18CTAP-C142962-01

보안 과제( ), 일반 과제( ○ ) / 공개( ○ ), 비공개( )발간등록번호( )

국토교통기술촉진연구사업 제2차 연도 최종보고서

R&D / 18CTAP-C142962-01

# 춤 300mm이상 바닥구조에서 충전 U-플랜지 트러스를 이용한 중·저층 건축물용 Slim Slab-Beam 개발 최종보고서

2020. 2. 5.

주관연구기관 / 목포대학교 산학협력단

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

춤300mm이상바닥구조에서충전U플랜지트러스를이용한
중저층건축물용Slim-Slab-Beam개발최종보고서
2020
국토교통과학기술진흥원
국토교통부

# 제 출 문

국토교통과학기술진흥원 귀하

'슬 300mm 이상 부재구조에서 슬전 U-블렌지 트러스를 이용한 슬-저층 건축물용 Slim-Slab-Beam 개발'(연구개발 기간 : 2018. 4. 17 ~ 2019. 12. 31) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2020. 2. 5.

주관연구기관명 : 목포대학교 산학협력단 (대표자) 이 상 [illegible](인)

수관연구기관책임자: 오 명 호

| 국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 일괄에 동의합니다. |
|---|

# 보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>18CTAP-C142962-01</td><td>해당 단계 연구 기간</td><td>2018. 4. 17 ~ 2019. 12. 31</td><td>단계구분</td><td>1/1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4">국토교통기술촉진연구사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">춤 300mm 이상 바닥구조에서 충전 U-플랜지 트러스를 이용한 중·저층 건축물용 Slim Slab-Beam 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">오 명 호</td><td>해당단계 참여연구원 수</td><td>총: 5 명<br>내부: 3 명<br>외부: 2 명</td><td>해당단계 연구비</td><td>정부: 220,000 천원<br>민간: 천원<br>정부외: 천원<br>상대국: 천원<br>계: 220,000 천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간 참여연구원 수</td><td>총: 5 명<br>내부: 3 명<br>외부: 2 명</td><td>총 연구비</td><td>정부: 370,000 천원<br>민간: 천원<br>정부외: 천원<br>상대국: 천원<br>계: 370,000 천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및 소속 부서명</td><td colspan="3">목포대학교 산학협력단</td><td>참여기업명</td><td></td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명:</td><td>상대국 연구기관명:</td><td></td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="3">연구기관명:</td><td>연구책임자:</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="6">※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음</td></tr>
<tr><td>연구개발성과의 보안등급 및 사유</td><td colspan="5">일반과제</td></tr>
</table>

9대 성과 등록·기탁번호

| 구분 | 논문 | 특허 | 보고서 원문 | 연구시설·장비 | 기술요약 정보 | 소프트웨어 | 화합물 | 생명자원 | | 신품종 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | 생명 정보 | 생물 자원 | 정보 | 실물 |
| 등록·기탁 번호 | | | | | | | | | | | |

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

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


요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)

본 연구과제를 통하여 국내외 논문 3편을 게재, 국내특허출원 4건, 국내특허등록 2건을 달성하였으며, 시작품으로 U-플랜지 트러스를 활용한 Slim Slab-Beam을 제작하였다.


보고서 면수

160

# 요약문

| | |
|---|---|
| 연구의<br>목적 및 내용 | 본 연구는 춤 300mm 이상의 슬래브를 가지는 바악구조에서도 경제성과 시공성이 혁신적으로 향상된 Slim Floor System을 구현할 수 있는 선조립 복합보(U-flanged Truss Hybrid Beam)을 이용한 중저층 건축물용 Slim Slab-Beam을 개발하는 것이다.<br>본 연구의 주요 연구내용은,<br>(1) 상부의 횡좌굴 및 압축에 대한 보강체(충전 U-flange), 하부의 인장저항용 강판 및 상하부를 연결하는 래티스로 이루어진 선조립체(U-flagned Truss)의 최적 형상 정립<br>(2) U-flanged Truss를 이용한 Slim Slab-Beam에 대한 휨실험 및 전단실험을 통한 구조성능 평가<br>(3) U-flanged Truss를 이용한 Slim Slab-Beam의 부재설계법 개발<br>(4) U-flanged Truss를 이용한 Slim Slab-Beam의 표준화 도면 개발 |
| 연구개발성과 | (1) 선조립체 최적 형상 정립<br>- 국내외 사례조사 및 기술조사 완료<br>- 선조립체 최적 형상 정립 완료<br>- 특허출원 4건 / 특허등록 2건 완료<br>(2) U-flanged Truss를 이용한 Slim Slab-Beam에 대한 구조성능 평가<br>- 휨실험체 8개, 전단실험체 3개 실험을 통해 구조성능 평가 완료<br>- Pushout Test 실험체 13개, 복합 합성보 실험체 11개 실험을 통해 합성보 구조성능평가 완료<br>- 논문 2편 게재 완료/ 논문 1편 게재 확정<br>(3) U-flanged Truss를 이용한 Slim Slab-Beam의 부재설계법 개발<br>- Slim Slab-Beam의 부재 설계법 검토 및 작성 완료<br>- 부재 설계법 엑셀 시트 작성 완료<br>(4) U-flanged Truss를 이용한 Slim Slab-Beam의 표준도면 개발<br>- Slim Slab-Beam의 표준화 도면 개발 완료<br>- 경제성 검토 및 기술 홍보를 위한 시작품 제작 완료 |
| 연구개발성과의<br>활용계획<br>(기대효과) | (1) 활용계획<br>- 제품 생산 및 현장 적용 실용화<br>- 설계/CM 용역 수행 시 설계반영을 통한 기술 활용<br>- 설계 및 시공 지침 제시를 통한 개발 기술의 활용<br>- 건설기술인증을 위한 기반 기술 구축<br>(2) 기대효과<br>- 합성 부재 제조 기술 수준의 향상<br>- 플랫형 바닥 구조를 통한 건축설계의 자유도 극대화 가능<br>- 공장제작 및 현장조립 공법 활성화<br>- 층고 감소 효과로 물량 절감<br>- 공기와 노무비의 획기적 절감 가능<br>- 신기술 개발로 인한 국가 경쟁력 증대<br>- 건설 산업 활성화 기여<br>- 영구 강재 거푸집의 활용으로 친환경 및 지속가능한 개발 기술에 부합<br>- 플랫형 바닥구조의 적용으로 냉난방 효율이 높아져 에너지 절약 가능 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 국문핵심어<br>(5개 이내) | U플랜지 | 선조립체 | 복합보 | 슬래브-보 | 슬림플로어 |
| 영문핵심어<br>(5개 이내) | U-shaped Flange | Prefabricated Reinforcement Truss | Hybrid Beam | Slab-Beam | Slim Floor |

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

# 〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 5

2. 연구수행내용 및 성과 ····· 10

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 152

4. 연구개발성과의 활용 계획 등 ····· 156

붙임. 참고 문헌 ····· 160

<별첨> 주관연구기관의 자체평가 의견서

# 1. 연구개발과제의 개요

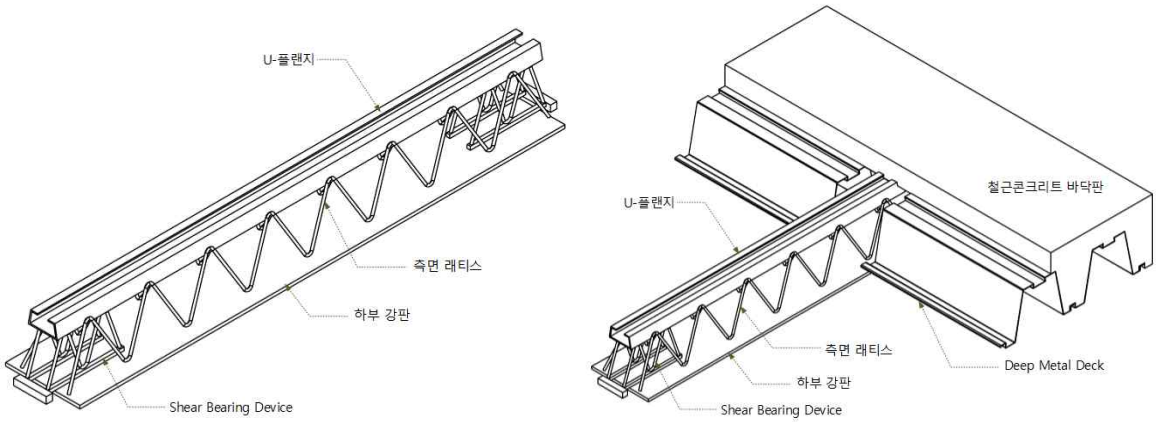
## 가. 연구개발의 필요성

○ 건축물에서 전통적으로 사용되는 철근콘크리트 보 또는 열간압연 H형강을 이용한 철골 합성보가 바닥시스템의 구조성능과 경제성을 높이기 위해 점차적으로 새로운 합성구조시스템으로 대체되고 있는 추세이다. 수평부재인 보의 구조적 성능을 효율화함으로서 장스팬 또는 층고절감이 용이하도록 하거나, 공기 단축과 시공성 개선을 통하여 공사비를 절감하려는 연구가 지속적으로 수행되고 있으며, 여러 가지 다양한 연구결과가 건설현장에 활발히 적용되고 있음.

○ 바닥 슬래브의 스팬이 5.0m~7.0m 이상을 무동바리 시공이 가능하기 위해 딥 데크(Deep Deck)을 활용할 때 기존 노출형 U형 합성보는 적합하지 않으며, 특히 노출형 H-형강 합성보나 매립형 SRC 합성보를 사용하면 상부플랜지에 데크를 거치하여 시공하므로 절대 층고가 증가하게 되고, 철선일체형 트러스데크는 스팬이 4.0m 이내이므로 추가적인 작은 보(sub beam) 배치가 요구됨.

○ 춤이 깊은 딥 데크(200mm 이상 춤을 갖는 데크)를 사용하기 위해서는 비대칭 H형강 합성보를 사용하여 슬림플로어시스템의 바닥구조를 구현할 수 있으나 그 보의 스팬이나 바닥평면 모듈이 8m 전후로 작아 물류나 저장시설과 같은 10kN/m2~30kN/$m^2$의 높은 적재하중이나 10m~15m 장스팬에 효과가 매우 낮아 비효율적임.

○ 최근의 추세에 맞는 상업시설이나 중저층 규모의 철근 콘크리트 건축물 등에서 추가적인 층고의 증가 없이 강도와 강성이 확보되면서 현장 설치 조립 등과 같은 노무비를 획기적으로 절감할 수 있는 슬림플로어시스템 개념의 복합보 개발이 절실히 요구됨.




**(a) U플랜지 선조립 복합보** **(b) 선조립 복합보를 이용한 Slim Slab-Beam System**

**<그림 1.1> 개발대상 U-flange Slim Slab-Beam**

○ 본 연구에서는 상측 개방구조를 갖는 U형상의 상부 플랜지, 강판 두께 10mm 이상으로 된 하부 강판 및 일정한 패턴으로 절곡한 측면 래티스를 이용하여 상부 U형 플랜지의 좌우측에 래티스 요소를 하부 강판과 서로 용접 접합하여 춤 300mm 이상 바닥구조에서 충전 U-플랜지 트러스를 이용한 중·저층 건축물용 슬림 슬래브-보(Slim Slab- Beam)를 개발하고자 함.

# 나. 연구개발 대상의 국내・외 현황

**○ 국내 현황**

- 콘크리트와의 합성되는 강재 부분의 노출 여부에 따라 노출형 합성보, 매립형 합성보(슬림 합성보) 및 부분매립형 합성보(Semi-Slim 합성보)가 개발되고 있음.
- 완전노출합성보 : 데크를 상부 플랜지에 거치하는 형식
- 슬림 합성보 : 하부 플랜지에 데크를 거치하여 시공하는 형식
- 세미슬림 합성보 : 두 형식간의 데크를 보 단면의 어느 중간에 거치하여 플로어시스템을 구성
- 기존의 노출형 H-형강 합성보나 매립형 SRC 합성보를 사용하면 상부플랜지에 데크를 거치하여 시공하므로 절대 층고가 증가하게 됨.
- 절대 층고를 절감하기 위해 부분 노출형 합성보 및 비노출형 합성보가 개발되었으나, 강재 사용량의 증가로 인해 경제성이 떨어져 현장에서의 활용성이 매우 떨어짐.
- 특히 시공단계에서는 압축부의 강도가 떨어져 압축부의 보강이 필수적이며, 장스팬을 가능하게 하는 Deep Slab System을 사용할 수 있는 Slim 합성보 또는 Semi-Slim 합성보 방식의 새로운 복합보 개발이 필요함.

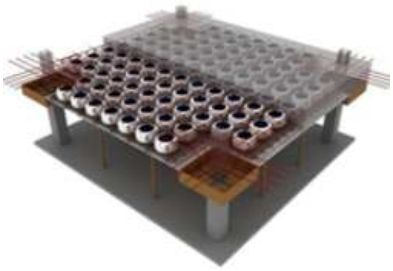
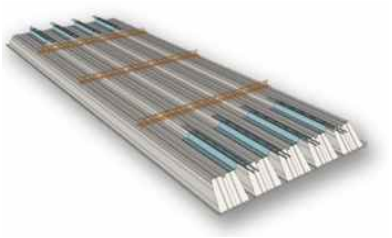
**○ 국외 현황**

- 해외의 대표적인 비노출형 슬림 합성보에는 Delta beam과 Hoesch Additive Floor가 있으며, 그 구성방식은 바닥판이 철골 보의 내부에 거치하여 층고를 절감시키는 구조임.
- 해외의 사례는 강판을 이용하거나 H 형강 보를 이용한 것으로서 사용 강재량이 많고, 춤의 변화 요구에 대한 대응성이 매우 부족함.
- 본 연구에서는 이와 같은 해외의 연구 사례를 분석하여 단점에 대응하기 위해 강봉 래티스와 U형 성형 강판을 이용한 U-flanged Truss의 선조립체를 개발할 예정이며 해외 제품과 단면 형상 및 구성 방법에서의 차이점이 있음.

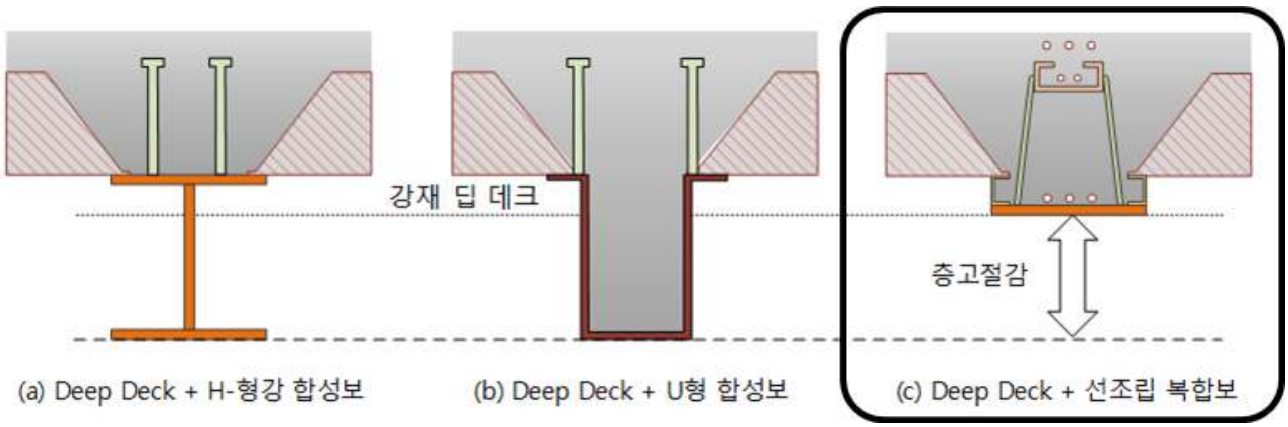
# 다. 연구개발의 중요성

**○ 다양한 Deep Slab 공법의 현장 적용성과 활용도를 혁신적으로 높이는 기술 필요**

- 다양한 Deep Slab 공법 개발 완료(중공체 현장타설형, PC Precast형, 강재 골형 Deep Slab)

| 중공체형 현장타설 Deep Slab | PC Precast형 Deep Slab | 강재 골형 Deep Slab |
|---|---|---|
|  |  |  |
| HVS슬래브(한국중공)<br>180 ~ 700mm | Hollow Core Slab<br>200 ~ 400mm | Cap Deck Slab<br>250mm |

- 춤이 300mm 이상의 바닥판 공법에 현장 적용성이 높은 슬림플로어시스템 공법 개발 필요
- 중저층 RC 건축물 시장의 다양한 바닥판 공법에 대응하는 복합보 공법 개발 필요
- 기존 공법은 보-슬래브 구조로 층고가 지나치게 높아져서 공사비 및 노무비 증가




**○ 장스팬과 춤이 큰 슬래브를 가지면서도 슬림 플로어 시스템을 구축할 수 있는 기술 필요**

- 작은 보를 생략하여 큰 보와 슬래브가 일체화된 Slim Slab-Beam(SSB) 구조 구현
- 건축 설계의 자유도가 고도화되고 공간 활용의 융통성이 극대화 가능
- HVAC 시스템 간의 간섭 최소화로 건축 설비의 간편화 가능
- 춤 300mm 이상 바닥구조를 가진 중저층 건축물의 높이 감소로 건설비용의 획기적 절감 가능

**○ 중·저층 건축물의 적용할 수 있는 효율 높은 플로어 시스템의 개발 필요**

- 본 연구의 적용 대상 건축물은 중저층 건축물로 구조엔지니어링 관점에서 구조안전을 확인 요구되는 “지진구역에서 5층 이하 건축물이거나 보의 길이가 20m 미만의 이면서, 바닥면적 5000㎡미만의 다중이용건축물(문화 및 집회시설, 판매시설, 숙박시설 등), 바닥면적의 합계가 1000㎡ 미만인 준다중이용건축물 등”을 기본으로 한다.
- {참고} 서울특별시나 지자체의 굴착심도 관련하여 시가지의 구분에서 중층시가지는 11~15층 최유효이용으로 판단되는 지역을 말하고, 저층시가지는 4~10층 건물이 최유효이용으

로 판단되는 지역으로 정의하고 있기도 한다. (근거; 서울특별시 도시철도의 건설을 위한 지하부분토지의 사용에 따른 보상기준에 관한 조례, 2019.12)

**○ 현장 노무비를 획기적 절감하고 열효율이 우수한 플랫형 플로어 시스템의 개발 필요**

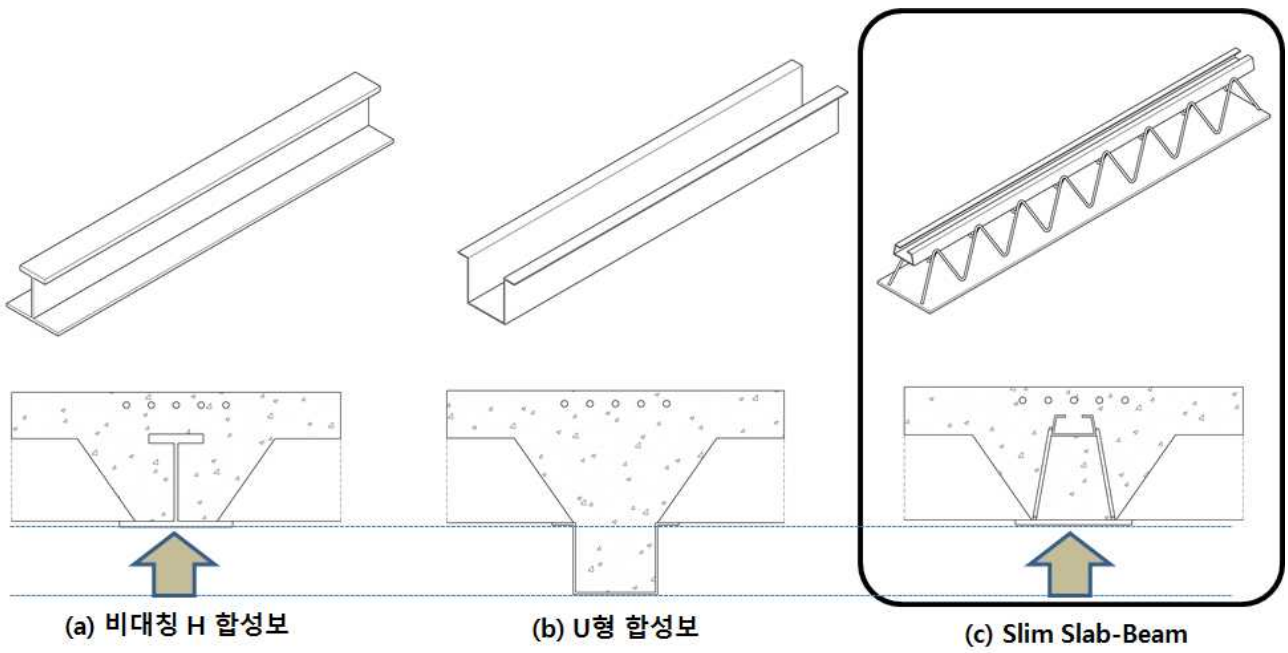
- 플랫 형태의 천정을 가지는 바닥구조는 공기유동장 효과가 극대화되어 냉난방 효율이 높아짐
- 최근 건설 산업의 기계화, 대규모화, 제조업화 등 환경적 변화에 적응 가능한 공법 필요
- 현장 노무비의 급격한 상승(최근 3년간 100%)으로 인력투입을 획기적으로 절감할 수 있는 공법 필요

| 기준년도 | 상승율(%) | 누적량 |
|---|---|---|
| 기준 | 0.00 | 100.0 |
| 201401 | 19.23 | 119.2 |
| 201409 | 15.37 | 137.6 |
| 201501 | 13.36 | 155.9 |
| 201509 | 10.14 | 171.7 |
| 201601 | 6.79 | 183.4 |
| 201609 | 2.79 | 188.5 |
| 201701 | 2.79 | 193.8 |
| 201709 | 3.41 | 200.4 |

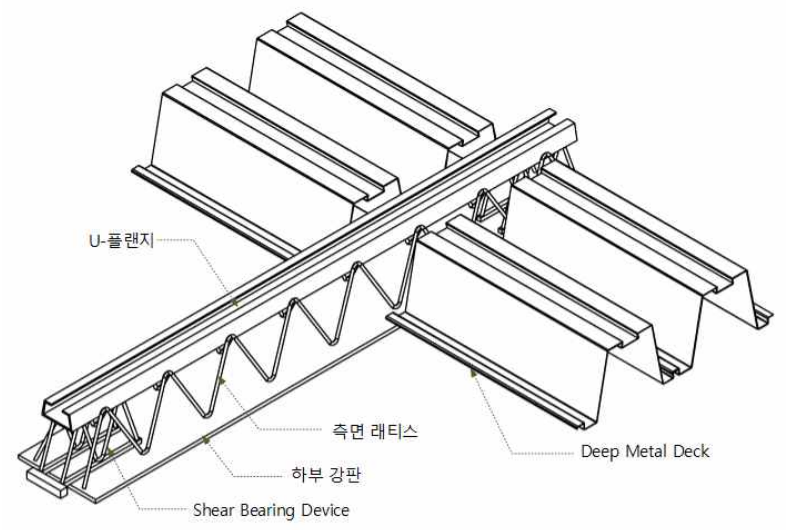



**○ 공장제작 및 현장조립 방식으로 Slim Slab-Beam 구현을 위한 선진화된 선조립 복합보 개발 필요**

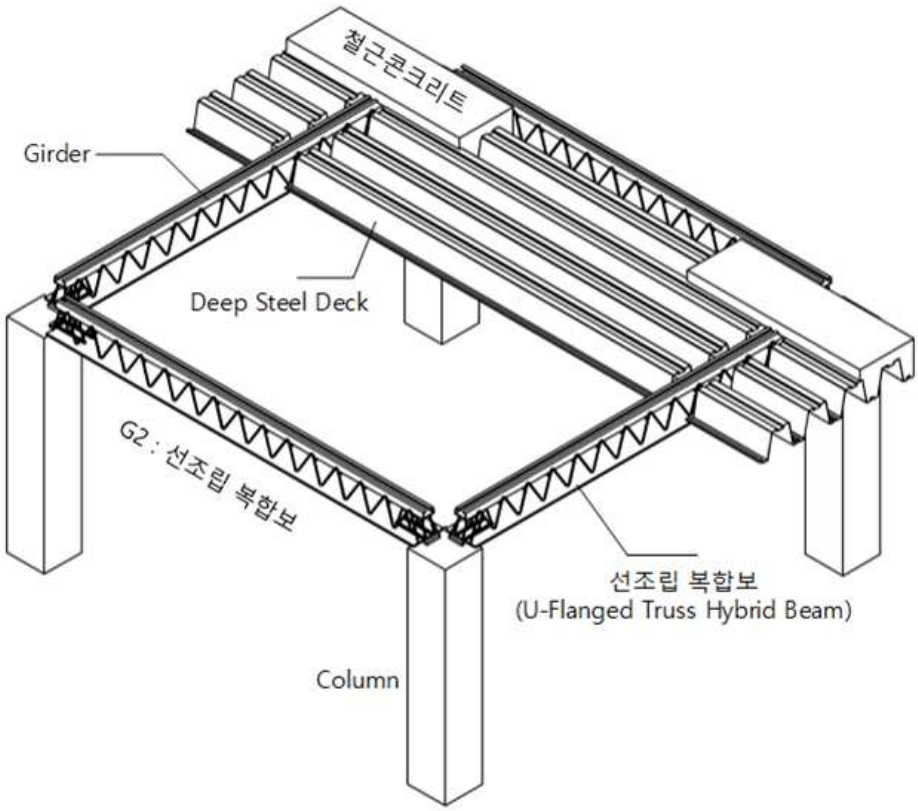
- 보 춤을 슬래브 높이 내에서 해결할 수 있는 다양한 합성보가 절대적으로 미흡



- RC 조 철근 조립체는 시공 중 하중 지지 기능이 없으므로 동바리와 거푸집이 요구됨.
- 시공 중 하중 지지 기능을 갖는 공장제작 및 현장조립 방식의 선조립 복합보 개발 필요
- 충전형 U-플랜지를 이용하여 횡좌굴과 압축저항기능이 향상시킨 선조립체
- 복합보 하부는 거푸집 기능을 갖추고 추가 인장보강이 간편한 구조
- 래티스형 웨브를 이용하여 전단 성능이 우수한 선조립체



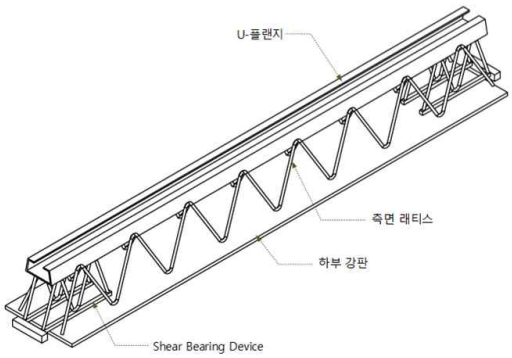
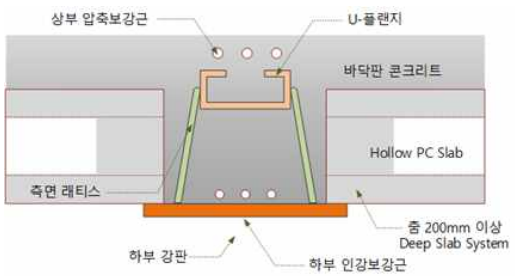
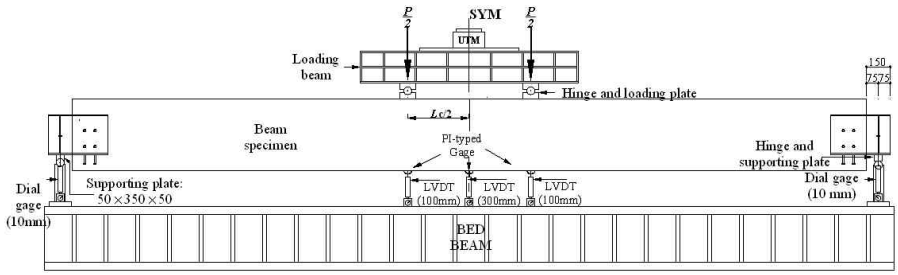

**[그림 1.2] Deep Deck를 설치한 선조립 복합보**




**<그림 1.3> 개발 대상 U-Flanged Slim Slab-Beam System**

# 2. 연구수행내용 및 성과

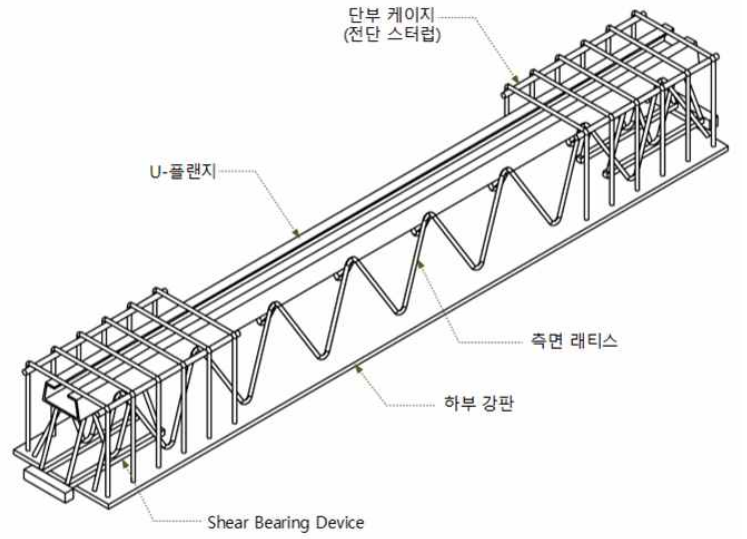
## 가. 연구개발의 최종 목표

| 구분 | 내 용 |
|---|---|
| 최종 목표 | 충전 U-flanged Truss를 이용한 중저층 건축물용 Slim Slab-Beam 개발<br>- 춤 300mm 이상의 슬래브를 가지는 바닥구조에서도 경제성과 시공성이 혁신적으로 향상된 Slim Floor System을 구현할 수 있는 선조립 복합보(U-flanged Truss Hybrid Beam) 개발 |
| 세부 목표 | ❍ 상부의 휨좌굴 및 압축에 대한 보강체(충전 U-flange), 하부의 인장저항용 강판 및 상하부를 연결하는 래티스로 이루어진 선조립체(U-flanged Truss)의 최적 형상 정립<br>- 시공단계에서 발생하는 콘크리트 타설하중 및 작업하중에 의한 휨좌굴 및 상부압축에 가장 효율적으로 저항할 수 있는 U-flanged Truss의 형상 개발<br>  <br>  <br>❍ U-flanged Truss를 이용한 Slim Slab-Beam에 대한 휨실험 및 전단실험을 통한 구조성능 평가<br>  <br>❍ U-flanged Truss를 이용한 Slim Slab-Beam의 부재설계법 개발<br>❍ U-flanged Truss를 이용한 Slim Slab-Beam의 표준화 도면 개발 |

# 나. 연차별 연구개발 목표 및 내용

## (1) 1차년도 : 주관연구기관(목포대학교 산학협력단)

① 개발 목표 : 상부의 휨좌굴 및 압축에 대한 보강체(충전 U-flange), 하부의 인장저항용 강판 및 상하부를 연결하는 래티스로 이루어진 선조립체(U-flanged Truss)의 최적 형상 개발



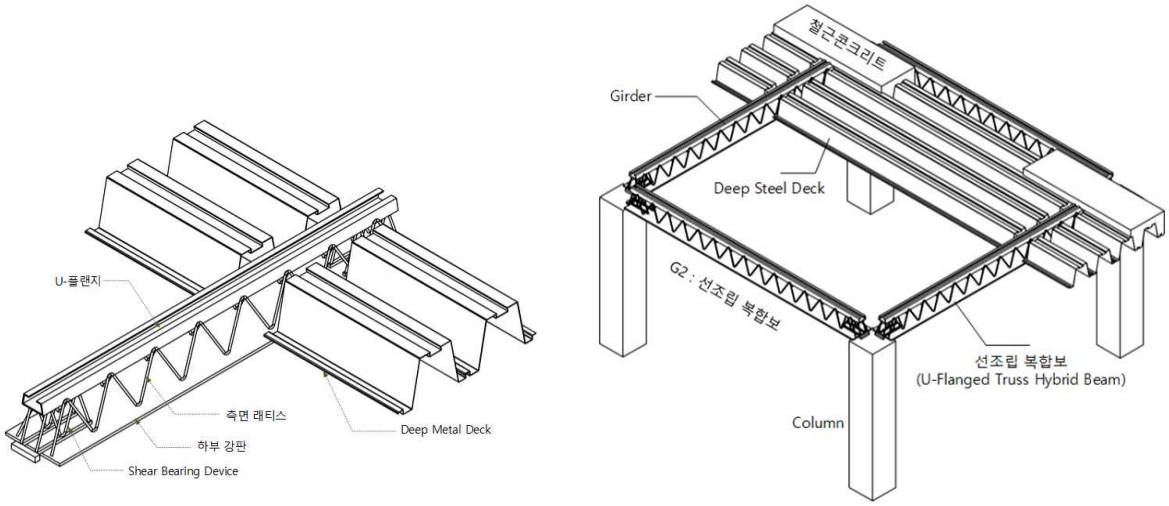

**<그림 2.1> 전단스터럽을 갖는 U플랜지 선조립 복합보(U-Flanged Truss Hybrid Beam)**

② 개발 내용 및 범위

(1) 기존에 개발된 춤이 큰 슬래브 시스템 및 국내외 현황 조사
 (가) 춤이 큰 슬래브 시스템에 대한 선행 연구 결과 조사
 (나) 국내외 연구 결과 정리 및 기존 기술의 장단점 분석
(2) 선조립체(U-flanged Truss)의 기본 형상 분석 및 선정
 (가) 중저층 건축물의 표준 바닥 모듈 조사 및 분석
 (나) 다양한 단면 형상의 선조립체에 대한 유한요소해석 수행
 (다) 시공하중을 고려한 선조립체(U-flanged Truss)의 기본 형상 설계 및 선정
 (라) 선조립체의 전단성능을 고려한 래티스의 배치 형상 설계 및 선정
(3) U-flanged Truss의 휨, 전단실험 및 구조 성능 평가
 (가) U-flanged Truss의 휨, 전단 실험 계획 수립
  실험체 변수 설정 : 충전유무/기존 RC/ H steel beam/래티스 경사도 50, 55, 60 등
 (나) U-flanged Truss의 제작 및 실험 수행
 (다) U-flanged Truss의 구조 성능 분석 및 최적 형상 결정
(4) U-flanged Truss를 적용한 기본 선조립 복합보의 구조 거동 예비 평가
 (가) U-flanged Truss를 적용한 기본 선조립 복합보의 실험 계획 수립
  실험체 변수 : 과대, 과소, 평형 철근비 등
 (나) 기본 선조립 복합보의 실험체 제작 및 실험 수행
 (다) 구조 거동 분석 및 차년도 계획 검토

## (2) 2차년도 : 주관연구기관(목포대학교 산학협력단)

① 개발 목표 : 춤 300mm 이상의 슬래브를 가지는 바닥구조에서도 경제성과 시공성이 혁신적으로 향상된 Slim Floor System을 구현할 수 있는 선조립 복합보(U-flanged Truss Hybrid Beam) 개발




**<그림 2.2> Slim FIlor System을 구현할 수 있는 선조립 복합보(U-Flanged Truss Hybrid Beam)**

② 개발 내용 및 범위

(5) 바닥판과 선조립 복합보 사이의 합성효과 검증을 위한 수평전단실험 수행

(가) Pushout 실험 계획 수립

(나) Pushout 실험체 제작 및 실험 수행

(다) 합성 거동 분석

(6) Slim Floor System을 구현할 수 있는 선조립 복합보의 실물실험 수행 및 구조성능평가

(가) 선조립 복합보의 휨, 전단 실험 계획 수립 및 실험 수행

실험체변수 : 시공단계, 합성단계, 단부 전단 성능 평가 등

(나) 슬래브가 포함된 Slim Slab-beam의 구조성능 평가

(7) 선조립 복합보의 부재 설계법 개발

(가) 공장 제작을 위한 선조립 복합보의 최적 형상 결정

(나) Sim Slab-beam 설계 개념 정립 및 설계프로세스 개발

(8) 제작 프로세스 및 표준화 도면 개발

(가) 비용 절감을 위한 공장 제작 최적 프로세스 개발

(나) 현장 적용을 위한 Slim Slab-beam 시스템 표준 도면 개발

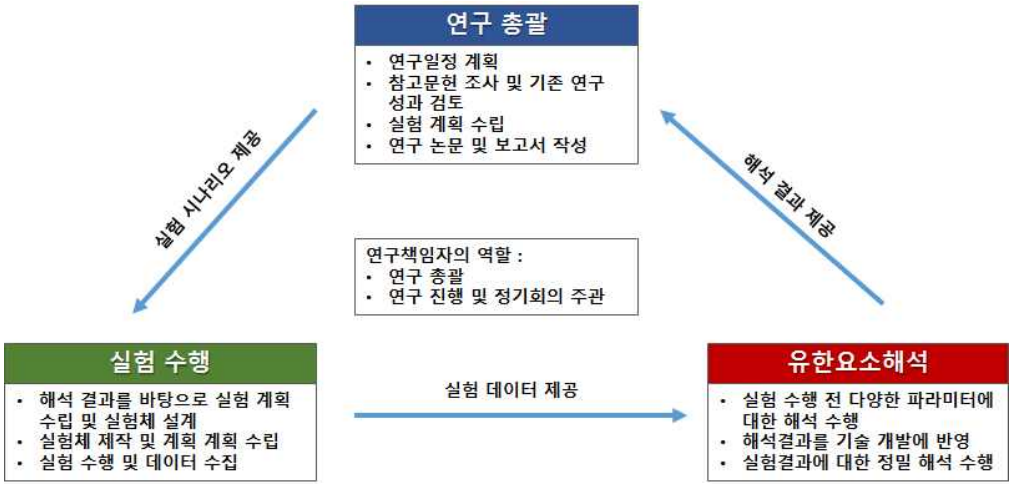
(다) 시범 제작 및 현장 적용성 예비 평가(Mock-up Test)

(라) 중저층 건축물 표준모듈에 대한 경제성 분석 및 평가

# 다. 연구개발의 추진전략·방법 및 추진체계

## (1) 연구개발 추진전략·방법

○ 주요추진전략



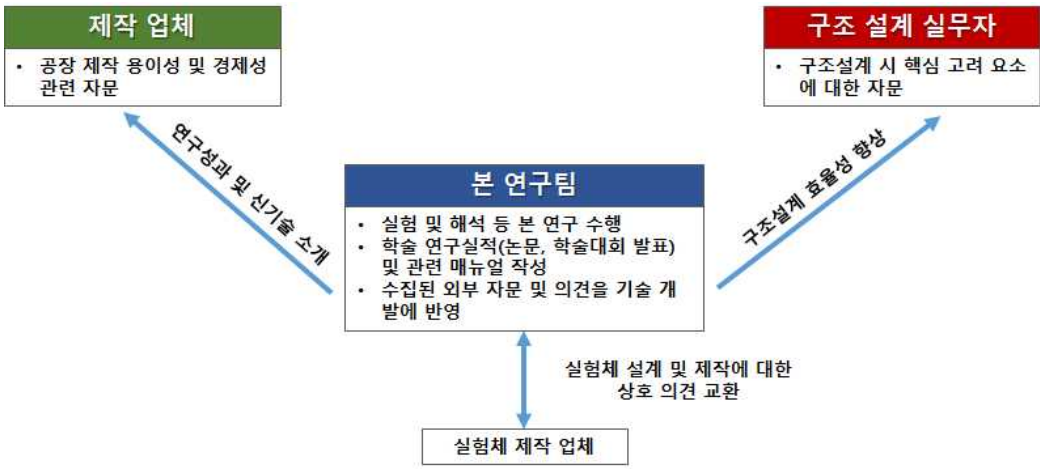

○ 연구 기관의 전문성

본 주관연구기관은 20년 이상 풍부한 실험 및 연구 경험을 보유, 노하우를 바탕으로 실험변수에 대한 스터디를 실시하며, 실험을 통해 데이터를 수집하고 분석하는데 강점이 있음. 연구결과를 바탕으로 30편 이상의 논문 게재 및 학술발표 실적이 있으며, 실제 시범적용 케이스가 다수 존재함.

○ 국내 전문가의 자문 및 협조

- 기존 합성구조 분야의 제작 업체 및 구조 실험 분야에 대한 자문을 위해 구조설계실무자, 제작업체 전문가와 협조하여 연구를 진행
- 국내 합성구조 및 구조 실험 분야 전문가의 자문을 통하여 연구 방향 및 결과에 대한 검토
- 공장제작프로세스 및 표준화도면 작성 등 해당 기술 실용화를 위한 제작업체 전문가, 구조설계실무자 등과 지속적인 협의회 개최
- KOLAS 등 공인인증시험기관에서 실험결과를 취득하여 연구결과에 대한 객관성 확보

| 기관 구분 | 수행 내용 |
|---|---|
| 목포대학교 | 실험 및 해석 등 본 연구 수행<br>학술 연구실적(논문, 학술대회발표) 및 관련 매뉴얼 작성<br>수집된 외부 자문 및 의견을 기술 개발에 반영 |
| 구조설계실무자 | 구조설계 시 핵심고려 요소에 대한 자문<br>시범적용 사후 평가를 통한 기술 보완 및 개선 방향 자문 |
| 공장제작업체 | 공장제작 용이성 및 경제성 관련 자문 |
| 국내·외 자문 | 선조립 복합체 최적 형상에 관한 자문<br>선조립 복합보의 구조성능에 대한 평가 |




## (2) 연구개발 추진체계

| 연구개발과제 | |
|---|---|
| 과제명 | 춤 300mm 이상 바닥구조에서 충전 U-플랜지 트러스를 이용한 중·저층 건축물용 Slim Slab-Beam 개발 |

| 기 관 별 참 여 현 황 | | | |
|---|---|---|---|
| 구 분 | 기관수 | 인원수 | 총인원 수 |
| 산 업 계 | | | 5 |
| 대 학 | 1 | 5 | |
| 국공립(연) | | | |
| 출 연 (연) | | | |
| 기 타 | | | |

| 주 관 연 구 기 관 | 공 동 연 구 기 관 | 위 탁 연 구 기 관 | 위 탁 연 구 기 관 |
|---|---|---|---|
| 목포대학교 산학협력단 | | | |
| **참 여 연 구 원** | **참 여 연 구 원** | **참 여 연 구 원** | **참 여 연 구 원** |
| 주관연구책임자<br>(오명호)외 4명 | 공동연구책임자<br>(000)외 0명 | 위탁연구책임자<br>(000)외 0명 | 위탁연구책임자<br>(000)외 0명 |
| **담당연구개발내용** | **담당연구개발내용** | **담당연구개발내용** | **담당연구개발내용** |
| • 국내·외 현황 조사<br>• 선조립체의 기본 형상 분석 및 선정<br>• U-flanged Truss의 휨, 전단실험 및 구조성능평가<br>• 기본 선조립 복합보의 구조 거동 예비 평가<br>• 합성효과 검증을 위한 수평전단실험 수행<br>• 선조립 복합보의 실물실험 수행 및 구조성능평가<br>• 부재설계법 개발<br>• 제작 프로세스 및 표준화 도면 개발 | - | - | - |

## (3) 추진일정

| 구분 | 연구 과제명 (연구 수행기관) | 관련 성과목표/지표 | | | 세부추진내용 (연구수행 Activity) | Activity별 산출물 | 소요 연구비 (백만원) | 1차년도 | | | | 2차년도 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 핵심성과 | 단위성과 | 질적 성과지표 | | | | 1/4 | 2/4 | 3/4 | 4/4 | 1/4 | 2/4 | 3/4 | 4/4 |
| 총괄 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 주관 | 목포 대학교 | A 선조립체 최적형상 선정 및 구조성능 평가 | A-1 | A-1-① | 국내·외 사례조사 | 보고서 | 10 | | | | | | | | |
| | | | | A-1-② | 기본형상 분석 및 선정 | 특허 출원 | 20 | | | | | | | | |
| | | | A-2 | A-2-① | 휨실험 | 논문 | 60 | | | | | | | | |
| | | | | A-2-② | 전단실험 | 논문 | 60 | | | | | | | | |
| | | B 선조립 복합보 및 표준도면 개발 | B-1 | B-1-① | Pushout Test | 논문 | 60 | | | | | | | | |
| | | | | B-1-② | 복합합성보 실험 | 논문 | 120 | | | | | | | | |
| | | | B-2 | B-2-① | 부재설계법 작성 | 부재설계법 | 20 | | | | | | | | |
| | | | | B-2-② | 표준도면 작성 | 표준도면 | 20 | | | | | | | | |

# 라. 연구수행내용

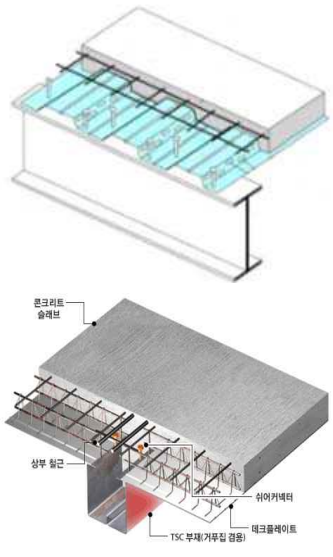
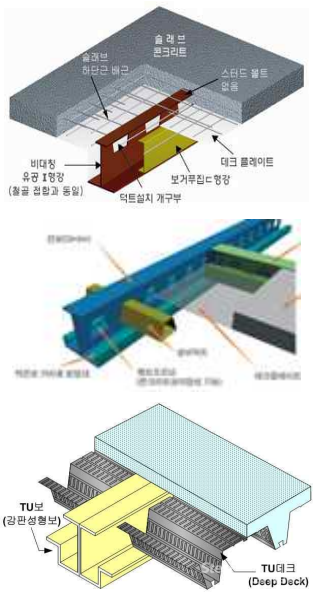
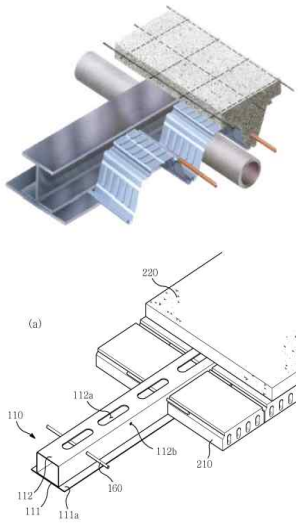
## (1) 국내·외 현황 조사(1차년도)

### (가) 춤이 큰 슬래브 시스템에 대한 선행 연구 결과 조사

#### ① 국내 현황 조사

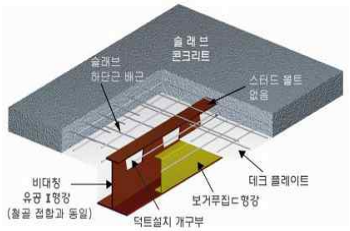
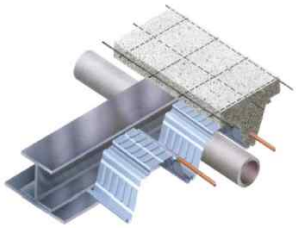
- 콘크리트와의 합성되는 강재 부분의 노출 여부에 따라 노출형 합성보, 매립형 합성보(슬림 합성보) 및 부분매립형 합성보(Semi-Slim 합성보)가 개발되고 있음.
  · 완전노출합성보 : 데크를 상부 플랜지에 거치하는 형식
  · 매립형 합성보(슬림 합성보) : 하부 플랜지에 데크를 거치하여 시공하는 형식
  · 부분매립형 합성보(세미슬림 합성보) : 데크를 보 단면의 어느 중간에 거치하여 플로어 시스템을 구성
- 기존의 노출형 H-형강 합성보나 매립형 SRC 합성보를 사용하면 상부플랜지에 데크를 거치하여 시공하므로, 절대 층고가 증가하게 됨.
- 절대 층고를 절감하기 위해 부분 노출형 합성보 및 비노출형 합성보가 개발되었으나, 강재 사용량의 증가로 인해 경제성이 떨어져 현장에서의 활용성이 매우 떨어짐.

**<표 2.1> 국내 현황(완전 노출형, 부분 노출형, 비노출형 합성보) 비교**

| 구분 | 완전 노출형 합성보 | 부분 노출형 합성보<br>(세미슬림 구조) | 비노출형 합성보<br>(슬림 구조) |
|---|---|---|---|
| 합성보 종류 | 매립형 SRC보, H형강 보, U형 보 | TU합성보, SMART, iTECH | 비대칭 H형강 보, 강관 보 |
| |  |  |  |
| 바닥 | 중공PC슬래브, 트러스거더평데크<br>75mm 전후 골 데크 | 트러스거더평데크, 중공PC슬래브,<br>150mm 이상 골형 딥 데크 | 트러스거더평데크, 중공PC슬래브,<br>200mm 이상 골형 딥 데크 |

- 바닥판을 철골 보의 춤 내에 사용하여 층고를 절감할 수 있는 춤이 얕은 합성 바닥판을 슬림 플로어라고 하며, 스웨덴, 핀란드 등 북유럽에서 건축물의 높이제한에 대한 해결방안으로 고안된 시스템임.
- 슬림플로어 공법은 기존 H형강 하부 플랜지에 플레이트를 용접한 철골 보와 합성데크로 구성되며, 슬림데크 공법은 슬림플로어 공법을 개선하여 비대칭 슬림 플로어 보와 합성데크로 구성됨.

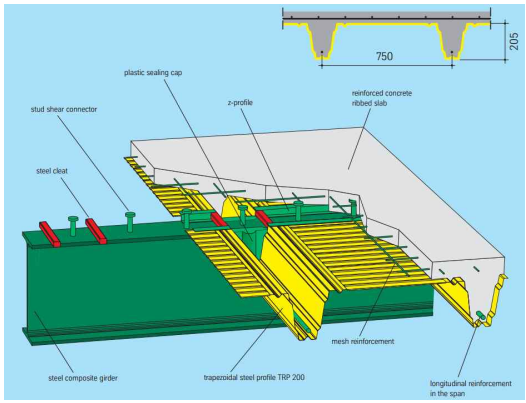
**<표 2.2> 국내 개발된 슬림 플로어 현황 (1)**

| 구분 | 부분 노출형 합성보 (Semi-Slim구조) | 비노출형(완전 매립형) 합성보 (Slim구조) |
|---|---|---|
| 형태 | iTECH beam (대우건설) | 비대칭 H형강 (현대제철) |
| |  |  |
| 특징 | H형 단면구조이나 상부 플랜지는 좁고 후판을 사용하고 상대적으로 하부 플랜지는 넓고 중판을 사용하고, H-단면의 웨브에 개구부를 두어 바닥판 콘크리트와의 일체 합성거동을 향상시키면서 ㄷ형 측면에 바닥판을 거치함으로써 보 단면의 일부가 슬래브 춤에 매립된 H형강 부분 매립합성보<br><br>- 비대칭 H형강 강재 보 구조<br>- 하부 플랜지에 측판을 두어 바닥판 거치시공<br>- 세미슬림플로어시스템 실현 | H형 단면구조이나 상부 플랜지는 좁고 후판을 사용하고 상대적으로 하부 플랜지는 넓고 중판 두께를 사용함으로 250mm 강재 데크를 하부 플랜지에 거치하여 플랫형 바닥면을 구현할 수 있는 비대칭 H형강 완전 매립합성보<br><br>- H형강의 하부 플랜지에 강재 데크를 걸침설치<br>- H형강의 상부 플랜지의 두께가 두꺼움<br>- 슬림플로어 시스템 실현 |
| 바닥 | 프리캐스트 중공슬래브(Hollow PC slab)<br>250mm Deep Cellular Metal Deck(CAP deck) | 프리캐스트 중공슬래브(Hollow PC slab)<br>250mm Deep Cellular Metal Deck(CAP deck) |

### ② 국외 현황 조사

- 해외의 대표적인 비노출형 슬림 합성보에는 Delta beam과 Hoesch Additive Floor가 있으며, 그 구성방식은 바닥판이 철골 보의 내부에 거치하여 층고를 절감시키는 구조임.
- 해외의 사례는 강판을 이용하거나 H 형강 보를 이용한 것으로서 사용 강재량이 많고, 춤의 변화 요구에 대한 대응성이 매우 부족함.

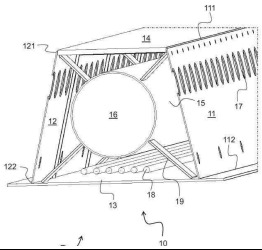
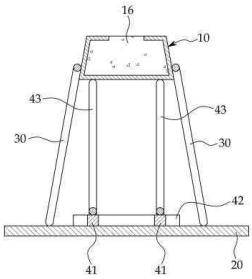
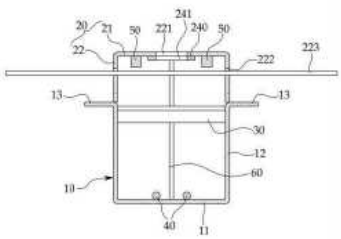
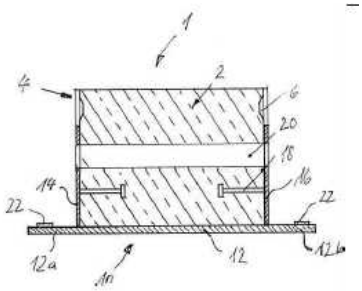
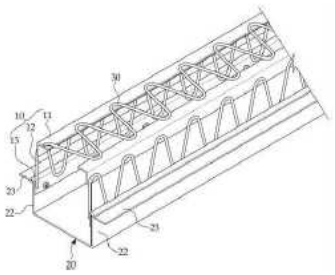
**<표 2.3> 국외 현황**

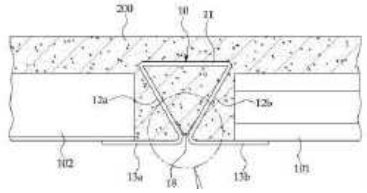
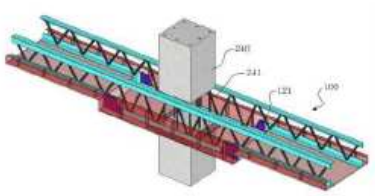
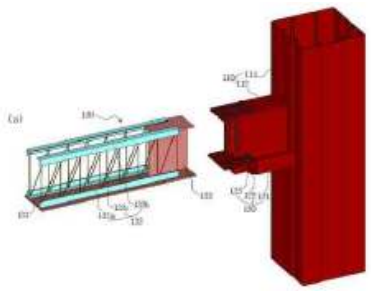
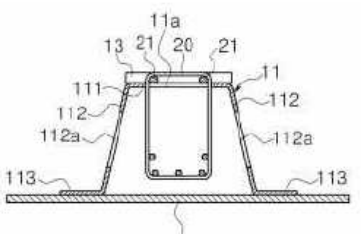
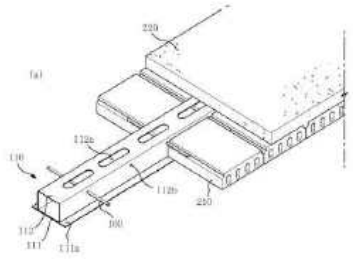
| 구분 | 비노출형 슬림 합성보 | 비노출형 슬림 합성보 |
|---|---|---|
| 형태 | DELTA beam (Peikko) | Hoesch Additive Floor |
| |  |  |
| 특징 | 개구부를 갖는 측벽 강판, 상부 플랜지, 하부 플랜지가 폐합된 박스형태의 단면을 이루고, 상부 플랜지에 일정 간격으로 개구부가 있고 여기에 철근 스터럽을 근입시켜 후 길이방향 철근을 보강 배근한 구조로, 단면 내부에 콘크리트가 채워져 슬래브를 지지하는 합성보<br><br>- 사다리꼴 박스형 단면 강재 보 구조<br>- 하부 플랜지에 바닥 슬래브 공법을 거치<br>- 슬림플로어시스템 실현 | H형강 보과 deep metal deck를 사용하여 슬림플로어 바닥구조를 구현하는 것으로, H형강의 상부 플랜지에 강재 데크를 걸쳐지도록 지지할 수 있는 걸쇠 봉을 갖고, 강재 데크의 상면과 상부 플랜지를 동일 면에 위치하도록하여 층고를 절감하는 구조임<br><br>- H형강의 상부플랜지에 강재 데크를 걸침설치<br>- 춤이 큰 데크를 H형강 높이 내에 둠<br>- 슬림플로어 시스템 실현 |
| 바닥 | 프리캐스트 중공슬래브(Hollow PC slab)<br>225mm Deep Cellular Metal Deck | 205mm Deep Cellular Metal Deck |

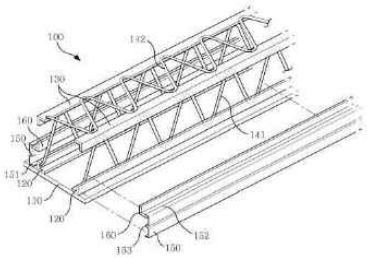
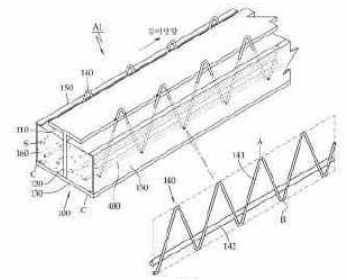
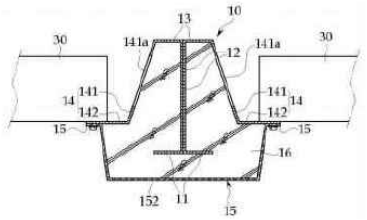
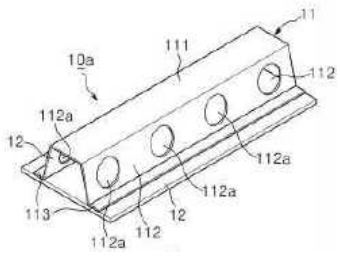
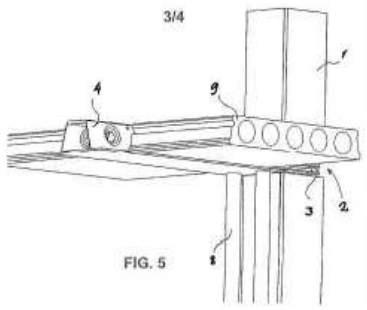
## (나) 국내・외 연구결과 정리 및 기존 기술의 장단점 분석

### ① 국내·외 주요 연구결과

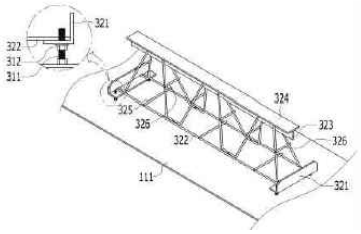
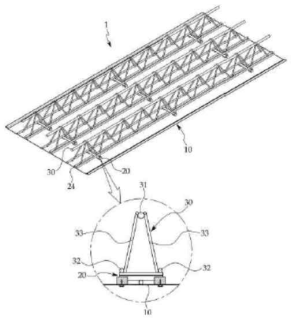
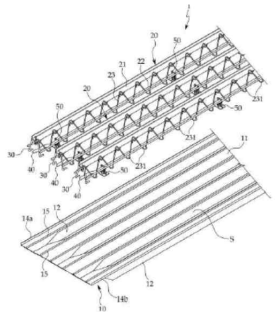
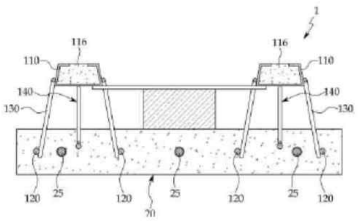
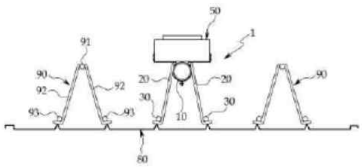
**<표 2.4> 슬림플로어 시스템의 구현을 위한 합성보 관련 주요 연구결과**

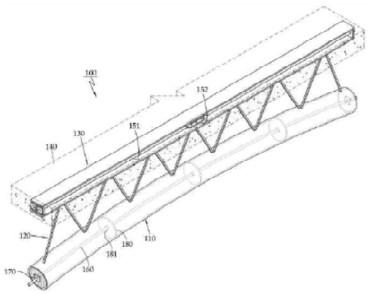
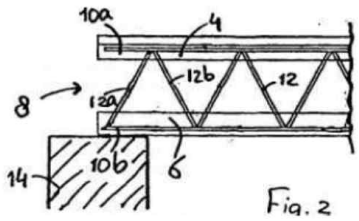
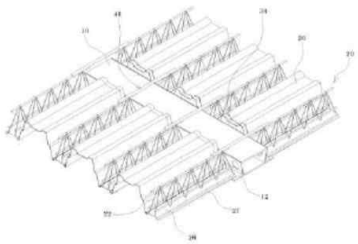
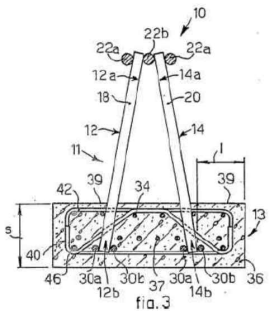
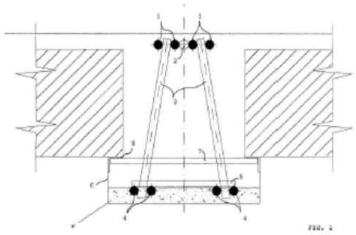
| 기술명칭 | 개발자 | 개발연도 | 국가 | 기술개요 |
|---|---|---|---|---|
| STEEL BEAM | Peikko Group Oy | 2017 | EP |  |
| 횡단면 압축 좌굴이 보강된 슬림 조립보 | 김영호 | 2016 | KR |  |
| 층고절감이 가능한 슬래브 플랜지를 갖는 충전형 보 및 이를 이용한 기둥보 접합부 시공방법 | 액트파트너 외 | 2016 | KR |  |
| Supporting beams for ceiling systems and Ceiling system | Pfeifer Holding | 2015 | DE |  |
| 래티스보강재 볼트조립 강재보 및 이를 이용한 합성보 | 액트파트너 외 | 2015 | KR |  |

| 기술명칭 | 개발자 | 개발연도 | 국가 | 기술개요 |
|---|---|---|---|---|
| 층고 절감이 가능한 슬래브 시공용 빔 | 유재천 | 2015 | KR |  |
| 슬림플로어용 강조립보 및 이를 이용한 슬림플로어 합성구조 | 삼성물산 외 | 2013 | KR |  |
| 조립철골거더에 의한 변단면 단부보강 합성구조 | 액트파트너 | 2012 | KR |  |
| 조립형 모자빔 | 한국건설기술연구원 | 2012 | KR |  |
| 플레이트-각관 조립철골보에 의한 슬림플로어 합성구조 | 세아제강 외 | 2012 | KR |  |

| 기술명칭 | 개발자 | 개발연도 | 국가 | 기술개요 |
|---|---|---|---|---|
| 합성보용 콘크리트 충전형 철골철근 복합조립체 및 이를 이용한 합성보 | 액트파트너 | 2012 | KR |  |
| 래티스 철근을 이용한 강재빔 및 그 시공방법 | 엠씨에스티 기술사사무소 | 2011 | KR |  |
| 별도의 내화피복이 필요없는 층고절감형 합성보 및 그를 이용한 보-슬래브 접합부 구조 | 한국건설기술연구원 | 2010 | KR |  |
| 일정간격으로 개구부를 갖는 모자형 빔의 제조방법 및 그에 따라 제조된 모자형 빔 | 한국건설기술연구원 | 2009 | KR |  |
| Method for forming connecting structure between pillar and beam | Peikko Group Oy | 2009 | EP |  |

**<표 2.5> 슬림플로어 시스템의 구현을 위한 트러스 거더 관련 주요 연구결과**

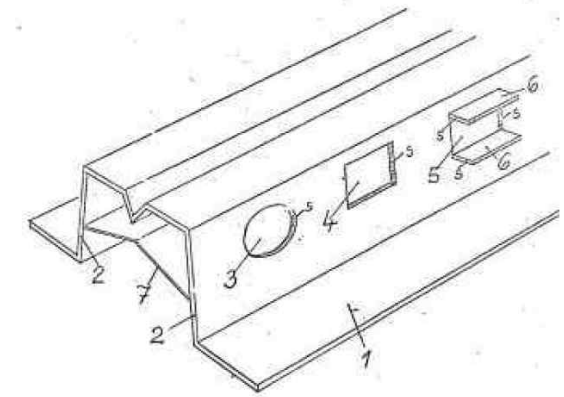
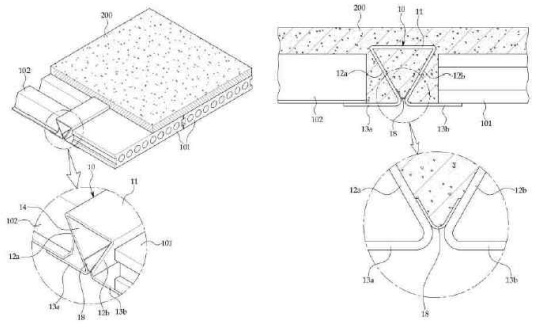
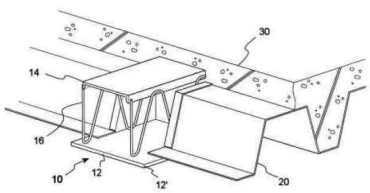
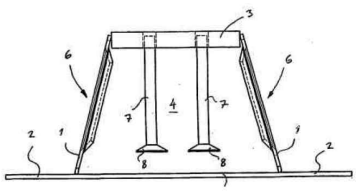
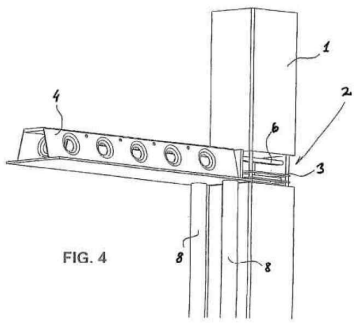
| 기술명칭 | 개발자 | 개발연도 | 국가 | 기술개요 |
|---|---|---|---|---|
| 강박스거더의 부모멘트 및 부모멘트부 제조공법 | 대영스틸 | 2017 | KR |  |
| 종방향 인장재를 이용한 탈형 데크 | 엔테이지 | 2016 | KR |  |
| 상현재 보강 트러스거더 일체형 데크 | 엔테이지 | 2016 | KR |  |
| 횡단면 압축좌굴이 보강된 프리캐스트 바닥판 | 엔테이지 | 2016 | KR |  |
| 트러스 거더형 전기 배선 박스 | 세움이엔씨 | 2015 | KR |  |

| 기술명칭 | 개발자 | 개발연도 | 국가 | 기술개요 |
|---|---|---|---|---|
| 프리스트레스가 도입되는 폐쇄된 관부재인 인장플렌지를 구비한 복합부재 및 이를 이용한 구조물 시공방법 | 서현컨스텍 | 2010 | KR |  |
| Prefabricated construction element | Bartoli N.V. | 2005 | EP |  |
| 장스팬용 보강데크식 바닥 구조물 및 그 축조방법 | 조상규 | 2004 | KR |  |
| Mixed-type steel-cement bearing girder and relative method of production | TECNO-STRUCTURE SRL | 2004 | PCT |  |
| Self-supporting lattice to provide steel-concrete composite beams for housing and industrial building | Technostidi SRL | 2003 | EP |  |

### ② 기존 기술 특성 분석

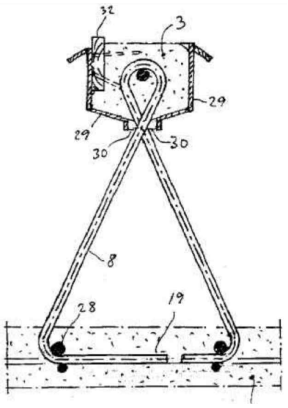
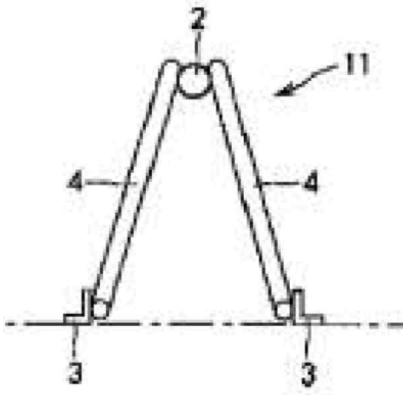
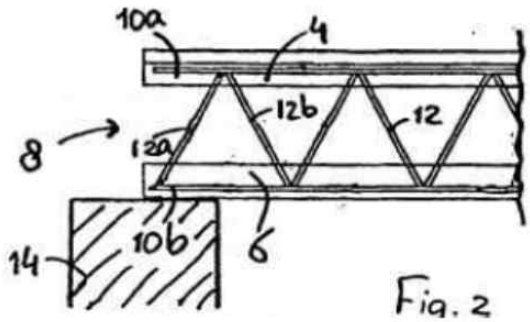
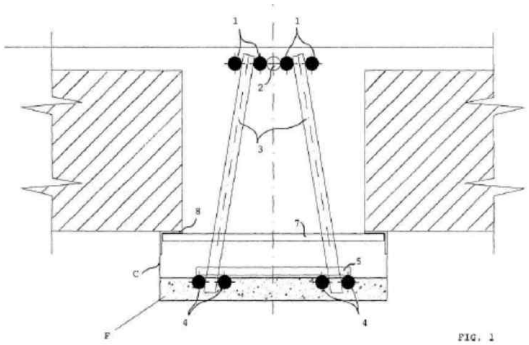
- 슬림플로어 시스템을 구현하기 위한 합성보 관련기술의 특성 요소
  - 종래의 강판형 웨브 요소를 차별성 있게 개선한 기술 (A)
  - 새로운 단면형상을 제시하고 있는 기술 (B)
  - 절곡 강판형 웨브 요소를 래티스 철근으로 대체하는 기술 (C)
  - 플랜지와 웨브 사이의 공간에 충전되는 콘크리트와 강재의 합성효과를 증대시키는 기술 (D)
  - 기둥과 합성보의 접합부를 새롭게 제시하는 기술 (E)

**<표 2.6> 슬림플로어 시스템을 구현하기 위한 합성보 관련기술의 특성**

<table>
<tr><th>A (기존 단면 개선)</th><th colspan="2">B (신규 단면 제시)</th></tr>
<tr><td>  </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><th>C (래티스로 대체)</th><th>D (합성효과 증대)</th><th>E (기둥-합성보 접합부)</th></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  <br>FIG. 4</td></tr>
</table>

- 슬림플로어 시스템을 구현하기 위한 트러스 거더 관련기술의 특성 요소
  - 합성 전 압축저항성능의 향상을 위해서 상현재를 성형강판으로 대체하는 기술 (A)
  - 합성 전 압축저항성능의 향상을 위해서 상현재를 강관으로 대체하는 기술 (B)
  - 합성 전 압축저항성능의 향상을 위해서 상현재를 PC 콘크리트 블록으로 대체하는 기술 (C)
  - 합성 전 압축저항성능의 향상을 위해서 상현재를 2개 이상 철근으로 대체하는 기술 (D)

**<표 2.7> 슬림플로어 시스템을 구현하기 위한 합성보 관련기술의 특성**

| A (상현재 성형강판) | B (상현재 강관) |
|---|---|
|  |  |
| **C (상현재 PC 콘크리트 블록)** | **D (상현재 2개 이상 철근)** |
|  |  |

## ③ 대표적 기술 사례(Trussed Beam)

| | |
|---|---|
| 조사 대상 | ○ 대상 : 고강도 강판이나 철근을 혼합 사용한 보(Girder, Beam) 대응 기술<br>현행, 보의 형식(H-형강 합성보, U형 합성보, H형강 매립복합보(SRC보), RC보, 공장PC보 등)<br>○ 조사 : 철근과 강재로된 강재보에 콘크리트 공장이든 현장에서 타설하여 혼용한 보 공법 |

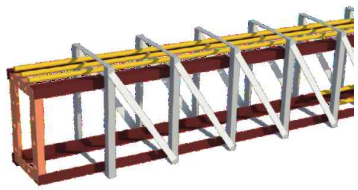
### ㉮ 한국 : NRC 보 공법

| 기업명 | 주)엔알씨구조 |
|---|---|
| 개요 구성 | 기성제품 앵글을 사용하여 상현재, 하현재, 래티스를 구현한 앵글형 강재 선조립체 보이며, 추가적으로 철근을 사용한 보강할수 있으며, U형 강판을 영구거푸집로 하여 감싸는 구조임. |

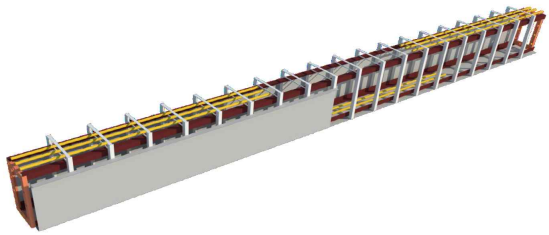
| | |
|---|---|
| 상현재 | 앵글 (보조재 : 철근) |
| 래티스 | 앵글 + 철근 |
| 하현재 | 앵글 (보조재 : 철근) |
| 접합방법 | 용접접합 |
| 거푸집 | 얇은 강판 영구거푸집 |

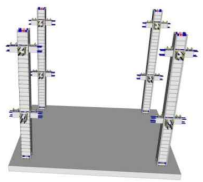
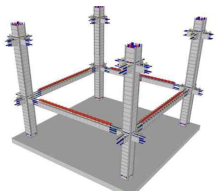
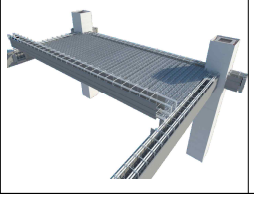
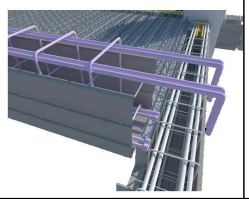
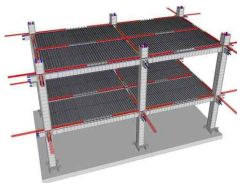


기본 단면



조립 형상

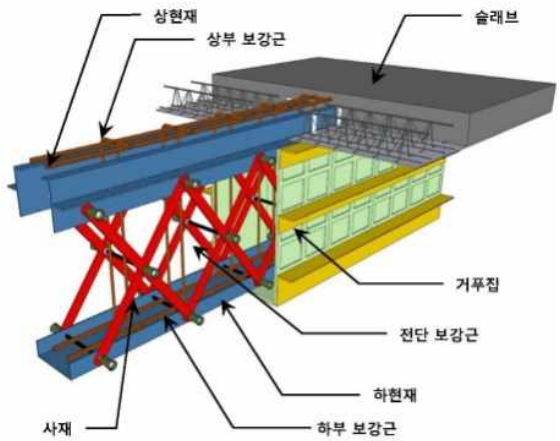


| 기둥세우기 | 보설치 | 설치 상세 1 | 설치 상세 2 | 데크 깔기 |
|---|---|---|---|---|
|  |  |  |  |  |

### ㉯ 한국 : HIT 공법

| 기업명 | 하이구조 |
|---|---|
| 개요 구성 | 기성제품 T형, L형 형강을 사용하여 상현재, 하현재를 구현하고, 이를 평강 래티스재를 볼트로 접합한 강재 선조립체 보이며, 인장보강시 철근을 활용하고, 콘크리트 타설용 탈형 거푸집을 사용함. |

| | |
|---|---|
| 상현재 | L형강,T형강(보조:철근) |
| 래티스 | 띠판(평강) |
| 하현재 | L형강,채널(보조:철근) |
| 접합방법 | 볼트접합 |
| 거푸집 | 탈형 거푸집(합판, 강재) |

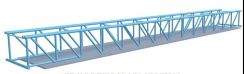




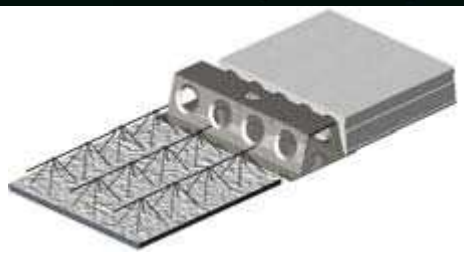


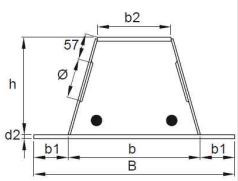

## ㉰ 유럽 : TRAL TRAVI 공법

| 기업명 | EdilRipa | |
|---|---|---|
| 개요<br>구성 | 기성제품 고강도 탄소 강봉을 사용하여 상현재, 하현재, 래티스를 구현하여 용접조립한 트러스 선조립체 보이며, 하부에 구조강판을 영구거푸집으로 사용하며, 보강시 철근을 추가 사용함.<br><br>상현재 : 고강도 강봉 (보조:철근)<br>래티스 : 고강도 강봉<br>하현재 : 고강도 강봉 (보조:철근)<br>접합방법 : 용접접합<br>거푸집 : 구조 강판 영구거푸집 |  |

| 단면 형상 | 강봉 자재 | 용접과정 | 용접과정 | 완성 |
|---|---|---|---|---|
|  |  |  |  |  |

## ㉱ 유럽 : Delta 보 공법

| 기업명 | Peikko | |
|---|---|---|
| 개요<br>구성 | 강판을 상부재와 하부재로 사용하되 측면엔 천공된 성형가공 강판으로 사다리꼴형태 단면으로 용접 조립한 강재 박스형 보이며, 필요시 내부에 인장 철근 보강할 수 있으며, 강판은 영구거푸집을 사용함.<br><br>상현재 : 강판<br>래티스 : 펀칭 성현 강판<br>하현재 : 강판 (보조:철근)<br>접합방법 : 용접접합<br>거푸집 : 구조 강판 영구거푸집 |  <br>  |

| 단면 형상 | 보 제작 | 보 양중 | 보 설치 | 데크 깔기 |
|---|---|---|---|---|
|  |  |  |  |  |

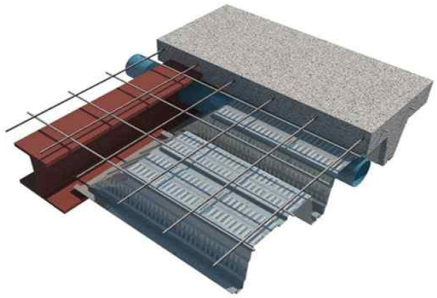
## ④ 대표적 기술 사례(Deep Metal Deck)

| | |
|---|---|
| 조사 대상 | ○ 대상 : 고강도 아연도 강판을 주재료로 성형가공한 바닥재(Metal Floor Deck) 기술 현행, 강판을 일정 형상으로 냉간성형한 제품, 고강도 선재를 트러스로 가공한 선재 일체형 데크<br>○ 조사 : 성형강판 데크플레이트나 철선일체형폼데크 공법 |

### ㉮ 한국 : CAP Steel Form Deck (춤이 큰 강재 거푸집 골데크플레이트)

| 기업명 | 제일테크노스 |
|---|---|
| 개요 구성 | 1.0~1.4 mm 얇은 강판을 여러단의 롤포밍 제작기를 통해서 냉간가공한 폭 600mm / 높이 250mm 단골형 강재 거푸집 딥 데크플레이트이며, 휨 저항용 골 하부에 인장 철근, 단부 전단보강용 절곡 래티스근을 보강하여 장스팬 바닥에 사용하는 비탈형 영구강재거푸집 바닥판. |

| | |
|---|---|
| 형상 | 단골 강재 데크플레이트 |
| 춤 / 폭 | 250mm / 600mm |
| 용도 | 얇은 강판 영구거푸집 |
| 구조저항 | 인장/압축 철근, 전단근 |



### ㉯ 한국 : Double Rib Deck (춤이 큰 강재 거푸집 골데크플레이트)

| 기업명 | 엔아이스틸 |
|---|---|
| 개요 구성 | 0.8~1.2 mm 얇은 강판을 여러 단의 롤포밍 제작기를 통해서 냉간가공한 폭 600mm / 높이 200mm 더블 골형 강재 거푸집 딥 데크플레이트이며, 휨 및 전단 저항용 역삼각래티스근을 결합 사용하는 장스팬 바닥에 사용하는 비탈형 영구강재거푸집 바닥판. |

| | |
|---|---|
| 형상 | 더블골 강재데크플레이트 |
| 춤 / 폭 | 200mm / 600mm |
| 용도 | 얇은 강판 영구거푸집 |
| 구조저항 | 역삼각형 트러스근 |



D Deck 형상



역삼각형 트러스근

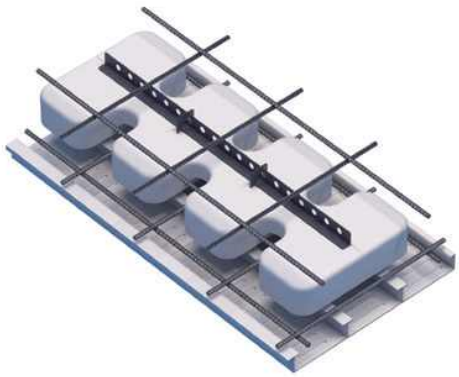




### ㉰ 한국 : 중공 보이드 데크 (중공체를 활용한 거푸집 평데크플레이트)

| 기업명 | 윈하이텍 |
|---|---|
| 개요 구성 | 0.8mm 얇은 강판 T형 돌기를 형성한 롤 냉간성형한 폭 600mm / 높이 50mm 평판형 거푸집 데크플레이트이며, 휨 및 전단 저항용 철근 보강과 자중을 경감하고자 경량 중공체를 사용하는 장스팬 비탈형 영구강재거푸집 바닥판.yd |

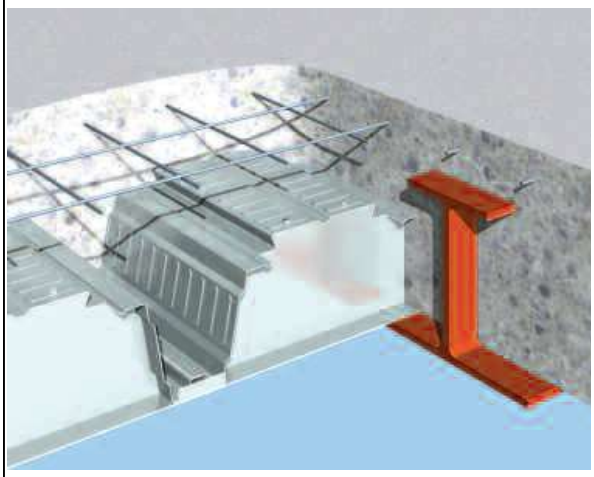
| | |
|---|---|
| 형상 | 더블골 강재데크플레이트 |
| 구조저항 | 철근 활용 |

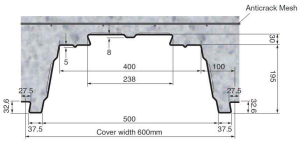
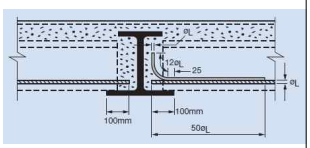
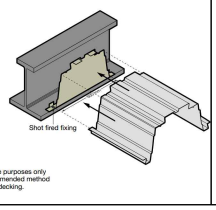


### ㉱ 유럽 : Slimdek 225 (거푸집 단골 데크플레이트)

| 기업명 | TEGRAL |
|---|---|
| 개요<br>구성 | 1.25 mm 얇은 강판을 여러 단 롤포밍 냉간가공한 폭 600mm / 높이 225mm 단골형 강재 딥 데크플레이트이며, 강재를 활용한 휨 저항용 철근을 사용한 데크이며, 스팬별 내화 1~2시간을 만족하는 데크임. |

| | |
|---|---|
| 형상 | 단골 강재 데크플레이트 |
| 춤 / 폭 | 225mm / 600mm |
| 용도 | 얇은 강판 영구거푸집 |
| 구조저항 | 인장/압축 철근, 전단근 |

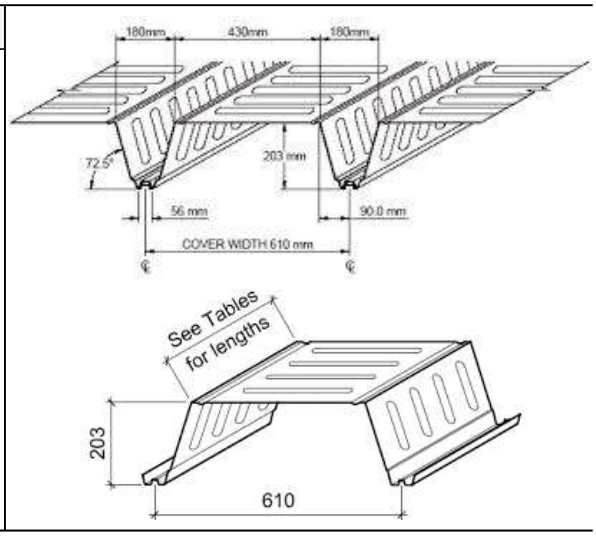


| 데크 형상 | 단면 상세 | 단부 지지 | 시공 전경 |
|---|---|---|---|
|  |  |  |  |

### ㉲ 미국 / 캐나다 / 프랑스 : UltraBond Floor Deck (강재 거푸집 덥 데크플레이트)

| 기업명 | STEELFORM |
|---|---|
| 개요<br>구성 | 1.0, 1.25mm 얇은 강판을 여러 단 롤포밍 냉간가공한 폭 600mm / 높이 203mm 단골형 강재 딥 데크플레이트이며, 강재를 활용한 휨 저항용 철근을 사용한 데크이며, 스팬별 내화 1~2시간을 만족하는 데크임. |

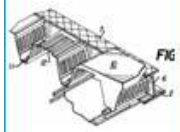
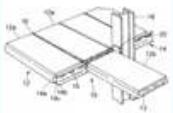
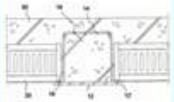
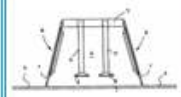
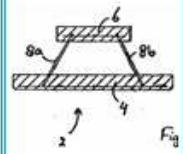
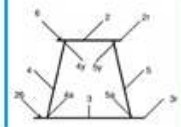
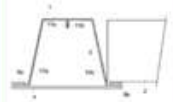
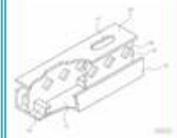
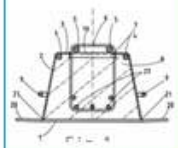
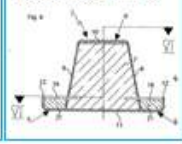
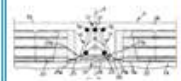
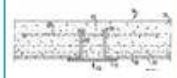
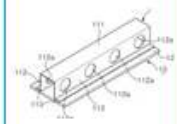
| | |
|---|---|
| 형상 | 단골 강재 데크플레이트 |
| 춤 / 폭 | 203mm / 600mm |
| 용도 | 얇은 강판 영구거푸집 |
| 구조저항 | 인장/압축 철근, 전단근 |




| 데크 운반 | 단부 지지 | 하부 동바리 | 설치 시공 |
|---|---|---|---|
|  |  |  |  |

## ⑤ 기술 발전도(Slim Slab-Beam)

| 2010 | 2011 | 2012 | | 2013 | 2015 | | 2016 | 2017 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KR 10-1170897 B1 | KR 10-1134460 B1 | KR 10-1346679 B1 | KR10-2014-0071199A | KR 10-1395198 B1 | KR 10-1589866 B1 | DE20-2015-104628U1 | KR 10-1814506 B1 | EP 3296485 A1 |
| 한국건설기술연구원<br>별도의 내화피복이 필요 없는 증고절감형 합성보 및 그를 이용한 보-슬래브 접합부 구조 | (주)엠씨에스에스티기술사사무소<br>래티스 철근을 이용한 강재빔 및 그 시공방법 | 주식회사 액트파트너<br>합성보용 콘크리트 충전형 철골철근 복합조립체 및 이를 이용한 합성보 | 한국건설기술연구원<br>조립형 모자빔 | 주식회사 액트파트너 ; 삼성물산㈜<br>슬림플로어용 강조립보 및 이를 이용한 슬림플로어 합성구조 | 유재천<br>증고 절감이 가능한 슬래브 시공용 빔 | Pfeifer Holding GmbH & Co. KG<br>Tragbalken für Deckensysteme und Deckensystem | ㈜액트파트너;<br>㈜쓰리디엔지니어링;<br>㈜엔아이스틸;<br>㈜엔테이지<br>증고절감이 가능한 슬래브 플랜지를 갖는 충전형 보 및 이를 이용한 기둥 보 접합부 시공방법 | Peikko Group Oy<br>STEEL BEAM |
| | | KR 10-1458875 B1 | KR 10-1349649 B1 | | DE20-2015-104628U1 | | KR 10-1814754 B1 | |
| | | ㈜세아제강 ; ㈜옥타곤엔지니어링 ; 지에스건설㈜ ; ㈜제일테크노스 ; 연세대학교 산학협력단 ; (주)에이치피엔지니어링건축사사무소<br>플레이트-각관 조립철골보에 의한 슬림플로어 합성구조 | 주식회사 액트파트너<br>조립철골거더에 의한 변단면 단부보강 합성구조 | | (주)엔아이스틸 ; 주식회사 액트파트너 ; (주)엔테이지<br>래티스보강재 볼트조립 강재보 및 이를 이용한 합성보 | | (주)엔테이지 ; 김영호<br>횡단면 압축 파골이 보강된 슬림 조립보 | |

| 1998 | 2000 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2009 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **US 6112482 A**<br>**British Steel plc.**<br>Floor and ceiling structures<br>  | **US 6442908 B1**<br>**Naccarato; Peter A. ; Costanza; John A. ; Fisher; Daniel G.(**<br>Open web dissymmetric beam construction<br>  | **KR 10-0477189 B1**<br>**삼성중공업㈜ ; ㈜제일테크노스 ; 한국건설기술연구원**<br>슬림플로어용 래티스보<br>  | **US 6807789 B1**<br>**Daewoo Engineering & Construction Co., LTD ; Dongyang Structural Engineers Co., LTD ; Haisung Engineering Co., Ltd.**<br>Steel-concrete composite beam using asymmetric section steel beam<br>  | **EP 1611295 B1**<br>**Peikko Group Oy**<br>STEEL BEAM<br>  | **EP 1600573 B1**<br>**Bartoli N.V.**<br>Prefabricated construction element<br>  | **EP 0292449 B1**<br>**Mäki-Fossi, Juhani ; Mäki-Fossi, Mari**<br>Steel beam<br>  | **EP 1862606 A1**<br>**Van Driesum, Anne Pieter ; Diepeveen, Hendrik Eelco**<br>Beam for supporting floor elements<br>  | **KR 10-0949828 B1**<br>**㈜포스에이씨 종합감리건축사사무소**<br>**홍고점강형 철골보 및 이를 이용한 철골-콘크리트 합성보**<br>  |
| | | | **EP 1416101 A1**<br>**TARTUNTAMARKKIN OINTI OY**<br>Composite beam<br>  | **KR 10-0646363 B1**<br>**조상규**<br>장스팬용 보강데크식 바닥 구조물 및 그 축조 방법<br>  | **EP 1669505 B1**<br>**Velthorst Beheer B.V. ; VBI ONTWIKKELING B.V.**<br>Steel-concrete composite joist with fire-resistant support for ceiling elements<br>  | **EP 1752596 A2**<br>**Tecnostrutture SRL**<br>Mixed-type self-supporting beam and relative method of production<br>  | | **EP 2313568 A1**<br>**Peikko Group Oy**<br>METHOD FOR FORMING CONNECTING STRUCTURE BETWEEN PILLAR AND BEAM, AND CONNECTING STRUCTURE BETWEEN PILLAR AND BEAM<br>  |
| | | | | | | **EP 1877632 B1**<br>**Svecon Steel AB**<br>METHOD FOR PRODUCTION OF A FLOOR STRUCTURE OF STEEL AND CONCRETE<br>  | | **KR10-2011-0054499A**<br>**한국건설기술연구원**<br>일정 간격으로 개구부를 갖는 모자형 빔의 제조방법 및 그에 따라 제조된 모자형 빔<br>  |

| 2010 | 2011 | 2012 | | 2013 | 2015 | | 2016 | 2017 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KR 10-1170897 B1 | KR 10-1134460 B1 | KR 10-1346679 B1 | KR10-2014-0071199A | KR 10-1395198 B1 | KR 10-1589866 B1 | DE20-2015-104628U1 | KR 10-1814506 B1 | EP 3296485 A1 |
| 한국건설기술연구원<br>별도의 내화피복이 필요 없는 휨고절감형 합성보 및 그를 이용한 보-슬래브 접합부 구조 | (주)엠씨에스에스티기술사사무소<br>래티스 철근을 이용한 강재빔 및 그 시공방법 | 주식회사 액트파트너<br>합성보용 콘크리트 충전형 철골철근 복합조립체 및 이를 이용한 합성보 | 한국건설기술연구원<br>조립형 모자빔 | 주식회사 액트파트너 ; 삼성물산㈜<br>슬림플로어용 강조립보 및 이를 이용한 슬림플로어 합성구조 | 유재천<br>휨고 절감이 가능한 슬래브 시공용 빔 | Pfeifer Holding GmbH & Co. KG<br>Tragbalken für Deckensysteme und Deckensystem | ㈜액트파트너;<br>㈜쓰리디엔지니어링;<br>㈜엔아이스틸;<br>㈜엔테이지<br>휨고절감이 가능한 슬래브 플랜지를 갖는 충전형 보 및 이를 이용한 기둥 보 접합부 시공방법 | Peikko Group Oy<br>STEEL BEAM |
| | | KR 10-1458875 B1 | KR 10-1349649 B1 | | DE20-2015-104628U1 | | KR 10-1814754 B1 | |
| | | ㈜세아제강 ; ㈜옥타곤엔지니어링 ; 지에스건설㈜ ; ㈜제일테크노스 ; 연세대학교 산학협력단 ; (주)에이치피엔지니어링건축사사무소<br>플레이트-각관 조립철골보에 의한 슬림플로어 합성구조 | 주식회사 액트파트너<br>조립철골거더에 의한 변단면 단부보강 합성구조 | | (주)엔아이스틸 ; 주식회사 액트파트너 ; (주)엔테이지<br>래티스보강재 볼트조립 강재보 및 이를 이용한 합성보 | | (주)엔테이지 ; 김영호<br>횡단면 압축 파괴이 보강된 슬림 조립보 | |

## (2) 선조립체(U-flanged Truss)의 기본 형상 분석 및 선정(1차년도)

### (가) 중·저층 건축물의 표준바닥 모듈 조사 및 분석

#### ① 중·저층 건축물의 사례 조사

- 중·저층 건축물의 기본 모듈은 일반적으로 X방향은 9.5m~15m이고 Y방향은 4.7m ~8.4m의 모듈을 많이 사용하고 있음.
- 근린생활시설의 설계하중은 고정하중 4.4kN/$m^2$, 적재하중은 3.0kN/$m^2$을 주로 적용하고 있음.
- 중앙부 보 부재 크기는 일반적으로 500×900이고 중앙부 인장철근은 HD22 또는 HD25를 늑근은 HD10@200~300를 많이 사용하고 있는 것으로 분석됨.
- 본 연구에서 대상 구조물의 기본 모듈은 이러한 사례조사 분석결과를 토대로 하여 8.0m×12m와 8.0m×15m를 대상으로 하여 분석하는 것이 타당할 것으로 판단됨.

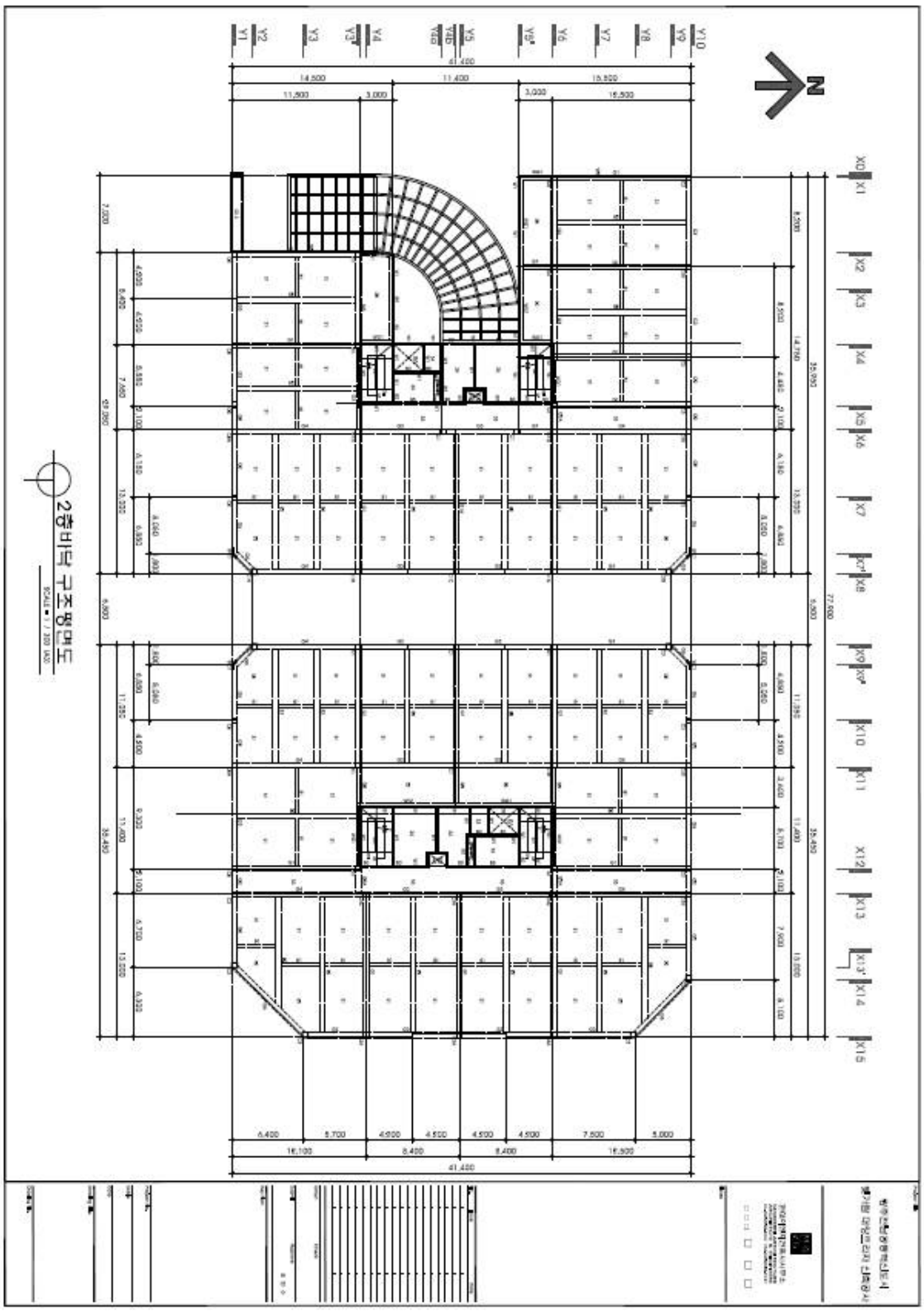
**<표 2.8> 사례 대상 건물**

| 사례대상 건물 | 기본모듈 (m) | 설계하중(kN/$m^2$) | | 보 중앙부 부재 크기 및 배근 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 고정하중 | 적재하중 | 크기 | 인장철근 | 늑근 |
| 대양프라자 | 13m×8.4m | 4.40 | 3.00 | 450×800 | 8-HD22 | HD10@200 |
| 디엔에이치 | 15m×8.4m | 4.40 | 3.00 | 500×900 | 7-HD22 | HD10@250 |
| 킹덤프라자 | 13.5m×8.4m | 4.40 | 3.00 | 500×900 | 5-HD25 | HD10@300 |
| 대양스퀘어 | 13.5m×8.4m | 4.80 | 3.00 | 500×900 | 4-HD25 | HD10@300 |
| 율량동 38-5 | 9.5m×4.7m | 4.40 | 4.00 | 400×800 | 8-HD19 | HD10@200 |

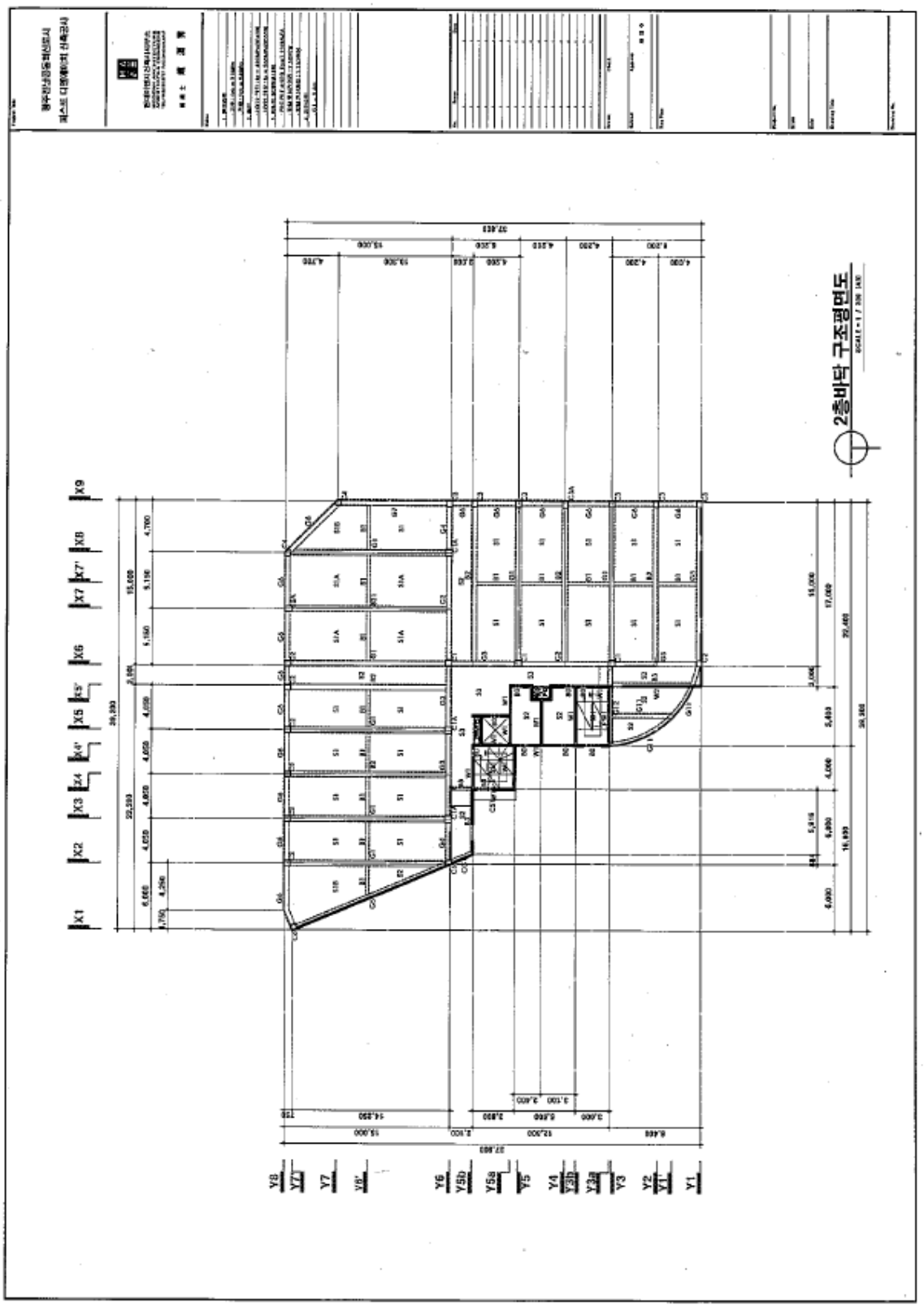
#### ② 본 연구의 개발 방향

- 바닥 슬래브의 스팬이 5.0m ~ 7.0m 이상을 무동바리 시공이 가능하게 하기 위하여 딥 데크(Deep Deck)를 활용할 때 기존 노출형 U형 합성보는 적합하지 않음.
- 춤이 깊은 딥 데크(300mm 이상 춤을 갖는 데크)를 사용하기 위해서는 비대칭 H형강 합성보를 사용하여 슬림 플로어 시스템(Slim Floor System)의 바닥구조를 구현할 수 있으나 그 보의 스팬이나 바닥 평면 모듈이 8m 전후로 작아 물류 및 저장 창고와 같은 10kN/$m^2$ ~ 30kN/$m^2$의 고하중의 적재하중이나 10m ~ 15m의 장스팬에 효과가 매우 낮아 비효율적임.
- 최근의 추세에 맞는 상업시설이나 중저층 규모의 철근 콘크리트 건물 등에서 추가적인 층고의 증가 없이 강도와 강성이 확보되면서 현장 설치 조립 등과 같은 노무비를 획기적으로 절감할 수 있는 슬림 플로어 시스템 개념의 새로운 복합보 개발이 절실히 요구됨.

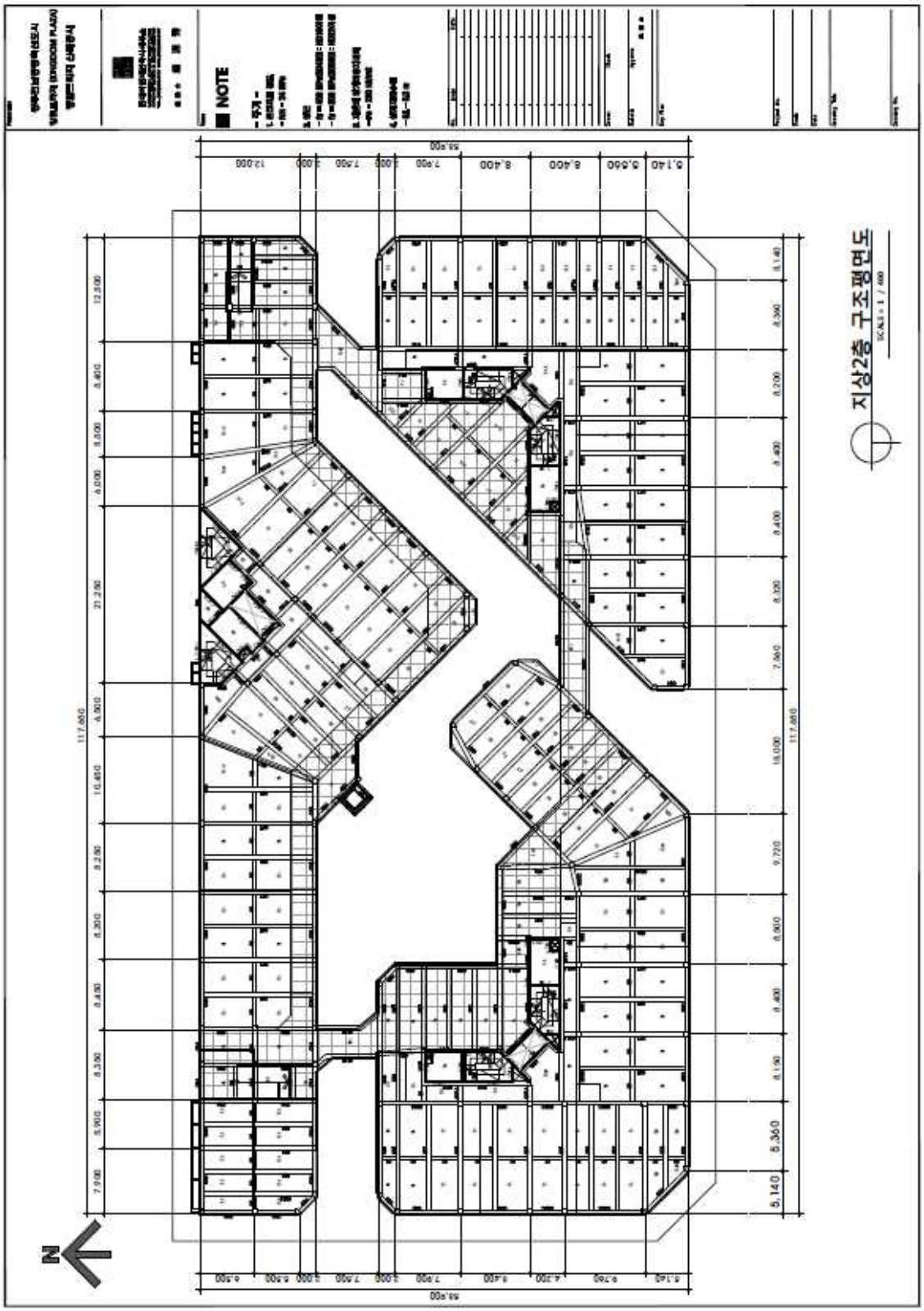
## ■ 빛가람 대양프라자 신축공사 평면도



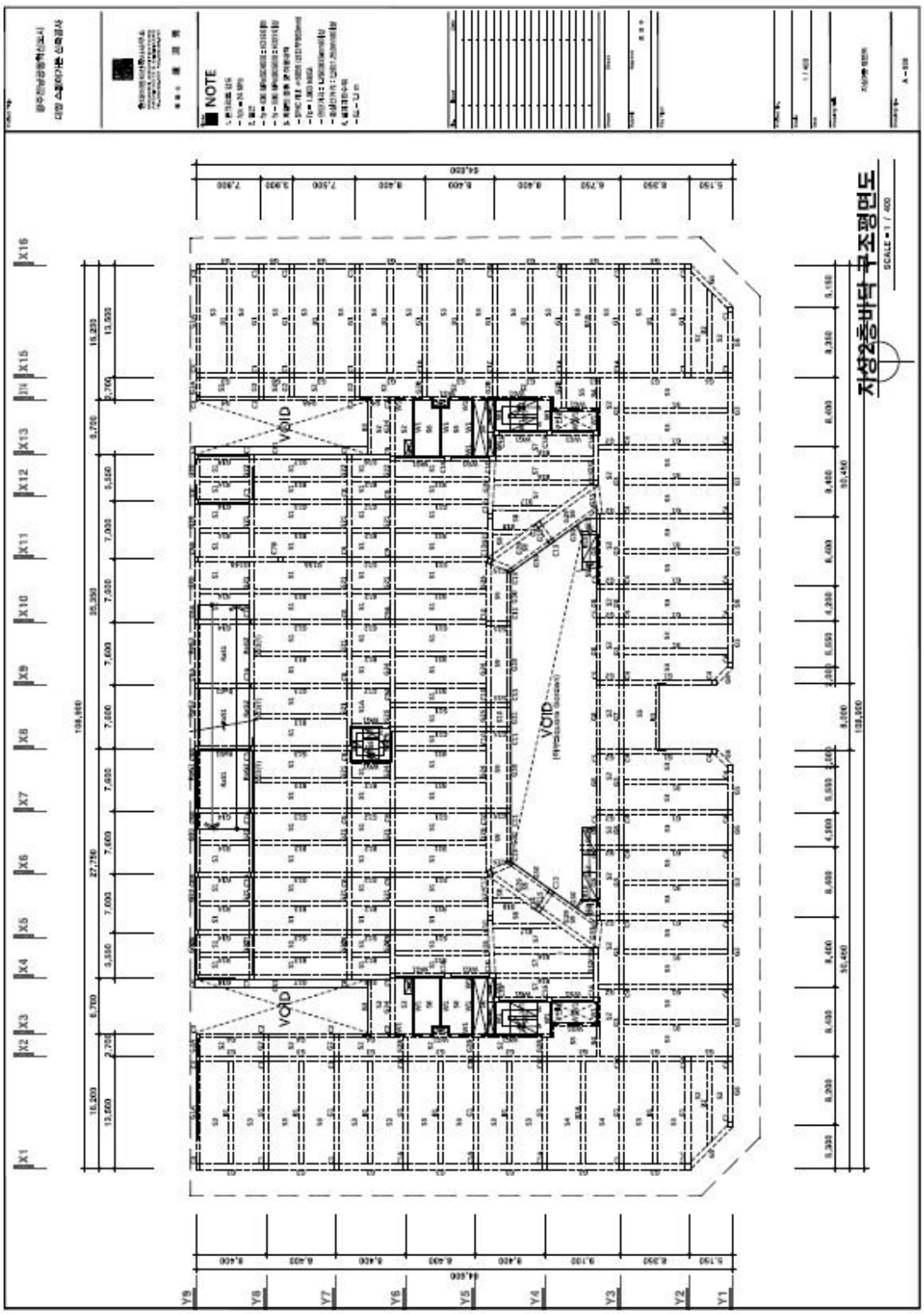
## ■ 퍼스트 디엔에이치 신축공사 평면도



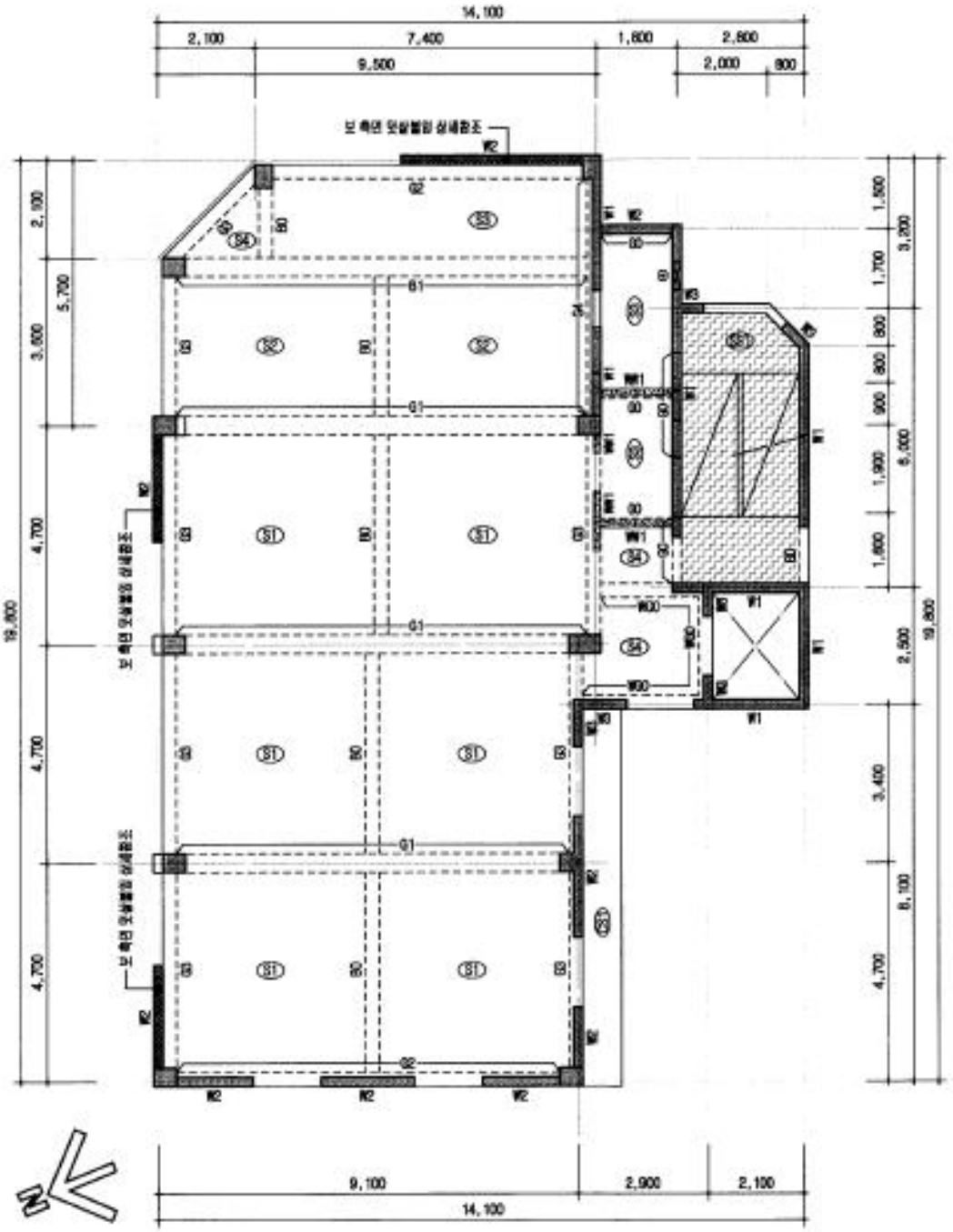
## ■ 킹덤 프라자 건설공사 평면도



## ■ 대양스퀘어가든 신축공사 평면도



## ■ 상당구 율량동 38-5 B/L 근생 신축공사 평면도




지상2층 구조평면도
SCALE : 1/150

■ NOTE
1. fck = 24 MPa, fy = 400 MPa (SD400)
2. SLAB THK : 150mm
3. (SS1) : 계단실 별도 배근도 참조
4. ◎ : 하부 WALL OPENING 보강

### ③ 중·저층 건축물의 기본 모듈 검토 및 분석

#### ㉮ 검토목적

- 근린생활시설 기본모듈(8.0m x 12m, 8.0m x 15m)에 대한 구조 설계를 진행하고 본 연구에서 개발대상인 U-flanged Truss 시스템의 경제성 분석 기초 자료로 활용
- 본 보고서에 적용하는 슬래브 시스템은 아래와 같은 3 Type에 대하여 검토한다.
  ① 일반 트러스 Deck Slab
  ② One-way RC Slab
  ③ D Deck Slab
- 본 보고서에는 연직하중(고정하중 및 활하중)에 대한 구조 해석을 수행 후 배근도를 작성하며 구조물의 해석 및 설계는 하기의 4 Type에 대해서 수행한다.
  ① ATL 1 : 기본모듈, 8m × 12m (일반 트러스 Deck Slab & One way RC Slab)
  ② ALT 2 : 기본모듈, 8m × 15m (일반 트러스 Deck Slab & One way RC Slab)
  ③ ALT 3 : 기본모듈, 8m × 12m (D Deck Slab)
  ④ ALT 4 : 기본모듈, 8m × 15m (D Deck Slab)

#### ㉯ 설계하중

1) 일반 트러스 Deck Slab 및 One-Way RC Slab 적용에 따른 설계하중

- 지붕층

| 구 분 | 마 감 | 하 중(kN/m$^2$) |
|---|---|---|
| 고정하중(DL) | 무근 콘크리트(t=100mm) | 2.30 |
| | 콘크리트 슬래브(t=150mm) | 3.60 |
| | Ceiling | 0.30 |
| | 합 계 | 6.20 |
| 활하중(LL) | - | 3.00 |
| 사용하중(1.0DL+1.0LL) | | 9.20 |
| 계수하중(1.2DL+1.6LL) | | 12.24 |

- 근린생활시설(2층 이상)

| 구 분 | 마 감 | 하 중(kN/m$^2$) |
|---|---|---|
| 고정하중(DL) | 마감(t=50mm) | 1.00 |
| | 콘크리트 슬래브(t=150mm) | 3.60 |
| | Ceiling | 0.30 |
| | 합 계 | 4.90 |
| 활하중(LL) | - | 4.00 |
| 사용하중(1.0DL+1.0LL) | | 8.90 |
| 계수하중(1.2DL+1.6LL) | | 12.28 |

2) D Deck Slab적용에 따른 설계하중

- 지붕층

| 구 분 | 마 감 | 하 중(kN/m$^2$) |
|---|---|---|
| 고정하중(DL) | 무근 콘크리트(t=100mm) | 2.30 |
| | 슬래브 자중 | 2.64 |
| | Joist 자중 | 1.92 |
| | Deck 자중 | 0.20 |
| | Ceiling | 0.30 |
| | 합 계 | 7.36 |
| 활하중(LL) | - | 3.00 |
| 사용하중(1.0DL+1.0LL) | | 10.36 |
| 계수하중(1.2DL+1.6LL) | | 13.63 |

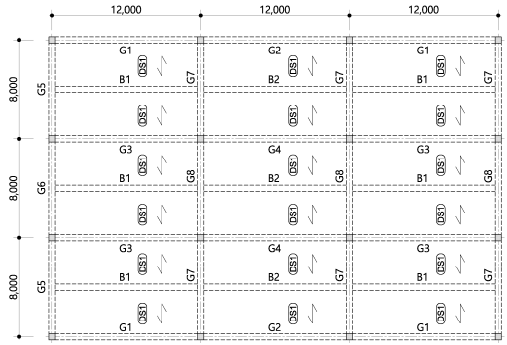
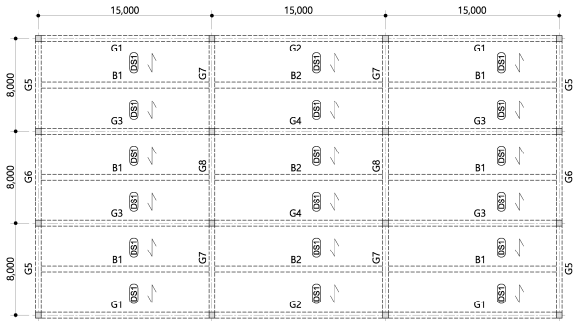
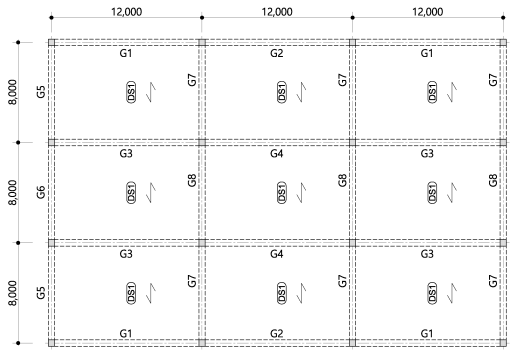
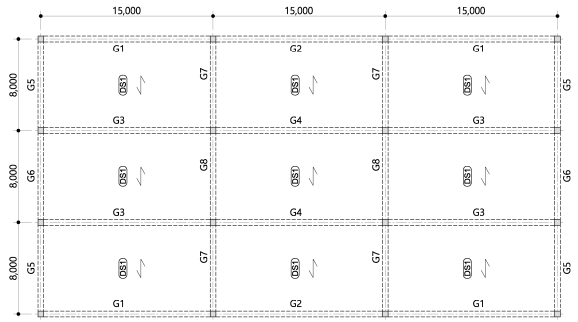
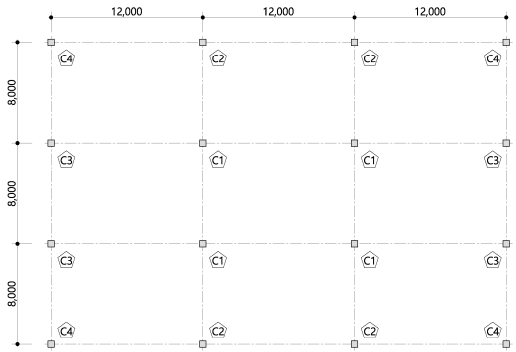
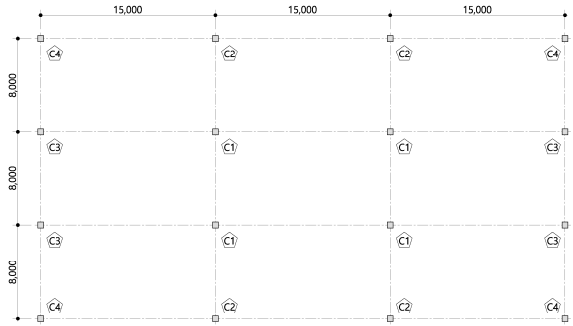
- 근린생활시설(2층 이상)

| 구 분 | 마 감 | 하 중(kN/m$^2$) |
|---|---|---|
| 고정하중(DL) | 마감(t=50mm) | 1.00 |
| | 슬래브 자중 | 2.64 |
| | Joist 자중 | 1.92 |
| | Deck 자중 | 0.20 |
| | Ceiling | 0.30 |
| | 합 계 | 6.06 |
| 활하중(LL) | - | 4.00 |
| 사용하중(1.0DL+1.0LL) | | 10.06 |
| 계수하중(1.2DL+1.6LL) | | 13.67 |

**㈐ 재료 강도**

- 콘크리트 강도 : $f_{ck}$=24MPa
- 철근 강도 :
  ① D13이하 SD500 (fy=500MPa : SHD로 표기)
  ② D16이상 SD600 (fy=600MPa : UHD로 표기)

## ㉮ 대안별 구조평면도 및 주심도

| ATL 1 : 기본모듈, 8m × 12m<br>(일반 트러스 Deck Slab<br>& One way RC Slab) | ATL 2 : 기본모듈, 8m × 15m<br>(일반 트러스 Deck Slab<br>& One way RC Slab) |
|---|---|
|  <br>지상 2~지붕층 구조평면도(8mx12m : 일반트러스데크/RC슬래브) |  <br>지상 2~지붕층 구조평면도(8mx15m : 일반트러스데크/RC슬래브) |
| **ATL 3 : 기본모듈, 8m × 12m (D Deck Slab)** | **ATL 4 : 기본모듈, 8m × 15m (D Deck Slab)** |
|  <br>지상 2~지붕층 구조평면도(8mx12m : D Deck ) |  <br>지상 2~지붕층 구조평면도(8mx15m : D Deck ) |
| **ATL1 & ALT3 : 기둥 주심도** | **ATL2 & ALT4 : 기둥 주심도** |
|  <br>주 심 도(8mx12m) |  <br>주 심 도(8mx15m) |

## ㉮ 구조해석결과 및 배근도

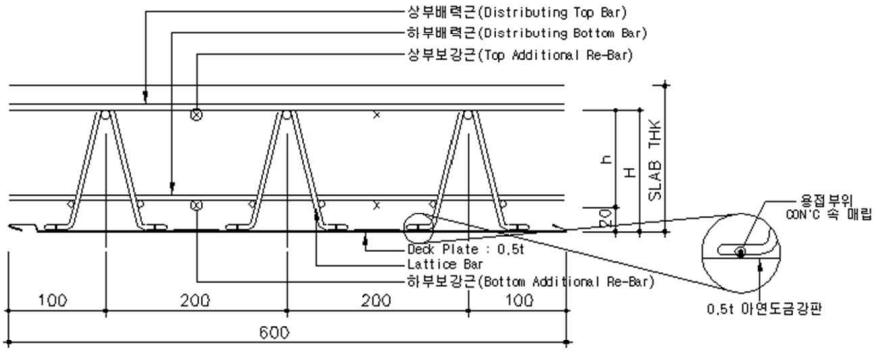
1) 슬래브 배근

- NT Deck Slab

# NT DECK SLAB LIST

근린생활시설 기본 모듈 검토 보고서

| 사 양 | NA1 TYPE | NA2 TYPE | NA3 TYPE | NA4 TYPE | NA5 TYPE | NA6 TYPE |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 상부 철선 | D10 X 1 | D12 X 1 | D14 X 1 | D12 X 1 | D12 X 1 | D14 X 1 |
| 하부 철선 | D7 X 2 | D8 X 2 | D10 X 2 | D10 X 2 | D12 X 2 | D12 X 2 |




* END BOTTOM DOWEL BAR : D13@600
* NA TYPE = LATTICE BAR : ø5
* NAa TYPE = LATTICE BAR : ø6
* NAb TYPE = LATTICE BAR : ø7

fck= 24 Mpa : 콘크리트 강도
fy= 500 Mpa : 상,하단 철선
fy= 500 Mpa : 배력근 (DISTRIBUTING BAR)
fy= 500 Mpa : 상,하단 보강근 (ADDITIONAL RE-BAR)

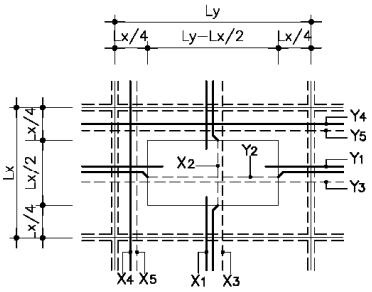
| SLAB NAME | DECK TYPE | SLAB THK (mm) | LATTICE BAR | 배력근 | | 상부 연결근 | 상부 보강근 | 하부 보강근 | CAMBER | 동바리 유,무 | 비고 SPAN 상부피복 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 상부 | 하부 | 하부 연결근 | | | | | |
| 2-R DS1 | NA2 | 150 | Φ5 | HD10@290 | - | HD13@200<br>HD13@600 | - | - | L/200 | - | 4.00 m<br>2.0cm |

- RC Slab List

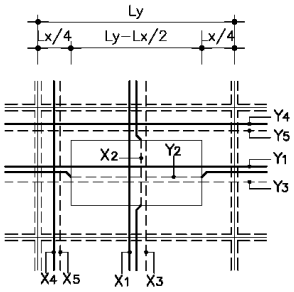
**Slab List** fck= 24 N/mm², D130이하 SD500(fy= 500 N/mm²), D16이상 SD600(fy= 600 N/mm²)

*** TYPE A** (1방향 SLAB. Ly>2Lx)

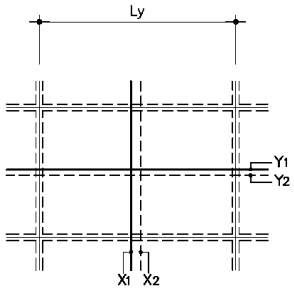
TYPE "A"



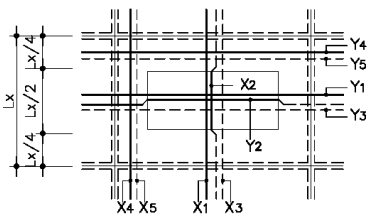

TYPE "B"



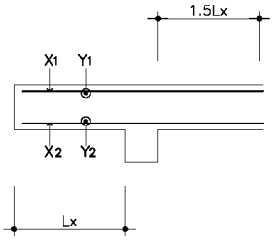

TYPE "C"




TYPE "D"




TYPE "E"




REMARK

——— : TOP BAR

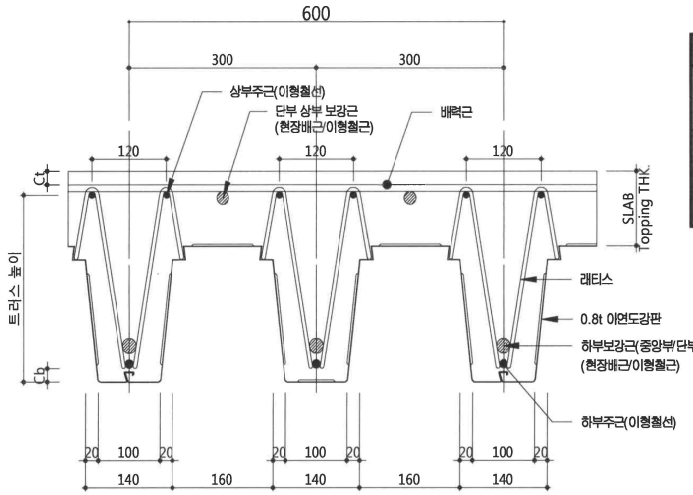
– – – – – – : BOTTOM BAR

| NAME | TYPE | THK | 단 변(X) | | | | | 장 변(Y) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | Y1 | Y2 | Y3 | Y4 | Y5 |
| 2-R DS1 | A | 150 | SHD10 @350 | SHD10 @350 | SHD10 @350 | SHD10 @250 | SHD10 @250 | SHD10 @550 | SHD10 @550 | SHD10 @550 | SHD10 @300 | SHD10 @300 |

# D-DECK SLAB LIST(철선트러스형)

**프 로 젝 트 명 :** -

**< D - Deck 형상 >**




Ct : 상부 피복두께(배력근 기준)
Cb : 하부 피복두께(하부주근 기준)

**< D - Deck Type >**

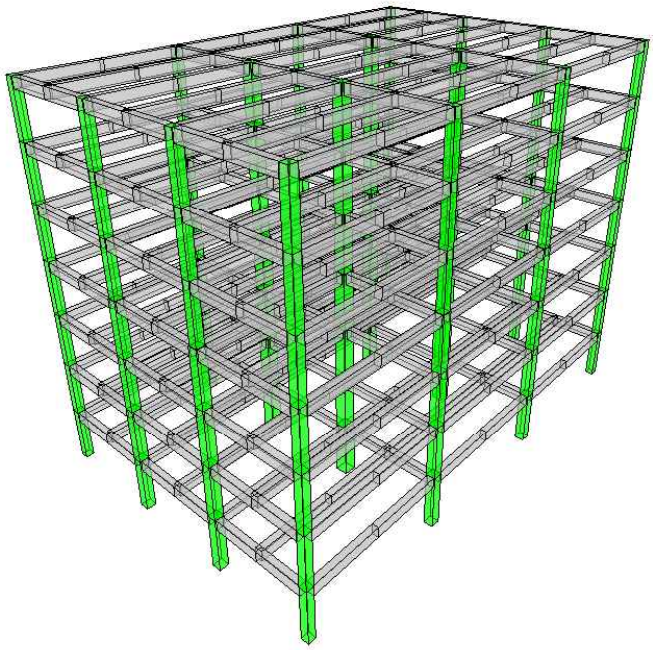
| TYPE | DL5-110 | DL6-110 | DL5-160 | DL6-160 |
|---|---|---|---|---|
| 상부주근 | 4 - D10 | 4 - D10 | 4 - D10 | 4 - D10 |
| 하부주근 | 2 - D13 | 2 - D13 | 2 - D13 | 2 - D13 |
| 트러스 높이 | 255 | 255 | 305 | 305 |
| 래티스 | ø5 | ø6 | ø5 | ø6 |
| Slab Topping THK. | 110 | 110 | 160 | 160 |

| [ 재료강도 설명 ] |
|---|
| fck : 콘크리트 설계압축강도 |
| fy1 : 이형철선 항복강도(상·하부 주근) |
| fy2 : 상부보강근 항복강도(단부 상부 보강근/현장배근) |
| fy3 : 하부보강근 항복강도(하부 보강근/현장배근) |
| fyL : 래티스 항복강도 |

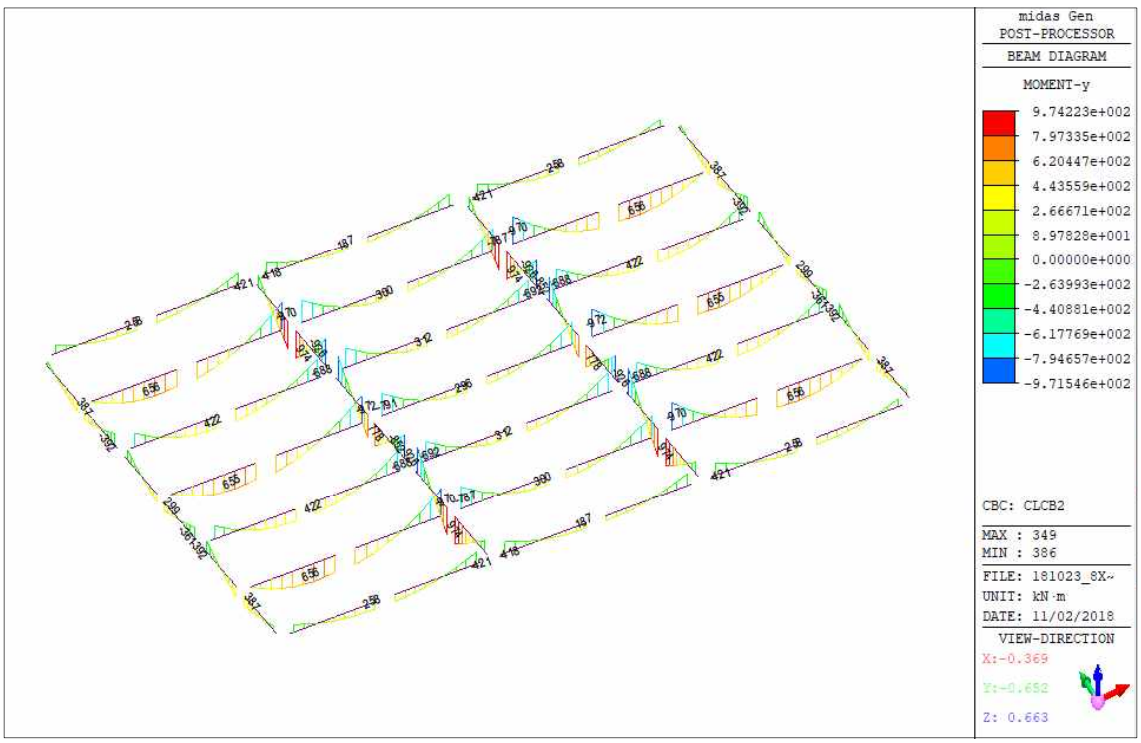
| SLAB NAME | 재료강도 (MPa) fck | fy1 | fy2 | fy3 | fyL | SLAB Topping THK. (mm) | DECK TYPE | 래티스 (mm) | 피복두께 상부피복 / 하부피복 (mm) | 주근 상부주근 / 하부주근 (mm) | 보강근 단부상부보강근 / 단부하부보강근 (mm) | 보강근 중앙부상부보강근 / 중앙부하부보강근 (mm) | 배력근 상부배력근 / 하부배력근 (mm) | 시공시 처짐제어 CAMBER / SUPPORT | 비고 (순경간) / (동바리간격) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| DDS1 | 24 | 500 | 500 | 500 | 500 | 110 | DL6-110 | ø6 | 30 | 4-D10 | D13@200 | - | D10@200 | 미설치 | Ln = 7000mm |
| | | | | | | | | | 35 | 2-D13 | D10@600 | - | - | 동바리 설치 | (2열 @600) |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |

2) 구조해석결과 및 배근도

- ALT1 : 기본모듈, 8m × 12m (일반 트러스 Deck Slab & One way RC Slab)

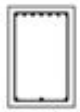
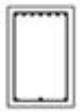


**Perspective of Analysis Model For ALT1**

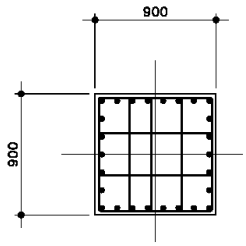
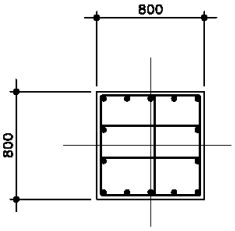
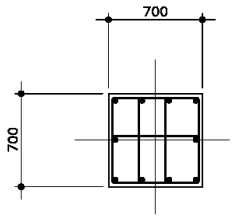
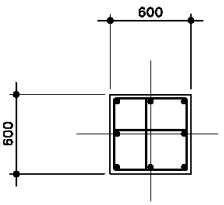
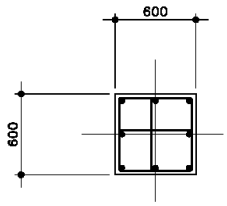



**Bending Moment Diagram for ALT1**

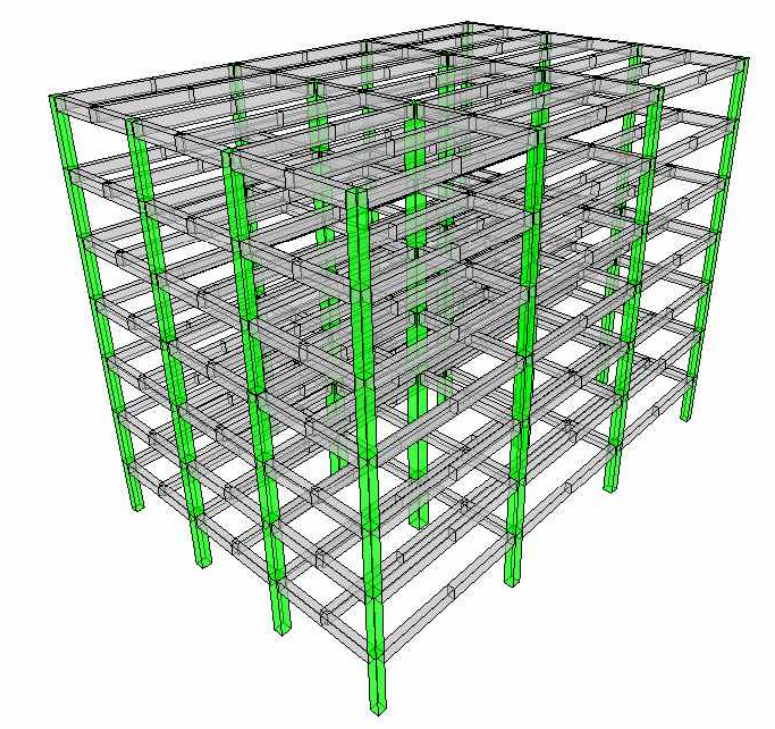
ALT 1 : 기본모듈 – 8.0m X 12.0m(일반 트러스 Deck Slab & One Way RC Slab)

| 부 호 | 2~6B1 | | | 2-6B2 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 형 태 |  |  |  |  |  | | | | |
| | EXT. END | CENTER | B2 END | BOTH END | CENTER | | | | |
| 크 기 | 500 X 800 | | | 500 X 800 | | | | | |
| TOP BAR | 3 – UHD19 | 3 – UHD19 | 11 – UHD19 | 11 – UHD19 | 3 – UHD19 | | | | |
| BOTTOM BAR | 5 – UHD19 | 7 – UHD19 | 3 – UHD19 | 3 – UHD19 | 4 – UHD19 | | | | |
| STIRRUP | SHD10 @ 250 | SHD10 @ 250 | SHD10 @ 150 | SHD10 @ 200 | SHD10 @ 300 | | | | |
| 부 호 | 2-6G1/G2 | | | 2-6G3 | | | 2-6G4 | | |
| 형 태 |  |  | |  |  |  |  |  | |
| | BOTH END | CENTER | | EXT. END | CENTER | G4 END | BOTH END | CENTER | |
| 크 기 | 500 X 800 | | | 500 X 800 | | | 500 X 800 | | |
| TOP BAR | 5 – UHD19 | 3 – UHD19 | | 5 – UHD19 | 3 – UHD19 | 7 – UHD19 | 7 – UHD19 | 3 – UHD19 | |
| BOTTOM BAR | 3 – UHD19 | 4 – UHD19 | | 3 – UHD19 | 5 – UHD19 | 3 – UHD19 | 3 – UHD19 | 4 – UHD19 | |
| STIRRUP | SHD10 @ 300 | SHD10 @ 300 | | SHD10 @ 200 | SHD10 @ 300 | SHD10 @ 200 | SHD10 @ 200 | SHD10 @ 300 | |
| 부 호 | 2-6G5/G6 | | | 2-6G7 | | | 2-6G8 | | |
| 형 태 |  |  | |  |  |  |  |  | |
| | BOTH END | CENTER | | EXT. END | CENTER | G8 END | BOTH END | CENTER | |
| 크 기 | 500 X 800 | | | 500 X 800 | | | 500 X 800 | | |
| TOP BAR | 4 – UHD19 | 3 – UHD19 | | 4 – UHD19 | 3 – UHD19 | 11 – UHD19 | 9 – UHD19 | 3 – UHD19 | |
| BOTTOM BAR | 3 – UHD19 | 4 – UHD19 | | 3 – UHD19 | 11 – UHD19 | 3 – UHD19 | 3 – UHD19 | 9 – UHD19 | |
| STIRRUP | SHD10 @ 300 | SHD10 @ 300 | | SHD10 @ 100 | SHD10 @ 100 | SHD10 @ 100 | SHD10 @ 125 | SHD10 @ 125 | |

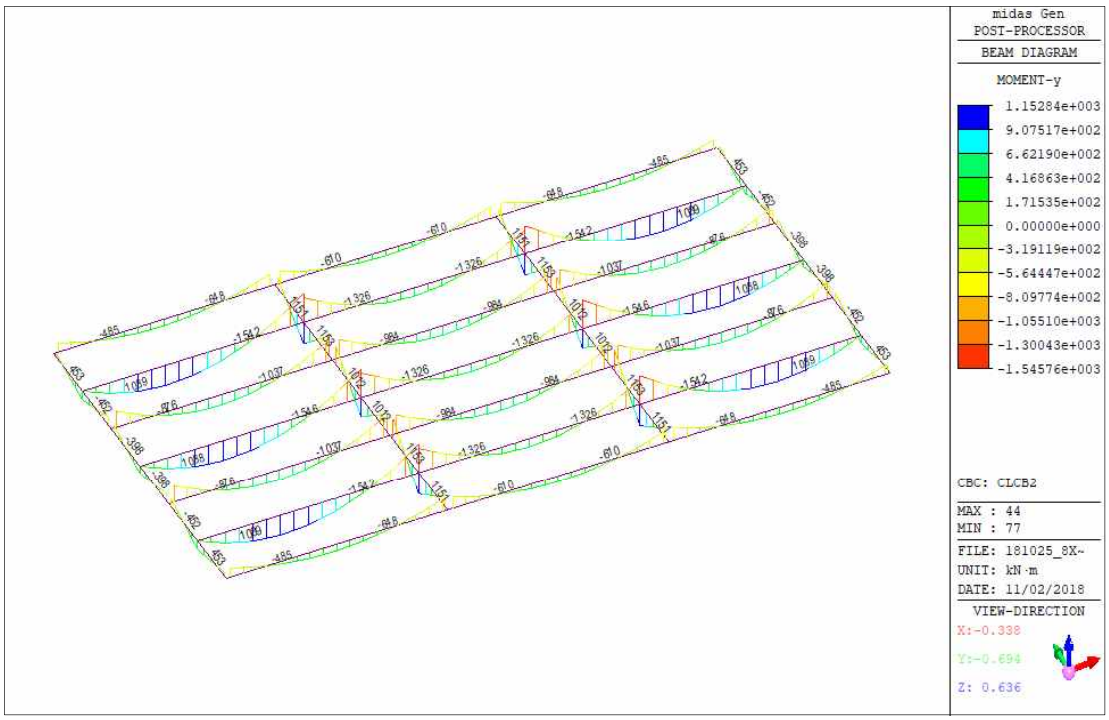
ALT1 : 기본모듈 – 8.0m X 12.0m(일반 트러스  Deck Slab & One Way RC Slab)

| 부 호 | C1 | |
|---|---|---|
| 층 별 | 1F ~ 4F | 5F ~ 7F |
| 형 태 |  |  |
| 주 근 | 26–UHD25 | 14–UHD25 |
| 대 근 | SHD10@300 | SHD10@300 |
| 부 호 | C2, C3 | |
| 층 별 | 1F ~ 4F | 5F ~ 7F |
| 형 태 |  |  |
| 주 근 | 10–UHD25 | 8–UHD25 |
| 대 근 | SHD10@300 | SHD10@250 |
| 부 호 | C4 | |
| 층 별 | 1F ~ 7F | |
| 형 태 |  | |
| 주 근 | 8–UHD25 | |
| 대 근 | SHD10@250 | |

- ALT 2 : 기본모듈, 8m × 15m (일반 트러스 Deck Slab & One way RC Slab)



**Perspective of Analysis Model For ALT2**




**Bending Moment Diagram for ALT2**

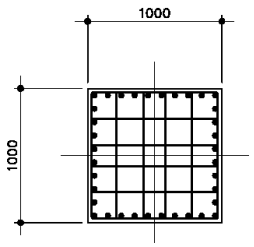
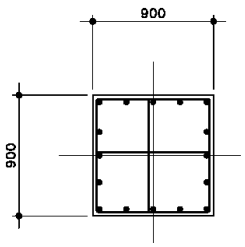
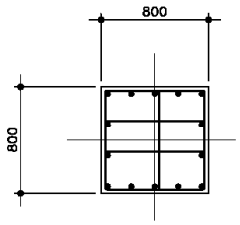
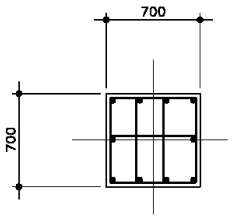
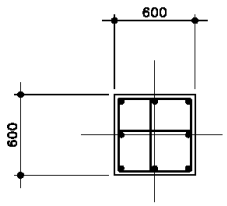
ALT 2 : 기본모듈 – 8.0m X 15.0m(일반 트러스 Deck Slab & One Way RC Slab)

| 부 호 | 2~6B1 (X : SIDE BAR SHD10@200) | | | 2-6B2 (X : SIDE BAR SHD10@200) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 형 태 |  |  |  |  |  | |
| | EXT. END | CENTER | B2 END | BOTH END | CENTER | |
| 크 기 | 500 X 1,000 | | | 500 X 1,000 | | |
| TOP BAR | 3 – UHD19 | 3 – UHD19 | 14 – UHD19 | 14 – UHD19 | 3 – UHD19 | |
| BOTTOM BAR | 7 – UHD19 | 9 – UHD19 | 3 – UHD19 | 3 – UHD19 | 5 – UHD19 | |
| STIRRUP | SHD10 @ 250 | SHD10 @ 250 | SHD10 @ 150 | SHD10 @ 200 | SHD10 @ 300 | |

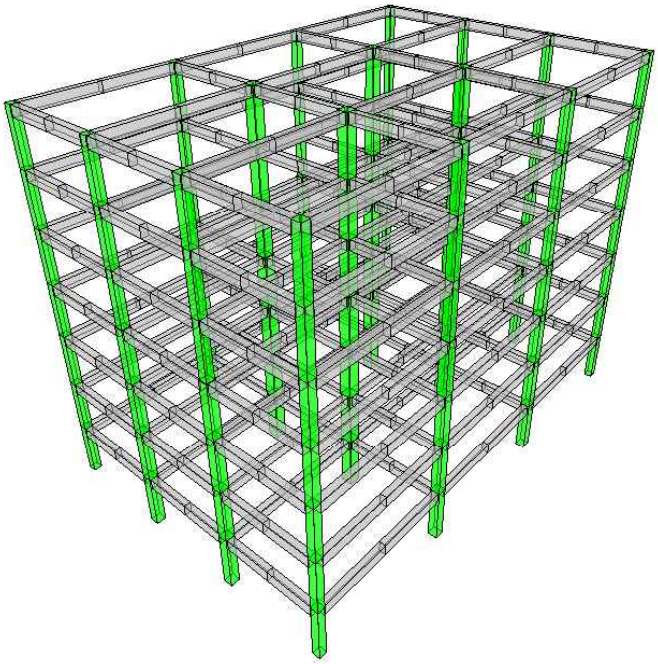
| 부 호 | 2-6G1/G2 | | | 2-6G3 | | | 2-6G4 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 형 태 |  |  | |  |  |  |  |  | |
| | BOTH END | CENTER | | EXT. END | CENTER | G4 END | BOTH END | CENTER | |
| 크 기 | 500 X 800 | | | 500 X 800 | | | 500 X 800 | | |
| TOP BAR | 7 – UHD19 | 3 – UHD19 | | 10 – UHD19 | 3 – UHD19 | 12 – UHD19 | 11 – UHD19 | 3 – UHD19 | |
| BOTTOM BAR | 3 – UHD19 | 4 – UHD19 | | 3 – UHD19 | 6 – UHD19 | 3 – UHD19 | 3 – UHD19 | 6 – UHD19 | |
| STIRRUP | SHD10 @ 300 | SHD10 @ 300 | | SHD10 @ 150 | SHD10 @ 250 | SHD10 @ 150 | SHD10 @ 150 | SHD10 @ 250 | |

| 부 호 | 2-6G5/G6 (X : SIDE BAR SHD10@200) | | | 2-6G7 (X : SIDE BAR SHD10@200) | | | 2-6G8 (X : SIDE BAR SHD10@200) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 형 태 |  |  | |  |  |  |  |  | |
| | BOTH END | CENTER | | EXT. END | CENTER | G8 END | BOTH END | CENTER | |
| 크 기 | 500 X 1,000 | | | 500 X 1,000 | | | 500 X 1,000 | | |
| TOP BAR | 5 – UHD19 | 3 – UHD19 | | 5 – UHD19 | 3 – UHD19 | 11 – UHD19 | 9 – UHD19 | 3 – UHD19 | |
| BOTTOM BAR | 3 – UHD19 | 5 – UHD19 | | 3 – UHD19 | 11 – UHD19 | 3 – UHD19 | 3 – UHD19 | 9 – UHD19 | |
| STIRRUP | SHD10 @ 300 | SHD10 @ 300 | | SHD10 @ 100 | SHD10 @ 100 | SHD10 @ 100 | SHD10 @ 150 | SHD10 @ 150 | |

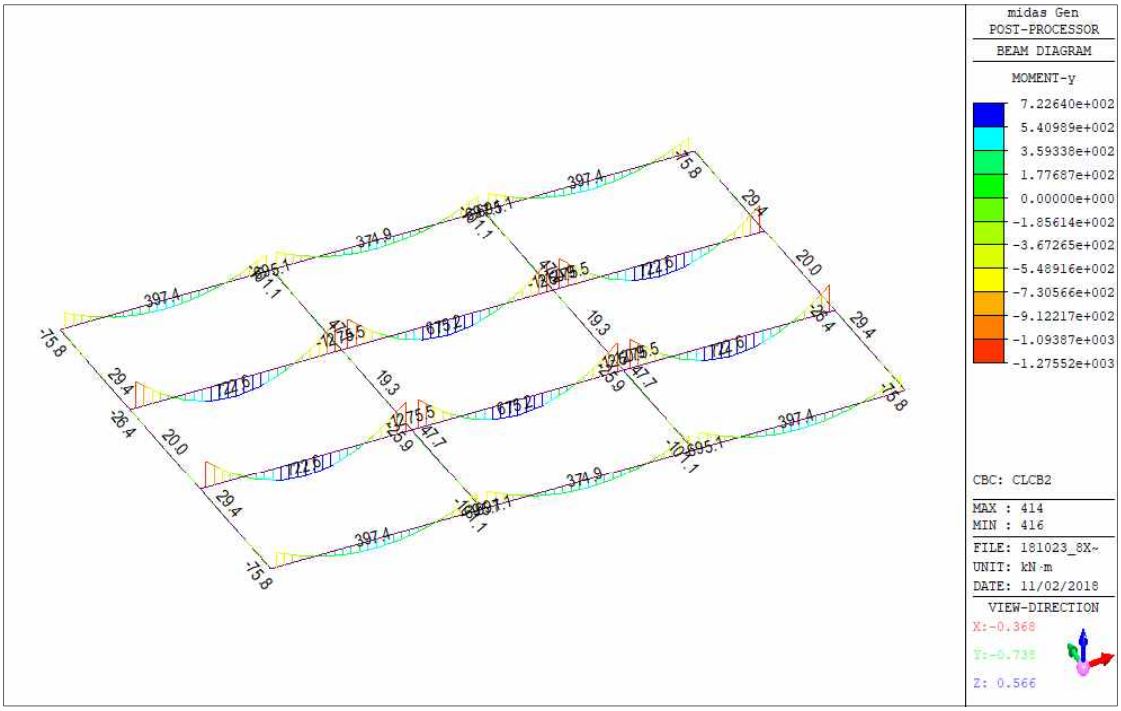
ALT2 : 기본모듈 – 8.0m X 15.0m(일반 트러스  Deck Slab & One Way RC Slab)

| 부 호 | C1 | |
|---|---|---|
| 층 별 | 1F ~ 4F | 5F ~ 7F |
| 형 태 |  |  |
| 주 근 | 36–UHD25 | 16–UHD25 |
| 대 근 | SHD10@300 | SHD10@300 |
| 부 호 | C2, C3 | |
| 층 별 | 1F ~ 4F | 5F ~ 7F |
| 형 태 |  |  |
| 주 근 | 14–UHD25 | 10–UHD25 |
| 대 근 | SHD10@300 | SHD10@300 |
| 부 호 | C4 | |
| 층 별 | 1F ~ 7F | |
| 형 태 |  | |
| 주 근 | 8–UHD25 | |
| 대 근 | SHD10@250 | |

- ALT 3 : 기본모듈, 8m × 12m (D Deck Slab)



**Perspective of Analysis Model For ALT3**

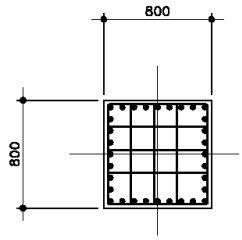
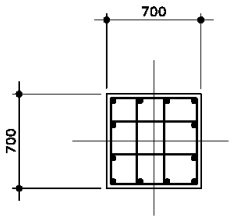
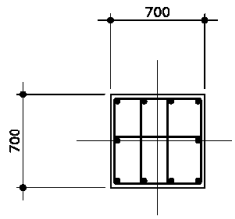
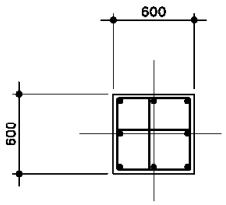
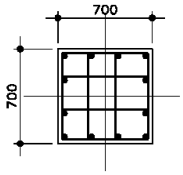
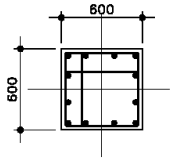
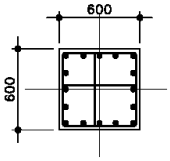



**Bending Moment Diagram for ALT3**

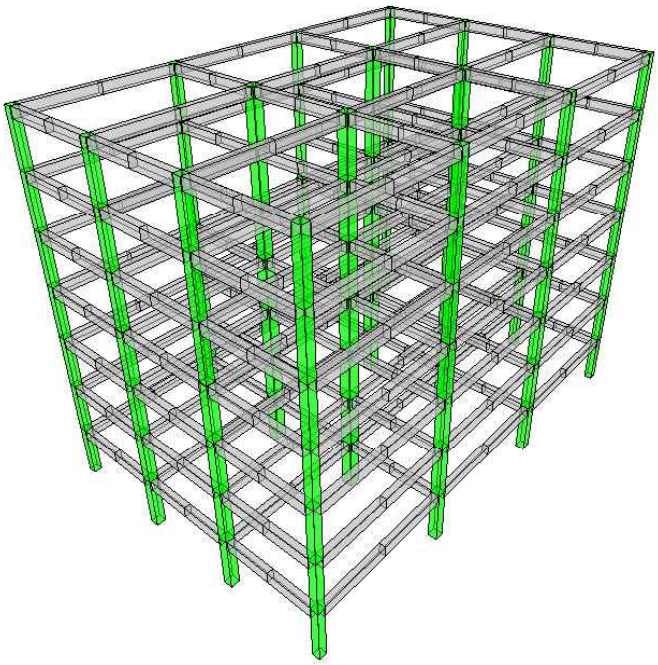
ALT 3 : 기본모델 - 8.0m X 12.0m(D Deck Slab)

| 부 호 | 2~6G1 / 2~6G2 | | | 2~6G3/2~6G4 | | | 2~6G5,G6,G7,G8 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 형 태 | BOTH. END | CENTER | | BOTH END | CENTER | | ALL SECTION | | |
| 크 기 | 500 X 800 | | | 500 X 800 | | | 300 X 800 | | |
| TOP BAR | 7 - UHD19 | 3 - UHD19 | | 14 - UHD19 | 3 - UHD19 | | 3 - UHD19 | | |
| BOTTOM BAR | 3 - UHD19 | 5 - UHD19 | | 3 - UHD19 | 9 - UHD19 | | 3 - UHD19 | | |
| STIRRUP | SHD10 @ 200 | SHD10 @ 300 | | SHD13 @ 125 | SHD13 @ 250 | | SHD10 @ 300 | | |
| 부 호 | | | | | | | | | |
| 형 태 | | | | | | | | | |
| 크 기 | | | | | | | | | |
| TOP BAR | | | | | | | | | |
| BOTTOM BAR | | | | | | | | | |
| STIRRUP | | | | | | | | | |
| 부 호 | | | | | | | | | |
| 형 태 | | | | | | | | | |
| 크 기 | | | | | | | | | |
| TOP BAR | | | | | | | | | |
| BOTTOM BAR | | | | | | | | | |
| STIRRUP | | | | | | | | | |

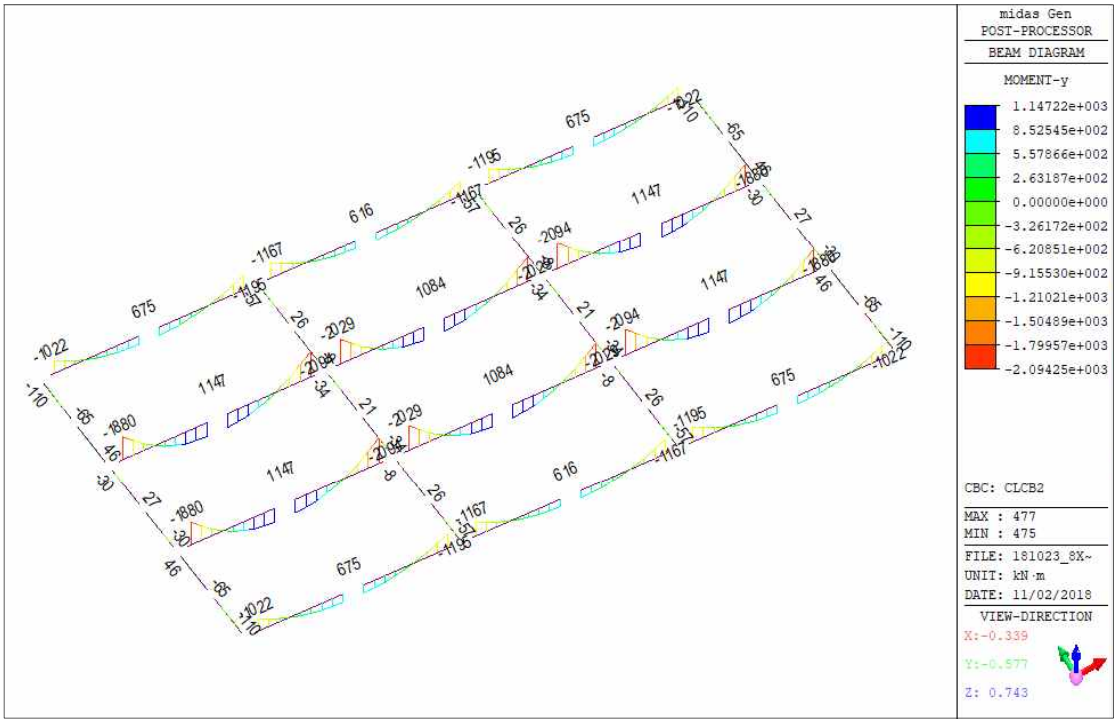
ALT3 : 기본모듈 – 8.0m X 12.0m(D Deck Slab)

| 부 호 | C1 | | |
|---|---|---|---|
| 층 별 | 1F ~ 4F | 5F ~ 7F | |
| 형 태 |  |  | |
| 주 근 | 32–UHD25 | 12–UHD25 | |
| 대 근 | SHD10@300 | SHD10@300 | |
| 부 호 | C2 / 1F~7F C4 | | |
| 층 별 | 1F ~ 4F C2 | 5F ~ 7F C2 / 1F~7F C4 | |
| 형 태 |  |  | |
| 주 근 | 10–UHD25 | 8–UHD25 | |
| 대 근 | SHD10@300 | SHD10@250 | |
| 부 호 | C3 | | |
| 층 별 | 1F ~ 4F | 5F ~ 6F | 5F ~ 6F |
| 형 태 |  |  |  |
| 주 근 | 12–UHD25 | 12–UHD25 | 16–UHD25 |
| 대 근 | SHD10@300 | SHD10@250 | SHD10@250 |

- ALT 4 : 기본모듈, 8m × 15m (D Deck Slab)



**Perspective of Analysis Model For ALT4**

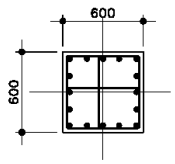
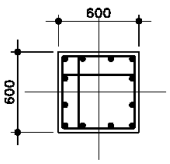



**Bending Moment Diagram for ALT4**

ALT 4 : 기본모델 - 8.0m X 15.0m(D Deck Slab)

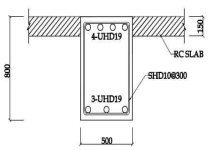
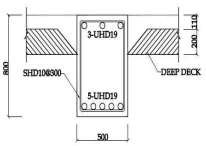
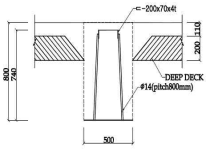
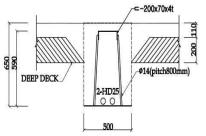
| 부 호 | 2~6G1 / 2~6G2 (X : SIDE BAR SHD10@200) | | | 2~6G3/2~6G4 (X : SIDE BAR SHD10@200) | | | 2~6G5,G6,G7,G8 (X : SIDE BAR SHD10@200) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 형 태 |  EXT. END |  CENTER | |  BOTH END |  CENTER | |  ALL SECTION | | |
| 크 기 | 500 X 1,000 | | | 600 X 1,000 | | | 300 X 1,000 | | |
| TOP BAR | 8 - UHD22 | 3 - UHD22 | | 14 - UHD22 | 3 - UHD22 | | 3 - UHD22 | | |
| BOTTOM BAR | 3 - UHD22 | 5 - UHD22 | | 3 - UHD22 | 8 - UHD22 | | 3 - UHD22 | | |
| STIRRUP | SHD10 @ 200 | SHD10 @ 300 | | SHD13 @ 150 | SHD13 @ 250 | | SHD10 @ 300 | | |
| 부 호 | | | | | | | | | |
| 형 태 | | | | | | | | | |
| 크 기 | | | | | | | | | |
| TOP BAR | | | | | | | | | |
| BOTTOM BAR | | | | | | | | | |
| STIRRUP | | | | | | | | | |
| 부 호 | | | | | | | | | |
| 형 태 | | | | | | | | | |
| 크 기 | | | | | | | | | |
| TOP BAR | | | | | | | | | |
| BOTTOM BAR | | | | | | | | | |
| STIRRUP | | | | | | | | | |

ALT4 : 기본모델 – 8.0m X 15.0m(D Deck Slab)

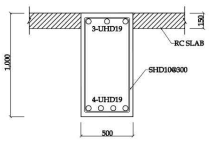
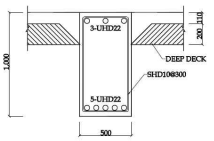
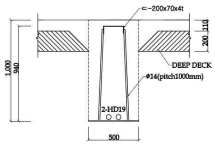
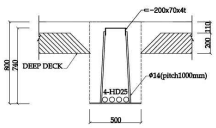
| 부 호 | C1 | |
|---|---|---|
| 층 별 | 1F ~ 4F | 5F ~ 7F |
| 형 태 |  |  |
| 주 근 | 16–UHD25 | 12–UHD25 |
| 대 근 | SHD10@250 | SHD10@250 |
| 부 호 | | |
| 층 별 | | |
| 형 태 | | |
| 주 근 | | |
| 대 근 | | |
| 부 호 | | |
| 층 별 | | |
| 형 태 | | |
| 주 근 | | |
| 대 근 | | |

## ㉮ 중·저층 건축물의 기본 모듈 분석 결과

1) 기본 모듈 : 8m × 12m

| | | ALT 1 | ALT 3 | UT(1) | UT(2) |
|---|---|---|---|---|---|
| 기본 모듈 | | 8m × 12m | 8m × 12m | 8m × 12m | 8m × 12m |
| 보 단면 형상 | |  |  |  |  |
| 슬래브 | Type | 일반 RC Slab | D Deck Slab<br>Topping 110mm | D Deck Slab<br>Topping 110mm | D Deck Slab<br>Topping 110mm |
| | THK | 150mm | 310mm | 310mm | 310mm |
| 큰보 G1 | Size | 500×800<br>($M_n$=974kN-m) | 500×800<br>($M_n$=723kN-m) | 500×800<br>($M_n$=749kN-m) | 500×650<br>($M_n$=769kN-m) |
| | Top | 4-UHD19<br>($A_s'$=1,134mm$^2$) | 3-UHD19<br>($A_s'$=850mm$^2$) | ⊏-200×70×4t<br>($A_s'$=1,360mm$^2$) | ⊏-200×70×4t<br>($A_s'$=1,360mm$^2$) |
| | Bot. | 3-UHD19<br>($A_s$=850mm$^2$) | 5-UHD19<br>($A_s$=1,471mm$^2$) | PL-500×6t<br>($A_s$=3,000mm$^2$) | PL-500×6t<br>2-HD25<br>($A_s$=3,982mm$^2$) |
| | Stir. | SHD10@300 | SHD10@300 | 2-D14@800 | 2-D14@800 |
| 작은보 B1 | Size | 500×800 | - | - | - |
| | Top | 3-UHD19 | - | - | - |
| | Bot. | 7-UHD19 | - | - | - |
| | Stir. | SHD10@250 | - | - | - |
| 기둥 C1 | Size | 900×900 | 800×800 | 800×800 | 800×800 |
| | Main bar | 26-UHD25 | 32-UHD25 | 32-UHD25 | 32-UHD25 |
| | Hoop | SHD10@300 | SHD10@300 | SHD10@300 | SHD10@300 |

2) 기본 모듈 : 8m × 15m

| | | ALT 2 | ALT 4 | UT(1) | UT(2) |
|---|---|---|---|---|---|
| 기본 모듈 | | 8m × 15m | 8m × 15m | 8m × 15m | 8m × 15m |
| 보 단면 형상 | |  |  |  |  |
| 슬래브 | Type | 일반 RC Slab | D Deck Slab<br>Topping 110mm | D Deck Slab<br>Topping 110mm | D Deck Slab<br>Topping 110mm |
| | THK | 150mm | 310mm | 310mm | 310mm |
| 큰보 G1 | Size | 500×800<br>($M_n$=1153kN-m) | 500×1000<br>($M_n$=1147kN-m) | 500×1000<br>($M_n$=1137kN-m) | 500×800<br>($M_n$=1207kN-m) |
| | Top | 3-UHD19<br>($A_s'$=850mm$^2$) | 3-UHD22<br>($A_s'$=850mm$^2$) | ㄷ-200×70×4t<br>($A_s'$=1360mm$^2$) | ㄷ-200×70×4t<br>($A_s'$=1360mm$^2$) |
| | Bot. | 4-UHD19<br>($A_s$=1,134mm$^2$) | 5-UHD22<br>($A_s$=1,471mm$^2$) | PL-500×6t<br>2-HD19<br>($A_s$=3,567mm$^2$) | PL-500×6t<br>4-HD25<br>($A_s$=4,960mm$^2$) |
| | Stir. | SHD10@300 | SHD10@300 | 2-D14@1000 | 2-D14@1000 |
| 작은보 B1 | Size | 500×1000 | - | - | - |
| | Top | 3-UHD19 | - | - | - |
| | Bot. | 9-UHD19 | - | - | - |
| | Stir. | SHD10@250 | - | - | - |
| 기둥 C1 | Size | 1000×1000 | 900×900 | 900×900 | 900×900 |
| | Main bar | 36-UHD25 | 36-UHD25 | 36-UHD25 | 36-UHD25 |
| | Hoop | SHD10@300 | SHD10@300 | SHD10@300 | SHD10@300 |

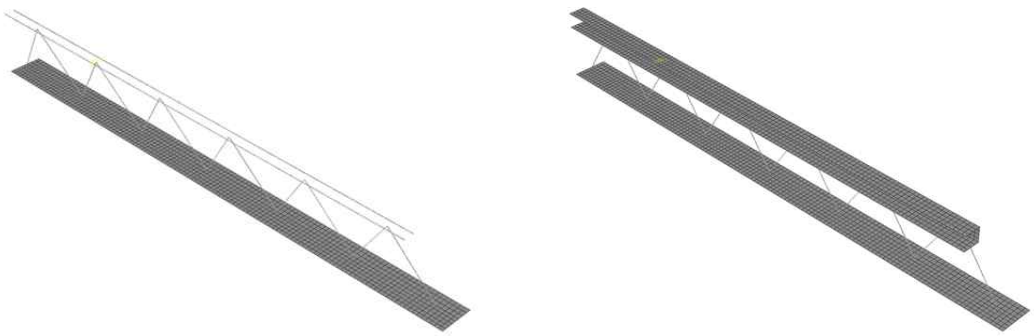
## (나) 선조립체에 대한 유한요소해석

### ① 유한요소해석 연구 개요

- U-flanged Truss 보의 거동 및 좌굴 발생 경향을 평가하기 위하여 기본 실험체를 동일한 실험조건으로 모델링하여 거동을 살펴보고, 래티스 재 좌굴 발생 위치에 따른 보강 방안을 해석적으로 평가함
- 해석 프로그램은 범용 구조해석 프로그램인 ABAQUS 2017을 사용하였고, 해석 모델은 대칭성을 고려하여 1/4 분할 구조로 모델링하여 축대칭의 경계조건을 적용하였음

### ② 모델링 방법

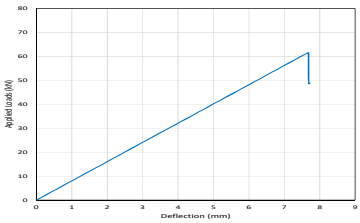
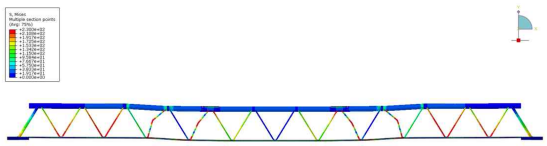
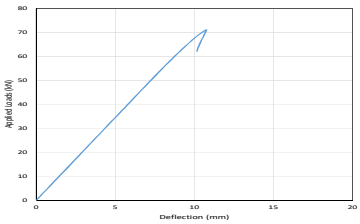
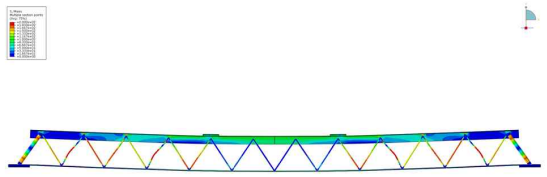
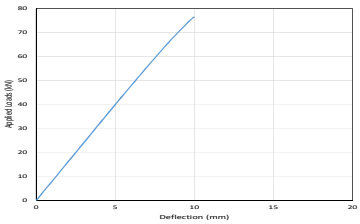
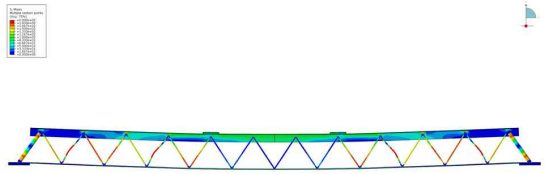
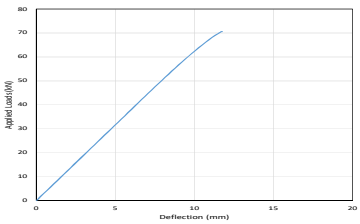
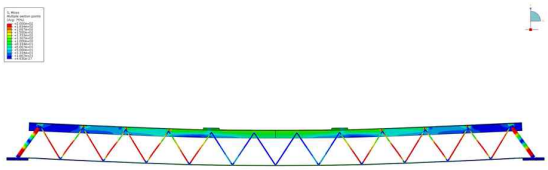
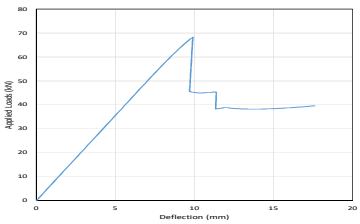
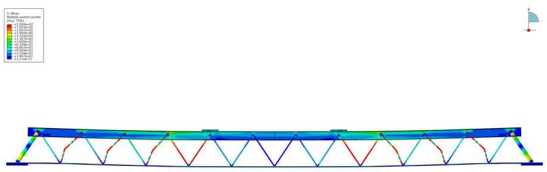
- 래티스 재 및 봉강 : 공간 2절점 선형 보요소 (B31 element)
- 강판 하현재 및 채널형 상현 : 공간 8절점 쉘요소 (5자유도, 감차적분 적용, S8R5 element)
- 래티스 재와 상·하현재의 용접부는 용접부에서 만나는 두 부재가 동일한 거동을 하도록 Multi-point constraints(MPC) 구속조건을 적용하였음



**<그림 2.3> 유한요소해석을 위한 해석모델**

### ③ 기본실험체에 유한요소해석

- 기본 실험체 5 종류 (UTB-01, UTB-02. UTB-03, UTB-04 및 UTB-05)에 대해 유한요소해석을 수행하였음. 단, UTB-05 실험체의 경우 채널형 보 상현재 내부를 콘크리트로 충전하였으나, 해석에서는 상현재의 콘크리트를 무시하고 사각형 폐단면의 튜브 형태로 모델링하였고 해석에서는 UTB-05B로 명칭하여 구분함.
- 기본 실험체에 대한 해석결과, 하중-변위 곡선과 변형 형상은 다음과 같고, 실험에서 계측한 파괴하중에 근접한 결과를 보임

| Model | 하중-변위 곡선 | 변형 형상 |
|---|---|---|
| UTB-01 |  |  |
| UTB-02 |  |  |
| UTB-03 |  |  |
| UTB-04 |  |  |
| UTB-05 |  |  |

**<그림 2.4> 유한요소해석결과**

- 해석결과

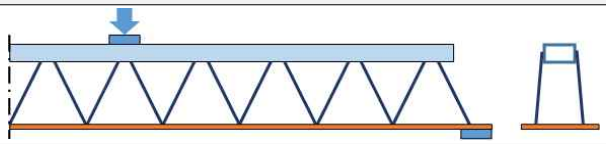
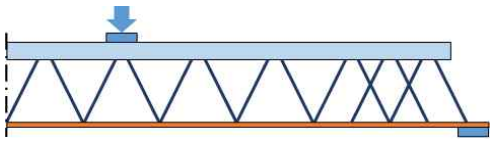
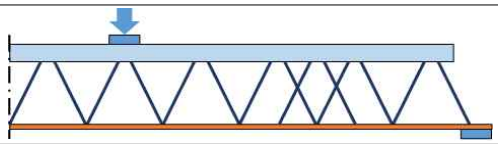
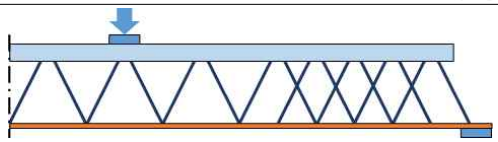
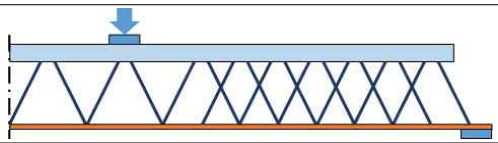
| 해석모델 | 실험 파괴하중 ($P_{exp}$, kN) | 해석파괴하중 ($P_{anal}$, kN) | 해석/실험 | UTB-01에 대한 하중비 |
|---|---|---|---|---|
| UTB-01 | 53.3 | 61.6 | 1.15 | - |
| UTB-02 | 74.7 | 71.2 | 0.95 | 1.16 |
| UTB-03 | 72.6 | 76.5 | 1.05 | 1.24 |
| UTB-04 | 78.1 | 70.7 | 0.90 | 1.15 |
| UTB-05 | 69.6 | 68.2 | 0.98 | 1.10 |

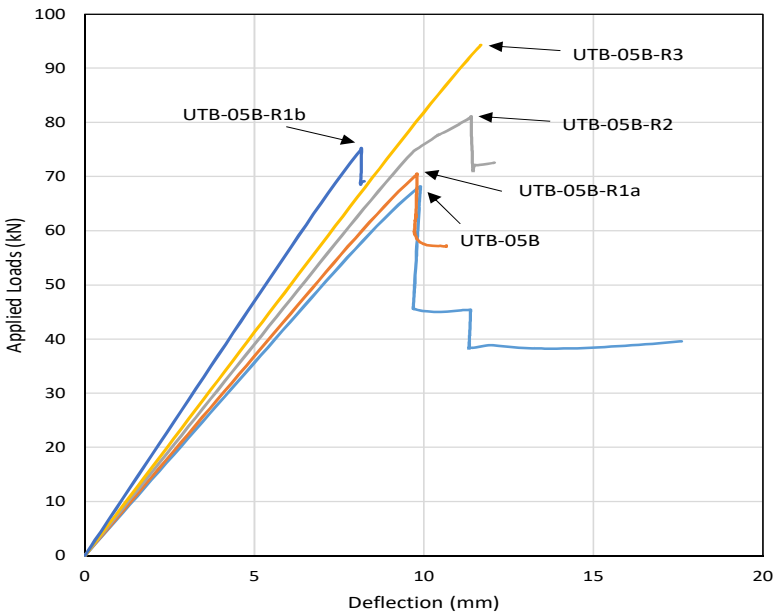
- 파괴 시 변형 형상을 살펴보면 상현재의 휨강성이 상대적으로 작고 유연할수록 가력점에 가까운 곳의 래티스재가 먼저 항복을 시작하여 지점 방향으로 래티스재의 좌굴이 진전되는 것으로 나타났고, 상현재의 강성이 클수록 단부 지점에 가까운 래티스재가 먼저 좌굴로 파괴되고 지점 방향으로 래티스재의 좌굴이 순차적으로 이동하는 경향을 보임
- 이러한 경향은 상현재와 하현재의 강성차이로 각 지점에서 모멘트에 대한 상·하현재간의 곡률이 차이를 보이고, 곡률차이가 큰 지점에서 래티스재의 좌굴이 시작되는 것으로 판단됨. 반면, 상현재 강성이 충분히 큰 경우에는 곡률이 크지 않으므로 지점 중앙부에서의 좌굴 변형은 눈에 띄게 나타나지 않고 단부지점 반력에 의한 국부 좌굴 영향이 크게 작용하는 것으로 판단됨.

### ④ 단부 래티스 부재 좌굴 보강 방안 검토

- 본 연구에서 제안하는 개선 구조는 상현재 강성이 충분히 크고 단부 지점 부근의 래티스재가 좌굴할 가능성이 크므로 이에 대한 보강 방안을 검토하기 위하여 단부 래티스 재를 추가로 교차 배치하여 보강하는 경우를 유한요소해석으로 검토하였음
- 기본실험체 해석 결과 중에서 단부 래티스재의 좌굴이 뚜렷하게 발생한 UTB-5B 모델을 기준으로 래티스 재를 추가 배치하는 경우를 모델링하였음
- 해석결과, 단부 래티스 재를 추가 배치함으로써 지점 반력에 의한 래티스 재의 좌굴이 방지되어 최대하중이 증가하였고, 보의 전체적인 강성도 증가하는 것으로 나타났음. 래티스 재를 3개 배치하면 보강하지 않은 경우에 비해 최대하중이 38% 증가하였음

- 특히, 래티스 재를 1개를 단부 끝단에 배치하는 경우(UTB-05B-R1a)에 최대하중이 약 3% 증가하였으나, 지점에서 1 pitch 떨어진 지점에 배치한 경우(UTB-05B-R1b)에는 최대하중이 10% 증가함과 동시에 보의 강성도 크게 증가하는 것으로 나타남.

| Model | 추가 래티스재 위치 | 비고 |
|---|---|---|
| UTB-05B |  | - |
| UTB-05B-R1a |  | 래티스재 1개 추가 |
| UTB-05B-R1b |  | 래티스재 1개 추가<br>(위치 변경) |
| UTB-05B-R2 |  | 래티스재 2개 추가 |
| UTB-05B-R3 |  | 래티스재 3개 추가 |

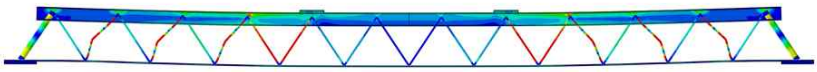
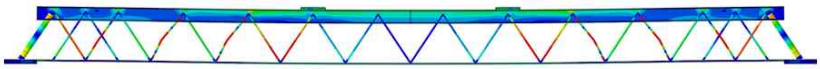
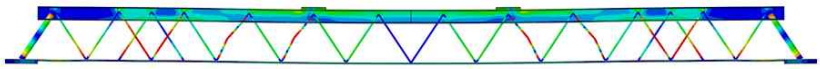
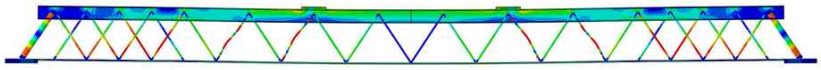
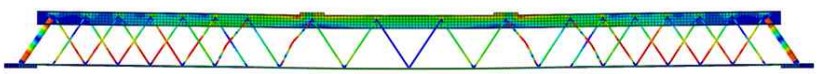



**<그림 2.5> 단부 래티스 부재 좌굴 보강에 대한 유한요소해석결과**

<표 2.9> 단부 래티스 보강 모델의 최대하중 비교

| 해석모델 | 파괴하중 (kN) | UTB-01에 대한 하중비 |
|---|---|---|
| UTB-05B | 68.2 | - |
| UTB-05B-R1a | 70.5 | 1.03 |
| UTB-05B-R1b | 75.3 | 1.10 |
| UTB-05B-R2 | 81.1 | 1.19 |
| UTB-05B-R3 | 94.3 | 1.38 |

- 파괴형상을 살펴보면, 단부 보강을 하지 않은 경우에는 단부 사재에 좌굴이 뚜렷하게 발생하지만 보강을 통해서 좌굴이 양상이 완화되고 중앙부 방향으로 좌굴이 진전되는 것을 알 수 있음

| Model | 파괴형상 |
|---|---|
| UTB-05B |  |
| UTB-05B-R1a |  |
| UTB-05B-R1b |  |
| UTB-05B-R2 |  |
| UTB-05B-R3 |  |

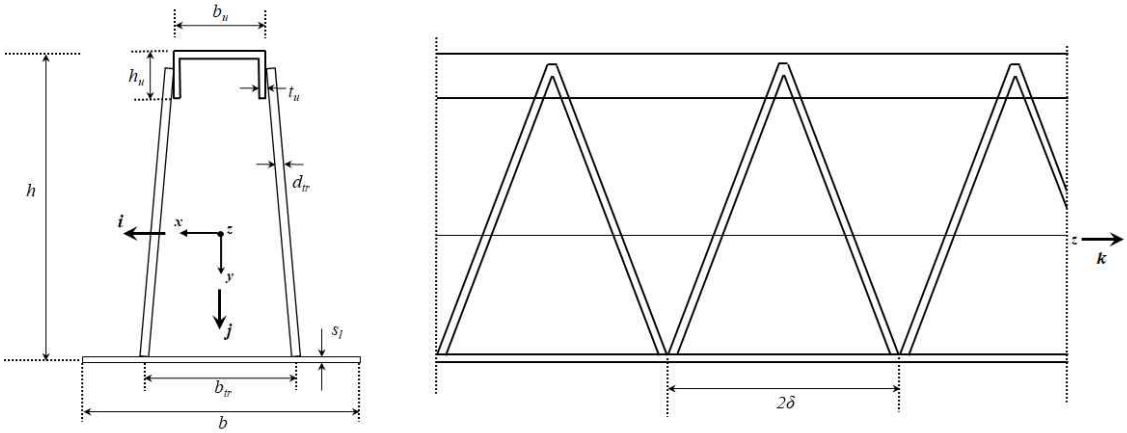
<그림 2.6> 유한요소해석결과에 의한 파괴형상

## (다) 선조립체(U-flanged Truss)의 기본형상 설계

### ① 선조립체의 횡-비틀림 좌굴 모멘트(Lateral-Torsional Buckling Resistance Moment)

**㉮ Beam Geometry**

- 시공단계에서 공칭 휨강도를 결정하기 위한 선조립체의 형상은 아래 그림과 같음.
- 상현재는 철판을 절곡하여 만들었고, 하부 판은 철판이며 사재는 상현재와 하부판을 강봉을 이용하여 용접 접합함.
- 사재의 크기는 직경이 $d_{tr}$인 강봉이고, 간격(p)은 일반적으로 200~600mm로 하는데 부재의 전체 길이에 $2\delta$로 동일한 것으로 가정함.
- 하부 판의 두께는 $s_l$로 나타내었음.




<그림 2.7> 선조립체의 기본 형상

**㉯ Calculation of the Design Lateral-Torsional Buckling Resistance Moment**

- Eurocode 3(2005) 기준식에 따라 산정
- 시공단계에서의 선조립체의 공칭휨강도, $M_{b,Rd}$ :

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{f_y}{\gamma_{M1}} W_{eff,y}$$

여기서, $\chi_{LT}$ = 횡-비틀림 좌굴 감소 계수; $f_y$ = 항복 강도; $\gamma_{M1}$ = 부분 안전 계수(= 1.05 for Italy).

유효단면계수, $W_{eff,y} = \min\{W_u, W_l\}$

상현재의 단면계수, $W_u = \chi A_u h$

여기서, $\chi$ = 좌굴 감소 계수, $A_u = b_u h_u - (b_u - 2t_u)(h_u - t_u)$ ; 상현재의 총단면적(mm$^2$)

하부 강판의 단면계수, $W_l = A_l h$

여기서, $A_l = bs_l$ ; 하부 강판의 단면적(mm$^2$)

상현재의 좌굴을 고려하기 위한 좌굴 감소 계수, $\chi$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \overline{\lambda^2}}} \leqq 1$$

여기서 $\phi = 0.50[1 + \alpha(\overline{\lambda} - 0.20) + \overline{\lambda^2}]$

$\overline{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$ ; $\lambda = \frac{2\delta}{r_{y,u}}$ ; $\lambda_1 = \pi\sqrt{\frac{E_s}{f_y}}$

$2\delta$ = 상현재의 좌굴길이; $r_{y,u}$ = 상현재의 단면2차반경(mm)

$E_s$ = 탄성계수

$\alpha$ = imperfection factor(= 0.49)

횡-비틀림 좌굴 감소 계수, $\chi_{LT}$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \overline{\lambda_{LT}^2}}} \leqq 1$$

여기서 $\phi_{LT} = 0.50[1 + \alpha_{LT}(\overline{\lambda_{LT}} - 0.20) + \overline{\lambda_{LT}^2}]$

$\overline{\lambda_{LT}} = \sqrt{\frac{W_{eff} f_y}{M_{cr}}}$ ; $\alpha_{LT}$ = imperfection factor(= 0.49)

- 시공단계에서의 선조립체의 공칭휨강도($M_{b,Rd}$)을 산정하기 위해서는 탄성좌굴 모멘트($M_{cr}$)를 산정해야 함.
- 탄성좌굴모멘트($M_{cr}$)의 제안식(G. Quaranta, 2011)

$$M_{cr} = \frac{\pi^2\left(-\Delta h E_s J_y + \sqrt{E_s J_y\left(4K_{T0}\frac{l^2}{\pi^2} + \Delta h^2 E_s J_y + 4K_{T1}\right)}\right)}{2l^2}$$

여기서 $\Delta h = \frac{h_u{}^2 - h_l{}^2}{h}$, $h_u = \frac{J_{ly}}{J_{ly} + J_{uy}^{eq}} h$, $h_l = \frac{J_{uy}^{eq}}{J_{ly} + J_{uy}^{eq}} h$

- Primary Torsional Stiffness, $K_{T0}$

$$K_{T0} = \frac{E_s}{\left[\frac{2}{\delta}\left(\frac{1}{b_{tr} n_y}\right)^2 \frac{l_{tr}}{A_{1,tr}} + \frac{\alpha_{l,b}}{h^2}\frac{2(1+\nu)}{b s_l}\right]}$$

$\alpha_{l,b} = 2$, $n_y = \pm\frac{h}{l_{tr}}$, $l_{tr} = \sqrt{\delta^2 + h^2}$

- Secondary Torsional Stiffness, $K_{T1}$

$$K_{T1} = \frac{E_s}{J_{uy}^{eq} + J_y} J_{uy}^{eq} J_{ly} h^2, \; J_y = J_{ly} + J_{uy}^{eq}, \; J_{ly} = \frac{s_l b^3}{12}$$

- Equivalent Inertia of the Upper Bars

$$J_{uy}^{eq} = \frac{J_{uy}}{1 + \left(\frac{\pi}{l}\right)^2\left(\frac{J_{uy}}{KV}\right)}, \; KV = 12\frac{J_{uy}}{(2\delta)^2}, \; J_{uy} = \frac{h_u b_u^3}{12} - \frac{(h_u - t_u)(b_u - 2t_u)^3}{12}$$

- 선조립체의 공칭휨강도는 상현재 및 사재의 강성에 큰 영향을 받는 것으로 분석되어, 상현재의 형상 변화 및 사재의 간격에 따른 공칭 휨강도의 변화를 실험적으로 검증하는 것이 필요함.

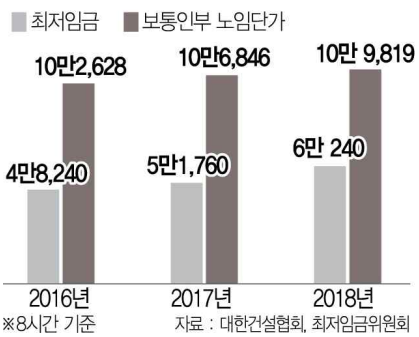
### ② 수평 구조부재의 시스템 분석

- 건축물의 수평부재는 평면적 공간을 확보해 주는 면부재 슬래브와 이를 지지하는 선부재 보로 구성됨
- 평면공간을 형성시키기 위해서는 콘크리트와 철근을 사용하여 구조체를 형성
- 시공 단계에 발생하는 자중, 타설 하중 및 작업하중을 견디도록 구현해야 함,
- 완공 후 사용하중과 지진이나 바람과 같은 특별하중 등에 안전하게 건축물이 유지되도록 건축구조기준(KBC 기준)의한 구조설계가 이루어짐.
- 국내에서 건축물을 구축하기 위해 사용되는 대표적인 바닥판 시공방법은,
  ㉮ 바닥거푸집+동바리를 활용한 현장타설 시공방법
  ㉯ 철선일체형데크+동바리를 활용한 트러스데크 현장타설시공방법
  ㉰ 골형 딥데크+동바리를 활용한 딥데크 현장타설시공방법

| 구분 | 현장거푸집 바닥시공 | 트러스근데크 바닥시공 | 딥 데크 바닥시공 |
|---|---|---|---|
| 재료 | 목재, 철재 거푸집, 동바리(필수) | 트러스데크, 동바리(필요≥3.5m) | 딥 데크, 동바리(필요≥5.0m) |
| 하중/지지 | 자중 : 콘크리트, 철근<br>작업하중 : 250kg/㎡<br>지지부재 : 거푸집판 + 동바리 | 자중 : 콘크리트, 철근<br>작업하중 : 250kg/㎡<br>지지부재 : 트러스데크 (+동바리) | 자중 : 콘크리트, 철근<br>작업하중 : 250kg/㎡<br>지지부재 : 딥 데크 (+동바리) |
| 개념도 |  |  |  |
| 특징 | 일반적 바닥공법<br>중소도시에서 활발히 적용<br>최근 노무비 25%이상 상승<br>▶노무비 증가, 공사기간 상승 | 일반적 바닥공법<br>다양한 대중소도시에서 적용<br>트러스데크 자재 비용 적절<br>▶노무비 적절, 공사기간 적절 | 2010년대 초 출현 시공방법<br>대도시에서 활발히 적용<br>딥데크 자재 비용 다소 고가<br>▶노무비 최소, 공사기간 최소 |

**[ 참고 자료 ]**

**건설업계 영도별 최저임금(인부) 노임단가(원)**
**(대한건설협회, 최저임금위원회, 2018.05.29발표)**



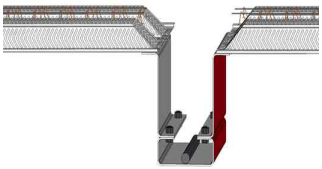

**2018 하반기 건설업 시중노임단가**
**(대한건설협회, 홈페이지, 2018.09.01 적용)**

Ⅲ. 개 별 직 종 노 임 단 가

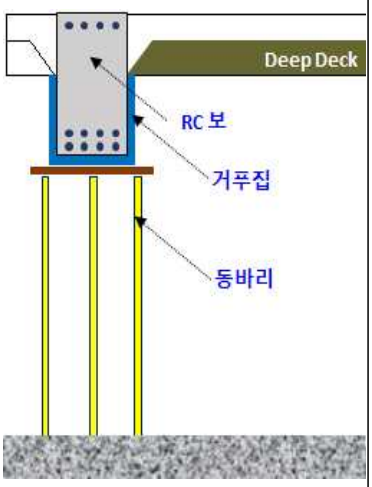
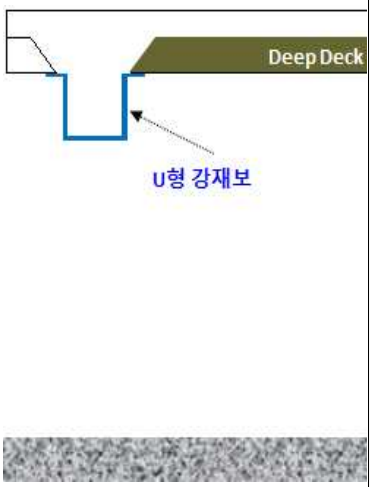
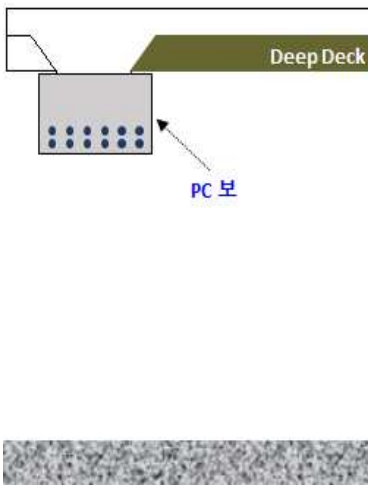
(단위 : 원)

| 번호 | 직종명 / 공표일 | 2018.9.1 | 2018.1.1 | 2017.9.1 | 2017.1.1 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1001 | 작업반장 | 145,013 | 137,535 | 132,631 | 128,126 |
| 1002 | 보통인부 | 118,130 | 109,819 | 106,846 | 102,628 |
| 1003 | 특별인부 | 141,507 | 133,417 | 127,391 | 123,074 |
| 1004 | 조력공 | 127,124 | 120,416 | 116,344 | 112,847 |
| 1005 | 제도사 | 153,608 | 144,980 | 138,832 | 132,819 |
| 1006 | 비계공 | 208,195 | 196,261 | 187,771 | 180,153 |
| 1007 | 형틀목공 | 197,929 | 189,303 | 179,290 | 174,036 |
| 1008 | 철근공 | 199,266 | 189,585 | 179,665 | 170,033 |
| 1009 | 철공 | 177,994 | 170,500 | 162,422 | 156,492 |
| 1010 | 철판공 | 160,892 | 153,766 | 148,955 | 143,643 |
| 1011 | 철골공 | 185,739 | 176,388 | 163,899 | 156,660 |

- 건축물의 시공 중 바닥판(시공방법)을 지지하기 위한 보의 대표적인 시공방법
  ① 거푸집(+동바리)를 활용한 거푸집 보 시공방법
  ② H형강이나 U형 강재를 활용한 강재 합성보 시공방법
  ③ PC보를 활용한 PC 보 시공방법
- 아래 그림은 딥 데크를 적용한 경우에 대해 상용되는 보를 비교 분석함.

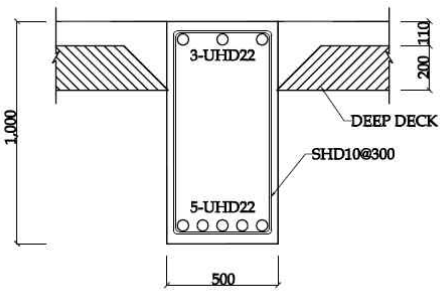
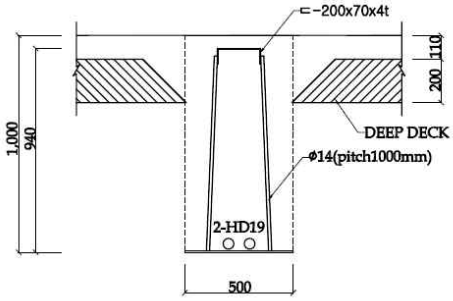
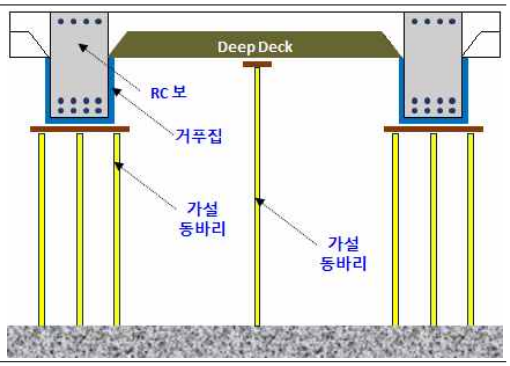
| 구분 | 거푸집 현장타설 RC보 | U형 강재 합성보 | PC 보 |
|---|---|---|---|
| 보 시공 | 목재&철재 거푸집 보, 동바리 | U형 합성보, 무동바리 | PC 보, 무동바리 |
| 바닥 재료 | 딥 데크 (Deep Metal Deck) | 딥 데크 (Deep Metal Deck) | 딥 데크 (Deep Metal Deck) |
| 하중 | 자중 : 콘크리트, 철근<br>작업하중 : 250kg/㎡ | 자중 : 콘크리트, 철근<br>작업하중 : 250kg/㎡ | 자중 : 콘크리트, 철근<br>작업하중 : 250kg/㎡ |
| 개념도 |  |  |  |
| 특징 | 동바리공정, 거푸집공정<br>데크공정, 철근조립/타설공정<br>비용↓,공기↑, 공사 효율성↓<br>품질관리, 형틀공 투입 | U강재보 제작/설치 공정<br>데크공정, 철근조립/타설공정<br>비용↑, 층고 효율성↓<br>강재단가, 제작/수급문제 | PC보 제작/양중 공정<br>데크공정, 철근조립/타설공정<br>비용↑, 공사 효율성↓<br>PC단가, 양중문제 |

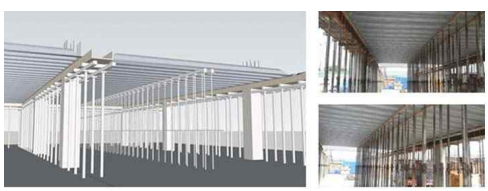
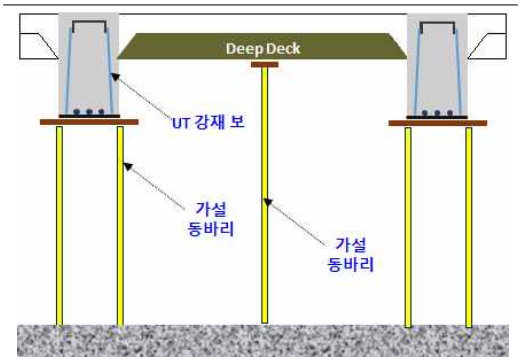
- 장스팬 Deep Deck를 보 공법에 적용 시 도출되는 인자

| [ 거푸집 현장타설 RC보 ] | [ U형 강재 합성보 ] | [ PC 보 ] |
|---|---|---|
|  |  |  |
| 보 거푸집 제작 시공이 곤란함<br>동바리 사용량이 많음<br>딥 데크 사용시 효과적임(가설재)<br>노출면의 유지관리가 요구됨 | 강재 사용량이 많음<br>시공 중 압축저항 단면요소 필요<br>딥 데크 사용시 효과적임<br>딥 데크의 지지플랜지 두께 요구 | PC 제작, 운반, 설치 비용 상승<br>보의 중량을 경량화 방안<br>딥 데크의 지점 고정 요구(결합)<br>노출면의 유지관리가 요구됨 |

### ③ 선조립체 강재 보의 선정

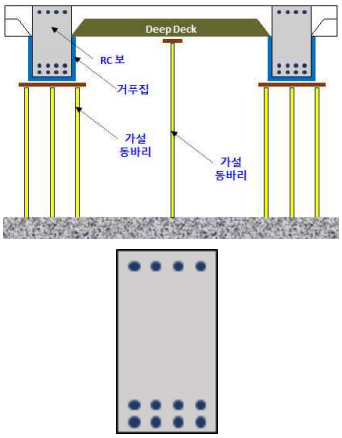
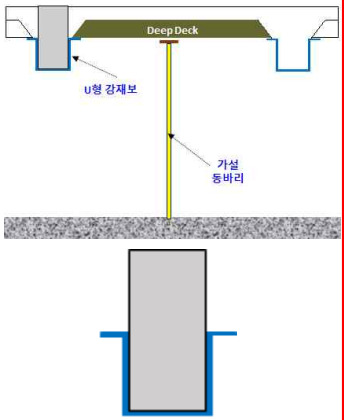
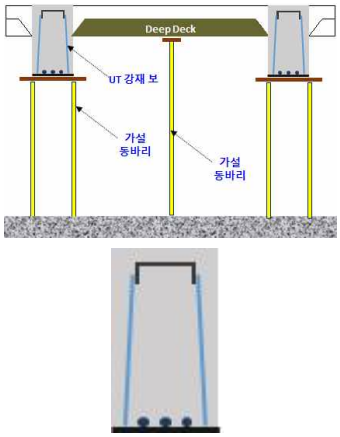
- 건축물의 시공단계에서 보 부재는 자중이나 타설하중, 작업하중을 지지하기 위해서는 큰 사이즈의 부재가 요구되지는 않음
- 대부분 바닥판을 시공하기 위해 설치되는 데크 자중과 작업하중 그리고 콘크리트 타설하중 등에 의해 보 부재가 시공 중에 요구되는 사용강도와 처짐 제한을 만족하기 위해 결정됨.
- 대표적인 RC 보를 통한 U-Flanged Truss Beam 도출

<table>
<tr><th>구분</th><th>현타 RC보<br>RC 보 + 딥 데크</th><th>UT 선조립 강재보<br>UT 강재보 + 딥 데크</th></tr>
<tr><td>구조단면</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td></td><td>상부요소 : 압축 철근 ▷ 시공 중 하중 지탱 못함</td><td>상부요소 : 성형U단면 ▷ 시공 중 압축지지</td></tr>
<tr><td></td><td>하부요소 : 인장 철근 ▷ 시공 중 하중 지탱 못함</td><td>하부요소 : 강판 ▷ 인장저항, 거푸집, 데크지지</td></tr>
<tr><td></td><td>전단요소 : 스트럽 ▷ 현장 조립설치 곤란성 높음</td><td>전단요소 : 스트럽 ▷ 현장 조립설치 곤란성 높음</td></tr>
<tr><td>하중전달</td><td>콘크리트 + 작업하중 → 거푸집 → 동바리</td><td>콘크리트 + 작업하중 → UT 보+ 1~2개 동바리</td></tr>
<tr><td></td><td>[ 바닥판 하중 → 딥 데크 → 동바리 ]</td><td>[ 바닥판 하중 → 딥 데크 → 동바리 ]</td></tr>
<tr><td>개념도</td><td> 

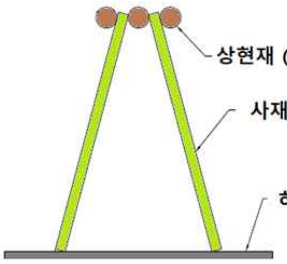
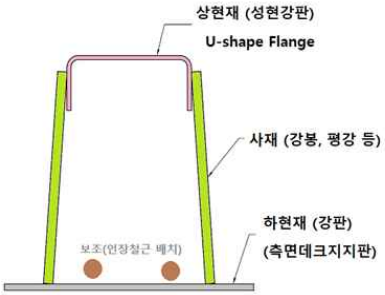
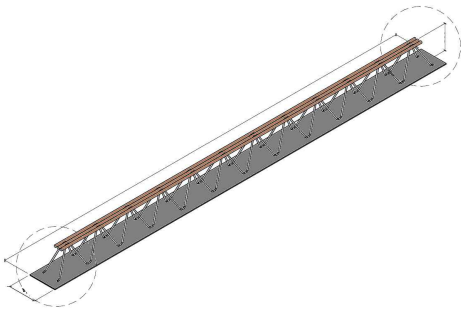
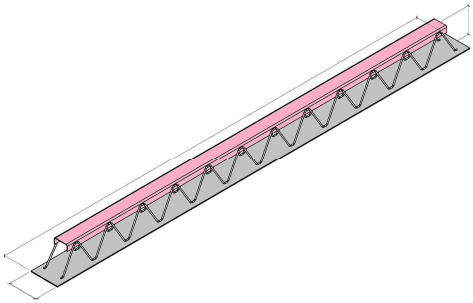
 </td><td> 

 </td></tr>
</table>

- UT 선조립 강재보의 비교 분석

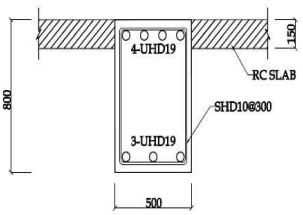
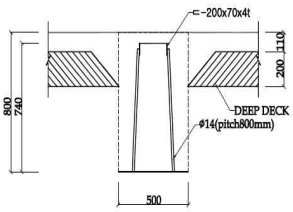
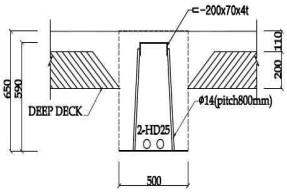
| 구분 | 현타 RC보<br>RC 보 + 딥 데크 | U형 합성보<br>U형 강재보 + 딥 데크 | UT 선조립 강재보<br>UT 강재보 + 딥 데크 |
|---|---|---|---|
| 개념도 |  |  |  |
| 하중경로 | ① 바닥판 하중(데크자중+타설하중+작업하중)<br>- 자체 지지구조로 설계<br>- 동바리 설계(≥5.0m)<br>② 보 하중(거푸집 자중+타설하중+작업하중)<br>- 자체지지 구조로 설계<br>- 거푸집 + 동바리 설계 | ① 바닥판 하중(데크자중+타설하중+작업하중)<br>- 데크에 작용하중을 보로 전달<br>- 동바리 설계(≥5.0m)<br>② 보 하중(자중+타설하중+작업하중)+(바닥작용 하중)<br>- 강재보 전체 지지 (무동바리) | ① 바닥판 하중(데크자중+타설하중+작업하중)<br>- 자체 지지구조로 설계<br>- 동바리 설계(≥5.0m)<br>② 보 하중(자중+타설하중+작업하중)<br>- 자체지지 구조로 설계<br>- 거푸집 + 동바리 설계 |
| 분석 | ① 바닥판과 보에 작용하는 모든 하중을 분리 저항하는 구조임<br>② 보 거푸집에 딥데크의 단부 지지턱 형성, 동바리 수량이 증가됨<br>③ 보 구축을 위한 거푸집 선행 작업<br>④ 딥데크 지지를 위한 동바리 선행 설치와 레벨 관리 요구됨. | ① 바닥판에 작용하는 모든 하중을 강재보에 전달 저항하는 구조임<br>② 강재보가 딥데크 지지로 지지턱 안전성 검토<br>③ 강재보의 강판 두께 증가 | ① 바닥판과 보에 작용하는 모든 하중을 분리 저항하는 구조임<br>② 보 거푸집에 딥데크의 단부 지지턱 형성, 동바리 수량이 증가됨<br>③ 강재보와 동일한 시공 프로세스<br>④ 딥데크 설치를 위한 강재보에 잭동바리 설치가 요구됨. |
| 개발 핵심 인자 | ① 거푸집, 동바리 사용 최소화<br>② 거푸집 비탈형화 방안<br>③ 데크지지용 별도 가설재 요구<br>④ 압축/인장/전단 철근배근 최소화<br>⑤ 영구사용단계 균열 발생 억제<br>⑥ 전단보강용 스트럽 최소화<br>⑦ 시공 시 압축/인장 저항요소 요구 | ① 강판 사용량을 절감 방안<br>② 강판은 비탈형 거푸집 기능<br>③ 구조재 강판이 최소화<br>④ 영구하중용 내부 인장철근 배치<br>⑤ 유지관리 및 내화 피복 최소화<br>⑥ 전단보강용 강판 두께 최소화<br>⑦ 시공 시 추가 압축저항요소 요구 | ① 최소 동바리 적용<br>② 하부판은 거푸집 기능<br>③ 하부판은 최소 인장저항 요소<br>④ 필요 시 인장철근 자율 배치 가능<br>⑤ 최소 내화 피복 필요<br>⑥ 단부 전단근의 최소 설치<br>⑦ 시공 시 압축 요소 강성 요구 |

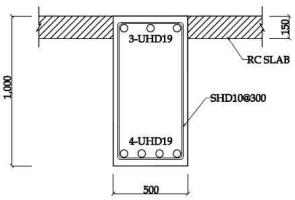
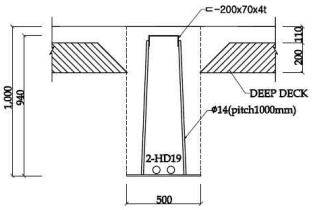
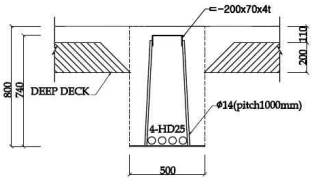
## ④ 선조립 강재 보의 시스템

| 기존 기술 | 개발 연구 |
|---|---|
| 강봉 트러스 강재보   | U-Flange Truss 선조립 강재보   |
|  |  |
| 압축 휨좌굴 강도 및 용접 편의성<br>상현재 ▷ 강봉 ( Φ19 ~ Φ32 ) Fy≥325Mpa | 상현재 ▷ U-형 성형강판<br>( U-140 x 70 x 4~6t ) Fy≥325Mpa |
| 단부 전단 지지 지점 보강방안<br>래티스 ▷ 강봉 ( Φ6 ~ Φ14 ) Fy≥325Mpa | 래티스 ▷ 강봉 ( Φ6 ~ Φ14 ) Fy≥325Mpa |
| 거푸집판 기능/ 데크 거치 지지대<br>하현재 ▷ 강판 ( 6mm 이상 ) Fy≥325Mpa | 하현재 ▷ 강판 ( 6mm 이상 ) Fy≥325Mpa |

| 상현재 성현강판 제작 | 측면 래티스 절곡 제작 | 가조립 |
|---|---|---|
|  |  |  |
| **높이 가용접** | **래티스 피치 가용접** | **본 제작 완료** |
|  |  |  |

## ⑤ 선조립 강재 보의 모듈 분석 사례

| 구분 | | RC보 + RC slab | UT beam + Deck | |
|---|---|---|---|---|
| 모듈 | | 8m × 12m | 8m × 12m | 8m × 12m |
| 보 단면 형상 | |  |  |  |
| 슬래브 | Type | 일반 RC Slab | Deep Deck Slab<br>Topping 110mm | Deep Deck Slab<br>Topping 110mm |
| | THK | 150mm | 310mm | 310mm |
| 큰보 G1 | Size | 500×800<br>(Mn=974kN-m) | 500×800<br>Mn=749kN-m | 500×650<br>Mn=769kN-m |
| | Top | 4-UHD19<br>(As′=1,134mm$^2$) | ⊏-200×70×4t<br>(As′=1,360mm$^2$) | ⊏-200×70×4t<br>(As′=1,360mm$^2$) |
| | Bot. | 3-UHD19<br>(As=850mm$^2$) | PL-500×6t<br>(As=3,000mm$^2$) | PL-500×6t<br>2-HD25<br>(As=3,982mm$^2$) |
| | Stir. | SHD10@300 | 2-D14@800 | 2-D14@800 |

| 모듈 | | 8m × 15m | 8m × 15m | 8m × 15m |
|---|---|---|---|---|
| 보 단면 형상 | |  |  |  |
| 슬래브 | Type | 일반 RC Slab | Deep Deck Slab<br>Topping 110mm | Deep Deck Slab<br>Topping 110mm |
| | THK | 150mm | 310mm | 310mm |
| 큰보 G1 | Size | 500×800<br>(Mn=1153kN-m) | 500×1000<br>(Mn=1137kN-m) | 500×800<br>(Mn=1207kN-m) |
| | Top | 3-UHD19<br>(As′=850mm$^2$) | ⊏-200×70×4t<br>(As′=1360mm$^2$) | ⊏-200×70×4t<br>(As′=1360mm$^2$) |
| | Bot. | 4-UHD19<br>(As=1,134mm$^2$) | PL-500×6t<br>2-HD19<br>(As=3,567mm$^2$) | PL-500×6t<br>4-HD25<br>(As=4,960mm$^2$) |
| | Stir. | SHD10@300 | 2-D14@1000 | 2-D14@1000 |

## (라) 래티스의 배치 형상 설계

### ① 래티스(사재)의 좌굴식 분석

- Eurocode 3(2005)의 좌굴내력식

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$$

여기서, $\chi$ : Reduction factor for the relevant buckling mode

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \overline{\lambda}^2}} \leqq 1.0$$

여기서, $\Phi = 0.5[1 + \alpha(\overline{\lambda} - 0.2) + \overline{\lambda}^2]$

$$\overline{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}}$$

$\alpha$ : Imperfection factor($= 0.49$)

$N_{cr}$ : Elastic critical force for the relevant buckling mode based on the gro ss cross sectional properties

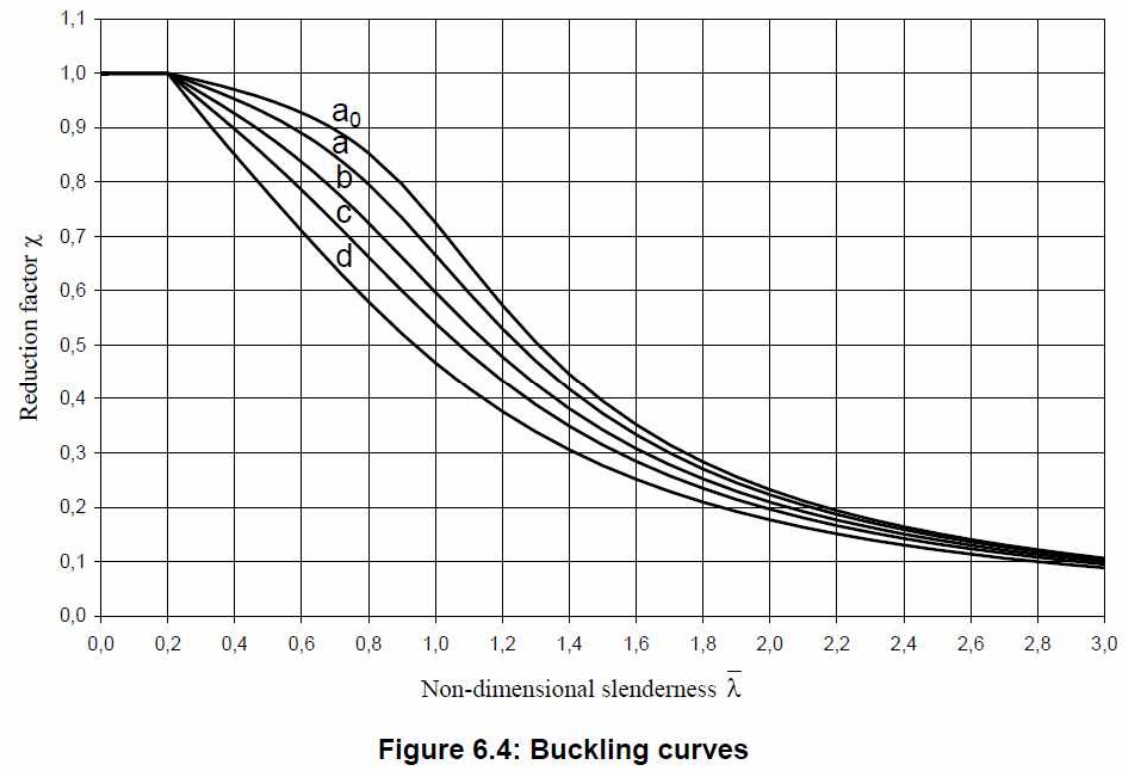
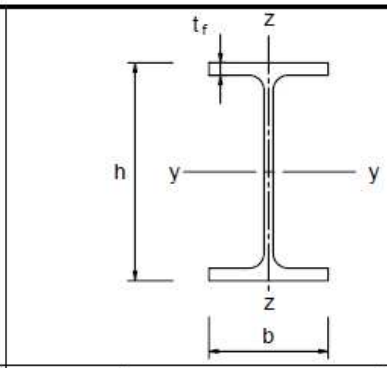
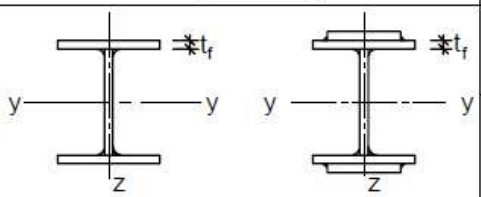
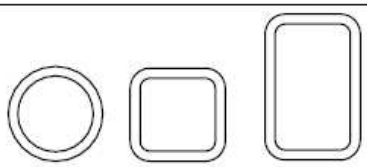
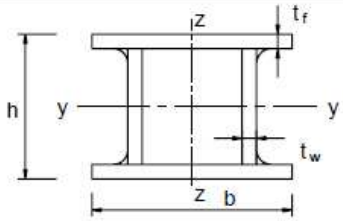
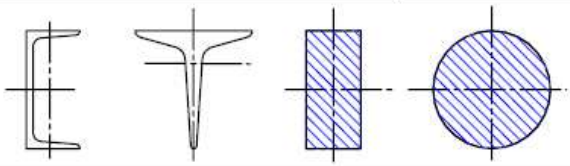
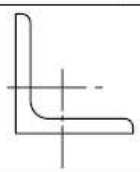



**Figure 6.4: Buckling curves**

**<그림 2.8> Eurocode 3(2005)의 좌굴내력식**

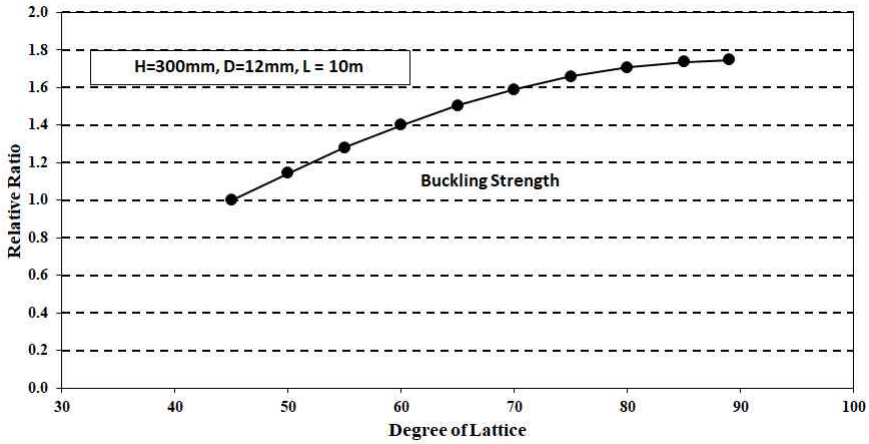
**Table 6.2: Selection of buckling curve for a cross-section**

| Cross section | | Limits | | Buckling about axis | Buckling curve S 235 S 275 S 355 S 420 | Buckling curve S 460 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Rolled sections |  | $h/b > 1,2$ | $t_f \le 40$ mm | y – y<br>z – z | a<br>b | $a_0$<br>$a_0$ |
| | | | 40 mm < $t_f \le 100$ | y – y<br>z – z | b<br>c | a<br>a |
| | | $h/b \le 1,2$ | $t_f \le 100$ mm | y – y<br>z – z | b<br>c | a<br>a |
| | | | $t_f > 100$ mm | y – y<br>z – z | d<br>d | c<br>c |
| Welded I-sections |  | $t_f \le 40$ mm | | y – y<br>z – z | b<br>c | b<br>c |
| | | $t_f > 40$ mm | | y – y<br>z – z | c<br>d | c<br>d |
| Hollow sections |  | hot finished | | any | a | $a_0$ |
| | | cold formed | | any | c | c |
| Welded box sections |  | generally (except as below) | | any | b | b |
| | | thick welds: $a > 0,5t_f$<br>$b/t_f < 30$<br>$h/t_w < 30$ | | any | c | c |
| U-, T- and solid sections |  | | | any | c | c |
| L-sections |  | | | any | b | b |

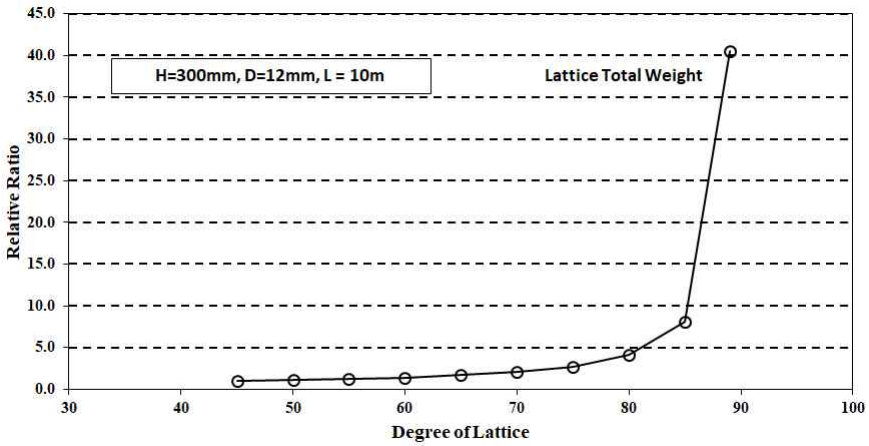
<그림 2.9> Eurocode 3(2005)의 좌굴변수

### ② 래티스(사재) 각도에 따른 영향 분석

- 사재의 각도($\theta$)가 커질수록 사재의 길이가 짧아져 사재의 좌굴 내력은 증가하지만, 사재의 간격(pitch)이 짧아져서 많은 수의 사재를 배치하여야 하므로 전체적인 사재의 물량이 증가함.
- 부재의 길이(L)가 10m일 때, 사재의 각도가 60°이하인 경우 좌굴 내력 상승분과 물량 증가분은 큰 차이를 보이지 않으나 70°이상인 경우에는 좌굴 내력 상승분에 비해 상당한 수준의 물량이 증가되어야 하는 것으로 분석됨.
- 사재 각도는 이론적으로 45°이상 60°이하 범위에서 사재 물량 증가 대비하여 압축좌굴에 대한 저항 능력이 우수하게 평가되므로 사용 강재량 대비 이론적 효과가 있는 영역이라 판단하는 바임.
- 따라서 본 개발연구에 평가하고자 하는 사재의 각도를 60°기준으로 하는 것이 바람직할 것으로 판단됨(참조 : 실험체의 각도 약 53°, 약 60°, 65° 계획)

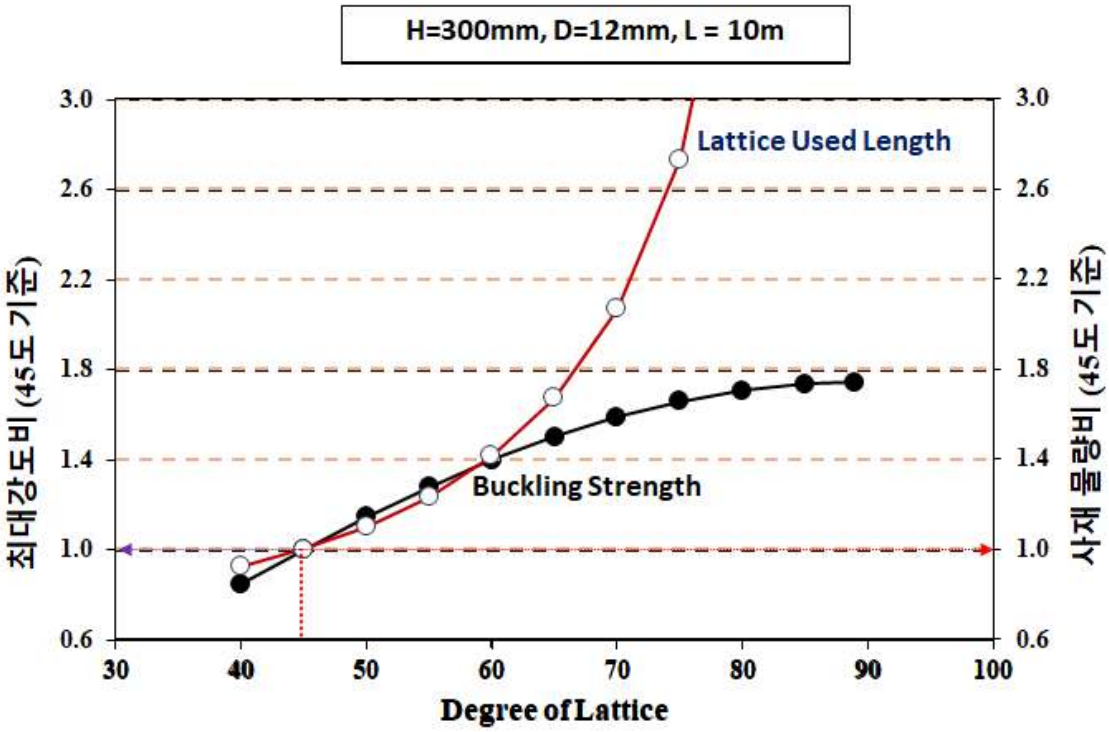



(a) 사재각도증가에 따른 좌굴-강도비



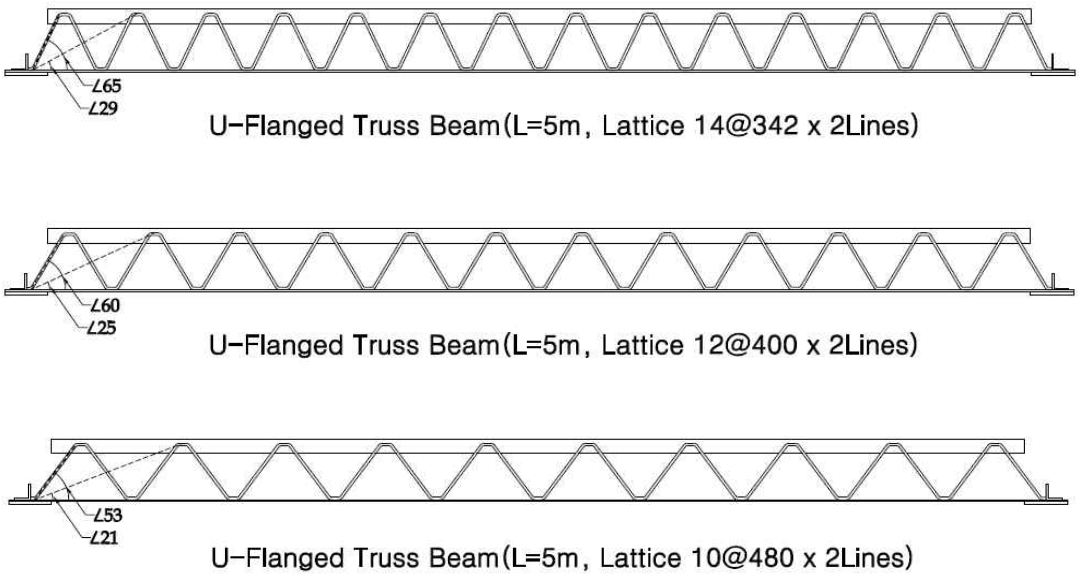

(b) 사재각도 변화에 따른 물량 변화

<그림 2.10> 래티스 각도에 따른 강도 및 물량 변화




<그림 2.11> 사재각도별 강도비 및 물량비(45° 기준)

### ③ 래티스(사재) 배치 사례




<그림 2.12> 래티스(사재) 배치 간격

## (3) U-flanged Truss의 구조성능 평가(1차년도)

### (가) U-flanged Truss의 실험계획

U-플랜지 트러스 보의 구조 성능을 평가하기 위해 총 8개의 실험체가 계획되었다. U-플랜지 트러스 보의 기본형상은 <그림 2.13>과 같다. 실험체의 단면 구성은 U형 성형강판을 상부 플랜지로 한 상현재를 구성하고, 측면에 강봉 래티스를 좌우로 2열 배치한 후 하부 플랜지를 거푸집 기능과 인장재 역할을 하도록 구성한 U-플랜지 트러스 보의 시공단계에 관한 휨 실험을 실시하였다.

주요 변수는 <표 2.10>에서 보는 바와 같이 시공하중에 의해 압축력을 받는 상현재의 형상별 및 래티스 간격 변화에 따른 U-플랜지 트러스 보의 구조 성능을 평가하고자 높이(h) 300mm, 폭(b) 320mm 및 길이(L) 4,800mm의 조립 강재보 실험체를 계획하였다.

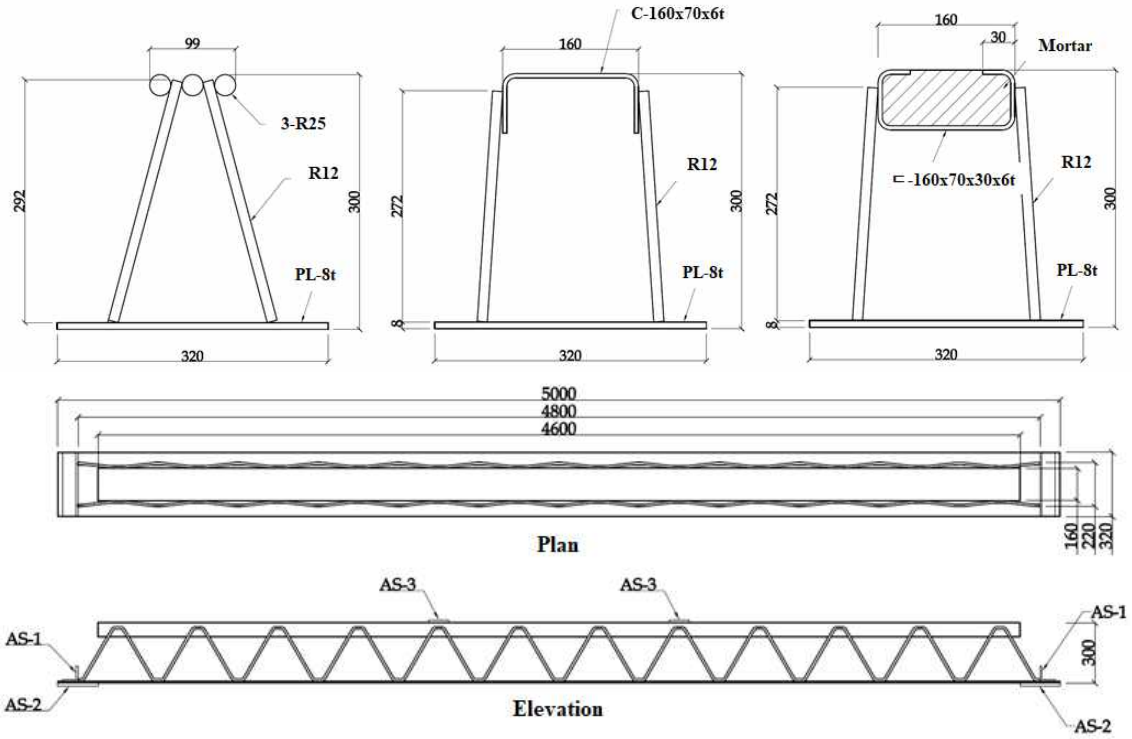
UTB-01 실험체는 지름 25mm의 환봉 3개를 상현재로 설치하고 하현재를 8mm 철판을 사용하였으며 래티스는 12mm의 강봉을 2열로 400mm 간격으로 배치한 실험체이다. UTB-02 실험체는 U-플랜지 트러스 보의 기본형으로 상현재의 형상을 성형한 6mm 철판을 이용하고, 다른 부위는 UTB-01 실험체와 동일하다. 이러한 UTB-02 실험체를 기준으로 하여 상현재의 형상 및 하현재의 두께를 변경하였다. UTB-03 실험체는 상현재에 6mm 철판과 2개의 19mm 강봉으로 보강한 실험체이며, UTB-04 실험체는 하현재를 6mm 철판을 사용한 실험체이다. UTB-05 및 UTB-06 실험체는 성형한 6mm 철판에 40MPa 강도의 모르타르를 충전하여 상현재로 설치한 실험체이다.

또한 상현재와 하현재를 강봉을 사용하여 용접 접합한 래티스의 거동을 확인하고자 절곡 래티스의 간격을 342mm(UTB-07) 및 480mm(UTB-08)로 하여 비교 실험을 실시하였다.

U-플랜지 트러스 보의 구조성능을 평가하기 위해 양단을 단순지지하고 2점 가력을 실시하였다. 실험체는 <그림 2.13>과 같이 계획하였으며, 하중재하는 0.03mm/s의 변위

**<표 2.10> Test specimen List**

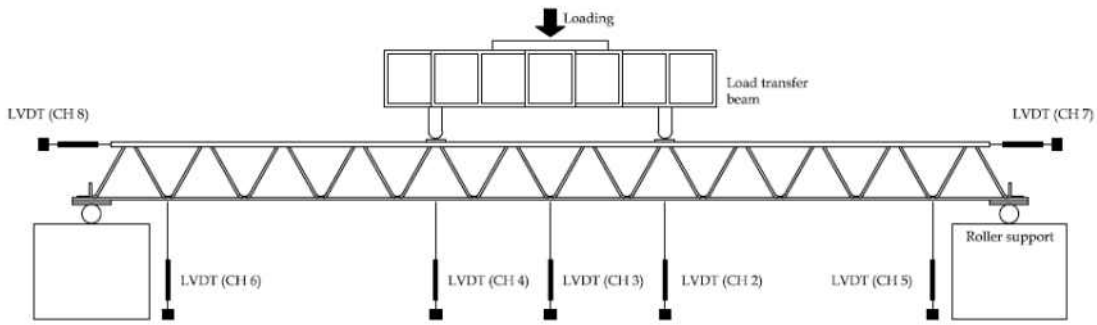
| Specimens ID | | Upper Chord | Upper Reinforce | Lattice | Lower Plate |
|---|---|---|---|---|---|
| UTB-01 | UTB-R25-L8-P400 | 3-R25 | × | 2-$\phi$12@400 | PL-320×8t |
| UTB-02 | UTB-n6×-L8-P400 | C-160×70×6t | × | 2-$\phi$12@400 | PL-320×8t |
| UTB-03 | UTB-n6R-L8-P400 | C-160×70×6t | 2-$\phi$19 | 2-$\phi$12@400 | PL-320×8t |
| UTB-04 | UTB-n6×-L6-P400 | C-160×70×6t | × | 2-$\phi$12@400 | PL-320×6t |
| UTB-05 | UTB-u6F-L8-P400 | ㄷ-160×70×30×6t | Mortar Filled | 2-$\phi$12@400 | PL-320×8t |
| UTB-06 | UTB-u6F-L8-P400R | ㄷ-160×70×30×6t | Mortar Filled | 2-$\phi$12@400 | PL-320×8t |
| UTB-07 | UTB-n6×-L8-P342 | C-160×70×6t | × | 2-$\phi$12@342 | PL-320×8t |
| UTB-08 | UTB-n6×-L8-P480 | C-160×70×6t | × | 2-$\phi$12@480 | PL-320×8t |




(a) UTB-01 (b) UTB-02, 04, 07, 08 (c) UTB-05, 06

(d) Plan and elevation

<그림 2.13> The details of U-flanged truss steel beam specimens




<그림 2.14> The experimental Plan of U-flanged truss steel beam

제어 방식으로 재하 하였다.

하중재하에 따른 수직방향의 변위를 측정하기 위해 <그림 2.14>에 나타낸 바와 같이 실험체 하부에 변위계를 설치하여 계측하였다. 또한 하중 재하에 따른 실험체의 주요 부위의 변형률을 측정하기 위하여 변형률 게이지를 부착하였다.

시험에 사용된 가력장비는 MTS사의 3,000kN Universal Testing Machined 사용하였으며, 데이터 취득은 KYOWA사의 데이터 로거가 사용되었다. 또한 변위 측정 장비로는 KYOWA사의 LVDT(Displ acement Transducer)가 사용되었으며, 각각 50mm, 100mm 및 1,000mm 용량의 LVDT가 사용되었다. 철근과 콘크리트의 변형률을 계측할 수 있는 변형률 게이지(Strain Gauge)는 일본 동경측기사 제품으로 철근용 변형률 게이지는

Gauge Length 5mm, Gauge Resistance 120Ω 전기저항식 변형률 게이지를 사용하였다. <그림 2.15>에 실험체의 셋팅 상황을 나타내었다.



**<그림 2.15> The test set-up**

### (나) 실험결과 및 분석

#### ① 금속재료 인장 시험

실험체에 사용된 강재의 재료 성능을 확인하기 위해 인장시험을 실시하였다. 시험편은 상현재로 사용된 25mm 환봉과 성형강판 6mm 철판(SM275), 래티스로 사용된 12 mm 환봉 및 하현재로 사용한 6mm(SM275) 및 8mm 철판(SM275)에 대하여 실시하였다.

**<표 2.11> Material test results**

| | $F_y$ [MPa] | $F_u$ [MPa] | $E$ [GPa] |
|---|---|---|---|
| PL-6t | 323.9 | 458.8 | 222.68 |
| PL-8t | 303.8 | 454.3 | 211.37 |
| $\phi$12 | 360.7 | 490.8 | 213.22 |
| $\phi$25 | 426.0 | 530.7 | 213.17 |

시험편은 KS B 0801을 준용하여 각각 3개씩 제작하였고, KS B 0802에 따른 인장시험결과의 평균값을 <표 2.11>에 나타내었다.

#### ② 파괴양상

UTB-01 실험체는 지름 25mm 환봉 3개를 상현재로 설치하고 하현재를 8mm 철판을 사용하였으며 래티스는 12mm의 강봉을 2열로 400mm 간격으로 배치한 실험체이다. 하중의 증가에 따라 변위가 증가하였으며, 최대하중은 53.3kN으로 측정되었고, <그림 2.16>의 (a)에서 보는 바와 같이 래티스의 좌굴에 의해 결정되었다. 최대하중 이



(a) UTB-01 specimen



(b) UTB-02 specimen



(c) UTB-05 specimen



(d) UTB-06 specimen

<그림 2.16> The failure mode of specimens

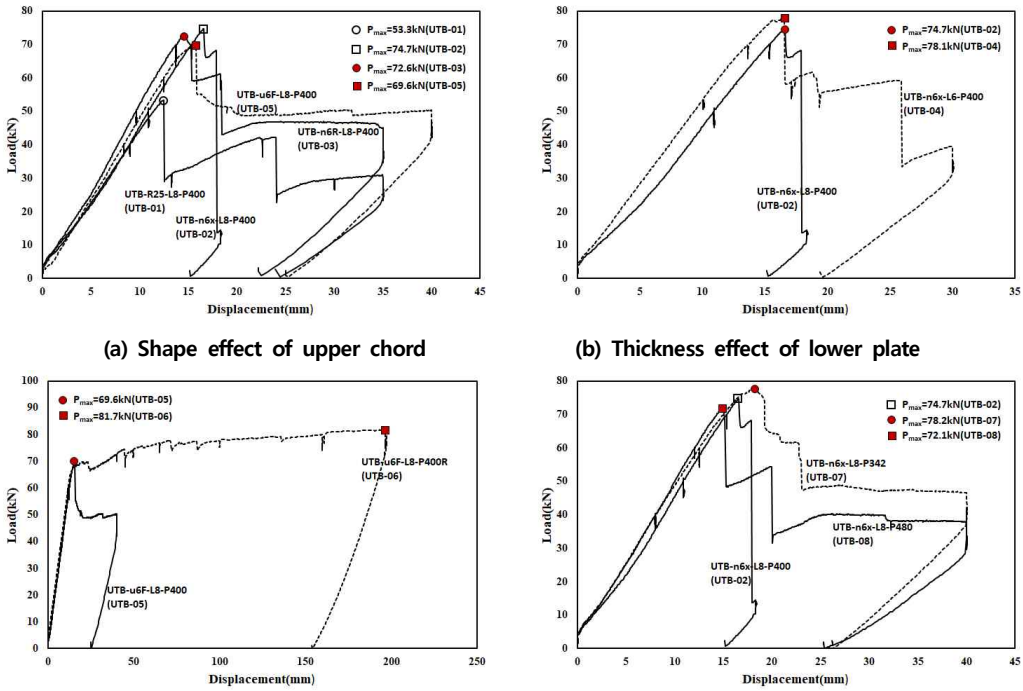
후 하중이 감소하였으며 이후 추가적인 변위가 증가함에 따라 하중이 증가하였으나 중앙부의 처짐이 20mm 이후 추가적으로 다른 부분에서의 래티스가 좌굴하여 하중이 감소하였다.

UTB-02 실험체는 U-플랜지 트러스 보의 기본형으로 상현재는 성형한 6mm 철판을 이용하고, 하현재는 8mm 철판을 사용하였으며 래티스는 12mm 강봉을 2열로 400mm 간격으로 용접 접합한 실험체이다. 이 실험체도 하중의 증가에 따라 변위가 증가하다가 <그림 2.16>의 (b)에서 나타낸 바와 같이 단부 부분의 래티스가 좌굴하여 최대하중 74.7kN에 도달하였다. 이후 하중이 급격이 감소하여 실험을 종료하였다.

단부 부근의 래티스가 조기에 좌굴하여 부재 전체의 내력을 충분히 확인할 수 없을 것으로 판단되어 이후 모든 실험체에는 실험체의 양 단부 첫 번째 래티스에 19mm 철근을 용접하여 보강한 후 실험을 진행하였다.

양 단부 첫 번째 래티스를 보강한 후 실험을 다시 진행한 결과, 상현재에 6mm 철판과 19mm 강봉으로 보강한 실험체(UTB-03), 하현재를 8mm 철판 대신에 6mm 철판을 사용한 실험체(UTB-04), 래티스의 간격을 342mm 및 480mm로 배치한 실험체(UTB-07 및 UTB-08)도 역시 단부 래티스가 좌굴하여 최대하중에 도달하였다. 각각의 최대하중은 72.6kN(UTB-03), 78.1kN(UTB-04), 78.2kN(UTB- 07) 및 72.1 kN(UTB-08)으로 측정되었다.

U-플랜지 트러스 보에서 모든 실험체가 상현재의 형상에 관계없이 래티스의 좌굴에 의해 조립보의 내력이 유사한 크기로 결정되었다. 따라서 U-플랜지 조립보의 최적




(a) Shape effect of upper chord (b) Thickness effect of lower plate

(c) Effect of shear reinforcing (d) Effect of lattice spacing

<그림 2.17> The load-displacement curve of specimens

형상 결정 시 이러한 래티스의 좌굴을 고려하여 결정하여야 할 것으로 판단된다. 또한 래티스의 간격을 줄이면 래티스의 좌굴 내력을 향상시켜 조립보의 최대 내력을 증가시킬 수 있는 것으로 분석되었다.

UTB-05 실험체는 성형한 6mm 철판에 40MPa 강도의 모르타르를 충전하여 상현재로 설치하고, 하현재는 8mm 철판을 사용하였으며, 래티스는 12mm 강봉을 2열로 400mm 간격으로 용접 접합한 실험체이다.

다른 실험체와 유사하게 하중의 증가에 따라 변위가 증가하였으며, <그림 2.16>의 (c)에서 나타낸 바와 같이 단부의 래티스가 좌굴하여 최대하중 69.6kN에 도달하였다.

또한 UTB-06 실험체는 UTB-05 실험체와 동일하나 가력점부터 단부까지 6mm 철판을 사용하여 400mm 간격으로 상현재와 하현재 사이를 수직으로 전단 보강한 실험체이다. <그림 2.16>의 (d)에 나타낸 바와 같이 69.0kN에서 단부 래티스가 좌굴이 발생하고 71.0kN에서 충전된 모르타르에서 균열이 발생하였고 이후 81.7kN에서 충전 모르타르가 길이방향으로 쪼개지면서 최대하중에 도달하였다. 즉, 조립보에 전단 보강을 실시하면 조립보의 내력을 크게 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

### ③ 하중-변위관계곡선 분석

1) 상현재의 형상에 따른 영향

상현재의 형상에 따른 실험체의 하중-변위 곡선을 <그림 2.17>의 (a)에 나타내었다. UTB-01 실험체의 상현재는 25mm 강봉이고, UTB-02 실험체는 6mm 성형 강판, UTB-03 실험체는 6mm 성형강판 아래에 2개의 19mm 강봉으로 보강한 실험체이다. 또한 UT

B-05 실험체는 6mm 성형 강판에 모르타르를 충진한 것이다.

<그림 2.17>의 (a)에서 보는 바와 같이, 상현재를 강봉으로 설치한 실험체(UTB-01)가 상현재를 성형강판으로 설치한 실험체(UTB-02, UTB-03, UTB-05)에 비해 최대 내력이 작음을 알 수 있다. 이는 상현재의 강도와 강성이 래티스의 구속조건에 영향을 미치는 것으로 판단할 수 있다. 즉, 상현재의 강도와 강성이 클수록 래티스의 좌굴내력을 향상시킨다는 것을 알 수 있다.

2) 하부 철판의 두께에 대한 영향

하부 철판의 두께에 따른 실험체의 하중-변위 곡선을 <그림 2.17>의 (b)에 나타내었다. 하부 강판의 두께가 6mm인 실험체(UTB-04)가 하부 강판의 두께가 8mm인 실험체(UTB-02)에 비해 최대 내력 및 강성이 향상되었다. 이는 UTB-04 실험체에서 단부 첫 번째 래티스에 추가로 D19 철근으로 보강한 결과로 이로 인해 래티스의 좌굴이 지연된 결과로 판단된다.

3) 전단 보강에 대한 영향

전단 보강에 대한 실험체의 하중-변위 곡선을 <그림 2.17>의 (c)에 나타내었다. 두 실험체(UTB-05, UTB-06) 실험체 모두 상현재는 6mm 성형 강판을 사용하였고 모르타를 충전하였다. UTB-06 실험체는 래티스로 사용된 12mm 강봉외에 추가로 6mm 철판을 400mm 간격으로 상현재와 하현재 사이에 용접하여 전단 보강하였다.

<그림 2.17>의 (c)에서 보는 바와 같이, 전단 보강한 실험체(UTB-06)는 초기에 래티스 좌굴이 일어난 시점은 전단 보강하지 않은 실험체(UTB-05)와 유사하나, 좌굴이 일어난 이후에도 하중이 급격히 감소하지 않고 실험체 내력이 지속적으로 상승하였다. 즉, 전단 보강하면 U-플랜지 트러스 보의 내력 및 연성을 크게 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

4) 래티스 간격에 대한 영향

래티스 간격에 따른 실험체의 하중-변위 곡선을 <그림 2.17>의 (d)에 나타내었다. 래티스 간격은 각각 342mm(UTB-07), 400mm(UTB-02) 및 480mm(UTB −08)이다. 이는 각각 트러스 보 높이($h$)의 1.14배(UTB-07), 1.33배(UTB-02) 및 1.6배(UTB-08)에 해당한다. <그림 2.17>의 (d)에서 보는 바와 같이, 래티스 간격이 좁을수록 최대 내력은 향상되는 것을 알 수 있다. 래티스 간격이 좁아지면 래티스의 좌굴 길이가 짧아져서 래티스의 좌굴 내력이 커지기 때문이다.

### ④ 기준식과의 내력 비교

실험결과, 모든 실험체가 상현재의 형상에 관계없이 래티스의 좌굴에 의해 최대 내력이 결정되었다. 따라서 국내·외 설계기준식과의 비교를 통해 실험체의 최대내력을 비교하였다.

국내설계기준(KBC 2016)에서의 공칭압축강도, $P_n$은 미국의 하중저항계수설계법(LRFD)에 근거하여 다음과 같이 산정한다.

$$P_n = F_{cr} A_g \tag{2.1}$$

여기서, 휨좌굴강도 $F_{cr}$은 다음과 같이 산정한다.

1) $\frac{KL}{r} \leqq 4.71\sqrt{E/F_y}$ 인 경우

$$F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y \tag{2.2}$$

2) $\frac{KL}{r} > 4.71\sqrt{E/F_y}$ 인 경우

$$F_{cr} = 0.877 F_e \tag{2.3}$$

여기서, $F_e$ : 탄성휨좌굴강도(MPa)= $\frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2}$, $A_g$ : 부재의 총단면적(mm$^2$), $F_y$ : 강재의 항복강도(MPa), $E$ : 강재의 탄성계수(MPa), $K$ : 유효좌굴길이계수(=1.0), $L$ : 부재의 길이(mm), $r$ : 좌굴 축에 대한 단면2차반경(mm)

또한 Eurocode 3(2005)에서는 공칭압축강도, $N_{b,Rd}$를 다음과 같이 산정한다.

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_g F_y}{\gamma_{M1}} \tag{2.4}$$

여기서, $\gamma_{M1}$ : 부분안전계수(=1.05)

$\chi$ : 좌굴감소계수 $= \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \overline{\lambda}^2}} \leqq 1.0$,

여기서, $\phi = 0.5[1 + \alpha(\overline{\lambda} - 0.2) + \overline{\lambda}^2]$

$\lambda$ : 무차원 세장비 $= \sqrt{\frac{A_g F_y}{N_{cr}}}$, $\alpha$ : 초기변형계수(=0.49), $N_{cr}$ : 탄성좌굴하중(kN)

<표 2.12>에 본 연구에서 수행한 실험결과와 식(2.1) 및 식(2.4)에 의한 공칭강도 결과를 비교하여 나타내었다. 래티스의 좌굴내력을 산정할 때 유효좌굴길이계수($K$)는 1.0을 사용하였으며, 래티스의 항복강도($F_y$)와 탄성계수($E$)는 재료시험결과를 사용하였다. 또한 실험결과와의 비교를 위해, 부분안전계수($\gamma_{M1}$)는 적용하지 않았다.

<표 2.12>에서 나타낸 바와 같이 국내설계기준(KBC 2016)에 의한 식은 U-플랜지 트러스 보에서의 래티스 내력을 정확히 반영하지 못하고 있음을 알 수 있다. 그러나 Eurocode 3의 기준식은 U-플랜지 트러스 보의 내력을 안전측로 평가할 수 있음을 확인할 수 있었다. 특히, 기존의 조립보 형식인 상현재를 25mm 강봉을 사용한 실험체(UTB

<표 2.12> The Comparison of test results and code equations

| Specimens ID | | TEST | | KBC 2016 | Eurocode 3 | Comparison | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $P_{\max}$ [kN] | $\delta_{\max}$ [mm] | $P_n$ [kN] | $N_{b,Rd}$ [kN] | $P_{\max}/P_n$ | $P_{\max}/N_{b,Rd}$ |
| UTB-01 | UTB-R25-L8-P400 | 53.3 | 12.49 | 72.7 | 59.1 | 0.73 | 0.90 |
| UTB-02 | UTB-n6×-L8-P400 | 74.7 | 15.79 | 81.6 | 65.5 | 0.92 | 1.14 |
| UTB-03 | UTB-n6R-L8-P400 | 72.6 | 14.59 | 81.6 | 65.5 | 0.89 | 1.11 |
| UTB-04 | UTB-n6×-L6-P400 | 78.1 | 16.39 | 81.6 | 65.5 | 0.96 | 1.19 |
| UTB-05 | UTB-u6F-L8-P400 | 69.6 | 14.99 | 81.6 | 65.5 | 0.85 | 1.06 |
| UTB-06 | UTB-u6F-L8-P400R | 81.7 | 197.82 | 81.6 | 65.5 | 1.00 | 1.25 |
| UTB-07 | UTB-n6×-L8-P342 | 78.2 | 18.18 | 84.7 | 67.2 | 0.92 | 1.16 |
| UTB-08 | UTB-n6×-L8-P480 | 72.1 | 13.99 | 76.2 | 62.9 | 0.95 | 1.15 |

-01)는 두 기준식에 의한 내력식보다 작은 값에서 최대내력이 발현되었다. 이러한 트러스 보에서는 래티스의 내력을 발휘하기 위해서는 상현재 및 하현재에서 추가적인 강도와 강성의 확보를 통해 단부 구속력이 필요함을 알 수 있었다.

### (다) U-flanged Truss의 구조성능평가 결과

이 연구에서는 다양한 형상의 상현재를 가진 U-플랜지 트러스 보 실험체를 대상으로 단순보 실험을 실시하고 그 결과를 바탕으로 하여 기존의 내력식과의 비교를 통해 시공단계에서의 U-플랜지 트러스 보의 내력을 평가하였다. 이러한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

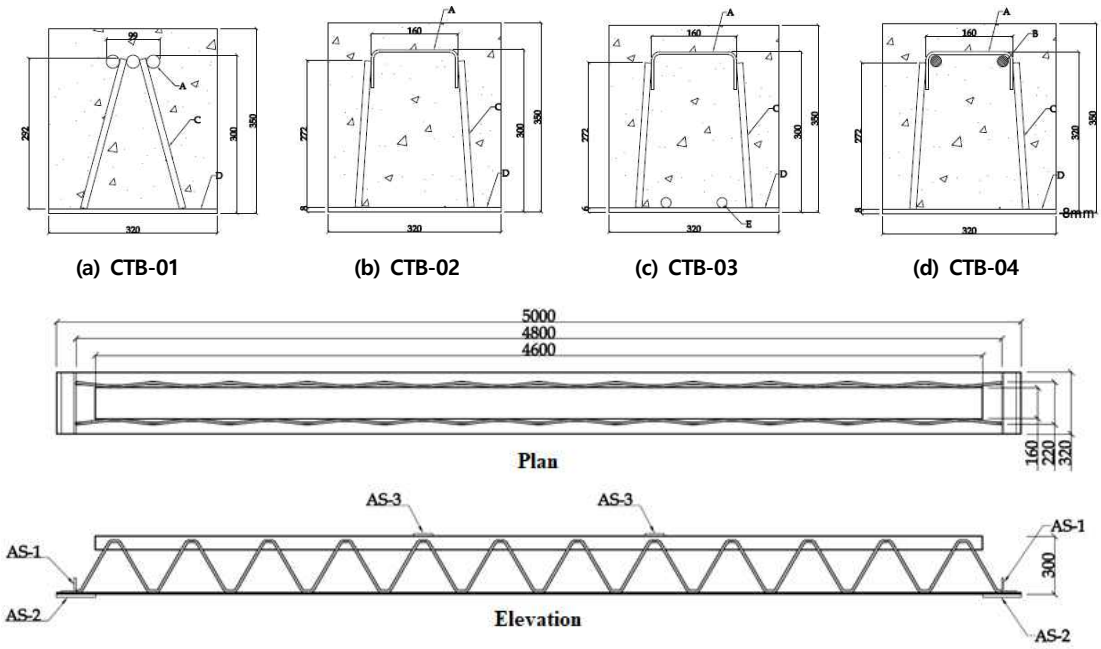
1) 모든 실험체는 상현재의 형상에 관계없이 상현재와 하현재를 연결하는 래티스의 좌굴에 의해 최대내력이 결정되었다. 따라서 시공단계에서의 U-플랜지 트러스 보에서는 래티스의 좌굴에 유의하여 단면 설계가 되어야 하며 상현재의 형상은 추가적인 보강 없이 기본 형상만으로 충분할 것으로 판단된다.
2) 기존의 조립보 형식인 상현재를 강봉으로 사용한 단면 형상은 상현재의 강도와 강성이 낮아 래티스의 좌굴이 조기에 발생할 수 있어 상현재에 추가적인 보강이 필요하다.
3) 실험결과와 기존의 공칭압축강도 평가식을 비교 분석한 결과, 국내기준(KBC 2016)에 의한 식보다는 Eurocode 3(2005)에 의한 식을 사용하는 것이 U-플랜지 트러스 보의 래티스 좌굴을 안전측으로 평가할 수 있다.
4) 래티스의 간격이 좁을수록 U-플랜지 트러스 보의 최대 내력은 향상되었다. 이 연구에서는 래티스의 간격을 높이의 1.6배 이하까지 실험적으로 검증하였으나, 적정 배치 간격에 대한 추가적인 실험 및 해석 연구가 필요하다.

## (4) 선조립 복합보의 구조 거동 예비 평가(1차년도)

### (가) 선조립 복합보의 실험 계획

U-플랜지 트러스 복합보의 휨내력을 평가하기 위해 총 4개의 실험체를 계획하였다. U-플랜지 트러스 복합보 실험체의 기본적인 형상은 <그림 2.18>에 나타내었다. 복합보 실험체의 강재부분인 U-플랜지 트러스의 단면은 U형 성형강판을 상부 플랜지로 이용하는 상현재, 거푸집 기능과 인장재 역할을 하는 두께 8mm 강판의 하현재, 그리고 상현재와 하현재를 연결하기 위해서 측면 좌우로 2열 배치된 강봉 래티스로 구성된다. 강봉 래티스의 절곡된 부분이 상현재의 측면과 하현재의 상부에 각각 용접된다. 트러스 제작 이후에 최종적으로 콘크리트를 타설하여 U-플랜지 트러스 복합보를 제작한다(<그림 2.19>).

시공단계에서 복합보가 형성되기 이전의 U-플랜지 트러스에 대한 구조적인 거동과 성능평가는 다른 실험연구에서 진행중이며, 시공이 완료된 이후에 콘크리트와 합성거동을 나타내는 복합보에 대한 휨내력 평가가 이 실험연구의 주된 목적이다. 실험변수는 <표 2.13>에서 보는 바와 같이 상현재의 형상(강봉 3개, U-플랜지 성형강판), 상부 및 하부 철근보강이다. 모든 실험체의 크기는 높이(h) 360mm, 폭(b) 320mm 및 길이(L) 5,000mm로 계획하였다.




(e) Plan and elevation

<그림 2.18> Section of U-flanged truss hybrid beam specimens

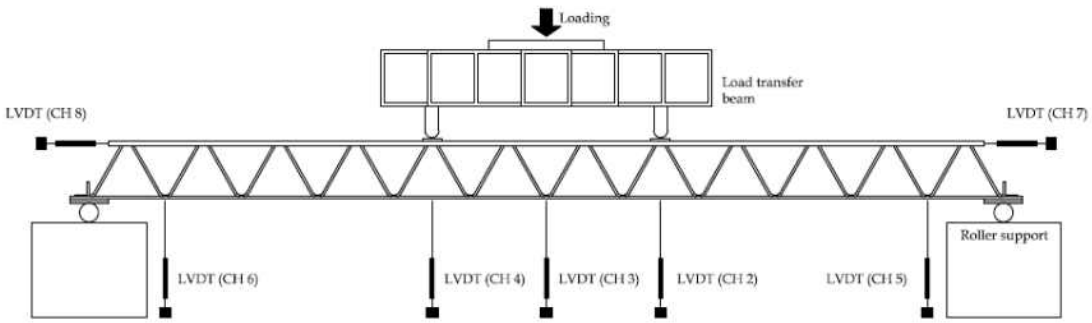



(a) U-flanged Truss (b) Concrete Pouring

<그림 2.19> Manufacturing of specimens

<표 2.13> Test specimens

| Specimens ID | | Upper Chord | Upper Reinforce | Lattice | Lower Plate | Lower Reinforce |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CTB-01 | CTB-R25-L8-P400 | 3-R25 | × | 2-$\phi$12@400 | PL-320×8t | × |
| CTB-02 | CTB-n6×-L8-P400 | C-160×70×6t | × | 2-$\phi$12@400 | PL-320×8t | × |
| CTB-03 | CTB-n6×-L6R-P400 | C-160×70×6t | × | 2-$\phi$12@400 | PL-320×6t | 2-D19 |
| CTB-04 | UTB-n6R-L8-P400 | C-160×70×6t | 2-D19 | 2-$\phi$12@400 | PL-320×8t | × |




<그림 2.20> Experimental plan of U-flanged truss hybrid beam

U-플랜지 트러스 복합보의 휨내력을 평가하기 위해서 양단을 단순지지하고 2점가력을 실시하였다. 실험체 세팅은 <그림 2.20>과 같이 계획하였으며, 하중재하는 0.03mm/s의 변위제어 방식으로 수행하였디. 하중재하에 따른 수직방향의 변위를 측정하기 위해 실험체 하부에 변위계를 설치하여 계측하였으며, 하중재하에 따른 실험체 주요부위의 강재 및 콘크리트 변형률을 측정하기 위하여 변형률 게이지를 부착하였다. <그림 2.21>에 실험체의 셋팅 상황을 나타내었다.



<그림 2.21> Set-up of specimen

## (나) 실험결과 및 분석

### ① 금속재료 인장강도 시험

실험체에 사용된 강재의 재료성능을 확인하기 위해 인장시험을 실시하였다. 시험편은 상현재로 사용된 직경 25mm 환봉, 성형강판으로 사용된 두께 6mm 철판, 래티스로 사용된 직경 12mm 환봉 및 하현재로 사용한 두께 6mm 및 8mm 철판에 대하여 제작하였다. 시험편은 KS B 0801을 준용하여 각각 3개씩 제작하였고, KS B 0802에 따른 인장시험결과의 평균값을 <표 2.14>에 나타내었다.

<표 2.14> Material test results (steel)

| | $F_y$ [MPa] | $F_u$ [MPa] | $E$ [GPa] |
|---|---|---|---|
| PL-6t | 323.9 | 458.8 | 222.68 |
| PL-8t | 303.8 | 454.3 | 211.37 |
| $\phi$12 | 360.7 | 490.8 | 213.22 |
| D19 | 422.6 | 531.6 | 214.43 |
| $\phi$25 | 426.0 | 530.7 | 213.17 |

### ② 콘크리트 압축강도 시험

실험체에 사용된 콘크리트에 대해서 압축강도 시험을 수행하였다. 탄성계수 산정을 위해서 공시체 측면에 각각 3개의 콘크리트 게이지를 부착하여 시험을 수행하였으며, 압축강도 및 탄성계수에 대한 시험결과를 <표 2.15>에 나타내었다.

<표 2.15> Material test results (concrete)

| Specimen | $f'_c$ [MPa] | $E_c$ [GPa] |
|---|---|---|
| #1 | 31.8 | 22.6 |
| #2 | 33.2 | 24.2 |
| #3 | 32.2 | 23.4 |
| Average | 32..4 | 23.4 |

### ③ 파괴양상

CTB-01 실험체는 직경 25mm의 환봉 3개를 상현재로 설치하고, 하현재로 8mm 철판을 사용한 복합보 실험체이다. 재하하중 58.0kN에서 초기균열이 발생하였으며, 이후 하중의 증가에 따라 균열이 진전되었다. 최대하중은 322.4kN으로 계측되었으며, 최대하중 이후에 상부 압축 콘크리트의 압괴로 하중이 감소하였다.

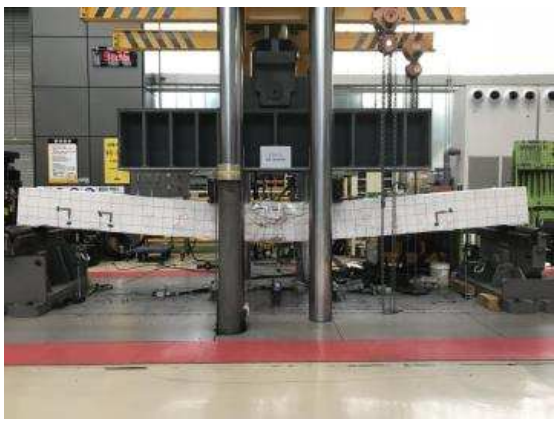
CTB-02 실험체는 6mm 성형강판을 상현재로 설치하고, 하현재로 8mm 철판을 사용한 표준 복합보 실험체이다. 재하하중 약 50kN에서 초기균열이 발생하였으며, 하중의 증가에 따라 균열이 진전되었다. 최대하중은 299.5kN으로 계측되었으며, 최대하중 이후에 콘크리트의 압괴로 하중이 감소하였다.

CTB-03 실험체는 6mm 철판을 상현재로 설치하고 하현재로 6mm 철판을 사용하였으며, 19mm 철근을 이용하여 하부 인장측을 보강한 복합보 실험체이다. 재하하중 약 100 kN에서 초기균열이 발생하였으며, 하중의 증가에 따라 균열이 진전되었다. 최대하중은 343.1kN으로 계측되었으며, 최대하중 이후에 압축 콘크리트의 압괴로 하중이 감소하였다.

CTB-04 실험체는 6mm 철판을 상현재로 설치하고 하현재로 8mm 철판을 사용하였으며, 19mm 철근을 이용하여 상부 압축측을 보강한 복합보 실험체이다. 재하하중 약 50kN에서 초기균열이 발생하였으며, 하중의 증가에 따라 균열이 진전되었다. 최대하



(a) CTB-01 specimen



(b) CTB-02 specimen



(c) CTB-03 specimen



(d) CTB-04 specimen

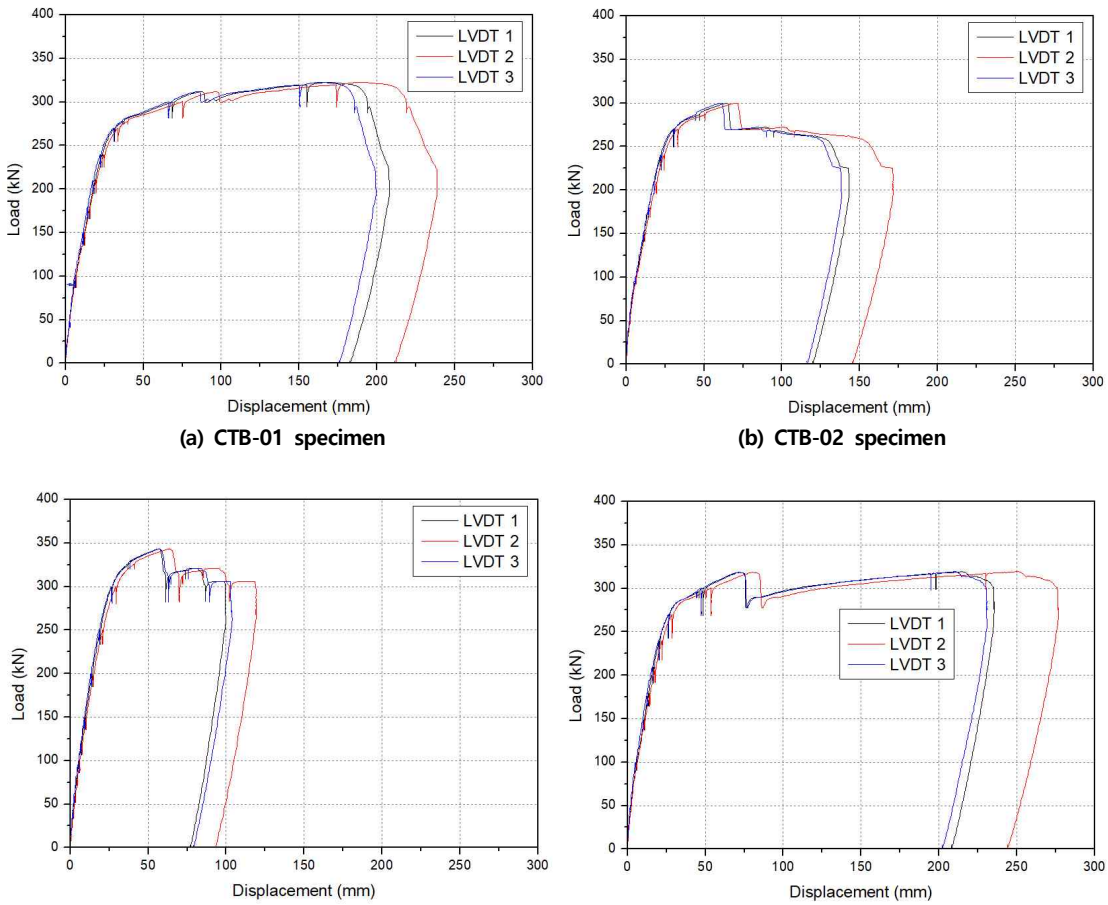
<그림 2.22> Failure mode of specimens

중은 319.0kN으로 계측되었으며, 최대하중 이후에 압축 콘크리트의 압괴로 하중이 감소하였다.

<그림 2.22>에 각 실험체의 파괴형상을 나타내었다. 전체 실험체의 파괴영상은 유사하게 나타났다. 하부 강판이 항복하는 시점에서 실험체의 항복강도가 관찰되었고, 항복강도 이후에 압축측 콘크리트의 압괴시까지 안정적인 거동을 나타내며 최대강도에 도달하였다. 최대강도 이후에도 상당히 큰 변위까지 저항할 수 있는 연성적인 거동을 나타내었다.

### ④ 힘-변위 관계

실험을 통해서 얻은 전체 실험체의 힘-변위 관계 곡선을 <그림 2.23>에 나타내었다. 초기균열이 발생하는 시점에서 실험체의 초기강성 감소가 관찰되며, 이후 항복강도에 도달할때까지 안정적인 거동을 나타낸다. 하부 인장측에 보강철근을 배치한 CTB-03 실험체는 초기균열의 발생시점과 초기강성의 감소시점이 다른 실험체에 비해 상당히 지연되었음을 알 수 있으며, 이는 U-플랜지 트러스 복합보의 휨거동 파악에 중요한 의미를 가진다고 할 수 있다.




(a) CTB-01 specimen (b) CTB-02 specimen

(c) CTB-03 specimen (d) CTB-04 specimen

<그림 2.23> Load-displacement relationships

항복강도 이후에 변위의 증가와 함께 완만한 강도증가를 보이며, 최대강도 및 최대변위까지 상당히 안정적인 연성거동을 나타낸다. 최대강도 시점 직후에 소폭의 강도감소는 상현재 강판과 압축 콘크리트 사이의 슬립발생에 의한 것으로 판단되며, 추후에 계획중인 수평전단실험을 통해서 이에 대한 명확한 분석이 이루어 질 수 있을 것으로 판단된다.

### ⑤ 기준 설계식을 이용한 휨강도 평가

전체 실험체에 대해서 철근콘크리트 복근보의 휨강도 산정법을 적용하여 이론적인 공칭하중을 산정하고, 이 값을 실험을 통해 구해진 최대하중과 <표 2.16>에서 비교하였다.

<표 2.16>에서 볼 수 있듯이 U-플랜지 트러스 복합보의 휨강도는 기존의 철근콘크리트 복근보 휨강도 산정법을 이용하여 비교적 정확하게 평가할 수 있음을 알 수 있으며, 이를 통해서 U-플랜지 트러스 복합보에서 강재와 콘크리트의 합성작용이 충분하게 발생함을 알 수 있다.

**<표 2.16> Comparison of maximum loads**

| Specimens | Test $P_{max}$ [kN] | Theoretical $P_n$ [kN] | Ratio $P_{max}/P_n$ |
|---|---|---|---|
| CTB-01 | 322.5 | 313.3 | 1.03 |
| CTB-02 | 299.7 | 296.0 | 1.01 |
| CTB-03 | 343.3 | 355.2 | 0.97 |
| CTB-04 | 319.2 | 296.6 | 1.08 |

철근콘크리트 복근보에 대한 이론식을 복합보 실험체에 적용하는 과정에서 모든 실험체에서 압축측 강재가 항복하지 않는 경우로 해석되었다. 따라서 U-플래지 트러스 복합보의 유효한 설계를 위해서는 상부 압축측에 철근을 보강하는 것 보다는 상부강재의 항복을 유도하기 위해서 하부 인장측에 철근을 배근하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

## (다) 선조립 복합보의 구조성능평가 결과

이 연구에서는 U-플랜지 트러스 복합보의 기본적인 실험체를 대상으로 단순보 가력실험을 실시하고, 휨모멘트 강도에 대한 실험결과를 바탕으로 기존 이론식을 통해 산정된 강도와 비교를 통해서 U-플랜지 트러스 복합보의 휨내력을 평가하였다. 이를 통해서 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 전체 실험체의 파괴양상은 유사하게 나타났다. 하부 강판이 항복하는 시점에서 실험체의 항복강도가 관찰되었고, 항복강도 이후에 압축측 콘크리트의 압괴 시까지 안정적인 거동을 나타내며 최대강도에 도달하였다. 최대강도 이후에도 상

당히 큰 변위까지 저항할 수 있는 연성적인 거동을 나타내었다.

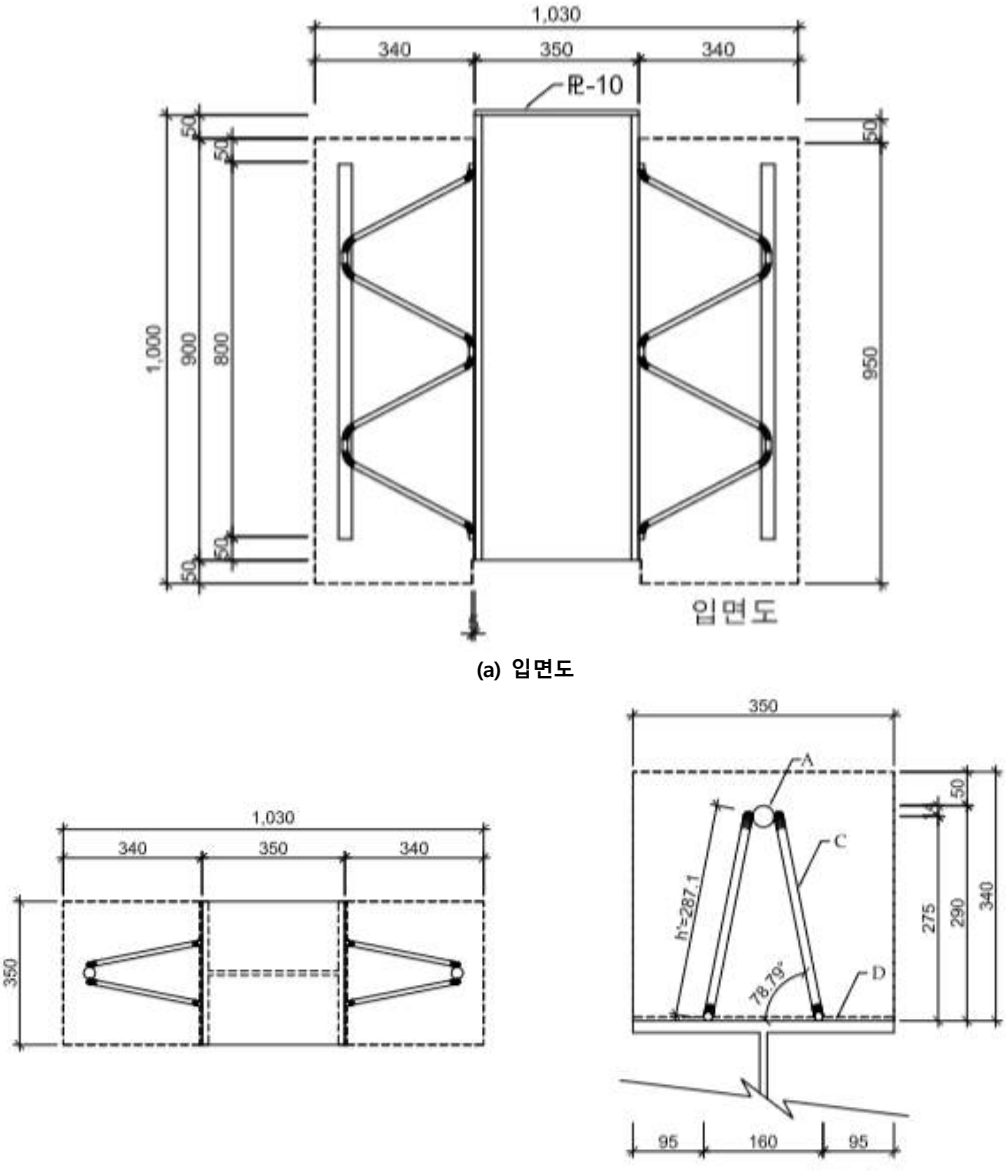
2) 최대강도 시점 직후에 소폭의 강도감소가 관찰 되었으며, 이는 상현재 강판과 압축 콘크리트 사이의 슬립발생에 의한 것으로 판단된다.
3) U-플랜지 트러스 복합보의 휨강도는 기존의 철근콘크리트 복근보 휨강도 산정법을 이용하여 비교적 정확하게 평가할 수 있음을 알 수 있으며, 이를 통해서 U-플랜지 트러스 복합보에서 강재와 콘크리트의 합성작용이 충분하게 발생함을 알 수 있다.
4) U-플랜지 트러스 복합보의 유효한 설계를 위해서는 상부 압축측에 철근을 보강하는 것 보다는 상부 강재의 항복을 유도하기 위해서 하부 인장측에 철근을 배근하는 것이 바람직하다.

## (5) 합성효과 검증을 위한 Push-out 실험(2차년도)

### (가) Push-out 실험 계획

본 실험은 춤 300mm 이상의 바닥 구조에서 충전 U-플랜지를 이용하여 중·저층 건축물용 Slim Slab-beam을 개발하는 데 있어, Push-Out 실험을 통해 거더와 콘크리트 슬래브의 합성거동을 평가하는 데 있다.

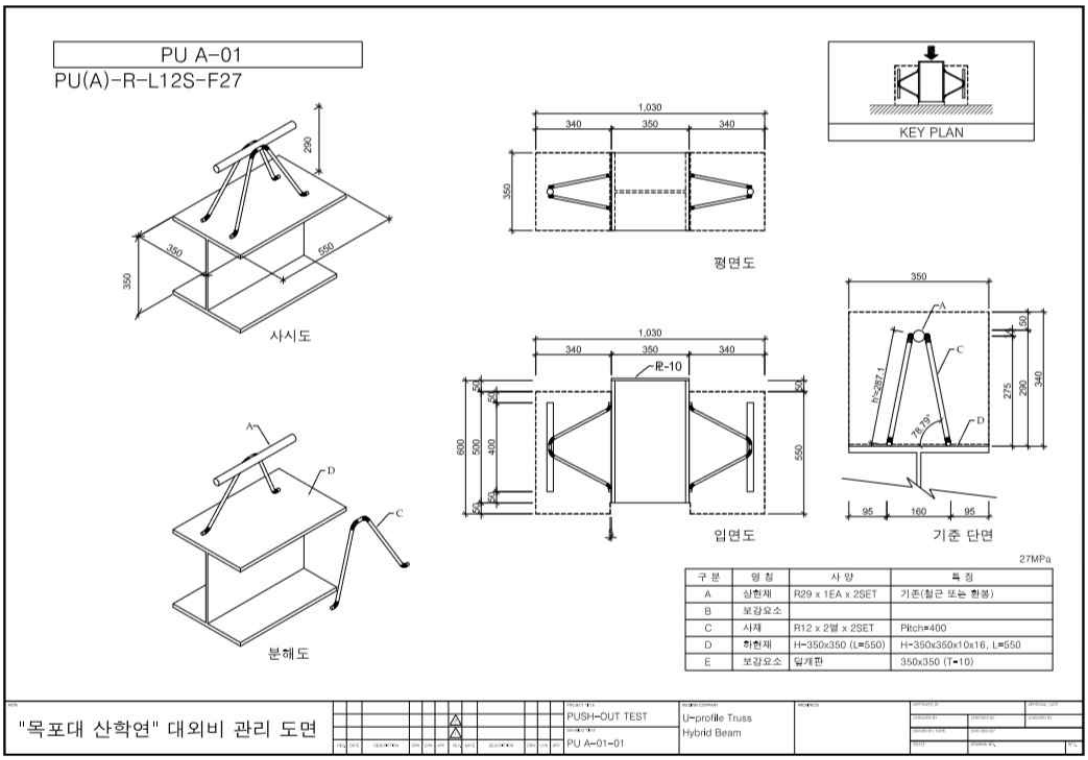
실험체의 형상과 기본 배근은 <그림 2.24>와 같으며 실험 변수는 상현재의 종류와 실험체의 길이 및 사재의 직경, 설치 개수, 간격에 따라 <표 2.17>과 같이 나뉜다.

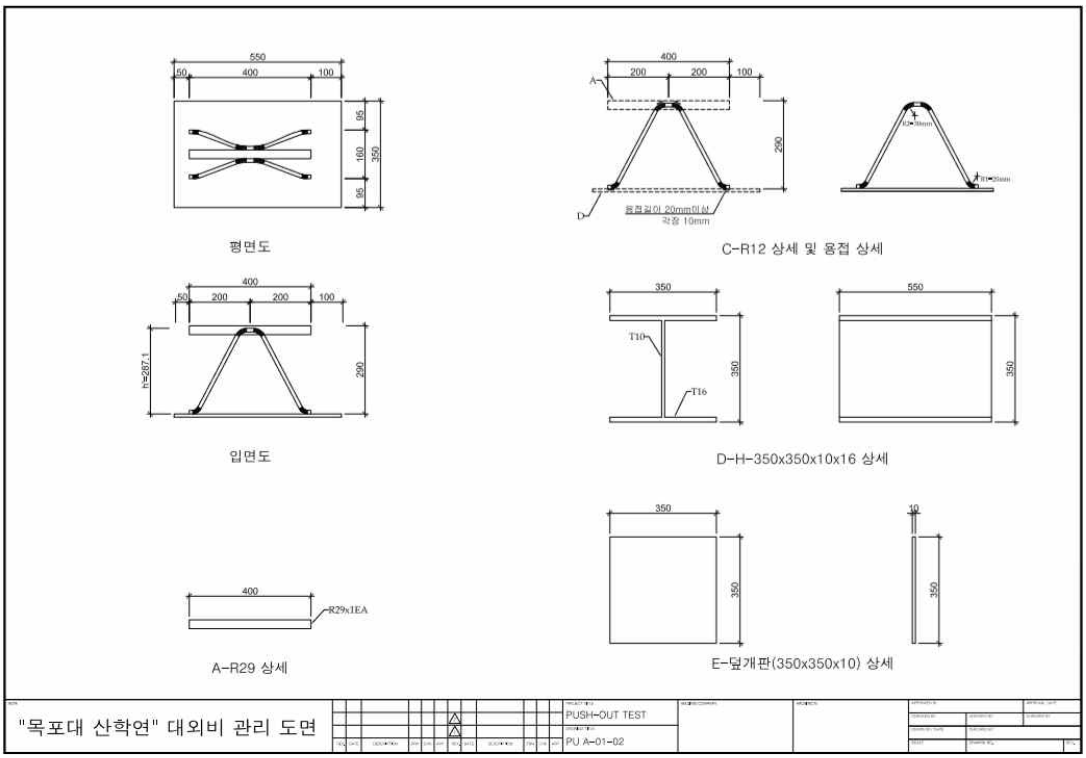



<그림 2.24> 실험체 형상 및 배근

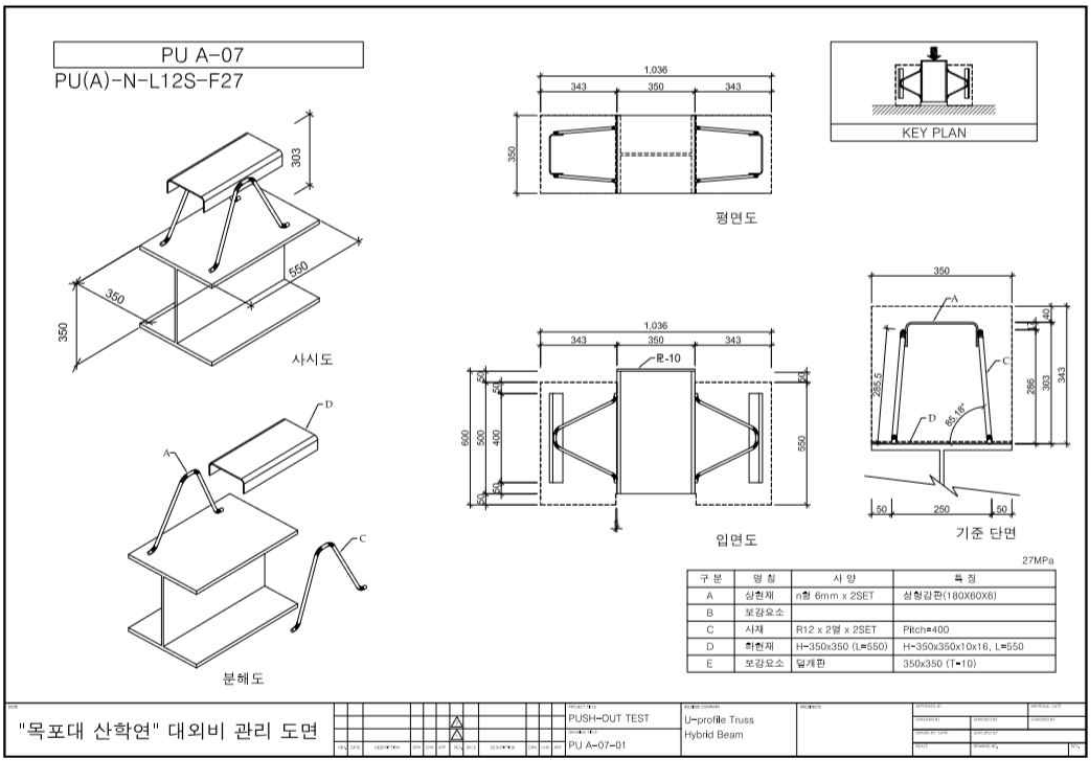
**<표 2.17> 실험체별 변수**

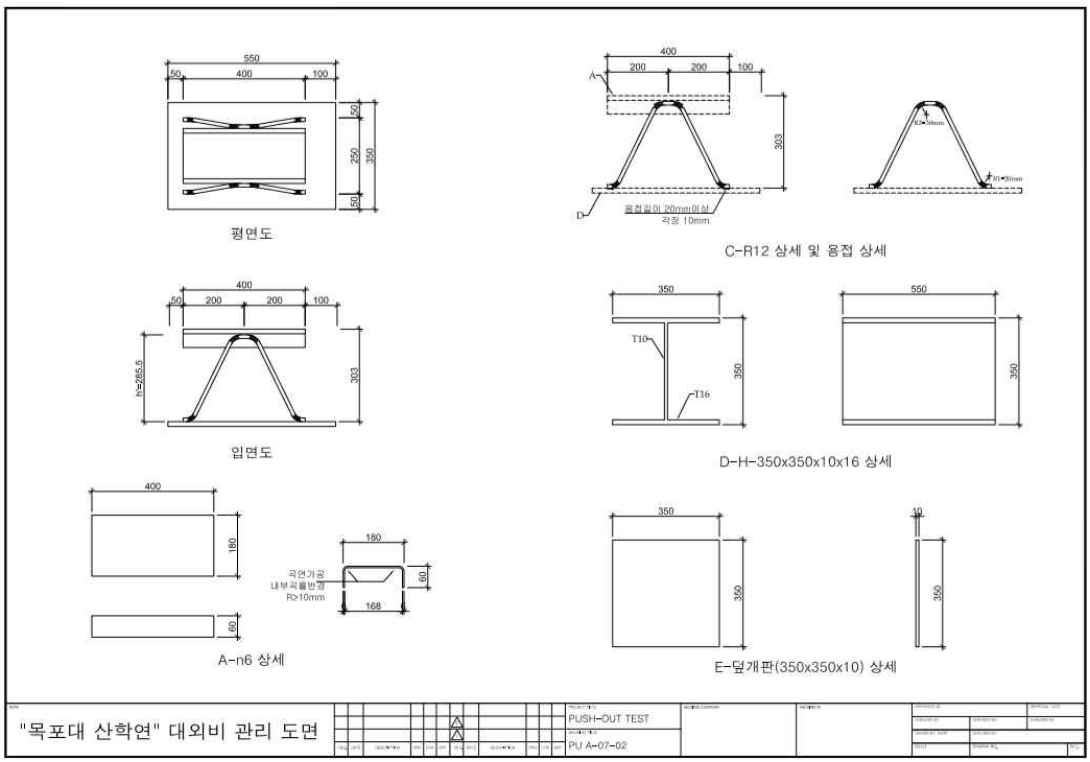
| 구 분 | 실험체 명 | fck (MPa) | 상현재 종류 | 실험체 | | 사재 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | L (mm) | d (mm) | 직경 (mm) | 개수 (ea) | 간격 (mm) |
| PU A-01 | PU(A)-R-L12S-F27 | 27 | R29 | 550 | 290 | R12 | 2 | 400 |
| PU A-02 | PU(A)-R-L12S-F27 | 27 | R29 | 950 | 290 | R12 | 4 | 400 |
| PU A-03 | PU(A)-R-L16D-F27 | 27 | R29 | 950 | 290 | R16 | 4 | 400 |
| PU A-04 | PU(A)-R-L16D-F40 | 40 | R29 | 950 | 290 | R16 | 4 | 400 |
| PU A-05 | PU(A)-R-L12T-F27 | 27 | R29 | 950 | 290 | R12 | 6 | 267 |
| PU B-06 | PU(B)-R-L16D-F27 | 27 | R29 | 950 | 475 | R16 | 4 | 400 |
| PU A-07 | PU(A)-N-L12S-F27 | 27 | N6 | 550 | 303 | R12 | 2 | 400 |
| PU A-08 | PU(A)-N-L12D-F27 | 27 | N6 | 950 | 303 | R12 | 4 | 400 |
| PU A-09 | PU(A)-N-L16D-F27 | 27 | N6 | 950 | 303 | R16 | 4 | 400 |
| PU A-10 | PU(A)-N-L16D-F40 | 40 | N6 | 950 | 303 | R16 | 4 | 400 |
| PU A-11 | PU(A)-N-L12T-F27 | 27 | N6 | 950 | 290 | R12 | 6 | 267 |
| PU B-12 | PU(B)-N-L16D-F27 | 27 | N6 | 950 | 475 | R16 | 4 | 400 |
| PU B-13 | PU(B)-N-L16DR-F27 | 27 | N6 | 950 | 475 | LR16 | 4 | 400 |




**(a) Push-out(PU A-01) 실험체**




**(b) Push out(PU A-07) 실험체**

**<그림 2.25> Push-out 실험체 도면**

실험체는 <그림 2.26>과 같이 설치하였으며, 실험체 하부는 H형강과 강봉을 이용하여 실험체의 횡변위를 구속하여 거더플레이트와 콘크리트 슬래브의 벌어짐을 최소화하였다.




<그림 2.26> 실험체 셋팅



(a) 좌측 게이지 부착현황



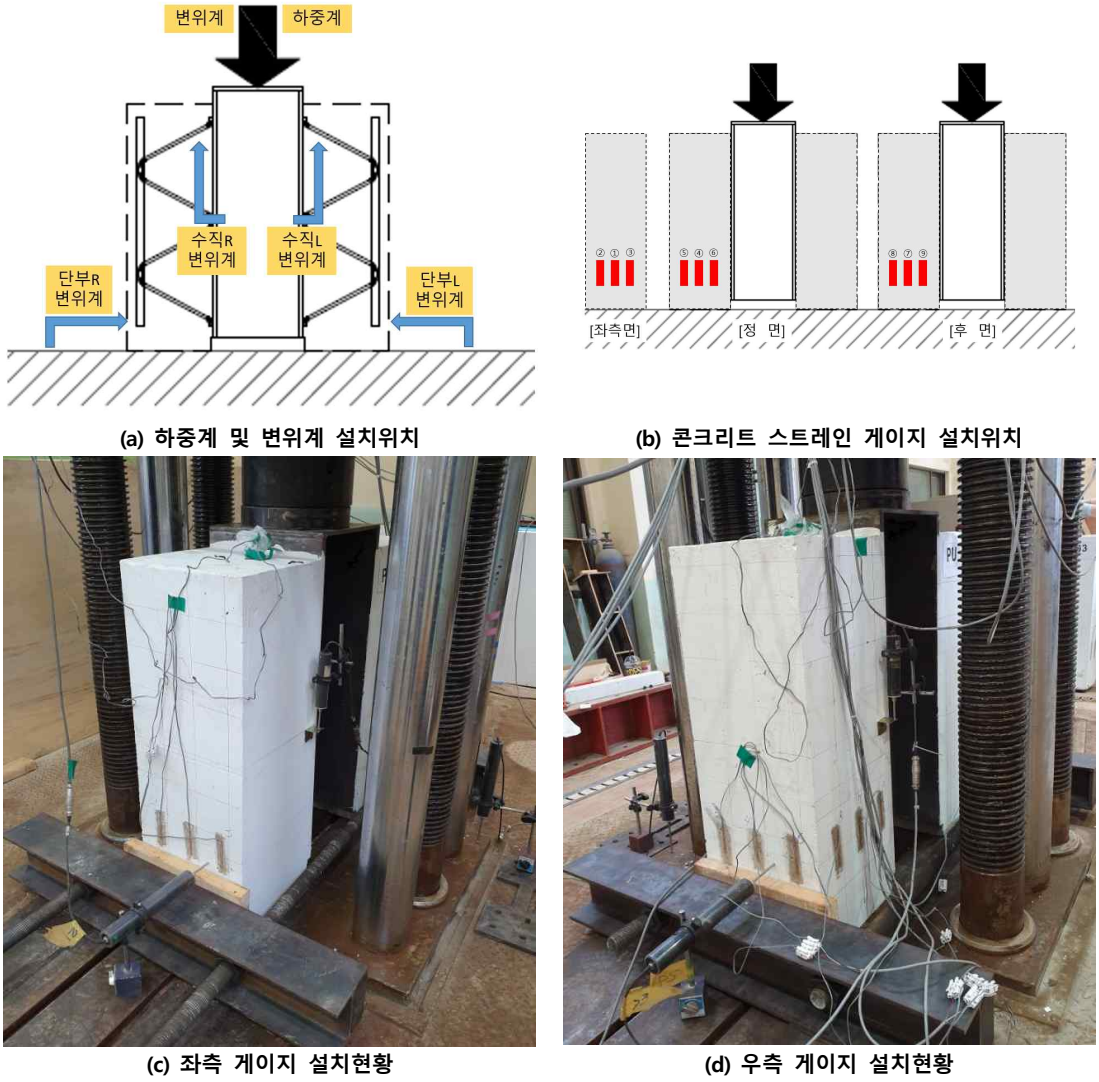

(b) 우측 게이지 부착현황

<그림 2.27> 스트레인 게이지 부착현황

실험체의 도입되는 하중은 상부에 설치된 하중계를 이용하여 측정하였다. 가력 시 순수 실험체의 처짐을 확인하기 위해 변위계를 설치하였으며, 콘크리트 슬래브와 거더

플레이트의 슬립량을 측정하기 위해 수직(R) 및 수직(L) 변위계를 설치하였다. 또한 가력 시 콘크리트 슬래브의 회전 및 거더플레이트와 벌어짐을 측정하기 위해 슬래브 중앙 단부에서 상하로 각 50mm 이격된 거리에 단부(R) 및 단부(L) 변위계를 설치하여 이를 측정하였다.

변위계의 상세위치 및 설치현황은 <그림 2.28>과 같다.




(a) 하중계 및 변위계 설치위치

(b) 콘크리트 스트레인 게이지 설치위치

(c) 좌측 게이지 설치현황

(d) 우측 게이지 설치현황

**<그림 2.28> 변위계 설치현황**

실험은 국립 목포대학교 구조실험동의 3000 kN용량의 만능재료실험기를 이용하여 진행하였다. 실험체의 가력위치는 실험체 중심의 H형강에 두었으며, H형강 상부에는 편심의 영향을 최소화하기 위해 구좌를 설치하였다. 초기 하중이 안정적으로 도입되기 전 5mm까지는 1mm/min의 속도로 가력을 진행하였고 이후 2mm/min의 속도로 진행하였으며, 실험체의 하중이 최대하중의 30% 이상 감소하였을 때 실험을 종료하였다.

### (나) 실험결과 및 분석

Push-Out 실험은 상현재의 종류에 따라 하중-변위 관계에 뚜렷한 차이를 보였다. 상현재로 강봉을 이용한 실험체(PU A-01, 02, 03, 04, 05, 06)는 콘크리트 슬래브와 거더 플레이트 간 초기균열 이후 하중은 지속적으로 증가하나 강성감소가 뚜렷하였으며, 최대내력이후 급격한 하중감소를 보였지만, 상현재로 “n”형 성형강재를 이용한 실험체는 콘크리트 슬래브와 거더플레이트 간 초기균열 이후 감성 감소 없이 하중이 지속적으로 증가하였다. 또한 최대내력이후 비교적 완만한 하중감소를 보였다.




(a) PU A-01 파괴 양상

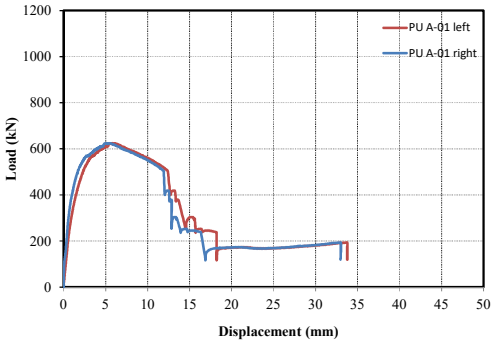



(b) PU A-07 파괴 양상

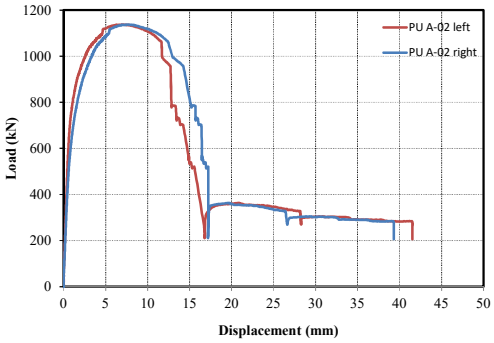
<그림 2.29> 실험체 파괴 양상

<표 2.18> 실험 결과

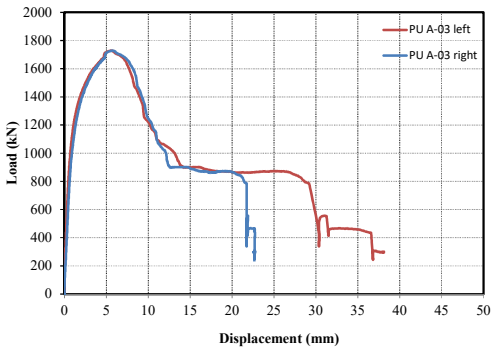
| 실험체명 | 최대하중 (kN) | 최대하중 시 변형량 (mm) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 슬립(L) | 슬립(R) | 단부(R) | 단부(L) | UTM 변위 |
| PU A-01 | 624.69 | 5.56 | 5.00 | 0.61 | 0.09 | 9.53 |
| PU A-02 | 1137.63 | 7.08 | 7.68 | 0.50 | 0.17 | 13.41 |
| PU A-03 | 1728.66 | 5.58 | 5.73 | 0.28 | 0.22 | 10.69 |
| PU A-04 | 1703.94 | 5.04 | 6.10 | 0.30 | 0.23 | 10.81 |
| PU A-05 | 1574.19 | 5.43 | 3.56 | 0.71 | -0.29 | 10.44 |
| PU B-06 | 1560.32 | 6.81 | 7.09 | 0.59 | 0.47 | 11.23 |
| PU A-07 | 507.21 | 4.05 | 4.56 | 0.09 | 0.58 | 8.66 |
| PU A-08 | 787.21 | 3.44 | 3.65 | 0.41 | 0.13 | 7.01 |
| PU A-09 | 1180.12 | 2.60 | 3.15 | 0.14 | 0.42 | 7.62 |
| PU A-10 | 1281.46 | 2.27 | 2.55 | 0.17 | 0.31 | 6.45 |
| PU A-11 | 1079.66 | 2.00 | 2.50 | 0.42 | 0.21 | 6.32 |
| PU B-12 | 979.26 | 2.90 | 2.38 | 0.23 | 0.37 | 8.03 |
| PU B-13 | 1466.44 | 2.29 | 1.62 | 0.03 | 0.63 | 6.60 |



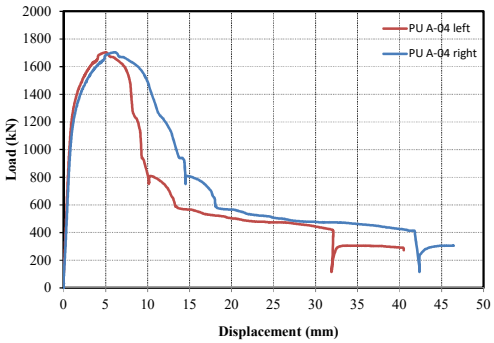

(a) PU A-01/PU(A)-R-L12S-F27



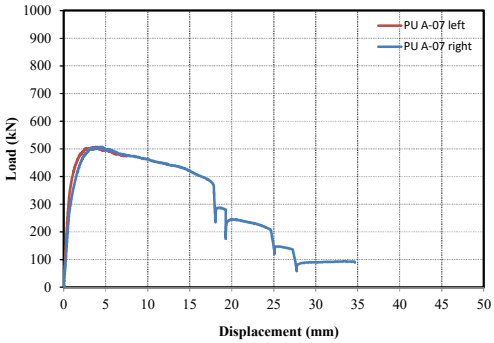

(b) PU A-02/PU(A)-R-L12S-F27



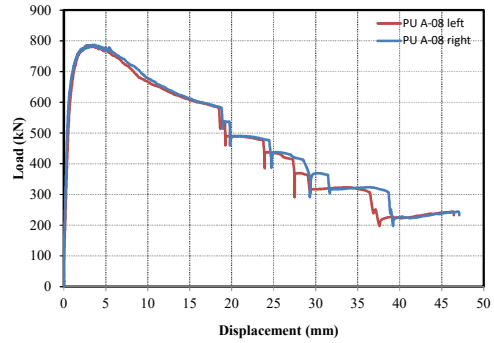

(c) PU A-03/PU(A)-R-L16D-F27



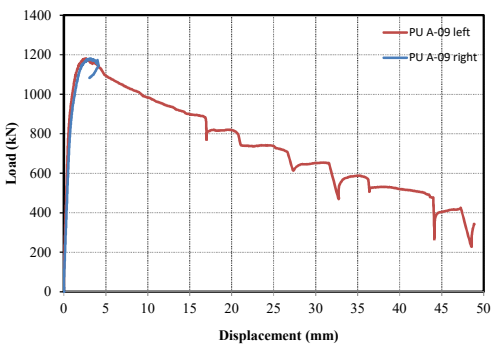

(d) PU A-04/PU(A)-R-L16D-F40



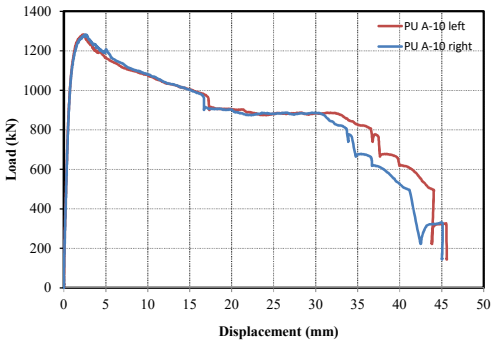

(e) PU A-07/PU(A)-N-L12S-F27




(f) PU A-08/PU(A)-N-L12D-F27

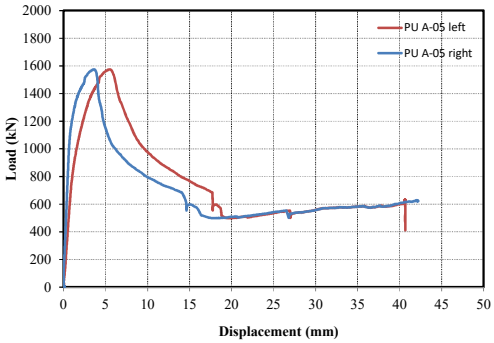



(g) PU A-09/PU(A)-N-L16D-F27

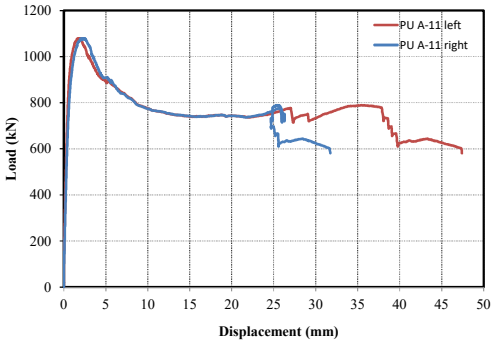



(h) PU A-10/PU(A)-N-L16D-F40

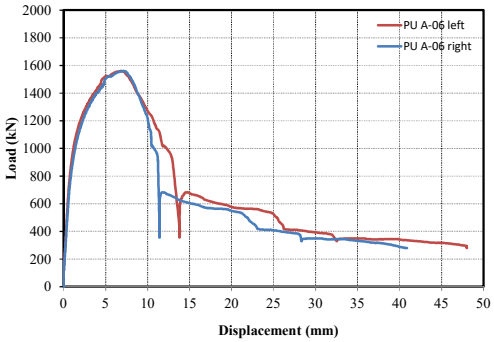
<그림 2.30> 실험체의 하중-변위 곡선(계속)



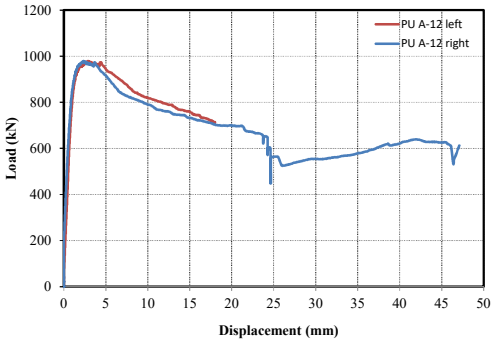

(i) PU A-05/PU(A)-R-L12T-F27



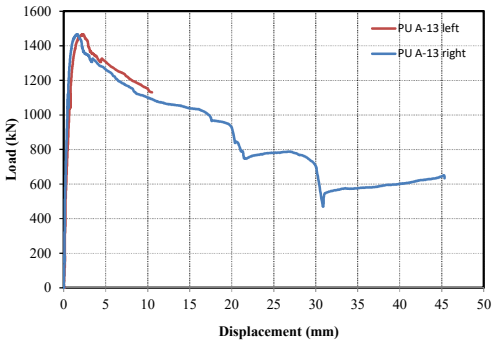

(k) PU A-11/PU(A)-N-L12T-F27




(j) PU B-06/PU(B)-R-L16D-F27




(l) PU B-12/PU(B)-N-L16D-F27




(m) PU B-13/PU(B)-N-L16DR-F27

<그림 2.30> 실험체의 하중-변위 곡선

## (다) 합성효과 검증 결과

본 실험은 춤 300mm 이상의 바닥 구조에서 충전 U-플랜지를 이용항 중·저층 건축물용 Slim Slab-beam을 개발하기 위해 Push-Out 실험을 통해 거더와 콘크리트 슬래브의 합성거동을 평가하였다.

실험의 주요변수는 상현재의 종류, 실험체의 크기, 사재의 개수 및 간격이며, 총 13개의 실험체를 제작하여 Push-Out 실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Push-Out 실험은 상현재의 종류에 따라 하중-변위 관계에 뚜렷한 차이를 보였다.

상현재로 강봉을 이용한 A타입의 실험체는 콘크리트 슬래브와 거더플레이트 간 초기균열 이후 하중은 지속적으로 증가하나 강성감소가 뚜렷하였으며, 최대내력 이후 급격한 하중감소를 보였지만. 상현재로 “n”형 성형강재를 이용한 B타입의 실험체는 콘크리트 슬래브와 거더플레이트 간 초기균열 이후 감성감소 없이 하중이 지속적으로 증가하였다. 또한 최대내력이후 비교적 완만한 하중감소를 보였다.

2) 최대하중은 상현재로 강봉을 이용한 A타입이 상현재로 “n”형 성형강재를 이용한 B타입보다 1.23~1.59배 높은 내력을 보였다.

(3) 콘크리트 강도는 실험체의 내력 증가에 큰 영향을 주지 못했다.

(4) 사재의 직경이 증가할수록 실험체의 최대하중은 증가하였지만, 사재의 직경(단면적)에 비례해서 증가하지는 않았다.

(5) 사재의 개수가 2에서 4 및 6개로 증가함에 따라 최대하중은 1.82배 및 2.52배 증가하였다.

(6) 최적 형상 결정 시 실험의 내용을 반영하여 최적 형상을 최종 결정 예정이다.

## (6) 선조립 복합보의 구조성능평가(2차년도)

### (가) 단부 보강에 따른 U-플랜지 트러스 보의 구조성능평가

#### ① 실험체 계획

U-플랜지 트러스 보의 성능을 평가하기 위해 총 6개의 실험체가 계획되었다. U-플랜지 트러스 보의 기본형상은 <그림 2.31>과 같다.

실험체의 단면 구성은 ∩형 성형강판(180×60×6t)을 상부 플랜지로 한 상현재를 구성하고, 측면에 강봉 래티스(R16)를 좌우로 2열 배치한 후 하부 플랜지(PL-8t)를 거푸집 기능과 인장재 역할을 하도록 구성하였다.

주요 변수는 <표 2.19>에서 보는 바와 같이 시공하중에 의해 압축력을 받는 상현재는 동일하고, 단부 부분의 보강 상세에 따른 U-플랜지 트러스 보의 구조 성능을 평가하고자 높이(h) 350mm, 폭(b) 350mm 및 길이(L) 2,400mm의 선조립 강재 보 실험체를 계획하였다.

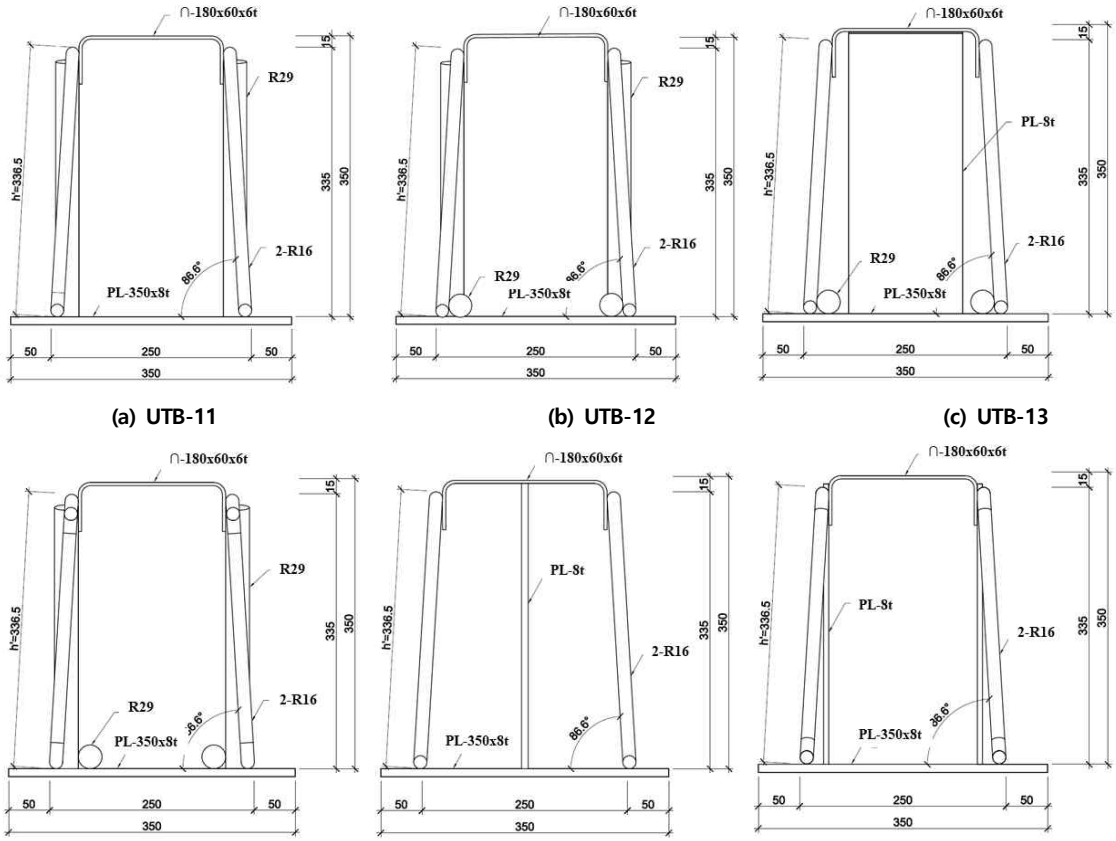
UTB-11 실험체는 단부 부분에 지름 29mm의 강봉 2개를 양쪽에 경사지게 설치하여 보강한 실험체이다. UTB-12 실험체는 UTB-11 실험체와 동일하지만, 추가로 하부 강판 위에 지름 29mm의 강봉 2개를 설치하여 보강한 실험체이다. UTB-13 실험체는 래티스 보강을 지름 29mm 강봉 대신에 강판 8mm를 이용하여 보강한 실험체이다.

UTB-14 실험체는 UTB-12 실험체와 동일하게 보강하였지만 래티스의 간격을 기본 400mm에서 단부 부분에만 260mm 간격으로 촘촘하게 설치하여 단부를 추가로 보강한 실험체이다. 또한 UTB-15 실험체는 단부 부분에 강판 8mm를 단면의 중앙에 세워서 보강한 실험체이고, UTB-16 실험체는 강판 8mm를 단면의 양쪽에 세워서 보강한 실험체이다. 이러한 단면 상세는 <그림 2.31>에 나타내었다.

U-플랜지 트러스 보의 구조성능을 평가하기 위해 양단을 단순지지하고 2점 가력을 실시하였다. 실험체는 <그림 2.32>와 같이 계획하였으며, 하중재하는 0.03mm/s의 변위제어 방식으로 하였다. 이 때 실험은 데크 플레이트가 U-플랜지 트러스 보의 하부 강판에 거치되는 것을 고려하여 보의 하부 강판에 하중이 재하되도록 하였다. 하중재하에 따른 수직방향의 변위를 측정하기 위해 <Fig. 3>에 나타낸 바와 같이 실험체 하부

**<표 2.19> Test specimens list**

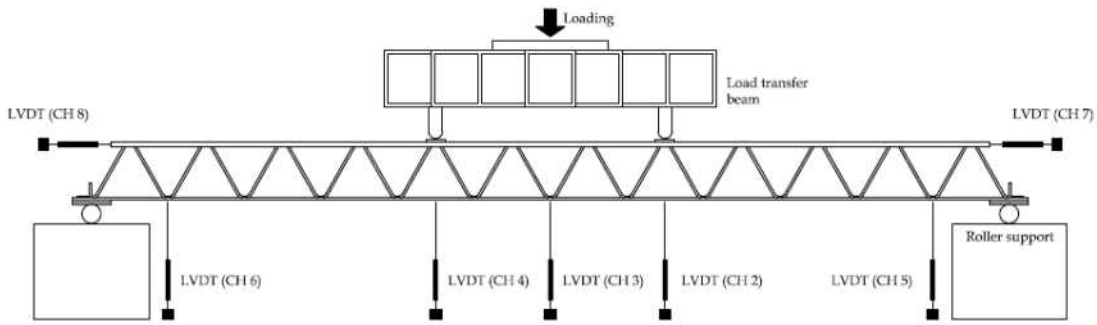
| Specimens ID | | Upper Chord | Lattice | Lower Plate | Reinforcement of End zone | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Lattice | Lower Plate |
| UTB-11 | UTB-ER-X-A | ∩-180×60×6 | 2-R16@400 | PL-350x8 | R29(4EA) | - |
| UTB-12 | UTB-ER-BR-A | ∩-180×60×6 | 2-R16@400 | PL-350x8 | R29(4EA) | R29(4EA) |
| UTB-13 | UTB-EP-BR-A | ∩-180×60×6 | 2-R16@400 | PL-350x8 | PL-8(2EA) | R29(4EA) |
| UTB-14 | UTB-ER-BR-B | ∩-180×60×6 | 2-R16@260~400 | PL-350x8 | R29(4EA) | R29(4EA) |
| UTB-15 | UTB-EPV1-X-A | ∩-180×60×6 | 2-R16@400 | PL-350x8 | PL-8(2EA) | - |
| UTB-16 | UTB-EPV2-X-C | ∩-180×60×6 | 2-R16@400 | PL-350x8 | PL-8(4EA) | - |




(a) UTB-11 (b) UTB-12 (c) UTB-13

(d) UTB-14 (e) UTB-15 (f) UTB-16

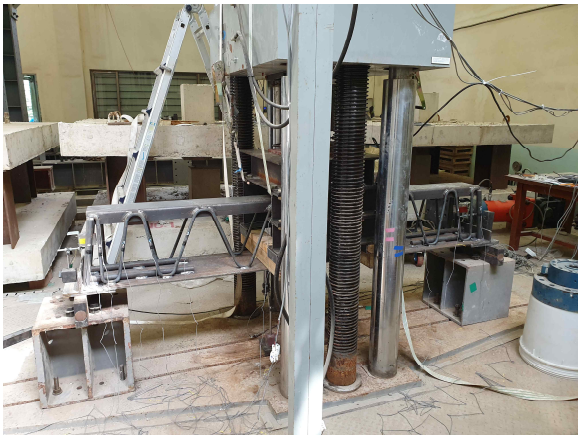
<그림 2.31> The details of U-flanged truss steel beam specimens




<그림 2.32> The experimental Plan of U-flanged truss steel beam

에 변위계를 설치하여 계측하였다. 또한 하중 재하에 따른 실험체의 주요 부위의 변형률을 측정하기 위하여 변형률 게이지를 부착하였다.

시험에 사용된 가력장비는 3,000kN Universal Testing Machined 사용하였고, 변위 측정 장비로는 LVDT(Displ acement Transducer)가 사용되었다. 각각 50mm, 100mm 및 1,000mm 용량의 LVDT가 사용되었다. 철근과 콘크리트의 변형률을 계측할 수 있는 변형률 게이지(Strain Gauge)는 철근용 변형률 게이지는 Gauge Length 5mm, Gauge Resistance 120Ω 전기저항식 변형률 게이지를 사용하였다. <그림 2.33>에 실험체의 셋팅 상황을 나타내었다.



<그림 2.33> Test Set-up

### ② 실험결과 및 분석

#### ㉮ 금속재료인장시험

실험체에 사용된 강재의 재료 성능을 확인하기 위해 인장시험을 실시하였다. 시험편은 상현재로 사용된 성형강판 6mm 철판, 래티스로 사용된 16mm 환봉, 하현재 및 단부 보강재로 사용한 8mm 철판에 대하여 각각 3개씩의 시료를 준비하여 시험을 수행하였다.

탄성계수 및 응력-변형률 곡선을 확보하기 위하여 시험편 중앙부에 스트레인 게이지를 부착하였다. 시험편은 KS B 0801을 준용하여 각각 3개씩 제작하였고, KS B 0802에 따른 인장시험결과의 평균값을 <표 2.20>에 나타내었다.

<표 2.20> Material test results

| | $F_y$ [MPa] | $F_u$ [MPa] | $E$ [GPa] |
|---|---|---|---|
| PL-6t | 447.12 | 569.50 | 207.93 |
| PL-8t | 331.73 | 479.96 | 211.35 |
| $\phi$16 | 355.60 | 493.18 | 211.80 |
| $\phi$29 | 298.90 | 442.66 | 199.80 |

#### ㉯ 파괴양상

UTB-11 실험체는 6mm 성형강판을 ∩형으로 가공하여 상현재로 설치하고 두께 8mm 강판을 하현재로 사용하였다. 래티스는 16mm의 강봉을 2열로 400mm 간격으로 배치한 실험체이다. 래티스의 양단부에는 지름 29mm 강봉을 이용하여 보강하였다.

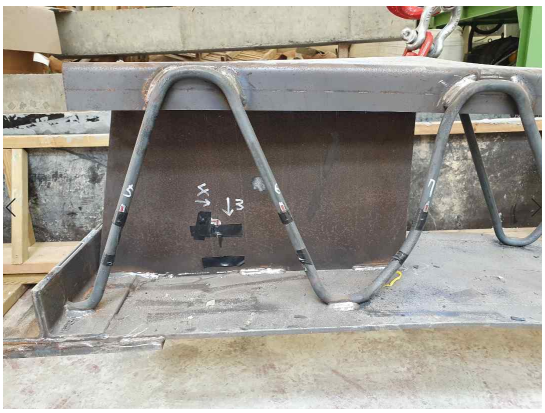
하중의 증가에 따라 변위가 증가하였으며, 하현재와 래티스가 순차적으로 항복하였다. 래티스의 좌굴 이후 최대하중에 도달하였다. 최대하중은 변위 25.96mm에서 103.22kN으로 측정되었고, <그림 2.34>의 (a)에서 보는 바와 같이 래티스의 좌굴에 의해 결정되었다. 최대하중 이후 좌굴이 발생하여 하중이 감소하였으며, 하중 감소의 기울기는  매우 완만하였다. 기존 실험에서는 래티스의 좌굴 이후 급격한 하중 감소를 보였



(a) UTB-11 specimen



(b) UTB-12 specimen



(c) UTB-15 specimen



(d) UTB-16 specimen

<그림 2.34> The failure mode of specimens

다. 따라서 단부 보강은 U-플랜지 트러스 보의 파괴 양상을 연성적인 거동을 유도하였다. 변위 43.02mm에서 래티스의 좌굴이 가속화되었으며, 하중 96.46kN에서 실험을 종료하였다.

UTB-12 실험체는 UTB-11 실험체와 동일하나 추가로 하현재에 지름 29mm 강봉을 이용하여 보강한 실험체이다.

이 실험체도 하중의 증가에 따라 변위가 증가하다가 <그림 2.34>의 (b)에서 보는 바와 같이 단부 부분의 래티스가 좌굴하여 최대하중은 변위 20.66mm에서 100.72kN에 도달하였다. 최대하중 이후 래티스의 좌굴이 발생하여 하중이 감소하였으나 그 기울기는 매우 완만하였다. 변위 42.90mm에서 래티스의 좌굴이 가속화되었으며, 하중 95.93kN에서 실험을 종료하였다.

하현재에 지름 29mm 강봉을 이용한 보강 방법은 UTB-11 실험체와 비교할 때 최대내력 및 파괴 거동에서 큰 차이를 나타내지 않아 그리 유효한 보강 방법은 아닌 것으로 판단된다. UTB-13 실험체는 양단부에 두께 8mm 강판을 이용하여 경사지게 보강한 실험체이며, UTB-14 실험체는 UTB-12 실험체와 동일하나 단부 부근에 래티스의 간격을 260mm 피치로 좁게 배치하여 단부를 보강한 실험체이다. 다른 실험체와 유사하게 하중의 증가에 따라 변위가 증가하였으며, 단부의 래티스가 좌굴하여 UTB-13 실험체는 최대하중 92.99kN에 도달하였고, UTB-14 실험체는 최대하중 92.99kN에 도달하였

다. UTB-13 및 UTB-14 실험체는 UTB-11, UTB-12 실험체와 동일한 파괴 양상을 보였으며 보강 방법에 따른 특별한 차이를 보이지 않았다.

UTB-15 실험체는 양단부에 두께 8mm 강판을 단면의 중앙에 수직으로 세워 보강한 실험체이고, UTB-16 실험체는 양단부에 두께 8mm 강판 2개를 단면의 양쪽 끝에 수직으로 세워 보강한 실험체이다. UTB-15 실험체와 UTB-16 실험체는 다른 실험체와는 달리 초기부터 비선형 거동을 보였으며 하중 증가에 따라 변위가 증가하였다. 최대 하중 이전에 하현재의 항복이 관찰되었다. 하현재 항복이후 상현재가 좌굴하였으며, 래티스의 좌굴 이후 최대하중에 도달하였다. 최대하중은 UTB-15 실험체는 변위 57.22mm에서 195.95kN으로 계측되었고, UTB-16 실험체는 변위 29.09mm에서 209.59kN으로 계측되었다. 양단부를 강판으로 수직 보강한 UTB-15 실험체와 UTB-16 실험체의 최대하중이 다른 실험체와 비교할 때 2배 정도 커서 U-플랜지 트러스의 보의 구조 내력을 증진시키는 적절한 방법으로 평가되었다.

**㈐ 하중-변위관계곡선 분석**

<그림 2.35>와 <표 2.21>에 하중-변위 곡선과 실험결과를 나타내었다. 양쪽 단부를 강봉으로 보강하는 방법(UTB-11, UTB-12 및 UTB-14 실험체)과 철판으로 보강하는 방법(UTB-13, UTB-15 및 UTB-16 실험체)으로 크게 나눌 수 있는데 단부 보강 방법에 따라 U-플랜지 트러스 보의 구조 내력은 큰 차이를 나타내고 있다.

<그림 2.35>에서 나타낸 바와 같이, 단부를 철판으로 보강하는 방법(UTB-15 및 UTB-16 실험체)이 강봉으로 보강하는 방법에 비해 구조 내력을 증진시키는 유효한 방법임을 알 수 있었다. 그러나 철판으로 보강하더라도 보강 상세에 따라 UTB-13 실험체의 경우와 같이 강봉으로 보강한 상세와 비교할 때 구조내력 측면에서 큰 차이를 나타내지 않음을 알 수 있었다.

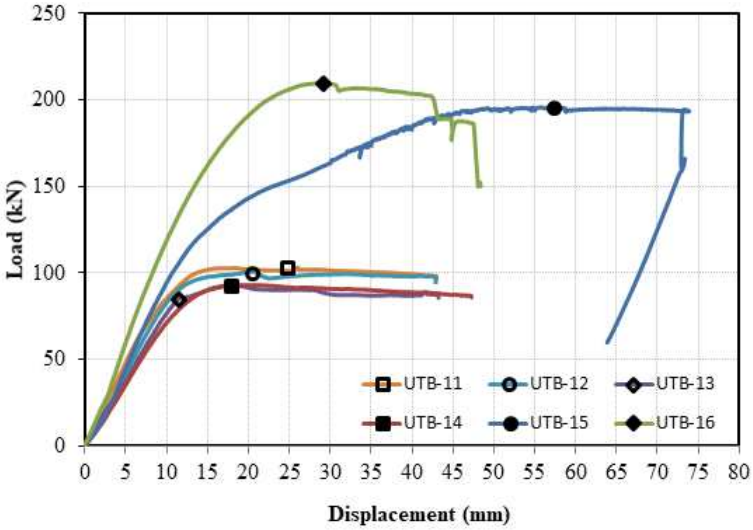
UTB-15 실험체와 같이 단면 중앙에 철판 하나를 보강하는 상세보다는 UTB-16 실험체와 같이 단면 양쪽에 철판 2개로 보강하는 방법이 구조 내력 및 강성 측면에서 가장 좋은 방법인 것을 알 수 있었다.

**㈑ 기준식과의 내력비교**

실험결과, 모든 실험체가 래티스의 좌굴에 의해 최대 내력이 결정되었다. 즉, 단부 보강을 통해 최대한 래티스의 좌굴을 늦출 수 있는 상세가 필요함을 알 수 있었다. 국내설계기준(KBC 2016)에서의 공칭압축강도, $P_n$은 미국의 하중저항계수설계법(LRFD)에 근거하여 다음과 같이 산정한다.

$$P_n = F_{cr} A_g \tag{2.5}$$

여기서, 휨좌굴강도 $F_{cr}$은 다음과 같이 산정한다.




<그림 2.35> The load-displacement curve of specimens

<표 2.21> The Test Results

| Specimens ID | | UTB-11 | UTB-12 | UTB-13 | UTB-14 | UTB-15 | UTB-16 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Test | $P_{\max}$[kN] | 103.22 | 100.72 | 92.99 | 92.99 | 195.95 | 209.59 |
| | $\delta_{\max}$[mm] | 25.96 | 20.66 | 18.03 | 18.71 | 57.22 | 29.09 |
| KBC 2016 | $P_n$[kN] | 169.2 | 169.2 | 169.2 | 169.2 | 169.2 | 169.2 |
| | $P_{\max}/P_n$ | 0.61 | 0.60 | 0.55 | 0.55 | 1.16 | 1.24 |
| Eurocode 3 | $N_{b,Rd}$[kN] | 133.5 | 133.5 | 133.5 | 133.5 | 133.5 | 133.5 |
| | $P_{\max}/N_{b,Rd}$ | 0.77 | 0.75 | 0.70 | 0.70 | 1.47 | 1.57 |

1) $\frac{KL}{r} \leqq 4.71\sqrt{E/F_y}$ 인 경우

$$F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right]F_y \tag{2.6}$$

2) $\frac{KL}{r} > 4.71\sqrt{E/F_y}$ 인 경우

$$F_{cr} = 0.877F_e \tag{2.7}$$

여기서, $F_e$ : 탄성휨좌굴강도(MPa)= $\frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2}$, $A_g$ : 부재의 총단면적(mm$^2$), $F_y$ : 강재의 항복강도(MPa), $E$ : 강재의 탄성계수(MPa), $K$ : 유효좌굴길이계수(=1.0), $L$ : 부재의 길이(mm), $r$ : 좌굴 축에 대한 단면2차반경(mm)

또한 Eurocode 3(2005)에서는 공칭압축강도, $N_{b,Rd}$를 다음과 같이 산정한다.

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_g F_y}{\gamma_{M1}} \tag{2.8}$$

여기서, $\gamma_{M1}$ : 부분안전계수(=1.05), $\chi$ : 좌굴감소계수 $= \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \overline{\lambda}^2}} \leqq 1.0$

여기서, $\phi = 0.5[1 + \alpha(\overline{\lambda} - 0.2) + \overline{\lambda}^2]$, $\lambda$ : 무차원 세장비 $= \sqrt{\frac{A_g F_y}{N_{cr}}}$, $\alpha$ : 초기변형계수(=0.49), $N_{cr}$ : 탄성좌굴하중(kN)

식(2.5) 및 식(2.8)에 의한 공칭강도 값은 각각 169.2kN(KBC 2016)과 133.5kN(Eurocode 3)이다. 래티스의 좌굴내력을 산정할 때 유효좌굴길이계수($K$)는 1.0을 사용하였으며, 래티스의 항복강도($F_y$)와 탄성계수($E$)는 재료시험결과를 사용하였다. 또한 실험결과와의 비교를 위해, 부분안전계수($\gamma_{M1}$)는 적용하지 않았다.

<표 2.21>에서 보는 바와 같이, UTB-11, UTB-12, UTB-13 및 UTB-14 실험체는 국내설계기준(KBC 2016)과 Eurocode 3에 의한 식에 의한 래티스 좌굴 내력을 발현시키지 못하고 있다. 기존의 실험결과에서는 Eurocode 3(2005)에 의한 식을 사용하면 U-플랜지 트러스 보의 래티스 좌굴을 안전측으로 평가할 수 있었다. 그러나 이 때의 실험은 상현재 상부에 하중을 가하였으나 본 실험에서는 데크 플레이트가 U-플랜지 트러스 보의 하부 강판에 거치되는 것을 고려하여 보의 하부 강판에 직접 하중이 재하되도록 하였기 때문에 래티스 좌굴 측면에서는 더욱 더 불리한 결과를 얻었다.

단부를 강판으로 보강한 상세를 가진 UTB-15 및 UTB-16 실험체는 국내설계기준(KBC 2016)과 Eurocode 3에 의한 식에 의한 래티스 좌굴 내력을 충분히 발현시킬 수 있음을 알 수 있다.

### ③ 소결

이 연구에서는 U-플랜지 트러스 보의 구조 내력 향상을 위해 단부 부분의 보강을 통해 래티스 부재의 좌굴을 지연시키는 상세를 개발하였다. 이러한 상세의 효과를 검증하기 위해 단순 보 실험을 통해 검증하였다. 이러한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

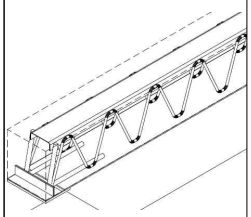
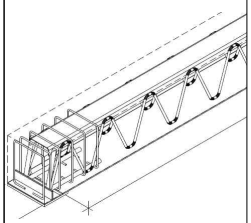
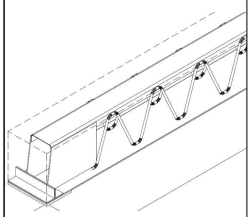
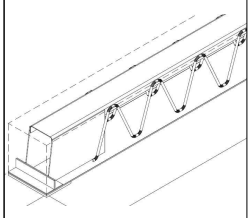
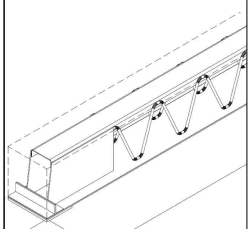
1) 모든 실험체는 래티스의 좌굴에 의해 최대내력이 결정되었다. 단부에 강봉으로 보강한 상세보다 단부를 강판을 이용하여 수직으로 보강한 상세가 U-플랜지 트러스 보의 구조 내력을 증진시키는 유효한 방법으로 판단된다.
2) 단부를 강판으로 보강한 상세를 가진 U-플랜지 트러스 보는 국내설계기준(KBC 2016)과 Eurocode 3에 의한 산정식에 의한 래티스 좌굴 내력을 충분히 발현시킬 수 있다.

## (나) 선조립 UT 합성보의 성능 실험

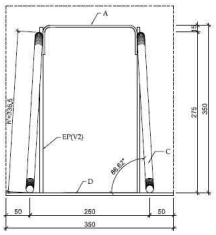
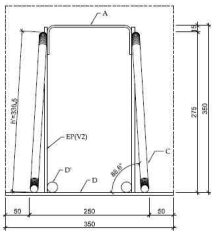
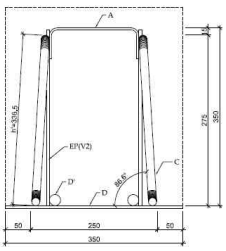
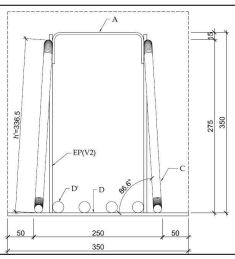
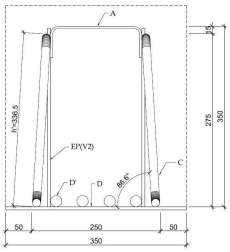
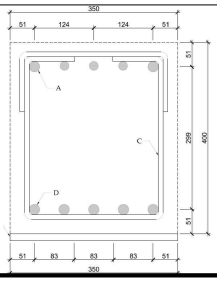
### ① 실험계획

본 실험은 UT 합성보의 구조성능을 평가하고자 한다. UT 합성보의 구조성능 검증에 사용된 실험체는 <표 2.22> ~ <표 2.23>과 같다.

**<표 2.22> UT합성보 CTS 전단 실험체**

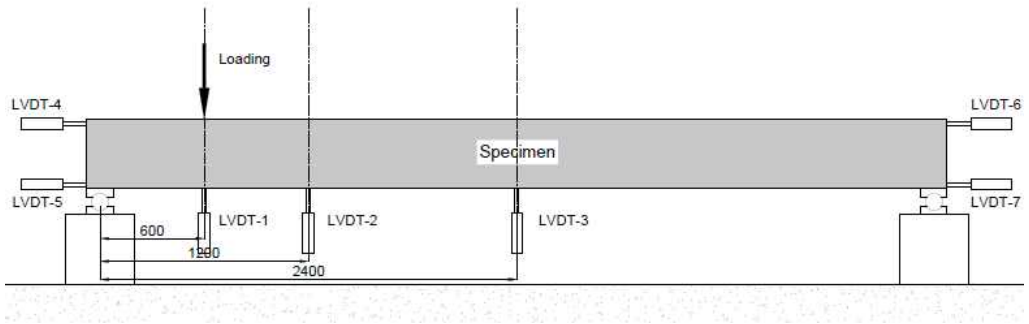
| Specimens | 형 상 | 구성방법 | | 상현재 | 사재 | 하현재 | 사 재<br>Pitch / High |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CTS-11 |  | 단부ER29<br>단부BR29<br>스트럽보강 X<br>강판보강 X<br>지점판 불연속 | 400간격<br>마무리<br>전단철근<br>없음 | n형<br>n-180*60*6<br>- | 봉강<br>좌우 2열<br>⌀16<br>12회 절곡 | 하부강판<br>Plate 8<br>(b=350) | 400㎜<br>(h=336) |
| CTS-12 |  | 단부ER29<br>단부BR29<br>스트럽보강<br>강판보강 X<br>지점판 불연속 | 400간격<br>마무리<br>전단철근<br>있음 | n형<br>n-180*60*6<br>- | 봉강<br>좌우 2열<br>⌀16<br>12회 절곡 | 하부강판<br>Plate 8<br>(b=350) | 400㎜<br>(h=336) |
| CTS-13 |  | 단부ER X<br>단부BR X<br>스트럽보강 X<br>강판보강V2A<br>지점판 연속 | 마무리<br>450mm<br>양측6mm<br>강판보강 | n형<br>n-180*60*6<br>- | 봉강<br>좌우 2열<br>⌀16<br>10회 절곡 | 하부강판<br>Plate 8<br>(b=350) | 400㎜<br>(h=336) |
| CTS-14 |  | 단부ER X<br>단부BR X<br>스트럽보강 X<br>강판보강V2B<br>지점판 연속 | 마무리<br>525mm<br>양측6mm<br>강판보강 | n형<br>n-180*60*6<br>- | 봉강<br>좌우 2열<br>⌀16<br>10회 절곡 | 하부강판<br>Plate 8<br>(b=350) | 400㎜<br>(h=336) |
| CTS-15 |  | 단부ER X<br>단부BR X<br>스트럽보강 X<br>강판보강V2C<br>지점판 연속 | 마무리<br>625mm<br>양측6mm<br>강판보강 | n형<br>n-180*60*6<br>- | 봉강<br>좌우 2열<br>⌀16<br>9회 절곡 | 하부강판<br>Plate 8<br>(b=350) | 400㎜<br>(h=336) |

**<표 2.23> UT합성보 CTB 휨 실험체**

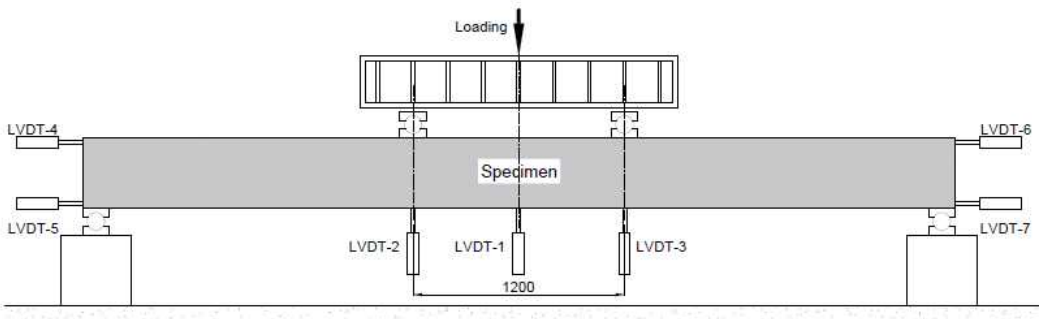
| Specimens | 형상 | 구성 방법 | | 상현재 | 사재 | 하현재 | 사 재<br>Pitch /<br>High |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CTB-11 |  | 단부ER X<br>단부BR X<br>스트럽보강 X<br>강판보강V2B<br>지점판 연속 | 마무리<br>525mm<br>양측6mm<br>강판보강 | n형<br>n-180*60*6- | 봉강<br>좌우 2열<br>⌀16 | 하부강판<br>Plate 6<br>(b=350) | 400㎜<br>(h=336) |
| CTB-12 |  | 단부ER X<br>단부BR X<br>스트럽보강 X<br>강판보강V2B<br>지점판 연속 | 마무리<br>525mm<br>양측6mm<br>강판보강 | n형<br>n-180*60*6- | 봉강<br>좌우 2열<br>⌀16 | 하부강판<br>Plate 6<br>(b=350)<br>2EA-D22 | 400㎜<br>(h=336) |
| CTB-13 |  | 단부ER X<br>단부BR X<br>스트럽보강 X<br>강판보강V2B<br>지점판 연속 | 마무리<br>525mm<br>양측6mm<br>강판보강 | n형<br>n-180*60*6- | 봉강<br>좌우 2열<br>⌀16 | 하부강판<br>Plate 6<br>(b=350)<br>2EA-D22 | 400㎜<br>(h=336) |
| CTB-14 |  | 단부ER X<br>단부BR X<br>스트럽보강 X<br>강판보강V2B<br>지점판 연속 | 마무리<br>525mm<br>양측6mm<br>강판보강 | n형<br>n-180*60*6- | 봉강<br>좌우 2열<br>⌀16 | 하부강판<br>Plate 6<br>(b=350)<br>4EA-D22 | 400㎜<br>(h=336) |
| CTB-15 |  | 단부ER X<br>단부BR X<br>스트럽보강 X<br>강판보강V2B<br>지점판 연속 | 마무리<br>525mm<br>양측6mm<br>강판보강 | n형<br>n-180*60*6- | 봉강<br>좌우 2열<br>⌀16 | 하부강판<br>Plate 8<br>(b=350)<br>4EA-D22<br>(fy ) | 400㎜<br>(h=336) |
| CTB-16 |  | RC 단면<br>스트럽보강<br>D10@150 | (400Mpa)<br>스트럽<br>D10@150 | 2-D22<br>3-D16<br>(400Mpa) | 전단보강<br>스트럽<br>배치<br>@150 | 5-D22<br>(400Mpa) | |

시험에 사용된 가력장비는 1 000 kN 로드셀이 설치된 오일잭을 사용하였으며, 데이터 취득은 Tokyo Sokki 의 TDS-602 데이터로거와 Kyowa의 USB-70B스위치 박스가 사용되었다. 변위의 측정 장비로는 Tokyo Sokki사와 주신산업의 LVDT(Displacement Transducer)가 사용되었으며, 100mm와 500mm 용량의 LVDT가 사용되었다. 철근과 콘크리트의 변형률을 계측할 수 있는 변형률 게이지(Strain Gauge)는 일본 동경측기사 제품으로 철근용 변형률 게이지는 Gauge Length 5mm, Gauge Resistance 120Ω 전기저항식 변형률 게이지를 사용하였으며, 콘크리트용 변형률 게이지는 Gauge Length 60mm, Gauge Resistance 120Ω 전기저항식 변형률 게이지를 사용하였다.

UT 합성보의 구조성능을 평가하기 위해 양단을 단순지지하고 전단 실험은 1점 가력, 휨 실험은 2점 가력을 하였다. <그림 2.36>과 실험체를 설치하였으며, 연직 재하 하였다. 하중재하에 따른 수직방향의 변위를 측정하기 위해 실험체 하부에 변위계를 설치하여 계측하였다. 하중재하에 따른 실험체의 주요부위의 변형률을 측정하기 위하여 변형률 게이지를 부착하였으며, 변형률 게이지의 상세 위치는 <그림 2.37> ~ <그림 2.38>과 같다.

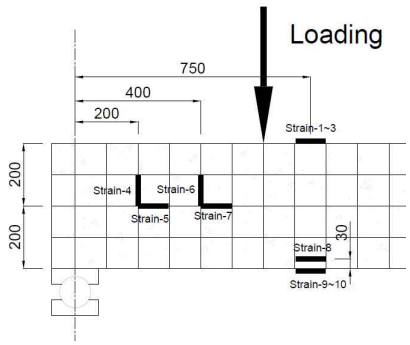



(a) CTS 실험체

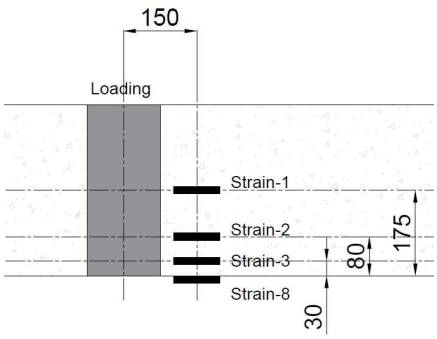



(b) CTB 실험체

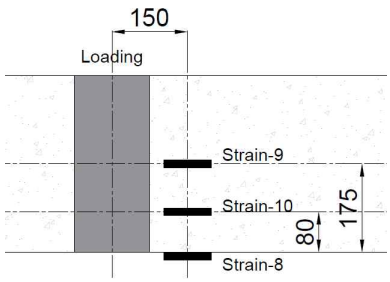
<그림 2.36> 실험체 셋팅 도면



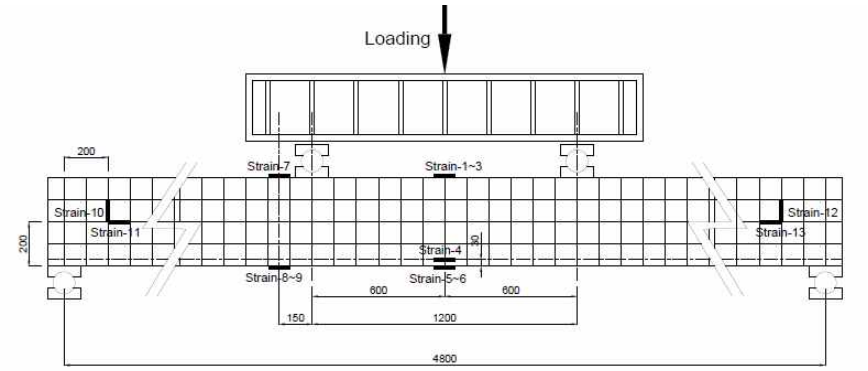

(a) CTS 외부 게이지 정면



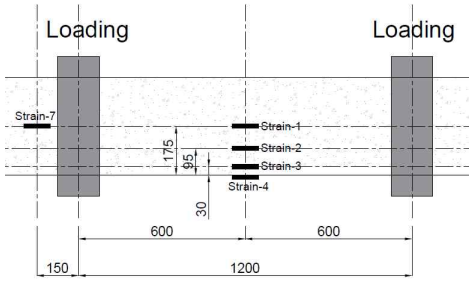

(b) CTS 외부 게이지 상부



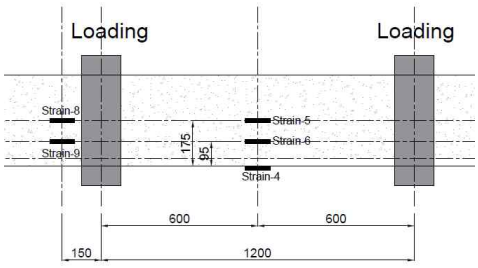

(c) CTS 외부 게이지 하부




(d) CTS 외부 게이지 측면

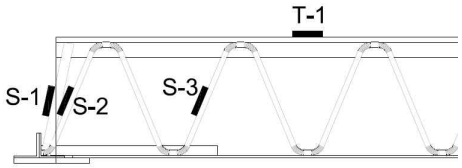



(e) CTB 외부 게이지 상부

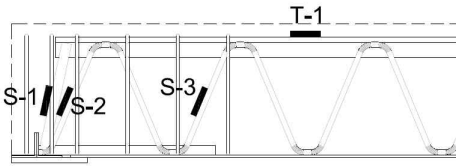



(f) CTB 외부 게이지 하부

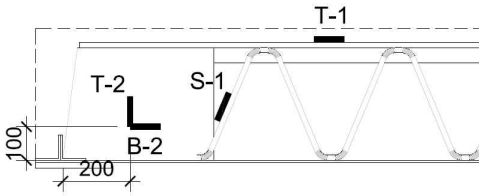
<그림 2.37> 외부 게이지 부착 위치도



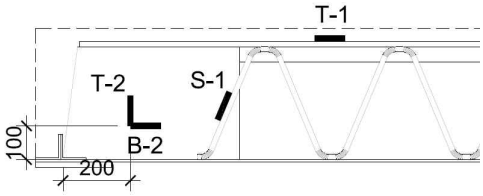

(a) CTS-11



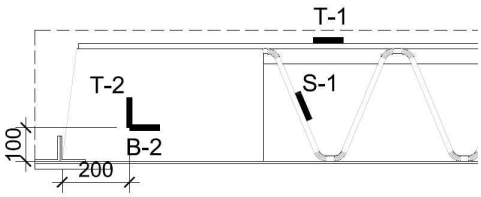

(b) CTS-12



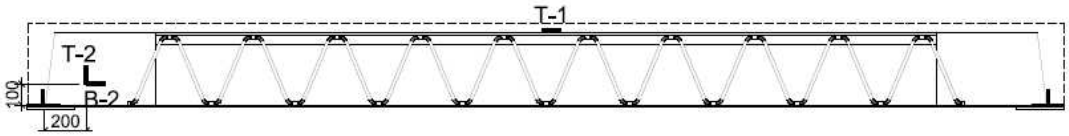

(c) CTS-13



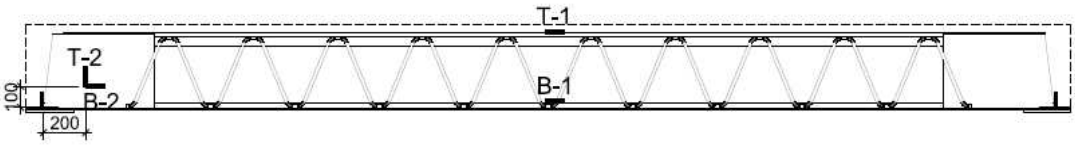

(d) CTS-14



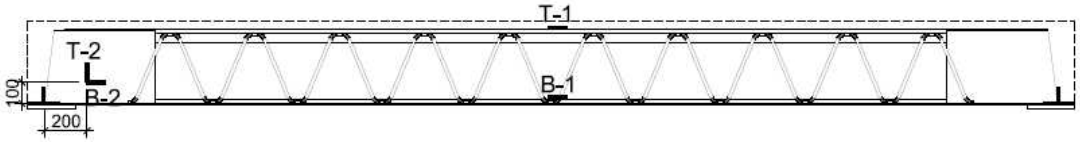

(e) CTS-15




(f) CTB-11




(g) CTB-12




(h) CTB-13

<그림 2.38> 실험체별 내부 게이지 위치

## ② 실험결과 및 분석

### ㉮ 금속 재료 인장 시험

시험편은 상현재로 사용된 6mm 성형강판과 D22철근, 하현재로 사용한 8mm 철판 그리고 스트럽과 사재, 보강재에 사용한 D10 철근과 D12, D16, D25 환봉에 대하여 각각 3개씩의 시료를 준비하여 시험을 수행하였다. 탄성계수 및 응력-변형률 그래프를 확보하기 위하여 시험편 중앙부에 Strain Gauge를 부착하였다. 시험편의 제원 및 결과는 <표 2.24> ~ <표 2.26> 및 <그림 2.39>와 같다.

**<표 2.24> 철근 및 환봉 시험편 제원**

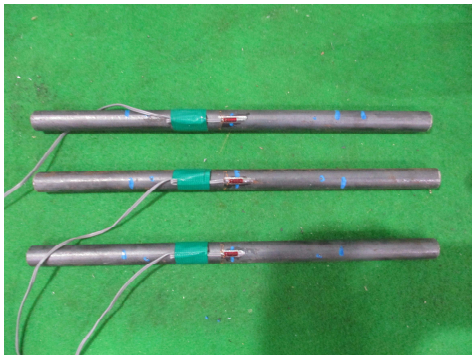
| 구 분 | | D10 (철근) | D22-1 (철근) | D22-2 (철근) | D12 (환봉) | D16 (환봉) | D25 (환봉) | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 수 량 | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| 단면적 ($mm^2$) | 1 | 71.33 (공칭 단면적) | 387.1 (공칭 단면적) | 387.1 (공칭 단면적) | 114.04 | 196.07 | 484.61 | |
| | 2 | | | | 113.47 | 199.31 | 482.27 | |
| | 3 | | | | 113.29 | 196.56 | 484.22 | |
| 표점거리 (mm) | 1 | 79.97 | 176.37 | 177.35 | 97.15 | 128.39 | 100.82 | |
| | 2 | 80.82 | 174.65 | 176.82 | 96.64 | 127.78 | 100.53 | |
| | 3 | 80.96 | 175.98 | 176.46 | 95.97 | 127.38 | 100.54 | |

**<표 2.25> 5호 시편 제원**

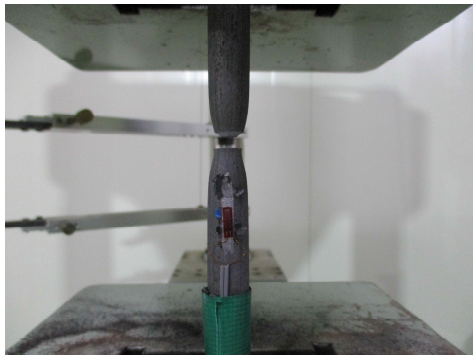
| 구 분 | | 6t | 8t | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 수 량 | | 3 | 3 | |
| 단면적 ($mm^2$) | 1 | 145.72 | 194.84 | |
| | 2 | 145.88 | 195.09 | |
| | 3 | 145.71 | 194.59 | |
| 표점거리 (mm) | 1 | 50.42 | 50.14 | |
| | 2 | 50.19 | 50.38 | |
| | 3 | 50.66 | 50.68 | |

**<표 2.26> 강재 인장시험 결과**

| 구 분 | | 인장하중 (kN) | 인장강도 ($N/mm^2$) | 항복강도 ($N/mm^2$) | ΔL (mm) | 연신률 (%) | 탄성계수 (GPa) | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| D10 (철근) | 1 | 42.08 | 589.93 | 397.17 | 9.02 | 11.25 | 166.16 | |
| | 2 | 41.58 | 582.92 | 430.95 | 9.83 | 12.16 | 146.56 | |
| | 3 | 43.32 | 607.32 | 431.09 | 8.94 | 11.04 | 172.13 | |
| | 평균 | 42.33 | 593.39 | 419.74 | 9.26 | 11.48 | 161.62 | |
| D22-1 (철근) | 1 | 242.41 | 626.22 | 446.42 | 31.09 | 17.63 | 191.42 | |
| | 2 | 242.36 | 626.09 | 438.88 | 33.31 | 19.07 | 185.63 | |
| | 3 | 243.43 | 628.86 | 444.20 | 32.93 | 18.71 | 169.79 | |
| | 평균 | 242.73 | 627.06 | 443.17 | 32.44 | 18.47 | 182.28 | |
| D22-2 (철근) | 1 | 235.12 | 607.39 | 432.68 | 32.44 | 18.29 | 183.71 | |
| | 2 | 234.63 | 606.12 | 430.90 | 31.59 | 17.87 | 222.39 | |
| | 3 | 237.48 | 613.48 | 429.01 | 32.33 | 18.32 | 226.75 | |
| | 평균 | 235.74 | 609.00 | 430.86 | 32.12 | 18.16 | 210.95 | |
| D12 (환봉) | 1 | 50.16 | 439.85 | 323.04 | 30.96 | 31.87 | 195.25 | |
| | 2 | 50.14 | 441.88 | 333.39 | 30.98 | 32.06 | 213.99 | |
| | 3 | 50.02 | 441.52 | 336.57 | 29.51 | 30.75 | 203.00 | |
| | 평균 | 50.11 | 441.08 | 331.00 | 30.48 | 31.56 | 204.08 | |
| D16 (환봉) | 1 | 97.53 | 497.42 | 360.43 | 37.93 | 29.54 | 225.77 | |
| | 2 | 97.27 | 488.03 | 347.40 | 37.77 | 29.56 | 202.29 | |
| | 3 | 97.12 | 494.10 | 358.97 | 41.02 | 32.20 | 207.33 | |
| | 평균 | 97.31 | 493.18 | 355.60 | 38.91 | 30.43 | 211.80 | |
| D25 (환봉) | 1 | 212.94 | 439.40 | 295.74 | 39.04 | 38.72 | 199.16 | |
| | 2 | 214.94 | 445.68 | 297.63 | 39.69 | 39.48 | 206.72 | |
| | 3 | 214.46 | 442.90 | 303.33 | 38.12 | 37.92 | 193.53 | |
| | 평균 | 214.11 | 442.66 | 298.90 | 38.95 | 38.71 | 199.80 | |
| PL 6t | 1 | 82.50 | 566.14 | 452.88 | 15.67 | 31.08 | 206.72 | |
| | 2 | 82.05 | 562.44 | 442.34 | 15.92 | 31.72 | 203.35 | |
| | 3 | 84.50 | 579.93 | 446.15 | 14.87 | 29.35 | 213.72 | |
| | 평균 | 83.02 | 569.50 | 447.12 | 15.49 | 30.72 | 207.93 | |
| PL 8t | 1 | 93.50 | 479.87 | 345.20 | 17.37 | 34.64 | 211.92 | |
| | 2 | 93.35 | 478.49 | 317.68 | 17.54 | 34.82 | 212.90 | |
| | 3 | 93.70 | 481.51 | 332.31 | 17.51 | 34.55 | 209.23 | |
| | 평균 | 93.52 | 479.96 | 331.73 | 17.47 | 34.67 | 211.35 | |



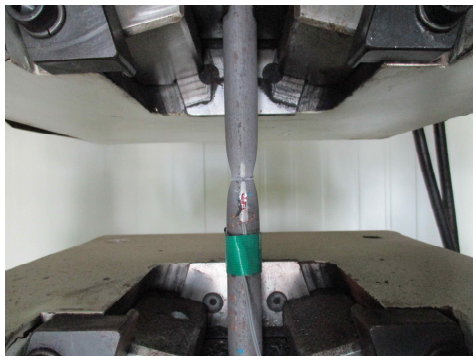
(a) D16 환봉 시료 준비



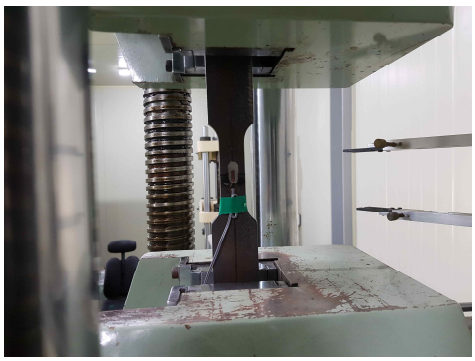
(b) D16 시험 종료



(c) D25 환봉 시료 준비



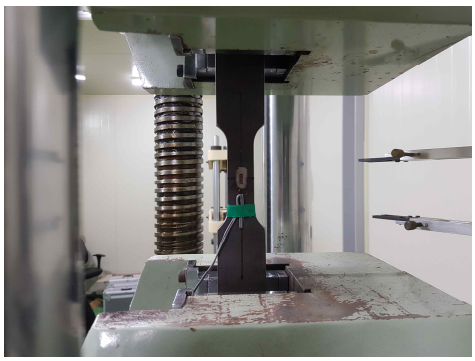
(d) D25 시험 종료



(e) PL-6t 시료 설치



(f) PL-6t 시험 종료



(g) PL-8t 시료 설치



(h) PL-8t 시험 종료

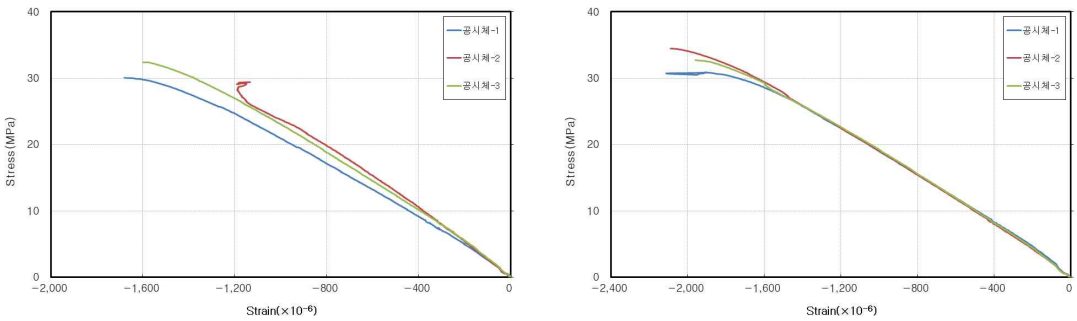
<그림 2.39> 금속 인장 시험

### ㉰ 콘크리트 압축강도 시험 결과

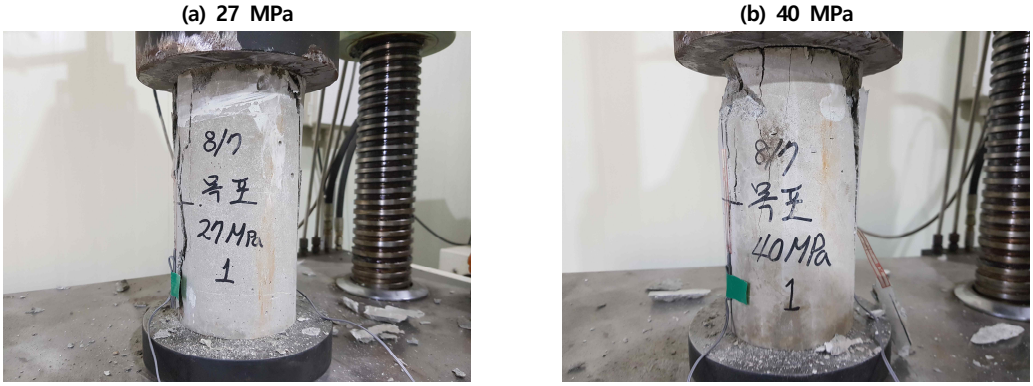
공시체는 실험체 제작 시 현장에서 지름 100 mm, 높이 200 mm 의 몰드를 이용하여 제작하였으며 사용된 콘크리트의 강도는 27 MPa, 40 MPa 이다. 응력-변형률 그래프를 확보하기 위하여 공시체 중앙부에 Strain Gauge를 부착하였다. 시험편의 제원 및 결과는 <표 2.27> 및 <그림 2.40>과 같다.

**<표 2.27> 강재 인장시험 결과**

| 구 분 | | 단 면 적 ($mm^2$) | 최 대 하 중 (kN) | 압 축 강 도 ($N/mm^2$) | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 27 (MPa) | 1 | 7894.88 | 237.62 | 30.10 | |
| | 2 | 7893.30 | 232.40 | 29.44 | |
| | 3 | 7915.36 | 256.70 | 32.43 | |
| | 평균 | 7,901.18 | 242.24 | 30.66 | |
| 40 (MPa) | 1 | 7891.73 | 244.05 | 30.93 | |
| | 2 | 7913.79 | 273.05 | 34.50 | |
| | 3 | 7927.98 | 259.50 | 32.73 | |
| | 평균 | 7,911.17 | 258.87 | 32.72 | |




(a) 27 MPa　　(b) 40 MPa




**<그림 2.40> 공시체 압축강도 응력-변형율 그래프**

### ㈐ UT 합성보 전단실험(CTS-11~CTS-15)

CTS 실험체의 경우 PL-6t 상현재와 PL-8t 하현재 사이에 지름 16 mm의 강선으로 제작된 사재를 400mm간격으로 2열로 배치하였으며, 사재의 절곡횟수와 단부의 보강 형상을 변수로 가진 실험체 이다.

CTS-11은 지름 29mm 환봉으로 양 단부의 1번 사재와 지점부를 보강한 실험체 이다. 실험체는 좌측 지점부에서 600mm 이격된 위치를 연직 가력 하였다. 최초 균열은 약 70 kN에서 발행하였다. 가력부 우측으로 약 400 mm 이격된 위치에서 발생하였으며, 최대하중은 598.06kN으로 계측되었다. 이때의 변위는 11.9mm이며 25.3mm 까지 가력 후 실험을 종료 하였다.

CTS-12 실험체는 CTS-11 실험체의 단부에 전단철근을 보강한 실험체이다. 초기 균열은 약 63.75kN에 발생하였고, 최대하중은 758.24 kN으로 계측되었고 이때의 변위는 61.5mm이다.

CTS-13 실험체는 양 단부에 길이 450mm 두께 6 mm 강판을 양측에 보강한 실험체이다. 최초 균열은 약 77 kN에서 가력부에서 우측 450 mm 이격된 위치에서 발생하였다. 최대하중은 변위 52.7mm에서 650.86kN으로 계측되었다.

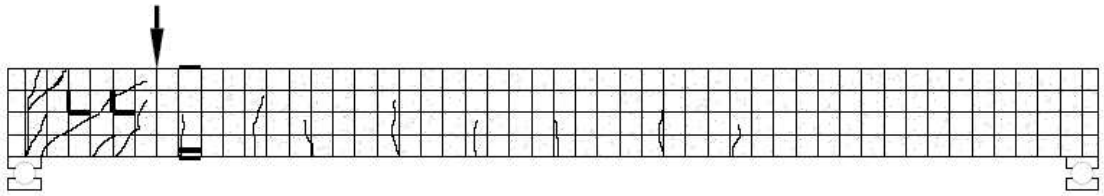
CTS-14 실험체는 CTS-13 실험체와 동일하며 단부에 설치된 6mm 강판의 길이가 525mm로 CTS-13 실험체보다 75mm 더 크게 제작하여 설치하였다. 최초 균열은 약 36kN에서 가력부에서 우측 450mm 이격된 위치에서 발생하였다. 최대하중은 728.99kN 으로 계측되었으며 이때의 변위는 69.8mm이다.

CTS-15 실험체는 양 단부에 길이 625mm 두께 6mm 강판을 양측에 보강한 실험체이다. 최초 균열은 약 74kN에서 가력부에서 우측 50mm 이격된 위치에서 발생하였다. 최대하중은 686.98kN이며 이때 변위는 38.3mm로 계측되었다.

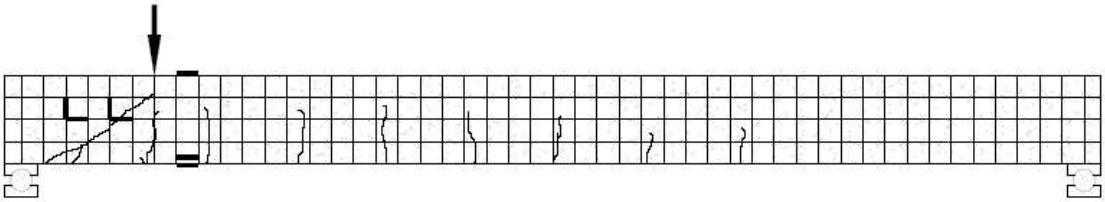
이러한 실험결과는 <표 2.28>에 나타내었고, 실험체 균열도, 하중-변위 곡선 및 파괴 양상은 <그림 2.41> ~ <그림 2.42>에 나타내었다.

**<표 2.28> CTS 실험체의 실험 결과**

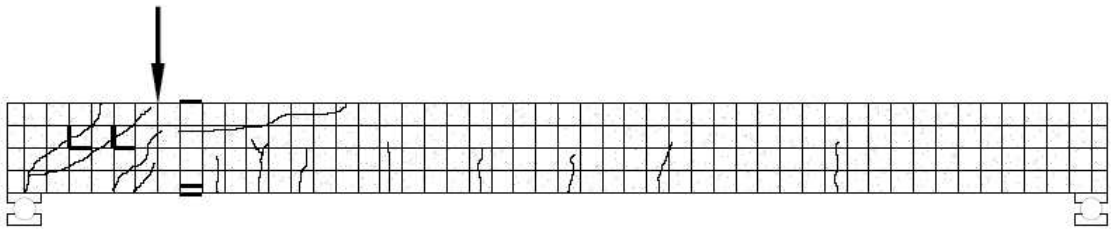
| Specimen | Load(kN) | Displacement(mm) | 비고 |
|---|---|---|---|
| CTS-11 | 598.06 | 11.9 | 단부 봉강 보강 |
| CTS-12 | 758.24 | 61.5 | 단부 스트럽 보강 |
| CTS-13 | 650.86 | 52.7 | 단부 강판(450mm) 보강 |
| CTS-14 | 728.99 | 69.8 | 단부 강판(525mm) 보강 |
| CTS-15 | 686.98 | 38.3 | 단부 강판(625mm) 보강 |



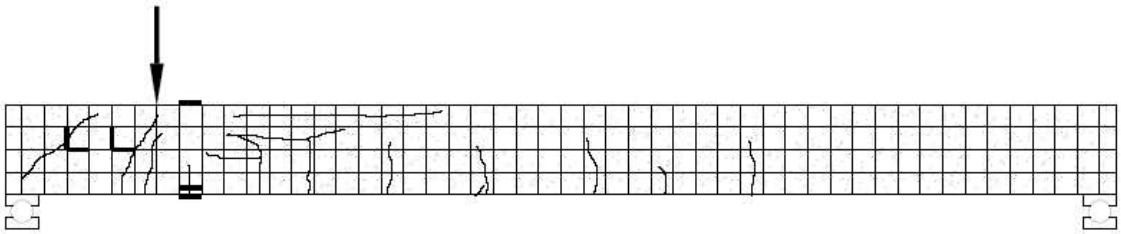
(a) CTS-11 균열도



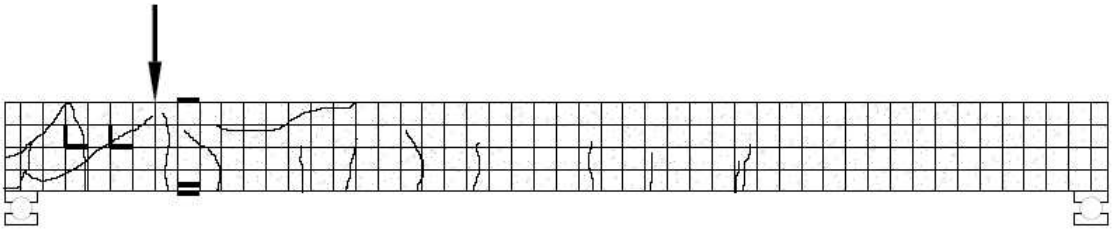
(b) CTS-12 균열도



(c) CTS-13 균열도

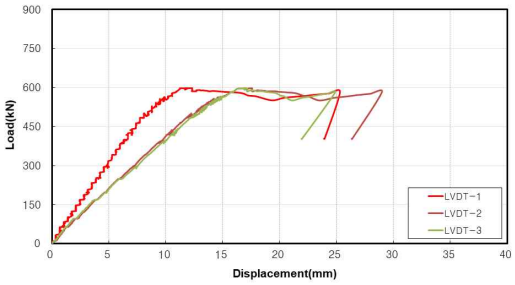


(e) CTS-14 균열도



(f) CTS-15 균열도

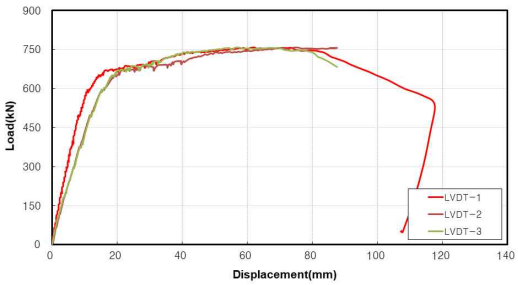
<그림 2.41> CTS 실험체 균열도







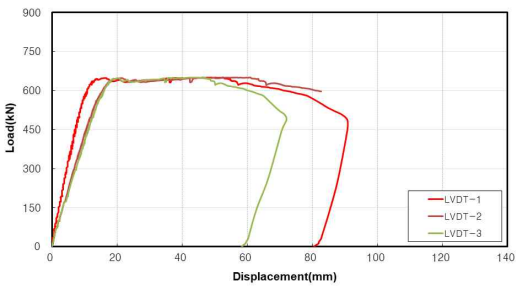
(a) CTS-11







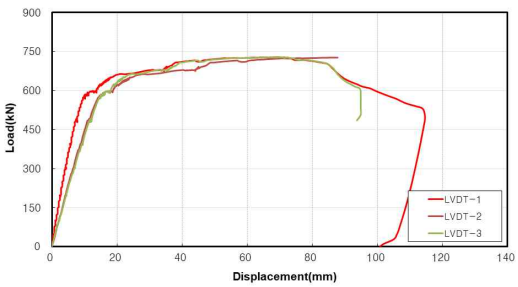
(b) CTS-12

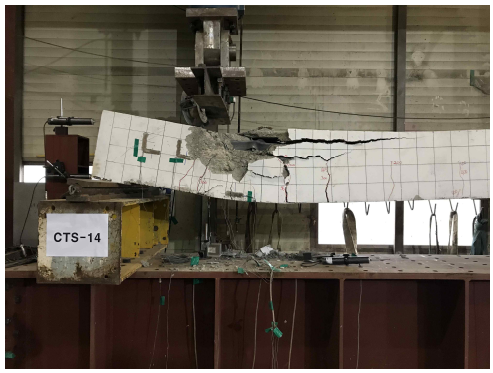






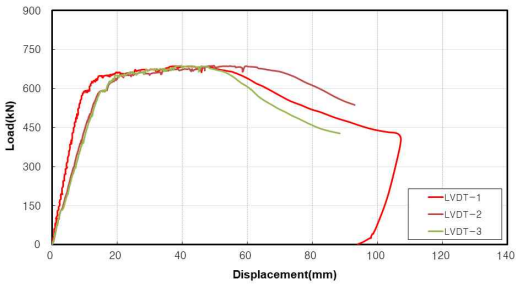
(c) CTS-13




(d) CTS-14

<그림 2.42> CTS 실험체의 하중-변위 곡선 및 파괴 양상 (계속)




(e) CTS-15




<그림 2.42> CTS 실험체의 하중-변위 곡선

<표 2.28>에서 보는 바와 같이 단부 보강 형태에 따라 UT 합성보의 전단 내력이 차이가 있음을 알 수 있다. 가장 전단 내력이 큰 실험체는 단부에 스트럽으로 보강한 실험체(CTS-12)로 최대 하중 758.24kN이다. 가장 전단 내력이 작은 실험체는 단부에 봉강으로 보강한 실험체(CTS-11)이다.

단부에 강판으로 보강한 실험체(CTS-13, CTS-14 및 CTS-15)는 최대 전단내력을 어느 정도 안정적으로 발휘하면서도 연성적인 거동을 할 수 있음을 실험 결과 확인하였다. 그러나 단부 강판의 길이가 625mm인 실험체(CTS-15)는 단부 강판의 길이가 525 mm인 실험체(CTS-14)에 비해 전단 내력이 더 작게 계측되었다. 이는 단부 강판의 길이가 길어짐에 따라 UT 합성보의 전단내력에 영향을 미치는 사재를 단부에 설치하기 힘들어서 결국 사재의 양이 줄어들기 때문이다. 따라서 단부 강판 보강 상세는 사재와 단부 강판을 일정 부분 겹쳐서 안정적으로 하중에 저항하는 상세(CTS-14)가 되어야 함을 알 수 있다.

### ㉯ UT 합성보 휨실험(CTB-11~CTB-16)

CTB 실험체의 경우 PL-6t 상현재와 PL-6t 하현재 사이에 지름 16 mm의 강선으로 제작된 사재를 400mm 간격으로 2열로 배치하였으며, 실험체 양단부에 길이 525mm의 PL-6t로 보강한 실험체 이다. 이러한 CTB 실험체는 하현재의 두께, 그리고 철근보강여부 및 보강된 철근의 수량을 변수로 가진 실험체 이다.

CTB-11 실험체의 경우 해당 실험군의 가장 기본이 되는 실험체로 상현재와 하현재 모두 PL-6t를 사용하였으며, 양단부를 길이 525mm의 PL-6t로 보강한 실험체이다. 약 22kN에서 실험체 중앙 하부에서 균열이 발생되었으며, 가력 중 가력기의 스트로크 제한으로 실험체의 하중 감소는 확인 할 수 없었다. 따라서 계측된 범위 내에서의 최대 하중과 최대 하중 시 변위를 아래 <표 2.29>에 나타내었다.

CTB-12 실험체는 CTB-11 실험체와 형상은 동일하며 PL-6t 하현재에 D22 철근 2개를 용접하여 보강한 실험체이다. 최초 균열은 좌측 가력부 하부에서 약 75kN에서 발생하였다. 최대하중은 374.14kN으로 계측되었으며, 이때 변위는 38.95mm이다. 이후 하중

은 감소하였고 약 205mm까지 가력 후 실험을 종료 하였다.

CTB-13 실험체는 CTB-12 실험체와 동일하나 하현재에 보강된 D22 철근을 용접하지 않고 단순 설치한 실험체이다. 이 실험체는 약 40kN에서 중앙 하부에 초기 균열이 발생되었으며, 최대하중은 389.83kN 최대하중 시 변위는 36.25mm로 계측되었다. 최대하중 확인 후 하중의 감소가 지속적으로 이루어졌으며 중앙부 변위 243mm 까지 가력 후 실험을 종료하였다.

CTB-14 실험체는 PL-6t 하현재에 D22 철근 4개를 단순 설치하여 보강한 실험체이다. 약 47kN에서 가력부 우측 하부에 초기 균열이 발생되었으며, 최대하중은 486.43kN으로 계측되었다.

CTB-15 실험체는 하현재로 PL-8t를 사용하였고 D22 철근 4개를 단순설치 하여 보강한 실험체이다. 약 77kN에서 중앙 하부와 가력부 우측 하부에 초기 균열이 발생되었으며, 변위 33.40mm에서 최대하중 477.76kN으로 계측되었다.

CTB-16 실험체는 RC 실험체로 상부는 D22 철근 2개, D16 철근 3개를 배근하였고 하부는 D22 철근 5개를 배근한 실험체이다. 또한 전단 보강으로 D10 철근을 150 mm 간격으로 배근하였다. 최대하중은 339.98kN으로 변위 58.4mm에서 발현되었으며, 초기 균열은 약 44kN에 좌측 가력부 하부 위치에서 발생하였다.

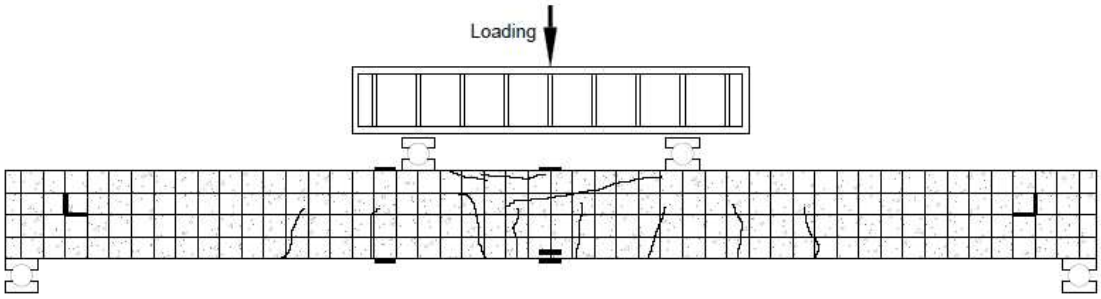
이러한 실험결과는 <표 2.29>에 나타내었고, 실험체 균열도, 하중-변위 곡선 및 파괴 양상은 <그림 2.43> ~ <그림 2.44>에 나타내었다.

<그림 2.43>과 <그림 2.44>에서 보는 바와 같이, 모든 휨 실험체가 압축측 콘크리트 압괴에 의해 최대하중에 도달하였고, 전형적인 휨 파괴 형태로 연성적인 하중-변위 곡선을 나타내고 있다. UT 합성보는 RC 보에 비해 초기 강성이 큰 것 이외에는 거의 비슷한 파괴 양상을 보이고 있다.

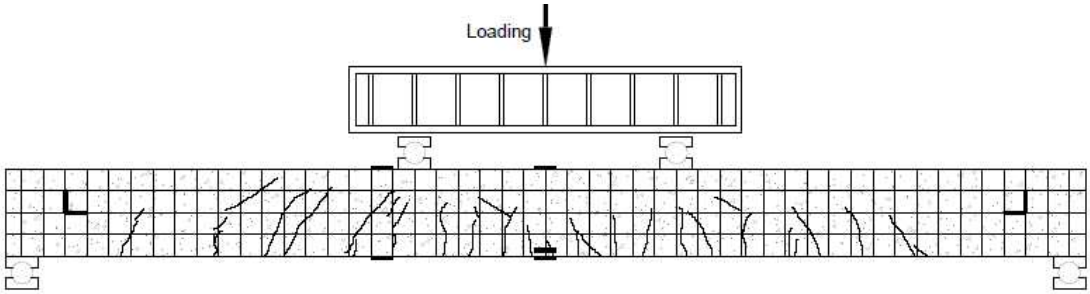
또한 <표 2.29>에서 보는 바와 같이, 최대 하중의 값은 하부 철근이 용접된 상세(CTB-12) 또는 단순 거치된 상세(CTB-13)는 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 또한 하부 철근의 개수가 늘어날수록 UT 합성보의 내력은 증가하며 하부 강판이 6mm, 하부 철근 4-D22로 배근한 상세(CTB-14)가 가장 큰 구조 내력을 발휘할 수 있음을 알 수 있었다.

**<표 2.29> CTB 실험체의 실험 결과**

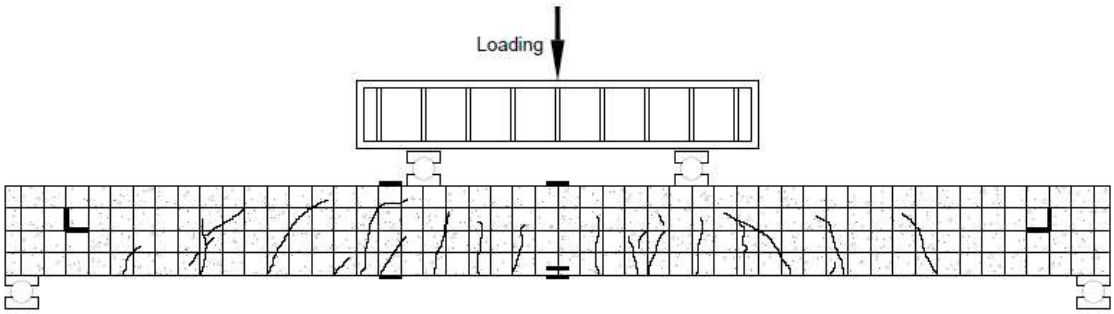
| Specimen | Load(kN) | Displacement(mm) | 비고 |
|---|---|---|---|
| CTB-11 | 377.37 | 245.1 | 하부 강판 6mm |
| CTB-12 | 374.14 | 38.95 | 하부 강판 6mm<br>2-D22(용접) |
| CTB-13 | 389.83 | 36.25 | 하부 강판 6mm<br>2-D22(단순 설치) |
| CTB-14 | 486.43 | 33.70 | 하부 강판 6mm<br>4-D22(단순 설치) |
| CTB-15 | 477.76 | 33.40 | 하부 강판 8mm<br>4-D22(단순 설치) |
| CTB-16 | 339.98 | 58.40 | RC 실험체 |



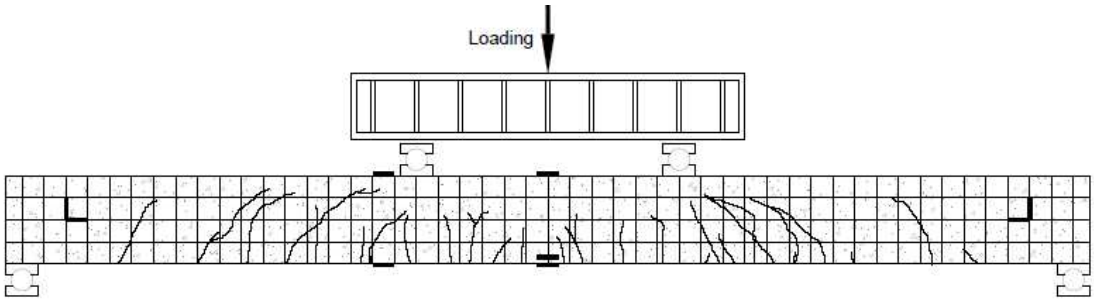

(a) CTB-11 균열도




(b) CTB-12 균열도

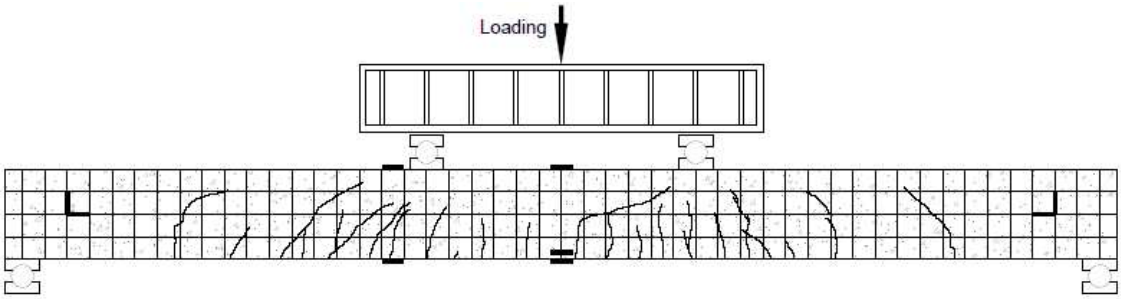



(c) CTB-13 균열도

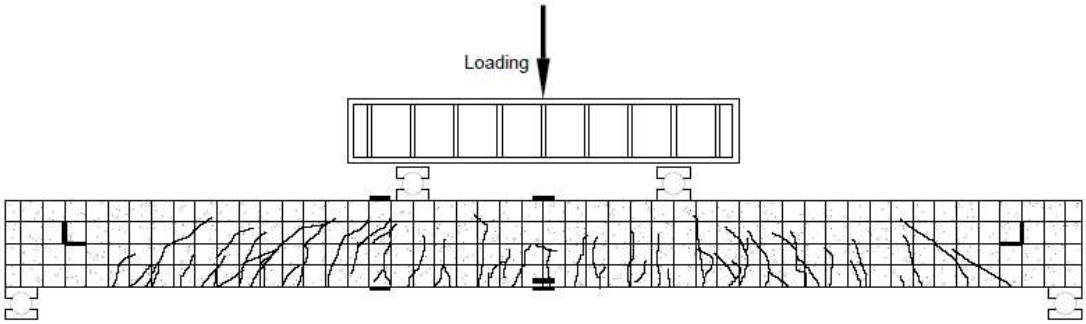



(d) CTB-14 균열도

<그림 2.43> CTB 실험체의 균열도(계속)

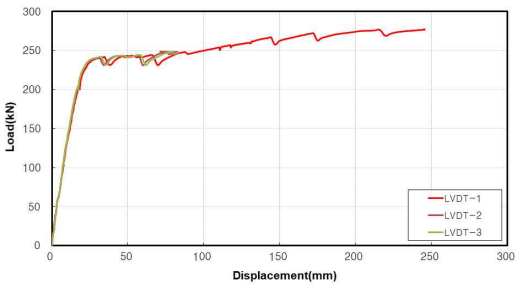



(e) CTB-15 균열도



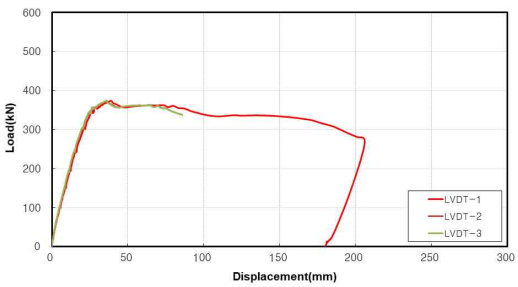

(f) CTB-16 균열도

<그림 2.43> CTB 실험체의 균열도(계속)




(a) CTB-11

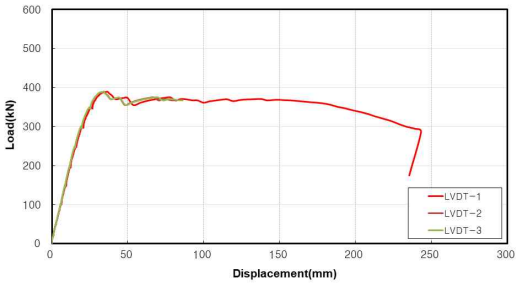





(a) CTB-12

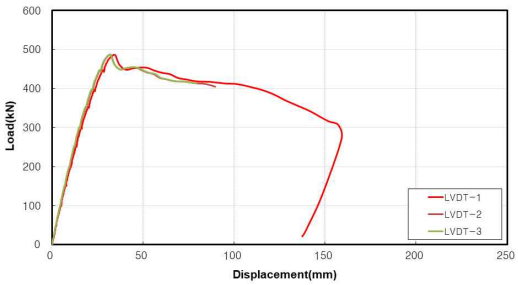


<그림 2.44> CTB 실험체의 하중-변위 곡선 및 파괴 양상 (계속)



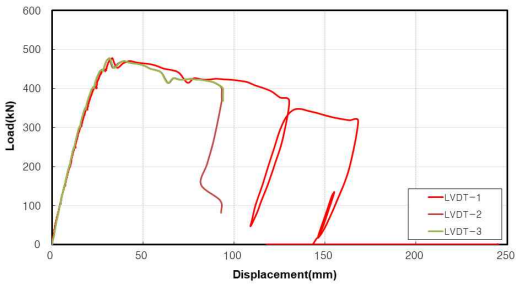


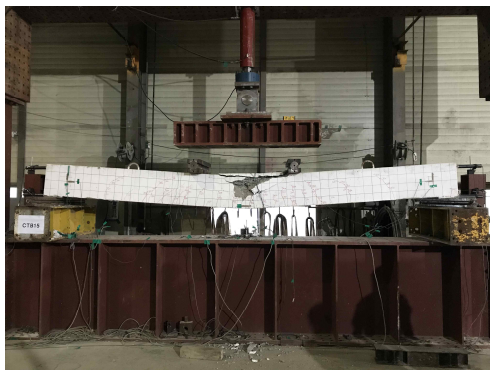

(c) CTB-13



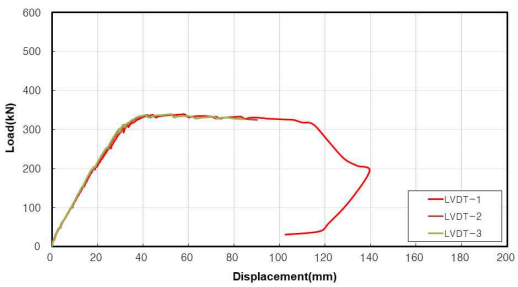


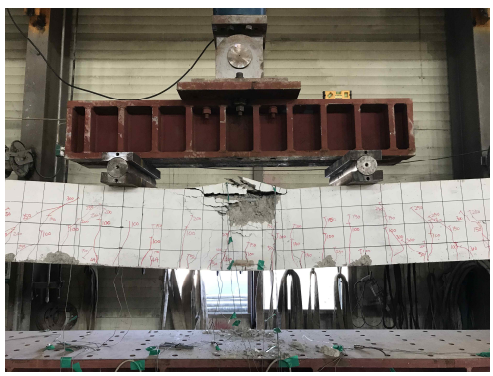

(d) CTB-14



(f) CTB-15



(g) CTB-16



<그림 2.44> CTB 실험체의 하중-변위 곡선 및 파괴 양상

## (7) 선조립 복합보의 부재 설계법 개발(2차년도)

### ㈎ 공장 제작을 위한 선조립 복합보의 최적 형상 결정

#### ① 시공단계 사재의 구조 안정성

선조립 UT 강재보는 상부 플랜지인 n형 성형강판, 하부 플랜지인 강판, 이들 상부와 하부를 강봉으로 연결 접합한 래티스(사재)로 구성되며, 하부 강판에 영구단계에 작용하는 소요 하중에 대한 저항력의 크기에 따라 보조 인장철근량을 선설치 조립으로 공장제작에서 1식으로 제작되는 UT 강재보(U-flange trussed Beam)임. 경우에 따라 춤이 증가되면 데크 설치를 위한 측면 강판을 두어 거푸집기능과 데크 걸침부 기능을 갖도록 한다.

UT 강재보는 시공단계에 콘크리트 타설하중과 작업하중을 견뎌야 하므로 상부와 하부 플랜지가 구조적 탄성휨강도을 발휘할 수 있도록 이들을 결합하는 웨브재인 고강도 원형 강봉 사재가 일정한 강도를 발휘해야만 한다.

사재인 강봉 래티스는 최소 강재량으로 최대 효과를 발휘하기 위해서 일정한 각도를 갖도 반복된 절곡 구조로 형성하는 것이 효과적이다.

래티스재의 절곡 각도($\theta$)가 커질수록 사재의 길이가 짧아져 사재의 좌굴 내력은 증가하지만, 사재의 간격(pitch)이 짧아져서 많은 수의 사재를 배치하여야 하므로 전체적인 사재의 물량이 증가한다.

선조립 UT 강재보에 대한 사재의 구조 안전성은 시공단계에 발생하는 래티스재의 압축력에 대한 좌굴강도가 지배하므로, 이를 Eurocode 3(2005)의 좌굴내력식으로 평가한다.

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$$

여기서, $\chi$ : Reduction factor for the relevant buckling mode

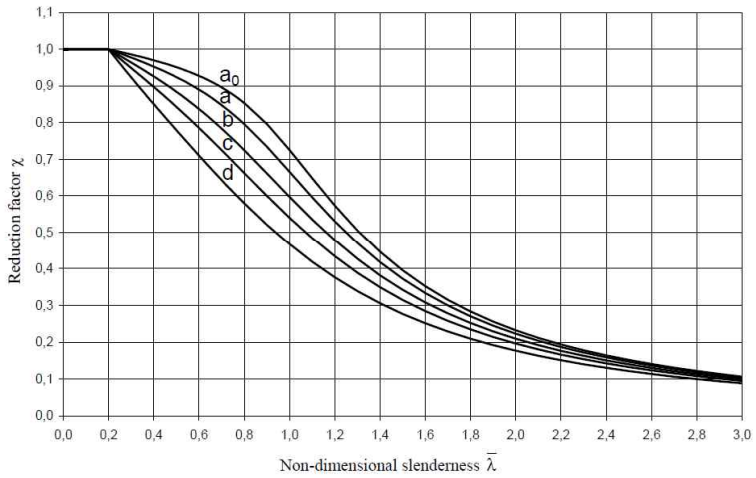
$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \overline{\lambda^2}}} \leq 1.0$$

여기서, $\Phi = 0.5[1 + \alpha(\overline{\lambda} - 0.2) + \overline{\lambda^2}]$

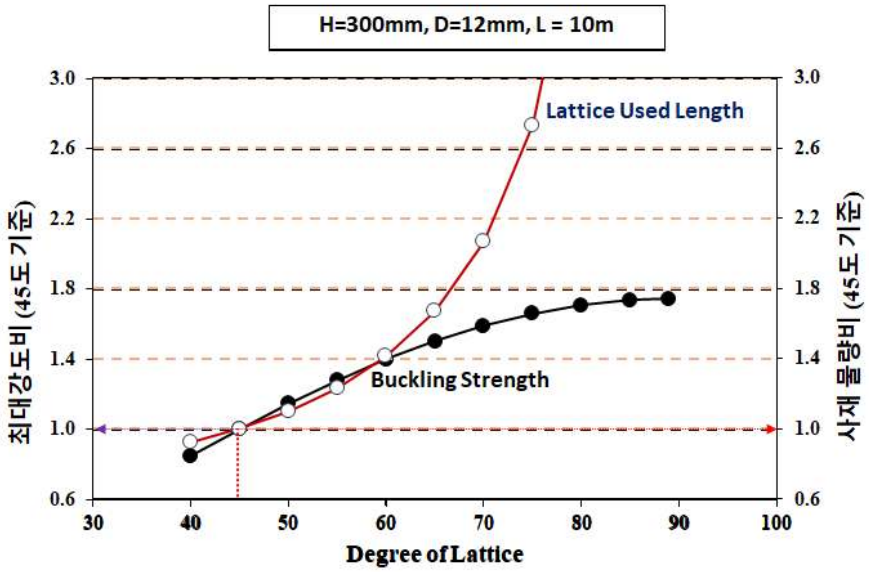
$$\overline{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}}$$

$\alpha$ : Imperfection factor($= 0.49$)

$N_{cr}$ : Elastic critical force for the relevant buckling mode based on the gross cross sectional properties




<그림 2.45> Eurocode 3(2005)의 좌굴내력식




주) 표시(•)는 좌측축의 좌굴-강도비 이며, 표시(○)는 우측축의 물량비임.

<그림 2.46> 사재각도별 강도비 및 물량비(45o 기준)

이론적으로 분석한 결과, 래티스(사재)의 각도가 60°이하인 경우 좌굴 내력 상승분과 물량 증가분은 큰 차이를 보이지 않으나 70°이상인 경우에는 좌굴 내력 상승분에 비해 상당한 수준의 물량이 증가되어야 하는 것으로 확인되었다.

따라서 본 개발연구에 평가하고자 하는 사재의 각도는 약 53°, 약 60°, 약 65° 계획하여 수행하였으며, 2차 년도 수행 래티스는 60도를 기준으로 제작단면을 계획 수행하고 1차 년도의 연구결과를 보완하고자 전단력이 크게 발생하는 지점 단부 일정구간엔 구조성능을 확보하고자 수직 전단강판을 사용하였다.

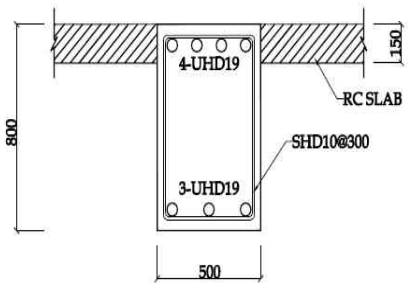
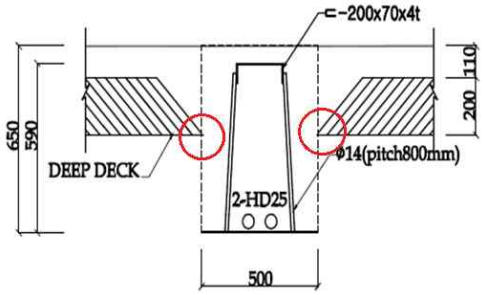
결과적으로 선조립 UT 강재보는 시공단계에 사재 래티스 안정성을 확보하고자 래티스재의 각도는 60° 전후로 설치하고, 단부 높은 전단력(변형)에 저항하고자 강판 보강하였다.

### ② 장스팬 Deep Deck 의 효과적 설치 · 시공

건축물의 평면 설계에 영향을 주는 지하 주차장 공간의 모듈설계 개념의 변화로 당초 6m × 8~10m 에서 8m × 12~15m 로 확장 계획하였다. 최근 보 부재의 단면 높이가 증가되는 데 아래 표와 같이 기존 8m × 12m 인 경우 RC 보의 사이즈가 800mm×500mm 인 반면, UT 강재보을 적용하면 650mm×500mm 설계가 가능하여 슬림한 층고절감 시스템이 가능하다.

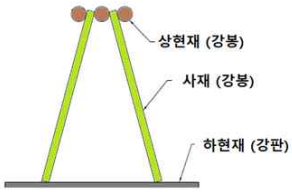
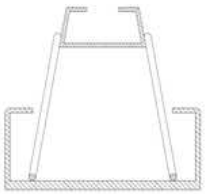
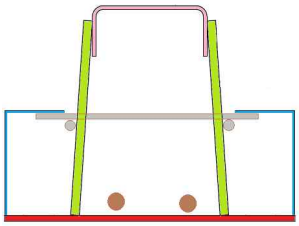
바닥판을 장선형태인 춤이 깊은 200mm 이상의 골데크를 적용하여 1-Way 시스템에 적합한 UT 강재보를 Slim-Lattice Beam 시스템 구현하기 위해선 Deep Deck의 지점부의 걸침구조와 UT 보의 춤에 변화나 Deck의 춤의 변화에 대응이 설치와 시공과 직결된다.

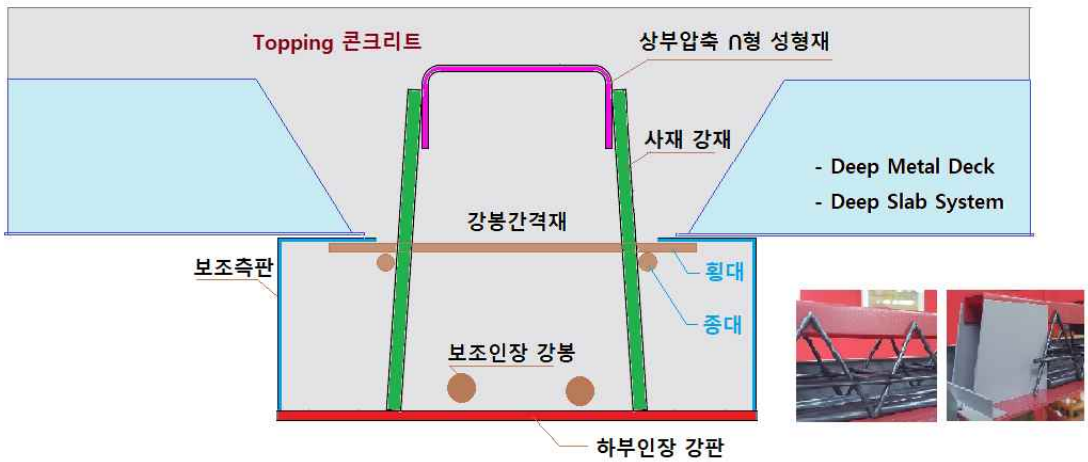
기존 현장타설 RC조는 보 거푸집판(멍에, 장선)과 동바리를 사용하되 데크 걸침부를 확보하므로, 이에 대한 가설재 물량이 증가하지만, 본 개발 UT 강재보는 춤이 300mm 이하의 경우 하부 강판에 직접 걸침 설치 시공하고, 300mm 초과하는 경우 측면 강판(종대, 횡대)으로 거푸집 기능이나 래티스 좌굴길이을 짧게하여 강도 향상시키는 방식을 적용한다.

| 구분 | 현타 RC보 | UT 선조립 UT 강재보 ↦ UT 복합보 |
|---|---|---|
| | RC 보 + 딥 데크 | UT 강재보 + 딥 데크 |
| 구조단면 |  |  |
| | 상부요소 : 압축 철근 ▷ 시공 중 하중 지탱 못함 | 상부요소 : 성형n단면 ▷ 시공 중 압축지지 |
| | 하부요소 : 인장 철근 ▷ 시공 중 하중 지탱 못함 | 하부요소 : 강판 ▷ 인장저항, 거푸집, 데크지지 |
| | 전단요소 : 스트럽 ▷ 현장 조립설치 곤란성 높음 | 전단요소 : 강봉+강판 ▷ 전단저항력 향상 |
| 하중전달 | 콘크리트 + 작업하중 → 거푸집 + 동바리 | 콘크리트+작업하중 → 선조립UT보+ 동바리 |
| | [ 바닥판 하중 → 딥 데크 → 동바리 ]<br>[ 데크 걸침 → 거푸집틀+동바리 추가 필요] | [ 바닥판 하중 → 딥 데크 → 동바리 ]<br>[ 데크 걸침 → 하부강판 또는 측면강판 활용] |

### ③ 선조립체 복합보 형상

선조립 UT 강재보는 상부 플랜지인 n형 성형강판, 하부 플랜지인 강판, 이들 상부와 하부를 강봉으로 연결 접합한 래티스(사재)로 구성되며, 하부 강판에 영구단계에 작용하는 소요 하중에 대한 저항력의 크기에 따라 보조 인장철근량을 선설치 조립으로 공장제작에서 1식으로 제작되는 UT 강재보(U-flange trussed Beam)임. 경우에 따라 춤이 증가되면 데크 설치를 위한 측면 강판을 두어 거푸집기능과 데크걸침부 기능을 갖도록 한다.

| 단계 | 1차 복합보(안) | 2차 복합보(안) | 3차 복합보(안) |
|---|---|---|---|
| 단면 |  |  |  |
| 상부 | 원형, 사각형 / 강봉 | 절곡성형 U형 / 강판 | 절곡성형 ∩형 / 강판 |
| 웨브 | 원형, 사각형 / 강봉<br>양단 지점구간 / 조밀 강봉배치<br>춤 증가 시 래티스 보강 필요 | 원형, 사각형 / 강봉<br>양단 지점구간 / 조밀 강봉배치<br>춤 증가 시 래티스 보강 필요 | 원형, 사각형 / 강봉<br>양단 지점구간 / 강판<br>춤 증가 시 래티스 보강 해결 |
| 하부 | 강판<br>기둥 걸침용 보강재 설치 필요 | 절곡성형 U형 / 강판<br>기둥 걸침용 보강재 설치 필요 | 강판<br>기둥 걸침용 보강재 필요 |
| 데크 | 하부면 직접걸침 방식<br>단차 단부걸침 방식(미완성) | 하부면 직접걸침 방식<br>U형으로 걸침부 형성 | 하부면 직접걸침 방식<br>강봉 횡대, 종대와<br>측면강판(거푸집) 활용한 방식 |



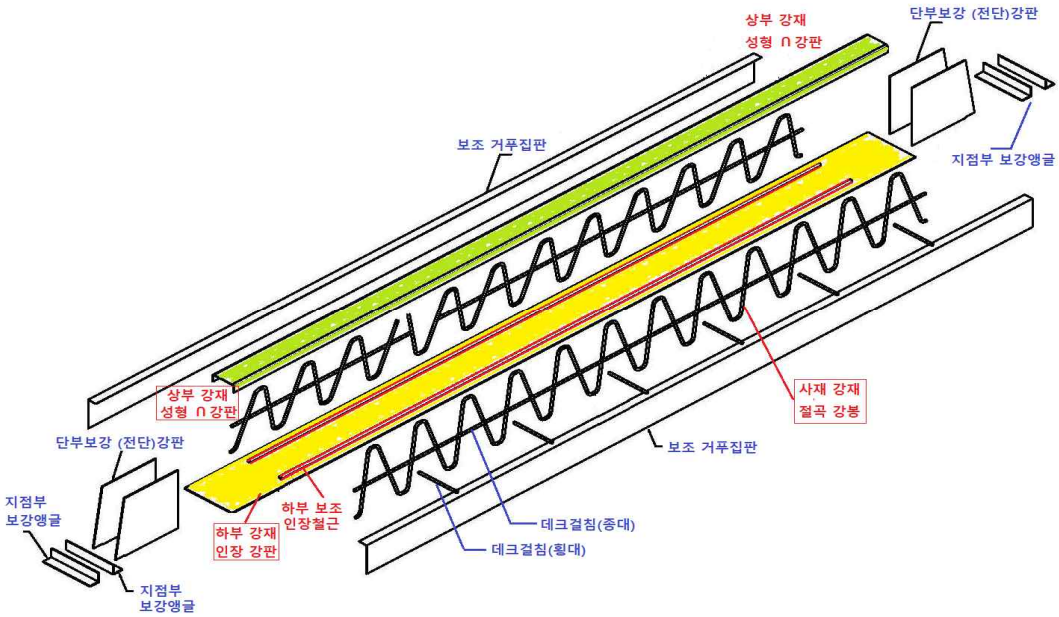

[ 상부 강재 ]
- 압축저항요소
- 시공하중용
- 작업자 이동로
- 성형∩강판

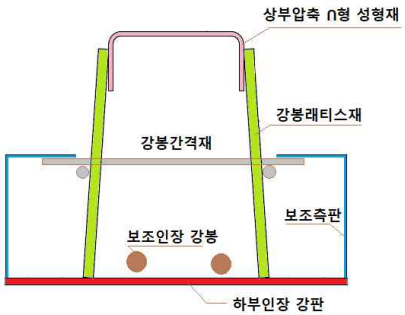
[ 사재 강재 ]
- 전단저항용소
- 합성저항요소
- 절곡 강봉
- 단부보강(강판)

[ 하부 강재 ]
- 인장저항요소
- 시공하중용
- 거푸집판
- 강판

[ 하부 보조 ]
- 인장저항요소
- 영구하중용
- 고강도 철근

[ 측면 강재 ]
- 보조 거푸집판
- 데크지지대




| 철근콘크리트 보 | | 선조립 UT강재보 (U-Flange Truss Beam) |
|---|---|---|
|  | |  |
| [시공단계] 압축저항이나 인장저항을 위한 요소가 없음. 철근을 사용하여 시공단계 하중을 지탱할 수 없어서 별도 보 기능을 갖도록 가설구조를 설치하고 시공해야함.<br><br>[시공단계] 작업자 이동로, 콘크리트 타설을 위한 거푸집판, 좁은 간격으로 동바리 배치 설계하여 별도 가설재가 요구됨.<br><br>[시공단계] Deep Deck 설치하고자 거푸집틀에 별도 덱크 단부 걸침재를 두어야 하며, 시공단계에 구조적 안정성이 요구됨.<br><br>[완성단계] 가설 거푸집의 해체 작업이 요구됨. | | [시공단계] 압축저항이나 인장저항을 위한 요소가 있음. 상부에 압축용 n형 성형강재, 하부에 인장용 강판이나 강봉을 두어 최소 가설동바리를 사용하여 시공단계 하중을 지탱함.<br><br>[시공단계] 작업자 이동로, 콘크리트 타설을 위한 별도 거푸집판 필요 없음.(최소 동바리)<br><br>[시공단계] Deep Deck 설치는 하부 인장 강판에 직접 거치하거나 별도로 보조측판을 활용하여 덱크 단부 걸침 시공을 함.<br><br>[완성단계] 거푸집 탈형 해체 작업이 없음. |

## (나) Slim Slab-beam 설계 개념 정립 및 설계프로세스 개발

### ① 시공단계 UT 강재보 설계

1) 선조립 UT 강재보는 상부 ∩형 강판과 하부 강판을 절곡 강봉 래티스재로 결합한 트러스 보 구조로, 지점 전단구간에 강판으로 전단보강하여 국내설계기준(KBC 2016)과 Eurocode 3에 의한 산정식에 의한 강판의 전단강도와 래티스 강봉의 좌굴강도을 검토한다.
2) 트러스 보 부재로 상부 압축플랜지로 ∩형 강재의 좌굴 최대강도를 평가하여 시공단계 설계에 의한 소요강도를 확인하되 래티스 좌굴강도를 초과하지 않도록 가설용 고용량 잭 동바리를 설치 간격을 결정하고 시공안정성을 확보한다.
3) 선조립 UT 강재보에 콘크리트 타설됨에 따라 복합보는 국내설계기준(KBC 2016)에 의거 하부에 강판으로 보강된 철근콘크리트 보 설계로 내력을 충분히 검토한다.

실험 결과, UT 강재보의 래티스의 좌굴에 의해 최대 내력이 결정되므로 이를 시공단계 설계하중 검토 시 중요인자이다. 단부를 강판이나 강봉으로 추가 보강하여 래티스의 좌굴 강도를 확보할 수 있다.

국내설계기준(KBC 2016)에서의 공칭압축강도, $P_n$은 미국의 하중저항계수설계법(LRFD)에 근거하여 다음과 같이 산정한다.

$$P_n = F_{cr} A_g \tag{2.5}$$

여기서, 휨좌굴강도 $F_{cr}$은 다음과 같이 산정한다.

1) $\frac{KL}{r} \leqq 4.71\sqrt{E/F_y}$ 인 경우

$$F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y \tag{2.6}$$

2) $\frac{KL}{r} > 4.71\sqrt{E/F_y}$ 인 경우

$$F_{cr} = 0.877 F_e \tag{2.7}$$

여기서, $F_e$ : 탄성휨좌굴강도(MPa)= $\frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2}$, $A_g$ : 부재의 총단면적(mm$^2$), $F_y$ : 강재의 항복강도(MPa), $E$ : 강재의 탄성계수(MPa), $K$ : 유효좌굴길이계수(=1.0), $L$ : 부재의 길이(mm), $r$ : 좌굴 축에 대한 단면2차반경(mm)

또한 Eurocode 3(2005)에서는 공칭압축강도, $N_{b,Rd}$를 다음과 같이 산정한다.

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_g F_y}{\gamma_{M1}} \tag{2.8}$$

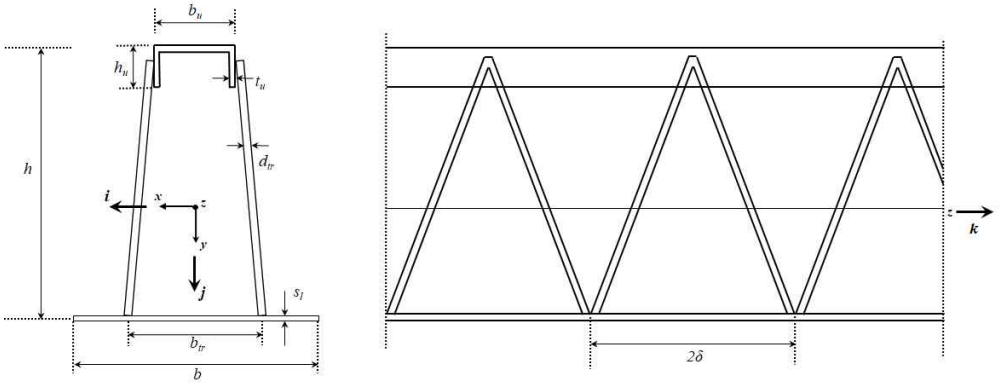
여기서, $\gamma_{M1}$ : 부분안전계수(=1.05), $\chi$ : 좌굴감소계수 $= \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \overline{\lambda^2}}} \leqq 1.0$

여기서, $\phi = 0.5[1 + \alpha(\overline{\lambda} - 0.2) + \overline{\lambda^2}]$, $\lambda$ : 무차원 세장비 $= \sqrt{\frac{A_g F_y}{N_{cr}}}$, $\alpha$ : 초기변형계수(=0.49), $N_{cr}$ : 탄성좌굴하중(kN)

### ② 시공단계 UT 강재보 설계

시공단계에서 공칭 휨강도를 결정하기 위한 선조립체의 형상은 아래 <그림 2.47>과 같다.

- 상현재는 철판을 절곡하여 만들었고, 하부 판은 철판이며 사재는 상현재와 하부판을 강봉을 이용하여 용접 접합함.
- 사재의 크기는 직경이 $d_{tr}$인 강봉이고, 간격(p)은 일반적으로 200~600mm로 하는데 부재의 전체 길이에 $2\delta$로 동일한 것으로 가정함.
- 하부 판의 두께는 $s_l$로 나타내었음.




**<그림 2.47> 선조립체의 기본 형상**

- Eurocode 3(2005) 기준식에 따라 산정
- 시공단계에서의 선조립체의 공칭휨강도, $M_{b,Rd}$ :

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{f_y}{\gamma_{M1}} W_{eff,y}$$

여기서, $\chi_{LT}$ = 횡-비틀림 좌굴 감소 계수; $f_y$ = 항복 강도; $\gamma_{M1}$ = 부분 안전 계수(= 1.05 for Italy).

유효단면계수, $W_{eff,y} = \min\{W_u, W_l\}$

상현재의 단면계수, $W_u = \chi A_u h$

여기서, $\chi$ = 좌굴 감소 계수, $A_u = b_u h_u - (b_u - 2t_u)(h_u - t_u)$ ; 상현재의 총단면적($mm^2$)

하부 강판의 단면계수, $W_l = A_l h$

여기서, $A_l = bs_l$ ; 하부 강판의 단면적(mm$^2$)

상현재의 좌굴을 고려하기 위한 좌굴 감소 계수, $\chi$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \overline{\lambda^2}}} \leqq 1$$

여기서 $\phi = 0.50[1 + \alpha(\overline{\lambda} - 0.20) + \overline{\lambda^2}]$

$\overline{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$ ; $\lambda = \frac{2\delta}{r_{y,u}}$ ; $\lambda_1 = \pi\sqrt{\frac{E_s}{f_y}}$

$2\delta$ = 상현재의 좌굴길이; $r_{y,u}$ = 상현재의 단면2차반경(mm)

$E_s$ = 탄성계수

$\alpha$ = imperfection factor(= 0.49)

횡-비틀림 좌굴 감소 계수, $\chi_{LT}$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \overline{\lambda_{LT}^2}}} \leqq 1$$

여기서 $\phi_{LT} = 0.50[1 + \alpha_{LT}(\overline{\lambda_{LT}} - 0.20) + \overline{\lambda_{LT}^2}]$

$\overline{\lambda_{LT}} = \sqrt{\frac{W_{eff} f_y}{M_{cr}}}$ ; $\alpha_{LT}$ = imperfection factor(= 0.49)

- 시공단계에서의 선조립체의 공칭휨강도($M_{b,Rd}$)을 산정하기 위해서는 탄성좌굴 모멘트($M_{cr}$)를 산정해야 함.
- 탄성좌굴모멘트($M_{cr}$)의 제안식(G. Quaranta, 2011)

$$M_{cr} = \frac{\pi^2\left(-\Delta h E_s J_y + \sqrt{E_s J_y\left(4K_{T0}\frac{l^2}{\pi^2} + \Delta h^2 E_s J_y + 4K_{T1}\right)}\right)}{2l^2}$$

여기서 $\Delta h = \frac{h_u{}^2 - h_l{}^2}{h}$, $h_u = \frac{J_{ly}}{J_{ly} + J_{uy}^{eq}} h$, $h_l = \frac{J_{uy}^{eq}}{J_{ly} + J_{uy}^{eq}} h$

- Primary Torsional Stiffness, $K_{T0}$

$$K_{T0} = \frac{E_s}{\left[\frac{2}{\delta}\left(\frac{1}{b_{tr} n_y}\right)^2 \frac{l_{tr}}{A_{1,tr}} + \frac{\alpha_{l,b}}{h^2}\frac{2(1+\nu)}{bs_l}\right]}$$

$\alpha_{l,b} = 2$, $n_y = \pm\frac{h}{l_{tr}}$, $l_{tr} = \sqrt{\delta^2 + h^2}$

- Secondary Torsional Stiffness, $K_{T1}$

$$K_{T1} = \frac{E_s}{J_{uy}^{eq} + J_y} J_{uy}^{eq} J_{ly} h^2, \; J_y = J_{ly} + J_{uy}^{eq}, \; J_{ly} = \frac{s_l b^3}{12}$$

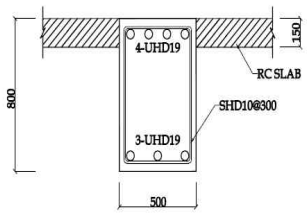
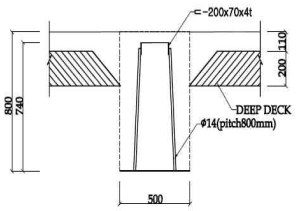
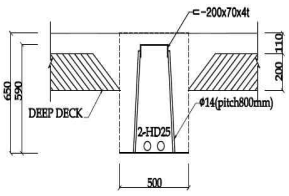
- Equivalent Inertia of the Upper Bars

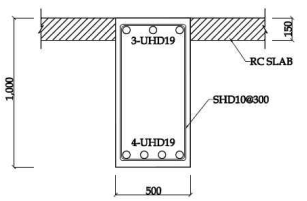
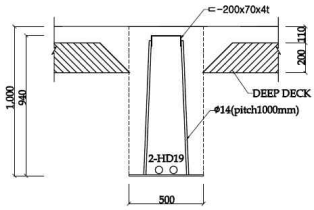
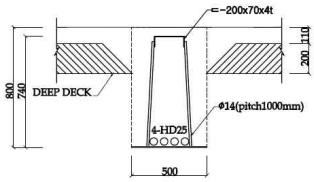
$$J_{uy}^{eq} = \frac{J_{uy}}{1 + \left(\frac{\pi}{l}\right)^2\left(\frac{J_{uy}}{KV}\right)}, \; KV = 12\frac{J_{uy}}{(2\delta)^2}, \; J_{uy} = \frac{h_u b_u^3}{12} - \frac{(h_u - t_u)(b_u - 2t_u)^3}{12}$$

## (8) 제작 프로세스 및 표준화 도면 개발(2차년도)

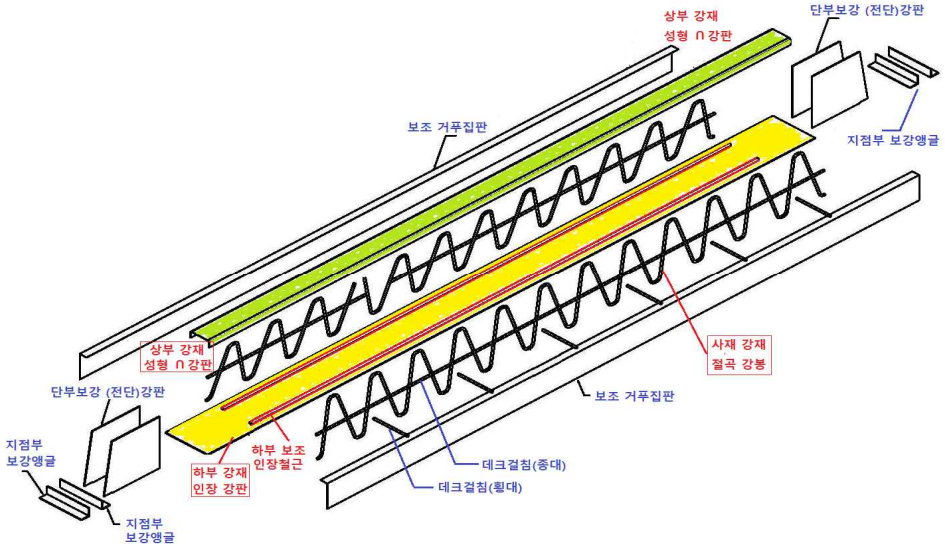
### (가) 비용절감을 위한 공장 제작 최적 프로세스 개발

근린생활시설 기본모듈(8.0m x 12m, 8.0m x 15m)에 대한 구조설계(활하중 4.0kN)를 진행하여 선조립 UT 강재보를 구성하는 Ⓐ 상부 플랜지인 n형 성형강판, Ⓑ 하부 플랜지인 강판, Ⓒ 강봉 래티스(사재), Ⓓ 추가 배근하는 인장 철근에 대해 분석하였다.

| 구분 | | RC 보 + RC slab | UT 강재보 + Deep Deck | |
|---|---|---|---|---|
| 모듈 | | 8m × 12m | 8m × 12m | 8m × 12m |
| 보 단면 형상 | |  |  |  |
| 슬래브 | Type | 일반 RC Slab | Deep Deck Slab<br>Topping 110mm | Deep Deck Slab<br>Topping 110mm |
| | THK | 150mm | 310mm | 310mm |
| 큰보 G1 | Size | 500×800<br>(Mn=974kN-m) | 500×800<br>Mn=749kN-m | 500×650<br>Mn=769kN-m |
| | Top | 3-UHD19<br>(As=850mm2) | ⊏-200×70×4t<br>(As'=1,360mm2) | ⊏-200×70×4t<br>(As'=1,360mm2) |
| | Bot. | 4-UHD19<br>(As'=1,134mm2) | PL-500×6t<br>(As=3,000mm2) | PL-500×6t<br>2-HD25 (As=3,982mm2) |
| | Stir. | SHD10@300 | 2-D14@800 | 2-D14@800 |

| 모듈 | | 8m × 15m | 8m × 15m | 8m × 15m |
|---|---|---|---|---|
| 보 단면 형상 | |  |  |  |
| 슬래브 | Type | 일반 RC Slab | Deep Deck Slab<br>Topping 110mm | Deep Deck Slab<br>Topping 110mm |
| | THK | 150mm | 310mm | 310mm |
| 큰보 G1 | Size | 500×800<br>(Mn=1153kN-m) | 500×1000<br>(Mn=1137kN-m) | 500×800<br>(Mn=1207kN-m) |
| | Top | 3-UHD19<br>(As'=850mm$^2$) | ⊏-200×70×4t<br>(As'=1360mm$^2$) | ⊏-200×70×4t<br>(As'=1360mm$^2$) |
| | Bot. | 4-UHD19<br>(As=1,134mm$^2$) | PL-500×6t<br>2-HD19 (As=3,567mm$^2$) | PL-500×6t<br>4-HD25 (As=4,960mm$^2$) |
| | Stir. | SHD10@300 | 2-D14@1000 | 2-D14@1000 |

| | | |
|---|---|---|
| 요소1 상부 | 냉간 절곡/성형 가공 | ∩형 단면 강판, 콘크리트 채움(강성 증대) |
| | 2차 가공 | 4mm ~ 6mm 강판 두께 |
| 요소2 웨브 | 냉간 절곡 가공 | 원형이나 각형 봉강, 기성품, 고강도 제품 |
| | / \ / \ 2차 가공 | 12mm ~ 16mm 직경 |
| 요소3 하부 | 단순 절단 가공 | 강판 (강판 두께 증가 없이 이형철근 배치) |
| | 1차 생산품 (코일, 강판) | 4mm ~ 6mm 강판 두께 + 강도조절용(고강도철근) |
| 요소4 보조 | 절단 및 절곡 가공 | 강판 (측판용), 강봉 (횡대,종대용) |
| | 2차 가공 | 2mm 강판 두께, 16mm 강봉 |

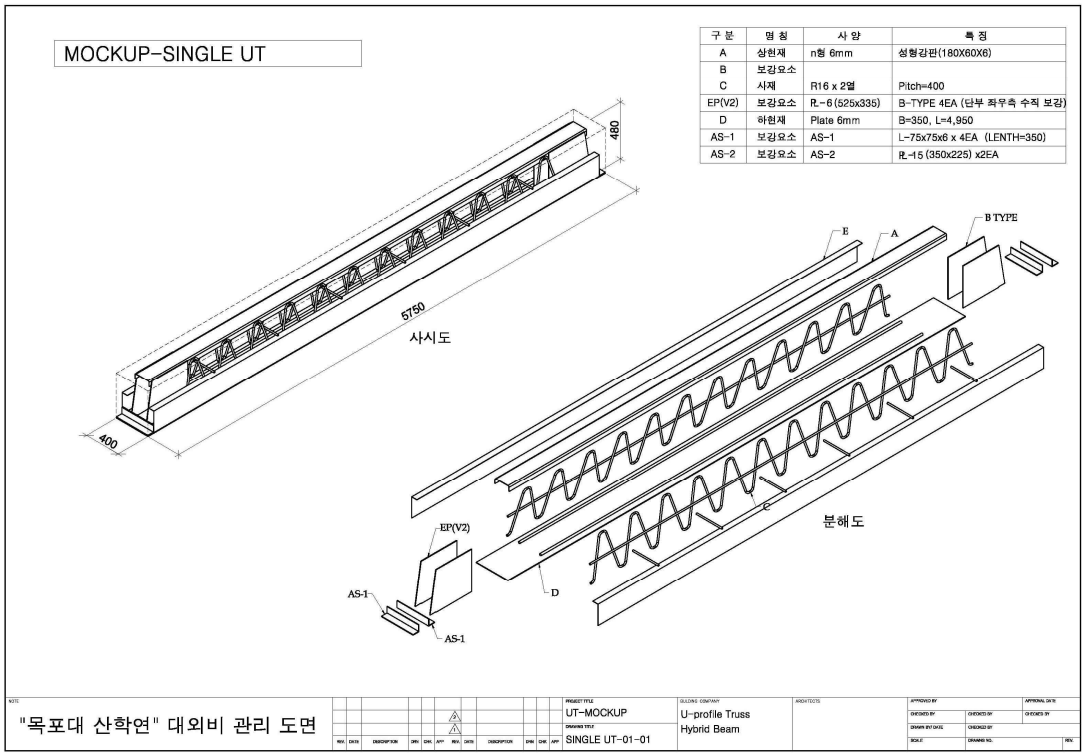


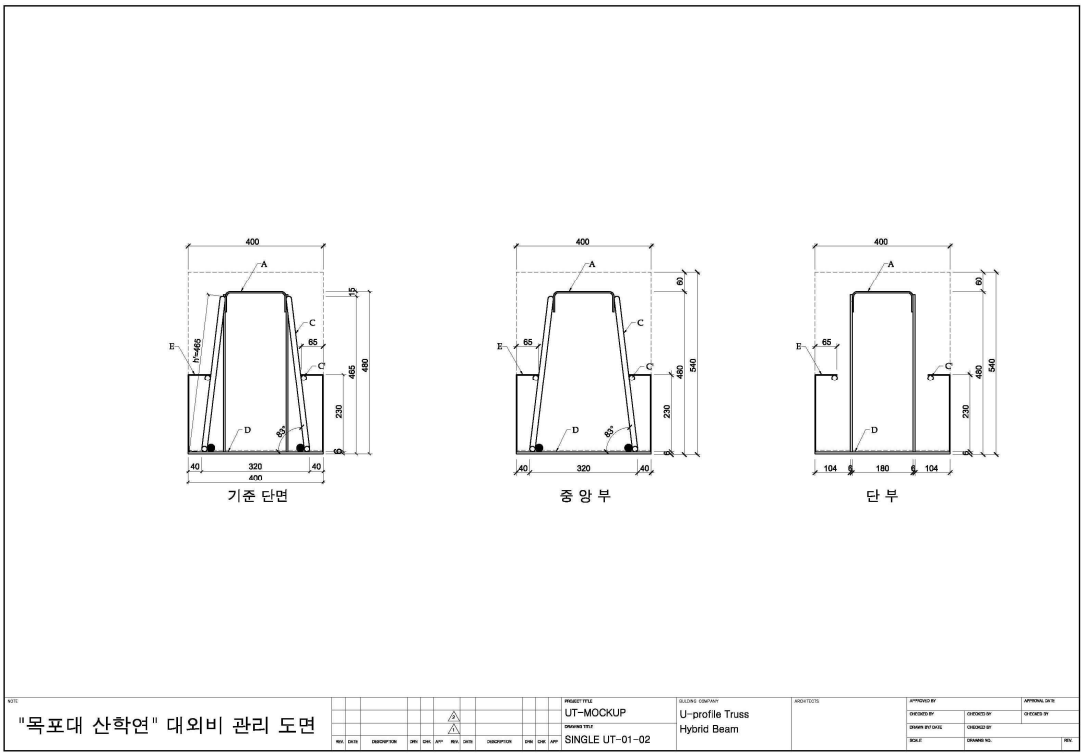

**[ 선조립 UT 강재보 ↦ UT 복합보 ]**

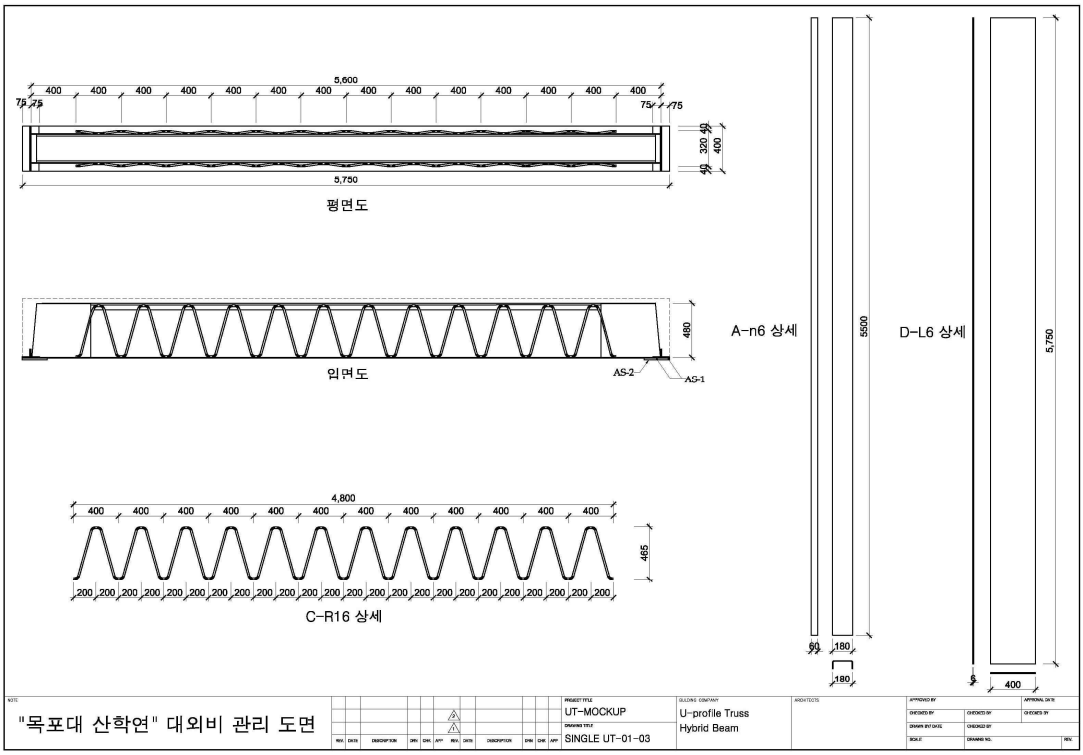
| 상부 요소 : 절곡 가공/제작<br>하부 요소 : 절단 가공/제작 | 웨브 요소 : 절곡 가공<br>래티스 제작 | 웨브 요소2 : 전단강판(절단가공) |
|---|---|---|
|  |  |  |
| 가조립 후 본 용접 | 품질관리 (높이, 폭, 피치) | 제작 완료 |
|  |  |  |

| 1) 시범 제작 : 기둥 조립 단계 | 2) 시범 제작 : 보 조립 단계 |
| --- | --- |
|  |  |
| 3) 시범 제작 : 기둥 간의 보 조립 | 4) 시범 제작 : 보 단부 설치 개념 |
|  |  |
| 시범 제작 (1) | 시범 제작 (2) |
|  |  |

## (나) 현장 적용을 위한 Slim Slab-beam 시스템 표준 도면 개발

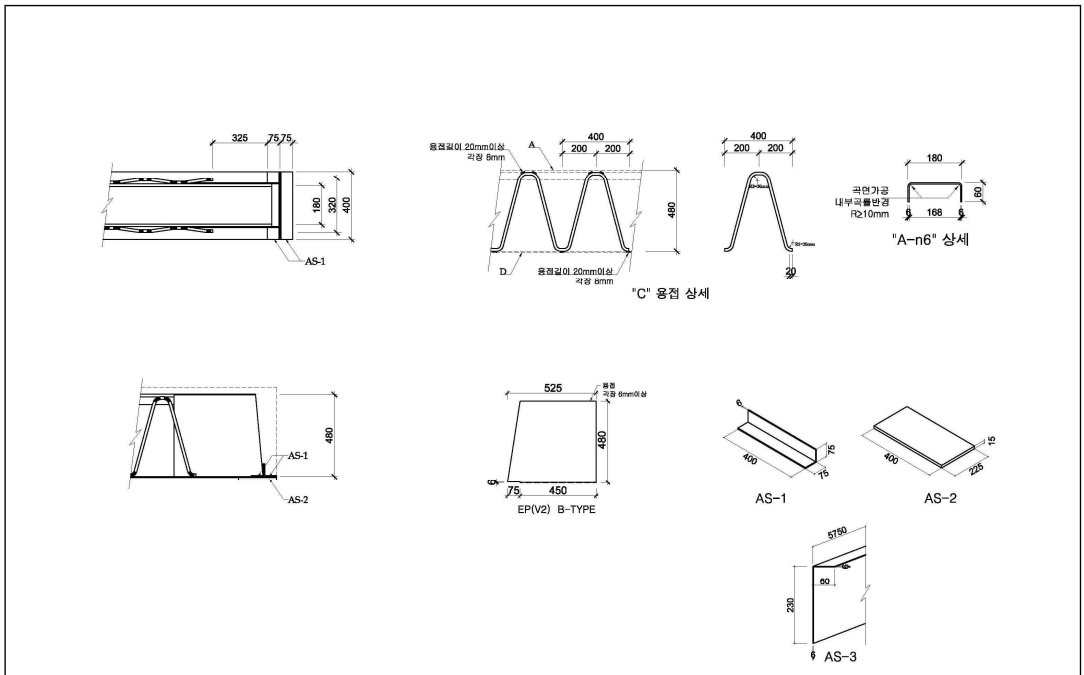




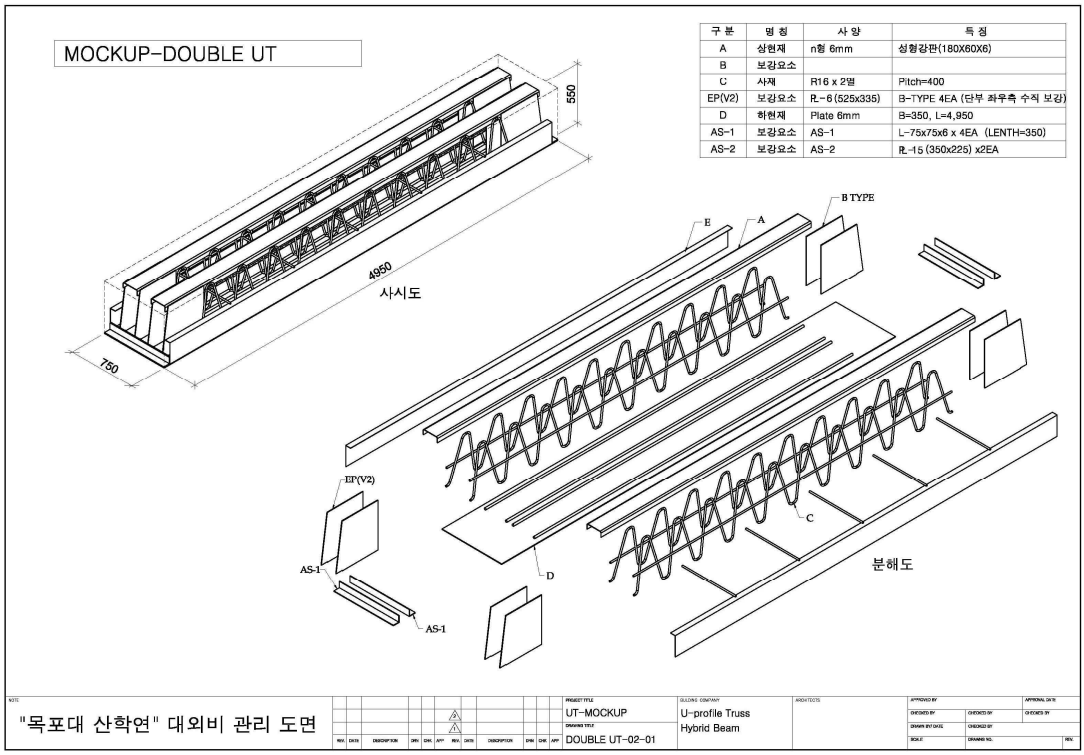

"목포대 산학연" 대외비 관리 도면

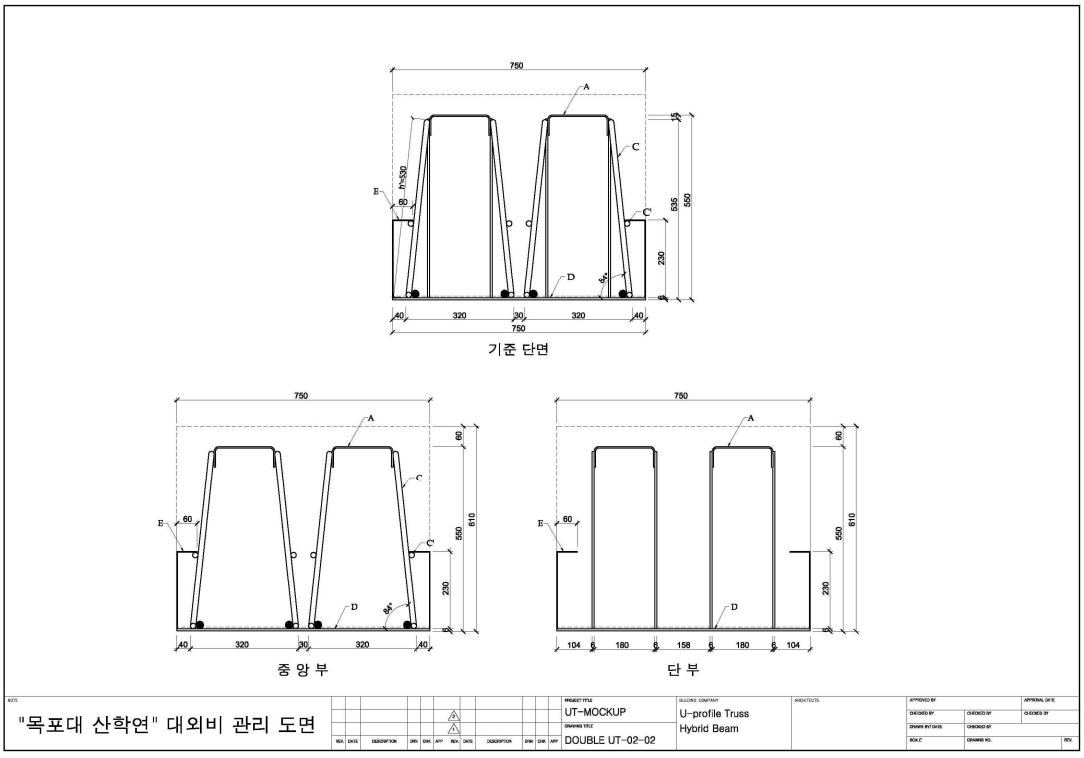
| | |
|---|---|
| PROJECT TITLE | UT-MOCKUP |
| DRAWING TITLE | SINGLE UT-01-03 |
| BUILDING COMPANY | U-profile Truss Hybrid Beam |

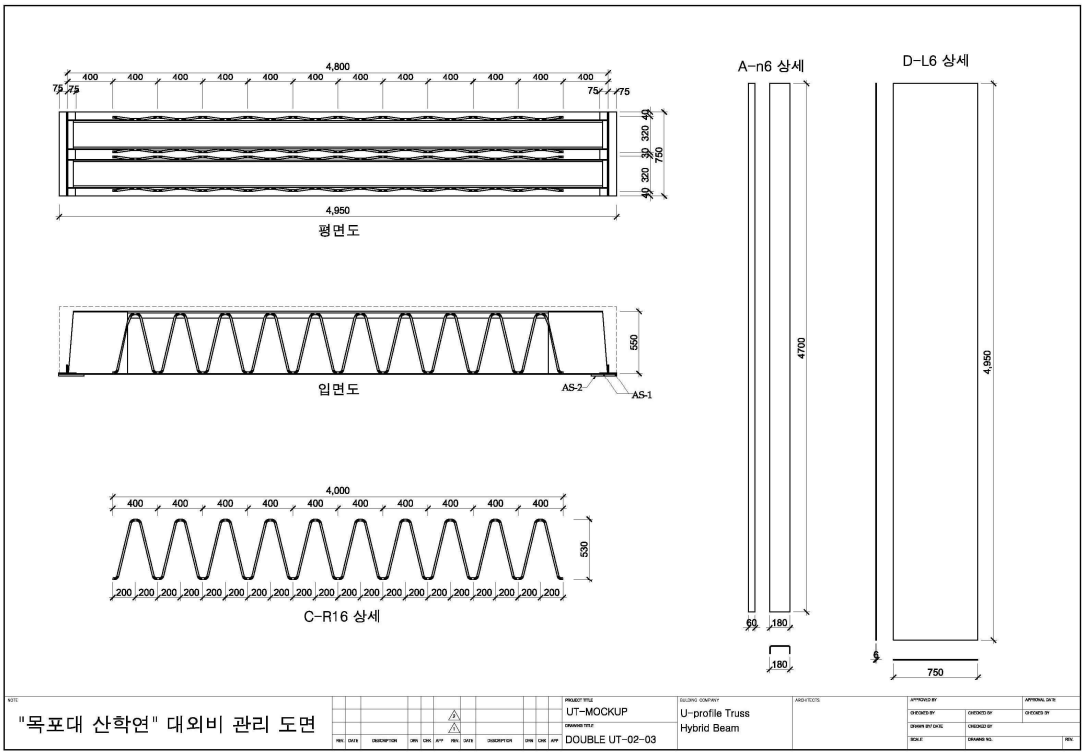



"목포대 산학연" 대외비 관리 도면

| | |
|---|---|
| PROJECT TITLE | UT-MOCKUP |
| DRAWING TITLE | SINGLE UT-01-04 |
| BUILDING COMPANY | U-profile Truss Hybrid Beam |

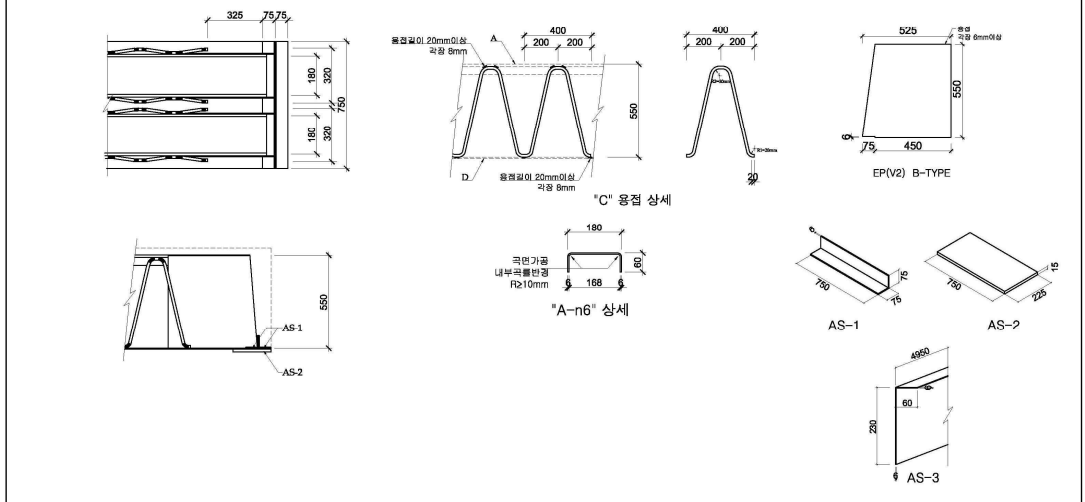

MOCKUP-DOUBLE UT
구 분 | 명 칭 | 사 양 | 특 징
A | 상현재 | n형 6mm | 성형강판(180X60X6)
B | 보강요소 | |
C | 사재 | R16 x 2열 | Pitch=400
EP(V2) | 보강요소 | PL-6 (525x335) | B-TYPE 4EA (단부 좌우측 수직 보강)
D | 하현재 | Plate 6mm | B=350, L=4,950
AS-1 | 보강요소 | AS-1 | L-75x75x6 x 4EA (LENTH=350)
AS-2 | 보강요소 | AS-2 | PL-15 (350x225) x2EA
550
4950
750
사시도
B TYPE
E
A
EP(V2)
AS-1
AS-1
C
D
분해도
"목포대 산학연" 대외비 관리 도면
UT-MOCKUP
DOUBLE UT-02-01
U-profile Truss
Hybrid Beam


750
A
C
E
60
h=330
C
D
6°
595
550
220
40
320
30
320
40
750
기준 단면
750
A
C
E
60
D
6°
60
550
610
220
40
320
30
320
40
중 앙 부
750
A
E
60
D
60
550
610
220
104
6
180
6
158
6
180
6
104
단 부
"목포대 산학연" 대외비 관리 도면
UT-MOCKUP
DOUBLE UT-02-02
U-profile Truss
Hybrid Beam




"목포대 산학연" 대외비 관리 도면

| | |
|---|---|
| PROJECT TITLE | UT-MOCKUP |
| DRAWING TITLE | DOUBLE UT-02-03 |
| BUILDING COMPANY | U-profile Truss Hybrid Beam |



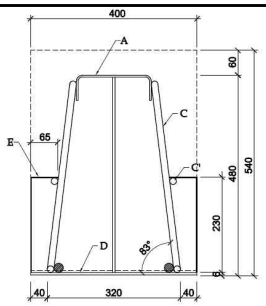

"목포대 산학연" 대외비 관리 도면

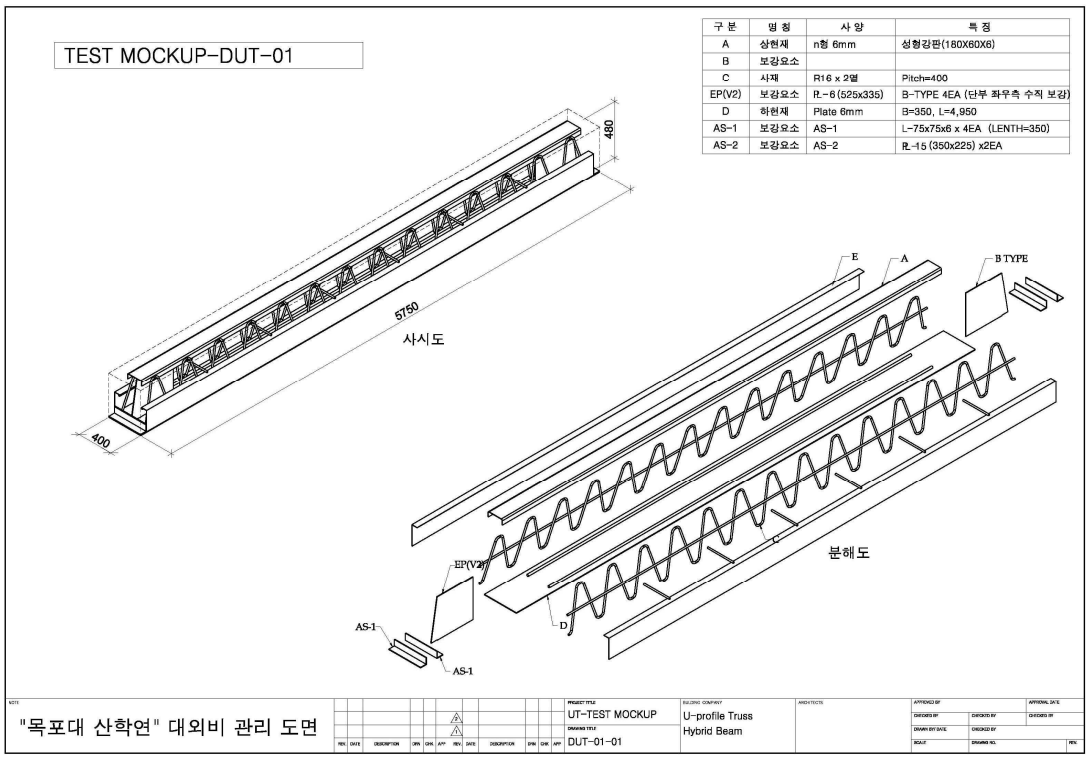
| | |
|---|---|
| PROJECT TITLE | UT-MOCKUP |
| DRAWING TITLE | DOUBLE UT-02-04 |
| BUILDING COMPANY | U-profile Truss Hybrid Beam |

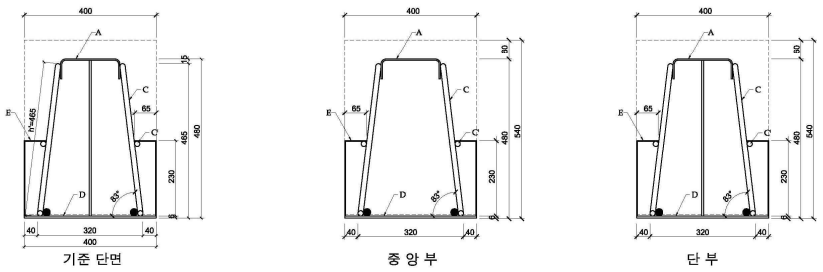
### (다) 시범 제작 및 현장 적용성 예비평가

근린생활시설 평면모듈(8.0m x 12m)에 대한 구조설계(활하중 4.0kN)를 진행하여 선조립 UT 강재보를 구성하는 Ⓐ 상부 플랜지인 n형 성형강판(n-180×60×6), Ⓑ 하부 플랜지인 강판(SM490, 400×6t), Ⓒ 강봉 래티스(∅16), Ⓓ 추가 배근하는 인장 철근(2-D22)에 대해 실물 크기의 실험체를 시범 제작하여 현장적용성에 대한 구조적 성능을 분석하였다.

시범제작 대상 부재는 길이 12m, 200mm 깊이를 갖는 Deep Deck 적용하고 topping 콘크리트 110mm 에 대해 설계강도 Mn = 769 kN · m로 분석한 경우로, 시범제작은 비용 등을 고려하여 아래 표와 같이 6m 길이로 제작하였다.

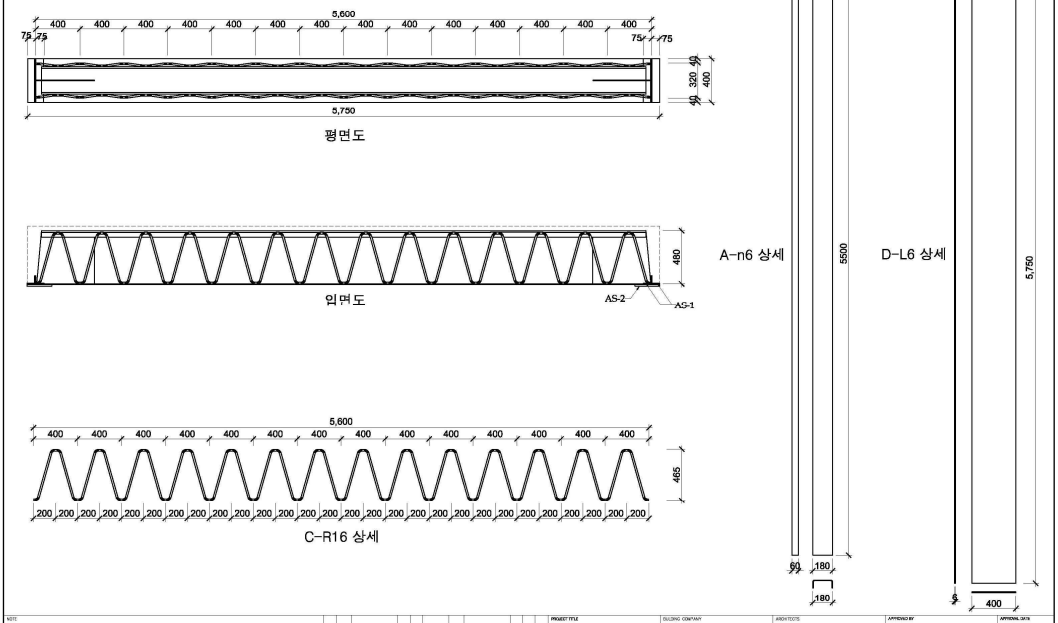
| 구분 | 형상 | 구성 방법 | | 상현재 | 사재 | 하현재 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| DUT-1 |  | -단부ER X<br>-단부BR X<br>-스트럽보강 X<br>-강판보강V1<br>-지점판(앵글) | 단부강판<br>525mm<br>(길이)<br>THK6mm | n형<br>180*60*6 | 봉강<br>좌우 2열<br>∅16<br>p=400피치<br>h=475mm | 하부강판<br>Plate 6<br>(b=400)<br><br>보강철근<br>2EA-D22 |






"목포대 산학연" 대외비 관리 도면

PROJECT TITLE: UT-TEST MOCKUP
DRAWING TITLE: DUT-01-02
BUILDING COMPANY: U-profile Truss Hybrid Beam




"목포대 산학연" 대외비 관리 도면

PROJECT TITLE: UT-TEST MOCKUP
DRAWING TITLE: DUT-01-03
BUILDING COMPANY: U-profile Truss Hybrid Beam





DUT-1 시범 실험체는SM490 강종 PL-6t를 이용한 n형 성형강판을 상현재로 사용하고, 하부강판도 PL-6t를 적용하였으며, 사재는 원형 직경16mm 강봉(피치 400 mm간격)으로 절곡하여 좌우 2열로 배치한 선조립 UT 강재보임. 여기에 영구사용 조건과 동일하게 콘크리트(30Mpa)를 타설하여 양생함으로서 UT 복합보 시범 실험체를 완성하였다.

DUT-1 시범 실험체는 선조립 트러스 UT 보를 단일 배치한 실험체로  하부에 인장보조재로 500Mpa D22철근 2개를 보강한 실험체이다.

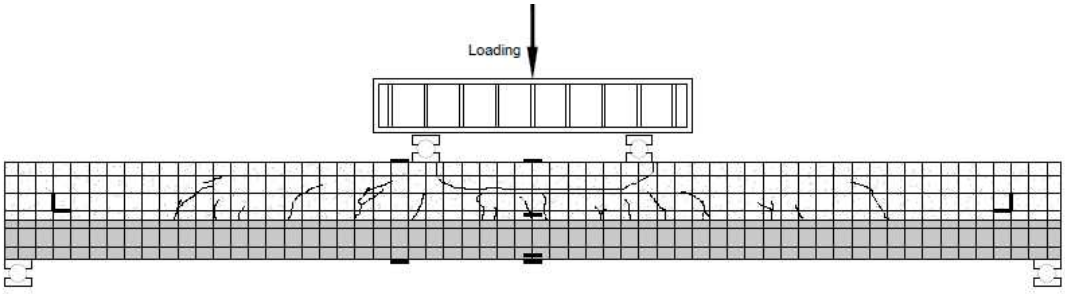
최초 균열은 좌측 가력부의 하부에서 약 140 kN에 발생되었으며 최대하중은 559 kN, 최대하중시 변위는 40.05 mm로 확인되었다. 최대내력 도달 이후에 급격한 하중 저하로 인한 열화파괴 거동을 낮게 나타났음. 이는 일반적인 철근콘크리트 보의 최대내력이 이후 상부 압축측의 파괴점 도달한 이후 급격한 하중 저하로 취성적 거동특성처럼 파괴되는 경향을 갖는데 비해, 본 UT 복합보인 시범 실험체는 최대내력이후 10%정도 내력 저하가 발생하고 이후 꾸준한 강도 유지와 함께 연성적 거동으로 최종 파괴점에 도달하였다.

균열도의 경향은 철근콘크리트 보의 휨 군열 형상보다는 심각한 균열 파괴 패턴을 나타내지 않으며 연성적 파괴 거동을 보였다.

시범제작 대상 부재는 길이 12m, 설계강도 $M_n$ = 769 kN·m 를 상회하는 실험 최대내력 838.5kN·m로 얻어 현장적용에 긍정적 자료임을 확인할 수 있었다.

**<표2.30> DUT-1 파괴양상**

| No. | Load (kN) | Displacement (mm) | 특이사항 |
|---|---|---|---|
| 1 | 약 140 | | 좌측 가력부 하부 최초 균열 발생 |
| 2 | 559.00 | 40.05 | `최대 하중 및 최대 하중 시 변위 |

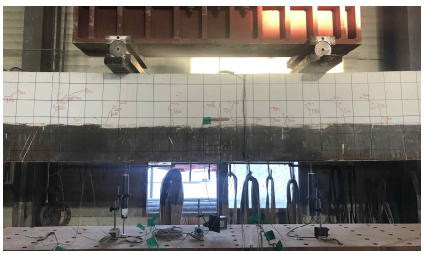





(a) 실험체 설치



(b) 최초 균열

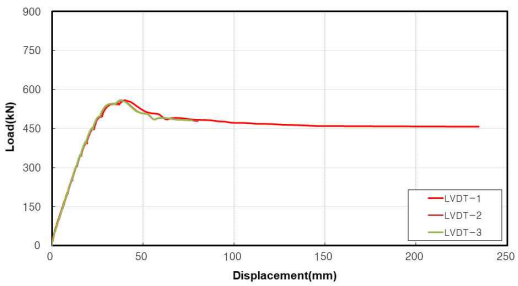


(c) 실험 중

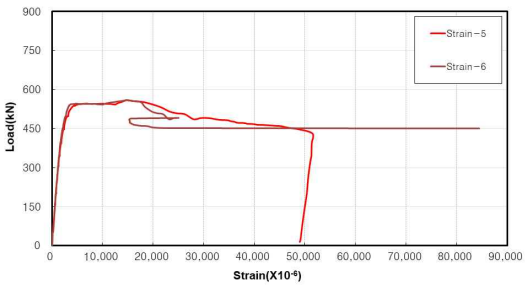


(d) 실험 종료

<그림 2.48> DUT-1 균열도 및 실험 전경




(a) 중앙부 처짐




(b) 하부 중앙 변형율

<그림 2.49> DUT-1 실험결과 그래프

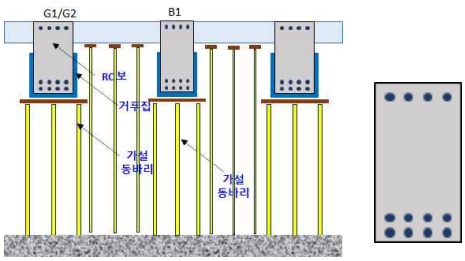
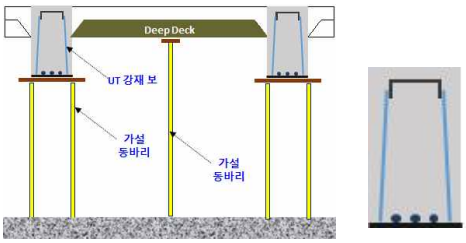
### (라) 중·저층 건축물 표준모듈에 대한 경제성 분석 및 평가

근린생활시설 중·저층규모의 설계모듈(기준평면 8.0m x 12m, 4층)에 대한 구조 설계를 진행하고 본 연구에서 개발대상인 UT 복합보 시스템의 경제성 분석을 실시하였다.

바닥판 슬래브 공법은 보편적 거푸집+동바리 현장타설슬래브와 장스팬 슬래브로 1-way 구조를 갖는 장선형 Deep Deck 슬래브 시스템을 적용하여 분석하였다.

① One-way RC Slab (현장타설콘크리트 슬래브)

② 200mm Deep Deck Slab (장스팬 장선 골데크 슬래브)

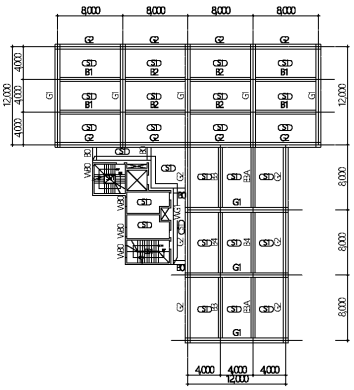
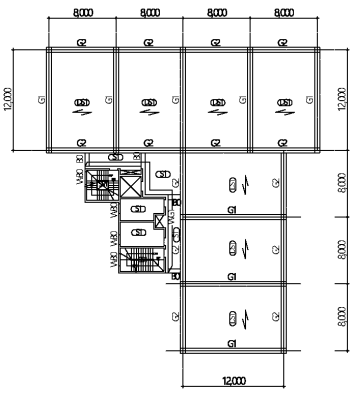
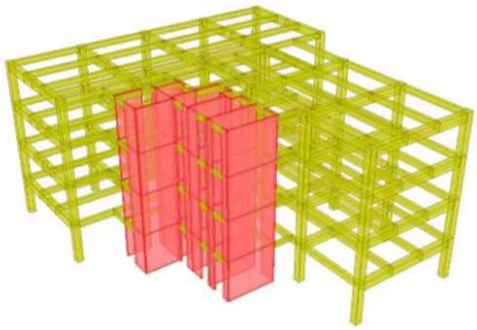
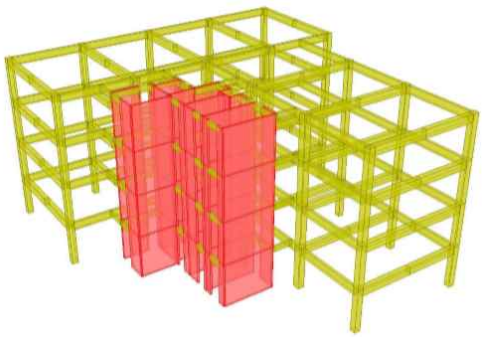
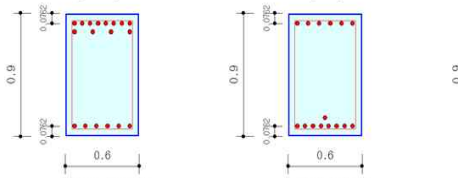
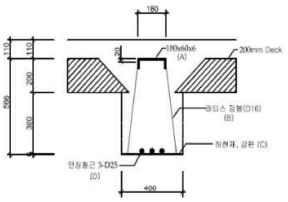
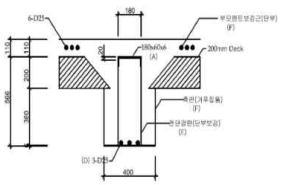
| 구분 | ALT 1 현장타설 RC 보 | ALT 2 선조립 UT 강재보(복합보) |
|---|---|---|
| | RC 보 + 슬래브 | UT 강재보 + Deep Deck |
| 개념도 |  |  |
| 하중 경로 | ① 바닥판 하중(거푸집+타설하중+작업하중)<br>- 자체 동바리+거푸집 지지구조로 설계<br>- 동바리 설계(≥5.0m)<br>② 보 하중(거푸집 자중+타설하중+작업하중)<br>- 자체지지 구조로 설계<br>- 거푸집 + 동바리 설계 | ① 바닥판 하중(데크자중+타설하중+작업하중)<br>- 자체 데크 지지구조로 설계<br>- 동바리 설계(≥5.0m)<br>② 보 하중(자중+타설하중+작업하중)<br>- 자체지지 구조로 설계<br>- 거푸집 + 동바리 설계 |

4층 근생건축물의 구조는 사용하중(고정하중 및 활하중4.0kN/㎡), 계수하중에 대한 구조 해석을 수행 후 구조설계를 통해 단면의 크기와 배근량을 결정하였다.

① ATL 1 : 기본모듈, 8m × 12m (One way RC Slab)

② ALT 2 : 기본모듈, 8m × 12m (200 Deep Deck Slab)

| 구 분 | 마 감 | 하 중(kN/m$^2$) |
|---|---|---|
| 고정하중(DL) | 마감(t=50mm) | 1.00 |
| | 슬래브 자중 | 2.64 |
| | Joist 자중 | 1.92 |
| | Deck 자중 | 0.20 |
| | Ceiling | 0.30 |
| | 합 계 | 6.06 |
| 활하중(LL) | - | 4.00 |
| 사용하중(1.0DL+1.0LL) | | 10.06 |
| 계수하중(1.2DL+1.6LL) | | 13.67 |

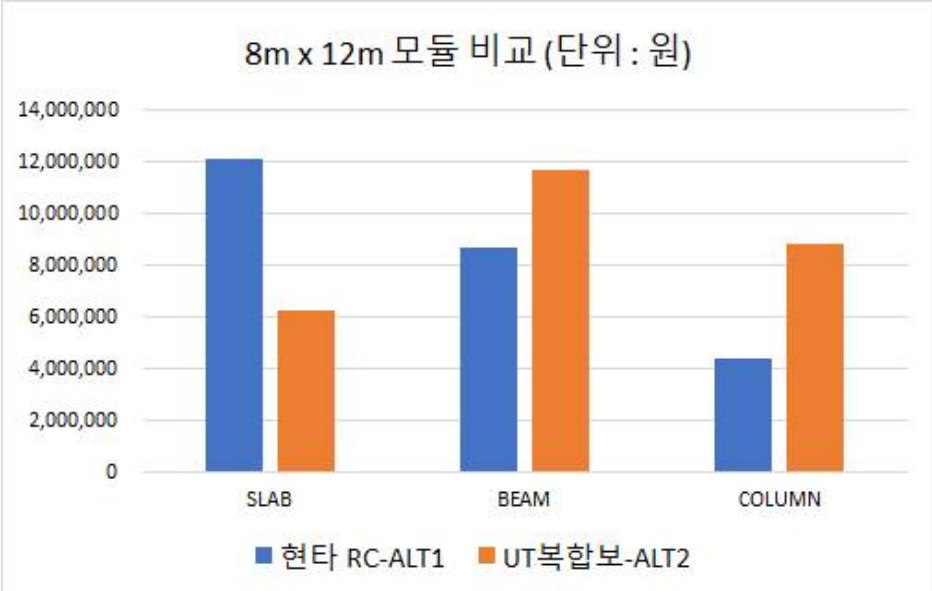
| ATL 1 : 기본모듈, 8m × 12m<br>(RC 슬래브 + RC 전단벽 + RC 모멘트 골조) | ATL 2 : 기본모듈, 8m × 12m<br>(D Deck Slab + RC 전단벽 + 합성 보 + 합성기둥) |
|---|---|
|  |  |
|  |  |
| **G1 부재 설계** | **G1 부재 설계** |
| Design Information<br>Design Code KCI-USD12 Unit System kN, m<br>Material Data fck = 24000, fy = 600000, fys = 500000 KPa<br>Section Property G1 (No : 10) Beam Span 12m<br>[END-I] [MID]<br>  <br>TOP 12-D19 / BOT 6-D19 / STIRRUPS 2-D10 @130<br>TOP 6-D19 / BOT 9-D19 / STIRRUPS 2-D10 @210<br>(+) Load Combination No. 20 6<br>Moment (Mu) 481.56 978.36<br>Factored Strength (φMn) 685.28 993.77<br>Check Ratio (Mu/φMn) 0.7027 0.9845 |  <br>보 UT G1 - 단면 (중앙부)<br>UT-566x400x6(180x60x6)<br>  <br>보 UT G1 - 단면 (단부) |

근린생활시설 중저층 건축물에 대해 기본 평면모듈 8m × 12m를 중심으로 슬래브, 보, 기둥 부재별로 구조계산에 의거해 직접공사비를 산출하였다.

① 슬래브의 경우, Deep Deck 적용 시 약 48.5% 절감되는 것으로 검토되었음.

② 기둥의 경우, 각형합성기둥 적용 시 약 99.9% 증가되는 것으로 검토되었음.

③ 보의 경우, 선조립 UT 복합보 적용 시 약 34.6% 증가되는 것으로 검토되었음.



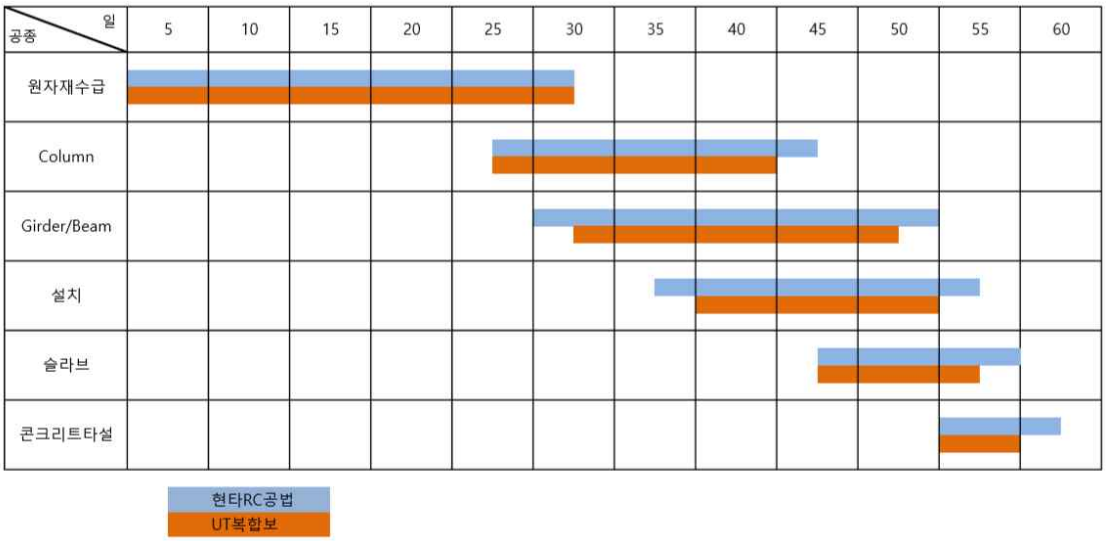

| | | | | RC기둥 - RC보 - RC slab | | | ACT기둥 - UT보 - D Deck | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 항목 | | 규격 | 단위 | 변경전 RC(A) | | | 변경후 합성(B) | | | 비용 절감(B-A) |
| | | | | 수량 | 단가 | 금액 | 수량 | 단가 | 금액 | |
| 기둥 | 철근 | 전규격 | ton | 1.48 | 1,500,000 | 2,220,000 | | | 0 | -2,220,000 |
| | 콘크리트 | 24MPA | m3 | 8.611 | 88,000 | 757,768 | 2.836 | 88,000 | 249,568 | -508,200 |
| | 거푸집 | 7m미만 | m2 | 48.72 | 30,000 | 1,461,600 | | | 0 | -1,461,600 |
| | 기둥C1 | ACT404*40*7 | KG | | | 0 | 1895.2 | 4,300 | 8,149,360 | 8,149,360 |
| | 철근 | R29 | KG | | | 0 | 397.2 | 1,000 | 397,200 | 397,200 |
| | 소부재 | 8T*600*600 | KG | | | 0 | 90.4 | 850 | 76,840 | 76,840 |
| [ 소 계 ] | | | | | 100% | 4,439,368 | | 200% | 8,872,968 | 4,433,600 |
| 보 | 철근 | 전규격 | ton | 2.89 | 1,500,000 | 4,335,000 | | | 0 | -4,335,000 |
| | 콘크리트 | 24MPA | m3 | 15.617 | 88,000 | 1,374,296 | 7.692 | 88,000 | 676,896 | -697,400 |
| | 거푸집 | | m2 | 60.36 | 50,000 | 3,018,000 | | | 0 | -3,018,000 |
| | G1 | UTB-566*400*6(180*60*6) | KG | | | 0 | 2336.8 | 3,500 | 8,178,800 | 8,178,800 |
| | G2 | UTB-566*400*6(180*60*6) | KG | | | 0 | 825 | 3,500 | 2,887,500 | 2,887,500 |
| [ 소 계 ] | | | | | 100% | 8,727,296 | | 135% | 11,743,196 | 3,015,900 |
| 슬라브 | 철근 | 전규격 | ton | 1.42 | 1,500,000 | 2,130,000 | | | 0 | -2,130,000 |
| | 콘크리트 | 24MPA | m3 | 14.544 | 88,000 | 1,279,872 | 19.392 | 88,000 | 1,706,496 | 426,624 |
| | 거푸집 | | m2 | 96 | 58,000 | 5,568,000 | | | 0 | -5,568,000 |
| | 동바리 | | M2 | 96 | 33,000 | 3,168,000 | | | 0 | -3,168,000 |
| | DECK PLATE | 200 | M2 | | | 0 | 96 | 34,000 | 3,264,000 | 3,264,000 |
| | 트러스거더 | 10*10*13 | M2 | | | 0 | 96 | 13,000 | 1,248,000 | 1,248,000 |
| | 동바리 | | EA | | | 0 | 13 | 2,640 | 34,320 | 34,320 |
| [ 소 계 ] | | | | | 100% | 12,145,872 | | 51% | 6,252,816 | -5,893,056 |
| [ 1개 모듈 합계 ] | | | | | 100% | 25,312,536 | | 106% | 26,868,980 | 1,556,444 |
| [ 전체 연면적 적용 ] | | | | 3373m2 | 100% | 889,366,499 | | 106% | 944,052,808 | 54,686,308 |

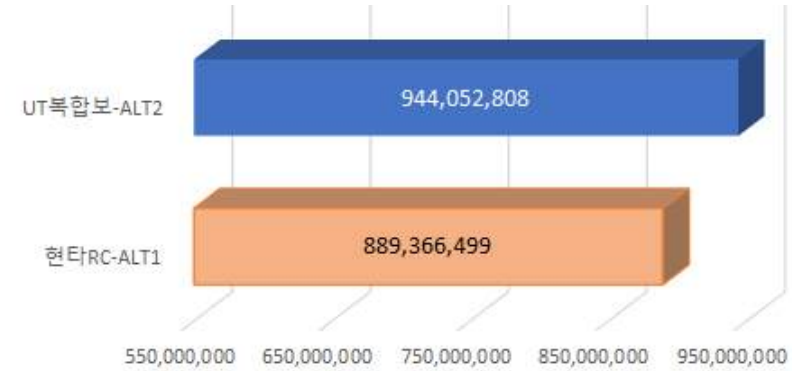
상기 기본 평면모듈 8m × 12m로 산출된 슬래브, 보, 기둥 부재별 직접공사비를 전체 건축면적으로 확대하여 산출하였다.

① 전체 공사비 검토 결과, 동바리와 거푸집을 사용한 전통적인 현장타설 RC방식(슬래브, 보, 기둥) 보다 각형강관 충전기둥에 200mm Deep Deck 슬래브 시스템과 본 연구에 개발한 UT 복합보를 적용한 건축물의 경우가 전체공사비에서 약 6.1%의 증가되는 것으로 검토되었음.

② 이는 공장에서 제작하고 현장에서 조립하는 방식을 선정하고 있어서 자재비 상승에 의한 영향에 의한 것으로 판단되면 현재 기존 현장타설 방식의 현장노무비 단가의 상승이 점진적으로 발생하고 있고, 전체공사비 산출시 간접비을 반영한다면 대등한 공사비 경쟁이 기대되는 바임.

③ 공사기간을 개략 산출한 결과(1개 층씩 타설하는 조건), 기존 현장타설 RC조는 63일 소요되는 반면 UT 복합구조는 60일이 소요되는 것으로 큰 차이를 보이지 없으나 이는 기둥제작을 1층1절 방식으로 적용하여 산출한 결과라 판단됨.




| | 현타RC-ALT1 | UT복합보-ALT2 |
|---|---|---|
| 전체 공사비 | 889,366,499 | 944,052,808 |

추가적으로 근린생활시설 중저층 건축물에 대해 기본 평면모듈 8m × 12m 를 중심으로 기존 현장타설 철근콘크리트거푸집 보와 본 연구로 개발된 UT 보를 직접공사비 중심으로 산출하였다.

① 연구 사업단계에서 시범적으로 공장 제작한 단가(품)를 반영하여 분석한 결과이기 때문에 정확한 단가개념으로 보는 것은 한계가 있을 것으로 판단된다.

② UT 강재 복합보 부재를 시범 공장제작한 단가(350만원/톤)를 분석하면, 기존 현장타설 방식에 비해 개발한 UT 복합보는 35% 높은 가격으로 평가된다. 만약 철구제작사의 일반적인 강구조 용접·조립 제작단가(250만원/톤 이하)를 적용하면, 기존 현장타설 방식에 비해 개발한 UT복합보는 98% 수준으로 효과적인 경제성 수준으로 판단된다.

□ UT 강재 제작 단가 350만원/톤 적용 시,
- 현장타설거푸집 철근콘크리트보 100% : UT 복합보 135%
- 모듈당 공사비 비교
- 현장타설방식 100% : CFT기둥-UT보 방식 106%

□ UT 강재 제작 단가 250만원/톤 적용 시,
- 현장타설거푸집 철근콘크리트보 100% : UT 복합보 98%
- 모듈당 공사비 비교
- 현장타설방식 100% : CFT기둥-UT보 방식 94%

| 강재 용접조립제작단가 350만원/톤 | | | | RC기둥 - RC보 - RC slab 변경전 RC(A) | | | ACT기둥 - UT보 - D Deck 변경후 합성(B) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 항목 | | 규격 | 단위 | 수량 | 단가 | 금액 | 수량 | 단가 | 금액 |
| 보 | 철근 | 전규격 | ton | 2.89 | 1,500,000 | 4,335,000 | | | 0 |
| | 콘크리트 | 24MPA | m3 | 15.617 | 88,000 | 1,374,296 | 7.692 | 88,000 | 676,896 |
| | 거푸집 | | m2 | 60.36 | 50,000 | 3,018,000 | | | 0 |
| | G1 | UTB-566*400*6(180*60*6) | KG | | | 0 | 2336.8 | 3,500 | 8,178,800 |
| | G2 | UTB-566*400*6(180*60*6) | KG | | | 0 | 825 | 3,500 | 2,887,500 |
| [소 계 ] | | | | | 100% | 8,727,296 | | 135% | 11,743,196 |

| 강재 용접조립제작단가 250만원/톤 | | | | RC기둥 - RC보 - RC slab 변경 전 RC(A) | | | ACT기둥 - UT보 - D Deck 변경 후 합성(B) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 항목 | | 규격 | 단위 | 수량 | 단가 | 금액 | 수량 | 단가 | 금액 |
| 보 | 철근 | 전규격 | ton | 2.89 | 1,500,000 | 4,335,000 | | | 0 |
| | 콘크리트 | 24MPA | m3 | 15.617 | 88,000 | 1,374,296 | 7.692 | 88,000 | 676,896 |
| | 거푸집 | | m2 | 60.36 | 50,000 | 3,018,000 | | | 0 |
| | G1 | UTB-566*400*6 (180*60*6) | KG | | | 0 | 2336.8 | 2,500 | 5,842,000 |
| | G2 | UTB-566*400*6 (180*60*6) | KG | | | 0 | 825 | 2,500 | 2,062,500 |
| [소 계 ] | | | | | 100% | 8,727,296 | | 98% | 8,581,396 |

# 마. 연구개발성과

## (1) 국내·외 논문게재

| 번호 | 논문명 | 저자명 | 학술지명 | SCI 구분 | 권 | 호 | pp | 게재 년월 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | U-플랜지 트러스 보의 구조내력에 관한 실험 연구 | 오명호<br>김영호<br>강재윤<br>김명한 | 한국공간 구조학회지 | × | 18 | 4 | 113<br>-121 | 2018.<br>12 |
| 2 | U-플랜지 트러스 복합보의 휨 내력에 대한 실험 연구 | 오명호<br>김영호<br>김명한 | 한국공간 구조학회지 | × | 18 | 4 | 123<br>-130 | 2018.<br>12 |
| 3 | 단부 보강에 따른 U-플랜지 트러스 보의 구조 내력에 관한 실험 연구 | 오명호<br>김영호<br>김명한 | 한국공간 구조학회지 | × | 20 | 1 | - | 게재 예정 |
| 4 | Experimental Study on the Flexural Strength of the U-flanged Truss Steel Beam | Sung-JIn Ahn<br>Young-Ho Kim<br>Myoung-Ho Oh<br>Myeng-Han Kim | International Journal of Steel Structures | O | - | - | - | 심사중 |

## (2) 국외학술발표

| 번호 | 제목 | 저자명 | 학술지명 | 발표년월 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Analysis of U-flanged Turss Hybrid Beam Focusiong on Its Flexural Capacity | Sung-JIn Ahn<br>Young-Ho Kim<br>Myoung-Ho Oh<br>Myeng-Han Kim | 10th International Symposium on Steel Structures(ISSS-2019) | 2019.11 |
| 2 | Flexural Strength of U-flanged Truss Steel Beam | Sung-JIn Ahn<br>Young-Ho Kim<br>Myoung-Ho Oh<br>Myeng-Han Kim | 10th International Symposium on Steel Structures(ISSS-2019) | 2019.11 |

## (3) 국내특허출원

| 번호 | 제목 | 출원인 | 출원번호 | 출원일 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 상부압축 보강재 및 하부인장 보강재를 갖는 트러스 복합보 | 목포대학교<br>산학협력단 | 10-2018-0133774 | 2018.11.02 |
| 2 | 전단브릿지부재로 지지된 합성압축보강재를 갖는 트러스 복합보 | 목포대학교<br>산학협력단 | 10-2018-0133772 | 2018.11.02 |
| 3 | PC 하부 플랜지를 갖는 트러스 복합보 | 목포대학교<br>산학협력단 | 10-2019-0163033 | 2019.12.09 |
| 4 | 중간종대와 중간횡대를 이용한 트러스 슬림보 | 목포대학교<br>산학협력단 | 10-2019-0163036 | 2019.12.09 |

## (4) 국내특허등록

| 번호 | 제목 | 출원인 | 등록번호 | 등록일 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 상부압축 보강재 및 하부인장 보강재를 갖는 트러스 복합보 | 목포대학교<br>산학협력단 | 10-2056313 | 2019.12.10 |
| 2 | 전단브릿지부재로 지지된 합성압축보강재를 갖는 트러스 복합보 | 목포대학교<br>산학협력단 | 10-2056310 | 2019.12.10 |

## (5) 핵심연구성과

| 연번 | 핵심성과 (CTE) | 핵심성과 설명 | 성과 유형 | 연구기관 | 해당 연차 | TRL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 선조립체 최적형상 선정 및 구조성능평가 | 상부의 횡좌굴 및 압축에 대한 보강체(충전 U-flange), 하부의 인장저항용 강판 및 상하부를 연결하는 래티스로 이루어진 선조립체(U-flanged Truss)의 최적 형상 및 구조성능 평가 | 공법 기법 | 목포 대학교 | 1 | 4 |
| 2 | 선조립 복합보 및 표준도면개발 | 춤 300mm 이상의 슬래브를 가지는 바닥구조에서도 경제성과 시공성이 혁신적으로 향상된 Slim Floor System을 구현할 수 있는 선조립 복합보(U-flanged Truss Hybrid Beam) 및 표준도면 개발 | 공법 기법 | 목포 대학교 | 2 | 4 |

## (6) 핵심연구성과별 설명

| **핵심성과 1** | | |
|---|---|---|
| **정의** | 선조립체 최적형상 선정 및 구조성능평가 | |
| **목적** | 상부의 횡좌굴 및 압축에 대한 보강체(충전 U-flange), 하부의 인장저항용 강판 및 상하부를 연결하는 래티스로 이루어진 선조립체(U-flanged Truss)의 최적 형상 및 구조성능 평가 | |
| **성능목표** | (기존기술 수준)<br>• 일반 철근콘크리트조의 철근조립체는 시공하중을 지지할 수 없음<br>• 비대칭H형강 및 U형 합성보에서는 시공단계의 압축성능을 향상시키기 위해서 상부 플랜지의 두께를 증가시켜야 함<br><br>(개발기술 수준)<br>• U형 성형강판을 활용하여 상부 압축요소를 구성하는 선조립체(U-flanged Truss)<br>• 저비용으로 시공 중 하중지지 기능을 충분히 가지는 공장제작방식의 선조립복합보 구현을 위한 선조립체 개발 | |
| **성과달성 책임자 (소속기관)** | 오명호(목포대학교) | |
| **소요기간** | '18.04 ~ '18.12(0년9개월, 1년차) | |
| **성과달성 확인방법** | 전문가 검토 의견서<br>실험 결과 데이터 확인 | |
| **성과달성에 따른 정량적 성과** | 특허 출원/등록 | 출원 : 2건, 등록 : 0건 |
| | 논문 | 학술지 : 2건 |
| | 저작 | 0건 |
| | S/W | 0건 |
| | 신기술 | 0건 |
| | 기타 | 0건 |

| 핵심성과 2 | | |
|---|---|---|
| **정의** | 선조립 복합보 및 표준도면개발 | |
| **목적** | 춤 300mm 이상의 슬래브를 가지는 바닥구조에서도 경제성과 시공성이 혁신적으로 향상된 Slim Floor System을 구현할 수 있는 선조립 복합보(U-flanged Truss Hybrid Beam) 및 표준도면 개발 | |
| **성능목표** | (기존기술 수준)<br>• 다양한 Deep Slab 공법 적용 시 현장 적용성과 활용도가 미흡<br>• 보-슬래브 구조로 층고가 지나치게 높아져서 공사비 및 노무비 증가<br><br>(개발기술 수준)<br>• 부재 춤과 두께의 증가 없이도 강도 및 강성 향상이 가능한 모듈화된 선조립 복합보<br>• 공장제작 및 현장조립방식으로 선진화된 선조립 복합보 | |
| **성과달성 책임자 (소속기관)** | 오명호(목포대학교) | |
| **소요기간** | '19.01 ~'19.12(1년0개월, 2년차) | |
| **성과달성 확인방법** | 전문가 검토 의견서<br>실험 결과 데이터 확인 | |
| **성과달성에 따른 정량적 성과** | 특허 출원/등록 | 출원 : 2건, 등록 : 2건 |
| | 논문 | SCI(E) 1건, 학술지 : 1건 |
| | 저작 | 0건 |
| | S/W | 0건 |
| | 신기술 | 0건 |
| | 기타 | 1건(시작품) |

# 3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

## 3-1. 목표

| 구분 | 내용 |
|---|---|
| 최종 목표 | **충전 U-flanged Truss를 이용한 중저층 건축물용 Slim Slab-Beam 개발**<br>- 춤 300mm 이상의 슬래브를 가지는 바닥구조에서도 경제성과 시공성이 혁신적으로 향상된 Slim Floor System을 구현할 수 있는 선조립 복합보(U-flanged Truss Hybrid Beam) 개발 |
| 세부 목표 | ○ 상부의 휨좌굴 및 압축에 대한 보강체(충전 U-flange), 하부의 인장저항용 강판 및 상하부를 연결하는 래티스로 이루어진 선조립체(U-flanged Truss)의 최적 형상 정립<br>- 시공단계에서 발생하는 콘크리트 타설하중 및 작업하중에 의한 휨좌굴 및 상부압축에 가장 효율적으로 저항할 수 있는 U-flanged Truss의 형상 개발<br>○ U-flanged Truss를 이용한 Slim Slab-Beam에 대한 휨실험 및 전단실험을 통한 구조성능 평가<br>○ U-flanged Truss를 이용한 Slim Slab-Beam의 부재설계법 개발<br>○ U-flanged Truss를 이용한 Slim Slab-Beam의 표준화 도면 개발 |

## 3-2. 목표 달성여부

## 가. 목표달성도

○ 본 연구개발과제의 핵심연구성과는 아래에 기술하였으며, 성과점검기준표와 성과지표별 목표에서 제시하는 항목의 달성 여부를 기준으로 평가한 결과 100% 목표 달성함.

○ 정량성과지표별 목표
- 논문게재(목표/실적) : 4편/3편(+1편 ; SCI(E)급 논문 투고 완료)
- 특허출원(목표/실적) : 4건/4건
- 특허등록(목표/실적) : 2건/2건
- 시제품(목표/실적) : 1건/1건

[총괄]

| 구분 | 핵심성과 (CTE) | | 단위성과 | | 성과점검기준 | | | | | | | 양적 성과 건수 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 질적 성과지표 | | 목표치 | 달성치 | 측정방법 | 증빙 | 가중치 | |
| 주관 | 1 | 선조립체 최적형상 선정 및 구조성능 평가 | 1-1 | 선조립체의 최적형상정립 | ① | 국내외 사례조사 | 사례 4건 | 사례 9건 | 기술개발 활용성 | [증빙1-1] 사례조사서 | 5 | 특허출원 2건 |
| | | | | | ② | 선조립체 기본형상 설계,선정 | 형상 도면 작성 | 도면 작성 | 도면 구체성 | [증빙1-2] UT 보 제작도 | 10 | |
| | | | 1-2 | 휨, 전단 구조성능평가 | ① | 휨실험 | 성능 검증 | 휨실험 8개 | 휨실험 적합성 | [증빙1-3] 실험보고서 | 15 | 논문 2건 |
| | | | | | ② | 전단실험 | 성능 검증 | 전단 실험 3개 | 전단실험 적합성 | [증빙1-3] 실험보고서 | 15 | |
| | 2 | 선조립 복합보 및 표준도면 개발 | 2-1 | 복합보의 구조성능평가 | ① | Pushout Test | 성능 검증 | 실험 13개 | 실험 적합성 | [증빙2-1] 실험보고서 | 15 | 논문 2건 |
| | | | | | ② | 복합합성보 실험 | 성능 검증 | 실험 11개 | 실험 적합성 | [증빙2-2] 실험보고서 | 20 | |
| | | | 2-2 | 설계법 및 표준도면 개발 | ① | 부재설계법 개발 | 설계법 개발 | 설계법 작성 | 설계법 적합성 | [증빙2-3] 설계시트 | 10 | 특허출원 2건 특허등록 2건 시제품 1건 |
| | | | | | ② | 표준도면 개발 | 도면 작성 | 도면 작성 | 도면 구체성 | [증빙2-4] 표준도면 | 10 | |
| 계 | | | | | | | | | | | 100 | 특허출원 4건 특허등록 2건 논문 4건 시제품 1건 |

[1차년도]

| 구분 | 핵심성과 (CTE) | | 단위성과 | | 성과점검기준 | | | | | | | 양적 성과 건수 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 질적 성과지표 | | 목표치 | 달성치 | 측정방법 | 증빙 | 가중치 | |
| 주관 | 1 | 선조립체 최적형상 선정 및 구조성능 평가 | 1-1 | 선조립체의 최적형상정립 | ① | 국내외 사례조사 | 사례 4건 | 사례 9건 | 기술개발 활용성 | [증빙1-1] 사례조사서 | 10 | 특허출원 2건 |
| | | | | | ② | 선조립체 기본형상 설계,선정 | 형상 도면 작성 | 도면 작성 | 도면 구체성 | [증빙1-2] UT 보 제작도 | 20 | |
| | | | 1-2 | 휨, 전단 구조성능평가 | ① | 휨실험 | 성능 검증 | 휨실험 8개 | 휨실험 적합성 | [증빙1-3] 실험보고서 | 35 | 논문 2건 |
| | | | | | ② | 전단실험 | 성능 검증 | 전단 실험 3개 | 전단실험 적합성 | [증빙1-3] 실험보고서 | 35 | |
| 계 | | | | | | | | | | | 100 | 특허출원 2 건 논문 2건 |

[2차년도]

| 구분 | 핵심성과 (CTE) | | 단위성과 | | 성과점검기준 | | | | | | | 양적 성과 건수 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 질적 성과지표 | | 목표치 | 달성치 | 측정방법 | 검증방법 | 가중치 | |
| 주관 | 2 | 선조립 복합보 및 표준도면 개발 | 2-1 | 복합보의 구조성능평가 | ① | Pushout Test | 성능 검증 | 실험 13개 | 실험 적합성 | [증빙2-1] 실험보고서 | 30 | 논문 2건 |
| | | | | | ② | 복합합성보 실험 | 성능 검증 | 실험 11개 | 실험 적합성 | [증빙2-2] 실험보고서 | 40 | |
| | | | 2-2 | 설계법 및 표준도면 개발 | ① | 부재설계법 개발 | 설계법 개발 | 설계법 작성 | 설계법 적합성 | [증빙2-3] 설계시트 | 15 | 특허출원 2건 특허등록 2건 시제품 1건 |
| | | | | | ② | 표준도면 개발 | 도면 작성 | 도면 작성 | 도면 구체성 | [증빙2-4] 표준도면 | 15 | |
| 계 | | | | | | | | | | | | 특허출원 2건 특허등록 2건 논문 2건 시제품 1건 |

# 나. 관련분야기여도

### ○ 기술적 측면

- 영구 강재 거푸집을 활용함으로써 경제성을 도모하는 한편 주요 철근을 대신할 수 있는 강판을 공장에서 선제작하고 추가적인 철근을 일괄 배근하여 현장에서의 배근작업 및 가설작업을 생략할 수 있으며, 이를 통하여 공기 및 노무비의 획기적인 단축이 가능함.
- 현장에서는 양중 및 설치와 동시에 타설이 가능하고, 선조립체의 강성과 강도가 충분히 확보되기 때문에 가설지주의 물량을 최소화 할 수 있음.
- 화재에 대한 안전성을 확보하기 위해 하부 강재만 피복이 필요하며, 이를 뿜칠시공 대신에 내화보드와 같은 기성품을 적용할 수 있어 시공성과 작업성이 우수함.
- 기존에 개발된 RC 슬래브 공법이나 Deep Slab 공법은 물론 다양한 형식의 바닥 공법에서도 즉시 적용가능 하고, 플랫형 바닥 구조를 통하여 건축 설계의 자유도를 극대화할 수 있음.

### ○ 경제적 · 산업적 측면

- 단순히 물량을 감소함으로써 확보되는 경제성이 아닌 공정을 최소화하고 동바리 등을 최소화하면서 공기와 노무비 감축에 따른 경제성 확보 측면이 매우 효과적일 것으로 기대됨.
- 이 연구를 통해 구조적 성능 검증, 선조립체의 최적 형상 개발, RC기둥 또는 다양한 합성 기둥과의 접합부 개발, 고성능 철근에 대한 신뢰성 확보 등이 이루어진다면 국내는 물론 해외 시장에서도 경쟁력을 확보할 수 있음.

- 향후 건설기술인증 추진을 통하여 개발부재의 상용화가 이루어진다면 수요가 급증할 것으로 기대되며, 특히 건물의 바닥이 슬림 모듈화 되면 거푸집 설치를 위해서 수반되는 가설공사에 대한 노력이 기하급수적으로 증가하기 때문에 건축물이 고층화, 대형화, 규격화되어 가는 최근 추세에 따라 공기와 경제성 측면에서 크게 각광 받을 것으로 기대됨.

**○ 사회적 측면**

- 개발 기술의 적용확대를 통하여 건설 산업에서의 콘크리트 구조뿐만 아니라 강재 생산관련 산업에서의 노무비 절감을 위한 공정 개선에도 매우 큰 파급효과를 가져올 것으로 예상됨.
- 최근 세계적·사회적 관심사인 친환경 지속가능한 개발을 촉구하는 법·제도에 부합할 수 있는 기술이며, 개발기술은 강판과 콘크리트 합성보의 외형을 가지고 그 장점을 활용할 수 있음에도 철근 콘크리트의 기술을 이용하여 용이하게 시공할 수 있으므로 기존의 표준 시방을 무리 없이 적용 할 수 있음.
- 개발기술의 기술인증을 추진하여 건설시장에 보급을 확대할 수 있을 것이며, 친환경 고효율 건설기술로서 관공서 및 국가 프로젝트 위주로 먼저 선적용하여 그 효과와 파급력 등을 확인할 수 있을 것으로 기대됨.
- 이 연구에서 도출된 결과물들은 추후 학계·산업계에 중요한 결과물이 될 것으로 기대되며, 현장적용에 따른 피드백을 충실히 반영하고 연구개발 할 예정. 특히, 시공기술의 편의성, 고강도 재료의 적용확대 등에 초점을 맞출 것임.

# 4. 연구개발성과의 활용 계획 등

## 가. 연구개발성과 활용 계획

**○ 제품 생산 및 현장적용 실용화 계획**

- 제품 생산을 위한 Forming 생산업체 등과 협의 중이며, 선조립체(U-flange Truss)를 공장에서 선제작하여 생산할 수 있도록 시스템을 구축하고 연구 결과물로서 구조신뢰성을 확보하는 한편, 생산성 및 공사비 등의 경제성 분석을 통하여 현장 적용 가능성을 타진.
- 특히, 최근의 건설시장의 요구와 부합하면서도 기존의 RC 구조시스템의 시공기술을 그대로 접목할 수 있다는 점은 현장 적용 확대에 있어 큰 이점이 될 것으로 기대됨.

**○ 설계/CM용역 수행 시 설계 반영을 통한 기술의 활용**

- 개발기술의 적극적인 설계반영을 위해 구조설계사무소(동양구조, 아이스트 등) 등과 협의체를 구성 하여 현장적용성을 확대하고, 시공성 향상, 공사비 절감 및 내력증진을 통한 구조안전성을 도모함.

**○ 설계 및 시공 지침의 제시를 통한 개발 기술의 활용**

- 본 연구를 통해 작성, 제시되는 설계, 시공 지침 및 표준 도면을 통해 새로운 기술에 대한 이해도를 높이고, 현장 적용이 용이한 설계, 시공이 가능하도록 하며 이를 통해 선조립 복합보의 도입 및 활용 저변을 확대함.

**○ 건설기술인증을 위한 기반 기술 구축**

- 개발 부재의 구조성능 검증과 공법의 경제성 및 독창성 분석을 통해 개발 기술의 실용화를 위한 기초 기술을 구축하고 향후 건설기술인증 추진.
- 특히 플랫형 바닥구조의 적용으로 인한 냉난방효율이 높아지는 에너지절약 측면과 기존의 콘크리트 기술을 병행하여 사용할 수 있다는 적용성 측면, 그리고 공기단축 등의 경제성 측면에서 현장 적용성의 극대화 실현이 가능할 것으로 기대.

## 나. 후속연구의 필요성

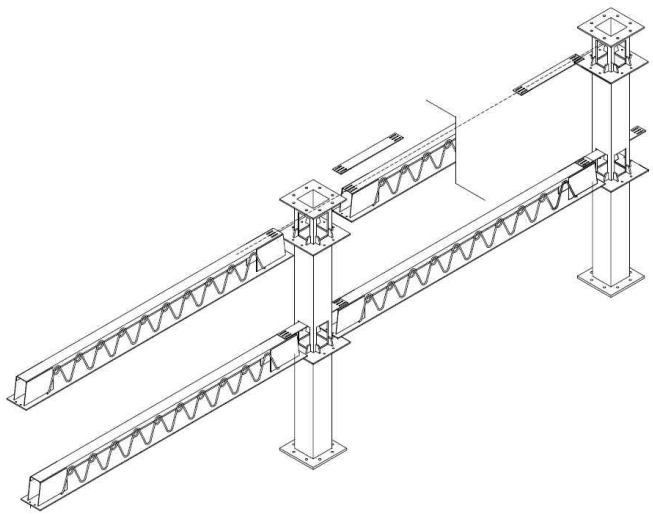
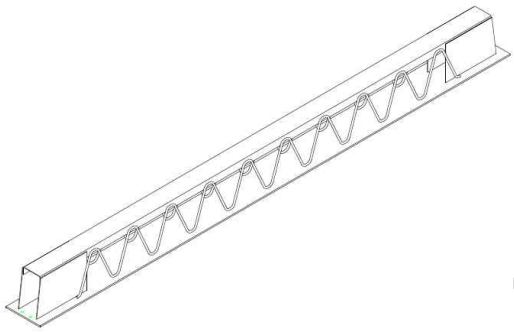
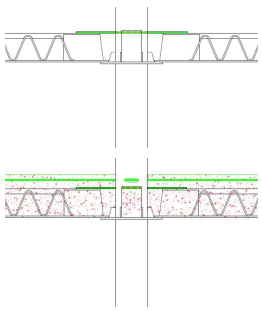
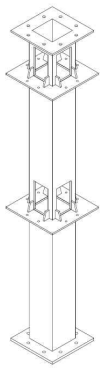
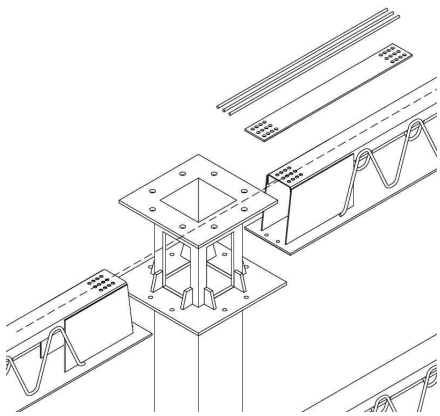
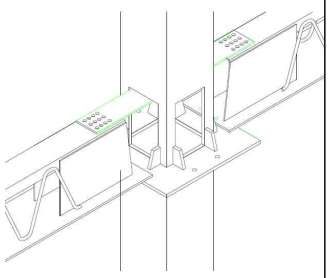
**○ 실용화를 위한 후속 연구 필요성**

본 연구는 국토교통기술촉진연구사업의 창의과제로 기초연구단계에서 실험단계까지 추진하였으며, 추가적으로 시작품 단계로 실증대상을 가상으로 한 실물 단면을 제작하는 연구실 단계적인 기초적 분석을 진행하였음. 따라서 기둥부재에 대한 실험단계

연구와 시작품단계 실용화 단계 등을 통한 양산화 연구를 개발이 요구된다.

### ○ 내진 및 접합부 연구 방향

본 “중·저층 건축물용 슬림슬래브-빔 시스템 개발 연구”는 기술촉진연구사업 창의도전연구로 실험단계(TRL4) 검증이라는 시작품 앞전 단계에 이르는 연구를 수행한 것으로, 기둥-보 접합부에 대한 내진성능이나 평가에 대한 실험이나 설계법을 확립하는 연구가 필요하다. 아래는 UT복합보 시스템에 대한 간단한 기둥-UT 보 접합 개념이다.

<table>
<tr><td>모멘트 연속화 개념</td><td rowspan="2">  </td></tr>
<tr><td>□ 기둥 단면 관통형 방식<br>□ 모멘트 저항요소(인장 저항 요소)<br>구조용 강판요소 와 고강도 철근 요소</td></tr>
<tr><td colspan="2">  <br>UT 복합보</td></tr>
<tr><td colspan="2">  <br>기둥-보-슬래브 개념</td></tr>
<tr><td>  <br>기둥 개념</td><td>  </td><td>  </td></tr>
</table>

보 부재를 시공단계와 영구 사용단계로 구분하여 연구만을 진행하였으므로, 향후 탈형요소가 없이 강판을 외피구조 한 보 부재의 전단 안전성 평가법, 비탈형 개념의 강판이 거푸집기능과 구조기능을 갖는 기둥(원형이나 각형) 시스템 개발, 기둥-보 접합부 상세 및 실험 개발, 이를 토대로 한 실물 중·저층 건축물의 설계 및 시공방법에 대한 프로세스 정립과 실증실험이 요구된다.

| | |
|---|---|
| 최소가설 및 기둥 시스템 조사, 시공 프로세스 정립 | 선조립형 기둥 시스템 조사<br>최소 가설시스템 조사<br>강재 외피형 건축물의 시공 프로세스 정립 |
| 기둥-보 접합부 상세 개발 및 실험<br>보의 전단평가 실험 | 강판 외피형 구조부재에 대한 전단 실험 및 설계평가법<br>기둥-보 접합부 상세 개발<br>접합부 내진구조 안전성 실험 및 평가 |
| 실증 건축물 설계 및 테스트베드를 통한 검증 | 4층 이상의 실증 중저층 상업용 건축물 설계 및 도면<br>테스트베드를 위한 제작 및 시공 프로세스 구축<br>현장시공을 통한 검증 |
| 건축설계 및 구조 용 지침서, 제작/시공 시방서 | 건축물 설계에 효과적인 적용을 위한 건축설계 지침서<br>구조엔지니어링을 위한 구조 지침서<br>공장 제작과 현장설치 시공을 위한 시방서 |

## 다. 사업화 계획

본 연구는 창의과제로 춤 300mm 이상의 슬래브를 가지는 바닥구조에서도 경제성과 시공성이 혁신적으로 향상된 Slim Floor System을 구현할 수 있는 선조립 복합보(U-flanged Truss Hybrid Beam)을 이용한 중저층 건축물용 복합보 개념의 Slim Slab-Beam 개발한 연구이다.

근린생활시설 평면모듈(8.0m x 12m)에 대한 구조설계(활하중 4.0kN)를 진행하여 선조립 UT 강재보를 구성하는 Ⓐ 상부 플랜지인 n형 성형강판(n-180×60×6), Ⓑ 하부 플랜지인 강판(SM490, 400×6t), Ⓒ 강봉 래티스(∅16), Ⓓ 추가 배근하는 인장 철근(2-D22)에 대해 실물 크기의 실험체를 시범 제작하여 실험한 결과, 12m 부재의 설계강도 Mn = 769 kN · m 를 상회하는 실험 최대내력 838.5kN · m로 얻어져 현장적용에 긍정적 자료임을 확인할 수 있었다.

중·저층 4층 건축물에 대해 기본 평면모듈 8m × 12m로 산출된 슬래브, 보, 기둥 부재별 직접공사비를 전체 건축면적으로 확대하여 산출한 결과, 동바리와 거푸집을 사용

한 전통적인 현장타설 RC방식(슬래브, 보, 기둥) 보다 각형강관 충전기둥에 200mm Deep Deck 슬래브 시스템과 본 연구에 개발한 UT 복합보를 적용한 건축물의 경우가 전체공사비에서 약 6.1%의 증가되는 것으로 검토되었다. 그러나 간접비 산출과 현장노무비의 점진적 증가가 예상되므로 개발 시스템의 효과가 기대된다.

2018년 기준 용도별 건축물 현황에서 건축물동수는 전년대비 0.9% 증가한 719만1912동이고, 연면적은 37억5412만7000㎡, 용도별로는 상업용이 3.7% 증가한 8억1462만6000㎡(21.7%)으로 가장 크다.

**<표 4.1> 2018년 기준 용도별 건축물 현황(2019년 2월 국토교통부 발표)**

| (단위 : 천$m^2$) | 합계 | 주거용 | 상업용 | 공업용 | 문교,사회용 | 기타 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2018년 | 3,754,127 | 1,772,232 | 814,626 | 401,516 | 339,360 | 426,393 |
| 비중 | 100.0% | 47.2% | 21.7% | 10.7% | 9.0% | 11.4% |
| 전년대비(%) | ▲ 3.1 | ▲ 3.1 | ▲ 3.7 | ▲ 1.3 | ▲ 3.0 | ▲ 3.5 |

UT 복합보 개발 기술은 장스팬 Deep deck 적용으로 작은 보를 별도로 구성하지 않고도 큰 경간과 높은 층고를 갖는 상업용 건축물에 적용성이 뛰어난 공법이라 판단 기대함. 또한 UT 복합보는 12m ~ 16m 장경간이 요구되는 건축물에 장스팬 슬래브 8m 전후로 구성하여 활용전망은 매우 높다고 사료된다.

상업용 건축물 중에서도 최근의 중·저층 건축물은 대도시뿐만 아니라 중소도시에서도 중소건설사의 사업 분야도 지속적으로 실시되고 있는 바, 연구를 결과를 토대로 선조립 공장제작 부문과 적절한 현장조립 설치 시공이라는 영역을 갖게 한다면 중소건설사의 적극적 활용이 기대된다.

# 붙임. 참고문헌


(1) BS EN 1993-1-1:2005: Eurocode 3, “Design of steel structures. Part 1-1 : General rules and rules for buildings”, British Standards(BS), 2005

(2) Chae, H.S., Ryoo, J., Chung, K.S., Moon, Y. M., and Cho, S.M. “Experimental Study on Structural Performance of End- Reinforced Steel-Beam System(Eco-Girder)”, Journal of Korean Society of Steel Construction, Vol.22, No.6, pp.533-541, 2010

(3) EN 1993-1-1 : Eurocode 3 : Design of steel structures - Part 1-1 : General rules and rules for buildings, 2005.

(4) EN 1994-1-1 : Eurocode 4 : Design of composite steel and concrete structures - Part 1-1 : General rules and rules for buildings, 2004.

(5) Heo, B.W., Bae. K.W.,and Moon, T.S. “Flexural Capacity of the Encased(Slim Floor) Composite Beam with Deep Deck Plate”, Journal of Korean Society of Steel Constructi on, Vol.16, No.2, pp.236-245, 2004

(6) Kim, D.B., Kim, Y.H., Oh, M.H. and Kim, M.H. “Experimental Study on the Flexural Capaciy of the Concrete-Filled Composite Beam with Exposed Top Flange”, J. Korean Soc. Hazard Mitig., Vol.17, No. 4, pp.1-9, 2017

(7) Kim, S.B., Hwangbo, C., Lee, T.K., Cho, H.S., and Kim, S.S. “The Shear Strength Eval uation of the New Shear Connector by Push-out Test”, J. Korean Soc. Hazard Mitig., Vol.14, No.1, pp.1-10, 2014.

(8) Kim, Y.J., Bae, J.H., Ahn, T.S. and Jang, D.W., “Push-out Test on Welded Angle Shear Connectors used in Composite Beams”, Journal of Korean Society of Steel Constructio n, Vol.26, No.3, pp.155-167, 2014.

(9) Lee, M.H., Oh, M.H., Kim, Y.H., Jeong, S.C. and Kim, M.H. “Experimental Study on the Shear Capacity of Slim AU Composite Beam”, Journal of Korean Association for Spatial Structures, Vol.17, No.3, pp.99-105, 2017.

(10) MOLIT, “Korea Building Code”, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2016

(11) Park, K.S., Heo, B.W., Kwak, M.G., and Bae, K.W. “Experimental Study of the Flexu ral Behavior of Encased Composite Beams for Residential Buildings”, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure and Construction, Vol.24, No.12, pp.91-98, 2 008.

(12) Trentadue, F., Quaranta, G., Marano, G. C. and Monti, G., “Simplified Lateral-Torsion al Buckling Analysis in Special Truss- Reinforced Composite Steel-Concrete Beams”, Journal of Structural Engineering, Vol.137, No.12, pp.1419-1427, 2011

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진사업의 연구보고서입니다.

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

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

210㎜×297㎜[백상지(80g/㎡) 또는 중질지(80g/㎡)]