 -02021 호

시행일자 2014. 02 . 11.

(정 유)

결재: 담 당 | 팀 장 | 사 장 | 부회장 / 제

* 기안자 : 김 용 혁

받 음 서울지방국토관리청

참 조 도로시설국장

제 목 기술사용의향 검토 요청

1.귀 청의 무궁한 발전을 기원합니다.

2.당사는 2014년 국토교통과학기술 진흥원에서 시행예정인 국토교통기술사업화 지원 사업으로 『소켓 연결방식을 이용하여 급속시공이 가능한 프리스트레스트 콘크리트 개구제형 거더의 제작 및 시공기술』 개발에 참여하고자 합니다.

3.위 지원사업으로 선정되어 기술 개발이 완료된후 건설신기술 인증을 득 할 경우 본 기술에 대한 사용의향이 있으신 지를 문의하오니 검토 후 회신하여 주시기 바랍니다.

붙 임 : 1) 기술사용의향서(안) 1부.
2) 2014년 국토교통기술사업화지원사업 시행공고 1부.
3) 기술개요 1부. 끝

JHF-1-6
[개정일 : 2013. 11. 01.]

주식회사 장 헌 산 업

정부3.0, 국민과의 약속

국토교통부

서울지방국토관리청

결재: 담 당 | 부서장 | 서 장 | 부회장

수신 (주)장헌산업
(경유)
제목 기술개발 관련 검토 요청에 대한 회신[(주)장헌산업]

1. 장헌 제2014-02021(2014.2.11)호 관련입니다.

2. 귀 사에서 문의하신 "소켓연결방식을 이용한 콘크리트 개구제형 거더 제작"과 관련하여, 해당 기술이 건설기술관리법령에 따라 건설신기술로 지정·고시되고, 기존 기술에 비하여 시공성 및 경제성 등이 우수하다고 판단될 경우 우리청에서 시행하는 도로사업의 설계에 반영 할 수 있음을 알려드리니 업무에 참고하시기 바랍니다. 끝.

접수 2014. 02. 19 (주)장헌산업 제2014-G21호

서울지방국토관리청

주무관 김창경 | 사무관대우 김은수 | 과장 전결 2014. 2. 17. 박천홍

협조자

시행 도로계획과-634 (2014. 2. 17.) 접수

우 100-120 서울특별시 중구 정동길 18 서울지방국토관리청 도로계획과 / http://scmo.molit.go.kr

전화번호 02-2125-2618 팩스번호 02-2125-2629 / novel2070@molit.go.kr / 비공개(5)

국민 눈높이로 다가가는 열린 정부, 국민과 함께 하겠습니다.

[그림 5.4] 구매의향 확인서

가. 연도별 판매 계획

연도별 판매계획은 이미 상용화한 실적이 있는 DR거더와 프리캐스트 패널의 연차별 매출실적을 근거로 예상 매출액을 산정하였다.

먼저 DR거더와 프리캐스트 패널의 매출실적을 살펴보면 [표 5.2]과 같다.

[표 5.2] DR거더와 프리캐스트 패널의 매출실적 (단위 : 억원)

연 도 별	1차년도 (2007년)	2차년도 (2008년)	3차년도 (2009년)	4차년도 (2010년)	5차년도 (2011년)	6차년도 (2012년)	7차년도 (2013년)
DR거더	5.7	59.6	57.4	165.7	290.8	174.8	231.8
PC 패널	1.2	13.1	12.6	36.4	63.8	38.4	50.9

DR거더는 2007년 사업을 시작하여 2009년 신기술을 획득하였고 프리캐스트 패널은 2007년 사업을 시작하여 현재에 이르고 있다.

상기의 매출추이를 보면 사업초기에는 매출실적이 저조했으나 점차 매출액이 증가하였고 신기술 획득이후 급격한 매출신장세를 나타내며 안정적인 성장세를 유지하고 있는 것을 볼 수 있다.

DR거더는 상부공법에 관한 신기술이고 프리캐스트 패널은 자재의 성격이 강하고 거더에 종속되는 제품이므로 프리캐스트 패널은 DR거더와 비슷한 시간 내에 시장에 진입하였음을 알 수 있다. 그러나 두 경우 모두 신기술 획득이후 안정적인 매출을 보이고 있다. 따라서 사업화의 관건은 신기술 여부에 큰 영향을 받는다고 할 수 있다.

제안기술은 현재 신기술 신청 진행 중에 있으며 신기술 획득시 사업화에는 매우 큰 영향을 미칠 것으로 예측되고 빠른 시간 내에 사업이 안정화될 것으로 예측되어 [표 5.3]과 같이 매출계획을 수립하였다.

[표 5.3] 제안기술의 매출계획 (단위 : 억원)

매출 계획	1차년도 (2016년)	2차년도 (2017년)	3차년도 (2018년)	4차년도 (2019년)	5차년도 (2020년)
국내	15	40	80	120	200
해외	-	-	-	-	20
합계	15	40	80	120	220

상기의 매출계획은 현재 PSC I형 거더의 시장이 많은 특허 및 신기술로 인하여 과다 경쟁이 되고 있고, 교량공법의 특성상 신기술을 보유하더라도 설계에 반영된 이후 시공이 이루어지는 구조로서 개발 후 일정기간 이후에 매출이 발생하는 특성을 반영하여 보수적으로 매출계획을 수립하였다.

나. 연도별 판매 전략

- 1단계 (연구단계)

연구과제의 빠른 사업화를 위하여서는 연구단계 부터 체계적인 사업방안이 강구되어야 한다. 따라서 본 연구단은 본 과제의 제안단계부터 주요 발주처에 기술 타당성 및 구매의향을 문의한 결과 긍정적인 회신을 받았고, 한국도로공사와는 시험시공을 마친 상태이다.

따라서 기존의 긍정적 반응에 더하여 연구개발 기간 동안 연구내용을 주요발주처와 공감을 갖도록 적극적인 협조체계를 구축하여 제품에 대한 안전성 경제성을 인식시킨 후 빠른 시간 내에 설계에 반영할 수 있도록 공조체계를 유지토록 한다.

또한 연구기간동안 TEST BED 시공 전 과정과 사후 모니터링 과정을 투명하게 공개하여 발주처의 평가를 청취하여 제품을 완성한 후 과업기간 내 신기술을 획득하도록 한다.

- 2단계 (실용화 1단계 : 사업화 1~2년차)

2단계는 연구개발한 직후 제품의 출시 초기단계로서 기존 시장에 진입하는 시기이다. 과업기간 내 신기술을 획득하게 되면 구조적 안전성과 적은 실적으로 인한 시공 중 시행착오 등에 대한 우려성이 많이 저감되나, 일부에서는 아직도 다소간의 우려가 남아 있는 시기라고 할 수 있다.

따라서 사전에 구매의향에 긍정적인 회신을 보낸 국토교통부(서울지방국토관리청)와 신형식 교량 심의를 받은 한국도로공사를 중심으로 실용화와 함께 활용실적을 확보함으로서 3단계 도약의 발판이 되도록 한다.

- 3단계 (실용화 2단계 : 사업화 3~4년차)

3단계는 그간 연구성과 및 영업 결과 본격적인 매출이 발생하는 단계로서 안정적인 사업 안정화단계로 도입하는 시기이다.

국내에서는 사업화 1~2년차에 설계에 반영된 제안기술이 매출로 발생되는 시기로서 확보한 기술력을 바탕으로 시공을 통하여 다양한 발주처의 신뢰를 얻은 다음에 획득 가능한 모든 공기업의 가용신기술을 바탕으로 공공기관에서 발주한 신규 사업에 기존 DR거더 영업라인을 이용하여 적극적으로 영업활동을 실시한다.(ex. LH공사, 수자원 공사, 지자체등)

또한 시공시 신뢰 관계를 맺은 시공사와의 관계를 이용하여 시공사 주관인 설계 시공일괄입찰. 기술제안입찰에 경제성 및 유지관리가 우수한 제안기술을 반영할 수 있도록 시공팀을 비롯한 전 영업라인의 역량을 집중토록 한다.

해외사업으로는 관계사가 한국도로공사와 공동으로 추진하고 있는 캄보디아 PPP사업 및 EDCF자금으로 추진 중인 베트남 롯데~락소이 구간에 제안기술이 반영될 수 있도록 해외 홍보도 실시토록 한다.

- 4단계 (실용화 3단계 : 사업화 5년차 이후)

4단계는 사업 안정화시기로 제안기술의 설계반영과 시공에 의한 매출이 안정적으로 이루어지는 시기다. 이 시기에는 기존 실적을 바탕으로 최상의 경제성을 발휘할 수 있는 기술이 완비된 시점으로서 통계적으로 최상의 생산원가를 평가할 수 있을 것으로 판단되는 기간으로서, 물가자료 등 가격정보지와 조달청등에 등록하여 주요 발주처 이외의 발주물량이 적은 지자체 및 민간 사업자도 손쉽게 경제성을 평가하여 사용할 수 있도록 한다.

또한 국내 시장이 본격적으로 안정화시기에 도입되었으므로 국내시장을 벗어나 해외시장을 적극적으로 공략토록 하며 방법은 당사 이외에 해외의 설계를 많이 주관하는 설계업체 또는 대형 시공업체와 연구단을 구성하여 해외 시장을 적극적으로 개척토록 한다.

해외 시장 개척시 본 연구로서 개발된 요소기술을 더욱 개선 및 확장하여 해외시장에 진출할 수 있도록 노력을 경주하며, 또한 경제성 확보를 위하여 동남아 시장에 프리캐스트를 생산할 수 있는 공장시스템등도 함께 수출할 수 있도록 노력할 예정이다.

4. 미래원천기술 확보

본 개발기술은 공장제작 프리캐스트 교량부재를 사용함으로써 제품 품질이 우수하며, 현장으로 운반하여 조립하므로 신속한 시공이 가능하다. 미관 또한 우수하며, 이를 구성하는 기술적 핵심 사항은 다음과 같다.

가. 구조적 측면

소켓 연결부 실험, 복부 부재실험 및 시작품 실험을 통하여 안전성 및 경제성을 확인하였고 그에 맞는 단면 구성과 철근 배근을 등을 표준화하였다. 향후 습식연결(Wet Joint) 및 운반가능한 프리텐션을 적용하는 다른 종류의 프리텐션 부재를 개발할 수 있는 원천기술을 확보하였다.

나. 제작 측면

기존에 사용되는 PSC 거더의 경우 중량물 운반의 제약으로 인하여 거더생산 시설을 현장에서 제작하여 부재를 생산하였다. 그러나 본 개발기술은 공장에서 생산하고 현장으로 이동시켜 조립하므로써 경제성과 안정성을 확보하는 원천 기술을 확보하였다.

2절 추가연구 필요성

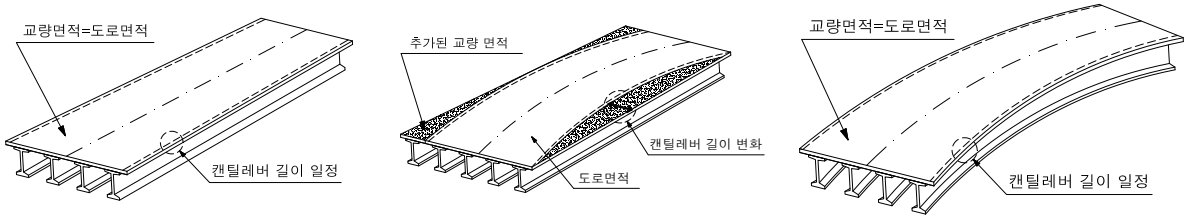
1.곡선교에 대한 적용성 필요

교량의 설계 및 시공은 도로의 평면 및 종단 선형이 직선이고 좌우대칭이면 쉬워진다. 교량의 위치를 도로 선형상에서 이런 조건에 맞도록 배치하려면 최적의 도로설계를 하기가 어려워진다. 교량의 설계 및 시공 기술이 발달하여 불가능하지 않다면 도로 선형 계획상의 요구조건을 교량에서 수용하는 것이 타당하다.

그러나 콘크리트교량의 경우 곡선교를 만드는 것은 쉬운 일은 아니다.

40m 이상의 장경간 교량에 적용되는 PSC I형 거더교는 횡방향 강성이 작아서 곡선으로 제작하거나 설치하는 것이 거의 불가능하다. 불가피하게 직선거더를 제작하여 곡선교에 적용하면 [그림 5.5]의 (b)에서와 같이 교량면적과 도로면적이 불일치하여 교량의 규모가 커지고, 고축직교방향으로 직선거더 측면에서 교량 바닥판 연단까지의 내민길이가 길어져 바닥판 설계가 어려워진다.

반면 [그림 5.5]의 (c)와 같이 곡선교에 곡선거더를 배치하면 [그림 5.5]의 (a)의 직선교에 직선거더를 설치한 경우와 같이 교량계획이 쉬워진다. 곡선거더를 제작하여 설치할 수 있으면 많은 문제가 해소될 수 있는 것이다.



(a) 직선교에 직선거더 (b) 곡선교에 직선거더 (c) 곡선교에 곡선거더

[그림 5.5] 직선 및 곡선거더를 이용한 곡선교

PSC 박스거더교는 가설공법에 따라 곡선교로 시공할 수 있는지 여부가 결정된다. 현재 적용되는 대부분의 공법은 곡선거더를 시공하는데 문제가 없다.

임의의 곡선거더를 제작할 수 있는 공법은 동바리공법(FSM : Full Staging Method), 이동식동바리공법(MSS : Movable Scaffolding System), 자유외팔보공법(FCM : Free Cantilever Method) 등이 있다.

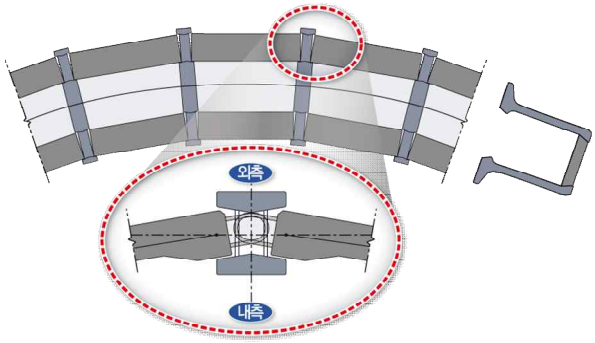
PSC박스거더 시공시 많이 적용되는 공법인 압출공법(ILM : Incremental Launching Method)은 곡선이 원곡선인 경우에 한하여 적용가능한 제약이 있다.

그러나 PSC박스거더공법은 어떠한 가설공법을 적용하더라도 PSC I형 거더와 비교하여 경제성을 확보할 수 없는 고급 구조물이다. 즉 경제성을 고려한 곡선교가 필용한 경우 PSC I

형 거더와 유사한 경제성을 가지는 콘크리트 곡선교가 필요한 실정이다.

본 연구과제에서 사용된 노듈 부재와 제이웹 부재를 사용하여 제이웹 부재를 연결할 때 노듈과 좌우의 제이웹(J-web) 사이의 유격을 이용하여 경사지게 연결하면 종단곡선과 평면곡선을 반영한 PSC 박스형 곡선거더를 만들 수 있을 것이다.[그림 5.6]

따라서, 곡선을 유지하기 위한 최적단면과 상세에 대한 추가적인 연구가 수행된다면 향후 중장경간 PSC 거더 시장의 한 축을 맡게 될것으로 기대된다.



[그림 5.6] 노듈 부재를 이용한 곡선교의 제작 기술

2. 철도교에 적용에 관한 연구

본 연구과제에서 사용된 교량은 도로교에 적용되도록 설계 제작되었다. 앞으로 SOC 산업의 추이를 볼 때 철도교 시장 또한 무시 못 할 만큼 크다. 그러나 도로교와 철도교의 경우 시방기준이 다르고 2차고정하중 또한 많이 상이하다. 즉, 철도교와 도로교에 적용되는 단면은 상이할 것으로 예상된다.

따라서 철도교에 시장진입을 위해서는 기존의 단면을 가지고 개량 연구하여 추가적인 개선이 필요할 것으로 판단된다.

제6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

연번	내 용
1	• AASHTO LRFD Bridge Design Guide Specifications Customary US Unit 2012
2	• 유로코드 1,2,3 (번역판)
3	• Designers's Guide to EN 1992-2 • Eurocode 2 : Design of concrete structures
4	• PCI DESIGN HANDBOOK • PRECAST AND PRESTRESSED CONCRETE 7TH EDITION
5	• ACI 318M-14 • Building code Requirements for Structural Concrete and Commentary

제7장 연구개발과제의 대표적 연구실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	특허	교량용 조립식 프리캐스트 프리스트레스트 콘크리트 J형 웹 부재	주식회사 장헌산업 ㈜한맥기술		대한민국		2014.06.02		
2	특허	노듈 조인트를 이용한 프리캐스트 콘크리트 세그먼트의 연결구조를 가지는 콘크리트 구조물 및 그 시공방법	주식회사 장헌산업		대한민국		2015.01.08		
3	특허	조립식 노듈러 거더, 이를 이용한 교량 및 그 시공방법	주식회사 장헌산업		대한민국		2015.01.08		
4	특허	조립식 박스형상 구조물의 웹부재 설치 장치	주식회사 장헌산업		대한민국		2014.12.29		
5	특허	노듈과 웹부재의 조립에 의한 조립식 노듈러 거더의 시공방법, 및 이에 의해 제작된 조립식 노듈러 거더	주식회사 장헌산업 한라산업개발 주식회사		대한민국		2014.12.29		
6	특허	안전휀스 설치 구성을 가지는 조립식 노듈러 거더, 이를 이용한 교량 및 그 시공방법	주식회사 장헌산업		대한민국		2014.01.08		
7	논문	소켓연결 방식을 이용한 프리스트레스트 콘크리트 제형거더의 구조성능 평가	충청대학교	심원보	한국산학기술학회		2014.11.30		

제8장 참고문헌

1. 고려대학교, 한국도로공사 도로교통기술원 (2006) 설계강도 60MPa 이상 현장타설 고강도 PSC의 시공방안에 관한 연구(최종보고서), pp. 8, 25-34.
2. 국토해양부(2007), 도로교설계기준, 한국도로교통협회.
3. 국토해양부 (2008) 도로교설계편람 제5편 교량, 국토해양부, pp. 508/8-508/11.
4. 국토해양부(2007), 콘크리트구조설계기준, 한국콘크리트학회.
5. 김강수, 김상식, 철근콘크리트 보와 프리스트레스트 콘크리트 보의 전단설계기준에 대한 고찰, 한국콘크리트학회 논문집, 제 17권, 5호, 2005, pp. 717-726.
6. 박명균, 박정배 공역 (2007) 새로운 PC교의 설계, 이엔지북, pp. 1-7.
7. 박영하, 박찬민, 최규천 (2010) PSC I 거더의 최적설계, 한국도로공사도로교통연구원 제26회 연구성과 발표회 논문집, pp. 211-231.
8. 신성우, 안종문 (2008) 고강도콘크리트 제조·시공 및 설계, 기문당, pp. 34-37, 42-45.
9. 윤영수, 철근콘크리트 역학 및 설계, 도서출판새론 (2008)
10. 이형준, 정원기, 윤석구, “고강도콘크리트 PSC 빔 교량부재의 정적 구조거동,” 대한토목학회논문집, 제 22권, 제5-A호, 2002년 9월, pp. 1023-1036.
11. 한국도로공사도로교통기술원 (2005) PSC I 거더교의 최적설계 및 표준화연구 (연구보고서), pp. 1-11.
12. 신현묵, “프리스트레스트 콘크리트”, 동명사, 2008.
13. AASHTO (2004) Standard Specification for Highway Bridges, 17th Edition. American Association of State Highway Transportation Officials, Washington, D.C.
14. AASHTO (2007) LRFD Bridge Design Specification, 4th Edition, American Association of State Highway Transportation Officials, Washington, D.C.
15. ACI Committee 318 (2008), Building Code Requirement for Structural Concrete (ACI318-08) and commentary (ACI318R-08), American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.
16. Canfiled, S.R. (2005) Full Scale Testing of Prestressed, High Performance Concrete Composite Bridge Girders, Georgia Institute of Technology, pp.4-34.
17. Collins, M. P., Mitchell, D. (1999) Prestressed Concrete Structures, Prentice Hall.
18. FHWA (2006) Optimized Sections for High-Strength Concrete Bridge Girder - Effect of Deck Concrete Strength, FHWA-HRD-05-058, Federal Highway Administration, McLean, VA, pp.7-53.
19. Haines, R.A. (2005) Shear Testing of Prestressed High Performance Concrete Bridge Girders, Georgia Institute of Technology, pp. 226-245.
20. Han, M. Y., Hwang, E. - S., and Lee, C. (2003) “Prestressed Concrete Girder with

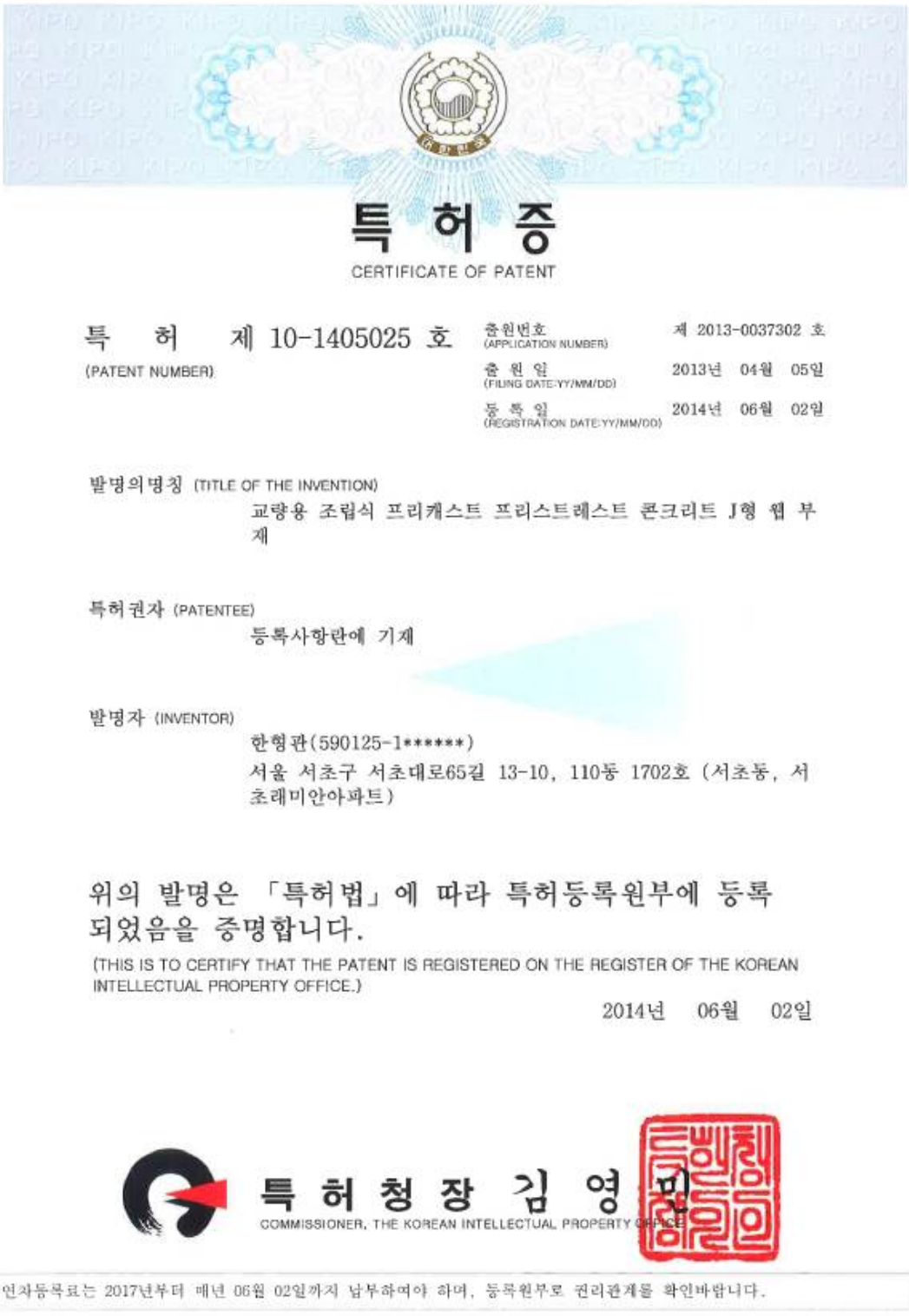
Multistage Prestressed Concept," ACI Structural Journal, V.100, No.6. pp.723-731.
21. Kim, Y. H. (2008) Characterization of Self-Consolidating Concrete for The Design of Precast, Pretensioned Bridge Superstructure Elements, Doctor of Philosophy, Texas A&M University, TX, pp.89-117.
22. Kuchma, D., Kim, K. S., Nagle, T. J., Sun S., and Hawkins, N. M. (2008) "Shear Tests on High-Strength Prestressed Bulb-Tee Girders: Strengths and Key Observations," ACI Structural Journal, Vol.105, No.3, pp.358-367.
23. Logan, D.R. (1997) "Acceptance Criteria for Bond Quality of Strand for Pretensioned Prestressed Concrete Application." PCI Journal, Vol.42, No.2, pp.52-90.
24. Ma, Z., Tadros, M. K., and Baishya, M. (2000) "Shear Behavior of Pretensioned High-Strength Concrete Bridge I-Girders," ACI Structural Journal, Vol.97, No.1. pp.185-192.
25. Metha, P. K. and Monteiro, P. J. M. (2006) Concrete, McGraw Hill.
26. Mindess, S., Young, J. F., and Darwin, D. (2003) Concrete, Prentice Hall, pp.440-455.
27. Nawy, E. G. (2006) Prestressed Concrete, Prentice Hall.
28. PCI High Performance Concrete Committee (2001) "High Performance Concrete Showcase Bridges," PCI Journal, Vol.46, No.6, pp.42-55.
29. Waldron, C. J., Cousins, T. E., Nassar A. J., and Gomez, J. P. (2005) "Demonstration of Use of High-Performance Lightweight Concrete in Bridge Superstructure in Virginia," Journal of Performance of Constructed Facilities, Vol.19, No.2, pp.146-154.
30. Virlogeux, M., "New trends in prestressed concrete bridge", Structural Concrete, Vol. 3. No. 2, pp. 67-97, 2002.
31. Korea Ministry of Land Infrastructure and Transport(2008), Highway Bridge Design Handbook, Vol. 5, pp.508/8-508/11, Korea Ministry of Land Infrastructure and Transport.
32. Hassan, N., Feldman, L.R., "Behavior of lap-spliced plain steel bars", ACI Structural Journal, Vol. 109, No.2, pp.235-243, 2012.
33. Vecchio, F.J., Collins, M.P., "The modified compression field theory for reinforced concrete elements subjected to shear", ACI Journal Proceeding, Vol. 83 No.2, pp.219-231, 1986
34. Minnesota/DOT, "Application of Precast Decks and Other Elements to Bridge Structure", 2006.
35. Bentz, E.E., "sectional Analysis of Reinforced Concrete", PhD Thesis, Department of Civil Engineering, University of Toronto, 2000.
36. Millard, S. G. and Johnson, R. P., "Shear Transfer in Cracked Reinforced Concrete", Magazine of Concrete Research, Vol.37 No. 130, 1985
37. ACI, "ACI Manual of Concrete Practice", 1994
38. PCI, "PCI Design Handbook - 3rd Edition", 1985
39. Nilson, A. H. and Winter, G., "Design of Concrete Structures", McGraw -Hill, 1991.
40. Birkeland H. W., "Class Notes for Course on Precast and Prestressed Concrete", Univ. of British Columbia, 1968.

41. PCI, "Bridge Design Manual - 2nd Edition", 2003.
42. 건설교통부, “도로 교량 및 터널 현황조서”, 2011.
43. PCE Engineering "TECHNOLOGY FOR PRECAST BRIDGES"
44. Dunker, K. F., and Rabbat, B. G., "Performance of Highway Bridges" Concrete International, V.12, No. 8, August 1990, pp 40-43.
45. Nur Yazdani and Moissa Issa and Clayton Wolfe, "Epoxy Jointing of Concrete Bridge Segments"
46. James M. Baker, "Construction Techniques for Segmental Concret Bridges", 1980
47. Kenichi Kata and Kenichiro Ashizuka and Kenji Miyamoto, Kenichi Nakatsumi, "Design and Construction of Butterfly Web Bridge", 3rd International Conference on SCMT, 2012
48. 일본 사단법인 프리스트레스트 콘크리트 기술협회, “프리텐션웨브교 설계시공 가이드(안)”,2003.11

[부 록]

1. 논문, 특허 등 성과

가. 특허



특 허 증

CERTIFICATE OF PATENT

특 허 제 10-1405025 호 (PATENT NUMBER)

출원번호 (APPLICATION NUMBER) 제 2013-0037302 호

출 원 일 (FILING DATE:YY/MM/DD) 2013년 04월 05일

등 록 일 (REGISTRATION DATE:YY/MM/DD) 2014년 06월 02일

발명의명칭 (TITLE OF THE INVENTION)

교량용 조립식 프리캐스트 프리스트레스트 콘크리트 J형 웹 부재

특허권자 (PATENTEE)

등록사항란에 기재

발명자 (INVENTOR)

한형관(590125-1******)

서울 서초구 서초대로65길 13-10, 110동 1702호 (서초동, 서초래미안아파트)

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.

(THIS IS TO CERTIFY THAT THE PATENT IS REGISTERED ON THE REGISTER OF THE KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE.)

2014년 06월 02일

특허청장 김 영 [illegible]

COMMISSIONER, THE KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

연차등록료는 2017년부터 매년 06월 02일까지 납부하여야 하며, 등록원부로 권리관계를 확인바랍니다.

등 록 사 항

특 허 등록 제 10-1405025 호
(PATENT NUMBER)

특허권자 (PATENTEE)

주식회사 장헌산업(165011-0******)
충청남도 당진군 고대면 성산로 464

(주)한맥기술(110111-1******)
경기도 안양시 동안구 시민대로 171, 1407호 (비산동, 금강벤처텔)

특허증
CERTIFICATE OF PATENT

특허 Patent Number	제 10-1482521 호
출원번호 Application Number	제 10-2013-0036241 호
출원일 Filing Date	2013년 04월 03일
등록일 Registration Date	2015년 01월 08일

발명의 명칭 Title of the Invention

노듈 조인트를 이용한 프리캐스트 콘크리트 세그먼트의 연결구조를 가지는 콘크리트 구조물 및 그 시공방법

특허권자 Patentee

주식회사 장헌산업(165011-0******)
충청남도 당진군 고대면 성산로 464

발명자 Inventor

한형관(590125-1******)
서울 서초구 서초대로65길 13-10, 110동 1702호 (서초동, 서초래미안아파트)

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.

KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE · 대한민국 특허청 ·

2015년 01월 08일

특허청장
COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

특허증
CERTIFICATE OF PATENT

특 허 Patent Number	제 10-1482522 호
출원번호 Application Number	제 10-2013-0036242 호
출원일 Filing Date	2013년 04월 03일
등록일 Registration Date	2015년 01월 08일

발명의 명칭 Title of the Invention
조립식 노듈러 거더, 이를 이용한 교량 및 그 시공방법

특허권자 Patentee
주식회사 장헌산업(165011-0******)
충청남도 당진군 고대면 성산로 464

발명자 Inventor
한형관(590125-1******)
서울 서초구 서초대로65길 13-10, 110동 1702호 (서초동, 서초래미안아파트)

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.

KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE · 대한민국 특허청 ·

2015년 01월 08일

특허청장
COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

특허증
CERTIFICATE OF PATENT

특허 Patent Number	제 10-1479013 호
출원번호 Application Number	제 10-2014-0076283 호
출원일 Filing Date	2014년 06월 23일
등록일 Registration Date	2014년 12월 29일

발명의 명칭 Title of the Invention
조립식 박스형상 구조물의 웹부재 설치장치

특허권자 Patentee
주식회사 장헌산업(165011-0******)
충청남도 당진군 고대면 성산로 464

발명자 Inventor
김승국(740914-1******)
서울특별시 서초구 서래로2길 58 그린하우스 402호

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.

2014년 12월 29일

특허청장
COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

특허증
CERTIFICATE OF PATENT

특허 Patent Number	제 10-1479014 호
출원번호 Application Number	제 10-2014-0076284 호
출원일 Filing Date	2014년 06월 23일
등록일 Registration Date	2014년 12월 29일

발명의 명칭 Title of the Invention

노듈과 웹부재의 조립에 의한 조립식 노듈러 거더의 시공방법, 및 이에 의해 제작된 조립식 노듈러 거더

특허권자 Patentee

등록사항란에 기재

발명자 Inventor

김회성(660525-1******)

충청남도 당진시 백암로 219-64 채운공원 휴먼빌 아파트 104동 402호

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.

2015년 09월 09일

특허청장
COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

최 동 규

등 록 사 항

특 허 **등록 제 10-1479014 호**

Patent Number

특허권자 Patentees

주식회사 장헌산업(165011-0******)
충청남도 당진군 고대면 성산로 464

한라산업개발 주식회사(205411-0******)
경기도 안양시 동안구 관악대로359번길 10-18 , 제4층 405호(관양동)

특허증
CERTIFICATE OF PATENT

특 허 Patent Number	제 10-1482523 호
출원번호 Application Number	제 10-2014-0076285 호
출원일 Filing Date	2014년 06월 23일
등록일 Registration Date	2015년 01월 08일

발명의 명칭 Title of the Invention

안전휀스 설치 구성을 가지는 조립식 노듈러 거더, 이를 이용한 교량 및 그 시공방법

특허권자 Patentee

주식회사 장헌산업(165011-0******)
충청남도 당진군 고대면 성산로 464

발명자 Inventor

김승국(740914-1******)
서울특별시 서초구 서래로2길 58 그린하우스 402호

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.

KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE · 대한민국 특허청 ·

2015년 01월 08일

특허청장
COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

나. 학술대회 발표


한국콘크리트학회
2015 봄 학술대회 및 임시총회
• 일자 : 2015. 5.13(수)~15(금)
• 장소 : 김대중컨벤션센터(광주광역시)
사단법인 한국콘크리트학회
Korea Concrete Institute

소켓연결방식 제형 PSC 거더 복부 접합부의 휨 성능 평가

Flexural Performance on Web Joint of Trapezoidal PSC Girder Using Socket Joint System

심 원 보* 민 경 환** 오 승 현*** 곽 홍 신**** 최 홍 식*****

Shim, Won Bo Min, Kyung Hwan Oh, Seung Hyun Kwak, Hong Shin Choi, Hong Shik

ABSTRACT

In this study, in order to assess the performance of web joint of precast trapezoidal PSC girder using a socket joint system, flexural tests were carried out for specimens had different joint details. Initial cracking loads of jointed specimens were less than non-jointed specimen's load; however, all specimens had similar ultimate loads overall..

요 약

본 연구에서는 프리캐스트 소켓연결방식 제형 PSC 거더 복부 접합부의 성능을 평가하기 위해 연결부의 상세를 달리하여 휨 실험을 수행하였다. 실험 결과 접합부가 있는 실험체의 초기 균열 하중은 접합부가 없는 실험체보다 낮았으나, 극한 하중은 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

1. 서 론

소켓연결 방식은 운반이 가능한 규격으로 프리캐스트 부재를 제작하여 현장에서 조립하는 방법으로 현장작업 공정을 최소화하고 경제성을 확보할 수 있는 방법이다. 또한 습식접합을 통해 부재간의 결합에 대한 신뢰성을 향상시키는 기술이다. 본 연구에서는 이러한 소켓연결 방식 제형 PSC 거더의 접합부의 성능을 평가하기 위해 접합부 상세를 달리한 실험체의 휨 실험을 수행하였다.

2. 실험 방법 및 결과

모든 실험체는 폭 200mm, 높이 600mm, 길이 4,800mm의 철근콘크리트 부재이며, 접합부를 갖는 실험체는 양측의 모체 실험체를 제작한 후 보의 중앙에 200mm의 접합부를 철근 루프 이음을 적용하여 접합하였다. 모체 보에는 50MPa급 콘크리트를 적용하였고, 접합부에는 80MPa급의 고강도 콘크리트를

* 정회원, 충청대학교, 공학기술연구원, 주임연구원
** 정회원, 충청대학교, 공학기술연구원, 선임연구원
*** 정회원, (주)한맥기술, 설계팀, 실장
**** 정회원, 충청대학교, 공학기술연구원, 부장
***** 정회원, 충청대학교, 토목공학과, 교수

타설하여 습식접합을 하였다. 접합부 상세에 따른 변수는 Table. 1 과 같다. 휨 실험의 지점 간 거리는 4,600mm이고, 2000kN급 액추에이터를 이용하였고, 하중은 500mm 간격으로 재하하여 파괴 시까지 측정하였다. 시험 결과를 Table 1. 과 Fig. 1,2 에 나타내었다.

Table 1. Test variables and results.

Specimen	Details	Cracking load (kN)	Ultimate load (kN)
#1	No joint (50 MPa concrete were casted entirely)	69.21	240.64
#2	Joint with continuous rebar and 80 MPa concrete at the middle span	21.09	250.84
#3	Joint with 107 mm width loop rebar	20.85	230.03
#4	Joint with 128 mm width loop rebar	20.9	230.3
#5	Joint with 86 mm width loop rebar	20.22	230.25

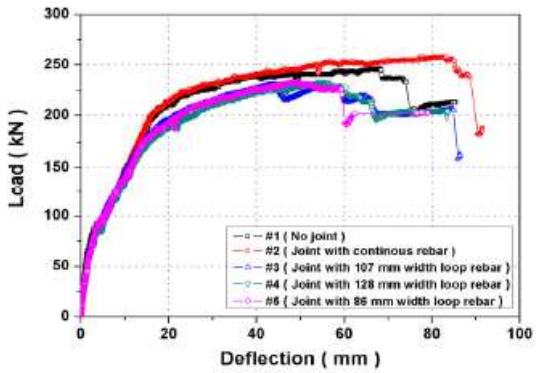


Fig. 1. Load - Deflection curve

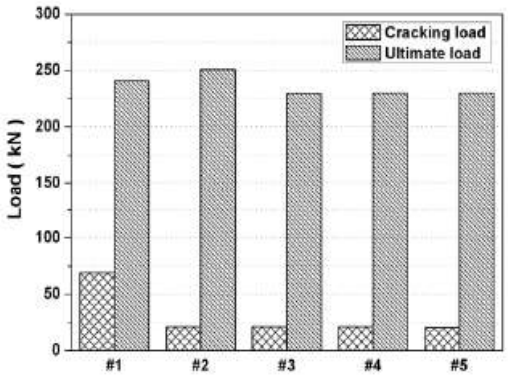


Fig. 2. Cracking and ultimate load.

3. 결 론

소켓연결방식 거더의 연결부 성능을 평가하기위하여 연결부 조건을 달리한 요소부재의 휨 시험 결과 결론은 다음과 같다.

1) 초기균열하중은 습식이음을 실시한 모든 시험체 에서 300%이하로 나타났으나 최대하중은 그 차이가 5% 내외로 미비하여 최대하중 이후의 거동은 큰 차이가 없음을 알 수 있었다 .

2) 철근의 고리 이음부 길이는 각 변수별 결과의 차이가 1%이하로 나타나 최대하중에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술사업화지원 사업의 연구비지원(14TBIP-C074176-01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. AASHTO, "AASHTO LRFD Bridge Design Specifications," 7th Edition, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC, 2014.

다. 논문 게재

한국산학기술학회논문지 제16권 제11호 별쇄 〈pp.7244-7249〉

[2015년 11월]

소켓연결 방식을 이용한 프리스트레스트 콘크리트 제형 거더의 구조성능 평가

심원보[1], 민경환[1*], 최홍식[2]

[1]충청대학교 공학기술연구원, [2]충청대학교 토목과

Structural Performance Evaluation of Prestressed Concrete Trapezoidal Girders Using Socket Joint System

Won-Bo Shim[1], Kyung-Hwan Min[1*], Hong-Sik Choi[2]

[1]Research Institute for Engineering & Technology, Chungcheong University

[2]Department of Civil Engineering, Chungcheong University

사단법인 한국산학기술학회

Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 16, No. 11 pp. 7244-7249, 2015

http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.11.7244
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

소켓연결 방식을 이용한 프리스트레스트 콘크리트 제형 거더의 구조성능 평가

심원보[1], 민경환[1*], 최홍식[2]
[1]충청대학교 공학기술연구원, [2]충청대학교 토목과

Structural Performance Evaluation of Prestressed Concrete Trapezoidal Girders Using Socket Joint System

Won-Bo Shim[1], Kyung-Hwan Min[1*], Hong-Sik Choi[2]
[1]Research Institute for Engineering & Technology, Chungcheong University
[2]Department of Civil Engineering, Chungcheong University

요 약 본 연구는 소켓연결방식을 이용한 PSC 제형 거더를 구성하는 프리캐스트 부재의 소켓연결 성능을 검증하고 복부 부재의 최적화 단면을 산정할 수 있도록 단위부재 실험을 수행하여 거더의 구조성능을 평가하였다. 실험은 연결부의 성능실험과 복부의 휨 및 전단 성능 실험을 수행 하였으며 모두 4점 재하방식으로 수행되었다. 실험결과 소켓연결을 실시한 시험체에서의 초기균열하중은 기준시험체 대비 크게 저하 되었으나 최대하중 이후의 거동은 큰 차이가 없음을 알 수 있었다. 또한 철근의 고리 이음부 길이는 최대하중에 큰 영향을 미치지 않았다. 복부 전단 실험 결과 프리스트레싱 강봉으로 전단 보강을 실시한 시험체에서 기준시험체 대비 높은 사인장 균열하중을 나타내었다. 복부 휨 실험 결과 인장측에 프리스트레싱 강봉으로 보강한 시험체에서 가장 큰 최대하중 결과를 얻을 수 있었다.

Abstract In this study, in order to asses the structural performance of trapezoidal PSC girder using a socket joint system and it is possible to calculate the optimized cross-section of the web element tests were carried out for each specimens. we conducted a socket joint performance test, web bending and shear performance tests and all tests were performed at 4 point loading method. The initial crack load of socket joint specimen was significantly lower than the reference specimen but post peak behavior was no significant differences. And the length of the loop joint of the reinforcing bars had no significant effect on the maximum load. As a web shear tests, to obtain a maximum load of the specimen has a prestressing rod reinforced at tension side. As a web flexural tests, to obtain higher diagonal cracking load in specimen of reinforced using prestressing rod than reference specimen.

Keywords : Accelerated Construction, Precast, Pre-tension, Socket Joint, Trapezoidal Girder

1. 서론

프리스트레스트 콘크리트(prestressed concrete, PSC) 교량은 콘크리트와 거푸집, 강재 등을 가설 지점에서 가공하여 시공하는 노동집약적 형태의 공사로 건설비에서 인건비의 비율이 높다[1]. 따라서 프리캐스트(precast) 부재의 활용, 대형 시공기계의 도입 등이 시행되고 있다[2,3]. 일반적으로 국내에서 시공되는 PSC 합성 거더(girder)교의 구조는 프리캐스트로 제작된 PSC 거더를 현장 거치 후 전단연결재 등을 이용해 바닥판과 합성해 거더와 바닥판의 일체 거동을 유도한 구조로[4], PSC 거더에는 포스트텐션 방식으로 제작함을 기본으로 하고 있다.

반면 전체 경간을 일괄적으로 제작하지 않고 전용공장에서 운반이 가능한 규격의 프리캐스트 부품 부재로

본 논문은 국토교통기술사업화 지원사업(과제번호 : 14TBIP-C074176-01) 연구비 지원에 의해 수행되었음.
*Corresponding Author : Kyung-Hwan Min(Chungcheong University)
Tel: +82-43-230-2692 email: alskh@ok.ac.kr
Received June 11, 2015 Revised (1st October 14, 2015, 2nd November 6, 2015)
Accepted November 6, 2015 Published November 30, 2015

제작한 후 현장에서 이를 조립하는 방법을 사용하면 현장 작업의 공정을 최소화 할 수 있다. 또한 공정의 단순화에 따른 급속시공이 가능하며 숙련공이 의존도가 낮아져 경제성 확보가 가능하다.

소켓 연결 방식은 Fig.1과 같이 제형 박스 거더(Trapezoidal box girder)를 복부(Web)와 반단면 슬래브(Half deck), 연결부(Joint), 단부 블록(End block) 등의 요소 부재로 제작한 후 현장에서 이를 습식 접합[5]을 하고 포스트텐셔닝으로 결합을 하는 공법이다. 본 연구에서는 이러한 소켓 연결 방식의 기초 연구 자료로 복부 부재의 연결 성능과 휨 및 전단 성능을 평가하고자 하였다.

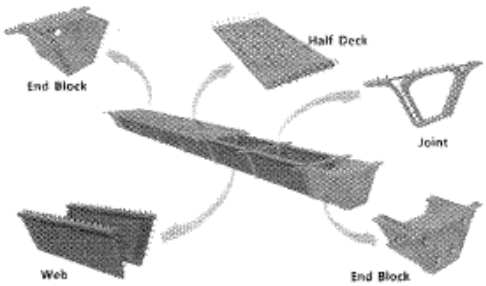


Fig. 1. Composition of PSC trapezoidal girders using socket joint system

2. 실험 계획 및 방법

2.1 접합부 연결 성능 실험

복부 부재의 연결은 Fig. 2와 같이 프리캐스트로 제작된 연결부(Joint)에서 프리텐션이 도입된 복부 부재(web)를 루프(loop) 이음으로 연결 및 보강을 하고, 습식 접합을 하게 된다.

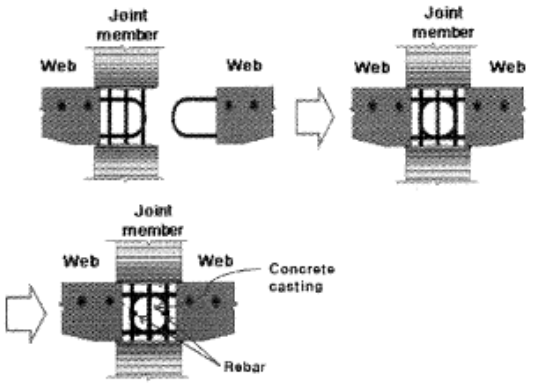


Fig. 2. Step of socket joint system

본 연구에서는 불연속면이 존재하는 연결부의 성능을 평가하기 위해 Table 1과 같이 연결부의 유무, 루프이음의 유무, 루프 이음간의 겹이음 길이를 변수로 하여 실험체를 제작하였다. 실험체의 제원은 Fig.3과 같다.

Table 1. Test variables of joint performance

Specimen	Details
#1-1	No joint (50 MPa concrete were casted entirely)
#1-2	Joint with continuous rebar and 80 MPa concrete at the middle span
#1-3	Joint with 107 mm width loop rebar
#1-4	Joint with 128 mm width loop rebar
#1-5	Joint with 86 mm width loop rebar

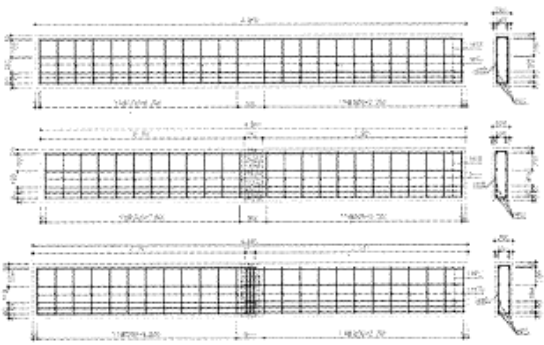
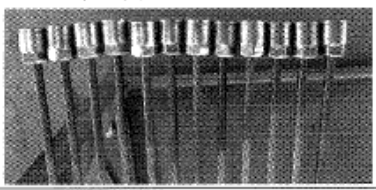


Fig. 3. Details of Joint specimen (Unit: mm)

2.2 복부 부재 전단 실험

소켓 연결방식을 사용한 복부 부재는 종방향의 보강재를 9.2mm 강봉으로 프리텐셔닝을 적용하게 된다. 프리스트레싱을 적용할 경우 기존의 철근으로 보강한 부재와 동등한 성능을 발휘하여야 한다. 이에 따라 프리스트레스가 도입된 복부 부재의 전단 성능을 평가하기 위해 전단 보강재의 종류에 따라 Table 2과 같이 2종의 실험체에 대해서 전단실험을 수행하였고, 기본 제원은 Fig. 4와 같다.

Table 2. Test variables of web shear

Specimen	Details
#2-1	Using the 9.2mm Prestressing steel bar as shear reinforcement. 
#2-2	Using the D16 rebar as shear reinforcement.

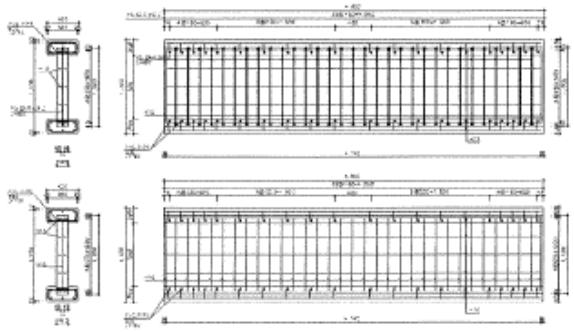


Fig. 4. Details of shear specimen (Unit: mm)

2.3 복부 부재 휨 실험

전술한 바와 같이, 복부 부재에 프리스트레싱을 도입함으로 인해 기존에 철근으로 보강한 부재와의 휨 성능 비교를 위해 복부 부재의 휨 실험을 수행하였다. 실험 변수는 Table 3과 같이 프리스트레싱의 적용 유무이고, 실험체의 제원은 Fig. 5와 같다.

Table 3. Test variables of web flexural specimen

Specimen	Details
#3-1	Reinforcing with prestressing steels in the bottom and rebars in the top
#3-2	Reinforcing by prestressing steels only
#3-3	Reinforcing by rebars only

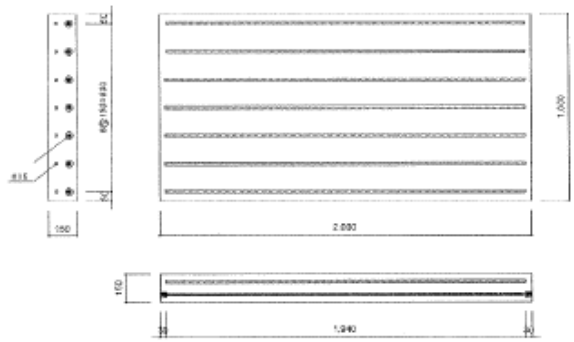


Fig. 5. Details of flexural specimen (Unit: mm)

2.4 실험체 제작 및 실험

전단 실험과 휨 실험을 위한 시험체는 9.2mm의 강봉을 사용하여 긴장력을 도입하였고, 프리캐스트 실험체의 제작은 f_{ck} 50MPa급의 콘크리트를 타설하였다. Fig. 6과 같이 타설 후 3시간의 전치 시간을 거친 뒤 증기양생을 실시하였고, 2시간 동안 50℃로 상승하여 6시간을 유지한 후에 종료하였다. 접합부의 콘크리트는 f_{ck} 80MPa급의 고강도 콘크리트를 사용하였고, 동일한 증기양생을 적용하였다.

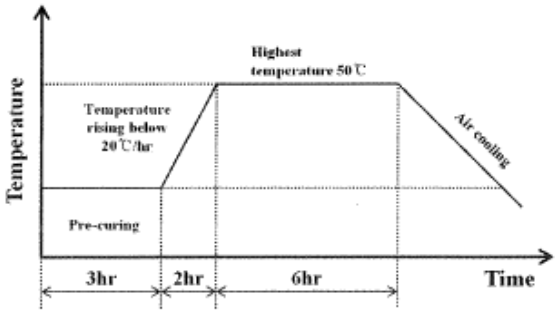


Fig. 6. Time history of steam curing

구조실험은 4점 재하로 실시하였고, 경계 조건은 Fig. 7과 같다. 하중 재하는 2,000kN의 액추에이터(actuator)로 하였고, 하중 속도는 1mm/min로 하여 변위제어로 실시하였다.

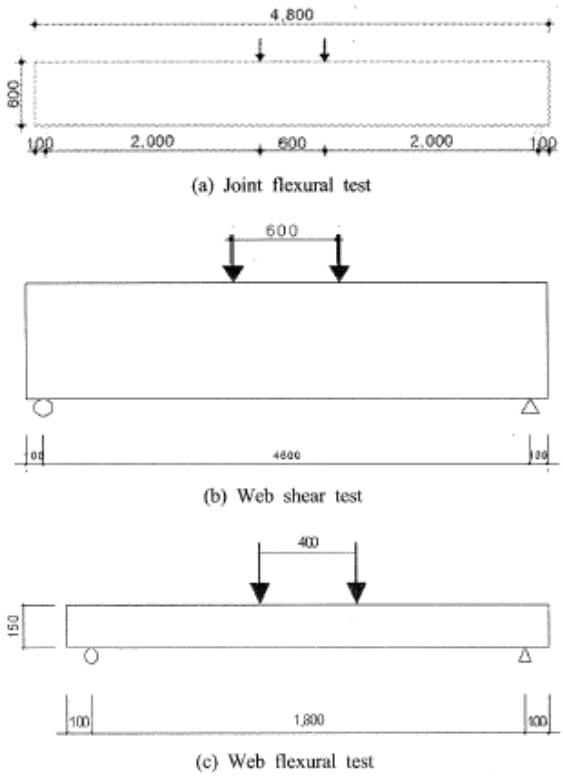


Fig. 7. Schematic draw of test set-up

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 접합부 연결 성능

접합부 실험체의 휨 실험 결과 Fig. 8과 같이 접합부의 초기균열하중은 이음부가 없는 실험체(#1-1)에 비해 작게 나타났으나, 최대하중은 그 차이가 5% 내외로 미비하여 최대하중 이후의 거동은 큰 차이가 없음을 알 수 있었다.

또한 철근의 루프이음길이를 달리한 각 변수별 결과의 차이가 1% 이하로 나타나 루프이음길이는 최대하중에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 접합부 휨 실험의 하중-처짐 관계는 Fig. 9와 같고, 각 실험체의 파괴양상은 Fig. 10과 같다. 접합부의 균열 확장 유무를 제외하고 시험체의 파괴 형태는 다수의 균열을 포함한 휨 파괴로 나타났다.

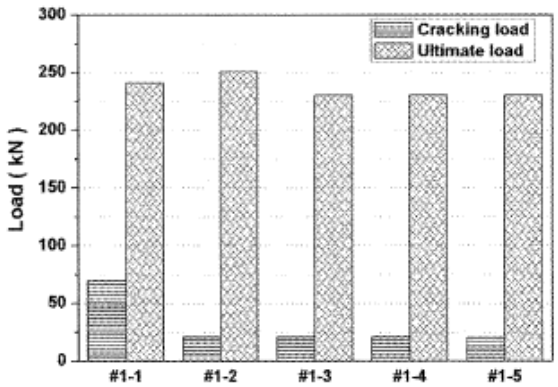


Fig. 8. Characteristic loads of joint flexural tests

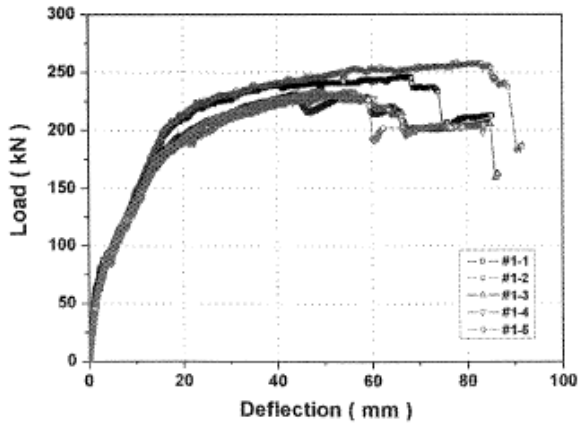


Fig. 9. Load-deflection curves of joint flexural test

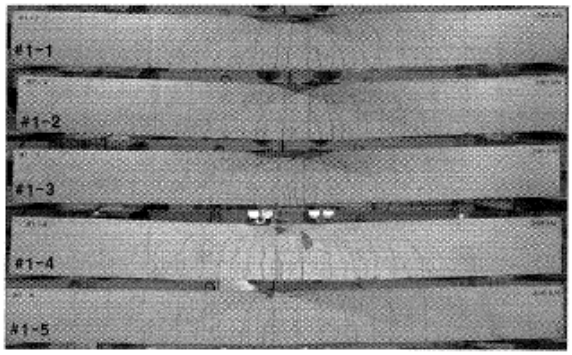


Fig. 10. Failure fattens of joint flexural test

3.2 복부 부재 전단 성능

복부 부재의 전단 성능 실험에서 Fig. 11과 같이 초기의 균열하중은 프리스트레싱을 도입한 #2-2 실험체가 프리스트레싱을 도입하지 않은 #2-1 실험체 보다 약 6% 더 높게 나왔다. 또한 극한하중에서는 두 실험 결과의 차이가 0.5% 미만으로 비슷한 수치로 나타났다.

균열 양상은 휨균열 이후 전단응력의 영향으로 하중점과 지점쪽으로 확장되었으며 하중점으로 확장된 경사균열에 의해 전단압축파괴가 일어났다. 사인장 균열[6]이 보 깊이의 중앙부를 통과 할 때의 하중을 사인장 균열 하중이라고 하였을 때 #2-1은 520kN, #2-2는 606kN으로 #2-2 실험체에서 보다 큰 사인장균열 하중을 보였으며 이는 수직방향으로 배근한 프리스트레싱 강봉의 전단 보강효과로 판단된다. 전단 실험의 하중-변위 관계는 Fig. 12와 같고, Fig. 13은 실험체의 최종 파괴양상이다.

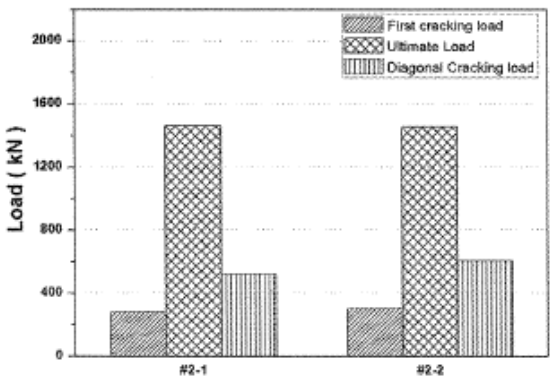


Fig. 11. Characteristic loads of web shear tests

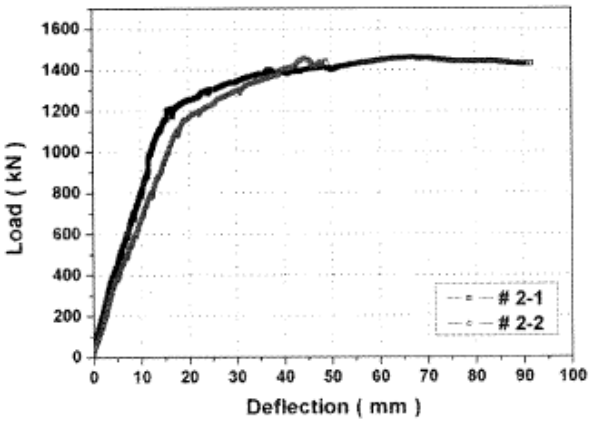


Fig. 12. Load-deflection curves of web shear test

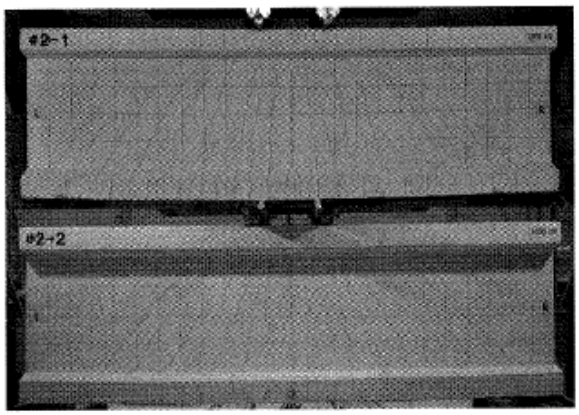


Fig. 13. Failure fattens of web shear test

3.3 복부부재 휨 성능

복부 부재의 휨 성능 실험 결과 Fig. 14와 같이 프리스트레싱 보강을 하지 않은 #3-3 실험체를 기준 실험체로 하였을 때 인장부만을 프리스트레싱 보강한 #3-1 실험체는 기준 실험체 대비 49% 높은 하중에서 첫 균열이 일어났다. 인장부와 압축부 모두 프리스트레싱 보강한 #3-2 실험체는 기준실험체(#3-3) 대비 23% 높은 하중에서 첫 균열이 발생했다. 극한하중에서는 #3-1 실험체는 기준실험체(#3-3) 대비 38%, #3-2 실험체는 24% 높은 하중에서 파괴되었다.

이러한 결과는 #3-1 실험체의 경우 하부 강봉의 프리스트레싱 도입으로 부모멘트를 형성하였고, 인장부와 압축부 모두 프리스트레싱 보강한 #3-2 실험체는 상부 강봉이 압축응력을 분담하지 않아 #3-1 실험체보다 다소 낮은 하중에서 압축부 상단 콘크리트의 압괴로 파괴된 것으로 판단된다. 휨 실험의 하중-변위 관계는 Fig. 15와 같고, Fig.. 16은 실험체의 최종 파괴양상이다.

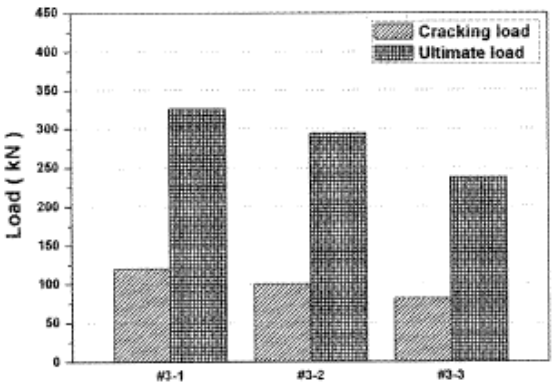


Fig. 14. Characteristic loads of web flexural tests

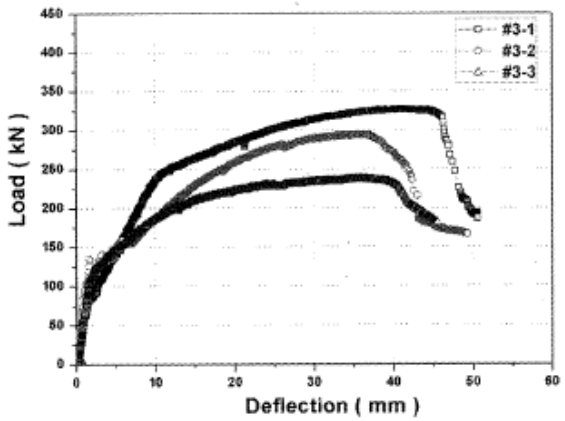


Fig. 15. Load-deflection curves of web flexural test

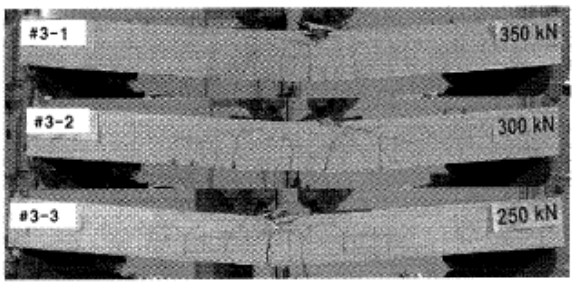


Fig. 16. Failure fattens of web flexural test

4. 결론

본 연구에서는 프리캐스트 요소 부재를 현장에서 집합하여 제형 거더를 제작하는 소켓연결방식의 요소 부재의 성능을 평가하였다. 이를 위해 연결부의 휨 실험과 복부 부재의 전단 및 휨 실험을 수행하였고, 이에 따른 결론은 다음과 같다.

1) 소켓연결부의 성능 시험결과 연결부를 갖는 실험체의 초기균열하중은 이음부가 없는 부재보다 작게 나타났으나 최대하중은 그 차이가 5%내외로 미비하여 최대하중 이후의 거동은 큰 차이가 없음을 알 수 있었다. 또한 철근의 루프 이음부 길이는 각 변수별 결과의 차이가 1%이하로 나타나 최대하중에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.
2) 복부 전단 실험 결과 초기 균열하중은 프리스트레싱을 도입한 실험체에서 약 6%더 높게 나왔으며 극한하중에서는 두 실험 결과의 차이가 0.5%미만으로 거의 비슷한 수치로 나타났다. 또한 사인장 균열하중의 비교결과 프리스트레싱을 도입한 실험체에서 약 16% 높게 나타나 전단보강효과가 있음을 알 수 있었다.
3) 복부 휨 실험 결과 인장측만을 프리스트레싱 강봉으로 보강한 #3-1에서 가장 큰 초기균열하중 및 극한하중을 갖는 것으로 나타났다. 이를 통해 복부의 휨 저항성 향상을 위한 보강방법으로는 인장 측에만 프리스트레싱 강봉을 도입하는 것이 가장 적합하다 판단된다.

References

[1] Collins, M. P., Mitchell, D., Prestressed Concrete Structures, Prentice Hall, 1999.

[2] Park, M. G., Park, J. B., Design of New PC Bridge, E&G book, pp. 1-7, 2007.

[3] Virlogeux, M., "New trends in prestressed concrete bridge", Structural Concrete, Vol. 3. No. 2, pp. 67-97, 2002.
DOI: http://dx.doi.org/10.1680/stco.2002.3.2.67

[4] Korea Ministry of Land Infrastructure and Transport (2008), Highway Bridge Design Handbook, Vol. 5, pp. 508/8-508/11, Korea Ministry of Land Infrastructure and Transport.

[5] Hassan, N., Feldman, L.R., "Behavior of lap-spliced plain steel bars", ACI Structural Journal, Vol. 109, No. 2, pp. 235-243, 2012.

[6] Vecchio, F.J., Collins, M.P., "The modified compression field theory for reinforced concrete elements subjected to shear", ACI Journal Proceeding, Vol. 83 No. 2, pp. 219-231, 1986.

심 원 보(Won-Bo Shim) **[정회원]**



- 2015년 2월 : 충북대학교 일반대학원 토목공학 (공학석사)
- 2014년 12월 ~ 현재 : 충청대학교 공학기술연구원, 주임연구원

<관심분야>
콘크리트, 토목구조

민 경 환(Kyung-Hwan Min) **[정회원]**



- 2007년 2월 : 고려대학교 일반대학원 구조공학 (공학석사)
- 2012년 8월 : 고려대학교 일반대학원 구조공학 (공학박사)
- 2009년 3월 ~ 2013년 6월 : 고려대학교부설 공학기술연구소
- 2013년 7월 ~ 현재 : 충청대학교 공학기술연구원, 선임연구원

<관심분야>
콘크리트, 구조공학

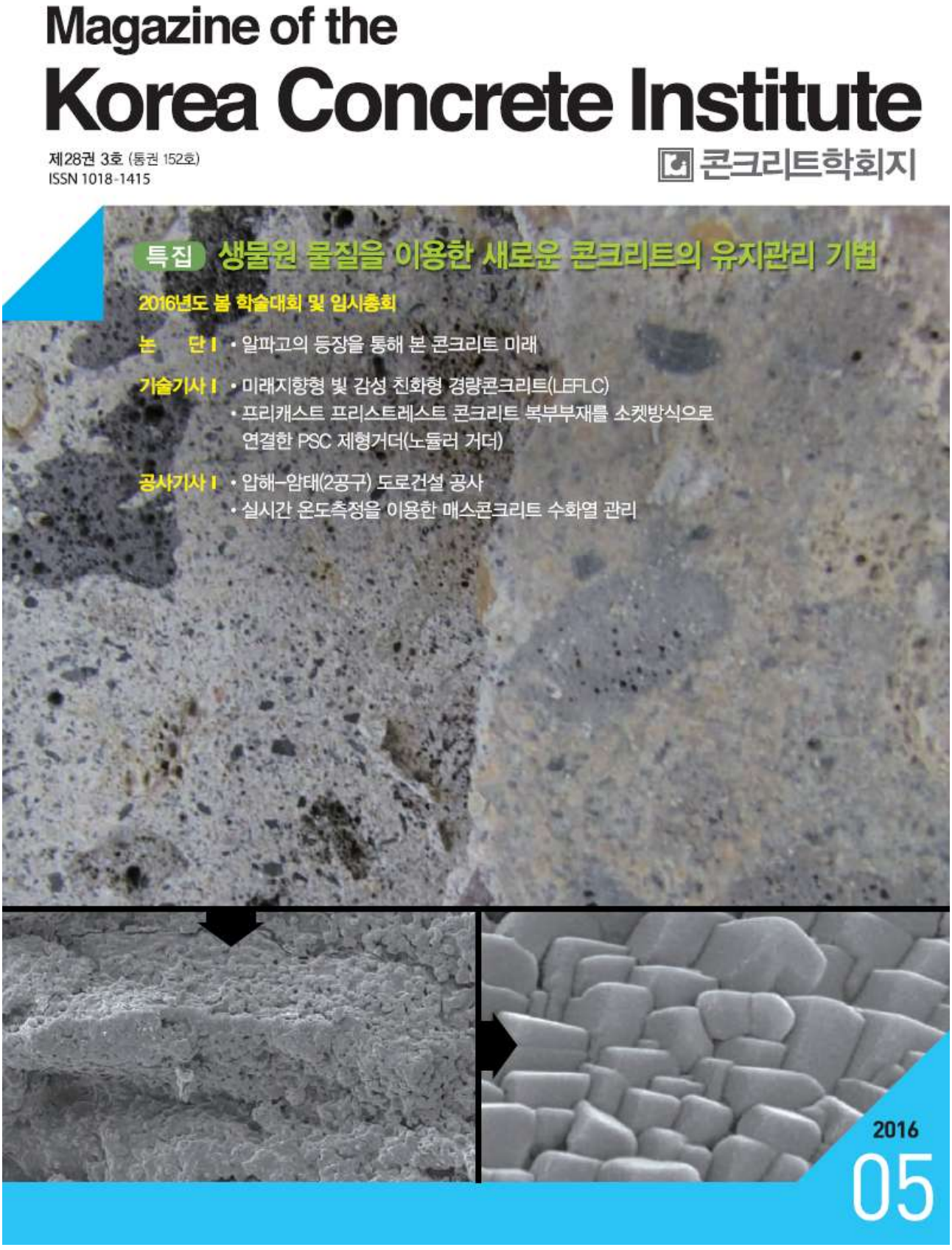
최 홍 식(Hong-Sik Choi) **[정회원]**



- 1983년 2월 : 연세대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1989년 8월 : 연세대학교 토목공학과 (공학박사)
- 1990년 3월 ~ 현재 : 충청대학교 토목과, 교수

<관심분야>
토목구조, 구조공학

라. 기술기사


Magazine of the
Korea Concrete Institute
제28권 3호 (통권 152호)
ISSN 1018-1415
콘크리트학회지
특집 생물원 물질을 이용한 새로운 콘크리트의 유지관리 기법
2016년도 봄 학술대회 및 임시총회
논 단 | • 알파고의 등장을 통해 본 콘크리트 미래
기술기사 | • 미래지향형 빛 감성 친화형 경량콘크리트(LEFLC)
• 프리캐스트 프리스트레스트 콘크리트 복부부재를 소켓방식으로 연결한 PSC 제형거더(노들러 거더)
공사기사 | • 압해-암태(2공구) 도로건설 공사
• 실시간 온도측정을 이용한 매스콘크리트 수화열 관리
2016
05

05 2016

콘크리트학회지

MAGAZINE OF THE KOREA CONCRETE INSTITUTE

제28권 3호(통권 152호)



B. sphearicus 미생물에 의해 표면이 코팅된 경량골재 콘크리트 및 탄산칼슘 분말
〈출처 : 조선대학교 김형기 교수〉

회 장 | 신현묵
부 회 장 | 이광명 최창식 박홍근 최광호 최연왕
감 사 | 김영진 김진만
이 사 | 김종구 현창국 노병철 문상천 서수연 양주경 김치경 김한수 홍건호 이현호 이행기 김성수 이상수 천영수 유성원 최정호 윤현도 이중원 이정윤 김도겸 정상화 류재석 이기학 차수원 이웅종 김윤용 김강수 박철우 지광습 김장호 조재열 서 철 정제평 최경규 천성철
위 원 장 | 양주경
부위원장 | 김강수 박상순(代)
간 사 | 권성준 김길희
위 원 | 강수태 강석표 김광기 김대진 김병일 김승직 김상우 김선우 김용로 김재훈 김정수 김준희 김준희 김진국 김충언 김혁중 김형기 박경수 박완신 박원준 방종석 서태석 손제국 신경준 신명수 신성진 양근혁 엄태성 오태근 원정훈 이방연 이병재 이상태 이종한 이 준 이진섭 이창준 임주혁 장영일 정성훈 정우정 정철우 최원창 최윤석
편집담당 | 박진영

발행처 | 사단법인 한국콘크리트학회
주 소 | 서울특별시 강남구 테헤란로 7길 22, 한국과학기술회관 신관 1009호
TEL | 02-568-5984 ~ 7
FAX | 02-568-1918
URL | http://www.kci.or.kr
E-mail | pjy@kci.or.kr
발행인 | 신현묵
편집인 | 양주경
인 쇄 | (주)크로스디비
인쇄일 | 2016. 5. 27
발행일 | 2016. 5. 30
격월간/비매품

CONTENTS

06 • **포토에세이** 원앙(鴛鴦)의 봄 마중 / 문한영

07 • **한국콘크리트학회 2016년도 봄 학술대회 및 임시총회**

14 • **논단** 알파고의 등장을 통해 본 콘크리트 미래 / 최창식

17 • **특집 – 생물원 물질을 이용한 새로운 콘크리트의 유지관리 기법**
박테리아 슬라임을 활용한 콘크리트 하수관거 내황산 코팅 기술 / 양근혁 · 윤현섭 · 이상섭
탄산칼슘 석출 미생물을 활용한 콘크리트 보수 기술 / 김형기 · 이행기
미생물을 활용한 자기 치유 콘크리트 개발 연구현황 / 김현정 · 박우준

35 • **기술기사**
미래지향형 및 감성 친화형 경량콘크리트(LEFLC) / 김병일 · 김성욱
프리캐스트 프리스트레스트 콘크리트 복부부재를 소켓방식으로 연결한 PSC 제형거더 (노들러 거더) / 오승현 · 김승국 · 김용혁 · 최홍식

46 • **공사기사**
압해–암태(2공구) 도로건설 공사 / 서영재 · 박준희
실시간 온도측정을 이용한 매스콘크리트 수화열 관리 / 류종현 · 정진수

54 • **국내외 연구실 탐방**
서울과학기술대학교 건설시스템공학과 철근콘크리트 및 합성구조 실험실 / 윤석구

56 • **국제학술대회 참가기**
제22회 체코 Concrete Days 2015 참가기 / 이준철

59 • **영(永) 칼럼** 지속가능성과 나 / 최동욱

62 • **영(Young) 칼럼** 배움에 대한 열정 / 이진곤

64 • **자유기고** 식물간의 경쟁을 위한 화학무기, 타감작용(allelopathy) / 정홍채
청파기행 시리즈 오월의 모스크바 / 심종성

73 • **신진연구자 소개** / 최윤석

74 • **콘크리트 품질관련 표준**
콘크리트 품질관련 표준 및 관련 비파괴 시험법 기술동향 –콘크리트 탄성계수– / 이병재 · 오대근

79 • **Q&A** / 양근혁

83 • **국제소식 및 국제학회지 주요기사** / 최원창 · 박원준

88 • **도서소개** / 최원창

89 • **학회소식**

05 2016

Magazine of the Korea Concrete Institute

Vol. 28 No.3 (Serial No.152)

06 • Photo Essay / Han-Young Moon

07 • KCI spring 2016 convention & extraordinary general meeting

14 • Column
Harmonizing with AlphaGo : the Future of Concrete / Chang-Sik Choi

17 • Special Articles - Noble Concrete Maintenance Technology using Biogenic Materials
Sulfate Resistance Coating Technology for Concrete Drain Pipe using Bacteria Slime / Keun-Hyeok Yang · Hyun-Sub Yoon · Sang-Seob Lee
Concrete Repairing by Calcium Carbonate-Precipitating Bacteria / Hyeong-Ki Kim · Haeng-Ki Lee
Current Research Topics in Development of Self-healing Concrete Using Microorganisms / Hyun Jung Kim · Woojun Park

35 • Technology Articles
Future Oriented Light Emotion Friendly Lightweight Concrete(LEFLC) / Byoungil Kim · Sung-Wook Kim
PSC Trapezoidal Girder with Precast Prestressed Concrete Web Joined by Socket Joints(Nodular Girder) / Seung-Hyun Oh · Seung-Guk Kim · Yong-Hyeok Kim · Hong-Shik Choi

46 • Construction Articles
Road Construction Project between Aphae and Amtae(2nd Section) / Young-jae Seo · Junhee Park
Controlling Hydration Heat in Mass Concrete Using the Real-Time Measured Concrete Temperature / Jong Hyun Ryu · Jin Soo Chung

54 • Overview of Domestic and Overseas Research Laboratory
Reinforced Concrete & Composite Structural Laboratory Dept. of Civil Engineering at Seoul National University of Science & Techology / Seok-Goo Youn

56 • International Conference review
A Report on 22nd Concrete Days 2015 / Jun-Cheol Lee

59 • Senior Column / Donguk Choi

62 • Young Column / Jin-gon Lee

64 • Free Article / Hung-Chae Jung · Jongsung Sim

73 • Introduction of Rising Researcher / Yoonsuk Choi

74 • Standards for Concrete
An Introduction to Korea Standards and Relevant Nondestructive Testing for Concrete - modulus of elasticity - / Byung-Jae Lee · Tae-Keun Oh

79 • Q&A / Keun-Hyeok Yang

83 • International News / Won-Chang Choi · Wonjun Park

88 • Book Review / Won-Chang Choi

89 • KCI News

President | Hyun-Mock Shin

Vice Presidents | Kwang-Myoung Lee, Chang-Sik Choi, Hong-Gun Park, Kwang-Ho Choi, Yun-Wang Choi

Auditors | Young-Jin Kim, Jin-Man Kim

Directors | Joong-Koo Kim, Byeong-Cheol Lho, Soo-Yeon Seo, Chee Kyeong Kim, Geon-Ho Hong, Haeng-Ki Lee, Sang-Soo Lee, Sung-Won Yoo, Hyun-Do Yun, Jung-Yoon Lee, Sang-Hwa Jung, Kihak Lee, Woong-Jong Lee, Kang Su Kim, Goangseup Zi, Jae-Yeol Cho, Je-Pyong Jeong, Sung-Chul Chun, Chang-Kook Hyoun, Sang-Chun Yoon, Joo-Kyoung Yang, Han-Soo Kim, Hyun-Ho Lee, Seong-Soo Kim, Young-Soo Chun, Jung-Ho Choi, Joong-Won Lee, Do-Gyeum Kim, Jae-Suk Ryou, Soo-Won Cha, Yun-Yong Kim, Cheolwoo Park, Jang-Ho Jay Kim, Chul Suh, Kyoung-Kyu Choi

Editor-in-Chief | Joo-Kyoung Yang

Vice Editor-in-Chief | Kang Su Kim, Sang-Soon Park

Editorial Assistants | Seung-Jun Kwon, Kil-Hee Kim

Editors | Su-Tae Kang, Kwang-Ki Kim, Byoung-Il Kim, Sang-Woo Kim, Yong-Ro Kim, Jeong-Su Kim, JunHee Kim, Cheong-Eon Kim, Hyeong-Ki Kim, Wan-Shin Park, Jung-Seok Bang, Je-Kuk Son, Myoung-Su Shin, Keun-Hyeok Yang, Tae-Guen Oh, Bang-Yeon Lee, Seong-Tae Yi, Jun Lee, Chang-Joon Lee, Young-Il Jang, Woo-Jung Chung, Won-Chang Choi, Suk-Pyo Kang, Dae-Jin Kim, Sung-Jig Kim, Sun-Woo Kim, Jae-Hong Kim, Jun-Hee Kim, Jin-Kook Kim, Hyeok-Jung Kim, Kyoung-Soo Park, Won-Jun Park, Tae-Seok Seo, Kyung-Joon Shin, Sung-Jin Shin, Tae-Sung Eom, Jeong-Hun Won, Byung-Jae Lee, Jong-Han Lee, Jin-Seop Lee, Ju-Hyeuk Im, Seong-Hoon Jeong, Chul-Woo Chung, Yoon-Suk Choi

Editorial Secretary | Jin-Young Park

Publication | Korea Concrete Institute
ADD | RM.1009, New Building, The Korea Science&Technology Center, 22, 7Gil, Teheran-ro, Gangnam-gu, Seoul, Korea
TEL | +82-2-568-5984 ~ 7
FAX | +82-2-568-1918
URL | http://www.kci.or.kr
E-mail | pjy@kci.or.kr
Publisher | Hyun-Mock Shin
Editor-in-Chief | Joo-Kyoung Yang
Print | CrossDB
The date of printing | May 27, 2016
The date of publication | May 30, 2016



프리캐스트 프리스트레스트 콘크리트 복부부재를 소켓방식으로 연결한 PSC 제형거더(노듈러 거더)

PSC Trapezoidal Girder with Precast Prestressed Concrete Web Joined by Socket Joints(Nodular Girder)

오승현 Seung-Hyun Oh
(주)장헌산업
실장

김승국 Seung-Guk Kim
(주)장헌산업
부장

김용혁 Yong-Hyeok Kim
(주)장헌산업
전무

최홍식 Hong-Shik Choi
충청대학교 토목과
교수

1. 머리말

최근 들어 교량 기술은 현수교, 사장교 등의 초장대교량 위주로 연구되고 발전하고 있지만, 지간장 40 m ~ 70 m의 중장경간교량은 PSC I형교, 강상자형교, PSC 상자형교 등의 기존공법에서 탈피하지 못하고 있는 실정이다. 그리고 중장경간 교량의 건설은 국내시장에만 안주하여 가격중심 경쟁이 가속화되었고 국내 토목산업의 침체로 시장 규모가 급격히 축소되고 있다. 더욱이 원도급 단계부터 최저가 낙찰 위주의 낙찰형태와 하도급 단계에서의 저가공사로 공사수준은 지속적으로 하락하고 있어 기술개발 및 투자는 기대하기 어려운 상태이다. 공사현장에서는 숙련 작업자의 고령화와 젊은층의 3D직종의 기피 등으로 현장작업자가 감소하였고 이로 인해 현장작업반 운용이 매우 힘든 실정이며, 근로시간 단축 및 안전절차 강화로 생산성이 저하되고 기상환경의 변화 등으로 현장의 작업여건은 급속히 악화되고 있다.

따라서 현장 작업여건의 개선책으로 현장 내 직접작업을 최소화 할 수 있는 획기적인 공정개선이 필수적이며, 이에 대한 한 방편으로 구조물의 부품을 공장에서 생산하고 현장에서 조립하여 시공이 신속하며, 거푸집이나 동바리가 필요치 않아 경제성, 안전성, 품질관리에 유리한 프리캐스트공법의 적용이 확대되고 있다. 이 기술기사에서는 교량의 부품을 공장에서 프리캐스트 콘크리트 부재로 제작하고 이를 소켓방식으로 연결하는 PSC 거더(이하 노듈러 거더, Nodular Girder)에 대하여 간략히 소개하고자 한다.

2. 개발 배경

국내 중장경간 교량의 형식은 특수한 경우를 제외하고 지간장 50 m 이하는 PSC I형교, 그 이상은 강상자형교 또는 PSC 상자형교가 주로 적용되고 있다. PSC I형교의 경우 성능을 개선한 다양한 형태의 개량형 거더가 개발되어 구조적 안전성과 경제성이 향상되었으며 최근에는 지간장이 60 m에 이르는 거더가 개발되기도 하였다. 그러나 지간이 늘어날수록 거더의 형고와 중량이 급격히 증가하고 횡방향 강성이 약해 횡방향 변형이 크게 발생하는 등 실제 적용하는데 어려움이 있다.

50 m 이상의 경간장이 필요한 교량의 경우 앞서 언급한 바와 같이 강상자형교나 PSC 상자형교가 주로 사용되고 있다. 그러나 강재는 콘크리트에 비해 재료적인 장점은 크지만 경제성 측면에서 매우 취약하다. 그리고 PSC 상자형교의 경우 고강도 콘크리트 및 강연선을 이용하여 강상자형교에 비해 재료적인 면에서 경제적이고 유지관리에 유리하지만,

현장 작업이 많고 복잡하며 공사기간이 길어 인건비나 가설장비 등에 투입되는 비용이 커져서 대규모 공사현장이 아닌 경우를 제외하고는 중장경간 교량에 적용하기에는 무리가 따른다. 따라서 40 m ~ 70 m 정도의 중장경간 교량에서 경제성 향상과 시공성 개선을 위한 새로운 교량형식의 개발 필요성이 대두되었다.

최근 국내외에서 구조물을 일반 공업제품과 같이 부품화하여 공장에서 생산하고 현장에서 조립하는 것으로 콘크리트 품질관리가 우수하고 대량생산을 통해서 경제성을 향상시키는 프리캐스트 콘크리트 공법이 발전하고 있다. 프리캐스트 콘크리트 공법은 경제성, 품질관리, 시공성 등의 장점을 가지지만, 초기 시설투자비, 운반비 증가, 프리캐스트 부재간의 연결 등의 문제점이 있다. 그러나 이러한 문제점에도 불구하고 건설시장의 변화와 노동인력 부족 등으로 사용범위가 점점 확대되고 있다. 특히 토목 구조물에서 프리캐스트 공법은 거더, 교량의 바닥판, 교각, 기초 등 교량 전부분에 걸쳐서 사용이 확대되고 있다.

토목 구조물에서 프리캐스트 콘크리트 공법이 많이 사용되는 형식 중 하나는 〈사진 1〉과 같이 프리캐스트 세그먼트를 공장 제작한 후 종방향 프리스트레스를 도입하여 연결하는 공법으로 PSC 상자형교 등의 대규모 공사에 많이 적용되고 있다. 그러나 우리나라는 중량, 길이 등의 운반에 대한 제약으로 대부분 부재를 공장생



사진 1. 프리캐스트 세그먼트 교량



그림 1. 노들러 거더의 구성



(a) Sylans Viaduct(프랑스)



(b) Takubogawa Bridge(일본)

사진 2. 경량화된 프리캐스트 교량들



사진 3. 시공단계 및 전경

산이 아닌 현장에서 제작하기 때문에 프리캐스트 콘크리트 공법의 장점을 모두 가질 수는 없는 실정이다.

그리고 모든 콘크리트 교량의 가장 큰 단점은 중량이 무겁다는 것이다. 따라서 프리캐스트 세그먼트 부재로 적용하여도 〈사진 1〉과 같이 가설을 위한 대규모의 장비가 필요하다. 전 세계적으로도 콘크리트 교량의 경량화를 위한 연구에 많은 노력을 기울이고 있다. 경량화는 재료적인 측면에서는 고강도 콘크리트를 적용하여 단면을 줄이는 방법과 구조적으로 불필요한 단면을 공제하여 중량을 줄이는 방법이 있다. 우리나라도 고강도 콘크리트에 대한 연구가 국가 및 민간 차원에서 활발히 이루어져 많은 성과를 이루었지만 실제 현장에서의 적용은 여러 가지 문제로 아직 어려움이 많다. 그리고 구조적인 측면으로는 〈사진 2〉와 같이 거더의 복부를 줄여 경량화하는 공법이 많이 사용되고 있다.

이에 공장에서 프리캐스트 방식으로 제작된 콘크리트 부재를 현장에서 소켓방식의 연결방법으로 조립하여 경량화된 PSC 제형거더를 완성하고 상부슬래브를 설치하면 폐합된 박스형태의 뛰어난 단면 안전성을 가지는 신형식의 노들러 거더가 개발되었다.

3. 개발기술의 내용

노들러 거더는 〈그림 1〉에서 보인 바와 같이 거더의 복부를 형성하는 J-Web, 복부 J-Web을 소켓방식으로 연결하기 위한 노들(Nodule), 긴장재의 정착구가 위치하는 거더 단부 End Block, 상부 바닥판의 시공성 및 안전성 향상으로 이미 많은 교량형식에 적용되고 있는 Half Deck으로 구성되며, 〈사진 4〉와 같이 4종류의 부재들을 공장에서 프리캐스트로 제작하고 현장으로 운반하여 조립한 후 하부슬래브와 상부슬래브를 현장타설하여 일체화된 교량을 완성한다.

노들러 거더를 구성하는 핵심요소 중 거더의 복부부재로 사용되는 J-Web은 〈그림 2〉와 같이 프리캐스트 콘크리트로 제작된 부재에 인장용 강봉을 사용하여 프리텐션공법에 의한 연직방향 프리스트레스를 도입함으로써 사용 시 종방향 프리스트레스와 함께 2축 압축

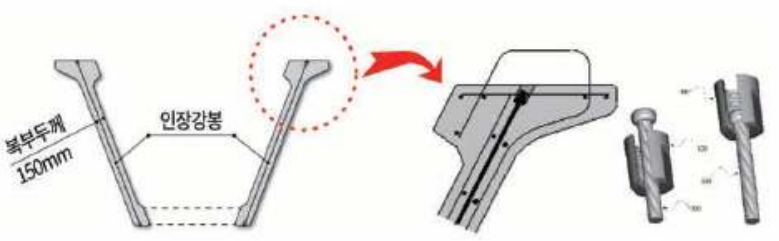


그림 2. 노들러 거더의 복부부재 J-Web과 인장용 강봉

응력 상태가 되어 콘크리트 구조물의 고질적 문제점인 균열을 방지하고 내구성을 향상시킨다. 또한 세계적인 추세인 콘크리트 교량의 경량화에 맞추어 복부두께를 150mm로 최소화함으로써 거더 전체 자중을 대폭 경감시켜 경제성을 확보하고 운송 및 조립이 용이하며, 외관상으로는 부재에 곡선형상을 적용하여 거더 완공 후 경관적 측면에서도 매우 우수하다. 또한 J-Web은 전단연결철근을 통해 상하부 바닥판과 연결되며, J-Web간의 연결은 연결부재인 노들 내에서 종방향 철근의 루프이음을 통해 연결성능이 향상되도록 하였으며, 생산 표준화를 통한 전용 공장에서의 대량생산을 함으로써 고강도 콘크리트의 적용 및 품질확보는 물론 원가를 절감을 할 수 있다.

다음으로 노들러 거더의 구성요소 중 노들은 〈그림 3〉과 같이 J-Web을 연결하는 프리캐스트 부재이다. 일반적으로 프리캐스트 부재의 연결은 건식연결(dry joint)과 습식연결(wet joint)의 2가지 방식이 있다. 건식연결은 종방향으로 철근이 연속화되지 않고 프리스트레스의 힘만으로 연결이 되고, 콘크리트에 전단키를 두어 전단력을 전달함으로 세그먼트 제작오차가 발생할

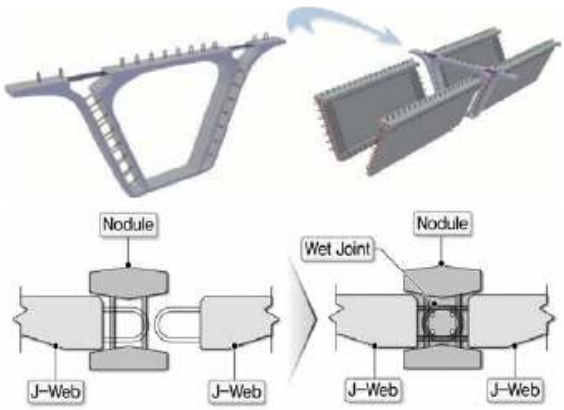


그림 3. J-Web을 소켓방식으로 연결하는 노들 부재



그림 4. 대나무 마디와 같은 노듈 부재

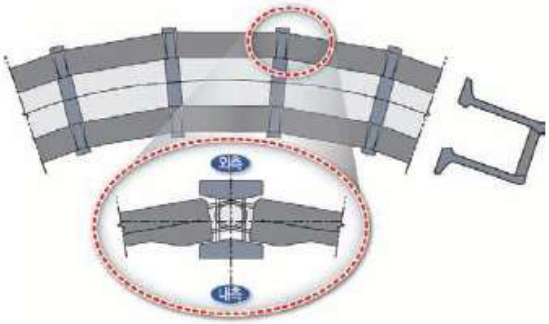


그림 5. 노듈을 이용한 곡선거더의 제작

경우 연결부의 문제가 발생할 수 있다. 이에 제작 시 매치캐스트 방법을 사용하여 정확하게 전단키가 결합되도록 해야 하며, 인장력 발생 시 세그먼트 간에 이격을 방지하고 빗물 등에 대한 방수를 위하여 연결되는 콘크리트 면에 에폭시와 같은 접착제를 이용하여 붙이기도 한다. 습식연결은 철근이 연속화 되어 구조물의 일체화가 가능하지만 연결부의 거푸집, 동바리 등을 설치하고 현장타설 작업이 추가되어 시공성이 저하된다. 그리고 시공이음부가 발생하여 미관이 좋지 않은 단점이 있다.

노듈은 습식연결에 필요한 거푸집 역할을 하면서 〈그림 4〉와 같이 대나무의 마디처럼 횡방향 강성을 증대시켜 제형단면의 거더를 별도의 보강재 없이 가설할 수 있게 할 뿐 아니라 단순하지만 강인한 형상으로 시공이음부를 보이지 않게 하여 미관을 향상시킨다. 또한 〈사진 4〉와 같이 브라켓을 가지는 단면으로 계획하여 캔틸레버구간에서도 Half Deck을 사용할 수 있도록 개선하였다. 이는 상부슬래브 공사 시 안전사고가 우려되는 콘크리트 바닥판용 비계, 동바리 공정을 필요로 하지 않아 안전성을 향상할 수 있다. 그리고 〈그림 5〉와 같이 별도의 새로운 부재나 장비 없이 노듈 내부로 삽입되는 J-Web의 길이를 다르게 하여 곡선거더를 제작할 수 있다.

4. 구조성능 검증

노듈러 거더의 성능을 검증하기 위하여 실물모형실험, 단위부재성능실험, 실교량의 차량 재하 실험을 통해 내하력 평가 등을 실시하였다.

먼저 실물모형실험은 J-Web, 노듈, End Block 등의 프리캐스트 부재의 생산 및 거더의 조립 공정을 확인하고, 구조역학적인 개념과 일반적인 설계기준에 따른 설계를 실시하였을 때 교량의 거동이 이론에 따라



(a) 기존 교량



(b) 노듈러 거더 적용 교량

사진 4. 캔틸레버부 시공 비교

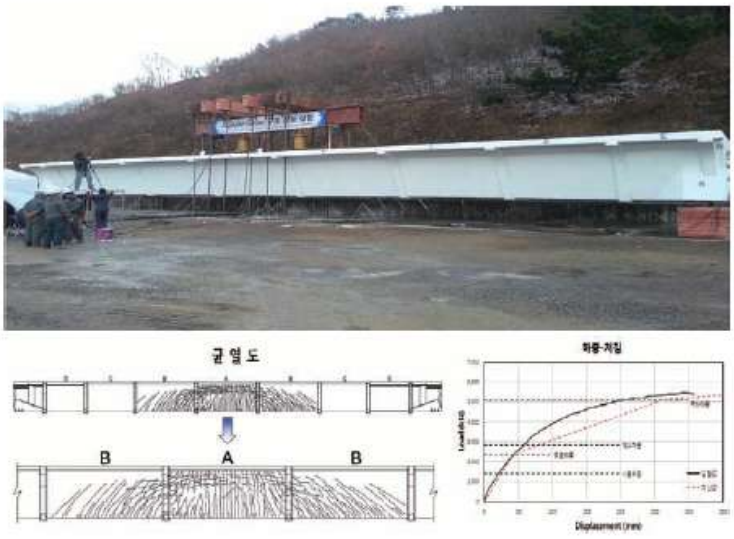
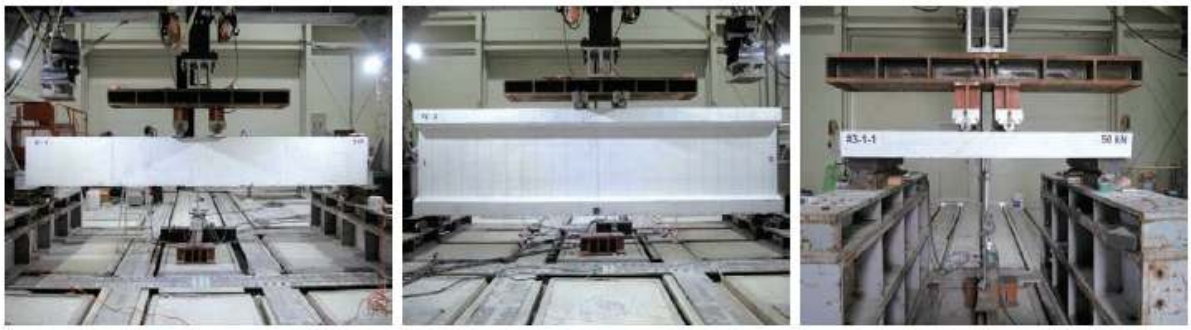


그림 6. 실물실험 전경 및 실험결과



(a) 루프이음 실험　(b) 프리텐션 부재 전단실험　(c) 프리텐션 부재 휨실험

사진 5. 단위부재성능실험 전경

예측한 범위 내에 있으면서 충분한 여용력을 가질 수 있는지를 검증하기 위하여 L = 35 m, H = 2.24 m(슬래브 포함)인 노듈러 거더를 제작하고 정적재하 실험을 수행하였다.

실험결과 노듈러 거더는 사용하중과 계수하중에 대하여 충분한 안전성을 확보하고 있는 것으로 판명되었으며 연성능력도 충분한 것으로 검증되었다. 그리고 노듈은 거더 가설 시 횡방향 강성을 확보할 뿐 아니라 사용할 때에도 거더의 횡방향 거동에 구조체로 역할을 하는 것으로 판명되었고 연결부는 종방향으로 J-Web과 연속적으로 거동을 하며 최종 상태까지 연결부의 파괴가 먼저 발생하지 않았으므로 충분한 안전성을 확보한 것으로 검증되었다.

단위부재성능실험에서는 노듈러 조인트부의 루프이음 철근의 이음길이에 따른 성능과 강봉으로 프리텐션된 J-Web의 전단 및 휨 성능을 확인하기 위한 실험을 수행하였다.

루프이음의 성능실험결과 루프이음의 길이가 0.8D ~ 1.2D (D는 루프직경)인 모든 실험체에서 일체로 타설된 기준 실험체의 극한하중과 5% 정도의 차이를 보여 루프이음의 길이에 따른 성능차이는 없는 것으로 판명되었다. 프리텐션으로 보강된 부재의 전단 및 휨 성능은 철근으로 보강된 경우보다 사인장 균열 및 휨 균열에 대한 성능이 높은 것으로 나타나 프리스트레스의 효과가 있는 것으로 판명되었다.

〈사진 6〉에서 보는 것과 같이 상주-영덕간 고속국도에 노듈러 거더로 시공된 '교량'에 대하여 차량하중을 재하하여 정적 및 동적실험을 수행함으로써 공용 중의 거동을 확인하고 교량의 구조적 안전성을 검증하였다. 대상 교량은 연장 45.0 m의 단경간 노듈러 거더교로 고속도로를 횡단하는 설계하중 DB-24의 1등교이다. 차량하중 재하지점의 선정은 구조적으로 취약할 것으로 예상되는 위치 및 재하시험의 용이성 등을 고려하여 최대 정모멘트가 작용하는 지점을 선정하였다. 검증결과 노듈러 거더로 시공된 교량은 충분한 내하성능을 보유한 것으로 판정되었다.



사진 6. 실교량 시공 및 차량재하 실험 전경

5. 맺음말

건설시장의 급격한 축소와 가격 중심의 경쟁으로 인한 기술 및 품질의 하락으로 단순히 해외 기술을 모방하는 수준의 연구개발로는 해외에서의 경쟁력을 확보하기 어렵다. 이에 독자적인 모델로 설계, 제작, 시공을 일원화하고 현장작업자의 감소, 근로시간의 단축 등 작업여건 악화에 따른 현장작업을 최소화하는 방안으로 프리캐스트 콘크리트를 적극 활용하는 신공법인 노듈러 거더는 국내 교량 기술의 향상과 형식의 다양화에 도움이 될 것으로 사료된다.

향후 노듈러 거더는 프리캐스트 콘크리트를 통한 품질 및 시공성 향상과 경량화를 통한 경제성 확보, 다양한 가설방법에 대한 적용성 확대 등으로 국내 중장경간 교량 시장뿐 아니라 해외시장에서도 충분히 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

담당 편집위원 : 이종한(대구대학교) jonghan@daegu.ac.kr



오승현 실장은 동아대학교 토목공학과에서 내적부정정을 고려한 외부강연선의 휨강도 산정에 관한 연구로 2008년에 박사학위를 취득한 후 (주)한맥기술의 기술연구소를 거쳐 2012년부터 (주)장헌산업에서 신공법 개발 업무를 총괄하고 있다.
hyun-21@hanmail.net



김승국 부장은 인제대학교 토목공학과에서 개단면 박벽보의 뒴을 고려한 유효비틀림계수 연구로 2002년에 석사학위를 취득한 후 (주)한맥기술 구조부를 거쳐 2010년부터 (주)장헌산업에서 신공법 개발 업무를 담당하고 있다.
civilksk@hanmail.net



김용혁 전무는 충북대학교 토목공학과를 졸업 후 토목구조기술사를 취득하고 현업에서 교량설계업무를 주로 수행하였으며 현재는 (주)장헌산업에서 기술영업본부장을 맡아 신공법의 현장적용 및 시공성 개선 등의 업무를 총괄하고 있다.
yonghuck@naver.com



최홍식 교수는 연세대학교 토목공학과에서 박사학위를 취득하고 1990년부터 충청대학교 토목공학과 교수로 근무 중이다. 우리학회 이사, 대의원 등을 역임하였으며 수축저감 등 기능성 콘크리트 분야와 교량 구조성능 평가 등의 연구를 수행하고 있다.
choihs@ok.ac.kr

2. 시험 성적서

가. 단위부재실험

시 험 성 적 서

충청대학교 공학기술연구원
주소 : 충북 청주시 흥덕구 강내면 월곡길 38
전화)043-230-2675 팩스)043-230-2679

성적서번호 : CCT-16-0008-1
페이지 (1)/(총 3)

1. 의 뢰 자
 ○ 기 관 명 : (주)정헌산업
 ○ 주 소 : 충청남도 당진시 고대면 성산로 464
 ○ 의뢰일자 : 2015년 1월 19일
2. 시험성적서의 용도 : 단위부재 구조성능평가
3. 시 료 명 : 소켓연결 실험부재, 복부전단 실험부재, 복부휨 실험부재
4. 시험기간 : 2015년 1월 30일
5. 시험방법 : 의뢰기관 제공
6. 시험환경 : 온도 : (12 ± 0.5)℃ 습도 : (55 ± 1) % R.H
7. 시험결과

시험항목	단위	결과
하중-처짐	kN, mm	붙임참조

확인	작성자	승인자
	성 명 : 민 경 환 (서명)	직 위 : 기술책임자 성 명 : 이 시 우 (서명)

※ 위 내용은 의뢰자가 제공한 시료의 시험결과이며, 시료명은 의뢰자가 제시한 것임.

2016년 04월 14일

충청대학교 공학기술연구원장 (인)

CCTP-5101-01(02)

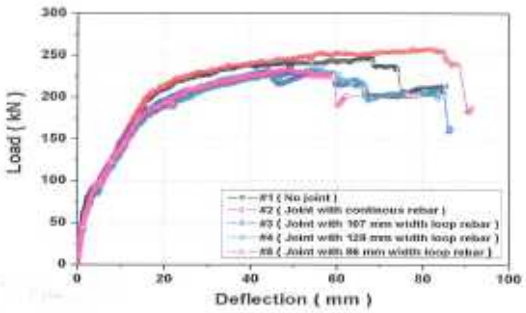
시 험 결 과
TEST RESULT

시 험 번 호 TEST NO.	CCT-16-0008-1	(2)페이지 중 (3)페이지 2 page of 3 page

◆ 하중-처짐 곡선

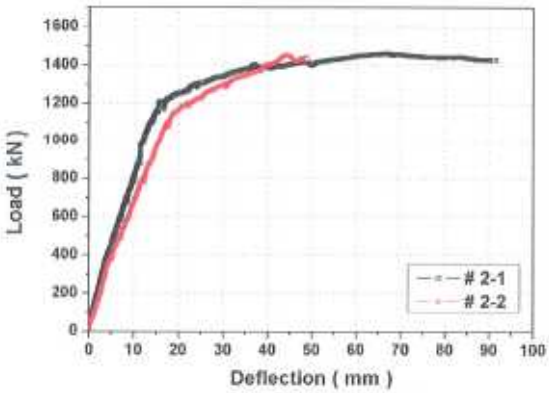
(1) 소켓 연결 성능

실험체	초기균열 하중 (kN)	극한 하중 (kN)
#1-1	69.21	240.64
#1-2	21.09	250.84
#1-3	20.85	230.03
#1-4	20.90	230.31
#1-5	20.22	230.25



(2) 복부전단 실험

실험체	초기균열 하중 (kN)	극한 하중 (kN)
#2-1	282.2	1459.1
#2-2	304.3	1452.3



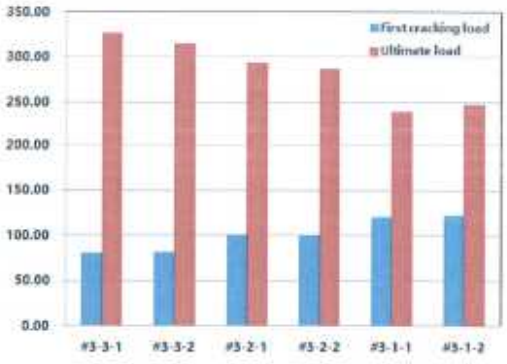
CCTP-5101-01(02)

시 험 결 과
TEST RESULT

시 험 번 호 TEST NO.	CCT-16-0008-1	(3)페이지 중 (3)페이지 3 page of 3 page

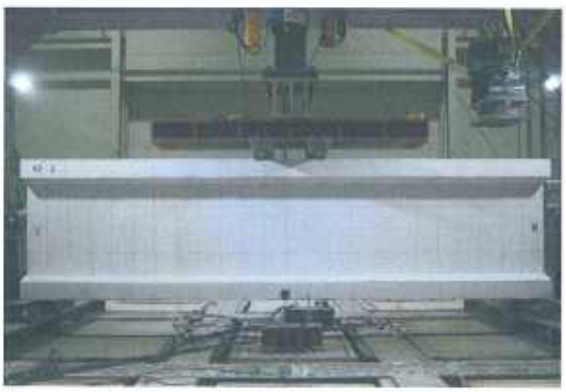
(3) 복부 휨 실험

실험체	초기균열 하중 (kN)	극한 하중 (kN)
#3-1-1	120.0	326.8
#3-1-2	122.1	315.6
#3-2-1	100.2	293.7
#3-2-2	99.8	287.0
#3-3-1	80.2	326.8
#3-3-2	81.4	315.6



◆ 실험사진





CCTP-5101-01(02)

나. 시작품 성능실험

시 험 성 적 서

충청대학교 공학기술연구원	성적서번호 : CCT-16-0007-1	
주소 : 충북 청주시 흥덕구 강내면 월곡길 38 전화)043-230-2675 팩스)043-230-2679	페이지 (1)/(총 2)	

1. 의 뢰 자
   ㅇ 기 관 명 : (주)장헌산업
   ㅇ 주 소 : 충청남도 당진시 고대면 성산로 464
   ㅇ 의뢰일자 : 2016년 11월 9일
2. 시험성적서의 용도 : Nodular 거더 부모멘트 구조성능평가
3. 시 료 명 : 18.3m Nodular 거더 지점부 실물 모형
4. 시험기간 : 2015년 11월 19일
5. 시험방법 : 의뢰기관 제공
6. 시험환경 : 온도 : (9.2 ± 0.5)℃ 습도 : (52 ± 1) % R.H
7. 시험결과

시험항목	단위	결과
하중-처짐	kN, mm	붙임참조

확인	작성자 성 명 : 민 경 환 (서명)	승인자 직 위 : 기술책임자 성 명 : 이 시 우 (서명)

※ 위 내용은 의뢰자가 제공한 시료의 시험결과이며, 시료명은 의뢰자가 제시한 것임.

2016년 04월 14일

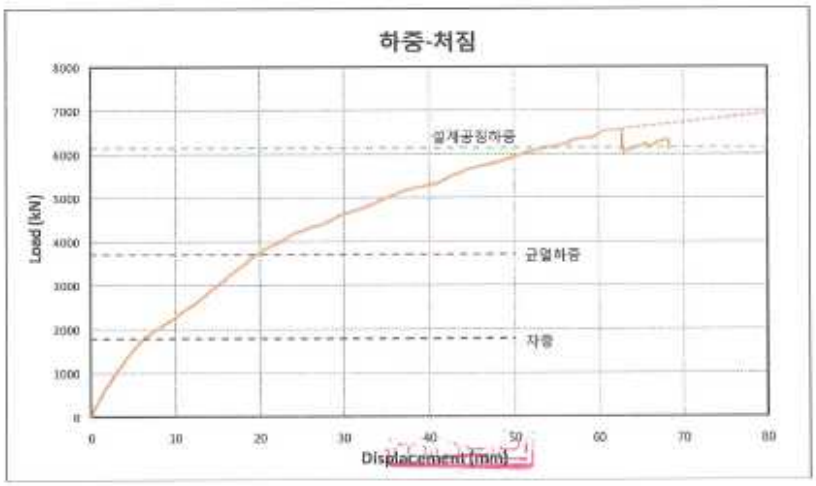
충청대학교 공학기술연구원장 (인)

CCTP-5101-01(02)

시 험 결 과
TEST RESULT

시 험 번 호 TEST NO.	CCT-16-0007-1	(2)페이지 중 (2)페이지 2 page of 2 page

◆ 하중-처짐 곡선



◆ 실험사진



CCTP-5101-01(02)

3. SMK (포스터 형식)

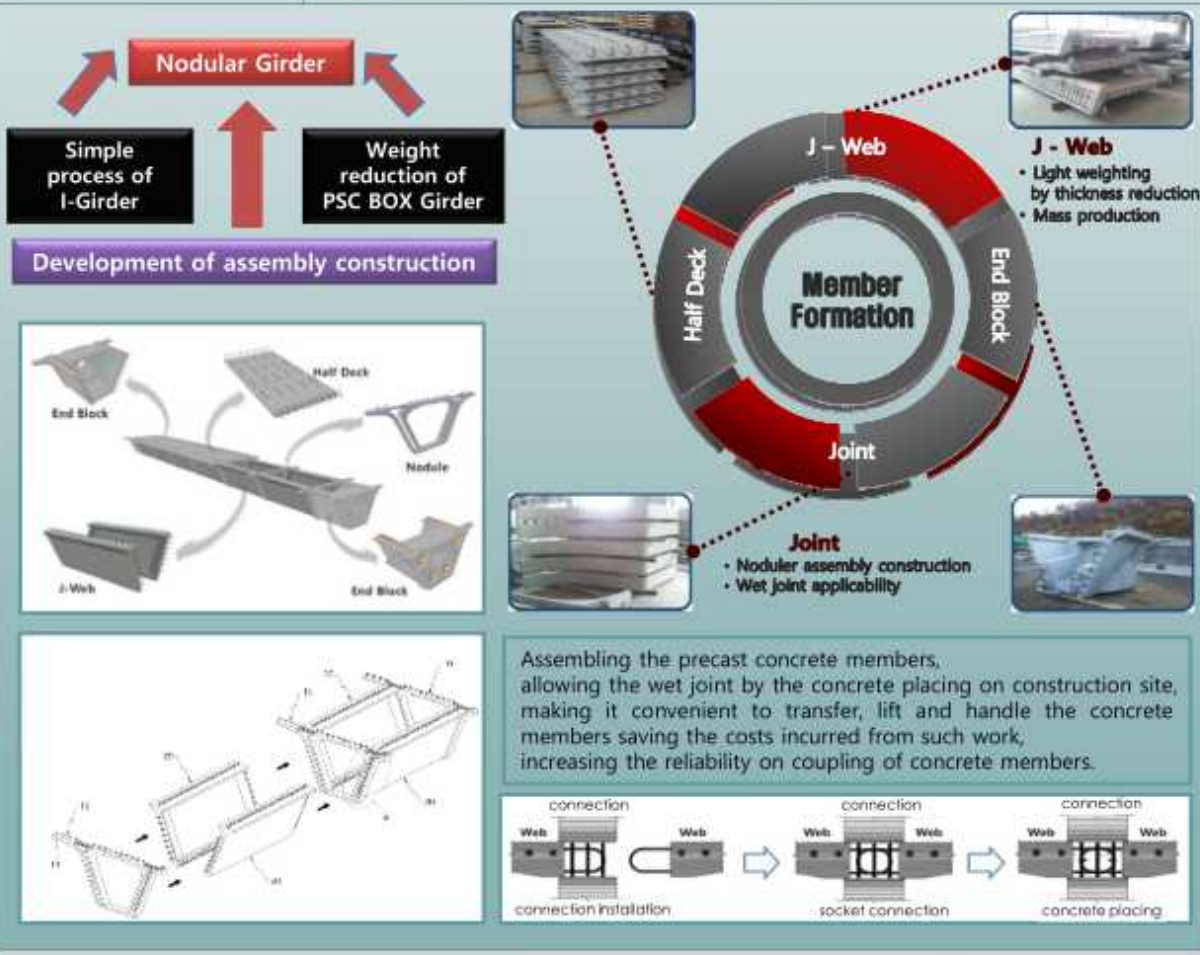
가. 국문



나. 영문

A Development of Production and Construction Method of Prestressed Concrete Trapezoidal Girders for Accelerated Bridge Construction Using a Socket Joint System

Patent	Filing Number	10-2013-0036242	Issue Number	10-1482522
	Title	**Nodular Box Girder, and Nodular Box Girder Bridge and Constructing Method thereof**		
	Patentee	JangHeon Engineering & Construction Co., Ltd		
	Scope of Patent Right	Three(3) Independent Claim & Five(5) Dependent Claims		
Non-obviousness		• Assembling and constructing the precast concrete members on construction site • Increasing the reliability on concrete members by wet joint • Easy applicability to curved girders and end curves		



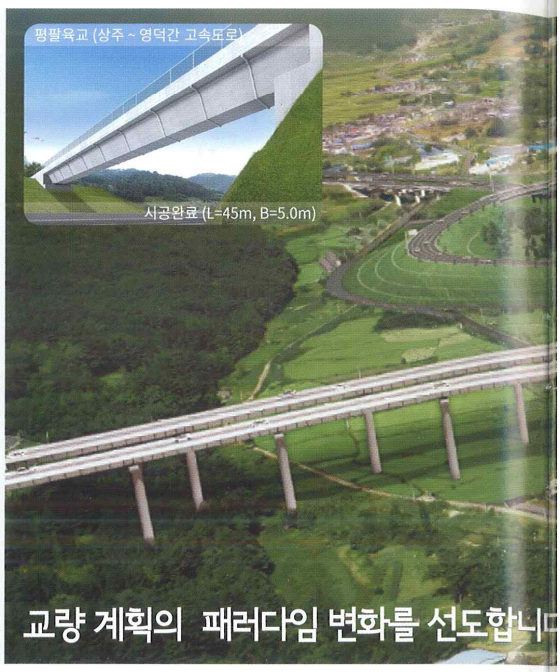
Assembling the precast concrete members,
allowing the wet joint by the concrete placing on construction site,
making it convenient to transfer, lift and handle the concrete members saving the costs incurred from such work,
increasing the reliability on coupling of concrete members.

Market Trend and Growth Possibility	• Growing demand for precast girders necessary to repair and replace many old bridges in the need of repair. • Validity of the technology which meets the construction environment requiring fast work time by factory production and assembly on construction site. The cost saving and quality improvement of the technology has potential growth possibility. • Securing the construction stability by minimizing the concrete placing on construction site and coping with the lack of construction workers and the problem of their old ages.

4. 브로슈어

Nodular Girder 노듈러 거더

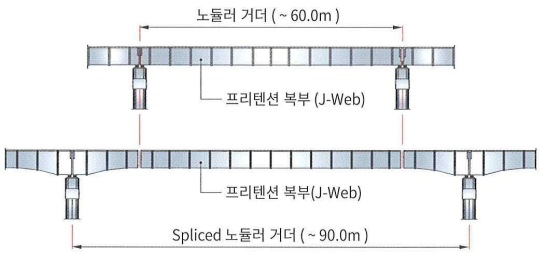
Nodular Girder with PSC Web



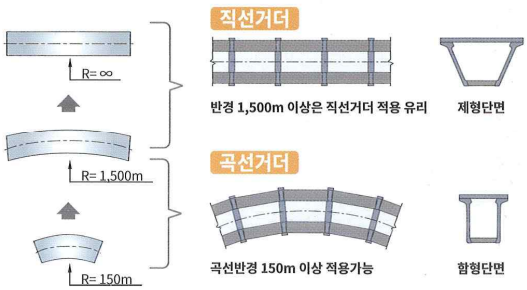
공법개요

교량은 현장에서 시공해야한다는 고정관념을 버리고 전용공장에서 고품질로 생산하여 현장에서 합성함으로써 장지간 적용성 및 품질을 향상하고 공기단축을 실현한 **미래 지향형 신형식 교량공법**

● 프리텐션 복부로 슬림화하여 장지간을 실현한 신형식 교량



● 곡선교량에는 곡선거더를 적용하여 구조적·경관적 우수성 제고



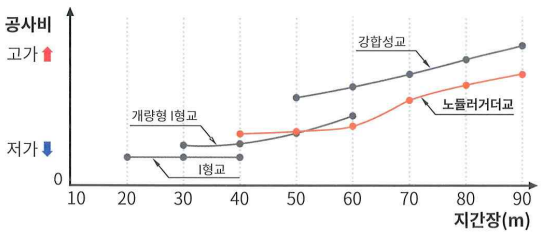
장지간 교량이 필요한 곳



곡선 거더교가 필요한 곳

우수한 경제성이 필요한 곳

20 ~ 50m	50m ~ 65m	65m ~ 90m
곡선거더 필요시	경제성 필요시	장지간 필요시



● 노듈러 거더교는 50m이상의 지간장 필요시 가장 경제적인 공법

다양한 시공법이 필요한 곳



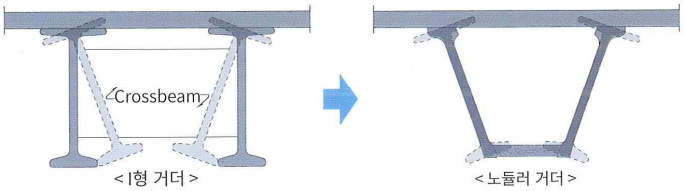
● 하천, 계곡부 등의 다양한 가설 환경에서도 시공이 가능한 교량형식

03 JANGHEON



1 노듈러 거더교_기본개념

I형 단면의 한계 극복 장지간 I형 거더의 약한 횡방향 강성을 BOX 형 단면으로 극복

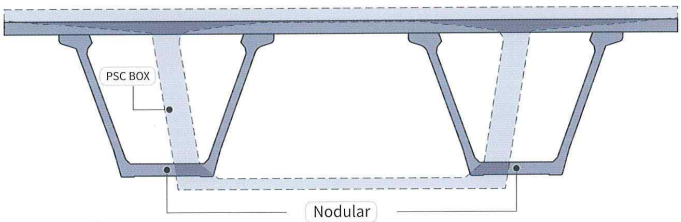


단면 강성 증가 → 안정성 있는 장지간 실현

거더 갯수 감소 → 안정성 및 시공성 향상

BOX형 단면의 슬림화 두꺼운 복부를 슬림한 프리캐스트 부재로 변경하여 슬림화

(L=60m, 2차로 기준)



거더 단면 저감 → 고정하중 25% 감소

고강도(60MPa) 콘크리트 적용 → 내구성 향상

표준횡단면도

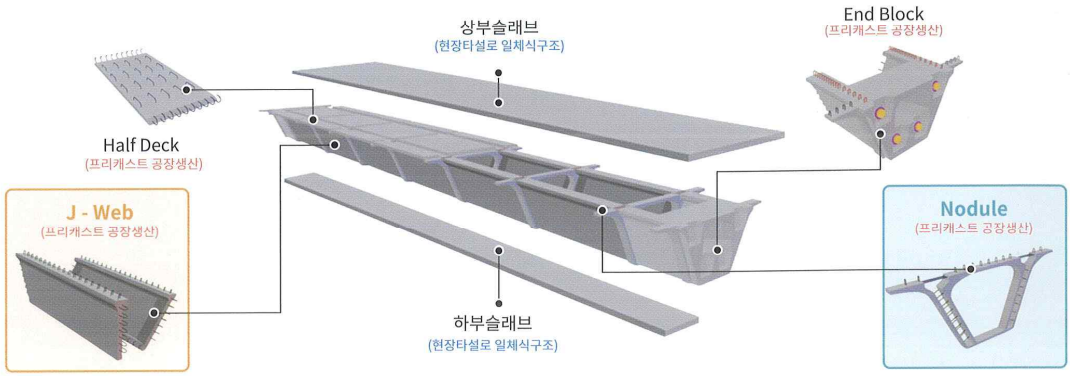


노듈러거더 제원

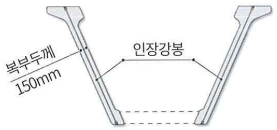
구 분	35m	40m	45m	50m	55m	60m
형고 (m)	2.0	2.0	2.0	2.2	2.4	2.6
중량 (ton)	145	160	200	220	270	295

※ 형고는 지간장별 표준형고이고, 필요시 조정가능함
※ 긴장력 도입순서, 연속화 방법 등에 따라 형고 최적화 가능

2 노듈러 거더교_구조적 특징



J - Web 프리텐션을 이용한 복부의 슬림화

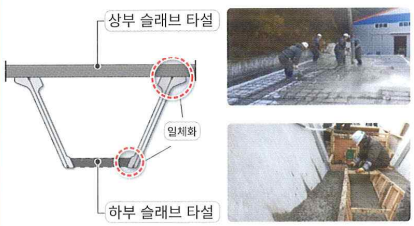


고강도 공장생산 프리캐스트 제품
⬇
균일한 고품질 구현

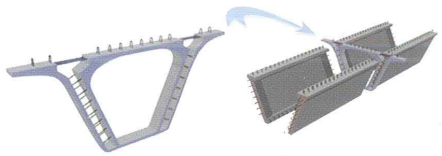
- 복부를 150mm로 줄여 ➡ 고정 하중 경감
- 인장 강봉을 적용하여 ➡ 전단 성능 향상

⬇

상·하부 슬래브 타설로 J - Web과 일체화



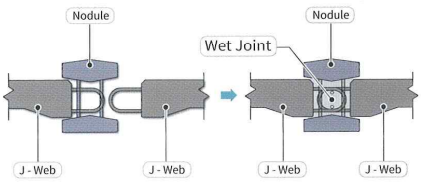
Nodule 프리캐스트 부재의 연결 및 보강



- 프리캐스트 부재 연결부 ➡ 횡단면 보강
- J - Web부재합성시 거푸집 ➡ Wet Joint

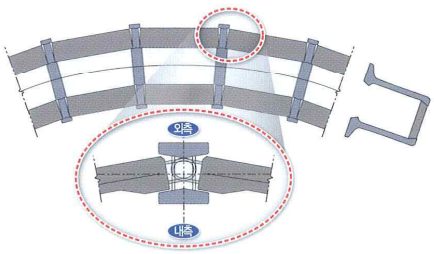
⬇

Wet joint로 J - Web간에 일체화



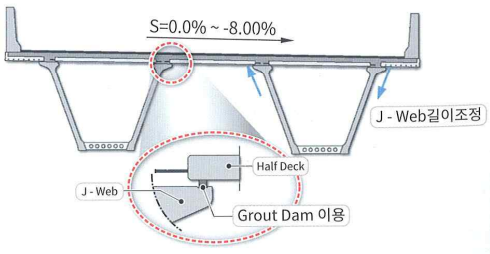
3 노듈러 거더교 _구조 계획 특징

곡선교 곡선구간에 적합하게 제작된 거더 적용



J - Web과 Nodule의 유격을 이용하여 ➡ 곡선거더 제작가능

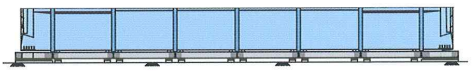
횡단경사 횡단경사에 맞게 제작된 거더 적용



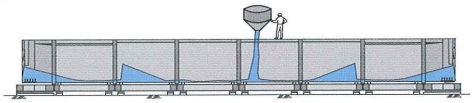
J - Web길이조정과 Grout Dam을 이용하여 ➡ 횡단경사 고려가능

4 노듈러 거더교 _시공단계

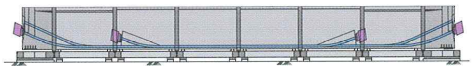
① 바닥판 제작대 배치 후 프리캐스트 부재 조립
(J - Web + Nodule + End Block = 공장제작)



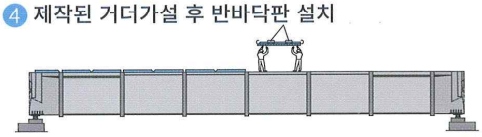
② 하부슬래브 및 연결부 콘크리트 타설



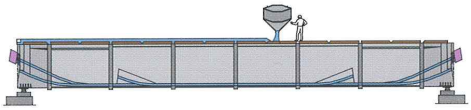
③ 1차 강연선 긴장



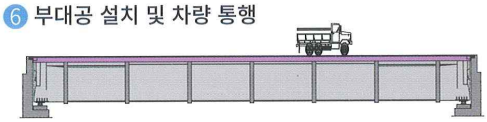
④ 제작된 거더가설 후 반바닥판 설치



⑤ 상부 바닥판 콘크리트 시공 후 2차 강연선 긴장



⑥ 부대공 설치 및 차량 통행

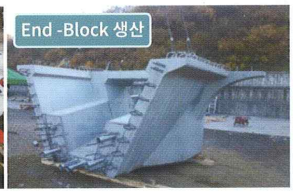


5 노듈러 거더교 _시공전경 (평팔육교)

프리캐스트 공장 제작







프리캐스트 제품은 전용공장에서 숙련된 인원들에 의해 생산되어 고품질 확보

현장에서 거더조립







현장으로 운반하여 프리캐스트 조립 후 하부슬래브를 타설하여 거더 일체화

상부공 가설







다양한 공법으로 현장 설치 후 반바닥판을 시공하여 고소작업 최소화

6 노듈러 거더교 _적용실적

산 외 교	• 고속도로 본선 1등급교 (밀양 ~ 울산간 고속도로 1공구) • 연 장 : L=981m (최대60m) • 폭 원 : B=12.3m ~ 25.4m • 평면선형 : R=2,000~5,000m(S커브) • 대구~부산간 고속도로를 포함한 계곡부를 횡단하는 곡선교량
도하4교	• 고속도로 본선 1등급교 (파주 ~ 포천간 고속도로 3공구) • 연 장 : L=245m (최대55m) • 폭 원 : B=12.3m • 평면선형 : R=3,400m • 지방도 375호선 및 계곡부를 횡단하는 곡선교량
광재IC교	• 고속도로 본선 1등급교 (부산외곽순환 고속도로) • 연 장 : L=35m • 폭 원 : B=24.3m • 평면선형 : R=1,450m • 연결로를 횡단하는 교량으로 곡선거더를 적용한 곡선 교량
평팔육교	• 고속도로 1등급교 (상주 ~ 영덕간 고속도로) • 연 장 : L=45m • 폭 원 : B=5m • 평면선형 : R=0 (직선교) • 고속도로에 최초로 적용한 단경간 교량

5. 인력채용확인서

신규 참여연구원 채용 확인서

□ 과제현황

사 업 명	국토교통기술사업화지원사업		
과 제 명	소켓연결 방식을 이용하여 급속시공이 가능한 프리스트레스트 콘크리트 제형 거더의 제작 및 시공 기술개발		
주관연구기관	㈜장헌산업	주관연구책임자	김용혁
당해연차 협약기간	2014. 6. 2 ~ 2015. 6. 1 (12개월)		
당해연차 연구개발비	총연구비 : 390,700 천원 정부출연금 : 228,000 천원, 민간부담금 : 162,000 천원		
공동연구기관	홍익대학교		
위탁연구기관	준성특허법률사무소		

□ 당초 채용계획

○ 주관연구기관 (1 명), 공동연구기관 (명), 위탁연구기관 (명) 등 총 (1명)

□ 신규 참여연구원 채용 정보 (* 대학교 재학 중인 학생은 제외)

채용기관	성명	과학기술인 번 호	당해년도 참여기간	참여율 (%)	전공	채용일
주관연구기관	황재민	1102 9682	2014.6.2. ~2015.6.1	100	구조	2014.5.21

국토교통부에서 시행한 2014년도 국토교통부소관 연구개발사업의 연구과제 수행을 위하여 신규 채용하였음을 확인합니다.

2014. 07. 17.

기 관 명 : ㈜장헌산업

대 표 자 : 안 병 록

주관연구책임자 : 김 용 혁

※ 첨부(근거서류) : 국민연금 가입 확인서 각 1부.

국토교통과학기술진흥원장 귀하

국민연금 가입자 가입증명

발급번호	2014C001X89654504	발급일자	2014-07-17	사업장관리번호	91303866711
성명	황재민	주민(외국인)등록번호		801116-1*******	

가 입 이 력

자격유지기간	가입자종별	사업장 명칭
2014.05.21 ~ 현재	사업장	(주)장헌산업-서울사무소

가입자 자격 상세내역

사업장명칭	가입자종별	변동사유	변동일	처리일
(주)장헌산업-서울사무소	사업장	취득	2014-05-21	2014-05-26

사업장 명칭 변경 내역

변동일	변동항목	변경전 명칭	변경후 명칭	처리일
		조회된 자료가 없습니다!!		

위와 같이 증명합니다.

국민연금공단 이사장

※ 이 증명은 '전자정부 구현을 위한 행정업무등의 전자화촉진에 관한법률' 제20조 제1항의 규정에 의한 발급기관의 전자관인으로 인증된 증명입니다.
※ 이 증명서를 접수하는 기관은 위변조 방지를 위해 진위여부확인을 하시기 바랍니다.
♣ http://bips.bizmeka.com/orldoc 에서 증명서의 발급일 확인할 수 있습니다.
※ 이 증명서는 소득확인 자료로 사용할 수 없으며, 해당사업장 사용자의 신고사항을 기초로 한 자료이기 때문에 향후 변동될 수 있으며, '*' 표시는 개인정보 보호를 위하여 신청인(사용자)의 요청에 따라 표시되었습니다.

1/1

6. 사전점검 보완내용

가. 현장 적용시 시행오차 검증자료

배수구멍 부족 및 위치	조치사항
	배수구멍 추가 요망 · 인장시 솟음량 적은곳에 홀 추가 필요

모서리부 깨짐현상	조치사항
	모서리부분 깨짐현상을 방지하기 위하여 chamfer(면치)적용

바닥판 거푸집 장판 늘림 현상	조치사항
	코팅합판사용

End-Block 용 바닥판 필요	조치사항
	조립을 위한 End-Block 용 강재 바닥판 적용 필요

시공 순서상 문제	조치사항
	쉬스관 설치후 상부 철근 배근 필요

나. 시공절차별 일위대가

제안기술의 시공절차별 일위대가

시공절차	소요인력, 장비, 자재		단위	소요량	단가			금액(소요량×단가)				단가출처
	품명	규격			재료비	노무비	경비	재료비	노무비	경비	계	
부재(Element) 제작 및 운반, (제작대설치 후 조립)	END-BLOCK	H=2.4m	EA	2	4,011,203	5,332,889	425,529	8,022,406	10,665,778	851,058	19,539,242	건설공사표준품셈
	NODULE	H=2.4m	EA	11	56,160	463,362	39,123	617,760	5,096,982	430,353	6,145,095	
	J-WEB	H=2.4m	EA	20	160,922	573,382	110,066	3,218,440	11,467,640	2,201,320	16,887,400	
거더 하부슬래브 제작대 설치	Nodular 거더	L=50.0m	10M	5.0	323,426	461,149	900	1,617,130	2,305,745	4,500	3,927,375	
거더 하부슬래브	합판거푸집	합판3회	㎡	12.678		18,067	10,163		229,053	128,846	357,899	
	철근가공 조립	복잡	TON	2.824		352,076	7,186		994,262	20,293	1,014,555	
	쉬이스관 조립	φ85MM	M	299.600	4,113	11,502		1,232,254	3,445,999		4,678,253	
	쉬이스관 조립 (HDPE관)	φ100MM	M	99.024	5,949	12,782		589,093	1,265,724		1,854,817	
	PS STRAND 가공조립	φ 15.2MM (2400MPa)	TON	6.525	2,525,513	875,670	15,806	16,478,972	5,713,746	103,134	22,295,852	
	유지관리용 PIPE	φ60MM	M	7.600	1,943	95		14,766	722		15,488	
	스페이서	슬래브	㎡	54.840		5	98		274	5374	5,648	
	스페이서	벽체용	㎡	21.366		14	270		299	5,768	6,067	
콘크리트타설	실런트	수량 246.444 m	본	1	819,426	40,971		819,426	40,971		860,397	
	MORTAR	1 : 3	㎥	3.078	87,934	113,276	6,445	270,660	348,663	19,837	639,160	
	철근 콘크리트 타설		㎥	19.836		25,495	789		505,718	15,650	521,368	
그라우팅	그라우팅작업		본	1	399,223	2,149,961	44,286	399,223	2,149,961	44,286	2,593,470	
거더 설치	Nodular 거더 가설	L=50.0m, H=2.4m	본	1	1,385,522	1,103,719	11,429,797	1,385,522	1,103,719	11,429,797	13,919,038	
	전도 방지공		본	1	194,797	1,676	16	194,797	1,676	16	196,489	
합 계								34,860,449	45,336,932	15,260,232	95,457,613	

기존기술의 시공절차별 일위대가

시공절차	소요인력, 장비, 자재		단위	소요량	단가			금액(소요량×단가)				단가출처
	품명	규격			재료비	노무비	경비	재료비	노무비	경비	계	
제작대 설치	PSC 거더	L=50.0m	10M	5.0	324,943	459,833		1,624,713	2,299,166		3,923,879	건설공사 표준품셈
거푸집 설치	강재 거푸집	T = 4MM	㎡	319.674	2,389	43,798	27	763,701	14,001,081	8,631	14,773,413	
	철근가공조립	복잡	TON	5.930	11,120	594,885	11,898	65,941	3,527,668	70,553	3,664,162	
	1차 PC STRAND 가공조립	φ 15.2MM	TON	3.381	1,752,000		76,363	5,923,512		258,184	6,181,696	
	2차 PC STRAND 가공조립	φ 15.2MM	TON	0.733	1,765,683	684,136	76,363	1,294,245	501,471	55,974	1,851,690	
	PC STRAND 가공조립 (비부착)	φ 15.2MM	TON	0.228	1,860,183	684,136	76,363	424,121	155,982	17,410	597,513	
	PC STRAND 정착공 (1차)	15가닥용	개소	8	362,686	181,225		2,901,486	1,449,803		4,351,289	
	PC STRAND 정착공 (2차)	9가닥용	개소	4	135,596	22,796		542,382	91,184		633,566	
	쉬이스관 조립	φ85MM (1차)	M	198.731	4,862	15,166		966,292	3,014,007		3,980,299	
	쉬이스관 조립	φ75MM (2차)	M	92.144	4,212	11,888		388,146	1,095,391		1,483,537	
	보호캡 설치		개소	4	80,000	8,000		320,000	32,000		352,000	
	SOLE PLATE 제작 및 설치	800 × 800	개소	2	180,320	577,159	1,521	360,640	1,154,318	3,042	1,518,000	
강연선 긴장	인장 작업 (1차)	15가닥용	개소	4	8,313	56,055	12,552	33,252	224,220	50,208	307,680	
	인장 작업 (2차)	9가닥용	개소	2	10,758	398,155	16,244	21,516	796,310	32,488	850,314	
콘크리트타설	MORTAR	1 : 3	㎥	0.346	94,150	87,805		32,575	30,380		62,955	
	철근콘크리트타설		㎥	54.826		33,628	339	1,843,688	18,586		1,862,274	
	그라우팅		본	1	304,885	1,166,149	66,475	304,885	1,166,149	66,475	1,537,509	
거더 설치	PSC 거더 가설 및 전도방지공		본	1	378,191	508,694	2,352,599	378,191	508,694	2,352,599	3,239,484	
합계								16,345,598	31,891,512	2,934,150	51,171,260	

물량뿐만 아니라 제작부터 시공까지 들어가는 금액들이 포함되어있고, 운반비 외에 크레인 운용비와 같은 현장설치비 등이 전반적으로 다 포함이 되어있는 원가계산서를 참조하여 작성하였다. 야적비의 경우는 PSC교의 경우가 현장제작을 위하여 더 많은 사이트를 필요로 하며 간접비 항목은 각 사업체의 고유의 영역이므로 제외하였다. 위의 표는 앞서 언급한 운반비 현장설치비 등이 포함된 금액으로 시공절차별 일위대가표 이며 1본당 최종 금액을 나타내었다. 폭원 24.3m의 고속도로 시공시 제안공법의 거더는 4본 사용(3.82억원)되며 PSC거더의 경우에는 9본 사용시(4.61억원)으로 약 20% 저렴함을 알 수 있다.

다. 시공 및 관리지침서(공사 시방서) 내용중 그라우팅 작업편

3.12 그라우팅 작업

(1) 적용 범위

인장작업 후 덕트 내의 PS 강연선의 부식방지 및 콘크리트 부재와의 일체성을 확보하기 위하여 시멘트 그라우팅을 실시하여야 한다.

(2) 그라우팅을 위한 준비작업

① 그라우팅시에는 온도변화에 의한 수축, 팽창에 따르는 힘이 발생되며, 온도가 높으면 블리딩(Bleeding)현상이 발생하기 전에 몰탈이 경화될 우려가 있으므로, 그라우팅은 현장여건을 감안하여 동일한 조건하에 모의시험을 실시하여야 한다.

② 그라우팅에 적용될 물/시멘트와 각 재료의 배합관계를 작성하여 참고자료로 사용한다.

③ 시험 그라우팅시 시험 및 주요 점검사항

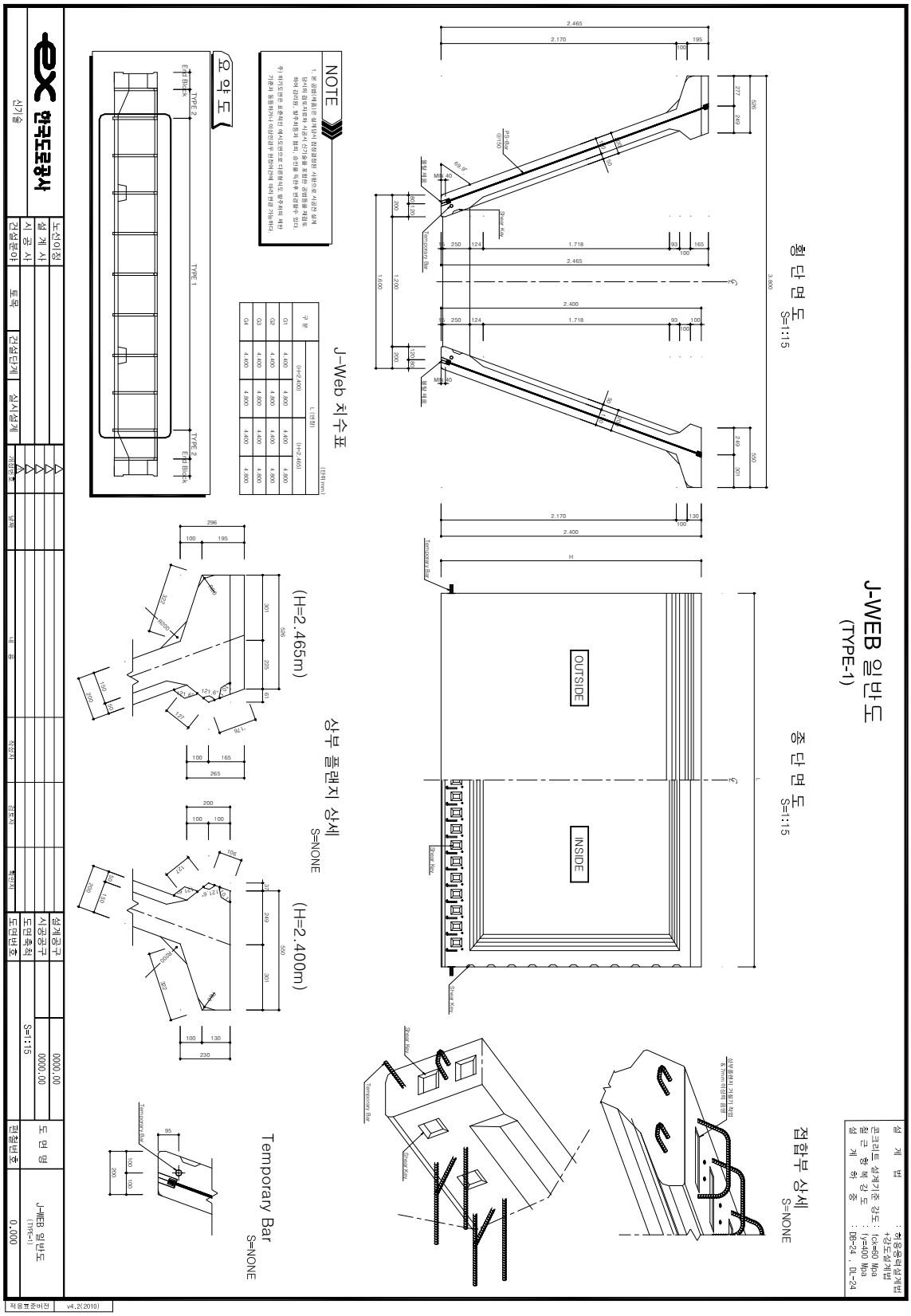
- 쉬스관 및 정착부 내부에 공기 및 공극이 없이 완전히 충진되는 상태 점검
- PS 강연선과 그라우트 자재와의 부착관계
- 현장조건하의 그라우팅 장비 및 작업의 연속성

④ 몰탈 배합시험

- 덕트 내에 주입된 몰탈은 PS 강연선의 부식으로부터 보호하는 역할과 구조물에 하중이 전달되었을 때 외부 PS 강연선의 진동방지를 위한 역할을 한다. 따라서 시멘트 몰탈은 주입시 덕트 내부에 충분히 주입되어야 하며, 유동성이 좋은 몰탈을 사용하여야 한다.
- 그라우팅 배합비
  - 물, 시멘트, 모래, 혼화제(팽창제+유동화제)를 혼합하여 약 2분 정도 혼합한다.
  - 물은 식수를 사용하고 W/C비는 36%에서 시작하여 시험에 의해 결정하며 최대 45%이하이어야 한다. 동절기에는 안정성을 위하여 40%이하로 하며 4°C이하에서는 동파위험이 있으므로 대책수립 후 시공한다.
  - 혼화제는 시멘트 중량의 0.5~1.0%정도 사용한다.
  - 침전은 거의 없어야 하며, 팽창은 약 0.5%정도이어야 한다.
- 그라우팅 믹서
  - 믹서는 혼합조와 주입조가 분리되어 연속작업이 가능해야 한다.
  - 일정한 물-시멘트비가 유지되도록 정확한 계량이 가능한 물탱크 부착
  - 최대 주입압력은 20bar를 낼 수 있어야 한다.
- 그라우팅 작업시 주의사항

- 그라우팅 실시전 덕트상태 등을 점검하여야 한다.
- 그라우팅은 가능한 한 PS 강연선을 인장하고 빨리 해야 하며, 부식 방지 대책이 없는 한 7일 이내에는 실시하여야 한다.
- 그라우트 전에 블록아웃을 몰탈로 마감한다.
- 그라우트 잔류수나 공기가 완전히 제거될 때까지 계속한 후 그라우트 벤트호스를 막아야 한다.
- 장비 및 주입압력계는 정기점검하며 주입압력은 1 MPa이하로 하여야 한다.
- 주입시 작업 중단 시간은 30분 이하로 하여 초기응결이 안되도록 하여야한다.
- 출구에서의 그라우트는 균등질이어야 하고 주입 완료시 출구를 막고 여압을 가한다.

라. 연결부의 접합면 전단키 설치



주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술사업화지원사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.